

## Ökologische und waldbauliche Eigenschaften der Lärche (*Larix decidua* MILL.) – Folgerungen für die Waldbewirtschaftung in Österreich unter Berücksichtigung des Klimawandels

Universität für Bodenkultur  
Institut für Waldbau  
Institut für Meteorologie



Bundeforschungs- und  
Ausbildungszentrum  
für Wald, Naturgefahren und Landschaft  
(BFW)



Leitung des Teilprojektes:

Eduard Hochbichler

Institut für Waldbau

Universität für Bodenkultur

Wolfslehner, G., Koeck, R., Hochbichler, E., Steiner, H., Frank, G., Formayer, H., Arbeiter, F. (2011): Ökologische und waldbauliche Eigenschaften der Lärche (*Larix decidua* MILL.) – Folgerungen für die Waldbewirtschaftung in Österreich unter Berücksichtigung des Klimawandels. Endbericht von StartClim2010.E in StartClim2010: Anpassung an den Klimawandel: Weitere Beiträge zur Erstellung einer Anpassungsstrategie für Österreich, Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF

Wolfslehner, G., Koeck, R., Hochbichler, E., Steiner, H., Frank, G., Formayer, H., Arbeiter, F. (2011): Ecological and silvicultural characteristics of European larch (*Larix decidua* Mill.) – Consequences for forest management in Austria in consideration of climate change. Final Report of StartClim2010.E in StartClim2010: Adaptation to Climate Change: Further Contributions for the development of a policy paper for adaptation to climate change in Austria, funded by: BMLFUW, BMWF, BMWFJ, ÖBF

#### DANKSAGUNG

Wir wollen allen Personen, die sich im Rahmen der durchgeführten Befragung bereit erklärt haben, ihr Wissen und ihre Erfahrungen bezüglich der Lärchenbewirtschaftung zu teilen, unseren Dank ausdrücken.

Wien, im Juli 2011

StartClim2010.E

Teilprojekt von StartClim2010

Projektleitung von StartClim2010:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2010 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF, des BMWFJ und der ÖBf gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Kurzfassung</b>	<b>5</b>
<b>Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>6</b>
<b>E-1 Ökologie der Lärche</b>	<b>7</b>
<b>E-1.1 Refugialgebiete und Einwanderungsgeschichte bis zur heutigen Arealsentstehung</b>	<b>7</b>
<b>E-1.2 Biologie der Lärche</b>	<b>7</b>
<i>E-1.2.1 Physiologie der Lärche</i>	7
<i>E-1.2.2 Fruktifikation und Verjüngungsökologie</i>	9
<i>E-1.2.3 Wuchsverhalten der Lärche</i>	10
<i>E-1.2.4 Humusbildung und Wirkung auf den Standort</i>	11
<b>E-1.3 Sukzessionale Stellung und Gesellschaftsanschluss der Lärche im Ostalpenraum</b>	<b>11</b>
<i>E-1.3.1 Naturwaldreservate – Prozesse in der natürlichen Waldentwicklung</i>	11
<i>E-1.3.2 Die Lärche als Pionierbaumart</i>	12
<i>E-1.3.3 Die Bedeutung von Lärchen-Dauerwaldgesellschaften</i>	13
<i>E-1.3.4 Klimaxgesellschaften der Lärche</i>	14
<b>E-1.4 Klimatische und standörtliche Ansprüche der Lärche</b>	<b>16</b>
<i>E-1.4.1 Vorkommen hinsichtlich Temperaturen, Niederschlag und Vegetationszeit – Grenzen der natürlichen Verbreitung</i>	16
<i>E-1.4.2 Ansprüche an Geologie, Boden, Wasserhaushalt</i>	17
<i>E-1.4.3 Auswirkungen von Exposition, Relief, Geländeneigung und Gründigkeit auf die Lärchenverbreitung</i>	18
<b>E-1.5 Genetische Konstitution der Lärche</b>	<b>19</b>

<b>E-2</b>	<b>Lärchenbewirtschaftung in Österreich -----</b>	<b>20</b>
<b>E-2.1</b>	<b>Bedeutung der Lärche in Österreich -----</b>	<b>20</b>
<b>E-2.2</b>	<b>Ergebnisse der Befragung zur zukünftigen Lärchenbewirtschaftung-----</b>	<b>20</b>
	<i>E-2.2.1 Heutige und zukünftige Bedeutung der Lärche und Gründe dafür -----</i>	<i>20</i>
	<i>E-2.2.2 Ziele in der Lärchenbewirtschaftung - Waldbauliche Umsetzung-----</i>	<i>21</i>
	<i>E-2.2.3 Chancen und Risiken im Klimawandel -----</i>	<i>24</i>
<b>E-2.3</b>	<b>Waldbauliche Grundlagen in der Lärchenbewirtschaftung -----</b>	<b>25</b>
	<i>E-2.3.1 Stabilität, Standortsangepasstheit und wertvolle Holzproduktion – Erfüllung der waldbaulichen Anforderungen in der Lärchenbewirtschaftung - -----</i>	<i>25</i>
	<i>E-2.3.2 Naturverjüngung der Lärche -----</i>	<i>26</i>
	<i>E-2.3.3 Wuchsverhalten hinsichtlich Herkunft, Standort und Mischungsart mit ökonomischer Bewertung-----</i>	<i>28</i>
<b>E-3</b>	<b>Klimatische Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Lärche -----</b>	<b>32</b>
<b>E-3.1</b>	<b>Anforderungen im Klimawandel an die Lärche -----</b>	<b>32</b>
	<i>E-3.1.1 Stabilität und Standortsangepasstheit – Standortsanpassungsfähigkeit</i>	<i>32</i>
	<i>E-3.1.2 Extremereignisse – Pioniereigenschaften der Lärche -----</i>	<i>33</i>
<b>E-3.2</b>	<b>Lärchenverbreitung in Österreich unter Szenariobedingungen-----</b>	<b>34</b>
	<i>E-3.2.1 Klimaszenarien für Österreich-----</i>	<i>34</i>
	<i>E-3.2.2 Heutige und zukünftige Verbreitung der Lärche -----</i>	<i>36</i>
<b>E-4</b>	<b>Ableitungen und Empfehlungen für die Lärchenbewirtschaftung in Österreich -----</b>	<b>41</b>
<b>E-4.1</b>	<b>Empfehlungen hinsichtlich der Lärchenbewirtschaftung in unterschiedlichen Wuchsgebieten-----</b>	<b>41</b>
<b>E-4.2</b>	<b>Standörtliche Empfehlungen für die zukünftige Lärchenbewirtschaftung----</b>	<b>41</b>
<b>E-4.3</b>	<b>Konzepte der zukünftigen Lärchenbewirtschaftung -----</b>	<b>42</b>
	<i>E-4.3.1 Die Lärche in Hochlagen – Stabilitätsträger und Pionier-----</i>	<i>42</i>
	<i>E-4.3.2 Die Lärche als Mischbaumart der montanen Stufe – wertvoller Stabilitätsträger bei angepasster Pflege -----</i>	<i>43</i>
	<i>E-4.3.3 Die Lärche als Mischbaumart im Laubwald – Pflegebedürftiger Werträger-----</i>	<i>44</i>
<b>E-5</b>	<b>Schlussfolgerungen -----</b>	<b>45</b>
	<b>Literaturverzeichnis -----</b>	<b>47</b>
	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----</b>	<b>50</b>

## Kurzfassung

Die europäische Lärche (*Larix decidua* MILL.) ist mit einem Flächenanteil von 4,6 % die zweithäufigste Nadelbaumart Österreichs. In der Naturwaldentwicklung wirkt die Konkurrenz von Klimaxbaumarten entscheidend auf ihr Auftreten, wodurch sie aufgrund ihrer großen physiologischen Amplitude zwar in submontanen bis subalpinen Wäldern vorkommt, dominante Stellung aber nur in subalpinen Lärchen-Zirbenwäldern und Dauerwald-Gesellschaften erlangt. Anthropogen bedingt weist die Lärche heute Flächenanteile deutlich über ihren natürlichen Gesellschaftsanschluss hinaus auf. Durch die zunehmende Instabilität fichtendominierter Wälder besteht unter Waldbewirtschaftern der steigende Wunsch nach einer größeren Baumartenspreitung, um die Anfälligkeit gegenüber Windwurf und Gefährdung durch Schädlinge zu verringern. Der Lärche als tiefwurzelnder und windstabiler Baumart wird dabei eine steigende Bedeutung zugesprochen. Klimaszenarios des Klimamodells REMO-UBA A1B zeigen für die Periode 2071 – 2100 in großen Teilen Österreichs Zunahmen der Jahrestemperatur zwischen knapp 3,5 – 4,5° C bei unterschiedlicher Entwicklung der Niederschläge in verschiedenen Regionen. In montanen bis subalpinen Höhenstufen werden unter Szenariobedingungen auch zukünftig klimatische Bedingungen bestehen, die denen der heutigen Verbreitung der Lärche entsprechen, während in Tieflagen in weiten Teilen, vor allem durch erhöhte Temperaturen, die heutigen klimatischen Grenzen der Lärche nicht mehr erfüllt werden. Unter sich verschärfenden klimatischen Bedingungen in diesen Regionen muss von einem zunehmenden Risiko durch Schadeinflüsse in der Lärchenbewirtschaftung ausgegangen werden. Verschiebungen des Areals der heutigen Tieflagenlärche in höhere Lagen könnten durch waldbauliche Pflanzversuche ausgelotet werden. Ausgehend von einem zukünftig gesteigerten Auftreten klimatischer Ereignisse wie Trockenperioden oder Starkniederschlägen kann die Lärche im Bergwald, nach standörtlichen Eigenschaften in unterschiedlichem Maße, eine bedeutende Rolle als stabilisierende Mischbaumart einnehmen.

## Abstract

European larch (*Larix decidua* MILL.) constitutes the second most prevalent conifer tree species in Austria, and covers an area of 4.6 % of the forest land. Under the conditions of natural forest succession, competition from climax tree species has decisive impact on its occurrence. Hence, due to its wide physiological amplitude, the larch can be found within forest stands from the submontane zone up to the subalpine zone. Yet only within subalpine forest communities of stone pine and larch and within natural subalpine larch forest communities it occupies a position as a dominant tree species. Larch can be described as tree species with high tolerance to site and climatic conditions. Its natural distribution has been highly extended by human activities. Due to the increasing instability of forests dominated by Norway spruce, forest managers are more and more concerned about diversification of tree species within the forest stands. Thus, they expect higher stability against wind throw and insect infestations. As a deep rooted tree species which is highly resistant to strong wind storms, the European larch is likely to be of growing importance in this context. For the period of 2071 to 2100, climate scenarios of the simulation model REMO-UBA A1B show an increase of the annual mean temperature between 3.5 °C and 4.5 °C in large parts of Austria, while the future annual precipitation sum is expected to vary across the country. Under the climate change scenario, the future growth conditions will still be favourable for larch within the montane up to the subalpine altitudinal zone. However, in the submontane zone, the climatic boundary conditions for European larch will not be fulfilled in many parts of the Austrian territory, which can be explained by the simulated increased temperatures. Under the influence of tougher climatic conditions within these regions of low elevation, it can be assumed that the silvicultural cultivation of larch will involve an increased risk of damages. Dislocations of the area of larch provenances from low to higher elevated regions of the montane zone should therefore be investigated by silvicultural plant experiments. Based on the fact that extreme climate events like dry spells or heavy rainfalls will occur more frequently in the future, larch could play a crucial role as stabilizing tree species in mountain forest ecosystems, differentiated by specific forest site conditions.

## Einleitung und Zielsetzung

Klimatische Veränderungen stellen Waldbewirtschafter vor die Herausforderung, waldbauliche Entscheidungen so zu treffen, dass Waldfunktionen unter langfristigen Produktionszeiträumen aufrechterhalten werden können. In diesem Zusammenhang kommt der Stabilität, Standortsangepasstheit und Anpassungsfähigkeit der Waldökosysteme eine vorrangige Bedeutung zu. Die Europäische Lärche (*Larix decidua* MILL.) wird allgemein als Baumart mit großer ökologischer Amplitude beschrieben. Sie ist gekennzeichnet durch ausgeprägte Pioniereigenschaften, wodurch sie in der Lage ist, großräumige Störungsflächen zu besiedeln. Daneben verfügt sie über eine hohe Stabilität gegenüber Windwurf und Steinschlag und stellt nicht zuletzt eine ökonomisch wertvolle Baumart dar. Diese Eigenschaften deuten, neben aktuell zunehmenden Gefährdungen der Fichte, darauf hin, dass der Lärche zukünftig eine größere Bedeutung zukommen könnte, und zwar auf unterschiedlichsten Waldstandorten und unter verschiedenen Zielsetzungen in der Bewirtschaftung.

Das Ziel dieser Arbeit ist folglich damit definiert, eine waldbauliche Neubewertung der Lärche im Hinblick auf die zu erwartenden Veränderungen durch den Klimawandel durchzuführen.

Um die Lärche im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels bewerten zu können, stellen ihre ökologischen Eigenschaften die Grundlage dafür dar. Daher wurde zunächst auf Basis von Literaturrecherche ein Überblick über das physiologische Verhalten der Lärche, ihren Gesellschaftsanschluss und ihre standörtlichen und klimatischen Eigenschaften gegeben. Daten aus Erhebungen im Österreichischen Naturwald Reserve-Netz dienen dazu, das Vorkommen der Lärche in unterschiedlichen Waldgesellschaften zu beschreiben. Dabei wurde ihr Auftreten in der Baumschicht wie in der Verjüngung miteinbezogen.

Um mögliche Veränderungen in der waldbaulichen Bedeutung der Lärche abschätzen zu können, stellt die Naturverjüngungsdynamik einen wesentlichen Aspekt dar, da sie das Potential der Lärche im naturnahen Waldbau anzeigt. Wiederum dienen als Basis dafür Literaturbeispiele. Zukünftige Ziele in der Bewirtschaftung mit Lärche wurden durch die Befragung von Entscheidungsträgern der forstlichen Branche erhoben. Sie gaben Aufschluss darüber, welche Eigenschaften der Lärche, sowie Chancen und Risiken der Lärche im Klimawandel für forstliche Akteure von Bedeutung sind, und welche waldbaulichen Ziele für die Lärchenbewirtschaftung in unterschiedlichsten Waldgesellschaften gesehen werden. Für den Wirtschaftswald stellte eine ökonomische Bewertung der Lärche eine Grundlage für waldbauliche Entscheidungen dar. Dies gilt besonders für den Einsatz der Lärche als Mischbaumart, wobei sich auch die Einbeziehung von herkunftsspezifischen Unterschieden als bedeutend erweist.

Einen vorrangigen Teil dieser Arbeit stellen die Auswirkungen der klimatischen Veränderungen auf die Lärchenverbreitung in Österreich dar. Auf Basis von Literaturrecherche und unter Berücksichtigung der heutigen Verbreitung der Lärche in Österreich wurden in dieser Arbeit klimatische Grenzen der Lärchenverbreitung festgelegt. Sie dienen dazu, einen Überblick zu geben, wie sich unter Szenariobedingungen des Klimamodells REMO UBA A1B die klimatischen Bedingungen in der Periode 2071 – 2100 im Verhältnis zum Vergleichszeitraum 1961 – 1990 verändern.

Durch die gewonnenen Erkenntnisse werden Empfehlungen für die Lärchenbewirtschaftung entwickelt. Diese beziehen standörtliche und regionale Unterschiede mit ein. Grundlegend werden dafür klimatischen Veränderungen, welche sich unter Szenariobedingungen ergeben können, mit berücksichtigt. Wesentlich fließen die Ergebnisse aus den Befragungen bei den Ableitungen zur Lärchenbewirtschaftung mit ein.

## E-1 Ökologie der Lärche

### E-1.1 Refugialgebiete und Einwanderungsgeschichte bis zur heutigen Arealsentstehung

Erste gesicherte Nachweise, die eine weite Lärchenverbreitung von Sibirien über Westeuropa anzeigen, stammen aus dem Tertiär (Leibundgut 1992). Nach Mayer (1962) begann die postglaziale Rückeinwanderung aus dem Gebiet am südlichen Alpenrand und dem nicht vereisten Teil zwischen nordischem und alpinem Gletschergebiet, wo die Lärche überdauert hat. Als gesicherte Refugialgebiete gelten das östliche und südöstliche Alpenvorland und Tieflagen nördlich und südlich des Westkarpatenvorlandes (Geburek 2002, Leibundgut 1992). Ihr größtes postglaziales Auftreten erfuhr die Lärche in der abklingenden Föhrenzeit (Mayer 1962). Heute sind vier disjunkte Teilareale beschrieben (Geburek 2002, Leibundgut 1992):

- Alpen: Das größte Teilgebiet erstreckt sich von den französischen Seealpen bis hin zum Wienerwald. In dem Areal werden größte Spannen in der vertikalen Verbreitung erreicht, so kommt Lärche in den Zentralalpen bis 2400 m Seehöhe, in den Randalpen zwischen 300 - 1800 natürlich vor (Mayer 1974). Leibundgut (1992) weist auf die großen Unterschiede der Lärchenherkünfte innerhalb des Alpenraumes hin und unterscheidet zwischen „Alpenlärchen tief gelegener Areale“ wozu Herkünfte des Wienerwaldes, des Alpenostrandes und südlicher Alpentäler gezählt werden, „Alpenlärchen der mittleren Höhenlagen“ bei denen er Herkünfte aus den Zwischen- und Randalpen in 800 – 1500 m Höhenlage nennt und „zentralalpine Hochlagenlärche“ der kontinentale Verbreitung.
- Sudeten: Im Fichten-Tannen-Buchen-Wald der mährisch-schlesischen Senke zwischen 300 – 800 Meter Höhenlage tritt die Lärche raschwüchsig mit geringer Krebsanfälligkeit und guter Stammform auf (Leibundgut 1992).
- Karpaten: Der Schwerpunkt dieses natürlichen Lärchen-Verbreitungsgebiets liegt in der Tatra. Typischerweise kommt die Lärche hier in Mischung mit Zirbe und Latsche in höheren Lagen und Buche und Ahorn in tieferen Lagen vor. Auch in diesem Areal wird von Leibundgut (1992) die Notwendigkeit der Unterscheidung mehrerer Herkünfte erwähnt, tritt die Lärche hier doch in Höhenstufen zwischen 600 – 1600 m Seehöhe auf.
- Polen: In einer Höhenstufe von 150 bis 600 m tritt die Polenlärche eher im östlichen Teil des Landes auf (Leibundgut 1992).

### E-1.2 Biologie der Lärche

#### E-1.2.1 Physiologie der Lärche

Eine der ältesten beschriebenen Lärchen erreichte ein Alter von 672 Jahren, sie stockte auf einem Nordhang in 1500 m Seehöhe (Tschermak 1935). Mayer (1962) weist auf eine vergleichsweise höhere Lebensdauer in den Inneralpen und in höherer Lage hin, wo Lärchen zwischen 300 – 500 Jahren keine Seltenheit darstellen, während Starklärchen in tieferen Lagen bei frischen Bodenverhältnissen in ihrem Alter durch Fäuleerreger begrenzt werden und Bäume mit mehr als 250 Jahren kaum anzutreffen sind.

Mehr als ihre eigene Wuchskraft entscheiden Wettbewerbsverhältnisse zwischen der Licht- und Pionierbaumart Lärche und den Schattbaumarten das Auftreten der Lärche. Wie sich die standörtlichen und klimatischen Bedingungen von Randalpen zu Inneralpen, Norden- nach Süden, montaner zur subalpinen Lage ändern, so verlagern sich die Konkurrenzverhältnisse zu Gunsten der Lärche. Je reifer Standorte und je geringer die Vorkommen von Reliktstandorten sind, umso geringer ist die Konkurrenzkraft der Lärche gegenüber Klimaxbaumarten. Dem hohen Lichtbedarf der Lärche und der geringen Ak-

zeptanz seitlicher Beschattung kommt dabei eine große Bedeutung zu (Mayer 1962). Aus ihrem Verbreitungsgebiet auf die Umweltansprüche zu schließen, scheint Ellenberg (1982) wenig zweckmäßig. So weist beispielsweise Auer (1947) im Oberengadin, einem Gebiet von hohem natürlichen Lärchenanteil, darauf hin, dass die Lärche dort keine optimalen Wuchsverhältnisse vorfindet.

Anfodillo et al. (1998) zeigen in einem Versuch an der Baumgrenze mit Fichte, Zirbe und Lärche, dass die Lärche auch in Trockenperioden hohe Transpiration aufweist, und von den untersuchten Baumarten das niedrigste Xylem-Wasserpotential erreicht. Dies bedeutet, dass die Lärche im Hochsommer, wenn Trockenstress am wahrscheinlichsten ist, ihre Wasseraufnahmekapazität erhöht. Die Autoren schließen daraus, dass die Lärche in Trockenperioden eine andere Strategie verfolgt als die beiden anderen untersuchten Arten. Ihr Wurzelsystem erlaubt, aus tieferen Bodenschichten Wasserreserven zu nutzen und bei Verringerung des Wasserpotentials die Wasseraufnahmekapazität groß zu halten, während die anderen untersuchten Arten in trockeneren Perioden Wasser sparend reagieren und den Wasserstrom einschränken. Die Lärche kann währenddessen ungehindert weitertranspirieren und muss die Assimilation nicht unterbrechen.

Untersuchungen an Sämlingen von Fichten, Lärchen und Zirben zeigen, dass Lärchensämlinge erst bei geringen Wasserpotentialen mit Verringerung der Transpiration reagierten, wobei es dann zu einer rapiden Abnahme bis zum Stomataschluss kommt. Zirben reagieren schon früher, bei weniger negativem Wasserpotential im Boden mit Verringerung der Transpiration und zeigen von den untersuchten Arten die höchste Effizienz in der Wassernutzung im Verhältnis zur Photosynthese (Havranek und Benecke 1978).

Vergleicht man die Transpiration der Lärche je Gramm Frischgewicht der Blätter, zeigt die Lärche eine intermediäre Stellung. Generell verbrauchen Laubbaumarten mehr Wasser als Nadelbaumarten und Lichtbaumarten mehr Wasser als Schattbaumarten. Die Laub-Abwerfende Lärche verbraucht weniger Wasser je Blattmasse als Laubbaumarten, aber mehr als andere heimische Nadelbaumarten (Lyr et al. 1992).

Die Beurteilung der Lärche hinsichtlich ihres Wasserhaushaltes kann nicht allgemein getroffen werden. So zeigt Lärche bezogen auf ihre Herkünfte unterschiedliche Trockenheitsamplituden. Kral (1967) weist darauf hin, dass Herkünfte mit Schattenblatt-Typus (Tieflagen, Alpenostrand, Japanlärche, Sudetenlärche) früher und stärker die Transpiration einschränken, als Lichtblatt-Typen (Hochlagenherkünfte). So sind die Schattenblatt-Typen empfindlicher gegenüber Trockenheit, während sich Hochlagenherkünfte als resistenter zeigen.

Als Lichtbaumart erreicht die Lärche ihre maximale Photosyntheserate bei höherem Lichtgenuss. Allgemein muss dabei berücksichtigt werden, dass sich herkunftsspezifische Unterschiede zeigen. Lärchenherkünfte der tieferen Lagen der Alpen zeigten sich als weniger lichtbedürftig bei einer geringeren Amplitude gegenüber Trockenheit (Kral 1967). Hinsichtlich der Temperaturabhängigkeit der Photosyntheseleistung zeigten sich bei Tieflagenlärchen höhere Temperaturen optimal, als bei Hochlagenlärchen. Prägend für die Photosyntheseleistung wirkte neben Lichtgenuss, Temperatur und Wasser auch die Luftfeuchtigkeit. Dabei zeigten sich Lärchen und Zirben bei geringer Luftfeuchte als weniger sensibel als Fichte. Erstere verringerten ihren Photosyntheseleistung zwar deutlich, bei Fichte kam diese aber vollständig zum Erliegen (Lyr et al. 1992).

Lärche weist eine verhältnismäßig hohe Nettophotosynthese auf, die zwar deutlich unter Werten der Laubbaumarten liegt, jene der anderen Nadelbaumarten aber überschreitet. Diese ist allerdings gebunden an eine höhere Transpiration in der Vegetationsperiode, als sie etwa andere Nadelbaumarten aufweisen. Bezüglich der Produktivität bedeutet dies, dass Lärche für die Produktion der gleichen Trockensubstanz mehr Wasser benötigt als Douglasie und Buche, ähnliche Werte aufweist wie Fichte, aber eine geringere Wassermenge benötigt als beispielsweise Kiefern- oder Eichenarten (Lyr et al. 1992).

### **Biotische und Abiotische Gefährdungen der Lärche**

Traten biotische Schädigungen früher bedingt durch waldbauliche Fehler und sekundär durch abiotische Einflüsse auf, zeigte sich in den letzten Jahren ein gehäuftes Auftreten unterschiedlicher Schadsymptome an Nadeln und Stamm, die in ihrem Wirkungsgefüge noch wenig geklärt sind. Frühe Wintereinbrüche nach warmen Perioden dürften im letzten Jahr vor allem in Tieflagen erheblich zu Schädigungen beitragen, wie Spätfröste in höheren Lagen als Schädigungen wirksam wurden und feuchte Sommerperioden Pilzkrankheiten förderten. Im Jahr 2010 zeigten sich vor allem Schädigungen durch Lärchen-Knicklaus (*Adelges geniculatus*), Lärchennadel-Miniermotte (*Coleophora laricella*) und Lärchenknospen-Gallmücke (*Dasineura kellneri*) als bedeutend. Sekundär nach Lausbefall wurde Nadelschütte (*Mycosphaerella laricina*) festgestellt. Unterdrückte Lärchen weisen wiederholt Befall durch Bockkäfer (*Tetropium* sp.) auf. Lärchenkrebs (*Lachnellula willkommii*) spielt nach wie vor als Schaderreger eine wesentliche Rolle. Standort und Klima sowie herkunftsspezifisch variierende Anfälligkeit sind neben später oder mangelhafter Pflege wesentliche Faktoren die das Schadausmaß an Lärche prägen (Tomiczek et al. 2011, Tomiczek und Steyrer 2011).

#### **E-1.2.2 Fruktifikation und Verjüngungsökologie**

Die Lärche zeigt sich hinsichtlich ihres Blüh- und Fruktifikationsverhaltens als sensibel. Die Pollen der Lärchen sind verhältnismäßig schwer, sie werden demnach weniger weit verbreitet. Die Pollenmenge ist gegenüber anderen Baumarten eher gering (Litschauer und Konrad 2011). In Hochlagen wird die klimatisch und Baumdichte bedingte Abnahme der Pollenmenge besonders deutlich in einer hohen Rate an Selbstbestäubung und in engen Verwandtschaftsbeziehungen benachbarter Bäume in natürlichen Beständen (Lewandowski und Burczyk 2000). Nicht unerheblich sind weiters große Anteile an leeren Samenanlagen (Slobodník 2002). Oftmals werden weibliche Blüten zwar bestäubt, es kommt aber zu keiner Embryonalentwicklung beziehungsweise ist das Absterben von Embryonen ein wesentlicher Grund für eine geringere Samenmenge im Verhältnis zu den befruchteten Eizellen (Slobodník und Guttenberger 2005).

Mittlerer Samenjahre können in tieferen Lagen in Abständen von 3 – 4 Jahren, in Hochlagen in Abständen von 4 – 6 Jahren stattfinden. Ob es zur Samenentwicklung kommt, hängt wesentlich mit der Witterung in den Jahren vor der Fruktifikation zusammen. Hohe Temperaturen im Jahr der Blütenknospenanlage begünstigen diese. Als wesentlicher Einfluss auf die Samenentwicklung ist die Witterung während der Blühzeit zu nennen. Hier werden besonders in tieferen Lagen bei früheren Blütezeiten zwischen der 12 und 15 Kalenderwoche im Vergleich zu Hochlagen, wo die Hauptblütezeit zwischen Ende April und Anfang Mai liegt, häufig Schädigungen durch Spätfrost an weiblichen Blüten beobachtet (Litschauer und Konrad 2011).

Nach der Samenreife im Herbst kommt es im Frühjahr, wo sich die Zapfen bei warmer und trockener Witterung öffnen, zum Samenfall, die Keimung erfolgt anschließend bis in den frühen Sommer (Burschel und Huss 1997). Der Samenfall ist wiederum stark von der Witterung abhängig, so verzögert sich dieser in feuchten, kühlen Jahren bis in den Herbst. Später gekeimte Sämlinge zeigen bis zum Ende der Vegetationsperiode deutlich geringere Entwicklung wodurch vor allem konkurrenzbedingt die Überlebenschancen abnehmen (Lüpke und Röhrig 1972).

Die ausführlichste Darstellung der Verjüngungsökologie der Lärche stammt von Auer (1947) in der Lärchen-Zirbenwaldstufe. Optimale Verjüngungsverhältnisse findet die Lärche auf initialen Standorten ohne Humusaufgabe. Auf diesen ist der Deckungsgrad der Vegetation gering und die Verjüngung erhält ausreichend Licht. Leichte Moosbedeckung fördert die Lärchenverjüngung während dichtere Kraut und Zwergstrauchvegeta-

tion das Aufkommen der Lärche erschwert (Mayer und Ott 1991). Standorte mit reicher Lärchenverjüngung sind gekennzeichnet durch ein ausgeglichenes Mikroklima und lokal gesteigerter Luftfeuchtigkeit (Auer 1947).

Untersuchungen zur Besiedelung von Gletscherrückzugsgebieten zeigen, dass sich die Lärche auf Standorten ohne vorherige Besiedelung durch holzige Gewächse etabliert. Humusaufgaben und Verkräutungen beeinflussen das Aufkommen der Lärche negativ. Dagegen scheint das Vorhandensein von Rohbodenstandorten für die Etablierung förderlich. Wesentlicher als die Distanz zur Samenquelle zeigte sich die räumliche und zeitliche Abfolge des Gletscherrückzuges. So besiedelte die Lärche Standorte 14 bis 35 Jahren nach dem Gletscherrückzug (Garbarino et al. 2010).

Sehr ähnliche Zeiträume der Besiedelung nach Gletscherrückzug stellten Burga et al. (2010) für Lärche und Zirbe fest. Obwohl die Lärche in Hochlagen in ihrer Verjüngungsökologie typische Pioniereigenschaften aufweist, während für Zirbenverjüngung entwickelte Böden als notwendig beschrieben werden, sind beide Arten gleichermaßen an der primären Sukzession auf dem untersuchten Gletscherrückzugsgebiet beteiligt. Die Besiedelung der Lärche beginnt bereits 15 Jahre nach dem Gletscherrückzug während die Etablierung der Zirbe erst nach 30 Jahren einsetzt.

Die Aufgabe von Weideflächen in subalpinen Lagen trägt unmittelbar zur Flächenausweitung der Lärchen-Zirbenwälder bei. Didier (2001) zeigt an einem Beispiel aus den Französischen Alpen unterschiedliche Besiedelungsdynamiken für Lärche und Zirbe. Während die Lärche schwerpunktmäßig an der Besiedelung von Weideflächen und Rasenflächen beteiligt ist, wandert die Zirbe erst nach der Etablierung der Lärche ein und zeigt sich als dominant in der Besiedelung im Bereich der Baumgrenze, wo die Verbreitung durch den Zirbenhäher von vorrangiger Bedeutung ist.

### **E-1.2.3 Wuchsverhalten der Lärche**

Bei der Lärche handelt es sich um die einzige heimische Konifere, die ihre Nadeln vor Wintereinbruch verliert. Dadurch muss sie diese nicht gegenüber niedrigen Temperaturen schützen und entgeht zumindest teilweise der Gefahr durch Frosttrocknis. Andererseits sind dadurch die Nadeln jährlich neu zu bilden. Damit einher geht eine verkürzte Assimilationsperiode, die besonders in höheren Lagen von entscheidender Bedeutung sein kann. Durch hohe Assimilationsraten bei gleichzeitig hoher Transpiration kann Lärche im Vergleich zu anderen holzigen Pflanzen an der Baumgrenze, wie etwa Zirbe, großes Wachstum zeigen (Ellenberg 1982).

In Tieflagen erreicht die Lärche Wuchshöhen zwischen 40 – 45 m, während in Hochlagen maximale Höhen von 25 m angegeben werden (Mayer 1962).

Die Lärche weist in ihrem Wuchsverhalten insofern typische Pioniereigenschaften auf, als dass ihr Höhenwachstum sehr früh kulminiert. Höchste Zuwächse erreicht die Lärche im Dickungs- und Stangenholzalder, wo sie überlegenes Wachstum aufweist. Ab dem Stangenholzalder wird sie im Höhenzuwachs von den verglichenen (Halb-) Schattbaumarten Fichte und Buche eingeholt, und von der Fichte ab dem Alter von 75 – 80 Jahren in der Bestandesmittelhöhe überholt (Schober 1949).

Lärche bildet ein Herzwurzelsystem aus, das ihr auf geeigneten Standorten ermöglicht, Böden bis in tiefe Schichten aufzuschließen. Als Baumart, die vergleichsweise eine hohe Transpirationsrate aufweist, ist dies eine wesentliche Grundlage, ihren Wasserbedarf zu decken. Bestes Wuchsverhalten zeigt die Lärche nach Mayer (1962) in montaner Randlage der Alpen auf frischen, wuchsgünstigen Standorten. Hier erreicht die hier natürlich nur beigemischte Lärche Wuchshöhen zwischen 30 – 40 m in kürzerer Zeit, als auf anderen von ihr besiedelten Standorten.

#### **E-1.2.4 Humusbildung und Wirkung auf den Standort**

Als Pionierbesiedler werden der Lärche durch ihr tiefreichendes Wurzelsystem positive Eigenschaften als Bodenbildner und Bodenerschließer zugesprochen (Leibundgut 1992). Auf reiferen Standorten kehrt sich das Bild der Lärche um. Ihre Nadelstreu weist Abbauraten auf, die zu den längsten der heimischen Baumarten zählen. Dies ist bedingt durch ein weites C:N Verhältnis der Lärchennadeln, bei hohem Lignin- und geringem Kalziumgehalt. Beide zeigen einen engen Zusammenhang mit der Streuabbaurate (Hobbie et al. 2006). Um Standortsdegradationen vorzubeugen, ist eine Baumartenmischung zu bevorzugen. Im Falle des waldbaulichen Zieles der Wertholzproduktion mit Lärche in Tieflagen empfiehlt eine Vielzahl von Autoren Baumartenmischung oder Unterbau von Arten günstiger Streuabbauraten (Schober 1949, Leibundgut 1992).

### **E-1.3 Sukzessionale Stellung und Gesellschaftsanschluss der Lärche im Ostalpenraum**

#### **E-1.3.1 Naturwaldreservate – Prozesse in der natürlichen Waldentwicklung**

Das österreichische Naturwaldreservate (NWR)-Netz wird seit 1996 systematisch aufgebaut und verfolgt das Ziel, alle in Österreich vorkommenden natürlichen Waldgesellschaften repräsentativ zu erfassen (Frank und Müller 2003, Frank 2009, Frank 2010). Es bietet somit die einmalige Gelegenheit, das Vorkommen und den Gesellschaftsanschluss der Lärche über alle Waldhöhenstufen und Wuchsgebiete Österreichs unter weitgehend natürlichen Verhältnissen zu untersuchen. Mit Stand Mai 2011 stehen 200 NWR mit zusammen 8603 ha für die Analyse natürlicher Waldgesellschaften zur Verfügung.

Dokumentiert sind die Vorkommen von Lärche in den NWR einerseits durch systematische Rasterstichproben mit Winkelzählproben zur Erfassung und Beobachtung der Bestandesentwicklung, andererseits durch permanent angelegte Vegetationsaufnahmeflächen auf repräsentativen Standorten zur Erfassung der pflanzensoziologischen Einheiten (natürliche Waldgesellschaften).

**Tab. E- 1: Vegetationsaufnahmen im Naturwaldnetz (Stand Juni 2011)**

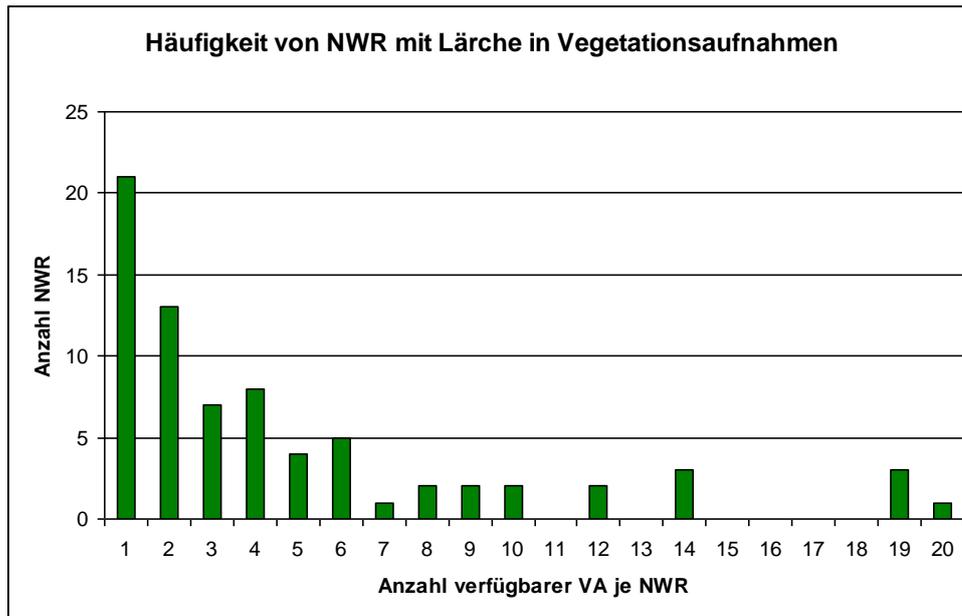
<b>Vegetationsaufnahmen im Naturwaldnetz</b>	
<b>Anzahl der Probeflächen</b>	
<b>Probeflächen gesamt</b>	<b>2249</b>
<b>Probeflächen mit Lärche</b>	<b>403</b>
Lärche nur in Baumschicht	256
Lärche in Baumschicht und Verjüngung	98
Lärche nur in Verjüngung	49

Folgende Waldgesellschaften mit dominierender Lärche sind im Netz enthalten und kartiert:

*Rhodothamno-Laricetum* (Karbonat-Lärchenwald),

*Vaccinio-Pinetum cembrae* (Silikat Lärchen-Zirbenwald) und

*Brachypodio rupestris-Laricetum* (Inneralpiner Sadebaum-Lärchenwald).



**Abb. E- 1: Häufigkeit von Naturwaldreservaten mit Lärche in Vegetationsaufnahmen**

Die NWR-Datenbank ermöglicht darüber hinaus eine gezielte Abfrage der Lärchenvorkommen in anderen Waldgesellschaften, differenziert nach Wuchsgebieten und Höhenstufen, zur gezielten Analyse des Gesellschaftsanschlusses der Lärche.

### **E-1.3.2 Die Lärche als Pionierbaumart**

Der Pioniercharakter der Lärche ist ein nicht unwesentlicher Grund für ihre heutige Bedeutung in Österreich. Zukrigl (1973) beschreibt ihre Begünstigung durch Kahlschlagwirtschaft und weist darauf hin, dass es der Lärche ohne anthropogene Beeinflussung unmöglich wäre, sich längerfristig in höheren Anteilen in Schattbaumgesellschaften zu erhalten. Nach Mayer (1962) hat die Lärche einen doppelt bis vierfachen Anteil im heimischen Wald gegenüber ihrem natürlichen Gesellschaftsanschluss. Dies ist bedingt durch Kahlschlagwirtschaft und Brandrodung.

Ihr natürliches Vorkommen ist wie ihre anthropogen gesteigerte Verbreitung in hohem Maße geprägt von ihrer Fähigkeit, Standorte nach Störungsereignissen zu besiedeln. Nach Zukrigl (1973) baut die Lärche am Alpenostrand als „ausgeprägte Lichtbaumart rein oder vorherrschend nur Pionier- bzw. Vorwald- und Dauerwaldgesellschaften auf.“

Beste Keimbedingungen findet die Lärche auf freigelegten Böden, wodurch sie mehr als andere Baumarten fähig ist, Pionierstandorte wie Lawinenflächen, Gletscherrückzugsgebiete, Waldbrandflächen und Kahlschlagflächen zu besiedeln. Ihre Toleranz gegenüber niedrigen Temperaturen oder die hohe Elastizität junger Lärchenstämmchen zeigen ihre besondere Eignung als Besiedler von Extremstandorten (Holtmeier 1995). Weiters beschreibt Holtmeier (1995) sie als Art, die durch Waldbrand begünstigt wird, da ihre dicke Borke und der jährlichen Nadelwechsel wesentliche Eigenschaften für das potenzielle Überleben dieser Störung darstellen.

Im Hinblick auf klimatische Veränderungen ergeben sich unter Szenariobedingungen, wie Abb. E- 19 sie zeigen, in weiten Teilen Österreichs Gebiete geringerer Niederschläge in der Vegetationsperiode. Aus IPCC-Berichten (Alcamo et al. 2007) geht hervor, dass längere Trockenperioden zukünftig wahrscheinlicher werden. Demzufolge ist von einer steigenden Gefährdung durch Waldbrand auszugehen, Störungsereignisse wie Muren und Steinschlag sind möglicherweise durch ein häufigeres Auftreten von Starkniederschlägen von wesentlicher Bedeutung, und Gletscherrückzugsflächen neh-

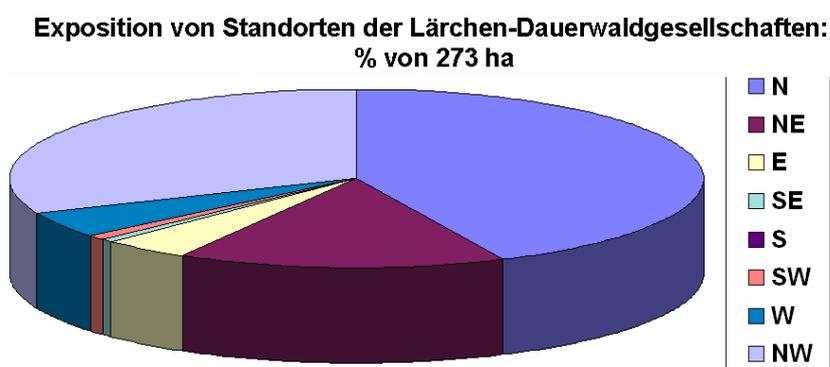
men bei steigenden Sommertemperaturen zu. Aus diesen Überlegungen heraus könnte Pionierbaumarten zukünftig eine steigende Bedeutung zukommen.

### **E-1.3.3 Die Bedeutung von Lärchen-Dauerwaldgesellschaften**

Als Dauerwaldgesellschaften werden derartige Waldgesellschaften einer Höhenstufe bezeichnet, welche durch mikroklimatische oder edaphische Extreme den Klimaxzustand der Vegetation auf Durchschnittsstandorten in absehbarer Zeit nicht erreichen können (nach Mayer 1974). Europäische Lärche (*Larix decidua* MILL.) bildet im mitteleuropäischen Raum zwei wesentlich voneinander verschiedene Kategorien von Dauerwaldgesellschaften aus.

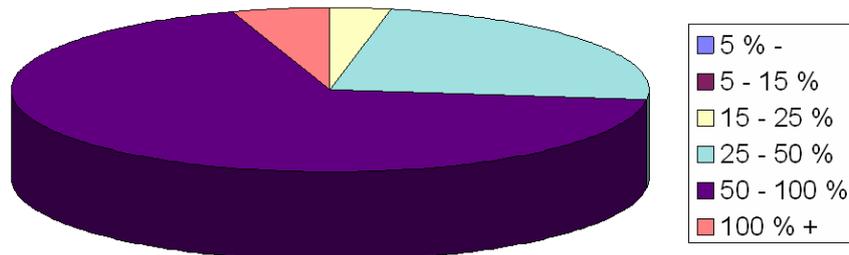
- (i) Lärchen-Dauerwaldgesellschaften auf steilen, schattseitigen und subalpinen Standorten.

Schneekriechen und Schneeschub stellen die ausschlaggebenden Standortbedingungen dieser subalpinen Bereiche dar, aufgrund derer Fichte (*Picea abies* Karst.) als Bestandesbildende Baumart ausfällt. Fichte wird durch den Prozess des Schneekriechens vor allem in der Jugendphase geknickt oder entwurzelt. Einzig Lärche kann, offenbar durch ihre Elastizität in der Jugendphase, den widrigen Standortbedingungen widerstehen und verbleibt als bestandesbildende Baumart. In der Literatur wird diese Dauerwaldgesellschaft im Alpenraum von diversen Autoren beschrieben. (Mayer 1974, Ellenberg 1982, Koeck et al. 2002, Koeck, Mrkvicka und Weidinger 2001) Karstalpine Ausprägungen dieser Dauerwaldgesellschaft werden als *Rhodothamno-Laricetum* bezeichnet (Zukrigl 1973, Willner und Grabherr 2007). Im Raum der nördlichen Kalkalpen Österreichs wurde in einem Waldgebiet die Verteilung der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften analysiert. Dabei bildet sich der Verbreitungsfokus dieser Gesellschaft auf schattseitigen und steilen Standorten deutlich ab (Abb. E- 2 und Abb. E- 3) (Koeck et al. 2002).



**Abb. E- 2: Verteilung der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften auf Expositionen der Waldstandorte. Untersuchungsgebiet in den nördlichen Kalkalpen Österreichs (nach Koeck et al., 2002).**

**Hangneigung der Standorte der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften:  
% von 273 ha**



**Abb. E- 3: Hangneigung der Standorte der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften. Untersuchungsgebiet in den nördlichen Kalkalpen Österreichs (nach Koeck et al., 2002)**

(ii) Lärchen-Dauerwaldgesellschaften auf subalpinen Trockenstandorten.

Oberbodentrockenheit stellt in diesem zweiten Fall das Kriterium für die Entwicklung der Lärchen-Dauerwaldgesellschaft dar. Sie tritt auch nur in inneralpinen Trockentälern auf und wird als *Brachypodio rupestris-Laricetum* (Staffler und Karrer 2001) bezeichnet. Die Standorte sind zumeist sonnseitig exponiert und weisen seichtgründige, silikatische Bodenbildungen auf. Neben einem vereinzelt Auftreten in Osttirol ist diese Gesellschaft vor allem in inneralpinen Regionen der Schweiz und Südtirols ausgebildet. Die Lärche kann diese Standorte aufgrund ihres im Gegensatz zu Fichte tiefer reichenden Wurzelsystems bewachsen, weil die tiefen Bodenschichten während Trockenperioden noch einen gewissen pflanzenverfügbaren Wassergehalt aufweisen. Fichte fällt demnach aufgrund der Wirkung von Oberbodentrockenheit aus.

Beide Kategorien von Lärchen-Dauerwaldgesellschaften weisen noch eine Vielzahl von unterschiedlichen Ausbildungen auf, welche hier allerdings aus Platzgründen nicht beschrieben werden können.

Die Bedeutung der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften für die Gewichtung der Lärche im Hinblick auf den Klimawandel liegt in der Verdeutlichung der breiten ökologischen Amplitude von *Larix decidua*. In diesem Fall ist es die breite Amplitude innerhalb ihres Verbreitungsschwerpunktes in der subalpinen Höhenstufe, welche durch die Ausbildung von Dauerwaldgesellschaften auf sowohl schattseitigen und frischen Standorten als auch auf sonnseitigen und trockenen Standorten verdeutlicht wird.

#### **E-1.3.4 Klimaxgesellschaften der Lärche**

##### **Lärchen-Zirbenwald**

Lärchen-Zirbenwälder finden sich in hochsubalpiner Lage, wo sie in den Ostalpen inner- und zwischenalpin die Waldgrenze bilden (Mayer 1974, Ellenberg 1982, Mucina, Grabherr und Wallnöfer 1993). Sie sind geprägt von wechselnden Anteilen der beiden gesellschaftsbildenden Baumarten, und treten, bis knapp unter die Waldgrenze geschlossene Wälder bildend, auf. Anthropogen bedingt sind diese Waldbestände häufig räumlich ausgebildet (Mayer 1974, Ellenberg 1982). Lärchen-Zirben-Wälder finden sich auf Silikat- wie Kalkstandorten, wo sie bezüglich ihres Aufbaus klimatisch und standörtlich bedingt deutliche Unterschiede aufweisen, weshalb sie getrennt näher erläutert werden.

***Vaccinio-Pinetum cembrae* (Pallmann und Hafner 1933), Silikat-Lärchen-Zirbenwald**) Syn. Larici-Pinetum cembrae (Ellenberg 1963)

Der Silikat-Lärchen-Zirbenwald stellt nach Mayer (1974) den „Prototyp der Gesellschaft“ dar, der durch eine reife Gesellschaftsbildung in der hochsubalpinen Stufe der Zentral- und Zwischenalpen gekennzeichnet ist. Die Bodenvegetation zeigt verschiedene Ausprägungen. Es finden sich als Charakterarten oftmals *Vaccinium myrtillus* (Heidelbeere), *Rhododendron ferrugineum* (Rostrote Alpenrose), *Callamagrostis villosa* (Woll-Reitgras), *Luzula luzuloides* (Weißl. Hainsimse). Mayer (1974) beschreibt unterschiedliche Ausbildungen dieser Waldgesellschaft. Die Bestände zeigen eine deutliche Phasenentwicklung von Lärchen-Pionierphase zur zirbenreichen bis teilweise zirbenreinen Schlussphase (Mayer und Ott 1991). Häufig sind Böden im Silikat-Lärchen-Zirbenwald bei fortgeschrittener Naturwaldentwicklung von mächtigen Ektohumusaufgaben auf Podsolon geprägt.

***Rhododendro hirsuti-Pinetum cembrae* (Mayer und Ott 1991) (Karner und Willner nom. nov (Ott et al. 1997))**, Syn.: Larici-Cembretum-rhododendretosum hirsuti (Mayer 1974), Syn.: Pinetum-Cembrae (Boiko 1931)

Karbonat-Lärchen-Zirbenwälder treten geologisch bedingt in den Randalpen auf, das subatlantische Klima ist von Niederschlagsreichtum geprägt (Mayer und Ott 1991). Ein kleinstandörtliches Mosaik, wo Rendsinen mit Alpenmoderaufgaben vorherrschen, und dazwischen Kalk und Dolomit oberflächlich anstehen, ist prägend für das Vorkommen unterschiedlicher Vegetationselemente. Namensgebend tritt hier die basiphile Art *Rhododendron hirsutum* (Wimper-Alpenrose) auf. Bestände sind verglichen mit Silikat-Lärchen-Zirbenwäldern räumlicher mit unregelmäßigerer Verjüngungsentwicklung (Mayer 1974). Nach Mayer und Ott (1992) zeigen sich Standorte des Karbonat-Lärchen-Zirbenwaldes als ökologisch sensibel und wenig belastbar. Flächige Nutzungen führen unweigerlich zu Bodendegradation mit hoher Neigung zur Verkarstung bei Verlust der Schutzfunktion, die hier vorrangig erscheint.

Zwar handelt es sich beim Lärchen-Zirbenwald um Klimaxgesellschaften, die Lärche kann aber nicht als Klimaxbaumart bezeichnet werden, da sie selbst hier in späteren Entwicklungsphasen oftmals ausscheidet (Mayer 1962). Die natürliche Entwicklung im Lärchen-Zirbenwald führt von einer lärchenreichen Pionierphase fortschreitend zur Dominanz der Klimaxbaumart Zirbe. Allgemein bedingen Störungsereignisse, dass sich die Pionierbaumart Lärche in höheren Anteilen erhalten kann. Auf Karbonatstandorten ist dies durch den standörtlichen Mosaikcharakter bis in die Schlussphase möglich, während Silikat-Lärchen-Zirbenwälder in späten Entwicklungsphasen geringere bis keine Lärchenanteile aufweisen (Mayer und Ott 1991). Unter geringerem Lichtgenuss auf mächtigen Humusaufgaben vermag die Lärche nicht zu keimen, während die langen Keimwurzeln der Zirbensämlinge auch in diesem Fall den Mineralboden erreichen. Beweidung ist neben Wildverbiss in vielen Lärchen-Zirben-Wäldern ein prägendes Merkmal. Sie führt zu lockerem Bestandesschluss, fördert die Entwicklung von Vergrasungsstadien (Ott et al. 1997) und hemmt die Verjüngungsentwicklung. Viehtritt und die räumliche Bestandesstruktur fördern höhere Lärchenanteile. Durch die geringere Verbissanfälligkeit der Lärche gegenüber der Zirbe erzielt die Lärche in Mischbeständen einen Konkurrenzvorteil. Bei hohem Beweidungsdruck wird die Etablierung aber für beide Baumarten schwierig bis unmöglich, nur leichtere Beweidung fördert die Lärchenverjüngung. (Motta, Morales und Nola 2006) Auffassung der Beweidung in diesen Wäldern führt zu zunehmend dichteren Beständen, in denen der Lärchenanteil abnimmt (Didier 2001).

**Gesellschaftsanschluss der Lärche in anderen Waldgesellschaften**

In geringen Anteilen eingesprengt kann die Lärche von der montanen bis zur subalpinen Höhenstufe vorkommen, am Alpenostrand von der submontanen bis zur subalpinen

Höhenstufe. In welchem Ausmaß sie vorkommt, hängt dabei wesentlich von dem Vorhandensein initialer Standorte, der Konkurrenzkraft der anderen Baumarten und von waldbaulichen Maßnahmen ab (Mayer 1962). Allgemein kann zusammenfassend gesagt werden, dass die Lärche in höheren Anteilen in steileren Lagen vorkommt und durch unruhiges Relief begünstigt wird. Nach Mayer (1992) zeigen reife Schlusswälder geringere Lärchenanteile als klimaxfernere Schlusswälder.

Beigemischt findet sich Lärche im Bergkiefernwald und im Schneeheide-Kiefernwald ein, wo auf trockenen, seichtgründigen Standorten Klimaxbaumarten ausscheiden. Des Weiteren zeigt sie in subalpinen Fichtenwäldern in Abhängigkeit vom Entwicklungsgrad der Wälder unterschiedlich hohe Anteile, wiederum tritt sie bedeutender in flachgründigeren, steileren Lagen auf. In tieferen Lagen der Fichten-Tannen-Buchen-Waldstufe zeigt die Lärche eher den Charakter einer sekundären Pionierbaumart mit intermediärer Stellung zwischen Schlussbaumarten und beispielsweise der Kiefer. Auch hier tritt sie natürlich nur in initialen Phasen stärker beigemischt auf und kann sich bei ungestörter Entwicklung höchstens eingesprengt erhalten (Zukrigl 1973, Mayer 1992). Zeigt sie in Tannen-Buchen-Wäldern und Buchenwäldern teils hervorragende Vitalität, ist sie doch in ihrem Auftreten von Störungsereignissen abhängig und kann beispielsweise nach großflächigen Windwurfereignissen als dominante Baumart auftreten. Mit ähnlichem physiologischem Optimum der Buche zeigt sie im *Galio-oderati-Fagetum* gute Wüchsigkeit, kann sich aber konkurrenzbedingt natürlich nur eingesprengt mit geringer Kronenentwicklung erhalten (Zukrigl 1973).

#### **E-1.4 Klimatische und standörtliche Ansprüche der Lärche**

##### **E-1.4.1 Vorkommen hinsichtlich Temperaturen, Niederschlag und Vegetationszeit – Grenzen der natürlichen Verbreitung**

Hinsichtlich der Temperatur und Niederschlagsverhältnisse ist die natürliche Verbreitung der Europäischen Lärche nur schwierig einzugrenzen. So kann sie im Zentralalpenraum zwischen 0° - 9,5° C Jahresdurchschnittstemperatur und zwischen 450 – 1200 mm Jahresniederschlag auftreten, in den Zwischenalpen bei einer ähnlichen Temperaturspanne Jahresniederschläge von 500 – 1700 mm, in Ausnahmen bis 2000 mm. Am Alpenrand kann die Lärche bei wesentlich höheren Niederschlägen zwischen 2 – 10° C Jahresdurchschnittstemperatur auftreten. Als wärmste Standorte der natürlichen Lärchenverbreitung werden die südlichen Zwischenalpen und der Südalpenrand in submediterranen Stufe bis 13,5° C Jahresdurchschnittstemperatur ab 1000 mm Niederschlag angegeben (Mayer 1962). Der weiten Temperaturspanne entsprechend kann die Lärche auf Standorten zwischen 20 – 220 Vegetationstagen über 10° C vorkommen.

Tschermak (1935) weist ausführlich auf das Auftreten der Lärche bei großen Jahrestemperaturschwankungen hin, besonders die jahreszeitlichen Amplituden aber auch tägliche Temperaturschwankungen sieht er als prägendes Element für das Vorkommen der Lärche. Dieser kontinentalere klimatische Schwerpunkt zeigt sich im inneralpinen Hauptvorkommen, das auch von Mayer (1962) beschrieben wird, doch weist der Autor auf das divergierende physiologische Optimum in tieferen Rand- und Zwischenalpen vom Maximum der Verbreitung in den subalpinen Stufe der Inneralpen hin. So wird daraus geschlossen, dass eine thermische Kontinentalität für Lärchenherkünfte der Inneralpen wesentlich ist, während für Lärchen der Voralpen dieser Anspruch weniger besteht.

Die Bedeutung von Wolkenarmut und hohen Temperaturen im Sommer befindet auch Ellenberg (1982) als prägend für die Verbreitung der Lärche. Er sieht dies bestätigt durch die Hauptverbreitung der Lärche im inneralpinen kontinentalen Klima. Im Gegensatz dazu zeigen Randalpengebiete in der Vegetationszeit häufigere Niederschläge und

Bewölkung bei ähnlich harten Bedingungen während der Wintermonate, verglichen mit den inneralpinen Lagen.

#### **E-1.4.2 Ansprüche an Geologie, Boden, Wasserhaushalt**

Die Spanne der vertikalen Verbreitung der Lärche reicht von 300 m bis 2400 m Seehöhe. In den Inner- und Zwischenalpen wird sie als unabhängig von der Exposition beschrieben, während Lärche in der montanen Stufe der Randalpen ihren Schwerpunkt an Nordhängen erreicht. Besonders ausgeprägt zeigt sich dies in den südlichen Alpen (Mayer 1962).

Hinsichtlich der Geologie beschreibt Mayer (1962) die Lärche in ihrem Auftreten vom Untergrund unabhängig, ebenso Tschermak (1935) nennt sie als Baumart, die kein Grundgestein merklich bevorzugt.

Lärche kann auf beinahe allen Arten von Böden vorkommen. Von Rohböden über Rendsinen, Braunerden bis Posolen sind ihr keine Grenzen gesetzt. Nur auf nassen Standorten wie Gleyböden kommt sie wegen mangelnder Konkurrenzkraft kaum vor. Auch hinsichtlich der Nährstoffversorgung erweist sie sich als anpassungsfähig, indem sie auf oligotrophen bis eutrophen Standorten anzutreffen ist (Mayer 1962). In ihren Ansprüchen an den Boden beschreibt Tschermak (1935) mittel- bis tiefgründige, lockere Lehm bis sandige Lehmböden als optimal. Auf seichtgründigen Böden gelten Lärchen als langsamwüchsig und kurzschäftig, häufig früh absterbend und in räumlicher Stellung auftretend. Oftmals sind dabei Flechtenbewuchs und Krebserkrankungen zu beobachten (Tschermak 1935).

#### **Wasserhaushalt**

Die Lärche kann laut Mayer (1962) auf trockenen bis sehr frischen Standorten auftreten, wobei mittlere Bodenfeuchte als günstig beschrieben wird. Nach Tschermak (1984) zeigen sich Lärchen als äußerst empfindlich gegenüber Bodennässe. Hier weisen sie schlechte Wuchsformen, kurze Kronen, Flechtenbewuchs und frühzeitige Mortalität auf. Auch auf trockenen Standorten zeigen Lärchen geringe Vitalität. Nach Leibundgut (1992) kann die Lärche auf frischen bis leicht trockenen Böden gut gedeihen, trotz ihres großen Wasserverbrauchs, während feuchte bis nasse Böden durch fehlende Bodenluft eine tiefe Wurzelentwicklung verhindern.

#### **Bodenverdichtung und Wechselfeuchte**

Die Lärche wird als empfindlich gegenüber Bodenverdichtung beschrieben (Tschermak 1935). In diesem Zusammenhang wird der Sauerstoffbedarf der Wurzeln erwähnt. Auf schweren verdichteten Böden zeigen Lärchen in den ersten Jahren gutes Wachstum, das im Dickungs- und Stangenholzalter stark abnimmt und häufig zu vorzeitigen Ausfällen führt. Pseudovergleyung bis hin zu oberflächlich anstehendem Tagwasser führt zu merklichen Einschränkungen im Durchwurzelungsverhalten der Lärche. Auf pseudovergleyten Standorten zeigt sich, dass kein typisches Herzwurzelsystem ausgebildet wird, sondern die Entwicklung zu Senkerwurzeln übergeht. Weniger ausgeprägt zwar als bei Fichte führt dies zu seichter Durchwurzelung als es für die Lärche allgemein als typisch gilt (Dervishi et al. 2011).

#### **Lichtbedarf der Lärche**

Die als Licht- und Pionierbaumart beschriebene Lärche (Zukrigl 1973) stellt von der Jugend an hohe Anforderungen an den Lichthaushalt und zeigt sich als empfindlich gegenüber seitlicher Beschattung. Mayer (1962) schreibt dazu, dass für die Lärche die Konkurrenzkraft der Schattbaumarten entscheidender wirkt, als ihre eigene Konkurrenzkraft.

### E-1.4.3 Auswirkungen von Exposition, Relief, Geländeneigung und Gründigkeit auf die Lärchenverbreitung

Mayer (1962) beschreibt ein häufiges Vorkommen der Lärche vor allem in steilen Lagen auf Standorten von Schlusswaldgesellschaften und weniger häufiges Auftreten in mäßig steiler bis ebenen Lage. Weiters spricht er ihr stärkeres Auftreten in konvexer Lage, an Geländerippen, Abstürzen, Kanten und Rücken zu, während konkave Lagen hinsichtlich der Konkurrenzverhältnisse eher Schattbaumarten begünstigen. Tschermak (1935) kommt zum Schluss, dass die Lärche sonnseitige Expositionen meidet, wenn der Standort trocken ist. Dies trifft vor allem bei klüftigen Kalk- und Dolomitgestein, in warmen Tieflagen, in Fönlagen in südseitigen Tallagen und in niederschlagsarmen Längstäler der Zentralalpen nahe dem Talboden zu. Ähnliches lässt sich auch in tieferen Lagen beobachten (Tschermak 1935). So findet sich die Lärche im westlichen Wienerwald häufiger auf Nordhängen. In den höheren Lagen der südlichen Kalkalpen spricht Tschermak (1935) ihr, sofern die Standorte nicht zu trocken sind, auch in südlicher Exposition häufiges Auftreten zu, während sie in tieferen, sonnseitigen Lagen in geringerem Maße auftritt.

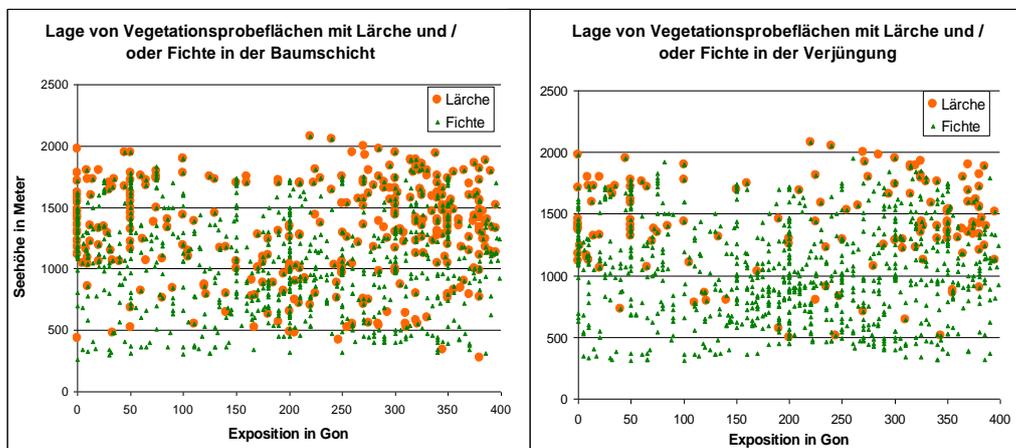


Abb. E- 4: Vorkommen der Lärche im Österreichischen Naturwaldreservate-Netz in der Baum- und Verjüngungsschicht in Abhängigkeit von Exposition und Seehöhe

Lärche bevorzugt in den Naturwaldreservaten (NWR) deutlich die schattseitig exponierten Hänge und meidet S und SO Expositionen, während Fichte deutliche Schwerpunkte in N, S und W Lagen aufweist. Der Schwerpunkt des natürlichen Vorkommens im subalpinen Bereich wird bestätigt, unter natürlichen Bedingungen ist die Lärche in den montanen, submontanen und kollinen Höhenstufen praktisch nicht vertreten (Abb. E- 4 und Abb. E- 5).

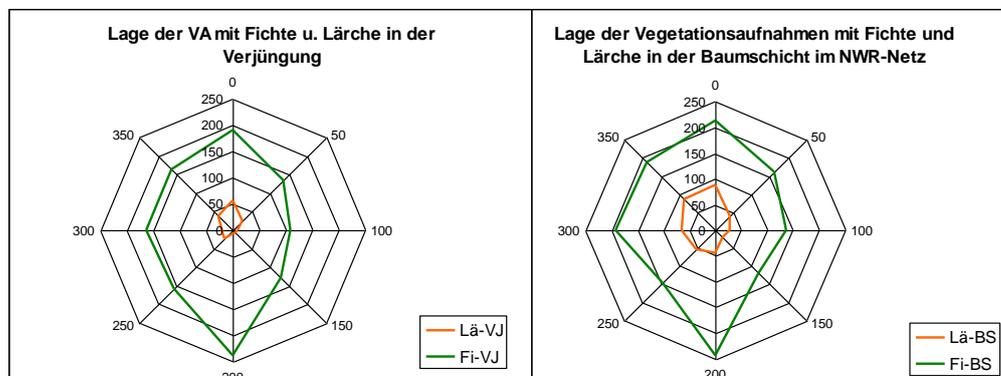


Abb. E- 5: Lage der Vegetationsaufnahmen mit Fichte und Lärche in der Verjüngung und in der Baumschicht im NWR-Netz

### E-1.5 Genetische Konstitution der Lärche

Einerseits durch ihr disjunktes Verbreitungsgebiet, andererseits durch ihre breites Vorkommen auf unterschiedlichen Standorten verschiedenster Waldgesellschaften, ist es erklärbar, wie unterschiedlich verschiedene Herkünfte der Lärche in ihren Ansprüchen und folglich ihrem Wuchsverhalten sind. Hinsichtlich der Variation phänotypischer Merkmale wird zwischen Kurz- und Langtriebtyp unterschieden. Der Langtriebtyp zeigt einen hohen Anteil von Trieben erster Ordnung. Er ist gekennzeichnet durch geringere Aststärken und eine feinere Borkestruktur. Der Langtriebtyp weist verhältnismäßig breitere Kronen und größeres Höhenwachstum bei geringerer Durchmesserentwicklung auf. Der Kurztriebtyp dagegen zeigt größere Aststärken, eine gröbere Borke und höhere Anteile an Kurztrieben bei Ausbildung schmalerer Kronen.

Als wirtschaftlich bedeutende Merkmale sind die Zuwachsleistung, Stammform und die Resistenz gegenüber Lärchenkrebs (*Lachnellula willkommii*) als wesentlich zu nennen (Schober 1985). So zeigen sich Herkünfte aus den Sudeten als sehr vollholzig, weisen eine überragende Höhenentwicklung auf und sind wenig anfällig gegenüber Lärchenkrebs, sind aber geprägt von einer unterdurchschnittlichen Schaftform. Lärchen der Ostalpen, besonders Wienerwaldherkünfte, zeigen dagegen sehr hohe Anteile geradschaftiger Bäume und durchschnittliche Höhenwuchsleistung, werden aber als anfällig gegenüber Lärchenkrebs beschrieben.

Für die Lärche als Gastbaumart in tieferen Lagen ist aus unzähligen Herkunftsversuchen seit Langem bekannt, dass Hochlagenherkünfte durch Unangepasstheit an Klima und Standort gänzlich ungeeignet sind, ebenso werden Lärchenherkünfte aus polnischen Tieflagen aufgrund ihrer Stammform nicht empfohlen (Leibundgut 1992, Mayer 1992, Geburek 2002).

## E-2 Lärchenbewirtschaftung in Österreich

### E-2.1 Bedeutung der Lärche in Österreich

Das heutige Verbreitungsgebiet der Lärche geht weit über den natürlichen Gesellschaftsanschluss der Baumart hinaus. Tschermak (1935) sieht anthropogen bedingt nur eine geringe Vergrößerung des Lärchenareals, während Zukrigl (1973) und Mayer (1992) eine wesentliche Zunahme der Lärchenverbreitung annehmen. So muss von einer zwei- bis vierfachen Arealausweitung ausgegangen werden. Kahlschlagwirtschaft, Brandrodung und anthropogen geförderte Lärchenwiesen als Viehweideflächen gelten als wesentliche Ursachen für den erhöhten Lärchenanteil. Dementsprechend ist die Lärche auf Standorten von Klimaxgesellschaften als Kahlschlagzeiger zu bezeichnen (Mayer 1992).

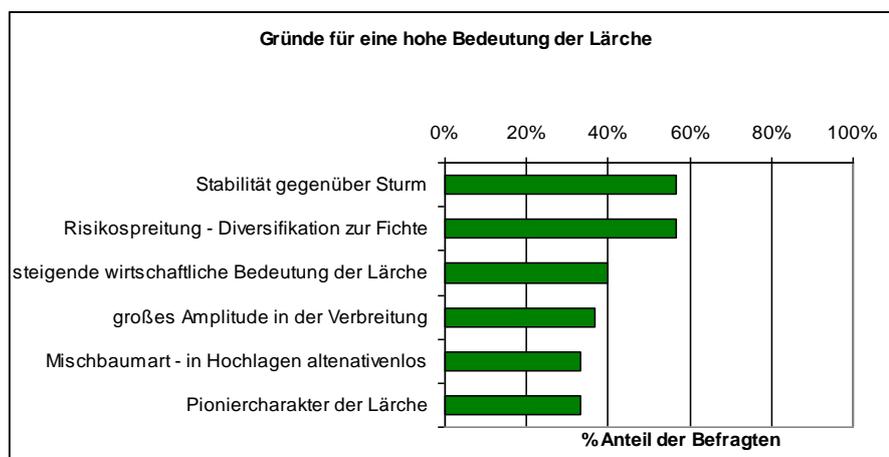
### E-2.2 Ergebnisse der Befragung zur zukünftigen Lärchenbewirtschaftung

#### E-2.2.1 Heutige und zukünftige Bedeutung der Lärche und Gründe dafür



**Abb. E- 6: Heutige und zukünftige Bedeutung der Lärche nach Meinung forstlicher Akteure**

Die heutige und zukünftige Bedeutung der Lärche wird allgemein von den Befragten sehr hoch eingeschätzt. Mehr als 70 % der Befragten sehen die Lärche in ihrer Bedeutung zukünftig steigend (Abb. E- 6). Gründe die für eine hohe / steigende Bedeutung sprechen



**Abb. E- 7: Gründe für eine hohe/steigende Bedeutung der Lärche**

Abb. E- 7 zeigt Gründe, die am häufigsten für die hohe / steigende Bedeutung der Lärche genannt wurden. Als wesentlich wird die Stabilität gegenüber Sturm angegeben, die für die hohe Bedeutung der Lärche spricht. Über 50 % der befragten forstlichen Akteure

sieht des Weiteren die Lärche als wichtige Baumart zur Risikospreitung und Diversifikation gegenüber der Fichte. Nicht unerheblich wird der ökonomische Wert im Sinne der wirtschaftlichen Bedeutung beurteilt. Ebenso die große Amplitude ihrer natürlichen Verbreitung, ihre Pioniereigenschaften und die wesentliche Rolle als Mischbaumart im Bergwald werden häufig genannt.

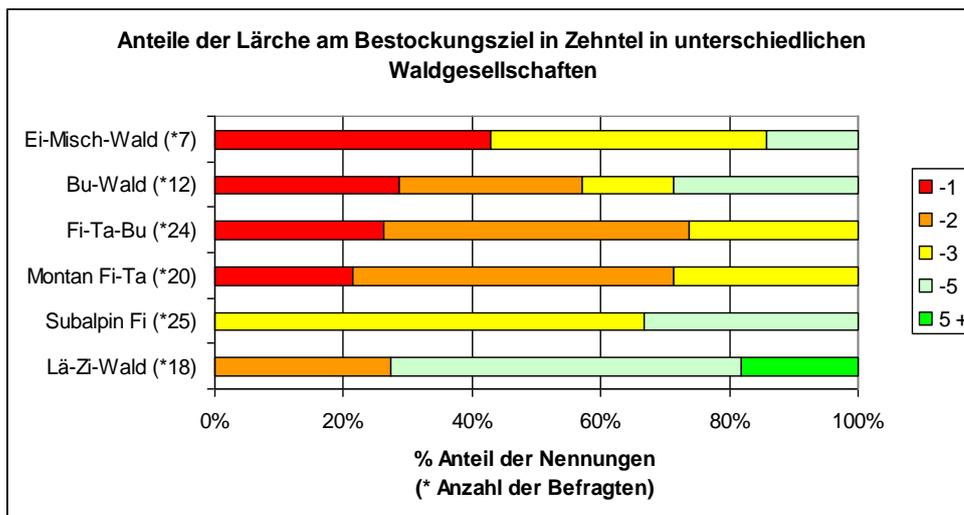
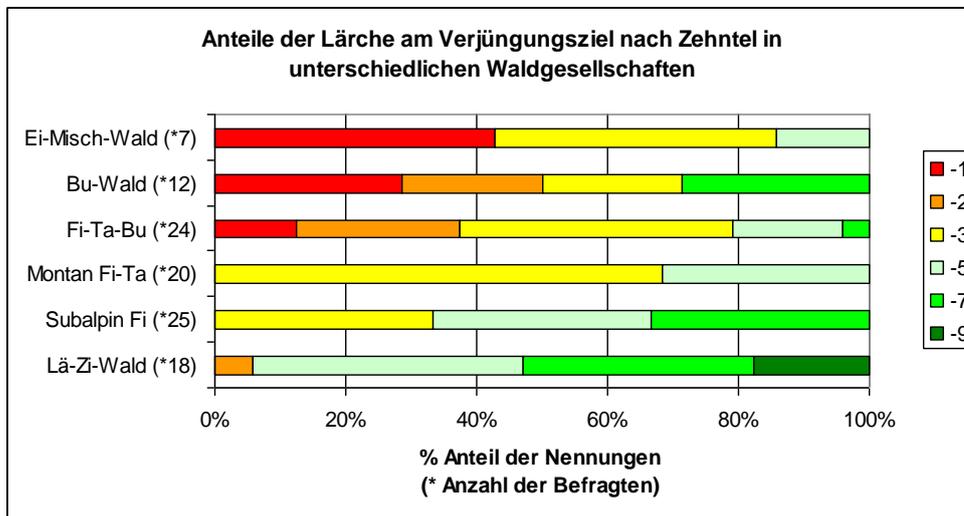
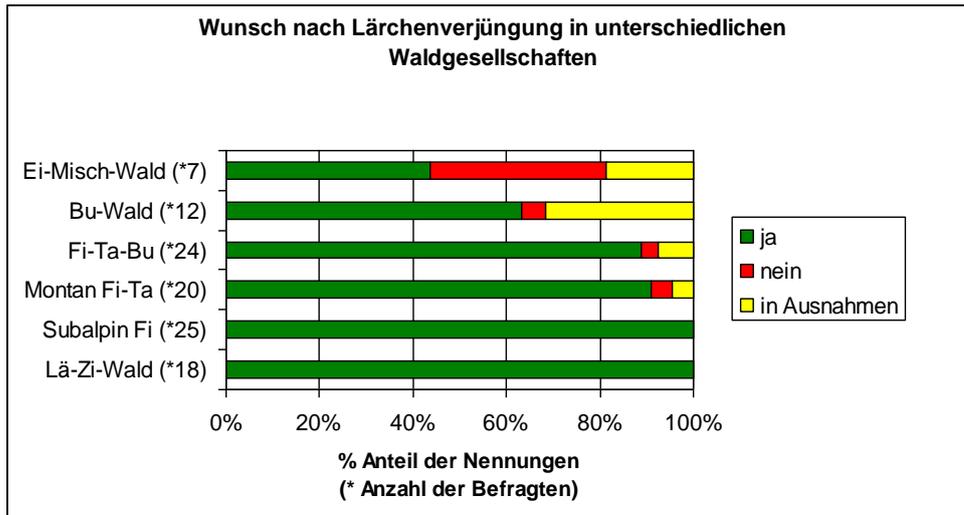
### **E-2.2.2 Ziele in der Lärchenbewirtschaftung - Waldbauliche Umsetzung**

Um abzuschätzen, welchen Stellenwert die Lärche künftig in heimischen Wäldern haben könnte, ist es wesentlich, welche waldbaulichen Ziele mit der Lärche in unterschiedlichen Waldgesellschaften in der Forstbranche gesehen werden.

Die Abb. E- 8 und E- 9 zeigen, dass die waldbaulichen Zielsetzungen zu Baumartenanteilen der Lärche in unterschiedlichen Waldgesellschaften prinzipiell am natürlichen Gesellschaftsanschluss orientiert sind. In den Waldgesellschaften der kollinen bis submontanen Stufe der natürlichen Eichen-Mischwälder und Buchenwälder sehen mehr als 50 % beziehungsweise knapp 40 % der Befragten die Lärche in der Baumartenwahl als unerwünscht oder in Ausnahmen erwünscht. Es zeigt sich weiters, dass mit abnehmender Höhenstufe in den Waldgesellschaften die gewünschten Anteile der Lärche abnehmen, wobei sich im Buchenwald ein differenziertes Bild ergibt. Hier sind teilweise höhere Anteile der Lärche im Bestockungsziel erwünscht als im Fichten-Tannen-Buchenwald. Vor allem nach Saumschlägen oder Kahlschlägen, in künstlicher Einbringung der Lärche in Gruppen sehen Befragte eine wesentliche Möglichkeit, eine ökonomische Aufwertung, vor allem auf schlechter wüchsigen Buchenwaldstandorten, zu erzielen.

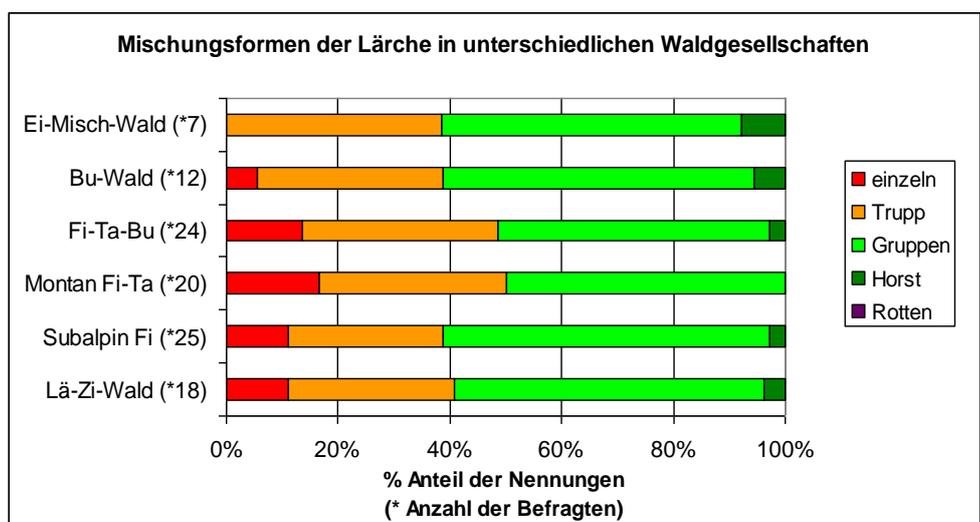
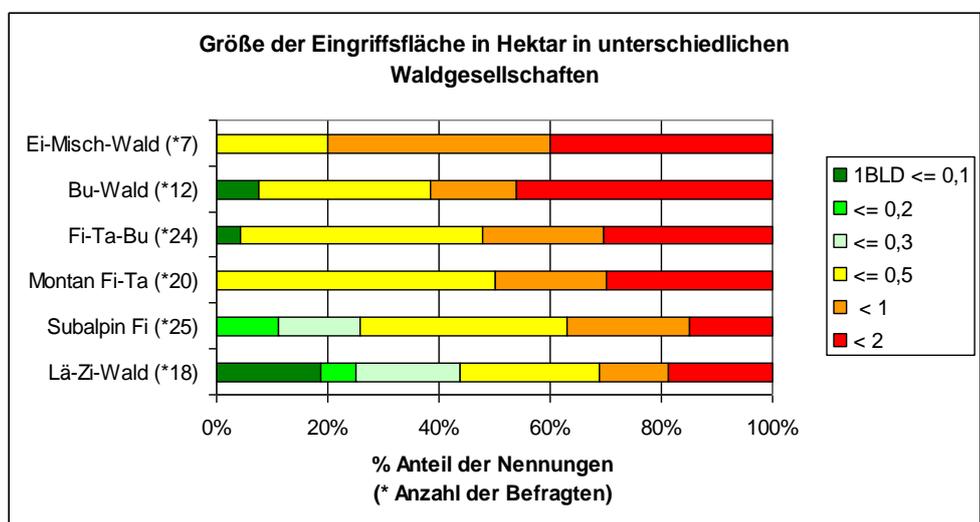
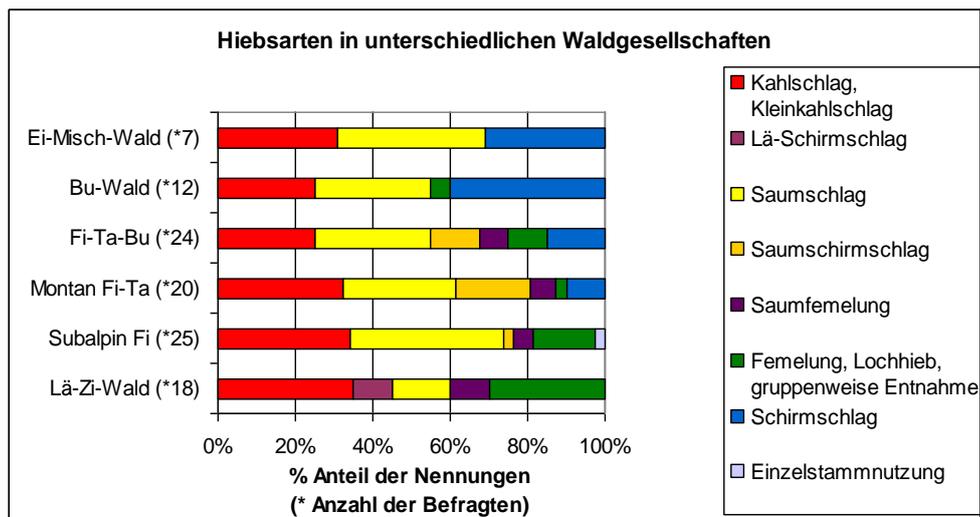
Addiert dominieren Saumschlag und Kahlschlag als mögliche Hiebsarten in den Nennungen zur Verjüngungseinleitung. Werden daneben in höheren Lagen kleinflächigere Eingriffe, wie Lochhiebe und Femelungen häufig genannt, sind es in Buchen- und Eichenwäldern Schirmschläge als übliche Verfahren der Verjüngungseinleitung, die die meisten Nennungen erhalten. Sehen im Lärchen-Zirbenwald noch mehr als 40 % der Befragten Eingriffsflächen kleiner als 0,3 ha als geeignet an, nehmen diese in Waldgesellschaften tieferer Lagen in der Flächengröße zu. Begründet ist dies teilweise, durch die Hiebsart, wo nach Lichtungseingriffen im Schirmschlag in tieferen Lagen vorverjüngte Flächen geräumt werden, aber auch bei Saumschlägen werden oftmals großflächige Eingriffe bis zwei Hektar genannt. Es zeigt sich eine klare Tendenz, dass in Waldgesellschaften der höheren Lagen Saumschläge tendenziell die größten Eingriffsgrößen aufweisen, während im Lärchen-Zirbenwald und subalpinen Fichten-Wald bei der Nennung von Kahlschlag als Hiebsart häufiger Eingriffsgrößen unter 0,5 ha angegeben werden. Diese Tendenz setzt sich im Fichten-Tannen-Buchenwald und Fichten-Tannenwald fort, wobei bei den Befragten die angegebenen Flächengrößen der Kahlschläge und Saumschläge in Buchen- und Eichenmischwäldern zunehmen.

Die Ansprüche an den Lichthaushalt und Bodenzustand werden als Grund für großflächige Nutzungseingriffe zur Etablierung der Lärche genannt, doch zeigen sich einerseits große Widersprüche zwischen den Befragten bei der Wahl der Verjüngungsverfahren. Andererseits lässt sich durch Literatur nicht bestätigen, dass Kahlschläge und Säumungen zur Etablierung der Lärche notwendig erscheinen. Besonders in höheren Lagen werden häufiger Lochhiebe in unterschiedlichen Formen und Größen je nach Standort und Exposition als geeignet zur Lärchenverjüngungseinleitung beschrieben. So werden als Eingriffsgrößen Flächen zwischen einem Baumlängendurchmesser bis 0,3 ha, je nach Standort und Exposition, zur Verjüngungseinleitung als günstig beschrieben (Aulitzky und Turner 1982, Mayer und Ott 1991, Ott et al. 1997). Gerade auf trockeneren, sonnseitig exponierten Standorten inneralpiner Lagen, zeigten sich zur Verjüngungseinleitung Femelungen und Lochhiebe zwischen 200 - 800 m<sup>2</sup> zur Ansamung der Lärche als vorteilhaft, um Überhitzung und Vertrocknung der Sämlinge zu vermeiden (Auer 1947, Mayer und Ott 1991).



**Abb. E- 8: Anteile der Lärche in waldbaulichen Zielsetzungen nach Waldgesellschaften**

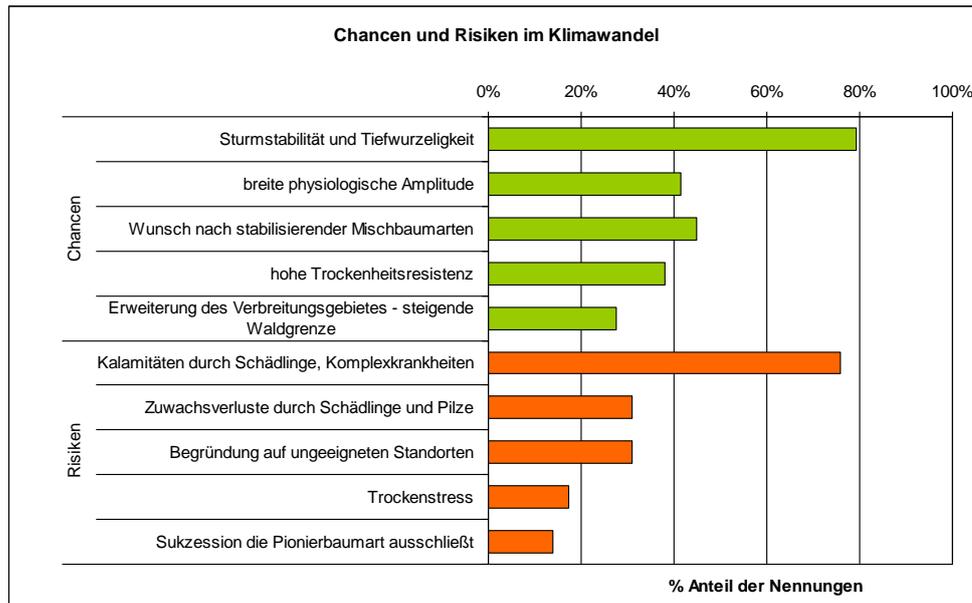
Darstellung der Ergebnisse zu den Zielen der Lärchen-Verjüngung und den gewünschten Bestockungsanteilen der Lärche.



**Abb. E- 9: Waldbauliche Verfahren in unterschiedlichen Waldgesellschaften**

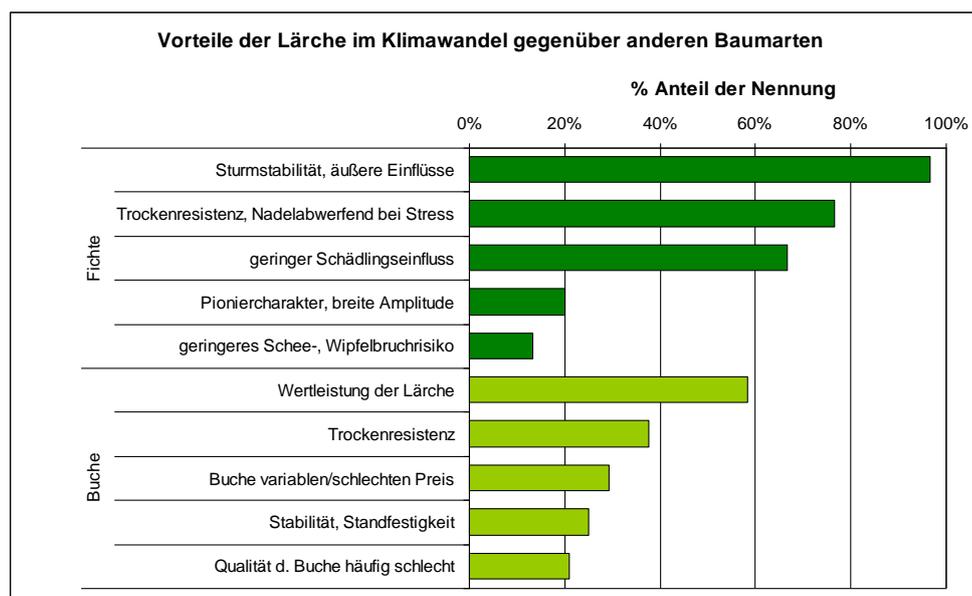
Darstellung der Ergebnisse zu Hiebsarten, Eingriffsflächen und Mischungsformen in unterschiedlichen Waldgesellschaften.

### E-2.2.3 Chancen und Risiken im Klimawandel



**Abb. E- 10: Chancen und Risiken für die Lärchenbewirtschaftung im Klimawandel**

Wiederum wird als Chance der Lärche in Hinblick auf Klimaänderung die Sturmstabilität und Tiefwurzeligkeit am häufigsten genannt. Als Basis für die Anpassungsfähigkeit an sich verändernde klimatische Bedingungen sehen mehr als 40 % der Befragten die breite Amplitude der Lärche. Dies bedingt ihr Vorkommen auf vielfältigen Standorten in unterschiedlichsten Höhenlagen und damit verbunden eine hohe Vielfalt verschiedener Herkünfte und Rassen im Alpenraum (Abb. E- 10). Als Chance im Klimawandel wird der gesteigerte Wunsch nach einer stabilisierenden Mischbaumart von mehr als 40 % der Befragten gesehen. Hier ist auf Kalamitäten vor allem in fichtenreichen Wäldern der letzten Jahre und dem daraus entstandenen Wunsch nach Baumartenspreitung durch sturmstabile Baumarten hinzuweisen. Beachtlich ist, dass im Klimawandel die Stabilität gegenüber Trockenheit von mehr als 30 % der Befragten als Chance genannt wird, während knapp 20 % der Befragten Trockenstress als Risiko für die Lärche empfinden (Abb. E- 10). Am häufigsten werden als Risiko im Klimawandel Kalamitäten durch Insekten, Pilze und Komplexkrankheiten genannt. Einerseits befürchten Befragte zukünftige Gefährdungen durch heute noch weniger bedeutende Schädlinge, andererseits sehen manche Befragte schon heute Besorgnis erregende Entwicklungen beispielsweise hinsichtlich dem Auftreten von Komplexkrankheiten, Schütten, Blatt saugenden und minierenden Insekten. Häufig wurde in diesem Zusammenhang davon gesprochen, dass bei steigendem Flächenanteil der Lärche zukünftig von einer steigenden Bedeutung von Schaderregern ausgegangen werden muss. Dabei wurde wiederholt eine mögliche steigende Gefährdung durch den Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) erwähnt. Das letzte in der Abb. E- 10 gezeigte Risiko „Sukzession, die Pionierbaumarten ausschließt“ ist weniger auf klimatische Veränderungen direkt zu beziehen, als indirekt. Sieht man die Lärche zukünftig in ihrer Bedeutung steigend, dann vor allem auf Kosten der Fichte. Ist die Verjüngungssituation für die Lärche in hochmontaner und subalpiner Lage hinsichtlich der Konkurrenz durch andere Baumarten weniger angespannt, schließt die natürliche Sukzession die Lärche in Tieflagen oftmals aus. So bedarf die Lärche nach Meinung der Befragten gezielter Förderung vom Verjüngungs- bis zum Stangenholzalder. Weiters sehen Befragte bei kleinflächigen Lichtungseingriffen zur Verjüngungseinleitung den Lichtbedarf der Lärche als unzureichend gedeckt und die Wuchskraft der natürlich vorkommenden Baumarten jener der Lärche überlegen.



**Abb. E- 11: Vorteile der Lärche im Klimawandel gegenüber der Fichte und der Buche**

Gegenüber der Fichte sehen die Befragten im Wesentlichen Vorteile im Hinblick auf abiotische und biotische Gefährdungen im Klimawandel, sowie in der Trockenresistenz, wogegen gegenüber der Buche vor allem monetäre Vorteile durch die höhere Wertleistung herausgestrichen wurde, ohne dass es sich dabei um einen Vorteil speziell im Klimawandel handeln kann (Abb. E- 11).

### E-2.3 Waldbauliche Grundlagen in der Lärchenbewirtschaftung

#### E-2.3.1 *Stabilität, Standortsangepasstheit und wertvolle Holzproduktion – Erfüllung der waldbaulichen Anforderungen in der Lärchenbewirtschaftung*

Wie aus der Befragung hervorgegangen ist, sind die wesentlichsten Gründe für eine hohe und steigende Bedeutung der Lärche ihre Stabilität gegenüber Wind, der Wunsch nach Risikospreitung durch eine höhere Baumartenvielfalt und der hohe Wert des Lärchenholzes. Die Rolle als wertvolle und stabilisierende Mischbaumart kann die Lärche allerdings nicht unabhängig von der Standortwahl und den waldbaulichen Maßnahmen erfüllen. Eine Vielzahl der heute begründeten Bestände, in denen Lärche vorkommt, sind künstlich verjüngt. Nicht selten wird bei der Begründung nicht ausschließlich auf die Standortseignung der Lärche geachtet, sondern die Baumartenwahl im kalamitätsbedingten Abtrieb vormals fichtendominierter Bestände begründet. Hierbei ist im Wirtschaftswald nicht nur der stabilisierende Wert der Lärche, sondern auch der ökonomische Wert der Lärche grundlegend für die Entscheidungsfindung. In ihrem heutigen Vorkommen ist die Lärche vor allem in hochmontanen bis subalpinen Lagen bestandesbildend. In tieferen Lagen findet sie sich häufig truppweise bis einzeln im Baum- bis Altholz gemischt. Werden heute Bestände horstweise bis flächig mit Lärche begründet, ergeben sich zukünftig Wälder in Baumartenmischungen mit Reinbestandscharakter der Lärche. Inwiefern die Baumart unter dem Aspekt des Klimawandels dann als stabilisierende Mischbaumart bezeichnet werden kann, ist kaum zu beurteilen, allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass hinsichtlich der Gefährdung durch biotische und abiotische Schädigungen ein größeres Risiko für Lärchen bestehen könnte. Die Baumartenwahl in der Bestandesbegründung stellt eine langfristige Entscheidung dar. Unter sich verändernden klimatischen Bedingungen kann diese grundlegende Wahl nicht nur nach Angepasstheit einer Baumart erfolgen, sondern muss hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit einer Baumart beurteilt werden (Lüpke 2004). Unter Rücksichtnahme auf die Unge-

wissheit hinsichtlich klimatischer Entwicklungen und damit einhergehenden Störungseinflüssen erscheint Baumartenmischung als wesentlicher Schlüssel zu Stabilität, Risikospaltung und Risikominimierung (Lüpke 2004).

### **E-2.3.2 Naturverjüngung der Lärche**

#### **E-2.3.2.1 Verjüngungspotential der Lärche**

Der Pioniercharakter der Lärche zeigt sich in ihrer Verjüngungsökologie deutlich. Weit bekannt ist ihre Verjüngungsfreudigkeit auf mineralischen Böden (Aulitzky und Turner 1982), ebenso werden leicht von Moos bedeckte Rohböden für die Ansamung als günstig beschrieben. Auf Moderholz ist Kadaververjüngung vor allem in Nordlagen zu beobachten. Verjüngungshemmend wirken dagegen mächtige Humusaufgaben, Vergrasung und Verkrautung (Ott et al. 1997). Moosdecken einer Mächtigkeit von mehreren Zentimeter wirken ähnlich negativ wie Humusaufgaben auf den Keimungserfolg (Auer 1947). So wird durch den Autor im Silikat-Lärchen-Zirbenwald der Deckungsgrad der Bodenvegetation als primär entscheidend für die Lärchenverjüngung beschrieben. Dies bestätigt Kleine (1984) im Karbonat-Lärchen-Zirbenwald, wo initialere Standortverhältnisse die Lärchenverjüngung begünstigen. Nach Ellenberg (1982) ist der Keimlingstod bei größerer Humus- und Moosmächtigkeit nicht auf chemisch ungeeignete Verhältnisse zurückzuführen, sondern erklärt sich daraus, dass die Sämlinge mit Keimwurzeln zwischen 0,5 – 2,7 cm Länge vertrocknen, bevor sie den Mineralboden erreichen.

Neben den genannten Hemmfaktoren für die Lärchenverjüngung hängt der Keimungserfolg wesentlich von der Feuchtigkeit ab. So beschreibt Auer (1947) eine deutlich steigende Keimlingszahl bei besserer Wasserversorgung. Das von ihm untersuchte Gebiet im Oberengadin weist nur geringe Niederschläge während der Vegetationsperiode auf, dementsprechend sieht der Autor für die Zeit der Keimung der Lärche Wasser als Minimumfaktor an.

Ergebnisse zur Naturverjüngungsentwicklung außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes zeigen ebenso die negative Wirkung von Auflagehumus und Bodenvegetation. Verjüngungshemmend wirken Moderaufgaben sowie 2 – 3 cm mächtige Streuaufgaben für die Lärchenverjüngung. Grasvegetation mit höheren Deckungsgraden als 60% und Bewuchs von Heidelbeere (*Vaccinium myrtillus*) behindern die Lärchenverjüngung. Beste Verjüngungsbedingungen für die Lärche zeigen Standorte mit lockerer Krautschicht und jene mit Grasbewuchs bei Deckungsgraden unter 60 %. Die Standorte weisen nur schwach entwickelte Streu- und Humusaufgaben auf. Freigelegte Mineralböden zeigen höhere Keimlingszahlen, allerdings nur wenn die Konkurrenz durch Anflug von Gräsern nicht sehr schnell wieder zunimmt. Daraus schließen die Autoren, dass die Freilegung des Mineralbodens nur zweckmäßig ist, wenn die Ansamung von Gräsern langsam fortschreitet. Folglich scheinen sich sandige Böden besser zu eignen, als bindige, feuchte Böden, wo die Wiederbesiedelung durch Gräser rasch erfolgt (Lüpke und Röhrig 1972).

Sind es in der ersten Zeit der Keimung vor allem Boden- und Wasserverhältnisse, die bestimmend wirken, wird im Laufe des Sommers im ersten Jahr die Luftfeuchtigkeit prägend wirksam, da sie den Verlauf der Verholzung der Sämlinge wesentlich mitbestimmt. So wirkt sich hohe Luftfeuchtigkeit negativ auf das Fortschreiten der Verholzung des Sämlings aus und führt zu erhöhter Gefahr durch Verpilzung (Auer 1947).

Im Alter von zwei bis drei Jahren steigt der Lichtbedarf der jungen Lärchen sehr deutlich an. So beschreiben Ott et al. (1997) direkte Strahlung zwischen vier bis sechs Stunden Junisonne für den Lärchen-Aufwuchs als notwendig.

Aufnahmen der Lärche und Zirbe in unterschiedlichen Vegetationstypen von Kleine (1984) zeigen verhältnismäßig größte Lärchenanteile auf Gras- und Spaltenstandorten

und bei Krautbewuchs. Bei Strauchbewuchs gleicht sich das Verhältnis zwischen Zirbe und Lärche aus, während bei *Vaccinium*-, *Erica*-, *Rhododendron/Vaccinium*- und Moosvegetation die Zirbe anteilmäßig dominiert. Auf Grasflächen führt der Autor den hohen Lärchenanteil auf Bodenverwundung durch Viehtritt zurück.

Die Naturwaldentwicklung führt langläufig zu Verringerung bis Ausschluss der Lärche. Großflächig entstehen geeignete Verjüngungsbedingungen für die Lichtbaumart durch Waldbrand, Sturm- oder Lawinenschäden, kleinflächig durch Bodenverwundung an Wurzeltellern, durch Steinschlag oder Holzbringung. Die Wiederbesiedelung durch Bodenvegetation wirkt hier maßgeblich auf die Etablierung der Lärche.

#### E-2.3.2.2 Naturverjüngungssteuerung

Die Einleitung von Lärchen-Naturverjüngung ist nicht allgemein über unterschiedliche Standorte und Wuchsgebiete zu betrachten. Boden, Klima und Exposition entscheiden das Vorgehen zur Naturverjüngungseinleitung. Dementsprechend kann es kein Pauschalkonzept zur Naturverjüngungsplanung mit Lärche geben, was sich in der Vielfalt an waldbaulichen Empfehlungen unterschiedlicher Autoren widerspiegelt.

Zur natürlichen Lärchenverjüngung bedarf es Mineralboden (Ott et al. 1997). Dabei genügt kleinflächige Bodenverwundung wie beispielsweise im Bereich von Wurzeltellern umgefallener Bäume, die zur Lärchenansamung geeignete Standortsbedingungen bei geringer Konkurrenz durch Bodenvegetation bieten. Gibt es keine auch nur kleinflächigen Rohbodenverhältnisse, können diese durch Bodenschürfung herbeigeführt werden, sodass Konkurrenz durch Verkräutung und Vergrasung verhindert wird (Ott et al. 1997). Einzelbaumweise Entnahmen zur Verjüngungseinleitung scheinen dem Autor aufgrund der Förderung von Bodenvegetation bei zu geringer Besonnung zur Verjüngungsentwicklung der Lärche nicht empfehlenswert.

In kontinentalen Klimlagen ist bei sonnseitiger Exposition der Wuchsfaktor Wasser für die Keimung oftmals begrenzend wirksam. Hier werden kleinflächige Lochhiebe und seitliche Beschattung empfohlen. Schattseitig stellt sich die Wasserversorgung seltener als begrenzend dar (Auer 1947, Ott et al. 1997).

Auf frischen Rohböden erscheinen die Verjüngungsverhältnisse für die Lärche besonders günstig. Entlang von Wildbächen, Murschuttablagerungen, im Bereich von Bergstürzen und Blaiken zeigt sich die Lärche als verjüngungsfreudig. Dies zeigt ihre Fähigkeit, sich im Falle von Störungsereignissen und regressiven Boden- und Vegetationsentwicklungen zu etablieren. Hingegen kann eine ungestörte Entwicklung zum Klimaxstadium zur „Hinausplenterung“ der Lärche führen (Aulitzky und Turner 1982).

In der hochmontanen bis subalpinen Höhenstufe sind Wasserhaushalt, Bodenvegetation, Schneelage (Lawinengefährdung), Windgefährdung, Exposition und nicht zuletzt Schutzfunktion als wesentliche Kriterien für die Verjüngungsplanung zu beachten. Höherer Lichtbedarf der Hochlagenlärche führt zur allgemeinen Empfehlung, 0,1 – 0,3 ha großen Freiflächen zur Verjüngungseinleitung zu schaffen. Sonnseitig genügen bei Seitenlichteinfall Lücken von 0,5 – 1,5 Baumhöhendurchmesser (200 – 800 m<sup>2</sup>), auf schattseitigen Standorten erscheinen Verjüngungsflächen doppelter Baumhöhendurchmesser als zweckmäßig (Aulitzky und Turner 1982). Je eher von Schneeakkumulation und ungenügender Erwärmung auszugehen ist, sollten Lochhiebe mindestens mit ein- bis zweifachen Baumhöhendurchmesser gestaltet werden (Mayer und Ott 1991).

Während Auer (1947) auf trockenen Standorten in subalpiner Lage Lochhiebe nicht größer als 200 – 300 m<sup>2</sup> empfiehlt und seitliche Beschattung als wichtig erachtet, sehen OTT et al. (1997) Bodenschürfung zur Verjüngungsförderung der Lärche auf Standorten von vier bis sechs Stunden direkter Sonnenstrahlung im Juni als sinnvoll. Nach Aulitzky und Turner (1992) benötigt die Lärche Verjüngungsflächen zwischen 0,1 – 0,3 ha. Bei sonnseitiger Exposition wird trupp- bis gruppweiser Femelschlag im *Vaccinium-Luzula*-Lärchen-Zirbenwald empfohlen. Auf sonnseitigen Lagen im inneralpinen Gebiet empfeh-

len die Autoren bei geringer Schneehöhe ohne Windgefährdung truppweise Plenterung bis gruppenweise Femelung.

Auf sonnseitigen Lagen in Mischbeständen von Fichte und Lärche empfiehlt Leibundgut (1984) eine Vorverjüngung der Lärche. Wenn keine Gefahr der Lawinenbildung vorliegt, sollten die Bestände, um die Entwicklung der Bodenvegetation zurückzuhalten, zunächst dicht gehalten werden. Im Durchmesser von mindestens zwei Baumhöhen sollen zur Verjüngungseinleitung der Lärche, Fichten geerntet werden und somit eine Räumig-Stellung der Lärchen erfolgen. Die Räumung erfolgt nach der Ansamung der Lärche. In den entstandenen Verjüngungsflächen samt sich nachfolgend die Fichte an, die erst im Stangenholzalter beginnt in die Oberschicht einwächst.

Allgemein kann zusammengefasst werden, dass in der Literatur durchgängig größere Eingriffsflächen durch Lochhiebe in schattseitigen Lagen, und trupp- bis gruppenweise Entnahmen in sonnseitiger Lage empfohlen werden. All dies unterliegt der Wirksamkeit hemmender Faktoren wie Schneeakkumulation oder Trockenheit bei Bedachtnahme auf Risiken wie Windwurf und Lawinenbildung. Jedenfalls sollte die Notwendigkeit der Anwendung des Kahlschlagverfahrens auf größerer Fläche als 0,3 ha zur erfolgreichen Lärchenverjüngung hinterfragt werden.

### **E-2.3.3 Wuchsverhalten hinsichtlich Herkunft, Standort und Mischungsart mit ökonomischer Bewertung**

#### **E-2.3.3.1 Wuchsleistung der Lärche als Mischbaumart mit ökonomischer Bewertung**

Als wichtiger Grund für die zunehmende Bedeutung der Lärche wird neben ihrer stabilisierenden Wirkung im Mischbestand auch ihre Bedeutung aus betriebswirtschaftlicher Sicht genannt. Die Lärche gilt im Bergwald als die wichtigste Mischbaumart zur Stabilisierung und ökonomischen Aufwertung fichtenreicher Bestände (Mayer 1992). Im künstlichen Anbauggebiet verweisen Untersuchungen auf die höhere Massenleistung von Lärchen-Buchen-Mischbeständen (Lärchenanteil bis 30-40%) im Vergleich zu mittelwüchsigen Buchenbeständen (Dippel 1988, Guericke 2001, Bachmann 1967, Zimmermann 1985). Verbunden mit einer höheren Massenleistung ist bei entsprechender Qualitätsentwicklung vor allem die dadurch erzielte Steigerung der Wertleistung. Eine durch Lärchenbeimischung bedingte Erhöhung der Wertleistung um 20 – bis 40% kann erwartet werden (Mayer 1992, Bachmann 1967, Salinger 1972).

Dies begründete auch den seit Jahrzehnten gepflegten über ihr natürliches Verbreitungsgebiet hinausgehenden Anbau der Lärche. Insbesondere wurde von der Lärche in Beimischung eine Steigerung der Massen- und Wertleistung erwartet, und zwar auf mittelwüchsigen Buchenstandorten in der submontanen Buchenwaldstufe (Salinger 1972, Zimmermann 1985, Mayer 1992), sowie in der montanen Buchen-Tannen-Fichten Bergmischwaldstufe (ÖBF 2004). Leistungsvergleiche von Buchen-Fichten-Tannen-Beständen zu Buchen-Fichten-Lärchen-Beständen fehlen.

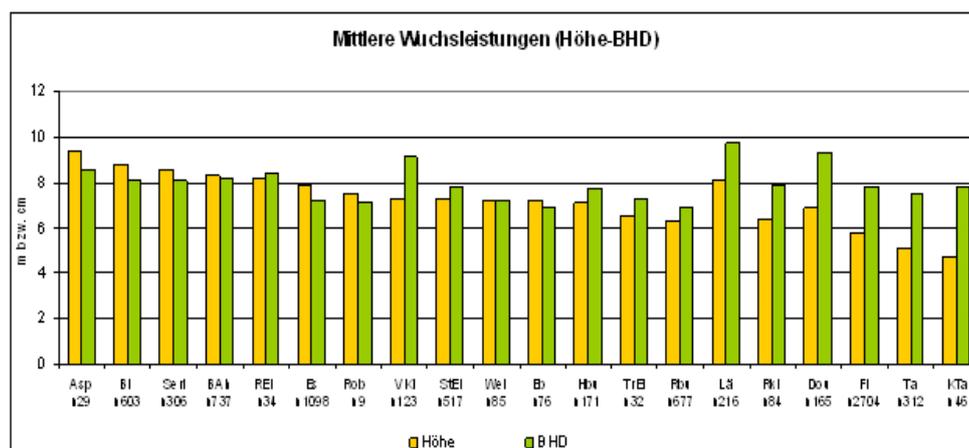
Waldbauliche Untersuchungen im Forstbetrieb Wienerwald (Hochbichler 2008) weisen auf das Wertsteigerungspotenzial von Lärchen-Buchen-Mischbeständen auf mittelmäßig leistungsfähigen Standorten hin (Tab.E- 2). Bei Grundflächenanteilen der Lärche von 14 % bzw. 8 % liegt der Vorratswertanteil bei 22 % bzw. 13 %. Die Ergebnisse liegen im Rahmen von Untersuchungen auf verschiedenen Flyschstandorten von Salinger (1972).

**Tab. E- 2: Grundflächenanteile (G [%]) und Vorratswertanteile (VW [%]) von Buche, Lärche, sonstige Laubbäume (sLB) und sonstige Nadelbäume (sNB) auf (mittel-) besserwüchsigen Buchenstandorten im Wienerwald (ÖBf AG) in den Altersklassen 4 und 6 (nach Hochbichler, 2008)**

	AKL 4		AKL 6	
	G[%]	VW[%]	G[%]	VW[%]
BU	72	63	85	79
sLB	6	4	2	2
<b>Lä</b>	<b>14</b>	<b>22</b>	<b>8</b>	<b>13</b>
sNB	8	11	5	6

Die Vorteile eines Lärchen-Mischbestandes in der Kombination von ökologischen, betriebswirtschaftlichen sowie Risiko vermindern den Überlegungen führten auch zu einer verstärkten Lärchenpflanzung nach den Windwurfereignissen der letzten beiden Jahrzehnte (Hochbichler und Bellos 2004). So betrug der Lärchenanteil am Nadelholz auf den aufgeforsteten Windwurfflächen aus den Jahren 1991/92 im nördlichen Alpenvorland 8-10 %.

Die am häufigsten vorhandenen Laubbäume zeigten nach 12 Jahren mit durchschnittlichen Höhen von rund 7 m bis 9 m ein beachtliches Jugendwachstum. Von den Nadelbäumen konnte nur die Lärche mit einer Mittelhöhe von 8 m mit den wuchskräftigen Laubbäumen mithalten (Abb. E- 12).



**Abb. E- 12: Mittlere Höhen (m) und Brusthöhendurchmesser (cm) für die häufigsten Laub- und Nadelbäume auf den Windwurfaufforstungen 1991/92 im nördlichen Alpenvorland nach 12 Jahren**

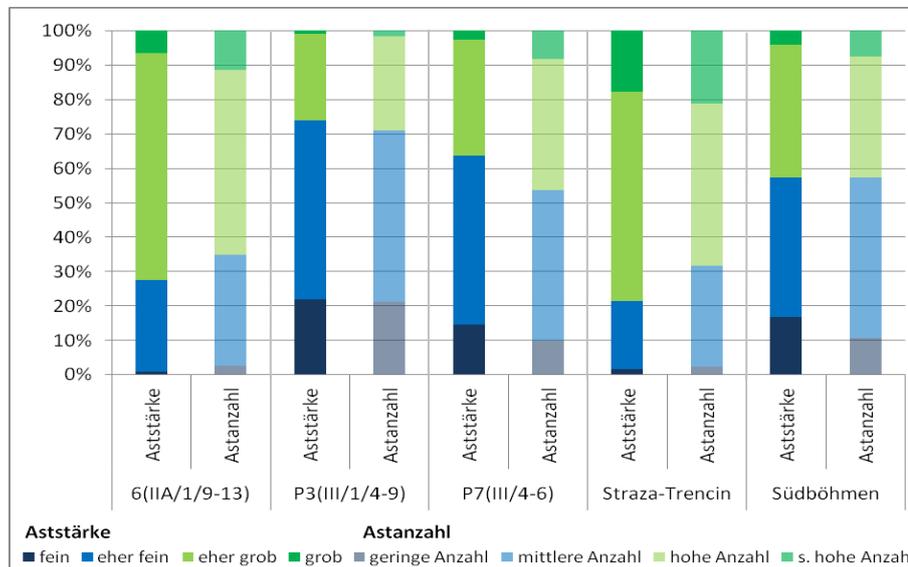
Beim Durchmesserwachstum erzielt die Lärche bis zum Alter von 12 Jahren die höchsten Werte. Mit durchschnittlichen Brusthöhendurchmessern von 7-8 cm blieben Fichte und Tanne gegenüber Lärche und Douglasie deutlich in ihrem Wachstum zurück.

Das rasche Jugendwachstum der Lärche sowie deren Wertleistungspotenzial unterstreicht das verstärkte Bemühen der Waldbesitzer um diese Baumart. Damit verbunden ist auch ein erhöhter Informationsbedarf hinsichtlich Herkunfts- und Standortwahl sowie situativer, zielorientierter waldbaulicher Behandlung. Die standörtlichen Gegebenheiten beeinflussen insbesondere das Wuchsverhalten der Lärche, die Wahl der Mischungsform (Konkurrenz zu Mischbaumarten), die Intensität der waldbaulichen Aktivitäten und somit den betriebswirtschaftlichen Erfolg.

**E-2.3.3.2 Untersuchungen zur qualitativen Entwicklung und Wuchsleistung unterschiedlicher Lärchenherkünfte in Oberösterreich**

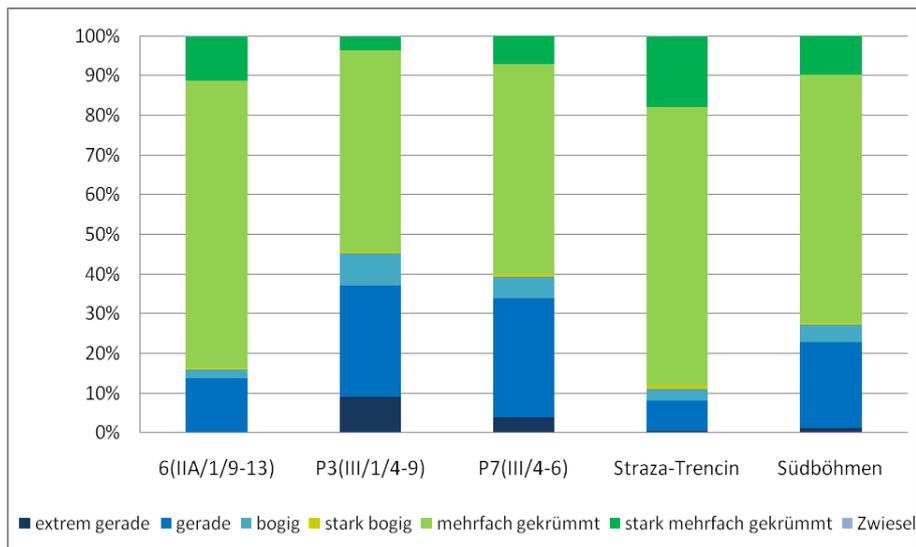
Bei der Bewertung unterschiedlicher Lärchenherkünften stellen die Wuchsleistung und qualitative Eigenschaften neben der Anfälligkeit gegenüber Schaderregern wesentliche Merkmale bei der Entscheidungsfindung dar (Schober 1985). Exemplarisch soll mittels Analyse unterschiedlicher Standorte im Raum Oberösterreich gezeigt werden, welche herkunftsspezifischen Charakteristika existieren. Dabei können Ergebnisse nur bedingt mit Pflanzversuchen gleichgesetzt werden, da sowohl standörtliche und klimatische Bedingungen variieren, als auch Behandlungsunterschiede auftreten.

Insgesamt wurden auf 36 Aufnahmeflächen in ganz Oberösterreich fünf verschiedene Herkünfte untersucht: Zwei österreichische Plantagenherkünfte P3(III/1/4-9) und P7(III/4-6), die slowakische Plantagenherkunft Straza-Trencin, die tschechische Gebietsherkunft Südböhmen und eine österreichische Hochlagenherkunft mit dem Anerkennungszeichen 6(IIA/1/9-13).



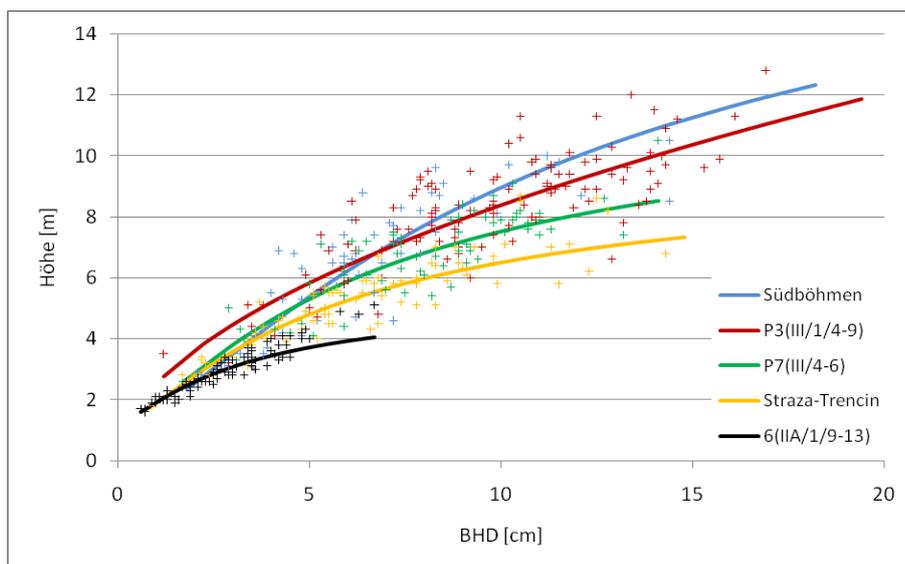
**Abb. E- 13: Astigkeit unterschiedlicher Lärchenherkünfte**

Bei der Häufigkeitsverteilung der Aststärken fallen herkunftsspezifische Unterschiede auf. Die Herkunft P3(III/1/4-9) hatte mit 22 % den höchsten Anteil feinastiger Individuen. Die Herkünfte Südböhmen und P7(III/4-6) ähnelten sich und zeichneten sich immer noch durch einen recht hohen Anteil feinastiger Lärchen aus. Gegenteilig schließen die Herkünfte Straza-Trencin und 6(IIA/1/9-13) offensichtlich eher grob- bzw. grobastige Individuen mit ein. Interessant ist, dass sich Aststärke und Astanzahl weitgehend entsprechen. Feinastige Herkünfte neigen tendenziell zu geringen Astzahlen. P3(III/1/4-9) ist besonders astarm. Herkünfte mit gröberen Ästen wie 6(IIA/1/9-13) und Straza-Trencin haben gleichzeitig auch eine hohe bzw. sehr hohe Anzahl an Ästen (Abb. E- 13).



**Abb. E- 14: Schaftform unterschiedlicher Lärchenherkünfte**

Bei allen Herkünften war mindestens die Hälfte der Schäfte mehrfach gekrümmt. P3(III/1/4-9), P7(III/4-6) und die südböhmischen Lärchen zeigten einen recht hohen Anteil an extrem geraden und geraden Stämmen. Dabei war der Prozentsatz an extrem geraden Stämmen bei P3(III/1/4-9) mit 9 % am größten. Gegenteilig dazu stellten sich die Herkünfte 6(IIA/1/9-13) und Straza-Trencin mit vielen mehrfach gekrümmten und stark mehrfach gekrümmten Individuen negativ dar. Bei der slowakischen Plantagenherkunft waren knapp ein Fünftel aller Stämme stark mehrfach gekrümmt (Abb. E- 14).



**Abb. E- 15: Wuchsverhalten unterschiedlicher Lärchenherkünfte**

Zum momentanen Zeitpunkt lagen die Höhen der Hochlagenherkunft 6(IIA/1/9-13) erwartungsgemäß hinter den vier anderen zurück. Die südböhmischen Lärchen nahmen beim Höhenwachstum die Spitzenposition vor P3(III/1/4-9), P7(III/4-6) und Straza-Trencin ein (Abb. E- 15).

Natürlich ist die phänotypische Erscheinung immer auch ein Ergebnis aus der Interaktion mit der Umwelt. Dennoch lässt sich nachweisen, dass sich morphologische Unterschiede, die sich in Herkunftsversuchen gezeigt haben, auch in regulären Aufforstungsflächen wiederfinden, wodurch sich bedeutende Unterschiede hinsichtlich des ökonomischen Wertes ableiten lassen können.

## **E-3 Klimatische Veränderungen und deren Auswirkungen auf die Lärche**

### **E-3.1 Anforderungen im Klimawandel an die Lärche**

#### **E-3.1.1 Stabilität und Standortsangepasstheit – Standortsanpassungsfähigkeit**

Unter sich veränderndem Klima kommt der Stabilität, Elastizität und Standortsangepasstheit der Waldbestände eine steigende Bedeutung zu. Die Standortsangepasstheit einer Baumart impliziert eine evolutionäre Entwicklung in Abhängigkeit von standörtlichen Merkmalen (Geburek 2006), mit der Unterstellung, dass Bäume auf einem Standort übliche Altersgrenzen erreichen und sich die Population als verjüngungsfähig zeigt (Konnert et al. 2003). Klimatische Veränderungen führen direkt zur Frage nach der Anpassungsfähigkeit der heimischen Baumarten. Aktuell verlaufen diese in einer Geschwindigkeit, die die Anpassungsfähigkeit der Bäume vor eine große Herausforderung stellt (Konnert 2007, Brang et al. 2008). Gerade hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit an sich verändernde klimatische Bedingungen kommt der genetischen Variation, sowohl des Einzelbaumes, wie der Population eine wesentliche Bedeutung zu.

Anpassungsfähigkeit kann unterstützt werden durch Forstpflanzen geeigneter Herkünfte (Geburek 2006, Konnert 2007), aber wesentliches Ziel im Sinne der Anpassungsfähigkeit sollte sein, dass sich bei geeigneter Herkunft des Bestandes und geeigneten Baumarten Naturverjüngung einstellt, wenn der Ausgangsbestand und das Verjüngungsverfahren hohe genetische Vielfalt garantieren kann, die Zahl der verjüngten Bäume und der Verjüngungszeitraum sind dabei wesentlich (Geburek 2006). Aktuell zeigt sich in Österreich, dass Naturverjüngung in hohem Maße durch Wildeinfluss gefährdet ist und dabei vor allem Mischbaumarten, die im Sinne der Stabilität und Baumartenspreitung wesentlich sind (Brang et al. 2008), besonders stark betroffen sind.

Die Lärche gilt als eine der heimischen Baumarten mit der der größten physiologischen Amplitude. Diese zeigt sich in ausgeprägten Rassenunterschieden. So stellen sich verschiedene Herkünfte nicht nur in phänotypischen Merkmalen als unterschiedlich dar, auch in ihrem biologischen Verhalten, wie beispielsweise dem Austriebszeitpunkt, zeigen sich beträchtliche Variationen. In Kapitel E- 1.2.1 erwähnte Untersuchungen zur Transpiration unterschiedlicher Lärchenherkünfte weisen darauf hin, dass der Wasserbedarf tiefer gelegener Rassen höher ist, als jener von Hochlagenherkünften. Auf vielen Waldstandorten könnte zukünftig Wasser noch mehr als heute einen limitierenden Faktor darstellen. Wie unterschiedliche Herkünfte auf Wasserstress reagieren, ebenso wie Mögliche größere Anomalien im Klima zwischen den Jahren wirken, muss deshalb näher geklärt werden.

Um sich an verändernde klimatische Bedingungen anpassen zu können, stellt genetische Vielfalt für Baumarten eine Grundvoraussetzung dar. So muss davon ausgegangen werden, dass gerade an Arealrändern, sowie extremen Standorten, welche Eigenschaften weitab des physiologischen Optimums einer Art aufweisen, die Anpassungsfähigkeit, aufgrund von hoher Angepasstheit an spezifische Standortsbedingungen, gering ist (Geburek 2006). Inneralpine Herkünfte der Lärche höherer Lagen zeigen geringe Variation (Belletti et al. 1997, Konnert et al. 2003, Müller-Starck und Felber 2010), wodurch die Anpassungsfähigkeit an veränderte Klimate zu hinterfragen ist (Müller-Starck und Felber 2010).

Unter schwer bis nicht abschätzbaren Auswirkungen der Klimaänderung auf unterschiedliche Baumarten ist Baumartenmischung in vielen Wäldern eine wesentliche Grundvoraussetzung, um Stabilität zu gewährleisten (Brang et al. 2008). In hohem Maße instabil zeigten sich in den letzten Jahrzehnten fichtendominierte Wälder. Dabei waren es vor allem Stürme und Borkenkäfer (z.B. *Ips typographus*), die in erheblichem Maße zu Schädigungen geführt haben. Beide Gefährdungen sind durch Baumart-

tenspreitung zu verringern. Ergebnisse der Befragung zeigten, dass der Lärche als Mischbaumart nach Kalamitäten eine steigende Bedeutung zugesprochen wird, wobei als Gründe im Wesentlichen ihre Stabilität gegenüber Sturm und die momentan gering erscheinende Gefährdung durch Schädlinge und Pilze genannt wurden. Um die Funktion als wertvoller Stabilitätsträger erfüllen zu können, muss aber sichergestellt sein, dass es sich um geeignete Herkünfte bei der aktuell vorwiegend künstlichen Begründung der Waldbestände handelt. Ebenso ist die Bedeutung geeigneter Standorte für die Lärchenentwicklung zu erwähnen. Beobachtungen nach Aufforstungen in den letzten Jahren zeigten, dass Lärche gerade auf seichtgründigen, sonnseitig exponierten Standorten in den Kalkalpen in hohem Grad durch Mortalität betroffen war. Dabei dürfte Trockenstress und Überhitzung wesentlich dazu beigetragen haben. Lärche kann demnach nicht unabhängig von Standortseigenschaften die Stabilität von Waldbeständen erhöhen oder gewährleisten. In mehrfacher Hinsicht stellt Baumartenspreitung eine Möglichkeit dar, Stabilität zu erhöhen. Hinsichtlich abiotischer Gefährdungen zeigen verschiedene Baumarten Unterschiede in der Elastizität, wie auch biotische Gefährdungen oftmals baumartenspezifisch wirken. Gerade in Hinblick auf Unsicherheiten, in welcher Form unterschiedliche Störungen zum Tragen kommen, kann die Lärche nicht allgemein als stabilisierende Baumart beschrieben werden, auch wenn sie sich als wenig windwurfanfällig und steinschlaggefährdet zeigt. Wird demnach Lärche heute als subdominante oder sogar dominante Baumart begründet, muss gerade auf Standorten, die natürlicherweise geringe Lärchenanteile aufweisen würden, beachtet werden, dass Risiken biotischer Art zukünftig stärker zum Tragen kommen könnten.

### **E-3.1.2 Extremereignisse – Pioniereigenschaften der Lärche**

Hinsichtlich des Störungsregimes in Österreichischen Wäldern, zählen Starkwindereignisse und Schneebruch heute zu den bedeutsamsten abiotischen Einflüssen. Biotische Gefährdungen betreffen großflächig, nicht zuletzt aufgrund der Häufigkeit ihres Auftretens, oftmals fichtendominierte Wälder. Dabei sind sowohl sekundäre, wie auch natürliche Nadel(misch)wälder betroffen.

Klimaveränderungen werden sich nicht nur hinsichtlich Temperatur- und Niederschlagsveränderungen auf Wuchsbedingungen und das ökologische Verhalten der Baumarten auswirken, sondern auch auf biotische und abiotische Gefährdungen. Werden zukünftig Trockenperioden häufiger (Alcamo et al. 2007), so wirkt dies durch Wasserstress direkt auf Bäume, und kann darüber hinaus zu einer höheren Gefährdung durch sekundäre Schaderreger führen. Auch die Wahrscheinlichkeit von Waldbrand könnte im Zusammenhang mit Hitzeperioden erhöht wirksam werden (Zumbrunnen et al. 2009).

Höhere Niederschläge im Winter bei gleichzeitig höheren Temperaturen führen dazu, dass größere Niederschlagsmengen in dieser Periode zukünftig als Regen anstatt als Schnee fallen werden (Alcamo et al. 2007). Rutschungen und Muren im Winter könnten demnach von steigender Bedeutung sein. Sowohl Waldbrand, wie auch Rutschungen und Muren schaffen günstige Bedingungen zur Ansamung der Lärche.

Niederschläge könnten zudem zukünftig häufiger als Starkniederschläge wirksam werden. Auch bei gleich bleibenden bis sogar steigenden Niederschlagsmengen ist bei ungleichmäßiger Verteilung und bei einer teilweisen Verschiebung von Niederschlägen in die Wintermonate eine höhere Gefährdung durch Trockenstress in vielen heimischen Wäldern wahrscheinlich.

Zukünftig muss davon ausgegangen werden, dass Insekten und Pilzschäden zunehmend wirksam werden, wobei sich die Beziehungen zwischen Wirt und Parasit verändern werden. So können klimatische Veränderungen fördernd und hemmend auf die Schadorganismen wirksam werden (Krehan und Steyrer 2006).

Ob bei der höheren Wahrscheinlichkeit von Trockenperioden Lärche gegenüber anderen Baumarten größere Elastizität aufweisen kann, muss standörtlich differenziert werden. Dies kann für mittel- bis tiefgründige Böden gelten, könnte aber für seichtgründige Standorte weniger zutreffen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass klimatische Extremereignisse zukünftig wahrscheinlich zunehmen werden, dies ist allerdings nicht auf eine höhere Gefährdung durch Wind bezogen, wo keine Zunahmen in Häufigkeit und Intensität durch Klimawandel festgestellt werden konnten.

## E-3.2 Lärchenverbreitung in Österreich unter Szenariobedingungen

### E-3.2.1 Klimaszenarien für Österreich

In diesem Projekt werden die regionalen Klimamodell (RCM) Ergebnisse des Modells REMO-UBA (Jacob et al. 2008) verwendet. Bei diesem RCM wird nur die Region Deutschland, Schweiz, Österreich gerechnet, wodurch eine räumliche Auflösung von 10 km erreicht werden konnte. In Abbildung E- 16 und E- 17 sind die gemittelten Ergebnisse von REMO-UBA für das ganze 21. Jahrhundert und den drei Emissionsszenarien B1, A1B und A2 gemittelt über Österreich dargestellt.

Bei der Temperatur zeigen alle drei Szenarien einen Anstieg, wobei das A1B und das A2 Szenario sehr ähnlich sind und bis zum Ende des Jahrhunderts einen Temperaturanstieg von mehr als 3 Grad ergeben, beim B1 Szenario beträgt der Anstieg hingegen nur knapp 2 Grad (Abb. E- 16). Bei der Jahresniederschlagssumme zeigen alle drei Szenarien keinen Trend, die Modelle zeigen jedoch Schwankungen auf dekadischer Zeitskala von einigen Prozent (Abb. E- 17).

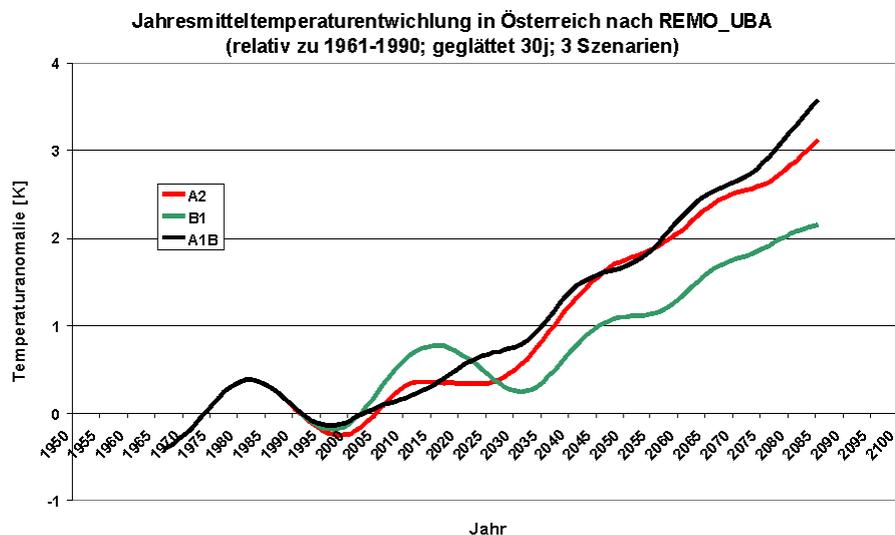
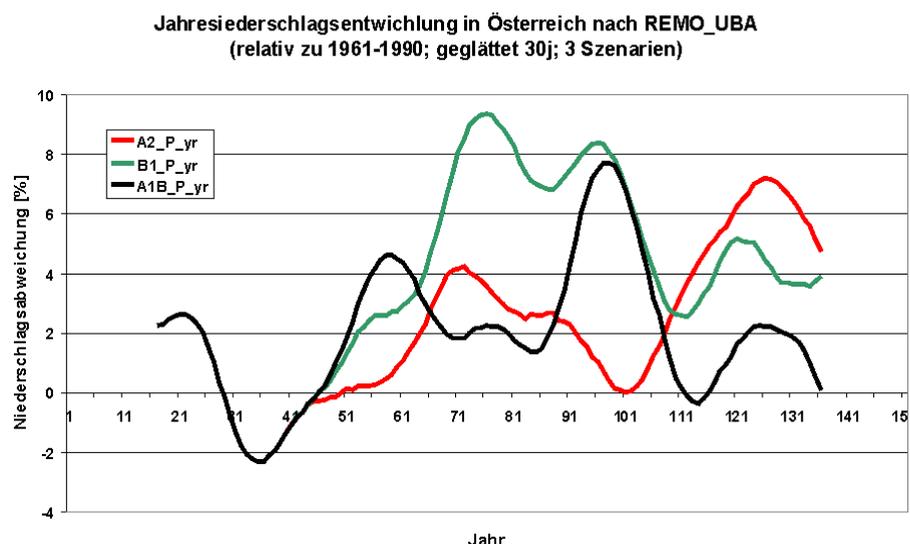
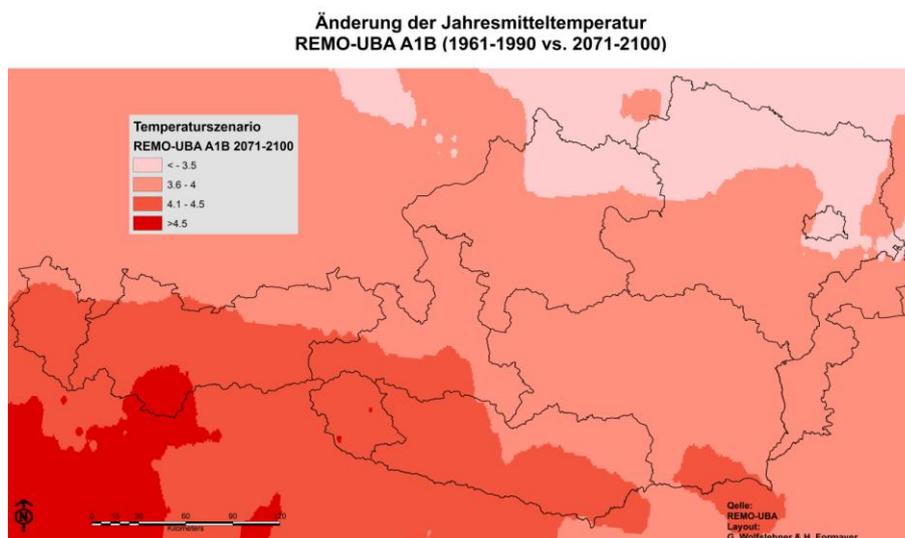


Abb. E- 16: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100



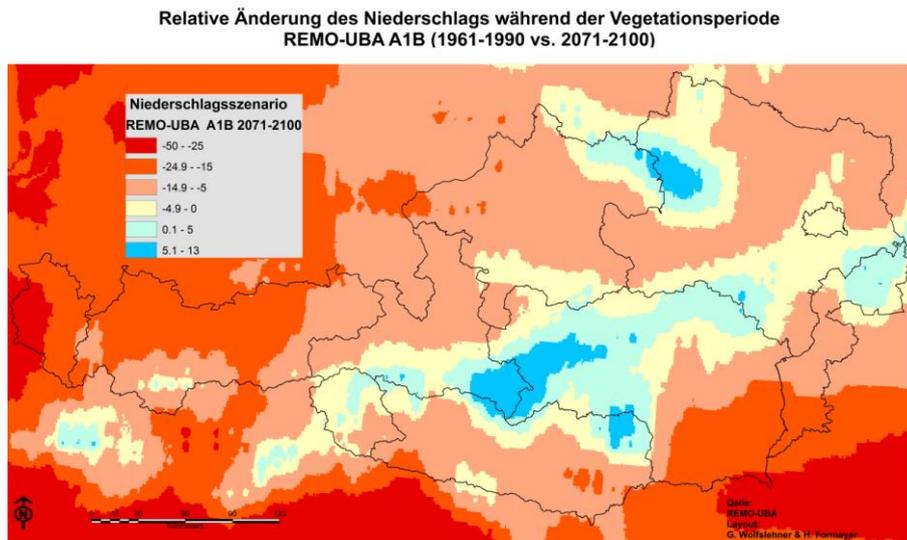
**Abb. E- 17: Entwicklung der Jahresniederschlagssumme (relativ zu 1961-1990) in Österreich nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100**

Zur Bestimmung der Verschiebung der thermisch/hygrischen Verhältnisse wurden die Klimaänderungssignale des REMO-UBA A1B Laufes, berechnet aus dem mittleren Unterschied zwischen der Zeitperiode 1961- 1990 und 2071-2100 verwendet, (siehe Abb. E- 18, Abb. E- 19). Beim Niederschlag wurde nicht der Jahresniederschlag verwendet, sondern der Niederschlag während der Vegetationsperiode April bis September. Der Anstieg der Jahresmitteltemperatur bewegt sich zwischen 3,5 und 4,5 °C. Die geringste Erwärmung tritt im Nordosten auf und die Höchste im Westen und Süden.



**Abb. E- 18: Änderung der Jahresmitteltemperatur nach REMO-UBA A1B Szenario**

Beim Sommerniederschlag zeigt sich im Großteil Österreichs eine Niederschlagsabnahme, wobei diese im äußersten Westen und im Südosten Werte von – 25 % erreicht. Von den Niederen Tauern bis zum Wienerwald und im Wald- und Mühlviertel zeigt dieses Szenario jedoch sogar eine leichte Zunahme des Sommerniederschlags, wobei diese maximal knapp über 5 % liegt (Abb. E- 19).



**Abb. E- 19: Änderung des Niederschlags während der Vegetationsperiode nach REMO-UBA A1B Szenario**

### **E-3.2.2 Heutige und zukünftige Verbreitung der Lärche**

#### **E-3.2.2.1 Tieflagenlärche**

Um das potenzielle Verbreitungsgebiet der Tieflagenlärche hinsichtlich klimatischer Bedingungen graphisch darzustellen, bedarf es der Festlegung von klimatischen Grenzen. Hinsichtlich der maximalen Jahresmitteltemperatur und dem minimalen Vegetationsniederschlag ist eine klare Abgrenzung für die Verbreitung der Lärche schwierig. So kann beispielsweise bei guter Wasserspeicherkapazität ein Standort mit 350 mm Vegetationsniederschlag in der Wasserversorgung als ausreichend für das Lärchenvorkommen beurteilt werden, während auf einem seichtgründigen Standort bei gleichem Niederschlag die Lärche unter großem Trockenstress steht. Aus diesem Grund sind allgemeine Niederschlags – und Temperaturgrenzwerte standortesabhängig und können nur als Näherungswerte beurteilt werden.

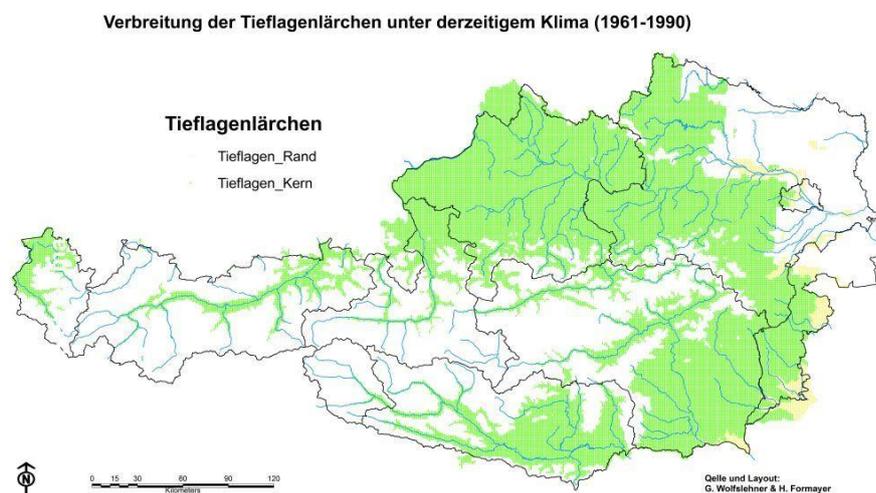
Für die Verbreitung der Tieflagenlärche wurden folgende klimatische Bedingungen festgelegt

**Tab. E- 3: Klimagrenzwerte für die Verbreitung der Tieflagenlärche**

	Tieflagen-Kerngebiet	Tieflagen-Randgebiet
Temperaturobergrenze [° C]	9	9,5
Temperaturuntergrenze [° C]	5,8	5,8
Vegetationsniederschlagsuntergrenze [mm]	400	350

Die obere Temperatur- und untere Niederschlagsgrenze bezieht sich im Wesentlichen auf die Klimahülle für die Verbreitung der Lärche in Deutschland nach Kölling und Zimmermann (2007) sowie auf Angaben nach Mayer (1962). Die untere Niederschlagsgrenze nach Kölling und Zimmermann (2007) liegt im Verbreitungsgebiet der Lärche bei ca.

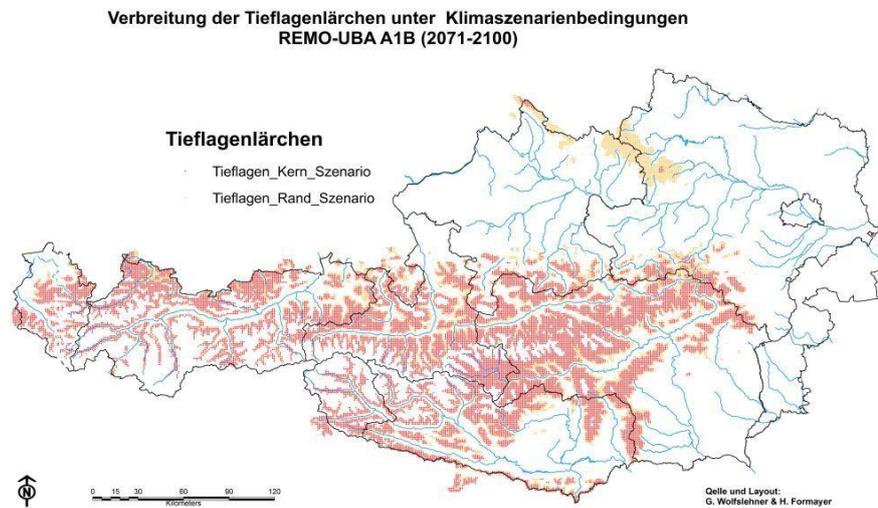
675 mm Jahresniederschlag. Im natürlichen Verbreitungsgebiet der Tieflagenlärche im Wienerwald ergeben sich im Wuchsgebiet 4.2 bei Jahresniederschlägen über 675 mm als minimaler Vegetationsniederschlag zwischen April und September 400 mm. Das Temperaturmaximum im Bereich der geringsten Niederschläge liegt in der Klimahülle bei 7,5 ° C Mitteltemperatur. Höhere Jahresmitteltemperaturen bis maximal 10° C kommen in der Klimahülle für die Lärche nur bei gleichzeitig höheren Niederschlägen vor. Hier ergibt sich in der Klimahülle rund 800 mm minimaler Jahresniederschlag bei circa 10° C Jahresmitteltemperatur (Kölling und Zimmermann 2007). In Österreich finden sich die wärmsten und trockensten künstlichen Lärchenwuchsgebiete im Nordosten und im Südosten Niederösterreichs und im Burgenland. Die Gebiete, wo die Lärche noch vorkommt, aber ihre Grenzen erreicht, weisen als geringste mittlere Vegetationsniederschläge zwischen 350 – 400 mm bei mittleren Jahresmitteltemperaturen von teilweise über 9 °C auf. Aus diesen Gründen wurde als äußerster Randbereich für die Lärchenverbreitung eine Temperaturobergrenze von 9,5° C Jahresmitteltemperatur und eine Untergrenze von 350 mm Vegetationsniederschlag festgelegt. Mayer (1962) beschreibt im Verbreitungsgebiet der Lärche im Bereich der nördlichen Rand und Zwischenalpen höchste Jahresmitteltemperaturen von 9,5 °C und minimale Jahresniederschläge zwischen 600 – 900 mm. In den südlichen Voralpen der submediterranen Stufe im Südtiroler Raum gibt er deutlich höhere Jahresmitteltemperaturen bis 13,5 °C bei höheren Jahresniederschlägen von minimal 1000 mm im Verbreitungsgebiet der Lärche an. Die deutlichen Unterschiede in klimatischen Verbreitungsgrenzen, wie sie in der Literatur angegeben werden, zeigen die Schwierigkeiten in der Festsetzung eines klimatischen Bereiches, der das Vorkommen der Lärche beschreiben soll. Aus der Sicht der Autoren können mittlere Temperaturen, wie sie Mayer (1962) in submediterranen Lagen nennt für die Verbreitung der Lärche in Österreich nicht als thermische Grenzen gewählt werden, weil Herkünfte, die heute für Aufforstungen in Tieflagen verwendet werden, aus Gebieten stammen, wo derartige Jahresmitteltemperaturen, nicht annähernd erreicht werden.



**Abb. E- 20: Verbreitung der Tieflagenlärche unter derzeitigem Klima (1961 – 1990)**

Die Abbildung Abb. E- 20 zeigt das heutige Verbreitungsgebiet der Tieflagenlärche unter Grenzen für die Jahresmitteltemperatur von 9° C beziehungsweise 9,5°C und einem Vegetationsperiodenniederschlag von 400 bzw. 350 mm. Datenbasis hierfür ist eine monatliche Klimatologie 1961-1990 für Niederschlag und Temperatur flächendeckend für ganz Österreich mit 1 km Auflösung (Kling et al. 2005). Es zeigt sich, dass weite Teile des Nord-Ostens bis Ostens Niederösterreichs und des nördlichen Burgenlandes die

Temperaturobergrenzen beziehungsweise Niederschlagsuntergrenzen nicht erfüllen können, während im Bergland die Temperaturuntergrenze von 5,8° C Jahresmitteltemperatur unterschritten wird.



**Abb. E- 21: Verbreitung der Tieflagenlärche unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100)**

Unter Klimaszenariobedingungen scheiden weite Teile des heutigen Verbreitungsgebietes mit den festgesetzten Temperatur und Niederschlagsgrenzen für die Periode 2071 – 2100 aus. So können die Klimabedingungen im Großteil Oberösterreichs, Niederösterreichs in der Südoststeiermark und dem gesamten Burgenland unter Szenariobedingungen nicht erfüllt werden (Abb. E- 21).

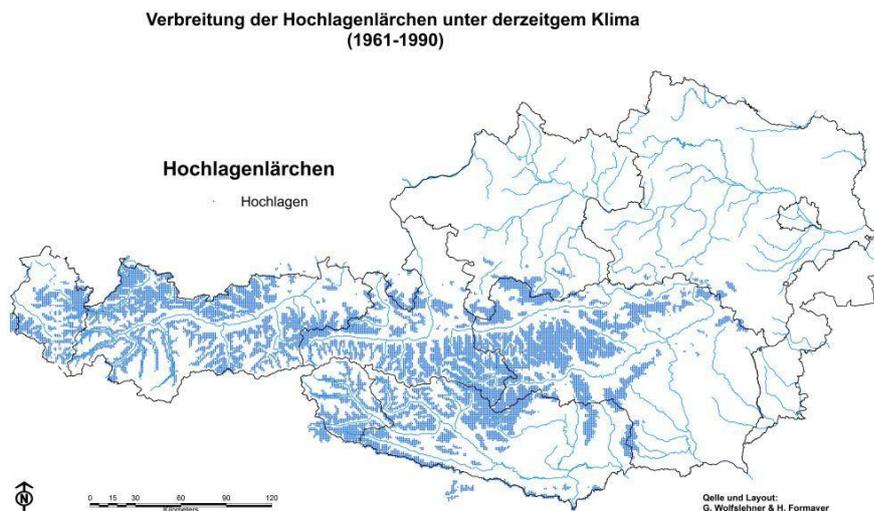
**E-3.2.2.2 Hochlagenlärche**

Klimatische Grenzen der Hochlagenlärche wurden nach Angaben von Mayer (1962) festgesetzt und beziehen sich auf Lagen der hochmontanen bis subalpinen Verbreitung der Lärche. Unter geringeren Temperaturen bei sehr stark schwankenden Vegetationszeiten, sind Untergrenzen für den Vegetationsniederschlag kaum sinnvoll zu setzen, wodurch darauf verzichtet wurde.

**Tab. E- 4: Klimagrenzwerte für die Verbreitung der Hochlagenlärche**

	Klimatische Grenzen der Hochlagenlärche
Temperaturobergrenze [° C]	4,5
Temperaturuntergrenze [° C]	0,5

Grenzen für die Jahresmitteltemperatur wurden zwischen 0,5 – 4,5° C für die Verbreitung der Lärche in Hochlagen festgesetzt. Unter derzeitigen Klimabedingungen (1961 – 1990) weisen die Bergwälder der höheren Waldstufen im ganzen Bereich des Alpengürtels die festgelegten Temperaturbedingungen auf (Abb. E- 22).



**Abb. E- 22: Verbreitung der Hochlagenlärche unter derzeitigem Klima (1961 – 1990)**

Unter Klimaszenariobedingungen käme es zu großen Flächenverlusten im Areal der Hochlagenlärche. Weite Teile der östlichen Alpen weisen dabei höhere Jahresdurchschnittstemperaturen als  $4,5^{\circ}\text{C}$  auf, wodurch die festgelegten klimatischen Grenzen unter Szenariobedingungen nicht erfüllt werden. Nur im westlichen Teil Österreichs und in kleineren Bereichen der Steiermark und Oberösterreich treten Temperaturbedingungen auf, wie sie für die Hochlagenlärchenverbreitung typisch sind (Abb. E- 23).

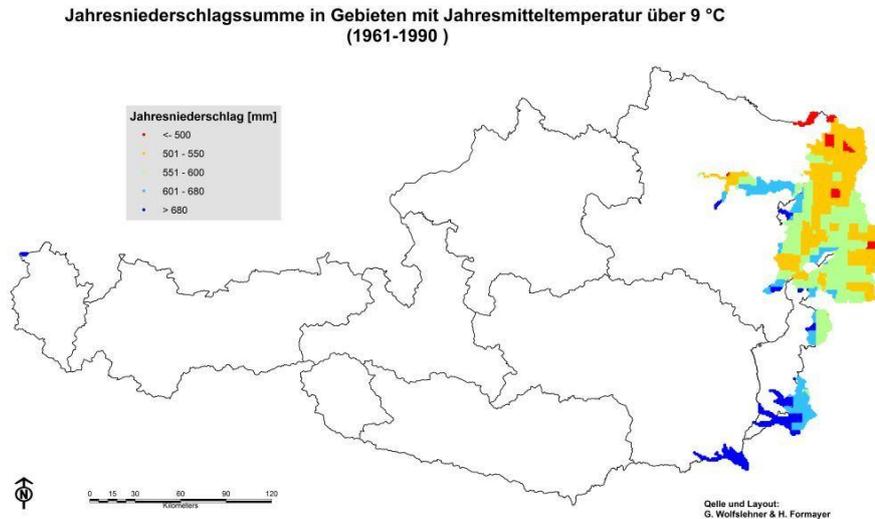


**Abb. E- 23: Verbreitung der Hochlagenlärche unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100)**

#### E-3.2.2.3 Jahresniederschläge in Gebieten über $9^{\circ}\text{C}$ Jahresmitteltemperatur heute und unter Szenariobedingungen

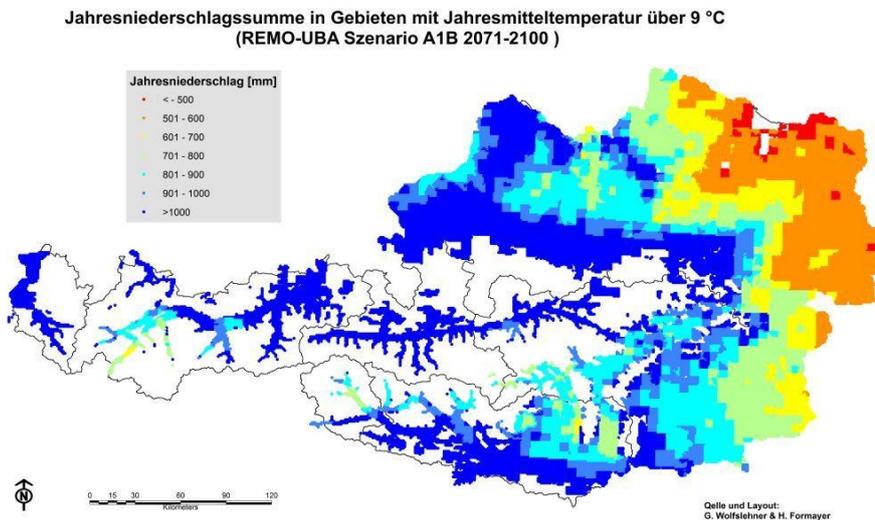
Die Abb. E- 24 zeigt in Gebieten, die heute (1961 – 1990) über  $9^{\circ}\text{C}$  Jahresmitteltemperatur aufweisen, die Jahresniederschläge, wie sie sich im Mittel in der Periode (1961 – 1991) ergeben, nach ihrer Menge farblich dargestellt. Es geht daraus hervor, dass nur wenige Gebiete, welche die Temperaturgrenzen nicht erfüllen, gleichzeitig höhere mittlere Jahresniederschläge als 680 mm aufweisen. Dementsprechend zeigt sich die

Schwierigkeit, unter heutigem Klima zu erkennen, wie sich die Lärche bei höheren Temperaturen und gleichzeitig hohem Niederschlag verhalten wird.



**Abb. E- 24: Jahresniederschlagssummen in Gebieten über 9° C Jahresmitteltemperatur (1961 – 1990)**

Abb. E- 25 zeigt in Gebieten, die unter Szenariobedingungen in der Periode 2071 – 2100 höhere Temperaturen als 9° C aufweisen, die heutigen Jahresniederschläge nach ihrer Menge farblich dargestellt. Dabei wird ersichtlich, welche großen Unterschiede sich zukünftig in warmen Gebieten hinsichtlich des Niederschlages ergeben könnten. Deutlich wird dabei vor allem, wie wesentlich es für die Abschätzung der zukünftigen Bedeutung der Lärche wäre, ihre thermischen Grenzen in Abhängigkeit des Niederschlages zu kennen.



**Abb. E- 25: Jahresniederschlagssummen in Gebieten über 9° C Jahresmitteltemperatur unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100)**

## **E-4 Ableitungen und Empfehlungen für die Lärchenbewirtschaftung in Österreich**

### **E-4.1 Empfehlungen hinsichtlich der Lärchenbewirtschaftung in unterschiedlichen Wuchsgebieten**

In großen Teilen Ostösterreichs kann die Lärche hinsichtlich der Temperaturveränderungen unter Szenariobedingungen nur noch bedingt empfohlen werden. Gerade außerhalb des natürlichen Verbreitungsgebietes in warmen und trockenen Regionen erscheinen Reinbestände der Lärche aufgrund der Temperatur- und Niederschlagsbedingungen, die unter Szenariobedingungen herrschen, als anfällig gegenüber biotischen und abiotischen Schädigungen. Die Niederschlags- und Temperaturszenarien zeigen Standortsbedingungen, wie es sie heute in Österreich nicht gibt. Ähnlich hohe Jahresmitteltemperaturen werden zwar von Mayer (1962) für Lärchenstandorte am südlichen Alpenrand in Italien beschrieben, jedoch weisen diese Standorte deutlich höhere Niederschläge auf und sind klimatisch ozeanischer geprägt, als es die Szenarien hinsichtlich der Niederschlagsentwicklungen im Osten Österreichs erwarten lassen. Gebiete des nördlichen und südlichen Alpenvorlandes und der Flyschzone erfüllen im Szenario für die Periode 2071 - 2100 die Temperaturgrenzen von 9 bzw. 9,5° C nicht, weisen aber gleichzeitig hohe bis mäßig hohe Niederschläge auf. Gerade unter diesen klimatischen Bedingungen lässt sich schwer abschätzen, wie Lärche reagiert. Es kann daher nicht ausgeschlossen werden, dass Tieflagenherkünfte weiter hohe Stabilität und Vitalität zeigen, jedoch muss eine größere Gefährdung durch biotische Schädigungen in Betracht gezogen werden.

Gebiete der nördlichen und südlichen Kalkalpen werden nach dem Klimaszenario vermehrt Standorte aufweisen, die hinsichtlich klimatischer Bedingungen der Verbreitung von Herkünften der Tieflagen entsprechen. Allein auf Grund der möglichen Entwicklung der mittleren Jahrestemperaturen und der Niederschläge während der Vegetationsperiode kann momentan nicht abgeschätzt werden, wie vital sich Tieflagenherkünfte tatsächlich verhalten können, da gerade Früh- und Spätfröste durch frühere Austriebszeitpunkte und längere Vegetationsperioden der Tieflagenlärche eine erhebliche Gefährdung darstellen werden. Um das Verhalten dieser Tieflagenherkünfte in höheren Lagen bei anderen Standortsbedingungen und veränderten Klimabedingungen zu prüfen, ist es wesentlich, Pflanzversuche zur Auslotung der Anpassungsfähigkeit der Tieflagenlärche an montane Wuchsbedingungen anzulegen.

Waldstandorte der höheren Lagen in hochmontaner bis subalpiner Stufe werden unter Szenariobedingungen weiterhin klimatische Verhältnisse aufweisen, in denen Lärche gedeiht. Allerdings ist von einer deutlichen Verschiebung der Konkurrenzverhältnisse in weiten Teilen der Alpen auszugehen. Klimaregionen, in denen heute der Lärchen-Zirbenwaldgürtel auftritt, könnten sich zu Gunsten wuchskräftigerer Fichte entwickeln, während sich Lärchen- und Zirbenwaldstandorte nach oben verschieben könnten, sofern dies standörtlich überhaupt möglich ist.

### **E-4.2 Standörtliche Empfehlungen für die zukünftige Lärchenbewirtschaftung**

Wenn davon ausgegangen werden muss, dass besonders während längerer Hitze- und Trockenperioden Wasser zukünftig vermehrt als Minimumfaktor wirksam werden könnte, ist dies hinsichtlich standörtlicher Entscheidungen zur Lärchen-Bestandesbegründung zu berücksichtigen. Gerade auf sonnseitig exponierten und seichtgründigen Standorten muss ein erhöhtes Risiko durch Trockenstress in Betracht gezogen werden. Zwar ist darauf hinzuweisen, dass die physiologische Amplitude der Lärche hinsichtlich Trockenheit größer ist, als jene der Fichte, wie ihr Gesellschaftsanschluss zeigt, doch muss berücksichtigt werden, dass bezüglich des Ertragens von Trockenheit innerhalb der Lär-

chenherkünfte Unterschiede vorliegen, wie sie im Kapitel E-1.2.1 näher erläutert wurden. In ihrer natürlichen Verbreitung zeigt die Lärche in den Kalkalpen ihren Verbreitungsschwerpunkt in schattseitiger Exposition, häufig ist aber zu beobachten, dass sie gerade auf sonnseitigen Hängen nach Kalamitätsereignissen in nicht unerheblichem Ausmaß künstlich begründet wird. Junge Lärchen werden hinsichtlich der Wasserversorgung als sensibel beurteilt (Auer 1947). Dabei ist von einer höheren Gefährdung durch Trockenheit besonders bei künstlicher Verjüngung auszugehen. Steile Hanglagen, die nach Kalamitäten stark von Erosion betroffen sind, zeigen während Trockenperioden einen angespannten Wasserhaushalt. Demnach sind junge Lärchen hier in hohem Grad von Mortalität in den ersten Monaten nach der Auspflanzung betroffen (Wolfslehner und Hochbichler 2010). Kulturen, die sich rein auf Lärche beschränken, können auf diesen Standorten daher nicht empfohlen werden.

### **E-4.3 Konzepte der zukünftigen Lärchenbewirtschaftung**

#### **E-4.3.1 Die Lärche in Hochlagen – Stabilitätsträger und Pionier**

Anteilmäßig findet die Lärche aktuell in Hochlagen über 1200 m Seehöhe den Schwerpunkt ihrer Verbreitung und stellt dort die wesentlichste Mischbaumart zur Fichte bzw. Zirbe dar. Weniger weil die klimatischen und standörtlichen Gegebenheiten ihrem ökologischen Optimum entsprechen, als durch geringeren Konkurrenzdruck und häufigere Störungsereignissen, die zu initialen Bodenverhältnissen führen, ist die Lärche hier häufiger zu finden. Ihre Tiefwurzeligkeit, Stabilität gegenüber Windwurf und Steinschlag, die geringe Frostgefährdung und das Ausheilvermögen von Wunden sind dabei wesentliche Eigenschaften, die in Hochlagen von vorrangiger Bedeutung sind.

Windkalamitäten der letzten Jahrzehnte trafen oftmals schwer oder gar nicht zugängliche Waldgebiete, in denen der Buchdrucker (*Ips typographus*), der in immer höhere Lagen vordringt, zunehmend mehrere Generationen in einer Vegetationsperiode ausbilden kann und somit einen hohen Störungsdruck auf Fichte ausübt. Kostenintensivere Bringungen bei geringeren Erlösen einerseits, sowie mangelhafte Schutz- und Wohlfahrtswirkung andererseits sind Folgen dieser Entwicklungen. Lärche kann gerade in dieser Situation und auch bei Windwurfgefährdung und Steinschlag bedeutend zur Stabilisierung von Waldbeständen beitragen, teilweise auch als dominante Baumart. Es muss aber klar herausgestrichen werden, dass dies nicht auf allen Standorten zutreffen kann. Nicht nur anthropogen bedingte Baumartenmischung, sondern auch mangelnde, späte Pflegeeingriffe, unangepasste Hiebsarten und hohe Wildbestände können wesentlich zur Destabilisierung heimischer Wälder der Hochlagen beitragen. Dies trifft sowohl für die Lärche wie auch für jede andere Baumart der heimischen Wälder zu.

Klimatische Veränderungen lassen darauf schließen, dass die Bedeutung von Extremereignissen zunehmen wird, nicht zuletzt deswegen wird Lärche als Primärbesiedler auch zukünftig eine wesentliche Rolle im Bergwald einnehmen. Doch muss hinzugefügt werden, dass die höchst gelegenen Waldgebiete, in denen Fichte heute aus klimatischer Sicht noch ausscheidet, zukünftig vermehrt klimatische Bedingungen aufweisen werden, welche die Wuchskraft von Fichte erhöhen könnten. Lassen es die Standortbedingungen der Berglagen zu, sind nach oben wandernde Wald- und Baumgrenzen zu erwarten. Weil aber nicht alle Gebirgsregionen wo Lärche auftritt, Erhebungen erreichen, die ein Hinaufwandern der Waldgrenze ermöglichen, könnten sich Gebiete des Lärchenwaldes und Lärchen-Zirben-Waldgürtels reduzieren.

Der Zuwachs der Baumarten an der Waldgrenze ist nach Carrer und Urbinati (2006) vor allem von Temperaturen in der Vegetationsperiode abhängig. Dies zeigt an, dass an der Wald- und Baumgrenze in den Alpen Wärme oftmals den Minimumfaktor darstellen kann. Inwiefern steigende Temperaturen zukünftig zu höheren Wuchsleistungen führen,

wird nicht unwesentlich vom Wasserhaushalt der Standorte und somit von Bodentyp, Bodengründigkeit und Reliefbedingungen abhängen.

#### **E-4.3.2 Die Lärche als Mischbaumart der montanen Stufe – wertvoller Stabilitätsträger bei angepasster Pflege**

Aus den Ergebnissen der Befragung geht deutlich hervor, wie wesentlich die Lärche für die zukünftige Waldbewirtschaftung der hochmontanen und subalpinen Lagen eingeschätzt wird. In der Stufe des Fichten-Tannen-Buchen-Waldes gehen allerdings die Meinungen der Befragten stärker auseinander. Während manche deutlich Konkurrenz Nachteile für die Lärche in dieser Waldgesellschaft als wesentlich erachten, und die Aufgabe der Stabilitätssicherung und Baumartenspreitung in erster Linie durch die natürlich gesellschaftsbildenden Baumarten Tanne und Buche erfüllt sehen, nennen einzelne Befragte hohe Verjüngungsziele mit Lärche bis zu 50% des Baumartenanteils als wünschenswert. Anteilsmäßig ist der Fichten-Tannen-Buchen-Wald die häufigste potentielle natürliche Waldgesellschaft in Österreich, er weist dabei oftmals Entmischung zu Gunsten der Fichte auf. Hohe Wildbestände sind neben waldbaulichen Entscheidungen in dieser Waldgesellschaft ausschlaggebend für die Baumarten-Entmischung in der Verjüngung. Lärche kann auf Standorten mit unruhigem Relief und initialen Bedingungen natürlich in höheren Anteilen vorkommen, scheidet aber gerade auf tiefgründigeren Standorten ohne großflächiger Störungseinwirkung im Zuge der natürlichen Sukzession zu Gunsten der Klimaxbaumarten aus.

Unter sich veränderndem Klima muss in der natürlichen Fichten-Tannen-Buchen-Waldstufe bei steigenden Temperaturen davon ausgegangen werden, dass sich die Konkurrenzverhältnisse zu Ungunsten von Lärchenherkünften aus höheren Lagen verschieben könnten und Buche und Tanne, die ihr physiologisches Optimum unter höheren Temperaturen als Fichte erreichen, in ihrer Konkurrenzkraft zunehmen könnten. Tieflagenlärchen, die sich an höhere Temperaturen bei geringer ausgeprägtem Lichtanspruch angepasst zeigen, könnten zukünftig auf Standorten des Fichten-Tannen-Buchen-Waldes hinsichtlich der Temperatur und Niederschlagsbedingungen gute Wuchsbedingungen vorfinden. Allerdings kann unter derzeitigem Klima, bei großer Unsicherheit über abiotische Gefährdung, besonders hinsichtlich Früh- und Spätfrost, ohne vorheriger Durchführung von Pflanzversuchen keine Empfehlung dazu abgegeben werden. Wiederum sei auf die Möglichkeit der Auslotung der Anpassungsfähigkeit der Tieflagenlärche an die klimatischen Rahmenbedingungen der montanen Stufe durch Anbauversuche verwiesen.

Gerade unter Unsicherheit über klimatische Entwicklungen sollte Lärche nicht auf Kosten der natürlich gesellschaftsprägenden Baumarten Tanne und Buche als einzige Mischbaumart gefördert werden. Jedoch erscheint eine Beimischung der Lärche bei Verringerung der Fichtenanteile durchaus als zweckmäßig, sofern die standörtliche Eignung dabei beachtet wird. Dies bezieht sich vor allem auf seichtgründige, sonnseitige Standorte, die nicht nur natürlich einen geringen Lärchenanteil aufweisen, sondern wo auch im Zuge der künstlichen Begründung der Lärche auf erodierten Kahlflächen nur wenig zufriedenstellende Ergebnisse bei der Verjüngungsentwicklung erzielt werden (Wolfslehner und Hochbichler 2010). Gerade auf trockeneren Standorten, stellen Weißkiefer (*Pinus sylvestica*) und Schwarzkiefer (*Pinus nigra*) als heimische Baumarten größter Trockenheitsamplitude mögliche Alternativen dar, die auch in ihrem natürlichen Gesellschaftsanschluss anzeigen, dass sie auf seichtgründigen, südexponierten Standorten nicht vernachlässigt werden können.

### **E-4.3.3 Die Lärche als Mischbaumart im Laubwald – Pflegebedürftiger Wertträger**

Die Wuchsbedingungen bevorzugen im Buchenoptimum, besonders auf nährstoffreichen und tiefgründigen Standorten, die Laubbaumarten, wodurch Lärchenbewirtschaftung hier mit erheblichem waldbaulichen Aufwand verbunden ist. Leibundgut (1992) kommt nach Untersuchungen in submontaner Höhenlage des Schweizer Mittellandes bei Lärchenanbauten außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes zum Schluss, dass Lärchen häufig auf westlich exponierten Hängen auftreten, wo er günstigere Verhältnisse hinsichtlich Licht- und Wasserhaushalt vermutet. Mittlere und obere Hanglagen scheinen geeigneter als Standorte nahe dem Talboden, welche höhere Nebelhäufigkeit zeigen (z.B. Prädisposition für die Lärchenschütte). Schwere, bindige und staunasse Böden zeigen sich für Lärche als ungeeignet. Dies spiegelt sich im Wuchsverhalten in verschiedenen Waldgesellschaften wider, wo beispielsweise der Waldmeister-Buchenwald als günstiger erscheint, während sich staunasse Standorte, die Stieleiche begünstigen, für Lärche als weniger geeignet erweisen.

Hinsichtlich der Standortseignung sehen unterschiedliche Autoren teilweise verschiedene Schwerpunkte bei der Begründung. In künstlichen Verbreitungsgebieten der Lärche wird wiederholt auf die Ansprüche der Lärche an Bodendurchlüftung und ausreichende Wasserversorgung hingewiesen, wie auch nebelfeuchte Lagen als ungeeignet beschrieben werden (Schober 1949, Mayer 1962). Schober (1949) weist mit Nachdruck darauf hin, dass sich gerade tiefgründige, frische Böden in Lagen des Unterhanges besonders für Lärchenanbau eignen, während Mayer Konkurrenz Nachteile der Lärche gegenüber Buche und Edellaubarten auf sehr nährstoffreichen und tiefgründigen Standorten hervorhebt.

Winterlinde und Feldahorn scheinen Leibundgut (1992) als dienende Mischbaumarten zuträglich zu sein, ebenso Buche, sofern sie mit einem Altersunterschied eingebracht werden. Die Konkurrenz von Buche, Esche, Bergahorn, Stieleiche scheint bei gleichaltriger Mischung als weniger förderlich für die Lärchenentwicklung. Gegenüber seitlicher Kronenbedrängung durch Buche, Fichte und Tanne zeigt sich die Lärche empfindlich.

Lärcheneinbringung in Buchenbeständen erfordert einen möglichst frühen Zeitpunkt (Schober 1949, Dippel 1988). Empfehlungen zur Mischungsform bei Lärchen-Buchen-Mischungen müssen je nach Konkurrenzdruck variiert werden. Je größer der Konkurrenzdruck der Buche auf die Lärche ist, umso mehr empfiehlt sich die Mischung der Lärche in Gruppen und Horsten. Zeigen Buchen auf den Standorten geringere Wüchsigkeit, kann die Lärche ihre Vorwüchsigkeit länger erhalten und dementsprechend auch truppweise gemischt empfohlen werden.

Wesentlich ist zu beachten, dass für die Lärche frühere und intensivere Eingriffe zur Kronenentwicklung nötig sind als für die Buche. Schon allein aus diesem Grund ist zur Pflegeerleichterung eine Einzelmischung abzulehnen, da garantiert werden soll, dass die Lärche vom Pflegepersonal zur Freistellung aufgefunden werden kann (Dippel 1988).

Als „Gastbaumarten“ kommen nach Leibundgut (1992) nur Arten in Frage, denen die Standortbedingungen zusagen, die aber aufgrund der Konkurrenzverhältnisse fehlen und welche das natürliche Bestandesgefüge nicht nachteilig verändern. Daraus kann geschlossen werden, dass die Lärche als Gastbaumart nicht in Reinbeständen begründet werden soll, da sie durch langsame Streuabbauraten die Oberbodenverhältnisse nachteilig beeinflussen kann und darüber hinaus wenig Elastizität für den Waldbestand impliziert, was insbesondere in Zeiten des Klimawandels nicht zweckmäßig erscheint.

Auf zu Trockenheit neigenden Standorten der Tieflagen muss von einer steigenden Gefährdung durch biotische und abiotische Schädigungen bei Lärchenanbau ausgegangen werden. Die Wärme-liebenderen Eichenarten sowie Schwarz- und Weißkiefer (bei geeigneter Herkunft) sind hier als stabilere Alternative zu beurteilen.

## E-5 Schlussfolgerungen

Die Lärche (*Larix decidua* MILL.) weist eine weite ökologische Amplitude auf. Diese wird einerseits durch das breite Spektrum von Wuchsgebieten Österreichs, wo Lärche aktuell erfolgreich bewirtschaftet wird, angezeigt. Andererseits unterstreichen auch die natürliche Verbreitung der Lärche in Dauerwaldgesellschaften und ihr Gesellschaftsanschluss in Klimax-Waldgesellschaften ihre breite ökologische Amplitude.

Klimatische Veränderungen werden weit reichende Folgen für die Waldbewirtschaftung mit Lärche haben. So werden sich diese nicht nur direkt auf das Wuchsverhalten und die Anfälligkeit der Lärche gegenüber biotischen und abiotischen Schädigungen auswirken, auch waldbauliche Entscheidungen der Waldbewirtschafter werden im Hinblick auf den Klimawandel Veränderungen unterliegen.

In der Periode 2071 – 2100 werden nach dem Klimamodell REMO-UBA A1B alle Gebiete der kollinen – submontanen Stufe klimatische Bedingungen aufweisen, wie sie im heutigen Verbreitungsgebiet der Lärche nicht bestehen. In großen Gebieten des nordöstlichen bis südöstlichen Österreichs werden dabei sowohl Jahresmitteltemperaturen, wie Vegetationsperioden-Niederschläge erreicht, die außerhalb der definierten klimatischen Grenzwerte für die Verbreitung der Lärche liegen. In weiten Bereichen der nördlichen und südlichen Randalpen und Flyschzone, sowie der Böhmisches Masse werden unter Szenariobedingungen die oberen Grenzen der Jahresmitteltemperatur von 9 bzw. 9,5° C überschritten, allerdings bei Vegetationsperioden-Niederschlägen die in der Arbeit als ausreichend definiert wurden. Gebiete in montaner Höhenverbreitung werden unter Szenariobedingungen vermehrt klimatische Verhältnisse aufweisen, wie sie der heutigen Verbreitung der Tieflagenlärche entsprechen. Temperaturverhältnisse, welche die Verbreitung der Hochlagenlärche prägen, werden unter Szenariobedingungen in höheren Lagen, häufig über der heutigen Waldgrenze vorkommen. Dabei könnten sich die Areale der Hochlagenlärche, welche jene charakteristischen mittleren Jahrestemperaturen aufweisen, sehr deutlich dezimieren.

Unter Berücksichtigung, dass Klimaszenarien besonders im Hinblick auf mögliche Niederschlagsentwicklungen von großer Unsicherheit geprägt sind, und auch die Anpassungsfähigkeit der Lärche an veränderte klimatische Verhältnisse nicht gänzlich abgeschätzt werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass sich die Wuchsbedingungen auf Standorten, die heute schon die Grenzen der Lärchenverbreitung anzeigen, verschärfen werden. Dies trifft vor allem in nordöstlichen bis südöstlichen Regionen Österreichs zu, wo Trocken- und Hitzeperioden zu einer höheren Gefährdung durch sekundäre Schaderreger führen könnten. In Gebieten, wo die Standortbedingungen diese Baumart nicht begünstigen, sollte der Lärche in der Baumartenwahl keine dominante Stellung eingeräumt werden. So trifft dies beispielsweise häufig auf südexponierten Standorten zu, die bei Seichtgründigkeit und hohem Verdunstungsanspruch suboptimale Bedingungen für Lärche aufweisen.

In weiten Teilen der submontanen bis tiefmontanen Höhenstufe ergeben sich unter Szenariobedingungen Jahresmitteltemperaturen, die höher sind als im heutigen Verbreitungsgebiet der Lärche. Sofern Niederschläge und Bodengründigkeit eine gute Wasserversorgung auf diesen Standorten gewährleisten, könnte sich die Lärche auch zukünftig als vitale und stabile Baumart bewähren, doch ist dies schwierig abzuschätzen. Aus diesem Grund erscheint es nicht sinnvoll, Lärche bei der Baumartenwahl auszuschließen. Jedoch müssen bei waldbaulichen Entscheidungen erhöhte Risiken durch abiotische und damit einhergehende biotische Gefährdungen berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang ist dabei vermehrt auf standörtliche Gegebenheiten zu achten. Gerade Standorte geringerer Gründigkeit und sonnseitig exponierte Oberhang- und Kuppenlagen werden sich unter höheren Temperaturen vermehrt wasserlimitiert darstellen. Die Rolle von Lärche als ökonomisch wertvolle Mischbaumart wird zukünftig mehr

als heute standortsabhängig sein. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass Baumarten größerer Trockenheitsamplitude (wie unterschiedliche Eichen- und Kiefernarten) auf trockenheitsbedingten Grenzstandorten der Lärche eine wesentliche Alternative darstellen.

Österreichische Wälder sind in erheblichem Maß anthropogen geprägt. Die Artenzusammensetzung und Struktur der Wälder wird auch zukünftig weniger einer natürlichen Entwicklung als vielmehr den Ansprüchen an die Waldfunktionen und somit dem Bewirtschaftungseinfluss unterliegen. Sei es Holzproduktion, Schutzwirkung oder Wohlfahrtswirkung, welche bei der Bewirtschaftung im Vordergrund stehen, immer kommt dabei der Stabilität des Waldes ein wesentlicher Stellenwert zu. Gerade wenn klimatische Veränderungen in ihrer Wirkung auf unterschiedliche Baumarten kaum abzuschätzen sind, kann Stabilität am besten durch Baumartenmischung gewährleistet werden.

Geprägt durch Starkwindereignisse und Insektenkalamitäten zeichnet sich ab, dass der Lärche vor allem eine Funktion als Ersatzbaumart für Fichte zugeschrieben wird. Wird die Lärche aber als Ersatzbaumart für die Fichte bezeichnet, so bezieht sich dies weniger auf die potentielle natürliche Waldgesellschaft, als auf die aktuelle Bestockung, die beispielsweise in natürlichen Fichten-Tannen-Wäldern oder Fichten-Tannen-Buchen-Wäldern meist anthropogen bedingt Fichte als bestandesbildende Baumart aufweist. Werden nach Kalamitäten Wälder der montanen Lagen mit einer hohen Beimischung von Lärche neu begründet, führt dies zu einer Stabilitätssteigerung gegenüber Wind und Buchdrucker. Verändert sich aber das Störungsregime im Klimawandel, könnte dies bedeuten, dass vermehrt Schädigungen anderer Art und mit Relevanz für Lärche gefährdend zur Wirkung kommen könnten.

In sekundären Nadelwäldern, die mittlerweile zu erheblichen Teilen nach oftmals kalamitätsbedingtem Bestandesabtrieb zu Mischbeständen umgewandelt wurden, stellt Lärche momentan eine ökonomisch wertvolle Mischbaumart mit einem relativ geringen Risiko von Schadereignissen dar. Immer wieder wurde in Experteninterviews angesprochen, dass die Lärche in Mischbeständen mit Laubbaumarten eine stabilere Alternative im Vergleich zum Anbau von Fichten-dominierten Wäldern darstellt. Ob die Lärche auf Standorten, die heute schon außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung liegen und sich hinsichtlich der klimatischen Verhältnisse für diese Baumart unter Szenariobedingungen verschärfen, auch noch zukünftig eine stabile Alternative darstellen kann, ist dabei zu hinterfragen. Auch ob sekundäre Fichtenwälder in diesem Zusammenhang als Maß für Stabilität angelegt werden sollen, muss überdacht werden.

Aus heutiger Sicht weist die Lärche verglichen mit Fichte ein deutlich geringeres Risiko hinsichtlich biotischer und abiotischer Schädigungen auf. Aber dies hängt nicht unwesentlich mit den ungleich niedrigeren Flächenanteilen der Lärche in Relation zu Fichte zusammen. Gerade in den letzten Jahren zeigten Lärchen in erheblichem Maß Schädigungen, oftmals primär hervorgerufen durch Früh- und Spätfrostereignisse oder ungünstiger Witterung in der Vegetationsperiode, welche zu einem sekundären Befall durch Insekten und Pilze führten. Muss von steigenden Anteilen der Lärche, auch auf Standorten, die zukünftig nur bedingt die klimatischen Anforderungen der Lärche erfüllen könnten, ausgegangen werden, könnte sich dies erheblich auf Forstschutzproblematiken die Lärche betreffend auswirken.

Ohne heute einschätzen zu können, wie anpassungsfähig sich die Lärche an höhere Temperaturen zeigt, kann sie gerade außerhalb ihrer natürlichen Verbreitung nicht als Hauptbaumart empfohlen werden. Wie unterschiedliche Herkünfte auf hohe Temperaturen und Wasserknappheit reagieren, können Pflanzversuche zeigen. Zur Abschätzung des Wuchsverhaltens und der Gefährdungen von Tieflagenlärche in höheren montanen Lagen sollten Pflanzversuche angelegt werden, um vor allem das Gefahrenpotenzial der Spätfrosteinwirkung ausloten zu können. Dies ist vor allem mit der Situation, dass die heutigen klimatischen Rahmenbedingungen noch nicht den Szenariobedingungen für die Periode 2071 – 2100 entsprechen, zu begründen.

## Literaturverzeichnis

- Alcamo, J., J. M. Moreno, B. Nováky, M. Bindi, R. R. Corobov, R. J. N. Devoy, C. Giannakopoulos, E. Martin, J. E. Olesen & A. Shvidenko. 2007. Europe. Climate Change. In *Impacts, Adaptation und Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, eds. M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, L. P. J. v. d. & C. E. Hanson, 541-580. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Anfodillo, T., S. Rento, V. Carraro, L. Furlanetto, C. Urbinati & M. Carrer (1998) Tree water relations und climatic variations at the alpine timberline: Seasonal changes of sap flux und xylem water potential in *Larix decidua* Miller, *Picea abies* (L.) Karst. und *Pinus cembra* L. *Annales des Sciences Forestieres*, 55, 159-172.
- Auer, C. 1947. *Untersuchungen über die natürliche Verjüngung der Lärche im Arven-Lärchenwald des Oberengadins*. Zürich: Mitt. Schw. Anst. Forstl. Versuchsw.
- Aulitzky, H. & H. Turner. 1982. *Bioklimatische Grundlagen einer standortsgemäßen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes*. Zürich: Eidgenössische Anstalt für das Forstliche Versuchswesen.
- Bachmann, P. (1967) Baumartenwahl und Ertragsfähigkeit. *Schweiz. Zeitschrift f. d. Forstwesen*, 118.
- Belletti, P., S. Lanteri & S. Leonardi (1997) Genetic variability among European Larch (*Larix decidua* Mill.) populations in Piedmont, north-western Italy. 4, 113 - 121.
- Brang, P., H. Bugmann, A. Bürgi, U. Mühlthaler, A. Rigling & R. Schwitter (2008) Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweizer Zeitschrift f. Forstwesen*, 159, 362 - 373.
- Burga, C. A., B. Krüsi, M. Egli, M. Wernli, S. Elsener, M. Ziefle, T. Fischer & C. Mavris (2010) Plant succession und soil development on the foreland of the Morteratsch glacier (Pontresina, Switzerland): Straight forward or chaotic? *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 205, 561-576.
- Burschel, P. & J. Huss. 1997. *Grundriß des Waldbaus*. Berlin: Parey.
- Carrer, M. & C. Urbinati (2006) Long-term change in the sensitivity of tree-ring growth to climate forcing in *Larix decidua*. *New Phytologist*, 170, 861-872.
- Dervishi, V., B. Eberhard, U. Pfeifer & M. Unterkofler. 2011. Wurzelsystem der Lärche auf Pseudogley. *Inst. f. Waldökologie*. Boku. Unveröffentlicht.
- Didier, L. (2001) Invasion patterns of European larch und Swiss stone pine in subalpine pastures in the French Alps. *Forest Ecology und Management*, 145, 67-77.
- Dippel, M. 1988. Wuchsleistung und Konkurrenz von Buchen/Lärchen-Mischbeständen im Südniedersächsischen Bergland. Georg-August-Universität Göttingen.
- Ellenberg, H. 1963. Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in kausaler, dynamischer und historischer Sicht. Stuttgart: Eugen Ulmer.
- . 1982. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen in ökologischer Sicht*. Stuttgart: Ulmer.
- Frank, G. (2009) Naturwaldreservate in Österreich – von persönlichen Initiativen zu einem systematischen Programm. 46, 23 - 32.
- . 2010. Naturwaldreservate in Österreich. Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft.
- Frank, G. & F. Müller (2003) Voluntary approaches in protection of forests in Austria. *Environmental Science & Policy*, 6, 261 - 269.
- Garbarino, M., E. Lingua, T. A. Nagel, D. Godone & R. Motta (2010) Patterns of larch establishment following deglaciation of Ventina glacier, central Italian Alps. *Forest Ecology und Management*, 259, 583-590.
- Geburek, T. (2002) *Larix decidua*. *Enzyklopädie der Holzgewächse*, 29.
- (2006) Klimawandel - Frostliche Maßnahmen aus genetischer Sicht. *BFW-Praxisinformation*, 10, 12 - 14.
- Guericke, M. 2001. *Untersuchungen zur Wuchsdynamik von Mischbeständen aus Buche und Europ. Lärche (Larix decidua, Mill.) als Grundlage für ein abstandsabhängiges Einzelbaumwachstumsmodell*. Göttingen: Cuvillier.
- Havranek, W. & U. Benecke (1978) The influence of soil moisture on water potential, transpiration und photosynthesis of conifer seedlings. *Plant und Soil*, 49, 91-103.

- Hobbie, S. E., P. B. Reich, J. Oleksyn, M. Ogdahl, R. Zytkowski, C. Hale & P. Karolewski (2006) Tree species effects on decomposition und forest floor dynamics in a common garden. *Ecology*, 87, 2288-2297.
- Hochbichler, E. 2008. Buche - Wertschöpfung. 1. Projektzwischenbericht. 69. Institut für Waldbau. Unveröffentlicht.
- Hochbichler, E. & P. Bellos. 2004. Waldbauliches Behandlungskonzept für Jungbestände im nördlichen Alpenvorland (Inventur, Analyse und Pflegekonzept). Studie im Auftrag von: LFD und LLWK Niederösterreich, LFD und LK Oberösterreich.
- Holtmeier, F. K. 1995. European larch in middle Europe with special reference to the Central Alps. In *Ecology und management of Larix forests: a look ahead Proceedings of an International Symposium GTR-INT-319*, eds. W. C. Schmidt & K. J. McDonald, 41 - 49. Ogden, Utah: Intermountain Research Station.
- Jacob, D., H. Göttel, S. Kotlarski, P. Lorenz & K. Sieck. 2008. Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland – Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland. Hamburg: Max-Planck-Institut für Meteorologie (MPI-M).
- Kleine, M. 1984. *Waldbauliche Untersuchungen im Karbonat-Lärchen-Zirbenwald Warscheneck-Totes Gebirge mit Verkarstungsgefahr*. Wien: VWGÖ.
- Kling, H., J. Fürst & H. P. Nachtnebel. 2005. Spatio-temporal water balance Danube – A methodology for the spatially distributed, seasonal water balance of the Danube basin. Final Report. Wien: Austrian Academy of Sciences, HÖ 27/2003.
- Koeck, R., A. Mrkvicka & H. Weidinger. 2001. *Bericht zur Forstlichen Standortskartierung im Revier Weichselboden, Forstverwaltung Wildalpen der Quellenschutzwälder der Stadt Wien*. Wien: MA 49.
- Koeck, R., H. Weidinger, W. Fleck, A. Mrkvicka & W. Holzner. 2002. Spatial distribution und characteristics of natural larch forest communities in the Northeastern Calcareous Alps of Austria. In *Ecological und economical benefits of mountain forests*. Innsbruck, Austria.
- Konnert, M. (2007) Bedeutung der Herkunft beim Klimawandel. *LWF aktuell*, 60.
- Konnert, M., E. Hussendörfer & G. Müller-Starck (2003) Genetische Variation und Differenzierung bei Weißtanne und Lärche. *AFZ-Der Wald*, 17, 864 - 866.
- Kral, F. (1967) Untersuchungen zur Physiologie und Ökologie des Wasserhaushaltes von Lärchenrassen. *Ber. dtsh. bot. Ges.*, 80, 145 - 154.
- Krehan, H. & G. Steyrer (2006) Klimaänderung - Schadorganismen bedrohen unsere Wälder. *BFW - Praxisinformation*, 10, 15 - 17.
- Kölling, C. & L. Zimmermann (2007) Die Anfälligkeit der Wälder Deutschlands gegenüber dem Klimawandel. *Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft*, 67, 259 - 268.
- Leibundgut, H. 1984. *Die natürliche Waldverjüngung*. Bern [u.a.]: Haupt.
- (1992) Die europäische Lärche (*Larix decidua* Mill.) Beiträge zur Unterscheidung ihrer Herkünfte und Verwendung als Gastbaumart. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen*, 143, 91 - 118.
- Lewandowski, A. & J. Burczyk (2000) Mating system und genetic diversity in natural populations of European larch (*Larix decidua*) und stone pine (*Pinus cembra*) located at higher elevations. *Silvae Genetica*, 49, 158-161.
- Litschauer, R. & H. Konrad. 2011. Ohne Pollen kein Saatgut, ohne Saatgut keine Verjüngung. In *Lärche. BFW Praxisinformation*, eds. C. Lackner & T. Geburek, 7 - 8. Wien: BFW.
- Lyr, H., H. J. Fiedler & W. Tranquillini. 1992. *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. Jena [u.a.]: Fischer.
- Lüpke, B. v. (2004) Risikominimierung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: ein Spannungsfeld. *Forstarchiv*, 75, 43 - 50.
- Lüpke, B. V. & E. Röhrig. 1972. Die natürliche Verjüngung der europäischen Lärche - Oekologische Untersuchungen im Staatlichen Forstamt Reinhausen. 1 - 76. Hannover: Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung.
- Mayer, H. 1962. Gesellschaftsanschluss der Lärche und Grundlagen ihrer natürlichen Verbreitung in den Ostalpen. In *Angewandte Pflanzensoziologie*, ed. E. Aichinger, 1-56. Wien: Springer.
- . 1974. *Wälder des Ostalpenraumes*. Stuttgart: Fischer.

- . 1992. *Waldbau auf soziologisch-ökologischer Grundlage*. Stuttgart [u.a.]: Fischer.
- Mayer, H. & E. Ott. 1991. *Gebirgswaldbau - Schutzwaldpflege*. Stuttgart [u.a.]: Fischer.
- Motta, R., M. Morales & P. Nola (2006) Human land-use, forest dynamics and tree growth at the treeline in the Western Italian Alps. *Annals of Forest Science*, 63, 739-747.
- Mucina, L., G. Grabherr & S. Wallnöfer. 1993. *Die Pflanzengesellschaften Österreichs - Teil III Wälder und Gebüsche*. Jena, Stuttgart, New York: G. Fischer.
- Müller-Starck, G. & F. Felber (2010) Genetische Variation in Altbeständen der Lärche und ihrer natürlichen Verbreitung im Alpenraum. *Schweizer Zeitschrift für Forstwesen*, 161, 223 - 230.
- ÖBF. 2004. *Waldbauhandbuch*. Österreichische Bundesforste AG.
- Ott, E., M. Frehner, H.-U. Frey & P. Lüscher. 1997. *Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden*. Bern Stuttgart Wien: Haupt.
- Pallmann, H. & P. Hafner (1933) Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im Oberengadin. *Ber. Schweiz. Bot. Ges.*, 42, 357 - 466.
- Salinger, M. 1972. *Grundlagen für die waldbauliche Behandlung buchenreicher Waldgesellschaften auf Flysch-Standorten*. Wien: Verl. Notring.
- Schober, R. 1949. *Die Lärche*. Hannover: Schaper.
- . 1985. Neue Ergebnisse des II. Internationalen Lärchenprovinienzversuches von 1958/59 nach Aufnahmen von Teilversuchen in 11 europäischen Ländern und den U.S.A., 164. Frankfurt am Main: Sauerländer.
- Slobodník, B. (2002) Pollination success and full seed percentage in European larch (*Larix decidua* MILL.). *Úspešnosť opelenia a percentuálny podiel plných semien pri smrekovci opadavom (Larix decidua MILL.)*, 48, 271-280.
- Slobodník, B. & H. Guttenberger (2005) Zygotic embryogenesis and empty seed formation in European larch (*Larix decidua* Mill.). *Annals of Forest Science*, 62, 129-134.
- Staffler, H. & G. Karrer (2001) Wärmeliebende Wälder im Vinschgau. *Sauterier*, 11, 301 - 358.
- Tomiczek, C., T. L. Cech, A. Fürst, U. Hoyer-Tomiczek, H. Krehan, B. Perny & G. Steyrer. 2011. Forstschutz Aktuell. Forstschutzsituation 2010 in Österreich. Sonderheft Nr. 52. In *Forstschutz Aktuell. Forstschutzsituation 2010 in Österreich*, 3 - 9. Wien: BFW.
- Tomiczek, C. & G. Steyrer. 2011. Aktuelle Forstschutzprobleme der Lärche. In *Lärche. BFW Praxisinformation*, eds. C. Lackner & T. Geburek, 20 - 22. Wien: BFW.
- Tschermak, L. 1935. *Die natürliche Verbreitung der Lärche in den Ostalpen*. Wien: Springer.
- Willner, W. & G. Grabherr. 2007. *Die Wälder und Gebüsche Österreichs. Ein Bestimmungswerk mit Tabellen 1. Textband*. München: Elsevier, Spektrum Akad. Verl.
- Wolfslehner, G. & Hochbichler, E. 2010. Pflanzversuch mit Lärche und Fichte bei Verwendung wurzelnackter Pflanzen und Containerpflanzen in den nördlichen Kalkalpen. 1. Teilbericht. Unveröffentlicht. ÖBf und Institut f. Waldbau.
- Zimmermann, H. 1985. *Die Waldstandorte in Hessen und ihre Bestockung. Waldbaul. Leitlinien und Empfehlung für den öffentlichen Wald*. Frankfurt, M.: Sauerländer.
- Zukrigl, K. 1973. *Montane und subalpine Waldgesellschaften am Alpenostrand*. Wien: Österr. Agrarverlag.
- Zumbrunnen, T., H. Bugmann, M. Conedera & M. Bürgi (2009) Linking Forest Fire Regimes and Climate—A Historical Analysis in a Dry Inner Alpine Valley. *Ecosystems*, 12, 73-86.

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungen

Abb. E- 1: Häufigkeit von Naturwaldreservaten mit Lärche in Vegetationsaufnahmen..	12
Abb. E- 2: Verteilung der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften auf Expositionen der Waldstandorte. Untersuchungsgebiet in den nördlichen Kalkalpen Österreichs (nach Koeck et al., 2002).....	13
Abb. E- 3: Hangneigung der Standorte der Lärchen-Dauerwaldgesellschaften. Untersuchungsgebiet in den nördlichen Kalkalpen Österreichs (nach Koeck et al., 2002).....	14
Abb. E- 4: Vorkommen der Lärche im Österreichischen Naturwaldreservate-Netz in der Baum- und Verjüngungsschicht in Abhängigkeit von Exposition und Seehöhe.....	18
Abb. E- 5: Lage der Vegetationsaufnahmen mit Fichte und Lärche in der Verjüngung und in der Baumschicht im NWR-Netz .....	18
Abb. E- 6: Heutige und zukünftige Bedeutung der Lärche nach Meinung forstlicher Akteure.....	20
Abb. E- 7: Gründe für eine hohe/steigende Bedeutung der Lärche.....	20
Abb. E- 8: Anteile der Lärche in waldbaulichen Zielsetzungen nach Waldgesellschaften .....	22
Abb. E- 9: Waldbauliche Verfahren in unterschiedlichen Waldgesellschaften .....	23
Abb. E- 10: Chancen und Risiken für die Lärchenbewirtschaftung im Klimawandel.....	24
Abb. E- 11: Vorteile der Lärche im Klimawandel gegenüber der Fichte und der Buche	25
Abb. E- 12: Mittlere Höhen (m) und Brusthöhendurchmesser (cm) für die häufigsten Laub- und Nadelbäume auf den Windwurfaufforstungen 1991/92 im nördlichen Alpenvorland nach 12 Jahren .....	29
Abb. E- 13: Astigkeit unterschiedlicher Lärchenherkünfte.....	30
Abb. E- 14: Schaftform unterschiedlicher Lärchenherkünfte .....	31
Abb. E- 15: Wuchsverhalten unterschiedlicher Lärchenherkünfte .....	31
Abb. E- 16: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100 .....	34
Abb. E- 17: Entwicklung der Jahresniederschlagssumme (relativ zu 1961-1990) in Österreich nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100.....	35
Abb. E- 18: Änderung der Jahresmitteltemperatur nach REMO-UBA A1B Szenario.....	35
Abb. E- 19: Änderung des Niederschlags während der Vegetationsperiode nach REMO-UBA A1B Szenario .....	36
Abb. E- 20: Verbreitung der Tieflagenlärche unter derzeitigem Klima (1961 – 1990)....	37
Abb. E- 21: Verbreitung der Tieflagenlärche unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100).....	38
Abb. E- 22: Verbreitung der Hochlagenlärche unter derzeitigem Klima (1961 – 1990) .	39
Abb. E- 23: Verbreitung der Hochlagenlärche unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100).....	39

Abb. E- 24: Jahresniederschlagssummen in Gebieten über 9° C Jahresmitteltemperatur (1961 – 1990)..... 40

Abb. E- 25: Jahresniederschlagssummen in Gebieten über 9° C Jahresmitteltemperatur unter Klimaszenarienbedingungen (2071 – 2100) ..... 40

**Tabellen**

Tab. E- 1: Vegetationsaufnahmen im Naturwaldnetz (Stand Juni 2011)..... 11

Tab. E- 2: Grundflächenanteile (G [%]) und Vorratswertanteile (VW [%]) von Buche, Lärche, sonstige Laubbäume (sLB) und sonstige Nadelbäume (sNB) auf (mittel-) besserwüchsigen Buchenstandorten im Wienerwald (ÖBf AG) in den Altersklassen 4 und 6 (nach Hochbichler, 2008) ..... 29

Tab. E- 3: Klimagrenzwerte für die Verbreitung der Tieflagenlärche..... 36

Tab. E- 4: Klimagrenzwerte für die Verbreitung der Hochlagenlärche ..... 38

