



Kohlenstoffbindung in Waldökosystemen und Holzprodukten

Wissensstand, Grenzen und
Möglichkeiten für den
Klimaschutz

– **Abstracts** –

Tagung
vom 12. bis 14. März 2025

im Max-Planck-Institut für Multidisziplinäre
Naturwissenschaften in Göttingen



NW-FVA

Nordwestdeutsche
Forstliche Versuchsanstalt

Foto: J. Evers



Foto: M. Spielmann



Foto: NW-FVA



Foto: T. Ullrich

Programm (Stand: 24.02.2025)			
12. März	Mittwoch	13. März	Donnerstag
11:30 Uhr	Registrierung	8:30 Uhr	Begrüßung
13:00 Uhr	Begrüßung Dr. Ralf-Volker Nagel <i>Direktor der NW-FVA</i> Miriam Staudte <i>Niedersächsische Ministerin für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz</i>	8:40 Uhr Keynote	Auswirkungen von Klimawandel und Witterungs-extremen auf den Kohlenstoffkreislauf Thomas Hickler, <i>Senckenberg BIK-F, Frankfurt</i>
	Dynamik der Kohlenstoffvorräte in Waldökosystemen und deren Kompartimenten	9:20 Uhr	„Buche-Akut“: Buchenkalamitäten im Klima-wandel – Mögliche Ursachen und Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt in Mitteleuropa Joscha-Hendrik Menge, <i>FFK Gotha</i>
13:20 Uhr Keynote	Der Wald eine Kohlenstoff-Senke – ist er das? Christian Körner, <i>Universität Basel</i>	9:40 Uhr	Bewertung der sozial-ökologischen Resilienz in acht europäischen Fallstudien – Managementoptionen zur Klimaanpassung und Minderung von Störungseffekten Marcus Lindner, <i>European Forest Institute, Bonn</i>
14:00 Uhr	Die Rolle des Waldes in der Treibhausgas-Bericht-erstellung und seine Bedeutung für den Klimaschutz Wolfgang Stümer, <i>Thünen-Institut, Eberswalde</i>	10:00 Uhr	Änderungen des Kohlenstoffsenkenpotenzials in Wald und Holz auf Basis von Bonitätsänderungen in Baden-Württemberg Christian Vonderach, <i>FVA B-W, Freiburg</i>
14:20 Uhr	Modellierung des Kohlenstoffspeichers durch die Bonität Jan Schick, <i>NW-FVA, Göttingen</i>	10:20 Uhr	Forest floor and soil organic carbon dynamics following canopy loss in the Northern Black Forest Kenton Stutz, <i>Universität Freiburg</i>
14:40 Uhr	Waldumbau von Fichte zu Buche – die Entwicklung der oberirdischen Kohlenstoffvorräte zweier Versuchsbestände in Südbayern über 25 Jahre Christian Ammer, <i>Universität Göttingen</i>	10:40 Uhr	Pause
15:00 Uhr	Pause	11:20 Uhr	Postersession im Foyer – Teil 1
15:40 Uhr	Potenzial von Totholz als Kohlenstoffspeicher in temperaten Waldökosystemen Werner Borken, <i>Universität Bayreuth</i>	12:20 Uhr	Mittagspause
16:00 Uhr	Kohlenstoffbilanzierung für die Level-II-Intensiv-messflächen Baden-Württembergs – erste Schritte zur Bewertung ökosystemarer Prozesse in typischen Waldökosystemen Kerstin Näthe, <i>FVA B-W, Freiburg</i>		Senken- und Speicherfunktion durch Holzverwendung
16:20 Uhr	Bodenkohlenstoffmodellierung an Standorten der BZE-Wald für das 21. Jahrhundert Marc Scherstjanov, <i>Thünen-Institut, Eberswalde</i>	13:20 Uhr Keynote	Der Beitrag der Holzverwendung zum Klimaschutz Sebastian Rüter, <i>Thünen-Institut, Hamburg</i>
16:40 Uhr	27 Jahre Waldkohlenstoffforschung – und (k)ein bisschen weiser? Martina Mund, <i>FFK Gotha</i>	14:00 Uhr	Der europäische Forstsektor im Spannungsfeld zwischen Klimaschutzmaßnahmen und Bioökonomiebestrebungen: Untersuchung des Beitrags der Wald- und Holzproduktspeicher Tomke Honkomp, <i>Thünen-Institut, Hamburg</i>
17:00 Uhr	Ende	14:20 Uhr	Die Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz Nele Rogiers, <i>Bundesamt für Umwelt, Bern</i>
17:15 Uhr	Einlass: Diskussionsabend im Weender Hof (nur mit separater Anmeldung)	14:40 Uhr	Potenziale der Birke zur Kohlenstoffspeicherung: Funktion in der Wiederbewaldung und neue Holzverwendungen Christoph Ertle, <i>FiB, Finsterwalde</i>
19:00 Uhr	Buffet		
20:00 Uhr	Podiumsdiskussion		
			14. März
		8:30 Uhr	Begrüßung
			Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nutzungsverzicht
8:40 Uhr Keynote	Risiken und Vorteile der Verringerung der Waldbehandlungsintensität Robert Jandl, <i>Bundesforschungszentrum für Wald, Wien</i>		
9:20 Uhr	Schadorganismen im Klimawandelgeschehen und ihre Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf in Waldökosystemen Ralf Petercord, <i>MLV NRW, Düsseldorf</i>		
9:40 Uhr	Einfluss forstlichen Managements auf ober- und unterirdische Kohlenstoffspeicherung im Wald Theresa Klein-Raufhake, <i>Universität Münster</i>		
10:00 Uhr	Kohlenstoffbindung in unbewirtschafteten Wäldern: Mittelfristige Senke und langfristiger Speicher Eike Feldmann, <i>NW-FVA, Hann. Münden</i>		
10:20 Uhr	Langjährige Dynamik der Kohlenstoffflüsse eines bewirtschafteten und eines unbewirtschafteten Buchenwaldes Christian Markwitz, <i>Universität Göttingen</i>		
10:40 Uhr	Pause		
11:20 Uhr	Assisted migration als Anpassungsmaßnahme zur Erhaltung der Kohlenstoffsenke europäischer Wälder im Klimawandel Silvio Schüller, <i>Bundesforschungszentrum für Wald, Wien</i>		
11:40 Uhr	Wald-Ökosystemleistungen in den gemäßigten Wäldern Europas unter alternativen Politik-Szenarien und Entscheidungsfindung von Waldbewirtschaftenden Mats Nieberg, <i>European Forest Institute, Bonn</i>		
12:00 Uhr	Kohlenstoffspeicherung und Kosten: Zum Potenzial und den Opportunitätskosten der Stilllegung von buchen-dominierten Wirtschaftswäldern Cornelius Regelmann, <i>Thünen-Institut, Hamburg</i>		
12:20 Uhr	Schlussworte		
12:30 Uhr	Ende der Tagung		
15:00 Uhr	Grundlagen und Empfehlungen zur Einschätzung der Klimaschutzwirkung von Wald und Holznutzung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik (WBW) Gabriele Weber-Blaschke, <i>TU München, WBW</i>	15:00 Uhr	Grundlagen und Empfehlungen zur Einschätzung der Klimaschutzwirkung von Wald und Holznutzung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik (WBW) Gabriele Weber-Blaschke, <i>TU München, WBW</i>
15:20 Uhr	Postersession im Foyer – Teil 2	15:20 Uhr	Postersession im Foyer – Teil 2
17:00 Uhr	Ende	17:00 Uhr	Ende
19:00 Uhr	Begegnungsabend im Restaurant Myer's	19:00 Uhr	Begegnungsabend im Restaurant Myer's

Impressum

Herausgeber:

Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt

Grätzelstraße 2

37079 Göttingen

Tel.: 0551 69401-0

E-Mail: zentrale@nw-fva.de

www.nw-fva.de

Dieser Tagungsband kann unter folgendem Link heruntergeladen werden:

<https://www.nw-fva.de/fileadmin/nwfva/news/termine/pdf/Kohlenstoff-Tagung-Abstracts-2025.pdf>

Für den Inhalt der Poster- oder Vortragsabstracts sind ausschließlich die jeweiligen Autor:innen verantwortlich.



Die Tagung wird gefördert durch das
Land Niedersachsen
über das Maßnahmenpaket
Stadt.Land.Zukunft

Februar 2025

Inhaltsverzeichnis

Poster	5
Werk- und Forschungshalle Diemerstein Zirkuläre [Holz]Bauweise	5
Akzeptanz von Landbesitzern für die Förderung von Waldklimaschutz	6
Untersuchungen zum Einfluss des Menschen auf die Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wirtschaftswäldern Thüringens	7
Kohlenstoffsенke Boden und Waldbewirtschaftung: Wissenstransfer für Waldbesitzende mittels Standort-App und Standortfibel – Das Projekt „Standortgerechtes Waldmanagement im Kleinprivatwald (StWM-KPW)“	8
Climate and management impacts on German forest ecosystem services and ecosystem service trade-offs.....	9
Forest management and climate change control future ecosystem services at different spatial scales.....	10
Forstlicher Modellbetrieb für Klimaschutzplus im Staatswald des hessischen Forstamtes Burgwald	11
Forstlicher Modellbetrieb für Klimaschutzplus im Staatswald des hessischen Forstamtes Burgwald – Feldversuche und Bodenkohlenstoffprojektion.....	12
Der Kohlenstoffhaushalt eines Altbuchenbestandes im Nordostdeutschen Tiefland – Messung und Simulation	13
Einflussfaktoren auf die Kohlenstoffspeicherung in einem Küstenwald im Nordosten Deutschlands	14
Bewirtschaftungseffekte auf ober- und unterirdische Kohlenstoffvorräte in Franken	15
Wechselwirkungen von Waldstruktur und Variabilität der funktionellen Ökosystemeigenschaften abgeleitet aus Eddy-Kovarianz-Flussmessungen	16
Soil respiration after rain exclusion under stands of Douglas fir, European beech and their mixtures on contrasting soil types.....	17
Projected soil carbon dynamic in Hesse forests under climate change: sink or source by the end of the century?	18
Do sapflow and soil parameters shape tree growth in a near-natural beech forest?	19
Harmonisierte Bilanzierung des Stoffhaushalts auf Intensivmessflächen des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland	20
Klima.Zukunftslabor DIVERSA.....	21
FoResLab – Future Lab towards Forests Resilient to Climate Change	22
Modellierung von Dürreeffekten auf Baumsterblichkeit und Kohlenstoffspeicherung in deutschen Fichtenbeständen	23
Predicting Tree Mortality by Comparing Standardized Drought Indices	24

Einbruch der Nettokohlenstoffaufnahme in extremen Trockenjahren – Analysiert mit einem physiologisch-orientierten Modell	25
Auswirkungen von Wetterextremen auf die Waldentwicklung im empirischen Waldwachstumsmodell FABio-Forest	26
Einfluss von Sturmschäden und waldbaulicher Behandlung auf die Kohlenstoffbilanz einschichtiger Buchenbestände	27
Zuwachsreaktion der Gemeinen Fichte auf Witterungsstress im Forstbezirk Bärenfels	28
Projektionen zur Rolle des Waldes in der Treibhausgas-Berichterstattung – Modell und Ergebnisse	29
Einfluss der Bewirtschaftung auf die ökosystemaren C-Vorräte von Buchenwäldern: Vergleich von Wirtschafts- und Urwäldern in der Slowakei	30
Kohlenstoffvorräte und Stoffumsatzprozesse in nordrhein-westfälischen Naturwaldzellen	31
Totholzentwicklung in Naturwaldreservaten von Buche, Eiche und Fichte unter verschiedenen Klimaverhältnissen.....	32
Integration von Totholz in Verfahren der Direktsaat von Weißtanne (<i>Abies alba</i>) und Stiel-Eiche (<i>Quercus robur</i>) zur Begründung stabiler, klimatoleranter Mischwaldökosysteme im Stadtwald Hildburghausen (IntegSaat)	33
Potentiale und Steuerungsgrößen beim Belassen von Totholz zur Anreicherung von Bodenkohlenstoff	34
Kohlenstoffflüsse im Sickerwasser unter dem Einfluss von Totholz	35
Microclimate and lignin decay in buried, downed and standing deadwood	36
Auswirkungen unterschiedlicher Totholzmanagementstrategien auf bodenökologische Eigenschaften von gestörten Fichtenbeständen im Harz	37
Abgestorbene Fichtenreinbestände in mittlerem Bestandesalter – Potenziale des Totholzmanagements (PoToMa).....	38
Auswirkungen einer Waldkalkung auf den Bodenzustand und Holzabbau von Kiefernforsten in Brandenburg.....	39
Unravelling fine root biomass responses to liming: Evidence from long-term experimental plots in mature German forests	40
Bodenfeuchte – eine entscheidende Einflussgröße der Wirkung von Totholz auf die Kohlenstoffdynamik im Boden naturnaher Buchenwälder?.....	41
Der Beitrag von Feinwurzeln zur Kohlenstoffspeicherung im Boden in einem naturnahen Buchenwald unter Einbezug der Bodenfeuchtebedingungen	42
Tree Diversity and N+P addition effects on fine root growth	43
Holzdichte und Kohlenstoffkonzentration in Baumstümpfen und toten Grobwurzeln.....	44
Pilot Study reveals high volume and carbon storage in very large deciduous trees.....	45
Ein standort- und bewirtschaftungssensitives Streufallmodell für die gemäßigte Zone Europas	46
Hilfstabellen zur Abschätzung der Kohlenstoffspeicherung in Waldbeständen („Kohlenstoff-Ertragstafeln“)	47

Bodenmonitoring im Rahmen der BWI: Veränderungen von Humusform und Kohlenstoffvorräten	48
Humusformen im Wandel – vorläufige Ergebnisse der dritten Bodenzustandserhebung (BZE III) in Rheinland-Pfalz.....	49
Von Rohhumus bis Mull: Zeitliche Entwicklung der Humusformen in Nordwest-Deutschland	50
Humusschwund in den Bayerischen Kalkalpen reduziert den C-Speicher, mindert den Wasserrückhalt und gefährdet die Waldfähigkeit	51
Verborgene Schätze: Kohlenstoffvorräte österreichischer Waldböden	52
Mapping of soil carbon stocks using SCORPAN modelling and relative depth gradients	53
Soil ecological processes and carbon turnover in skid trails	54
Bedeutung von Insektenkalamitäten für die Kohlenstoffspeicherung verschiedener Waldgesellschaften mit einem besonderen Fokus auf den Waldboden [Projekt Bio-C, HAWK Göttingen]	55

Vorträge56

Session: Dynamik der Kohlenstoffvorräte in Waldökosystemen und deren Kompartimenten56

Keynote: Der Wald eine Kohlenstoff-Senke – ist er das?.....	56
Die Rolle des Waldes in der Treibhausgas-Berichterstattung und seine Bedeutung für den Klimaschutz.....	57
Modellierung des Kohlenstoffspeichers durch die Bonität.....	58
Waldumbau von Fichte zu Buche – die Entwicklung der oberirdischen Kohlenstoffvorräte zweier Versuchsbestände in Südbayern über 25 Jahre.....	59
Potenzial von Totholz als Kohlenstoffspeicher in temperaten Waldökosystemen.....	60
Kohlenstoffbilanzierung für die Level-II-Intensivmessflächen Baden-Württembergs – erste Schritte zur Bewertung ökosystemarer Prozesse in typischen Waldökosystemen	61
Bodenkohlenstoffmodellierung an Standorten der BZE-Wald für das 21. Jahrhundert	62
27 Jahre Waldkohlenstoffforschung - und (k)ein bisschen weiser?.....	63

Session: Auswirkungen von Klimawandel und Witterungsextremen auf den Kohlenstoffkreislauf64

Keynote: Auswirkungen von Klimawandel und Witterungsextremen auf den Kohlenstoffkreislauf	64
„Buche-Akut“: Buchenkalamitäten im Klimawandel – Mögliche Ursachen und Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt in Mitteldeutschland.....	65

Comparative assessment of social-ecological resilience in eight case studies across Europe – potential of management to mitigate impacts of climate change and associated disturbances	66
Änderungen des Kohlenstoffsinkenpotentials in Wald und Holz auf Basis von Bonitätsänderungen in Baden-Württemberg	67
Forest floor and soil organic carbon dynamics following canopy loss in the Northern Black Forest	68

Session: Senken- und Speicherfunktion durch Holzverwendung69

Keynote: Der Beitrag der Holzverwendung zum Klimaschutz.....	69
Der europäische Forstsektor im Spannungsfeld zwischen Klimaschutzmaßnahmen und Bioökonomiebestrebungen: Untersuchung des Beitrags der Wald- und Holzproduktspeicher	70
Die Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz	71
Potenziale der Birke zur Kohlenstoffspeicherung: Funktion in der Wiederbewaldung und neue Holzverwendungen	72
Grundlagen und Empfehlungen zur Einschätzung der Klimaschutzwirkung von Wald und Holznutzung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik	73

Session: Effekte unterschiedlicher

Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nutzungsverzicht74

Keynote: Risiken und Vorteile der Verringerung der Waldbehandlungsintensität	74
Schadorganismen im Klimawandelgeschehen und ihre Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf in Waldökosystemen.....	75
Einfluss forstlichen Managements auf ober- und unterirdische Kohlenstoffspeicherung im Wald	76
Kohlenstoffbindung in unbewirtschafteten Wäldern: Mittelfristige Senke und langfristiger Speicher.....	77
Langjährige Dynamik der Kohlenstoffflüsse eines bewirtschafteten und eines unbewirtschafteten Buchenwaldes.....	78
Assisted migration als Anpassungsmaßnahme zur Erhaltung der Kohlenstoffsенке europäischer Wälder im Klimawandel	79
Forest ecosystem services in temperate European forests under alternative future policy scenarios and linked practitioner’s decision making	80
Kohlenstoffspeicherung und Kosten: Zum Potenzial und den Opportunitätskosten der Stilllegung von buchen-dominierten Wirtschaftswäldern	81

Poster

Poster-Nr: 1

Werk- und Forschungshalle Diemerstein Zirkuläre [Holz]Bauweise

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf^{1*}, Prof. Stephan Birk², Marcel Balsen³, Viktor Poteschkin¹, Oliver Betha¹

¹ t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe, fatuk RPTU, Kaiserslautern, DE, *juergen.graf@rptu.de

² Architecture and Timber Construction, Professur für Entwerfen und Holzbau, Technische Universität München, München, DE (Professur für Entwerfen und Holzbau)

³ fatuk RPTU, Kaiserslautern, DE

Neubau Holzbau-Campus der RPTU Kaiserslautern Landau

t-lab Holzarchitektur und Holzwerkstoffe

Wir brauchen die Bauwende. Ziel muss eine geschlossene Kreislaufwirtschaft sein. Dazu ist ein Wandel in Lehre, Forschung und Bauweise dringend notwendig. Unsere Strategie am t-lab der RPTU Kaiserslautern ist es, den studentischen Entwurf mit der Forschung und der 1:1 Umsetzung in richtungsweisenden Pilotprojekten zu verbinden.

Die Werk- und Forschungshalle in Diemerstein (13 m breit, 28 m lang und 7 m hoch) ist auf diesem Weg entstanden und bildet den Auftakt für den geplanten Holzbau-Campus der RPTU im Diemersteiner Tal. Mit ihrer archetypischen Form fügt sich die Halle in ihre Umgebung ein. Der Holzbau bezieht seine architektonische Gestalt aus der Forderung nach einer konsequenten Kreislaufbauwirtschaft aller Baukomponenten, Bauelemente und Bauteile. Diese sind elementiert und reversibel verbunden, um einen späteren einfachen Ausbau und darauffolgenden Wiedereinbau ohne Wertverlust zu garantieren. Um eine zerstörungsfreie Demontierbarkeit sicherzustellen, wurden neuartige, einfach handhabbare und lösbare Verbindungsmittel entwickelt und angewandt. Die am t-lab entwickelten Knoten und Konusadapter aus Kunstharzpressholz (KP) erfüllen diese Anforderungen. Die Reversibilität wird vorrangig über Vorspannung der Bauelemente und holzbaugerechten, formschlüssigen Verbindungen erreicht. Das Primärtragwerk der Halle besteht aus vorgespannten Dreigelenkrahmen aus BauBuche GL 75 mit Knoten aus KP. Die aussteifenden Wand- und Deckenmodule bestehen aus Fichten-Brettsperrholz (BSP). Die kegelförmig gefrästen Konusadapter verbinden diese Elemente mit den Rahmen. Außen folgt ein ebenfalls reversibler Wandaufbau: Weichfaserdämmebene, Konterlattung und vertikale Bretterschalung aus Douglasie. Außerdem wurde auf die klassische Stahlbetonplatte verzichtet und stattdessen eine Brettsperrholz-Bodenplatte rückbaubar verbaut. Diese lagert 300 mm vom Boden aufgeständert auf reversiblen Stahlprofilen auf, die die Lasten materialminimiert in Mikropfähle einleiten.

Leitung:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Graf (Forschungssprecher) und Prof. Stephan Birk
Projektleitung:	Marcel Balsen und Viktor Poteschkin;
Bauleitung:	Oliver Betha mit den Studierenden der RPTU
Realisierung:	2022-2023
Auszeichnungen:	Deutscher Ingenieurbaupreis 2024, Holzbaupreis Rheinland-Pfalz 2024, Hochschulpreis Holzbau 2023

Das Vorhaben wurde durch das Klimabündnis Bauen der Landesregierung Rheinland-Pfalz unterstützt, um das Potenzial des regional verfügbaren Baustoffs Holz weiter zu erforschen und in der Praxis zu etablieren.

Poster-Nr: 2

Akzeptanz von Landbesitzern für die Förderung von Waldklimaschutz

David Schicketanz^{1*}, Peter Elsasser¹

¹ Thünen Institut für Waldwirtschaft, Bergedorf, DE, *david.schicketanz@thuenen.de

Mit zunehmender Dringlichkeit und mäßigem Erfolg verfolgt die Politik Klimaschutzziele und stellt Klimaschutzprogramme auf. Um nationale CO₂-Budgets einzuhalten, ist der Sektor Landnutzung und damit die Forst- und Landwirtschaft im Klimaschutzgesetz eine wichtige Senke. Die ambitionierten politischen Zielvorstellungen müssen in Maßnahmen umgesetzt werden, welche wiederum von Landbesitzern umgesetzt werden. Ein vieldiskutiertes Instrument zur Förderung von u. a. Klimaschutzleistungen, ist das Honorieren von Ökosystemdienstleistungen. Mit dieser Forschung soll neben weiteren Einflussfaktoren insbesondere die Wirkung der Honorierungssummen auf die Bereitschaft von Landbesitzern untersucht werden, diese Maßnahmen umzusetzen.

Um abschätzen zu können, wie hoch diese Kompensationen sein müssen, damit Landbesitzer die entsprechenden Maßnahmen annehmen, wurde eine Studie zur Zahlungsbereitschaft durchgeführt. Da es für Klimaschutz im Wald keinen Markt gibt, wurden Landbesitzer gefragt, ob sie bereit wären zu einem bestimmten Geldbetrag an Programmen teilzunehmen. Anhand von drei Maßnahmen, die die CO₂ Sequestrierung im Wald erhöhen sollen, konnten Szenarien bzw. fiktive Förderprogramme entwickelt werden. Dazu gehören die Stilllegung von alten Buchen, die Pflanzung schnellwachsender Baumarten sowie die Aufforstung von Ackerflächen. Landbesitzer wurden gefragt, wie viel ihrer Fläche sie, bei einem bestimmten Zahlungsbetrag, bereit sind diesen Programmen zur Verfügung zu stellen. Weitere Angaben zu Sozioökonomischen Faktoren, Flächenbeschaffenheit und allgemeinen Einstellungen werden genutzt, um Einflussfaktoren auf die Bereitschaft zur Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Wald zu ermitteln.

An der Panel-Umfrage haben 800 Befragte teilgenommen, etwa hälftig verteilt zwischen Besitzern landwirtschaftlicher Flächen und Waldbesitzern. Erste Ergebnisse zeigen, dass 30 % der Besitzer landwirtschaftlicher Fläche grundsätzlich zu Aufforstungen bereit sind und überwiegend Grünland mit geringen Bodenzahlen dafür bereitstellen. Unter Waldbesitzern mit alten Laubbäumen sind etwa 64 % grundsätzlich zur Stilllegung der Bestände bereit. Über 95 % der Waldbesitzer, die Neuanpflanzungen planen, sind bereit, durchschnittlich 55 % der potentiellen Fläche mit schnellwüchsigen Gastbaumarten, wie Douglasie, Roteiche, Küstentanne, Robinie oder weiteren statt heimischer Arten zu bepflanzen.

Diese Ergebnisse über die grundsätzliche Bereitschaft von Landbesitzern, ihre Bewirtschaftung an Klimaschutzziele auszurichten, wenn sie dafür honoriert werden, lässt erste Schlüsse über die potentiell erreichbaren Ziele zu. Letztendes soll die Frage beantwortet werden, wie viel Klimaschutzleistung der Wald unter Berücksichtigung gesellschaftlicher Akzeptanz verrichten kann.

Poster-Nr: 3

Untersuchungen zum Einfluss des Menschen auf die Dynamik der Kohlenstoffvorräte in den Wirtschaftswäldern Thüringens

Sebastian Rappold^{1*}, Christoph Kasper¹, Jakob Wernicke¹

¹Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (ThüringenForst AÖR), Gotha, DE,
*sebastian.rappold@forst.thueringen.de

In den meisten mitteleuropäischen Waldökosystemen nimmt der Mensch eine Schlüsselrolle in der Steuerung der Dynamik der Kohlenstoffvorräte ein. Eine naturnahe Waldbewirtschaftung maximiert die CO₂-Senkenleistung dieser Ökosysteme, da sie auf einen am Zuwachs orientierten Waldbau setzt. Dies gewährleistet eine optimale Ressourcennutzung und fördert somit die Akkumulation von Biomasse. Gleichzeitig werden durch die Holznutzung signifikante Substitutionsleistungen erzielt. Diese einfache Bilanzierung vernachlässigt jedoch die insbesondere bei der Holzernte und Holzlogistik verursachten CO₂-Emissionen.

Die CO₂-Bilanzierung der kompletten Holzwertschöpfungskette steht im Zentrum des „CO₂For-IT“-Forschungsvorhabens. Dazu wird ein „Datenraum Wald und Holz 4.0“ (DWH 4.0) entwickelt und für den Datenaustausch grüne Digitale Zwillinge (DZ, virtuelle Kopien von realen Objekten und Prozessen) zusammengetragen. Der Datenaustausch der Akteure entlang der Holzwertschöpfungskette soll hierdurch erleichtert werden, ohne dass die beteiligten Akteure dabei die Datenhoheit ihres DZ verlieren (Gaia-X-Initiative).

Als Praxispartner stellt ThüringenForst AÖR Digitale Zwillinge von ausgewählten Waldbeständen in Thüringen zur Verfügung. Diese DZ wurden aus drohnenbasierten LiDAR-Messungen abgeleitet und bilden somit den Ist-Zustand für den Kohlenstoffspeicher Wald ab (der Waldboden bleibt hierbei unberücksichtigt). In einem zweiten Schritt wurde ein Praxisversuch der hochtechnologisierten Holzernte in den zuvor fernerkundlich erfassten Beständen durchgeführt. Dabei wurden die CO₂-Emissionen von Harvester und Forwarder aufgezeichnet und können in Beziehung zu den Kohlenstoffvorräten des Bestandes gesetzt werden. In einem zweiten Versuch werden die CO₂-Emissionen einer motormanuellen Holzernte in vorratsreichen Beständen aufgezeichnet. Die beiden Versuche liefern ihrerseits weitere DZ (Motorsäge, Forstmaschine, Polter, usw.), welche über den Datenraum bereitgestellt und in die CO₂-Bilanzierung integriert werden. Die Weitergabe der unterschiedlichen DZs (mit jeweiligem CO₂-Fingerabdruck) ist zentraler Bestandteil des Projektes und ermöglicht so das Tracking („Wo befindet sich welches Sortiment mit welchem CO₂-Fingerabdruck innerhalb der Holzwertschöpfungskette?“) und Tracing („Woher stammt das Holz und welche Emissionen wurden für seine Herstellung aufgewendet?“) der Holzprodukte.

Der vorliegende Beitrag präsentiert erste Ergebnisse der Praxisversuche und skizziert die Grundzüge des „CO₂For-IT“-Forschungsvorhabens, welches zur digitalen Transformation der forstlichen Wertschöpfungskette beitragen wird.

Poster-Nr: 4

Kohlenstoffsенke Boden und Waldbewirtschaftung: Wissenstransfer für Waldbesitzende mittels Standort-App und Standortfibel – Das Projekt „Standortgerechtes Waldmanagement im Kleinprivatwald (StWM-KPW)“

Winfried Riek^{1*}, Daniel Ziche¹, Alexander Russ², Victoria Viert², Hiltrud Bontrup¹, Andrea Brini¹

¹ Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, DE, *wriek@hnee.de

² Landeskompetenzzentrum Forst Eberswalde, Eberswalde, DE

Die Umsetzung von Klimaanpassungsstrategien im Kleinprivatwald gestaltet sich besonders schwierig, da Standortdaten und Informationen zur Standortdynamik oft nicht in der notwendigen kleinräumigen Auflösung vorliegen oder die Waldbesitzenden nicht erreichen. Im Projekt „Standortgerechtes Waldmanagement im Kleinprivatwald: Klima - Nährstoffe - Wasserhaushalt (StWM-KPW)“ werden leicht verständliche und praxisorientierte Standortinformationssysteme entwickelt, die über Beratungsförster oder direkt an Waldbesitzende vermittelt werden sollen. Diese Systeme unterstützen Entscheidungen zur Baumartenwahl, ressourcenschonenden Waldbewirtschaftung und Risikoabschätzung. Im Teilvorhaben „Erweiterte Standortinformationen für Brandenburg“ wird ein Werkzeug entwickelt, das praxisrelevante Informationen zu Naturraum, Klima, Boden, Wasserhaushalt, Nährstoffnachhaltigkeit und Baumartenwahl bereitstellt. Kern dieses Werkzeugs sind eine „Standortfibel“, ein analoger, fachlich erläuternder Leitfaden, und eine Standort-App als QField-Applikation, mit der sich im Gelände punktbezogene Standortdaten für ein 100x100-m-Raster der brandenburgischen Waldflächen abrufen lassen.

Im Themenkomplex „Humus und Kohlenstoff“ erhalten Waldbesitzende unter anderem eine Einschätzung der aktuellen Kohlenstoffvorräte ihres Waldgebiets im Vergleich zu landesweiten Werten. Zudem werden Hinweise auf das Potenzial der Kohlenstoffspeicherung im „Dauerhumus“ des Mineralbodens sowie mögliche C-Verluste durch Humusabbau bei Grundwasserabsenkungen gegeben. Ziel ist es, das Bewusstsein für die Bedeutung des Humus als Klimaschutzfaktor zu stärken und Potenziale der Kohlenstoffspeicherung durch Wald(um)bau und ggf. Wasserrückhalt aufzuzeigen.

Für die Herleitung der punktbezogenen Informationen war es notwendig, die vorliegenden Daten der Forstlichen Standortkartierung mit zusätzlichen aus Bodeninventuren, wie der Bodenzustandserhebung im Wald, Digital Soil Mapping und Modellierungen gewonnenen Informationen zu verknüpfen. Anhand von beispielhaften Karten und beschreibender Statistik werden die Ergebnisse und deren Herleitung im vorliegenden Beitrag präsentiert. Grundlage für die szenarischen Berechnungen bilden Modellansätze, die im assoziierten Posterbeitrag „Three-Dimensional Mapping of Forest Soil Carbon Stocks Using SCORPAN Modelling and Relative Depth Gradients in the North-Eastern Lowlands of Germany“ von Russ et al. (2025) vorgestellt werden.

Poster-Nr: 5

Climate and management impacts on German forest ecosystem services and ecosystem service trade-offs

Thirza van Laar¹, Mats Nieberg^{1,2}, Christopher Reyer¹

¹ *Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Leibniz Association, Potsdam, DE*

² *European Forest Institute (EFI), Bonn, DE*

German forests are expected to provide us with a wide range of ecosystem services, including carbon sequestration. However, in the context of climate change it is uncertain that these ecosystem services can consistently be provided. Since both climate and management impact ecosystem service provisioning, we analyze the relative effects of both drivers in this study. Additionally, the interaction between ecosystem services, that is to say, any trade-offs or synergies will be determined. We initialize the process-based forest model 4C for all German NFI plots and drive it with climate data from five general circulation models and four shared socioeconomic pathway-representative concentration pathway scenario combinations. Additionally, several management scenarios are applied, these differ in the degree of thinning, rotation period and conversion speed. Also included is a scenario without management in order to assess the effect of strict protection. Combining all drivers and management options leads to 300 different scenarios. We analyze the simulations with a focus on four ecosystem services: carbon sink, timber provision, water balance regulation, and habitat for biodiversity. For every ecosystem service we identify one or more indicators. The results suggest that biodiversity, biomass production and timber harvest levels are strongly influenced by management and less so by climate. At the same time ecosystem productivity and water balance regulation are hardly affected by the different management regimes and are controlled mainly by climate. We find a synergy between biodiversity and biomass, but a trade-off between biodiversity/biomass and timber provisioning. These findings highlight crucial insights for the development of coherent forest management strategies in Germany that aim for climate resilient and productive forests that provide valuable habitats for biodiversity. As a next step we will analyze the same ecosystem services on a European scale, combining simulations that are done for a large number of European countries by different forest models. The European scale will enable a more detailed analysis of the spatial variability of the ecosystem services and how we can ensure a reasonable distribution.

Poster-Nr: 6

Forest management and climate change control future ecosystem services at different spatial scales

Mats Nieberg^{1,2*}, Marcus Lindner², Thirza van Laar¹, Christopher Reyer¹

¹ *Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Leibniz Association, Potsdam, DE*

² *European Forest Institute (EFI), Bonn, DE, *mats.nieberg@efi.int*

Important drivers of the level and diversity of ecosystem services provided by forests are forest management and climate change. Forest management might counteract, modulate or reinforce climate change impacts on ecosystem services, and it is largely unclear in which contexts climate change has a larger control on ecosystem services than forest management or whether that interaction is changing with advancing climate change.

We present a novel framework to develop and assess forest management scenarios from stand to continental scale for studies that explore management and climate change effects on forests and ecosystem services with simulation models. We apply the framework in three case studies at different spatial scales using the process-based forest model 4C (FORESEE - Forest Ecosystems in a Changing Environment) to assess the relative importance of forest management compared to climate change for the level of ecosystem services. The three case studies examine the stand (eight forest stands across Europe), landscape (Bauges mountains in France) and national scale (Germany) covering distinct environmental and political contexts with different current management approaches and varying context-specific challenges for forest management.

Our findings suggest that the relative importance of forest management varies across spatial scales (stand, landscape, country) and variables, with habitat, biomass stock and harvest generally being more strongly controlled by management, while ecosystem carbon balance, productivity and groundwater recharge being more strongly controlled by climate change. The control of management does not change significantly under advancing climate change if no disturbance regime changes associated to wind, bark beetle and fire are considered. These findings hint at management retaining control in forests that are adapted to future disturbance regimes and do not experience any significant change in disturbance impact under changing climate.

Poster-Nr: 7

Forstlicher Modellbetrieb für Klimaschutzplus im Staatswald des hessischen Forstamtes Burgwald

Andreas Sommerfeld¹, Robert Larkin¹, Ronja Ungelenk¹, Hans Hamkens¹,
Jan Hendrik Hansen¹, Peter Meyer¹, Matthias Schmidt^{1*}

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE, *matthias.schmidt@nw-fva.de

Die Baumartenwahl ist die wichtigste waldbauliche Anpassungsmaßnahme, um nachteilige Klimafolgen auf den Wald zu begrenzen und auch zukünftig möglichst leistungsfähige, multifunktionale Wälder zu erhalten. In einem Pilotprojekt wurde daher für den Staatswald des hessischen Forstamtes Burgwald eine modellbasierte adaptive Waldbauplanung (Klimaschutz-plus) als Alternative zu einer klassischen Forsteinrichtung erstellt und auf ihre Wirkung hin analysiert. Grundlage dieser Planung sind baumarten-spezifische Projektionen der Wuchsleistung und wichtiger abiotischer und biotischer Risiken unter Berücksichtigung eines Klimaensembles. Die Projektionen werden in Kombination mit weiteren Kriterien für die Ableitung klimastabiler, multifunktionaler Wälder mit Hilfe eines multi-kriteriellen Entscheidungssystems verwendet. Dabei werden Baumartenmischungen (Waldentwicklungsziele (WEZ)) anhand ihrer Standortgerechtigkeit, ihres naturschutzfachlichen Wertes und ihrer waldbaulichen Umsetzbarkeit räumlich explizit d.h. auf der Ebene von Standortpolygonen bewertet. Die Waldbauplanung Klimaschutz-plus wird abschließend mit der Waldbauplanung RiBeS bezüglich wichtiger multifunktionaler Kenngrößen verglichen.

Die im Projektgebiet geplanten und modellierten Maßnahmen wurden nicht nur anhand ihrer Auswirkungen auf die Vulnerabilität sowie Wuchs- und Kohlenstoffspeicherleistung sondern auch unter besonderer Berücksichtigung der Biodiversität bewertet. Zur Bewertung der Biodiversität gehört eine naturschutzfachliche Analyse der WEZ sowie eine Untersuchung der Totholz- und Habitatbaumsituation im Burgwald. Zudem wird das forstliche Nutzungsregime der beiden Planungsvarianten im Burgwald mit dem natürlichen Störungsregime verglichen, und die BHD-Verteilung wird in Relation zu Urwäldern dargestellt. Weiterführend wird bewertet, ob die geplanten forstlichen Maßnahmen den Charakter der Schutzgebietskulisse beeinflussen und ob die bestehenden Waldbestände bereits so ausgeprägt sind, dass sie den Schutzzielen förderlich sind.

Ergänzend zur adaptiven Waldbauplanung werden Waldentwicklungsprojektionen auf der Basis einer Rasterstichprobe bis zum Jahr 2100 mit dem Waldwachstumssimulator WaldPlaner projiziert. Auch hier werden Modellvarianten simuliert, die die adaptive und die klassische Waldbauplanung berücksichtigen. Die Ergebnisse der kontrastierenden Simulationen werden hinsichtlich der Entwicklung der Kohlenstoffspeicherleistung, wichtiger waldwachstumskundlicher Kenngrößen aber auch ihrer Vulnerabilität gegenüber Klimafolgen und ihres naturschutzfachlichen Wertes bewertet und verglichen.

Die Ergebnisse dienen unter anderem einer umfassenden Erweiterung und damit Verbesserung der Baumartenempfehlungen an der NW-FVA (<https://www.nw-fva.de/unterstuetzen/software/baem>).

Poster-Nr: 8

Forstlicher Modellbetrieb für Klimaschutzplus im Staatswald des hessischen Forstamtes Burgwald – Feldversuche und Bodenkohlenstoffprojektion

Florian Heimsch^{1*}, Felix Heitkamp¹

¹ *Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Umweltkontrolle, Göttingen, DE,*
* *florian.heimsch@nw-fva.de*

Waldökosysteme spielen eine wichtige Rolle im Klimaschutz. Nur bei dieser Landnutzungsform ist in Deutschland eine Nettobindung von Kohlenstoff in Biomasse und Böden zu verzeichnen. Voraussetzung dafür sind stabile Bestände, die Witterungsextremen und daraus folgenden abiotischen und biotischen Stressoren widerstehen. Gleichzeitig ist eine effiziente Nutzung von Holz sicherzustellen und weitere Ökosystemleistungen sind zu gewährleisten.

Im Forstamt Burgwald wurden 18 Flächen zur intensiven Beobachtung ausgewählt. Die Flächen repräsentieren Bestände mit unterschiedlichen Mischungsanteilen von Laub- und Nadelhölzern. Fünfzehn der Flächen unterliegen der forstlichen Nutzung und drei Flächen liegen in den 1988 aus der Nutzung genommenen Naturwaldreservaten Hohehardt und Geiershöh/Rothebuche. Auf allen 18 Flächen werden die Kompartimente Biomasse, Totholz und Boden hinsichtlich ihrer Kohlenstoffvorräte aufgenommen. Es wurde mit der Erhebung mehrjähriger Zeitreihen von Bodenfeuchte und -Temperatur, Streufall, Streuabbau, Zuwachs und Bodenatmung begonnen, welche durch periodische Boden- und Bestandesinventuren ergänzt werden.

Um die Vielfalt an Böden und Beständen im Forstamt Burgwald zu erfassen, ist eine extensive Flächeninventur geplant. Auf ausgewählten Punkten der Betriebsstichprobe mit bestehender Bestands- und Totholzaufnahme werden einmalig Bodenproben entnommen. Die Ergebnisse der Analysen dienen als Grundlage für Regionalisierungen der Bodenkohlenstoffvorräte. Die regionalisierten Vorräte werden für die Modellparametrisierung zur Projektion der Bodenkohlenstoffvorräte bis zum Jahr 2100 genutzt.

Die im Teilprojekt 1 (Poster Schmidt et al.) erstellten Projektionen (Biomasse und Holzprodukte) bis zum Jahr 2100 mit dem Waldwachstumssimulator „Waldplaner“ werden um Szenarien unterschiedlicher Nutzungsintensität erweitert. Weiterhin wird die Dynamik des Bodenkohlenstoffs mit dem Klimaszenario RCP 8.5 bis zum Jahr 2100 quantifiziert und in die Kohlenstoffbilanz einbezogen. Zur Parametrisierung und Validierung wird auf die Ergebnisse der Versuchsflächen, der Betriebsstichprobe, sowie der Regionalisierung zurückgegriffen.

Ziel ist die Quantifizierung der Kohlenstoffbilanz in Ökosystemkompartimenten und Holzprodukten des Modellbetriebs unter Nutzung klima-optimierter Waldentwicklungsziele.

Poster-Nr: 9

Der Kohlenstoffhaushalt eines Altbuchenbestandes im Nordostdeutschen Tiefland – Messung und Simulation

Hubert Jochheim*

*Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg, DE,
hubert.jochheim@zalf.de

Die Wälder Deutschlands verlieren gegenwärtig ihre CO₂-Senkenfunktion, was teilweise auf die sich verändernde Altersstruktur zurückgeführt wird. Ziel dieser Untersuchung war daher die Analyse der C-Quellen/-Senkenfunktion eines Altbuchenbestandes im Nordostdeutschen Tiefland (ICP Forests Level II Plot 1207), zu der Messdaten aus dem Zeitraum von 2001-2019 ausgewertet wurden. Über das Messprogramm des ICP Forests hinaus liegen hier zusätzlich Daten zur Bodenrespiration mit verschiedenen Methoden über insgesamt 11 Jahre vor. Die Daten dienen der Kalibrierung eines Simulationsmodells für den C-Haushalt (BIOME-BGC, Version ZALF).

Die analysierten C-Vorräte in Humusaufgabe und Mineralboden bis 1,4 m Tiefe summieren sich auf 103 t C/ha.

Der Baumholz-Vorrat steigt von 118 auf 128 t C/ha an, was bei einer Holzernte von 1,79 t C/(ha*a) einem Zuwachs von 2,33 t C/(ha*a) entspricht.

Mit dem Streufall gelangen durchschnittlich 3,30 t C/(ha*a), davon 1,76 mit den Blättern und 1,26 t C/(ha*a) mit den Reproduktionsorganen zum Boden. Die Menge der Reproduktionsorgane variiert sehr stark. Mastjahre ergeben sich oft nach warm-trockenen Jahren und sind von schwachen Holz-zuwächsen begleitet.

In den Wurzeln bis 0,5 m Tiefe liegen die C-Vorräte bei insgesamt 7,03 t C/ha, davon 1,68 t C/ha in den Feinwurzeln. Der jährliche Wurzelzuwachs für Fein-, Schwach- bzw. Grobwurzeln beträgt 2,45 t C/(ha*a), davon 1,68 t C/(ha*a) für Feinwurzeln.

Die Bodenrespiration mit der Haubenmethode wurde auf 6,31 t C/(ha*a) (2005-2007) bzw. 4,82 t C/(ha*a) (2014-2019), mittels FGM auf 5,17 t C/(ha*a) (2014-2019) kalkuliert. Mit der Trenching-Methode unter Berücksichtigung von deren Störeinflüssen wurde ein Anteil der heterotrophen Bodenrespiration von 53% oder 3,34 t C/(ha*a) (2005-2007) bzw. 47 % oder 2,97 t C/(ha*a) für die Wurzelrespiration kalkuliert. Für die NEP ergibt sich damit 4,74 t C/(ha*a). Bei der Holzernte von 1,79 t C/(ha*a) verbleibt eine NEE von 2,97 t C/(ha*a).

Simulationsergebnisse: Über den Zeitraum von 2001 bis 2019 nimmt die Gesamt-Biomasse von 138 auf 149 t C/ha bei einem Nettozuwachs von 0,58 t C/(ha*a) zu, was zuzüglich der Holzentnahme von 1,57 t C/(ha*a) einen Gesamtzuwachs von 2,15 t C/(ha*a) ergibt. Der C-Vorrat im Boden incl. Humusaufgabe und Totholz steigen von 163 auf 168 t C/ha an, jährlich um 0,23 t C/(ha*a). Bei einer NPP von 7,04 t C/(ha*a), und HR von 4,61 t C/(ha*a) weist die NEP 2,43 t C/(ha*a) auf. Bei einer Holzentnahme von 1,54 t C/(ha*a) ergibt sich eine NEE von 0,89 t C/(ha*a).

Messungen und Simulationen können für den untersuchten Altbuchenbestand eine C-Senkenfunktion konstatieren.

Poster-Nr: 10

Einflussfaktoren auf die Kohlenstoffspeicherung in einem Küstenwald im Nordosten Deutschlands

Uwe Buczko¹, Roberto Cruz-García², Jörg Harmuth³, Florian Jansen², Gerald Jurasinski²
Johannes Kalbe⁴, Martin Wilmking²

¹ *Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Landschaftsökologie und Standortkunde, Rostock, DE*

² *Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Greifswald, DE*

³ *Stadtforstamt Rostock, Rostock, DE*

⁴ *Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie von Mecklenburg-Vorpommern (LUNG M-V), Güstrow, DE*

Ein Großteil des Kohlenstoffs in Waldökosystemen ist im Boden gespeichert. Zwar wurden in Europa bereits großräumige Bestandsaufnahmen der Kohlenstoffvorräte in Waldböden durchgeführt, dennoch sind weiterhin detaillierte standortspezifische Studien sinnvoll, da die Kohlenstoffspeicherung räumlich sehr variabel ist und von zahlreichen standortspezifischen Faktoren abhängt, die in großräumigen Studien nicht erfasst werden können. Wir bewerten die Kohlenstoffvorräte in einem Küstenwald an der Ostsee mit unterschiedlichen Baumarten, Bestandesaltern, Bewirtschaftungsmethoden und Böden, um mögliche Ursachen für Unterschiede in der Kohlenstoffspeicherung aufzuklären. In den Jahren 2017–2019 wurden Bodenproben bis zu einer Tiefe von 1 m sowohl aus Bodenprofilgruben als auch durch Bohrkern in unterschiedlichen Waldparzellen entnommen, die sich hinsichtlich Waldbewirtschaftung, Baumart (Buche, Birke, Eiche) und Baumalter unterschieden. Obwohl die abiotischen Parameter Bodenart (hauptsächlich Gley und Podsol), Bodentextur (hauptsächlich sandig), pH-Wert, Grundwassertiefe und Entfernung zur Küste nicht Teil Versuchsdesigns waren, wurden diese Faktoren – zusammen mit den biotischen Faktoren – ausgewertet, um die Bedeutung möglicher Einflussfaktoren auf die Kohlenstoffspeicherung zu ergründen. Die Kohlenstoffvorräte im Boden wurden für 0–1 m Bodentiefe anhand der gemessenen Kohlenstoffkonzentrationen in den Bodenproben und der Lagerungsdichten ermittelt. Die Kohlenstoffvorräte in der Vegetation wurden durch detaillierte Bestandsinventuren der Bäume auf den Waldparzellen bestimmt. Die mittleren Kohlenstoffvorräte des gesamten Wald-Ökosystems lagen bei 50 kg C/m² und waren damit etwa dreimal höher als weltweite Durchschnittswerte für Waldökosysteme in gemäßigten Klimazonen. Die Kohlenstoffvorräte im Boden lagen im Durchschnitt bei 32 kg C/m² (0–1 m Tiefe). Dies ist deutlich höher als die Vorräte für die meisten anderen Waldstandorte unter ähnlichen klimatischen Bedingungen, und ist wahrscheinlich auf das weit verbreitete Vorkommen anaerober Bedingungen im Boden zurückzuführen, aber auch auf eine hohe Bioproduktivität aufgrund guter Wasserverfügbarkeit. Die Variabilität der Kohlenstoffvorräte im Boden an diesem Standort wird hauptsächlich von Bodenfaktoren (Bodentyp, Bodentextur, pH-Wert des Bodens) bestimmt, während die Kohlenstoffvorräte der Bäume hauptsächlich von der Baumart und dem Baumalter bestimmt werden.

Poster-Nr: 11

Bewirtschaftungseffekte auf ober- und unterirdische Kohlenstoffvorräte in Franken

Beatrice Thumb von Neuburg^{1*}, Dominik Thom^{2*}

¹ *Technische Universität München, Lehrstuhl für Ökosystemdynamik und Waldmanagement, Freising, DE, *beatrice.neuburg@tum.de*

² *Technische Universität Dresden, Professur für Waldbau, Tharandt, DE, *dominik.thom@tu-dresden.de.*

Die deutschen Wälder binden jährlich etwa 62 Millionen Tonnen CO₂ und speichern rund 2,5 Milliarden Tonnen CO₂, davon mehr als die Hälfte im Waldboden. Damit spielen sie eine zentrale Rolle im Klimaschutz. Während Bewirtschaftungsmaßnahmen die Kohlenstoffaufnahme im Wald verbessern können, reduzieren sie die Menge des in situ gespeicherten Kohlenstoffs. Die Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsweisen als auch die Stilllegung von Wäldern auf den Gesamtkohlenstoffhaushalt wurde jedoch noch nicht hinlänglich untersucht, um robuste Strategien zur Verbesserung der Kohlenstoffbilanz von Wäldern zu entwickeln. In unserer Studie untersuchen wir die Auswirkungen unterschiedlicher Bewirtschaftungsstrategien – i) Mittelwälder, ii) bewirtschaftete Hochwälder und iii) unbewirtschaftete Naturwaldreservate – auf die gesamte Kohlenstoffbilanz. Als Versuchsgebiet dient der Stadtwald in Bad Windsheim, einer trockenen Region in Deutschland. Im Rahmen einer Wiederholungsinventur mit konzentrischen Probekreisen wurden auf 93 Plots Inventurparameter, Streu- Humus- und Bodenproben sowie liegendes Totholz erhoben. Vorläufige Ergebnisse zeigen, dass die Kohlenstoffspeicherung in der oberirdischen Biomasse im Hochwald und im Naturwaldreservat vergleichbar ist, während sie im Mittelwald am geringsten ausfällt. Der Kohlenstoffspeicher im Boden hingegen ist im Mittelwald am höchsten, gefolgt von Hochwald und Naturwaldreservat. Die Kohlenstoffaufnahme ist ebenfalls im Mittelwald am höchsten, gefolgt vom Hochwald und schließlich dem Naturwaldreservat. Weiterhin werden in dieser Studie die Effekte einzelner Bestands- und Standortvariablen auf die Kohlenstoffaufnahme quantifiziert. Die Ergebnisse werden dazu beitragen, das Potenzial verschiedener Waldbewirtschaftungsstrategien im Hinblick auf die Kohlenstoffbilanz von Wäldern zu beleuchten und diese zu optimieren.

Poster-Nr: 12

Wechselwirkungen von Waldstruktur und Variabilität der funktionellen Ökosystemeigenschaften abgeleitet aus Eddy-Kovarianz-Flussmessungen

Tim Schacherl^{1*}, Julia Kelly², Natascha Kljun², Alexander Knohl¹, Anne Klosterhalfen¹

¹Georg-August Universität Göttingen, Göttingen, DE, *tim.schacherl@uni-goettingen.de

²Lund University, Lund, Sweden

Der Klimawandel beeinflusst die europäischen Wälder sowohl direkt durch veränderte Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse als auch indirekt durch die Zunahme der Intensität und Häufigkeit von Extremwetterereignissen, wie z. B. Dürren. Die Fähigkeit von Wäldern ihre Ökosystemfunktionen unter Stress aufrechtzuerhalten, ist daher zu einem wichtigen Forschungsfeld geworden. Diese Widerstandsfähigkeit kann zum Beispiel durch die Variabilität der Ökosystemfunktionen (engl. Ecosystem Functional Properties, EFP) beschrieben werden, welche mit der Eddy-Kovarianz-Methode erfasst werden können. Eine geringere Variabilität deutet dabei auf eine höhere Resistenz und Widerstandsfähigkeit gegenüber Stress hin. Es wird angenommen, dass die Variabilität der EFP von der Meteorologie, den Bodeneigenschaften und der Waldstruktur beeinflusst wird. Damit die Forstwirtschaft die Trockenresistenz von Wäldern aktiv verbessern kann, ist es daher wichtig, den Einfluss der Waldstruktur zu identifizieren und zu verstehen.

Bisherige Studien konzentrierten sich entweder auf einzelne EFP oder nutzten nur wenige Versuchsflächen. Ein umfassendes Verständnis der EFP-Treiber fehlt daher bisher. Im Rahmen des EU-Projektes ‚CLIMB-FOREST‘ haben wir CO₂-, Wasserdampf- und Energieflüsse von 59 europäischen Wäldern analysiert, um deren Austausch zwischen Wäldern und der Atmosphäre besser zu verstehen. Dabei haben wir die Wassernutzungseffizienz (uWUE), die photosynthetische Kapazität (GPPsat), das Bowen-Verhältnis (β), die Oberflächenleitfähigkeit (Gs) und die Albedo (α) berechnet. Anschließend wurden die Verteilung und Variabilität dieser EFP analysiert und mit Waldstrukturparametern wie Waldtyp, Bewirtschaftung, Bestandesalter, Baumhöhe und Anzahl dominanter Arten korreliert.

Laubwälder (DBF) wiesen im Vergleich zu Nadel- und Mischwäldern (ENF und MF) höhere uWUE, GPPsat und Gs auf. Allerdings war auch die Variabilität von uWUE, GPPsat und β in DBF größer. Größere Baumhöhen führten zu einer Abnahme der Variabilität von GPPsat mit einer leichten Zunahme für Bestände über 30 m. Junge Wälder (0-49 Jahre) zeigten die höchste Variabilität der Albedo, während Bestände in der Altersgruppe 100-149 Jahre die geringste Variabilität aufwiesen. Es wurden jedoch keine signifikanten Korrelationen zwischen der Waldstruktur und der Variabilität der EFP gefunden. Dies ist wahrscheinlich auf die geringe Menge an Waldstrukturdaten zurückzuführen, die unsere Analyse einschränkt. Um dieses Problem zu lösen, die treibenden Kräfte hinter der Variabilität der EFP zu identifizieren und einen Einblick in die Resistenz von Wäldern zu erhalten, sammeln wir zurzeit weitere Waldstrukturdaten und wenden erweiterte Korrelationsanalysen an.

Poster-Nr: 13

Soil respiration after rain exclusion under stands of Douglas fir, European beech and their mixtures on contrasting soil types

Klara Mrak^{1*}, Norbert Lamersdorf¹

¹ *University of Göttingen, Soil Science of Temperate Ecosystems, Göttingen, DE,*
**klara.mrak@uni-goettingen.de*

Climate change is altering forest functioning and resilience, altering precipitation regimes and prompting the adaptation of forestry practices through silvicultural strategies, such as the introduction of novel tree species like coastal Douglas fir and mixed stands of European beech and Douglas fir. Both, the reduced rain and stand type transformations are influencing the stand carbon dynamics, including through modifications in soil respiration patterns. The carbon cycle belowground is affected by tree species due to their different effect on C processing directly (root activity) and indirectly (root-associated organisms, perturbation, water relations) and by soil type (soil organic matter, binding properties, water dynamics). In this study, we measured soil respiration in pure and mixed stands of Douglas fir and European beech on two contrasting soil types (loamy and sandy) under natural and artificially reduced precipitation. We found that mixed plots exhibited the highest soil CO₂ efflux, followed by Douglas fir and beech. Sandy sites had higher CO₂ efflux compared to loamy sites. Rain exclusion significantly affected soil respiration on sandy soils. While high soil respiration on beech plots was expected, the CO₂ efflux on mixed plots surprisingly exceeded additive effects. We conclude that the higher carbon stock in the organic layer of mixed plots (as identified in a separate study) contributes to increased CO₂ efflux, and that the belowground interaction of tree species affects carbon stabilization processes in the mixed plot. We further conclude that the weaker soil matrix of sandy sites makes carbon more vulnerable to losses via CO₂ efflux under rain exclusion. The results indicate differential soil carbon cycling and therefore carbon sequestration potential under beech, Douglas fir and their mixture and that species effects are modified by soil type and suggest possible challenges for stand nutrition on carbon-limited sites in a climate with less rain.

Poster-Nr: 14

Projected soil carbon dynamic in Hesse forests under climate change: sink or source by the end of the century?

Simona Bonaiuti^{1*}, Larissa Kulp¹, Felix Heitkamp¹

¹ Northwest German Forest Research Institute (NW-FVA), Environmental Control, Göttingen, DE,
*simona.bonaiuti@nw-fva.de

Forest soils store a substantial amount of organic carbon and therefore have a critical role in the global carbon cycle. Climate change-driven dynamics of SOC may alter the sink capacity, potentially shifting forest soils from sinks to sources. To evaluate the mitigation potential of forests against climate change and to make future decisions for best practice management an accurate estimation of the development of SOC is crucial.

We applied the soil carbon model Yasso20 to 135 sites of the National Forest Soil Inventory (NFSI) of Hesse, Germany, for the period between NFSI I (1989-1992) and NFSI II (2006-2008) to validate the model against the measured SOC stocks (maximum depths: 90 cm plus organic layer). In addition, 16 intensively monitored sites with more extensive datasets were used. Carbon input was estimated from yield tables (DYN-ET) for harvest residues and branch turnover. Input from litterfall and fine root turnover was estimated by a newly developed statistical model (see poster of Heitkamp et al.). Yasso20 was initialised by a spin-up run with average climate (1960-1990). The discrepancy in SOC stocks between the spin-up and the first measurement was assigned to the most stable model pool (“Humus”). Simulations of SOC stocks were carried out until the year 2099, using (1) no climate change, and (2) the RCP 8.5 emission scenario with seven projections of the ReKliEs-DE core ensemble. In addition, the effect of whole-tree harvest (starting in 2025 using RCP 8.5) was quantified.

Results of the intensively monitored plots indicated that Yasso20 is generally well suited to simulate SOC stocks of individual sites (amount of variance explained [AVE]: 0.66; bias [ME]: -4.6 t ha^{-1} ; root mean square error [RMSE]: 24.3 t ha^{-1}). The simulations for the NFSI plots showed similar uncertainties (ME: -1.9 , RMSE: 27.2 t ha^{-1}). A low AVE (0.00), however, indicated that predictions for individual plots should be avoided. At the regional scale (135 points of Hesse), the simulated annual changes between NFSI I and II in SOC ($0.18 \pm 5.84 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) were on average underestimated, though less variable, in comparison to the measured ones ($0.31 \pm 26.6 \text{ t C ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Without climate change, an SOC gain is predicted up to 2099 (to 84.5 t C ha^{-1}). Under the RCP 8.5 scenario, projected SOC stocks are estimated to increase until 2040 and tend to decline afterwards until to 2099 reaching a similar level of the first soil inventory (to $78.9 \pm 21.9 \text{ t C ha}^{-1}$). Considering country-wide whole-tree harvesting together with climate change, a high SOC loss is estimated for Hesse by the end of the century (to $74.8 \pm 21.9 \text{ t C ha}^{-1}$).

Our results indicate that current management practices and annual C inputs to forest soils in Hesse are insufficient to compensate for climate change effects (RCP 8.5). At least, forest soils of Hesse are predicted to lose their function as CO₂ net-sinks. Compared to the NFSI II, there is a chance that soils turn into net-sources of CO₂. The effect of whole-tree harvesting is of similar magnitude as the effect of climate change under the RCP 8.5 emission scenario.

Poster-Nr: 15

Do sapflow and soil parameters shape tree growth in a near-natural beech forest?

Gabriela Fontenla-Razzetto^{1*}, Peter Petrik², Alexandra Koller³, Britt Kniesel², Alina Azekenova¹, Robin Schäfferling¹, Patrick Wordell-Dietrich¹, Karl-Heinz Feger¹, Goddert von Oheimb³, Stefan Julich^{1,4}, Karsten Kalbitz¹

¹ *Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE, *gabriela.fontenla_razzetto1@tu-dresden.de*

² *Institut für Forstbotanik und Forstzoologie, TU Dresden, DE*

³ *Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz, TU Dresden, DE*

⁴ *Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, DE*

Climate change is leading to rising temperatures and erratic rainfall patterns. Higher temperatures in combination with changes in frequency and intensity of precipitation have a strong effect on physiological processes in trees. For central European forests higher frequency of droughts is predicted, which could lead to increased forest decline and tree mortality rates particularly for drought-sensitive species as European beech (*Fagus sylvatica* L.; Dolschak et al., 2019). To assess the factors affecting beech tree growth in a changing climate, a better understanding of the coping mechanisms of beech forest under drought conditions is needed. How the relationship between tree growth and the site water balance is altered due to changing climatic conditions remains unclear. To improve the knowledge on this relationship is particularly important as tree growth can contribute significantly to the site's carbon balance.

In our research we aim at: 1) quantify tree growth along a natural gradient of dry, intermediate, and wet soil conditions in a near-natural beech forest on sandy-textured soils, and 2) determine the influence of meteorological and soil parameters and sapflow dynamics on stem growth of beech trees. The overall research question is: to what extent do sapflow, soil variables, and meteorological parameters explain the differences in stem growth along a soil moisture gradient from wet to dry conditions? Under the same climatic and stand management conditions we hypothesize: 1) there is a stronger correlation among weather variables, sapflow, and growth under wet soil moisture conditions, and 2) the correlation between soil matric potential, sapflow, and growth is more pronounced under dry soil moisture conditions.

The research is carried out under the framework of the Beneath Project, which focuses on understanding how soil moisture and water balance influence carbon dynamics in beech forests. For this purpose, three sites along a soil moisture gradient have been selected for the installation of three intensive monitoring plots (IMPs). The IMPs are located at a dominant beech tree of the respective site; the monitored trees present similar characteristics. At each IMP, the monitoring of different elements of the hydrological and C cycles is carried out. Soil moisture and matric potential, sap flow, stem growth, leaf area index (LAI) and meteorological variables were measured for two growing seasons (June-October 2022 and 2023) in the Dübener Heide Nature Park in Saxony, Germany. The expected differences in growth among sites would suggest that the consideration of interdisciplinary approaches i.e. including soil-plant factors is necessary to improve the knowledge of growth dynamics in beech forests under a changing climate.

Reference:

Dolschak et al., 2019: The impact of rising temperatures on water balance and phenology of European beech (*Fagus sylvatica* L.) stands. <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00602-1>.

Poster-Nr: 16

Harmonisierte Bilanzierung des Stoffhaushalts auf Intensivmessflächen des Forstlichen Umweltmonitorings in Deutschland

Stefan Fleck¹, Petra Adler, Bernd Ahrends, Nadine Eickenscheidt, Matti Fellmann, Simon George, Martin Greve, Rüdiger Grote, Frank Jacob, Peter Hartmann, Martin Hassdenteufel, Andrea Hölscher, Inken Krüger, Jan Martin, Henning Meesenburg, Angelika Mroncz, Philip Mundhenk, Kerstin Näthe, Rainer Petzold, Heike Puhlmann, Stephan Raspe, Winfried Riek, Alexander Russ, Andreas Schmitz, Maximilian Strer, Ulrike Talkner, Christian Vonderach, Laura Wachtveitl, Silva Weiken

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE, *stefan.fleck@nw-fva.de

Der Stoffhaushalt von Waldökosystemen ist die Grundlage aller wesentlichen ökosystemaren Prozesse und damit der Schlüssel zu ihrem Verständnis und ihrer Vorhersage unter sich ändernden Bedingungen. Wachstum und Vitalität der Wälder und ihre Ökosystemdienstleistungen als Kohlenstoffsenke, Wasserspeicher, Stickstoffspeicher und Habitat hängen vom Stoffhaushalt ab und überdies auch ihre Resilienz gegenüber Versauerung, Eutrophierung und Klimawandeleffekten.

Im FNR-Projekt „Stoffbilanz“ haben sich die forstlichen Ressortforschungseinrichtungen der Länder und des Bundes zusammengetan, um Ökosystembilanzen für bis zu 170 Flächen des (erweiterten) intensiven forstlichen Umweltmonitorings (Level II plus) in Deutschland nach einer einheitlichen Methodik zu quantifizieren und diese in neu entwickelten, kombinierten Software-Tools der Forstpraxis zur Verfügung zu stellen. Im Zentrum stehen die Stoffumsätze von N, P, Ca, Mg, K, S und C in Form von Deposition, Verwitterung, Kalkung, Sickerwasseraustrag, gasförmigen Stoffausträgen und Festlegung in der Biomasse sowie systeminterne Stoffflüsse wie ober- und unterirdischer Streuumsatz, Auswaschung, Kationenaustausch im Boden und Aufnahme über die Wurzeln.

Die Ökosystembilanzen für die betrachteten Nährstoffe werden anhand der langjährigen Beobachtungsreihen auf den Monitoringflächen erstellt. Mit biogeochemischer Modellierung (Landscape-DNDC, VSD+) wird die Bedeutung der Teilprozesse für die beobachtete C-, N- und Nährstoffdynamik untersucht und die Nährstoffsensitivität der Waldentwicklung quantifiziert. Die um Unsicherheitsanalysen ergänzten Stoffbilanzen dienen der Bewertung

- (1.) der Nährstoffnachhaltigkeit forstlicher Nutzungsoptionen,
- (2.) der Ökosystemresilienz hinsichtlich Versauerung und Eutrophierung und
- (3.) der Effekte des Klimawandels auf den Stoffhaushalt.

Aus den Bewertungen wird mithilfe der identifizierten Stoffhaushaltstypen ein System zur Risikobeurteilung von Waldstandorten abgeleitet, das Handlungsempfehlungen hinsichtlich Klimaanpassung und Boden- sowie Gewässerschutz generiert. Durch die breite Beteiligung der forstlichen Versuchsanstalten aller Bundesländer soll die so geschaffene Expertise dauerhaft in der forstlichen Beratung etabliert werden. Zum Start wird das umfangreiche Konzept dieses deutschlandweiten Verbundprojekts mit zwölf Partnern vorgestellt.

Poster-Nr: 17

Klima.Zukunftslabor DIVERSA

Jonas Hagge^{1*}, Philip Beckschäfer¹, Benjamin Delory², Andreas Fichtner³, Sylvia Haider³, Johannes Kamp⁴, Peter Meyer¹, Marcus Schmidt¹, Matthias Schmidt¹, Andreas Schuldt⁴, Carlo Seifert⁴, Cornelius Senf⁵, Janine Sybertz⁶, Christine Thorn⁷, Eick von Ruschkowski⁶

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen, DE, *jonas.hagge@nw-fva.de

² Utrecht University, NL

³ Leuphana Universität Lüneburg, DE

⁴ Georg-August-Universität Göttingen, DE

⁵ Technische Universität München (TUM), DE

⁶ Alfred Toepfer Akademie für Naturschutz, DE

⁷ Naturschutzakademie Hessen, DE

Während vergangener Dürreperioden wurde die Vulnerabilität niedersächsischer Wälder gegenüber den zunehmenden Auswirkungen des Klimawandels deutlich. Bislang ist das Verständnis des natürlichen Potenzials der Wälder, sich an klimawandelbedingte Störungen anzupassen, begrenzt. Eine vertiefende Untersuchung der Ursachen und Auswirkungen von Störungen ist wichtig, um zeitnah wirkungsvolle Strategien zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Wälder zu entwickeln.

Dabei müssen Perspektiven der Waldbesitzenden, Waldbewirtschaftenden, der Forstpolitik, weiterer wichtiger Interessenvertreter*innen und der Öffentlichkeit in Entscheidungsprozesse einbezogen werden.

Waldmonitoringsysteme müssen als adaptive Managementtools verbessert und ausgebaut werden, um evidenzbasierte Entscheidungen zu ermöglichen und die nachhaltige Funktionalität unserer Wälder weiterhin zu gewährleisten.

Hier baut das Klima.Zukunftslabor "DIVERSA - Forest disturbances under climate change in Lower Saxony: Understanding drivers and impacts to enhance forest adaptability" eine trans- und interdisziplinäre Forschungseinheit zur Verbesserung der Anpassungsfähigkeit der Wälder an den Klimawandel in Niedersachsen auf. Die Forschungsziele des Klima.Zukunftslabors sind zum einen das Verständnis der Resilienz niedersächsischer Wälder gegenüber klimawandelbedingten Störungen zu erhöhen. Dafür werden robuste statistische Daten zur Störungswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit wichtiger Störungsagenten (Sturm, Trockenheit, Schaderreger, Feuer), den geophysikalischen Standortbedingungen, der Bewirtschaftungsgeschichte und der Struktur- und Baumartenvielfalt der Wälder bereitgestellt. Für die Modellbildung werden Fernerkundungsdaten (Satelliten- und Luftbilder, Airborne Laser Scanning), bestehende Monitoringsysteme und Geodaten, sowie Waldinventur- und Waldzustandsdaten kombiniert.

Zum anderen bewertet DIVERSA die Resistenz und Resilienz von Ökosystemdienstleistungen und der Reaktion der biologischen Vielfalt auf Störungen. Das Labor erfasst das Ausmaß struktureller und kompositorischer Veränderungen von Wäldern und Waldfunktionen. Die Reaktion der biologischen Vielfalt wird durch eine umfassende Erhebung der Arten- und Strukturvielfalt in aus der Nutzung genommenen und bewirtschafteten Wäldern in den niedersächsischen Landesforsten ermittelt und durch Daten von Naturschutzbehörden und partizipativen Citizen-Science-Plattformen ergänzt.

Das dritte Forschungsziel ist, die Sichtweisen verschiedener Waldbesitzender, weiterer Interessenvertreter*innen und der Öffentlichkeit auf Störungen im Wald zu verstehen und in die partizipative und effektive Entscheidungsfindung für gewünschte Waldzustände einzubeziehen. Auf der Grundlage von DIVERSA können bestehende Instrumente für Monitoring, Entscheidungsunterstützung und Management der niedersächsischen Wälder weiterentwickelt werden. DIVERSA möchte den Aufbau eines dauerhaften Forschungsnetzwerks zur Anpassung von Wäldern an den Klimawandel katalysieren und bessere Zukunftsperspektiven für Wald und Gesellschaft schaffen.

Poster-Nr: 18

FoResLab – Future Lab towards Forests Resilient to Climate Change

Alexander Knohl^{1*}, Christian Ammer¹, Matthias Beyer², Harald Biester², Henrik Hartmann³, Ann-Kathrin Koessler⁴, Paul Magdon⁵, Kanishka Mallick⁶, Carola Paul¹, Sandra Potsch¹, Dominik Seidel¹, Ulrike Talkner⁷, Miriam Teuscher¹

¹ Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, DE, *aknohl@uni-goettingen.de

² Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, DE

³ Julius Kühn-Institut, Quedlinburg, DE

⁴ Leibniz Universität Hannover, Hannover, DE

⁵ Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst, Göttingen, DE

⁶ Luxembourg Institute of Science and Technology, Esch-sur-Alzette, LU

⁷ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA), Göttingen, DE

Der Klimawandel wirkt sich unmittelbar auf die Wälder in Mitteleuropa aus und stellt eine zentrale Herausforderung für die Art und Weise dar, wie Wälder unter den derzeitigen und künftigen Bedingungen bewirtschaftet werden. Da Wälder wesentliche Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen für die Gesellschaft erbringen, wie z.B. die Aufnahme und Speicherung von Kohlenstoff, werden dringend Lösungen benötigt, um Wälder resilient gegen den Klimawandel zu machen.

Hier stellen wir das Projekt FoResLab - Future Lab towards Forests Resilient to Climate Change vor. Es zielt darauf, mit einem inter- und transdisziplinären Ansatz die zentrale Frage zu beantworten: Wie können wir Wälder unter heutigen und zukünftigen Bedingungen resilient gegenüber Klimaveränderungen machen? FoResLab bringt Experten aus drei Universitäten, einer Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst, zwei staatlichen Forschungseinrichtungen, einem internationalen Partner sowie fünf Praxispartnern zusammen und gewährleistet so eine enge Verknüpfung von Wissenschaft, Wirtschaft und Zivilgesellschaft.

Organisiert ist FoResLab in drei Plattformen und 13 Teilprojekten. In der experimentellen Plattform werden wir – in einem harmonisierten experimentellen Design – relevante Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen in sechs hochgradig instrumentierten Wäldern unter Verwendung neuester Fast-Echtzeit-Sensorik untersuchen, um multifunktionale Indikatoren für die Resilienz der Wälder gegenüber dem Klimawandel abzuleiten. Dabei liegt ein besonderer Fokus auf dem Kohlenstoffkreislauf. Durch Eddy Covariance Messungen und hochauflösende Dendrometer sollen aus CO₂-Aufnahme und Baumwachstum Indikatoren für die Resilienz der Wälder entwickelt werden. Die experimentelle Plattform dient der Unterstützung und Validierung der Digitalen Plattform, bei der luft- und satellitengestützte Fernerkundungs- sowie Modellierungsansätze zwei Online-Produkte liefern sollen, die für die Öffentlichkeit zugänglich sind: (1) Digitale Zwillinge unserer Versuchstandorte werden es ermöglichen, Bewirtschaftungsoptionen für reale Wälder in einer digitalen Umgebung zu erkunden, und (2) ein Online-Wald-Wasserstress-Monitor wird eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung der zeitnahen Waldüberwachung in Niedersachsen und darüber hinaus bieten. Die Gesellschaftsplattform wird transdisziplinäre Forschung fördern und dabei unterschiedliche Interessengruppen einbeziehen und somit Zielkonflikte zwischen ökologischen, ökonomischen und sozialen Interessen analysieren. Mit dem neuen Wissensmuseum der Universität Göttingen, dem Forum Wissen, ist die Entwicklung eines digitalen Lernmoduls für Schulklassen geplant, bei dem Schüler und Schülerinnen in verschiedenen Rollen die Perspektiven unterschiedlicher Akteur*innen im Wald ausprobieren und kennenlernen können. Mit FoResLab hoffen wir, durch Forschung, Einbeziehung von Interessensgruppen sowie durch akademischen und nichtakademischen Wissenstransfer einen Beitrag in Richtung zu klimawandel-resilienten Wäldern zu machen.

Poster-Nr: 19

Modellierung von Dürreeffekten auf Baumsterblichkeit und Kohlenstoffspeicherung in deutschen Fichtenbeständen

Tim Anders^{1*}, Jessica Hetzer¹, Nikolai Knapp², Matthew Forrest¹, Liam Langan¹, Merja Tölle³, Nicole Wellbrock², Thomas Hickler¹

¹ *Senckenberg Biodiversität und Klima Forschungszentrum, Frankfurt a. M., DE,*

** tim.anders@senckenberg.de*

² *Thünen Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE*

³ *Universität Kassel, Kassel, DE*

Die aufeinanderfolgenden Dürreereignisse zwischen 2018 und 2020 führten zu einem beispiellosen Anstieg der Fichtenmortalität in Deutschland. Während dieses trockenheitsbedingte Waldsterben deutlich beobachtbar ist, haben prozessbasierte Vegetationsmodelle noch große Schwierigkeiten, dieses massive Absterben zu reproduzieren. Diese Diskrepanz zwischen den beobachteten und simulierten Walddynamiken verdeutlicht die dringende Notwendigkeit verbesserter Modellierungsansätze zur Darstellung durrebedingter Baummortalität.

In unserer Studie nutzen wir einen datengetriebenen, statistischen Ansatz, um die durrebedingte Fichtenmortalität im prozessbasierten Vegetationsmodell LPJ-GUESS zu verbessern. Basierend auf Fichtenmortalitätsdaten der deutschen Waldzustandserhebung (WZE) sowie Klima- und Wetteranomaliedaten entwickelten wir logistische Regressionsmodelle, die wir in das Vegetationsmodell LPJ-GUESS integrierten.

Mit diesem verbesserten Modellierungsansatz konnten wir zeitliche und räumliche Muster historischer Fichtenmortalitätsraten (1998–2020) reproduzieren, insbesondere für die Extremjahre 2018 bis 2020. Darüber hinaus konnten wir mithilfe von Klimaszenarien (RCP2.6 und RCP8.5) Prognosen zur Entwicklung des Fichtensterbens in der Zukunft (2021–2070) erstellen. Unsere Vorhersagen zeigen, dass über den Verlauf der nächsten 50 Jahre periodische Anstiege der Fichtenmortalität auftreten könnten, die mit den hohen Mortalitätsraten von 2020 vergleichbar sind oder diese sogar übertreffen.

Mithilfe des Vegetationsmodells können wir zudem Mortalitätseffekte auf die Produktivität der Wälder quantifizieren. Unsere zukünftigen Prognosen zeigen eine durrebedingte Abnahme der oberirdischen Biomasse um 18 % unter RCP2.6 bzw. 36 % unter RCP8.5. Darüber hinaus zeigen die Modelle eine Reduktion des potenziellen Fichtenholzeinschlags in Deutschland im Zeitraum von 2021 bis 2070, die sich kumulativ auf 310 Mio. Mg C (RCP2.6) bzw. 447 Mio. Mg C (RCP8.5) beläuft. Das Ausmaß dieser Effekte hängt jedoch sowohl von den zugrunde liegenden Klimaszenarien als auch vom verwendeten statistischen Mortalitätsmodell ab.

Unsere Studie unterstreicht das erhebliche Risiko eines großflächigen zukünftigen Absterbens von Fichtenwäldern in Deutschland. Trotz der verbleibenden großen Unsicherheiten bezüglich des Ausmaßes und Zeitpunkts solcher Ereignisse sollten diese in zukünftigen Modellierungsstudien berücksichtigt werden, da sie grundlegende Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf der Wälder und die Holznutzung haben können.

Poster-Nr: 20

Predicting Tree Mortality by Comparing Standardized Drought Indices

Luca Smekal*

*Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE, *luca.smekal@nw-fva.de*

Tree mortality in German forests has risen sharply since the 2018 drought, with rates remaining high. This trend disrupts the carbon balance as the ability of forests to sequester carbon decreases and stored carbon is released during decomposition, turning forests from carbon sinks into carbon sources and exacerbating climate change. Using long-term monitoring data from the forest condition survey (1984–2023) and standardized drought indices (SPI, SPEI, SSMI), this study found that SPEI, particularly with a two-year preceding condition, best explained mortality changes. Generalized additive models revealed that mortality rises with drought intensity and duration, with spruce showing the highest mortality rates (up to 15% during extreme droughts across all plots). As climate change intensifies droughts, understanding the physiological mechanisms behind drought-induced mortality is essential. This study underscores the need for adaptive forest management to mitigate the impacts of climate-induced stress on forest ecosystems.

Poster-Nr: 21

Einbruch der Nettokohlenstoffaufnahme in extremen Trockenjahren – Analysiert mit einem physiologisch-orientierten Modell

Rüdiger Grote¹, Pia Labenski¹, Hassane Mouthair¹, Ralf Kiese¹, Nadine Ruehr¹

¹*Institut für Meteorologie und Klimaforschung (IMKIFU), Karlsruhe Institut für Technologie, Garmisch-Partenkirchen, DE*

Die Waldökosysteme in Deutschland und der Welt werden zunehmend von extremen Trockenereignissen getroffen, die zu hohen Mortalitätsraten aber auch zu Einbrüchen in der Nettoprimärproduktion von überlebenden Beständen geführt haben. Da die Reaktionen auf komplexe Zusammenspiele verschiedener Einflüsse zurückgehen (Hitze, Trockenheit, verringerte Nährstoffaufnahme) und zugleich durch standorts- und bestandesspezifische Bedingungen verstärkt oder abgepuffert werden können, ist der Einfluss nicht durch empirisch basierte Modelle abzubilden. Daher wird diese Frage im Rahmen der deutschlandweiten Studie (Integriertes Treibhausgas-Monitoring System, ITMS) mit einem Modell angegangen, das die physiologischen und biogeochemischen Prozesse sowie deren Wechselwirkungen explizit abbildet. Hierbei ist zu bewerten wie groß die Unsicherheiten sind, die sich auf Grund unvollständig bekannter Initialisierungsbedingungen, Unterschieden in der Prozessbeschreibung, sowie der Parametrisierung an nur wenigen Standorten ergeben.

Für die oben genannten Bilanzierungen soll das LandscapeDNDC Modellsystem verwendet werden. Das Waldmodell wurde dafür mit einem neuen Modul zur Beschreibung des Wasserhaushaltes ausgerüstet, das eine höhere Sensitivität auf extreme Bodentrockenheit wie auch auf Lufttrockenheit aufweist. Diese Eigenschaften werden insbesondere unter Bedingungen von ‚heiß/trockenen‘ Verhältnissen als wichtig erachtet. Einige besonders sensitive Parameter sowohl für das neue, als auch das alte Wasserhaushaltsmodul wurden anhand von langjährigen Beobachtungszeitreihen an europäischen Intensivmessflächen für alle 4 Hauptbaumarten (Buche, Fichte, Eiche, Kiefer) kalibriert. Die Modellversionen wurden dann über definierte Perioden eingesetzt, in denen ausgeprägte Trockenheiten auftraten. Anschließend wurden die Ergebnisse mit Messwerten verglichen.

Die Simulationen zeigen, dass beide Module den Einbruch der Netto-Kohlenstoffproduktion in den Jahren 2018, 2019 und teilweise auch 2022 generell gut wiedergeben. Allerdings wird in der Regel die Geschwindigkeit der Erholung überschätzt. Tatsächlich lässt sich im Vergleich zwischen Messung und Modellierung erkennen, dass auf vielen Standorten die volle Leistungsfähigkeit nur mit einer Verzögerung wieder erreicht wird (legacy effect). Die Ergebnisse zeigen auch, dass eine Parametrisierung auf Einzelstandortsebene zu etwas besseren Abbildungen führt, als eine auf Artebene. Allerdings ist der Unterschied von einem einzelnen Fall abgesehen nur gering, was so interpretiert werden kann, dass das Modellsystem die unterschiedlichen Standortsbedingungen sehr gut in ihren Auswirkungen auf Kohlenstoff- und Wasserhaushalt repräsentieren kann. Von den Arten selbst werden die Entwicklungen der Buchen und Fichten besser getroffen als die der Eichen und Kiefern.

Poster-Nr: 22

Auswirkungen von Wetterextremen auf die Waldentwicklung im empirischen Waldwachstumsmodell FABio-Forest

Dr. Mirjam Pfeiffer^{1*}, Dr. Klaus Hennenberg¹, Mats Nieberg², Dr. Hannes Böttcher¹

¹ Öko-Institut e.V., Darmstadt, DE, *m.pfeiffer@oeko.de

² Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, DE

FABio-Forest ist ein empirisches Einzelbaummodell zur Simulation des Waldwachstums, basierend auf Daten der Bundeswaldinventuren (BWI-2 bis BWI-4). Das Modell umfasst Module für Baumzuwachs, Mortalität, Einwuchs, Totholzentwicklung und Bodenkohlenstoff. Treiber des Modells sind die Holznachfrage und Klimaparameter. Die Holzentnahme und Waldbewirtschaftung erfolgt nach detaillierten Bewirtschaftungsregeln (Durchforstungsstärken, Zielstärken, etc.). Um den Baumzuwachs in unserem empirischen Waldwachstumsmodell klimasensitiv zu implementieren, haben wir die bestehende Zuwachsfunktion um drei Klimavariablen erweitert. Als wachstumsbeeinflussende Klimavariablen berücksichtigen wir die klimatische Wasserbilanz der Vegetationsperiode, die Wachstumsgradtage über 5 °C und die mittlere Jahresstrahlung. Die artspezifischen, klimaabhängigen Zuwachsfunktionen wurden über die Periode 2003-2022 auf der Basis von Daten der Bundeswaldinventur parametrisiert und kalibriert.

Je nach Häufigkeit und Intensität von Wetterextremen können die Wetterbedingungen der Zukunft drastische Auswirkungen auf die Entwicklung von Waldbeständen haben. Um die Auswirkungen von jährlichen Wetterschwankungen und -extremen auf die Waldentwicklung zu analysieren, wurden zunächst jährliche Wetterbedingungen für die Umgebung der BWI-Aufnahmepunkte auf Basis historischer Daten generiert und in die Zukunft fortgeschrieben. Dabei wurden die räumlichen Muster der historischen Anomalien variiert, damit Wetterextreme nicht stets mit konstanter Intensität an den gleichen Orten auftreten. Als Experiment wurden drei Arten der Fortschreibung umgesetzt:

- 1) Fortschreibung bei Beibehalten der jährlichen Variabilität analog zu den Jahren 2003-2022;
- 2) Fortschreibung der mittleren Wetterbedingungen der Jahre 2003 bis 2022 (Annahme ohne jährliche Wetterschwankungen);
- 3) Fortschreibung bei Beibehalten der jährlichen Variabilität analog zu den Jahren 2013-2022 (Annahme extremerer Wetterbedingungen).

Wir zeigen die Wirkungen verschiedener Ausprägungen von Wetterextremen auf Zuwächse, Vorräte und CO₂-Senkenleistungen im Wald. Diese Informationen sind wichtig für die Abschätzung der Entwicklung der Treibhausgasbilanz von Wäldern in Deutschland. Dabei zeigt sich, dass die Berücksichtigung jahresscharfer Bedingungen notwendig ist, um verlässliche Aussagen zur Waldentwicklung treffen zu können.

Poster-Nr: 23

Einfluss von Sturmschäden und waldbaulicher Behandlung auf die Kohlenstoffbilanz einschichtiger Buchenbestände

Axel Albrecht^{1*}, Mathieu Fortin², François Ningre³, Ulrich Kohnle¹

¹ Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, DE,
*axel.albrecht@forst.bwl.de

² Canadian Wood Fibre Centre, Ottawa, Ontario, CA

³ INRAE Grand Est Nancy, Champenoux, FR

Aufgrund der potentiellen Abmilderung der Auswirkungen des Klimawandels durch Waldökosysteme hat die Kohlenstoffbilanzierung bewirtschafteter Wälder an wissenschaftlicher Aufmerksamkeit dazugewonnen. Einige AutorInnen kommen zu dem Schluss, dass eine Verlängerung der Umtriebsdauer den Effekt der Abschwächung des Klimawandels tatsächlich begünstigen würde, da im Durchschnitt mehr Kohlenstoff in der Biomasse gespeichert würde. Wenn jedoch das Auftreten katastrophaler Störungen wie Stürme nicht berücksichtigt wird, könnte der Vorteil einer Verlängerung der Umtriebsdauer für einige Arten überschätzt werden. In dieser Studie haben wir uns mit diesem Problem befasst, indem wir ein Waldwachstumsmodell, ein Sturmschadenmodell und ein Kohlenstoffbewertungstool gekoppelt haben. Die Entwicklung eines gleichaltrigen Bestandes an Rotbuchen (*Fagus sylvatica* L.) wurde bei drei verschiedenen Umtriebsdauern simuliert. Simulationen mit stochastischen Sturmereignissen wurden durchgeführt und mit deterministischen Simulationen ohne katastrophale Störungen verglichen.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die Kohlenstoffbilanz in manchen Fällen überschätzt wurde, wenn Störungen durch Stürme nicht berücksichtigt wurden, und dass diese Überschätzung mit der Rotationslänge zunahm. In unserer Fallstudie führte die Nichtberücksichtigung von Sturmschäden zu einer Überschätzung von bis zu 8 % bei der längeren Rotationslänge. Trotzdem speicherte die längere Rotationslänge im Durchschnitt immer noch mehr Kohlenstoff als die kürzere Rotationslänge, wenn Sturmschäden in der Simulation berücksichtigt wurden. Der durch die Erhöhung der Rotationslänge induzierte marginale Gewinn an Kohlenstoffspeicherung wurde jedoch reduziert.

Poster-Nr: 24

Zuwachsreaktion der Gemeinen Fichte auf Witterungsstress im Forstbezirk Bärenfels

Michael Körner^{1*}, Torsten Seltmann^{1*}

¹ *Staatsbetrieb Sachsenforst, Kompetenzzentrum für Wald und Forstwirtschaft, Pirna, DE*

* *michael.koerner@smekul.sachsen.de, *torsten.seltmann@smekul.sachsen.de.*

Beginnend mit dem Jahr 2018 hat sich der Kronenzustand der Hauptbaumarten im Freistaat Sachsen deutlich verschlechtert. Dies ist vor allem die Folge von großflächigen Störungen durch Stürme und Insektenkalamitäten in Verbindung mit anhaltend hohen Niederschlagsdefiziten, die auch in den Folgejahren nicht vollständig ausgeglichen werden konnten. Besonders betroffen war hierbei die Baumart Fichte, was sich in den sehr hohen Schadhohlmengen der vergangenen Jahre widerspiegelt. Neben dieser direkt sichtbaren Folge führt der Vitalitätsverlust auch zu Zuwachseinbrüchen, die in Verbindung mit der hohen flächenmäßigen Präsenz dieser Baumart (FoB Bärenfels 56,4 %) eine nicht zu unterschätzende waldbauliche und wirtschaftliche Bedeutung haben können. Um diese Zuwachsverluste zu quantifizieren, wurden für die vorliegende Untersuchung sechs Probeflächen in jungen (35 bis 45 Jahre) und mittelalten (60 bis 75 Jahre) Beständen angelegt. Der Standort wurde hinsichtlich des Ausgangsgesteins (Porphyry und Gneis) sowie der Höhenlage (430 bis 730 m ü. NN) variiert. Nach der Auswahl geeigneter Reinbestände erfolgte die ertragskundliche Untersuchung auf der Basis einer Vollklappung und mittels Methoden der Jahrringanalyse. Die hieraus abgeleiteten Einzelbaumzuwachsdaten konnten anschließend auf das gesamte Baumkollektiv einer Probefläche übertragen werden. Die Ergebnisse stellen Verluste für den Grundflächenzuwachs und den Volumenzuwachs auf Bestandesebene dar. Gegenüber mittelfristigen Zuwachsbetrachtungen, wie sie beispielsweise durch Stichprobeninventuren geliefert werden, ergeben sich auf der Basis der gewählten Methodik jährliche Informationen, die besonders die Extreme deutlich besser abdecken. Für den Betrachtungszeitraum von 2018 bis 2022, der insbesondere durch die hohen Niederschlagsdefizite geprägt war, ergeben sich für die Grundflächen Zuwachsverluste von bis zu -34,1 % sowie für die Vorräte von bis zu -37,3 %.

Poster-Nr: 25

Projektionen zur Rolle des Waldes in der Treibhausgas-Berichterstattung – Modell und Ergebnisse

Karsten Dunger^{1*}, Joachim Rock¹, Sascha Adam¹, Susann Bender¹

¹ *Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE, * karsten.dunger@thuenen.de*

Neben dem Emissionsinventar zu Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) fordern die einschlägigen Berichtspflichten der Bundesregierung in zunehmendem Maße auch Projektionen in die Zukunft, u.a. zur Wirkung des Waldes als potenzielle Netto-Senke oder Quelle für Kohlenstoff bzw. CO₂. Die Bundeswaldinventuren und die Kohlenstoffinventuren erfassen die Kohlenstoffvorräte in der lebenden Biomasse und im Totholz und bilden somit eine wichtige Grundlage sowohl für die retrospektive Berechnung dieser Wirkung, durch ihren Charakter als Wiederholungsinventuren aber auch Ansatzpunkte zur Fortschreibung mit Hilfe von Modellen. Solche Fortschreibungen legen die Grundlage dafür, mögliche Entwicklungen in der näheren Zukunft abzuschätzen und damit auch einen Beitrag zur Diskussion über mögliche Maßnahmen in Bezug auf die Klimaziele zu leisten. Seit einigen Jahren wird am Thünen-Institut ein einfaches Modell betrieben, das auf der Basis aufeinanderfolgender Zyklen der Bundeswaldinventur und der Zwischeninventuren und der dabei gemessenen Parameter die Entwicklungen in diesen Zyklen in die Zukunft projiziert und damit Abschätzungen ermöglicht, wie sich die Wirkung der Waldbestände bei Fortsetzung bereits beobachteter Veränderungen entwickeln könnte. Dabei stützt sich das Modell ausschließlich auf die gemessenen Daten und arbeitet nur mit sehr wenigen, grundsätzlichen und einfachen Annahmen, was zur Erklär- und Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse entscheidend beiträgt. Der Vortrag stellt das verwendete Modell, die genutzten Daten und die Ergebnisse vor und gibt damit einen Einblick in die Grundlagen der regelmäßig erstellten Projektionsberichte der Bundesregierung spez. für den Wald, die inzwischen zu einer wichtigen Grundlage der politischen Diskussion geworden sind.

Poster-Nr: 26

Einfluss der Bewirtschaftung auf die ökosystemaren C-Vorräte von Buchenwäldern: Vergleich von Wirtschafts- und Urwäldern in der Slowakei

Christoph Leuschner^{1*}, Jonas Glatthorn^{1,3*}, Eike Feldmann^{1,2*}

¹ Universität Göttingen, Abt. Pflanzenökologie, Göttingen, DE, *cleusch@gwdg.de

² Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Hann. Münden, DE, *eike.feldmann@nw-fva.de

³ Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, CH, *jonas.glatthorn@wsl.ch

Direkte Vergleiche der Kohlenstoffvorräte zwischen benachbarten, standortgleichen Ur-(Primär-)wäldern und Wirtschaftswäldern können helfen, die Debatte über die Bedeutung von unbewirtschafteten Naturwäldern für die Kohlenstoffbindung in Waldökosystemen zu versachlichen. Bisher existieren jedoch erst sehr wenige derartige Vergleiche. Wir präsentieren Ergebnisse einer umfassenden Studie in drei Paaren von Buchen-Urwäldern und benachbarten Wirtschaftswäldern in den slowakischen Karpaten zu den C-Vorräten in Biomasse, Totholz und Boden und zur Nettoprimärproduktion (C-Senkenfunktion) des Waldes.

Die Urwälder speicherten im Mittel 20 % mehr C in der lebenden Holzmasse (195 vs. 160 Mg C ha⁻¹), 4mal mehr C im Totholz (35 vs. 8 Mg C ha⁻¹) und 13 % mehr C im Boden (bis 50 cm) (117 vs. 104 Mg C ha⁻¹) als die Wirtschaftswälder kurz vor der Ernte. Insgesamt ergab sich ein um 27 % (= 75 Mg C ha⁻¹) höherer ökosystemarer C-Vorrat in den Urwäldern (347 vs. 272 Mg C ha⁻¹). Eine Extrapolation auf die Landschaftsebene müsste berücksichtigen, dass die Wirtschaftswälder gemittelt über alle Altersstadien geringere Biomassevorräte beherbergen als die hier für die Reifephase ermittelten 160 Mg C ha⁻¹; die Differenz zu den Urwäldern ist also im Mittel deutlich größer als 75 Mg C ha⁻¹.

Die jährliche oberirdische C-Bindung (NPP) war mit 5.5. Mg C ha⁻¹ a⁻¹ in Ur- und Wirtschaftswäldern gleich groß. Eine Abnahme der C-Senkenstärke in Richtung auf die Urwälder mit hohen Baumaltern ließ sich nicht feststellen. Die vielfach angenommene sinkende Produktivität alter Wälder wird also durch unsere Zahlen nicht bestätigt. Diese Ergebnisse sollten bei der Beurteilung der Rolle von Natur- und Urwäldern für den Kohlenstoffkreislauf berücksichtigt werden.

Poster-Nr: 27

Kohlenstoffvorräte und Stoffumsatzprozesse in nordrhein-westfälischen Naturwaldzellen

Jens Jakob Schaper ^{1*}, Michael Elmer ², Klaus Striepen ², Ute Hamer ¹

¹ *Institut für Landschaftsökologie, AG Bodenökologie und Landnutzung, Münster, DE,
jens.schaper@uni-muenster.de

² *Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, FB IV – Hoheit, Schutzgebiete, Umweltbildung,
Münster, DE*

Waldökosysteme spielen eine zentrale Rolle im Austausch von Kohlenstoff zwischen Atmosphäre und Biosphäre. Neben dem in der Holzbiomasse gespeicherten Kohlenstoff stellen die Waldböden einen weiteren wichtigen Speicher dar, der abhängig von den Standortfaktoren den Speicher der Holzbiomasse deutlich übertreffen kann.

In der Neuauflage des Forschungskonzeptes für Naturwaldzellen in Nordrhein-Westfalen spiegelt sich diese Bedeutung in einem stärkeren Fokus auf den Waldböden wider. Seit den frühen 1970er Jahren werden in Nordrhein-Westfalen Naturwaldzellen ausgewiesen, die seitdem einem Nutzungsverzicht unterliegen. 2022 wurden 16 Naturwaldzellen mit „Forschungsschwerpunkt“ identifiziert und seitdem einem intensiveren Monitoring unterzogen. Dabei repräsentieren je vier der 16 Naturwaldzellen die flächenmäßig häufigsten in Deutschland vertretenen Waldgesellschaften. Jede dieser Naturwaldzellen verfügt über 10 Stichprobenkreise auf denen das vertiefte Monitoring stattfindet. Bezüglich des Waldbodens sollen in einem 10-jährig wiederkehrenden Rhythmus die Kohlenstoffvorräte und weitere wichtige Bodenparameter der organischen Auflagen sowie des Mineralbodens bis in 60 cm Tiefe untersucht werden. Im Jahr 2024 erfolgten für diese erste Messkampagne die Probennahme im Gelände, sowie die Analysen im Labor. Dabei wurden alle Proben in Anlehnung an die Bodenzustandserhebung III genommen und analysiert und im mineralischen Oberboden zusätzlich Parameter der mikrobiellen Biomasse gemessen.

Mithilfe dieses Datensatzes werden die Kohlenstoffspeicher der Naturwaldzellen in Nordrhein - Westfalen quantifiziert. Dabei werden besonders bodenökologischer Prozesse und die mikrobielle Biomasse berücksichtigt, die nach neuen Erkenntnissen eine zentrale Rolle nicht nur in der Umsetzung von organischer Streu, sondern auch bei der Bildung organischer Bodensubstanz spielt. Auch kann die aktuelle Basensättigung der Wälder unter Nutzungsausschluss adressiert werden. Langfristig könnten Veränderungen im Kohlenstoffspeicher, der Basensättigung und in bodenökologischen Prozessen beobachtet werden. Die Naturwaldzellen dienen dabei als wichtige Referenz unter Nutzungsausschluss, die Rückschlüsse auf bewirtschaftete Wälder zulässt.

Nun werden die Ergebnisse zum Kohlenstoffspeicher in nordrhein-westfälischen Naturwaldzellen vorgestellt.

Poster-Nr: 28

Totholzentwicklung in Naturwaldreservaten von Buche, Eiche und Fichte unter verschiedenen Klimaverhältnissen

Markus, Blaschke^{1*}, Margret Frischhut^{1,2}, Angela Siemonsmeier^{1,3}

¹ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Freising, DE,
*markus.blaschke@lwf.bayern.de

² Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Weidenbach, DE

³ Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg, Rottenburg a.N., DE

Das im Wald verbleibende Totholz stellt einen messbaren Beitrag zur Kohlenstoffbilanz in Wäldern dar. Insbesondere auch in Wäldern mit natürlicher Entwicklung kann der im Totholz gebundene Kohlenstoff durchaus auch einen größeren Anteil an der Gesamtkohlenstoffmasse ausmachen. Im Rahmen der zu erwartenden Änderungen im Klimawandel, werden unterschiedliche Entwicklungen von Totholz über die Zeit erwartet. Um eine Einschätzung über die Zersetzung von Totholz unter verschiedenen Klimabedingungen zu analysieren, wurden in 25 bayerischen Naturwaldreservaten umfangreiche Aufnahmen zu stehendem und liegendem Totholz durchgeführt. Dazu wurden auf den rund einen Hektar großen Repräsentationsflächen der Naturwaldreservate alle liegenden Totholzstämmen mit einem Mittendurchmesser von 10 cm und alle stehenden Totholzstämmen über sieben cm BHD erfasst. Die Entwicklung der einzelnen Totholzkompartimente konnte im Vergleich zu den Vorinventuren analysiert werden. Daraus konnten insbesondere für die drei im Fokus stehenden Baumarten Fichte, Buche und Eiche Zersetzungskonstanten für drei Höhenstufen ermittelt werden.

Insgesamt haben sich in den untersuchten Flächen seit der Ausweisung der Naturwaldreservate im Jahr 1978 durchschnittliche Totholzvorräte von rund 150 m³/ha angesammelt. Damit waren die Totholzvorräte gegenüber den ersten Aufnahmen in den 1990er Jahren praktisch um 50 % angewachsen. Die jetzt erfassten Mengen reichten von 20 bis 432 m³/ha. Die geringsten Totholz-mengen wurden in Eichenwäldern der unteren Höhenstufe (bis 400 m ü. NHN) beobachtet, während die höchsten Mengen in Bergmischwäldern der mittleren Höhenstufen (401-800 m ü. NHN) zu verzeichnen waren.

Über alle Flächen gemittelt, zeigte für liegendes Totholz die Buche mit 0,081 die höchste Zersetzungskonstante, während die Raten für Eiche und Fichte mit 0,055 bzw. 0,056 auf demselben Niveau lagen. Die Konstanten für stehendes Totholz lagen dagegen deutlich unter den Werten für das liegende Totholz.

Mit einer Faktorenanalyse zur Zersetzungskonstante unter verschiedenen Klima- und Bestandesbedingungen konnte gezeigt werden, dass Totholz in lichten Beständen der Tieflagen weniger rasch zersetzt wird. Demgegenüber nahm in lichten Beständen der Hochlagen die Zersetzung signifikant zu.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Zersetzung von Totholz unter unterschiedlichen Klimabedingungen auch unterschiedlich abläuft. Somit sind auch unter den Auswirkungen des Klimawandels veränderte Entwicklungen zu erwarten. Es wird aber auch deutlich, dass durch die Waldbewirtschaftung eine Steuerung der Totholzzersetzung, insbesondere durch die Wahl der Baumarten als auch durch die Lichtsteuerung, in den Beständen erfolgen kann.

Poster-Nr: 29

Integration von Totholz in Verfahren der Direktsaat von Weißtanne (*Abies alba*) und Stiel-Eiche (*Quercus robur*) zur Begründung stabiler, klimatoleranter Mischwaldökosysteme im Stadtwald Hildburghausen (IntegSaat)

Kim Wagner^{1*}, Alexander Tischer^{1,2,3}, Thomas Medicus^{2,4}, Markus Bernhardt-Römermann^{2,4}, Beate Michalzik^{1,2}

¹ Professur für Bodenkunde, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, DE, *kim.wagner@uni-jena.de

² Deutsches Zentrum für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, DE

³ Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (ThüringenForst AöR), Gotha, DE

⁴ Institut für Biodiversität, Ökologie und Evolution, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, DE

Im Projekt IntegSaat wurde untersucht, inwiefern Totholz als wichtiges Strukturelement und temporärer Kohlenstoffspeicher in Wäldern in die Durchführung der Saat zur Etablierung klimatoleranter Mischwälder praktisch einbezogen werden kann. Im Detail wurde erhoben, welche Effekte sich dadurch für die Speicherung von Kohlenstoff, den bodenchemischen Zustand, das Mikroklima, die Etablierung/Entwicklung der Saaten im Rahmen der Mischwaldbegründung und die Diversität der Pflanzen ergeben. Das Totholz stammt dabei aus Durchforstungen und wurde bisher verfahrenstechnisch bedingt auf die Rückgassen verbracht bzw. ist Kalamitätsholz.

Durch die Einrichtung von Dauerbeobachtungsflächen wird hierzu eine mittel- bis langfristige ökologische und ökonomische Bewertung ermöglicht, sowie ein Flächenpool an Demonstrationsflächen für den Wissenstransfer generiert.

Es wurden Standorte, die a) von besonderer Bedeutung für die Kohlenstoffspeicherung im Boden (Pseudogleye), b) basenarm und versauert, also sensitiv für Nährstoffentzüge (podsolierte Braunerden) sowie c) aufgrund geringer Bodenmächtigkeit an Hängen besonders von klimawandelbedingter Reduktion der Sommerniederschläge betroffen sind, in die Versuche zur Mischwaldbegründung einbezogen. Dadurch können standortspezifische waldbauliche Handlungsempfehlungen, die bodenschutz- und naturschutzfachliche Aspekte berücksichtigen, abgeleitet werden. Verfahrenstechnisch soll im geplanten Vorhaben neben dem etablierten Zugmittel Pferd der Einsatz einer forstlichen Kleinraupe am Scheibenräumgerät zur Saatbettherstellung getestet werden. Dadurch werden der Vergleich der Auswirkungen auf den Boden sowie der Test der generellen Einsatzbarkeit auf Flächen mit Totholz ermöglicht.

Die Untersuchungen beinhalten die Saat von Weißtanne und Stieleiche in 2 aufeinander-folgenden Jahren auf insgesamt 24 ha (12 Flächen). Jede Fläche ist durch eine Totholz- und eine Kontrollvariante gekennzeichnet. Die Entwicklung der Saaten, des Mikroklimas, des Bodens und der Pflanzendiversität wurde quantitativ und wiederholt erhoben.

Der Posterbeitrag stellt zusammenfassend die wesentlichen bisherigen Ergebnisse dar.

Poster-Nr: 30

Potentiale und Steuerungsgrößen beim Belassen von Totholz zur Anreicherung von Bodenkohlenstoff

Peter Stiasny¹, Lisa Rubin², Friederike Lang¹, Heike Puhmann²

¹ *Universität Freiburg, Professur für Bodenökologie, Freiburg, DE*

² *Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Abteilung Boden und Umwelt, Freiburg, DE*

Das Verbundprojekt TotC/Livewood (FVA/Uni Freiburg) beschäftigt sich mit dem Einfluss liegenden Totholzes auf organischen Kohlenstoff in den Bodenkompartmenten Fest-/Flüssig- und Gasphase. Die Flüssig- und Gasphase wird durch Lisa Rubin (FVA-BW) bearbeitet und vorgestellt. Insgesamt wurden 24 über Baden-Württemberg verteilte Versuchsflächen mit jeweils vier Totholzstämmen untersucht. Im vorliegenden Vortrag werden die Unterschiede in Kohlenstoffkonzentrationen- und -vorräten zwischen Totholz-beeinflussten und -unbeeinflussten Böden aufgezeigt. Zur Erklärung der Unterschiede bzw. Eintragswege werden im Anschluss verschiedene direkte und indirekte Effekte diskutiert: Hierzu zählt sowohl der direkte Eintrag aus dem Holz als auch Effekte wie ein verändertes Wurzelwachstum umliegender Bäume oder eine erhöhte Bioturbation der Bodenlebewesen. Schließlich wird durch gemischte Modelle der Einfluss von Standorts- und Bestandesparametern auf die Höhe der Kohlenstoffanreicherung dargelegt. Hierüber können jene Faktoren identifiziert werden, die einer waldbaulichen Gestaltung unterliegen. Schlussendlich können hieraus Empfehlungen abgeleitet werden, wie entweder die Bestandesgestaltung optimiert oder Standorte zum Belassen von Totholz gewählt werden können, so dass die C-Speicherung im Totholz-beeinflussten Boden maximiert wird.

Poster-Nr: 31

Kohlenstoffflüsse im Sickerwasser unter dem Einfluss von Totholz

Lisa Rubin^{1*}, Peter Stiasny², Heike Puhlmann¹, Friederike Lang²

¹Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg i. Br., DE

*lisa.rubin@forst.bwl.de

²Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Professur für Bodenökologie, Freiburg i. Br., DE

Totholz spielt nicht nur aus naturschutzfachlichen Gründen eine zentrale Rolle in Waldökosystemen, sondern insbesondere auch in Bezug auf die Speicherung und Freisetzung von Kohlenstoff. Während des Abbauprozesses freigesetzter Kohlenstoff kann in gelöster Form als DOC (Dissolved Organic Carbon) in den Boden transportiert werden und dort die Kohlenstoffflüsse im Sickerwasser beeinflussen. Im Projekt „TotC“ (Waldklimafonds, FKZ: 2219WK07A4) wurden über einen Zeitraum von knapp drei Jahren in regelmäßigem Turnus an unterschiedlichen Standorten Sickerwasserproben unter liegendem Totholz und auf benachbarten Kontrollflächen entnommen. Ziel war es, ein besseres Verständnis über die ablaufenden Prozesse zu gewinnen und Einflussfaktoren auf die DOC-Dynamiken zu identifizieren. Dafür wurden zusätzlich weitere, für die stofflichen Umsatzprozesse im Boden essentielle Parameter, wie beispielsweise die Bodenfeuchte und -temperatur, sowie chemische Eigenschaften des Bodens, erfasst.

Die Einflüsse der erhobenen Parameter auf die DOC-Konzentration in unterschiedlichen Tiefenstufen wurden mittels linearer gemischter Modelle (Linear Mixed Effect Models) getestet. Die Ergebnisse belegen, dass DOC ein wesentlicher Exportpfad für Kohlenstoff aus dem Totholz ist. Die Freisetzung wird dabei maßgeblich von der Baumart und der Dimension des Totholzes beeinflusst. Als weitere, signifikante Einflussfaktoren auf die DOC-Konzentration im Boden stellten sich die Bodenfeuchte, Bodentemperatur und der pH-Wert heraus. Auf nährstoffärmeren und schlechter mit Wasser versorgten Standorten war der Einfluss des Totholzes auf die Kohlenstoffflüsse im Sickerwasser größer. Um eine Aussage zur Quellen- bzw. Senkenfunktion von Totholz machen zu können, werden zusätzlich CO₂-Flüsse und der Kohlenstoff in der Bodenfestphase quantifiziert.

Poster-Nr: 32

Microclimate and lignin decay in buried, downed and standing deadwood

Lilian Benz^{1*}, Kenton Stutz¹, Helmer Schack-Kirchner¹

¹Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, DE, * lilian.benz@bodenkunde.uni-freiburg.de

Totholz ist ein wichtiger Speicher von Kohlenstoff in Waldökosystemen. Bislang ist jedoch unklar, inwieweit Totholz in zukünftigen Wäldern, die von Klimawandel und Störungen wie Dürre betroffen sind, stabil bleibt. Vergrabenes Totholz, eine wichtige, jedoch wenig erforschte Form von Totholz, könnte in zukünftigen Wäldern instabil sein, da das dort vorherrschende Mikroklima und die verfügbaren Nährstoffe den Abbau von Lignin – einem zentralen Faktor im Zersetzungsprozess von Totholz – begünstigen könnten.

Im Rahmen einer sechsmonatigen proof-of-concept Studie ist es unser Ziel, Methoden zu entwickeln, um das Mikroklima von vergrabener Totholz im Vergleich zu liegendem und stehendem Totholz zu untersuchen sowie den in situ abgebauten Ligninanteil zu analysieren. Unsere Hypothese lautet, dass der Abbau von Lignin und Holz bei liegendem Totholz am stärksten ausgeprägt ist, gefolgt von vergrabener und stehendem Totholz.

Zu diesem Zweck werden Fichtenscheiben (*Picea abies*) mit Feuchtigkeits-, Temperatur- und Lichtsensoren ausgestattet und im Forstbotanischen Garten Freiburg unter natürlichen Bedingungen zersetzt. Eine neuartige Form von Feuchtemesssensoren wurde speziell für diese Studie entwickelt und auf ihre Eignung zur Untersuchung organischen Materials getestet. Der Ligninabbau wird mithilfe von osmotischen Saugkerzen untersucht und anschließend durch Elektrophorese analysiert.

Die entwickelten Methoden sollen als Grundlage für zukünftige Forschungsprojekte zum Ligninabbau und Mikroklima von Totholz dienen, insbesondere im Kontext veränderter Waldbewirtschaftungsmaßnahmen, bei denen das Belassen von Totholz zunehmend in den Fokus rückt. Die Ergebnisse könnten zudem einen wertvollen Beitrag zur Untersuchung des Waldbodens und anderer bodenbezogener Studien leisten.

Poster-Nr: 33

Auswirkungen unterschiedlicher Totholzmanagementstrategien auf bodenökologische Eigenschaften von gestörten Fichtenbeständen im Harz

Dorothea Peter^{1*}, Alexander Tischer^{1,2}, Karin Potthast¹, Beate Michalzik¹, Markus Bernhardt-Römermann³

¹ *Institut für Geografie, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, DE, * dorothea.peter@uni-jena.de*

² *Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (ThüringenForst AöR), Gotha, DE*

³ *Institut für Ökologie und Evolution, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, DE*

Die Auswirkungen extremer Wetterereignisse (Dürreperioden, Hitzewellen, Stürme) und die damit verbundene Intensivierung des Borkenkäferbefalls in Fichtenwäldern haben in den letzten Jahren zu einem erheblichen Verlust von Fichtenbeständen in Thüringen und anderen Regionen in Deutschland geführt. Für die Bewirtschaftung der gestörten Flächen gibt es mehrere Möglichkeiten, wobei die Vor- und Nachteile der einzelnen Optionen noch nicht eindeutig geklärt sind. Um die Auswirkungen spezifischer Verfahren zur Totholzbewirtschaftung auf die ökologischen Bedingungen und die anschließende Wiederaufforstungsdynamik zu bewerten, richtete das ResEt-Fi-Konsortium einen überregionalen Feldversuch ein. Ein verschachtelter Versuchsplan integriert dabei verschiedene waldbauliche Strategien für den Umgang mit gestörten Flächen. Dazu gehören vollständig beräumte Flächen, Hochstubben und Dürrständer-Inseln, die mit ungestörten Flächen als Kontrolle verglichen werden.

Um die Auswirkungen der Totholzmanagementstrategien auf die Funktionen des Oberbodens zu bewerten, wurden die verschiedenen Bewirtschaftungsvarianten in drei Regionen des Südharzes beprobt. Von besonderem Interesse sind der Umsatz und die Speicherung organischer Substanz. Der ökologische Zustand des Bodens wird anhand verschiedener Bodeneigenschaften, wie der Kohlenstoffkonzentration, und bodenbiologischen Merkmalen, wie mikrobiellem Kohlenstoff (Cmic) und Stickstoff (Nmic), bewertet. Die Basalatmung wurde über eine siebentägige Inkubationszeit quantifiziert. Durch die feine Unterteilung der organischen Auflage in mehrere Teilschichten und die mineralischen Bodenschichten kann ein bodenökologisches Gefälle von der Oberfläche bis zum Untergrund dargestellt werden. Dies gibt Aufschluss über die vertikale Verteilung dieser Bodeneigenschaften im Zusammenhang mit der Vegetationsdynamik und den waldbaulichen Praktiken.

Poster-Nr: 34

Abgestorbene Fichtenreinbestände in mittlerem Bestandesalter – Potenziale des Totholzmanagements (PoToMa)

Karin Potthast^{1*,2}, Alexander Tischer^{1,3}, Dorothea Peter¹, Markus Bernhardt-Römermann^{2,4},
Beate Michalzik^{1,2}

¹ Professur für Bodenkunde, Friedrich-Schiller-Universität, Jena, DE, * karin.potthast@uni-jena.de

² Deutsches Zentrum für Integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig, DE

³ Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum (ThüringenForst AöR), Gotha, DE

⁴ Institut für Biodiversität, Ökologie und Evolution, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, DE

Die anhaltenden Auswirkungen des Klimawandels und die auftretenden Witterungsextreme stellen auch für die Waldökosysteme in Deutschland eine enorme Belastung dar. Regional tritt das großflächige Absterben von Waldkomplexen in den Vordergrund, insbesondere wenn diese von homogenen Fichtenreinbeständen dominiert werden. Im Gebiet des Freistaats Thüringen wiesen zwischen 2019 und 2020 rund 17 % der Nadelbaumbestände bereits starke Schäden auf oder befanden sich in Auflösung. Diese Entwicklungen sind mit hohen Totholzvorkommen in mittelalten Beständen (21-60 Jahre) verbunden, deren wirtschaftliche Bedeutung für Forstbetriebe und Waldbesitzer groß ist. Das Projekt hat zum Ziel, Konzepte und Strategien auf der Basis ökosystemarer Kenngrößen für den Umgang mit diesen Totholzvorkommen zu entwickeln. Aufgrund zunehmender Unsicherheit präferieren bisherige Konzepte meist die Beräumung und künstliche Wiederbewaldung der Flächen, um die weiteren wirtschaftlichen Schäden gering zu halten. Mit Blick auf die vielfältigen Ökosystemleistungen der Wälder wie die Speicherung von Kohlenstoff und die Bereitstellung von Wasser und unter Berücksichtigung der natürlichen Regenerationsfähigkeit gestörter Flächen liegt der Schwerpunkt des Gesamtprojekts auf der Entwicklung praxisrelevanter Handlungsempfehlungen und Entscheidungsoptionen im Umgang mit Totholz in der Wiederbewaldung. Im Teilvorhaben 1 werden umfangreiche standorts- und vegetationsökologische Informationen erfasst und hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von den flächenspezifischen Totholzvarianten (beräumt, unberäumt – liegend und stehend) geprüft.

Zudem wird die Kommunikation mit der forstlichen Praxis im Landeswald sowie anderen Waldbesitzern organisiert und entsprechende Schulungsmöglichkeiten im Umgang mit solchen Kalamitätsflächen erarbeitet und durchgeführt. Dauerhaft ist die Nutzung der Versuchsflächen als Demonstrationsobjekte geplant mit dem Ziel, die Entwicklung und weitere Behandlung der Flächen zu erfassen/zu steuern und zu demonstrieren.

Dieser Beitrag stellt das Projekt, den Versuchsaufbau und die wesentlichen Methoden zur Analyse der Effekte des Totholzmanagements auf die Bodenkohlenstoffspeicherung und den Umsatz vor.

Poster-Nr: 35

Auswirkungen einer Waldkalkung auf den Bodenzustand und Holzabbau von Kiefernforsten in Brandenburg

Jens Hannemann¹, P. Borowy, M. Erdmann², I. Krahl⁴, S. Lautner³, M. Möhring³, K. Näthe⁶, U. Pommer¹, N. Rangno⁵, S. Reichhardt¹, W. Riek^{1,2}, P. Schumacher², Ch. Siewert⁴, A. Tischer⁶, R. Kätzel¹

¹ Landesbetrieb Forst Brandenburg (LFB), Landeskompetenzzentrum, Forst Eberswalde (LFE), Eberswalde, DE

² MPA Eberswalde, Materialprüfanstalt Brandenburg GmbH, Eberswalde, DE

³ HNE Eberswalde, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, DE

⁴ HTW Dresden, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Dresden, DE

⁵ IHD Dresden, Institut für Holztechnologie Dresden gemeinnützige GmbH, DE

⁶ FSU Jena, Friedrich-Schiller-Universität Jena, Jena, DE

Die Beteiligung des Landes Brandenburg am Länder-Verbundprojekt „Modellvorhaben zur Förderung von Maßnahmen zur nachhaltigen Nährstoffversorgung und Gesunderhaltung von Wäldern“, das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) in den Jahren von 2015 bis 2017 gefördert wurde, war Ausgangspunkt für die Erforschung der bodenökologischen Auswirkungen einer Waldkalkung in Kiefernforsten. Im Mittelpunkt des Vorhabens stand dabei die Etablierung eines Monitorings auf ausgewählten Inventurpunkten der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE). Eine wichtige Auswertungsgrundlage bildeten dabei die gewonnenen Analysedaten zu chemischen Kenngrößen der Bodenfest- und Bodenlösungsphase sowie zum Baumernährungszustand auf paarweise (gekalkt / nicht gekalkt) angelegten Versuchspartellen. Arbeitsschwerpunkt war u. a. auch die Erfassung des zeitlichen Verlaufs der bodenchemischen Effekte (vor/nach der Kalkung), insbesondere des Sickerwassers, in verschiedenen Tiefenstufen des Bodens. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Holzersetzung, als wichtiger Teilprozess des Stoffkreislaufs in Wäldern, im Projekt HolzDeko (gefördert durch den Waldklimafonds) durchgeführt. Es sollte geprüft werden, ob ein beschleunigter mikrobieller Umsatz nach Kalkung festzustellen ist. Hauptversuchsgegenstand waren in den Boden gebrachte Prüfkörper der Holzarten Kiefer und Buche. Neben der Erfassung des Status quo einer standörtlich differenzierten, unterirdischen Holzersetzung stützt sich der Ansatz dabei auf die Charakterisierung einer Auswahl von weiteren durch eine Kalkung veränderten Umweltfaktoren und der in der Folge typisch auftretenden Erscheinungen und Variationen in der Holzersetzung. Er leistet damit einen Beitrag zur Klärung der Prozesse und Mechanismen im Ursache-Wirkungs-Komplex der stofflichen und strukturellen Transformation des Holzes und der Speicherung von Kohlenstoff im Boden. Im Projekt wurden diagnostische Methoden angewendet, die für eine weitestgehend standardisierte Bewertung und Quantifizierung der Holzersetzung im Boden, auch für bereits etablierte Monitoringkonzepte, in Frage kommen könnten. Das Methodenportfolio reicht dabei von der visuellen/physikalischen Begutachtung der Holzprüfkörper, der mikroskopischen Untersuchung holzanatomischer Veränderungen, der mikrobiellen und molekularen Pilzdiagnostik, von thermogravimetrischen Analysen bis hin zur Bestimmung von Aktivitäten und Kinetiken von am Holzabbau beteiligter extrazellulärer Enzyme. Zudem wurden Bodenproben der Untersuchungsflächen auf holzersetzen Pilze molekular-diagnostisch untersucht. Verallgemeinerbare Rückschlüsse auf einen Zusammenhang zwischen dem chemischen Zustand, dem hydrologischen Milieu und dem Holzabbau im Boden können derzeit nicht gezogen werden. Die bisherigen Ergebnisse zeigen, dass zwar Kalkungseffekte in den obersten Tiefenstufen des Bodens nachweisbar sind, diese aber nicht eindeutig zu einer gesteigerten mikrobiologischen Aktivität führen.

Das Projekt HolzDeko wurde gefördert durch: Waldklimafonds, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Förderkennzeichen: 2218WK3A4-F4, Projektzeitraum 01.05.2020 - 30.04.2023

Poster-Nr: 36

Unravelling fine root biomass responses to liming: Evidence from long-term experimental plots in mature German forests

Oliver van Straaten^{1*}, Larissa Kulp¹, Dan Paul Zederer², Ulrike Talkner¹

¹ *Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE, *oliver.straaten@nw-fva.de*

² *Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Nossen, DE*

Hundreds of thousands of hectares of forest have been limed in Germany over the past few decades to counteract soil acidification. Lime applications cause a cascade of biogeochemical changes in the ecosystems, affecting nutrient cycling dynamics, tree growth, and rooting dynamics. To evaluate the how forest liming effects fine root biomass (FRB) dynamics, we used a paired-plot experimental design to compare FRB in limed plots with adjacent unlimed plots. In this study we investigated liming effects on (1) the magnitude of FRB changes, (2) liming effects on FRB depth allocations, and (3) we attempted to disentangle the drivers regulating FRB response to liming. In total we sampled at 15 long-term experimental sites, down to 60 cm soil depth in both broadleaf and evergreen forests across Germany.

Fine root biomass in the forest floor layer, exhibited an exponential relationship with pH, where inherently acidic sites (pH < 4) had exponentially higher FRB than moderately acidic sites (pH 4 - 6). The application of lime accordingly reduced FRB by 64 % in the forest floor layer, which was predominantly driven by large FRB reductions at the acidic sites. Although the liming-induced changes in FRB were most pronounced in the forest floor layer, the same trend was also evident in the mineral soil. We suspect that the FRB reductions reflects the fact that trees regulate their fine root network size to correspond to the availability of nutrients (i.e. calcium and magnesium) that limit tree growth. Specifically, this means that the application of lime will have improved soil nutrient availability, thereby alleviating nutrient limitations and accordingly trees did not need to invest as heavily into FRB. In contrast to other studies, we did not find evidence that aluminum toxicity curtailed root biomass at the very acidic sites. We also did not find evidence of root redistributions in the soil profile as a result of liming.

Lastly, at a small number of our experimental sites we also recorded slight FRB increases as a result of liming. We attribute this to liming-induced tree productivity gains, which likely reflects how over an extended period of time the more productive limed stands developed larger root systems, than the control paired plot.

Poster-Nr: 37

Bodenfeuchte – eine entscheidende Einflussgröße der Wirkung von Totholz auf die Kohlenstoffdynamik im Boden naturnaher Buchenwälder?

Robin Schäfferling^{1*}, Eric Zeidler¹, Alina Azekenova¹, Gabriela Fontenla-Razzetto¹, Alexandra Koller², Patrick Wordell-Dietrich¹, Lilli Zeh, Britt Kniesel³, Stefan Julich⁴, Kenton Stutz⁵, Karl-Heinz Feger¹, Goddert von Oheimb², Karsten Kalbitz¹

¹ *Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE*

**robin.schaefferling@tu-dresden.de*

² *Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE*

³ *Institut für Forstbotanik und Forstzoologie, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE*

⁴ *Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, DE*

⁵ *Professur für Bodenökologie, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Freiburg i.Br., DE*

Totholz ist ein essenzieller Bestandteil intakter Waldökosysteme. Es ist ein Hotspot der Biodiversität, kann zur Wasserretention beitragen und übt einen komplexen Einfluss auf unterschiedliche Bodenfunktionen aus, beispielsweise auf die Qualität und Quantität der organischen Bodensubstanz. Ob Totholz einen positiven Beitrag zur Kohlenstoffspeicherung in Waldböden leistet und welchen Einfluss dabei standortspezifische Parameter haben, ist bisher nicht umfassend erforscht. Wir fragen daher, wie sich die Wirkung von Totholz auf den Aufbau und die Stabilisierung der organischen Bodensubstanz in Abhängigkeit von der Bodenfeuchte verändert.

Die Untersuchung wurde als Teil des BENEATH-Projekts in einem naturnahen Buchenwald in der Dübener Heide durchgeführt. Am Hang einer Altmoräne wurden 3 Monitoringstandorte (nass, intermediär, trocken) entlang eines natürlichen Bodenfeuchtegradienten angelegt. An allen Standorten wurden in drei Tiefenstufen (0–10 cm, 10–20 cm, 20–30 cm) ungestörte Bodenproben direkt unter stark zersetztem Totholz und Referenzproben (in 2 m Entfernung zum Totholz) entnommen. Mit Saugkerzen (in 5 cm und 20 cm Tiefe) wurde Bodenlösung unter Totholz und auf Referenzflächen gewonnen. Für alle Proben wurden Kohlenstoff- (C) und Stickstoffgehalte bestimmt. Für die Bodenproben wurde die Größe unterschiedlich stabilisierter C-Pools mittels Dichtefraktionierung ermittelt. Die Bodenrespiration wurde monatlich durch Kammermessungen auf totholzbeeinflusstem Boden und auf Referenzflächen gemessen sowie der volumetrische Wassergehalt und die Temperatur kontinuierlich mit SMT100 Sensoren erfasst. Die höchsten Gehalte an organischem C (Corg) im Boden und die stärksten Veränderungen durch Totholz finden sich zwischen 0 und 10 cm Tiefe. Am nassen und am trockenen Standort hat Totholz einen positiven, am intermediären Standort einen negativen Einfluss auf den Corg Gehalt. Die C-Stabilisierung wird nicht beeinflusst. Die Konzentration an gelöstem Corg in der Bodenlösung ist unter stark zersetztem Totholz höher als auf der Referenzfläche. Auf der nassen Fläche wurden insgesamt die höchsten Werte gemessen. Die Bodenrespiration ist am nassen und am trockenen Standort unter Einfluss von Totholz im Vergleich zur Referenz erhöht. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Effekt von Totholz auf die C-Dynamik entscheidend von der Bodenfeuchte abhängt. Besonders von Bedeutung scheint die Beeinflussung des Bodenwasserhaushalts durch das Totholz selbst zu sein. Wahrscheinlich führen Änderungen in der Bodenfeuchte (durch Totholz oder die Bodeneigenschaften) zu Änderungen in der mikrobiellen Aktivität mit Auswirkungen auf die Intensität von Prozessen wie dem mikrobiellen Abbau von organischer Bodensubstanz oder der Freisetzung von Corg aus Totholz oder Streu.

Unsere Untersuchungen sollen dazu beitragen die Rolle von Totholz im C-Kreislauf von Waldböden besser zu verstehen. Sie können Hinweise für eine präzisere Bilanzierung der C-Flüsse in Wäldern sowie für eine klimabewusstere Waldbewirtschaftung liefern.

Poster-Nr: 38

Der Beitrag von Feinwurzeln zur Kohlenstoffspeicherung im Boden in einem naturnahen Buchenwald unter Einbezug der Bodenfeuchtebedingungen

Alexandra Koller^{1*}, Alina Azekenova², Patrick Wordell-Dietrich², Robin Schäfferling², Stefan Julich³, Karsten Kalbitz², Karl-Heinz Feger², Goddert von Oheimb¹

¹ *Institut für Allgemeine Ökologie und Umweltschutz, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE*
**alexandra.koller@tu-dresden.de*

² *Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Technische Universität Dresden, Tharandt, DE*

³ *Professur für Landschaftskunde, Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, DE*

Baumwurzeln nehmen eine zentrale Rolle im globalen Kohlenstoffkreislauf ein. Insbesondere Feinwurzeln (< 2 mm Durchmesser) leisten durch ihre hohe Biomasseproduktion und schnellen Umsatzraten einen wesentlichen Beitrag zur Speicherung von Kohlenstoff (C) im Boden, sind jedoch nur wenig erforscht. Diese Studie untersucht den potenziellen Beitrag der Feinwurzeln der Rotbuche (*Fagus sylvatica* L.) zur C-Speicherung bei unterschiedlichen Bodenfeuchtebedingungen.

Entlang eines natürlichen Bodenfeuchtegradienten in einem naturnahen Altbuchenbestand wurden drei Untersuchungsflächen mit unterschiedlicher Ausprägung des Wasserangebots im Boden (trocken, intermediär, nass) angelegt. Es wurden Bodenproben entnommen, in denen die Biomasse der Feinwurzeln (Durchmesser < 2 mm) ermittelt sowie der C-Gehalt der Feinwurzeln mittels Elementaranalyse bestimmt wurde. Zusätzlich wurde mittels „sequential coring“ die Feinwurzelproduktion und -Umsatzrate bestimmt. Wir erwarteten, dass die Bodenfeuchte einen entscheidenden Einfluss auf die Feinwurzelproduktion und somit die potentielle C-Speicherung im Boden hat und die Feinwurzelproduktion der Buche mit abnehmender Bodenfeuchte abnimmt. Um die Feinwurzelproduktion, d.h. eine erhöhte Umsatzrate, bei abnehmendem Wasserangebot auszugleichen, erwarteten wir einen Anstieg der Feinwurzelproduktion unter trockenen Bodenbedingungen.

Die Untersuchungen zeigten, dass sich die Biomasse der Feinwurzeln signifikant zwischen den Bodenfeuchtestufen unterscheidet. Der nasse Standort wies die höchste Feinwurzelproduktion auf, während der trockene Standort die geringste Biomasse aufwies. Die Feinwurzelproduktion nahm mit der Bodentiefe ab, ebenso der Kohlenstoffgehalt. Die Feinwurzelproduktion war auf dem nassen und intermediären Standort höher als auf dem trockenen. Der trockene Standort wies jedoch den höchsten Feinwurzelproduktion auf.

Die Ergebnisse liefern Hinweise auf das Adaptions- und Mitigationspotential naturnaher Buchenwälder im Kontext des Klimawandels. Die geringe Feinwurzelproduktion in Kombination mit einer hohen Umsatzrate auf dem trockenen Standort verdeutlicht die Sensitivität der Buche gegenüber Trockenstress und zeigt einen potenziell hohen Beitrag der Feinwurzeln zur C-Speicherung im Boden.

Poster-Nr: 39

Tree Diversity and N+P addition effects on fine root growth

Friderike Beyer^{1*}, Dai Saito^{1,2}, Janna Wambsganß^{1,3}, Jürgen Bauhus¹

¹ *University of Freiburg, Freiburg im Breisgau, DE, *friderike.beyer@waldbau.uni-freiburg.de*

² *Biodiversity and Ecosystem Services Science, Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, Tokyo, JP*

³ *Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft (FAWF), Landesforsten Rheinland-Pfalz, Trippstadt, DE*

Feinwurzeln und die mit ihnen assoziierten Organismen sind die Hauptquellen für organischen Kohlenstoff im Boden. Ein wichtiger Pfad für den Eintrag von organischem Kohlenstoff in den Boden ist das kontinuierliche Wachstum von Feinwurzeln. Bisher wurden die Einflüsse verschiedener biotischer (z. B. Artenzusammensetzung und -vielfalt, waldbauliche Eingriffe) und abiotischer Faktoren (z. B. Bodenart, Nährstoffe, Temperatur und Feuchtigkeit) vor allem auf die Feinwurzelbiomasse untersucht. Die Ergebnisse sind jedoch widersprüchlich, und das Verständnis der zugrundeliegenden Mechanismen ist von großer Bedeutung für die Vorhersage der Feinwurzeldynamik in Mischungen und letztlich auf den Bodenkohlenstoff.

In unserem Projekt untersuchten wir das Feinwurzelwachstum im IDENT-Baumdiversitätsexperiment in Freiburg. Entlang eines Diversitätsgradienten von einer bis vier Arten wurden Einwuchszylinder bis zu einer Tiefe von 35 cm in den Boden eingelassen. Die Hälfte der Parzellen wurde mit Stickstoff und Phosphor gedüngt. Nach einem Jahr wurden die Einwuchszylinder entnommen und die Wurzeln artspezifisch untersucht, sowie funktionell in Absorptiv- und Transportwurzeln getrennt. Es wurde ein höheres absorptives Feinwurzelwachstum mit steigender Diversität sowie eine effizientere Ressourcennutzung durch veränderte Wurzeleigenschaften festgestellt. So gab es einen deutlichen Anstieg der spezifischen Wurzellänge mit zunehmender Diversität, gleichzeitig nahm die Feinwurzelgewebedichte ab. Zudem konnte eine vertikale Nischendifferenzierung in Parzellen mit vier Arten festgestellt werden. Die Düngung hatte dagegen keinen signifikanten Einfluss auf das Feinwurzelwachstum, doch es wurde eine erhöhte spezifische Wurzeloberfläche festgestellt, die im Zusammenhang mit einer erhöhten Aufnahmeeffizienz steht. Eine höhere Nährstoffverfügbarkeit geht also nicht mit einem erhöhten Feinwurzelwachstum einher, sondern mit morphologischen Anpassungen, die die Aufnahmefähigkeit von Nährstoffen verbessern, jedoch sind diese Veränderungen artspezifisch.

Poster-Nr: 40

Holzdicke und Kohlenstoffkonzentration in Baumstümpfen und toten Grobwurzeln

Steffen Herrmann^{1*}, Steffi Dunger¹, Katja Oehmichen¹, Wolfgang Stümer¹

¹ Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE, *steffen.herrmann@thuenen.de

Totholz ist für die Kohlenstoffbilanz von Waldökosystemen von entscheidender Bedeutung. Die Speicherung von Kohlenstoff (C) im Totholz und dessen Veränderung ist ein wichtiger Bestandteil der nationalen Klimaberichterstattung des Waldes. Zum Totholz gehören laut IPCC stehende und liegende Totholzobjekte, tote Wurzeln und tote Baumstümpfe. Die derzeitige Berichterstattung weist allerdings Defizite hinsichtlich der Vollständigkeit und des Detaillierungsgrades im Bereich des Totholzes auf. Mit den bestehenden Daten ist es nicht möglich, über tote Wurzeln zu berichten, weil hierzu keine Informationen verfügbar sind.

Daher haben wir in einer Fallstudie im Nordosten Deutschlands die Holzdicke und Kohlenstoffkonzentration von ausgegrabenen Baumstümpfen und abgestorbenen Grobwurzeln (≥ 2 cm) von *Fagus sylvatica*, *Picea abies* und *Pinus sylvestris* in verschiedenen Zersetzungsstadien untersucht.

Insgesamt konnten 15 Wurzelstöcke – drei Kiefern, vier Fichten und acht Buchen – ausgegraben und analysiert werden. In 60 % aller Fälle wurde festgestellt, dass der Zersetzungsgrad (ZG) unterirdisch weniger fortgeschritten war als oberirdisch. Mit zunehmendem ZG wurde für alle Baumarten eine deutliche Abnahme der Holzdicke auf ein ähnliches Niveau in fortgeschrittenen ZGs, d. h. ZG 3 und 4, beobachtet. Von allen getesteten Einflussvariablen war ZG der wichtigste Prädiktor der Holzdicke. ZG als einzelner Prädiktor erklärte bereits 83 % der Variation der Holzdicke. Die C-Konzentration war in ZG 4 für Fichte und Kiefer am höchsten, für Buche jedoch im selben ZG am niedrigsten. Die C-Konzentration war in Buchenwurzeln im Allgemeinen niedriger als in Fichten- und Kiefernwurzeln. Für alle Baumarten wurden mit zunehmendem ZG deutlich steigende N-Konzentrationen und sinkende CN-Verhältnisse beobachtet.

Basierend auf dieser Studie – die in Zukunft auf weitere Wiederholungen und Standorte ausgeweitet werden sollte – erfolgte eine exemplarische Berechnung und Erstellung eines Totholzinventars nach IPCC-Vorgaben für Deutschland. Nach dieser Berechnung betrug die Relation des unterirdischen zum oberirdischen Totholz für das Jahr 2017 knapp 90 %. Unsere Ergebnisse zeigen, dass Wurzelstöcke, d.h. tote Grobwurzeln und Baumstümpfe, ein bedeutender Kohlenstoffspeicher sein können.

Poster-Nr: 41

Pilot Study reveals high volume and carbon storage in very large deciduous trees

Christian Vonderach^{1*,3}, Muna Chaudhary^{2,3}, Zoe Schindler³, Christopher Morhart³

¹ Forest Research Institute Baden-Württemberg, Freiburg, DE, *christian.vonderach@forst.bwl.de

² University of Eastern Finland, Joensuu, FI

³ University of Freiburg, Chair of Forest Growth and Dendroecology, Freiburg, DE

Aboveground biomass (AGB) at the level of individual trees, at stand or even national level is often estimated by allometric functions. The same is true for coarse wood volume estimated by taper or volume functions. In addition, these estimates are often used as ground truth reference for biomass or volume estimates derived from remote sensing data. The currently used biomass and taper functions of the German National Forest Inventory (NFI) are calibrated with trees of diameters at breast height (DBH) of up to 80 cm. This seems to be sufficient for usual forest management, but the results of the past NFIs show a continuous increase in large and old trees. Hence, it is important to improve the data basis for future inventories.

The aim of this pilot study is twofold: (i) to assess the volume and biomass of overly large deciduous trees and (ii) to compare a remote sensing based method for recording and measuring trees of large dimensions with an already recognised method. Here, we employed Randomized-Branch-Sampling (RBS) being an unbiased reference, while Terrestrial Laser Scanning (TLS) with subsequent processing by Quantitative Structure Models (QSM) was used as remote sensing approach for comparison. Five oak (*Quercus robur*) and five beech (*Fagus sylvatica*) trees with DBH ranging from 86 cm to 115 cm were selected. Both approaches were applied to standing trees, involving tree climbers for the RBS method. The estimated biomass and volume was compared between the two methods but also against the NFI estimates.

On average, TLS and QSM gave relatively good estimates of the coarse wood volume of the chosen large-dimensioned trees. However, the volume of the small wood fraction was clearly overestimated and, hence, total tree volume was overestimated as well. Due to the direct relationship between volume and biomass, these findings also apply for biomass estimates. It is assumed that the main reason for the poor representation of the small wood fraction can be attributed to the high measurement distance in combination with increasingly small twig diameter, which is challenging for TLS measurements.

In comparison to NFI volume and biomass functions, it can be stated that the observed volumes are generally at the upper end or outside the confidence range of the currently used volume models. The biomass functions fit slightly better but still tend to underestimate the analysed trees. Here, confidence bounds are wider and more often include the true value. The slightly better performance of the biomass functions can be explained by the fact, that they indeed model total aboveground biomass and not only the coarse wood fraction.

Poster-Nr: 42

Ein standort- und bewirtschaftungssensitives Streufallmodell für die gemäßigte Zone Europas

Felix Heitkamp^{1*}, Bernd Ahrends¹

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Umweltkontrolle, Göttingen, DE,

* felix.heitkamp@nw-fva.de

Streufall ist ein biogeochemischer Schlüsselprozess in Waldökosystemen. Er ist die Verbindung von ober- und unterirdischen Nährstoff- und Kohlenstoffkreisläufen. Aufgrund des hohen Aufwandes der Messung wurde ein Modell für die gemäßigte Zone Europas anhand von Literaturdaten entwickelt. Anforderungen an das Modell waren dabei (i) möglichst einfach zu erhaltende Daten, (ii) die Möglichkeit das Modell auf ertragskundliche Daten anzuwenden (Bestandserhebungen, Ertragstafeln) und (iii) Anwendung auf strukturierte Bestände zu ermöglichen.

Es wurden 395 publizierte Datensätze mit einer großen Spannweite zusammengestellt. Für die Parametrisierung des Streufallmodells auf Einzelbaumbasis wurden die langjährige Jahresmitteltemperatur (MAT), Stammzahl pro ha, Durchmesser Grundflächenmittelstamm (Dg) und Mittelhöhe genutzt. Zur Abbildung der Bestandesdichte diente der „stand density index“ (SDI). Als statistisches Werkzeug diente ein hierarchisches, generalisiertes, additives Modell. Eine Validierung wurde mittels einer stratifizierten, 100-fach wiederholten 10-fachen Kreuzvalidierung vorgenommen.

Die einflussreichste Co-Variable war die Interaktion aus Dg und Höhe in Abhängigkeit der Baumart, wobei MAT und SDI für verzerrungsfreie Ergebnisse für die einzelnen Baumarten entscheidend waren. Auf Ebene einer Einzelbaum-Kohorte ($0.04 - 38 \text{ kg Baum}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) erreichte das Modell hervorragende Gütemaße (Bias: 0.01; RMSE: 1.4; amount of variance explained, AVE: 0.93). Auf Flächenbasis ($0.2-7 \text{ t ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$) waren die Ergebnisse immer noch gut (Bias 0.01, RMSE: 0.7, AVE 0.55). Das vorgestellte Streufallmodell zeigte plausible, ökologische Effekte mit sehr guten Ergebnissen für die Hauptbaumarten. Bei mehrschichtigen Beständen besteht allerdings noch Justierungsbedarf hinsichtlich der Anwendung des SDI. Durch die Art der Parametrisierung ist das Modell für mittel- bis langfristige Anwendungen, nicht zur Abbildung der kurzfristigen, interanuellen Variabilität geeignet.

Das entwickelte Streufallmodell dient einer verbesserten Abschätzung des Kohlenstoff-Inputs, z. B. für dynamische Bodenkohlenstoffmodelle wie YASSO oder RothC. Eine Einhängung des statistischen Modells in ertragskundliche Standardaufnahmen ist möglich. Ohne ertragskundliche Aufnahmen besteht die Möglichkeit der Anwendung mittels Ertragstafeln, sofern zumindest eine Abschätzung der Bonität existiert. Die zeitliche Auflösung kann jährlich erfolgen, um z. B. Bewirtschaftungseffekte (Ernte, Stammzahl) und Veränderung der Baumdimensionen (Wachstum) zu berücksichtigen. Für klein-maßstäbige Anwendungen, bei denen die Berücksichtigung der Altersstruktur von Beständen zu komplex ist, ist hingegen eher die Bildung einer mittleren Streufallmenge über das Bestandesleben in Abhängigkeit der Bonität zu empfehlen.

Poster-Nr: 43

Hilfstabellen zur Abschätzung der Kohlenstoffspeicherung in Waldbeständen („Kohlenstoff-Ertragstafeln“)

Marlen Brinkord^{1*}, Peter Elsasser¹, Björn Seintsch¹

¹ *Thünen Institut für Waldwirtschaft, Hamburg, DE, *marlen.brinkord@thuenen.de*

Die Einschätzung der potenziellen Kohlenstoff-Speicherleistung in Wäldern stellt für Praktiker häufig eine Herausforderung dar. Um eine näherungsweise Orientierung zu ermöglichen, wurden die gängigen Ertragstafeln nach Schober für die Hauptwirtschaftsbaumarten Fichte, Buche, Kiefer, Eiche und Douglasie so aufbereitet, dass die in den Beständen gebundenen Kohlenstoffvorräte (und ihre Veränderungen) unmittelbar in Tonnen CO₂ pro Hektar ablesbar sind und auch über frühe Jugendphasen Auskunft geben. Dabei wurde so weit wie möglich den international festgelegten Berechnungsvorgaben gefolgt, wie sie auch für die jährlich erscheinenden Nationalen Inventarberichte zum Deutschen Treibhausgasinventar verbindlich sind. Die Kohlenstoff-Ertragstafeln stellen ein nützliches Instrument dar, welches eine einfache und unkomplizierte Schätzung der CO₂-Speicherung im Wald ermöglicht. Dadurch wird eine praxisnahe Herangehensweise an die Herausforderungen der Kohlenstoffbilanzierung im Wald erleichtert. In der Praxis hat sich die Nutzung der Kohlenstoffertragstafeln bereits bewährt und erfreut sich großer Beliebtheit.

Schlagwörter: Kohlenstoffbilanzierung, Ertragstafeln, CO₂, Klimawandel

Poster-Nr: 44

Bodenmonitoring im Rahmen der BWI: Veränderungen von Humusform und Kohlenstoffvorräten

Peter Jost¹, Lisa Rubin¹, Heike Puhmann¹, Peter Hartmann¹

¹Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br., DE

Im Rahmen der dritten und vierten Bundeswaldinventur (BWI3 und BWI4) wurden in Baden-Württemberg ausgewählte Bodenmerkmale in einem vereinfachten Probenahmeschema erfasst. Dabei wurde an jedem BWI-Punkt an einer Traktecke ein Kleinprofil bis 60 cm angelegt, an dem Humusform sowie Steingehalt geschätzt wurden. Für Laboranalysen wurden die Humusaufgaben beprobt, ebenso der Mineralboden in 0-10 cm, 10-30 cm und 30-60 cm. Insgesamt wurden Proben auf über 4000 Standorten gewonnen.

An einer Auswahl (3523 Humusproben und 2046 Mineralbodenproben) wurden bereits Analysen durchgeführt (C, N, Humusvorrat).

Mit den gewonnenen Daten können im Vergleich zur Bodenzustandserhebung regional deutlich stärker differenziert Betrachtungen durchgeführt werden zur Kohlenstoffsenkenfunktion von Waldböden. Durch die Wiederholungsaufnahme können auch Veränderungen zwischen BWI3 und BWI4 quantifiziert werden. Der Vorteil gegenüber der BZE ist, dass mit den räumlich höher aufgelösten Daten die den Kohlenstoffumsatz steuernden Größen besser identifiziert werden können.

In dem Beitrag werden Ergebnisse zu Humusformen und Kohlenstoffvorräten im Oberboden sowie deren Veränderungen und steuernden Rahmenbedingungen wie Klima, Boden, Kalkung, Totholz und forstliche Nutzung dargestellt. Der Schwerpunkt liegt auf den möglichen Einflussfaktoren der beobachteten Abnahme des Humusvorrats und der Zunahme des Kohlenstoffvorrats im oberen Mineralboden.

Poster-Nr: 45

Humusformen im Wandel – vorläufige Ergebnisse der dritten Bodenzustandserhebung (BZE III) in Rheinland-Pfalz

Jana Glombitza*

*Landesforsten Rheinland-Pfalz, Forschungsanstalt für Waldökologie und Forstwirtschaft, Trippstadt, DE, *jana.glombitza@wald-rlp.de*

Böden sind weltweit einer der größten terrestrischen Speicher für organischen Kohlenstoff. In Wäldern sind erhebliche Mengen des Bodenkohlenstoffvorrats in der organischen Auflage gespeichert. Die Zusammensetzung und Dynamik des Humus spielt eine zentrale Rolle für den Kohlenstoffhaushalt im Waldboden. Die Humusform dient dabei als Indikator für die biologische Aktivität und die Effektivität der Streuzersetzung, die maßgeblich durch die vorherrschenden Standortbedingungen und die anstehende Vegetation beeinflusst wird.

In Rheinland-Pfalz ist der Anteil der auf Zersetzungsstörungen hinweisenden Humusformen (wie Rohhumus, rohhumusartiger Moder oder vergleichbare) von der BZE I (17 %, 1989/1990) hin zur BZE II (5 %, 2006/2007) signifikant zurückgegangen. Vorläufige Auswertungen des BZE III-Datensatzes (3 %, 2023/24) deuten auf eine Fortsetzung des Trends hin. Außerdem wird im Zuge der BZE III ein erheblicher Rückgang des feinhumusreichen Moders zugunsten des feinhumusarmen Moders bis hin zum Mull beobachtet. Aus der aktuellen Datenlage lässt sich für Rheinland-Pfalz demnach eine kontinuierlich gesteigerte Effizienz der Zersetzungsprozesse in den Auflagehorizonten seit Ende der 1980er Jahre ableiten. Diese Entwicklung kann auf verschiedene Faktoren zurückgeführt werden, darunter klimatische Veränderungen sowie forstwirtschaftliche Eingriffe, die die Zersetzungsprozesse und Bodenbedingungen beeinflussen.

Auch methodische Weiterentwicklungen des Erhebungsschlüssels zur Bestimmung der Humusformen könnten einen Einfluss auf die Bewertung der Ergebnisse haben. Während die Erfassung der Humusformen im Rahmen der BZE I ausschließlich am Bodenprofil nach dem „Datenschlüssel Bodenkunde“ (BGR, 1984) erfolgte, wurden die Humusformen der BZE II bereits an allen Beprobungssatelliten in Anlehnung an die KA5 (BGR, 2005) aufgenommen. Für die BZE III ist die Einordnung der Humusform aller Satelliten nach KA5 (BGR, 2005) oder KA6 (BGR, 2024) freigestellt. Die Harmonisierung der Humusformen zwischen den methodischen Anleitungen sowie die subjektive Einschätzung der Aufnahmeteams erschweren eine konsistente Interpretation der Entwicklung der Humusformen.

Das Poster bietet eine übersichtliche Präsentation der Entwicklung der Humusformen in Rheinland-Pfalz im Rahmen der Erhebungen des Waldbodenzustandes und wird durch die Diskussion der methodischen Ansätze ergänzt.

Poster-Nr: 46

Von Rohhumus bis Mull: Zeitliche Entwicklung der Humusformen in Nordwest-Deutschland

Felix Grün^{1*}, Oliver van Straaten¹, Jan Evers¹

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abteilung Umweltkontrolle, Göttingen, DE,

* felix.gruen@nw-fva.de

Die Entwicklung von Humusformen ist ein hilfreicher Indikator zur Bewertung des Zustands von Waldökosystemen und zur Überwachung von Veränderungen ökologischer Prozesse. Insbesondere bieten Humusformen Einblicke in die Umweltfaktoren und die Ökosystemdynamik über längere Zeiträume und geben Aufschluss darüber, wie sich beispielsweise anthropogene Einflüsse auf den Nährstoffkreislauf, die mikrobielle Aktivität und die allgemeine Gesundheit des Waldbodens auswirken haben.

In dieser Studie haben wir untersucht, wie sich die Humusformen in den Wäldern Nordwestdeutschlands in den letzten 30 Jahren entwickelt und verändert haben. Anhand der deutschen Humusformensystematik wurden die Humusformen auf der Ebene des Humustyps an 319 Standorten, die auf einem 8 x 8 km-Raster in sechs Bundesländern liegen (Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Sachsen-Anhalt, Hessen, Bremen und Hamburg), bestimmt. Die Beprobung erfolgte im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE), die sich derzeit in der dritten Wiederholungsinventur befindet (1990, 2007 und seit 2023).

Die Rohhumusformen, die von 21 % in der BZE I auf 17 % in BZE II und schließlich auf nur noch 9 % in BZE III abnahmen, zeigen einen allgemeinen Trend zu vermehrten Moder- und Mull-Humusformen, was darauf hinweist, dass verschiedene externe Faktoren zu einer erhöhten Zersetzungs- und Mineralisierungsrate des organischen Materials beigetragen haben. Dies hat unter anderem zu einer allgemeinen Abnahme der Mächtigkeit der organischen Auflage und somit auch zu einer Verbesserung des Nährstoffkreislaufs geführt. Es gibt mehrere Faktoren, die diese Veränderung bewirken und die zu der beobachteten Veränderung beigetragen haben könnten: (1) anhaltend hohe Stickstoffeinträge, (2) geringere Säureeinträge, (3) steigende Temperaturen, (4) Waldkalkung, (5) eine Verlagerung hin zu mehr Laub- statt Nadelwäldern, (6) mehr Lichteinfall am Waldboden und (7) mehr Verjüngung im Unterholz.

Poster-Nr: 47

Humusschwund in den Bayerischen Kalkalpen reduziert den C-Speicher, mindert den Wasserrückhalt und gefährdet die Waldfähigkeit

Axel Göttlein^{1*}, Roman Laniewski¹

¹ TU München, Fachgebiet Waldernährung und Wasserhaushalt, Freising, DE, *goettlein@tum.de

Die durch den Klimawandel bedingte Temperaturerhöhung fördert Umsetzungsprozesse im Boden. Besonders kritisch ist dieser Einfluss bei Fels-Humus-Böden, welche in den Bayerischen Kalkalpen auf ca. 10 % der Waldfläche vorkommen. Zum einen sind diese Standorte zum großen Teil Schutzwaldflächen, zum anderen ist hier die Humusaufgabe der alleinige Wurzelraum, der alleinige Nährstoffspeicher und der alleinige Wasserspeicher. Jegliche Beeinträchtigung der Humusaufgabe, sei es in schleichender Form bedingt durch den Klimawandel oder in abrupter Form durch Schadereignisse (Sturm, Borkenkäfer etc.) gefährdet die Funktionsfähigkeit dieser fragilen Waldökosysteme. Im Extremfall verlieren diese Standorte ihre Waldfähigkeit, was bedeutet, dass der C-Speicher auf Null zurückgeht (kein Humus, kein Waldbestand) und damit auch kein Wasserrückhalt mehr gegeben ist.

Um die Humusveränderung langfristig beobachten zu können, wurden im bayerischen Alpenraum in den Jahren 2020/21 auf Standorten mit verschiedenen Bestandestypen Humuspegel installiert. Ein erstes Ablesen der Pegel im Jahr 2024 zeigt, dass über alle Gebiete und Bestandestypen ein mittlerer jährlicher Humusschwund von 0,14 cm festzustellen ist. Was zunächst wenig beunruhigend klingt, kann auf Einzelstandorten jedoch dramatische Dimensionen annehmen. Besonders betrifft dies katastrophenbedingte Freiflächen, wo der jährliche Humusschwund bis zu 7 % der Gesamtmächtigkeit betragen kann.

Ein weiteres Zeichen für Humusschwund in Waldbeständen ist das Vorhandensein von „fliegenden Wurzeln“, d.h. Wurzelabschnitten, die ohne Bodenkontakt über der Bodenoberfläche „schweben“. In einem kalkalpinen Bergwald nahe des Walchensees wurde dieses Phänomen in den Jahren 2012 und 2024 näher untersucht. Die Anzahl der Luftwurzeln hat sich in diesem Zeitraum um ca. 16 % erhöht. Daneben hat sich auch die durchschnittliche „Flughöhe“ um ca. 4,5 cm gesteigert. In der Gesamtbetrachtung zeigt sich eine deutliche Destabilisierung des Untersuchungsbestandes, da den dort vorkommenden Bäumen zunehmend der verfügbare Wurzelraum abhanden geht. Die Folge ist, dass erste Bäume den Halt verlieren und umstürzen.

Geschwindigkeit und Folgen des Humusschwunds in den bayerischen Alpen sind nur schwer zu prognostizieren. Da der auf Fels-Humus-Böden vorherrschende Tangelhumus eine außerordentlich hohe Wasserspeicherkapazität von ca. 65 mm/dm besitzt, reduziert der Humusschwund in drastischer Weise den Wasserrückhalt von Gebirgsstandorten, im Extremfall auf Null. Mit einem durchschnittlichen C-Vorrat von 7 t/ha pro Zentimeter ist Tangelhumus ein bedeutender Kohlenstoffspeicher. Humusschutz ist Hochwasserschutz, Humusschutz ist Klimaschutz.

Poster-Nr: 48

Verborgene Schätze: Kohlenstoffvorräte österreichischer Waldböden

David Keßler^{1*}, Stefan Forstner¹, Michael Englisch¹

¹ *Bundesforschungszentrum für Wald (BFW), Institut für Waldökologie und Boden, Wien, AT,*
**david.kessler@bfw.gv.at*

Organischer Boden-Kohlenstoff (SOC) spielt eine zentrale Rolle bei der Bewertung der Bodengesundheit, -fruchtbarkeit sowie der Bewertung eines Bodens hinsichtlich seines Potenzials als Kohlenstoffsенке. Trotz seiner Bedeutung liegt der Fokus der meisten Studien und Monitoringprogramme auf dem Oberboden, wodurch die erheblichen SOC-Vorräte im Unterboden weitgehend vernachlässigt werden.

In dieser Studie werden die SOC-Vorräte von österreichischen Waldböden unter Berücksichtigung verschiedener Bodentypen und Humusformen untersucht. Grundlage bildet ein umfangreicher Datensatz von mehr als 1100 Bodenprofilen aus unterschiedlichen geografischen und geologischen Regionen Österreichs. Detaillierte Bodenbeschreibungen sowie chemische und physikalische Analysen werden herangezogen, um mithilfe von Pedotransferfunktionen (PTFs) die SOC-Vorräte im Unterboden zu modellieren. Als Prädiktoren dienen klimatische und topografische Indizes sowie standortspezifische Bodenmerkmale.

Die Ergebnisse sollen dabei helfen, Standorte mit hohen SOC-Vorräten im Unterboden zu identifizieren und das Kohlenstoffspeicherungspotenzial von Waldböden detaillierter zu verstehen. Diese Erkenntnisse sind nicht nur für die wissenschaftliche Forschung relevant, sondern liefern auch praktische Grundlagen zur Optimierung forstwirtschaftlicher Strategien.

Poster-Nr: 49

Mapping of soil carbon stocks using SCORPAN modelling and relative depth gradients

Alexander Russ^{1*}, Winfried Riek^{1,2}, Gerd Wessolek³

¹ Landesbetrieb Forst Brandenburg LFE, Eberswalde, DE, *Alexander.Russ@LFB.Brandenburg.de

² Hochschule für nachhaltige Entwicklung Eberswalde, Eberswalde, DE

³ Technische Universität Berlin, Berlin, DE

Nowadays regional data on forest soil properties are increasingly demanded for various questions concerning forest management practices like tree species selection, liming, harvest intensity or the detection of risk areas. Thus data related to climate change and its site specific drought effects on one hand and current soil nutrient status on the other is especially required to support decision making. Besides soil texture, soil organic carbon is one of the most important key factors controlling soil nutrient status (eg. cation-exchange capacity) and soil water storage (e.g. field capacity) in the glacial deposits of north eastern lowlands. In contrast to soil texture, which can be considered as stable over periods relevant to practical forest management, for mapping soil organic carbon and its distribution throughout the soil profile a more dynamic regionalization approach considering contemporary measurements is needed.

For this purpose, data on contemporary soil organic carbon stocks is taken from second National Forest Soil Inventory and additional regional sampling points in Brandenburg (Germany). Potential covariates representing the soil forming factors: parent material, organisms (vegetation), age, relief and climate are obtained with high spatial resolution from forest site mapping, forest inventory, digital terrain analysis and climate models. The proposed regionalization approach captures the concepts of SCORPAN modelling (McBratney et al. 2003) and depth functions. While for estimation of carbon stocks in the entire soil solum stepwise regression analysis and geostatistical techniques are involved, the methodology to derive and map relative depth functions is based on cluster analysis and classification tree approach. The intended benefits by splitting regionalisation into plot level and relative vertical depth gradients are to ensure consistency of solum stocks and single soil depths and to avoid the construction of artificial depth gradients. Furthermore, the procedure allows a straightforward interpretation of covariates in the sense of pedogenetic processes, which: (a) supports variable selection and exclusion of spurious covariates during model development and (b) may provide direct decision support regarding environmental and management effects on soil organic carbon.

The obtained statistical models contain covariates related to all five soil forming factors. But, the conducted analyses especially point towards high influences of depth to groundwater table and mean slope of catchment area on soil organic carbon storage. Invoking geostatistical techniques shows no remaining variation, to be explained by spatial position and thus don't improve overall model performance. Cluster analysis of relative depth gradients results in five Clusters of acceptable heterogeneity. The highest differences between the clusters are observed across the portions of carbon stored in forest floor. Relative depth gradients are especially distinguished by tree species composition and stand age.

Reference

McBratney, A., Mendonça-Santos, M., Minasny, B. (2003): On digital soil mapping. *Geoderma* 117: 3–52.

Poster-Nr: 50

Soil ecological processes and carbon turnover in skid trails

Ute Hamer^{1*}, Norbert Hölzel¹, Jens Jakob Schaper¹, Michael Meyer¹, Michael Elmer², Max Fornfeist², Britta Linnemann³, Katharina Rentemeister³, Lea Santora³, Theresa Klein-Raufhake¹

¹ Universität Münster, Institut für Landschaftsökologie, Münster, DE, *ute.hamer@uni-muenster.de

² Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, FBIV, Team Waldnaturschutz, Münster, DE

³ NABU Naturschutzstation Münsterland, Münster, DE

Skid trails, which can account for 20 % of forest areas in Germany, are subject to particularly intense topsoil disturbance in managed forests. Compaction associated with timber harvest alter soil physical properties, which subsequently leads to changes in soil chemical and microbiological processes. Soil microorganisms play a crucial role in carbon and nutrient cycling. Changes in their activity can have important effects on the ecosystem and, e.g. via soil respiration, also on greenhouse gas emissions. Within the BiCO₂ project, we analysed the topsoil of 85 skid trails across four study areas. In addition to physical and chemical properties, we investigated changes compared to the undisturbed control in parameters of soil microbial quality and quantity and examined nutrient turnover processes of carbon (C), nitrogen (N) and phosphorus (P), reflected by readily bioavailable fractions, enzyme activities and soil respiration.

While bulk density generally increased, most of the other results cannot be generalized across the study areas because local factors such as substrate and slope determine the degree and, in some cases even the direction of the effects of skidding. In low mountain forests with steeper topography, skid trails had more drastic effects than in lowland forests. Effects on C/N ratio (narrower) and pH (increased) could only be found in low mountain forests. The microbial community composition (reflected in the ratio of C to N in microbial biomass) shifted, but in different directions depending on the study area. Skid trails in low mountain beech forests emitted more CO₂ than control soils, whereas soils in skid trails of lowland oak forests showed reduced carbon turnover rates.

Irrespective of regional effects, the relative increase in fine soil bulk density determined the effects of skid trails on many soil parameters, as indicated by negative correlations with, for example, carbon stored in the pool of soil organic matter and microbial biomass.

Our results underline that skidding should be limited to already designated skid trails. In low mountain regions with relatively steep slopes, where the soil structure is often more heavily damaged, carbon conversion processes and soil respiration are increased, which may lead to significant soil organic carbon losses. Here, even more care should be taken during timber harvesting.

Poster-Nr: 51

Bedeutung von Insektenkalamitäten für die Kohlenstoffspeicherung verschiedener Waldgesellschaften mit einem besonderen Fokus auf den Waldboden [Projekt Bio-C, HAWK Göttingen]

Armin Meurer^{1*}, Johannes Hertzler², Helge Walentowski¹, Anne le Mellec-Arnold¹

¹ Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst - Hildesheim/Holzminde/Göttingen (HAWK-HHG), Fakultät Ressourcenmanagement, Göttingen, DE, *armin.meurer@hawk.de

² Thünen Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE

Der Wald ist eine wichtige Kohlenstoffsенке, die akut durch die Auswirkungen des Klimawandels bedroht wird. In diesem Zusammenhang nehmen auch biotische Störungen, wie Insektenkalamitäten an Intensität, Frequenz und Dimension zu. Doch schon vor einer drastischen Änderung im Bestandesgefüge, durch das Absterben einzelner Bäume oder ganzer Bestandesgruppen, wirkt Insektenfraß umfassend auf die verschiedenen Kohlenstoffspeicher und -dynamiken. So kommt es beispielsweise zu einem massiven Stoffeintrag durch frühzeitigen Blattabwurf, Genagsel, Kot und Larven. In Folge nehmen auch Strahlungsintensität und Temperatur im Bestandesinneren zu. Die hieraus resultierenden systemischen Rückkopplungseffekte zeigen sich in geringerer Netto-C-Aufnahme sowie beschleunigter Mineralisation im Boden, wodurch verstärkt Bodentreibhausgase emittiert werden.

Im Projekt Bio-C wird der Frage nachgegangen, ob der Wald(-boden) unter diesen besonderen Umständen – kurz-, mittel- und langfristig – seine Senkenfunktion erfüllen kann. Hierfür werden zunächst Kohlenstoffpools befallener, unbefallener und regenerierter Bestände verglichen. Dabei werden atmosphärische Flüsse von direkten (CO₂, CH₄, N₂O) und indirekten (VOCs) Treibhausgasen sowie Stoffverlagerungen bzw. -austräge über das Sickerwasser analysiert. Für die Kiefer werden ergänzende dendroökologische Methoden Aufschluss über die langfristigen Trends der Kohlenstoffspeicherung im Holz der (verbleibenden) Bäume liefern.

Einerseits wird der Befall durch freifressende Schmetterlingsraupen an Gemeiner Kiefer (*Pinus sylvestris* L.) in der Lieberoser Heide und Stieleiche (*Quercus robur* L.) im Biosphärenreservat Mittelelbe, namentlich durch Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) und Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoeia processionea* L.); zum anderen der des Buchdruckers (*Ips typographus* L.) an Gemeiner Fichte (*Picea abies* L.) im Nationalpark Harz untersucht.

Hieraus ergeben sich verschiedene wirtsspezifische und naturräumliche Muster. Der Aspekt des Stoffeintrags überwiegt bei den freifressenden Schmetterlingsraupen, während die Mortalität der befallenen Bäume, durch erfolgreiche Regeneration, insbesondere der Eiche, geringer ausfällt. Gleichwohl ist der zusätzliche Stoffeintrag auf den armen Sandstandorten mit mächtigen Humusaufgaben der Lieberoser Heide von ungemein größerer Bedeutung als in den nährstoffreichen Elbauen, wo durch regelmäßige Überflutungen im Frühjahr eine zusätzliche Verfrachtung und Homogenisierung über große Flächen stattfindet. Im Gegensatz dazu ist das Absterben der Gemeinen Fichte, bei Befall durch den Buchdrucker, der Haupttreiber für Änderungen der Kohlenstoffflüsse auf den dortigen Untersuchungsflächen.

Im Weiteren sollen Stoffflüsse identifiziert werden, welche für die Veränderung der Kohlenstoffdynamik hauptverantwortlich zeichnen. Neben der zeiträumlichen Varianz in den einzelnen Kompartimenten, soll auch auf deren Wechselwirkung eingegangen werden.

Vorträge

Session: Dynamik der Kohlenstoffvorräte in Waldökosystemen und deren Kompartimenten

Keynote: Der Wald eine Kohlenstoff-Senke – ist er das?

Christian Körner

Departement für Umweltwissenschaften, Botanik, Universität Basel, Basel, CH

Biomasse besteht bekanntlich zur Hälfte aus Kohlenstoff. Rund 400 Mrd. t davon sind in den Wäldern der Erde gespeichert, etwas weniger als die Hälfte des derzeitigen Kohlenstoffgehalts im CO₂ der Atmosphäre (850 Mrd. t C). Jährlich setzt die Menschheit etwa 10 Mrd. t C frei, wovon die Hälfte in der Atmosphäre verbleibt. Es ist naheliegend, sich zu überlegen, ob und wieviel von diesem C zusätzlich im Wald gespeichert werden könnte. In diesem Vortrag werde ich zwei Aspekte beleuchten:

- (1) Gibt es so etwas wie CO₂-Düngung in der Natur?
- (2) Welchen Beitrag kann die forstliche Biomasse an die Verlangsamung des CO₂-Anstiegs leisten?

Wie zu erwarten, ergaben insgesamt 13 Jahre CO₂ Anreicherung der Luft 110 jähriger Waldbestände (30-35 m hoch, nahe Basel) weder bei der Fichte (5 Jahre) noch bei sommergrünen Laubbäumen (8 Jahre) einen messbaren Wachstumseffekt. Wie alle Organismen brauchen auch Bäume etwa 22 chemische Elemente zum Wachsen. Die Gesetze der Elementbalance (Stoichiometrie), machen es unmöglich, durch Zugabe nur eines Elementes (C) mehr Biomasse zu erzeugen, wenn nicht gleichzeitig N, P, K, Mg, Mn, usw. proportional mehr verfügbar sind. Ausser beim Stickstoff ist das eine Illusion. Es ist also nicht zu erwarten, dass ungestörte Wälder mehr wachsen, wenn sie mehr CO₂ bekommen. Selbst wenn sie das täten, würde das den Umsatz erhöhen (Umtriebszeit verkürzen) und nicht das Kapital (den Vorrat). Die Konfusion von Raten (C-Flüssen) mit Vorräten (C-Kapital) ist der häufigste und schwerwiegendste Fehler in der C-Debatte.

Forstliche C-Speicher können zeitlich begrenzt durch Unternutzung erhöht, und durch Aufforstung neuer Waldgebiete vermehrt werden, sofern das Land waldfähig ist, sowie keine Landnutzungskonflikte und Feuer-Risiken bestehen. Man kann das nur einmal tun, aber es gibt einen ‚buying time‘ Effekt. Ein Waldgebiet im biologischen C-Gleichgewicht bilanziert auf null. Es bleibt somit vor allem die Nutzung der Biomasse. Nachhaltig betrieben, kann sie zeitlich unbegrenzt fortgesetzt werden, und zwar bei konstantem mittleren C-Vorrat in der Landschaft. Eine Nicht-Nutzung mit der Absicht, sich den C-Zuwachs im Zertifikatweg abgelden zu lassen ist ein Trugschluss, solange nicht gleichzeitig der Holzkonsum sinkt (also das Holz woanders gekauft wird). Biosphärenreservate sollen mit ihrem potentiellen Biodiversitätsgewinn beworben werden und nicht mit einer Erhöhung der C-Speicher, die wegen natürlicher Walddynamik nach einer Anfangsphase nicht gegeben ist. Auch diese forstökonomischen Fragen lassen sich mit einer sauberen Trennung von Flüssen und Vorräten (Umsatz und Kapital) korrekt beantworten. Die zentrale Frage ist immer die nach der mittleren Verweildauer des Kohlenstoffs im System Wald bzw. im Werkstoff Holz.

Die Rolle des Waldes in der Treibhausgas-Berichterstattung und seine Bedeutung für den Klimaschutz

Wolfgang Stümer^{1*}, Joachim Rock¹, Sascha Adam¹

¹ Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE, *wolfgang.stuemer@thuenen.de

Das deutsche Emissionsinventar zu Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (LULUCF) erfasst die Freisetzung und Bindung von Treibhausgasen in verschiedenen Landnutzungs-kategorien sowie die Kohlenstoffbindung in Holzprodukten. Dabei spielt der Wald als bedeutender Kohlenstoffspeicher und wichtigste potenzielle Senke eine große Rolle. Die Bundeswaldinventuren und die Kohlenstoffinventuren erfassen die Kohlenstoffvorräte in der lebenden Biomasse und im Totholz und bilden somit eine wichtige Grundlage für die Treibhausgasberichterstattung. Diese wiederum ist Grundlage und Maßstab für Klimaschutzpolitiken und -maßnahmen.

Seit 2017 hat sich der Wald aufgrund klimabedingter Verluste an lebender Biomasse von einer Kohlenstoffsенке zu einer Quelle gewandelt. Trotz eines leichten Anstiegs des Kohlenstoffvorrats in der lebenden Biomasse seit der letzten Bundeswaldinventur 2012 ist seit der Kohlenstoffinventur 2017 ein signifikanter Rückgang zu verzeichnen. Dieser Rückgang ist hauptsächlich auf Kalamitäten und verminderten Zuwachs zurückzuführen.

Auf der anderen Seite werden von der Politik immer höhere Anforderungen an die Landnutzung gestellt. Das betrifft v. a. die Ziele im LULUCF-Sektor und ihre zeitliche und räumliche Auflösung, sowie die beschlossenen Klimaschutzmaßnahmen, die an Hand der Berichterstattung kontrolliert werden sollen. Was bedeutet das für die Berichterstattung?

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Treibhausgasberichterstattung. Angefangen von der administrativen Organisation, den zu berichteten Pools und Gasen hin zu den verwendeten Methoden. Dies soll die Einordnung der anderen Vorträge und Themen hinsichtlich ihrer Relevanz für Klimaschutzmaßnahmen und ihrer Abbildbarkeit im Berichtswesen erleichtern.

Modellierung des Kohlenstoffspeichers durch die Bonität

Jan Schick^{1*}, Matthias Albert¹, Matthias Schmidt¹

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE, *jan.schick@nw-fva.de

Der in den Bäumen der Wälder gebundene Kohlenstoff spielt eine zentrale Rolle in der Klimabilanz des Planeten. Umso wichtiger ist es daher, die Speicherfähigkeit der Wälder auch unter Klimawandel abzubilden. Mithilfe von klima- und standortssensitiven Standort-Leistungs-Modellen wird die rezente und künftige Wuchsleistung verschiedener Baumarten modelliert und der hieraus resultierende, potentielle Kohlenstoffspeicher des Baumbestandes errechnet. Die Berechnungen erfolgen beispielhaft für drei Transekte, je eins durch Hessen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Entlang der Transekte werden im Abstand von 50 m für verschiedene Baumarten die Leistungsstufen für die Klimabedingungen in den Perioden 1900 bis 2000 und 2000 bis 2100 geschätzt. Hierbei wird ein breiter Gradient an standörtlichen Gegebenheiten abgedeckt, sodass die unterschiedlichen Facetten und Auswirkungen des Klimawandels beleuchtet werden können. Die Standort-Leistungs-Modelle stellen eine Weiterentwicklung bisher benutzter Modelle dar und wurden auf einer umfangreichen Datengrundlage für mehrere Baumarten parametrisiert. Sie berücksichtigen relevante Klima- und Umweltvariablen und benötigen keinerlei Vormessung. Dies erlaubt eine vergleichende Betrachtungsweise der Wuchsleistung mehrerer Baumarten unter verschiedenen Szenarien im gleichen Bestand. Die durchschnittliche jährliche Kohlenstoffspeicherung der Baumarten entlang der Transekte wird mithilfe von Biomassefunktionen anhand von Ertragstafelverläufen entsprechend der geschätzten Bonitäten berechnet. Die Kohlenstoffspeicherung wird unter rezenten und künftigen Bedingungen hinsichtlich diverser Größen stratifiziert und der Einfluss der Baumartenwahl beleuchtet. Es wird beispielsweise dargelegt, wie sich die Höhenlage bei verschiedenen Baumarten auf den gespeicherten Kohlenstoff auswirkt und wie sich dieser Wert in Zukunft verändert. Entscheidend im Hinblick auf die Baumartenwahl für zukünftige Wälder ist die Einschätzung, welche Baumart in welchem Gebiet potentiell die höchste Speicherung ermöglicht oder welche Auswirkung der Klimawandel auf den Kohlenstoffspeicher insgesamt haben wird. Dieser Vortrag soll die Möglichkeiten der Standort-Leistungs-Modellierung für die Modellierung des Kohlenstoffspeichers des Waldes darlegen. Der Fokus liegt auf den Ergebnissen und der Anwendung.

Waldumbau von Fichte zu Buche – die Entwicklung der oberirdischen Kohlenstoffvorräte zweier Versuchsbestände in Südbayern über 25 Jahre

Christian Ammer*

*Abt. Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen, Universität Göttingen, Göttingen, DE,
christian.ammer@forst.uni-goettingen.de

In Folge der Waldschäden in den 80er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde vielerorts mit dem Umbau von gleichaltrigen Fichtenreinbeständen in Mischbestände, zumeist unter Beteiligung der Buche, begonnen. Dabei kam neben der Pflanzung auch die Saat zum Einsatz. Da viele Buchensaat in der Praxis misslangen, wurde von der Sektion Waldbau des deutschen Verbands forstlicher Versuchsanstalten ein Versuch angeregt, in dem die Eignung von Saat und Pflanzung vergleichend untersucht wurde. Zwei dieser Versuchsflächen liegen in Südbayern (in der Nähe der Städte Freising und Landshut). Dort wurde anfänglich jährlich, später in fünfjährigem Turnus, die Entwicklung der aus Saat und Pflanzung hervorgegangenen Bäumchen untersucht. Zudem wurden, in ebenfalls fünfjährigem Turnus, Wachstum, Mortalität durch Störungen und Holzernte in den Fichtenaltbeständen erfasst. Anhand der Datenreihen ließ sich die Frage beantworten, wie stark und in welcher Geschwindigkeit der oberirdische Kohlenstoffspeicher beim langfristigen Umbau von Fichten- zu Buchenbeständen sinkt, wenn bei der Entnahme der Fichte auf flächige Abnutzungen verzichtet wird. Wie sich zeigte, verringerte sich der oberirdische Kohlenstoffvorrat der Bestände durch das Aufwachsen der Buche unter dem Fichtenschirm im Minimum um nicht mehr als etwa die Hälfte des Ausgangswertes. Durch die über den gesamten Zeitraum gegebene Überschirmung des Bodens dürften Kohlenstoffverluste durch Mineralisation der organischen Auflage zudem gering gewesen sein.

Potenzial von Totholz als Kohlenstoffspeicher in temperaten Waldökosystemen

Werner Borken^{1*}, Pascal Edelmann², Claus Bässler³, Martin Hofrichter⁴, Björn Hoppe⁵, Harald Kellner⁴, Julia Moll⁶, Minoo Nasiri¹, Sebastian Seibold⁷, Claudia Seilwinder², Ernst-Detlef Schulze⁸, Wolfgang W. Weisser²

¹ *Soil Ecology, University of Bayreuth, Bayreuth Center of Ecology and Environmental Research (BayCEER), Bayreuth, DE, *werner.borken@uni-bayreuth.de*

² *Terrestrial Ecology Research Group, Department of Ecology and Ecosystem Management, Center of School of Life and Food Sciences Weihenstephan, TU Munich, Freising-Weihenstephan, DE*

³ *Ecology of Fungi, University of Bayreuth, BayCEER, Bayreuth, DE*

⁴ *Environmental Biotechnology, International Institute Zittau, TU Dresden, Zittau, DE*

⁵ *Julius Kühn Institute (JKI) – Federal Research Centre for Cultivated Plants, Institute for National and International Plant Health, Braunschweig, DE*

⁶ *Helmholtz Centre for Environmental Research - UFZ, Department of Soil Ecology, Halle (Saale), DE*

⁷ *Forest Zoology, TU Dresden, Tharandt, DE*

⁸ *Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, Jena, DE*

Totholz ist ein wichtiger Kohlenstoffspeicher in Wäldern. Abbau und somit das Potenzial für Kohlenstoffspeicherung sind jedoch je nach Baumart, Exposition des Totholzes und Klima unterschiedlich. In dem Totholzexperiment ‚BELongdead‘ wurde der Masseverlust von 1140 Stämmen von 13 heimischen Baumarten über einen Zeitraum von 15 Jahren untersucht. Die Stämme wurden in 30 Wäldern, verteilt auf drei Regionen (Schorfheide, Hainich, Schwäbische Alb), auf dem Boden ausgelegt und im Abstand von drei Jahren beprobt. Die Halbwertszeit für die Totholzstämme war mit 6-10 Jahren für 9 der 13 Baumarten unter den gegebenen klimatischen Bedingungen sehr kurz. Mit einem mittleren Masseverlust von etwa 90 % nach 15 Jahren wurde Hainbuche am stärksten abgebaut. Lineare Abbaudynamiken deuten bei 10 Baumarten auf einen anhaltend hohen Masseverlust in den kommenden Jahren hin. Der Masseverlust von Eiche, Esche und Kiefer folgte einer sigmoidalen Abbaudynamik, wobei Esche einen sehr geringen, Eiche und Kiefer dagegen relativ hohe Masseverluste in den ersten Jahren aufwies. Das größte Potenzial für längerfristige Kohlenstoffspeicherung haben Lärche, Douglasie und Eiche (Kernholz). Die regionalen Unterschiede im Masseverlust waren insgesamt gering. In der Schorfheide lag der durchschnittliche Masseverlust 10 % über den Werten im Hainich und der Schwäbischen Alb. Höhere Temperaturen, geringere Niederschläge und höhere Mangengehalte in den Böden korrelierten positiv mit dem Masseverlust.

In Untersuchungen an stark zersetztem Totholz wurde zwischen Abbaustufe V (Totholzfragmente mit geringer Dichte) und pulverförmigem ‚Totholzhumus‘ (< 2 mm) differenziert. Beide Totholzfraktionen aller 13 Baumarten zeigten hohe Kohlenstoffverluste durch Respiration, die deutlich über den Respirationraten der organischen Auflage (Oh-Horizont) lagen. Relativ hohe Cellulose- und Hemicellulosegehalte deuten auf hohes Abbaupotenzial in den Fraktionen hin. Geringe Totholzhumus-Mengen pro Stamm belegen, dass nur ein sehr geringer Teil der initialen Totholzmenge bei Baumarten mit geringer Halbwertszeit als Humus im Boden bzw. in der Humusaufgaben verbleibt. Insgesamt ist das Potenzial von liegenden Totholzstämmen zur langfristigen Kohlenstoffspeicherung gering. Steigende Temperaturen können den mikrobiellen Abbau von Totholz in den nächsten Jahrzehnten beschleunigen.

Kohlenstoffbilanzierung für die Level-II-Intensivmessflächen Baden-Württembergs – erste Schritte zur Bewertung ökosystemarer Prozesse in typischen Waldökosystemen

Kerstin Näthe^{1*}, Andrea Hölscher¹, Peter Hartmann¹, Heike Puhlmann¹

¹ Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA), Freiburg/Breisgau, DE,
*kerstin.naethe@forst.bwl.de

Baden-Württemberg zählt mit einem Waldanteil von ungefähr 38 % zu den walddreichsten Bundesländern Deutschlands und stellt somit einen potentiell bedeutenden Kohlenstoffvorrat dar. Für die Rolle der Wälder als Kohlenstoffquelle und -senke spielt der Boden eine entscheidende Rolle, da dieser ca. 50 % des Gesamtkohlenstoffvorrats speichert. Weil die ober- und unterirdischen Quellen- und Senkenprozesse zeitlichen und räumlichen Dynamiken unterliegen, sind langjährige Zeitreihen für die Kohlenstoffbilanzierung unverzichtbar.

Neben den gasförmigen Ein- und Austrägen von Kohlenstoff via Photosynthese bzw. Bodenatmung (CO₂ und CH₄), spielen die Einträge von (unter- und oberirdischer) Streu und Mobilisierungs- und Immobilisierungsprozesse im Boden eine wichtige Rolle im terrestrischen Kohlenstoffkreislauf, wobei eine Vielzahl von Studien diese Bilanzterme kaum zusammenhängend betrachtet. In der ganzheitlichen Betrachtung werden zudem die an den Wasserkreislauf gekoppelten DOC- und POC-Flüsse (dissolved bzw. particulate organic carbon) in Niederschlag, Sickerwasser und Oberflächenabfluss selten einbezogen und fehlen somit als Bilanzterme. Die Ein- und Austräge von DOC und POC sind im Verhältnis zum Gesamtkohlenstoffvorrat im Boden zwar gering, allerdings ist diese mobile organische Kohlenstoffform an einer Vielzahl von biogeochemischen Prozessen beteiligt und ermöglicht eine genauere Abschätzung der Quell- und Senkenstärke der terrestrischen Ökosysteme.

Ziel dieses angekündigten Tagungsbeitrags ist es, verschiedene Bilanzterme zusammenhängend zu betrachten, um damit ganzheitliche Aussagen zur Kohlenstoffdynamik in terrestrischen Waldökosystemen zu treffen. Dafür wurden Kohlenstoffbilanzen an sechs Intensivmessflächen des forstlichen Umweltmonitorings (Level II/ ICP Forests) mit jeweils Fichten- und Buchenbeständen in Baden-Württemberg und für den Zeitraum von 2012 bis 2022 berechnet. Der Fokus lag auf (1) den Eintragungspfad atmosphärische Deposition (DOC im Niederschlagswasser), Biomassezuwachs und Streufall, (2) den Austrägen über das Sickerwasser (DOC) und die Bodenatmung sowie (3) den Kohlenstoffvorräten im Boden.

Gezeigt werden sollen Ergebnisse mit Schwerpunkt auf die zeitlichen Dynamiken, baumart- und standortspezifische Vergleiche sowie maßgebliche Eintrags- und Verlustpfade. Die Ergebnisse versprechen neue Einblicke in die komplexen Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Komponenten des Kohlenstoffkreislaufs und könnten damit zu einem besseren Verständnis der Kohlenstoffspeicherung und -freisetzung in Waldböden und Vegetation beitragen.

Bodenkohlenstoffmodellierung an Standorten der BZE-Wald für das 21. Jahrhundert

Marc Scherstjanoi^{1*}, Erik Grüneberg¹, Nicole Wellbrock¹

¹ Thünen-Institut für Waldökosysteme, Eberswalde, DE, *marc.scherstjanoi@thuenen.de

Die Bodenzustandserhebungen BZE I-Wald (1987 bis 1992) und BZE II-Wald (2006 bis 2008) sind mit ihren über 2400 Erhebungspunkten eine bedeutende Datengrundlage zur Analyse von Bodenzustandsgrößen. Aus ihnen geht hervor, dass der mittlere Vorrat des organischen Bodenkohlenstoffs (soil organic carbon, SOC) im Oberboden (einschließlich organischer Auflage) zwischen beiden Erhebungen einen Anstieg von etwa 75 t C ha⁻¹ auf 81 t C ha⁻¹ erfuhr. 1671 der erhobenen Punkte konnten nun verwendet werden, um erstmalig eine bundesweite Modellierung des SOC im Wald für das 21. Jahrhundert durchzuführen. Dazu wurden die prozessorientierten SOC-Modelle Yasso15 und RothC und der R-Modellierungsrahmen Sorcering benutzt. Zur Bestimmung des toten organischen Materials als Input für die Modellierung wurden Vegetationsdaten der harmonisierten Bestandserhebung zur BZE II-Wald, forstliche Ertragstabellen und mittlere bundesweite Holzeinschlagsfaktoren bis 2013 herangezogen. Die Initialisierung des Anfangszustands des Bodens wurde mit verschiedenen Methoden hergeleitet und der Einfluss zweier verschiedener Startzeitpunkte, entsprechend den beiden Bodenerhebungen, wurde ermittelt. Neben dem Vergleich der Ergebnisse beider Modelle lag der Schwerpunkt der Modellierung bei dem Einfluss des Klimas. Die Modellierung wurde für die drei IPCC-Klimaszenarien RCP 2.6, RCP 4.5 und RCP 8.5 durchgeführt. Bei den Simulationen konnte der mittlere Anstieg des Vorrats des SOC zwischen den Erhebungen mit beiden SOC-Modellen gut wiedergegeben werden. Im weiteren Simulationsverlauf erhöhte sich der mittlere modellierte Vorrat mit Yasso15 abermals um etwa 5 %, mit RothC um etwa 10 % und führte dabei mit beiden Modellen zu einem Verflachen des Anstiegs bis etwa 2040. Erst danach ist eine Aufteilung der Modellergebnisse in Abhängigkeit vom angewandten Klimaszenario erkennbar. Während mit dem RCP 2.6-Szenario ein minimaler Anstieg bis zum Ende des 21. Jahrhunderts modelliert wurde, erfuhr der mittlere modellierte Vorrat mit dem RCP 4.5-Szenario eine etwa konstante Weiterentwicklung und sank mit dem RCP 8.5-Szenario wieder auf Werte der BZE II-Wald. Die Modellergebnisse zeigen, dass der gemessene Anstieg des SOC-Vorrats in Oberböden von deutschen Wäldern sich nicht fortsetzen und die Bodenrespiration die SOC-Assimilation zunehmend überwiegen wird. Der anthropogene Klimawandel verstärkt diese Entwicklung und könnte sogar für eine Abnahme des mittleren Vorrats sorgen. Einen wesentlichen Einfluss haben zudem ökologische Störungen, welche dafür sorgen, dass die Zufuhr toten organischen Materials zum Boden ausbleibt. Die in den letzten Jahren verzeichnete Häufung von ökologischen Störungen, insbesondere von Borkenkäfer-Epidemien, ist in der Modellierung nicht erfasst worden. Es ist demnach wahrscheinlich, dass der mittlere Vorrat des SOC im 21. Jahrhundert sogar noch stärker abnimmt, als hier modelliert werden konnte.

27 Jahre Waldkohlenstoffforschung - und (k)ein bisschen weiser?

Martina Mund^{1*}, Nico Frischbier¹, Corinna Geißler¹, Simon George¹, Philipp Koal¹, Reinhard Mey¹, Philip Mundhenk¹, Ingolf Profft¹, Ralf Wenzel¹

¹Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha/ThüringenForst AöR, Gotha, DE,

*martina.mund@forst.thueringen.de

Die Verabschiedung des Kyoto-Protokolls im Dezember 1997 begründete weltweit eine unerwartete Intensivierung der Forschung zum Kohlenstoff(C)-haushalt von Wäldern. Während diese Forschung zu Beginn eng an die Ziele und Implementierung sowie an mögliche falsche Anreize des Kyoto-Protokolls orientiert war, erweiterte sich im Laufe der Jahre ihre inhaltliche Ausrichtung ebenso wie ihr politischer Kontext. Aus dem ursprünglichen Ziel, die C-Vorräte und -Senkenleistung des Ökosystems Wald zu erhalten und zu fördern, um Zeit für die Etablierung von Maßnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen zu gewinnen (Ansatz des „buying time“), wurde die Speicher- und Senkenleistung der Wälder zunehmend als ein eigenständiges Instrument des Klimaschutzes verstanden. Zudem wurden neue Systemgrenzen gezogen, was große methodische Herausforderungen mit sich brachte. So wurde aus der „C-Bilanz des Waldes“ die „Klimaschutzwirkung des Wald- und Holzsektors“. Diese Erweiterung beinhaltet nicht nur die C-Speicherung in Holzprodukten, sondern auch die Vermeidung von Emissionen durch die Substitutionsleistung von Holzprodukten, inklusive der Potenziale einer Kaskadennutzung und des Recyclings. Parallel dazu hat der Schutz der Biodiversität an Bedeutung gewonnen, sodass Fragen zu möglichen Synergien und Konflikten zwischen Zielen des Klimaschutzes und des Biodiversitätsschutzes aufgekommen sind. Damit eng verbunden hat der Vergleich von Ökosystemleistungen bewirtschafteter und nicht-bewirtschafteter Wälder in Forschung und Politik zunehmend an Bedeutung gewonnen.

Die hier skizzierte Entwicklung der Wald-C-Forschung und ihre Rezeption in der Forst- und Naturschutzpolitik sowie der forstlichen Praxis möchten wir am Beispiel von Studien und Erfahrungen in der Politikberatung in Thüringen und Deutschland nachzeichnen und Erkenntnisse für eine zukünftige, praxisnahe Waldökosystemforschung ableiten. Spätestens mit den Waldschäden durch die extreme Trockenheit und Hitze 2018/2019 stellt sich die Frage, ob die politischen Erwartungen an die Klimaschutzleistungen des Waldes überhöht waren bzw. sind. Angesichts der jüngsten Szenarien zum Klimawandel ist die Forschung zum Erhalt von Wäldern mit all ihren Ökosystemfunktionen drängender als eine Fokussierung auf die Erhöhung der Klimaschutzleistungen.

Session: Auswirkungen von Klimawandel und Witterungsextremen auf den Kohlenstoffkreislauf

Keynote: Auswirkungen von Klimawandel und Witterungsextremen auf den Kohlenstoffkreislauf

Thomas Hickler^{1*}, Tim Anders¹, Jessica Hetzer¹, Matthew Forrest¹

¹*Senckenberg Biodiversity and Climate Research Centre (BiK-F) and Department of Physical Geography at Goethe-University Frankfurt, DE, *Thomas.Hickler@senckenberg.de*

In den letzten Jahrzehnten beobachten wir zunehmend durch Hitze und Dürre bedingte Absterbeereignisse in Wäldern, global, und in Deutschland. Diese haben auch massive Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf. In großen Teilen Europas nehmen witterungsbedingte Störungen unserer Waldökosysteme zu. Die Dürren der Jahre 2018–2020 haben in Teilen Zentraleuropas zu großflächigen Borkenkäferkalamitäten bei der Fichte geführt, die so in gängigen Waldmodellen nicht vorhergesagt wurden.

Dass Waldmodelle den beobachteten starken Anstieg der Baummortalität auch im Nachhinein nicht reproduzieren können, zeigt, dass wir die Prozesse nicht hinreichend verstehen und den bisherigen Prognosen, beispielsweise für Holzvorrat und Kohlenstoffspeicher, nicht trauen sollten. Aufgrund der vielen zusammenwirkenden Faktoren ist eine mechanistische Darstellung der wesentlichen Prozesse in Waldmodellen tatsächlich sehr herausfordernd.

Wir haben mithilfe der Daten der deutschen Waldzustandserhebung statistische Modelle für das witterungsbedingte Absterben der Gemeinen Fichte entwickelt und in das Waldmodell LPJ-GUESS eingebaut. Implizit werden hierbei auch Borkenkäferkalamitäten dargestellt. Simulationen mit Klimaprojektionen zeigen, dass wir auch in Zukunft mit großflächigen Absterbeereignissen bei der Fichte rechnen sollten, aber das Ausmaß, d.h. ähnlich wie in den vergangenen Jahren oder erheblich gravierender, ist unsicher (siehe Posterbeitrag von Tim Anders für mehr Details).

Unsere Forschung zu Waldbränden zeigt, dass das wetterbedingte Waldbrandrisiko in fast ganz Europa in der Zukunft ansteigen wird und dass wir in Teilen von Deutschland ein Brandwetter erleben könnten, wie es heute in sub-mediterranen Teilen Europas vorherrscht. Allerdings zeigen unsere Simulationen auch, dass sozioökonomische Veränderungen, die einer steigenden Waldbrandgefahr entgegenwirken, die Veränderungen durch den Klimawandel mehr als kompensieren können, d.h. weniger Waldbrände trotz steigender witterungsbedingter Gefahr. Es ist jedoch unklar, wann Menschen die Kontrolle verlieren und der natürlichen Dynamik nicht mehr viel entgegenzustellen haben.

Außerdem ist unklar, inwieweit sich unsere Waldökosysteme anpassen können. Hierzu bietet aktuelle genomische Forschung spannende Hinweise. Eine hohe genetische Vielfalt bei Buchen könnte dazu führen, dass Buchenwälder trotz Einbußen bei der Wuchsleistung und steigender Mortalität gegenüber dem Klimawandel resilienter sind als manchmal angenommen.

Generell muss man jedoch bei starker Klimaerwärmung damit rechnen, dass sich die Waldzonen in Europa massiv verschieben werden. Glücklicherweise deuten globale Analysen der Entwicklung unserer Treibhausgasemissionen und der Investitionen in unsere Infrastruktur jedoch darauf hin, dass die 'schlimmsten' Klimaszenarien nicht mehr eintreten werden.

„Buche-Akut“: Buchenkalamitäten im Klimawandel – Mögliche Ursachen und Auswirkungen auf den Kohlenstoffhaushalt in Mitteldeutschland

Joscha Hendrik Menge^{1*,2}

¹ *ThüringenForst AöR - Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum, Gotha, DE,*

**JoschaHendrik.Menge@forst.thueringen.de*

² *Georg-August Universität Göttingen, Abteilung Waldbau und Waldökologie der gemäßigten Zonen, Göttingen, DE*

Infolge der Dürrejahre kam es in vielen Buchenwäldern Mitteldeutschlands zu teilweise starken Vitalitätsverlusten, bis hin zu flächigen Absterbeerscheinungen. Vor diesem Hintergrund geht das Verbundprojekt „Buche-Akut“ unter anderem folgenden Fragen nach:

1. Was sind die wichtigsten prädisponierenden Faktoren für die aktuelle Buchenvitalitätsschwäche?
2. Welche Konsequenzen haben die Kalamitäten auf die mittelfristige Klimaschutzleistung von Buchenwäldern?

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer fernerkundungsbasierten Abschätzung der betroffenen oberirdischen Biomasse vorgestellt. Hierfür wurden Informationen aus einem Sentinel2-basierten Vitalitätsindex (Forest Condition Anomaly - FCA, Lang et al 2024) mit länderweiten Airborne Laserscans verknüpft.

Bei der Analyse der prädisponierenden Faktoren werden sowohl standörtliche Faktoren berücksichtigt (Klima bzw. Witterung, Boden, Exposition) als auch biologische Faktoren (Präsenz bzw. Absenz bestimmter Pathogene, Baum- bzw. Bestandesalter, bisherige waldbauliche Behandlung, aktuelle Waldstruktur). Das Untersuchungsgebiet umfasst alle Buchenwälder der Mittelgebirgslagen in Niedersachsen, Hessen, Sachsen-Anhalt und Thüringen.

Einfluss und Wichtigkeit verschiedener meteorologischer, walstruktureller und standörtlicher prädisponierender Faktoren wurden anhand einer RandomForest-Modellierung evaluiert. Die räumlichen Daten wurden dabei auf 60 m x 60 m (Bestandesebene) aggregiert.

Erste Analysen bestätigen, dass insbesondere der Wasserhaushalt, als Kombination von Bodenspeicherkapazität und Niederschlag, einen wichtigen Erklärungsansatz für das Ausmaß der Buchenvitalitätsschwäche auf Bestandesebene bietet.

Der vorgestellte Modellansatz kann dabei helfen, Risikostandorte für die Rotbuche im Klimawandel zu identifizieren.

Maximilian Lange, Sebastian Preidl, Anne Reichmuth, Marco Heurich, Daniel Doktor (2024). A continuous tree species-specific reflectance anomaly index reveals declining forest condition between 2016 and 2022 in Germany. *Remote Sensing of Environment*. Volume 312. 2024. 114323. ISSN 0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114323>.

Comparative assessment of social-ecological resilience in eight case studies across Europe – potential of management to mitigate impacts of climate change and associated disturbances

Marcus Lindner^{1*}, Sara Uzquiano¹, and the RESONATE team

¹ *European Forest Institute (EFI), Bonn, DE, *marcus.lindner@efi.int*

The Horizon 2020 project RESONATE aims to provide scientific evidence and decision support how to enhance the resilience of European forests to better cope with future climate change and associated disturbances. We present a novel Operational Resilience Framework developed to assess and improve the resilience of forest ecosystems and forest value chains. Indicators were selected to quantitatively measure how resilient a social-ecological forest system can be in response to climate change and disturbances, relative to a reference state. Selected indicators were applied consistently in different forest systems across Europe, distinguishing resilience predictors (i.e. system variables that can be managed) and resilience co-drivers (i.e., variables that affect the level of resilience but cannot be manipulated meaningfully).

Forest simulation models were applied in eight case studies across Europe to investigate the ability of different forest management scenarios to stabilize carbon storage in forest growing stocks and mitigate the impacts of disturbances under three climate scenarios (Historical, RCP4.5, RCP8.5). The comparative resilience assessment analysed alternative management strategies (Business as usual, Climate change adaptation, Increased protection, and Bioeconomy) in diverse forest types and contrasting socio-economic contexts across Europe. Simulations were run from 2021 to 2100 and management effects were compared for short term (2031-2060) and long term (2071-2100) impacts. As climate change strongly amplifies disturbance regimes we investigated whether different management regimes may mitigate this amplifying effect. The results show that there is no single management approach that universally enhances resilience, but that effectiveness varies depending on the specific response variable, biogeographical and socio-economic context and climate scenario. Possible trade-offs between stability and average ecosystem service provision over time were analysed, showing that strategies that promote stability of carbon storage could compromise long-term service provision or lead our forests to negative trends by the end of the 21st century.

Änderungen des Kohlenstoffsinkenpotentials in Wald und Holz auf Basis von Bonitätsänderungen in Baden-Württemberg

Christian Vonderach^{1*}, Femke Lutz¹, Lorenz Bachfischer¹, Jonas Hinze¹, Thorsten Zeppenfeld²

¹ Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Freiburg, DE,

*christian.vonderach@forst.bwl.de

² Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen, DE

Die Ergebnisse der Bundeswaldinventur (BWI) im Herbst 2024 haben gezeigt, dass die Holzvorräte im Wald erstmals seit der ersten Inventur 1987 nicht weiter angewachsen sind und der Klimawandel schon heute deutlich durch großflächige Störungen in die Dynamik der Waldökosysteme eingreift. Ein weiteres langfristiges Ergebnis der BWI stellt fest, dass auch die Zuwächse im Vergleich zu den vorangegangenen BWI-Perioden zurückgegangen sind. Für die Periode 2017-2022 wurde festgestellt, dass der Waldspeicher aus diesen Gründen einen netto Kohlenstoffverlust aufweist. Wie dies in Zukunft aussehen wird ist unsicher. Angesichts dieser Entwicklungen rückt die Rolle des Waldes als Kohlenstoffspeicher unter Umständen in den Hintergrund. Stattdessen gewinnen Holzprodukte, vor allem aber indirekte Effekte an Bedeutung für die Kohlenstoffbilanz. In diesem Beitrag werden mögliche Konsequenzen für die Kohlenstoffsinkenleistung der Wälder in Baden-Württemberg aufgezeigt, die sich aufgrund klimabedingter Bonitätsänderungen ergeben könnten.

Methodisch basieren diese stark modellgestützten Analysen auf baumartenspezifischen Standortleistungsmodellen welche die Oberhöhe im Alter 100 für die BWI-Traktecken im Jahr 2020 und die Zeitscheiben 2021-2050 und 2071-2100 schätzen. Die Beziehung zwischen einer Änderung der Oberhöhe und der Änderung an Kohlenstoffsinkenleistung wird anhand waldwachstumskundlicher Grundrelationen abgeleitet. Dazu werden die an der NW-FVA neu entwickelten Ertragstabellen mit aktuellem Durchforstungsregime (gestaffelte Hochdurchforstung) eingesetzt. Von Vorteil ist, dass neben der Relation zwischen Oberhöhe, Gesamtwuchsleistung und Kohlenstoffvorrat, auch der ausscheidende Bestand quantifiziert und für die Ableitung von Stoffströmen in den Holzproduktesektor genutzt werden kann. Zur Einsteuerung der Modelle im Startjahr werden Daten (z. B. Baumartenanteile, Alter) der aktuellen BWI genutzt. In die Zukunft fortgeschrieben, kann mit diesem Ansatz sowohl eine Quantifizierung des Waldspeichers als auch des Holzproduktespeichers durchgeführt werden. Zusätzlich wird auch die Höhe von direkten und indirekten Substitutionseffekten berechnet und separat dargestellt. Inhärente Unsicherheiten dieser Berechnungen betreffen insbesondere Annahmen zur zukünftigen Holzverwendung und der Höhe der Substitutionseffekte aber auch zu Baumartenanteilen, Bestandesalter und Umtriebszeiten. Unter diesen Rahmenbedingungen wird mit dieser aktuell laufenden Forschungsarbeit eine Annäherung der Kohlenstoffsinkenleistung für die Zeitscheiben 2021-2050 und 2071-2100 vorgenommen und deren Änderung im Vergleich zu heute abgeleitet.

Forest floor and soil organic carbon dynamics following canopy loss in the Northern Black Forest

Kenton Stutz¹, Lilian Benz¹, Sophia Messingschlager¹, Bruno Glaser², Klaus Kaiser³, Flavius Popa⁴

¹ *Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Bodenökologie, Freiburg i.Br., DE*

² *Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Bodenbiogeochemie, Halle (Saale), DE*

³ *Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Bodenkunde und Bodenschutz, Halle (Saale), DE*

⁴ *Nationalpark Schwarzwald, Mykologie und Bodenökologie, Bad Griesbad, DE*

Forest disturbance is increasing due to climate change and the ensuing extreme conditions such as drought and bark beetle outbreaks. Common to all disturbance is the loss of canopy cover, yet the extent and rate at which the resulting changes to micro-climate alter the forest floor and soil organic matter dynamics remains unclear. In our ongoing study, we monitor and repeatedly sample paired control-canopy gap plots in drought-sensitive Norway spruce stands on Podzols and Stangosols developed on Buntsandstein in the Black Forest National Park (2000 mm MAP, 5.5°C MAT).

From October to August, canopy gaps had warmer and slightly drier OH horizons (+0.46 °C and +0.8 % Vol). Thickness, carbon stocks and C/N ratios in the forest floor did not differ between canopy treatments. Instead, soil water in canopy gaps had higher fluxes of total nitrogen and lower pH than closed canopy controls. Seasonal samples also suggested decreased pH, reduced microbial activity, lower proportions of mineral-bound organic carbon and less degradation of lignin-derived phenols in topsoil of canopy gaps than closed canopy controls. Subsoils exhibited surprisingly reduced oxidation of lignin regardless of canopy treatment, resulting in lignin-derived phenols constituting up to 38 % of SOC. This applied to other phenols, which in subsoil accounted for a further 15–18 % of SOC.

Multiple mechanisms may be at work: One, loss of canopy cover combined with solar radiation resulted in the forest floor losing water while retaining heat. Two, nitrification and acidification occurred in canopy gaps before microbial communities could adapt. Three, photodegradation of lignin in canopy gaps maintains lignin degradation in topsoil while stagnate conditions retard lignin decay in subsoil. Similar processes likely occur in any forest with acidic, sandy soils and abundant precipitation. If drought begins to reduce moisture in subsoil, more organic carbon including phenolic matter may be at risk of mineralization.

Session: Senken- und Speicherfunktion durch Holzverwendung

Keynote: Der Beitrag der Holzverwendung zum Klimaschutz

Sebastian Rüter*

*Thünen-Institut für Holzforschung, Hamburg, DE, *sebastian.rueter@thuenen.de*

Die für die Treibhausgas (THG)-Bilanz des Forst- und Holzsektors relevanten drei Wirkmechanismen umfassen zeitlich und räumlich voneinander abweichende Dimensionen, weshalb sie mit verschiedenen Berechnungsmethoden auf unterschiedlichen Skalenebenen mit unterschiedlichen Systemgrenzen (Land- bzw. Produktsystem) erfasst werden. Während die Emissionen von Produktsystemen mit der international standardisierten Methode der Ökobilanzierung ermittelt werden, spielt diese Methode bei der Abschätzung von Effekten der Holzverwendung auf den biogenen Kohlenstoffzyklus und die damit verbundene Senken- und Speicherfunktion des Sektors keine Rolle. Letztere werden mit Methoden ermittelt, die der Weltklimarat (IPCC) zur Abschätzung der nationalen THG-Bilanz von Ländern bereitstellt.

Die Debatte um die Möglichkeiten und Grenzen des Klimaschutzbeitrags von Forst- und Holz dreht sich vor allem auch um die Frage nach dem „richtigen“ Maß der Verwendung des nachwachsenden Rohstoffes; dabei werden gesellschaftliche Zielkonflikte offenbar: Klima- und Biodiversitätsschutz auf der einen Seite, auf der anderen Seite all die gesellschaftlichen Anforderungen, die vor allem mit der Nutzung und Verarbeitung von Rohstoffen zu Energieträgern und Konsumgütern befriedigt werden, worauf ein Großteil der Wertschöpfung des globalen Wirtschaftssystems basiert. Gerade beim Wald als Bestandteil des biogenen Kohlenstoffzyklus und der Nutzung seines nachwachsenden Rohstoffes Holz zeigt sich diese gesellschaftliche Ambivalenz sehr deutlich. Auf der einen Seite soll die Speicher- und Senkenfunktion des Waldes fortlaufend vergrößert werden; zugleich kann mit der Verwendung des heimisch verfügbaren Rohstoffes Holz z.B. dringend benötigter Wohnraum geschaffen werden, während seine industrielle Verarbeitung ebenfalls mit THG-Emissionen verbunden ist. Allzu oft wird der Fokus in dieser Debatte je nach Interessenslage selektiv auf einzelne Systemelemente gelegt – während eine faktenbasierte Berechnung aller für den Sektor relevanten THG-Effekte das gesellschaftliche Dilemma zwischen einem für das Erdsystem global zu großen Verbrauch von Ressourcen sowie deren Weiterverarbeitung zu Konsumgütern und tatsächlich wirksamem Klimaschutz schonungslos offenlegen kann.

Die große Herausforderung besteht nun also unter anderem darin, die verschiedenen etablierten Methoden und Datenquellen zur Berechnung der relevanten Wirkmechanismen des Forst- und Holzsektors konsistent miteinander zu kombinieren, um den möglichen Klimaschutzbeitrag der Holzverwendung überhaupt fundiert und belastbar abzuschätzen zu können. Nur so lassen sich plausible Aussagen zum Beitrag der Holzverwendung zum Klimaschutz treffen. Dies ist die Grundvoraussetzung für die Identifizierung wirksamer, gesellschaftlich akzeptierbarer und letztlich auch umsetzbarer Klimaschutzmaßnahmen, die die gesellschaftlich anvisierte Transformation zur Klimaneutralität überhaupt erst gelingen lassen kann. Und hierbei kann die Verwendung des heimisch verfügbaren und nachwachsenden Rohstoffes Holz eine zentrale Rolle spielen.

Der europäische Forstsektor im Spannungsfeld zwischen Klimaschutzmaßnahmen und Bioökonomiebestrebungen: Untersuchung des Beitrags der Wald- und Holzproduktspeicher

Tomke Honkomp^{1*}, Franziska Schier

¹ *Thünen-Institut für Forstwirtschaft, Hamburg, DE, *tomke.honkomp@thuenen.de*

Mit dem Europäischen Green Deal strebt die Europäische Union (EU27) Kohlenstoffneutralität bis 2050 an und ebnet hiermit den Weg für ehrgeizige Klimaschutzmaßnahmen auf globaler Ebene. Ergänzend zur weitreichenden sektorübergreifenden Dekarbonisierung soll die LULUCF-Verordnung der EU forst- und holzwirtschaftliche Maßnahmen zum Ausgleich von Restemissionen aus Branchen mit schwer reduzierbaren Emissionen fördern. Gleichzeitig soll die EU-Bioökonomie-Strategie auf die Gewinnung von Waldbiomasse setzen, um die Abhängigkeit Europas von fossilen Ressourcen zu verringern. Diese wachsende Zahl politischer Maßnahmen, mit zum Teil widersprüchlichen Zielen, setzt den europäischen Forstsektor zunehmend unter Druck.

Während die Erhöhung der Kohlenstoffbindung in Waldbiomasse das Angebot an Rohholz beeinträchtigen wird, könnten Anreize für langlebige Holzprodukte Synergien zwischen Klimaschutz- und Bioökonomiepolitik schaffen. Es fehlen jedoch zukunftsorientierte Analysen über den Beitrag des Holzproduktspeichers zum europäischen Green Deal.

Diese Studie stützt sich auf eine Szenarioanalyse, um den Beitrag von langlebigen Holzprodukten zu den Klima- und Bioökonomiezielen auf europäischer Ebene bis 2050 zu untersuchen. Vorausschauende Projektionen werden mit dem Timber Market Model for policy-Based Analysis (TiMBA), einem partiellen Gleichgewichtsmodell für den globalen Holzmarkt, berechnet.

Für diese Analyse wird TiMBA erweitert, um die CO₂-Einspeicherungen in und CO₂-Emissionen aus den Wald- und Holzproduktspeichern zu berechnen und zu vergüten. Die Vergütung wird in TiMBA mittels eines europäischen Kohlenstoffpreissystems eingeführt. In den Szenarien wird der Beitrag des Wald- und Holzproduktspeichers zu den europäischen Klima- und Bioökonomiezielen unter verschiedenen Kohlenstoffpreisen und sozioökonomischen Bedingungen quantifiziert, die sich an den Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) orientieren.

Diese Studie liefert Einblicke in den potenziellen Beitrag forst- und holzwirtschaftlicher Maßnahmen, insbesondere verbunden mit den Holzproduktspeicher, zur Erreichung der Ziele der EU-LULUCF-Verordnung. Zeitgleich wird die Verfügbarkeit von Waldbiomasse zur Ausweitung der Bioökonomie untersucht. Auf diese Weise zielt diese Studie darauf ab, die Rolle des Forstsektors innerhalb des europäischen Green Deals zu spezifizieren.

Die Klimaleistungen von Wald und Holz in der Schweiz

Nele Rogiers^{1*}, Golo Stadelmann², Esther Thürig²

¹ Bundesamt für Umwelt, Bern, CH, *nele.rogiers@bafu.admin.ch

² Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, CH

Wald und Holz erbringen die als 3S bezeichneten Klimaleistungen. Sie umfassen die Sequestrierung von CO₂ im Wald, die Speicherung von C in Holzprodukten sowie die Substitution von emissionsintensiveren Produkten und fossilen Energieträgern durch Holz.

Das wissenschaftliche Projekt KWHS

Im wissenschaftlichen Projekt „Klimaleistungen der Waldbewirtschaftung- und Holzverwendung in der Schweiz (KWHS)“ wurde untersucht, wie und in welchem Umfang die Waldbewirtschaftung und Holzverwendung in der Schweiz zukünftig Klimaleistungen erbringen können. Die 3S Klimaleistungen wurden für verschiedene Szenarien mit einem umfassenden Modelrahmen für die Schweiz und für das Ausland quantifiziert. Die wichtigsten Ergebnisse sind:

Prägend für die gesamte Klimaleistung von Wald und Holz ist bei allen Szenarien die Entwicklung der CO₂-Sequestrierung im Schweizer Wald. Anpassungen der Waldbewirtschaftung und grossflächige Störungen als Folge von Klimaänderungen konnten nur unter stark vereinfachten Annahmen simuliert werden. Deshalb müssen die Ergebnisse entsprechend interpretiert werden.

Die getroffenen wirtschaftlichen Annahmen deuten darauf hin, dass zwischen den Schweizer Holzerntemengen und dem Schweizer Holzverbrauch kein direkter Zusammenhang besteht.

Die gesamte Klimaleistung lässt sich verbessern, wenn Holz zuerst in langlebigen Produkten zum Einsatz kommt, bis zum Ende der Lebensdauer mehrfach verwendet wird und zuletzt noch als Brennstoff dient (Kaskadennutzung).

Die Netto-Null-Klimapolitik zwingt auch andere Branchen zu technologischen Neuerungen, welche sich positiv auf die Klimabilanz konkurrierender Rohstoffe auswirken dürften. Damit geht auch ein fortlaufender Rückgang des Substitutionspotenzials von Holz einher.

Einbettung der wissenschaftlichen KWHS-Studie

Die Ergebnisse der wissenschaftlichen KWHS-Studie wurden in einem wirtschaftlichen, politischen und wissenschaftlichen Kontext diskutiert und eingebettet. In dieser Einbettung werden u. a. auch zukünftige Risiken für die 3S Klimaleistungen evaluiert. Zum Beispiel wird aufgezeigt, wie sich der Klimawandel auf die 3S auswirken könnte. Weiter werden in diesem Bericht auch die Unsicherheiten bezüglich der Entwicklung der Substitutionsleistung beleuchtet.

Fachpolitische Folgerungen der KWHS-Studie

Darauf aufbauend hat die Waldkonferenz des BAFU fachpolitische Folgerungen erarbeitet, deren Umsetzung dazu beitragen soll, die 3S zu stärken. Sie entstanden in der Diskussion mit Fachleuten der Schweizer Wald- und Holzbranche an einem Stakeholder-Workshop.

Der Bericht „Reflexion über die KWHS-Studie“ zeigt auf, dass sich die 3S in der Schweiz nur stärken lassen, wenn künftig alle Waldleistungen integral betrachtet werden. Zentral sind dabei ein naturnaher Waldbau, ein multifunktionales Waldökosystem sowie eine leistungsfähige Wald- und Holzwirtschaft.

Potenziale der Birke zur Kohlenstoffspeicherung: Funktion in der Wiederbewaldung und neue Holzverwendungen

Christoph Ertle^{1*}, Raul Köhler¹, Lukas Emmerich^{2*}, Stefanie Wieland², Tom Jansen²

¹ *Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften, Finsterwalde, DE, *fib@fib-ev.de*

² *Zentrum für Wald und Holzwirtschaft, Wald und Holz NRW, Team Holzwirtschaft, Olsberg, DE,*

**lukas.emmerich@wald-und-holz.nrw.de*

Der Waldumbau hin zu klimaanpassungsfähigen, strukturreichen Mischbeständen gilt als eine zentrale Herausforderung der Waldbewirtschaftung. Trotz aktiver Waldumbaprozesse können überregionale Schadereignisse jedoch zu Unterbrechungen bestehender Waldstrukturen sowie der Wertschöpfungskette Forst-Holz führen. Einschichtige Monokulturen sind dabei besonders anfällig gegenüber abiotischen und biotischen Schadfaktoren. Jüngste Belege liefert die seit 2018 anhaltende Borkenkäferkalamität, welche in Nordrhein-Westfalen zur größten Fichten-Borkenkäferkalamität seit 1947 führte (Niesar et al., 2018). Eine erfolgreiche Wiederbewaldung dieser Kalamitätsflächen ist nun zentral zur Sicherung der Waldfunktionen sowie einer nachhaltigen Versorgung mit stofflich verwertbaren Rohholzsortimenten. Damit einhergehend steht der Erhalt des Klimaschutzbeitrages von Wald und Holz (biogener Kohlenstoffkreislauf) als einen der größten natürlichen Kohlenstoffspeicher.

Nach derart extremen Kalamitätsereignissen spielen Pionierbaumarten wie die Birke (*Betula* spp.) in dieser Funktion eine zentrale Rolle. Deutschlandweit zählt die Birke mittlerweile zur dritthäufigsten Laubbaumart und besitzt mit > 500.000 ha Flächenrelevanz - dazu gehören Industriebrachen, Ödland, Truppenübungsplätze sowie vegetationsarme Rekultivierungsflächen. In NRW findet sich die Birke bereits auf ca. 7 % der Waldfläche (Thünen-Institut, 4. BWI, 2024). Die Birke wird so mittelfristig zu einem wesentlichen Baustein, wenn es um den Erhalt der natürlichen Kohlenstoffspeicher Wald und Holz geht. Baumartenspezifische Daten bilden dabei die Grundlage für eine fundierte und belastbare Berechnung der C-Speicherleistung von Birkenwäldern; insbesondere für aus natürlicher Sukzession hervorgehende Wälder liegen bislang nur wenige Daten vor. In diesem Kontext untersuchte das FNR-Projekt „PlanBirke plus C“ den Biomasse- sowie Kohlenstoffvorrat auf zwei exemplarischen Sukzessionsflächen im Industriebwald Rheinelbe (NRW) sowie dem ehemaligen Truppenübungsplatz Königsbrücker Heide (Nordsachsen). Differenziert nach den Kompartimenten Stamm, lebendes und totes Astholz, Rinde sowie Blätter und Samen wurde der oberirdische Kohlenstoffvorrat an repräsentativen Einzelbäumen ermittelt. Darauf basierend wurde das C-Speicherpotenzial der Gesamtbestände mittels Expansionsfaktoren sowie Inventurdaten abgeleitet. Seit 60 Jahren das Waldbild im Industriebwald Rheinelbe bestimmend, entzog die Birke der Atmosphäre > 300 t CO₂/ha. In der seit 2023 als Wildnisgebiet (IUCN) ausgewiesenen Königsbrücker Heide waren es seitdem > 95 t CO₂/ha, was einer Kohlenstoffbindung von > 26 t C/ha entspricht.

Über den Waldspeicher hinaus bieten die technologischen Eigenschaften des Birkenholzes ein großes Potential für die stoffliche Verwendung in langlebigen Holzprodukten und können somit im Rahmen des Holzproduktespeichers und der Substitution zusätzlich positive Effekte auf die C-Senken- und Speicherfunktion von Wald und Holz im Zusammenspiel schaffen. Im Bereich Bauen mit Holz spielt die Birke bis dato eine nur untergeordnete Rolle, dabei steigt der Klimaschutzbeitrag durch Holzverwendung mit der Wertschöpfung in der ersten Verarbeitungsstufe. Das FNR-Projekt „HolzSysteme“ betrachtet daher die Potenziale der Birke zur Herstellung von Holzbauprodukten, mit Fokus auf Brettschichtholz (BSH). Betrachtungsgegenstand sind Birken aus NRW, Niedersachsen und Mecklenburg-Vorpommern, die über die gesamte Verarbeitungskette, von der Holzernte, über die Festigkeitssortierung bis hin zur Herstellung von Brettschichtholz (BSH) wissenschaftlich untersucht werden. Erste Ergebnisse zeigen dabei deutliche Potenziale, Birke deutscher Herkunft zur Herstellung von BSH und als Alternative zum Nadelholz einsetzen und so zugleich die höheren Festigkeitswerte für ein ressourcenschonendes Bauen mit Laubholz nutzen zu können.

Kurz- bis mittelfristig zeigt die Birke Potenziale, einen zentralen Beitrag zum Klimaschutz im Wald und durch eine ressourceneffiziente, nachhaltige Holzverwendung in langlebigen Holzprodukten übernehmen zu können. Um fundierte Aussagen zum C-Speicherpotenzial der Birke aus bewirtschafteten Wäldern treffen zu können, bedarf es gesicherter baumartenspezifischer Daten zur Kohlenstoffbindung der Birke sowie weiterer Analysen von möglichen stofflichen Verarbeitungs- und Prozesswegen. Diese werden Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein, mit dem Ziel den Klimaschutzbeitrag der Birke auf Basis konsistenter Berechnungsmethoden präziser abschätzen zu können.

Grundlagen und Empfehlungen zur Einschätzung der Klimaschutzwirkung von Wald und Holznutzung – Stellungnahme des Wissenschaftlichen Beirats für Waldpolitik

Gabriele Weber-Blaschke^{1,2*}, Matthias Dieter^{1,3}, Marcus Lindner^{1,4}, Thomas Knoke^{1,5}, Jürgen Bauhus^{1,6}

¹ *Wissenschaftlicher Beirat für Waldpolitik (WBW) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), DE*

² *Technische Universität München, Freising, DE, *weber-blaschke@hfm.tum.de*

³ *Thünen-Institut für Waldwirtschaft, Hamburg, DE*

⁴ *European Forest Institute, Bonn, DE*

⁵ *Technische Universität München, Freising, DE*

⁶ *Universität Freiburg, Freiburg, DE*

Klimaschutz ist ein vordringliches Politikziel, sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene. Für die Klimaschutzpolitik ist es daher wichtig zu wissen, welchen Klimaschutzbeitrag der Wald und die Holznutzung in Deutschland zu den Klimaschutzzielen der Bundesregierung aktuell leistet und in Zukunft leisten kann. In der Klimaberichterstattung werden nur die laufende Speicherung oder Emissionen von Treibhausgasen von Wald und Holzprodukten dem LULUCF-Sektor zugeschrieben. Potenzielle Substitutionseffekte gehen nur indirekt vor allem über die Sektoren Industrie und/oder Energie ein, der Beitrag den die Holzverwendung leisten kann, ist dadurch nicht unmittelbar offensichtlich. Bisherige Studien legen unterschiedliche Betrachtungsweisen an, um die Klimaschutzwirkung des Waldes und seiner Bewirtschaftung zu ermitteln. Es ist zu berücksichtigen, dass die Höhe der Klimaschutzwirkung nicht nur davon abhängt, welche Systemgrenzen gesetzt, sondern auch welche zeitlichen und räumlichen Skalen betrachtet werden. Dazu erschweren Einflüsse von natürlichen Einwirkungen auf den Wald und von gesellschaftlichen und technischen Rahmenbedingungen für die Holznutzung die Quantifizierung von Klimaschutzeffekten.

Der Wissenschaftliche Beirat für Waldpolitik hat deshalb eine Stellungnahme erarbeitet, um auf kritische Punkte bei der Ermittlung der Klimaschutzwirkung hinzuweisen und Lösungsmöglichkeiten zu diskutieren. Der WBW gibt darauf aufbauend folgende Empfehlungen:

- Umfassende Betrachtung von Waldspeicher, Holzproduktspeicher und potenziellen Substitutionseffekten
- Methodische Weiterentwicklung zur Zusammenführung der Produktebene bei Substitutionseffekten und der räumlichen Ebene der Kohlenstoffspeicherung bzw. Treibhausgasquellen und -senken
- Transparenter Umgang mit Unsicherheiten
- Berücksichtigung von Additionalität/Zusätzlichkeit
- Zeitliche Differenzierung von CO₂-Bindung und THG-Emissionen
- Folgenbetrachtung auf Makroebene
- Transparente Szenarienbildung

Aufgrund der aktuellen Größenordnungen des Wald- und Holzspeichers sowie der Substitutionseffekte ist zu erkennen, dass Wälder und die nachhaltige Nutzung ihres Holzes derzeit nur einen kleinen Beitrag zum Klimaschutz beisteuern können. Ohne Treibhausgasreduzierungen in den anderen Sektoren Verkehr, Energie, Industrie, Gebäude sowie Landwirtschaft mit Maßnahmen zur Effizienz und Suffizienz sind die Klimaziele in den gesetzten Größenordnungen nicht zu erreichen. Der WBW weist auch ausdrücklich darauf hin, dass es außer der Klimaschutzwirkung noch weitere Umweltwirkungen von Wald und Waldnutzung gibt, die sich gegenseitig fördern oder hemmen können. Klimaschutz ist dabei nur eine Leistung des Ökosystems Wald und muss mit seinen anderen Leistungen (Holzbereitstellung, Boden-, Wasser-, Landschafts-, Natur- und Biodiversitätsschutz und Erholungsfunktion) sowie der Anpassung an den Klimawandel in Einklang gebracht werden.

Session: Effekte unterschiedlicher Bewirtschaftungsmaßnahmen und Nutzungsverzicht

Keynote: Risiken und Vorteile der Verringerung der Waldbehandlungsintensität

Robert Jandl^{1*}, Georg Kindermann¹, Thomas Ledermann¹, Manfred Lexer², Thomas Gschwantner¹, Andreas Schindlbacher¹

¹ Bundesforschungszentrum für Wald, Wien, AT, *robert.jandl@bfw.gv.at

² Universität für Bodenkultur, Wien, AT

Mitteleuropäische Wälder gelten als intensiv bewirtschaftet. Forstleute folgen der Ansicht, dass die aktuell angewendete Waldbewirtschaftung viele Ansprüche der Gesellschaft erfüllt. Andere Gruppen sehen in der Extensivierung der Waldbewirtschaftung Vorteile hinsichtlich Waldbiodiversität und Kohlenstoffspeicherung. Die Argumente sind dichotom und werden empathisch vertreten. Themen wie „Produktivität / Einkommen / Versorgung der Bioökonomie“, „Biodiversität auf verschiedenen trophischen Skalen“ (inkl. Totholz), „Erhaltung bzw. Herstellung der Schutzwirkung des Waldes“, und „Klimaschutz“ (Festlegung von Kohlenstoff) spielen in der Diskussion eine wichtige Rolle.

Abseits von Partikularinteressen unterliegen die Wälder natürlichen Prozessen (Wachstum, Mortalität und Störungsregime, Reproduktion), die vom Klimawandel überlagert werden. Wir versuchen aus verfügbaren Daten eine balanzierte Abschätzung in Bezug auf die Auswirkungen unterschiedlicher Nutzungsintensitäten auf die Wachstumsdynamik und den Kohlenstoffhaushalt zu entwickeln.

Dazu zählen Modellierungsergebnisse aus nationalen österreichischen Forschungsprojekten wie z.B. ValoFor, CareForNetZero und CareForParis mit langem zeitlichem Horizont, Versuchsflächen des Waldbaus mit tlw. 50-jährigen Messreihen, die österreichische Waldinventur, Daten der Waldschäden.

In dem Beitrag gehen wir auf folgende Aspekte ein:

- Effekte der Nutzungsreduktion auf verschiedene Zielgrößen
- Empirischer Vergleich von intensiv und extensiv, bzw. gar nicht bewirtschafteten Wäldern
- Wir versuchen den Kontext der Beobachtungen aus Versuchen und Simulationen mit Wissen aus Waldwachstum und Forsteinrichtung in Übereinstimmung zu bringen.

Schadorganismen im Klimawandelgeschehen und ihre Auswirkungen auf den Kohlenstoffkreislauf in Waldökosystemen

Ralf Petercord*

*Ministerium für Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, DE, *ralf.petercord@mlv.nrw.de*

Neben dem erhöhten Risiko durch abiotische Störungen steigt durch die im Klimawandel extremen Ereignisse auch das Risiko für Schäden durch biotische Schadfaktoren in den Waldökosystemen. Dies gilt unabhängig von der Bewirtschaftungsform, allerdings abhängig von der Naturnähe der Waldökosysteme. Wobei die Naturnähe im dynamischen Klimawandelgeschehen zunehmend relativ wird, da die standörtlichen Bedingungen sich ändern (Standortdrift) und ökosystemare Beziehungen zunehmend kollabieren werden.

Schadorganismen profitieren vom Klimawandel direkt durch die schnellere Entwicklung während der Ontogenese und einer daraus resultierenden geringeren Mortalität, so dass Generationenwechsel schneller und erfolgreicher durchlaufen werden können. Insbesondere der Massenwechsel plurivoltiner Insektenarten wird auf diese Weise besonders begünstigt. Gleichzeitig schwächen die veränderten Witterungsbedingungen die Wirtspflanzen und machen sie damit als Nahrungsquelle für Schadorganismen leichter nutzbar. In der Folge kommt es zur Ausweitung von Massenwechselgebieten und verkürzten Zyklenlängen. Zudem bedingt die Temperaturerhöhung veränderte Verbreitungsgebiete und erleichtert invasiven Arten sich zu etablieren. Fehlende Koinzidenz in Räuber-Beute-Beziehungen begünstigt Schadorganismen zusätzlich.

Während kleinflächige Störungen, die selektiv nur einzelne Individuen betreffen, wirken auf Bestandesebene enthomogenisierend und strukturierend, sind nicht bestandesbedrohend, vielmehr führt die aus ihnen resultierende Mosaikfraktionierung zu einer Stabilitätssteigerung. Großflächige Störungen dagegen übersteigen die Elastizität der Waldökosysteme, sie wirken daher bestandeszerstörend, was zu einer Homogenisierung des Folgebestandes führt. Damit erhöht sich das Risiko weiterer großflächiger Störungen in der Zukunft, die letztlich in „Störungsketten“ im Startpunkt der Sukzessionsfolge münden können.

Kleinflächige Störungen, die zur Massenvermehrung eines Schadorganismus ausreichen, können sich zu großflächigen Störungen auswachsen. Die Grenze zwischen kleinflächiger und großflächiger Störung ist damit in Abhängigkeit von der Reaktivität und Aggressivität des jeweiligen Schadorganismus fließend. Entsprechend den klimatischen Veränderungen und ihren Auswirkungen auf die Biozönose werden großflächige Störungen im Klimawandel damit wahrscheinlicher.

In der aktuellen Diskussion über die Kohlenstoffspeicherkapazität des Waldes, wird die zunehmende Bedeutung biologischer Störungen allgemein unterschätzt bis negiert, teils weil sie aus ideologischer Überzeugung für naturnahe Wälder schlicht verneint bzw. als „natürlich“ angesehen wird, teils weil sie sich modellhaft kaum darstellen lässt. Dies ist für die optimale Nutzung des Klimaschutzpotentials des Waldes fatal und hat aktuell bereits zu Fehlanreizen bei der Waldbewirtschaftung geführt.

Einheimische und invasive Schadorganismen werden die klimatischen Veränderungen der Waldökosysteme maßgeblich beschleunigen, hohe Vorräte und überalterte Bestände begünstigen diese Entwicklung. Die Priorisierung auf den Wald- und Waldbodenspeicher für den Klimaschutz ist daher falsch. Vielmehr muss beim natürlichen Klimaschutz der Fokus auf die Senkenleistung des Waldes, den Holzzuwachs, gelegt werden, diesen gilt es unter Berücksichtigung des Biodiversitätserhalts zu maximieren und in den stabileren Holzproduktespeicher zu transformieren.

Einfluss forstlichen Managements auf ober- und unterirdische Kohlenstoffspeicherung im Wald

Theresa Klein-Raufhake^{1*}, Norbert Hölzel¹, Jens Jakob Schaper¹, Michael Meyer¹, Michael Elmer², Max Fornfeist², Britta Linnemann³, Katharina Rentemeister³, Lea Santora³, Jens Wöllecke³, Ute Hamer¹

¹ Universität Münster, Institut für Landschaftsökologie, Münster, DE,

* t.klein-raufhake@uni-muenster.de

² Landesbetrieb Wald und Holz Nordrhein-Westfalen, FBIV, Team Waldnaturschutz, Münster, DE

³ NABU Naturschutzstation Münsterland, Münster, DE

Waldökosysteme können erhebliche Mengen an Kohlenstoffdioxid (CO₂) aus der Atmosphäre aufnehmen und langfristig in Form von organisch gebundenem Kohlenstoff (Corg) speichern. Wichtige Kohlenstoffspeicher sind neben der oberirdischen lebenden Biomasse die Böden.

Im BiCO₂-Projekt wurden in vier Waldgebieten in Nordrhein-Westfalen (Niederrhein, Kernmünsterland, Arnsberger Wald, Egge-Vorberge) die Kohlenstoffvorräte in der oberirdischen lebenden Biomasse, im Totholz, in Grobwurzeln, in der organischen Auflage und im Mineralboden bis 60 cm Tiefe entlang eines Nutzungsgradienten (ForMI, nach Kahl & Bauhus 2014) ermittelt. Die mittleren Kohlenstoffvorräte aller 200 untersuchten Flächen liegen bei 292 ±72 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar (t Corg/ha). Die Kohlenstoffvorräte in der lebenden Biomasse unterscheiden sich kaum zwischen den vier Projektgebieten und werden vor allem vom Bestandesalter, aber auch vom Basen- und Tongehalt des Standortes beeinflusst. Im Kernmünsterland waren die Vorräte in den Humusaufgaben mehr als doppelt so hoch wie in den anderen drei Untersuchungsgebieten. Die Gesamtkohlenstoffvorräte im Boden bis 60 cm Tiefe waren in den Mittelgebirgsregionen (Arnsberger Wald und Egge-Vorberge) aufgrund des hohen Skelettanteils (Steine > 2 cm) mit ca. 100 t Corg / ha deutlich geringer als in den tiefgründigen und skelettarmen Tieflandwäldern des Kernmünsterlandes und des Niederrheins (185 und 160 t Corg/ha).

Die Kohlenstoffspeicherung in Waldböden kann durch gezielte Bewirtschaftungsmaßnahmen beeinflusst werden. Mit steigendem Anteil an Nadelbäumen zeigt sich über alle Untersuchungsgebiete hinweg eine Zunahme der Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage. Die schlechter zersetzbare Nadelstreu akkumuliert sich in mächtigen Auflagehorizonten, ist jedoch sehr labil und kann in Folge von Kalamitäten, Windwurf, Waldbränden oder Kalkung schnell abgebaut werden. Die Kohlenstoffvorräte in der organischen Auflage am Niederrhein waren auf ehemals gekalkten Flächen um ca. 12t / ha und im Oberboden um 6 t / ha geringer als auf den ungekalkten Flächen. Für die langfristige stabile Kohlenstoffspeicherung spielt der Mineralboden eine entscheidende Rolle. Signifikante Kalkungseffekte konnten im Arnsberger Wald bis in 5 - 30 cm Mineralbodentiefe nachgewiesen werden: Frühere Kalkungen verursachten hier im Mittel Verluste von 22 t / ha Corg. Darüber hinaus zeigte sich in den Wäldern des Kernmünsterlandes in 30 - 60 cm Mineralbodentiefe ein negativer Effekt erhöhter Holzerntemengen auf die Kohlenstoffvorräte.

Kahl, T., & Bauhus, J. (2014). An index of forest management intensity based on assessment of harvested tree volume, tree species composition and dead wood origin. *Nature Conservation*, 7, 15–27.
<https://doi.org/10.3897/natureconservation.7.7281>

Kohlenstoffbindung in unbewirtschafteten Wäldern: Mittelfristige Senke und langfristiger Speicher

Eike Feldmann^{1*}, Rouven Nagel^{1,2}, Markus Blaschke³, Peter Meyer¹

¹ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Waldnaturschutz, Hann. Münden, DE,

*eike.feldmann@nw-fva.de

² Georg-August-Universität Göttingen, Fakultät für Forstwissenschaften und Waldökologie, Abteilung Waldnaturschutz, Göttingen, DE

³ Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abteilung Biodiversität und Naturschutz, Freising, DE

Der Anteil von Wäldern mit natürlicher Entwicklung, d.h. Wälder in denen die forstliche Nutzung eingestellt wurde, ist in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen und eine weitere Erhöhung wird angestrebt. Die Kohlenstoffdynamik im Zuge natürlicher Waldentwicklung ist bislang nicht gut verstanden und ob sie einen Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels leistet wird kontrovers diskutiert. Um ihre Rolle in diesem Zusammenhang zu klären, wurden im Rahmen des natWald100-Projekts umfangreiche Datensätze aus Naturwaldreservaten ausgewertet.

Um die Biomassedynamik reiner Buchenwälder sowie buchen- und eichendominierter Mischwälder zu analysieren, haben wir Langzeitmonitoringdaten aus 21 Naturwaldreservaten im Nordwesten Deutschlands über einen Zeitraum von etwa 50 Jahren verwendet. Darüber hinaus untersuchten wir im Jahr 2020 die ober- und unterirdischen Kohlenstoffvorräte in deutschlandweit 69 unbewirtschafteten Buchenwäldern. Diese deckten ein breites Spektrum hinsichtlich ihrer Zeit seit Nutzungseinstellung („time since abandonment“ = TSA), dem Bestandsalter und der Standortbedingungen ab, sodass die Wirkung der einzelnen Faktoren quantifiziert und zeitliche Trends anhand einer Raum-Zeit-Substitution abgeleitet werden konnten.

Der Zeitreihenanalyse zufolge war die Nettoveränderung der oberirdischen Biomasse in allen Waldtypen innerhalb des Beobachtungszeitraums positiv. Während der Anstieg mit TSA in Buchenrein- und Buchenmischwäldern einem linearen Verlauf folgte, wurde für Eichenmischwälder ein asymptotischer Verlauf beobachtet. Reine Buchenwälder erreichten ein höheres Biomasseniveau und eine höhere Nettoveränderung der Biomasse als die Mischwaldtypen.

Der Ansatz der Raum-Zeit-Substitution deutet darauf hin, dass der Gesamtkohlenstoffvorrat über ca. 50 Jahre um durchschnittlich 80 Mg C ha⁻¹ ansteigt. Der Anstieg des Kohlenstoffvorrats findet hauptsächlich in der oberirdischen Biomasse statt, während auf die Kohlenstoffspeicherung im mineralischen Oberboden kein TSA-Effekt nachgewiesen werden konnte. Nach 50 Jahren TSA scheint sich der Kohlenstoffspeicher zu stabilisieren, wobei es zu einer Umverteilung von lebender zu toter oberirdischer Biomasse kommt. Daten aus Buchenurwäldern deuten darauf hin, dass die Kohlenstoffspeicherung langfristig sogar noch höhere Werte erreichen könnte.

Zeitreihendaten und Raum-Zeit-Substitution führten zu ähnlichen Ergebnissen in Bezug auf die Entwicklung in den ersten Jahrzehnten nach Nutzungseinstellung. Beide Untersuchungen dokumentieren eine erhebliche Kohlenstoffbindung und -speicherung. In Ermangelung längerer Zeitreihen liefert die Raum-Zeit-Substitution wertvolle Informationen zur langfristigen Entwicklung, d. h. zur zeitlichen Begrenzung der Kohlenstoffbindung sowie einer langfristig hohen Speicherkapazität. Angesichts des komplexen Wirkungsgefüges und der sich ändernden Rahmenbedingungen durch den Klimawandel betonen wir jedoch, wie wichtig es ist, bestehende Zeitreihen fortzuführen und zu erweitern, da sie laufende Prozesse zuverlässig erfassen und für deren Verständnis unverzichtbar sind.

Langjährige Dynamik der Kohlenstoffflüsse eines bewirtschafteten und eines unbewirtschafteten Buchenwaldes

Christian Markwitz^{1*}, Anne Klosterhalfen¹, Franziska Koebsch², Martina Mund³, Frank Tiedemann¹, Edgar Tunsch¹, Alexander Knohl¹

¹ Universität Göttingen, Bioklimatologie, Göttingen, DE, *cmarkwi@gwdg.de

² Universität Greifswald, Institut für Botanik und Landschaftsökologie, Greifswald, DE

³ Forstliches Forschungs- und Kompetenzzentrum Gotha, Gotha, DE

Wälder sind wichtige natürliche Kohlenstoffspeicher und können zur Abmilderung der Klimaveränderungen beitragen. Die Dürre und Hitzeperioden der letzten Jahre haben den Wäldern in Deutschland stark zugesetzt, verbunden mit einer reduzierten Nettokohlenstoffaufnahme und Wasserdampf-abgabe. Fraglich ist, ob unbewirtschaftete Buchenmischwälder mit unterschiedlichen Altersklassen resilienter sind hinsichtlich häufig auftretender Trockenheitsereignissen als bewirtschaftete, gleichaltrige Buchenreinbestände.

Seit rund 25 Jahren werden in einem unbewirtschafteten Buchenlaubmischbestand im Nationalpark Hainich (DE-Hai) und einem bewirtschafteten Buchenreinbestand in der Nähe von Leinefelde (DE-Lnf)/Thüringen die Bruttoprimärproduktion, die Ökosystemrespiration, die Nettoökosystemproduktion, die Evapotranspiration sowie meteorologische Parameter untersucht.

In den vergangenen 25 Jahren waren beide Bestände eine substanzielle Kohlenstoffsénke (DE-Hai: $512 \pm 89 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$; DE-Lnf: $590 \pm 190 \text{ gC m}^{-2} \text{ a}^{-1}$), wobei die jährliche Kohlenstoffaufnahme des bewirtschafteten Waldes deutlich stärker variierte als die des unbewirtschafteten Waldes. Auch in dem extrem trockenen und heißen Jahr 2018 waren beide Bestände eine Kohlenstoffsénke, ihre jährliche Kohlenstoffaufnahme war jedoch jeweils um 27 % (DE-Hai) und 64 % (DE-Lnf) reduziert, im Vergleich zum langjährigen Mittel von 2002-2017. Auch in den Folgejahren zeigte sich eine Reduktion der Kohlenstoffaufnahme, wobei der bewirtschaftete Wald eine schnellere Erholung der Kohlenstoffaufnahme zeigte als der unbewirtschaftete Wald. Einerseits war das auf eine anhaltend geringe Bodenwasserverfügbarkeit zurückzuführen und andererseits kommen Vitalitätsverluste der Bäume hinzu, die sich erst in den Folgejahren auf die Kohlenstoffbilanz auswirkten. Die Unterschiede zwischen den Beständen lassen sich vor allem über Unterschiede im Baumalter bzw. der Bestandesstruktur erklären. Der bewirtschaftete Bestand besteht mit rund 130 Jahren fast nur aus vitalen Buchen (Optimalphase), wohingegen der unbewirtschaftete Bestand alle Altersklassen und Entwicklungsstadien umfasst, insbesondere auch einen hohen Anteil an sehr alten Bäumen (> 180 Jahre), die durch die Trockenheit besonders stark geschädigt wurden. Für jüngere Bäume (mehr als 60 % des Bestandes) zeigte sich im unbewirtschafteten Wald sogar eine Zunahme des Wachstums während und nach den Dürreperioden, also eine gewisse Widerstandsfähigkeit.

Diese strukturellen Unterschiede schränken die Verallgemeinerung der Ergebnisse zur Kohlenstoffbilanz auf den kategoriellen Vergleich „bewirtschaftet versus unbewirtschaftet“ stark ein. Hierfür wären vergleichbare Messungen in unterschiedlich alten Wirtschaftswäldern notwendig (Chronosequenzansatz).

Assisted migration als Anpassungsmaßnahme zur Erhaltung der Kohlenstoffsенке europäischer Wälder im Klimawandel

Silvio Schüler^{1*}, Albert Ciceau¹, Debojyoti Chakraborty¹

¹ Bundesforschungszentrum für Wald BFW, Institut f. Waldwachstum, Waldbau und Genetik, Wien, AT, *silvio.schueler@bfw.gv.at

Die Wälder Europas haben sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts als eine zuverlässige Senke von Kohlenstoff erwiesen. Unter anderem steigende Temperaturen und die Zunahme von Extremereignissen haben diese Senkenfunktion in den vergangenen Jahren allerdings stark beeinträchtigt. Mit dem im Klimawandel notwendigen Waldumbau werden in vielen Teilen Europas zudem die bisher vorherrschenden Nadelwälder durch Laub- und Laubmischwälder ersetzt, die - je nach Baumart und Standort - geringere Wuchsleistungen und damit eine geringere Kohlenstoffaufnahme erwarten lassen.

Allerdings weisen die meisten europäischen Baumarten eine hohe innerartliche genetische Variation auf, die sich in lokalen Anpassungen an ihre jeweiligen Herkunftsgebiete und Unterschiede in der Wuchsleistung zeigen. Daher wird als Anpassungsmaßnahme im Klimawandel seit einiger Zeit die sogenannte assisted migration diskutiert, bei der gezielt Baumarten oder Saatgutherkünfte in neue Anbauggebiete transferiert werden. Diese Maßnahme kann einerseits dazu genutzt werden, um die gefährdete genetische Vielfalt im Süden der Verbreitungsgebiete zu schützen und andererseits, um die Wälder in den mittleren und nördlichen Teilen der Verbreitungsgebiete auf den Klimawandel vorzubereiten.

In unserem Beitrag stellen wir die erste kontinentweite Analyse von assisted migration in europäischen Wäldern vor (Chakraborty et al. 2024). Diese basiert auf einem Datensatz von 587 Herkunftsversuchen von sieben Baumarten, in denen 2.964 Herkünfte aus ihrem gesamten Verbreitungsgebiet getestet wurden. Die daraus entwickelten Modelle zeigen, dass zur Erhöhung der Resilienz der Wälder, Nadelbäume in Teilen ihres Verbreitungsgebiets durch Laubbäume ersetzt werden müssen. Werden diese jedoch mit lokalen Saatgutquellen aufgeforstet, verringert sich die Kohlenstoffsенке der Jungbestände um 34–41 %. Werden stattdessen im Rahmen von assisted migration diejenigen Herkünfte verwendet, die an das zukünftige Klima besser angepasst sind, könnten die aktuellen Kohlenstoffsенken beibehalten oder sogar erhöht werden.

Chakraborty D, Ciceu A, Ballian D, ..., Schueler S. 2024. Assisted tree migration can preserve the European forest carbon sink under climate change. *Nature Climate Change* 14, 845–852. <https://doi.org/10.1038/s41558-024-02080-5>

Forest ecosystem services in temperate European forests under alternative future policy scenarios and linked practitioner's decision making

Mats Nieberg^{1*,2}, Sara Uzquiano¹, Marie Haase¹, Volodymyr Kravets¹, Marcus Lindner¹

¹ *European Forest Institute (EFI), Bonn, DE, *mats.nieberg@efi.int*

² *Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), Leibniz Association, Potsdam, DE*

European forests provide a large variety of ecosystem services to society, such as carbon sequestration and storage, habitat for biodiversity or timber. Multiple trade-offs exist between common EU and Member States' forest-related policy objectives, such as climate change mitigation, biodiversity conservation and bioeconomy-related production. Identifying policy pathways that minimize these trade-offs is crucial for a fair and sustainable development under ongoing climate change. Current and expected future policies affect forest practitioner's decision making, indirectly controlling the diversity and level of forest ecosystem services. Hence, whether multiple policy objectives can be achieved simultaneously will be conditional to the response of forest owners and managers to these policies. Yet, it is unknown how forest owners and managers respond to challenges such as climate change adaptation in the current policy context, how their response could change under future policies and how this in turn affects ecosystem services.

Therefore, we assess the management response of forest owners and managers to challenges in the current policy context and alternative policy scenarios that focus on either 'Biodiversity', 'Multifunctionality' or 'Wood-Bioeconomy' derived from current policy documents. We collected evidence with a survey addressed at practitioners, practitioner workshops and stakeholder focus group discussions in a set of temperate European countries, Germany, Poland and Slovenia. We use this information to synthesize management scenarios describing potential forest management under alternative policy and linked forest owner's and manager's management responses. These management scenarios are used to drive a process-based forest model that projects ecosystem services on national forest inventory plots until 2100 under different climate change scenarios. We then combine the projections of ecosystem services from the process-based model with stakeholder's preferences for ecosystem services in a multi criteria decision analysis to rank management scenarios according to their overall utility.

Trade-offs are apparent between carbon stock in the forest and timber harvesting, while there are synergies between carbon stock in the forest and habitat value for biodiversity. Initial results suggest that under the current policy context forest owners and managers do not foresee major changes to their practices for more climate change adaptation as they already implement practices towards that goal.

Considering forest owner's and manager's management responses to alternative policy pathways and their impact on ecosystem services will facilitate better-supported recommendations for forest-related policy and allow sounder decisions by policy makers.

Kohlenstoffspeicherung und Kosten: Zum Potenzial und den Opportunitätskosten der Stilllegung von buchen-dominierten Wirtschaftswäldern

Cornelius Regelmann¹, Marlen Brinkord¹, Joachim Rock², Björn Seintsch¹, Matthias Dieter¹

¹ *Johann Heinrich von Thünen Institute of Forestry, Hamburg, DE*

² *Johann Heinrich von Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, DE*

Die Stilllegung der Bewirtschaftung von buchen-dominierten Wirtschaftswäldern wird in Deutschland als potenzielle Maßnahme zum Klimaschutz diskutiert. Diese Studie untersucht die Auswirkungen dieser Maßnahme auf die Kohlenstoffvorräte mithilfe eines Simulationsmodells. Analysiert werden ein bewirtschaftetes Business-as-usual-Szenario (BAU) und ein unbewirtschaftetes Stilllegungsszenario (DCM), mit einem Fokus auf Kohlenstoffspeicherung und ökonomische Opportunitätskosten. Angesichts der zentralen Bedeutung von Überlebenswahrscheinlichkeiten für die Entwicklung stillgelegter Wälder wurden zwei Emissionsszenarien mit klimasensitiven Überlebenswahrscheinlichkeiten (RCP 4.5 und RCP 8.5) berücksichtigt.

Die Ergebnisse zeigen unterschiedliche Entwicklungen der Holz- und Kohlenstoffvorräte: Das unbewirtschaftete DCM-Szenario führt langfristig zu einer zusätzlichen Kohlenstoffspeicherung in den drei Kompartimenten – oberirdische Biomasse, unterirdische Biomasse und Totholz – von 740 t CO₂ ha⁻¹ unter RCP 4.5 und 700 t CO₂ ha⁻¹ unter RCP 8.5. Die Analyse der Opportunitätskosten zeigt, dass die Kosten für die Kohlenstoffspeicherung kurzfristig bis mittelfristig gering sind, jedoch im späteren Verlauf deutlich steigen, insbesondere in der zweiten Hälfte des Projektionszeitraums. Dies ist auf eine abnehmende Rate der zusätzlichen Kohlenstoffspeicherung bei stillgelegten Waldflächen zurückzuführen.

Die Ergebnisse dieser Studie sollen Entscheidungsträgern, Waldbesitzern und weiteren Akteuren aus den Bereichen Forstpolitik, Waldbewirtschaftung und Waldschutz helfen, fundierte Entscheidungen zur Etablierung von stillgelegten Waldflächen als Kohlenstoffspeicherstrategie zu treffen und gleichzeitig deren Opportunitätskosten zu berücksichtigen.