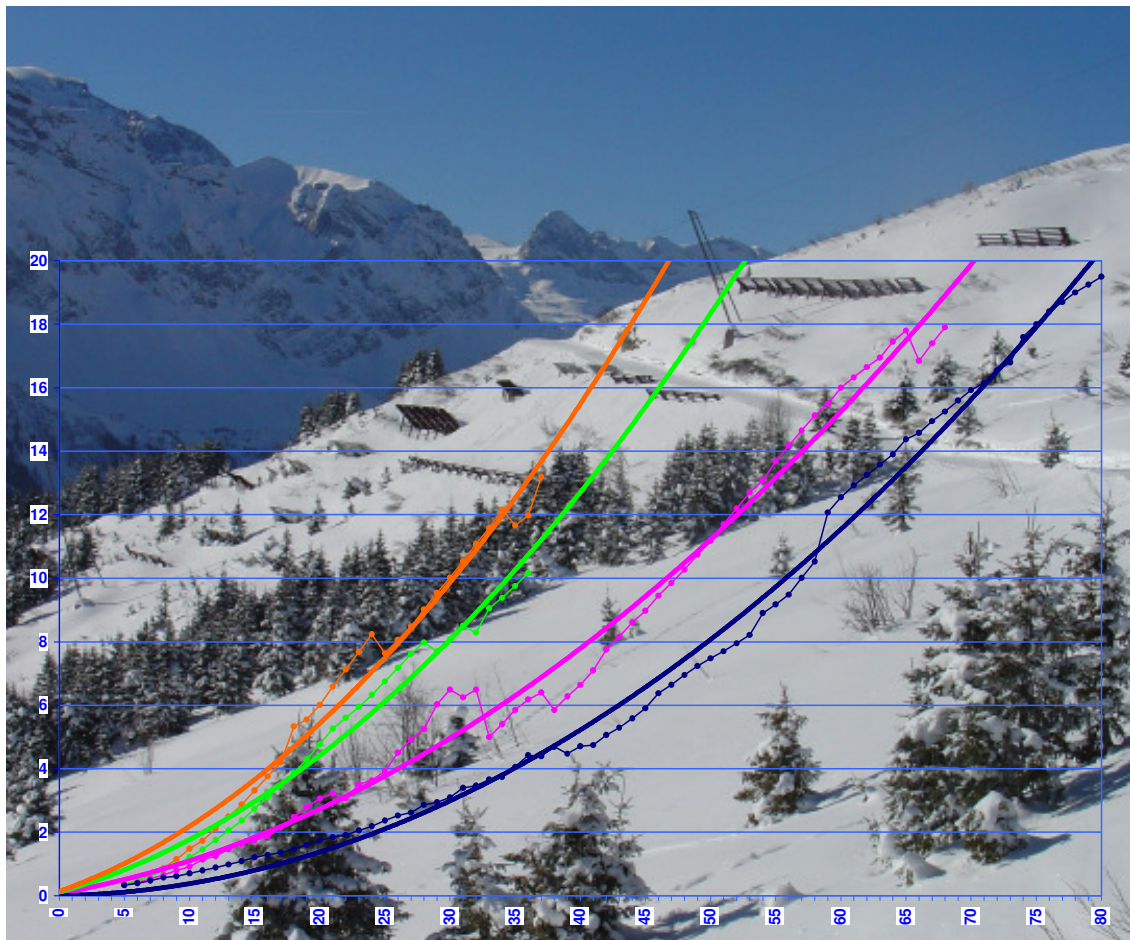


Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland

Standort- und Wuchsverhältnisse in Lawinenverbauungs- und Aufforstungsprojekten



Wie lange dauert es, bis der aufwachsende Wald die Funktion der Lawinenverbauungen übernehmen kann?

Abteilung Naturgefahren
Schloss 5
3800 Interlaken

Interlaken, im Juli 2007
Ueli Rytter

www.be.ch/naturgefahren
www.be.ch/abteilung-naturgefahren

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	3
1. Einleitung	4
2. Standortverhältnisse	5
2.1 Versuchsfläche	5
2.2 Lufttemperaturen	6
2.3 Bodentemperaturen	12
2.4 Frost	14
2.5 Schnee/Gleitschnee	15
2.6 Regen	21
2.7 Vegetationszeit	23
2.8 Wildverbiss	26
2.9 Schwarzer Schneeschimmel	28
3. Wuchsverhältnisse: Versuchsanordnung	29
3.1 Fragestellungen	29
3.2 Auswahl der Projekte und Probebäume	29
3.3 Feldaufnahmen	33
3.4 Vermessung der Stammscheiben	35
3.5 Elektronische Datenerfassung und –auswertung	36
4. Wuchsverhältnisse: Untersuchungsergebnisse	37
4.1 Pflanzenausfälle-Überlebensrate	37
4.2 Wachstum in der Jungwuchsphase	39
4.3 Wachstum bis im Alter 80	43
4.3.1 Höhenwachstum	43
4.3.2 Hat sich das Wuchsverhalten seit den 1950er Jahren verändert?	45
4.3.3 Dickenwachstum und Schlankheitsgrad	47
5. Bedeutung der Pflanzenherkunft	50
6. Wann übernimmt die Aufforstung die Funktion der Lawinenverbauung?	52
6.1 Massgebende Schneehöhen und erforderliche Baumhöhen	52
6.2 Dauer bis zur Funktionsübernahme	53

Zusammenfassung

Seit Mitte der Fünfzigerjahre sind im Berner Oberland zum Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen zahlreiche Lawinenverbauungen ausgeführt worden. Im Wissen, dass technische Schutzwerke eine beschränkte Lebensdauer aufweisen, wurden in den allermeisten Projekten auch Aufforstungen begründet. Wälder können nämlich die Entstehung von Lawinen in deren Anrissgebieten nachhaltig und vergleichsweise sehr günstig verhindern.

Seit 1996 werden von der Abteilung Naturgefahren im Verbauungs- und Aufforstungsprojekt Briener Wildbäche systematisch Messungen durchgeführt und ausgewertet, welche über die extremen Standortverhältnisse im Bereich der Waldgrenze Auskunft geben.

2005 wurden in 24 Lawinenverbauungs- und Aufforstungsprojekten insgesamt 112 Bäume gefällt und vermessen, die in den Jahren 1928 bis 1998 gepflanzt worden sind. Dadurch konnte das Wuchsverhalten von Fichten in verschiedenen Höhenlagen rekonstruiert werden.

Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung über die Standort- und Wuchsverhältnisse in den Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland.

Die Standortverhältnisse im Bereich der Waldgrenze werden mit denjenigen in tieferen Lagen verglichen. Die Unterschiede sind frappant; bei verschiedenen gemessenen Grössen liegen sie im Bereich von „Faktor 2“. Die im Sommerhalbjahr gemessene Regenmenge beispielsweise ist im Einzugsgebiet der Briener Wildbäche doppelt so gross wie im Tal. Die Jahresdurchschnittstemperatur ist im Bereich der Waldgrenze genau halb so hoch wie im Tal; den Pflanzen stehen auf 1800 m ü.M. für das Wachstum und die Verholzung nur gerade halb so viele Vegetationstage zur Verfügung wie auf 600 m ü.M.

Die Pflanzen sind in hohen Lagen extremen Schwankungen der äusseren Bedingungen unterworfen. So tritt beispielsweise in der ersten Julihälfte regelmässig ein markanter Temperatursturz auf; frostfrei war in der beobachteten Periode von November 1995 bis April 2007 nur der Monat August.

Enorm gross sind die mechanischen Belastungen im Winter durch den Schnee (Auflast, Setzung und Gleiten). Die Schneebedeckung variiert von Winter zu Winter sehr stark. Schneefreie Perioden im Hochwinter führen nachweislich zu vermehrtem Wildverbiss und können auch zu Schäden durch Frostrocknis führen. Der Befall durch den schwarzen Schneeschimmel ist abhängig vom Zeitpunkt der Ausaperung. Der Kleinstandort (Mulde, Kuppe, Exposition) spielt grundsätzlich eine wichtige Rolle.

Die Ausfälle sind in den ersten Jahren nach der Pflanzung besonders gross; nach 12 Jahren leben in der Versuchsfläche noch 62 % der als Nacktwurzler gepflanzten Fichten. Bei der Ausfallquote bestehen deutliche Unterschiede zwischen verschiedenen Nachzucht- und Pflanzverfahren; wesentliche Unterschiede bestehen auch in deren Wuchsverhalten in der Jungwuchsphase. Die Nacktwurzler erreichen 12 Jahre nach der Pflanzung eine durchschnittliche Grösse von 75 cm. Das Höhenwachstum wird bereits nach Mitte Juli abgeschlossen; die Verholzung der Gipfeltriebe ist bereits Mitte September weit fortgeschritten. Der Vergleich mit einer Tieflagenherkunft zeigt eindrücklich, dass Pflanzen, die genetisch nicht an den Standort angepasst sind, in Hochlagen keine Überlebenschance haben.

Die Untersuchungen bestätigen die Abhängigkeit des Wachstums von der Höhenlage sehr deutlich. Die Jahrestriebe sind in Höhenlagen von 1000-1300 m ü.M. 2.5 bis 4-mal so lang wie auf 1800 m. Im Bereich der Waldgrenze dauert es rund 50 Jahre, bis der aufwachsende Wald die Funktion der Lawinenverbauungen übernehmen kann; in der Höhenlage 1300-1500 m ü.M. nur gerade 20 Jahre.

Die Auswertungen basieren auf den zuverlässigen Feldaufnahmen verschiedener Mitarbeiter und einer Mitarbeiterin der Abteilung Naturgefahren. Dank des motivierten Einsatzes der Aufnahmeequipen standen genügend Grundlagendaten für repräsentative Auswertungen über die Standort- und Wuchsverhältnisse in Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland zur Verfügung.

1. Einleitung

Seit Mitte der Fünfzigerjahre sind im Berner Oberland zum Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen bis Ende 2005 insgesamt 45 Lawinerverbauungsprojekte ausgeführt worden. Dabei wurden rund 125 ha Lawinanrissgebiete mit insgesamt 56 km Stützwerken verbaut.

Im Wissen, dass technische Schutzwerke eine beschränkte Lebensdauer aufweisen, wurden in den allermeisten Lawinerverbauungen bis zur natürlichen Waldgrenze auch Aufforstungen begründet. Wälder können nämlich die Entstehung von Lawinen in deren Anrissgebieten nachhaltig und vergleichsweise sehr günstig verhindern.

Dort, wo der aufwachsende Wald aufgrund der günstigen Standorts- und Wuchsverhältnisse mit grosser Wahrscheinlichkeit innert 20-30 Jahren die Funktion der technischen Lawinerverbauung übernehmen kann, wurden Stützwerke aus Holz eingebaut, in den übrigen Verbauungen solche aus Stahl. Das entsprechende Verhältnis temporärer/permanenter Lawinerverbau beträgt 1:4.

Bis heute wurden in den Lawinerverbauungsprojekten 1.6 Mio. Pflanzen gesetzt, wovon 99% als so genannte Nacktwurzler und nur gerade 1% als Topfpflanzen. Zum Schutz der Pflanzen vor dem Gleitschnee wurden 54'800 Bermenteller, 65'700 m Bermentritte, 4'300 Pfähle und 12'900 Dreibeinböcke eingebaut. Für die Erschliessung wurden 50 km Verbaungswege gebaut.

Die gesamten Kosten für die Lawinerverbauungen und Aufforstungen belaufen sich auf 85 Mio. Franken; teuerungsbereinigt zu Preisen von 2005 betragen sie sogar rund 160 Mio. Franken. Der Anteil der Aufforstungen inkl. Gleitschneeschutz macht rund 10% aus.



Abb 1 Lawinerverbauungs- und Aufforstungsprojekt Tanngrindel, Brienz (4.4.2006)

Im Bereich der Lawinerverbauungsprojekte – oft nahe der Waldgrenze – sind die Pflanzen extremen äusseren Bedingungen ausgesetzt. Der vorliegende Bericht gibt eine Zusammenfassung der wichtigsten Erkenntnisse aus Untersuchungen der Abteilung Naturgefahren zu den Standorts- und Wuchsverhältnissen in den Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland.

2. Standortverhältnisse

Seit 1996 werden von der Abteilung Naturgefahren im Verbauungs- und Aufforstungsprojekt Briener Wildbäche systematisch Messungen durchgeführt und ausgewertet, die über die Standortverhältnisse im Bereich der Waldgrenze Auskunft geben.

Gemessen werden insbesondere:

- Luft- und Bodentemperaturen, Frost
- Vegetationstage/Vegetationszeit
- Niederschläge (Regen)
- Schneebedeckung

Mit einer automatischen Kamera wurden die äusseren Bedingungen auch bildlich über ein ganzes Jahr dokumentiert.

2.1 Versuchsfläche

Am „Schwanderort“, im Einzugsgebiet der Briener Wildbäche (Glyssibach), wurde 1995 eine Hochlagenaufforstung begründet. Im Schutze von 214 Dreibeinböcken wurden insgesamt 1'697 Fichten der Provenienz Schwanden-Gibelegg (Erntebestand auf gleicher Höhe 1 km vom Pflanzstandort entfernt) gepflanzt.



Abb 2, 3 Hochlagen-Aufforstungsfläche „Schwanderort“

Die Fläche liegt auf einer Höhe von 1730-1780 m ü.M., ist 35° steil, und leicht runsenförmig mit Expositionen von SE-S-SW; der geologische Untergrund besteht aus Kalk.

2.2 Lufttemperaturen

Die Lufttemperatur ist in hohen Lagen sehr grossen Schwankungen unterworfen. Sie variiert einerseits während des Tagesverlaufs, andererseits über das Jahr. Markant sind auch die Unterschiede von Jahr zu Jahr.

Die Temperaturen werden mit handlichen und zuverlässigen UTL-Datenloggern gemessen. Diese Mikrocomputer speichern die an der Sensorspitze gemessenen Temperaturwerte mit Datum und Zeit digital ab. Sie wurden so programmiert, dass täglich 10 Messungen erfolgen, also alle 2.4 Stunden. Die Ablesung der Daten erfolgt jeweils im Frühjahr und im Spätherbst.



Abb 4 UTL-1 Datalogger Grösse: 8x4 cm



Abb 5 Datentransfer Logger-Laptop im Projektunterstand

Tagesverlauf

Die Lufttemperatur ist täglichen Schwankungen unterworfen. Im zehnjährigen Durchschnitt beträgt die mittlere tägliche Schwankung 6.0°C; der maximal gemessene Temperaturunterschied während eines Tages wurde mit 15.0 °C am 20.10.2002 gemessen (minimal: 0.4°C am 29.12.1999).

Der Tagesverlauf gibt unter anderem auch Aufschluss über Wetterumstürze, Sonneneinstrahlung und Bewölkung.

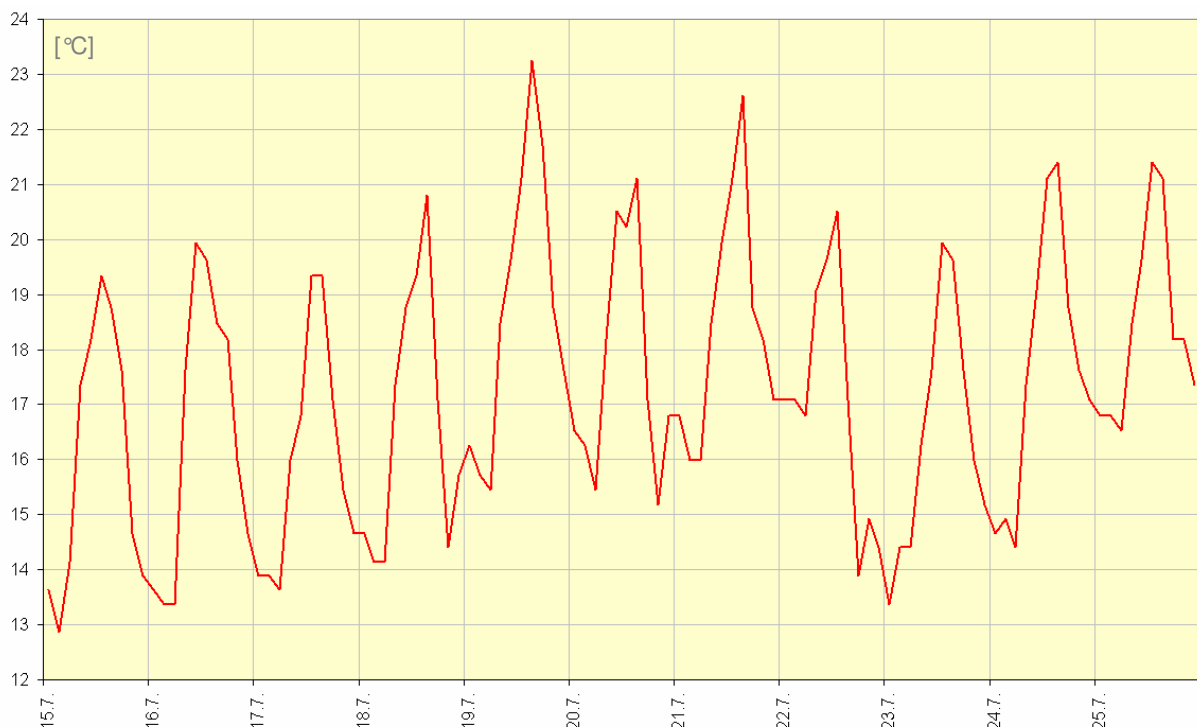


Abb 6 Tägliche Temperaturschwankungen (Beispiel: Juli 2006)

Jahresverlauf

Die Temperaturen können innerhalb kurzer Zeit sehr grosse Sprünge aufweisen. So betrug beispielsweise die Tages-Durchschnittstemperatur am 25. Januar 2000 -11.4°C , am 1. Februar bereits $+7.2^{\circ}\text{C}$. Die Erwärmung betrug somit 18.6°C innert einer Woche. In der gleichen Zeit lagen der tiefste (-14.3°C) und höchste (11.3°C) gemessene Einzelwert 25.8°C auseinander. Vom 2. bis am 15. Juli 2000 sank die mittlere Tagestemperatur von 17.6 auf 0.8°C ; der Temperatursturz betrug somit 16.8°C . In dieser Periode betrug die Differenz zwischen dem tiefsten (-0.1°C) und höchsten (22.3°C) gemessenen Einzelwert 22.4°C .

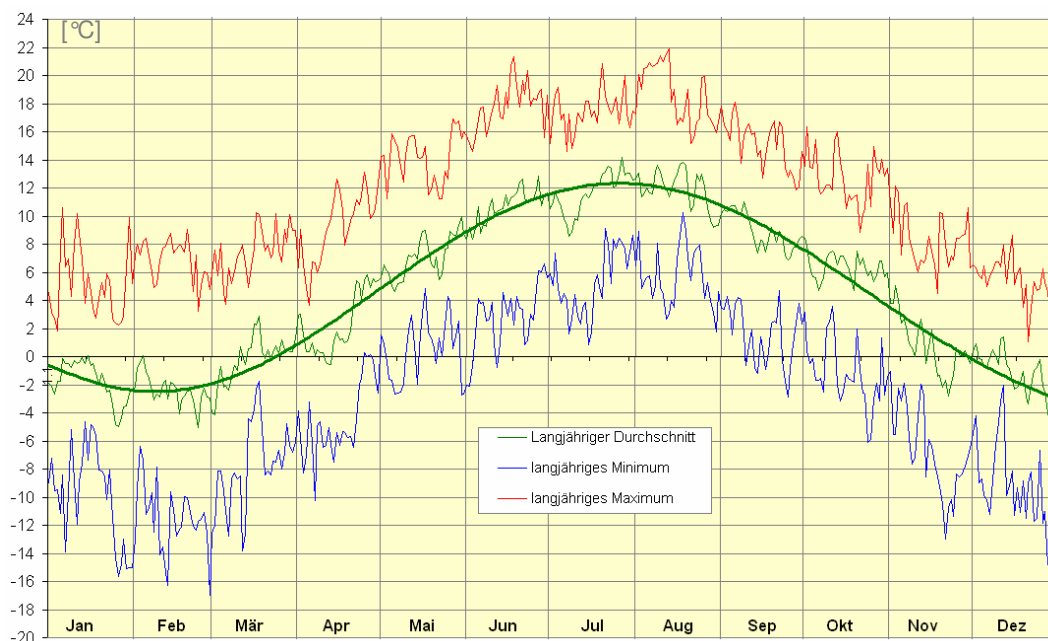
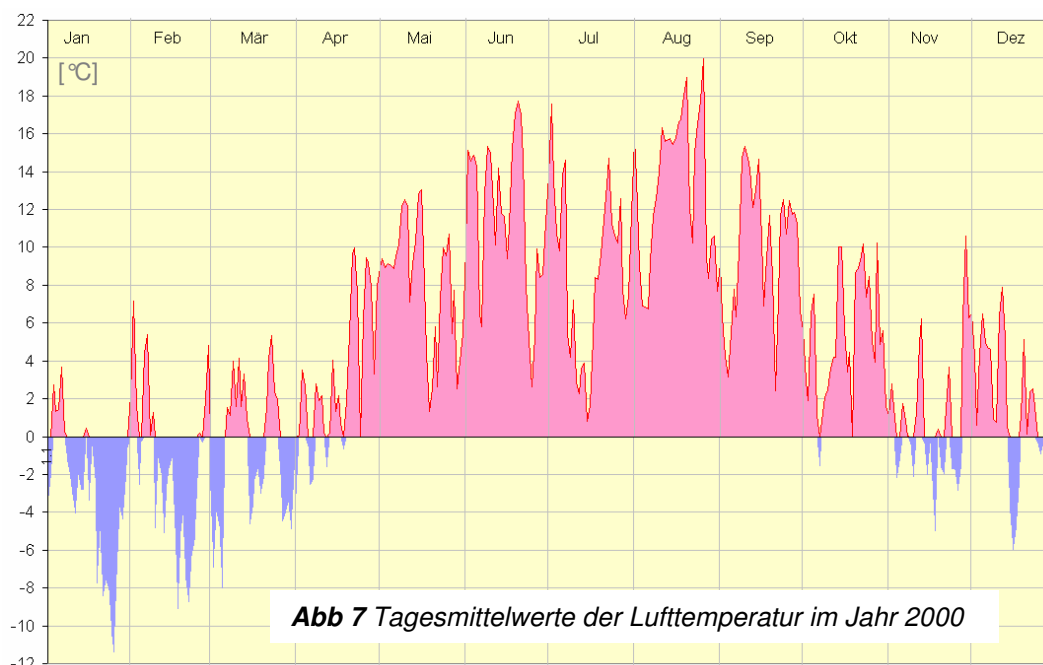


Abb 8 Tagesmittelwerte der Lufttemperatur, November 1995 - April 2007

Der Jahresverlauf weist im Bereich der Waldgrenze von Jahr zu Jahr sehr grosse Unterschiede auf; diese betreffen das Sommer- und Winterhalbjahr. So wurden beispielsweise Mitte Juli Tagesmittelwerte zwischen $+1$ und $+21^{\circ}\text{C}$ gemessen, Mitte Februar solche von -16 und $+9^{\circ}\text{C}$. Es fällt auf, dass in der ersten Hälfte des Monats Juli meistens ein massiver Kälteeinbruch stattfindet.

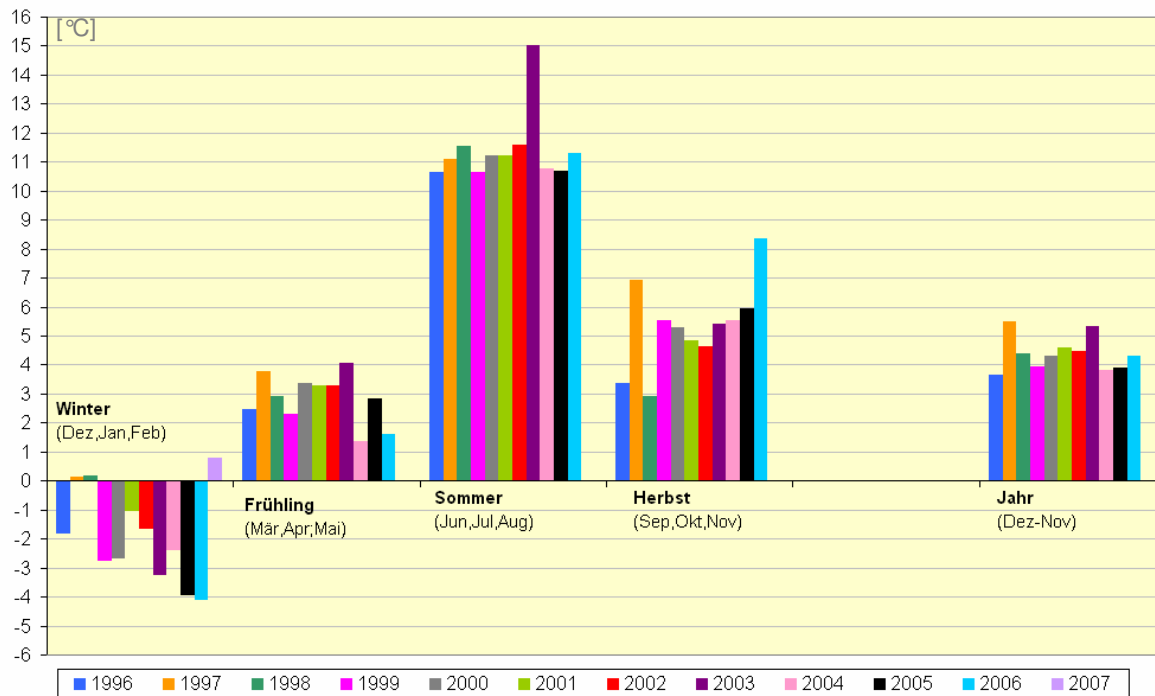


Abb 9 Temperatur-Mittelwerte nach Jahreszeiten (1996 - Winter 2006/07)

Die grossen Schwankungen widerspiegeln sich auch bei den Jahreszeiten. In der Periode 1996 bis 2006 fallen insbesondere der Hitzesommer 2003 auf und der extrem warme Herbst 2006 mit dem darauf folgenden warmen Winter 2006/2007.

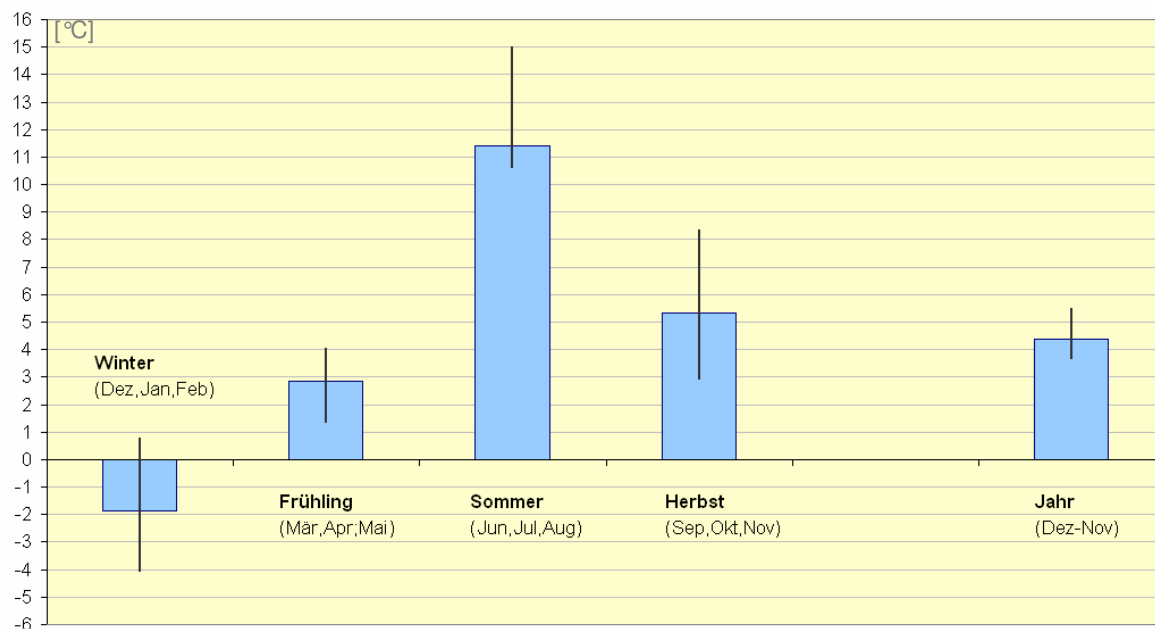


Abb 10 Temperaturen nach Jahreszeiten, Durchschnitt und Amplitude 1996 - Winter 2006/07

Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt im Bereich der Waldgrenze 4.4°C mit einem Schwankungsbereich von 1.8°C (3.7 – 5.5°C). Die Unterschiede innerhalb der einzelnen Jahreszeiten sind erheblich (im Sommer beispielsweise bis 5.4°C)!

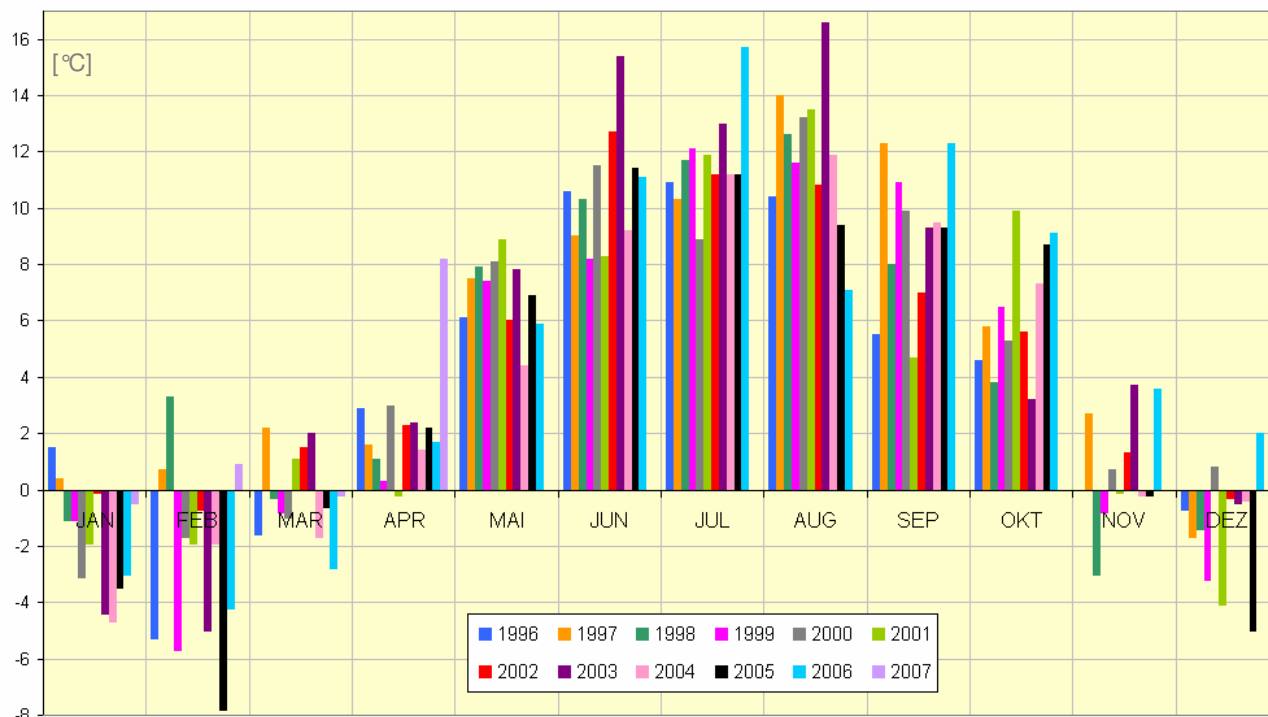


Abb 11 Jährliche Monatsmittelwerte der Lufttemperatur (1996 – April 2007)

Die Monatsmittelwerte können von Jahr zu Jahr sehr stark schwanken. So war beispielsweise der Dezember 2005 mit -5°C der Kälteste, der Dezember 2006 hingegen mit $+2^{\circ}\text{C}$ um 7° wärmer und zugleich der Wärmste in der Messreihe.

Besonders auffällige Extremwerte treten im warmen und im kalten Bereich auf; der bisher grösste „Ausreisser“ war der April 2007 mit einer Durchschnittstemperatur von $+8.2^{\circ}\text{C}$. Auffallend sind auch längere Perioden mit überdurchschnittlichen Temperaturen wie der „Hitzesommer 2003“ und die ausserordentlich lange Warmphase vom Juli 2006 bis Ende April 2007.

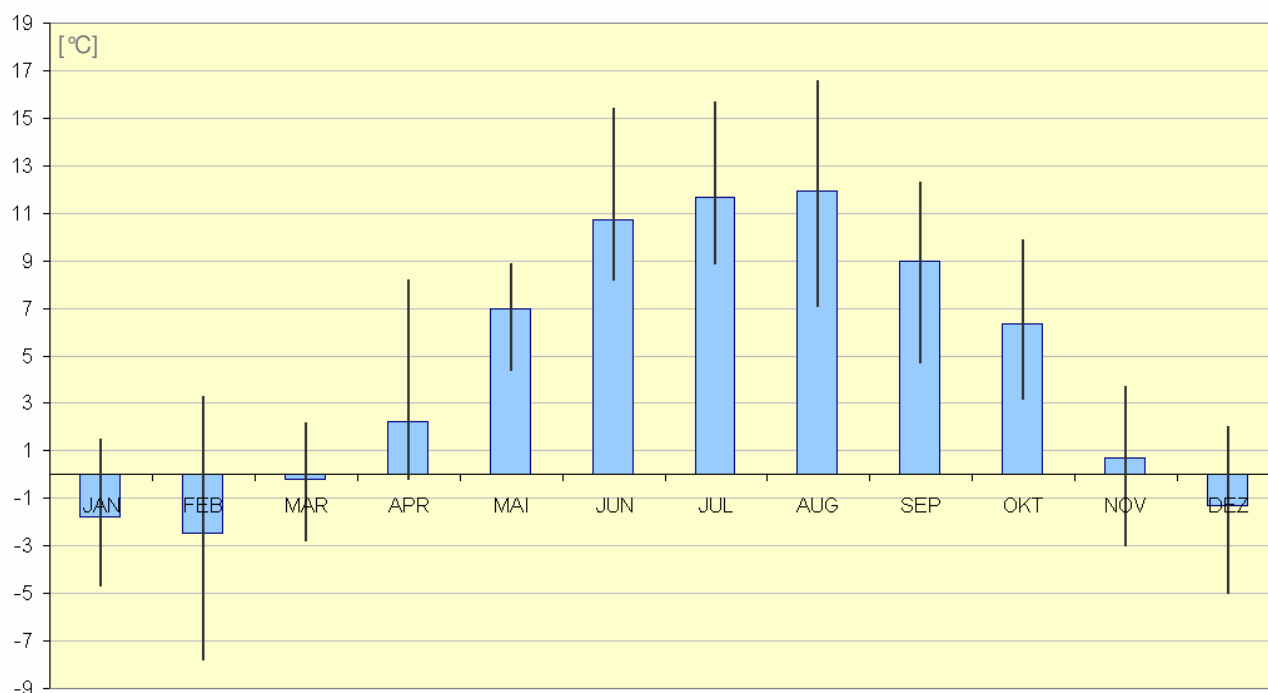


Abb 12 Monatsmittelwerte der Lufttemperatur und deren Amplituden (1996 – April 2007)

Besonders grosse Amplituden weisen die Monate Februar (11.1°C), August (9.5°C) und April (8.4°C) auf. Am ausgeglichensten sind die Monate Mai (4.5°C) und März (5.0°C).

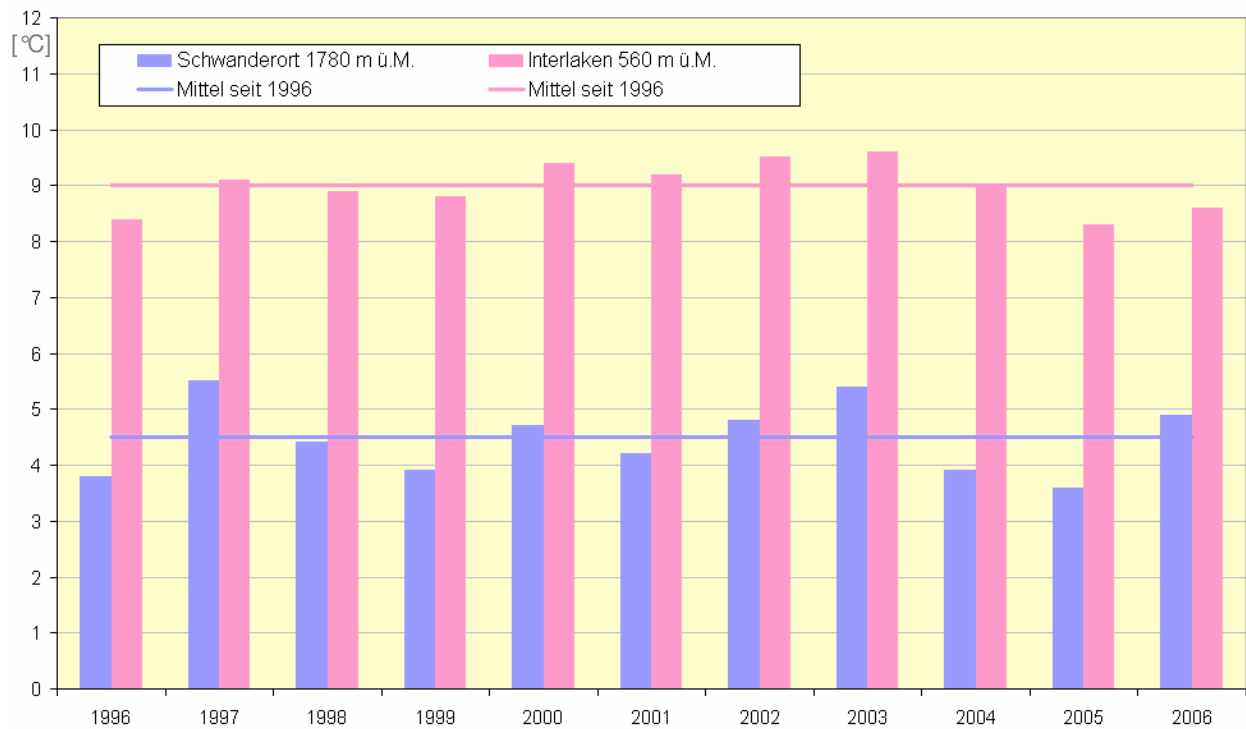


Abb 13 Jahres-Durchschnittstemperaturen: Vergleich Berg/Tal

Die Jahresmitteltemperatur ist in Tallagen (Interlaken, Station MeteoSchweiz) mit 9.0°C genau doppelt so hoch wie im Bereich der Waldgrenze mit 4.5°C; zudem ist die Schwankung mit 1.3°C in Interlaken deutlich geringer als mit 1.9°C auf 1780 m ü.M.

Die Temperaturunterschiede zwischen Berg und Tal sind vor allem in den Sommermonaten gross. Im Herbst und Winter führen Inversionslagen oft zu einem Ausgleich.

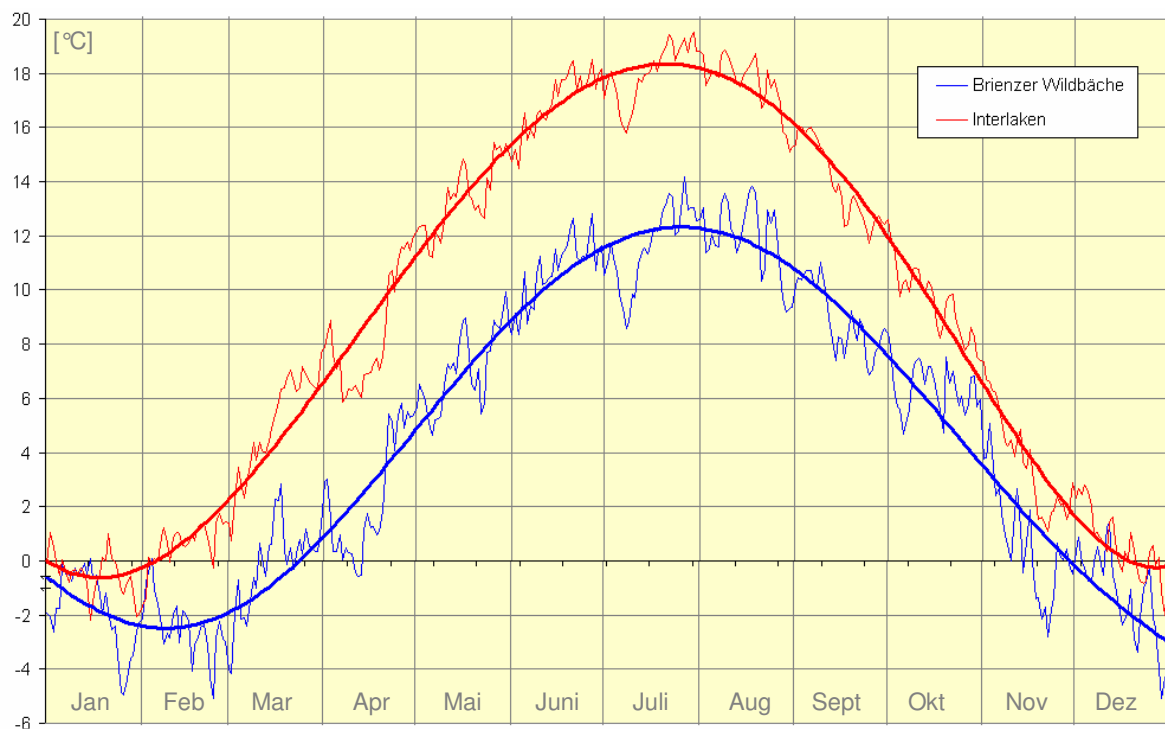


Abb 14 Jahresverlauf der Lufttemperatur (langjährige Tagesmittelwerte): Vergleich Berg/Tal

Die kälteste am Schwanderort gemessene Temperatur betrug -18.7°C , das Maximum $+26.8^{\circ}\text{C}$; die entsprechende Differenz beträgt 45.5°C . Die Höchstwerte sind zwischen dem 7. Juni und dem 25. August gemessen worden, die tiefsten Temperaturen zwischen dem 22. November und dem 12. März.

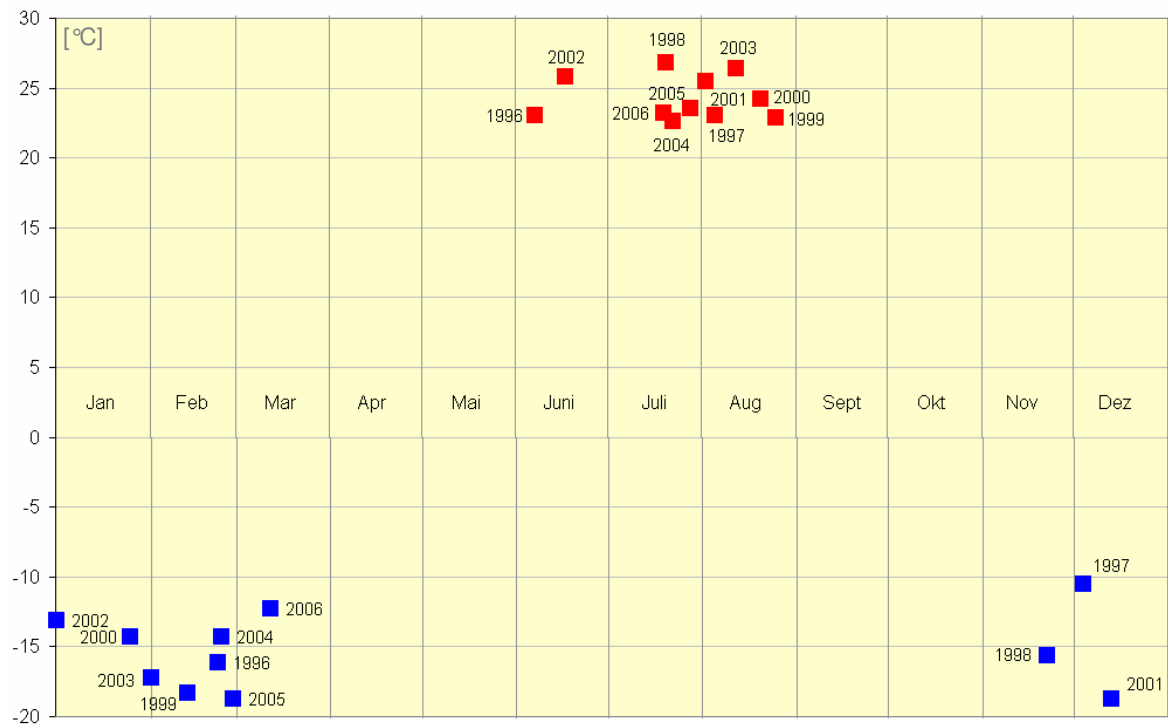


Abb 15 Jährliche Temperaturminima und –maxima



Abb 16 Mit -18.7°C wurde am 28. Februar 2005 um 07.18 Uhr die bisher kälteste Temperatur gemessen (Tagesmittelwert: -17.0°C , Tageshöchstwert: -14.8°C)

2.3 Bodentemperaturen

In der Aufforstungsfläche Schwanderort sind 3 cm unter der Bodenoberfläche und in 30 cm Tiefe Temperaturlogger vergraben, die über das ganze Jahr die Bodentemperaturen messen und aufzeichnen. Diese Tiefen entsprechen der Lage der Wurzeln von Keimlingen/Sämlingen resp. von gepflanzten Nacktwurzlerpflanzen.

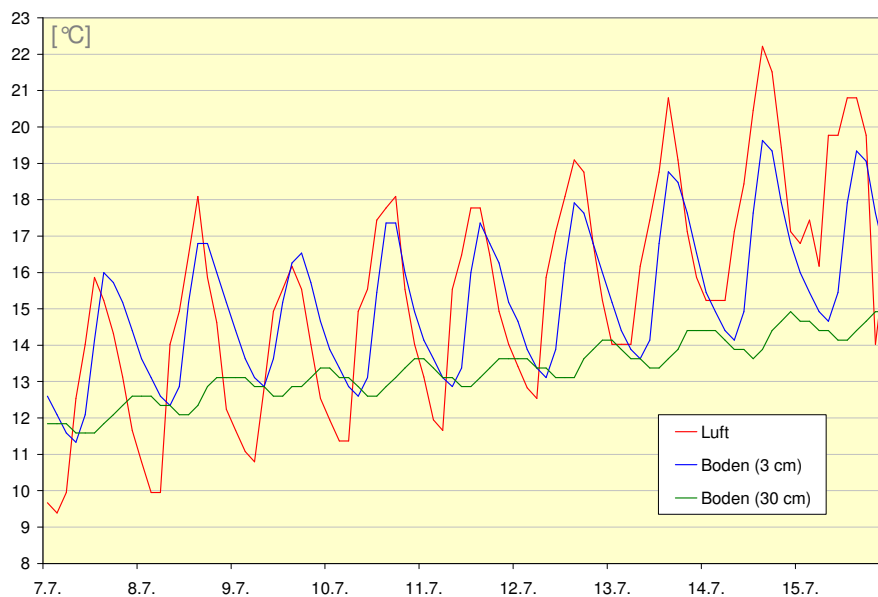


Abb 17 Vergleich Luft- und Bodentemperaturen (Juli 2003)

Die Temperaturen nahe unter der Bodenoberfläche folgen im Sommer mit einer leicht kleineren Amplitude und ein wenig zeitlich verzögert weitgehend den Schwankungen der Lufttemperatur. Kurzfristige, vorübergehende Änderungen der Lufttemperatur z.B. infolge von vorüberziehenden Wolken sind im Boden nicht feststellbar.

In 30 cm Tiefe sind die Schwankungen wesentlich geringer und zeitlich noch mehr verzögert.

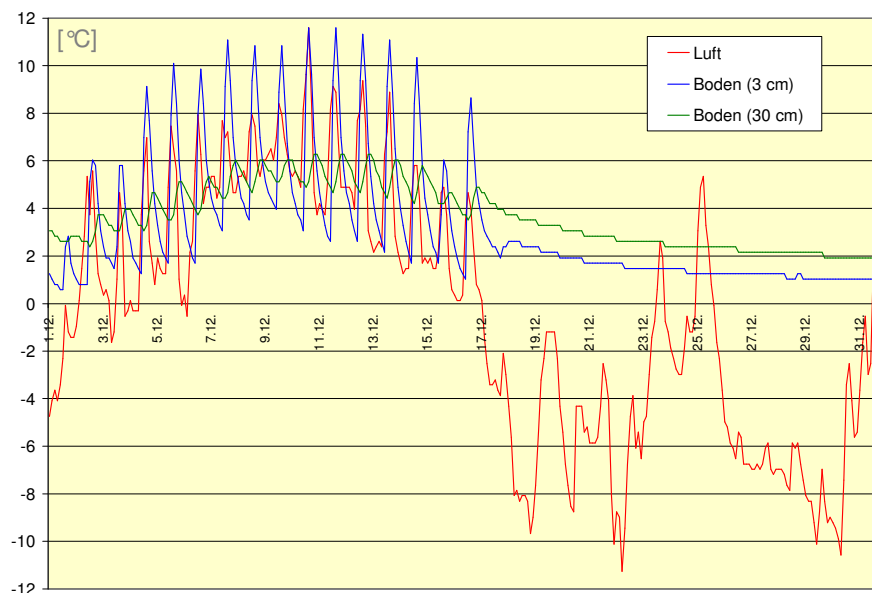


Abb 18 Vergleich Luft- und Bodentemperaturen (Dezember 2004)

Im Winter können die Tagesschwankungen knapp unter der Bodenoberfläche wegen nächtlicher Abstrahlung und Wärmeaufnahme tagsüber grösser sein als bei der Lufttemperatur. Gut sichtbar ist der Einfluss des Schnees, der die täglichen Temperaturschwankungen im Boden schlagartig stoppt.

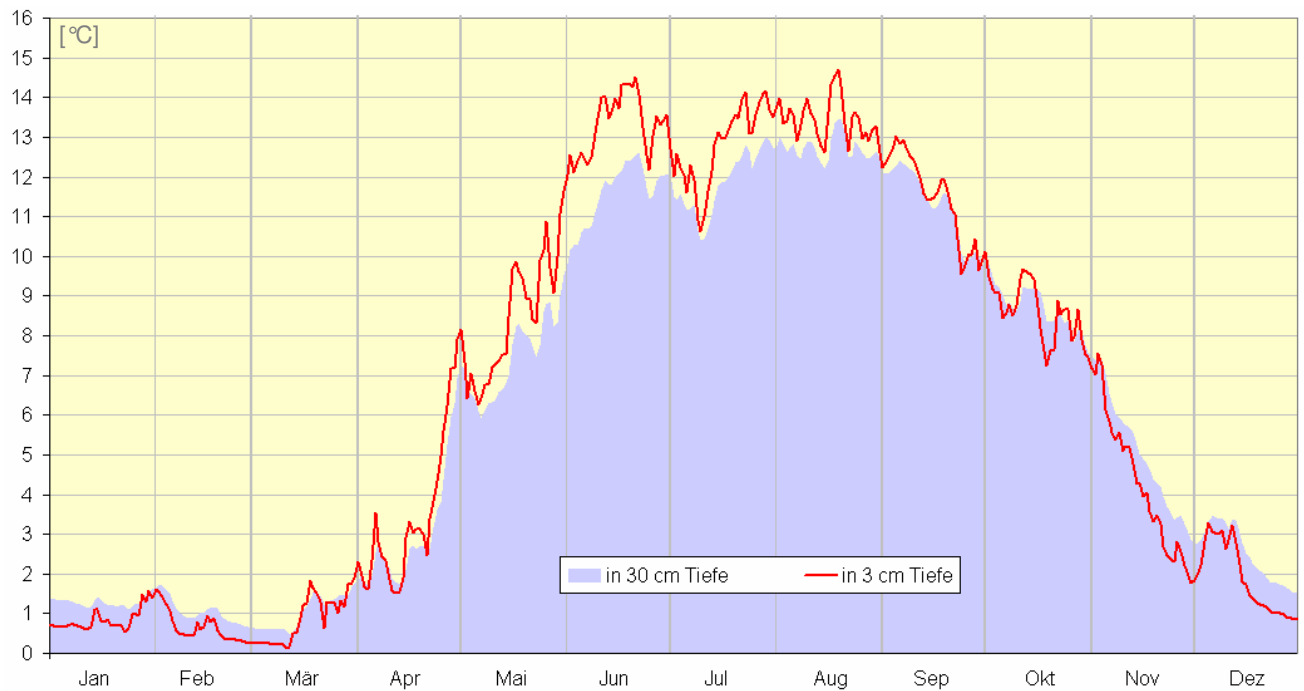


Abb 19 Langjährige Tagesmittelwerte der Bodentemperaturen in unterschiedlichen Tiefen

Im Sommerhalbjahr ist der Boden knapp unter der Oberfläche wärmer als in 30 cm Tiefe, im Winter ist das Verhältnis gerade umgekehrt.

Die Minimaltemperaturen sind sowohl im Sommer wie im Winter fast ausnahmslos in 3 cm unter der Bodenoberfläche markant tiefer als in 30 cm Tiefe. Die kältesten gemessenen Temperaturen betrugen in 3 cm Tiefe -0.5°C in 30 cm $+0.1^{\circ}\text{C}$.

Die Amplitude im warmen Bereich ist nahe der Bodenoberfläche wesentlich grösser als in 30 cm Tiefe. Die gemessenen Maximalwerte betragen 25.2°C resp. 17.1°C .

Die über 10 Jahre gemessenen durchschnittlichen Bodentemperaturen unterscheiden sich in 3 und 30 cm Tiefe mit rund $+6^{\circ}\text{C}$ kaum, hingegen sind sie im Sommerhalbjahr in 3 cm etwa ein halbes Grad wärmer als in 30 cm, im Winter gerade umgekehrt.

Fazit: Die Temperaturen sind schon in 30 cm Tiefe wesentlich ausgeglichener als unmittelbar unter der Bodenoberfläche. In 3 cm Tiefe kann Frost auftreten, in 30 cm bereits nicht mehr. Der Temperaturverlauf schwankt im Wurzelbereich von Keimlingen/Sämlingen signifikant auffälliger als im Bereich der Feinwurzeln von gepflanzten Fichten.



Abb 20, 21, 22 Anordnung der Temperaturlogger: Luft, Boden 3 und 30 cm

2.4 Frost

Frost kann für Pflanzen sehr problematisch sein. Einerseits stellen Spätfröste für die frisch ausgetriebenen Pflanzen eine Gefahr dar, andererseits können Frühfröste die neuen Jahrestriebe noch vor deren Verholzung gefährden. In hohen Lagen tritt Frost zudem nicht selten mitten in der Vegetationsperiode auf.

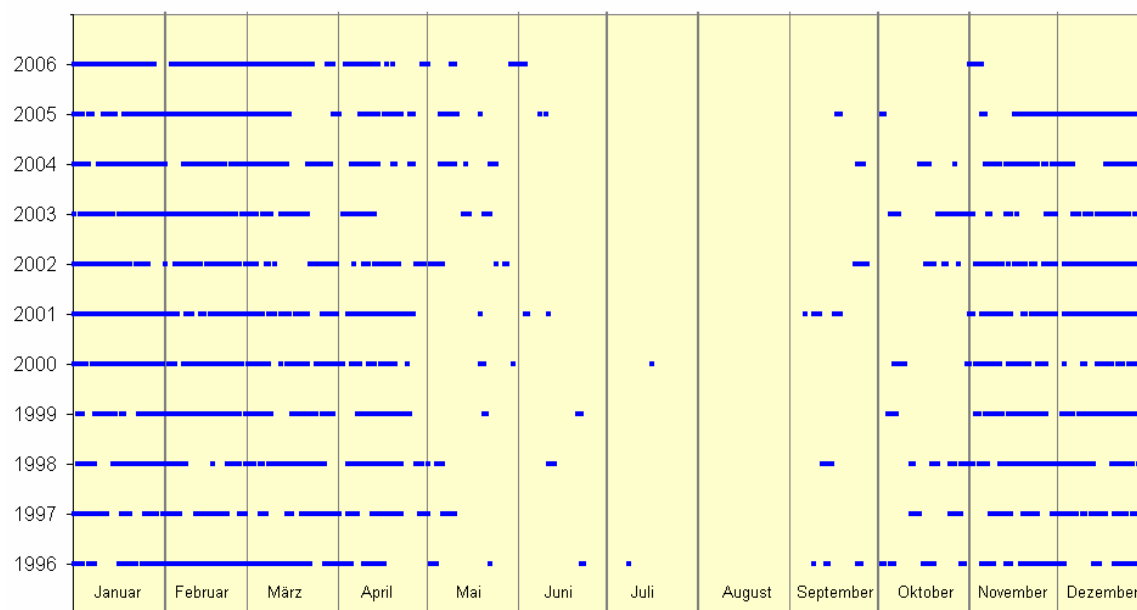


Abb 23 Frosttage ($T_{min} < 0\text{ °C}$) im Jahresverlauf

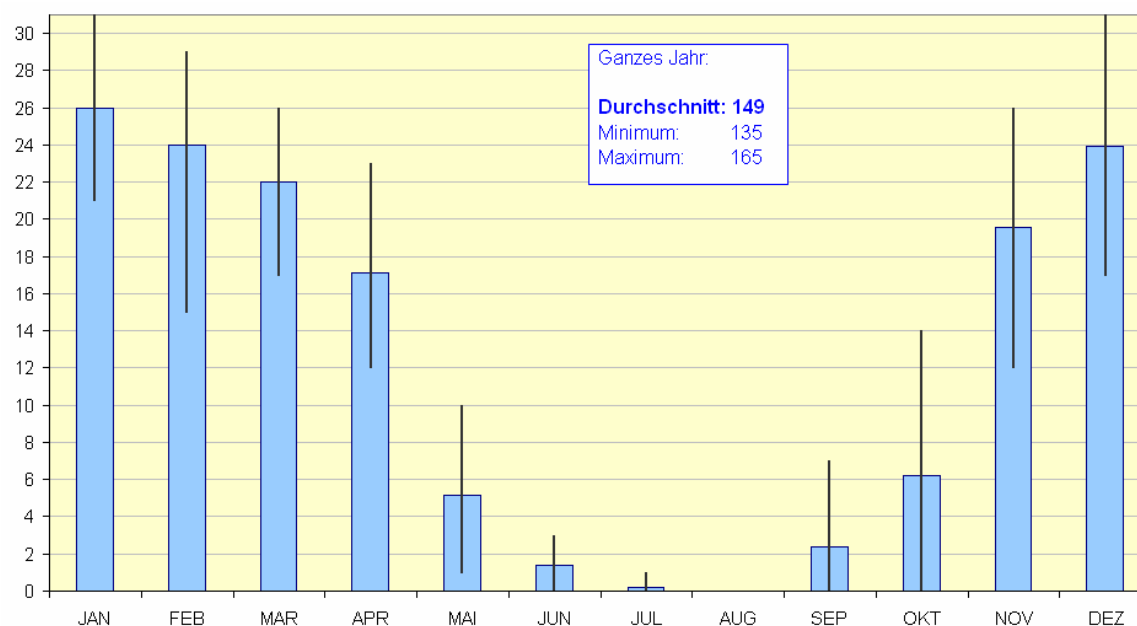


Abb 24 Anzahl Tage mit Frost ($T_{min} < 0\text{ °C}$) pro Monat 1996-2006

Die Unterschiede von Jahr zu Jahr sind sehr gross! So kann beispielsweise der Oktober völlig frostfrei sein, oder aber an 14 Tagen Frost aufweisen. In der 10-jährigen Messreihe wurden einzig im August noch nie Temperaturen unter 0 °C gemessen.

Die Auswertungen bei länger anhaltendem Frost (Tagesmitteltemperatur $< 0\text{ °C}$) ergeben folgendes Bild für die 10-jährige Auswerteperiode: Im Durchschnitt 89 Tage/Jahr (Minimum 78, Maximum 111).

Eistage ($T_{max} < 0\text{ °C}$): Im Durchschnitt 61 Tage/Jahr (Minimum 36, Maximum 84).

2.5 Schnee/Gleitschnee

Die Winter sind im Bereich der Waldgrenze in der Regel – speziell für Pflanzen und Tiere - sehr hart. Die Unterschiede können aber von Jahr zu Jahr gross sein.



Abb 25 Winteransicht aus dem Helikopter (28.2.2005)

Da Schnee ausgezeichnet isoliert, kann aufgrund der Differenz der täglichen Minimal- und Maximaltemperaturen unmittelbar unter der Bodenoberfläche zuverlässig abgeleitet werden, ob Schnee vorhanden ist (vgl. Kap. 2.3).

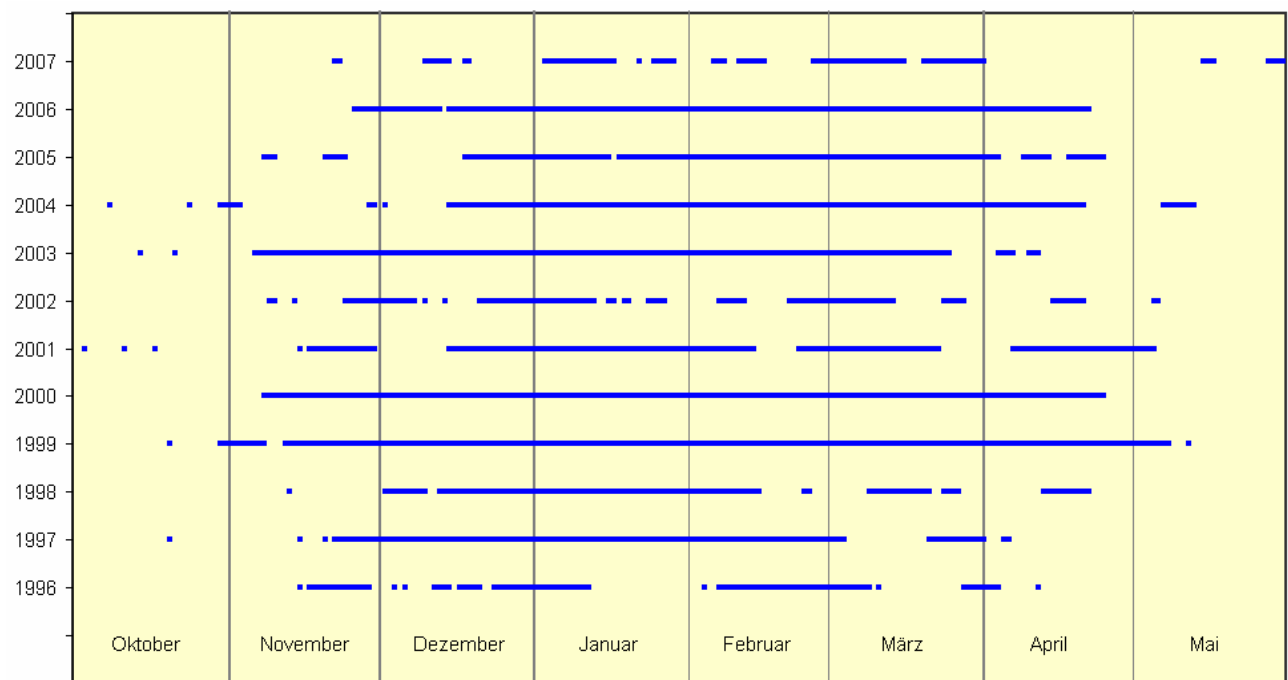


Abb 26 Schneebedeckung Winter 1995/96-2006/07

Die Winter unterscheiden sich sehr stark bezüglich Zeitpunkt des Einschneiens, Zeitpunkt der Ausaperung und der Länge. Es fällt auf, dass selbst im Januar/Februar (längere) schneefreie Perioden auftreten können.

Total Oktober - Mai:
 Durchschnitt: 129 Minimum: 79 Maximum: 190

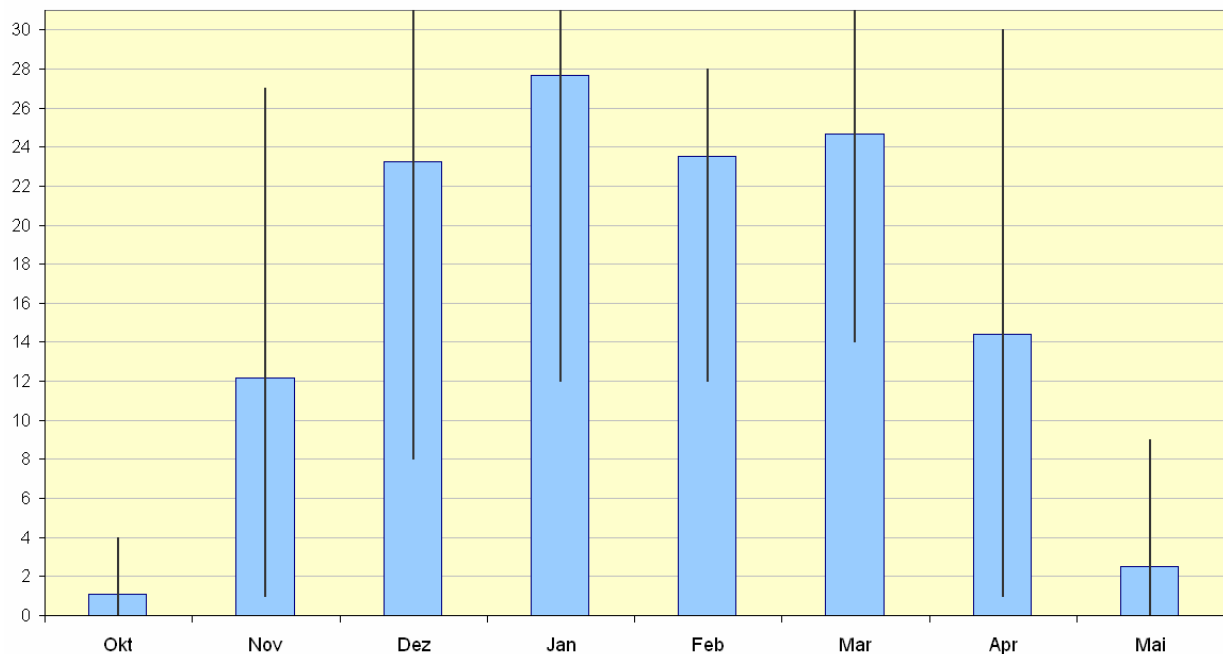


Abb 27 Anzahl Tage mit Schnee, Winter 1995/96-2006/07

Insbesondere im Früh- und Spätwinter kann die Schneebedeckung von Jahr zu Jahr ausgesprochen stark variieren. So kann beispielsweise im April durchgehend eine Schneedecke vorhanden sein (Winter 1999) oder aber nur an einem Tag (2007).

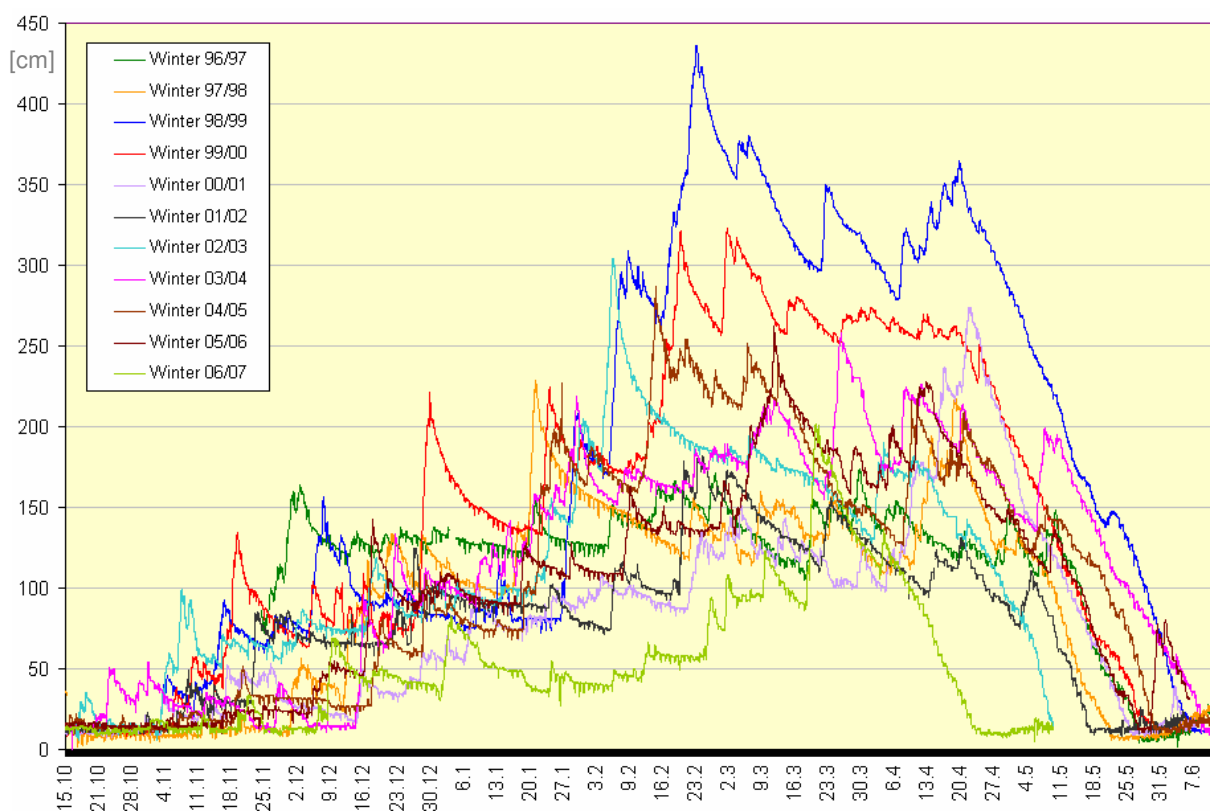


Abb 28 Schneehöhen IMIS-Station Rotschalp (1870 m ü.M.)

Auch die Schneehöhe variiert sehr stark, wie das Beispiel der 4 km entfernten automatischen Schneemessstation Rotschalp zeigt.



Abb 29 Schneearmut am 22. Februar 2007



Abb 30 Viel Schnee und Wechte am 10. März 2005

Grosse Schneemengen bedeuten für Aufforstungen eine sehr grosse Auflast; während der Setzung der Schneedecke wirken enorme Kräfte auf die Pflanzen, was beispielsweise zum Abbrechen von Seitenästen führen kann.

Die Schneeablagerung in der Aufforstung am Schwanderort ist je nach Lage innerhalb des „Chäneli“ sehr unterschiedlich. Das am 25. Februar 2003 von Osten nach Westen aufgenommene Schneeprofil verdeutlicht diese Zusammenhänge.

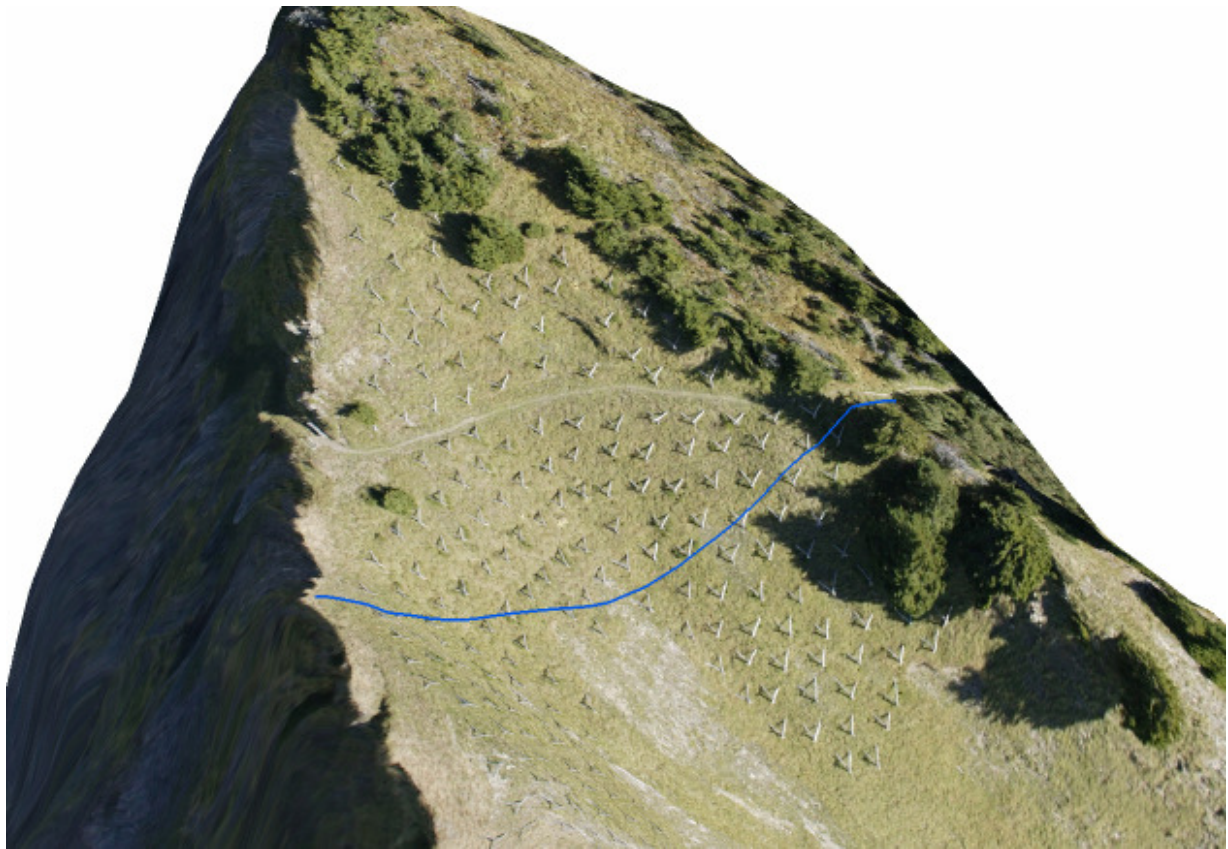


Abb 31 Linie der Schneeprofilaufnahme vom 25.2.2003

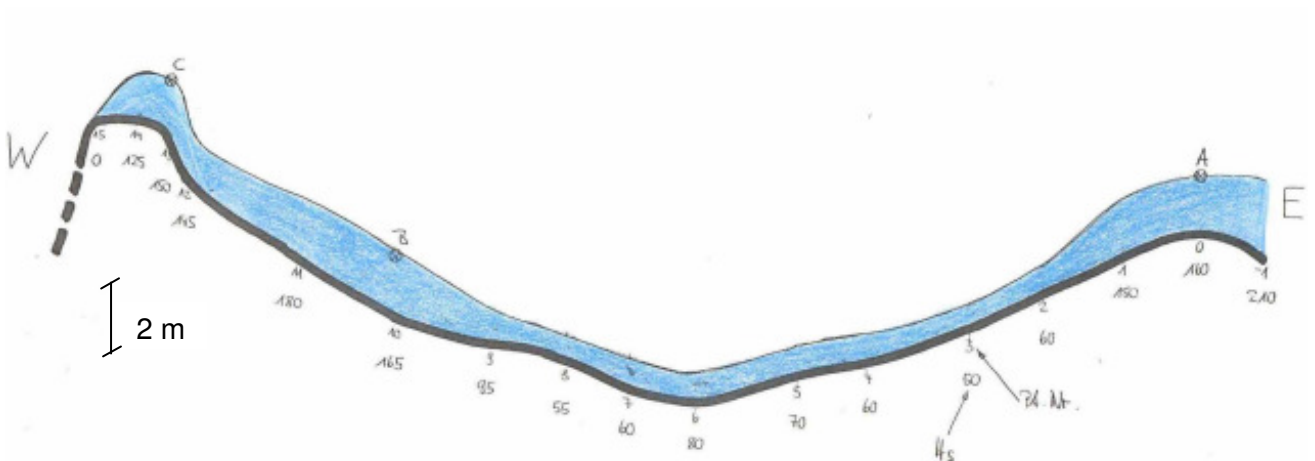


Abb 32 Schneeprofil vom 25.2.2003

Intensive Schneefälle erfolgen hauptsächlich bei West-/Nordwestwindlagen. Gut zu erkennen ist der Einfluss der Krite im Westen, die zu einer Wechtenbildung (Punkt C) und Tribschneeablagerungen im Windschatten (Punkt B) führt. In diesem Bereich erfolgt im Frühjahr eine markant spätere Ausaperung.



Abb 33 Abgebrochene Seitenäste infolge Setzung der Schneedecke

Zusätzlich zur Setzung, die am Hang zum „Kriechen“ führt, kann sich die Schneedecke insbesondere an südexponierten Hängen auf glattem (langes Gras, Felsplatten), nassem Untergrund langsam (mm bis m pro Tag) hangabwärts bewegen. Beim Auftreten von Schneegleiten werden Pflanzen talwärts gestossen/gebogen, was bei jungen Pflanzen im Extremfall zum Ausreissen, bei älteren zum Aufspalten oder Bruch führen kann.



Abb 34 Schneegleiten unterhalb der Dreibeinböcke

Technisch kann das Schneegleiten mit dem Einbau von Dreibeinböcken aus dauerhaftem Edelkastanienholz weitgehend verhindert werden.



Abb 35 Gleitschneeverbau mit Dreibeinböcken



Abb 36 Jungpflanze im Schutz eines Dreibeinbocks



Abb 37 Extremes Schneegleiten kann auch an Dreibeinböcken Schäden verursachen

2.6 Regen

Auf der Gibelegg werden im Einzugsgebiet des Schwanderbachs im Sommerhalbjahr die Niederschläge auf 1700 m ü.M. mit einem automatischen Regenmesser gemessen und elektronisch gespeichert.

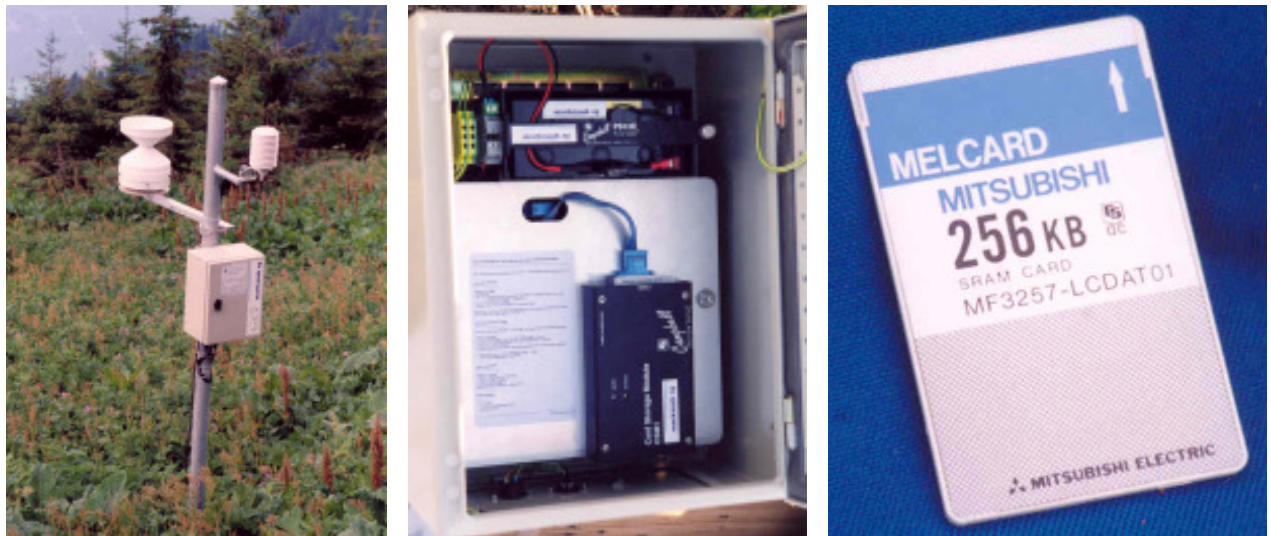


Abb 38, 39, 40 Regenmesser ARG100, CR500 Datalogger, Memory-Card

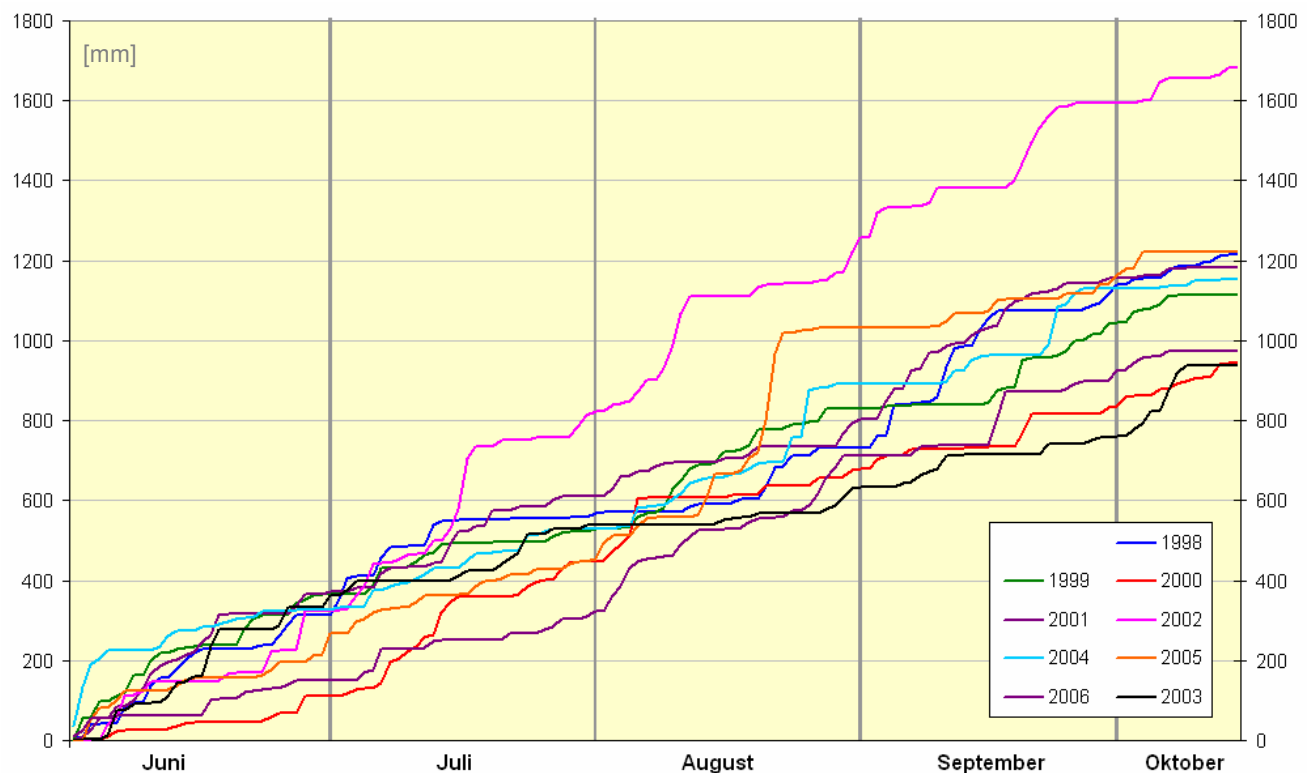


Abb 41 Sommerniederschläge 1998-2006 (jeweils 1. Juni – 15. Oktober)

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren sind beträchtlich: Mit 1681 mm im Jahr 2002 und 938 mm im Jahr 2003 folgten zwei Extremwerte unmittelbar aufeinander. Der neunjährige Durchschnittswert beträgt rund 1100 mm.

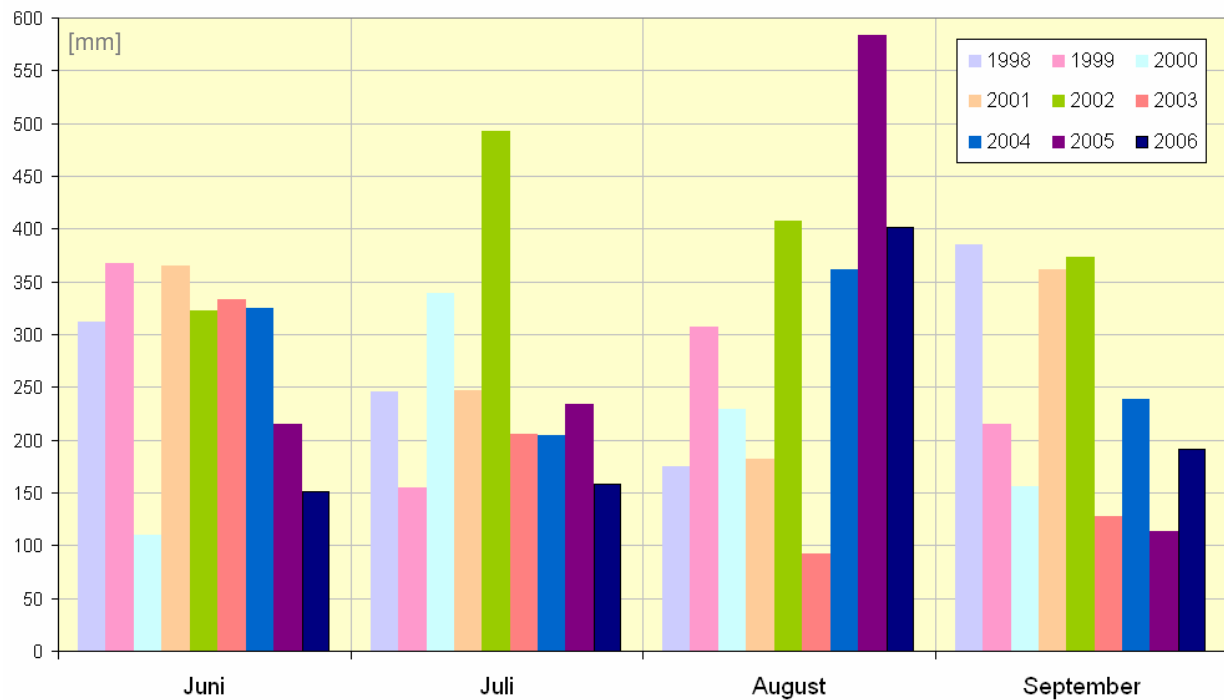


Abb 42 Monatliche Niederschlagssummen 1998-2006

Die Niederschläge unterscheiden sich nicht nur in der Summe über den ganzen Sommer, sondern auch sehr stark in der Verteilung über die Monate.

Im August 2005 hat es beispielsweise mehr als 6x soviel geregnet wie im August 2003.

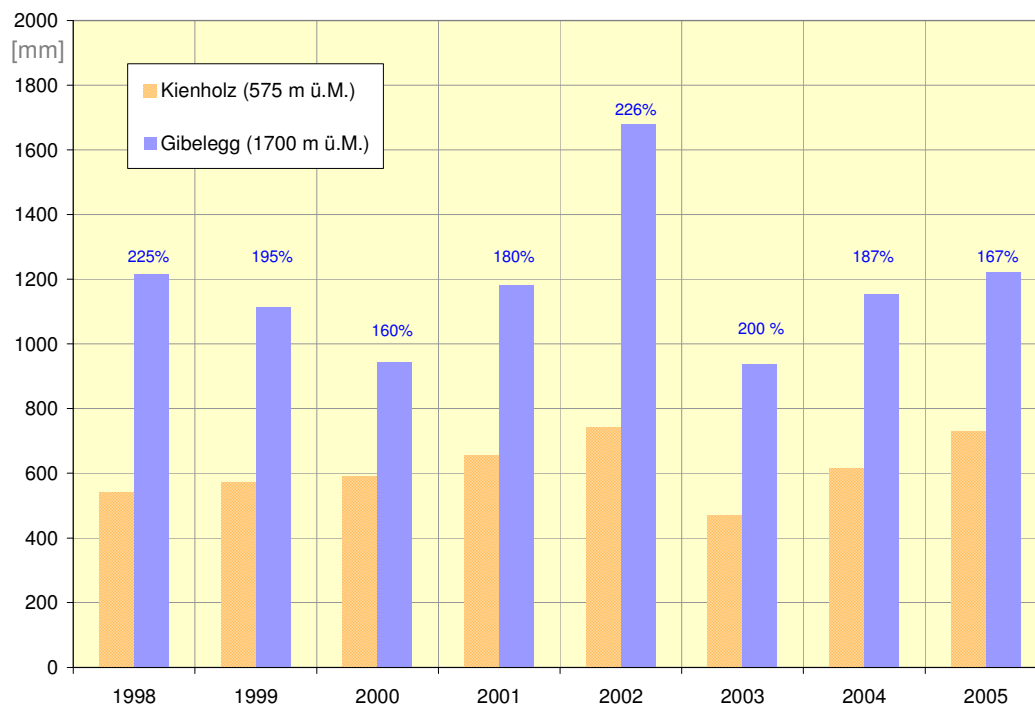


Abb 43 Niederschlagssummen vom 1. Juni – 15. Oktober, Vergleich Hoch- und Tallage (absolut und in Prozent)

Im achtjährigen Durchschnitt regnet es auf 1700 m ü.M. rund doppelt soviel (193%) wie auf 575 m. Der mit diesem Faktor von Kienholz hochgerechnete Jahresniederschlag beträgt in hohen Lagen rund 2'500 mm. Die Niederschläge sind somit in Hochlagenaufforstungen in der Regel kaum ein Minimumfaktor; allerdings kann es Probleme geben, wenn nach der Pflanzung lange Zeit kaum Regen fällt.

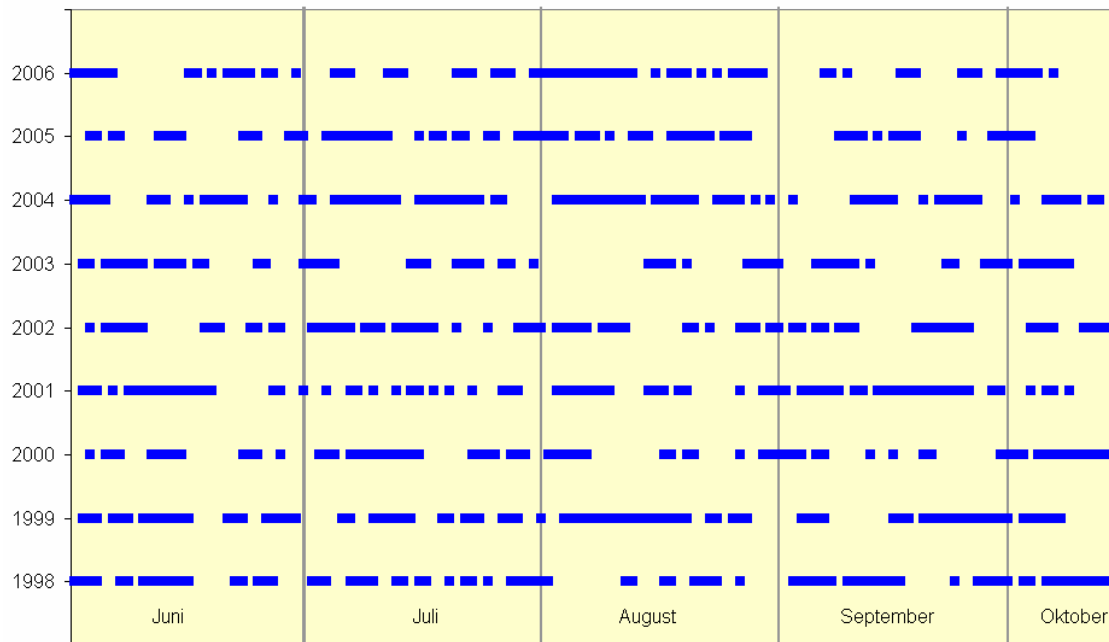


Abb 44 Regentage vom 1. Juni – 15. Oktober

Im Durchschnitt wurden vom Regenmesser während des Sommerhalbjahres an 55 % der Tage Niederschlag (mindestens 0.5 mm/Tag) registriert (minimal 45 und maximal 62 %).

2.7 Vegetationszeit

Damit eine Pflanze wachsen und verholzen kann, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Ein wichtiger Faktor ist die Lufttemperatur. In der Literatur wird ein „Vegetationstag“ oft wie folgt definiert: Die Tagesmitteltemperatur muss mindestens + 10 °C betragen.

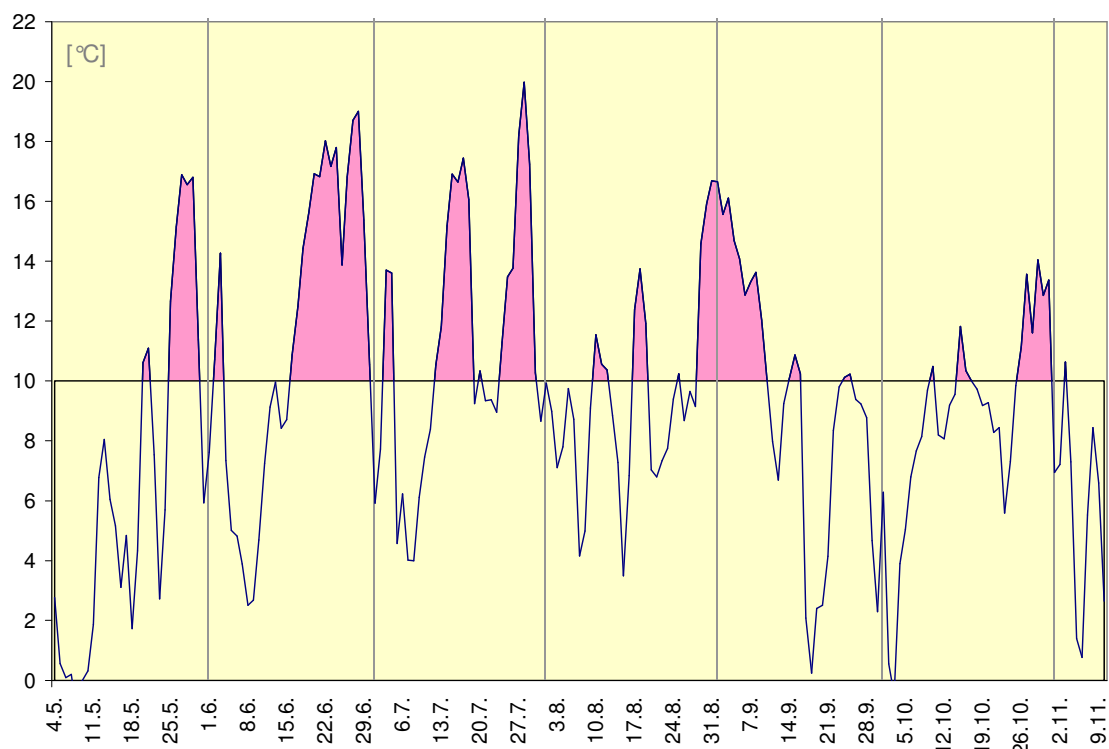


Abb 45 Tagesmittelwerte der Lufttemperatur (2005) – Vegetationstage (>10 °C)

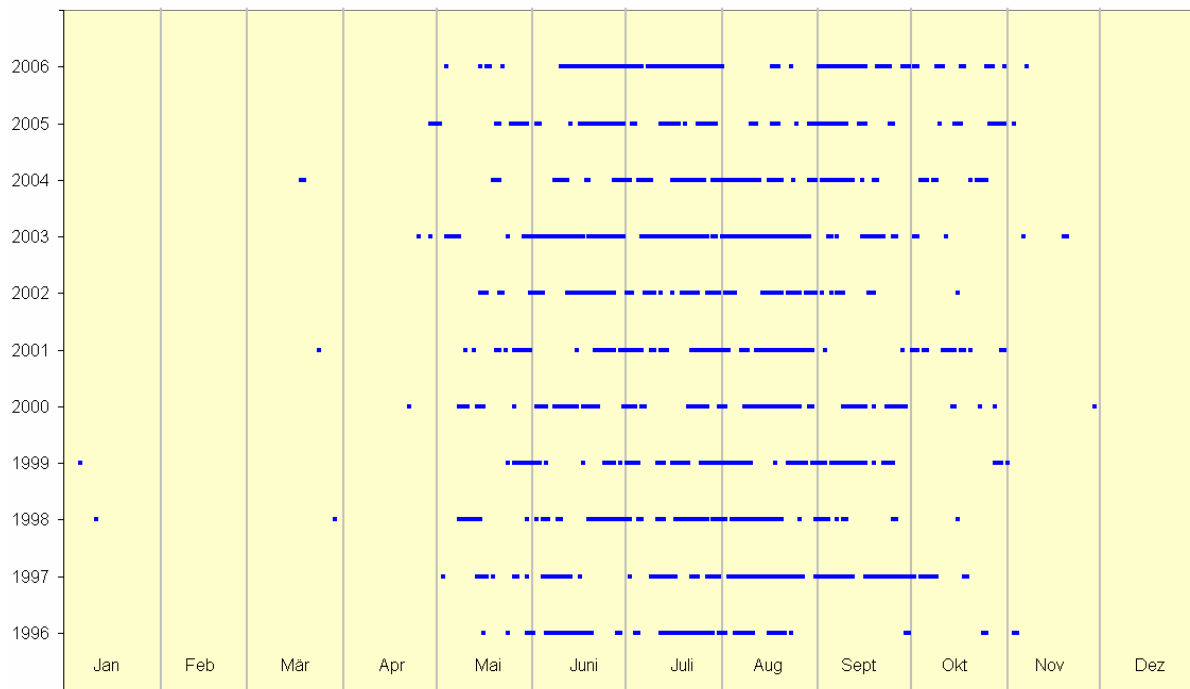


Abb 46 Vegetationstage auf 1780 m ü.M., 1996 - 2006

Beginn, Dauer und Ende der Vegetationszeit variieren von Jahr zu Jahr sehr stark. Es fällt auf, dass in der ersten Hälfte Juli immer wieder Kälteeinbrüche vorkommen. Der zehnjährige Durchschnitt beträgt 86 Vegetationstage pro Jahr, das Minimum 66 und das Maximum 113.

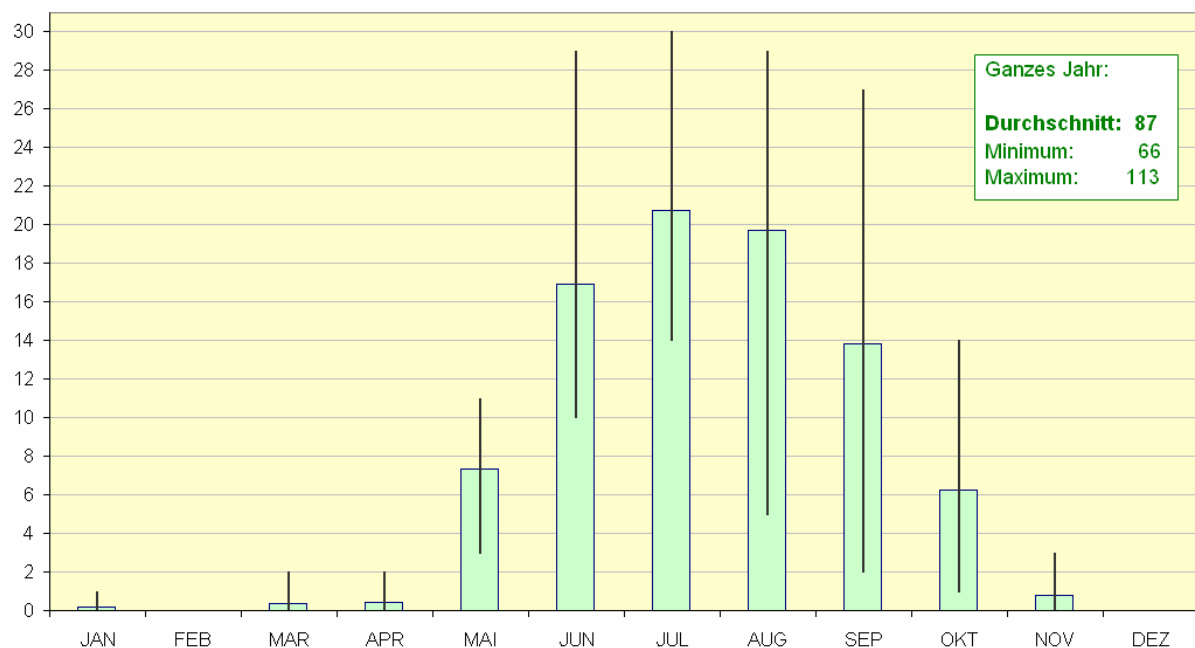


Abb 47 Anzahl Vegetationstage nach Monaten auf 1780 m ü.M., 1996 – 2006
Durchschnittswerte (Säulen) und Streubereiche.

Die Unterschiede sind auch innerhalb der Monate extrem gross. So wies beispielsweise der September 1996 nur gerade 2 Vegetationstage auf, im folgenden Jahr deren 27. In den 10 beobachteten Jahren gab es nie einen Sommermonat, an dem die mittlere Temperatur an allen Tagen mindestens 10°C betrug; im Juli wurden maximal 24 Vegetationstage gemessen. Im April 2007 lag die Tagesdurchschnittstemperatur an 11 (!) Tagen über 10°C.

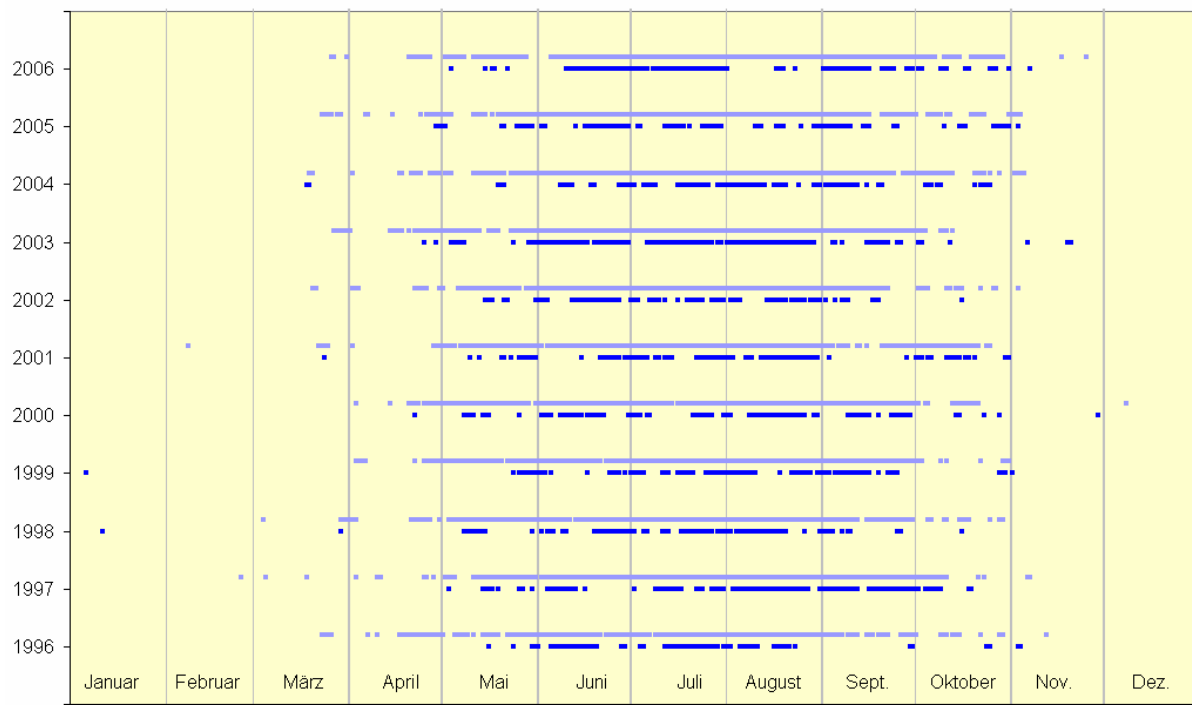


Abb 48 Vegetationstage auf 1780 m ü.M. (dunkelblau) und auf 560 m ü.M. (hellblau)

In tiefen Lagen setzen günstige Wuchsverhältnisse wesentlich früher im Jahr ein, werden kaum unterbrochen und dauern wesentlich länger. Der Stress, das Wachstum und die Verholzung innerhalb der kurzen und unregelmässigen Vegetationszeit abzuschliessen ist für die Pflanzen in Hochlagen enorm gross.

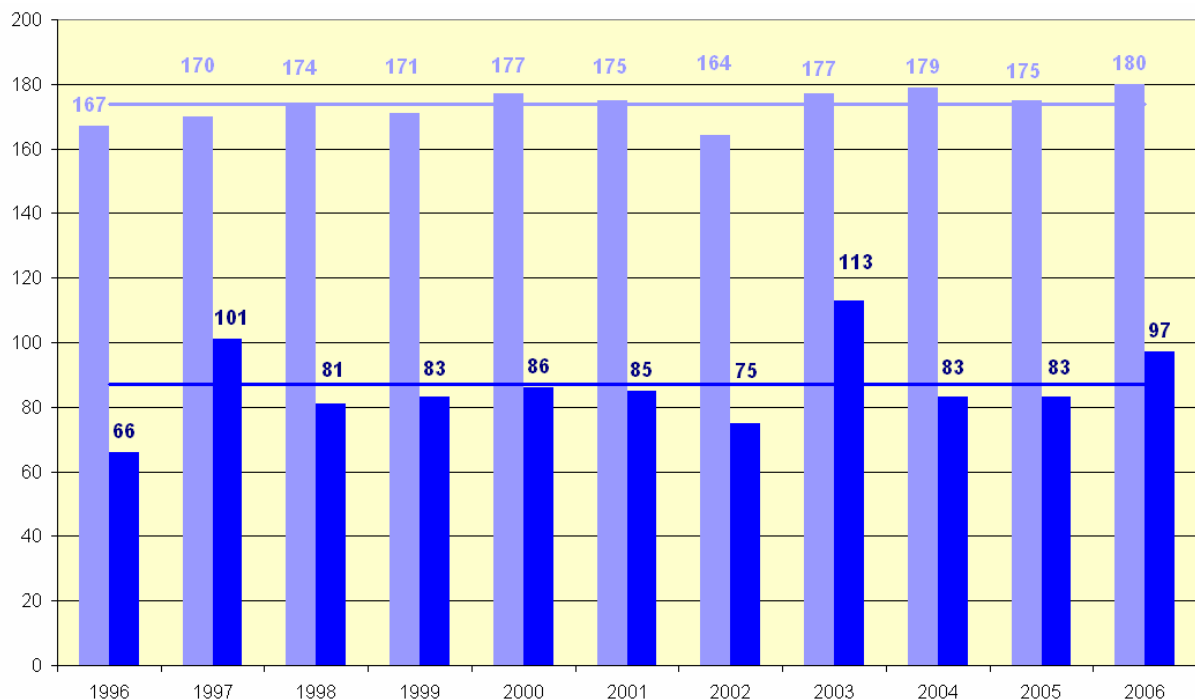


Abb 49 Jährliche Anzahl Vegetationstage auf 1780 m ü.M. (dunkelblau) und auf 560 m ü.M. (hellblau); Linien: Durchschnittswerte

Die durchschnittliche Vegetationszeit dauert in Hochlagen mit 86 Tagen nur halb so lang wie in tiefen Lagen (Interlaken: 173 Tage).

Zudem ist die Streuung im Bereich der Waldgrenze mit 66 bis 113 Tagen (Faktor 1.7) wesentlich grösser als auf 560 m ü.M. mit 164 bis 180 Tagen (Faktor 1.1).

Die Vermutung liegt nahe, dass die eingangs dieses Kapitels zitierte Definition der „Vegetationstage“ (+10°C Tagesmitteltemperatur) für angepasste Hochlagenpflanzen zu restriktiv ist.

2.8 Wildverbiss

In der Versuchsfläche Schwanderort halten sich regelmässig Steinwild und Gamsen auf. Sämtliche Pflanzen werden jährlich zweimal auf den Verbiss an den Gipfeltrieben untersucht. Die Feldaufnahmen erfolgen jeweils im Frühjahr und im Spätherbst; dieses Vorgehen erlaubt separate Auswertungen über Winter- und Sommerverbiss.



Abb. 50 Sogar im Hochwinter sind Gamsen am Schwanderort anzutreffen (das Bild wurde von einer automatischen Kamera aufgenommen)

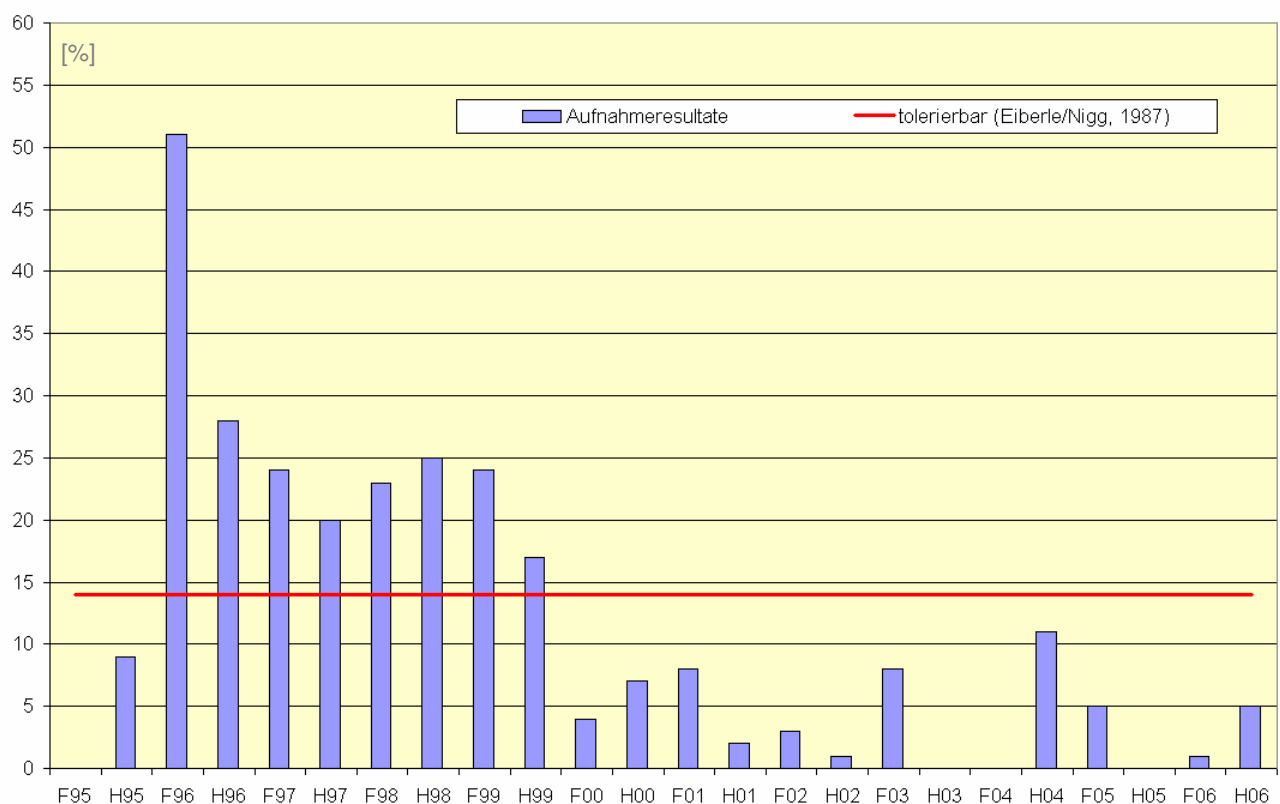


Abb 51 Verbiss an Gipfeltrieben (Anteil in %, F=Frühjahr, H=Herbst, 97=1997)

Es ist allgemein bekannt, dass „frische Pflanzen“ aus den Forstbaumschulen für das Wild sehr attraktiv sind. Im ersten Sommer nach der Pflanzung war fast jede zehnte Pflanze am

Gipfeltrieb verbissen, nach dem ersten (schneearmen) Winter waren es mehr als die Hälfte! In den ersten vier Jahren lag das Verbissprozent immer über dem nachhaltig tolerierbaren Wert von 14% (Eiberle/Nigg, 1987). In der Folge haben sich Seitentriebe aufgerichtet und die Funktion der verbissenen Gipfeltriebe übernommen. Seit dem fünften Jahr nach der Pflanzung ist der Verbiss für die Aufforstung kein wesentliches Problem mehr. Beim ermittelten Sommerverbiss gilt zu beachten, dass vermutlich nicht nur frische Verbisschäden, sondern teilweise auch solche aus dem vorangehenden Winter nochmals erfasst wurden. Die entsprechenden Werte sind somit tendenzmässig (deutlich?) zu hoch.

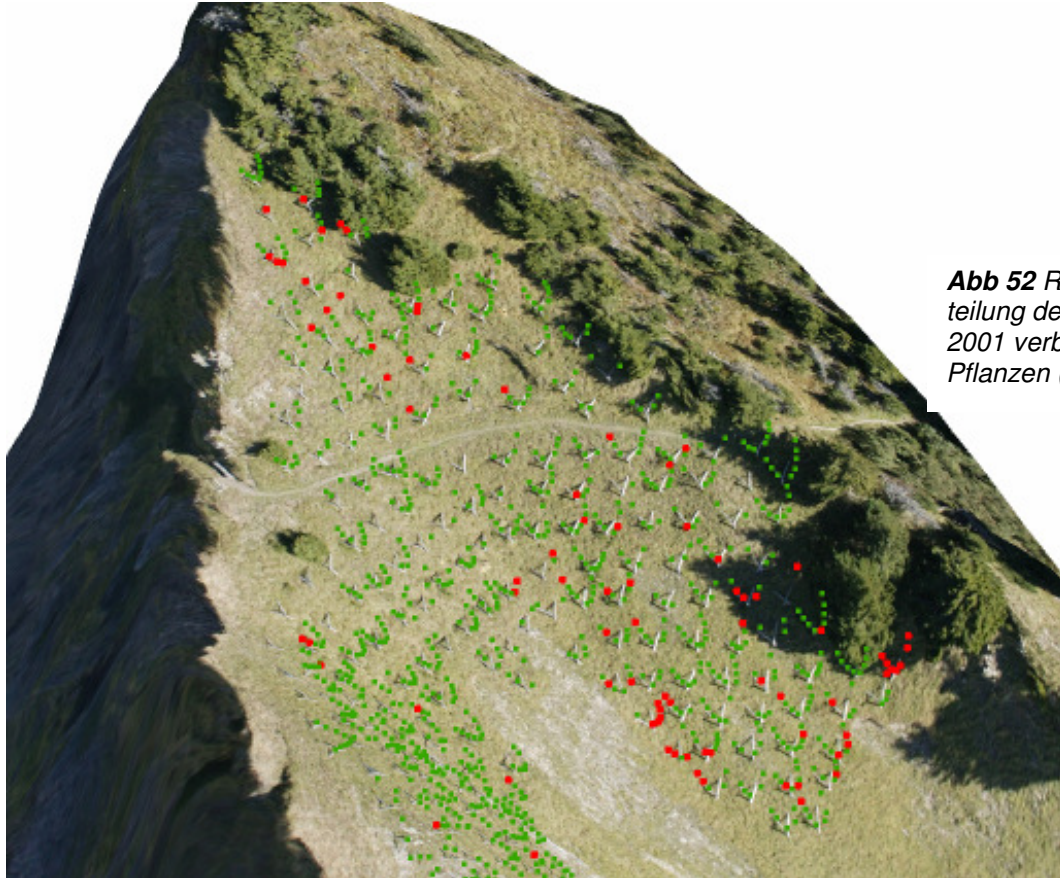


Abb 52 Räumliche Verteilung der im Frühjahr 2001 verbissenen Pflanzen (rot)

Das „Winter-Verbissmuster“ ist deutlich abhängig von der Schneeablagerung und Ausaperung. Die Pflanzen im Windschatten der markanten Krite sind im Winter deutlich mehr eingeschneit und apert wesentlich später aus (vgl. Kap. 2.5); sie sind somit wesentlich besser und länger vor dem Winterverbiss geschützt.



Abb 53 Verbissene Fichte

2.9 Schwarzer Schneeschimmel

Bei lang andauernder Schneebedeckung und entsprechend hoher Luftfeuchtigkeit kann der Pilz insbesondere in Muldenlagen junge Pflanzen befallen und sich (meist nesterweise) in den Aufforstungen verbreiten. Die Nadeln werden mit dem schwarzen Myzel überzogen und „verklebt“; sie fallen schliesslich zusammen mit dem „Filz“ im Folgejahr ab.



Abb 54, 55 Von schwarzem Schneeschimmel befallene Fichtenzweige

Die räumliche Verteilung der mit Schneeschimmel befallenen Pflanzen deckt sich gut mit dem Muster der Schneeverteilung und Ausaperung (vgl. Kap. 2.5). Die Pflanzen im Windschatten der markanten Krete und der anschliessenden Geländemulde sind im Winter deutlich mehr eingeschnitten und apern wesentlich später aus; sie sind somit wesentlich anfälliger auf den Schneeschimmelbefall.

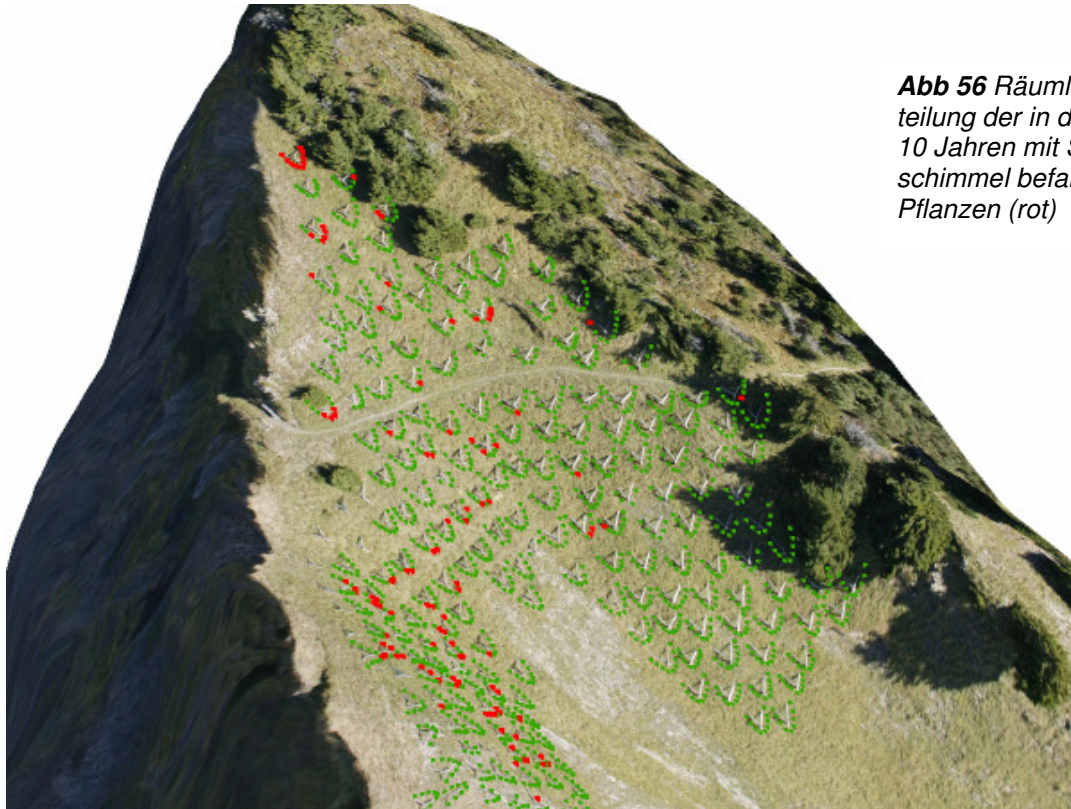


Abb 56 Räumliche Verteilung der in den ersten 10 Jahren mit Schneeschimmel befallenen Pflanzen (rot)

In den ersten 10 Jahren waren insgesamt 108 Pflanzen befallen (6% der ursprünglich gepflanzten Fichten). Von diesen sind nur gerade 16 abgestorben (15%) - wohl die wenigsten direkt als Folge des Schneeschimmelbefalls.

3. Wuchsverhältnisse: Versuchsanordnung

In den Lawinenverbauungsprojekten erfolgen die Plantzungen immer mit dem Ziel, dass die Aufforstungen mittel- und langfristig die Funktion der Stützwerke nachhaltig übernehmen. Wie lange es dauert, bis der aufwachsende Wald das Anreissen von Lawinen verhindern kann, hängt jedoch stark von den Standortbedingungen ab.

3.1 Fragestellungen

Die Abteilung Naturgefahren startete im Jahr 2005 ein Projekt, in dem das Wuchsverhalten der in den Lawinenverbauungen im Berner Oberland begründeten Aufforstungen untersucht wurde. Im Vordergrund standen die folgenden Fragestellungen:

- Wie wachsen die Bäume im Verlaufe der Zeit (Höhen- und Dickenwachstum)?
- Wie entwickelt sich der Schlankeitsgrad im Verlaufe des Alters?
- Wie gross sind die standortbedingten Unterschiede?
- Wie lange dauert es, bis die Aufforstung die Funktion der Stützwerke übernehmen kann?
- Gibt es Standorte, auf denen der Wald die Funktion innert 60-100 Jahren nicht übernehmen kann?
- Hat sich das Wuchsverhalten in den vergangenen Jahrzehnten verändert?

3.2 Auswahl der Projekte und Probebäume

In der Aufforstungsfläche am Schwanderort (Standortbeschreibung vgl. Kap. 2.1) wurden 1995 und 1996 im Schutze von 214 Dreibeinböcken insgesamt 1'697 Fichten gepflanzt. Es handelte sich dabei um Nacktwurzler und konventionelle Topfpflanzen aus der kantonalen Forstbaumschule in Matten und Interlaken, sowie um Ballenpflanzen, die von der Firma LIECO in Kalwang (Steiermark) nachgezogen wurden.

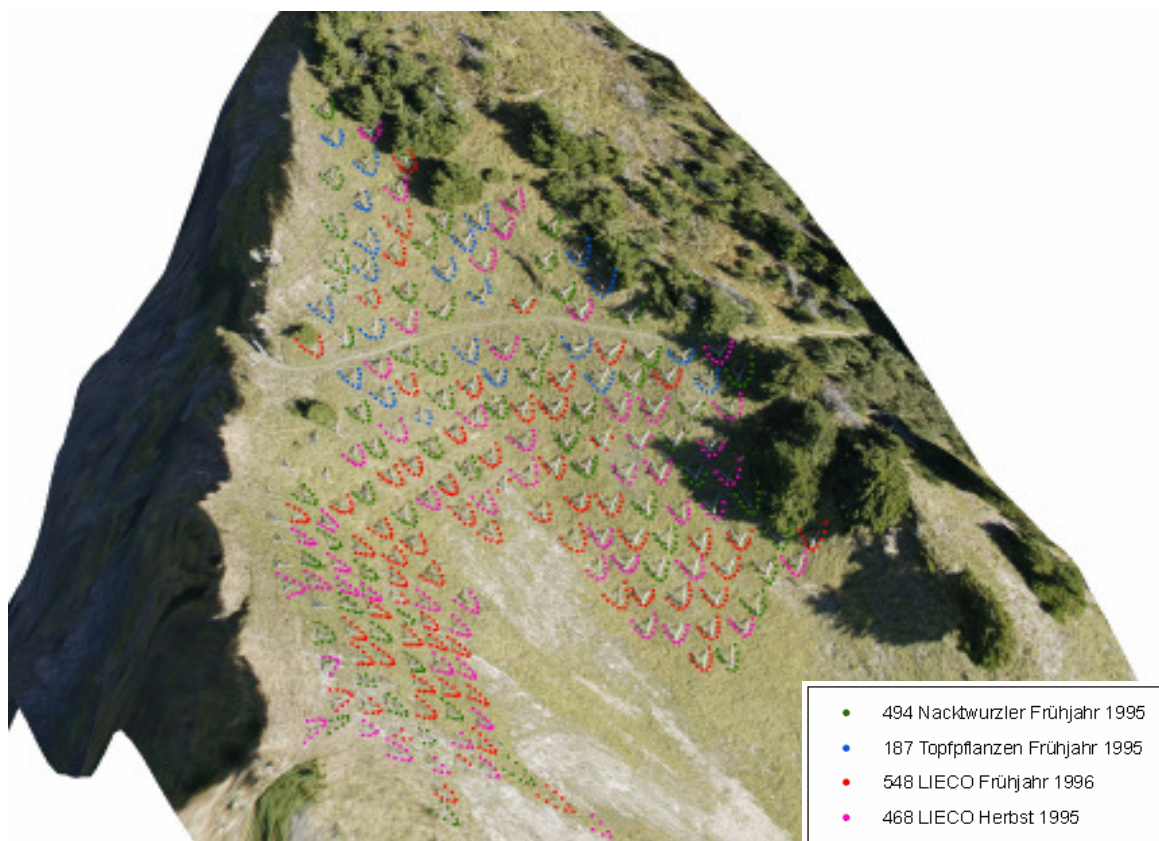


Abb 57 Anordnung der Fichten nach Nachzuchtverfahren und Zeitpunkt der Pflanzung

Bei allen Nachzuchtverfahren wurde Saatgut der gleichen Provenienz und Ernte (1983) verwendet: Schwanden-Gibelegg / 1700 m ü.M. / Süd / Kalk (Erntebestand auf gleicher Höhe, 1 km vom Pflanzstandort entfernt).

1229 Pflanzen (72%) wurden im Frühjahr gepflanzt, 468 (28%) im Herbst.

Jeweils im Frühjahr und Spätherbst führt die Equipe des Verbauungs- und Aufforstungsprojektes Brienzer Wildbäche systematische Feldaufnahmen durch. Aufgenommen werden dabei die Pflanzenausfälle, Wildverbiss und Schneeschimmelbefall (nur im Frühjahr); im Herbst wird zudem die Grösse der Pflanzen gemessen. Der Versuch liefert bisher Erkenntnisse über das Wuchsverhalten in den ersten 12 Jahren nach der Pflanzung.

Die Untersuchungen über das langfristige Wuchsverhalten wurden in insgesamt 24 Lawinenverbauungs- und Aufforstungsprojekten durchgeführt.

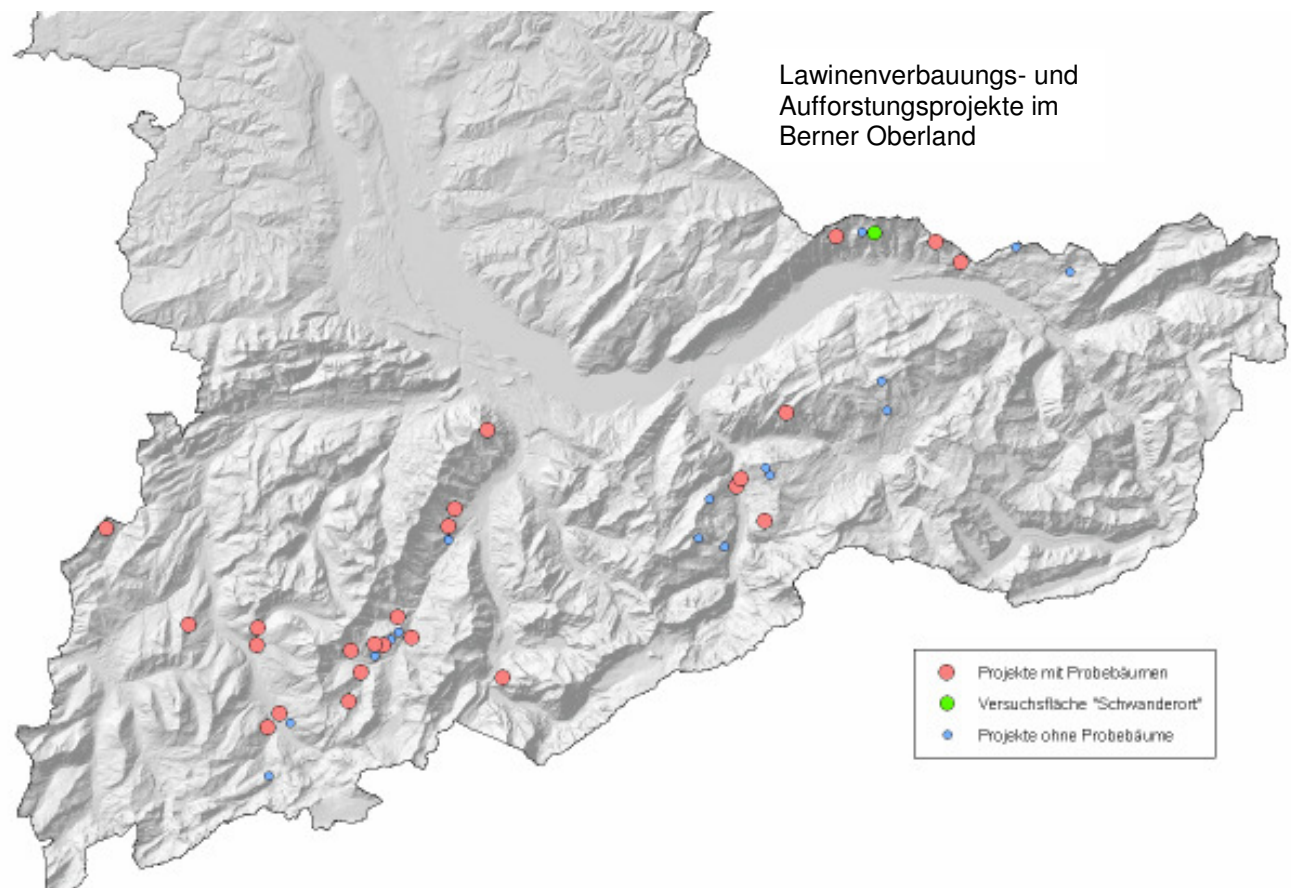


Abb 58 Ausgewählte Projektgebiete

Bei der Auswahl der Projekte wurde insbesondere darauf geachtet, dass alle Höhenlagen vertreten waren. Weitere Auswahlkriterien: Exposition, Geologie/Boden, Alter der Aufforstung, Verteilung über das Berner Oberland.

In den ausgewählten Aufforstungen wurden insgesamt 112 Bäume untersucht, die zwischen 1928 und 1998 gepflanzt worden sind.

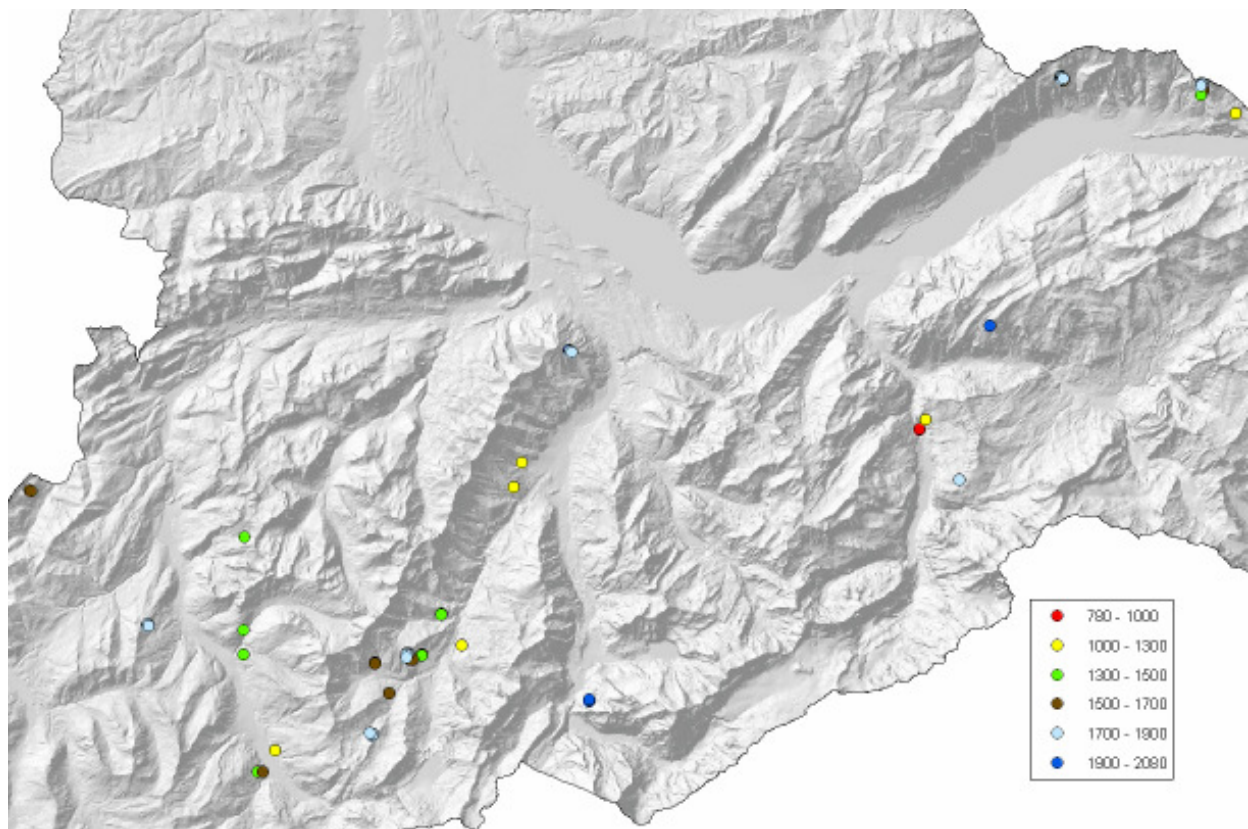


Abb 59 Geografische Verteilung der Probebäume nach Höhenlagen (m ü.M.)

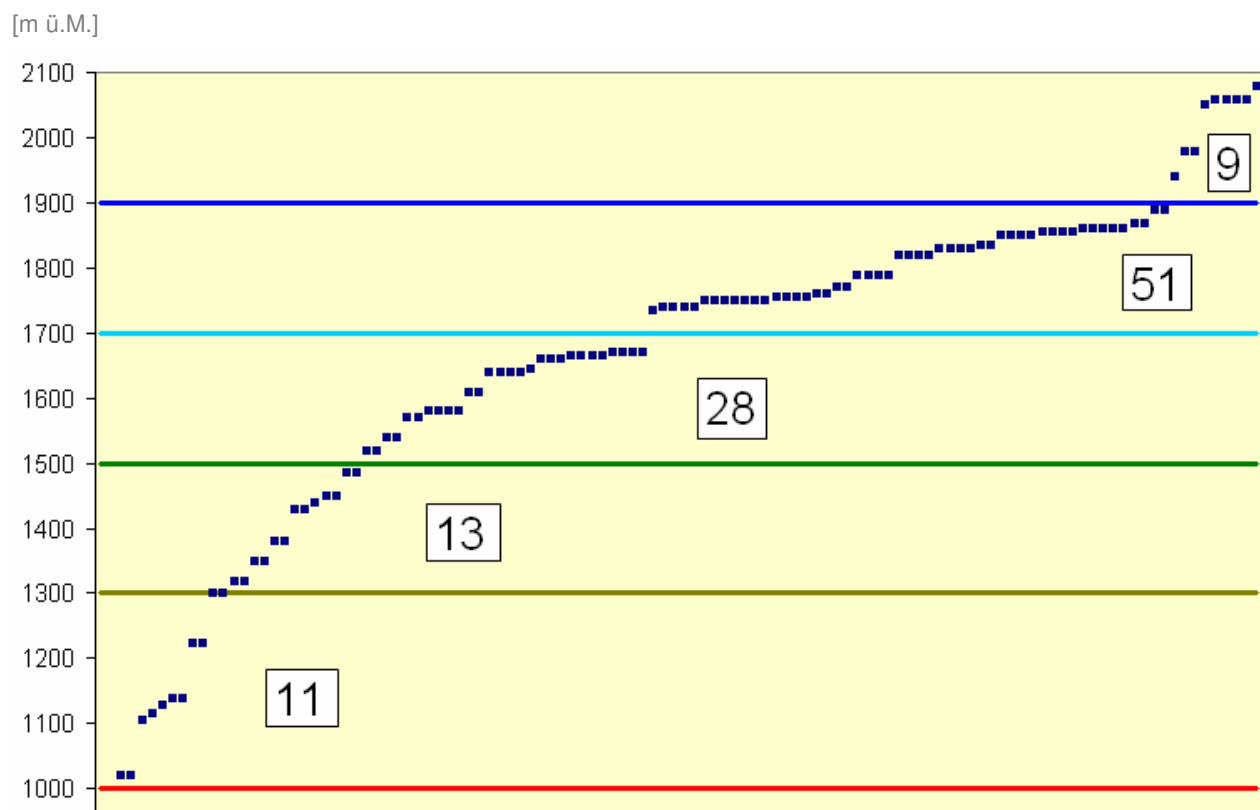


Abb 60 Anzahl Probebäume nach Höhenlagen und Höhenklassen

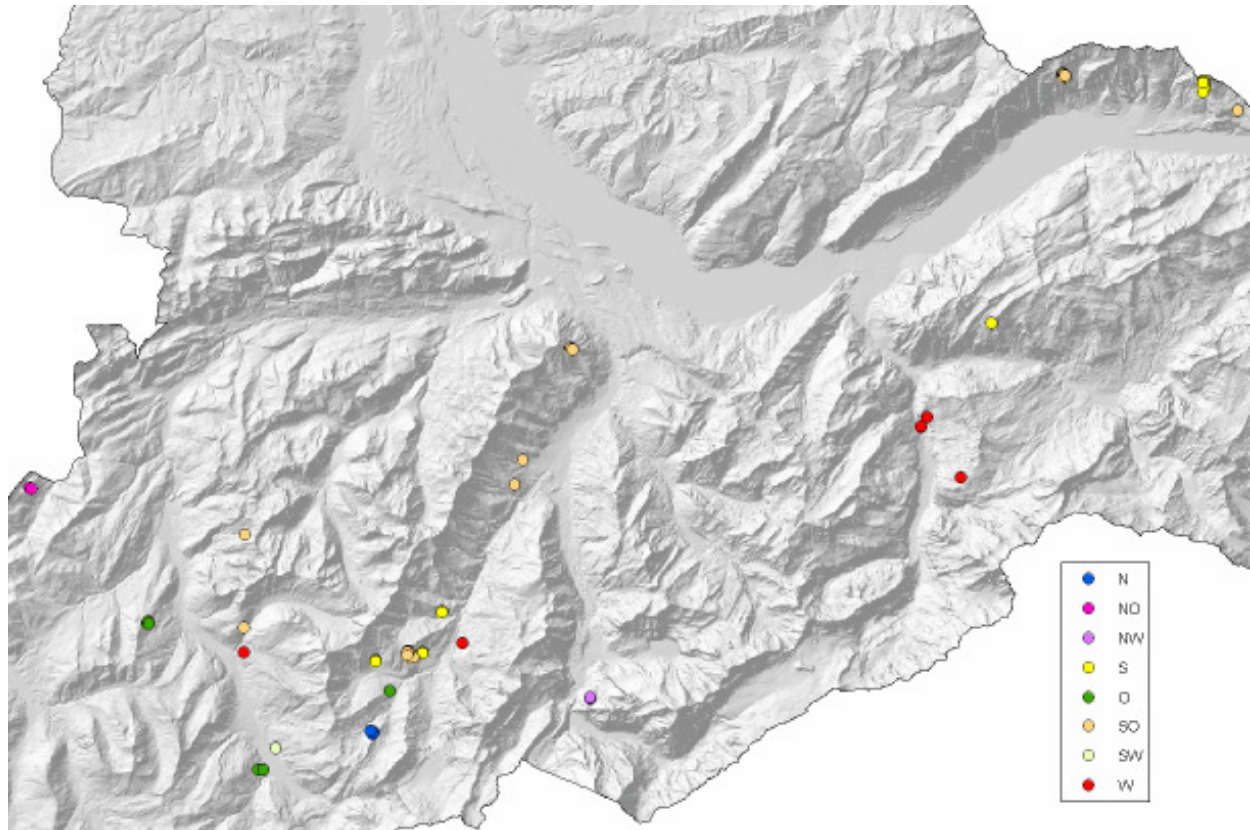


Abb 61 Geografische Verteilung der Stichproben nach Expositionen

Durch diese Auswahl der untersuchten Fichten wurde sichergestellt, dass die wichtigsten Standorttypen der Hochlagenaufforstungen im Berner Oberland und ein breites Altersspektrum der Probebäume erfasst wurden.

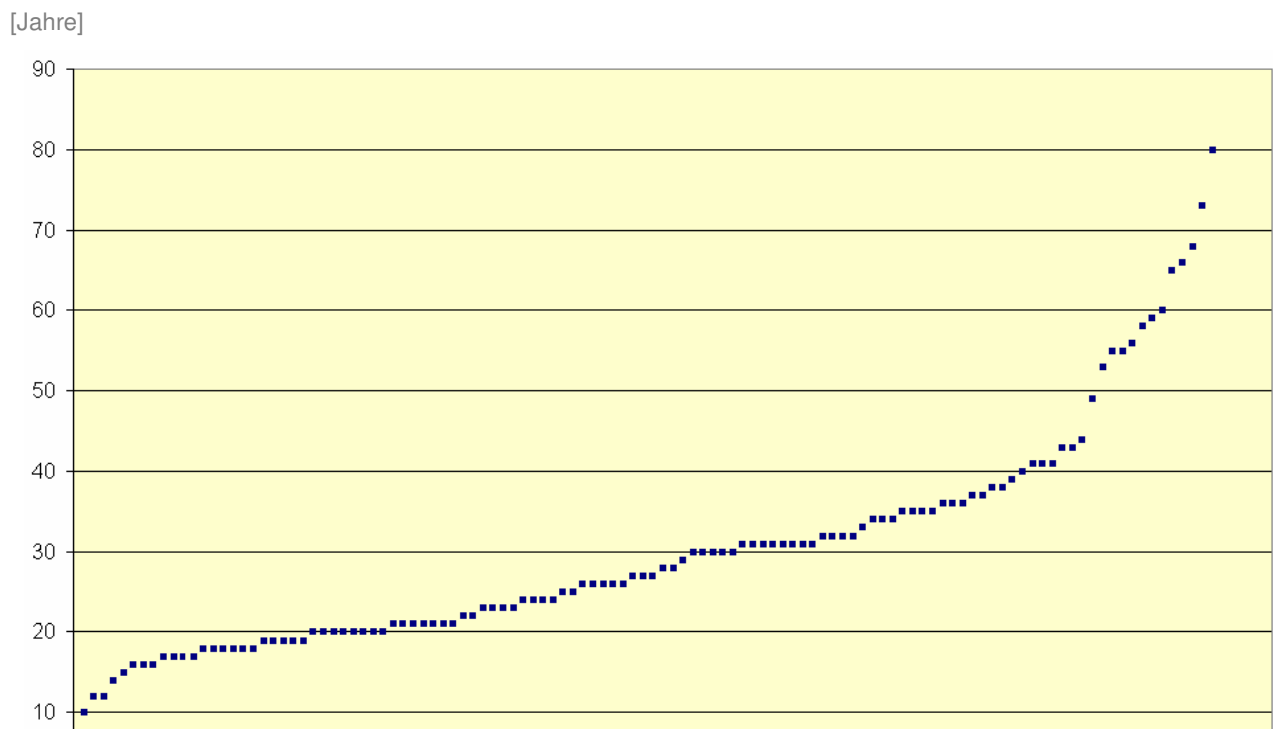


Abb 62 Alter der untersuchten Probebäume

3.3 Feldaufnahmen

Die Feldaufnahmen erfolgten zwischen Mitte August und Anfang November 2005 durch Mitarbeiter/innen der Abteilung Naturgefahren (jeweils in Zweierequipes). Die Probebäume mussten innerhalb der Projekte und Höhenlagen so ausgewählt werden, dass sie bezüglich Baumhöhe repräsentativ für die grössten 40 Prozent waren (keine übergrossen „Ausreisser“). Ebenso wurde darauf geachtet, dass Durchmesser und Schlankheitsgrad der ausgewählten Bäume repräsentativ waren.

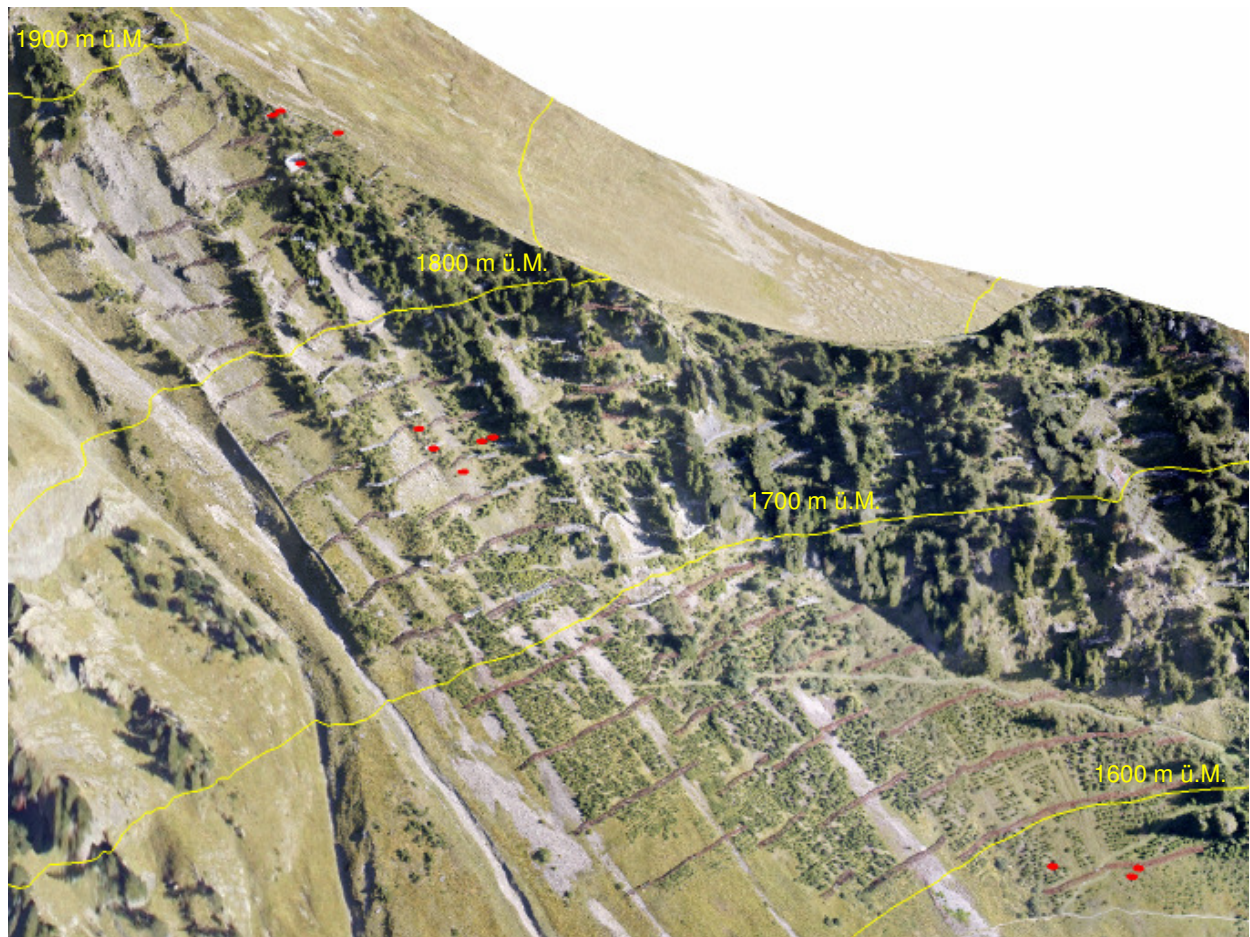


Abb 63 Probebäume (rot) in der Lawinenverbauung Wilerhorn/Brienzwiler

Die Feldaufnahmen erfolgten nach folgendem Schema:

- Fällen des Baumes
- Entnahme der Stammscheibe, Beschriftung, Altersbestimmung
- Astquirle/Jahrestriebe ausfindig machen (so weit wie möglich zurück)
- Längenmessungen am liegenden Baum (Bezugshöhe: Bodenoberfläche)

Sämtliche Daten wurden in ein Aufnahmeformular eingetragen.

Zur Vermeidung von Borkenkäferschäden wurden jeweils vor dem Verlassen der Probefläche noch die notwendigen Forstschutzmassnahmen ausgeführt.

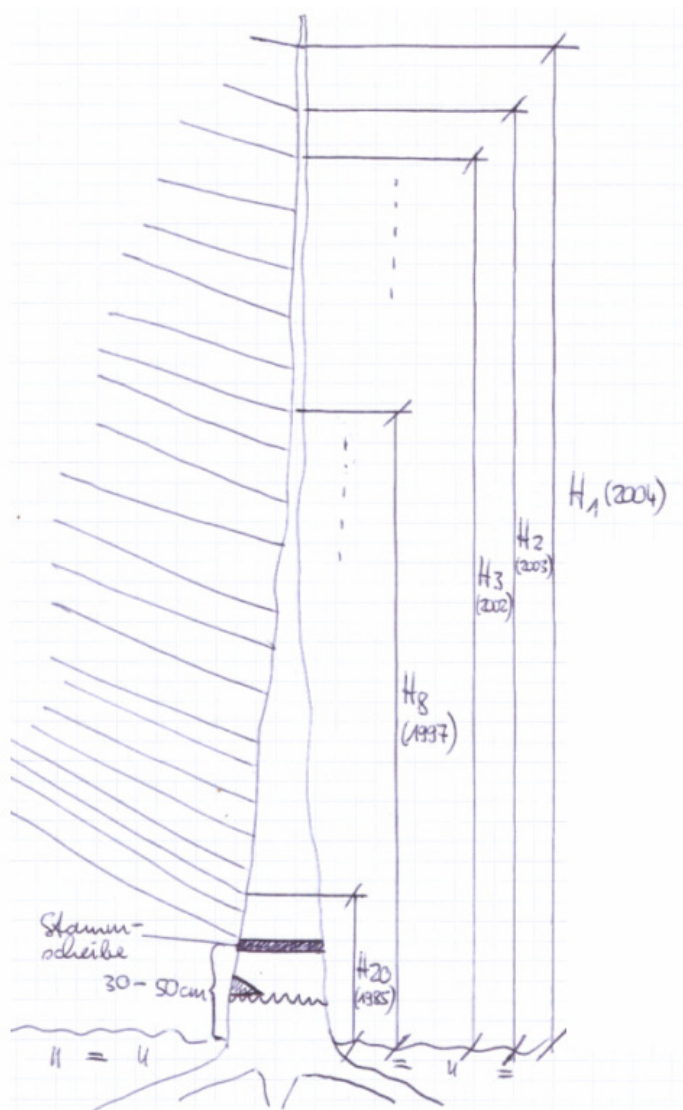


Abb 64 Skizze Feldaufnahmen



Abb 65, 66 Stammvermessung, Stamm-scheibe

Projekt: Wuchsverhältnisse von großstämmigen Fichten in Lawen- und Aufforstungsprojekten im inneren Oberland

Projekt: Dachboden/Forst Gemeinde: Schwarzenried Exp: 5 (NO/SW)

Datum: 08.06.2005 Equipe: Ry/lyp Fotos: 5 (ja/nein)

Angaben zum Probebaum: Typ: 2 (1 = Alter > 20 J. 2 = Grösse ca. 4m 3 = Grösse < 1m)

Alter: 465 (Jahre) Grösse: 465 (m) Durchmesser: 15.80 (cm)

Lokalname: Giebelross X-Koord: 691332 Y-Koord: 781332 Z-Koord: 15.80

Code: 16002 (z.B. "W1" für Wilerhorn, Probebaum Nr. 1) H: Gemeinschaftliche 21-4 50cm

(im Gelände messen)		(nicht im Gelände messen, Stamm-scheibe)	
H2004: <u>465</u>	H1979: _____	D2004: _____	D1979: _____
H2003: <u>3.80</u>	H1978: _____	D2003: _____	D1978: _____
H2002: <u>3.62</u>	H1977: _____	D2002: _____	D1977: _____
H2001: <u>3.06</u>	H1976: _____	D2001: _____	D1976: _____
H2000: <u>2.30</u>	H1975: _____	D2000: _____	D1975: _____
	H1974: _____	D1999: _____	D1974: _____
	H1973: _____	D1998: _____	D1973: _____
		D1997: _____	D1972: _____
		D1996: _____	D1971: _____
			D1970: _____

Abb 67 Aufnahmeformular

3.4 Vermessung der Stammscheiben

Die Stammscheiben der Probebäume wurden im Winter 2005/06 vermessen; bestimmt wurden jeweils die Durchmesser. Aufgrund der Anzahl Jahrringe konnte das Alter der Stammscheibe ermittelt werden. Da die Entnahmehöhe am Probebaum bekannt war (10-50 cm), konnte zudem das Alter des Baumes recht genau bestimmt werden.



Abb 68 Die insgesamt 112 entnommenen Stammscheiben

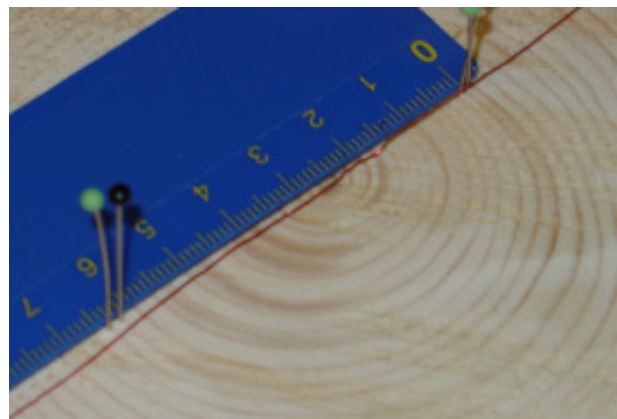


Abb 69, 70 Vermessung der Jahrringe, Erfassung auf einem Formular (Reinhold Künzle)

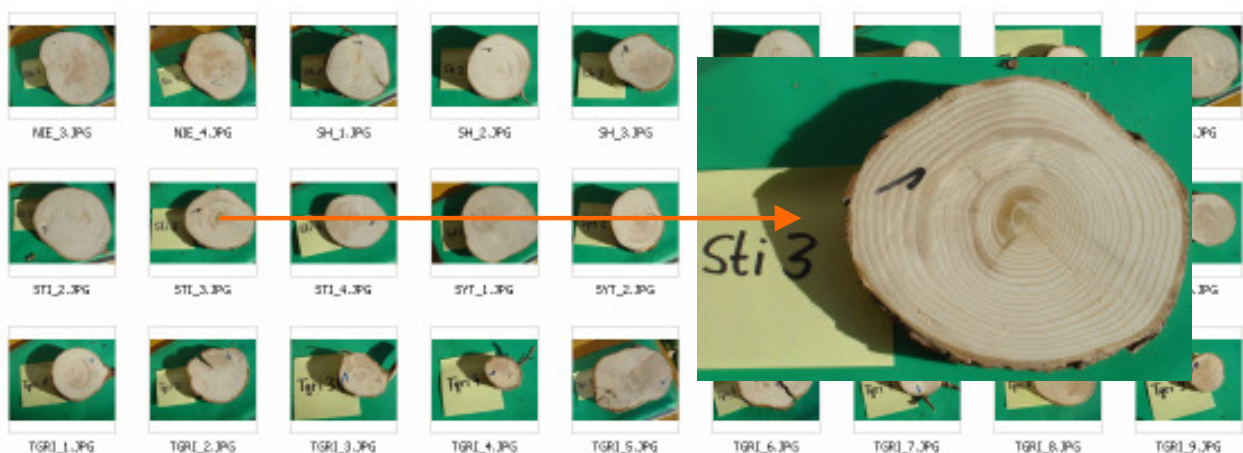


Abb 71 Fotodokumentation der Stammscheiben

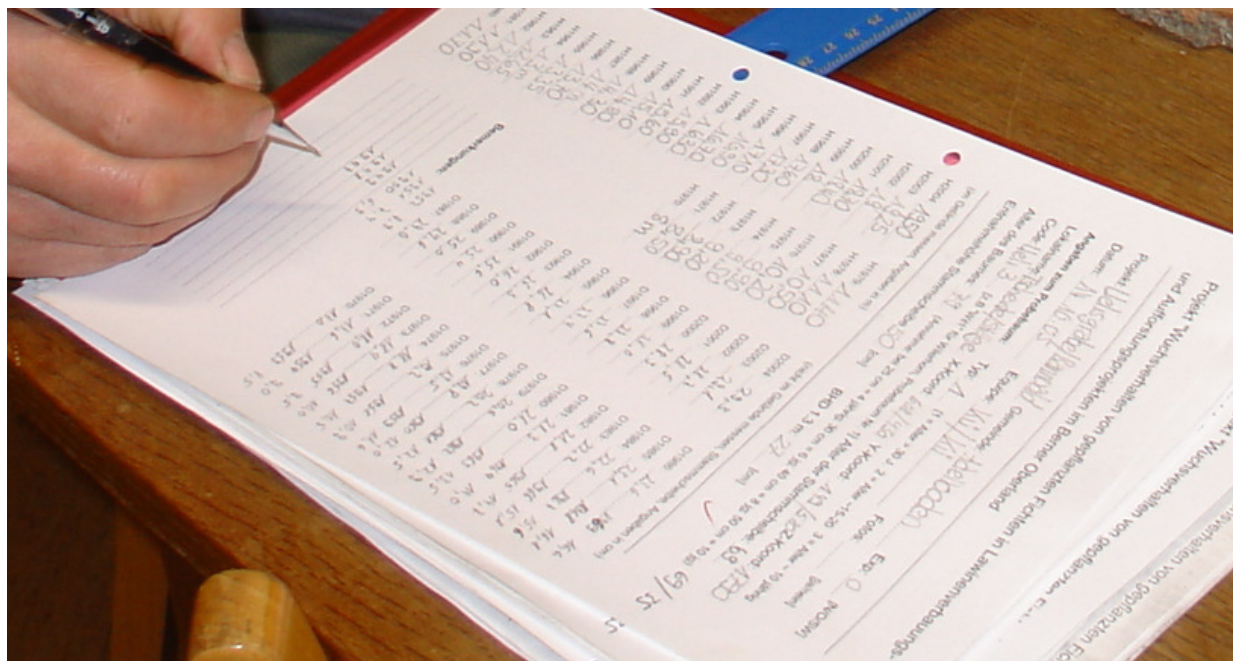


Abb 72 Aufnahmeformular für die gemessenen Durchmesser

3.5 Elektronische Datenerfassung und -auswertung

Sämtliche Feldaufnahmen und Vermessungen im Büro wurden elektronisch erfasst und ausgewertet.

Projekt: **Stiegelschwand** Gemeinde: **Adelboden** Exp: **S** [1/8]
 Datum: **29.09.2005** Equipe: **Bru/Oe**
Angaben zum Probebaum: Typ: **1** [1 = Alter > 30 J. 2 = Alter 15-30 3 = Alter < 15 jährig]
 Lokalname: _____ X-Koord: **606'600** Y-Koord: **149'030** Z-Koord: **1665**
 Code: **Sti2** [z.B. "W11" für Wilerhorn, Probebaum Nr. 1] Alter der Stammscheibe: **24**
 Alter des Baumes: **32** (Annahme: bei 25 cm = 4 jährig; 30 cm = 6 jg; 40 cm = 8 jg; 50 cm = 10 jg)
 Entnahmehöhe Stammscheibe **40** [cm] BHD 1.3 m: **14.0** [cm] Schlankheitsgrad **71**
 Pflanzjahr: **1976** (berechnet) (berechnet)

Höhen

(im Gelände messen, Angaben in m)

H2004: 9.89	H1984: 1.61	H1964: _____
H2003: 9.12	H1983: 1.40	H1963: _____
H2002: 8.51	H1982: 1.06	H1962: _____
H2001: 7.94	H1981: _____	H1961: _____
H2000: 7.49	H1980: _____	H1960: _____

Durchmesser der Stammscheibe

(nicht im Gelände messen, Angaben in cm)

D2004: 14.50	D1981: 0.20	D1958: _____
D2003: 13.50	D1980: _____	D1957: _____
D2002: 12.50	D1979: _____	D1956: _____
D2001: 11.70	D1978: _____	D1955: _____
D2000: 10.90	D1977: _____	D1954: _____

Abb 73 Elektronisch erfasste Daten eines Probebaumes (Ausschnitt)

4. Wuchsverhältnisse: Untersuchungsergebnisse

4.1 Pflanzenausfälle – Überlebensrate (Versuchsfläche Schwanderort)

Die systematischen Aufnahmen der Pflanzenausfälle in den ersten 12 Jahren nach der Pflanzung zeigen, dass die Ausfälle vor allem in der „Anwuchsphase“ relativ gross sind. Nach drei Vegetationsperioden lebten noch 70% der ursprünglich gepflanzten Fichten. Die Kurve flacht dann deutlich ab, nach 12 Jahren sind noch rund 50% der Pflanzen vorhanden.

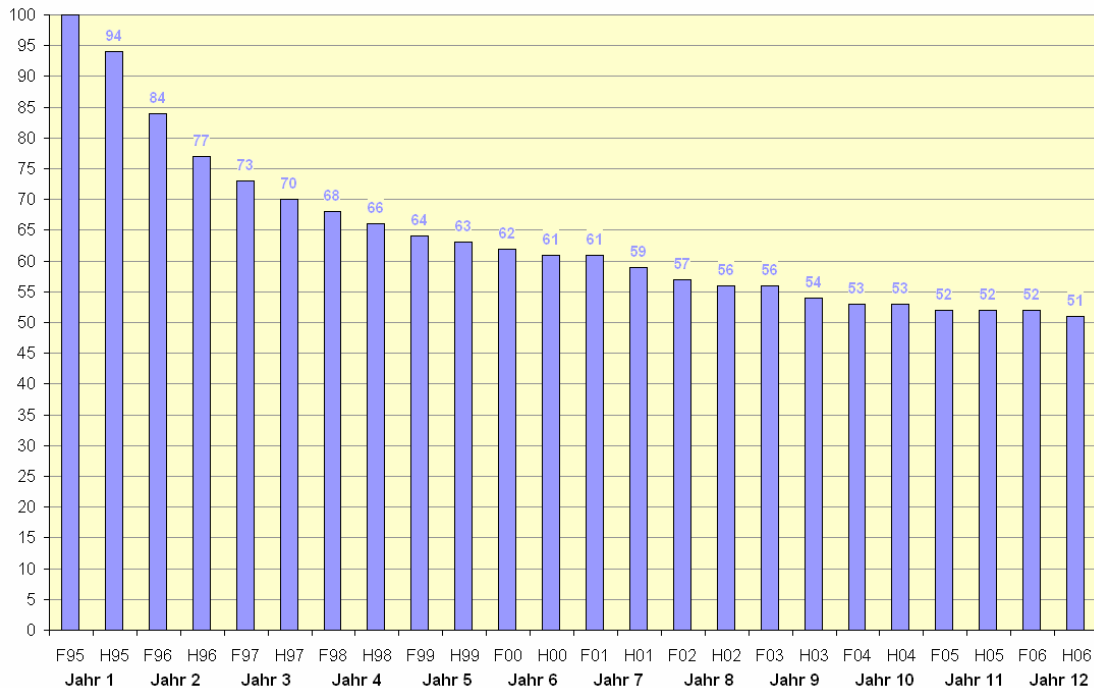


Abb 74 Überlebensrate [%] aller Pflanzen (F=Frühjahr, H=Herbst, 95=1995)

Im Rahmen der Untersuchungen interessiert auch die Frage nach dem Einfluss der Nachzucht- und Pflanzverfahren.

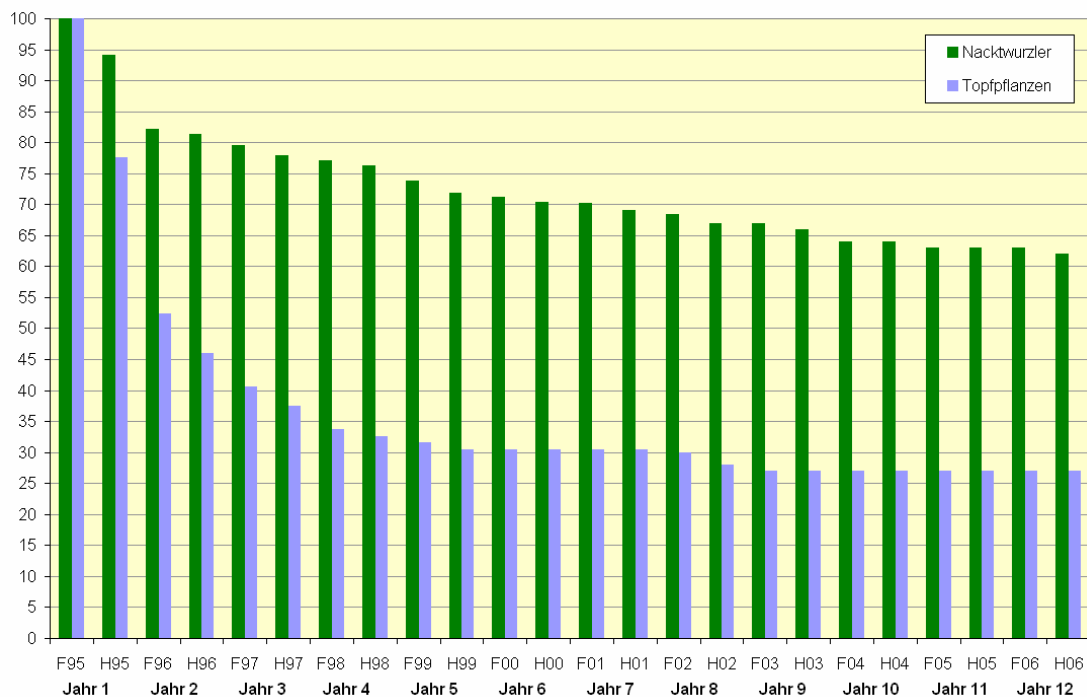


Abb 75 Überlebensrate [%] der Pflanzen, Vergleich Nacktwurzler-Topfpflanzen

Die Ausfälle waren bei den Topfpflanzen markant grösser als bei den Nacktwurzlern. Nach drei Vegetationsperioden lebten nur noch 37% der Topfpflanzen, bei den Nacktwurzlern 78%. Nach 12 Jahren ist die Überlebensrate bei den Nacktwurzlern mit 62% mehr als doppelt so hoch wie bei den Topfpflanzen mit 27%. Die Wurzeln haben die Topfwände vermutlich aufgrund der guten Bedingungen im Topfsubstrat nicht rechtzeitig durchwachsen und sich somit im umgebenden Boden nicht genügend verankert. Im ersten Winter wurden viele Topfpflanzen durch Schneebebewegungen ausgerissen. Die Beobachtung, dass sich Nacktwurzler besser eignen, deckt sich mit jahrzehntelangen Beobachtungen in verschiedensten Hochlagenaufforstungen der Lawinerverbauungen im Berner Oberland.

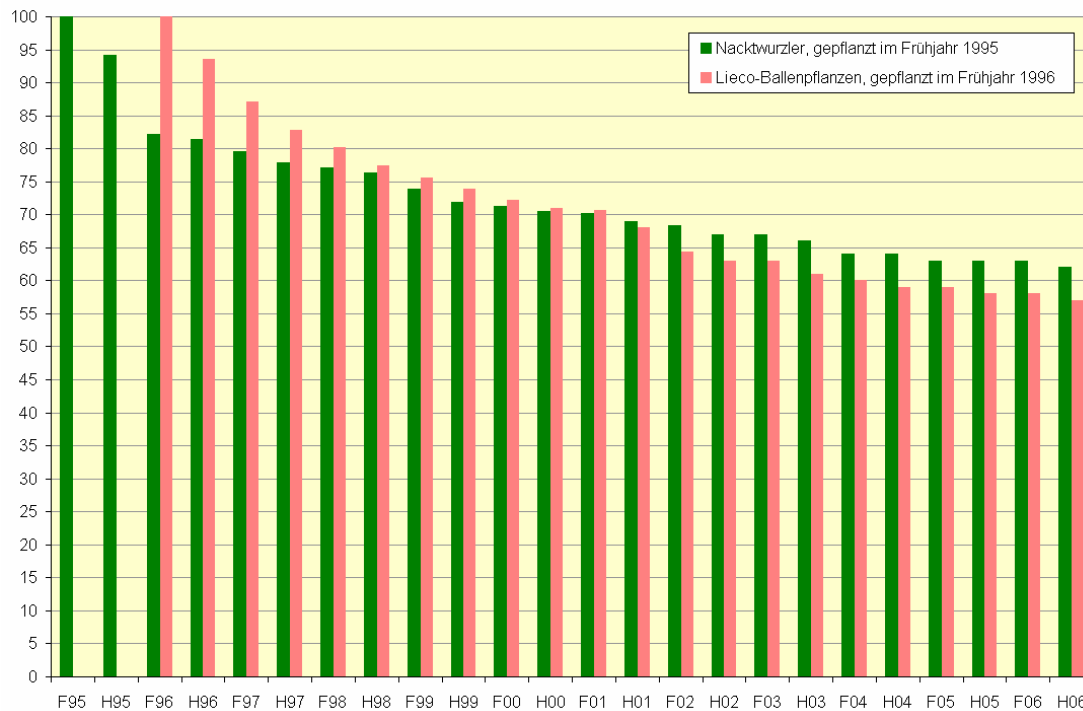


Abb 76 Überlebensrate [%] der Pflanzen, Vergleich Nacktwurzler-LIECO-Ballenpflanzen

Die beiden Nachzuchtverfahren „konventionelle“ Nacktwurzler und LIECO-Ballenpflanzen zeigen bezüglich Ausfälle einen sehr ähnlichen Verlauf; die Überlebensraten sind nach 12 (11) Jahren mit 62% (Nacktwurzler) resp. 57% (Ballenpflanzen) durchaus vergleichbar.

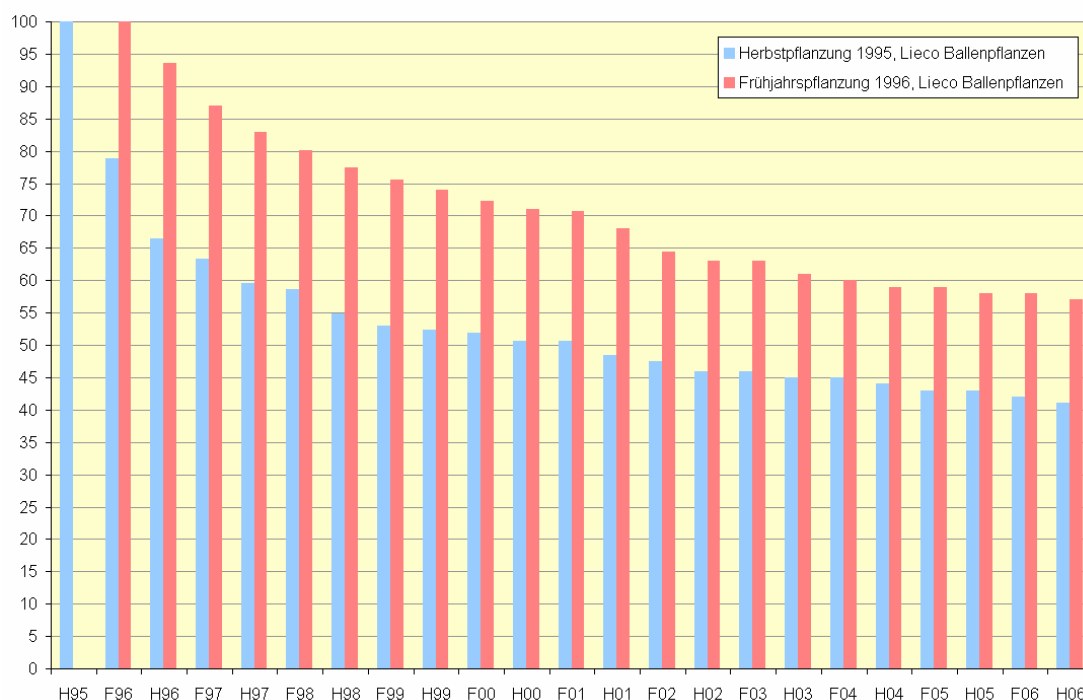


Abb 77 Überlebensrate [%] der Pflanzen, Vergleich Frühjahrs-/Herbstpflanzung

Die Ausfälle waren bei der Herbstpflanzung deutlich grösser als bei der Frühlingspflanzung. Der Ausfall von 21 % im ersten Winter ist auf die fehlende Verankerung der Wurzeln zurückzuführen. Viele Pflanzen wurden durch Schneebewegungen ganz oder teilweise ausgerissen; entsprechend gross waren dann auch die Ausfälle in der darauf folgenden Vegetationsperiode (weitere 13%). Nach 12 Jahren leben rund 40% mehr Frühlingspflanzen als Herbstpflanzen.

4.2 Wachstum in der Jungwuchsphase (Versuchsfläche Schwanderort)

Die durchschnittliche Grösse der im Frühjahr 1995 als Nacktwurzler gepflanzten Fichten betrug 19 cm; der mittlere Höhenzuwachs in der ersten Vegetationsperiode lag bei 3 cm. Der massive Verbiss der Gipfeltriebe im ersten Winter (vgl. Kap. 2.8) führte dazu, dass die Pflanzen nach der zweiten Vegetationsperiode 2 cm kleiner waren als nach dem ersten Sommer. Nach 12 Jahren sind die Pflanzen durchschnittlich 75 cm gross.

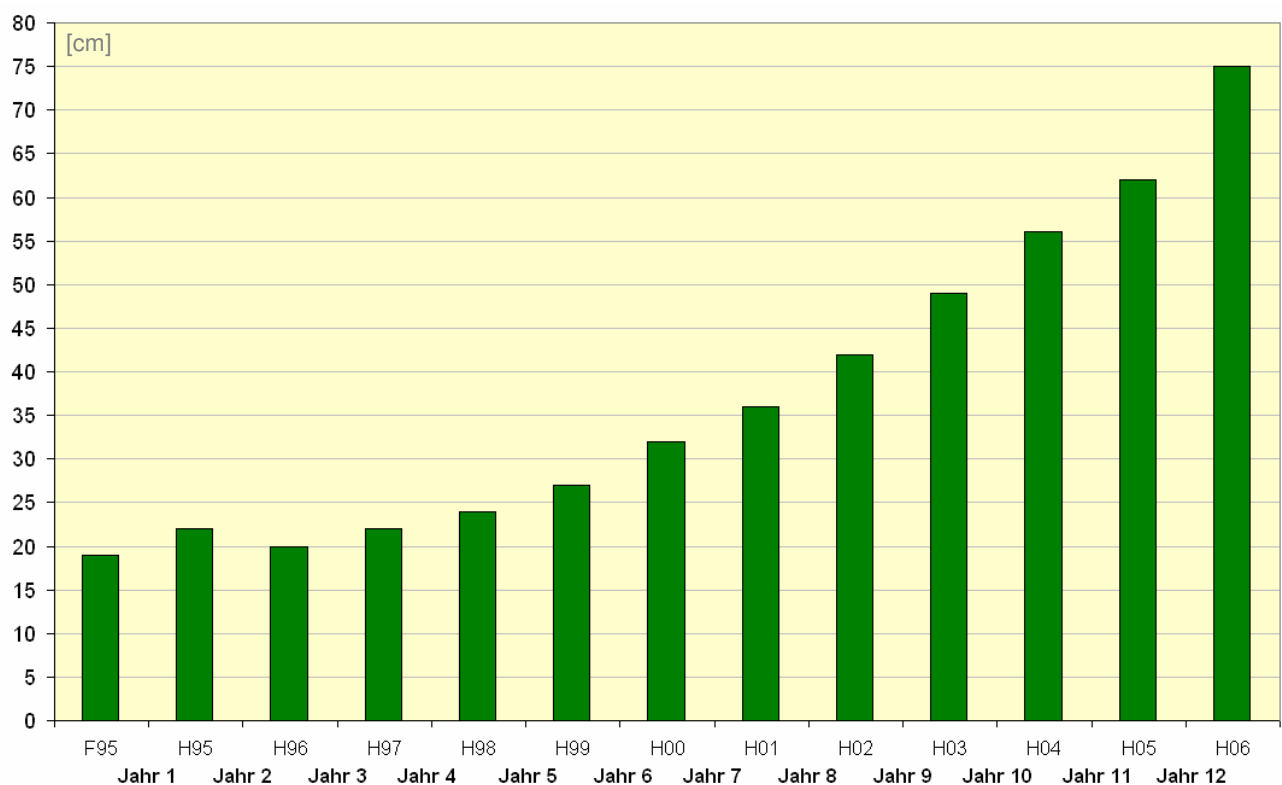


Abb 78 Wachstumsverlauf der Nacktwurzler in den ersten 12 Jahren (F=Frühjahr, H=Herbst, 95=1995); Durchschnittsgrössen

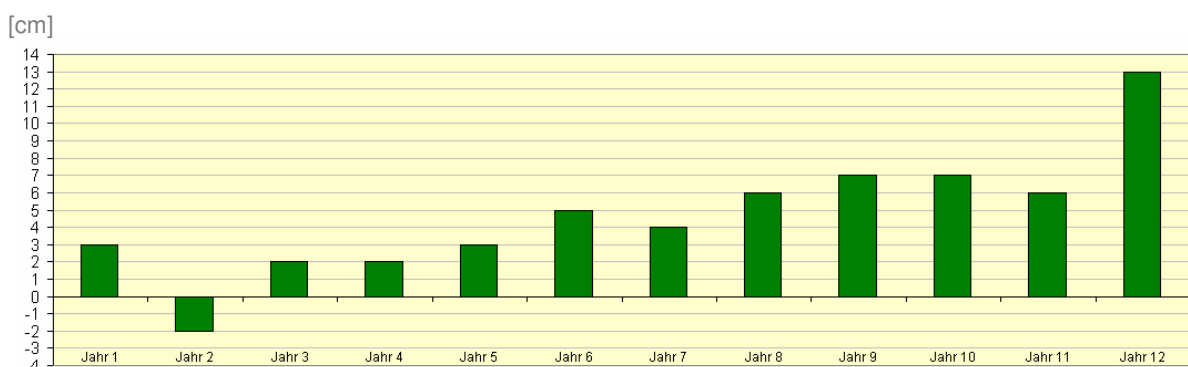
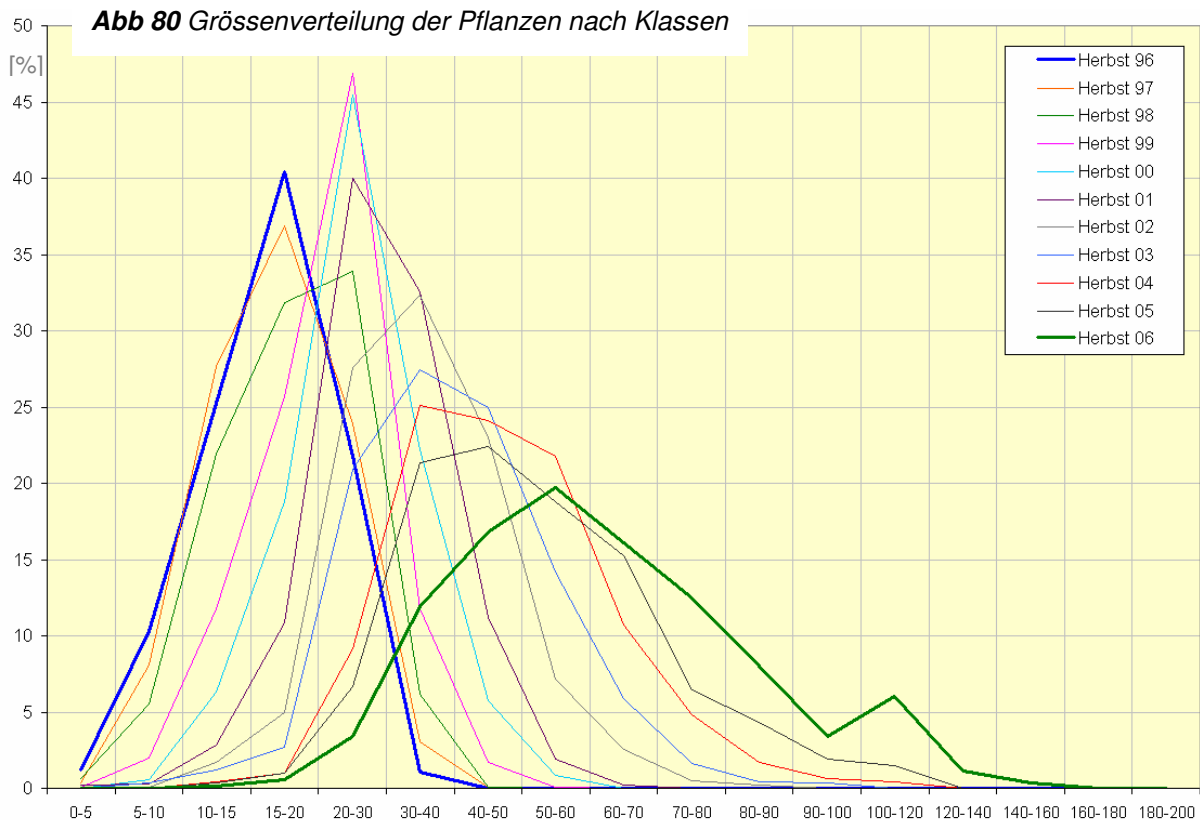


Abb 79 Jährlicher Höhenzuwachs



Die Entwicklung der Grössenverteilung zeigt, dass nicht nur die durchschnittliche Grösse der Pflanzen zunimmt, sondern auch deren Streuung. Je älter also die Aufforstung, desto ausgeprägter die Grössenunterschiede.

Deutliche Unterschiede im Wuchsverhalten zeigen sich auch im Vergleich zwischen den verschiedenen Nachzuchtverfahren. Die Nacktwurzler wachsen im Vergleich zu den andern Nachzuchtstypen markant schneller. Nach 12 Jahren haben sie eine durchschnittliche Grösse von 75 cm erreicht, während die Werte der andern Pflanzen lediglich zwischen 52-57 cm hoch sind.

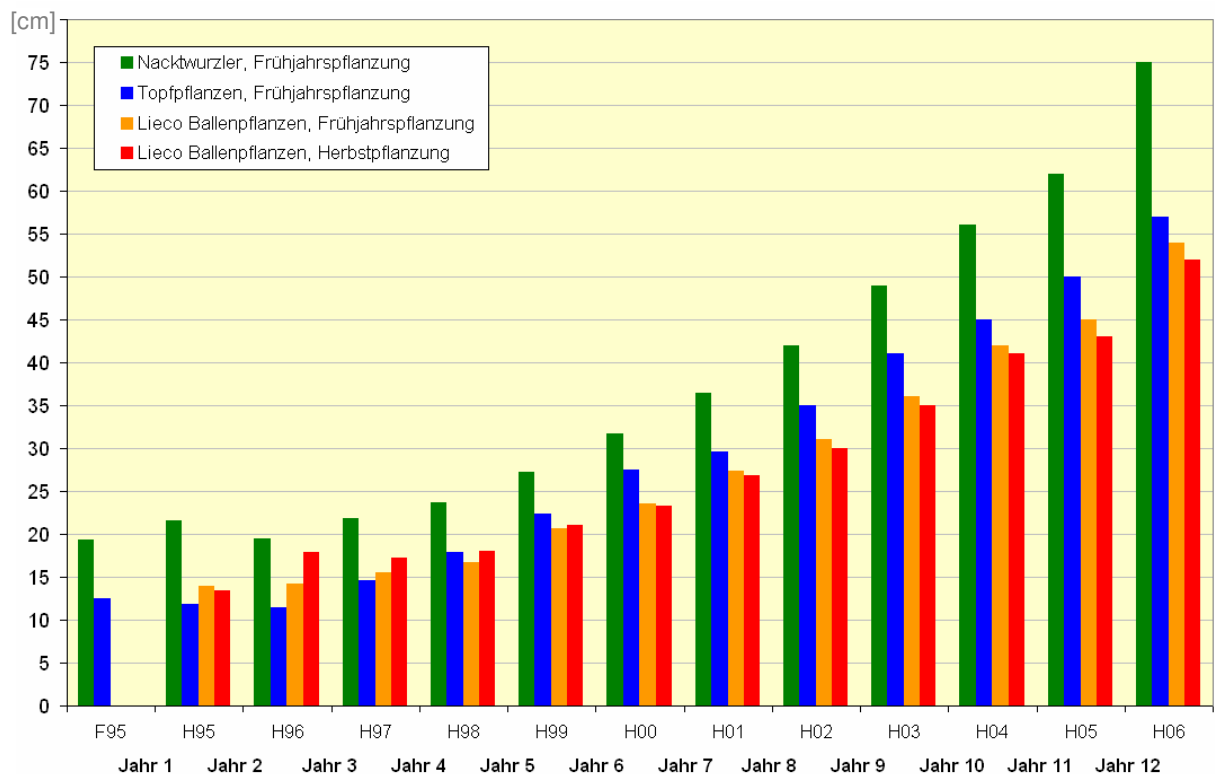


Abb 81 Wachstumsverlauf in den ersten 12 Jahren (F=Frühjahr, H=Herbst, 95=1995)
Durchschnittsgrössen nach Nachzuchtstypen

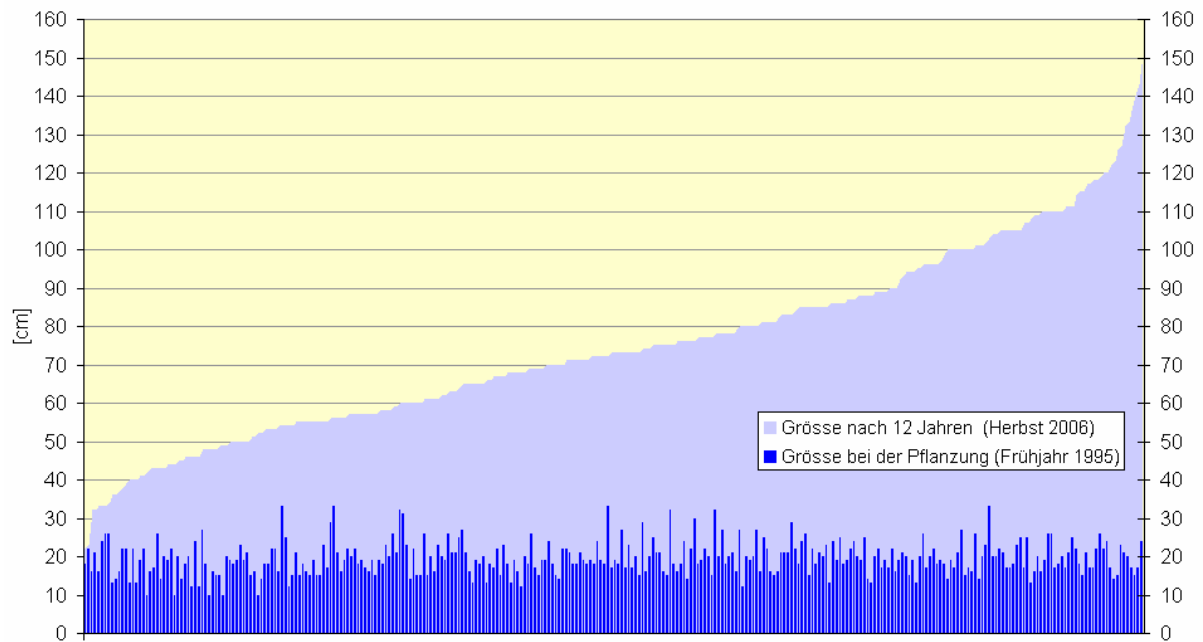


Abb 82 Individuelles Wachstum der Nacktwurzler-Pflanzen in den ersten 12 Jahren

Die Grösse der Fichten zum Zeitpunkt der Pflanzung sagt nichts aus über deren späteren Wachstumsverlauf. Kleine Pflanzen können ihren „Rückstand“ durchaus wett machen und umgekehrt.

Mit einer automatischen Kamera wurde im Sommer 2006 der zeitliche Wachstumsverlauf eines Gipfeltriebs dokumentiert. Leider fiel die Stromversorgung in der Zeit vom 18. Mai bis am 4. Juli aus. Aufgrund von Feldbeobachtungen in der Aufforstungsfläche am Schwanderort ist aber bekannt, dass das Wachstum unmittelbar nach dem 18. Mai einsetzte. Der Versuch wird im Sommer 2007 wiederholt.



Abb 83, 84 Dokumentation des Gipfeltriebwachstums mit einer automatischen Kamera

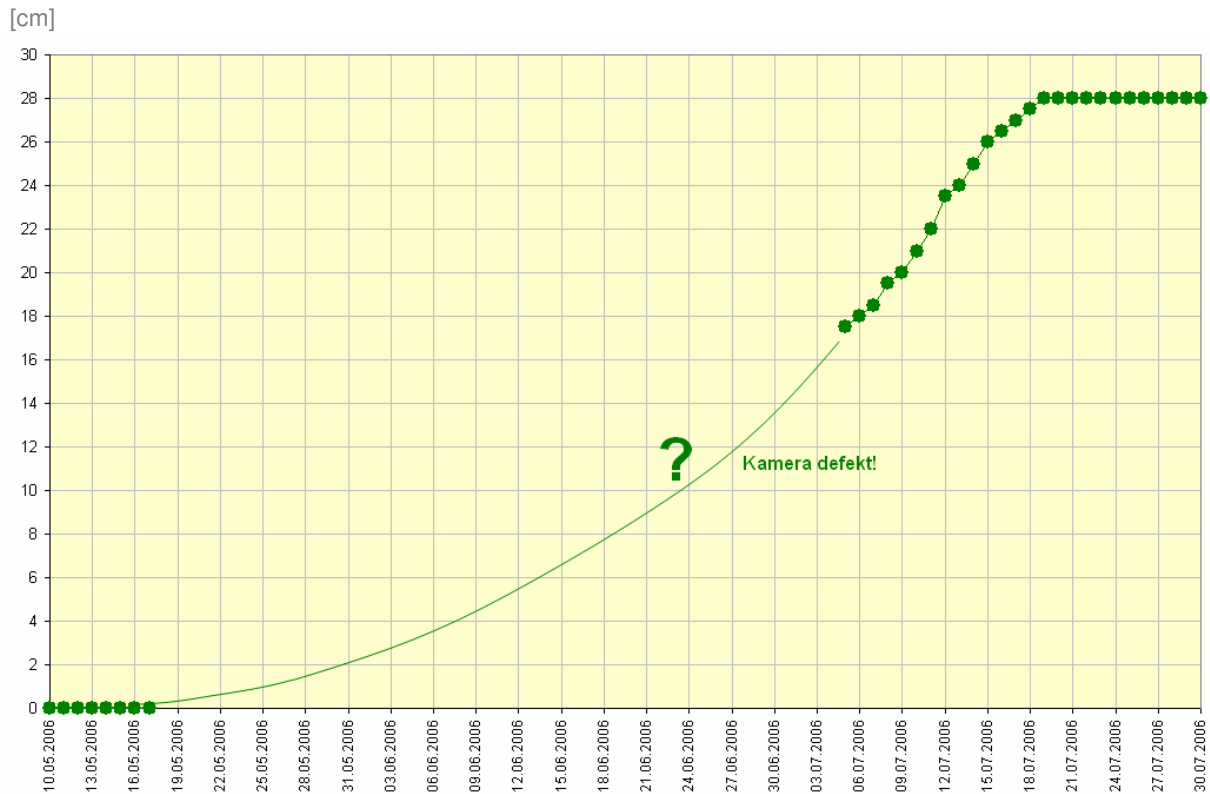


Abb 85 Zeitlicher Verlauf des Gipfeltriebwachstums im Jahr 2006

Das Höhenwachstum war bereits sehr früh, nämlich am 19. Juli abgeschlossen. Der Gipfeltrieb wuchs in der Zeit vom 5. bis am 19. Juli insgesamt 10.5 cm oder durchschnittlich 7.5 mm/Tag.

Offensichtlich werden die Vegetationstage in der zweiten Hälfte Juli, im August und der ersten Hälfte September primär für das Dickenwachstum und die Verholzung gebraucht.

Es wird interessant sein, das Wuchsverhalten in den kommenden Jahren mit der Kurve des Jahres 2006 zu vergleichen.

4.3 Wachstum bis im Alter 80

Das Wuchsverhalten der 112 Prohebäume aus 24 Lawinenverbauungs- und Aufforstungsprojekten wurde auf die Abhängigkeit von der Höhenlage untersucht. Dabei wurden einerseits die einzelnen Wachstumskurven miteinander verglichen, andererseits Durchschnittswerte und Standardabweichungen berechnet.

4.3.1 Höhenwachstum

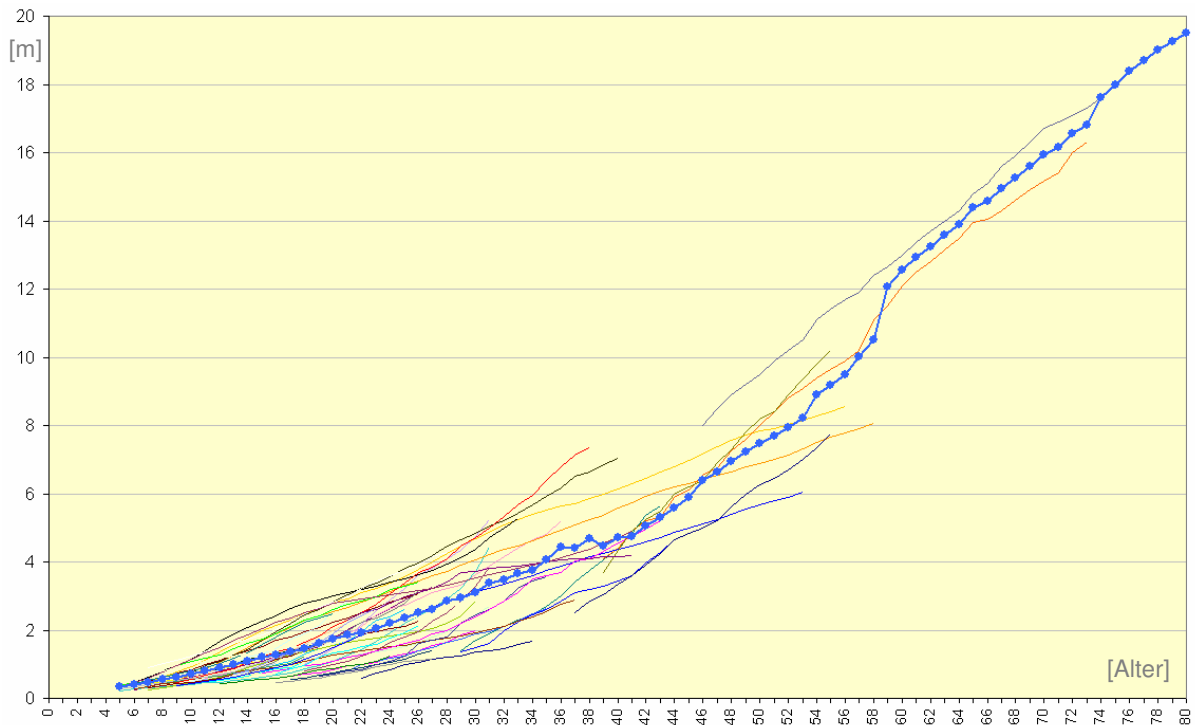


Abb 86 Wachstumskurven der 51 Prohebäume der Höhenstufe 1700-1900 m ü.M.;
Baumhöhen als Funktion des Alters: Blaue Punkte: Mittelwerte

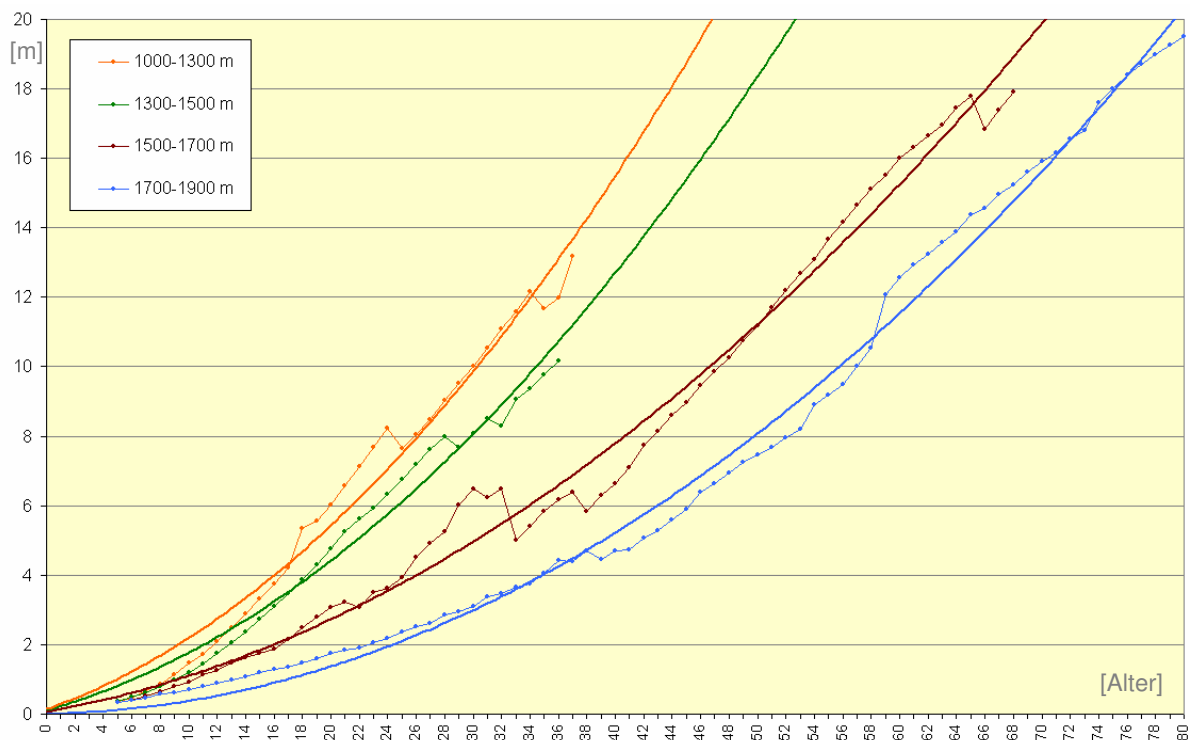


Abb 87 Wachstumskurven auf verschiedenen Höhenstufen. Baumhöhen als Funktion
des Alters. Mittelwerte und polynomische Trendlinien

Die Untersuchungen bestätigen die Abhängigkeit des Wachstums von der Höhenlage sehr deutlich. Mit zunehmendem Alter entfernen sich die Kurven immer weiter voneinander. Im Alter von 30 Jahren beispielsweise unterscheiden sich die Baumhöhen wie folgt:

1000 – 1300 m ü.M.: 10 m

1300 – 1500 m ü.M.: 8 m

1500 – 1700 m ü.M.: 5 m

1700 – 1900 m ü.M.: 3 m

Die Aufforstungen im Bereich der Waldgrenze erreichen erst im Alter von 55 Jahren eine Baumhöhe von 10 m; sie brauchen somit 25 Jahre länger als in der Höhenstufe 1000-1300 m.

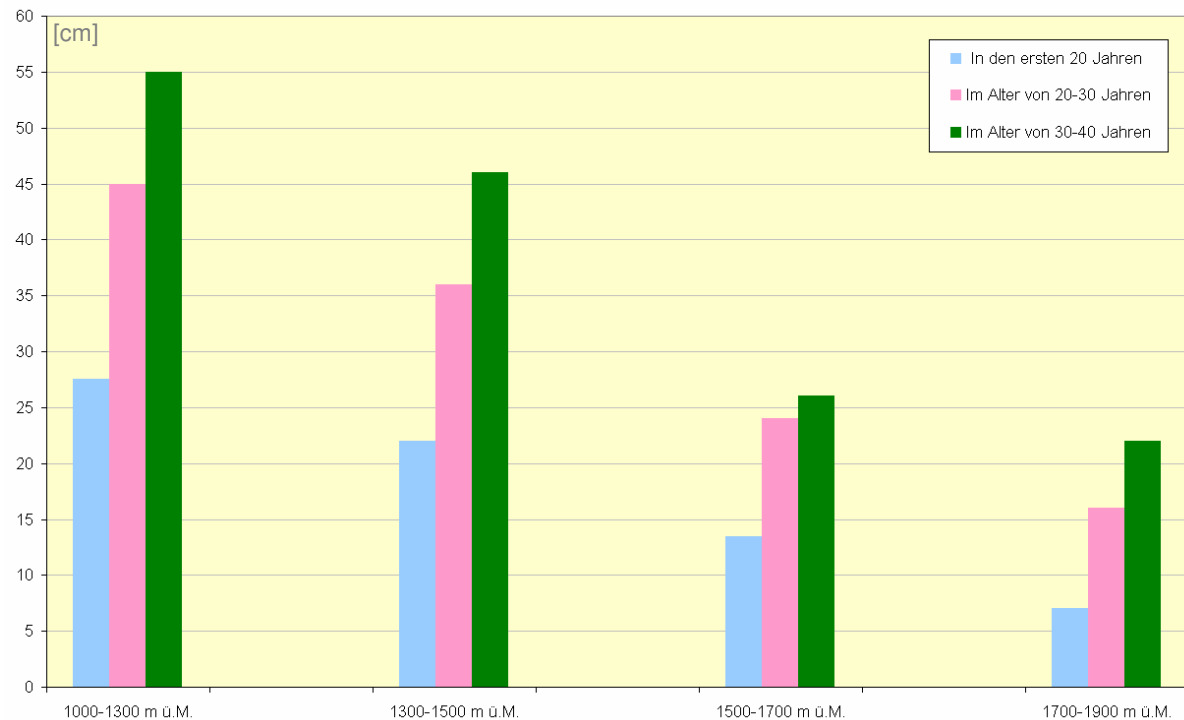


Abb 88 Durchschnittliche Jahrestriebe nach Alter und Höhenlage

Die Jahrestriebe sind in Höhenlagen von 1000-1300 m ü.M. durchschnittlich 2.5 bis 4-mal so lang wie im Bereich der Waldgrenze.

In den Höhenlagen oberhalb von 1900 m ü.M. wurden 9 Probestämme in 3 Projekten vermessen. In diesem Bereich der Baumgrenze („Kampfzone“) sind die Einflüsse der Kleinstandorte derart gross, dass Aussagen über Mittelwerte sicher keinen Sinn machen. Sechs Probestämme zeigten ein Wuchsverhalten, das durchaus mit der Höhenlage 1700-1900 m vergleichbar ist, drei Fichten waren im Alter von 48 – 54 Jahren noch nicht grösser als 2 m (s. Abb 89).

Die Analysen der Wuchsverhältnisse in Abhängigkeit der Exposition sind mit Vorsicht zu interpretieren, da die Anzahl der Probestämme pro Höhenstufe und Exposition für gesicherte statistische Aussagen zu gering ist. Auf eine Darstellung der entsprechenden Grafiken wird deshalb bewusst verzichtet. Die Ergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1500-1700 m ü.M.: Keine Unterschiede zwischen Nord- und Südsektor.

1700-1900 m ü.M.: Schnelleres Höhenwachstum im Nordsektor als in Südsektor; der Unterschied beträgt nach 30 Jahren rund 30%.
West und Ost liegen dazwischen.

oberhalb 1900 m: Markant schnelleres Höhenwachstum im Südsektor als im Nordsektor; Faktor 2 nach 25 Jahren (Licht, Strahlung, Wärme, Schneebedeckung).

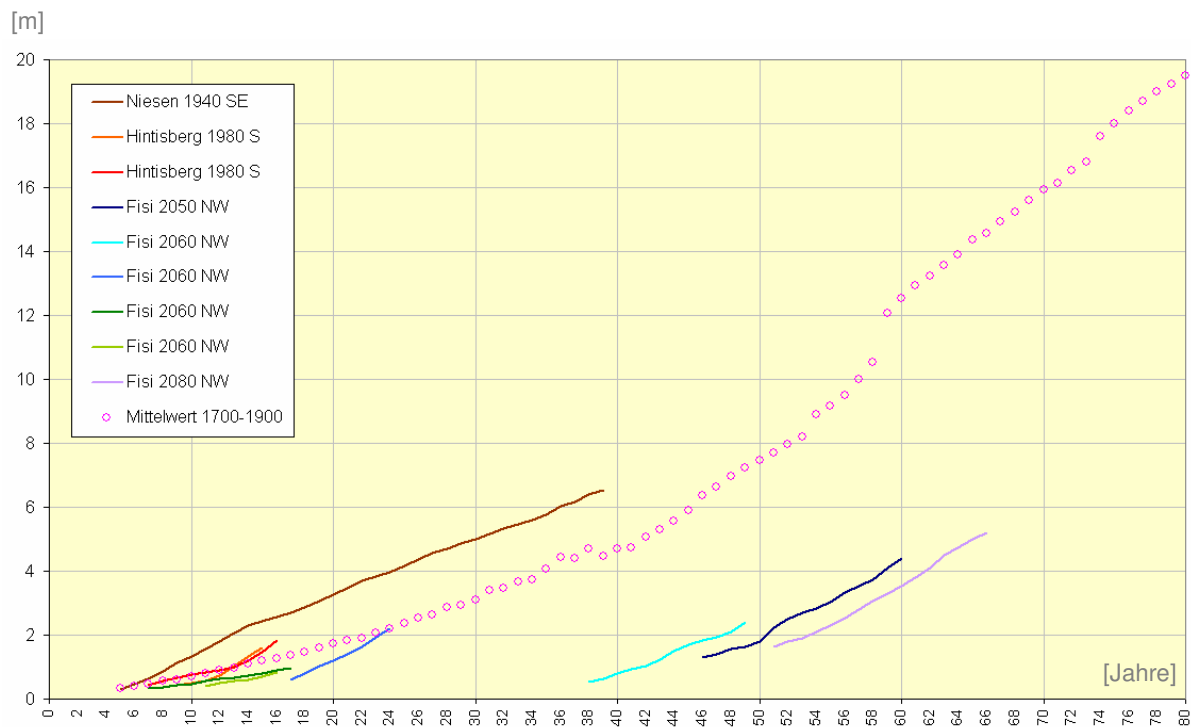


Abb 89 Wachstumskurven der 9 Probebäume der Höhenstufe >1900 m ü.M.
Baumhöhen als Funktion des Alters

4.3.2 Hat sich das Wuchsverhalten seit den 1950er Jahren verändert?

Die in den Aufforstungen beobachteten beachtlichen Jahrestriebe der vergangenen Jahre werfen die Frage auf, ob sich das Wuchsverhalten (infolge des Klimawandels?) in den vergangenen Jahrzehnten verändert hat. Aufgrund der Altersbestimmung der gefälltten Bäume durch Zählung der Jahrringe konnte für jeden Baum das Jahr seiner Pflanzung recht genau bestimmt werden. Da die Fichten in den meisten Fällen als Nacktwurzler (2/2, z.T. 2/3) gepflanzt worden sind, wurde ihnen zu diesem Zeitpunkt ein Alter von 4 Jahren zugeordnet.

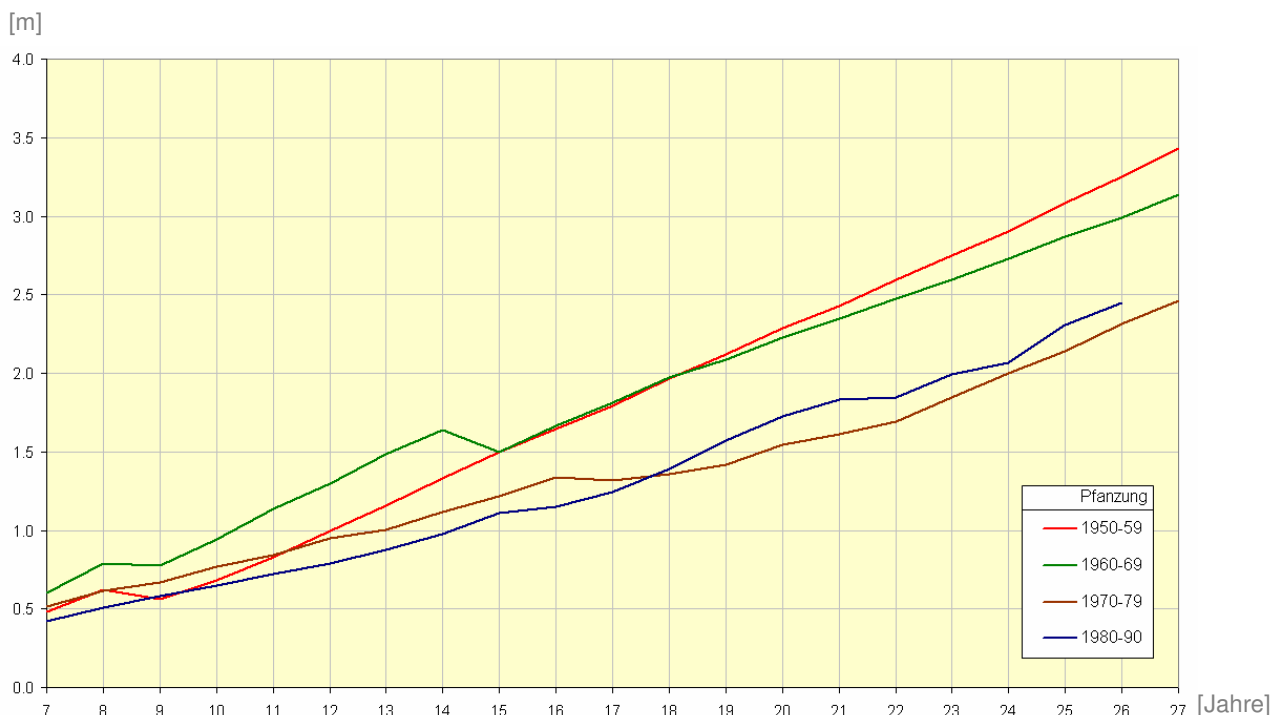


Abb 90 Wachstumskurven in Abhängigkeit der Pflanzperiode; Probebäume der Höhenstufe 1700-1900 m ü.M.

Aufgrund der 51 Probestämme im Bereich der Waldgrenze lässt sich die Vermutung nicht bestätigen, dass das Triebwachstum in den letzten Jahren gegenüber früheren Jahrzehnten zugenommen hat. Im Gegenteil (s. Abb 90): Die in den 1950er und 1960er Jahren gepflanzten Fichten wuchsen schneller als diejenigen, die in den 70er und 80er Jahren gepflanzten Bäume. Die erreichten Baumhöhen unterscheiden sich im Alter von 25 Jahren um $\frac{1}{2}$ bis 1 m.

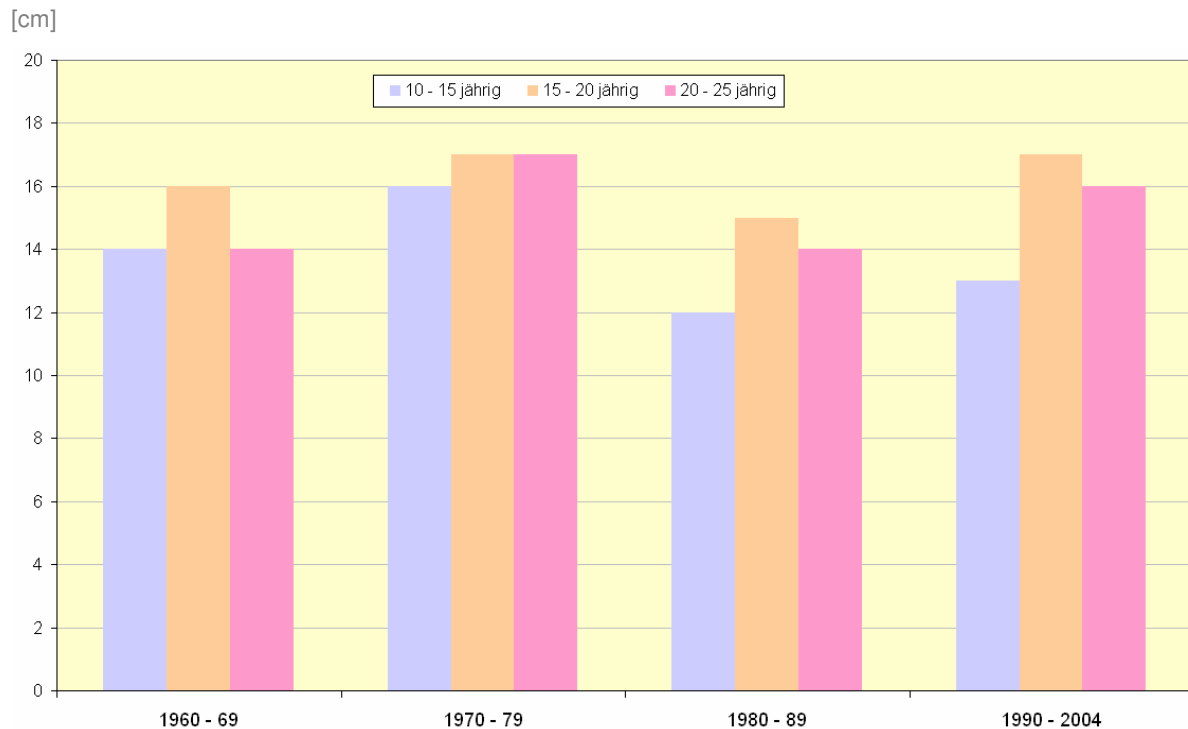


Abb 91 Durchschnittliche Jahrestrieblängen nach Altersklassen in den 60er, 70er und 80er Jahren sowie von 1990 bis 2004

Die Auswertung der Jahrestrieblängen zeigt, dass in den 1980er Jahren die Gipfeltriebe weniger wuchsen als in den beiden vorangehenden Jahrzehnten. Die im Vergleich zu den 80er Jahren längeren Triebe in der Periode seit 1990 könnten eine Erklärung für den Eindruck liefern, dass die Aufforstungen in den vergangenen Jahren überdurchschnittlich wuchsen. Die momentanen Triebblängen sind durchaus vergleichbar mit denjenigen in den 60er und 70er Jahren.

4.3.3 Dickenwachstum und Schlankheitsgrad

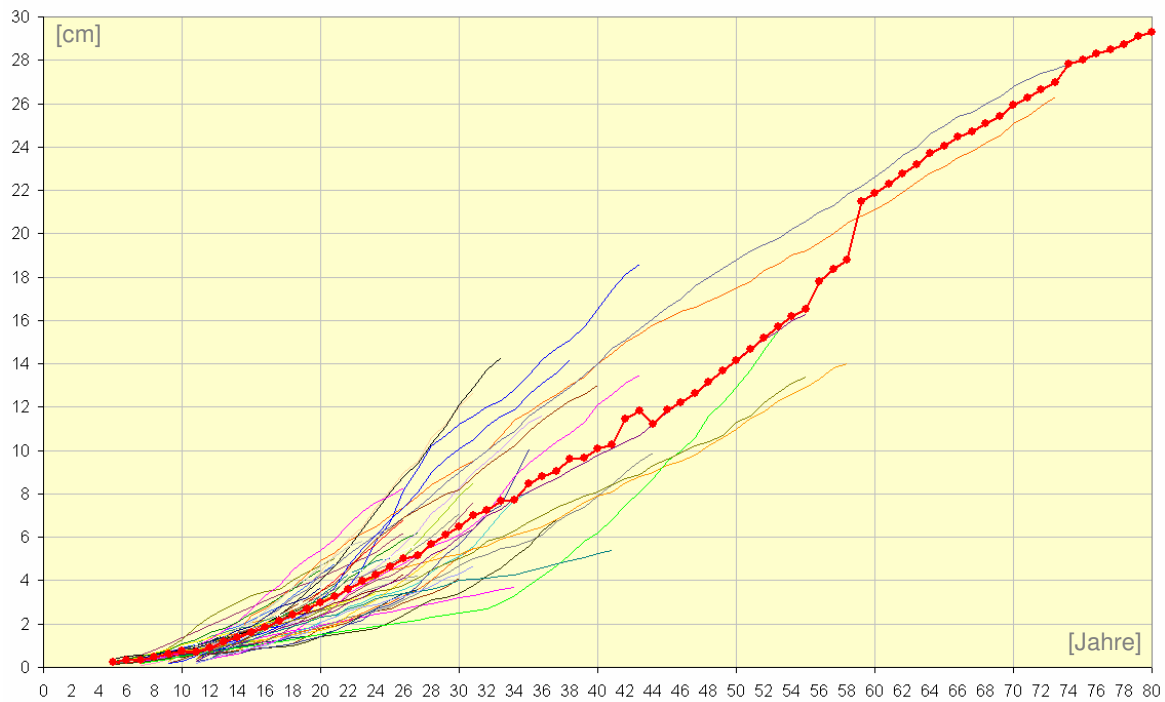


Abb 92 Dickenwachstum der 51 Probestäume der Höhenstufe 1700-1900 m ü.M.
Durchmesser 30 cm über Boden als Funktion des Alters. Rot: Mittelwerte

Das Dickenwachstum variiert innerhalb der gleichen Höhenstufe sehr stark; die Unterschiede sind markant grösser als beim Höhenwachstum.

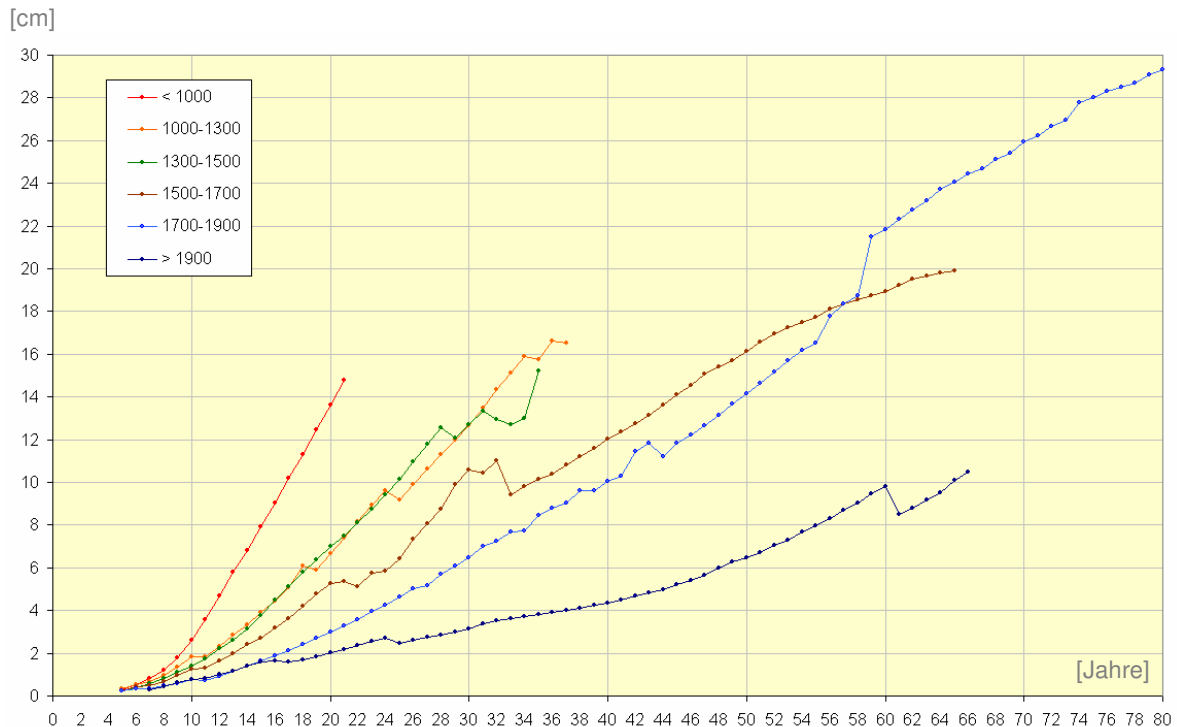


Abb 93 Dickenwachstum auf verschiedenen Höhenstufen. Mittelwerte der Stammdurchmesser
30 cm über Boden als Funktion des Alters

Die berechneten Durchschnittskurven zeigen auch beim Dickenwachstum eine deutliche Abhängigkeit von der Höhenlage. Der „Durchschnittsbaum“ ist im Bereich der Waldgrenze (1700-1900 m ü.M.) im Alter von 30 Jahren nur halb so dick wie derjenige auf 1300-1500 m.

Die Breite der Jahrringe nimmt mit der Höhenlage markant ab.

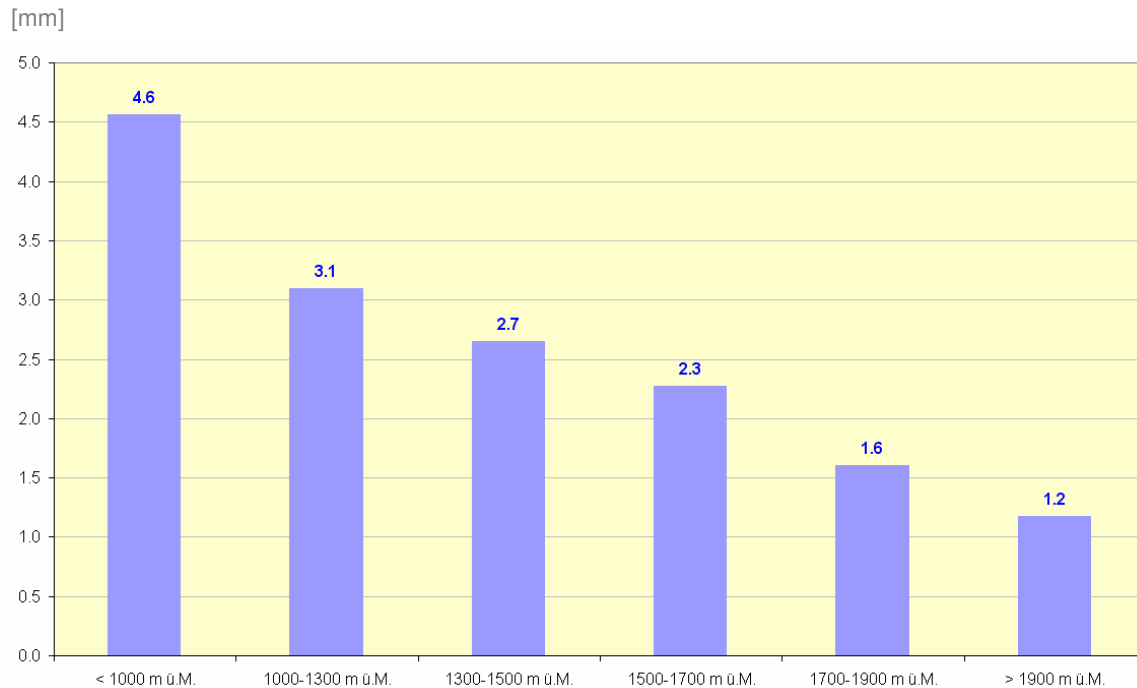


Abb 94 Durchschnittliche Jahrringbreiten in den ersten 40 Jahren in Abhängigkeit der Höhenlage

Ein weiteres Mass für das Dickenwachstum ist der Brusthöhendurchmesser, das heisst der Stammdurchmesser in einer Höhe von 1.3 m über Boden.

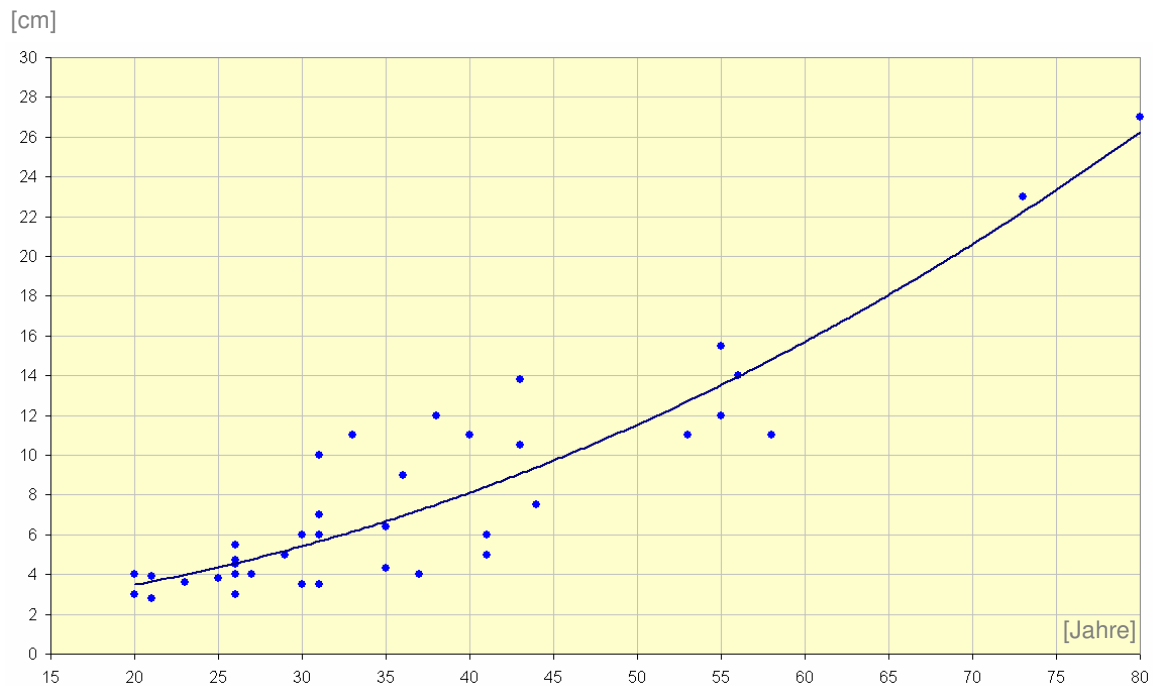


Abb 95 Brusthöhendurchmesser 1.3 m über Boden in Abhängigkeit des Baumalters, Höhenstufe 1700-1900 m ü.M.

Bei den 39 untersuchten Fichten im Bereich der Waldgrenze ist die Streuung der Brusthöhendurchmesser vor allem im Alter zwischen 30 und 45 Jahren auffallend gross.

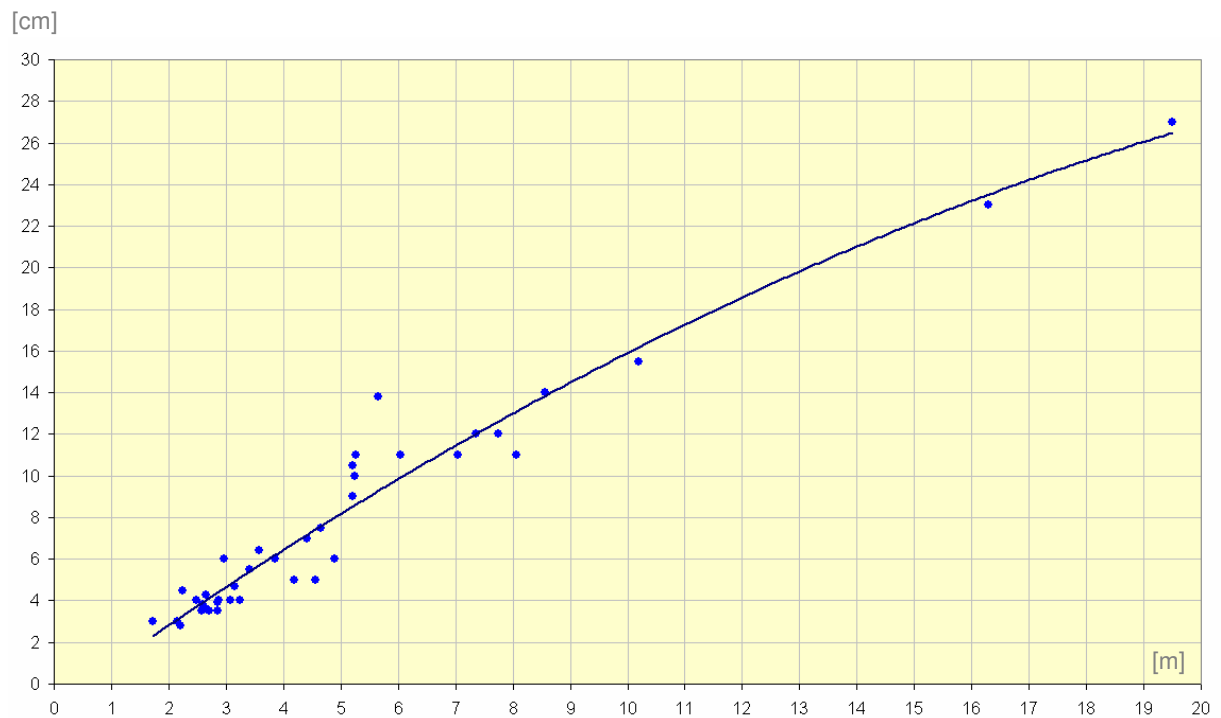


Abb 96 Brusthöhendurchmesser 1.3 m über Boden in Abhängigkeit der Baumhöhe, Höhenstufe 1700-1900 m ü.M.

Bei den 39 untersuchten Fichten im Bereich der Waldgrenze ist die Streuung der Brusthöhendurchmesser vor allem bei Baumhöhen zwischen 4 und 6 m auffallend gross. Der Schlankheitsgrad drückt das Verhältnis der Baumhöhe zum Durchmesser in 1.3 m Höhe (Brusthöhendurchmesser) aus. Je tiefer der Wert ist, desto kräftiger und stabiler ist ein Baum. Ein 10 m hoher Baum mit einem Brusthöhendurchmesser von 10 cm weist somit einen Schlankheitsgrad von 100 auf.

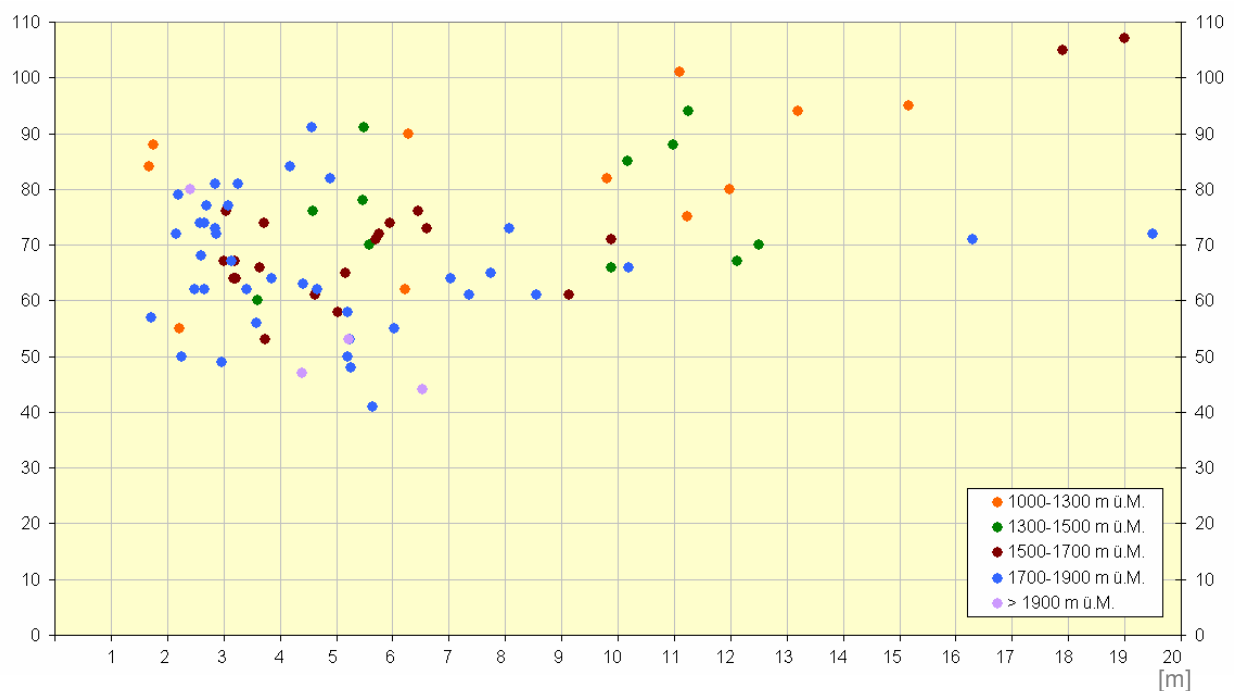


Abb 97 Schlankheitsgrade der Probestäume verschiedener Höhenlagen in Abhängigkeit der Baumhöhe

Die Werte variieren zwischen 41 und 107; der Durchschnitt liegt bei 70, zwei Drittel liegen zwischen 56 und 84.

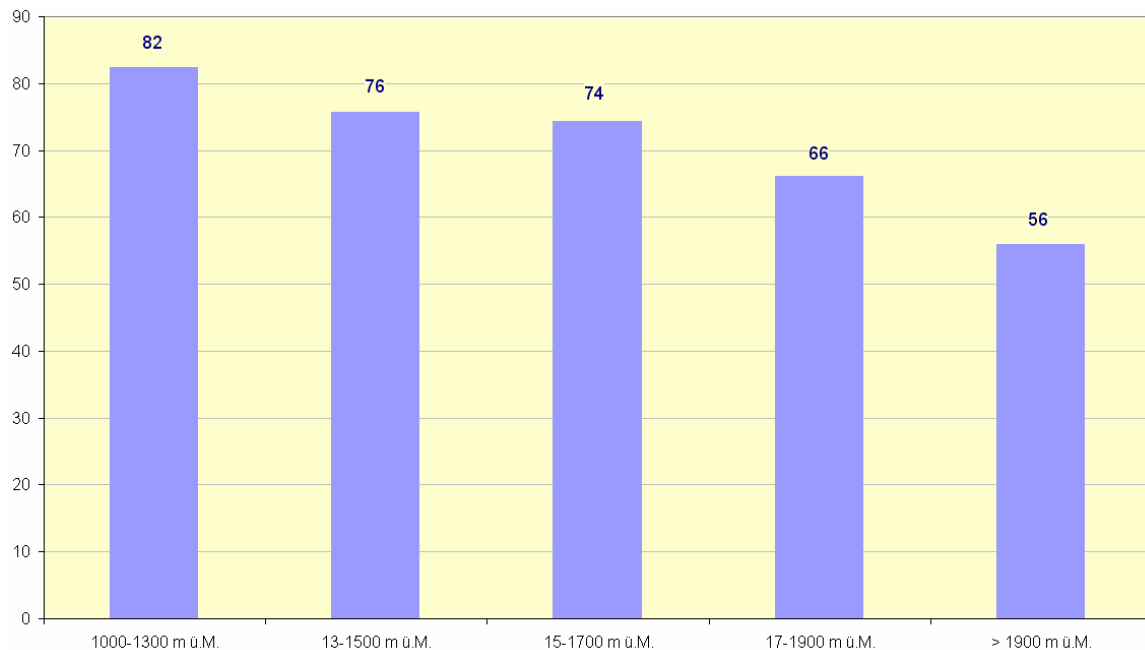


Abb 98 Durchschnittlicher Schlankheitsgrad nach Höhenlagen

Die Schlankheitsgrade nehmen mit zunehmender Höhenlage deutlich ab. Hochlagenfichten sind somit in der Regel „kräftiger“.

5. Bedeutung der Pflanzenherkunft

Während der letzten Eiszeit mussten sich die Baumarten in nicht vergletscherte Gebiete zurückziehen; die räumlich voneinander isolierten "Refugien" befanden sich zwischen dem Balkan und dem Ostrand der Alpen im ehemaligen Jugoslawien, Rumänien und der ehemaligen Sowjetunion. Die nacheiszeitliche Rückwanderung der Fichte in die Schweiz erfolgte vor ca. 8'800 - 7'500 Jahren auf verschiedenen Wegen von Osten und Süden her. In einer klimatisch günstigen Phase vor 7'500 - 4'800 Jahren lag die Waldgrenze in den Zentralalpen bei 2300 m ü.M., die Schneegrenze war deutlich oberhalb 3000 m; das Überqueren von Pässen war für die Pflanzen möglich. Zuerst erreichte die Fichte den Osten Graubündens, später verbreitete sie sich auf verschiedenen Wegen und in verschiedenen Zeitabschnitten in der ganzen Schweiz. Das Berner Oberland erreichte sie vermutlich vor etwa 5'000 Jahren.

Durch die geografische Lage der Refugien mit ihren speziellen Standortbedingungen und die Rückwanderung, bei der verschiedene Hindernisse überwunden werden mussten (insbesondere Alpenpässe), wurde die Baumart genetisch strukturiert. Die grosse genetische Vielfalt erlaubte der Fichte die Besiedlung verschiedenster Standorte. Das Berner Oberland weist infolge der starken topografischen Gliederung und der unterschiedlichsten klimatischen und geologischen Verhältnisse eine sehr hohe Standortvielfalt auf. Die lokal vorherrschenden Standortbedingungen führen vor allem in Extremlagen zu einem grossen Selektionsdruck; es können somit nur diejenigen Individuen überleben, die diesen Umweltbedingungen gewachsen sind.

Die Bildung genetisch unterschiedlicher, dem Standort angepasster Lokalrassen gilt heute als allgemein anerkannt; man spricht von Herkünften oder Provenienzen. Diese Anpassung ist zum Teil äusserlich nicht feststellbar (z.B. unterschiedliche Zusammensetzung der Enzymsysteme), zum Teil für das menschliche Auge offensichtlich erkennbar (z.B. die typische, säulenförmige, schlanke Kronenform bei Hochlagenfichten mit kurzen oder aber langen, feinen und abwärts gerichteten Ästen).

Die Gesamtheit der Standortfaktoren bildet das Umfeld für das Wachstum der Pflanzen. Dass nur genetisch angepasste Pflanzen den extremen Standortbedingungen in hohen Lagen standhalten können, ist längst erwiesen und bekannt. Bereits 1899 wurde der Einfluss der Herkunft von forstlichem Saatgut in ersten Versuchen untersucht. Fünf Provenienzen unterschiedlicher

Höhenlagen (550 - 1800 m ü.M.) wurden in tief gelegenen Forstgärten nachgezogen und anschliessend in 31 Versuchsflächen an verschiedensten Standorten bis 2150 m ü.M. gepflanzt. Die Auswertung des Versuchs nach 30 Jahren hat gezeigt, dass auf den Versuchsflächen unterhalb 1000 m Tieflagenherkünfte besser abgeschnitten haben.

Die Gründe liegen in den klimatischen Bedingungen; die Hochlagenherkünfte behalten ihren kurzen Vegetationsrhythmus bei und damit verbunden eine geringe Wachstumsleistung; Spätfröste bilden ein zentrales Problem, da der Knospenaufbruch bereits bei tieferen Temperaturen erfolgt als bei Tieflagenprovenienzen.

In den höher gelegenen Testgebieten hingegen schnitten eindeutig die Hochlagenprovenienzen besser ab.

In der Hochlagenaufforstungsfläche „Schwanderort“ (1730-1780 m ü.M.) wurden im Frühjahr 2004 205 Fichten einer Tieflagen-Provenienz aus Lyss (Lokalname Dickhard, 490 m ü.M., Moräne, Exposition NW) gepflanzt. Seither wird deren Entwicklung beobachtet und dokumentiert.



Abb 99, 100 Stand der Verholzung am 9.9.2004:

links:
Hochlagenprovenienz

rechts:
Tieflagenprovenienz



Tieflagenherkünfte haben in Hochlagen vor allem bei Frühfrösten grosse Probleme, weil das Wachstum/Verholzen noch nicht abgeschlossen ist. Zudem sind sie überhaupt nicht an die extremen Standortbedingungen (z.B. Gleitschnee) angepasst.



Abb 101, 102 Typisches äusseres Erscheinungsbild der Tieflagenprovenienz am 31.5. 2007



Nach 2 Jahren lebten im Herbst 2006 zwar noch rund 90 % der Pflanzen, deren Zustand ist aber „bedauernswert“. Das äussere Erscheinungsbild bestätigt unmissverständlich, dass für Hochlagenaufforstungen nur genetisch angepasste Herkünfte gepflanzt werden dürfen.

6. Wann übernimmt die Aufforstung die Funktion der Lawenverbauung?

Dieser Zeitpunkt hängt einerseits von der Mächtigkeit der Schneedecke ab, andererseits vom Verlauf des Wachstums der Aufforstung. Die Schneehöhen nehmen mit der Höhe über Meer zu, das Wachstum hingegen nimmt ab.

6.1 Massgebende Schneehöhen und erforderliche Baumhöhen

Massgebend für die Projektierung einer Stützverbauung sind gemäss den „Technischen Richtlinien im Anbruchgebiet“ (BAFU, 2007) die extremen Schneehöhen an den Werkstandorten. Berücksichtigt wird eine einheitliche Wiederkehrdauer von 100 Jahren.

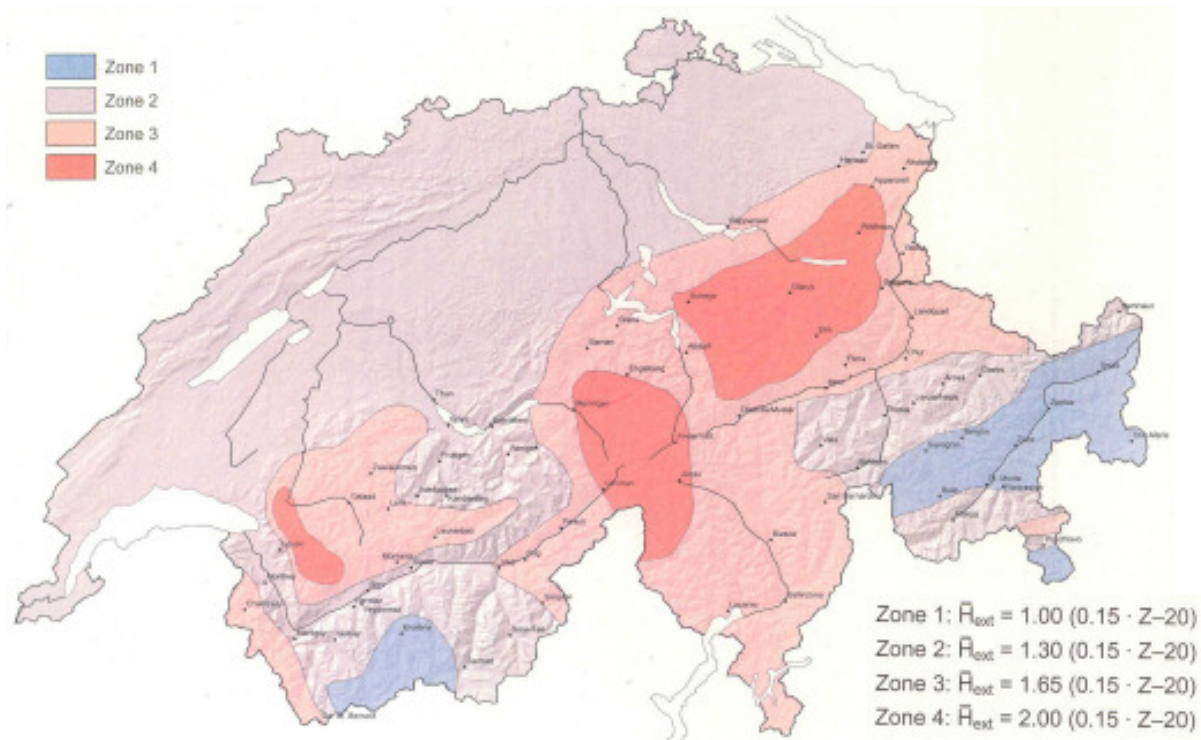


Abb 103 Flächenmittel der extremen Schneehöhen: Zoneneinteilung und Formeln ($Z = H.ü.M.$)

Das Berner Oberland umfasst die Zonen 2, 3 und 4. Der Einfachheit halber wurden allen weiteren Überlegungen die Werte der Zone 3 zugrunde gelegt. Konkret wird mit den folgenden massgebenden Schneehöhen gerechnet:

1000-1300 m ü.M.: 2.64 m
1300-1500 m ü.M.: 3.14 m
1500-1700 m ü.M.: 3.63 m
1700-1900 m ü.M.: 4.13 m

Nach Angabe des Eidg. Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (In der Gand, Frey, Meyer-Grass, Leuenberger, Bebi) sind in der Literatur verschiedene „Faustregeln“ für die wechselseitigen Beziehungen zwischen Schnee und Pflanze zitiert. Die Angaben für eine notwendige Baumhöhe gehen somit weit auseinander. Unbestritten scheint gemäss Peter Bebi (Mitteilung via E-Mail, 2006) die Tatsache, dass ab einer Baumhöhe, welche 1.5-mal der extremen Schneehöhe entspricht in jedem Fall eine stabilisierende Wirkung der Bäume auf die Schneedecke besteht.

Diese Grundregel steht auch im Einklang mit den Angaben in der Wegleitung „NAIS“ (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald, BUWAL, 2005).

Aufgrund dieser Überlegungen wird in der Folge davon ausgegangen, dass eine Aufforstung das Anreissen von Lawinen auch in schneereichen Wintern verhindern kann, wenn eine genügend grosse Anzahl Bäume (z.B. im Zentrum von Rotten) mindestens die folgenden Höhen erreicht hat:

1000-1300 m ü.M.: 4 m

1300-1500 m ü.M.: 5 m

1500-1700 m ü.M.: 6 m

1700-1900 m ü.M.: 7 m

6.2 Dauer bis zur Funktionsübernahme

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen über das Wuchsverhalten kann abgeleitet werden, wie lange die Aufforstungen im Berner Oberland bei den bis anhin herrschenden Klima- und Standortverhältnissen gebraucht haben, bis sie die Schutzfunktion der Lawinenverbauungen übernehmen konnten.

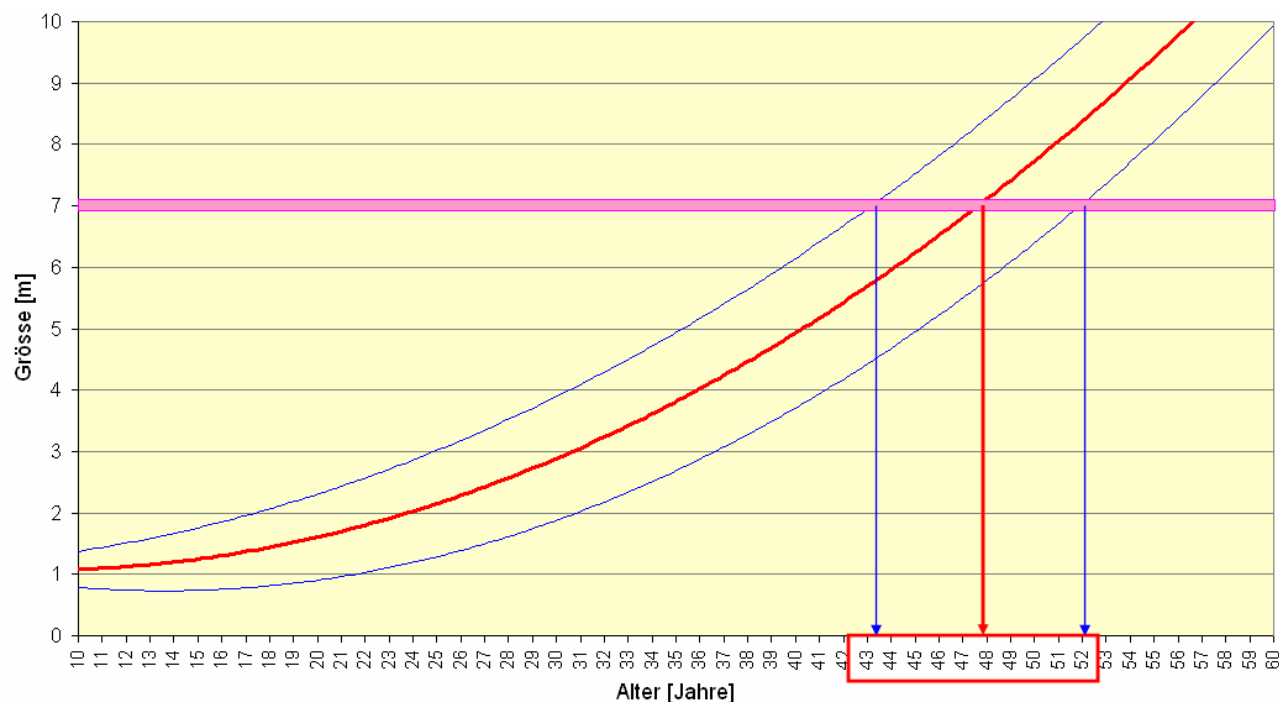


Abb 104 Wachstumskurve in der Höhenlage 1700-1900 m ü.M. (rot = Mittelwert, blau = Standardabweichung mit rund 2/3 aller gemessenen Werte; pink: Erforderliche Pflanzengrösse)

Im Bereich der Waldgrenze benötigten die Aufforstungen bei günstigen Verhältnissen 43, im Durchschnitt 48 und bei schwierigen Bedingungen 52 Jahre, bis die massgebenden Bäume eine Höhe von 7 m erreicht haben und damit das Anreissen von Lawinen wirksam verhindern können.

Auf dieselbe Art wurden die Wachstumskurven der weiteren Höhenlagen mit den erforderlichen minimalen Baumhöhen verglichen.

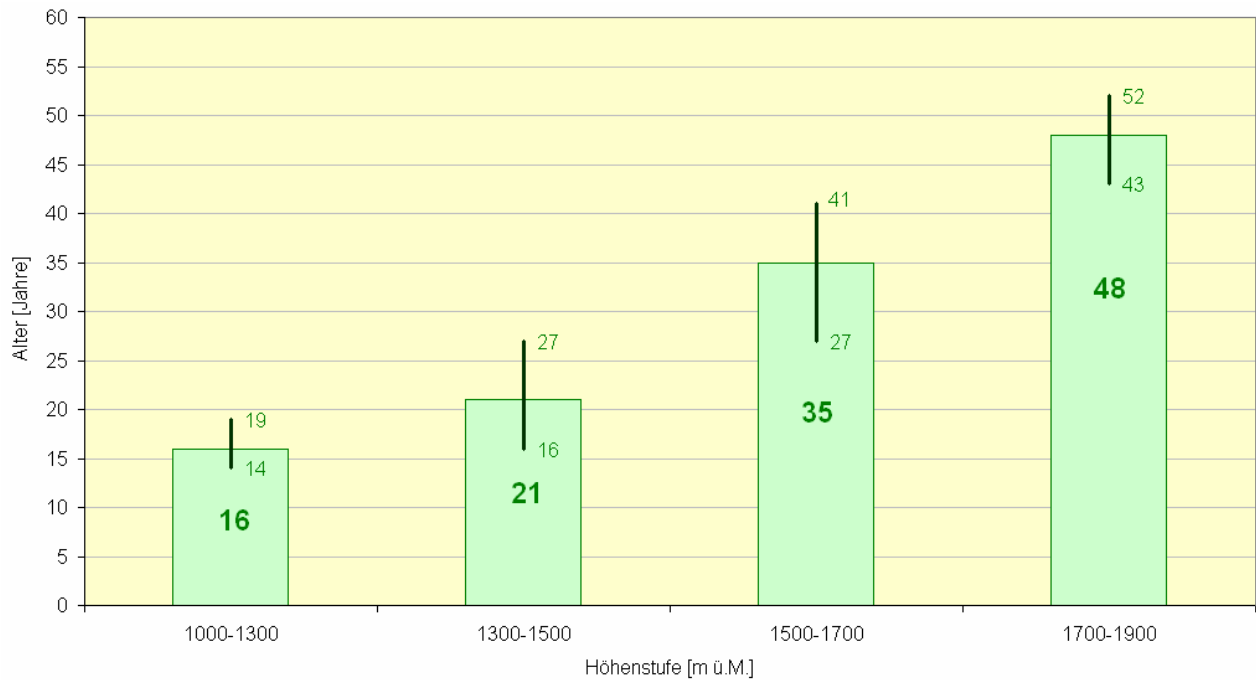


Abb 105 Alter, ab dem die Aufforstungen das Anreissen von Lawinen verhindern und damit die Funktion der Lawinenverbauungen übernehmen können. Durchschnittswerte (fett) und Standardabweichungen (Bereiche, in denen rund 2/3 aller Ergebnisse liegen)

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse müssen die folgenden Punkte beachtet werden:

- Die den Auswertungen zu Grunde gelegten erforderlichen Baumhöhen sind als unterer Grenzwert anzusehen.
- Die Aufforstungen können ihre Funktion nur erfüllen, wenn die Minimalanforderungen auf weiten Teilen der Fläche erfüllt sind.
- Die Ergebnisse der Untersuchungen entsprechen somit tendenzmässig einer optimistischen Einschätzung.
- Ob und inwieweit die Ergebnisse auch für das zukünftige Wuchsverhalten gelten, ist angesichts des Klimawandels ungewiss.



Abb 106 Lawinenverbauungs- und Aufforstungsprojekt Gantlauen, St. Stephan (Februar 2006): Die Fichten sind in der Lage, die Funktion der Lawinenverbauung zu übernehmen