

Klima en détail

Neue, hochaufgelöste Klimakarten bilden wichtige Basis zur klimatischen Regionalisierung Bayerns

Uwe Hera, Thomas Rötzer, Lothar Zimmermann, Christoph Schulz, Harald Maier, Hans Weber und Christian Kölling

Landesweit sind jetzt langjährige Monatswerte der Lufttemperatur und des Niederschlags zur klimatischen Charakterisierung Bayerns und weiteren ökologischen Anwendungen verfügbar. Die Karten haben ein Raster von 50 x 50 Metern als Grundlage. Die Rasterwerte wurden aus Klimazeitreihen von Stationen des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet. Möglich wurde diese Datenbasis durch eine Kooperation der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft mit dem Deutschen Wetterdienst und dem Bayerischen Landesamt für Umwelt, die Umsetzung erfolgte durch die Firma geoKLIM.

Das Klima ist neben dem Boden der entscheidende forstliche Standortsfaktor. Gerade wegen des Klimawandels ist eine möglichst genaue Kenntnis der aktuellen Standortseigenschaften nötig, um die Empfindlichkeit für zukünftige Veränderungen abzuschätzen und Anpassungsschwerpunkte zu definieren.

Ausgangslage

Zur klimatischen Charakterisierung von Waldorten wurde bisher der Bayerische Klimaatlas herangezogen (Enders et al. 1996). Der Klimaatlas bezieht sich auf die Referenzperioden 1951 bis 1980 (Temperatur) bzw. 1961 bis 1990 (Niederschlag) und hat eine räumliche Auflösung von 400 x 400 Metern. Die Werte sind aber relativ weit klassiert, so dass beispielsweise bei der Darstellung der mittleren jährlichen Lufttemperatur 63 Prozent der Landesfläche in der Temperaturklasse 7–8 °C liegen. Die räumliche Auflösung mit einem Raster von 400 x 400 Metern führt auf niedrigeren Maßstabsebenen (über 1:200.000) nur zu einer wenig differenzierten Darstellung der Geländeform und aller daraus abgeleiteten klimatischen Parameter. Auch erschien auf Grund der weiter zurückliegenden Referenzperioden angesichts zweier warmer Dekaden (1981–1990 und 1991–2000) eine neue Referenzperiode (1971–2000) sinnvoll, in der sich der Klimawandel möglicherweise bereits abzeichnet. Nachdem von der Landesvermessungsverwaltung ein flächendeckendes digitales Höhenmodell für Bayern mit einer räumlichen Auflösung von 50 x 50 Metern verfügbar ist, konnte dieses auch für die neuen Klimakarten verwendet werden. Zudem kann bei den neu erstellten Karten auf nicht klassierte (kontinuierliche) Werte zurückgegriffen werden. Das waren durchaus gewichtige Gründe, ein neues, aktuelleres Kartenwerk über die klimatischen Verhältnisse in Bayern zu erstellen.

Mit den hoch aufgelösten Karten wird die Klimainformation als wichtige Eingangsgröße für die Wasserhaushaltsansprache in der forstlichen Standortskartierung im klassischen Verfahren wie auch in einem an der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) entwickelten, objektivierten und modellbasierten Verfahren (Schultze et al. 2005; Falk et al. 2008) deutlich verbessert. Darüber hinaus

stellt diese Klimaregionalisierung eine wichtige Datengrundlage für weitere forstliche Fragestellungen dar, wie sie zum Beispiel für die Anpassung der Wälder im klimagerechten Waldumbau benötigt werden.

Verwendete Daten und Methoden

Für die Erstellung der Monatskarten der Lufttemperatur und des Niederschlags über den Zeitraum von 1971 bis 2000 wurden Daten von circa 80 Klimastationen und 570 Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet, die möglichst wenig Datenausfälle aufwiesen. Die Einflüsse geographischer Gegebenheiten auf die Klimaelemente Niederschlag und Temperatur wurden über die Geofaktoren Höhenlage, geographische Länge und Breite sowie Luv-/Lee-, Landnutzungs- und Kaltluftindizes in einem multiplen Regressionsansatz und einer anschließenden Interpolation der Residuen aus der Regressionsgleichung berücksichtigt. Grundlage für die Berechnung der Geofaktoren Höhenlage, Luv-/Lee-Indizes und Kaltluftindizes war das von der Bayerischen Vermessungsverwaltung herausgegebene Höhenmodell (Auflösung 50 x 50 Meter). Für den Geofaktor »Bebauungsindex« wurde der Corine Land Cover 2000-Datensatz des Umweltbundesamtes bzw. des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt verwendet.

Die Höhe über Normalnull beeinflusst die Lufttemperatur und den Niederschlag sehr stark. Die geographische Länge stellt – ebenso wie die geographische Breite – ein abgeleitetes Maß der hygrischen wie thermischen Maritimität bzw. Kontinentalität eines Standortes dar, das – ähnlich wie die Höhe – die Lufttemperatur bzw. den Niederschlag beeinflussen kann. Auch die Landnutzung übt einen modifizierenden Einfluss besonders auf die Lufttemperatur aus. So wirken Wälder abkühlend, Städte hingegen erwärmend auf ihre Umgebung. Geschlossene Hohlformen stellen klimatologisch wirksame Kaltluftbecken dar, in der die darin liegende Luft durch langwellige Ausstrahlung vor allem in der Nacht mehr Wärme verliert, als ihr durch die atmosphärische Gegenstrahlung zugeführt wird. Insgesamt resultiert daraus eine negative Strahlungsbilanz, die vor allem bei windschwachen, stabilen

Wetterlagen zu einer Temperaturabnahme innerhalb des Kaltluftbeckens im Vergleich zum morphologisch unbeeinflussten Gelände führt. Um die klimatologisch wirksamen Strukturen in einem Kaltluftbecken herauszuarbeiten, wurden für jeden Rasterpunkt in sechzehn Hauptrichtungen Kreissegmente aufgespannt, innerhalb derer die jeweiligen Höhenmaxima bzw. -minima bestimmt wurden. Daraus konnte ein Kaltluftindex für jeden Rasterpunkt berechnet werden. In Abhängigkeit des Suchradius wurde ein klein- und ein großräumiger Kaltluftindex abgeleitet.

Für die Regionalisierung des Niederschlags können Luv-/Lee-Indizes entscheidend sein. Die acht groß- und acht kleinräumigen Luv-/Lee-Indizes wurden ähnlich wie die Kaltluftindizes gebildet, nur orientierten sie sich an den in Mitteleuropa vorherrschenden Hauptwindrichtungen. Die Luv-/Lee-Indizes sollen einerseits eine Vergleichbarkeit der in die multiplen Regressionsgleichungen eingegangenen Indizes mit den Großwetterlagen Mitteleuropas ermöglichen. Andererseits kann damit auch sicher gestellt werden, dass monatliche Zirkulationsschwankungen der Atmosphäre und die daraus resultierenden Hauptanströmrichtungen, die feuchte, Niederschlag bringende Luftmassen beinhalten, berücksichtigt werden.

Über statistische Tests (t-Test, ANOVA) wurde geprüft, welche Geofaktoren bei den Monatswerten statistisch signifikant und inhaltlich relevant waren. Die Residuen wurden mittels der geostatistischen Methode des Krigings interpoliert.

Karten

Hier beispielhaft dargestellt ist die Synthese aus allen zwölf Monatskarten der Lufttemperatur und des Niederschlags: *die mittlere Jahressumme des Niederschlags* und *die Jahresmitteltemperatur*. Die einzelnen Monatskarten können von einer Webseite des Bayerischen Landesamtes für Umwelt <http://www.lfu.bayern.de/wasser/klimakarten/index.htm> oder unter <http://www.dwd.de> -> *spezielle Nutzer* -> *Landwirtschaft* -> *Service und Beratung* -> *Klimakarten Bayern* betrachtet und heruntergeladen werden. Gleichzeitig finden sich dort auch Hinweise zur Beschaffung der Rasterdatensätze beim DWD für weiterführende GIS-Auswertungen.

Für die Temperaturkarten waren bei den multiplen Regressionsanalysen neben der Geländehöhe die geographische Breite und Länge sowie zwei Bebauungsindizes und der groß- und kleinräumige Kaltluftindex, je nach Monat unterschiedlich, statistisch signifikant. Die Bestimmtheitsmaße lagen in den Monaten der Vegetationsperiode über 95 Prozent, in den übrigen Monaten über 79 Prozent. Die erzeugten räumlichen Muster waren aus der klimatologischen Kenntnis Bayerns her plausibel. Bei den monatlichen Niederschlagskarten lagen die multiplen Bestimmtheitsmaße des zweistufigen Verfahrens in der 1. Stufe (kleinräumige Luv-/Lee-Indizes) zwischen 59 bis 96 Prozent, in der 2. Stufe (großräumige Luv-/Lee-Indizes) zwischen 25 bis 40 Prozent. Die erzeugten räumlichen Muster wurden ebenfalls als plausibel beurteilt.

Bei der Jahresmitteltemperatur ist der Einfluss der Höhenlage deutlich zu erkennen, der in den Hochlagen zu Jahresmitteltemperaturen von bis zu $-4,1^{\circ}\text{C}$ führt (Abbildung 1). In weiten Teilen Bayerns liegt die Jahresmitteltemperatur bei circa $7,5^{\circ}\text{C}$ bis $9,0^{\circ}\text{C}$. Auch dicht besiedelte Regionen wie etwa die Großstädte München und Nürnberg treten deutlich hervor. Die höchsten Jahresmitteltemperaturen werden im Nordwesten Bayerns mit bis zu $10,0^{\circ}\text{C}$ erreicht.

Trockenheit im November

Was bedeutet eigentlich der lange trockene Herbst für den Wald? Fragen dieser Art wurden Ende November vermehrt an die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft gerichtet. Immerhin hat es seit dem 22. Oktober bis zum 30. November in Bayern so gut wie keinen Niederschlag gegeben und der Deutsche Wetterdienst spricht bereits davon, dass der November 2011 wahrscheinlich der trockenste November seit Beginn der Wetteraufzeichnungen sein wird. An der Waldklimastation Freising fielen im November nur ein Liter pro Quadratmeter, wo es im Durchschnitt 58 Liter sind. Ursache ist eine sogenannte Omega-Wetterlage. Dabei wird ein Hoch von zwei flankierenden Tiefs, eines über Westeuropa und Nordostatlantik und eines über Südosteuropa, regelrecht eingeklemt. Aus dem Weltall betrachtet dreht sich das zentrale Hoch im Uhrzeigersinn, die Tiefdruckgebiete an beiden Seiten rotieren dagegen in umgekehrter Richtung. So wird aus dem Mittelmeerraum warme Luft nach Deutschland gepumpt. Diese sehr stabile atmosphärische Struktur hat die Form des griechischen Buchstabens Omega und kann über mehrere Wochen andauern. So auch geschehen im Hitzesommer 2003, im Fußball-Sommer 2006 oder bei den Rekord-Aprils 2007 und 2009.

Besonders trocken waren die nebelfreien Hochlagen des Bayerischen Waldes und die Alpen, da dort die Strahlung ungehindert auf die Erdoberfläche gelangen konnte und die Verdunstung antrieb. In den Alpen wurde dieser Effekt noch durch den warm-trockenen Föhnwind verstärkt. Während in den Niederungen die Nadelbäume aus dem dichten Nebel Feuchtigkeit auskämmen konnte, der als leichter Nieselregen sogar zu messbaren Niederschlägen führte, gab es im Bergland seit Mitte Oktober kaum Nebeltage und die Verdunstung war um das Drei- bis Vierfache höher als im Tiefland (s. Abbildung 2, S. 32 in diesem Heft). Die Böden sowie die Bodenvegetation trockneten ungewöhnlich stark aus und es herrschte eine deutlich erhöhte Waldbrandgefahr. Am 20. November brannten dann tatsächlich an der südexponierten Flanke des Falkenbergs am Sylvenstein-Stausee in den bayerischen Voralpen über mehrere Tage 14 Hektar Schutzwald.

Lothar Zimmermann und Stephan Raspe

Omega (Ω) - Wetterlage



Jahresdurchschnittstemperatur

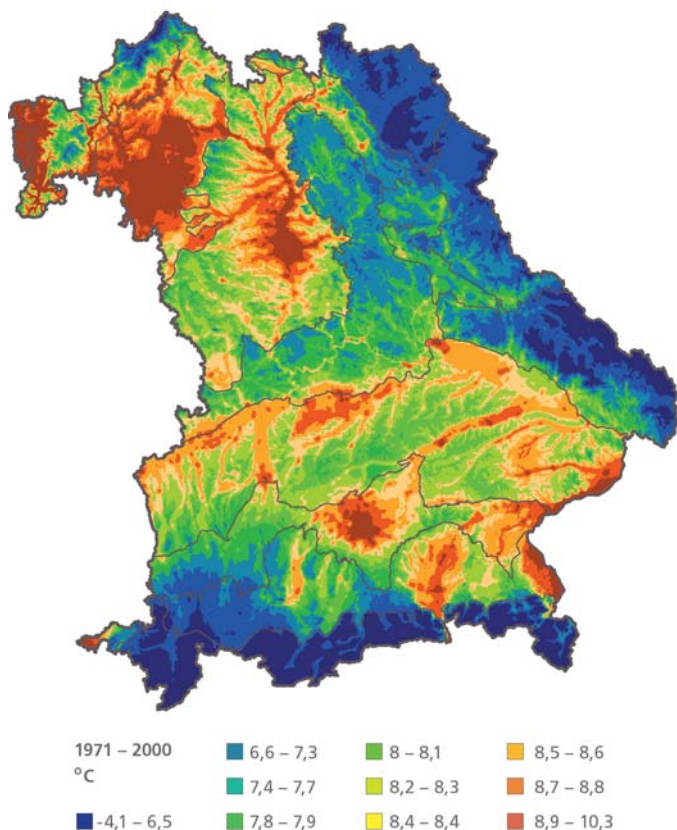


Abbildung 1: Mittlere Jahreslufttemperatur 1971–2000; die Gesamtfläche Bayerns ist in zehn Temperaturklassen gleicher Flächengröße eingeteilt, mit Wuchsgebietsgrenzen.

Jahresniederschlagssumme

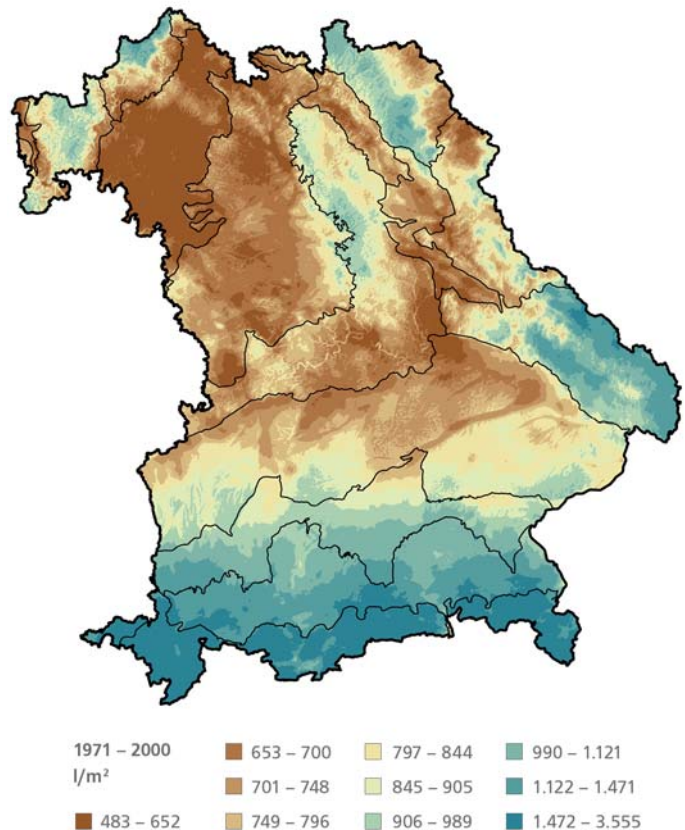


Abbildung 2: Mittlere Jahresniederschlagssumme 1971–2000; die Gesamtfläche Bayerns ist in zehn Niederschlagsklassen gleicher Flächengröße eingeteilt, mit Wuchsgebietsgrenzen.

Sehr gut zu erkennen sind die zunehmenden Niederschläge bis 1.500 Liter pro Quadratmeter (l/m²) im Voralpenraum (Abbildung 2). Mit dem weiteren Höhenanstieg nehmen die Niederschläge nochmals deutlich bis auf Werte über 3.000 l/m² zu. Hohe Niederschläge mit zum Teil über 1.000 l/m² sind auch in den Hochlagen der Rhön, des Fichtelgebirges und des Bayerischen Waldes zu erkennen. Die geringsten Niederschlagssummen erhalten nordwestbayerische Regionen, insbesondere das Schweinfurter Becken, wo weniger als 600 l/m² fallen. Gut zu erkennen sind auch zahlreiche Luv- und Lee-lagen, in denen Niederschlagsänderungen von bis zu 100 l/m² auftreten. Beispiele sind die Leelage im Bereich der Schwäbisch-Fränkischen Alb oder die Staulage vor dem Alpenanstieg.

Anwendungsgrenzen

Bei der Verwendung der Karten ist folgendes zu berücksichtigen: Die Klimakarten geben regionalisierte, langjährige klimatische Mittelwerte wieder. Für die Regionalisierung wurden Regressionsmodelle verwendet, um die Stationsdaten in die Fläche zu interpolieren. Wie bei jeder Form der Interpolation birgt dies eine gewisse Unschärfe in sich. Auch wenn die Auf-

lösung des digitalen Höhenmodells (50 x 50 Meter) sehr hoch ist, beschreiben alle verwendeten Prädiktoren weitestgehend makroklimatische Einflüsse. Natürliche kleinräumige Einflüsse wie etwa die Geländeneigung, die nähere Umgebung (Einfluss größerer Wasserkörper, Bewuchs, Bodenart etc.) werden nicht berücksichtigt. Hier müsste beispielsweise für die Temperatur der Energiehaushalt des Standorts mit seinen Komponenten betrachtet werden, was sich derzeit nur für kleine Ausschnitte und kurze Zeiträume verwirklichen lässt. Die Verteilung der Landnutzung kann sich zudem im 30jährigen Betrachtungszeitraum und danach beispielsweise durch Zunahme der Siedlungsfläche oder andere Landnutzungsänderungen verändert haben. So nahm zum Beispiel die Waldfläche Bayerns in den zurückliegenden 30 Jahren um 16.000 Hektar zu, was der doppelten Größe des Chiemsees entspricht.

Für die Interpretation der Niederschlagskarten ist zu berücksichtigen, dass zum einen die räumliche Dichte der Messstationen teilweise (vor allem im stark gegliederten Gelände) zu gering ist, um die orographisch bedingten kleinräumigen Unterschiede in der Niederschlagshöhe widerspiegeln zu können und zum anderen nicht alle an der Niederschlagshöhe beteiligten Effekte in die Modelle einfließen konnten. Dies gilt insbesondere für die Alpenregion. Bei der Verwendung des Niederschlags ist zudem zu beachten, dass es sich um Aus-

gangswerte handelt, die nicht um den systematischen Messfehler korrigiert worden sind. Somit sind diese nur bedingt für Wasserhaushaltsuntersuchungen geeignet.

Generell gilt, dass der Wert eines Pixels immer dem Wert entspricht, der anhand der verwendeten Prädiktoren berechnet worden ist. Vor diesem Hintergrund ergeben sich für die Verwendung der Daten gewisse Einschränkungen. So ist besonders bei kleinräumigen Fragestellungen eine gewichtete, aggregierende Datenextraktion einer isolierten, pixelgenauen Betrachtung vorzuziehen, um standörtliche Informationen abzuleiten.

Trotz der genannten Einschränkungen stellen die Karten eine wichtige Grundlage zur klimatischen Regionalisierung Bayerns dar. Unmittelbar flossen sie bereits in die Klima-Risikokarten der Bayerischen Forstverwaltung (Kölling et al. 2009 a, b) sowie wesentlich in die Projekte des bayerischen Klimaforschungsprogramm 2020 »Karten für die Zukunft« sowie »Bäume für die Zukunft« ein, die auf ein forstliches Standortinformationssystem abzielen. Die beiden Karten sind auf der LWF-Webseite als Grafikdateien zum Zoomen verfügbar.

Literatur

Falk, W.; Dietz, E.; Grünert, S.; Schultze, B.; Kölling C. (2008): *Wo hat die Fichte genügend Wasser? Neue überregional gültige Karten des Wasserhaushalts von Fichtenbeständen verbessern die Anbauentscheidung*. LWF aktuell 66, S. 21–25

Enders, G. et al. (Hrsg.) (1996): *Klimaatlas von Bayern / Bayerischer Klimaforschungsverbund, BayFORKLIM*. München, 48 S.

Kölling, C.; Bachmann, M.; Falk, W.; Grünert, S.; Schaller, R.; Tretter, S.; Wilhelm, G. (2009 a): *Klima-Risikokarten für heute und morgen. Der klimagerechte Waldumbau bekommt vorläufige Planungsunterlagen*. AFZ-Der Wald 64, S. 806–810

Kölling, C.; Dietz, E.; Falk, W.; Mellert, K.-H. (2009 b): *Provisorische Klima-Risikokarten als Planungshilfe für den klimagerechten Waldumbau in Bayern*. Forst und Holz 64 (7/8), S. 40–47

Schultze, B.; Kölling, C.; Dittmar, C.; Rötzer, T.; Elling, W. (2005): *Konzept für ein neues quantitatives Verfahren zur Kennzeichnung des Wasserhaushalts von Waldböden in Bayern: Modellierung – Regression – Regionalisierung*. Forstarchiv 76, S. 155–163

Dr. Uwe Hera: geoKLIM consulting – Gesellschaft für Umwelt- und Klimaberatung, info@geoklim.com

Dr. Christian Kölling, Christoph Schulz, Dr. Lothar Zimmermann: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Dr. Thomas Rötzer: TU München, Lehrstuhl für Waldwachstumskunde

Hans Weber: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Dr. Harald Maier: Deutscher Wetterdienst, Abteilung Agrarmeteorologie

Korrespondierender Autor: Dr. Lothar Zimmermann, Lothar.Zimmermann@lwf.bayern.de

Die Finanzierung erfolgte zum Teil aus den Mitteln des Projekts KLIP 6 »Klimatische Flächendaten« sowie des Vorläuferprojektes ST 192 »Hochaufgelöste Klimakarten«.

Die Europäische Lärche – Baum des Jahres 2012



Foto: Mostpatiently, wikipedia

Es gibt zehn Lärchenarten auf der Erde. In Mitteleuropa ist aber nur die Europäische Lärche (*Larix decidua*) heimisch. Ihre Haupt-eigenschaften wie Lichtbedürftigkeit, Leichtsamigkeit und Winterfrosthärte erleichterten ihr die Besiedlung höherer Lagen. Krummholz und Lärchen-Zirbenwald sind in der potentiellen natürlichen Vegetation Deutschlands fast ausschließlich auf die Alpen begrenzt. Alle beteiligten Gehölze wachsen in den Zentralalpen auch heute noch in der Nähe von Gletschern. Extrem frosthart, konnten sie die Eiszeiten im Umfeld der Hochgebirge überdauern und waren daher am Ende der Eiszeit von Beginn an präsent. Da maximale Widerstandskraft gleichzeitig Konkurrenzschwäche bedeutet, wurden die Pioniere von später nachwandernden, schattenfesteren Gehölzen weit ins Hochgebirge auf unterschiedliche Extremstandorte zurückgedrängt. In den Zentralalpen bildet die Lärche heute oft die Baumgrenze.

Ihr heutiges Verbreitungsgebiet liegt im Wesentlichen in den Alpen, aber auch in den Sudeten, zwischen Weichsel und Oder und der Tatra. Dementsprechend werden auch vier Unterarten unterschieden: Alpenlärche, Sudetenlärche, Karpatenlärche und Polenlärche. Allerdings wird die Lärche seit dem 16. Jahrhundert in ganz Deutschland und weit darüber hinaus forstlich angebaut.

Die Lärche ist der einzige einheimische Nadelbaum, der im Winter die Nadeln abwirft. Die Nadeln wachsen aus den Kurztrieben als Büschel mit bis zu 50 Nadeln, an den Langtrieben stehen sie einzeln. Die Lärche weist eine sehr große ökologische Toleranz auf. Ihre Verbreitungsgrenzen liegen zwischen einer Jahresdurchschnittstemperatur von -1 bis $+14$ °C, einem mittleren Jahresniederschlag von 450 bis 2.500 mm/m² und einer durchschnittlichen Dauer der Vegetationszeit von 50 bis 230 Tagen. Sie ist eine Baumart des kontinental geprägten Klimas. Als Lichtbaumart verträgt die Lärche keinen Schatten. In ihrem natürlichen Verbreitungsgebiet ist sie ein Besiedler von Freiflächen, wie sie durch Lawinen, Erdbeben, Waldbrand oder Weidenutzung entstehen. In Hochlagen wird die Lärche bis 600 Jahre alt, zwischen 40 und bis zu 54 Meter hoch und bis zwei Meter dick.

red, Quelle: www.sdw.de

Infos unter: www.baum-des-jahres.de und www.sdw.de