

A.3 Klima

von Markus Erhard und Barbara Wolff

A.3.1 Einleitung

Wachstum und Verbreitung der Baumarten in Mitteleuropa werden außer durch Bodeneigenschaften und Bewirtschaftungsmaßnahmen in hohem Maße durch das Klima, d.h. die Gesamtheit der Witterungserscheinungen in der Atmosphäre über einen größeren Zeitraum, beeinflusst. Die klimatischen Verhältnisse eines Ortes bestimmen im Einzelnen astronomische Faktoren wie Tageslänge, Strahlung, Einstrahlungswinkel sowie die geographische Lage, die Höhe über dem Meeresspiegel und die Entfernung zu Ozeanen und dauerhaft vereisten Gebieten. In unseren Breiten dominieren Westwinde, die Entfernung zu Nord- und Ostsee, die Lage der Mittelgebirge und der sich von Westen nach Osten erstreckende Gebirgszug der Alpen wesentlich das Klimageschehen.

Beschrieben werden die klimatischen Bedingungen durch eine Mittelung meteorologischer Größen, die durch Messen, Schätzen und Beobachten erfasst werden. Für vegetationsbezogene Analysen werden häufig zusammengesetzte Größen oder Indizes, meist auf der Basis von monatlichen Mittelwerten der Temperatur und des Niederschlages berechnet. Über bekannte Wechselbeziehungen können auch Rückschlüsse auf weitere wichtige Größen wie relative Luftfeuchte, Nebelhäufigkeit oder Einstrahlung gezogen werden, für die deutlich weniger Beobachtungswerte zur Verfügung stehen. Viele dieser Größen unterliegen sowohl räumlich, als auch zeitlich sehr starken Schwankungen, so dass die meist auf monatliche Mittel aggregierten klimatischen Daten nur bedingt aussagekräftig sind. Zu den zeitlich sehr stark variierenden Werten zählen neben der relativen Luftfeuchte auch Windstärke und Windrichtung. Neben den Jahres- bzw. Vegetationszeitmittelwerten und jahreszeitlichen Schwankungen spielen auch das Auftreten und die Häufigkeit von Extremereignissen wie Stürme, Trockenperioden oder Spätfröste eine wichtige Rolle für Wachstum und Struktur der Wälder.

Flächendeckende Klimadaten für längere Zeiträume stehen in Deutschland nur für das sogenannte Freilandklima zur Verfügung. Sie beruhen auf Messungen, die nach den internationalen Standards der World Meteorological Organisation (WMO) durchgeführt werden. Für die Charakterisierung der klimatischen Verhältnisse Deutschlands wurden die Daten der klimatischen Normalperiode 1961-1990 herangezogen. Überdies wurden Bodendaten der bundesweiten Bodenzustandserhebung Wald (BZE) genutzt (Wolff u. Riek 1997). Die zur Ableitung der verwendeten Klimaindices eingesetzten Verfahren sind in Wolff et al. (2003) beschrieben.

Die gegenüber der 1. Ausgabe der „Forstlichen Wuchsgebiete“ vorgenommene Aktualisierung der klimatischen Charakterisierung erlaubt außerdem Rückschlüsse über gegenwärtige Trends im Klimageschehen und Auswirkungen eines möglichen Klimawandels für die Waldvegetation (Kapitel A.5).

A.3.2 Die klimatischen Bedingungen in Deutschland

Deutschland liegt in der Zone des gemäßigten Klimas der mittleren Breiten, im Übergang von maritimem zu kontinentalem Klima. Die klimatischen Verhältnisse werden dabei durch die Nord- und Ostsee im Norden, die geographische Breite, welche die Stärke der solaren Einstrahlung bedingt und die von Norden nach Süden im Mittel zunehmende Höhe über dem Meeresspiegel bestimmt. Weitere regionale Differenzierungen ergeben sich durch die Lage und Höhe der Gebirgszüge. Diese wirken sich durch Luv- und Lee-Effekte auf die

Niederschlagsverhältnisse der Umgebung aus.

Die klimatischen Bedingungen in den höheren Lagen weisen eine Reihe von Besonderheiten auf, die im Wesentlichen durch das Auftreten größerer Schwankungen gekennzeichnet sind. Dazu gehören unter anderem eine höhere Ein- und nächtliche Abstrahlung, in Folge davon größere Temperaturunterschiede zwischen Tag und Nacht sowie höhere Schneemengen, Windgeschwindigkeiten und Nebelhäufigkeiten und eine aufgrund der niedrigeren Durchschnittstemperaturen und geringeren Anzahl von Tagen mit einer Durchschnittstemperatur $>10^{\circ}\text{C}$ kürzere Vegetationszeit.

Dem stehen klimatisch besonders begünstigte Gebiete wie zum Beispiel das Oberrheintal und die Kölner Bucht (WGb 43, 46, 65) gegenüber, die sich durch besonders milde Winter und warme Sommer auszeichnen. Dazu zählen auch Gebiete mit kleinerer räumlicher Ausdehnung wie das obere Elbe- und Saalegebiet (WGb 19, 21) oder die Weinbaugebiete an der Mosel oder Saar (WGb 67).

Topographische Gegebenheiten können auch zu lokalen Besonderheiten in den klimatischen Bedingungen führen. Als Beispiele seien hier Kaltluftseen in Kessellagen oder sogenannte Föngassen in Tälern der Alpen und des Alpenvorlandes genannt.

A.3.2.1 Temperaturverhältnisse

Der größte Teil der Fläche der Bundesrepublik Deutschland weist jährliche Durchschnittstemperaturen zwischen 7 und 9°C auf (Abbildung 3). Der zu erwartende Trend einer Zunahme der Jahresmitteltemperatur von Norden nach Süden durch die Zunahme der solaren Einstrahlung wird dadurch kompensiert, dass nach Süden hin die mittlere Höhe über dem Meeresspiegel zunimmt. Die Mitteltemperaturen im Süden entsprechen daher annähernd denen im küstennahen Bereich der norddeutschen Tiefebene.

Wärmebegünstigt sind vor allem die Kölner Bucht und der Oberrheingraben (WGb 43, 46, 65), in denen Mitteltemperaturen von 9° – 11°C erreicht werden. Deutlich geringer sind die Werte in den Mittelgebirgen, wie dem Harz (WGb 36), dem Rheinischen Schiefergebirge (WGb 40, 41, 44, 45, 47, 66), dem Schwarzwald (WGb 73), in den Schichtstufenlandschaften der Schwäbisch / Fränkischen Alp (WGb 60, 76), dem Bayerischen und Thüringer Wald (WGb 53, 79), im Erz- und Fichtelgebirge (WGb 56, 57) sowie im Voralpenraum (WGb 81), wo mit zunehmender Höhenlage die Jahresmitteltemperaturen vielerorts auch deutlich unter 5°C absinken.

Die Temperaturen während der Vegetationszeit (Abbildung 4) weisen ähnliche räumliche Muster wie die Jahresmitteltemperatur auf. Durch vergleichsweise hohe Vegetationszeitmitteltemperaturen sind das obere Rheintal (WGb 65) sowie die meeresferneren Gebiete Mittelbrandenburgs (z.B. WGb 24) und der Niederlausitz (WGb 25) charakterisiert.

Unterschiede im Jahresgang der Temperaturen werden bei einem Vergleich der mittleren Werte der Monate Januar (Abbildung 5) und Juli (Abbildung 6) mit dem Jahresmittelwert deutlich. Im Januar sind die klimatischen Bedingungen eindeutig von der Entfernung zum Meer geprägt, dessen hohe Wärmespeicherkapazität die Jahresamplituden der Temperaturen stark verringert. Der Einfluss der Ostsee ist aufgrund ihrer geringeren Ausdehnung und der häufigeren Vereisung deutlich schwächer ausgeprägt als derjenige der Nordsee, die einen ständigen Zustrom warmen Wassers aus dem Atlantik erfährt (Golfstrom). Demnach ist ein deutlicher West-Ost Gradient abnehmender Temperaturen zu erkennen. Im Sommer sind hingegen, neben den bereits genannten Gebieten des Oberrheingraben und der

Kölner Bucht (WGb 43, 46, 65), der meerfernere Teil des Ostdeutschen Tieflandes (WGb 9-11, 22-25 in Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Nordsachsen) wärmebegünstigt.

In der Summe führt dies zu einem West-Ost-Gradienten zunehmender Temperaturamplituden durch einen abnehmenden maritimen Einfluss zugunsten einer steigenden Kontinentalität (Abbildung 7). Die im Verhältnis zu den Unterschieden im Winter niedrigeren Sommertemperaturen in Teilen der Alpen (WGb 82) und im Erzgebirge (WGb 56), bewirken eine teilweise etwas geringere Jahresamplitude, ohne dass dies günstigere Klimabedingungen bedeuten würde.

Trotz der sich überlagernden Effekte korrespondiert letztendlich die Länge der Vegetationszeit (Abbildung 8) sehr gut mit der Jahresmitteltemperatur (Abbildung 3). Sie zeigt eine klare Abhängigkeit von der Höhenlage. In der norddeutschen Tiefebene bewirkt der dämpfende Einfluss der Ozeane in Kombination mit der zunehmenden geographischen Breite eine Verkürzung der Vegetationszeit nach Norden hin.

A.3.2.3 Niederschlagsverhältnisse

Deutschland liegt im Bereich der Zone mit vorherrschend westlichen bis südwestlichen Winden, die feuchte Luft von den Ozeanen heranbringen. Mit größerer Entfernung zum Meer nimmt die Bedeutung der frontgebundenen, advektiven, überwiegend im Winter fallenden Niederschläge ab (sogenannte Aufgleitregen) und die der konvektiven Sommerniederschläge, die sich gewöhnlich durch hohe Ergiebigkeit bei nur geringer zeitlicher und räumlicher Ausdehnung auszeichnen, zu. Gleichzeitig nimmt die Gesamtsumme der Niederschläge mit zunehmendem kontinentalen Einfluss insgesamt ab.

Die Niederschläge weisen im Allgemeinen eine deutlich höhere zeitliche und räumliche Variabilität auf als die Temperaturen. So können einerseits die Regenmengen einzelner Monate und Jahre bezüglich des langjährigen Mittelwertes sehr stark schwanken, andererseits wirken sich selbst relativ kleine Erhebungen gerade in den Ebenen deutlich auf die Niederschlagsverteilung aus, so dass auch das räumliche Muster stark variiert. Haben die frontgebundenen Niederschläge eine Ausdehnung in der Größenordnung von Tausenden Quadratkilometern, so weisen konvektive Regenfälle oft nur eine Ausdehnung von unter hundert Quadratkilometern auf.

Weite Teile Westdeutschlands erhalten Jahresniederschläge von 600–800 mm (Abbildung 9). Die höheren Lagen sind deutlich an den größeren Niederschlagsmengen zu erkennen, wobei die Regenmengen auf über 1000 mm zunehmen. Niederschlagsarme Gebiete sind vornehmlich im Osten Deutschlands vorzufinden. Hier erreichen die durchschnittlichen Niederschlagsmengen meist nur 500–600 mm pro Jahr. Besonders im Windschatten des Harzes und des Thüringer Waldes liegen die Regenmengen teilweise deutlich unter 450 mm (Thüringer Becken – WGb 34 und östliches Harzvorland – WGb 20). Aufgrund geographischer Besonderheiten sind auch im westlichen Teil Deutschlands vereinzelt Gegenden mit geringeren Niederschlägen zu finden, so zum Beispiel im Mainzer Becken (WGb 65, nördlicher Teil) und in den Gebieten östlich der mitteldeutschen Mittelgebirge (z.B. östlich des Rheinischen Schiefergebirges – WGb 40, 41, 44, 45, 47, 66 oder des Spessarts – WGb 63).

Die für die Jahresniederschlagssumme gefundenen Muster spiegeln sich weitestgehend auch in den Niederschlagssummen während der Vegetationszeit wieder (Abbildung 10). In den meisten Gebieten fallen die Hälfte bis zwei Drittel der Jahresniederschläge in diesem Zeitraum (Mai bis September).

Die Klimatische Wasserbilanz (KWB) errechnet sich aus der Differenz von Niederschlag minus potentieller Verdunstung nach Haude (Haude 1955). Sie wurde auf der Grundlage der Daten der Normalperiode 1961–1990 sowohl auf Jahresbasis (Abbildung 11) als auch für die Forstliche Vegetationszeit (Monate Mai–September, Abbildung 12) für Waldböden berechnet und flächenhaft interpoliert. Zur Beurteilung der forstlichen Standortverhältnisse ist die Klimatische Wasser-

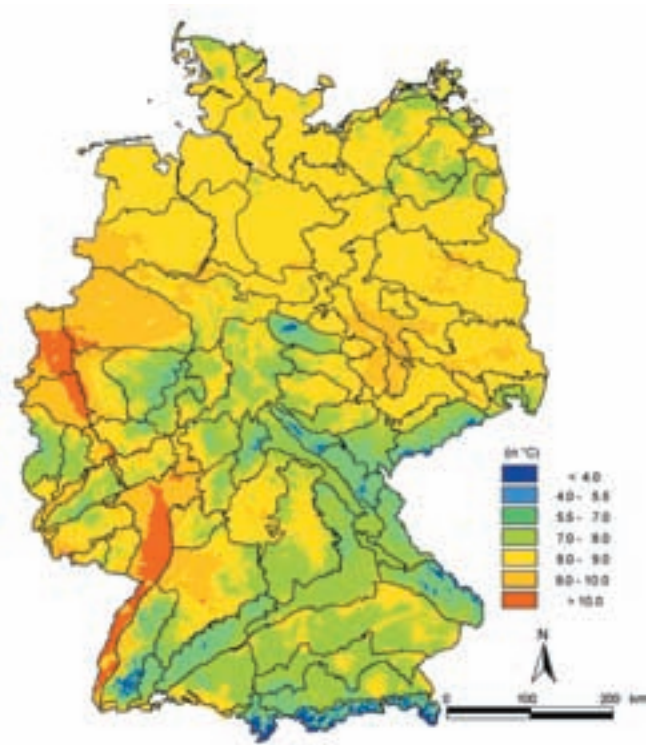


Abbildung 3:
Jahresmitteltemperatur [°C], Normalperiode 1961–1990

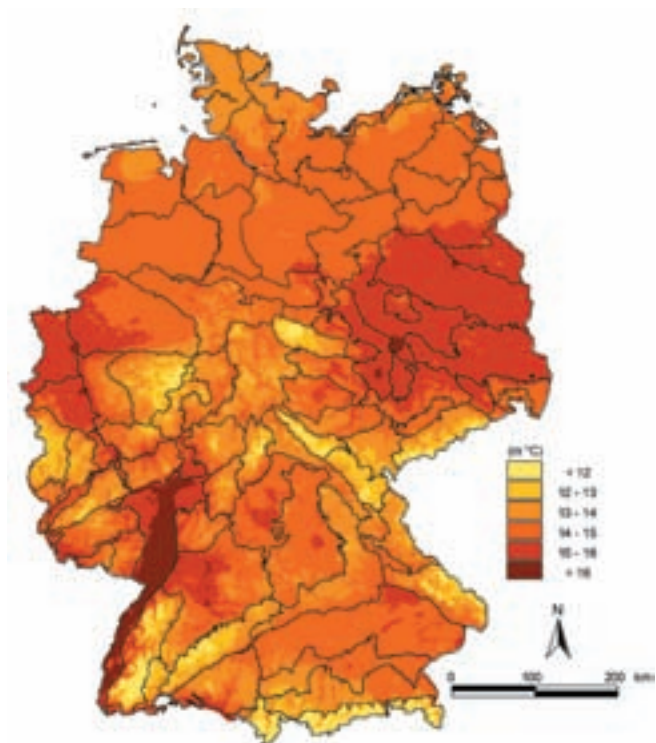


Abbildung 4:
Mitteltemperatur in der Vegetationszeit [°C],
Normalperiode 1961–1990

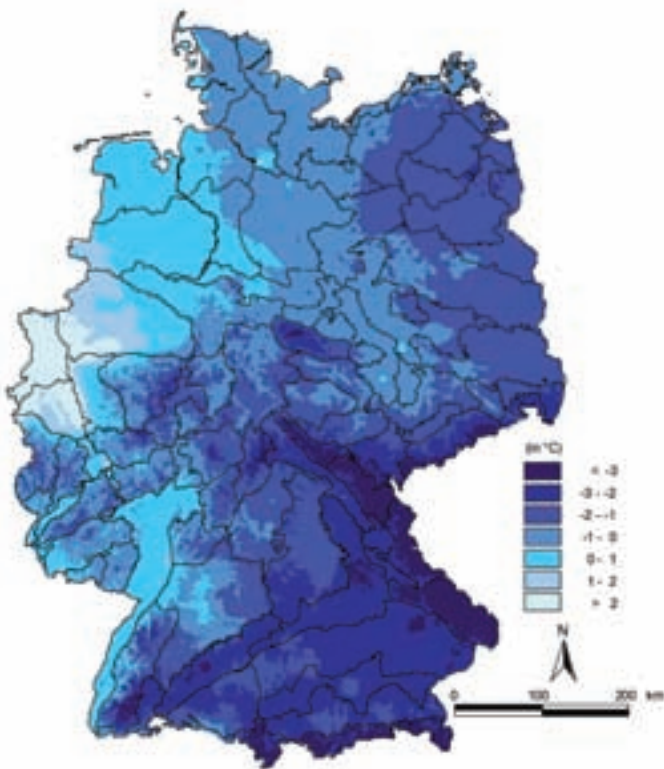


Abbildung 5:
Mittlere Januartemperatur [°C], Normalperiode 1961–1990

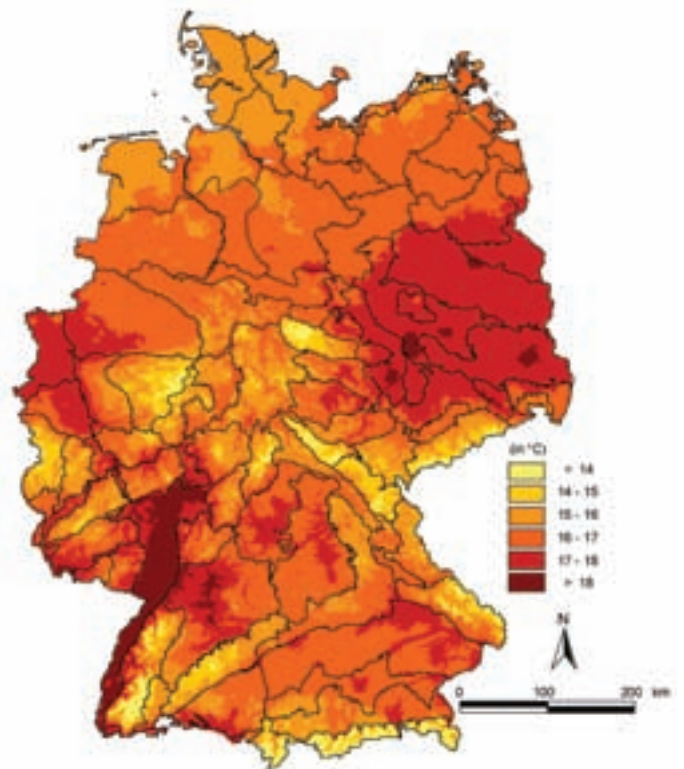


Abbildung 6:
Mittlere Julitemperatur [°C], Normalperiode 1961–1990

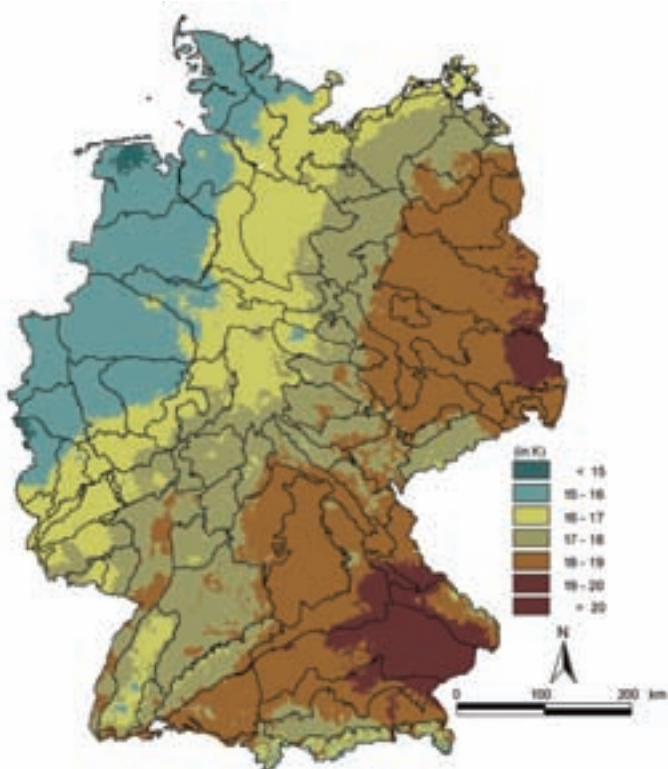


Abbildung 7:
Jahrestemperaturspanne [°K], Normalperiode 1961–1990

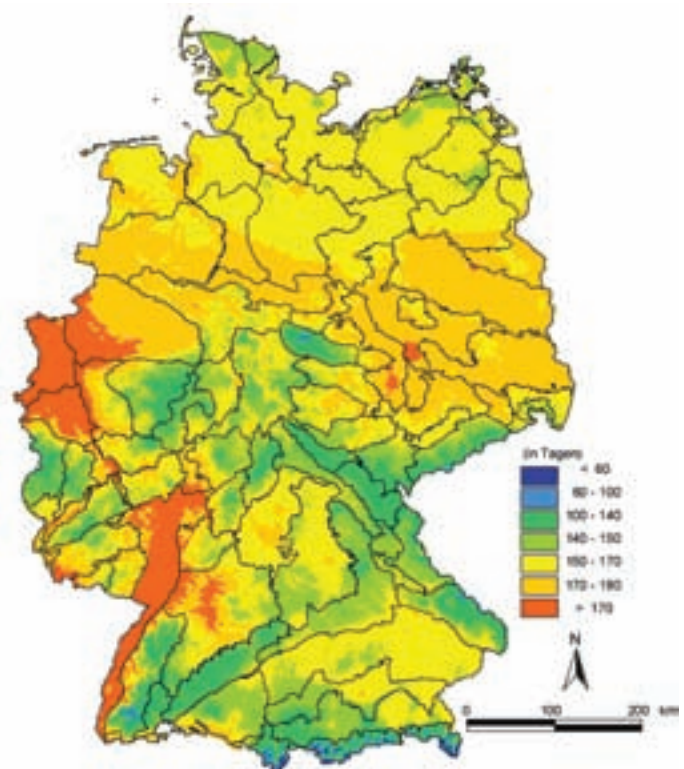


Abbildung 8:
Vegetationszeitlänge [Tage >10°C], Normalperiode 1961–1990

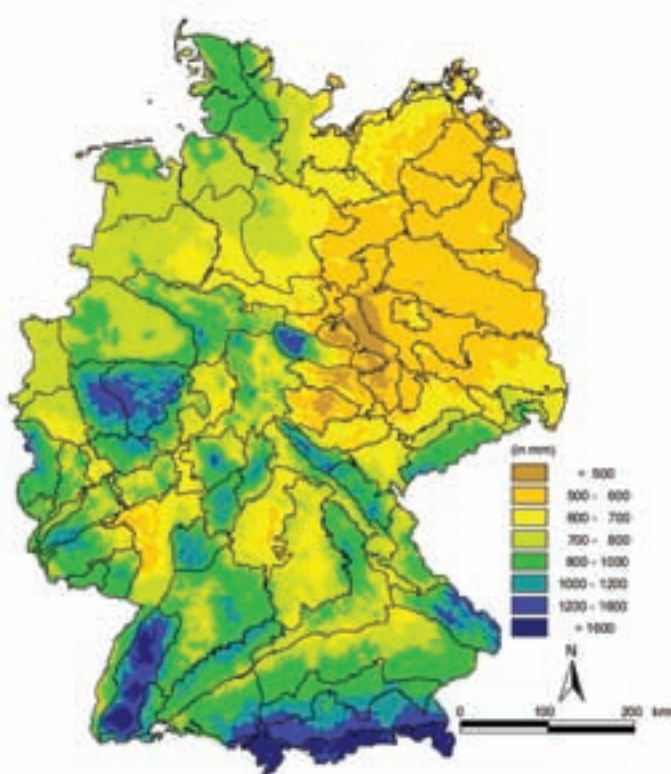


Abbildung 9:
Mittlere Jahresniederschlagssumme [mm],
Normalperiode 1961–1990

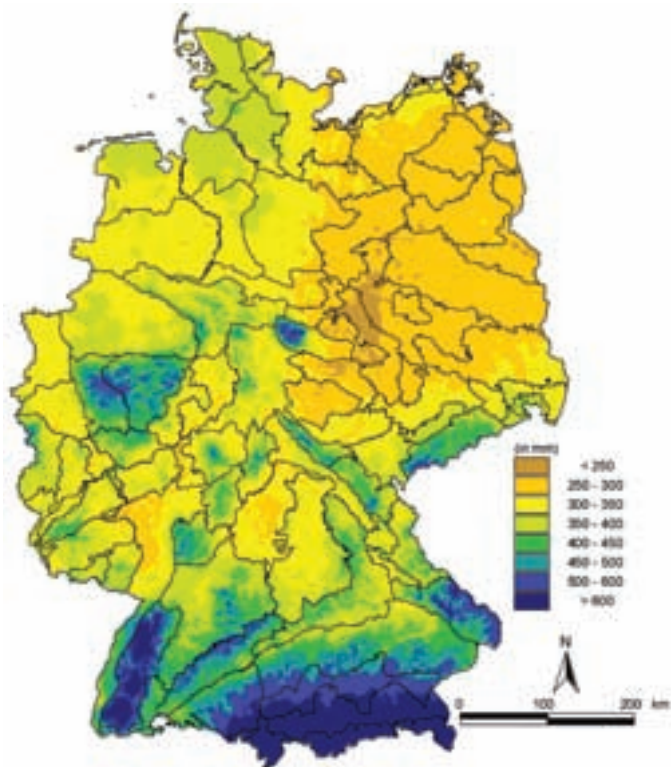


Abbildung 10:
Mittlere Niederschlagssumme in der Vegetationszeit [mm],
Normalperiode 1961–1990

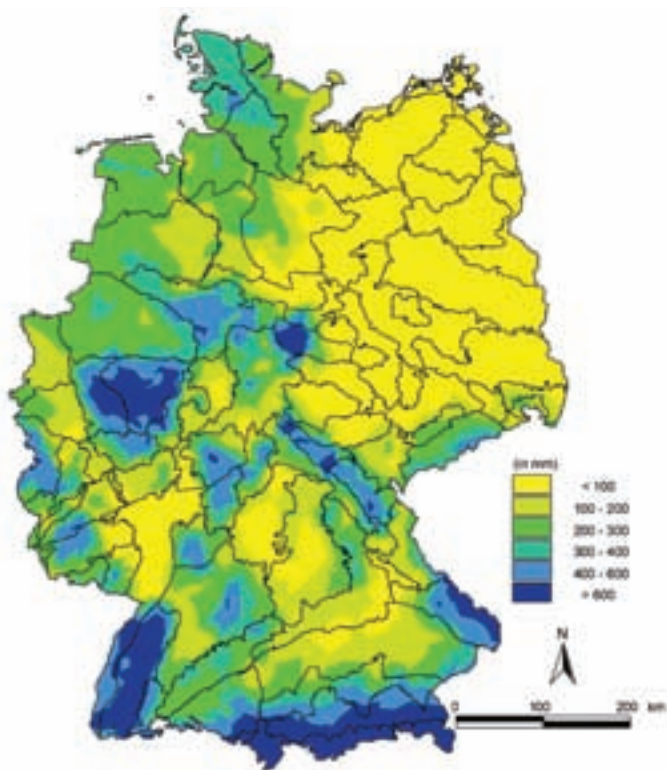


Abbildung 11:
Mittlere Klimatische Wasserbilanz (Jahr) [mm],
Normalperiode 1961–1990

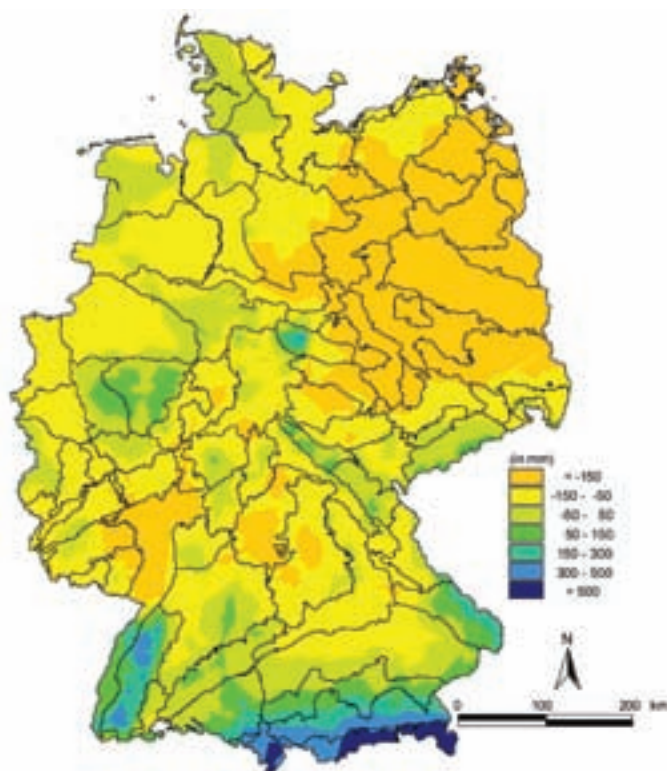


Abbildung 12:
Mittlere Klimatische Wasserbilanz (Vegetationszeit) [mm],
Normalperiode 1961–1990

bilanz (KWB) im Zusammenhang mit anderen Kennzahlen eine hilfreiche Größe, denn sie berücksichtigt neben klimatischen Größen auch die Feldkapazität der Böden. Sie stellt somit denjenigen Teil des Niederschlages dar, der nach der Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers für die Grundwasserneubildung und den oberirdischen Abfluss zur Verfügung stehen. Die KWB verdeutlicht, wie die Eigenschaften der Böden zusammen mit den Niederschlägen die Wasserversorgung der Waldbestände beeinflussen. Der überwiegende Teil Deutschlands weist mit weniger als 300 mm einen nur relativ geringen jährlichen Wasserbilanzüberschuss auf. Hier ist die Bilanz während der Vegetationszeit meist negativ oder gerade noch ausgeglichen. Waldbestände auf Böden mit geringer nutzbarer Feldkapazität wie z.B. in Ostdeutschland oder dem Mainzer Becken (WGb 65) sind in diesen Gebieten gerade in trockenen Jahren besonders Trockenstress gefährdet.

A.3.3 Klimaänderung

Änderungen in den Klimabedingungen sind gerade in der Forstwirtschaft mit ihrer notwendigerweise langfristigen Planung von großer Bedeutung. Deutliche Verschiebungen der klimatischen Verhältnisse in den letzten Jahrzehnten und Risiken in der zukünftigen Entwicklung können Anpassungen in der Planung erfordern.

Die Klimadynamik der Erde wird im Wesentlichen durch Schwankungen der Solarstrahlung und der Erdbahn um die Sonne, in geologischen Zeiträumen auch von den Verschiebungen der Kontinente beeinflusst. Eine Rekonstruktion des Klimageschehens der letzten 400.000 Jahre (Petit et al. 1999) mit seinen Eis- und Warmzeiten zeigt eine Kopplung von Temperatur und Kohlendioxidkonzentration (CO_2) in der Atmosphäre, wobei Änderungen der CO_2 -Konzentration eine Folge und nicht die Ursache der Temperaturänderungen waren. Die Schwankungen in der CO_2 -Konzentration zwischen 190 und 280 ppm (parts per million) haben allerdings die Abkühlung bzw. Erwärmung der Atmosphäre jeweils wesentlich verstärkt. Bedingt durch menschliche Aktivität liegt die CO_2 -Konzentration der Atmosphäre heute bei etwa 370 ppm und damit 30% höher als in den Warmzeiten der letzten 400.000 Jahre. Dies hat bereits zu einer deutlichen Erhöhung der globalen Mitteltemperatur unseres Planeten geführt, ein Trend, der in den nächsten Jahrzehnten anhalten wird (IPCC 2001).

Allerdings können die bereits messbaren Trends in der globalen Klimaentwicklung regional durchaus unterschiedlich ausgeprägt sein, wodurch im Prinzip auch eine dem durchschnittlichen Trend entgegengesetzte Wirkung auf die Waldvegetation auftreten könnte. Bei einer Aktualisierung von Waldbaurichtlinien sollten daher die nach wie vor bestehenden Unsicherheiten in den regionalen Klimaprognosen mit einbezogen werden.

Eine Analyse der Klimaentwicklung des 20. Jahrhunderts

ergab für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland eine Zunahme der Jahresmitteltemperaturen um etwa 1°C . Dieser Wert liegt deutlich über dem globalen Mittelwert von $0,6^\circ \text{C}$, der für das 20. Jahrhundert beobachtet wurde (IPCC Report 2001). Bezüglich der Niederschläge zeichnet sich ein genereller Trend zunehmender Winterniederschläge und abnehmender Sommerniederschläge, allerdings mit regional unterschiedlichen Stärken der Trends, ab (Rapp 2003). So ist in den letzten Jahrzehnten im Westen und vor allem im Südwesten Deutschlands eine deutliche Zunahme der Niederschlagsmengen von bis zu 35% zu beobachten, eine Folge der Verstärkung der Westwindzirkulation, die zu erhöhten Niederschlägen im Winter geführt hat. Gleichzeitig nahmen die Sommerniederschläge ab. Dem steht in Ostdeutschland eine geringfügige Abnahme der Niederschlagsmengen gegenüber, wobei einer leichten Zunahme der Winterregen eine überproportionale Abnahme der Sommerniederschläge gegenübersteht. Hier zeichnet sich ab, dass sich gerade in den Gebieten mit bereits angespanntem Wasserhaushalt und geringer Wasserspeicherkapazität der Böden die Wachstumsbedingungen verschlechtert haben (vgl. Regionen mit ungünstiger Klimatischer Wasserbilanz). Dies wird noch dadurch verstärkt, dass im Sommer geringe Niederschlagsmengen mit hohen Temperaturen gekoppelt sind, was den Wasserverbrauch der Waldbestände bei gleichzeitig abnehmender Wasserverfügbarkeit noch verstärkt.

Abschätzungen der weiteren Entwicklung der klimatischen Bedingungen sind nach wie vor mit Unsicherheiten behaftet. Bezüglich der Temperaturen muss mit einem weiteren Anstieg der Jahresmittelwerte in den kommenden Jahrzehnten gerechnet werden. Dies ist insofern bedeutsam, als mit einem Anstieg der Mitteltemperaturen auch eine Verlängerung der Vegetationszeit einhergeht (vgl. Menzel u. Fabian 2001). Somit können Waldökosysteme in jedem Jahr längere Zeit produktiv sein. Inwieweit Wälder diese temperaturbedingte Erweiterung des Produktionszeitraumes auch tatsächlich nutzen können, ist jedoch noch von einer Reihe anderer Faktoren, wie z.B. dem Stoff- und Wasserhaushalt abhängig. Bezüglich der Niederschlagsverteilung bestehen weitaus größere Unsicherheiten. Es ist möglich aber nicht gesichert, dass sich der beobachtete Trend in Zukunft fortsetzen wird. Andererseits können Änderungen in den Zirkulationsmustern der Hoch- und Tiefdruckgebiete ein anderes Muster der Niederschlagsverteilung bewirken. In Kombination mit der Intensivierung des Wasserkreislaufes, die durch vermehrte Verdunstung bei höheren Temperaturen und damit höheren Gehalten von Wasserdampf in der Atmosphäre bedingt ist, könnten zudem Extremereignisse wie Starkregenfälle aber auch längere Trockenperioden häufiger werden.

Entscheidend ist in diesem Zusammenhang jedoch nicht nur das Ausmaß und die Richtung möglicher Klimaänderungen, sondern auch die Geschwindigkeit, mit der diese Veränderungen stattfinden werden. Gerade letzteres kann die Anpassungsfähigkeit der Wälder unter Umständen übersteigen und ihre Stabilität gefährden.