Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

National Centre for Climate Services NCCS

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Der Klimawandel gefährdet wichtige Ökosystemleistungen der Schweizer Wälder wie Holzproduktion, den Schutz vor Naturgefahren und die einheimische Artenvielfalt. Dies stellt die forstliche Planung vor grosse Herausforderungen. Die ETH und die WSL entwickelten im Auftrag des National Centre for Climate Services (NCCS) die Apps FORTE und ForClim, die den Einfluss des Klimawandels unter unterschiedlichen Klimaszenarien auf die verschiedenen Waldleistungen aufzeigen. Nachfolgend werden die Funktionsweisen der Apps und exemplarische Ergebnisse dargestellt.

AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF DIE ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN DER SCHWEIZER WÄLDER

Durch steigende Temperaturen und zunehmende Trockenheit sind künftig bestimmte Baumarten für ihre derzeitigen Standorte nicht mehr geeignet. Mit den Apps ForClim und FORTE können Sie prüfen, wie stark die verschiedenen Gebiete und Regionen der Schweiz betroffen sind.

Trockenheit, Stürme und Schädlingsbefall nehmen durch den Klimawandel zu und verändern die ökologischen Bedingungen für den Wald in der Schweiz fundamental. Dies gefährdet zentrale Ökosystemleistungen wie die Holzproduktion, den Schutz vor Naturgefahren und die Bereitstellung von Lebensraum für die einheimische Artenvielfalt. Erfahrungswissen und traditionelle Planungsinstrumente wie Ertragstafeln sind unerlässlich, stossen aber in der Forstpraxis an ihre Grenzen, wenn es darum geht, die Entscheidungen für die nächsten Jahrzehnte zu treffen, was zukunftsfähige Baumarten oder die Entwicklung des Holzvorrats betrifft.

Zwei komplementäre Apps unterstützen bei der Entscheidungsfindung:

Die **App ForClim (Forests in a Changing Climate)** simuliert die zukünftige Entwicklung der Waldbestände und ermöglicht so, waldbauliche Massnahmen in Ergänzung zur bereits bestehenden Tree-App fundierter zu planen.

Die **App FORTE (Forest Tree Explorer)** bietet für die gesamte Schweiz eine kartenbasierte Übersicht über die Veränderung der Multifunktionalität der Wälder und der daraus abgeleiteten Ökosystemleistungen.

Die Apps richten sich an Fachverantwortliche der öffentlichen Hand, Försterinnen und Förster, Unternehmen, Planungs- und Beratungsbüros sowie Forschende und die interessierte Öffentlichkeit.

FOLGEN DES KLIMAWANDELS

- **Die Verfügbarkeit der für die Waldwirtschaft wichtigsten einheimischen Baumarten wird unter den künftigen klimatischen Bedingungen abnehmen, da diese Arten aufgrund steigender Temperaturen und zunehmender Trockenheit für die künftigen Standorte nicht mehr geeignet sein werden**
- **Ohne das gezielte Fördern und Pflanzen von klimafitten Baumarten kann die Stabilität und Produktivität der Wälder zurückgehen.**
- **Klimawandel, Extremwetterereignisse und andere natürliche Störungen wie Schädlinge können die Baumsterblichkeit erhöhen. Mischwälder sind oft widerstandsfähiger als artenarme Wälder, da bei schlechten Bedingungen vorhandene Ressourcen wie Wasser und Nährstoffe besser genutzt werden und Konkurrenz vermieden wird.**

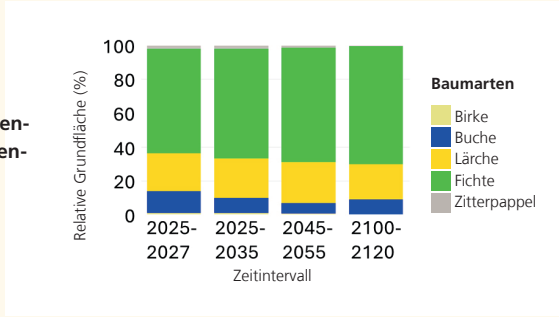
VERFÜGBARE INDIKATOREN IN DER APP ForClim

Zukünftige Baumartenzusammensetzung

Indikator für die Klimafitness

Die App simuliert, wie sich die Artenanteile im Bestand unter verschiedenen Klimaszenarien über die Zeit verändern. Mit dieser Grundlage können Försterinnen und Förster klimaresiliente Wälder planen und klimafitte Baumarten fördern. Dadurch können sie nachvollziehen, welche Baumartenzusammensetzung in 50 Jahren sinnvoll ist und wie schnell verschiedene Baumarten am jeweiligen Standort an Konkurrenzkraft verlieren.

Beispiel Baumarten-zusammen-setzung
RCP 8.5*

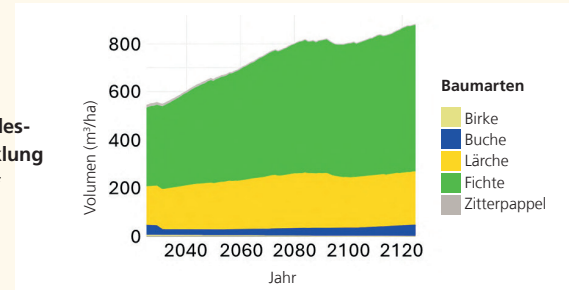


Bestandesentwicklung

Indikator für Wachstum und Holznutzung

Die App liefert Ergebnisse zur zukünftigen Entwicklung von Biomasse, Holzvorrat und Zuwachs. Mit Hilfe von dynamischen Zeitreihen-Grafiken können Försterinnen und Förster Erntezeitpunkte strategisch planen: Die App zeigt auf, ob es sinnvoll ist, den Wald zu durchforsten und die Verjüngung von Baumarten zu fördern.

Beispiel Bestandes-entwicklung
RCP 8.5*

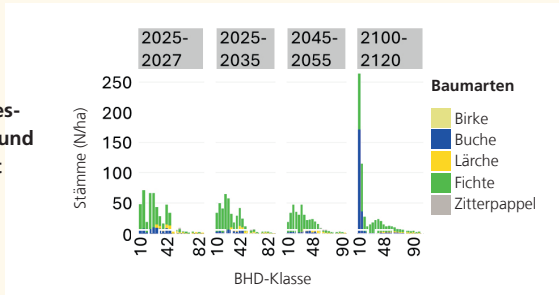


Bestandesstruktur und Stabilität

Indikator für die Widerstandsfähigkeit

Die App gibt die zukünftige Durchmesserverteilung der Bäume und die Entwicklung des Verhältnisses von Baumhöhe zu Stammdurchmesser (h/d, Schlankheitsgrad) an. Diese Grössen sind wichtige Indikatoren für die Stabilität eines Bestandes. Insbesondere im Gebirgswald, wo die Schutzfunktion im Vordergrund steht, hat dieser Aspekt eine höhere Priorität als der reine Holzvorrat.

Beispiel Bestandes-struktur und Stabilität
RCP 8.5*



*Klimaszenario ohne globalen Klimaschutz
Absolute Veränderung in der Periode 2045-2074 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010

Wissenschaftliche Grundlagen der App ForClim

Die Methodik wurde partizipativ mit Försterinnen und Förstern entwickelt. Basis ist ein neuronales Netz (NN), das auf praxisrelevanten Eingabedaten trainiert wurde. Es generiert aus wenigen, einfach zu erhebenden Kenngrössen (z. B. Stammzahl, Hauptbaumarten, Entwicklungsstufen) eine hochaufgelöste Stammzahlverteilung für den Gesamtbestand. In einem zweiten, wissenschaftlich validierten Schritt wird diese Gesamtverteilung mithilfe der vom Nutzer angegebenen Baumartenanteile auf die einzelnen Baumarten aufgeteilt. Diese detaillierte Verteilung wird schliesslich in eine Baumliste umgewandelt, die als Startpunkt für die Simulation der zukünftigen Waldentwicklung dient.

Die App basiert noch auf der älteren Generation Klimaszenarien (CH2018 Klimaszenarien). Mittlerweile sind die neuen Klimaszenarien CH2025 Klimaszenarien verfügbar. Die qualitativen Hauptaussagen in den beiden Klimaszenarien bleiben jedoch unverändert.

Fachbericht
CH2018 Klimaszenarien für die Schweiz
Modellierung mit dem dynamischen Waldmodell ForClim
Hiltner, U., Glatthorn, J., & Bugmann, H. (submitted). Bridging data gaps in forestry: A practitioner-informed Neural Network for predicting stem size distributions from aggregated data. Journal of Applied Ecology.
Marano, G., Hiltner, U., Meusburger, K., Hands, T., Bugmann, H. (in review). Predicting drought-induced tree mortality in Swiss beech forests hinges upon predisposing and inciting factors. Ecosphere.

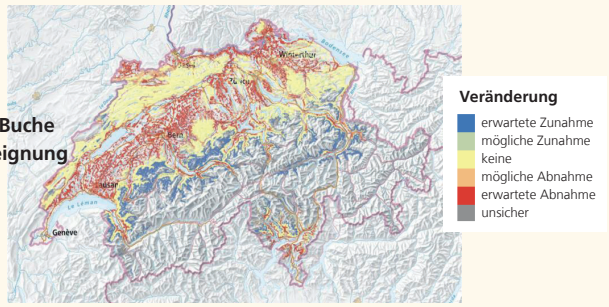
VERFÜGBARE INDIKATOREN IN DER APP FORTE

Habitateignung

Indikator für die Verbreitung von Baumarten

Die App zeigt, wie sich die Lebensräume für verschiedene Baumarten unter künftigen Klimaszenarien verändern. Sie macht sichtbar, in welchen Regionen sich die Bedingungen für bestimmte Arten verbessern oder verschlechtern. Ausserdem zeigt sie, wie extreme Wetterereignisse die Verbreitung der Arten beeinflussen können.

Beispiel Buche Habitateignung
RCP 8.5*

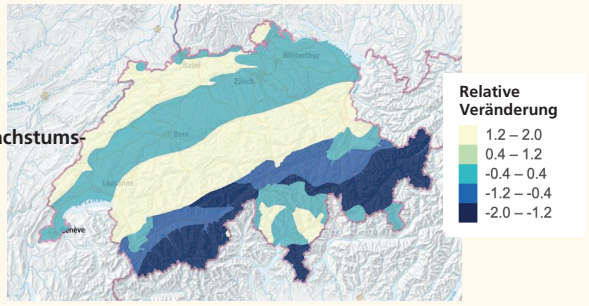


Waldgesundheit

Indikator für die Resilienz der Schweizer Wälder

Die App veranschaulicht, wie sich der Klimawandel auf die Gesundheit der Wälder auswirkt. Die Karten geben Aufschluss über den Zustand der Wälder unter verschiedenen Klimaszenarien und liefern eine wichtige Grundlage für die Entwicklung zukunftsfähiger Bewirtschaftungsstrategien.

Beispiel Baumwachstums-resilienz
RCP 8.5*

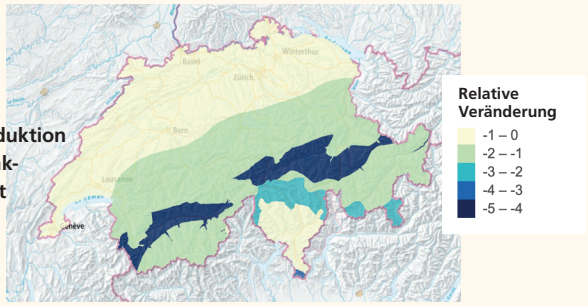


Multifunktionalität und Waldleistungen

Indikatoren für klimabedingte Veränderungen

Die App stellt dar, wie sich zentrale Ökosystemleistungen wie Holzproduktion, Kohlenstoffspeicherung oder der Schutz vor Naturgefahren in Zukunft verändern könnten. Die Karten helfen dabei, die Wirksamkeit unterschiedlicher Anpassungsstrategien einzuschätzen.

Beispiel Holzproduktion Multifunk-tionalität
RCP 8.5*



*Klimaszenario ohne globalen Klimaschutz
Relative Veränderung in der Periode 2045-2074 im Vergleich zur Referenzperiode 1981-2010

Wissenschaftliche Grundlagen der App FORTE

FORTE Forest Tree Explorer baut auf der von der WSL und dem Swiss-ForestLab entwickelten FORTE-Plattform auf. In der App werden Waldökosystemmodelle mit aktualisierten Schweizer Klimaszenarien neu berechnet, um die Verbreitung von Baumarten sowie Ökosystemleistungen wie Holzertrag, Schutz vor Naturgefahren und den Lebensraum für die einheimische Artenvielfalt zu projizieren. Zusätzlich kommt der Ansatz der Multifunktionalitätskartierung (nach Van der Plas et al. 2018) zum Einsatz, der eine räumlich explizite Bewertung der Multifunktionalität und der Waldleistungen ermöglicht. Diese Methode unterstützt die Identifikation von Synergien und Zielkonflikten zwischen Ökosystemleistungen und verbessert so die Beurteilung von Anpassungsstrategien unter zukünftigen Klimabedingungen.

Die App basiert noch auf der älteren Generation Klimaszenarien (CH2018 Klimaszenarien). Mittlerweile sind die neuen Klimaszenarien CH2025 Klimaszenarien verfügbar. Die qualitativen Hauptaussagen in den beiden Klimaszenarien bleiben jedoch unverändert.

Fachbericht
CH2018 Klimaszenarien für die Schweiz
SOMA-CH High-Resolution Soil Maps
Swiss National Forest Inventory (NFI)
EU-Forest – High-Resolution Tree Occurrence Dataset for Europe

WAS SIND ÖKOSYSTEMLEISTUNGEN?

Ökosystemleistungen sind Vorteile, die Menschen aus natürlichen Prozessen ziehen, z. B. das Reinigen der Luft durch Bäume. Diese Leistungen sichern Nahrung, Gesundheit, Klima und Lebensqualität – oft unbemerkt, aber unverzichtbar. Das sektorübergreifende Dashboard, das im Rahmen dieses Projekts entwickelt wurde, zeigt, wie sich Ökosystemleistungen aus Wald, Landwirtschaft und Gewässern über die Zeit und unter verschiedenen Klimaszenarien verändern. Damit bietet es eine einzigartige Übersicht für die ganze Schweiz.

Weiterführende Informationen

WSL-Dossier «Wald und Klimawandel»
Eine umfassende Sammlung von Faktenblättern und Forschungsergebnissen, die praxisrelevante Informationen zur Anpassung der Schweizer Wälder an den Klimawandel bündelt.

BAFU-Vollzugshilfe «Nachhaltige Waldwirtschaft»
Bietet einen Rahmen und Empfehlungen für eine Waldbewirtschaftung, die ökologische, soziale und ökonomische Aspekte unter sich ändernden klimatischen Bedingungen berücksichtigt.

NaiS - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald
In NaiS wird aufgezeigt, wie ein nachhaltig wirksamer Schutzwald mit möglichst minimalem Pflegeaufwand sichergestellt werden kann.

Tree-App
Die Tree-App unterstützt die Forstpraxis mit Baumartenempfehlungen im Klimawandel.

Impressum

Projektleitung	*Astrid Björnsen (WSL)*
Entwicklung ForClim	*Ulrike Hiltner, Harald Bugmann (ETH)*
Entwicklung FORTE	*Micah Wilhelm, Arthur Gessler (WSL)*
Programmkoordination NCCS-Impacts	*Andreas Fischer, Angela Michiko Hama (NCCS/MeteoSchweiz)*
Finanzierungshinweis	*Diese Arbeiten wurden durch das National Centre for Climate Services NCCS gefördert und im Rahmen des Programms «Entscheidungsgrundlagen zum Umgang mit dem Klimawandel in der Schweiz (NCCS-Impacts)» als Teil des Projektes «Auswirkungen des Klimawandels auf Ökosystemleistungen» durchgeführt.*
Mehr Informationen zum Programm	*Programm NCCS-Impacts* 2026

WSL · UNIVERSITÉ DE GENÈVE · ETH zürich · Schweizerische Eidgenossenschaft Confédération suisse Confederazione Svizzera Confederaziun svizra · Eidgenössisches Departement für Wirtschaft, Bildung und Forschung WBF Agroscope · EBP

Mehr über das Projekt erfahren:
www.nccs-impacts.ch/oekosysteme

ForClim App

made possible by

NCCS-Impacts

ETH zürich

Standort- + Klimadaten

Wählen Sie einen Standort auf der Karte oder geben Sie die Koordinaten darunter ein und ein Klimaszenario. Extrahieren Sie dann Daten aus Google Earth Engine.

Standort auswählen

Koordinaten

X (LV95/1903+ Rechtswert):

Y (LV95/1903+ Hochwert):

Klimaszenario auswählen

Wählen Sie ein Klimaszenario für die Datenextraktion:

- (•) Baseline
- ( ) RCP4.5
- ( ) RCP8.5

Historische Klimabasislinie. Basiert auf täglichen Daten von 3 CMIP6-Modellen, aggregiert zu Monatsmitteln.

Daten extrahieren

ForClim App

made possible by

NCCS-Impacts

ETH zürich

Arbeitsablauf

Folgen Sie den nachstehenden Schritten:

- Standort + Klima Eingabe
- Standortdaten überprüfen
- Bestandesbeschreibung
- Bestandesdaten überprüfen
- ForClim-Simulation
- Ergebnisse

App erstellt von:

Dr. Ulrike Hiltner
Andreas Keberer

Projektleitung:

Prof. Dr. Harald Bugmann

Verwendet Open-Source-Module:
Alle Pakete anzeigen

Standort- + Klimadaten

Wählen Sie einen Standort auf der Karte oder geben Sie die Koordinaten darunter ein und ein Klimaszenario. Extrahieren Sie dann Daten aus Google Earth Engine.

Standort auswählen

Koordinaten

X (LV95/1903+ Rechtswert):

Y (LV95/1903+ Hochwert):

Klimaszenario auswählen

Wählen Sie ein Klimaszenario für die Datenextraktion:

- (•) Baseline
- ( ) RCP4.5
- ( ) RCP8.5

Historische Klimabasislinie. Basiert auf täglichen Daten von 3 CMIP6-Modellen, aggregiert zu Monatsmitteln.

Daten extrahieren