

# Forschung am Stillberg vor 25 Jahren und heute

**Vor 25 Jahren war der Waldgrenzenstandort Stillberg bereits eine der am besten untersuchten Versuchsflächen der WSL. Der im Jahr 1975 systematisch mit verschiedenen Baumarten bepflanzte Hang gibt seither Auskunft über die langfristige Wirkung verschiedener Umweltfaktoren an der alpinen Waldgrenze. Dank den Lehren vom Stillberg werden Aufforstungen im Waldgrenzenbereich heute standortgerechter durchgeführt. Seit einigen Jahren werden einzelne Bäume am Stillberg zudem experimentell höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen ausgesetzt und erwärmt. Damit wird der Stillberg zunehmend auch zum Experimentierfeld für die Beantwortung von Fragen rund um den Klimawandel.**

Peter Bebi, Frank Hagedorn, Christian Rixen, Josef Senn und Ueli Wasem

Die Versuchsfläche Stillberg an der alpinen Waldgrenze wurde in den 1950-er Jahren im Rahmen des ersten gemeinsamen Forschungsprogramms zwischen den WSL Standorten Birmensdorf und Davos eingerichtet. Das Hauptziel dieses «Gebirgsprogramms» lag darin, ökologisch und technisch geeignete Verfahren für Aufforstungen in Lawinenanrissgebieten im Waldgrenzenbereich zu finden. Als Hauptversuch wurden im Jahr 1975 mehr als 90 000 Bäumchen in einem regelmässigen Muster gepflanzt, 400 Schneepegel gesetzt und in einem Drittel der aufgeforsteten Versuchsfläche temporäre Lawinenverbauungen errichtet. In der Folge wurde ein intensives Monitoring betrieben, welches vor 25 Jahren in seiner Hochblüte war. Seither hat die Intensität des Monitorings auf der Versuchsfläche zwar deutlich abgenommen, der Stillberg hat aber nichts von seiner Attraktivität und

Aktualität eingebüsst, und völlig neue Forschungsfelder sind dazugekommen. In diesem Artikel wollen wir 25 Jahre zurückblenden und betrachten, was aus dem Stillberg geworden ist, welche Erkenntnisse daraus gewonnen wurden und welche Ziele heute im Vordergrund stehen.

## Vor 25 Jahren – ein einst stiller Berg wird erforscht

Vor 25 Jahren war es am Stillberg schon seit einiger Zeit nicht mehr still. Zahlreiche Mitarbeitende aus Birmensdorf und Davos waren damit beschäftigt, Daten über die aufgeforsteten Bäume, wie auch über Mikroklima und Boden, Pilze und Fauna, sowie über Schnee und Lawinen zu erheben und auszuwerten. Resultate daraus wurden in zahlreichen Publika-

tionen veröffentlicht und in Führungen Praxis und Wissenschaft zugänglich gemacht. Bereits vor 25 Jahren, also wenige Jahre nach der Pflanzung der Versuchsbäume, bildete sich ein interessantes Muster von überlebenden Bäumen. Daraus liessen sich bereits wichtige Erkenntnisse für die Praxis ableiten. Dazu gehörten insbesondere Anleitungen zu Pflanztechnik und zur standortgemässen Anlage sowie zur Pflege von Hochlagenaufforstungen. Statt wie früher flächenmässig aufzuforsten, konnte dank Erkenntnissen vom Stillberg die Ökologie und der Kleinstandort bei Aufforstungen im Gebirge besser berücksichtigt und standortgerechter gepflanzt werden. So wurde beispielsweise aus den Lehren vom Stillberg im Jahr 1984 zusammen mit dem Forstdienst in einer Waldbrandfläche im Münstertal eine Rottenaufforstung an der oberen Waldgrenze realisiert. Die dort gepflanzten Bäume sind inzwischen 4-6 Meter hoch und stabilisieren bereits die winterliche Schneedecke.

## Bäume an der Waldgrenze im Wandel von Raum und Zeit

Der mehr als 25-jährige Überlebenskampf der Bäume am Stillberg hat deutliche Spuren hinterlassen. Von den ursprünglich 92 000 gepflanzten Bäumen hatten im Jahr 1982 noch 74 %, bei der letzten grossen Zustandserfassung im Jahr 2005 sogar nur noch 30 % überlebt. Während im Jahr 1982 noch alle drei gepflanzten Baumarten gleichmässig vertreten waren, prägen heute vor allem die Lärchen das Bild. Die beiden immergrünen Baumarten Bergföhre und Arve wurden in den 1980-er Jahren zunehmend von Schneepilzen befallen und kommen heute nur noch auf den günstigsten Standorten vor, wie beispielsweise den Rippen und gut besonnten Hanglagen.

Die Forschungsfläche Stillberg umfasst mit einer Höhenlage von 2000 bis 2230 m ü.M. genau den Höhengradienten, innerhalb dessen das Wachstum der Bäume an der inneralpinen Waldgrenze infolge Wärmemangel zunehmend begrenzt ist. Sowohl Wachstum wie auch Überleben von Bäumen sind deshalb stark durch diesen Höhengradienten geprägt. Während im unteren Teil der Fläche die Bäume heute teilweise schon über 6 Meter hoch sind, sind sie nur 150 m weiter oben auch 34 Jahre nach der Pflanzung kaum über den wärmenden Bodenbereich hinaus gewachsen.

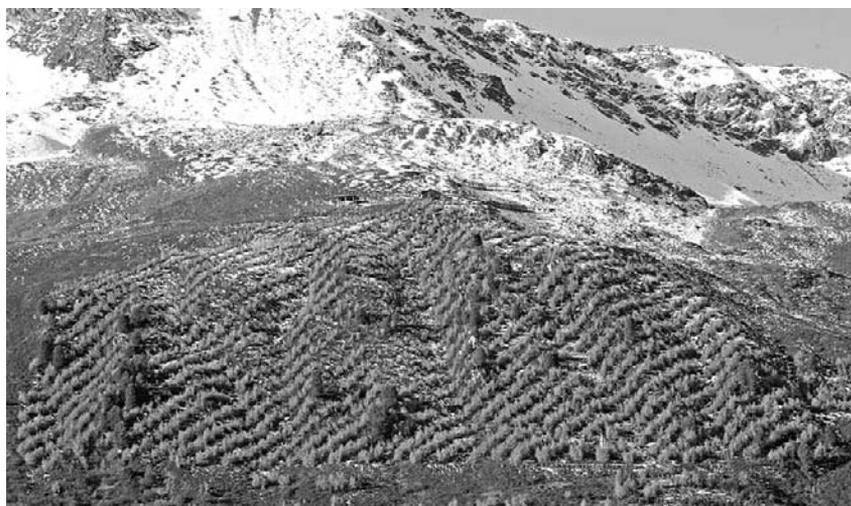


Abb. 1: Stillbergfläche im Jahr 2008. Es hat sich ein interessantes Muster von überlebenden Bäumen gebildet, die den temporären Lawinenverbau im unteren Teil bereits überragen.



Abb. 2: Ausschnitt der Versuchsfläche Stillberg im Jahr 1982. Die 1975 gepflanzten Bäume sind zumeist noch kleiner als 50 cm. Deutlich zu sehen ist hingegen der temporäre Lawinerverbau, der im rechten Teil der Aufforstungsfläche errichtet wurde.



Abb. 3: Ausschnitt der Versuchsfläche Stillberg im Jahr 2008. Viele gepflanzte Bäume sind unterdessen höher als der temporäre Lawinerverbau und übernehmen bereits einen Teil der Schutzfunktion.

Die Bedeutung verschiedener Einflussfaktoren für Wachstum und Überleben der Pflanzen hat sich im Laufe der letzten 25 Jahre verändert.

In den ersten 10 Jahren nach der Pflanzung waren vor allem die Exposition und Sonneneinstrahlung sowie die Dauer der Schneebedeckung wichtig; sonnige Standorte, an denen der Schnee im Frühling relativ früh schmilzt und wo der Wurzelraum der Pflanzen während den Sommermonate genügend Wärme aufnehmen kann, waren für die Pflanzen besonders günstig. Bei der letzten Gesamterhebung der Bäume im Jahr 2005 waren diese Faktoren zwar immer noch wichtig. Je grösser die Bäume sind und je stärker sie aus dem Einflussbereich der wärmenden Bodenschicht herausgewachsen sind, desto mehr sind Wachstumsprozesse durch die Umgebungstemperatur und damit indirekt durch die Höhenlage bestimmt. Auch beeinflussen zunehmend artspezifische Eigenschaften das Selektionsverfahren der aufgeforsteten Bäume: So wurden

in den letzten Jahren Föhren und Arven, deren Stämme dicker waren als 7 cm, zunehmend anfälliger auf Stammbrüche durch Schneebewegungen. Lärchen kommen aufgrund ihrer grösseren Elastizität etwas später in dieses Stadium, konkurrenzieren sich aber im unteren Teil des Hanges zunehmend selber, so dass auch sie bei grösseren Schneebelastungen immer häufiger gebrochen werden.

### Experimente zu Waldgrenze und Klimawandel

Nebst der langfristigen Forschung am Stillberg zur Aufforstung an der Waldgrenze wurde in den letzten Jahren ein zusätzlicher Forschungsfokus immer wichtiger. Die gut dokumentierten Versuchsaufforstung mit verschiedenen Baumarten bietet nämlich die einmalige Möglichkeit, an der natürlichen Waldgrenze kontrollierte Versuche durchzuführen, da hier gleich alte und

gleichmässig angeordnete Bäume jeweils gleicher Herkunft zur Verfügung stehen.

In einem 2001 begonnen Experiment untersuchen Forschende, wie sich der abzeichnende Klimawandel auf die Ökosysteme an der Waldgrenze auswirkt. Wissenschaftler der WSL, der Uni Basel, und verschiedener ausländischer Forschungsinstitute simulieren hierbei die atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und Temperaturen des Jahres 2070. Sie erhöhen dazu die CO<sub>2</sub>-Gehalte um 200 ppm (= heute + 50 %) und die Bodentemperaturen um 3°C. Über perforierte Schläuche erhalten je zehn Lärchen und Bergföhren höhere CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die gleiche Anzahl an Bäumen bleibt unbehandelt (Kontrolle). Unter jeweils der Hälfte der Bäume wird der Boden mittels Heizkabeln um 3°C erwärmt. Die Wissenschaftler untersuchen die Reaktionen des Wachstums, den Nährstoffumsatz und Schädlingsbefall sowie die Krankheiten der Bäume und die CO<sub>2</sub>-Bilanz des Bodens.

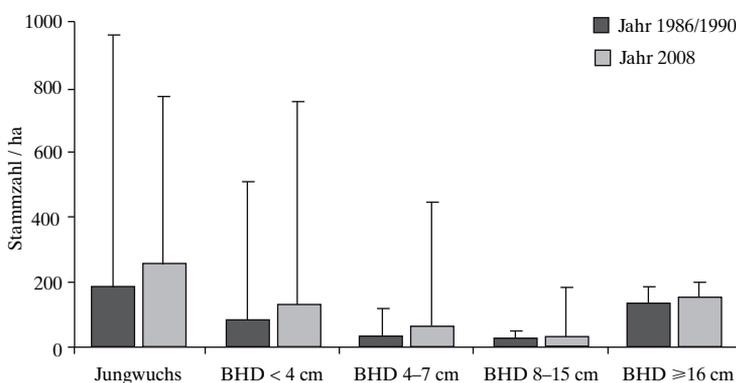


Abb. 4: Entwicklung der Überlebensraten der Bäume am Stillberg seit der Pflanzung im Jahr 1975.



Abb. 5: Experimentierplot am Stillberg zur Erforschung von erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentration und wärmeren Temperaturen auf das Waldgrenzen-Ökosystem.

Der simulierte Klimawandel wirkt sich unterschiedlich auf die verschiedenen Arten aus. So zeigen Lärchen bei erhöhtem CO<sub>2</sub>-Angebot ein um rund 20 Prozent stärkeres Spross- und Dickenwachstum. Die Bergföhren steigern ihr Wachstum hingegen nicht. Bei ihnen begrenzen Faktoren wie Temperatur und Schädlinge das Wachstum. Die Bergföhren profitierten daher von dem erwärmten Boden. Zwergsträuchern wie der Krähenbeere bekam die Wärme hingegen weniger gut. Sie erlitt Schäden durch früh sommerlichen Frost, da sie zu früh begann zu wachsen. Auch viele Lärchen wiesen Frostschäden auf, allerdings nicht wegen der Bodenerwärmung, sondern aufgrund des erhöhten Kohlendioxids. Diese Lärchen legten im Vorjahr mehr Reserven an und trieben im Frühjahr eine Woche früher aus. Aus diesen Ergebnissen folgern die Wissenschaftler, dass der Klimawandel zu einer Artenverschiebung führen könnte.

Erhöhtes CO<sub>2</sub> wirkte sich auch auf den Schädlingsbefall aus: Im Sommer 2007 befielen tausende Blattläuse vor allem unter erhöhtem CO<sub>2</sub> die Bäume. Denn dort fanden sie mehr Zucker. Und das hatte Folgen: Von den Läusen tropfte Zucker auf den Boden, was dort wiederum biologische Umsetzungsprozesse in Gang setzte.

Bei Erwärmung um 3° C setzten aktivere Mikroorganismen im Boden zusätzliche Mengen CO<sub>2</sub> frei, die nicht – wie erhofft – durch eine verstärkte CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch erhöhtes Wachstum ausgeglichen werden. Mit Isotopenmessungen können die Wissenschaftler nachweisen, dass das zusätzlich im Boden freigesetzte CO<sub>2</sub> beim Abbau des Humus freigesetzt wird. Das CO<sub>2</sub>, das für die Begasung benutzt wurde, wies nämlich ein anderes Verhältnis der Kohlenstoff-Isotope C12 und C13 auf als der im Humus gespeicherte Kohlenstoff. So liess sich zeigen, ob freigesetztes CO<sub>2</sub> durch die Begasung aus der Luft stammte oder aus früher im Humus eingelagertem Kohlenstoff. Die Isotopenmessungen ergaben, dass eine substantielle Menge Kohlenstoff aus dem Boden als Treibhausgas CO<sub>2</sub> in die Atmosphäre gelangte, dass also Humus abgebaut wurde. Dadurch wurde dieses Ökosystem zumindest anfänglich zu einer CO<sub>2</sub>-Quelle. Wie lange dieser Effekt andauern wird und welche mengenmäßige Bedeutung er hat, werden die nächsten Versuchsjahre zeigen.

Sowohl als langfristige Beobachtungsfläche wie auch als Experimentierfeld bietet die Forschungsfläche Stillberg auch in Zukunft beste Voraussetzungen, Interaktionen zwischen Bäu-

#### La recherche au Stillberg hier et aujourd'hui

Situé à la limite forestière, le Stillberg était déjà, il y a 25 ans, l'une des placettes les mieux étudiées du WSL. La pente, objet en 1975 de plantations systématiques d'essences diverses, est aujourd'hui riche d'enseignements sur les effets à long terme de différents facteurs environnementaux à la limite forestière alpine. Grâce à ces informations, les afforestationes sont effectuées de façon plus adaptée à la station dans la zone de la limite forestière. Depuis quelques années, certains arbres sont en outre traités et réchauffés de façon expérimentale au moyen de concentrations accrues de CO<sub>2</sub>. Cette placette se transforme ainsi de plus en plus en champ expérimental à même d'apporter des réponses aux questions que pose le changement climatique.

men, Schnee und anderen Einflussfaktoren an der alpinen Waldgrenze sowie Auswirkungen des Klimawandels auf die Waldgrenze zu studieren und Aufzuchtungen sinnvoll durchzuführen. Wie der Stillberg in 25 Jahren aussieht? Wir können es nur ahnen. Wir sind aber zuversichtlich, dass uns der einst so stille Berg im Dischmatal noch manches Geheimnis preisgeben wird.

## Warum 10 Jahre für die Waldwachstumsforschung nichts und 25 Jahre fast nichts sind

**Vor 10 Jahren, als das Informationsblatt Wald zum ersten Mal erschien, war die Ertragskunde schon über 100 Jahre alt. Jung und dynamisch geblieben, lieferte sie auf der Basis jahrzehntelanger Datenreihen auch auf aktuelle Fragen fundierte Antworten. Vor 25 Jahren war die Waldwachstumsforschung an der WSL schon fast 100 Jahre alt und erlebte zusammen mit der gesamten Forstwirtschaft und der forstlichen Forschung einer ihrer neuzeitlichen Krisen: das «Waldsterben» war in aller Munde. Ohne langfristige waldwachstumskundliche Daten wären wohl manche Forschende sprichwörtlich im (sauren) Regen gestanden. Da es sich ertragskundlich kaum lohnt, 10 bzw. 25 Jahre zurückzuschauen, spiele ich im Folgenden etwas mit diesen Zahlen, um dem Infoblatt Wald auf diese Weise zu seinem Jubiläum zu gratulieren.**

Andreas Zingg

### Die Ertragskunde in den letzten 10 Jahren

Seit 1999, als das Informationsblatt Wald erstmals erschien, wurden von den WSL-Mitarbeitern der Ertrags-

kunde, wie die Waldwachstumskunde früher hiess, 132 Versuchsfelder mit 371 Versuchspartzellen aufgenommen. Auf einige von ihnen wurden in dieser Zeit sogar mehr als einmal Daten erhoben, auf total 527 Partzellen mit einer

durchschnittlichen Grösse von 0,3394 ha. Das macht total 178,86 ha oder 17,89 ha pro Jahr. An 99 822 Bäumen wurden je zwei Durchmesser gemessen, das heisst, dass unsere Mitarbeiter die Kluppe fast 200 000 mal an dünne und dicke Stämme anlegten. An 17 241 Bäumen massen sie die Baumhöhe und den Durchmesser in 7 m Höhe, an 6697 Bäumen bestimmt sie die Kronenradien.

Das ist aber noch nicht alles. Wir kennen von fast allen Bäumen ihre Position koordinatengenau auf jeder Versuchsfeldfläche. Das bedeutet auch, dass bei jeder Aufnahme die Bäume gesucht werden müssen, die neu einwachsen, sodass auch ihre Koordinaten erfasst werden können. Jeder Baum hat eine Nummer, die auf den Stamm geschrieben und von Zeit zu Zeit erneuert werden muss (Abb. 2). Und natürlich fra-