



Forschung für internationale nachhaltige Waldwirtschaft (FinW) Projektupdate 2022

Projekttitel (Akronym):	KLIMNEM – Nachhaltige Waldbewirtschaftung temperater Laubwälder - nordhemisphärische Buchen- und südhemisphärische Südbu- chenwälder
Land/Region/Stadt:	Argentinien – Mittelpatagonien
Kooperierende Partner:	<p>Hochschule für Angewandte Wissenschaft und Kunst Hildesheim/Holzminde/Göttingen (HAWK)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fakultät Ressourcenmanagement, Büsingenweg 1a, 37077 Göttingen, Deutschland <p>Georg-August-Universität Göttingen (GAUG)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abt. Pflanzenökologie und Ökosystemforschung, Albrecht-von-Haller-Institut für Pflanzenwissenschaften, Untere Karspüle 2, 37073 Göttingen, Deutschland • Abt. Kartographie, GIS und Fernerkundung, Geographisches Institut, Goldschmidtstraße 5, 37077 Göttingen, Deutschland <p>Freie Universität Bozen (UNIBZ)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fakultät für Naturwissenschaften und Technik, Universitätsplatz 5, 39100 Bozen-Bolzano, Italien <p>Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP), Ruta 259 Km 16,24, CC 14, Esquel (9200), Chubut, Argentina</p>
Laufzeit:	01.09.2021 – 31.08.2024
Budget:	859,963.90 Euro

Ziele des Vorhabens (Karte siehe S. 3):

Übergeordnetes langfristiges Ziel des Vorhabens ist der Vergleich von mitteleuropäischen Buchenwäldern (*Fagus sylvatica*) und den "Südbuchen"-Wäldern Mittelpatagoniens (*Nothofagus* spp.) und die daraus resultierenden Ableitungen für eine transhemisphärische und transkontinentale nachhaltige Waldbewirtschaftung gemäßigter Laub- und Laubmischwälder. Untersucht werden dabei die Anpassungen von Waldarten an den Klimawandel und ihre Reaktionen auf extreme Ereignisse und Störungen.

Um die Ziele zu erreichen, ist im Rahmen des KLIMNEM-Projektes eine intensive Feldforschung in Wäldern Mittelpatagonien vorgesehen und die Verschneidung mit Ergebnissen aus Mitteleuropa, die im Rahmen des Projektes NEMKLIM (Nemorale Laubwälder unter Klimaextremen; Laufzeit von 31.12.2017 bis 30.06.2021, gefördert durch das BfN mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit) in Westrumänien erarbeitet wurden.



In den Anden Mittelpatagoniens wird (wie auch in Westrumänien; siehe Kasper et al. 2022) ein sogenannter „Raum-für-Zeit-Substitutionsansatz“ verfolgt. Dabei werden die Vegetations- und Baumartenzusammensetzung, die Waldstruktur und verschiedene abiotische Parameter entlang von Niederschlags- und Temperaturgradienten erfasst. So werden natürliche Vegetationsübergänge und -abfolgen abgebildet, die Hinweise auf den Einfluss makro- und mikroklimatischer Steuerungsgrößen aufzeigen, die in Zukunft im Zuge des Klimawandels zu großräumigen Vegetationsverschiebungen führen können. Im Vergleich mit den Ergebnissen des NEMKLIM-Projektes können makroökologische Hypothesen auf ihre Allgemeingültigkeit hin geprüft und verifiziert werden, sowie regionale Abweichungen erkannt werden. Für das aktuelle Untersuchungsgebiet in Mittelpatagonien werden konkret folgende Ziele verfolgt:

(1) Die Entwicklung eines adaptiven integrierten Dateninformationssystems (AIDIS) für das Einzugsgebiet Río Puelo zur Modellierung der früheren (anhand alter Karten), aktuellen und zukünftigen potenziell natürlichen Vegetation und zur Ableitung von Potenzialen und Risiken (z. B. Waldbrand) der Landschaft; (2) die Verifizierung der Modellierungsergebnisse im Gelände und eine umfassende naturräumliche und vegetationskundliche Charakterisierung des Untersuchungsgebietes unter Berücksichtigung anthropogener und natürlicher Störungen; (3) eine Vitalitätsanalyse der Hauptbaumarten zur Ermittlung der Klimasensitivität; (4) die Entwicklung von Maßnahmen zur Wiederherstellung von Wäldern und ihren Ökosystemfunktionen und -leistungen unter Berücksichtigung der Bedürfnisse der lokalen Bevölkerung; (5) die Ableitung konkreter Handlungsempfehlungen für eine nachhaltige Landnutzung unter Berücksichtigung des Klimawandels für das Untersuchungsgebiet, aber auch global durch einen Vergleich und eine Zusammenschau der Ergebnisse aus Mitteleuropa und Mittelpatagonien.

Zu Beginn des Vorhabens wurden anhand verfügbarer Vegetationskarten vier Transekte von West nach Ost entlang eines Niederschlagsgradienten in den mittelpatagonischen Anden ausgewählt. Sie liegen zwischen dem Lago Puelo im Süden und der Stadt Bariloche im Norden und reichen zwischen 50 und 70 km von der chilenischen Grenze bis ins patagonische Tiefland (Abb. 1). Zwei dieser Transekte wurden nach Geländebegehungen für intensive Felderhebungen ausgewählt. Aufgrund der weiträumigen Ausdehnung der Transekte und der z. T. schwierigen Geländesituation und Zugänglichkeit wurden die Transekte in jeweils vier Sektoren unterteilt die ca. 10 bis 15 km voneinander entfernt liegen. In den vier Sektoren werden unterschiedliche Expositionen (Nord- und Südexposition) entlang eines Höhengradienten von ca. 500 m bis 1600 m ü. NN untersucht. Während die Sektoren 1 bis 4 bzw. von West nach Ost einen Niederschlagsgradienten abbilden, repräsentiert der Höhengradient innerhalb der Sektoren einen Temperaturgradienten. Die Datenerfassung begann im November 2021 im 2. Transekt nahe der Gemeinde El Manso (= El Manso-Transekt, Abb. 1). Im Folgenden werden die ersten Untersuchungsmethoden und -ergebnisse nach achtmonatiger Projektlaufzeit im El Manso-Transekt dargestellt.

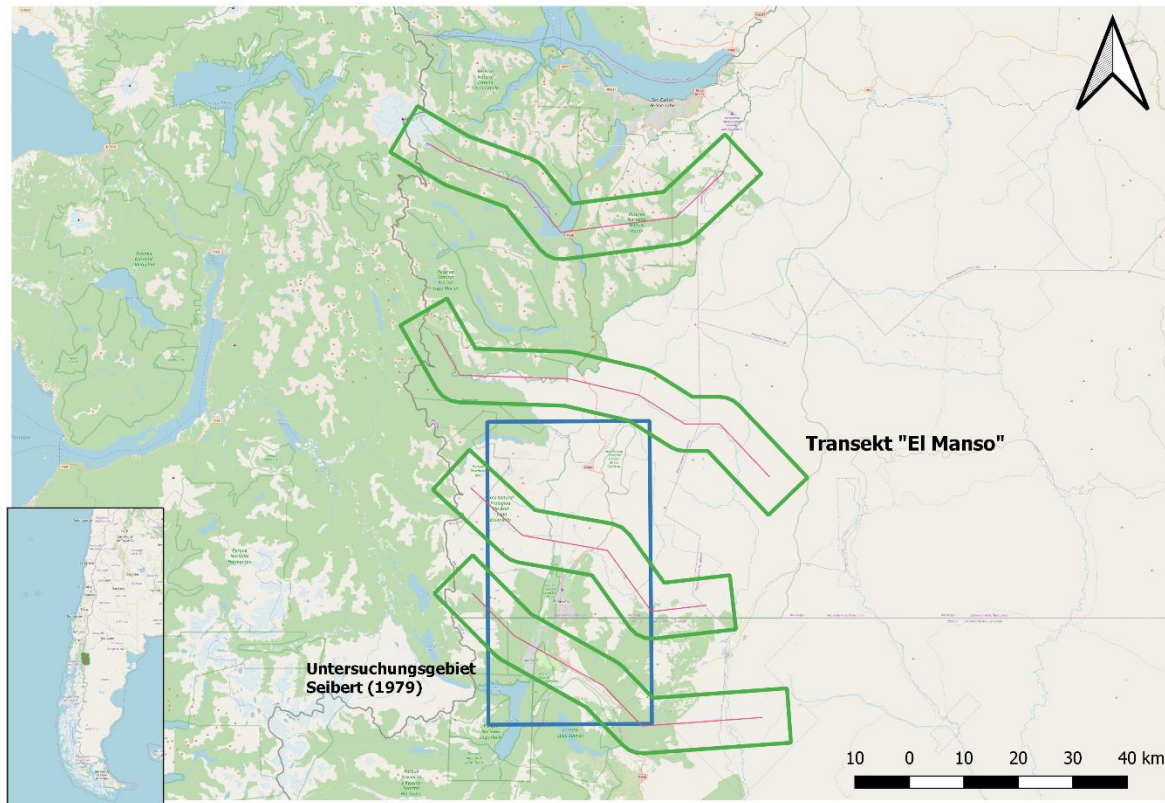


Abb. 1. Untersuchungsgebiet in Mittelpatagonien mit vier vorausgewählten Transekten. Das Transekt El Manso wurde in der Vegetationsperiode 2021/22 anhand von 4 Sektoren von West nach Ost untersucht. Der blaue Rahmen umreißt eine Vegetationskarte, die 1979 von Paul Seibert erstellt wurde (Seibert 1979). Eines der südlichen Transekte wird in der kommenden Vegetationsperiode untersucht, die auch Teilbereiche der Vegetationskarte von 1979 abbilden. © OpenStreetMap contributors, CC-BY-SA; <https://www.openstreetmap.org/copyright>.

Bisherige Methoden und Ergebnisse:

Zur Entwicklung eines umfangreichen Dateninformationssystems wurden zunächst hochaufgelöste Satellitendaten akquiriert und daraus ein Digitales Geländemodell (DGM) des Untersuchungsgebietes erstellt. Dieses soll anhand von Geländeerhebungen abgeglichen und mit Informationen zu Waldtypen verschnitten werden. Um einen Feldabgleich durchführen zu können, wurde mit Drohnenbefliegungen im Sektor 2 des El Manso-Transektes begonnen. Zudem wurden Datenlogger im gleichen Sektor zur Messung lokaler topografischer Klimabedingungen in Abhängigkeit der Höhe und Sonnen-Exposition (TMS-4-Datenlogger) installiert. Zusätzliche Messgeräte (Hygrochron-iButtons) zur Messung von Temperatur und Luftfeuchte 2 m über dem Erdboden wurden in den vier Sektoren auf die verschiedenen Waldtypen entlang des Höhengradienten verteilt und decken auch Bestandeslücken ab. Diese Messgeräte zeichnen die lokalen Klimabedingungen in 4 Stundenintervallen täglich für mindestens ein Jahr auf. Sie sollen außerdem mit verfügbaren Klimamodellen verglichen werden, um deren Nutzbarkeit für Mittelpatagonien bewerten zu können. Außerdem wurden für einen Feldabgleich mit den modellierten Daten, Bäume nach Höhe und Brusthöhendurchmesser vermessen. Folgende vorläufige Ergebnisse ergeben sich aus diesen bisherigen Geländeerhebungen:

1. Es bestehen starke Unterschiede in Temperatur und Bodenfeuchte zwischen Standorten hoher (nordexponiert) und Standorten mit niedriger (südexponiert) Sonneneinstrahlung.



2. Unterschiede in Temperatur und Bodenfeuchte zwischen Standorten mit hoher und niedriger Sonneneinstrahlung bestehen in allen Höhenlagen (600, 800, und 1400 m ü. NN).
3. Auf südexponierter Seite konnten einzelne Schwemmfächer ausgemacht werden, welche sich in ihrem Wasserhaushalt stark von benachbarten Standorten unterscheiden.
4. Ausgelesene Daten von TMS-4-Datenloggern und iButton-Datenloggern zeigen korrelierende Ergebnisse auf und weisen auf eine gute sensorische Abdeckung des El Manso-Transektes hin.

Anhand einer Vegetations- und Waldstrukturerfassung im Transekt „El Manso“ über alle vier Sektoren (Waldstrukturaufnahmen decken bisher 2 Sektoren ab) konnten sechs Hauptvegetationstypen identifiziert werden: *Nothofagus pumilio*-Wälder (Lenga), *N. dombeyi*-Wälder (Coihue), *N. antarctica*-Gebüsch (Ñire), *Austrocedrus chilensis*-Wälder (Ciprés), *Lomatia hirsuta*-Wälder/Gebüsche (Radal) und Mischwälder aus *A. chilensis* und *N. dombeyi*. Die Bodenvegetation wird entweder durch dichten Bambus (*Chusquea culeou*) oder ein vielfältiges Mosaik aus Baum- und Straucharten geprägt. Vorläufige Ergebnisse zeigen den höchsten Pflanzenartenreichtum in den Mischwäldern im Vergleich zu den anderen Waldtypen. Der menschliche Einfluss nimmt in Richtung Osten und mit abnehmender Höhenlage zu und zeigt sich in einer lichtereren Bodenvegetation, die z. T. durch fremdländische Grasarten dominiert wird. Außerdem waren die meisten untersuchten Wälder durch Feuerereignisse in der Vergangenheit betroffen. Sekundärwälder, die sich nach Bränden entwickelten, wiesen im Allgemeinen eine geringe menschliche Beeinflussung auf, die aber mit abnehmender Höhe zunimmt. Folgende zusammenfassende Aussagen können anhand der Waldstrukturerhebungen in den Sektoren 1 und 2 des El Manso-Transektes getroffen werden:

1. Coihue dominiert vorwiegend im niederschlagsreichsten Sektor 1 und nimmt nach Osten (Sektor 2) in der Präsenz ab. Hier tritt die Baumart meist nur südexponiert (kühl, schattig) in Mischung mit anderen Baumarten (etwa Ciprés) auf.
2. Lenga-Wälder erscheinen ab 1.300 Metern ü. NN in Sektor 1 oberhalb der Coihue-Wälder, während sie in Sektor 2 bei 1.100 m ü. NN in Südexposition, aber erst auf 1.500 m ü. NN in Nordexposition auftreten.
3. Die Lenga-Wälder weisen die höchsten Bestandesalter auf und waren insgesamt weniger von Waldbränden betroffen. Die übrigen Waldtypen können eher als frühe bis mittlere Sukzessionsstadien nach Waldbrand eingestuft werden.
4. Sektor 1 wies eine höhere Produktivität auf als Sektor 2. Die höhere Produktivität nach Westen entspricht auch einer größeren Menge an Totholz. Das tote Material hat je nach Dimension auch einen Einfluss auf eine mögliche Brandentstehung, die im Zuge des Klimawandels erheblich an Bedeutung gewinnen könnte.
5. Naturverjüngung ist überwiegend wenig vorhanden. Dies stimmt mit dem weitgehenden Vorherrschen dichter Sekundärwälder nach früheren Brandereignissen überein. Andererseits könnte die geringe Verjüngung im unteren Teil der Sektoren auf eine gewisse Waldnutzung durch Rinderweiden zurückzuführen sein. Ein Sonderfall mit hoher Verjüngungsdichte wurde in einem Lenga-Wald auf sehr felsigem Boden (Sektor 2, Südexposition auf 1.500 m ü. NN) als Reaktion auf Absterbeerscheinungen beobachtet, die standortbedingt immer wieder auftreten können.
6. In den Höhenlagen zeigt sich z. T. eine enge Verzahnung zwischen Lenga-Wäldern und Ñire-Wäldern bzw. Gebüsch. Hier könnte sich bereits eine durch den Klimawandel bedingte Verschiebung von Baumarten, die schneereiche Lebensräume bevorzugen (Lenga), hin zu weniger schneetoleranten Arten (Ñire), andeuten.



Die Ergebnisse zeigen entsprechend deutliche Unterschiede in der Vegetations- und Baumartenzusammensetzung entlang der Niederschlags- und Temperaturgradienten, die ausgehend von den Erhebungen im El Manso-Transekt in der folgenden Tabelle übergeordnet zusammengefasst sind:

Tabelle 1. Vegetationsabfolgen entlang von Temperatur- und Humiditätsgradienten in den Argentinisch-Patagonischen Anden von der chilenischen Grenze nach Osten in die argentinische Steppenregion. Die Einträge in der Matrix bezeichnen die aus der Kombination von Thermotyp (kollin bis hochmontan; Zeile 1 bis 3) und Ombrotyp (humid bis arid; Spalte A bis D) resultierende PNV (potentielle natürliche Vegetation).

	(A) Sektor 1 humid	(B) Sektor 2 semihumid	(C) Sektor 3 trocken	(D) Sektor 4 semiarid	arid
(1) kollin	MNd	Ac-Nd	Ac	LNa	Steppe
(2) montan	MNd	Ac-Nd	Ac-Nd	LNa	
(3) hochmontan	MNp	ANp	ANp/LNa	ANp/LNa	

Ac = Gavileo-Austrocedretum chilensis Esk. 1968; **Ac-Nd** = Austrocedro-Nothofagetum dombeyi Esk. 1968; **ANp** = Anenomo antucensis-Nothofagetum pumilionis Oberd. 1960; **LNa** = Lomatium hirsutae-Nothofagetum antarcticae Roig et al. 1985; **MNd** = Myrceugenio-Nothofagetum dombeyi Esk. 1999; **MNp** = Macrachaenio-Nothofagetum pumilionis Esk. 1975.

Ein Vergleich mit früheren Vegetations- und Waldtypen-Karten sowie früheren Vegetationserhebungen kann bereits erfolgte Vegetationsverschiebungen aufgrund des Klimawandels oder zunehmender Degradation durch menschlichen Einfluss aufdecken und bisherige „Gewinner“ (z.B. die trockenheitstolerante Ciprés, die nach Osten vordringt) und „Verlierer“ (z.B. die Feuchte abhängige Coihue, die verstärkt in Mischung mit Ciprés auftritt) unter den Baumarten identifizieren.

Mögliche „Gewinner“ und „Verlierer“ sollen anhand einer Vitalitätsanalyse durch dendroökologische Untersuchungen verifiziert werden. Dazu wurden im El Manso-Transekt in der vergangenen Vegetationsperiode insgesamt 12 Untersuchungsflächen in den vier Sektoren angelegt. In jeder Fläche wurden Zuwachsbohrkerne von insgesamt 20 Bäumen der Hauptbaumarten Lengua, Coihue und Ciprés entnommen. Auch wenn die Ergebnisse noch nicht statistisch ausgewertet wurden, scheinen die Waldstruktur, die Standortsbedingungen und die beprobten Bäume zwischen den Standorten vergleichbar zu sein. Bei den 20 Bäumen pro Art, die an jedem Standort beprobt wurden, waren die Werte für den Brusthöhendurchmesser (BHD) und die Baumhöhe recht homogen. Der ermittelte Konkurrenzindex nach Heygi wies für jede Art ähnliche Werte für die einzelnen Standorte auf, mit Ausnahme von Ciprés in den Sektoren 1 und 4. Diese höheren Werte folgen dem gleichen Trend wie die hohe Grundfläche (m²/ha), die im Bestand gefunden wurde. Erste Auswertungen von Bodenprofilen an den dendroökologischen Untersuchungsflächen, und über den gesamten Höhengradienten der vier Sektoren zeigen zudem homogene Bodenbedingungen im El Manso-Transekt an, die überwiegend durch die Mächtigkeit der vulkanischen Aschen geprägt sind. Dies schafft optimale Voraussetzungen, um den Einfluss des Klimas auf die Vegetationsabfolge und die Baumartenvitalität unter vergleichbaren Standortsbedingungen in Zukunft untersuchen zu können.

Beobachtungen nach aktuellen Waldbränden im Untersuchungsgebiet zeigen aber auch das hohe Erosionspotential der Böden, welches Einfluss auf eine zukünftige Waldregeneration und Wiederbewaldungskonzepte hat.



Eine Verschneidung der Vegetations-, Struktur- und dendroökologischen Daten mit den mikroklimatischen Messungen und validierten Geländemodellen soll in den nächsten Auswertungsschritten die Wärme-/Trockenheitsgrenzen der waldbildenden Baumarten und der mit diesen assoziierten Artengemeinschaften im West-Ost-Gradienten Patagoniens identifizieren. Einflussfaktoren auf die Höhengrenzen von Baumarten sollen zudem transhemisphärisch und transkontinental verglichen werden.

Zur Wiederherstellung degradierter Wälder, etwa nach großflächigen Waldbränden, sind aktuell Anpflanzungen neuer einheimischer Zielbaumarten in Planung sowie Umfragen unter der lokalen Bevölkerung nach gewünschten Ökosystemleistungen der Wälder und der Landschaft.

Kernaussagen und Policy advice:

Das Projekt befindet sich noch im Anfangsstadium, so dass noch keine evidenzbasierten Handlungsempfehlungen für Politik und Landnutzung vorliegen. Das Projekt eröffnet aber insgesamt neue globale Perspektiven für die Reaktion und Anpassungsmuster der Vegetation gemäßigter Wälder auf Landnutzung und Klimawandel. Aus der multilateralen, transhemisphärischen und transkontinentalen Forschungszusammenarbeit und des Wissensaustauschs lassen sich durch die Zusammenschau der Ergebnisse aus Mitteleuropa und Mittelpatagonien zum Ende des Projektes wertvolle und wichtige Schlussfolgerungen für die internationale nachhaltige Waldbewirtschaftung und die Anpassung der Landnutzung an die globale Erwärmung und an häufiger auftretende Extremereignisse ziehen.

Für die lokalen Akteure in Mittelpatagonien steht die Bereitstellung eines regionalen und freizugänglichen Informationssystems bestehend aus Daten unterschiedlichster Disziplinen (u.a. Klimatologie, Ökologie, Forstwissenschaft) zur Ableitung möglicher Bewirtschaftungsoptionen im Vordergrund. Damit soll die Entscheidungsfindung verantwortlicher, lokaler und betroffener Akteure und Institutionen z. B. hinsichtlich der Baumartenwahl im Klimawandel evidenzbasiert unterstützt werden. Die Erfahrungen zum Umgang mit Degradationsstadien in Mittelpatagonien können auch in Mitteleuropa unter einer steigenden Waldbrandgefahr an Bedeutung gewinnen. Die Ergebnisse des Projektes sollen daher auch in Form von „Kurzdarstellungen für die Politik“ in den kommenden Jahren zusammengefasst werden.

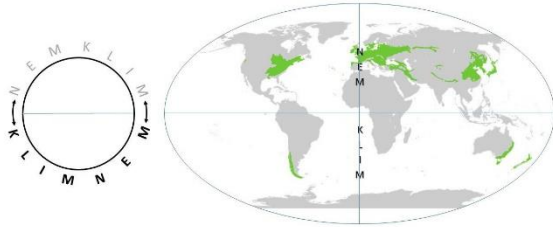
Literatur

Kasper J., Leuschner C., Walentowski H., Petritan A.M., Weigel R. (2022) Winners and losers of climate warming: Declining growth in *Fagus* and *Tilia* vs. stable growth in three *Quercus* species in the natural beech-oak forest ecotone (western Romania). *Forest Ecology and Management* 506: 119892, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119892>

Seibert P. (1979) Die Vegetationskarte des Gebietes von El Bolsón, Prov. Río Negro, und ihre Anwendung in der Landnutzungsplanung. *Bonner Geographische Abhandlungen* 62: 1-96.



Eindrücke



KLIMNEM-Logo mit Hinweis auf den transkontinentalen und transhemisphärischen Ansatz



Ein Teil des Projektteams im El Manso-Tal (Februar 2022). Foto: CIEFAP



Diskussionen vor Ort. Foto: CIEFAP



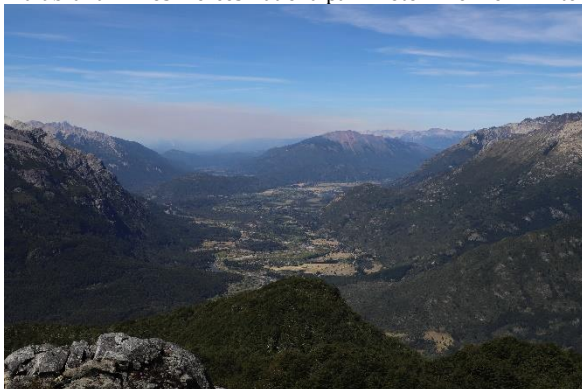
Entnahme von Zuwachsbohrkernen. Foto: CIEFAP



Waldbrand im Los Alerces Nationalpark. Foto: Ariel Neri Winter



Ansprache von Bodenprofilen. Foto: Ariel Neri Winter



El Manso-Tal von Sektor 2 nach W. Foto: Jonas Fierke



Installation von iButtons. Foto: Jonas Fierke



TMS-4 data logger auf 1.400 m ü. NN im Lenga-Wald (*Nothofagus pumilio*). Foto: Jonas Fierke



Lenga-Wald (*Nothofagus pumilio*) auf 1.300 m ü. NN im Sektor 4. Foto: Jonas Fierke



Lenga-Wald (*Nothofagus pumilio*) mit *Alstroemeria aurantiaca*. Foto: Ariel Neri Winter



Vegetationserhebungen im El Manso Transekt. Foto: Ariel Neri Winter