

Basiswissen zum Klimawandel

1. Wie funktioniert unser Klima? Und welchen Einfluss hat der Mensch auf die Erderwärmung?

Folie 2

Der Klimawandel ist in aller Munde und macht auch vor dem Gartenzaun nicht halt. Das Gegenteil ist der Fall. Denn wie der Produktionsgartenbau ist auch der Freizeitgartenbau in erhöhtem Maße von dessen Auswirkungen betroffen. Schließlich wirken sich klimatische Einflussgrößen wie Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer maßgeblich auf die Wachstums- und Entwicklungsbedingungen der Pflanzen aus. Der Klimawandel hält für Gartenbesitzer sowohl Herausforderungen als auch Chancen bereit. Diese gilt es zu erkennen und zu analysieren, um dann durch entsprechende Anpassungsmaßnahmen darauf zu reagieren.

Folie 5

Zu allererst sollten wir definieren, worüber wir eigentlich sprechen, wenn wir uns jetzt intensiv mit dem „Klima“ auseinandersetzen. Sowohl der Begriff „Wetter“ als auch der Begriff „Klima“ beschreiben den Zustand der Atmosphäre an einem bestimmten Ort oder Gebiet mit Hilfe von meteorologischen Größen. Meteorologische Größen sind beispielsweise Temperatur, Niederschlag oder Windgeschehen. Der wesentliche Unterschied zwischen Wetter und Klima liegt im Beobachtungszeitraum. Während das Wetter sich auf den Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder maximal wenigen Tage bezieht, ist das Klima durch einen längeren Beobachtungszeitraum, in der Regel von mehreren Jahrzehnten gekennzeichnet. Um die aufgezeichneten Wetterdaten anschaulich darzustellen, wird das Klima anhand von Mittel- und Extremwerten, Auftretshäufigkeiten oder Andauer bestimmter Phänomene ausgedrückt (UMWELTBUNDESAMT 2013).

Folie 6

Wie funktioniert die Steuerung des Klimas auf der Erde? Entscheidend für die Klimaentwicklung ist die Strahlungsbilanz zwischen kurzwelliger, von der Sonne kommender Einstrahlung und langwelliger, von der Erde abgegebener Abstrahlung. Ist diese Bilanz nicht ausgeglichen, so kommt es zur Aufheizung oder Abkühlung des Systems. Maßgeblichen Einfluss auf den Strahlungshaushalt haben die sogenannten Treibhausgase, die in sehr geringer Konzentration (< 1%) in der Lufthülle vorkommen, beispielsweise Kohlenstoffdioxid, Methan und Lachgas (DEUTSCHER WETTERDIENST). Ihre Wirkung im Klimasystem lässt sich gut mit dem Effekt, der im Gewächshaus auftritt, veranschaulichen. Die Treibhausgase übernehmen dabei die Funktion der Gewächshausscheiben, die zwar die kurzwellige, von der Sonne kommende Strahlung ungehindert eindringen lassen, aber für die vom Erdboden wieder abgestrahlte langwellige Wärmestrahlung nur noch teilweise durchlässig sind. Diese langwellige Wärmestrahlung wird von den Scheiben bzw. den Treibhausgasen absorbiert und anschließend nach allen Seiten wieder abgestrahlt. Ein Teil dieser Wärmestrahlung wird also wieder ins Innere des Gewächshauses bzw. zur Erde zurückgesendet, wo er für zusätzliche Erwärmung der Umgebung sorgt (KUNSTMANN 2020). Für unser Leben auf der Erde ist der natürliche Treibhauseffekt sogar notwendig, denn ohne ihn wäre der komplette Planet heute von Eis bedeckt, die Durchschnittstemperaturen lägen unter dem Gefrierpunkt. Bedenklich sind lediglich die aktuellen Entwicklungen, die auf den anthropogenen, also menschengemachten Treibhauseffekt zurückzuführen sind (DEUTSCHER WETTERDIENST 2015).

Folie 7

Die vorliegende Grafik zeigt den Verlauf von globaler Temperatur und CO₂-Konzentration der Atmosphäre im Zeitraum von 1880-2020. Die Kurven verlaufen ähnlich und steigen beide zum Ende des Beobachtungszeitraums rasant an.

Folie 8

Der enorme Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre ist in erster Linie dem Menschen anzulasten, der seit der Industrialisierung durch die Verbrennung fossiler Energieträger immer größere Mengen dieses Treibhausgases freisetzt und durch die Rodung von Wäldern wichtige CO₂-Speicher zerstört.

Folie 9

Die Menge an vom Menschen verursachtem CO₂ sorgt durch zusätzliche Rückstrahlung von Wärmestrahlung für ein Ungleichgewicht im Strahlungshaushalt in der Größenordnung von ca. 1 W/m². Zum Vergleich: Eine herkömmliche Glühbirne besitzt in etwa 8-10 W Strahlungsleistung. Man stelle sich also vor, pro 10 m² Erdoberfläche befindet sich eine Glühbirne, die permanent Wärme an ihr Umfeld abgibt. Dies entspricht etwa dem zusätzlichen Erwärmungseffekt der anthropogenen CO₂-Emissionen (KUNSTMANN 2020).

Folie 10

Die internationale Klimapolitik fordert, die globale Erwärmung auf weniger als 2 °C im Vergleich zu den Werten vor der Industrialisierung zu begrenzen, um fatale Folgen zu vermeiden. Eine CO₂-Konzentration von 450 ppm darf dafür nicht überschritten werden (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008). Entscheidend ist dies, da sogenannte Kippunkte im System ab dieser Grenze verstärkt wirksam werden. Sind diese einmal angestoßen, laufen sie unumkehrbar und unkontrollierbar weiter und verstärken den Klimawandel überproportional (KLIMAFAKTEN.DE). Als Beispiele für solche Kippmechanismen sind das Abrutschen des Eisschildes in Grönland und der Westantarktis oder die Freisetzung gefrorener Treibhausgase durch das Auftauen von Permafrostböden zu nennen (BRASSEUR et al. 2017).

Folie 11

Am Beispiel des Abschmelzens von Eiskörpern soll die Wirkungsweise von Kippmechanismen verdeutlicht werden: Das helle Eis strahlt einen Großteil der einfallenden Strahlung wieder zurück. Schmilzt das Eis ab, so kommt in der Regel ein dunklerer Untergrund zum Vorschein. Der freigelegte felsige Boden bzw. das dunkle Meerwasser saugen die Sonnenwärme regelrecht auf und erwärmen sich, was das Abschmelzen des verbliebenen Eises verstärkt. Somit stellt der Verlust von Eismassen sowohl eine Folge, als auch einen Teil des Antriebs der Erwärmungsspirale dar (POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG 2017).

Folie 12

Diese Grafik reicht zurück bis zur letzten Eiszeit vor ca. 20000 Jahren und zeigt deutlich: Klimawandel ist kein neues Phänomen, Temperaturschwankungen gab es im Verlauf der Erdgeschichte immer. Allerdings nie in vergleichbarer Geschwindigkeit wie heute. Lebewesen können sich an allmähliche Veränderungen durchaus anpassen, aber dafür braucht es Zeit. Verläuft der Klimawandel weiterhin mit einer Geschwindigkeit wie bisher oder noch schneller, wird dies zahlreiche Lebewesen an ihre Grenzen bringen (KLIMAFAKTEN.DE).

Folie 13

Mit Hilfe von Klimaprojektionen versuchen Klimaforscher einen Blick in die Zukunft zu werfen. Wie die Grafik zeigt, kann es je nach angenommenem Szenario und gewähltem Berechnungsmodell zu erheblichen Schwankungen zwischen verschiedenen Projektionen kommen. Einerseits sind diese auf Unsicherheiten in Daten und Modellen zurückzuführen. Andererseits beeinflusst das gewählte Emissionsszenario, also die Annahme darüber, wie viel CO₂ die Menschheit weiterhin produziert, das Ergebnis stark. Anders ausgedrückt: Der Mensch kann durch sein Verhalten wesentlichen Einfluss auf das Klima der Zukunft ausüben (MAIER 2019).

2. Das Klima in Bayern. Gestern – Heute – Morgen.

Nach dem allgemeinen Überblick über die Faktenlage zum Klimawandel werfen wir nun einen Blick auf das Klima in Bayern.

Folie 15

Bayern befindet sich in der warm-gemäßigten Klimazone im Übergang von maritimem zu kontinentalem Klima. Maritimes, also vom Meer geprägtes Klima herrscht beispielsweise in Westeuropa vor. Es zeichnet sich durch milde Winter, eher kühle Sommer und eine hohe Luftfeuchtigkeit aus. Im Gegensatz dazu ist der Osten Europas durch kontinentales Klima geprägt. Charakteristisch dafür sind kalte, lange und schneereiche Winter, warme Sommer und relativ trockene Luft. Das Klima in Bayern liegt zwischen diesen beiden Extremen.

Folie 16

Innerhalb des Bundeslandes ist die Ausprägung des regionalen Klimas sehr variabel, was insbesondere durch die jeweilige Höhenlage, aber auch andere lokale Einflussfaktoren wie Luv-/ Lee-Effekten (Luv = windzugewandte Seite, tendenziell niederschlagsreicher und kühler; Lee = windabgewandte Seite, tendenziell sonnenscheinreicher, trockener und wärmer (SPEKTRUM.DE 2001)) von Gebirgen, Zugbahnen von Tiefdruckgebieten und Effekte von angrenzenden Gewässern erklärt werden kann.

Folie 17

Als Grundlage für spätere Erläuterungen sei hier noch eine kurze Begriffsdefinition eingefügt: Bei der saisonalen Betrachtung von meteorologischen Ereignissen liegt der Fokus entweder auf meteorologischen Jahreszeiten oder hydrologischen Halbjahren, die die dargestellten Zeiträume umfassen (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015).

2.1. Temperatur

Folie 19

Die vorliegende Zeitreihe zeigt die Entwicklung der jährlichen Durchschnittstemperaturen von 1881 bis 2019. Der lineare Trend der jährlichen Durchschnittstemperaturen weist in diesem Zeitraum ein Plus von 1,7 °C auf (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 20

Besonders deutlich fallen die Abweichungen vom vieljährigen Mittel nach oben ab dem Ende der 1980er-Jahre auf (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). Die drei wärmsten je in Bayern aufgezeichneten Jahre waren 2018, 2014 und 2019 (DEUTSCHER WETTERDIENST). Es wird also ersichtlich, dass sich die Situation in der jüngeren Vergangenheit zuspitzt (KUNSTMANN 2020).

Folie 21

Die Zunahme der Durchschnittstemperaturen wird an der Entwicklung von Temperaturkenntagen sehr deutlich. Im Vergleich zum Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1951 sind mittlerweile gut 25 Frosttage pro Jahr weniger zu verzeichnen, die Anzahl von Eistagen ging um gut 14 Tage pro Jahr zurück.

Folie 22

Im Gegensatz dazu verzeichnen wir heute durchschnittlich fast 25 Sommertage mehr pro Jahr als noch vor rund 70 Jahren. Die durchschnittliche Anzahl von heißen Tagen mit Temperaturen > 30 °C ist von 4 auf knapp 13 Tage pro Jahr angestiegen (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 23

Wie bereits angesprochen lässt sich das Klima in Bayern nicht über einen Kamm scheren. Die Jahresmitteltemperaturen hängen stark von der Höhenlage ab (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2018b), werden aber auch von weiteren regionalen Faktoren beeinflusst (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). So liegen die wärmsten Regionen des Bundeslandes in Unter- und Mittelfranken, darüber hinaus zeigen sich einige Regionen in Niederbayern und im nördlichen Oberbayern besonders warm (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2019). Kühlere Bereiche liegen vor allem in Alpennähe und im Bayerischen Wald. Die Grafik auf der rechten Seite stellt die Abweichungen des Jahresmittels im Jahr 2019 vom langjährigen Jahresmittel 1961-1990 dar. Diese reichen je nach Region von +0,7 bis +3,3 °C (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 24

Ausgehend vom Normalwert des Zeitraums 1961-1990 wird in den verwendeten Modellen bis 2050 ein Temperaturanstieg in Bayern von +0,5 bis +2,5 °C und bis zum Ende des Jahrhunderts um +2,0 bis +5,0°C erwartet (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Betrachtet man den aktuellsten Messwert, so befinden wir uns heute am äußersten Rand der pessimistischen Prognosen, die in den 1960er-Jahren getroffen wurden.

2.2. Niederschlag

Folie 26

Wenden wir uns nun dem Niederschlagsgeschehen zu. Von 1881 bis 2019 sind die jährlichen Gesamtniederschläge um ca. 9 % angestiegen, wobei sich starke zwischenjährliche Schwankungen beobachten lassen (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 27

Deutlicher als die Veränderung des Jahresmittels fällt in diesem Zeitraum die saisonale Umverteilung auf. Während die Zunahme der Niederschläge im hydrologischen Winterhalbjahr signifikant war, zeigte sich im Sommerhalbjahr kein einheitliches Änderungsmuster (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008). In den Grafiken wird die Entwicklung auch anhand der Niederschlagsdaten für die meteorologischen Jahreszeiten deutlich. Im Zeitraum von Dezember bis März ist seit 1882 eine Zunahme der Niederschläge um +27 %, also mehr als ein Viertel, zu verzeichnen, während die Niederschlagsmenge in den sommerlichen Monaten Juni bis September um 3 % abgenommen hat (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 28

Die durchschnittlichen Jahresniederschlagsmengen fallen in Bayern regional sehr unterschiedlich aus. Niederschlagsarme Gebiete in Mittel- und Nordwestbayern mit 600-700 mm Niederschlag pro Jahr

stehen niederschlagsreichen Lagen der Mittelgebirge, des Alpenvorlandes und der Alpen gegenüber, wobei in den Alpenregionen bis >1800 mm Niederschlag pro Jahr zu verzeichnen sind (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). Verstärkend hinzu kommt, dass die bisher größten Niederschlagsabnahmen im Sommer die ohnehin trockenen Bereiche Nordfrankens betrafen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008).

Folie 29

Für die Zukunft werden lediglich geringe Veränderungen der jährlichen Gesamtniederschläge bei gleichzeitiger Verschärfung der bereits zu beobachtenden saisonalen Differenzen erwartet (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2012).

Folie 30

Die im Folgenden dargestellten Projektionen bilden die meteorologischen Jahreszeiten ab und gehen dabei auf unterschiedliche Emissionsszenarien ein. Im Winter wird in der nahen Zukunft (2030-2060) für beide Szenarien eine Zunahme der Niederschläge um bis zu 20 % im Vergleich zum langjährigen Mittel 1970-2000 erwartet, es sind jedoch auch leichte Abnahmen um bis zu 5 % möglich. Bis zum Ende des Jahrhunderts tritt der Einfluss des Emissionsszenarios deutlicher zu Tage: Während sich die winterlichen Niederschläge im Szenario „Klimaschutz“ um lediglich -5 bis +10 % verändern dürften, sind für das Szenario „Weiter wie bisher“ Niederschlagszunahmen um bis zu 30 % durchaus wahrscheinlich (DEUTSCHER WETTERDIENST et al. 2020).

Folie 31

Für die Sommermonate weisen die Projektionen den umgekehrten Trend auf: Bis 2060 sollte sich an der sommerlichen Niederschlagsmenge zunächst wenig ändern, Schwankungen von -5 bis + 5 % bzw. -10 bis + 10 % werden einkalkuliert. In der zweiten Hälfte des Jahrhunderts sind für beide Szenarien weiterhin leichte Zunahmen bis +5 % möglich, allerdings werden in weiten Teilen Bayerns abnehmende Niederschläge in einer Größenordnung von bis zu -10 % im Szenario „Klimaschutz“ bzw. bis -20 % im Szenario „Weiter wie bisher“ wahrscheinlicher (DEUTSCHER WETTERDIENST et al. 2020).

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Trend unabhängig vom Emissionsszenario hin zu niederschlagsreicheren Wintern und niederschlagsärmeren Sommern geht. Während das Szenario „Klimaschutz“ nur geringfügig vom Status quo abweicht, tritt die saisonale Umverteilung der Niederschläge beim Szenario „Weiter wie bisher“ deutlich hervor (DEUTSCHER WETTERDIENST et al. 2020).

Folie 32

Eine weitere bereits zu beobachtende Veränderung des Niederschlagsregimes in Bayern ist die Tendenz zu schneeärmeren Wintern. Erklärt werden kann dieser Umstand durch die höheren Lufttemperaturen, die winterliche Niederschläge häufiger in Form von Regen anstatt von Schnee bescheren (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2012).

2.3. Strahlungsangebot

Folie 34

Betrachten wir nun als weitere, für das Pflanzenwachstum relevante Einflussgröße das Strahlungsangebot in Form von einfallender Globalstrahlung bzw. Sonnenscheindauer. Diese beiden Größen sind eng miteinander verknüpft und weisen daher vergleichbare Ausprägungen auf (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). Wie die Deutschland-Karte zeigt, liegt bei der Verteilung des Strahlungsangebots ein deutliches Gefälle von Süd nach Nord vor. Dabei werden in den strahlungsreichsten Teilen Südbayerns rund 200 kWh/m²/a bzw. rund 100

Sonnenstunden pro Jahr mehr gemessen, als im strahlungsärmeren Nordbayern (DEUTSCHER WETTERDIENST).

Folie 35

Generell war bei der mittleren jährlichen Sonnenscheindauer 1951 bis 2019 ein Anstieg um fast 100 Stunden zu verzeichnen, was einem Plus von gut 6 % entspricht (DEUTSCHER WETTERDIENST).

2.4. Extremereignisse

2.4.1. Entstehung

Folie 36

Extremereignisse wie Hitzewellen, Dürreperioden, Starkniederschläge oder Stürme sind die wohl augenfälligsten Folgen des Klimawandels, die mit zunehmender globaler Erwärmung ein bisher ungekanntes Ausmaß erreichen könnten.

Folie 37

Bereits geringe Verschiebungen des Temperatur-Mittelwertes werden ein deutlich häufigeres und stärkeres Auftreten von Extremereignissen zur Folge haben (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2007). Wie aber lässt sich dieser Umstand neben Hitze- und Dürreperioden auch für Starkregenereignisse und Stürme erklären?

Folie 38

Zunächst sind grundlegende physikalische Gesetzmäßigkeiten für das vermehrte und intensivierte Auftreten von Extremereignissen im Zuge der Erwärmung verantwortlich. Je wärmer die Atmosphäre, desto mehr Wasser verdunstet aus Ozeanen, Böden und Vegetation. Wärmere Luft kann größere Mengen Wasserdampf aufnehmen als kältere Luft, sodass mehr Wasserdampf in der Atmosphäre vorhanden ist, der schließlich kondensiert und als Niederschlag zu Boden geht. Die Folge sind potenziell höhere Niederschlagsmengen, was das Auftreten von Starkregenereignissen begünstigt. Ein Effekt, der mit steigender Verdunstung einhergeht, ist der zunehmende Energiegehalt der Atmosphäre. Die zur Verdunstung benötigte Energie ist im Wasserdampf gespeichert und sorgt für die Intensivierung von wolken- und niederschlagsbildenden Prozessen. Das Risiko für lokale Gewitter, Hagel und Starkwinde steigt somit an (MAIER 2019).

Folie 39

Neben diesen physikalischen Erklärungsansätzen ist auch ein Blick auf die großräumige Dynamik von Wetterlagen notwendig, um das Entstehen von Extremereignissen zu verstehen. Das Klima in Mitteleuropa wird maßgeblich durch den Jetstream, das starke Westwindband, das in ca. 10 km Höhe um den Globus weht, geprägt. Die treibende Kraft dieses Luftmassenstroms stellt das Temperatur- und Luftdruckgefälle zwischen dem warmen Äquator und dem kalten Nordpol dar. Je größer der Temperatur- und Druckunterschied, desto stärker wehen die ausgleichenden Winde. Da die Luftmassen bei ihrer Bewegung vom tropischen Hoch- zum polaren Tiefdruckgebiet durch die Erdrotation abgelenkt werden, strömen sie nicht direkt von Süd nach Nord, sondern eher von West nach Ost. Je nach Stärke des Antriebs verläuft das Westwindband dabei nahezu parallel zum Äquator oder läuft wellenförmig auseinander. Je schwächer der Antrieb, desto stärker fallen die Wellen aus. Ebendiese Wellen des Jetstreams besitzen eine enorme Bedeutung für das Wetter in Mitteleuropa. Ist eine Welle nach Süden hin geöffnet, so führt sie ein Hochdruckgebiet mit sich, das in der Regel für warmes, trockenes Wetter sorgt. Ist sie nach Norden geöffnet, so bringt sie ein polares Tiefdruckgebiet mit eher kühlem, regnerischem Wetter mit sich. Mit dem Jetstream wandern diese Luftdruckgebiete von West nach Ost und bescheren den unter ihnen liegenden Gebieten die entsprechenden

Wettererscheinungen (HILBICH & FORKEL 2012). Im Zuge des Klimawandels sind Veränderungen im Verhalten des Jetstreams zu beobachten: Er wird zunehmend langsamer und schlägt größere Wellen (PODBREGAR 2019). Erklärt werden kann dieser Umstand durch die Tatsache, dass sich die Luft an den Polen infolge des Klimawandels stärker erwärmt als am Äquator. Demzufolge nimmt der Temperatur- und Druckunterschied zwischen den beiden Regionen und damit die Antriebskraft der ausgleichenden Luftströmung ab (LOZÁN et al. 2018). Die immer weiter ausufernden Wellen des Jetstreams führen dazu, dass eisige Luftmassen aus polaren Regionen einbrechen können bzw. Einschübe warmer, trockener Luft aus südlichen Regionen begünstigt werden. Durch die Verlangsamung der Luftmassenbewegung verharren Großwetterlagen teilweise wochenlang über einem Gebiet und können dadurch anhaltende Extremwetterereignisse wie Kälte- und Hitzewellen, Überflutungen und Dürren verursachen (POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG 2017).

2.4.2. Trockenperioden und Dürren

Folie 40

Gehen wir nun zu den konkreten bereits beobachteten und projizierten Veränderungen im Auftreten von Extremereignissen über und werfen zunächst einen Blick auf Trockenperioden und Dürren in Bayern. Wissenschaftliche Untersuchungen stellen fest, dass die Wahrscheinlichkeit eines trockenen, heißen Sommers oder einer extrem trockenen Vegetationsperiode in Süddeutschland im Vergleich zum Zeitraum vor 1970 um mehr als das Doppelte gestiegen ist (KLIWA 2012) – und das obwohl sich die jährliche Gesamtniederschlagsmenge nicht wesentlich verändert hat. Wie lässt sich dieser Umstand erklären? In erster Linie ist dafür die saisonale Umverteilung der Niederschläge verantwortlich, die zunehmend trockenere Sommer beschert. Besonders ungünstig ist, dass Niederschläge immer seltener, dafür aber umso intensiver auftreten. Ist der Boden nach einer längeren Trockenperiode stark ausgetrocknet, können Niederschläge nur schlecht aufgenommen werden. Je stärker ein Niederschlagsereignis, desto höher die Gefahr, dass große Mengen des wertvollen Wassers durch oberflächlichen Abfluss verloren gehen (SCHALLER et al. 2012). Daneben gibt es weitere Faktoren, die die Dürreproblematik verschärfen. Beispielsweise haben steigende Durchschnittstemperaturen erhöhte Feuchtigkeitsverluste durch Verdunstung zur Folge. Weiterhin führt die früher einsetzende und länger andauernde Vegetationsperiode dazu, dass Pflanzen dem Boden insgesamt mehr Wasser entziehen (DEUTSCHE PRESSEAGENTUR (dpa) 2020; SCHALLER et al. 2012). Aufgrund dieser Tendenzen wird für die Zukunft eine gesteigerte Anzahl, Andauer und Intensität von Trockenperioden im Sommerhalbjahr prognostiziert (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2012). Im Winterhalbjahr sollte die Anzahl an Trockentagen tendenziell abnehmen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2012).

2.4.3. Starkniederschläge

Folie 41

Auch auf die Auftretenswahrscheinlichkeit von Starkniederschlägen übt der Klimawandel Einfluss aus (KLIWA 2019).

Die vorliegende Grafik veranschaulicht die Entwicklung der maximalen eintägigen Gebietsniederschlagshöhen im hydrologischen Sommer- bzw. Winterhalbjahr. Deutlich treten dabei sowohl saisonale als auch regionale Unterschiede hervor. Für das Sommerhalbjahr lässt sich kein einheitlicher Trend feststellen, während die winterlichen Starkniederschläge fast in ganz Bayern, insbesondere im Nordosten des Bundeslandes stark zugenommen haben (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2018a).

Generell ist eine Abnahme schwacher und mittlerer Niederschläge zu Gunsten von Starkniederschlägen zu erwarten (KLIWA 2019). In den Mittel- und Hochgebirgen Ober- und Niederbayerns dürfte diese Entwicklung überdurchschnittlich stark ausfallen, während das Risiko für

Starkniederschläge in weiten Teilen Unter- und Mittelfrankens, sowie der Oberpfalz kaum steigt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2019).

2.4.4. Unwetter

Folie 42

Wie bereits angesprochen sorgen höhere Temperaturen durch stärkere Verdunstung für einen steigenden Wasserdampf- und Energiegehalt der Atmosphäre, was unter anderem das Auftreten von starken Unwettern begünstigt. Da Unwetterereignisse sowohl zeitlich als auch räumlich sehr variabel auftreten, sind belastbare Aussagen über deren künftige Entwicklung nicht möglich. Aufgrund der physikalischen Gegebenheiten ist jedoch mit zunehmender Häufigkeit von Unwettern und Stürmen zu rechnen (BRASSEUR et al. 2017).

Folie 43

Bevor wir nun zu den Folgen der Klimaveränderungen übergehen, die uns in Bayern konkret betreffen, können Sie die bisher beobachteten und erwarteten Veränderungen relevanter Größen nochmal in der zusammenfassenden Tabelle nachvollziehen. Zu beachten ist, dass es sich beim Klimawandel um einen langfristigen Prozess handelt, der nicht in jedem Jahr in gleicher Form in Erscheinung tritt. Das heißt, dass es neben dem Trend zu heißen, trockenen Sommern und milderen Wintern durchaus weiterhin auch kalte, niederschlagsreiche Jahre geben wird. Zwar wird es wahrscheinlicher, dass die für den Klimawandel typischen Ereignisse eintreten, aber dennoch lässt sich im Voraus nicht absehen, wie sich die Witterung konkret in der bevorstehenden Saison gestalten wird (KELL 2021).

3. Folgen des Klimawandels. Relevante Aspekte in Bayern

3.1. Wasserkreislauf und Wasserwirtschaft

Folie 45

Wasserkreislauf und Wasserwirtschaft sind vom Klimawandel stark betroffen. Insbesondere der Temperaturanstieg und die Umverteilung der Jahresniederschläge haben gravierende Folgen (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008). In den Sommermonaten verdunstet aufgrund der wärmeren Temperaturen mehr Wasser aus dem Boden, während Niederschläge gleichzeitig immer länger ausbleiben. Vor allem bei einer Aneinanderreihung von mehreren extrem trockenen Jahren, wie sie in der jüngeren Vergangenheit der Fall war, steigt die Gefahr von Niedrigwasser und abnehmender Grundwasserneubildung (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015).

Folie 46

Durch Niedrigwasser können Probleme mit der Wasserqualität, Einschränkungen in der Schifffahrt, sowie in der Energiegewinnung entstehen. Auch beim Grundwasser werden in einigen Regionen bereits niedrigere Raten verzeichnet (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). Dies ist besonders heikel, da das Trinkwasser in Bayern zu 93 % aus Grund- und Quellwasser stammt (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2020), sodass niedrigere Grundwasserraten die Trinkwasserversorgung in einigen Regionen zunehmend gefährden könnten. In der Folge könnten Nutzungseinschränkungen, wie sie in südlicheren Ländern bereits üblich sind, künftig auch in Bayern zur Realität werden. Für „banale“ Zwecke wie Blumen gießen, Rasen sprengen oder Auto waschen wäre das kostbare Leitungswasser dann tabu (BR 24 2020).

Folie 47

Im Gegensatz dazu nimmt im Winterhalbjahr die Gefahr von Hochwasser zu. Dies ist auf die generell steigende Niederschlagsmenge im Winter zurückzuführen und wird durch die Tatsache, dass

Niederschläge häufiger in Form von Regen als von Schnee fallen, verstärkt. Die Schneedecke nimmt normalerweise eine Pufferfunktion ein und verzögert den Abfluss, während Regen direkt abfließt und die Gewässerpegel erhöht. Auch in den Sommermonaten könnten kleinräumige Hochwasserereignisse künftig häufiger auftreten. Auslöser dafür sind Sturzfluten, deren plötzliches Auftreten kaum vorhersehbar ist (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015).

3.2. Gesundheit

Folie 48

Auch für unsere Gesundheit bringt der Klimawandel bisher ungekannte Belastungen mit sich. Extreme Hitzewellen, die im Zuge des Klimawandels häufiger auftreten dürften, strapazieren das Herz-Kreislauf-System und können vor allem für ältere Menschen und Risikogruppen eine ernsthafte Gefahr darstellen. Auch zahlreiche Krankheitserreger und -überträger finden bei höheren Durchschnittstemperaturen bessere Lebens- und Ausbreitungsbedingungen vor. Darüber hinaus bescheren die ausgedehnte Vegetationsperiode und der frühere Blütestart eine längere Pollensaison, wobei die Pollenproduktion im Zuge der Erwärmung gefördert werden und das Allergiepotezial somit zusätzlich gesteigert werden könnte (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008). Des Weiteren ist mit einer Verschlechterung der Luftqualität, u. a. durch bodennahes Ozon oder Anreicherung von Schadstoffen, die bei anhaltenden Trockenperioden nicht ausgewaschen werden, zu rechnen (BRASSEUR et al. 2017).

3.3. Vegetationsperiode und Phänologie

Folie 49

Besonders eindrücklich führen uns auch Pflanzen- und Tierwelt die Auswirkungen des Klimawandels vor Augen. Anhand der Phänologie, also Beobachtungen von im Jahresablauf wiederkehrenden Wachstums- und Entwicklungsprozessen von Pflanzen und Tieren, lassen sich Rückschlüsse auf jahreszeitliche Veränderungen ziehen.

Folie 50

Durch den generellen Temperaturanstieg und die Tendenz zu milderem Wintern ist ein immer früherer Beginn der Vegetationsperiode, eingeleitet durch die Blüte der Haselnuss, zu beobachten (BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT 2008). Betrachtet man den Trendverlauf über 50 Jahre, also von 1961 bis 2010, so zeichnet sich trotz starker zwischenjähriger Schwankungen eine Verfrühung des Frühlings um ca. drei Wochen ab. Auch Sommer und Herbstbeginn verschieben sich nach vorne, wenn auch nicht so stark wie der Frühling. Das Ende der Vegetationsperiode schiebt sich hingegen nach hinten, sodass sich der Vegetationszeitraum insgesamt ausdehnt (BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015). Aus diesen phänologischen Verschiebungen können auch Probleme resultieren: Blühen z. B. Obstgehölze früher, so steigt die Gefahr von Schäden durch Spätfrost (MENZEL 2017). Auch Störungen in Nahrungs- und Bestäubungssystemen sind möglich, da nicht alle Pflanzen und Tiere gleich auf die Temperaturveränderungen reagieren (BRASSEUR et al. 2017).

3.4. Garten

Folie 51

Klimaveränderungen haben also maßgeblichen Einfluss auf die Wachstums- und Entwicklungsbedingungen von Pflanzen (BRASSEUR et al. 2017), speziell auch von unseren Pflanzen im Garten. Dabei ist der Klimawandel nicht durchweg negativ zu sehen – er bringt auch einige Vorteile für den Gärtner mit sich. Erfreulich ist, dass sich durch die ausgedehnte Vegetationsperiode auch der Zeitraum, in dem angebaut und geerntet werden kann deutlich verlängert. In vielen Regionen Bayerns lassen sich die Gemüsebeete schon heute problemlos bis nach Weihnachten beernten (SCHEU-HELGERT

2019). Aufgrund der steigenden Durchschnittstemperaturen bietet sich außerdem die Möglichkeit, mit neuen Kulturen zu experimentieren. Wärmebedürftige Arten wie Feigen, Melonen oder Ingwer können in milden Regionen bzw. unter günstigen kleinklimatischen Verhältnissen mit zunehmendem Erfolg kultiviert werden (DAK/DPA 2019). Ganz generell wirkt sich der Anstieg der Durchschnittstemperaturen positiv auf Wachstum und Entwicklung der Pflanzen aus. Ihre Stoffwechselprozesse können bei höheren Temperaturen schneller und effizienter ablaufen (SCHALLER et al. 2012). Wird jedoch das Temperaturoptimum, das je nach Pflanze verschieden ist, überschritten, so kann sich der grundsätzlich positive Effekt schnell ins Gegenteil verkehren. Besonders in den ohnehin warmen Sommermonaten dürfte ein weiterer Temperaturanstieg das Pflanzenwachstum beeinträchtigen. Der Hitzestress kann Ertrags- und Qualitätseinbußen, sowie eine höhere Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen nach sich ziehen (SCHALLER et al. 2007). Zu beachten ist auch, dass die höheren Durchschnittstemperaturen und insbesondere mildere Winter bessere Lebens- und Ausbreitungsbedingungen für Krankheitserreger und Schädlinge bedeuten. Somit wird künftig mit erhöhtem Befallsdruck zu rechnen sein. Auch die häufiger und intensiver auftretenden Unwetter und Stürme können lokal erhebliche Schäden verursachen (MENZEL 2017). Im Gegensatz dazu ist der steigende CO₂-Gehalt der Atmosphäre, zumindest aus Sicht des Pflanzenwachstums, durchaus positiv zu bewerten. Für das Klima mag CO₂ in erhöhten Konzentrationen schädlich sein, doch für Pflanzen stellt dieser Stoff den Ausgangspunkt für die lebensnotwendige Photosynthese dar. Da die heutige CO₂-Konzentration der Atmosphäre noch unter dem stoffwechselbedingten Optimum der meisten Pflanzen liegt, würden diese von einem weiteren Anstieg profitieren (FELBERMEIR 2011). Der sogenannte CO₂-Düngeeffekt kann jedoch nur wirken, wenn gleichzeitig kein anderer Wachstumsfaktor im Mangel ist (SCHALLER et al. 2012). Dies könnte künftig vor allem im Hinblick auf die Wasserversorgung kritisch werden (BUNDESVERBAND BODEN E. V.). Wassersparende Kulturverfahren und Bewässerungsmethoden werden daher weiter an Bedeutung gewinnen (SCHEU-HELGERT 2019). Insgesamt lässt sich nicht abstreiten, dass der Klimawandel einige positive Aspekte für den Gärtner mit sich bringt. Die negativen Auswirkungen können dadurch aber keinesfalls wettgemacht werden.

4. Schlusswort

Folie 52

Die zuvor präsentierten Fakten mögen zunächst erdrückend wirken und ein gewisses Gefühl der Ohnmacht hervorrufen. Doch wir sollten uns stets vor Augen halten, dass gerade der Beitrag jedes Einzelnen ausschlaggebend dafür ist, wohin die Reise geht. Der Alltag ist voll von Möglichkeiten, die eigenen Bedürfnisse und Gewohnheiten umwelt- und klimafreundlicher zu gestalten. Einige Anregungen dazu sind im Zusatzmaterial zu finden. Wir als Gärtner sind einerseits in besonderem Maße vom Klimawandel betroffen und stehen andererseits an vorderster Front, um uns für den Klimaschutz zu engagieren. In erster Linie gilt es, sich von alten Gewohnheiten zu lösen und stattdessen aktiv auf die Herausforderungen des Klimawandels zu reagieren. Es liegt in unserer Hand!

Folie 53

In den folgenden Spezialmodulen wird detailliert aufgezeigt, welchen Einfluss der Klimawandel auf die einzelnen Aspekte des Freizeitgartenbaus nimmt und wie der Hobbygärtner auf die Veränderungen reagieren kann. Es werden konkrete Anpassungsmöglichkeiten für sämtliche Gartenbereiche aufgezeigt, die das Handwerkszeug liefern, um den eigenen Garten fit für die Zukunft zu machen.

Literatur

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2007: Klimaanpassung Bayern 2020. Der Klimawandel und seine Auswirkungen - Kenntnisstand und Forschungsbedarf als Grundlage für Anpassungsmaßnahmen : Kurzfassung einer Studie der Universität Bayreuth, Augsburg.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (Hrsg.), 2008: Bayerns Klima im Wandel - erkennen und handeln, Augsburg, 2., aktualisierte Aufl., Stand: August 2008.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2012: Der Klimawandel in Bayern. Auswertung regionaler Klimaprojektionen, Augsburg.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018a: Klimabeobachtung. Niederschlag in Bayern.
https://www.lfu.bayern.de/klima/klimabeobachtung/beobachtung_bayern/niederschlag/index.htm. Zugriff am 04.06.2020.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2018b: Mittelwerte und Kenntage der Lufttemperatur.
https://www.lfu.bayern.de/wasser/klima_wandel/bayern/lufttemperatur/index.htm. Zugriff am 03.06.2020
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2019: Pilotstudie „Klimawirkungskarten Bayern“ - Abschlussbericht.
- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, 2020: Grundwasser.
https://www.lfu.bayern.de/wasser/wrrl/grundlagen_und_ziele/grundwasser/index.htm. Zugriff am 12.03.2021.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2015: Klima-Report 2015. Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten, München.
- BOCK, L., 2020: Auskunft über zu erwartende Veränderungen von Klimakenngrößen in Bayern. Email, 08.05.2020.
- BR 24, 2020: Dürre: Umweltministerin kündigt Wasser-Regeln an.
<https://www.br.de/nachrichten/deutschland-welt/duerre-umweltministerin-svenja-schulze-kuendigt-wasser-strategie-an,S7uCwEg>. Zugriff am 12.03.2021.
- BRASSEUR, G., D. JACOB & S. SCHUCK-ZÖLLER (Hrsg.), 2017: Klimawandel in Deutschland. Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. Springer Spektrum, Berlin.
- BUNDESVERBAND BODEN E. V.: Boden und Klima. Mögliche Auswirkungen auf den Boden.
<https://www.bodenwelten.de/content/moegliche-auswirkungen-auf-den-boden>. Zugriff am 04.06.2020.
- DAK/DPA, 2019: Feigen und Bananen: Exotische Pflanzen wachsen auch in Ihrem Garten.
<https://weather.com/de-DE/haus-und-garten/news/2019-07-11-warmeres-klima-diese-exotischen-obst-und-gemusesorten-wachsen-auch>. Zugriff am 20.10.2020.
- DEUTSCHE PRESSEAGENTUR (dpa), 2020: Warmer Frühling verschärft Klimawandel-Effekt. Weser Kurier 10.06.2020.
https://www.weser-kurier.de/deutschland-welt/deutschland-welt-vermishtes_artikel,-warmer-fruehling-verschaerft-klimawandeleffekt-_arid,1917758.html. Zugriff am 23.11.2020.
- DEUTSCHER WETTERDIENST: Deutscher Klimaatlas.
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimaatlas/klimaatlas_node.html. Zugriff am 04.06.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST: Globalstrahlung in der Bundesrepublik Deutschland. Mittlere Jahressummen, Zeitraum: 1981-2010. Deutscher Wetterdienst, Hamburg.
https://www.dwd.de/DE/leistungen/solarenergie/lstrahlungskarten_mi.html. Zugriff am 04.06.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST: Klimawandel. Ein Überblick.
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/klimawandel/ueberblick/ueberblick_node.html. Zugriff am 06.05.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST: Klimawandel in Deutschland: Neuer Monitoringbericht belegt weitreichende Folgen.
https://www.dwd.de/DE/klimaumwelt/aktuelle_meldungen/191126/dwd_bmu_uba_monitoringbericht.html?nn=344870. Zugriff am 06.05.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST: Zeitreihen und Trends.
<https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>. Zugriff am 04.06.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST, 2015: Der Treibhauseffekt. Natürlich und anthropogen.
https://www.dwd.de/DE/wetter/thema_des_tages/2015/12/8.html. Zugriff am 19.05.2020.

DEUTSCHER WETTERDIENST, BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE & BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU, 2020: Klimawandelbedingte Änderungen in Atmosphäre und Hydrosphäre: Schlussbericht des Schwerpunktthemas Szenarienbildung (SP-101) im Themenfeld 1 des BMVI-Expertenetzwerks. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

FELBERMEIR, T., 2011: Auswirkungen der Klimaänderung auf Naturalerträge. In: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.): Klimaänderung in Bayern. Antworten des Pflanzenbaus, 7-16.

HILBICH, C. & M. FORKEL, 2012: Infoblatt Westwindzone.
https://www2.klett.de/sixcms/list.php?page=infothek_artikel&extra=TERRA-Online%20/%20Gymnasium&artikel_id=107919&inhalt=klett71prod_1.c.150815.de. Zugriff am 27.05.2020.

KASANG, D., 2020a: Aktuelle Klimaänderungen.
https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Aktuelle_Klima%3%A4nderungen#Die_Rolle_des_Ozeans. Zugriff am 19.05.2020.

KASANG, D., 2020b: Klimaänderungen in Hochgebirgen.
https://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Klima%3%A4nderungen_in_Hochgebirgen. Zugriff am 30.09.2020.

KLIMAFAKTEN.DE: Faktensammlung zum Klimawandel. <https://www.klimafakten.de/>. Zugriff am 06.05.2020.

KLIWA, 2012: Die Entwicklung von trockenen Großwetterlagen mit Auswirkungen auf den süddeutschen Raum. Arbeitskreis KLIWA, Heft 18.

KLIWA, 2016: Monitoringbericht 2016. Lufttemperatur - zusätzliche Auswertungen für die KLIWA-Regionen. Klimawandel in Süddeutschland. Veränderung von meteorologischen und hydrologischen Kenngrößen.

KLIWA, 2019: Starkniederschläge. Entwicklungen in Vergangenheit und Zukunft. Kurzbericht.

KRAFZYK, E., 2019: Hitze, Gewitter, Starkregen - wie viel Klimawandel steckt im Wetter? Welt, 20.06.2019.

- <https://www.welt.de/wissenschaft/article195625511/Klimawandel-So-beeinflusst-er-das-Wetter-in-Deutschland.html>. Zugriff am 30.09.2020.
- KUNSTMANN, H., 2020: Was auf den Wald zukommt. Antworten eines bayerischen Klimaforschers. Online-Vortrag an der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf am 27.05.2020.
- LOZÁN, J. L., S.-W. BRECKLE, H. GRASSL & D. KASANG, 2018: Klimawandel und Wetterextreme. Ein Überblick. https://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2018/11/Wetterextreme_Ein%20Ueberblick.pdf. Zugriff am 03.06.2020.
- MAIER, H., 2019: Klimawandel. Beobachtungen und Projektionen. Vortrag am 18.11.2019 in Stuttgart. Veranstalter: AgriAdapt, Bodenseestiftung.
- MENZEL, A., 2017: Klimawandel in Bayern. Was blüht uns? In: Hans Eisenmann-Zentrum, Zentralinstitut für Agrarwissenschaften der Technischen Universität München (Hrsg.): Herausforderung Klimawandel. Tagungsband des Agrarwissenschaftlichen Symposiums des Hans Eisenmann-Zentrums 2017, 9-12.
- MET OFFICE HADLEY CENTRE, 2017: Met Office Hadley Centre observations datasets. HadCRUT.4.6.0.0. https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadcrut4/data/versions/HadCRUT.4.6.0.0_release_notes.html. Zugriff am 23.11.2020.
- PODBREGAR, N., 2019: Klimamodell erklärt schwächeren Jetstream. Artikel vom 29.05.2019, natur.de. <https://www.wissenschaft.de/erde-klima/klimamodell-erklaert-schwaechelnden-jetstream/>. Zugriff am 23.11.2020.
- POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG, 2017: Kippelemente - Achillesfersen im Erdsystem. <https://www.pik-potsdam.de/de/produkte/infothek/kippelemente>. Zugriff am 23.11.2020.
- RAHMSTORF, S., 2017: Der globale CO₂-Anstieg. Die Fakten und die Bauernfängertricks. <https://scilogs.spektrum.de/klimalounge/der-globale-co2-anstieg-die-fakten-und-die-bauernfaengertricks/>. Zugriff am 29.05.2020.
- SCHALLER, M., C. BEIERKUHNLEIN, S. RAJMIS, T. SCHMIDT, H. NITSCH, M. LIESS, M. KATTWINKEL & J. SETTELE, 2012: Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Lebensräume. In: MOSBRUGGER, V., G. P. BRASSEUR, M. SCHALLER & B. STRIBRNY (Hrsg.): Klimawandel und Biodiversität - Folgen für Deutschland, 222-259. WBG, Darmstadt.
- SCHALLER, M., H.-J. WEIGEL & S. SCHRADER (Hrsg.), 2007: Analyse des Sachstands zu Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die deutsche Landwirtschaft und Maßnahmen zur Anpassung. Bundesforschungsanst. für Landwirtschaft (FAL), Braunschweig.
- SCHAU-HELGER, M., 2019: Der Gemüsegarten im Klimawandel. Gartenpraxis (9/19), 26-29.
- SPEKTRUM.DE, 2001: Luv-Lee-Effekt. <https://www.spektrum.de/lexikon/geographie/luv-lee-effekt/4860>. Zugriff am 30.09.2020.
- STEINER, A., 2017: Niedrigwasser und Trockenheit. Auswirkungen und Maßnahmen der Wasserwirtschaft in Bayern. In: Hans Eisenmann-Zentrum, Zentralinstitut für Agrarwissenschaften der Technischen Universität München (Hrsg.): Herausforderung Klimawandel. Tagungsband des Agrarwissenschaftlichen Symposiums des Hans Eisenmann-Zentrums 2017, 33-37.
- UMWELTBUNDESAMT, 2013: Was ist eigentlich Klima? <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-eigentlich-klima>. Zugriff am 03.06.2020.