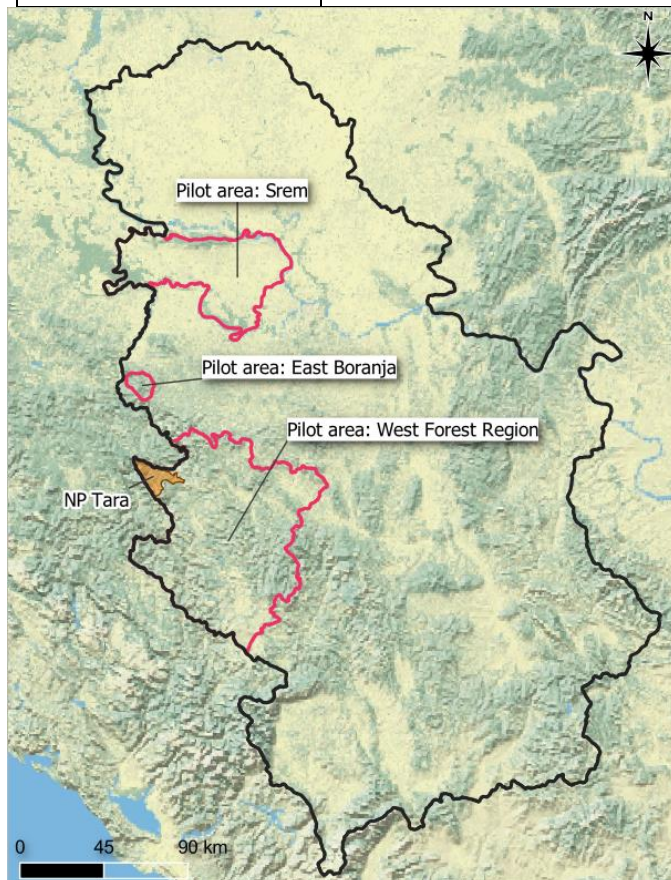


# Sachbericht zum Verwendungsnachweis/Gesamtausgabennachweis

## Allgemeine Angaben zum Vorhaben

Förderkennzeichen:	28102001
Zuwendungsempfänger:	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Vorhabenbezeichnung:	Deutsch-Serbisches bilaterales Forschungscooperationsprojekt im Bereich der internationalen nachhaltigen Waldbewirtschaftung - Entwicklung und Implementierung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel bei der Waldbewirtschaftung (Adaptive Waldbewirtschaftung – Deutschland - Serbien). Teilprojekt 1
Laufzeit des Vorhabens (Berichtszeitraum):	01.11.2019 – 30.06.2024
Partner des Vorhabens:	unique land use GmbH (Freiburg, Deutschland)  Forstwissenschaftliche Fakultät, Universität Belgrad (Serbien)



Die Pilot-Regionen sind (1) die Wachstumsregion im Flachland Ravni Srem, wo sich die Stieleichen- (*Quercus robur* L.) Bewirtschaftung konzentriert und die West-Wald Region mit den Gebirgen Ost-Boranjia (2) und Tara (3) wo Buche (*Fagus sylvatica* L.), die dominierende Baumart ist.

# 1. Gegenstand und Ziele des Vorhabens

## 1.1. Bitte erläutern Sie Gegenstand und Ziele des Vorhabens (mit Bezug zu den Zielen der konkreten Bekanntmachung oder Ausschreibung).

Wälder leiden unter dem Klimawandel, haben aber gleichzeitig die Fähigkeit, große Mengen an CO<sub>2</sub> zu speichern. Damit nehmen sie beim Klimaschutz eine besondere Doppelrolle ein, da sie den Klimawandel abmildern, durch ihren Verlust aber auch verstärken können. Der serbische Forstsektor sucht nach Strategien die Wälder zu stabilisieren, sie an den Klimawandel anzupassen und hierfür optimale Hilfsmittel und Methoden für die Waldbewirtschaftung zu finden.

Das Ziel dieses Projektes war es, Managementstrategien zur Anpassung an den Klimawandel und nachhaltigen Waldbewirtschaftung für die Wälder Serbiens zu finden und hierzu eine innovative Forstmanagementplanung zu entwickeln, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen im Bereich der modernen Standortserkundung, klimasensitiver Waldwachstumsmodelle, der Evaluation der Baumarteneignung und -produktivität unter Klimawandel, sowie von Anpassungsstrategien mittels adäquater Politikprogramme gründet. Verbesserte Planungs- und Monitoring Ansätzen sollen dabei helfen stabile Wälder in Serbien auch unter Klimawandel zu garantieren. Bei der Implementierung sollen ökologische, ökonomische und sozioökonomische Aspekte der naturnahen Waldwirtschaft ausgewogen sein. ANKLIWA-DS liefert hierfür die wissenschaftlichen Grundlagen, die folgende Teilziele umfassen:

1. Erstellung einer forstlichen Vegetationsanalyse und Standortskartierung
2. Parametrisieren eines klimasensitiven Waldwachstum-Simulators und Verknüpfung mit einem ökonomischen Risikomodell
3. Feststellung der Baumarteneignung und Produktivität im Kontext des Klimawandels
4. Entwerfen eines politischen Steuerungsrahmens zur Implementierung der entwickelten Ansätze
5. Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel unter Berücksichtigung aller Akteure

Da die Klimaprognosen in Deutschland in naher Zukunft bis 2050 auf ein ähnliches Klima hindeuten, wie sie heute schon in Serbien herrschen, sollen diese Strategien auch für Deutsche Wälder als erprobte Zukunftsstrategien für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung unter Klimawandel dienen.

## 1.2. Benennen Sie den wissenschaftlichen und technischen Stand, an den zu Beginn des Projekts angeknüpft wurde.

Serbien wurde im Mai 2014 von langanhaltenden zerstörerischen Regenfällen heimgesucht. Starke Hochwasser bei den Flüssen Sava, Drina, Jadra, Morava, Kolubara, Mlava, und Tamnava und Sturzfluten und Erdbeben in höheren Lagen mit erheblichen, großflächigen Schäden an Wäldern und Infrastruktur waren die Folge. Darüber hinaus gab es in Folge eines extremen Kälteeinbruchs im November/Dezember 2015 massive Eisbruchschäden in den östlichen Waldgebieten Serbiens. Zusätzlich zu den Überflutungs- und Eisbruchschäden wurden in den letzten Jahren eine zunehmende Zahl an Sommer – Trockenperioden beobachtet, die mit großen Waldbrandereignissen einhergingen.

Vor diesem Hintergrund bot der damalige Bundesminister für Ernährung und Landwirtschaft, Christian Schmidt, dem serbischen Forstsektor Unterstützung an. Dieses Bestreben führte im Juli 2015 zu einer Vereinbarung zwischen den Regierungen von Deutschland und Serbien, welches in einem Kooperationsprojekt (BMEL Projekt W-SRB 15-01<sup>1</sup>) mündete. In diesem Kooperationsprojekt wurde der wissenschaftliche und technische Stand überprüft, Verbesserungsbereiche identifiziert und Verbesserungsmaßnahmen für die serbische Waldbewirtschaftung abgeleitet, um die ökonomische und ökologische Stabilität der Wälder Serbiens durch die Einführung verbesserter Planungs- und

---

<sup>1</sup> Entwicklung und Einführung einer innovativen Forstmanagementplanung unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer und sozialer Aspekte in Serbien. Projekt-Nr: W-SRB 15-01 (7/2015-8/2017).

Monitoring Ansätze und die konsequente Implementierung der naturnahen Waldwirtschaft und Förderung einer Vielzahl von Ökosystemleistungen zu verbessern. Diese waren:

- Das Fehlen von wissenschaftlichen Komponenten eines modernen digitalen Standortkartierungssystems, fehlen einer Standorts-Vegetationsanalyse zur Beurteilung der Vorkommen und Verbreitung der Baumarten und Waldgesellschaften, und die dazu notwendigen Fernerkundungsanalysen und Inventurauswertungen. Schließlich fehlt die Analyse der Baumarteneignung, der Risiken und standortsabhängigen Produktivität unter sich ändernden Klimabedingungen.
- Das Fehlen von Waldbewirtschaftungsrichtlinien als Grundlage für die Entscheidungsfindung unter Klimawandelunsicherheit, insbesondere ein klimasensitives Waldwachstumsmodell mit einer ökonomischen Komponente, um effektive Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu simulieren und zu bewerten.
- Das Fehlen eines konsistenten politischen Steuerungsrahmens zur Implementierung von Maßnahmen in Richtung "Climate Smart Forestry" in Serbien, d.h., die effiziente Anpassung und Abmilderung im Rahmen des Klimawandels verbinden.

Diese definierten Verbesserungsmaßnahmen wurden als Ziele in ANKLIWA-DS übernommen und mit wissenschaftlichen Methoden und Aktivitäten untersucht, angepasst und durchgeführt. Durch bestehende institutionelle und persönliche Beziehungen zwischen deutschen und serbischen Wissenschaftlern u.a. durch das Kooperationsprojekt griff ANKLIWA-DS auf ein ausgedehntes Netzwerk von politischen Entscheidungsträgern, Praktikern und wichtigen Stakeholdern zurück.

### **1.3. Erläutern Sie die verwendeten Methoden.**

Dieses Projekt hatte das Ziel wissenschaftlichen Lücken in Bezug auf eine nachhaltige Waldbewirtschaftung für die Wälder Serbiens und Anpassungsstrategien an den Klimawandel zu füllen. Gleichzeitig profitieren die deutschen Partner von Erfahrungen in Serbien mit der Bewirtschaftung von Wäldern unter Klimaverhältnissen, die in Deutschland in naher Zukunft sehr wahrscheinlich ähnlich sein werden. Die Wälder Serbiens sollen den zunehmend vielfältigen Ansprüchen der Gesellschaft besser entsprechen, die auf gesunden Waldökosystemen und ihren Dienstleistungen beruhen. Die Forschungsgebiete waren:

**Pilot Area 1** in der „Nordwald“- Region in Vojvodina (Ravni-Srem), charakterisiert durch eine Tiefebene mit aus-geprägtem Kontinentalklima. Ausgedehnte Stieleichenwälder (*Quercus robur* L.). werden vor allem im Einzugsgebiet des Sava-Flusses kultiviert und bewirtschaftet.

**Pilot Area 2:** Ost-Boranja Gebirge in West-Serbien und **Pilot area 3 in der** „Westwald“- Region mit dem Nationalpark im Tara-Gebirge mit entsprechend kühlerem Klima dominiert von Europäischer Buche (*Fagus sylvatica* L.).

Insgesamt fokussierte sich das Projekt also auf drei Studiengebiete Ost-Boranja Gebirge, Tara-Gebirge mit Nationalpark und Ravni Srem sowie zwei Zielbaumarten. Wichtige Stakeholder zum Informationsaustausch und Daten waren die beiden großen öffentlichen Forstbetriebe „Srbijasume“ und "Vojvodinasume". Das Projekt wurde hierzu in 5 Arbeitspakete (AP) gegliedert.

#### **AP1 - Aufbau der Projektstrukturen, Netzwerkbildung und Koordination**

AP1 führte die Koordinierungsaktivitäten innerhalb des Projektes und mit externen Stakeholdern, war verantwortlich für die Verzahnung und Abstimmung der Teilaufgaben und lieferte Unterstützung aller APs bei Datenbeschaffung und -analyse. Die aufgebauten Projektstrukturen von AP1 waren essentiell, um mit den serbischen Projektpartnern, Stakeholdern und Forstpraxis in regelmäßigem Austausch zu treten, eine Kooperation beim Datenidentifikation bzw. -austausch zu garantieren und reibungslose Feldarbeit zu gewährleisten. Während die wissenschaftlichen Ergebnisse vorwiegend in AP 2,3 und 4 generiert wurden, er- und bearbeitete AP1 Datensätze, Geodaten und Datenbanken, was eine effizientere Arbeitsweise der APs ermöglichte und auch bei der Verwertung und Kommunikation der

Ergebnisse ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg war. Für eine erfolgreiche Projektkoordination konnte AP1 auf ein umfassendes existierendes Stakeholder-Netzwerk und vorhandene Arbeitsgruppen mit den wichtigsten Entscheidungsträgern im Bereich der Waldwirtschaft in Serbien bei der Umsetzung zurückgreifen.

## **AP2 - digitale Standortkartierung und Vegetationsanalyse**

Die Grundvoraussetzung, um die digitalen Standortskarten zu erstellen, waren geologische Parameter, Bodeneigenschaften, Höhenstufe und Aspekt/Hangneigung. Viele Informationen waren vor Projektstart vakant oder lagen nur analog in Karten vor. Diese wurden, sofern brauchbar, digitalisiert. Im Kern wurde in AP2 unter großem Aufwand ein Netz an Bodenprofilen in den Studiengebieten angelegt, um die Lücken zu füllen. Zwei dominierende Ausgangsgesteine wurden für die Feldarbeit ausgewählt: Kalkstein und Phyllit (Tonschiefer). In Tara und Ost-Boranjia Gebirge wurden jeweils 44 und 96 Bodenprofile in verschiedenen Höhenstufen angelegt und 100 Proben wurden für Vegetationsanalysen genommen. Für das dritte dominierende Ausgangsgestein Granodiorit lagen aus Vorgängerprojekten schon Daten aus Ost-Boranjia vor. In der Srem-Region wurden 6 Bodenprofile angelegt und durch 9 schon existierende Daten von Bodenprofilen von einem vorausgegangenen Doktorarbeits-Projekt ergänzt. Aus diesen Bodenprofilen wurden Bodentexturklasse, Bodenskelettgehalt, Bodentiefe der Bodenhorizonte bestimmt. Zudem wurden Proben entnommen und im Labor wichtigen chemischen und physischen Bodeneigenschaften waren pH, Humusaufgabe, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> und K<sub>2</sub>O, Textur etc.) analysiert. Teile dieser Parameter wurden AP3 für die Modellparametrisierung zur Verfügung gestellt. Externe Experten der Uni Freiburg (Prof. Albert Reif, Vegetationsökologie) halfen bei der Methodenentwicklung und Auswertung.

In Srem wurde zusätzlich eine neue Datenquelle von Piezometer Messungen identifiziert, die im Projektjahr 2022 beschafft wurden. Mit den Piezometer-Daten kann das Grundwasser-Niveau quantifiziert werden. Dies ist besonders wichtig für die Eichen-dominierten Wälder in Srem, welche entlang des Save-Flusses in langer Tradition bewirtschaftet werden. Eine Kooperation mit Prof. Vesna Nikolic (Expertin in erosion and conservation of soil and water, Forestry Faculty, Belgrade) wurde aufgebaut.

Wasserbilanz und Nährstoffregime wurden mit der Geomorphon-Analyse für die Bodentypen auf Phyllit (Tonschiefer), Kalkstein und Granodiorit erstellt und für die Erstellung von Standortskarten verwendet. Der Forschungsaufenthalt in Freiburg zur Besprechung der Methodik konnte aufgrund von COVID19 nur teilweise und verzögert durchgeführt werden. Die dominantesten *Geomorphons* wurden analysiert und in digitalen Höhenmodellen dargestellt (DEM). Gleichzeitig wurden Vegetations- und Klimadaten in Kooperation mit AP4 aufbereitet. Auf dieser Basis wurden die standortspezifische Vegetationsanalyse und Baumarteneignungskarten durchgeführt und Umweltkarten mit den Layern Wasserbilanz und Nährstoffregime für Bodentypen auf Tonschiefer, Kalkstein und Granodiorit erstellt.

## **AP3 – klimasensitive Waldwachstumssimulation, ökonomische Bewertung und Risikomodellierung**

In AP3 wurde ein klimasensitiver Waldwachstumssimulator (GOTILWA+) für die Modellregion parametrisiert und kalibriert, um langfristige Auswirkungen des Klimawandels auf das Wachstum und die Produktivität von Eichen und Buchen Wäldern bis zum Jahr 2100 zu simulieren und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Zusätzlich wurde ein ökonomisches Modell entwickelt und mit dem Simulator gekoppelt, um verschiedene Risikoszenarien modellieren zu können. Die GOTILWA+-Simulationen konzentrierten sich auf die oben genannte Zielbaumarten, die in den zwei unterschiedlichen Wuchsgebieten im Tiefland für Eiche (Ravni Srem) und in gebirgrigeren Regionen für Buche (Ost-Boranjia, Tara) untersucht wurden.

Die Parametrisierung und Kalibrierung des GOTILWA+-Modells erfolgte schrittweise. Für die Produktivitätsberechnungen war die Parametrisierung des Blattbiomasse-Modul in GOTILWA+ entscheidend. Aufgrund der Reisebeschränkungen und den Schwierigkeiten in der Datenaufnahme durch COVID19 wurden zusätzliche physiologische Daten durch eigene Messungen für Eiche und Buche aus der Region Freiburg ergänzt. Hierfür wurden die morphologischen Parameter Blattflächenindex

(LAI) und spezifische Blattfläche (LMA) mit dem LAI-2200C (leaf canopy analyser) und CI-202 (leaf scanning device) für Eiche in Freiburg und Serbien und für Buche in Freiburg gemessen. Für Buche konnten die Messungen aufgrund COVID19 in Serbien nicht nachgeholt werden.

Parallel dazu wurden Datenbanken für Klima- und Bodenparameter sowie Waldinventur-Datensätze auf Grundlage der Datenaufnahme von WP2 und WP4 erstellt und aufbereitet und war essentiell war für die Parametrisierung und Kalibrierung des Waldwachstumssimulators. Für das Bodenmodul wurden Bodenanalysen der Bodenprofile aus AP2 bereitgestellt. Für die Eichenwuchsregion wurden vorliegende gerasterte europäische Klimadaten (E-OBS) von AP1 aufbereitet. Die Auflösung war jedoch für die gebirgige Buchen-Wuchsregion zu niedrig, weswegen ein Klimadatensatz auf Basis von lokalen Wetterstationen erstellt wurde. Die Kalibrierung der Waldstruktur und Produktivität wurde durch Analysen der Waldinventurdaten in Zusammenarbeit von AP4 und AP1 vorgenommen. **Szenarien zum Klimawandel** wurden von AR5-Klimaprojektionen verwendet, die für die Untersuchungsgebiete regionalisiert wurden und in einem Online Portal der Uni Belgrade verfügbar waren (Faculty of Civil Engineering, Department of Geodesy and Geoinformatics, Belgrade: <https://atlas-klime.eko.gov.rs/eng/files>). Es wurden 6 Klimamodelle (2GCMs and 6 RCMs) für RCP Szenarien 4.5 und 8.5 plus ein Referenzszenario ohne Klimawandel, also insgesamt 13 Klimaszenarien verwendet.

Mit den Serbischen Praxis-Partnern wurden serbische gängige **Bewirtschaftungsstrategien** (Business-as-usual BAU) sowie **Anpassungsstrategien** für Eiche und Buche diskutiert, im Simulator erfolgreich ausprobiert (retrospektiv, ohne Klimawandel) und das Management-Modul entsprechend angepasst. Hierzu wurden als Basis Waldentwicklungstypen (WET) aus Baden-Württemberg verwendet. Zusätzliche hilfreiche Inputs und Diskussionen mit Prof. Ulrich Kohnle - externer Experte der FVA Baden-Württemberg - (Abt. Waldwachstum) wurden geführt. Auch wurde ein Szenario ganz ohne Eingriffe durchgespielt (No Management), um mögliche Auswirkungen auf Wälder in Naturparks oder Naturschutzgebiete zu untersuchen.) halfen bei der Methodenentwicklung und Auswertung.

Zusätzlich wurden Szenarien mit Grundwasserabsenkung durchgespielt. Die **Trockenheitsszenarien** können – eine Besonderheit des Modells - über den Parameter *Phreatic Water Uptake* (PWU) abgebildet werden, welcher angibt, wieviel des Wasserbedarfs aus dem vom Fluss gespeisten Grundwasser decken können. Die gegenwärtige Verteilung und sehr hohe Produktivität der Stieleichenwälder in der Region Ravní Srem liegt in der Tatsache begründet, dass diese Wälder überwiegend am Gürtel um große Flüsse vorkommen, wo das Grundwasser den Mangel an Niederschlägen ausgleicht.

Mit dem parametrisierten und kalibrierten Simulator wurden verschiedene Risikoszenarien durchgespielt darunter die Auswirkungen des Klimawandels, unterschiedliche Bewirtschaftungsstrategien, Trockenheit, Schwankungen im Grundwasserspiegel durch den Savafluss (bei Eiche) und Einfluss des Höhengradienten (bei Buche). Die Szenarien und Simulationen lieferten Langzeitprojektionen von 80 Jahren von 2020 bis 2100 und ermöglichten eine umfassende Analyse der Unsicherheiten Wechselwirkungen zwischen Klimawandel, Waldmanagement und ökonomischen Unsicherheiten. So wurden für Eiche 2 x 18 Klimawandelszenarien (mit und ohne CO<sub>2</sub>-Fertilisierungseffekte), 4 Management-Szenarien, sowie 4 Trockenheitsszenarien - **insgesamt 576 Szenarien** – mit GOTILWA+ produziert.

GOTILWA+ wurde anschließend mit einem eigens entwickelten ökonomischen Modell mit Risikokomponente als Excel-Tool gekoppelt. Dieses Tool ermöglicht die Sortierung, Monetarisierung und schlussendlich ökonomische Bewertung. Zusätzlich erlaubt es ökonomische Unsicherheiten und Risiken zu simulieren wie z.B. Begründungskosten, Schwankungen in Holzpreisen und Erntekosten, sowie unterschiedliche Kapitalkosten. Für die ökonomische Bewertung wurden lokale Begründungskosten, Holzpreise und Erntekosten für die beiden Baumarten für verschiedene Holzsortimente von den serbischen Praxispartnern zur Verfügung gestellt und damit das ökonomische Modell parametrisiert, um die ökonomischen Szenarien mit der *Random-Walk* Methode zu erstellen. Die Risikorecherche für Eiche umfasste Szenarien zu Kapitalkosten (6,) Holzpreisen (51) und Erntekosten (11) mit einer Gesamtzahl von 3366 ökonomische Simulationen. Insgesamt wurden so eine extrem

hohe Anzahl an Kombinationen (3366 x 576 GOTILWA+ Simulationen = **1,938,816**) oder **States-of-the-World** geschaffen und bewertet.

In der zweiten Studienregion in Westserbien lag der Fokus auf Buchenwälder. Im Vergleich zu den relativ homogenen Umweltbedingungen im Eichen-Wuchsgebiet ist die gebirgigere Buchen-Wuchsregion weitaus heterogener bezüglich mikro-meteorologischer und Boden-spezifischer Eigenschaften. Für das Tara-Gebirge wurde Buche im Simulator auf dem dominierenden Grundgestein Kalkstein in der montanen Höhenstufe kalibriert (ca. 1000 m). Im Ost-Boranja Gebirge waren dies neben der montanen zudem die submontane Höhenstufe (ca. 416 m bis 1020 m) mit den dominierenden Grundgesteine Kalkstein, Phyllit, und Granodiorit, die unterschiedlichen Charakteristika bezüglich Wasserhaltekapazität, Nährstoffe und Durchwurzelungstiefe aufweisen. Daten hierzu wurden von AP2 bereitgestellt. Ähnlich wie für Eiche wurden für diese 4 Standorte Klimawandelszenarien mit unterschiedlichen Managementstrategien (angepasst auf Buche) durchgeführt.

Im Unterschied zu den relativ homogenen Bodeneigenschaften in der Eichen-Wuchsregion wurden die unterschiedlichen Bodeneigenschaften für die Buchenwuchsregion in den Simulationen berücksichtigt, dafür aber die Wasserhaushaltsveränderungen durch Fluss-Pegel Veränderungen vernachlässigt, die im Gebirge keine Rolle spielen. Mit Hilfe von Inventurdaten, Stammscheibenanalysen und Einteilung der Produktivität aus WP4 wurden Bonitäten für dominierende Bodenklassen zusammengefasst (wüchsig, mittel, schwach wüchsig). Wie für Eiche wurden auch für Buche Anpassungsstrategien mit den serbischen Partnern entwickelt und im Simulator neben BAU und No Management durchgespielt. Aus 13 Klimawandel, 3 Managementszenarien und 3 Bodeneigenschaften mit unterschiedlichen Bonitäten entstanden so 117 Simulationen, die für 4 Standorte auf unterschiedlichen Ausgangsgesteinen durchgespielt wurden und insgesamt **468 Szenarien mit GOTILWA+** für Buche produzierten. Diese Langzeitprojektionen deckten 80 Jahre von 2020 bis 2100 ab. Anschließend wurden weitere **1023 ökonomische Szenarien** zu Kapitalkosten (3) Holzpreisen (31) und Erntekosten (11) für die Risikoanalyse für Buche hinzugefügt und so insgesamt **478,764 States-of-the-World für Buche generiert**.

Durch die Verknüpfung ökologischer und ökonomischer Unsicherheiten wurden die Bewirtschaftungs- und Anpassungsstrategien für die unterschiedlichen Rahmenbedingungen mit Risikowerten und **Robustheitsmaßen** evaluiert (Value at risk - **VaR** und Conditional Value at risk - **CVaR**) und benötigt als Grundlage eine sehr breite Abdeckung von möglichen Zukünften. Die generierten **States-of-the-World** für Buche und Eiche sind in diesem Kontext als sehr umfassend anzusehen und wurden so in diesem Umfang für die Risikoanalyse in der Waldbewirtschaftung noch nicht durchgeführt.

#### **AP4 - dynamischen Baumartenverbreitungs- und -produktivitätskarten unter Klimawandel**

Um die Baumartenverteilungskarten (species distribution maps - SDM) in AP4 generieren zu können, wurde zunächst ein umfassender Datensatz zusammengestellt bestehend aus i) eigenen Feldaufnahmen für Buche auf ANKLIWA-DS Probeflächen mit Bohrkernen und Stammscheiben ii) Inventurdaten aus einem Netz von Probeflächen von ANKLIWA-DS, iii) neu verfügbare Daten aus der Zweiten Nationalen Inventar (NFI2) und iv) Inventurdaten der zwei öffentlichen Forstbetriebe „Vojvodinasume“ für Eiche und "Srbijasume" für Buche.

Die Standortindexskalen zur Bewertung der Höhenwachstumsdynamik sowohl für Buche als auch für Eiche wurden mit Hilfe der GADA-Modelle entwickelt. Auf Basis der verfügbaren Inventurdaten wurden unechte Zeitreihen und Höhenkurven erstellt. Die Zeitreihen wurden mit flexiblen, polymorphischen Funktionen/Modellen basierend auf dem "generalized algebraic difference approach" (GADA) getestet. Diese erlauben eine Einteilung in Standortsqualität bzw. Bonitäten.

Für Buche wurden sowohl SDM- als auch umweltsensitive Modelle zur Vorhersage der Höhen etabliert. Auf diese Weise wird die Umweltkonditionalität von Standortindexvorkommen in Buchenbeständen erfasst. SDMs und umweltsensitive Modelle zur Abbildung der zu erwartenden Höhen in Eiche wurden mit einer Vielzahl von Umgebungsvariablen feinabgestimmt. Die Zusammenstellung von Modellen

diente der Vorhersage des **gegenwärtigen** Zustands und der erwarteten **zukünftigen** Verschiebungen in Bezug auf Produktivität und Verteilung.

Die GADA Modelle für Eiche wurden an 3636 temporären Probeflächen kalibriert. Die Eichenstandorte wurden in Produktivitätsklassen eingeteilt und Produktivitätskarten fertig gestellt. Der Forschungsaufenthalt in Freiburg zur Besprechung der Methodik konnte aufgrund von COVID19 verzögert durchgeführt werden.

Freilandaufnahmen für Buche wurden in den Zielregionen West-Serbien in den Mittelgebirgen Ost-Boranjia und Tara auf 66 Plots abgeschlossen. In Ost-Boranjia und Tara wurden in den 66 Probekreisen 800 Bohrkern entnommen und alle Freilandmessungen durchgeführt (Höhe, Kronenansatz, Kronendurchmesser, Stammdurchmesser, Stammzahl, etc.). Insgesamt wurden 26 dominante Individuen zusätzlich gefällt und Stammscheiben für Wachstumsanalysen entnommen. Dabei wurde auf eine gleichmäßige Verteilung an Altersklassen und Wuchsbedingungen geachtet mit einem Höhengradienten von 416 m bis 1020 m. Standorteigenschaften wie Relief, Exposition, Hangneigung, Grundgestein wurden zusätzlich dokumentiert. Mit den aufgenommenen Daten wurden Produktivitätsklassen für Buche in Abhängigkeit von Umweltparametern mit den wichtigsten Umwelt-Prediktoren für Wachstum und Produktivität (Klima, Boden, Terrain etc.) entwickelt. Diese Beziehungen wurden für das Buchenvorkommen in anderen Gebieten von West-Serbien extrapoliert und schlussendlich dynamische Baumartenverbreitungs- und -produktivitätskarten unter Klimawandel erstellt. Bei der Methodenentwicklung und Diskussion half der externe Experte Prof. Ulrich Kohnle der FVA Baden-Württemberg (Abt. Waldwachstum).

#### **AP5- politischer Steuerungsrahmen (Governance) unter Klimawandel und nachhaltige Entwicklung in Serbien**

Unter Einbeziehung der wichtigsten Akteure wurde der politische Steuerungsrahmen und Politikinstrumente für die Anpassungsstrategien zum Umgang der Forstwirtschaft in Serbien unter Klimawandel ausgearbeitet. Nach eingehender Literaturrecherche und Definition des Forschungsproblems wurde die **Arbeitsmethode und das Rahmenkonzept** erstellt. Hierfür wurden Interessensträger in Naturschutz und Forstwirtschaft identifiziert und kategorisiert mit Fokus auf das Studiengebiet des Projektes (Nord und West-Serbien) und eine **Stakeholder-Analyse** durchgeführt. Es wurden zwei Fragebögen erstellt, einer für die wichtigsten Organisationen der Forstwirtschaft und des Naturschutzes und ein weiterer für andere Interessengruppen. Die Fragebögen bestanden aus 6 Segmenten (Konzept, Rahmenelemente) mit insgesamt 21 bzw. 24 Fragen mit einer durchschnittlichen Ausfüllzeit von 1.5 h. Der für 2020 geplante Forschungsaufenthalt zur Besprechung und Fertigstellung des konzeptionellen Rahmens und des Fragebogens musste aufgrund der COVID19-Pandemie ausfallen. Die fehlende persönliche Kooperation wurde teilweise über Online-Korrespondenz ausgeglichen.

Nach der Fertigstellung des Fragebogens in Kooperation mit AP3 wurden vorläufige Interviews durchgeführt auf dessen Basis der **konzeptionelle Rahmen** angepasst und die endgültigen **Fragebögen für Experteninterviews** abgeschlossen wurde. Die Gesamtzahl an Stakeholdern wurde im Zuge der Haupt-Befragung mit der sogenannten „Schneeball“-Methode angepasst und erweitert.

Die Datenaufnahme verlief in zwei Phasen: 25 detaillierte Experten-Interviews wurden mit ausgewählten Stakeholdern aus dem öffentlichem und privaten Sektor, Wissenschaft und Gesellschaft zu Beginn von 2021 durchgeführt (teilweise auch online). Im Herbst wurden weitere ca. 35 Interviews geführt. Mit der Schneeball-Methode wurden in den Interviews weitere potentielle Interview-Partner identifiziert, die in die Liste aufgenommen und kontaktiert wurden. Für die Haupterhebung wurden so insgesamt 99 Experten aus der Forstwirtschaft, Naturschutz und Interessengruppen aus öffentlichem und privatem Sektor befragt. Die Umfrageergebnisse wurden anschließend statistisch in SPSS ausgewertet. Für den kostenneutralen Verlängerungszeitraum wurden zusätzliche, ausführliche Interviews mit Politikern und Entscheidungsträgern geplant, die aufgrund des engen Zeitplans der Befragten nur teilweise umgesetzt werden konnte.

## 2. Ergebnisse und Verwertbarkeit des Vorhabens

### 2.1. Bitte stellen Sie ausführlich die wichtigsten Ergebnisse des Projekts dar.

#### **Aufbau der Projektstrukturen und Netzwerkbildung**

AP1 führte die Koordinierungsaktivitäten innerhalb des Projektes und mit externen Stakeholdern, war verantwortlich für die Verzahnung und Abstimmung der Teilaufgaben und lieferte Unterstützung aller APs bei Datenbeschaffung und -analyse. Die aufgebauten Projektstrukturen von AP1 waren essentiell, um mit den serbischen Projektpartnern, Stakeholdern und Forstpraxis in regelmäßigem Austausch zu treten, eine Kooperation beim Datenidentifikation bzw. -austausch zu garantieren und reibungslose Feldarbeit zu gewährleisten. Während die wissenschaftlichen Ergebnisse vorwiegend in AP 2,3 und 4 generiert wurden, er- und bearbeitete AP1 Datensätze, Geodaten und Datenbanken, was eine effizientere Arbeitsweise der APs ermöglichte und auch bei der Verwertung und Kommunikation der Ergebnisse ein wichtiger Schlüssel zum Erfolg war – wie zum Beispiel mit den zwei größten öffentlichen Forstbetrieben “Srbijasume” und “Vojvodinasume”. Die Kooperation mit Projektpartnern wurde aufgebaut und eine Einigung zum Datenaustausch und Informationen zu Bewirtschaftungsstrategien zwischen Partnern und Projekten wurde erzielt (bsp. FAO- und BMEL- geförderte Partnerprojekte).

#### **Standortkartierung und Vegetationsanalyse**

Für die Standortkartierung wurden in **AP2** alle notwendigen Daten in Srem, Ost-Boranja und Tara gesammelt und ausgewertet und alle Bodenchemischen Analysen durchgeführt. Das Ausgangsmaterial in **Srem** sind lössartige Sumpfsedimente aus Sand, Schluffstein und Ton, in **Ost-Boranja** Kalkstein, Phyllit und Granodiorit und in **Tara** Kalkstein. Es wurde die *Geomorphon*- Methode zur Erstellung von Standortkarten verwendet. Für die Buche wurden die Bodenprofile auf verschiedenen Geländeformen, unterschiedlichen Aspekten und auf Neigungen zwischen  $< 30^\circ$  und  $> 30^\circ$  ausgewählt. Dabei wurden 3 Wiederholungen von Bodenprofilen pro Kombination von Geomorphon, Aspekt, Neigung und Ausgangsmaterial angelegt. Im relativ flachen Wuchsgebiet der Stieleiche wurde in Ermangelung unterschiedlicher Geländeformen die Unterteilung nach Höhe verwendet. Am Standort eines jeden Bodenprofils erfolgten Vegetationsaufnahmen nach der Braun-Blanquet-Skala. Die Werte für das Wasserhaushaltsniveau (WBL - Water Balance Level) und den Nährstoffhaushalt (NL – Nutrient Level) wurden aus Laboranalysen von Bodenproben und von Bodenproben und Klimadaten abgeleitet und aus diesen Ergebnissen Standortkarten erstellt. Für die Eichen- und Buchenwälder wurde eine sehr wichtige Datenbasis geschaffen, auf deren Grundlage Zukunftsszenarien für Klimaänderungen auf Basis von RCP 4.5 und RCP 8.5 Szenarien entwickelt und **Wasserhaushalts- und Nährstoffregimekarten** erstellt wurden.

Der vorherrschende Standorttyp im **Eichen- Wuchsgebiet Srem** ist sehr *feucht* (Wasserdefizit: *sehr selten*) und *nährstoffreich*. Der Standorttyp änderte sich in den Zukunftsszenarien zu *feucht* (Wasserdefizit: *selten*) und das Nährstoffregime zu *reich* bis *mittel*. Die untersuchten Waldgesellschaften verändern sich zu trockeneren Varianten, in denen Stieleiche zwar noch dominieren kann, aber aufgrund der Klimaveränderungen und Grundwasserversorgung auch andere Arten ihr Optimum für Wachstum und Entwicklung finden, wie Hainbuche (*Carpinus betulus*), Flatterulme (*Ulmus effusa*) und Feldulme (*Ulmus campestris*).

Im **Buchen-Wuchsgebiet Ost-Boranja** dominieren gegenwärtig 3 Standorttypen: i) wenig feucht bis ii) mäßig feucht mit kürzeren Perioden von Wasserdefizit und einem Nährstoffregime von *reich* bis *mittel* bis hin zu iii) nassen Standorten mit schlechtem Nährstoffregime. Unter Zukunftsszenarien änderten sich die Standorttypen zu i) *Mittel trocken* mit gelegentlich längeren Perioden von Wasserdefizit und mittlerem Nährstoffregime, ii) wenig feucht mit kürzeren Perioden von Wasserdefizit und iii) wenig und mäßig feucht (Gelegentlich kurze Perioden mit Wasserdefizit) und schlechtes Nährstoffregime. Neben der gegenwärtig dominierenden Buche fanden in den Zukunftsszenarien auch andere Arten optimale Wachstums- und Entwicklungsbedingungen wie Zerr-Eiche (*Quercus cerris*), Ungarische Eiche

(*Quercus frainetto*), und Hainbuche (*Carpinus betulus*). Dies macht einen Buchen-Mischwald aus diesen Arten mit unterschiedlichen Anteilen je nach Umweltfaktoren in Zukunft wahrscheinlich.

Das steile Terrain im **Tara-Gebirge** ist dominiert vom Grundgestein Kalkstein mit durchlässigeren Böden und hoher Drainage. Die Charakterisierung des Wasserhaushalts war daher *trocken* bis *sehr trocken* mit längeren Perioden von Wasserdefizit. Gleichzeitig ergaben die Bodenanalysen, dass Standorte mit reicher Nährstoffversorgung dominieren. Unter Einbezug von Klimaveränderungen prognostizieren die Standortskarten eine Verschärfung des Wasserdefizits der ohnehin schon trockenen Standorte. Als Ergebnis der klimasensitiven Standortskartierung für das Tara-Gebirge wird eine Artenverschiebung von Buchen- dominierten Wäldern hin zu wärmeliebenderen Mischwäldern mit wechselnden Anteilen (je nach Standort) von Buche, Zerr-Eiche (*Quercis cerris*) und Europäische Hopfenbuche (*Ostrya carpinifolia*) erwartet. Die Standortskarten werden Waldbesitzenden als Planungstool z.B. bei der Baumartenwahl in Zukunft zur Verfügung stehen.

### **Prozess-basierten Waldwachstumssimulation mit ökonomischer Analyse und Risikobewertung**

Die Simulationen für **Eiche** wurden in AP3 mit dem *prozess-basierten Waldwachstumssimulator* (GOTILWA+) unter Klimawandelszenarien mit Anpassungsstrategien durchgeführt und mit einem entwickelten *ökonomischen Tool* zur Bewertung der Simulationsergebnisse gekoppelt. Die Simulationsergebnisse mit dem Waldwachstumssimulator zeigen, dass die Vorratshaltung für Eiche sehr hoch ist und die Bewirtschaftungsintensität unter BAU sehr niedrig ist, da die Produktivität der Eichenbestände in der Praxis aufgrund fehlender Ertragstabellen zu niedrig eingeschätzt wurde. Als erstes Resultat wurden angepasste Bewirtschaftungsstrategien in Ravni-Srem im Einflussbereich des Sava-Flusses in der Vojvodina-Region entwickelt, die das Wuchspotential besser auszunutzen und mit dem Ziel das potentielle Klimawandelrisiko durch die hohe Vorratshaltung zu minimieren.

Die ökonomische Analyse der betrachteten ökologischen und ökonomischen Unsicherheiten aus 576 GOTILWA+ Simulationen und 3366 ökonomischen Risikosimulationen ergaben 1,938,816 „States-of-the-world“. Aufgrund des langen Betrachtungszeitraum und der Vielzahl von betrachteten ökologischen und ökonomischen Unsicherheiten wurde keine Vorhersage oder Prognose der Zukunft durchgeführt. Stattdessen wurde eine Szenarioanalyse mit Projektionen angewandt, mit dem Ziel so viele mögliche und relevante Zukünfte (oder „States-of-the-world“) mit einem möglichst breiten Spektrum an Unsicherheiten zu projizieren, ohne jedoch deterministisch Ergebnisse zu prognostizieren. Dies ermöglicht es, das Abwärtsrisiko mit Risikoindizes zu analysieren und daraus robuste Management-Strategien herauszufiltern, die auch in pessimistischsten Szenarien zufriedenstellende Ergebnisse erzielen können, oder mindestens die negativen Auswirkungen abmildern können.

Unsere Ergebnisse zeigten eine erhöhte Mortalität bei vielen der simulierten Klimawandelszenarien. Die Produktivität zeigte unter Klimawandel ambivalente Resultate mit manchen Szenarien, die eine Abnahme und andere Szenarien, die eine Steigerung der Produktivität projizierten bei gleichzeitiger Steigerung der Mortalität. Dies bedeutet: **Produktivität ist kein guter Indikator für Vulnerabilität – auch wüchsige Bestände können abrupt absterben**. Diese ambivalenten Resultate liegen in „trade-offs“ und „tipping-points“ begründet zum Beispiel, inwiefern höhere CO<sub>2</sub> Konzentrationen zu Wachstumssteigerungen (CO<sub>2</sub>-Fertilisierungseffekts) führen können, wenn gleichzeitig Wasser- oder Nährstofflimitierung zunehmen. Auch eine Verlängerung der Vegetationsperiode und wärmere Temperaturen bei guter Wasserversorgung spielten bei Wachstumssteigerungen eine Rolle.

Unter Klimawandel wird allerdings eine Verschlechterung der Wasserversorgung angenommen, da der Sava- Flusspegel im Einzugsgebiet der Eichen-Wuchsregion in Zukunft sehr wahrscheinlich absinken wird – wie schon vergangene Trockenjahre empirisch gezeigt haben. Unter Einbezug einer verschlechterten Grundwasserversorgung waren die Resultate gravierend: selbst in optimistischen Szenarien gab es nun deutliche Produktivitätsabnahmen bis hin zu Szenarien mit Bestandesgefährdender Mortalität. Das Feuerrisiko und die Waldbrandgefahr stiegen drastisch an. Die klimawandelbedingte Trockenheit ging außerdem mit einer starken Reduktion der Profitabilität mit teilweise negativen Annuitäten in den pessimistischsten Szenarien einher. **Der Flußpegel und**

**Grundwasserspiegel spielte daher eine entscheidende Rolle in den Wuchsreaktionen und der Überlebenswahrscheinlichkeit in den Eichenwäldern in Srem.** Diese negativen Auswirkungen konnten über das entwickelte Anpassungsszenario zumindest abgemildert werden. **Frühere und stärkere Durchforstungen reduzierten das Ausfallrisiko und führten zu einer schnelleren Zieldurchmesserernte.** Damit konnten auch ökonomische Verluste abgedeckt werden, da eine frühere Ernte einen positiven Effekt auf den Kapitalwert hatte. Zudem wurde die Überlebenswahrscheinlichkeit gesteigert und Ernteverluste sowie Preisverfall von Sanitätshieben reduziert. Die Robustheit der ökonomischen Ergebnisse wurde im Anpassungsszenario um beträchtliche 30-60% gesteigert verglichen mit dem *Business-as-usual* Szenario.

In der zweiten Studienregion in Westserbien lag der Fokus auf **Buchenwälder** in der gebirgigeren Wuchsregion. Im Vergleich zu den relativ homogenen Umweltbedingungen im Eiche-Wuchsgebiet ist die gebirgigere Buchen-Wuchsregion weitaus heterogener bezüglich mikro-meteorologischer und Bodenspezifischer Eigenschaften. Für das Tara-Gebirge wurde Buche im Simulator auf dem dominierenden Grundgestein Kalkstein in der montanen Höhenstufe kalibriert. Im Ost-Boranj Gebirge waren dies neben der montanen zudem die submontane Höhenstufe und die dominierenden Grundgesteine Kalkstein, Phyllit, und Granodiorit, die unterschiedlichen Charakteristika bezüglich Wasserhaltekapazität, Nährstoffe und Durchwurzelungstiefe aufweisen. Daten hierzu wurden von AP2 bereitgestellt. Ähnlich wie für Eiche wurden für diese Standorte Klimawandelszenarien mit unterschiedlichen Managementstrategien (angepasst auf Buche) durchgeführt.

Im Unterschied zu den relativ homogenen Bodeneigenschaften in der Eichen-Wuchsregion wurden die unterschiedlichen Bodeneigenschaften für die Buchenwuchsregion in den Simulationen berücksichtigt, dafür aber die Wasserhaushaltsveränderungen durch Fluss-Pegel Veränderungen vernachlässigt, die im Gebirge keine Rolle spielen. Mit Hilfe von Inventurdaten, Stammscheibenanalysen und Einteilung der Produktivität aus WP4 wurden dominierende Bodenklassen zusammengefasst (wüchsig, mittel, schwach wüchsig). Anpassungsstrategien wurden mit den serbischen Partnern entwickelt und im Simulator durchgespielt. Das für die Eichen-Simulationen entwickelte ökonomische Bewertungstools wurde für Buche angepasst und mit lokalen Preis- und Kostendaten parametrisiert. Insgesamt wurden so 478,764 Kombination oder States-of-the-World generiert.

Ähnlich wie für Eiche ist auch bei den bewirtschafteten Buchenbeständen die Vorratshaltung in der Forstpraxis sehr hoch. Die Bewirtschaftungsintensität ist dagegen sehr niedrig mit sehr spät einsetzenden Durchforstungseingriffen und weitgehend ausbleibender Jungbestandspflege. Die Bestände des Wirtschaftswaldes sind generell überaltert, mit wenigen Beständen unter 60 Jahren. **Eine angepasste Bewirtschaftungsstrategie mit Jungbestandspflege, höherer Durchforstungsintensität und früher einsetzenden Durchforstungsintervallen wurde entwickelt, um das Klimawandelrisiko durch die hohe Vorratshaltung zu minimieren.** Eine einzelbaumorientierte Bewirtschaftung mit ca. 120-160 Zukunftsbäumen (sogenannte Z-Bäume) führte zu einer schnelleren Erreichung des Zieldurchmessers und eine bessere Qualitätserzielung. Aufgrund der gegenwärtig sehr extensiven Bewirtschaftung und dem generellen Mangel an Arbeitskräften, fallen die vorgeschlagenen waldbauliche Maßnahmen in den Anpassungsstrategien für Serbien immer noch weniger intensiv aus, wie sie beispielsweise in waldbaulichen Handbüchern in Deutschland empfohlen werden.

**Klimawandelauswirkungen** zeigen in den Gebirgen große Unterschiede auf. Gemeinsam haben alle Standorte, dass die mittleren Jahresniederschläge zwar leicht zunehmen, die Niederschlagsereignisse aber seltener, dafür aber intensiver werden. Die Vegetationsperiode wird allgemein trockener, was sich in der submontanen Höhenstufe weitaus deutlicher zeigt als in der montanen Höhenstufe. Die Wuchsreaktionen waren allerdings stark abhängig von den sehr heterogenen Ausgangsbedingungen im Gebirge. Das größte Risiko für Buche war in Karstlandschaften mit Kalkgestein als Ausgangsgestein und Böden mit sehr niedriger Durchwurzelungstiefe, die in den niedrigeren submontanen Höhestufen wie im Ost-Boranj Gebirge (400-600 m) verortet sind und drastischste Produktivitätsrückgänge und Mortalitätszunahmen aufwiesen. In den montanen Höhenstufen des Tara-Gebirges (ca. 1000 m) konnte dieses Risiko über vergleichsweise höhere Niederschläge teilweise abgedeckt werden. Ähnliche Ergebnisse wurden interessanterweise in der submontanen Höhenstufe des Ost-Boranj

Gebirges auf Phyllit-Gestein (=Tonschiefer) erzielt. Zwar waren klimawandelbedingte Trockenheitseffekte deutlicher erkennbar als im Tara-Gebirge, allerdings pufferte eine bessere Wasserversorgung durch eine bessere Wasserhaltekapazität und tiefgründigere Böden die vergleichsweise stärker ausgeprägte meteorologische Trockenheit. Die Einbeziehung von meteorologischer aber auch Bodentrockenheit ist essentiell, um die baumphysiologischen Reaktionen auf Trockenheit zu verstehen.

Klimawandelszenarien hatten jedoch auch positive Effekte auf Wachstum und Produktivität. Im Ost-Boranja Gebirge auf Granodiorit -Grundgestein sind die tiefgründigsten, nährstoffreichsten Böden und wüchsigsten Standorte für Buche zu finden. Es wurde zwar auch hier eine erhöhte, jedoch vergleichsweise moderate Zunahme der Mortalität unter Klimawandel festgestellt. Gleichzeitig resultierten die Klimawandelszenarien auf diesem Standort in der höchsten Produktivitätszunahme. Wärmere Temperaturen, eine Verlängerung der Vegetationsperiode, und CO<sub>2</sub>-Fertilisierungseffekt bei guter Wasserversorgung aufgrund tiefgründiger Böden wirkten sich auf dieser Höhenstufe insgesamt positiv aus. Klimawandel kann also auf tiefgründigen, gut wasserversorgten nährstoffreichen „Ideal-Standorten“ in bergigen Regionen durchaus auch wachstumsfördernde Eigenschaften haben, da sie die zunehmende meteorologische Trockenheit der Klimawandelszenarien abpuffern können.

Klimawandeleffekte können jedoch sehr dynamische Prozesse nach sich ziehen. Bei keiner Bewirtschaftung (zum Beispiel in Schutzgebieten) war das Absterberisiko am höchsten und die Mortalitätsraten ging deutlich schneller voran. Das Areal dieser Ideal-Standorte und Eignungsgebiete kann sich verkleinern, wärmeliebenderen Vegetationsgemeinschaften können sich ausbreiten und eine Verschiebung der Buchengemeinschaften hin zu höheren Höhenstufen einleiten – wie die Resultate in AP2 und AP4 zeigen. Über Anpassungsstrategien konnten nicht nur Trockenheitseffekte, sondern auch ökonomische Risiken abgemildert werden konnten.

### ***Dynamische Baumartenverteilungs- und Produktivitätskarten unter Klimawandel***

Die Vorhersage möglicher ökologischer und sozioökonomischer Folgen des Klimawandels hängt von einem zuverlässigen Vergleich von der aktuellen und zukünftigen Produktivität ab. Obwohl sich eine nachhaltige Waldbewirtschaftung auf die Produktivitätszahlen der Waldstandorte stützen sollte, fehlt es derzeit an Instrumenten zur Produktivitätseinschätzung und Baumartenverteilung unter aktuellen Bedingungen. Um die *Baumartenverteilungskarten* in AP4 generieren zu können, wurde zunächst ein umfassender Datensatz für Buche und Eiche zusammengestellt.

Eine besonders gute Datengrundlage war durch die Betriebsinventur des öffentlichen Forstbetriebs "Vojvodinasume" inklusiver Bewirtschaftungsplänen und Bestandesalters für Eiche vorhanden bestehend aus einem dichten Netzwerk von Probeflächen (100x100) untergliedert in 25 Bewirtschaftungseinheiten. Für Buche wurden zusätzlich eigenen Feldaufnahmen auf ANKLIWA-DS Probeflächen mit Bohrkernen und Stammscheiben, Inventurdaten aus einem Netz von Probeflächen von ANKLIWA-DS, Daten des öffentlichen Forstbetriebs "Srbijasume", sowie frisch verfügbare Daten aus der Zweiten Nationalen Inventar (NFI2) verwendet.

ANKLIWA-DS produzierte die [ersten dynamischen Ertragstabellen für Stieleiche](#) in Serbien unter Verwendung des GADA-Modells. Die Resultate wurden auf räumlich kontinuierlichen Produktivitätskarte in insgesamt 22 Bewirtschaftungseinheiten für die Ravni Srem Region dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass in Serbien gegenwärtig (noch) eine der produktivsten Eichenbestände Europas zu finden sind, die allerdings unter Klimawandel einem dynamischen Wandel unterzogen ist. **Die Oberhöhen im Alter 100 reichen von 22 m an den schlechtesten Standorten bis zu 38 m an den besten Standorten.** Die Karten stehen der Forstpraxis in der Zukunft zu Verfügung und erleichtern die Planung der Waldbewirtschaftung. Für eine aussagekräftigere Projektion zukünftiger Auswirkungen des Klimawandels auf Baumarteneignung und Produktivität, ist die Einbeziehung des Grundwasser-Niveaus als wichtiger Umweltparameter und Prädiktor essentiell. In Srem wurde zusätzlich eine neue Datenquelle von Piezometer Messungen identifiziert, die im Projektjahr 2022 beschafft wurden, mit denen das Grundwasser-Niveau quantifiziert werden kann. Dies ist besonders wichtig für die Eichen-Wuchsregion in Srem, welche entlang des Save-Flusses kultiviert wird. Aktualisierte Karten unter

Einbeziehung dieser Daten für eine bessere Projektion zukünftiger Baumarteineignung und Produktivität konnte leider durch das Ende der Finanzierung 2023 nicht mehr erreicht werden.

Für Buche wurde der gleiche Methodische Ansatz gewählt. Im Vergleich zu Eiche konnten belastbarere Klimawandelprojektionen erreicht werden, da die heterogene bergigere Landschaft eine bessere Einbindung unterschiedlicher Prediktoren für Verteilung und Wachstum zuließ. Ein wichtiges Zwischenergebnis war die Kartierung der aktuellen Verbreitung und Produktivität von Buche auf Basis der endgültigen Versionen von SDM und umweltsensitive Modelle zur Vorhersage der Höhen. Die Verteilung und Produktivität wurde unter aktuellem Klima und unter RCP4.5 und RCP8.5 in den Jahren 2050 und 2100 projiziert.

**Während unter RCP4.5 das geeignete Areal bis 2100 um 13 % zunahm, reduzierte sich diese Fläche unter RCP8.5 um 26 %.** Generell verlagerte sich das Eignungsgebiet in die mittleren und höheren Gebirgslagen. Bei einer abgemilderten Erderwärmung (RCP4.5) überlebten die Buchenpopulation in der untersuchten Region Ostserbiens aufgrund von Puffern im Gebirge. Bei einem stark voranschreitenden Klimawandel (RCP 8.5) wurde in den Projektionen ein erheblicher Teil des Verbreitungsareals in niederen Lagen ungeeignet. Eine Kompensation durch eine Aufwärtswanderung in höhere Lagen wäre dann aufgrund Beschränkung der Gebirgshöhe nicht mehr möglich.

Beide Klimawandelszenarien hatten zudem einen erheblichen Rückgang der Bonität zur Folge. **Unter RCP8.5 wurde die Produktivität vergleichsweise stärker verringert als RCP4.5**, mit einem potenziellen Rückgang von 2,2 m bzw. 1,1 m der Oberhöhe.

### ***Politischer Steuerungsrahmen (Governance-Framework) unter Klimawandel und nachhaltige Entwicklung in Serbien***

Die Auswertung der Befragungen in AP5 hat ergeben, dass **75 % der Waldbesitzer/-nutzer glauben, dass der Klimawandel ihre Geschäftstätigkeit bereits negativ beeinflusst.** Diese negativen Einflüsse wurden in ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen unterteilt und waren:

- 1) Ökologische Auswirkungen: Veränderungen von Ökosystemen, Arten und natürlichen Prozessen aufgrund von Störungen.
- 2) Wirtschaftliche Auswirkungen: höhere Verwaltungskosten durch Sanitätsbedingte Eingriffe, geringere Einnahmen aufgrund eines Überangebots nach Störungen.
- 3) Soziale Auswirkungen: Landzerstörung (Erdrutsche, Überschwemmungen) & Einschränkung von Aktivitäten (z. B. Hitzeeinwirkung, weniger Tourismus, geführte Touren), Armut in ländlichen Gebieten (Auswirkungen der Dürre auf die Ernteerträge),

**Nur 32 % der Waldbesitzer/-nutzer planen eine Anpassung der Bewirtschaftungsmaßnahmen in naher Zukunft, während die Mehrheit unsicher ist oder gar keine Anpassung plant.** Dies bedeutet, dass Klimawandelauswirkungen nicht auf allen Ebenen der Waldbewirtschaftung vollständig akzeptiert werden. Es wird von Seiten der Waldbesitzenden ein intensiverer Dialog mit weiteren Informationen erwartet, aber auch die Bereitschaft, mit relevanten Informationen und Daten zusammenzuarbeiten, um die künftige Waldbewirtschaftung und auch ein neues System der Forstverwaltung zu entwickeln. U.a. aus diesen Gründen waren die Erwartungen an ANKLIWA-DS hoch den Bedarf an Informationen zu decken und überstiegen dabei auch die Zielvorstellungen des Projektes. Aus den Umfragebögen und Interviews haben sich folgende Forderungen nach Anpassungen herauskristallisiert:

- 1) **Verbesserung des strategischen Rahmens**: Ressourcen für Risikoermittlung und -bewertung, Planungshilfen, Dokumentation, Konsequenzen
- 2) **Anpassung des rechtlichen Rahmens**: Finanzierungssystem für Forschung und Anpassungsmaßnahmen und -aktivitäten, Begleitung/Erleichterung des Wandels
- 3) **Verbesserung des institutionellen Rahmens**: Bessere Verknüpfung der verschiedenen Verwaltungsebenen, Bildung und Forschung mit den Waldbesitzern, funktionale Verknüpfung von Institutionen und Organisationen

Die Teilergebnisse von ANKLIWA-DS wurden mit sehr großem Interesse verfolgt und die Endergebnisse auf der Abschlusskonferenz in Goc (Serbien) mit großer Teilnehmerzahl diskutiert. Trotz teilweiser unterschiedlicher Positionen wurde einhellig aus verschiedenen Stakeholdergruppen (u.a. Forstpraxis, Naturschutz, Politik, Wissenschaft) der Wunsch nach einem Folgeprojekt geäußert, um den ins Rollen gebrachte Ball auf weitere Baumarten und Regionen zu erweitern.

**2.2. Benennen Sie den voraussichtlichen Nutzen und die Verwertbarkeit der Ergebnisse. Welche praxisrelevanten Ergebnisse wurden im Projekt erzielt? Bitte erläutern Sie, inwiefern diese Ergebnisse direkt praktisch anwendbar sind und welche Möglichkeiten Sie für einen Transfer dieser Ergebnisse in die Praxis sehen.**

Mit neuesten Methoden und Modellierungs-Ansätzen konnten wichtige Datenlücken und Knowledge-Gaps in Serbien durch die Bearbeitung der beiden wichtigen Baumarten Buche und Eiche geschlossen werden bzw. können – bei Fortsetzung der Forschung - in der Zukunft geschlossen werden. Diese Ansätze sind auch in der Wissenschaft State-of-the-Art mit bisher noch wenigen dokumentierten Anwendungsfällen (z.B. dynamisierte Produktivitätskarten und -modelle), die in dieser Form selbst in Deutschland nicht flächig verfügbar sind (bspw. klimasensitive, angepasste prozess-basierte Wald-Wachstums-Simulatoren, dynamische Produktivitätskarten). Bislang fehlte eine forstliche Standortkartierung und Waldwachstumsmodelle. Das Projekt hat die Bedeutung des Faktors Boden, Gelände und Regionalklima für das zukünftige Management der Wälder Serbiens im Klimawandel deutlich gemacht. Die Forschungsergebnisse zeigen, dass im Klimawandel nur klimasensitive, physiologische, prozessbasierte Modelle eine ausreichend genaue Simulation der zukünftigen Waldentwicklung gestatten. Es ist damit deutlich geworden, dass für eine nachhaltige Waldwirtschaft die Weiterentwicklung des Forschungsprogramms und die Abdeckung der gesamten Bandbreite an Waldtypen und Wuchsgebieten notwendig ist. Eine weitere Besonderheit und ein durchaus erfolgsversprechender Ansatz in ANKLIWA-DS war, dass der Fokus nicht allein auf der naturwissenschaftliche Methodik lag. Ein Schlüsselement lag in der starken Einbeziehung von Stakeholdern (Ministerium, staatliche Forstbetriebe, Chamber of Forest Engineers) und unser Governance-Ansatz, um solide Anpassungsstrategien nicht nur zu entwickeln, sondern auch den politischen Rahmen für ebensolche Anpassungsstrategien zu schaffen. Nur so werden in Zukunft die wissenschaftlichen Erkenntnisse mit Akzeptanz und Erfolg in der Praxis und in der Politik angenommen werden können (Climate-Smart Governance Frameworks).

Somit konnten mit neuesten Methoden und State-of-the-Art Modellierungs-Ansätzen konnten wichtige Datenlücken und Knowledge-Gaps geschlossen werden, die in dieser Form selbst in Deutschland nicht flächig verfügbar sind. Die Forschungsergebnisse sind noch nicht im Alltag der Praxis angekommen und die Weiterentwicklung über die Pilotregionen und Pilot-Baumarten ist von allen Projektpartnern erkannt worden. Dennoch können auf den Forschungsergebnissen bereits jetzt Anpassungsstrategien entwickelt werden. Von direktem Nutzen sind unter anderem:

- ein auf die Hauptbaumarten Buche (*Fagus sylvatica L.*) und Stieleiche (*Quercus robur L.*) kalibrierter und validierter **Waldwachstumssimulator GOTILWA+**, welcher für wissenschaftliche, aber auch praktische Fragestellungen und Problemsituationen zur Lösungsfindung in Serbien beitragen kann. GOTILWA+ wird gegenwärtig von einem serbischen Doktoranten weiterverwendet und auf Schwarzkiefer angepasst.
- **dynamische Produktivitäts- und Standortskarten** für einige „Management-Units“, auf deren Basis eine verbesserte Planung der Holznutzung unter Klimawandel erfolgen kann. Nach den Plänen des Ministerium soll und kann die Methode für die Erarbeitung von Standortskarten im Zuge von Management-Plänen in weiteren „Management-Units“ umgesetzt werden.
- **Governance-Framework** zur Umsetzung des politischen Rahmens bspw. über Förderungen und Hilfen für Anpassungsmaßnahmen.

- Ein **ökonomisches Modell**, welches besonders für Waldbesitzer von großem Interesse ist, die auf dieser Basis unterschiedliche Handlungsalternativen durchspielen (lassen) können.

Buche und Stieleiche sind die beiden wirtschaftlich bedeutendsten Baumarten in Serbien. Der Umgang in der Bewirtschaftung dieser beiden Baumarten unter sich wandelnden Klima- und Umweltbedingungen stellt eine besondere Unsicherheit und Herausforderung dar. Waldbesitzende in Serbien werden auf die Ergebnisse der Anpassungsstrategien für die Forstwirtschaft zugreifen können, um basierend auf den entwickelten Daten, Karten und Szenarien für ihre Situation Anpassungsstrategien zu entwickeln. Besonders ist, dass wir in unserem Ansatz die ökonomische Rationale nicht vernachlässigen und auch die wirtschaftliche Machbarkeit unserer entwickelten Ansätze bewerten und darstellen. Das wirtschaftliche und politische Interesse von Waldbewirtschaftern – v.a. der beiden großen öffentlichen Forstbetriebe Vojvodinašume und Srbijasume – aber auch von politischen Entscheidungsträgern ist sehr groß, wie in den Stakeholder-Workshops deutlich wurde.

Die Transferstrategien und konzeptionellen politische Rahmenbedingungen wurden auch in 2023 in Stakeholder-Workshops für private und öffentliche Waldbesitzer vorgestellt, um eine Übernahme der methodischen Ansätze unter jeweiligen individuellen Bedingungen zu ermöglichen. Hierzu sind die Ergebnisse und Vorschläge aus AP5 bezüglich des politischen Rahmens und Governance-Frameworks zur Umsetzung der vorgeschlagenen Strategien aus ANKLIWA-DS ein essentieller Baustein – neben der naturwissenschaftlichen Basis und ökonomischen Rationale.

Eine notwendige Weiterentwicklung und Transferstrategie der Projektergebnisse umfasst auch die Einbeziehung einer Modellierung des Grundwasserabstands für die alluviale Donau- und Sava-Ebene. Für die Bewirtschaftung der oft grundwasserbeeinflussten Wälder in der Eichenwuchsregion in Srem konnte der Faktor als entscheidend für die Simulation der Stieleiche herausgestellt werden. Nur genaue Modelle der annualen Grundwasserdynamik, aber auch des Trends im Klimawandel erlauben die Wuchsdynamik besser verstehen und abbilden zu können.

Die Projektergebnisse – Publikationen und Präsentation - wurden auf der Projekt-Homepage für alle zugänglich in englischer und serbischer Sprache verfügbar gemacht.

Wiederholt wurde auch im Jahr 2023 von politischen Entscheidungsträgern und durch Srbijašume und Vojvodinašume starkes Interesse an der Fortführung der Projektaktivitäten signalisiert, um die Projektergebnisse über die Pilot-Studie hinaus auf ganz Serbien, alle Wuchsgebiete und andere Baumarten anwenden zu können.

### **2.3. Welche Empfehlungen können Sie aus den erzielten Ergebnissen ableiten?**

#### ***Kernaussagen und Policy Advice***

Die digitalen Standortskarten deuten für die Zukunft **eine Verlagerung hin zu trockeneren Standorten mit thermophilen Arten erwartet**. Zudem wird ein Rückgang der Qualität des Standortindex erwartet.

**Gegenwärtig zählen die Eichen und Buchenvorkommen in Serbien zu den produktivsten in ganz Europa.** Ein starker Niedergang des Produktionsniveaus unter zukünftigem Klimawandel ist allerdings zu erwarten – ungleich stärker im pessimistischsten Klimawandelszenario RCP 8.5.

Die Baumarteneignungskarten zeigen für Buche eine Abnahme an geeigneten Flächen vor allem in niedrigeren Lagen, während in höheren Lagen Zunahmen zu erwarten sind. Im Klimawandelszenario RCP 4.5 gab es trotz der Abnahmen in den niederen Lagen insgesamt eine Zunahme von 13 % durch Gewinne in höheren Lagen. Im Klimawandelszenario RCP8.5 dagegen gabs es insgesamt eine Abnahme der Eignungsfläche um 26 % im Vergleich zum gegenwärtigen Vorkommen. **Die Baumarteneignungskarten zeigen für Buche eine Aufwärtswanderung in höhere Lagen.**

Ravni Srem ist einer der produktivsten Standorte für Stieleiche in Europa. Die Kartierung der aktuellen Standortklassen erleichtert die Planung der Waldbewirtschaftung und bietet eine Grundlage für die Projektion der künftigen Produktivität, um die Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten.

**Produktivität ist allerdings kein guter Indikator für Vulnerabilität.** Die erfolgreiche Bewirtschaftung und die hohen Produktivitätsniveaus hängen stark am vom Sava-Fluss beeinflussten Grundwasserspiegel ab. Die Simulationen mit dem prozess-basierten Waldwachstumssimulator zeigen, dass **sinkende Grundwasserspiegel die trockenheitsbedingte Sterblichkeit bei Eichen stark erhöhten und Klimawandelauswirkungen sehr große Unsicherheiten für die Waldbewirtschaftung nach sich zogen.** Dies bedeutet ein sehr großes betriebswirtschaftliches Risiko.

Anpassungen in Waldbau-Programmen sind wichtig: **Anpassungsszenarien verringerten die Verluste (Abwärtsrisiko) und verbesserten die Robustheit um ca. 30-60% trotz der prognostizierten Produktivitätsverluste durch den Klimawandel.** Frühere, intensivere Durchforstungen reduzierten das Risiko deutlich, während ungleich höhere wirtschaftliche Risiken bei unveränderter Bewirtschaftung (business-as-usual) vorlagen. Bei keiner Bewirtschaftung (zum Beispiel in Schutzgebieten) war das Absterberisiko am höchsten und die Mortalität war dort deutlich größer.

Die Befragungen und Experteninterviews haben ergeben, dass der Klimawandel nicht auf allen Ebenen unter den mit dem Wald Arbeitenden als fühlbare Realität erkannt und vollständig akzeptiert wird. Es sind starke Erwartungen an die Projektergebnisse und an den Aufbau eines neuen „climate-smart forestry“ Ansatzes geknüpft, welcher Verbesserungen und Anpassungen auf institutioneller, strategischer und rechtlicher Ebene liefert. **Für die erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist daher ein neuer Governance-Rahmen für die Waldbewirtschaftung unter Klimawandel unerlässlich.** Dieses regulatorische Rahmenwerk (Governance-Framework) sowie eine Finanzierung zur Umsetzung von aktiven Mitigations- und Anpassungsstrategien von politischen Entscheidungsträgern ist notwendig ist, um den Unsicherheiten des Klimawandels zu begegnen.

#### **2.4. Welche möglichen weiterführenden Fragestellungen bzw. Anknüpfungspunkte sehen Sie?**

Die Zielbaumarten dieses Projektes sind Buche und Eiche, die die ökologische aber auch ökonomische Waldlandschaft in Serbien am stärksten prägen. Dieses Projekt war ein Pilotprojekt, welches auf alle anderen Wuchsregionen in Serbien angewendet werden könnte. Darüber hinaus schafft dieses Projekt eine Blaupause, um die methodischen Ansätze und entwickelten „Tools“ wie digitale Standortskarten, Produktivitätskarten, Waldwachstumsmodelle, neue Waldbauliche Programme auch auf andere Wuchsgebiete und Baumarten in der Region anzuwenden.

ANKLIWA-DS hat sich besonderen Herausforderungen gestellt, indem in einer Region trotz „Science-gaps“ von Daten, Wissen und Vor-Erfahrung die Anwendung neuester Techniken und Methoden erprobt wurde. Der Mehrwert dieses Projektes ist der Pilotcharakter in Erstellung wichtiger Grundlagen in Form von dynamischen und klimasensiblen Standorts- und Produktivitätskarten mit klimasensitiver Waldwachstumsmodellierung, eines Climate-Smart Governance Frameworks, und wichtiger, verfügbar gemachter Datengrundlagen. Das Projekt hat daher eine besondere Wirkung und Einfluss in Serbien und potenziell darüber hinaus in der gesamte Balkanregion, da die Methodenentwicklung und auch die Anwendungsbeispiele in den Pilotregionen Leuchtturm-Wirkung haben können, wenn die Ergebnisse zielführend zusammengeführt und kommuniziert werden können.

In persönlichen Gesprächen wurde deutlich, dass politische Entscheidungsträger in Serbien stark daran interessiert sind, den verfolgten Ansatz auf über die Pilotstudien hinaus auf ganz Serbien anzuwenden. Mit der in der Zwischenzeit abgeschlossene Nationale Waldinventur ist auch eine weitere gute Datengrundlage geschaffen. Des Weiteren liegen große Hoffnungen darin den Ansatz von ANKLIWA-DS in Folge-Projekten auf weitere Baumarten neben Eiche und Buche anzuwenden. Baumartenwahl der Zukunft ist die nächste Schlüsselfrage, die sich direkt an ANKLIWA-DS anschließen und in Folge-Projekten angegangen werden sollen.

In einem ersten PhD-Projekt geleitet von den Projektpartnern Dr. Petrovic and Dr. Stajic ist bereits begonnen worden die Methodik auf Schwarzkiefer zu erweitern. Der Waldwachstumssimulator GOTILWA+ soll auch hier zur Verfügung stehen, um wissenschaftliche, aber auch praktische Fragestellungen und Problemsituationen zu bearbeiten und zur Lösungsfindung in Serbien beizutragen. Aber auch für die Waldwirtschaft in Deutschland ergeben sich weiterführende Fragestellungen und Anknüpfungspunkte: In Deutschland sind klimasensitive, physiologisch-prozessbasierte Waldwachstumsmodelle ebenfalls nicht in der Praxis angekommen. Die Schwarzkiefer ist eine auch für Deutschland in den Klimawandel-Hotspots immer mehr in den Fokus rückende Baumart, die als potentielle Zukunftsbaumart die Waldkiefer ersetzen könnte. Allerdings fehlt Erfahrungswissen mit dieser (oder weiteren) Baumart(en), weswegen auch hier *learning from the neighbours* ein vielversprechender Ansatz wäre. Dies gilt auch für weitere Baumarten die im wärmeliebenderen Spektrum in Serbien schon zu finden sind wie zum Beispiel Zerr-Eiche (*Quercus cerris*), Ungarische Eiche (*Quercus frainetto*) und auch in Deutschland zukünftig geeignet sein werden. Im Zuge von ANKLIWA-DS konnten Kontakte zwischen Prof. Kohnle (externer Experte in ANKLIWA-DS) und serbischen Partnern hergestellt werden, um schwer zugängliches Samenmaterial für Ungarische Eiche zu organisieren, die für Wachstums-Experimente an der Forstlichen Versuchs und Forschungsanstalt Baden-Württemberg (FVA) Anwendung finden.

## **2.5. Führen Sie bisherige sowie geplante Aktivitäten zur Verbreitung der Ergebnisse auf.**

Für die Verbreitung der Ergebnisse des Projekts wurde bereits zu Beginn des Projekts Strukturen geschaffen, die bereits während der Projektlaufzeit die Abstimmung mit den wichtigsten Stakeholdern aus Forstpolitik und Praxis erlaubten. Dies war besonders wichtig für die Kontakt zu ForstexpertInnen im AP5 „Climate change governance and sustainable development in Serbia“ und für technische Unterstützung und Daten aus den staatlichen Forstbetrieben. Zudem diente die Kooperation mit thematisch wichtigen Vorgänger-Projekten und parallel laufenden Forschungsprojekten dem Austausch von Wissen und Daten sowie Unterstützung für eine effiziente Bearbeitung gleichzeitig dem Bekannt-Werden des Forschungsansatzes. ANKLIWA-DS kooperierte und profitierte mit den beiden folgenden Projekten:

- Serbisch-deutsches Kooperationsprojekt Projekt-Nr: W-SRB 15-01 (7/2015-8/2017): „Entwicklung und Einführung einer innovativen Forstmanagementplanung unter Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer und sozialer Aspekte in Serbien“
- GEF-Projekt "Beitrag nachhaltiger Waldbewirtschaftung zu einer emissionsarmen und resilienten Entwicklung (GCP/SRB/002/GFF)"

Regelmäßig wurden Stakeholder-Workshops organisiert um über den Projektstand zu informieren und Feedback und Anregungen aus der Praxis zu erhalten. Zwischen November 2020 und Mai 2024 fanden sechs größere Stakeholder-Meetings statt. Auch durch die Umfrage und Experteninterviews im Rahmen des AP5 wurde weite Forstkreise über das Projekt frühzeitig informiert.

Darüber hinaus gab es regelmäßige Kontakte mit den wichtigsten Stakeholdern und Projektpartnern, dem Direktorat für Forsten und den beiden staatlichen Forstbetrieben. Die abschließende Projektkonferenz im Mai 2024 informierte alle Beteiligten über die finalen Projektergebnisse.

Eine Projekt-Website wurde im Jahr 2022 aufgesetzt. Eine aktualisierte Version der Projektwebsite wurde im Juli 2023 und mit allen Ergebnissen im September 2024 veröffentlicht (<https://ankliwa.sfb.bg.ac.rs>).

Das Projekt wurde mit Vorträgen und Posterbeiträgen in der Region und international vorgestellt:

- Conference on Risk Analysis (IUFRO) - Nancy, France (31 May – 2 June, 2022)

- EFI Annual Conference - Novi Sad, Serbia (20-21 Sep 2023)
- Climate changes' impact on management and activities in protected areas: managers' and stakeholders' attitudes" - Skopje, Severna Makedonija (15-16 Jun 2022)
- IUFRO World Congress - Stockholm, Sweden (23-29 June 2024)

*Results interviews:*

- local conferences „Kopački rit jučer, danas, sutra“ in Osijek (September 2021),
- regional conference regionalnoj EKOnferenciji “Životna sredina - svetska prestonica 2021.” in Belgrade (June 2021)
- International Scientific Conference “Green agenda for Western Balkans” in June 2023 in Belgrade
- poster presentation at the conference in Skopje in June 2023 (by Jelena Nedeljković).

Zuletzt sind im Rahmen des Projekts die folgenden wissenschaftliche und Publikationen für die Praxis entstanden oder sind noch in Vorbereitung. Diese sind im folgenden Kapitel aufgeführt.

**2.6. Bitte geben Sie eine Übersicht über alle im Berichtszeitraum realisierten Veröffentlichungen (Publikationen, Printmedien, Newsletter, etc.). Bitte als gesonderte Anlage beifügen.**

Sperlich, D., Nada-Sala, D., Gracia, C., Kreuzwieser, J., Hanewinkel, M., & Yousefpour, R. (2020). Gains or loss in forest productivity under climate change? The uncertainty of CO<sub>2</sub>-fertilization and climate effects. *Climate*, 8(12), 141. <https://doi.org/10.3390/cli8120141>

Sperlich D, Hanewinkel M, Yousefpour R (2024) Aiming at a moving target: economic evaluation of adaptation strategies under the uncertainty of climate change and CO<sub>2</sub> fertilization of European beech (*Fagus sylvatica* L.) and Silver fir (*Abies alba* Mill.). *Ann For Sci* 81:.  
<https://doi.org/10.1186/s13595-023-01215-6>

M. Kazimirovic, B. Stajic, D. Sperlich, J. Ljubicic, N. Petrovic, O. Kosanin, A. Weinreich, D. Bakovic, M. Hanewinkel (2024): Site index curves for pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Serbia: mapping the current site index as reference point for risk analysis. *Annals of Forest Science*.

Vilà-Cabrera A., Astigarraga J., Jump A., Zavala MA, **Sperlich D** and Ruiz-Benito P (2023). Anthropogenic Land-Use Legacies Underpin Climate Change-Related Risks to Forests. *Trends in Plant Science*.

*Für IUFRO Division 4.04.07 Risk analysis 31st May – 2nd June 2022 wurden zwei Poster präsentiert.*

M. Kazimirovic, B. Stajic, D. Sperlich, J. Ljubicic, N. Petrovic, O. Kosanin, A. Weinreich, D. Bakovic, M. Hanewinkel: Site index curves for pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Srem region of Serbia: mapping the current site productivity as reference point for risk analysis. Abstract at IUFRO Division 4.04.07 Risk analysis conference.

Ljubicic, J., Kosanin, O., Sperlich, D., Kazimirovic, M., Stajic, B., Petrovic, N., Vasic, I., Nedeljkovic, J., Nonic, D., Hanewinkel, M., Weinreich, A., Bakovic, D. Development of digital site mapping and estimating future tree species suitability in Serbia. International conference: Socio-ecological conflicts in forest management: risks of (not) adapting? organized by IUFRO Division 4.04.07 Risk analysis. <https://workshop.inrae.fr/iufro-risk-analysis-nancy/Programme>

*Für IUFRO World Congress Stockholm 2024 Forest & Society 23–29 June 2024* wurde ein Poster präsentiert:

Sperlich D., Kazimirovic M, Ljubicic J, Vasić I, Nedeljković J, Kosanin O, Stajic B, Weinreich A, Bakovic D, Petrovic N, Hanewinkel M. Forest adaptation strategies to climate change under socio-, economic and ecological uncertainties - a case study from Serbia

*Drei wissenschaftliche Artikel in Bearbeitung:*

Sperlich D, Altunay D, Kazimirovic M, Ljubicic J, Petrovic N, Hanewinkel M. Plan for the worst, hope for the best! Robust decision-making in forestry under deep uncertainty - A case study for oak (*Quercus robur* L.) management in Serbia

Kazimirović M, Stajić B, Petrović N, Baković Z, Hanewinkel M, Sperlich D. Site index models for highly productive beech stands in western Serbia. Submission to the European Journal of Forest Research

Ljubicic J, Košanin O, Petrović N, Kazimirović M, Stajić B, Hanewinkel M & Sperlich D. Development of digital site mapping based on water balance level and nutrient regime in western Serbia.

*Weitere Beiträge:*

Ein Beitrag zu ANKLIWA-DS ist für die Redaktionsagentur FAZIT Communication des Hochschulkonsortiums GATE-Germany im DAAD zum Länderprofil Serbien erschienen. Das Heft wurde im Dezember 2021 unter <https://www.gate-germany.de/laenderprofil/laenderprofil-serbien-2021/> veröffentlicht, den Text über ANKLIWA-DS ist auf Seite 26 zu finden.




Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

### AKRONYM: ANKLIWA-DS

**Deutsch-Serbisches bilaterales Forschungscooperationsprojekt im Bereich der internationalen nachhaltigen Waldbewirtschaftung - Entwicklung und Implementierung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel bei der Waldbewirtschaftung (Adaptive Waldbewirtschaftung – Deutschland - Serbien).**

<b>Land/Länder</b>	Deutschland, Serbien
<b>Fördernde Organisation</b>	Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft – BMEL
<b>Projekträger</b>	Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung – BLE
<b>Koordinator</b>	wissenschaftlicher Koordinator: Dr. Dominik Sperlich PI: Prof. Marc Hanewinkel
<b>Partner</b>	1) Forstfakultät, Universität Belgrad (Serbien) 2) Unique land use GmbH (Germany)
<b>Projektbudget</b>	465.339,46 €
<b>Projektlaufzeit</b>	01.11.2019 bis 30.06.2024 (56 Monate)

<b>Schlagwörter</b>	nachhaltige Waldbewirtschaftung, Anpassungsstrategien, Vegetationsanalyse, digitale Standortkartierung, klimasensitive Waldwachstumssimulation, ökonomische Bewertung, dynamische Baumarteneignungskarten, Politikinstrumente, politischer Steuerungsrahmen, Climate-Smart Forestry
<b>Hintergrundinformation</b>	Wälder leiden unter dem Klimawandel, haben aber gleichzeitig die Fähigkeit, große Mengen an CO <sub>2</sub> zu speichern. Damit nehmen sie beim Klimaschutz eine besondere Doppelrolle ein, da sie den Klimawandel abmildern aber durch ihren Verlust auch verstärken können. Insgesamt hat der serbische Forstsektor das Ziel, die Wälder zu stabilisieren, sie an den Klimawandel anzupassen und hierfür optimale Hilfsmittel und Methoden für die Waldbewirtschaftung zu finden. Aufbauend auf einem Projekt zur Entwicklung einer innovativen Forstplanung in Serbien (BMEL Projekt W-SRB 15-01) wurden wissenschaftliche Lücken identifiziert, um diese Ziele umsetzen zu können. Hierbei wurden Verbesserungsbereiche für die serbische Waldbewirtschaftung erarbeitet und entsprechende Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen, die in diesem Projekt systematisch mit wissenschaftlichen Aktivitäten untersucht, angepasst und durchgeführt werden sollen. Durch bestehende institutionelle und persönliche Beziehungen zwischen deutschen und serbischen Wissenschaftlern greift ANKLIWA-DS auf ein ausgedehntes Netzwerk von politischen Entscheidungsträgern, Praktikern und für die Waldbewirtschaftung wichtigen Stakeholdern zurück.
<b>Projektziel</b>	<p>Das Projekt hat zum Ziel verbesserte Planungs- und Monitoringansätze zu entwickeln, die stabile Wälder in Serbien auch unter Klimawandel garantieren. Bei der Implementierung werden ökologische, ökonomische und sozioökonomische Aspekte der naturnahen Waldwirtschaft ausgewogen. ANKLIWA-DS liefert hierfür die wissenschaftlichen Grundlagen, die folgende Teilziele umfassen:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erstellung einer forstlichen Vegetationsanalyse und Standortkartierung</li> <li>2. Parametrisieren eines (klimasensitiven) Waldwachstumsdimulators und Verknüpfung mit einem ökonomischen Risikomodell</li> <li>3. Feststellung der Baumarteneignung und Produktivität im Kontext des Klimawandels</li> <li>4. Entwerfen eines politischen Steuerungsrahmens zur Implementierung der entwickelten Ansätze</li> <li>5. Entwicklung von Anpassungsstrategien an den Klimawandel unter Berücksichtigung aller Akteure</li> </ol> <p>Schlussendlich sollen die Resultate auf für die deutsche Seite zur Verfügung stehen, da die diese Themen auch für die deutsche forstwissenschaftliche Forschung von großer Bedeutung ist.</p>
<b>Projektergebnisse</b>	<p>Die digitalen Standortskarten deuten für die Zukunft eine Verlagerung hin zu trockeneren Standorten mit thermophilen Arten erwartet. Zudem wird ein Rückgang der Qualität des Standortindex erwartet. Die Baumarteneignungskarten zeigen für Buche eine Abnahme an geeigneten Flächen vor allem in niedrigeren Lagen, während in höheren Lagen Zunahmen zu erwarten sind.</p> <p>Im Klimawandelszenario RCP 4.5 gab es trotz der Abnahmen in den niederen Lagen insgesamt eine Zunahme von 13 % durch Gewinne in höheren Lagen. Im Klimawandelszenario RCP8.5 dagegen gabs es insgesamt eine Abnahme der Eignungsfläche um 26 % im Vergleich zum gegenwärtigen Vorkommen.</p> <p>Ravni Srem ist einer der produktivsten Standorte für Stieleiche in Europa. Die Kartierung der aktuellen Standortklassen erleichtert die Planung der</p>

	<p>Waldbewirtschaftung und bietet eine Grundlage für die Projektion der künftigen Produktivität, um die Auswirkungen des Klimawandels zu bewerten. Die erfolgreiche Bewirtschaftung und die hohen Produktivitätsniveaus hängen allerdings stark am vom Sava-Fluss beeinflussten Grundwasserspiegel ab. Die Simulationen mit dem prozessbasierten Waldwachstumssimulator zeigen, dass sinkende Grundwasserspiegel die trockenheitsbedingte Sterblichkeit bei Eichen stark erhöhten und Klimawandelauswirkungen sehr große Unsicherheiten für die Waldbewirtschaftung nach sich zogen. Dies bedeutet ein sehr großes betriebswirtschaftliches Risiko. Anpassungen durch frühere, intensivere Durchforstungen reduzierten das Risiko deutlich, während die höchsten wirtschaftliche Risiken bei unveränderter Bewirtschaftung (<i>business-as-usual</i>) vorlagen.</p> <p>Die Konsequenzen des Klimawandels wird nicht auf allen Ebenen der Waldbewirtschaftung vollständig akzeptiert. Für die erfolgreiche Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen ist ein neuer Governance-Rahmen für die Waldbewirtschaftung unter Klimawandel unerlässlich. Es sind starke Erwartungen an die Projektergebnisse und an den Aufbau eines neuen „climate-smart forestry“ Ansatzes geknüpft, welcher Verbesserungen und Anpassungen auf institutioneller, strategischer und rechtlicher Ebene liefert.</p>
<p><b>Empfehlungen</b></p>	<p><b>Kernaussagen und Policy Advice</b></p> <p>Gegenwärtig zählen die Eichen und Buchenvorkommen in Serbien zu den produktivsten in ganz Europa. Ein starker Niedergang des Produktionsniveaus unter zukünftigem Klimawandel ist allerdings zu erwarten – ungleich stärker im pessimistischsten Klimawandelszenario RCP 8.5 – bei gleichzeitiger Verlagerung hin zu thermophilen Arten auf trockeneren Standorten. Die Baumarteneignungskarten zeigen für Buche eine Aufwärtswanderung in höhere Lagen und Netto-Verluste durch eine Verkleinerung des Eignungsgebiets in niedrigeren Lagen.</p> <p>Produktivität ist kein guter Indikator für Vulnerabilität. Auch Bestände mit gesteigerter Produktivität auf besseren Standorten fielen unter Klimawandel trockenheitsbedingter Mortalität zum Opfer. Anpassungsszenarien verringerten die prognostizierten Verluste (Abwärtsrisiko) und verbesserten somit die wirtschaftliche Robustheit um ca. 30-60% trotz der prognostizierten Produktivitätsverluste durch den Klimawandel. Es wurde außerdem deutlich, dass ein regulatorisches Rahmenwerk (Governance-Framework) sowie eine Finanzierung zur Umsetzung von politischen Entscheidungsträgern notwendig ist, um den Unsicherheiten des Klimawandels mit aktiven Mitigations- und Anpassungsstrategien zu begegnen</p>
<p><b>Fotos</b></p>	







Federal Ministry  
of Food  
and Agriculture

## ACRONYM: ANKLIWA-DS

# German-Serbian bilateral research cooperation to develop and implement adaptation strategies to climate change in forest management

<b>country/countries</b>	Germany, Serbia
<b>funding agency</b>	Federal Ministry of Food and Agriculture - BMEL
<b>project management</b>	Federal Office for Agriculture and Food – BLE
<b>project coordinator</b>	Scientific coordinator: Dr. Dominik Sperlich PI: Prof. Marc Hanewinkel
<b>project partner(s)</b>	1) Forestry Faculty, University Belgrade (Serbien) 2) Unique land use GmbH (Germany)
<b>project budget</b>	465.339,46 €
<b>project duration</b>	01.11.2019 - 30.06.2024 (56 months)
<b>key words</b>	Sustainable forest management, adaptation strategies, vegetation analysis, digital site mapping, climate-sensitive forest growth simulation, economic evaluation, risk and uncertainty, dynamic tree species suitability maps, policy instruments, political governance framework, climate-smart forestry
<b>background</b>	Forests suffer from climate change, but at the same time have the ability to store large amounts of CO <sub>2</sub> . They therefore play a special dual role in cli-

	<p>mate protection, as they can mitigate climate change but also exacerbate it through their loss. Overall, the Serbian forestry sector aims to stabilise forests, adapt them to climate change and find optimal tools and methods for forest management. Building on a project to develop innovative forest planning in Serbia (BMEL project W-SRB 15-01), scientific gaps were identified in order to realise these goals. Areas of improvement for Serbian forest management were identified and corresponding improvement measures were proposed, which will be systematically analysed, adapted and implemented in this project through scientific activities. Through existing institutional and personal relationships between German and Serbian scientists, ANKLIWA-DS has access to an extensive network of political decision-makers, practitioners and stakeholders important for forest management.</p>
<p><b>objective</b></p>	<p>The aim of the project is to develop improved planning and monitoring approaches that guarantee stable forests in Serbia even under climate change. Ecological, economic and socio-economic aspects of near-natural forest management are balanced during implementation. ANKLIWA-DS provides the scientific basis for this, which includes the following sub-goals:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. creation of a forest vegetation analysis and site mapping</li> <li>2. parameterisation of a (climate-sensitive) forest growth simulator and linkage with an economic risk model</li> <li>3. determination of tree species suitability and productivity in the context of climate change</li> <li>4. design a policy framework to implement the developed approaches</li> <li>5. development of adaptation strategies to climate change, taking into account all stakeholders</li> </ol> <p>Finally, the results are to be made available to the German side, as these topics are also of great importance for German forestry research.</p>
<p><b>results</b></p>	<p>The digital site maps indicate that a shift towards drier sites with thermophilic species is expected in the future. A decline in the quality of the site index is also expected. The tree species suitability maps show a decrease in suitable areas for beech, especially at lower altitudes, while increases are expected at higher altitudes. In the climate change scenario RCP 4.5, there was an overall increase of 13 % due to gains at higher altitudes despite the decreases at lower altitudes. In the climate change scenario RCP8.5, on the other hand, there was an overall decrease in the suitability area of 26 % compared to the current occurrence.</p> <p>Ravni Srem is one of the most productive sites for English oak in Europe. Mapping the current site classes facilitates forest management planning and provides a basis for projecting future productivity to assess the impact of climate change. However, successful management and high productivity levels depend heavily on groundwater levels influenced by the Sava River. The simulations with the process-based forest growth simulator show that decreasing groundwater levels strongly increased the drought-related mortality of oaks and climate change impacts resulted in very large uncertainties for forest management. This means a very high economic risk. Adaptations through earlier, more intensive thinning reduced the risk significantly, while</p>

	<p>the highest economic risks were associated with unchanged management (business-as-usual). The consequences of climate change are not fully accepted at all levels of forest management. A new governance framework for forest management under climate change is essential for the successful implementation of adaptation measures. There are strong expectations for the project results and for the development of a new 'climate-smart forestry' approach that delivers improvements and adaptations at institutional, strategic and legal levels.</p>
<b>recommendations</b>	<p><b>Key take-aways and policy advice</b> At present, the oak and beech resources in Serbia are among the most productive in Europe. However, a sharp decline in production levels is to be expected under future climate change - much more so in the most pessimistic climate change scenario RCP 8.5 - with a simultaneous shift towards thermophilic species on drier sites. The tree species suitability maps show an upward migration of beech to higher altitudes and net losses due to a reduction in the suitability area at lower altitudes. Productivity is not a good indicator of vulnerability. Even stands with increased productivity at better sites fell victim to drought-related mortality under climate change. Adaptation scenarios reduced the predicted losses (downside risk) and thus improved economic resilience by about 30-60% despite the predicted productivity losses due to climate change. It also became clear that a regulatory framework (governance framework) as well as financing for implementation by political decision-makers is necessary to counter the uncertainties of climate change with active mitigation and adaptation strategies</p>
<b>photos</b>	