

Walddynamik im Pfywald – eine Geschichte von Fluor, Beweidung, Waldbewirtschaftung, Trockenheit und Störungen

Autoren

Lieveke van Vugt,
Erika Gobet und
Christoph Schwörer

Auf der Exkursion durch den Pfywald entdeckten wir die Artenvielfalt des grössten Föhrenwaldes der Schweiz und wie sich der Wald in den letzten hundert Jahren unter dem Einfluss von Mensch, Feuer und Trockenheit verändert hat.

Einführung

Im Juni 2022 fand eine Exkursion der NGB zum Thema Walddynamik im Pfywald statt, geleitet von Prof. Dr. Andreas Rigling vom WSL und unter Beteiligung von Prof. Dr. Arthur Gessler (ETH Zürich und WSL). Im Rahmen des Jahresthemas

«Klimakrise» befassten wir uns während der Exkursion nicht nur mit der Geschichte des Waldes, sondern auch damit, wie Klimawandel und Störungen den Wald in Zukunft verändern könnten.

Start der Exkursion war am Bahnhof von Leuk, wo wir von Prof. Dr. Andreas Rigling



Abb. 1: Karte des Pfywaldes und Umgebung (Swisstopo, 2023). Das Naturschutzgebiet Pfywald ist in grün umrandet, die ungefähre Fläche des Waldbrandes bei Leuk in rot.

empfangen wurden. Bald waren wir auf dem Weg zum Waldreservat Pfywald, dem grössten Föhrenwald der Schweiz (Abb. 1; Huovinen und Wohlgemuth 2021). Um zu verstehen, wieso die Waldföhre (*Pinus sylvestris*) hier so weit verbreitet ist, lohnt sich ein Blick zurück in die Vergangenheit. Eine Vegetationsrekonstruktion basierend auf Pollen aus den Sedimenten vom Lac du Mont d'Orge (Welten 1982), einem kleinen See bei Sion, etwa 20 km westlich des Pfywaldes, zeigt, wie sich die Vegetation in der Region nach der letzten Eiszeit entwickelte. Nach dem Abschmelzen der Gletscher vor ca. 16 000 Jahren begannen auf den kargen Böden die ersten Steppenpflanzen zu wachsen. Vor ca. 14 600 Jahren breiteten sich mit der Waldföhre und der Hängebirke (*Betula pendula*) die ersten Bäume aus. Als dann zu Anfang des Holozäns (11 700 Jahre vor heute) die Temperaturen stiegen und mehr Feuchtigkeit zur Verfügung stand, konnten sich andere Bäume wie Flaumeichen (*Quercus pubescens*), Ulmen (*Ulmus*) und Linden (*Tilia*) etablieren. Im Gegensatz zu den tiefen Lagen nördlich der Alpen konnte sich die Buche (*Fagus sylvatica*) nie im Wallis ausbrei-

ten, weil die Bedingungen zu kontinental und trocken sind. Die Waldföhre, welche an solche Bedingungen gut angepasst ist, dominiert also seit der letzten Eiszeit den Talboden im Wallis (Welten 1982).

Das Wallis, als inneralpines Tal, ist mit nur 583 mm Jahresniederschlag einer der trockensten Orte der Schweiz (Klimastation Sion, Klimanormwerte 1994–2020; MeteoSchweiz 2023). Die geringen Niederschläge und die schlechte Wasserspeicherfähigkeit der Böden erlauben es der Föhre, hier grosse Bestände zu bilden. Für viele andere Baumarten sind diese Bedingungen zu trocken, daher ist die Föhre hier konkurrenzfähig (Landolt 2010).

Illgraben

Warum kann der Boden im Pfywald so wenig Wasser speichern? Unser erster Halt bei der Brücke über den Illgraben gibt eine Erklärung. Wir befinden uns mitten in einem 4 km breiten Schwemmkegel, der damit zu den grössten der Schweiz gehört (Huovinen und Wohlgemuth 2021). Über Jahrtausende hat der Illbach Geröll, Kies und Sand aus dem Gebiet um das Illhorn und den Gorwetschgrat ins Rohntal hinunter transportiert. Aufgrund der geologischen Verhältnisse (leicht verwitterbarer Dolomit) lösen sich bei starken Regenfällen, Gewittern oder



Abb. 2: Links: Der Illgraben mit dem Meretschhorn im Hintergrund (Bild: Christoph Schwörer). Rechts: Einbau der Murgangwaage im Illgraben (Bild: Brian McArdell, WSL).

starker Schneeschmelze grossen Mengen an Felsschutt, welche vom Wasser als Murgang ins Tal transportiert werden. Jedes Jahr kommt es im Illgraben zu ca. 3 bis 5 Murgängen, welche jährlich insgesamt ca. 100 000 km³ an Material transportieren (Berger et al. 2011). Dieser Felsschutt wird unten im Tal abgelagert und bildet einen grossen Kegel von Geröll, Kies und Sand. Dieser Untergrund ist extrem wasserdurchlässig und verstärkt so die lokale Trockenheit.

Seit 2000 hat das Eidg. Institut für Wald Schnee und Landschaft WSL verschiedene Messgeräte und Sensoren im Illgraben installiert, wobei eine spezielle «Murgangwaage» besonders erwähnenswert ist (Abb. 2). Die Waage wurde 2003 in Betrieb genommen und besteht aus einer 8 m² grossen Stahlplatte und 6 Sensoren (McArdell 2016). Während eines Murgangs kann sie die Menge an Material, aber auch die Fliessgeschwindigkeit, die Höhe, den Wassergehalt und die Temperatur messen (WSL 2023b).

Föhrenwälder und Feuerdynamik

Wir setzen unsere Wanderung fort und kommen in den Pfywald (Abb. 3). Obwohl die Föhre dominiert, wachsen im Pfywald auch viele andere Gehölze. Der Wald besteht aus ca. 70% Wald-Föhre, 15% Eichen (*Quercus* sp.) und 10% Hänge-Birken (*Betula pendula*). Die übrigen 5% sind Arten wie Echte Mehlbeere (*Sorbus aria*), Fichte (*Picea abies*), Süsskirsche (*Prunus avium*), Tanne (*Abies alba*), Lärche (*Larix decidua*) und Wacholder (*Juniperus communis*). Die ältesten Bäume sind alles Föhren und über 150 Jahre alt (Huovinen und Wohlgemuth 2021; Wohlgemuth und Moser 2018).

Die Waldzusammensetzung ist nicht überall gleich und wird von lokalen Störungen beeinflusst. Ein Waldbrand im Jahr 1962 zerstörte zum Beispiel ca. 0.5 km² Wald. Hier sind die Föhren deutlich jünger und andere Pionier-Baumarten wie die Hängebirke sind häufiger anzutreffen. Waldbrände treten im Pfywald relativ oft auf (im Schnitt alle 10 Jahre) und sind ein wichtiger ökologischer Faktor für die Ausprägung der Föhrenwälder (Gimmi et al.

2004; Bendel et al. 2006). Die Föhre, Flaumeiche (*Quercus pubescens*) und die Hänge-Birke haben alle unterschiedliche Strategien im Umgang mit Feuer. Die Föhre etwa hat eine dicke Rinde, die sie vor Bodenfeuern schützt. Die Nadeln enthalten jedoch viele ätherische Öle und sind sehr leicht entflammbar, weshalb die Föhren bei einem Kronenbrand absterben. Die Flaumeiche ist anfälliger auf Feuer, da ihre Rinde nicht so dick ist wie die der Wald-Föhre. Ihre Fähigkeit zum Stockausschlag ermöglicht ihr, grössere Brände zu überstehen. Die Hängebirke ist aufgrund ihrer dünnen Rinde sehr feuerempfindlich, zudem kann sie nach Störungen nicht wieder austreiben. Allerdings produzieren Birken viele Samen, die leicht vom Wind verbreitet werden. Nach einem Brand kann sich die raschwüchsige lichtliebende Birke schnell ausbreiten und als Pionierbaumart rasch wieder auf den offenen Flächen ansiedeln (Wohlgemuth und Moser 2018).

Biodiversität und Landnutzung

Heute wächst und lebt im Pfywald eine grosse Vielfalt an Pflanzen, Insekten und Vögeln, darunter mehrere seltene Arten. Diese hohe Biodiversität ist unter anderem auch das Ergebnis einer jahrtausendelangen Landnutzung. In der Vergangenheit wurde der Wald landwirtschaftlich intensiv genutzt: Bauern schlugen Holz zum Heizen, für die Köhlerei oder zum Bauen, liessen ihr Vieh im Wald weiden und sammelten heruntergefallenes Laub und Nadeln als Einstreu für ihre Tiere (Gimmi und Buergi 2007). Diese Aktivitäten hielten den Wald relativ offen und führten zu einem Mosaik aus verschiedenen Pflanzengesellschaften als Habitate für viele verschiedene Tierarten. Um die hohe Artenvielfalt zu erhalten, muss der Wald jedoch aktiv bewirtschaftet werden. Als nach 1960 die Industrie im Wallis an Bedeutung gewann und die meisten Menschen nicht mehr auf die Landwirtschaft angewiesen waren, ging die Bewirtschaftung zurück. Der Wald verbuschte, hat teilweise viel Unterholz oder das Kronendach verdichtete sich, was zu einem Rückgang der Artenvielfalt führte (Abb. 4; Huovi-

nen und Wohlgemuth 2021; Bendel et al. 2006).

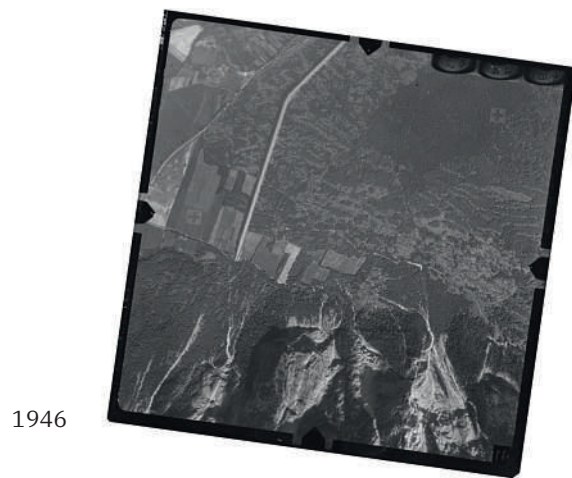
Mit verschiedenen Massnahmen wurde in den letzten Jahren versucht, die Artenvielfalt im Pfywald wieder zu erhöhen. So wurde auf gewissen Flächen die Waldweide mit Ziegen und Eseln wieder eingeführt. Waldweiden waren früher sehr wichtig, die meisten Familien hielten mindestens eine Ziege für die Milchproduktion. Die Ziegen wurden zusammen in die Wälder getrieben wo sie die Sträucher und Sprösslinge im Unterholz frassen und so für relativ offene Bedingungen sorgten. Ziegen haben zudem eine Vorliebe für Eichensprösslinge und fördern so die Wald-Föhre (Rigling et al. 2013). Auch während unserer Exkursion grasten mehrere Esel und Ziegen zwischen den Bäumen, und verhinderten das Aufkommen von Jungwuchs und Unterholz (Abb. 5).

Eine zweite Massnahme zur Förderung der Biodiversität beinhaltet die gezielte Abholzung bestimmter Waldflächen (Abb. 4), welche regelmässig, etwa alle 20 Jahre, wiederholt wird. Diese Praxis der Niederwaldbewirtschaftung war in der Vergangenheit weit verbreitet (Huovinen und Wohlgemuth 2021), wie auch im Pollendiagramm aus dem nahegelegenen Pfafforetsee ersichtlich ist (Abb. 6; Bendel et al. 2006). In den letzten ca. 170 Jahren treten kleinere Öffnungen des Waldes ca. alle 30 Jahre auf. Nach der Rodung entwickelt sich jeweils ein strukturreicher Niederwald bestehend aus Pioniervegetation und einigen grösseren Bäumen, welche stehen gelassen wurden. Gehölze, welche die Fähigkeit zu Stockausschlag haben, sind hier dominant, wie z.B. die Weiden (*Salix* spp.), Pappeln (*Populus* spp.), Mehlbeere (*Sorbus aria*) und die Flaumeiche (*Quercus pubescens*). Solche strukturreichen Waldlichtungen bieten einen idealen Lebensraum für eine Vielzahl von Insekten, Vögeln und anderen Tieren (Huovinen und Wohlgemuth 2021). Indem über die Jahre verschiedene Flächen abgeholzt werden, entstehen so verschiedene Entwicklungsstadien eines Niederwaldes. Dies verbessert wiederum die Waldstruktur und führt zu einem Mosaik von verschiedenen Pflanzengesellschaften, welche Lebensraum für heute selten gewordene Tierarten bieten, wie z.B. dem Ziegen-



Abb. 3: Der Pfywald. Der Wald besteht aus Föhren (*Pinus sylvestris*), Flaumeichen (*Quercus pubescens*) und Hängebirken (*Betula pendula*). Die Weisse Segge (*Carex alba*) ist im Unterwuchs sehr häufig. Die Föhre hat ein sehr breites Verbreitungsbiet und als Pionierart kann sie unter verschiedenen Umweltbedingungen wachsen (Bild: Christoph Schwörer).

melker (*Caprimulgus europeaus*). Natürlicherweise würden Störungen wie z.B. Windwurf und Waldbrände für solche offenen Flächen sorgen. Da der Pfywald aber das letzte grosse Überbleibsel der einst ausgedehnten Föhrenwälder im Wallis ist, muss hier der Mensch nachhelfen.



1946



2002



2021

Abb. 4: Luftbilder vom oberen Pfywald in den Jahren 1946, 2002 und 2021 (SwissTopo 2023). Der Wald entwickelte sich von einer Weide- und Waldlandschaft (1946) zu einem geschlossenen Wald (2002). Seit 2008 werden zur Förderung der Biodiversität regelmässig kleinere Waldstücke geöffnet.

Trockenheit und deren Auswirkungen auf Föhren und Eichen

Seit den 90er Jahren sterben vermehrt Waldföhren in den inneralpinen Trockentälern. Im Rhonetal starben beispielsweise lokal bis zu 50% der Waldföhren (Rigling und Cherubini 1999; Rebetez und Dobbertin 2004). Früher waren Schäden an Waldföhren vor allem eine Folge von Fluor-Emissionen aus der nahegelegenen Aluminium-Herstellung (Kienast 1982), seit der Installation von effizienten Schadstofffiltern in den 80er Jahren konnte diese Belastung behoben werden (Rickli et al. 1989). Viele weitere Faktoren wie Trockenheit, Insekten- und Pilzbefall können zu einer erhöhten Mortalität der Waldföhre führen. Obwohl Waldföhren gut an trockene Standorte angepasst sind, zeigten viele Bäume zu Beginn dieses Jahrhunderts vermehrt Anzeichen von Trockenstress (Rebetez und Dobbertin 2004). Für das Überleben der Bäume in solchen trockenen Gebieten ist eine positive Wasserbilanz entscheidend. Falls mehr Wasser durch die Bäume verdunstet wird, als über den Niederschlag wieder aufgenommen werden kann, führt dies zu einer negativen Wasserbilanz und zu Trockenstress bei den Bäumen. Jahre mit einer ausgeprägten negativen Wasserbilanz führen zu Schäden an den Bäumen und oft zum Absterben im gleichen oder nächsten Jahr.

Die Waldföhre wächst im Rhonetal nahe an ihrer Trockenheitsgrenze; mit dem Klimawandel und noch trockeneren Verhältnissen wird sie zunehmend unter Trockenstress leiden (Rigling et al. 2013). Im Gegensatz dazu scheint die Flaumeiche, welche ihr Hauptverbreitungsgebiet im mediterranen Raum hat, besser an die trockenen Verhältnisse im Pfywald angepasst zu sein (Rigling et al. 2013). Es ist deshalb wahrscheinlich, dass sich unter zunehmend trockeneren Bedingungen die Waldzusammensetzung ändern wird und vermehrt Flaumeichen, aber auch andere trockenresistente Gehölze wie die Mehlbeere (*Sorbus aria*) vorkommen werden. In lokal besonders trockenen Gebieten, beispielsweise aufgrund besonderer Bodenverhältnisse,

könnte es sogar zu einem Rückgang des Waldes und zur Ausbreitung der Steppe kommen.

Aber das Überleben der Waldföhre hängt nicht nur von Änderungen der Wasserbilanz ab, auch die Mistel (*Viscum album*) spielt eine entscheidende Rolle. Bäume, welche von vielen Misteln befallen sind, besitzen in Jahren mit einer negativen Wasserbilanz eine höhere Wahrscheinlichkeit zu sterben. Misteln sind Halb-Parasiten, sie betreiben zwar Photosynthese aber beziehen Wasser und Nährstoffe von ihrem Wirtsbaum (Lauber et al. 2018). In normalen Jahren mit einer ausreichenden Wasserverfügbarkeit stellt dies für gesunde Bäume kein Problem dar, in trockenen Jahren kann dies jedoch problematisch werden. Studien zeigen, dass Misteln eine andere Strategie bei Trockenheit anwenden als die Waldföhre (Dobbertin et al. 2005). Während die Waldföhre unter trockenen Bedingungen ihre Spaltöffnungen schliesst, um die Verdunstung und den damit verbundenen Wasserverlust zu stoppen, bleiben die Spaltöffnung an den Misteln offen. Dies führt zu einem verstärkten Trockenstress bei den befallenen Waldföhren.



Abb. 5: Esel im Pfywald fördern die Artenvielfalt. Esel, Ziegen und andere Tiere grasen regelmässig in Waldweiden und halten so den Waldboden offen und schaffen unterschiedliche Lebensräume für Pflanzen, Insekten und andere Tiere (Bild: Christoph Schwörer).

Die geographische Verbreitung der immergrünen Mistel ist vor allem durch Minimumtemperaturen im Winter bestimmt (Iversen 1944). Aufgrund des Klimawandels und damit verbundenen steigenden Temperaturen, breiten sich Misteln in ganz Europa aus (Walas et al. 2022). Ein verstärkter Befall von Misteln wird in Zukunft zu zusätzlichem Trockenstress bei den Waldföhren im Pfywald führen.

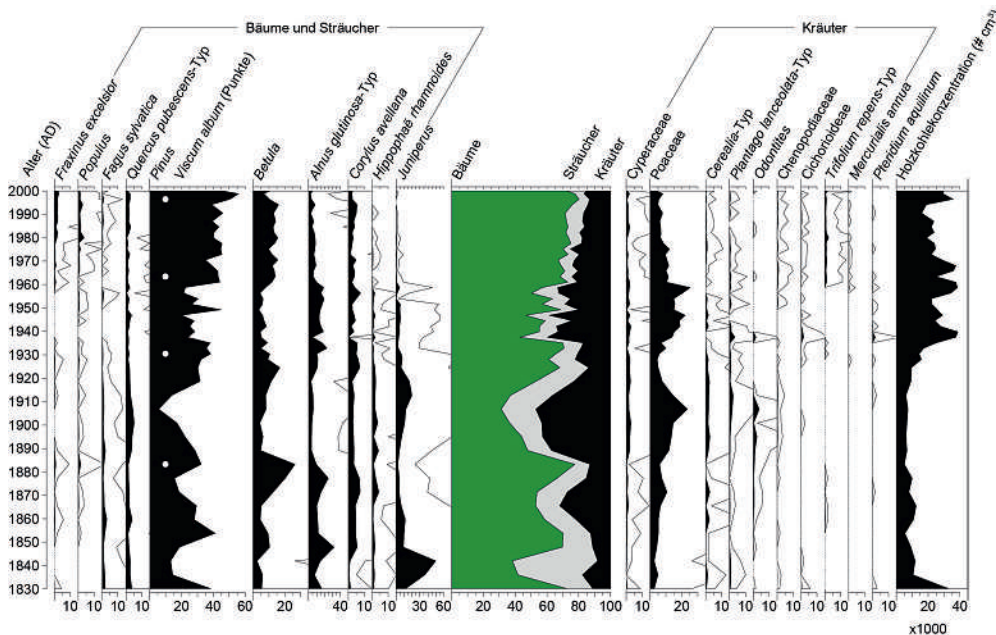


Abb. 6: Pollendiagramm des Pfafforetsees, Pfywald, welches Vegetationsänderungen von ca. 1830 bis 2000 zeigt. Auffällig sind regelmässige Öffnungen des Waldes ca. alle 30 Jahre, welche vor 1960 vorkommen. AD: anno domini. Abgeändert nach Bendel et al. (2006).

Eine Möglichkeit, um den Waldföhren zu helfen Trockenperioden zu überstehen, ist, den Wasserverbrauch von anderen Pflanzen im Wald zu verringern. Der Pfywald ist heute relativ dicht bewachsen, mit Sträuchern und Kräutern im Unterwuchs, die ebenfalls Wasser verbrauchen. Wenn dieser Unterwuchs entfernt wird, kann die Bodenfeuchtigkeit und die Wasserverfügbarkeit für die Waldföhre markant erhöht werden. Das zusätzlich verfügbare Wasser führte in einer Studie zu einem schnelleren Wachstum, einer erhöhten Nadelproduktion und einer tieferen Mortalität bei der Waldföhre (Giuggiola et al. 2018). Dieses Experiment zeigt wie die Landnutzung und besonders die Beweidung mit Nutztieren oder die mechanische Entfernung der Strauchschicht das Überleben der Waldföhre sichern und zusätzlich die Artenvielfalt im Pfywald erhöhen könnte.

WSL Langzeit-Bewässerungsexperiment

Unser nächster Halt ist das Langzeit-Bewässerungsexperiment der WSL, wo wir von Prof. Dr. Arthur Gessler, dem Leiter der Langfristigen Waldökosystemforschung (Abb. 7), begrüßt werden. Das Bewässerungsexperiment läuft schon seit über 20 Jahren unter Beteiligung von vielen verschiedenen Forschungsgruppen und ist eines der grössten Langzeit-Waldbeobachtungsexperimente der Welt (WSL 2023a). Das Hauptziel des Experimentes ist die Untersuchung des Waldsterbens, unter Berücksichtigung verschiedenster Faktoren, aber mit einem Schwerpunkt auf Trockenstress. Dazu wird ein holistischer Ansatz verwendet, bei dem alle Komponenten des Waldes miteinbezogen werden. In 8 Untersuchungsflächen (Abb. 7), mit insgesamt ca.

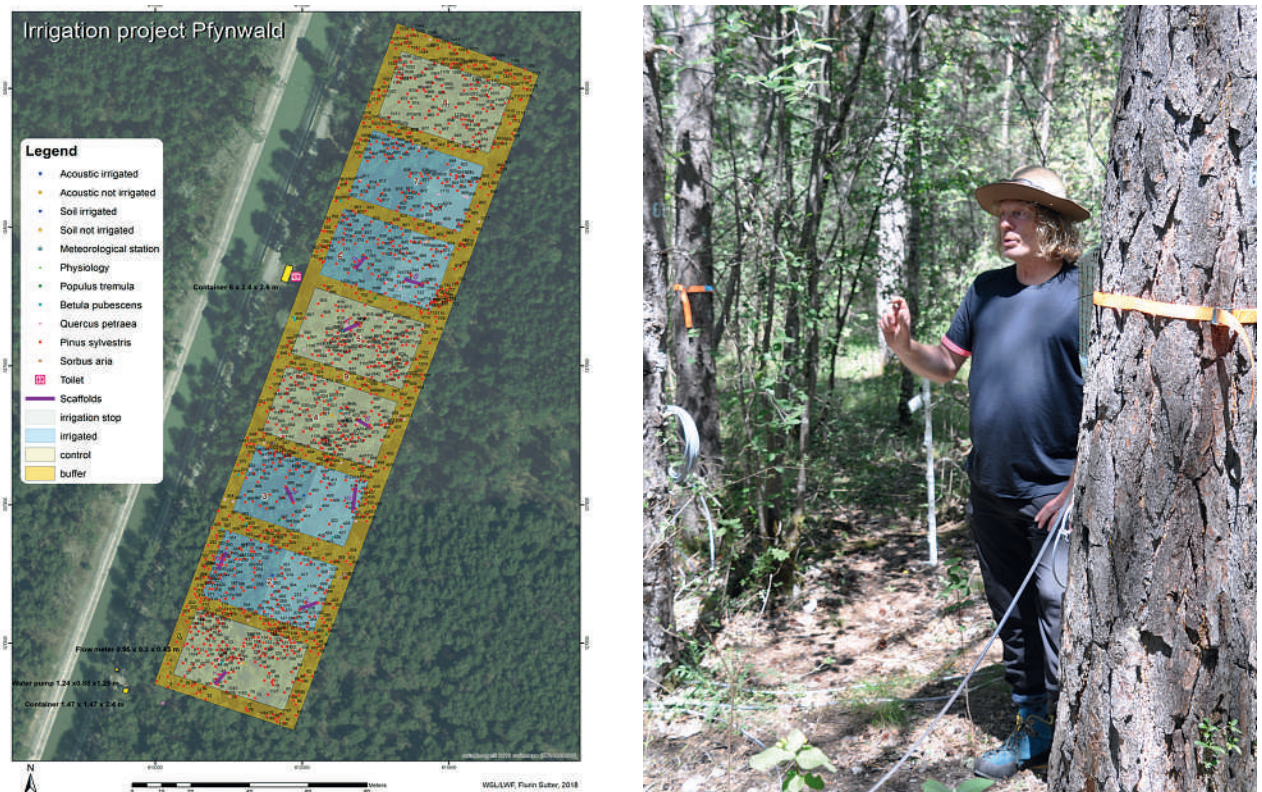


Abb. 7: Links: Überblick über das WSL Langzeit-Bewässerungsexperiment im Pfywald. Das Bewässerungsexperiment besteht aus vier bewässerten und vier unbewässerten Kontrollflächen (25 m x 40 m, mit jeweils 60–100 Bäumen). In den hellblauen Teilflächen wurde die Bewässerung Ende 2013 vorübergehend gestoppt. (Bild: F. Sutter, WSL). Rechts: Prof. Dr. Arthur Gessler führt unsere Gruppe durch die verschiedenen Experimente der Untersuchungsfläche (Bild: Christoph Schwörer).

800 Bäumen werden alle möglichen Parameter durch die WSL gemessen. Vom Wachstum oder der Schrumpfung der Bäume zu Bodenfaktoren, der isotopischen Fraktionierung / chemischen Zusammensetzung des Bodenwassers, zu den Bodeninsekten und -Mikroben und den Interaktionen verschiedener Systemkomponenten (Bose et al. 2022).

Die Hälfte der Untersuchungsflächen erhält die doppelte Menge Niederschlag im Vergleich zu den Kontrollflächen (Abb. 7). In den bewässerten Flächen enthält der Boden entsprechend mehr Feuchtigkeit, was sich unmittelbar auf die Vegetation auswirkt. Bäume wachsen schneller und haben eine grössere Krone und längere Nadeln (Abb. 8). Besonders zu Beginn des Experimentes stieg auch der Wasserverbrauch der Waldflächen. Da das Experiment schon seit mehr als 20 Jahren läuft, ist es möglich, auch längerfristige Auswirkungen zu untersuchen. Interessanterweise sind die Unterschiede in verschiedenen gemessenen Parametern zwischen den bewässerten und unbewässerten Flächen fast verschwunden, was dafür spricht, dass sich das System in einem neuen Gleichgewicht eingependelt hat (Bose et al. 2022). Es ist geplant, das Experiment für mindestens 10 Jahre weiterzuführen, um weitere langfristige Effekte untersuchen zu können.

Am Ende unserer Besichtigung konnten wir die Beobachtungsplattform mitten im Föhrenwald besteigen. Inmitten der Baumkronen hatten wir einen einzigartigen Ausblick auf den Pfywald und die weitere Umgebung (Abb. 8).

Der Waldbrand bei Leuk

Auf dem Weg zurück zum Bahnhof konnten wir aus der Ferne noch die Fläche, welche durch den Waldbrand oberhalb von Leuk in 2003 zerstört wurde, beobachten (Abb. 1). Vor diesem Ereignis gab es keine genauen Daten zur Vegetationsentwicklung nach Waldbränden in der Schweiz. Um solche Prozesse im Detail zu untersuchen, wurde die Vegetation in Teilen der Waldbrandfläche sich selber überlassen. Resultate eines installierten Beobachtungsnetzwerkes zei-

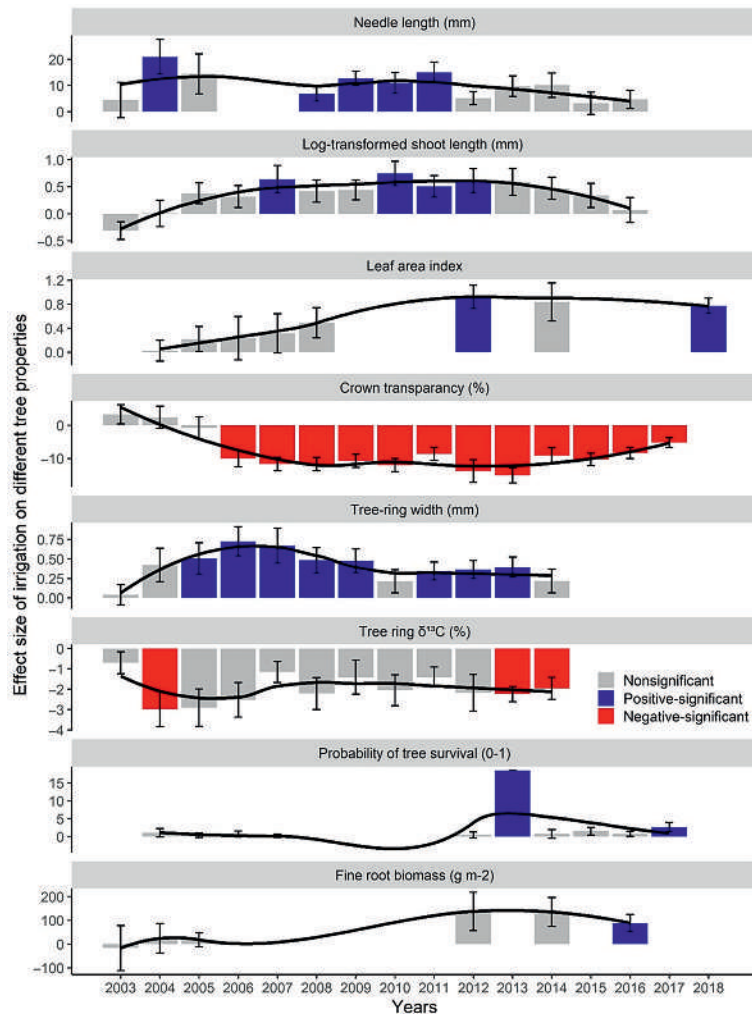


Abb. 8: Einfluss zusätzlicher Bewässerung auf verschiedene Eigenschaften der Bäume über den Untersuchungszeitraum von 2003–2018 (nach Bose et al. 2022).

gen die typischen Muster einer natürlichen Sukzession, mit dem Auftreten und Verschwinden unterschiedlicher Arten (Wohlgemuth und Moser 2018). Vor dem Waldbrand bestand der Wald vor allem aus Fichten (*Picea abies*), mit Lärchen (*Larix decidua*) in höheren und Eichen und Waldföhren in tieferen Lagen (Wohlgemuth et al. 2010). Zehn Jahre nach dem Waldbrand finden sich wieder junge Lärchen und Fichten auf der gleichen Höhenstufe, aber in tieferen Lagen änderte sich die Vegetationszusammensetzung (Abb. 10; Wohlgemuth und Moser 2018). Eichen sind neu dominant und ersetzen die Waldföhre aufgrund eines



Abb. 9: Oben: Aussicht über den Pfywald vom Beobachtungsturm des WSL Langzeit-Bewässerungsexperimentes in den Baumkronen der Föhren. Im Hintergrund ist die Waldbrandfläche von Leuk zu sehen, im Vordergrund der Befall von Misteln auf den Waldföhren. Unten: Prof. Dr. Andreas Rigling erklärt unserer Gruppe die verschiedenen Messgeräte, welche auf dem Turm installiert sind. (Bilder: Christoph Schwörer).



Rückganges in Beweidung aber auch wegen unterschiedlicher Samenverbreitung. Eicheln werden vor allem durch den Eichelhäher (*Garrulus glandarius*) verbreitet, welcher zahlreich in der Gegend vorkommt und die nährstoffreichen Eicheln effizient im Gebiet verteilt, was ihnen offenbar einen Vorteil im Gegensatz zu den zwar windverbreiteten aber kleinen und wenig weit fliegenden Föhrensamens bietet (Wohlgemuth und Moser 2018).

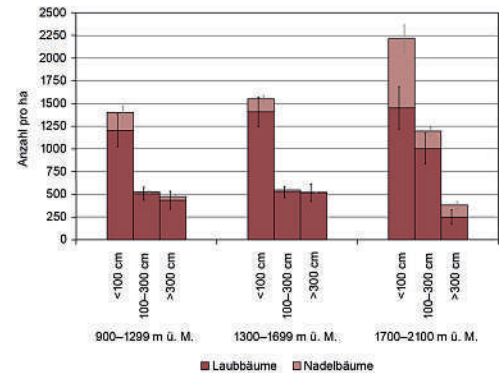


Abb. 10: Verjüngung auf der Brandfläche zehn Jahre nach dem Feuer, gruppiert in drei Höhenstufen, drei Grössenklassen und unterteilt in Nadel- und Laubbäume (aus Wohlgemuth and Moser 2018).

Zusammenfassung

Auf unserer Exkursion durch den Pfywald konnten wir den einzigartigen Charakter und die hohe Artenvielfalt des Pfywaldes erleben. Der Wald, den wir heute sehen, ist das Ergebnis verschiedener Faktoren, wobei besonders das Klima und die Landnutzung eine wichtige Rolle spielen. Zunehmende Trockenperioden aufgrund des Klimawandels, aber auch ein Rückgang der Landnutzung wird in Zukunft viele Arten bedrohen, welche heute hier vorkommen. Um diese Arten zu schützen ist es wichtig, den Klimawandel zu stoppen und die Wasserverfügbarkeit für die Waldföhre zu erhöhen, aber auch ein Mosaik aus verschiedenen Lebensräumen für die Vögel, Insekten und anderen Tiere des Waldes zu schaffen

Literatur

- BENDEL, M.; TINNER, W.; AMMANN, B. (2006): Forest dynamics in the Pfy forest in recent centuries (Valais, Switzerland, Central Alps): interaction of pine (*Pinus sylvestris*) and oak (*Quercus* sp.) under changing land use and fire frequency. In *The Holocene* 16 (1), pp. 81–89. DOI: 10.1191/0959683606hl906rp.
- BERGER, C.; McARDELL, B. W.; SCHLUNEGGER, F. (2011): Direct measurement of channel erosion by debris flows, Illgraben, Switzerland. In *J. Geophys. Res.* 116, F01002. DOI: 10.1029/2010JF001722.

- BOSE, A.K.; RIGLING, A.; GESSLER, A.; HAGEDORN, F.; BRUNNER, I.; FEICHTINGER, L. ET AL. (2022): Lessons learned from a long-term irrigation experiment in a dry Scots pine forest: Impacts on traits and functioning. In *Ecological Monographs* 92 (2). DOI: 10.1002/ecm.1507.
- DOBBERTIN, M.; HILKER, N.; REBETZ, M.; ZIMMERMANN, N. E.; WOHLGEMUTH, T.; RIGLING, A. (2005): The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland—the result of climate warming? In *International journal of biometeorology* 50 (1), pp. 40–47. DOI: 10.1007/s00484-005-0263-5.
- GIMMI, U.; BUERGI, M. (2007): Using Oral History and Forest Management Plans to Reconstruct Traditional Non-Timber Forest Uses in the Swiss Rhone Valley (Valais) Since the Late Nineteenth Century. In *Environment and history* 13 (2), pp. 211–246. DOI: 10.3197/096734007780473492.
- GIMMI, U.; BÜRGI, M.; WOHLGEMUTH, T. (2004): Wie oft brannte der Walliser Wald im 20. Jahrhundert? | Forest fire occurrences in Canton Valais in the 20th century. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 155 (10), pp. 437–440. DOI: 10.3188/szf.2004.0437.
- GIUGGIOLA, A.; ZWEIFEL, R.; FEICHTINGER, L. M.; VOLLENWEIDER, P.; BUGMANN, H.; HAENI, M.; RIGLING, A. (2018): Competition for water in a xeric forest ecosystem – Effects of understory removal on soil micro-climate, growth and physiology of dominant Scots pine trees. In *Forest Ecology and Management* 409, pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.foreco.2017.11.002.
- HUOVINEN, C.; WOHLGEMUTH, T. (2021): Wandern, wo andere forschen. Ober- und Mittelwallis. 1. Auflage. Bern: Haupt Verlag.
- IVERSEN, JOHS (1944): *Viscum, Hedera* and *Ilex* as Climate Indicators. In *Geologiska Föreningen i Stockholm Förhandlingar* 66 (3), pp. 463–483. DOI: 10.1080/11035894409445689.
- KIENAST, F. (1982): Jahrringanalytische Untersuchungen in immissionsgefährdeten Waldschadengebieten des Walliser Rhonetals. In *Geogr. Helv.* 37 (3), pp. 143–148. DOI: 10.5194/gh-37-143-1982.
- LANDOLT, E. (2010): *Flora indicativa. Ökologische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen.* With assistance of Elias Landolt. 2., völlig neu bearb. und erw. Aufl. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt (Editions des Conservatoire et Jardin Botaniques de la Ville de Genève).
- LAUBER, K.; WAGNER, G.; GYGAX, A. (2018): *Flora Helvetica. Illustrierte Flora der Schweiz.* 6., vollständig überarbeitete Auflage. Bern: Haupt Verlag.
- MCArDELL, B.W. (2016): Field Measurements of Forces in Debris Flows at the Illgraben: Implications for Channel-Bed Erosion. In *IJECE* 9 (4), pp. 194–198. DOI: 10.13101/ijece.9.194.
- METEO SCHWEIZ (2023): Klimanormwerte Sion. Normperiode 1991–2020. www.meteo-schweiz.ch, aufgerufen am 18/2/2023.
- REBETZ, M.; DOBBERTIN, M. (2004): Climate change may already threaten Scots pine stands in the Swiss Alps. In *Theor Appl Climatol* 79 (1-2), pp. 1–9. DOI: 10.1007/s00704-004-0058-3.
- RICKLI, C.; SCHULIN, R.; ATTINGER, W.; FLÜHLER, H. (1989): Dekontamination ehemals fluorbelasteter Waldstandorte im Wallis. In *Bulletin de la Murithienne* 107, pp. 113–124.
- RIGLING, A.; BIGLER, C.; EILMANN, B.; FELDMEYER-CHRISTE, E.; GIMMI, U.; GINZLER, C. ET AL. (2013): Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests. In *Global change biology* 19 (1), pp. 229–240. DOI: 10.1111/gcb.12038.
- RIGLING, A.; CHERUBINI, P. (1999): Wieso sterben die Waldföhren im «Telwald» bei Visp? Eine Zusammenfassung bisheriger Studien und eine dendroökologische Untersuchung. In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 150, pp. 113–131.
- WALAS, Ł.; KĘDZIORA, W.; KSEPKO, M.; RABSKA, M.; TOMASZEWSKI, D.; THOMAS, P. A. ET AL. (2022): The future of *Viscum album* L. in Europe will be shaped by temperature and host availability. In *Sci Rep* 12 (1), p. 17072. DOI: 10.1038/s41598-022-21532-6.
- WELTEN, M. (1982): Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen: Bern-Wallis. In *Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft* 95.
- WOHLGEMUTH, T.; MOSER, B. (2018): Zehn Jahre Vegetationsdynamik auf der Waldbrandfläche von Leuk (Wallis). In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 169 (5), pp. 279–289.
- WOHLGEMUTH, T.; HESTER, C.; JOST, A.-R.; WASEM, U.; MOSER, B. (2010): Dynamik der Wiederbewaldung im Waldbrandgebiet von Leuk (Wallis) | Recruitment dynamics following the forest fire near Leuk (Valais). In *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen* 161 (11), pp. 450–459. DOI: 10.3188/szf.2010.0450.

WSL (2023a): Das Bewässerungs-Experiment Pfywald. <https://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/versuchsanlagen-und-labors/flaechen-im-wald/pfywald.html>, aufgerufen am 31/3/2023.

WSL (2023b): Murgangstestgelände Illgraben. <https://www.wsl.ch/de/ueber-die-wsl/versuchsanlagen-und-labors/naturgefahren-anlagen/murgang-anlagen/murgangstestgelaeende-illgraben-susten-leuk-vs.html>, aufgerufen am 31/3/2023.

Lieveke van Vugt



ist Doktorandin am Institut für Pflanzenwissenschaften der Universität Bern. Sie hat an der Universität Leiden in den Niederlanden Archäologie studiert und kam 2012 in die Schweiz. Nach mehreren Jahren Arbeit im Pfadizentrum Kandersteg begann sie im Jahr 2017 ein Masterstudium in Klimawissenschaften an der Universität Bern, auf welches ab 2021 ein Doktorat folgte. Sie befasst sich in ihrer Dissertation mit der Vegetationsgeschichte von Nord-Griechenland und erforscht, wie sich die Vegetation während den letzten 11 000 Jahren unter dem Einfluss von Klima und Mensch verändert hat.

Kontakt: lieveke.vanvugt@unibe.ch

Erika Gobet



studierte an der Universität Bern und schloss mit einem Lizentiat in Geobotanik ab. Im Anschluss folgte eine Doktorarbeit zur Vegetationsgeschichte im Oberengadin unter Berücksichtigung vergangener Klimaänderungen und des Einflusses des Menschen auf die Vegetation. Sie ist als Dozentin, wissenschaftliche Mitarbeiterin und Laborleiterin am Institut für Pflanzenwissenschaften tätig. Neben der Ausbildung von Studierenden ist sie an laufenden Projekten der Abteilung Paläoökologie beteiligt, die sich hauptsächlich mit den Auswirkungen des Klimawandels in Kombination mit landwirtschaftlicher Tätigkeit beschäftigen.

Kontakt: erika.gobet@unibe.ch

Christoph Schwörer



studierte Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich und doktorierte in Klimawissenschaften an der Universität Bern. Für seine Doktorarbeit im Bereich Paläoökologie untersuchte er den Einfluss von Klima und menschlicher Landnutzung auf die Vegetation am Iffigsee im Berner Oberland. Nach einem Postdoc an der University of Oregon (USA) kehrte er an die Universität Bern zurück, wo er seit 2019 eine eigene Forschungsgruppe leitet. Er interessiert sich besonders für die Auswirkungen vergangener Klimaänderungen auf Wälder und kombiniert dazu paläoökologische Methoden mit dynamischen Vegetationsmodellen und der Analyse von alter DNA.

Kontakt: christoph.schwoerer@unibe.ch



Bild: AdobeStock

Was ich in der Natur sehe, ist eine grossartige Struktur, die wir nur sehr unvollkommen zu erfassen vermögen und die einen vernünftigen Menschen mit einem Gefühl von Demut erfüllen muss.

Quelle: «Einstein sagt» Zitate, Einfälle, Gedanken
Herausgegeben von Alice Calaprice; 1997 Piper Verlag GmbH München,
ISBN 978-3-492-25089-4.