

Boden & Düngung

Folie 1

Zunächst ist klarzustellen: Boden ist nicht „der letzte Dreck“. Viel zu oft erhält der Boden bei Weitem nicht die Aufmerksamkeit, die ihm zusteht. Tatsächlich ist der Boden ein wahres Multitalent, dessen Bedeutung für das Leben auf der Erde gar nicht genug geschätzt werden kann. Ein fruchtbarer Boden stellt die Lebensgrundlage für Menschen, Tiere und Pflanzen dar (BUNDESVERBAND BODEN E. V. (b)).

Folie 2

Für das Gärtnern im Klimawandel ist der Boden insofern von besonderer Bedeutung, dass Boden, Klima und Pflanzenwachstum durch komplexe Wechselbeziehungen miteinander verknüpft sind. Infolge des Klimawandels ist mit erheblichen Veränderungen der klimatischen Einflüsse zu rechnen, wodurch sich in der Folge einschneidende Veränderungen für Abläufe im Boden und die Wachstumsbedingungen der Pflanzen ergeben werden (FELBERMEIR 2011). Gleichzeitig ergibt sich in entgegengesetzter Richtung das Potenzial, durch gezielte Verbesserung der Bodeneigenschaften nicht nur das Pflanzenwachstum zu fördern, sondern auch dem Klimawandel entgegenzuwirken (SCHALLER et al. 2007; MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011; JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT).

1. Klima und Pflanzenwachstum

1.1. Sonneneinstrahlung

Folie 5

Zu den erwarteten Klimaveränderungen, die sich in hohem Maße auf Böden und Pflanzen auswirken dürften, zählen:

- Zunehmende Sonneneinstrahlung (FELBERMEIR 2011)
- Anstieg der Durchschnittstemperaturen und häufiger auftretende Hitzeperioden (SCHALLER et al. 2007)
- Generell trockenere Wachstumsbedingungen während der Vegetationsperiode, gleichzeitig Zunahme von Starkregenereignissen und höhere Niederschlagsmengen im Winter (SCHALLER et al. 2007)
- Anstieg des CO₂-Gehalts in der Atmosphäre (SCHALLER et al. 2007)

Zunächst sollen die direkten Auswirkungen der Klimaveränderungen auf das Pflanzenwachstum betrachtet werden.

Folie 6

Die Sonneneinstrahlung stellt den Motor der Photosynthese dar, bei der die Pflanzen die Ausgangsstoffe Kohlendioxid und Wasser mit Hilfe der Sonnenenergie in energiereiche Kohlenhydrate umwandeln. Diese Umwandlungsprodukte nutzen sie zum Aufbau ihrer Biomasse. (FELBERMEIR 2011; PFLANZENFORSCHUNG.DE). Durch die zunehmende Sonnenscheindauer infolge des Klimawandels gelangt mehr Sonnenstrahlung auf die Erde, wodurch die Photosynthese und somit auch das Pflanzenwachstum gefördert wird (DEUTSCHER WETTERDIENST 2020; BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ 2015; FELBERMEIR 2011).

1.2. Temperatur

Folie 7

Auch der Anstieg der Durchschnittstemperaturen wirkt sich grundsätzlich positiv auf Wachstum und Entwicklung von Pflanzen aus, allerdings nur bis zum individuellen Optimalbereich (SCHALLER et al. 2007; WEIGEL 2011). Übersteigen die Temperaturen das jeweilige Optimum auch nur gering, so ist mit Wachstums- und Ertragseinbußen, sowie einer höheren Anfälligkeit gegenüber Krankheiten und Schädlingen zu rechnen (SCHALLER et al. 2007; SCHALLER et al. 2012).

Insbesondere in den Winter- und Frühlingsmonaten, in denen die Temperatur den wesentlich begrenzenden Wachstumsfaktor darstellt, dürften Pflanzen von der Erwärmung profitieren (WEIGEL 2011). In den ohnehin warmen Sommermonaten wird ein weiterer Temperaturanstieg zur Überschreitung des optimalen Bereichs der meisten Pflanzen führen und ihr Wachstum beeinträchtigen.

Folie 8

Vor allem in den Phasen der Samen- und Fruchtbildung reagieren Pflanzen äußerst empfindlich auf zu hohe Temperaturen. Beispielsweise kann Hitzestress bei Fruchtgemüse wie Tomaten, Auberginen oder Gurken das Absterben von Blüten oder jungen Früchten auslösen (WEIGEL 2011). Weiterhin ist bei Tomaten die Ausbildung eines sogenannten „Grünkragens“ möglich. Bei Radieschen, Kopf- und Feldsalat oder Spinat kann es zu vorzeitigem Schossen kommen (SCHALLER et al. 2007).

1.3. Feuchtigkeit

Folie 9

Besonders kritisch dürfte sich der Klimawandel auf die Wasserversorgung der Pflanzen auswirken. Grundsätzlich ist mit zunehmender Frühjahrs- und Sommertrockenheit zu rechnen. Niederschläge treten immer seltener, dafür aber umso intensiver auf. Ist der Boden nach einer längeren Trockenperiode stark ausgetrocknet und verkrustet, können Niederschläge, insbesondere die künftig häufiger zu erwartenden Starkniederschläge, nur schlecht aufgenommen werden (SCHALLER et al. 2012). Darüber hinaus verstärkt die Erwärmung die Wasserverluste durch Verdunstung aus dem Boden (WEIGEL 2011). Gleichzeitig wird von den Pflanzen bei höheren Temperaturen aber auch mehr Wasser benötigt, sodass die Wasserversorgung vor allem in den Sommermonaten zum begrenzenden Faktor der Pflanzenentwicklung werden dürfte (BUNDESVERBAND BODEN E. V. (a)).

1.4. CO₂

Folie 10

Für das Klima mag CO₂ in hohen Konzentrationen schädlich sein, doch für Pflanzen stellt dieser Stoff zusammen mit Wasser den Ausgangspunkt für die Photosynthese und damit die Grundlage ihres Lebens 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). Diese positiven Auswirkungen auf die Photosyntheseleistung und folglich auf das Pflanzenwachstum werden als CO₂-Düngeeffekt bezeichnet.

1.5. Gesamtbilanz

Folie 16

Beim Versuch, eine Zwischenbilanz zu ziehen, wird Folgendes deutlich: Die erwarteten Veränderungen von Strahlung, Temperatur, Niederschlag und CO₂ können das Pflanzenwachstum je nach Ausprägung entweder positiv oder negativ beeinflussen. Zu beachten ist dabei, dass das Pflanzenwachstum stets durch denjenigen Einflussfaktor begrenzt wird, der im Minimum vorliegt. D. h. beispielsweise, dass die grundsätzlich positiven Effekte von mehr Licht, CO₂ und höheren Temperaturen von der Pflanze nur ausgenutzt werden können, wenn ihr ausreichend Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stehen. Die

einzelnen Wachstumsfaktoren sind durch enge Wechselwirkungen miteinander verknüpft, sodass optimales Wachstum nur möglich ist, wenn sämtliche Faktoren in ausgewogenem Verhältnis vorliegen und die Anforderungen der Pflanze erfüllen (SCHALLER et al. 2007; SCHALLER et al. 2012; FELBERMEIR 2011).

Folie 12

Das endgültige Resultat wird je nach Standort variieren, da die Pflanzen lokal mit abweichenden Klima- und Witterungsverhältnissen konfrontiert sind. Außerdem üben die jeweiligen Bodengegebenheiten maßgeblichen Einfluss auf das Pflanzenwachstum aus. Eine besondere Bedeutung kommt dabei dem Humusgehalt des Bodens zu (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011).

2. Humus

Folie 14

Humus ist gewissermaßen das „Schwarze Gold“ des Gärtners. Doch was genau versteht man unter Humus und was macht ihn für den Garten so wertvoll?

Humus ist nichts anderes als die abgestorbene und zersetzte organische Substanz des Bodens (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2019). Dazu zählen sämtliche abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe im oder auf dem Boden, sowie deren organische Umwandlungsprodukte (MEINKEN 2020). Humus besteht zum großen Teil aus Kohlenstoff. Dies ist nicht verwunderlich, wenn man bedenkt, dass Pflanzen im Laufe ihres Lebens große Mengen des Treibhausgases CO₂ aus der Luft binden und den enthaltenen Kohlenstoff in ihre Biomasse einbauen. Nach dem (oberirdischen) Absterben gelangt der gebundene Kohlenstoff, der ehemals in Form des Treibhausgases CO₂ vorlag, als Humus in den Boden. Humus ist also ein wichtiger Kohlenstoffspeicher und nimmt somit auch für den Klimaschutz eine zentrale Rolle ein. Humus ist allerdings kein dauerhaft beständiger Stoff. Stattdessen unterliegt er einem ständigen Auf-, Um- und Abbau durch Bodenorganismen (BUNDESVERBAND BODEN E. V. (a)). Wieviel Humus der Boden enthält, wird maßgeblich von klimatischen Einflüssen, aber auch von der Art und Weise der Bewirtschaftung beeinflusst (MEINKEN 2020). Die Untersuchung bayerischer Gartenböden ergab, dass 97% der überprüften Böden hoch mit Humus versorgt sind, was sich durch die langjährige Zufuhr von Kompost oder anderen organischen Stoffen zur Bodenverbesserung erklären lässt (MEINKEN & BUCHER 2021).

2.1. Bedeutung des Humus für die Bodenfruchtbarkeit

Folie 15

Der Humusgehalt des Bodens stellt einen ausschlaggebenden Faktor für die Fruchtbarkeit eines Standortes dar. Einerseits trägt Humus zur Verbesserung der Bodenstruktur und zur Herstellung eines stabilen Krümelgefüges bei, was der Erosion, also den Abtrag von fruchtbarem Oberboden, bei Wind oder Starkregenereignissen entgegenwirkt. Außerdem ist Humus ein hervorragender Wasserspeicher: Er kann das Drei- bis Fünffache seines eigenen Gewichts an Wasser aufnehmen und speichern, was der Wasserversorgung der Pflanzen in Trockenperioden zugutekommt (MEINKEN 2020; BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT 2019; MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011). Weiterhin dient Humus dem Bodenleben als Nahrungs- und Energiequelle und fördert somit dessen Aktivität (JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT). Bei der Zersetzung des Humus werden die organisch gebundenen Nährstoffe mineralisiert und dadurch pflanzenverfügbar. Da der Großteil bayerischer Gartenböden viel Humus enthält, ist die Nachlieferung von Nährstoffen aus der organischen Substanz bei der Bemessung der Düngergaben stets zu berücksichtigen (MEINKEN & BUCHER 2021).

Folie 16

In Abhängigkeit von der Qualität der Ausgangssubstanzen unterscheidet man leicht abbaubaren Nährhumus und stabilen Dauerhumus. Leicht abbaubare Bestandteile wie Rasenschnitt oder Laub werden zügig zu anorganischen Endprodukten abgebaut. Neben Nährstoffen für Bodenleben und Pflanzen wird dabei jedoch auch der vormals in der Biomasse gebundene Kohlenstoff wieder in Form des Treibhausgases CO₂ freigesetzt. Grundlage des sogenannten Dauerhumus bilden schwer abbaubare Bestandteile wie Stroh oder verholzte Pflanzenteile, die nur langsam umgesetzt werden. Wertvoll ist der Dauerhumus insbesondere aufgrund seiner bodenverbessernden Eigenschaften (MEINKEN 2020), doch kommt ihm durch die langfristige Fixierung von Kohlenstoff im Boden auch eine entscheidende Rolle für den Klimaschutz zu (JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT). So kann Dauerhumus über Jahrhunderte, in Einzelfällen sogar über Jahrtausende stabil bleiben und den von den Pflanzen gebundenen Kohlenstoff im Boden speichern (POPP 2021).

3. Klimawandel und Boden

Folie 18

Das Vermögen, Kohlenstoff bzw. CO₂ sowohl zu speichern, als auch freizusetzen, verleiht dem Boden eine enorme Bedeutung im Klimasystem. Nach den Ozeanen sind Böden die zweitgrößte Kohlenstoffspeicher und speichern mehr als doppelt so viel Kohlenstoff wie die gesamte Vegetation (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2015; BOUSLAMA & BIRLI 2015).

Zunächst: Kohlenstoff ist nicht böse oder schlecht. Ohne Kohlenstoff bzw. funktionierenden Kohlenstoffkreislauf gäbe es kein Leben auf der Erde. Kohlenstoff ist das wichtigste Element pflanzlichen Lebens aber auch Baustein des Treibhausgases CO₂ (LUDOLPH 2021). In dieser Form liegt Kohlenstoff in der Atmosphäre vor. Im Zuge der Photosynthese nehmen Pflanzen CO₂ aus der Luft auf und nutzen es nach Umwandlungsprozessen für den Aufbau von Biomasse. Über die Pflanzenatmung, die vor allem nachts stattfindet, wird ein Teil des zuvor gebundenen CO₂ wieder an die Atmosphäre abgegeben (KASANG 2017). In den Boden wird der Kohlenstoff einerseits aktiv durch Wurzelausscheidungen der Pflanzen eingetragen (EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2015). Andererseits gelangt der in der Biomasse gespeicherte Kohlenstoff mit der Streu, also mit abgestorbenen Pflanzenteilen, auf den Boden und wird zu Humus. Das heißt, dass das CO₂, das Pflanzen aus der Luft gebunden und in Form von Kohlenstoff in ihre Körpersubstanz eingebaut haben, in Form von Humus im Boden gespeichert wird. Im Boden beginnen Mikroorganismen damit, den Humus zu zersetzen und in seine Bestandteile aufzuschließen. Bei diesem Prozess wird ein Teil des enthaltenen Kohlenstoffs stabilisiert und langfristig im Boden gespeichert. Der Rest des Kohlenstoffs wird wieder freigesetzt, gelangt als CO₂ in die Bodenluft und schließlich wieder in die Atmosphäre. Natürlicherweise herrscht ein ständiger Kreislauf von CO₂-Aufnahme und -Abgabe bzw. Humusaufbau und -abbau vor. (KASANG 2017).

Folie 19

Wie könnten sich die Klimaveränderungen auf diese Bilanz auswirken? Und welche Folgen ergeben sich daraus für die Wachstumsbedingungen der Pflanzen?

Eine pauschale Antwort auf diese Fragen kann nicht formuliert werden. Wesentliche Auswirkungen auf die Prozesse des Humusaufbaus und -abbaus haben klimatische Einflüsse. Da der Witterungsverlauf einer Saison im Voraus nicht absehbar ist, kann auch die Humusbilanz bzw. die Nachlieferung von Nährstoffen aus der organischen Substanz nicht exakt vorab bestimmt werden. Grundsätzlich gilt, dass die am Abbau beteiligten Mikroorganismen am besten unter warmen, feuchten

Bedingungen arbeiten. Unter diesen Umständen wird die organische Substanz des Bodens zügig abgebaut und die gebundenen Nährstoffe freigesetzt.

Folie 20

Im Frühjahr und Sommer, wenn die Pflanzen in vollem Wachstum stehen und der Nährstoffbedarf hoch ist, ist dieses Szenario optimal. Infolge des Klimawandels zeigt sich allerdings auch der Herbst oftmals auffallend mild. Konsequenterweise schließen die Mikroorganismen des Bodens weiterhin rege Nährstoffe aus der organischen Substanz des Bodens auf. Stehen keine Pflanzen mehr auf dem Beet, die diese Nährstoffe aufnehmen und verwerten, sind die Nährstoffe verstärkt von der Auswaschung betroffen (KELL 2021). Speziell das leicht lösliche Nitrat, die pflanzenverfügbare Form des Hauptnährstoffes Stickstoff, kann mit dem Sickerwasser verstärkt ins Grundwasser ausgetragen werden, wo es in erhöhten Konzentrationen als Schadstoff gilt.

Folie 21

Besonders kritisch im Hinblick auf die Nährstoffdynamik sind Starkniederschläge zu betrachten. Bei derartigen Ereignissen besteht ganzjährig die Gefahr, dass große Mengen an frei vorliegenden Nährstoffen ins Grundwasser ausgewaschen werden (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011; WEIGEL 2011; UMWELTBUNDESAMT 2020). Herrschen hingegen Hitze und Trockenheit vor, so wird nicht nur das Pflanzenwachstum, sondern auch das Bodenleben beeinträchtigt. In der Folge kommt der Humusabbau und somit auch die Nährstoffnachlieferung nahezu zum Erliegen (SCHALLER et al. 2007; BUNDESVERBAND BODEN E. V. (a)).

Die Beispiele zeigen, dass die Bilanz zwischen Humusaufbau und -abbau bzw. Nährstofffreisetzung und -aufnahme je nach konkreten Witterungsbedingungen von Ort zu Ort und Jahr zu Jahr unterschiedlich ausfallen kann.

Folie 22

Unabhängig davon sollten wir uns darum bemühen, den Humusgehalt des Bodens zu erhalten und den Humusaufbau gezielt zu fördern (SCHEMBECKER). Damit lässt sich einerseits die Standortqualität für die Pflanzen enorm verbessern, was sie wiederum robuster und widerstandsfähiger gegenüber den Strapazen des Klimawandels macht (BOUSLAMA & BIRLI 2015). Andererseits stellt der Aufbau von Dauerhumus eine Möglichkeit zur langfristigen Fixierung von Kohlenstoff im Boden und somit zur Reduzierung des Treibhauseffekts dar (JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT).

4. Anpassungsstrategien

Folie 23

Folgende bekannte und bewährte Maßnahmen aus dem ökologischen Anbau tragen zum Bodenschutz bei und helfen somit auch bei der Anpassung an den Klimawandel und dem Klimaschutz.

4.1. Kompost

Folie 25

Kompost ist ein wertvoller Dünger und Bodenverbesserer. Indem Gartenabfälle kompostiert und in Form von Kompost wieder in den Garten eingebracht werden, entsteht ein geschlossener Nährstoffkreislauf (FISCHER & JAUCH 1999). Auch im Hinblick auf den Klimaschutz bringt die Eigenkompostierung Vorteile mit sich: Transportwege für die Entsorgung von Bioabfällen entfallen und energieaufwändig hergestellte mineralische Dünger können gut durch den eigenen Kompost ersetzt

werden (FISCHER & JAUCH 1999; DIE UMWELTBERATUNG 2011). Die enthaltenen Nährstoffe sind in der organischen Substanz eingeschlossen und müssen zunächst durch Abbauprozesse freigesetzt werden. Sie sind also nicht unmittelbar nach der Ausbringung, sondern erst einige Wochen bis Monate später pflanzenverfügbar. Pauschal gilt die Empfehlung, dass eine jährliche Gabe von 3 l Kompost/m², also eine Schichtdicke von nur 3 mm, den Nährstoffbedarf der meisten Kulturpflanzen abdeckt.

Folie 26

Zu beachten ist, dass nicht alle Nährstoffe im Kompost in dem Verhältnis vorliegen, in dem sie von der Pflanze benötigt werden. Insbesondere der Phosphatgehalt von Kompost ist meist sehr hoch, sodass die oben genannte Kompostmenge am Phosphatbedarf der Pflanze ausgerichtet ist, um eine übermäßige Phosphat-Anreicherung im Boden zu vermeiden. Da der Stickstoffbedarf von starkzehrenden Kulturen in diesem Zuge nicht vollständig gedeckt werden kann, empfiehlt sich eine zusätzliche Stickstoff-Düngung, beispielsweise mit Hornmehl oder -gries. So positive Effekte die Kompostanwendung auch mit sich bringen mag, eine Überversorgung sollte dennoch vermieden werden. Einerseits würde dies wie bereits angesprochen zu einseitiger Nährstoffanreicherung im Boden, aber auch zu verstärkter Auswaschungsgefahr der übermäßig verabreichten Nährstoffe führen. Darüber hinaus ist Kompost oft sehr salzhaltig, sodass zu hohe Gaben bei empfindlichen Kulturen Salzschäden hervorrufen können. Um einen Überblick über den aktuell im Boden vorhandenen Nährstoffvorrat zu bekommen und Kompost- bzw. Düngergaben danach ausrichten zu können, ist eine regelmäßige Analyse von Bodenproben anzuraten. (FISCHER & JAUCH 1999).

4.2. Organischer Dünger

Folie 28

Grundsätzlich wird Kompost der Gruppe der organischen Düngemittel zugerechnet (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011). Bei dieser Gruppierung handelt es sich um Substanzen pflanzlicher oder tierischer Herkunft, oft Abfallstoffe aus Landwirtschaft, Gartenbau oder Lebensmittelverarbeitung, in denen die enthaltenen Nährstoffe in organisch gebundener Form vorliegen (DIE UMWELTBERATUNG 2011). Neben Kompost zählen beispielsweise Mist, Jauche und Gülle zu den sogenannten organischen Wirtschaftsdüngern. Der Gartenfachhandel liefert darüber hinaus eine breite Palette organischer Handelsdünger, wie zum Beispiel Hornspäne, -grieß, oder -mehl, Schafwoll-Pellets, Vinasse, Guano oder Leguminosenschrot. Die enthaltenen Nährstoffe werden erst nach und nach bei der Zersetzung des organischen Materials freigesetzt und sind somit nicht unmittelbar pflanzenverfügbar (BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT).

Folie 29

Bei Horndüngern entscheidet in erster Linie die Körnung darüber, wie schnell die Nährstoffe freigesetzt werden und wie lange die Düngewirkung anhält. Die eher groben Hornspäne werden nur langsam aufgeschlossen, sodass bei einer Ausbringung im Frühjahr z. T. erst im Herbst mit größeren Mengen an frei verfügbaren Nährstoffen zu rechnen ist. Es empfiehlt sich daher, Hornspäne entweder bereits im Herbst des Vorjahres auszubringen oder auf feinere Körnungen wie Horngrieß oder -mehl zurückzugreifen. Aus diesen werden die Nährstoffe rascher freigesetzt, dafür ist ihre Wirkung nicht so nachhaltig wie diejenige von Hornspänen. Generell sollten organische Düngemittel nach dem Aufstreuen flach in den Boden eingearbeitet werden, damit die zersetzenden Mikroorganismen möglichst viel Angriffsfläche vorfinden (SIEMENS 2021). Zu tief sollten die Dünger allerdings nicht vergraben werden, da für die weiteren Ab- und Umbauprozesse eine gute Sauerstoffversorgung notwendig ist (FISCHER & JAUCH 1999).

Folie 30

Zu beachten ist, dass die Nährstofffreisetzung in hohem Maße von der Witterung abhängig ist. So kann es beispielsweise im noch kühlen Frühjahr zu verzögerter Freisetzung kommen und auch sommerliche Trockenperioden können die Umsetzung der organischen Substanz hemmen (ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT GMBH 2019; SCHALLER et al. 2007). Da es sich bei organischen Düngemitteln um Naturprodukte handelt, unterliegen die Nährstoffgehalte durchaus Schwankungen. In Kombination mit der wechselhaften Nährstofffreisetzung erschwert diese Eigenschaft die exakte Kulturführung, was im Freizeitgartenbau jedoch von weitaus geringerer Bedeutung ist, als im Profianbau (BUCHER 2020). Für die Verwendung organischer Düngemittel spricht, dass sie zumeist als Abfallprodukte anfallen und nicht erst, wie mineralische Dünger, unter hohem Energieaufwand erzeugt werden müssen (DIE UMWELTBERATUNG 2011).

4.3. Mulchen

Folie 32

Nicht genug zu schätzen sind die positiven Auswirkungen, die die Bedeckung des Bodens mit einer Mulchschicht mit sich bringt. Ganz nach dem Vorbild der Natur wird der Boden beim Mulchen mit einer Schicht aus unverrotteten, organischen Materialien bedeckt. Durch diese Maßnahme wird die Entwicklung eines krümeligen, humusreichen, intensiv belebten und somit fruchtbaren Bodens gefördert (HÖLZER 2017; SCHEU-HELGERT 2020).

Folie 33

Konkret sind mit dem Mulchen des Bodens folgende Vorteile verbunden:

Zunächst trägt die Mulchschicht zum Ausgleich der Bodentemperatur bei und verhindert durch ihre isolierenden Eigenschaften, dass sich der Boden darunter zu stark erhitzt. Außerdem hemmt die Mulchschicht die Verdunstung von Wasser aus dem Boden, was gerade in heißen, trockenen Phasen einen entscheidenden Vorteil für den Erhalt der Bodenfeuchtigkeit mit sich bringt. (BAYERISCHER LANDESVERBAND FÜR GARTENBAU UND LANDESPFLEGE E. V. 2005; HÖLZER 2017).

Weiterhin lässt sich mit einer Mulchabdeckung das Risiko für Bodenabtrag und Verschlammung infolge von Wind oder Starkregen eindämmen. Einerseits wirkt der Mulch als Schutzschicht, die die Aufprallenergie der Regentropfen abdämpft. Andererseits sorgt die Bedeckung des Bodens dafür, dass seine offenporige Oberfläche erhalten bleibt, was eine bessere Aufnahme des Niederschlags, insbesondere bei Starkregen, ermöglicht (SCHEU-HELGERT 2020).

Nicht zu vergessen ist, dass die Mulchschicht zur Unterdrückung von Samenunkräutern beiträgt (WEIGEL 2011).

Folie 34

Zu beachten ist, dass die Mulchschicht, insbesondere bei der Verwendung von Rasen, eine willkommene grüne Brücke für Schnecken darstellen kann. Um es den Schädlingen nicht einfacher als nötig zu machen, sollte jeweils nur schleierartig dünn gemulcht und die nach und nach verschwindende Grünmasse bei Bedarf wieder ergänzt werden (SCHEU-HELGERT 2020).

Mit der Zeit reiht sich die ausgebrachte organische Substanz in den Nährstoffkreislauf ein und wird zu Humus. Die Folge des kontinuierlichen Eintrags von organischer Substanz ist eine fortlaufende Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit (SCHEMBECKER). Dass beim Abbau der Mulchmaterialien kontinuierlich Nährstoffe freigesetzt werden, ist bei der Bemessung der Düngergaben zu berücksichtigen (SCHEU-HELGERT 2020; MEINKEN & BUCHER 2021). Insbesondere wenn mit frischem

Pflanzenmaterial wie zum Beispiel Rasenschnitt gemulcht wird, ist ein erheblicher Stickstoffeintrag zu verzeichnen. Werden Staudenbeete oder Gehölze mit Rasenschnitt gemulcht, so sind zusätzliche Düngergaben in der Regel überflüssig. Um eine übermäßige Stickstoffnachlieferung zu vermeiden, sollte die Schichtdicke beim Mulchen mit Rasenschnitt über das Jahr summiert bei Gehölzen nicht höher als 1 cm und bei Stauden nicht höher als 2 cm ausfallen (AID 2012).

Folie 35

Zum Mulchen eignen sich verschiedenste Materialien. Je nach Einsatzbereich im Garten bieten sich beispielsweise Rasenschnitt, Falllaub, Ernterückstände, Heu, Stroh, Holzwolle oder Rindenmulch an (SCHEU-HELGERT 2020).

Folie 36

Letztgenannte Stoffe besitzen jedoch ein relativ weites C/N-Verhältnis, also einen verhältnismäßig geringen Stickstoffgehalt im Vergleich zum Kohlenstoffgehalt, was beim Abbau zu Problemen führen kann. Ebenso wie Pflanzen benötigen auch die am Abbau der Biomasse beteiligten Mikroorganismen Stickstoff als Energiequelle und als Grundlage für den Aufbau ihrer Körpersubstanz. Wird mit stickstoffarmen Materialien wie Stroh, Holzwolle oder Rindenmulch gemulcht, so reicht der enthaltene Stickstoff nicht aus, um den Bedarf der Mikroorganismen zu decken. Sie suchen daher nach alternativen Stickstoffquellen und verschaffen sich Zugang zum mineralischen Stickstoff-Reservoir des Bodens. Diesen Stickstoff bauen sie in ihre Körpersubstanz ein und machen ihn dadurch für Pflanzen unzugänglich. In der Folge können bei der Pflanze Stickstoffmangel-Symptome auftreten. Um diese Konkurrenz zwischen Mikroorganismen und Pflanze zu verhindern, ist bei der Ausbringung von stickstoffarmen Mulchmaterialien stets eine Stickstoff-Ausgleichsdüngung zu verabreichen (MEINKEN 2020). Diese sollte in einer Größenordnung von etwa 10 g N/m² liegen. Beispielsweise lässt sich dies durch eine Gabe von ca. 70 g Hornspänen, -grieß oder -mehl/m² realisieren (AID 2012; SCHEU-HELGERT 2020).

4.4. Gründüngung

Folie 38

Eine wahre Kur für jeden Boden stellt die Einsaat von Gründüngungspflanzen dar. Beete können damit sowohl ganzjährig, als auch vor bzw. nach der eigentlichen Hauptfrucht begrünt werden. Dadurch wird eine möglichst durchgängige Bedeckung des Bodens sichergestellt, die ihn effektiv vor Witterungseinflüssen abschirmt. Ähnlich wie eine Mulchschicht schützt der Bewuchs den Boden vor Austrocknung, Verschlammung, Erosion und Unkrautauflaufen (NIEMEYER-LÜLLWITZ; BAYERISCHER LANDESVERBAND FÜR GARTENBAU UND LANDESPFLEGE E. V. 2005). Da die Gründüngungspflanzen nicht geerntet, sondern stattdessen in den Boden eingearbeitet werden, führen sie dem Boden wieder die Nährstoffe zu, die sie zuvor aufgenommen haben. Außerdem tragen sie zur Aktivierung des Bodenlebens und zum Aufbau von Humus bei (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN). Darüber hinaus besitzen Gründüngungspflanzen die wertvolle Fähigkeit, den Boden mit Hilfe ihres Wurzelwerks zu lockern und zu durchlüften, was dessen Struktur und Bearbeitbarkeit deutlich verbessert (NIEMEYER-LÜLLWITZ; LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN). Ein positiver Effekt ist weiterhin, dass blühende Gründüngungspflanzen Nektar und Pollen für Insekten liefern. Mit einer besonderen Gabe sind Gründüngungspflanzen aus der Familie der Schmetterlingsblütler (Fabaceae/Leguminosen) ausgestattet: Lupinen, Klee, Erbsen, Bohnen und ihre Verwandten sind in der Lage, mit Hilfe spezieller Knöllchenbakterien, die in Symbiose mit ihren Wurzeln leben, Stickstoff aus der Luft zu binden und diesen zu speichern. Nach dem Absterben der Pflanzen wird der gebundene Stickstoff freigesetzt und für die Folgekultur als Nährstoff verfügbar gemacht (NIEMEYER-LÜLLWITZ). All

diese Aspekte tragen zu der Empfehlung bei, den Boden nie brach liegen zu lassen, sondern stattdessen für seine vielfältige und dauerhafte Begrünung zu sorgen.

4.5. Bodenbearbeitung

Folie 40

Grundsätzlich kostet jede Bodenbearbeitung den Boden Wasser, sodass die Maßnahmen auf das nötigste beschränkt werden sollten (SCHALLER et al. 2007). Explizit davon ausgenommen ist das oberflächliche Hacken des Bodens, durch das sich Verkrustungen aufbrechen lassen und eine offenporige, krümelige Oberfläche erhalten bleibt. Verkrustete Böden bilden mit der Zeit feine Risse, die bis in tiefe Bodenschichten reichen können. Aus diesen Rissen oder Röhren (=Kapillaren) steigt das Bodenwasser bis zur Oberfläche auf, wo es schließlich durch Verdunstung für Boden und Pflanze verloren geht. Durch oberflächliches Hacken können diese unterirdischen „Wasserleitungen“ durchbrochen und die Verdunstungsverluste effektiv verringert werden (BAYERISCHER LANDESVERBAND FÜR GARTENBAU UND LANDESPFLEGE E. V. 2006). Gehackt werden sollte regelmäßig, doch besonders nach Starkniederschlägen, die häufig eine oberflächliche Verschlammung und Verkrustung des Bodens hervorrufen, ist diese Maßnahme sehr wichtig (BECK 2021).

Folie 41

Kommen wir nun zur Grundbodenbearbeitung. Durch die tiefgründige Lockerung des Bodens schafft der Gärtner günstige Bedingungen für Wachstum und Entwicklung seiner Kulturpflanzen - so das eigentliche Ziel. Geht man dabei allerdings nicht behutsam vor, kann mehr Schaden als Nutzen entstehen (DIE UMWELTBERATUNG 2020).

Für die Grundbodenbearbeitung ist vor allem der richtige Zeitpunkt ausschlaggebend. Grundsätzlich sollte der Boden bei der Bearbeitung nicht zu nass sein, da es ansonsten zu Verdichtung und Schädigung des Bodengefüges kommen kann. Für einen Schnelltest zur Abschätzung der Bearbeitbarkeit des Bodens kann man einen erbsengroßen Erdkrümel aus ca. 10 cm Bodentiefe entnehmen und diesen zwischen den Fingern zerdrücken. Im Optimalfall sollte dieser in viele kleine Teile zerfallen. Entsteht dabei stattdessen eine schmierige Masse, so ist der Boden zu feucht für eine Bearbeitung (DIE UMWELTBERATUNG 2020).

Und zu welcher Jahreszeit sollte man den Boden bearbeiten? Macht es überhaupt einen Unterschied, ob die Beete direkt nach dem Abräumen im Herbst oder erst im Frühjahr bearbeitet werden?

Die Antwort ist ein eindeutiges Ja, es macht einen Unterschied, und im Hinblick auf die immer milder werdende Herbstwitterung, die der Klimawandel beschert, erst recht. Wie bereits angesprochen führen die milden Temperaturen dazu, dass weiterhin Nährstoffe aus der organischen Bodensubstanz freigesetzt werden, die in der Folge stark auswaschungsgefährdet sind (KELL 2021). Lockert man den Boden bereits im noch warmen Herbst, so regt die Belüftung den Humusabbau und die Freisetzung von Nährstoffen nur noch stärker an. Umgegraben werden sollte erst, wenn der Boden Temperaturen unter 5 °C erreicht hat, denn ab dieser Schwelle läuft die Stickstofffreisetzung kaum noch ab (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU 2019). Da der Boden in einigen Wintern gar nicht mehr richtig durchfriert, entfällt jedoch eines der Hauptargumente für das Umgraben. Der eigentliche Sinn hinter dem grobscholligen Umgraben vor dem Winter liegt darin, die winterliche Frostgare, durch die die groben Schollen in feine Krümel gesprengt werden, zu nutzen. Friert der Boden nicht mehr durch, so bleibt dieser gewünschte Effekt allerdings aus (BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU 2018).

Folie 42

Nicht nur aus diesem Grund raten Experten zunehmend vom Umgraben mit dem Spaten ab und empfehlen stattdessen eine nicht wendende Bodenbearbeitung. Durch die Wendung des Bodens gelangt nämlich die untere, wenig belebte Erdschicht nach oben, während die obere, von sauerstoffbedürftigen Organismen bewohnte Bodenschicht am tiefsten vergraben wird. Bodenleben und -struktur werden durch das Umgraben also in erster Linie gestört und benötigen einige Zeit um sich an die neuen Gegebenheiten anzupassen (DIE UMWELTBERATUNG 2020). Weiterhin begünstigt das Umgraben die Verdunstung von Wasser aus dem Boden (SCHEMBECKER) und befördert Unkrautsamen aus tieferen Bodenschichten an die Oberfläche, wo sie auskeimen können (NEUMAIER 2020). Wird der Boden nicht gewendet, sondern lediglich mit Grabegabel und Grubber aufgelockert, können diese negativen Aspekte umgangen werden.

Folie 43

Dennoch ist das Umgraben nicht generell zu verteufeln. Die optimale Bodenbearbeitung hängt nämlich stets von der vorliegenden Bodenart ab. Wer auf schweren, zu Verdichtung neigenden Böden gärt, sollte auf tiefgründiges Umgegraben nicht verzichten. Durch diese Maßnahme lassen sich hartnäckige Verdichtungen aufbrechen und eine ausreichende Durchlüftung des Bodens erreichen (KELL 2021).

Folie 44

Besonders auf eher leichten, sandigen Böden kann es aber durchaus sinnvoll sein, nicht umzugraben, sondern stattdessen im Spätsommer oder Herbst Gründümpfpflanzen einzusäen. Diese fungieren als „Zwischenspeicher“ für die im Herbst noch freigesetzten Nährstoffe, indem sie diese aufnehmen, in ihre Körpersubstanz einbauen und im Frühjahr nach der Einarbeitung in den Boden wieder für andere Pflanzen verfügbar machen. Über den Winter verbleiben die Pflanzen als schützende Mulchschicht auf den Beeten. Gut zur Winterbegrünung geeignet sind schnellwachsende, abfrierende Kulturen wie Phacelia und Buchweizen oder überwinternde Arten wie Winter-Roggen oder Winter-Wicke (KELL 2021). Handelt es sich um winterharte Arten, so müssen diese nach ihrer Wachstumszeit zunächst gerodet werden. Nicht winterharte Arten frieren aufgrund der Winterkälte ohnehin ab. Mit einer Hacke oder einem Sauzahn wird die Pflanzensubstanz grob in den Boden eingearbeitet oder als Mulch auf der Bodenoberfläche belassen (HEISTINGER 2013). Wird vor dem Winter sehr spät umgegraben, können die Pflanzen dabei direkt mit eingearbeitet werden. Ansonsten erfolgt die Einarbeitung im Frühjahr möglichst flach, denn für einen zügigen Abbau der Pflanzensubstanz ist Sauerstoff notwendig.

4.6. Düngung

Folie 46

Durch eine zielgerichtete Düngung lassen sich Pflanzen bei Wachstum und Entwicklung unterstützen. Dabei greift nicht immer der gute alte Grundsatz „Viel hilft viel“. Vielmehr sollte darauf geachtet werden, dass lediglich der bereits im Boden vorliegende Nährstoffvorrat ergänzt und die von der Pflanze aufgenommenen Nährstoffe wieder zugeführt werden. Damit die Nährstoffe bedarfsgerecht verabreicht werden können, ist es Voraussetzung, regelmäßig Bodenproben aus dem Garten zu analysieren, um die Düngermenge auf den vorhandenen Nährstoffvorrat des Bodens abstimmen zu können. Außerdem ist die zu erwartende Nachlieferung von organisch gebundenem Stickstoff aus im Vorjahr verabreichten organischen Düngern, eingearbeiteter Gründümpfung, Ernterückständen, Mulchmaterialien oder dem Humus selbst zu berücksichtigen. Durch die Anrechnung der Stickstoffnachlieferung reduziert sich der Düngebedarf an Stickstoff und die Pflanze wird trotzdem optimal versorgt. (MEINKEN & BUCHER 2021).

Folie 47

Generell lässt sich beim Nährstoffbedarf eine grobe Differenzierung nach Gartenbereichen vornehmen: Stauden, Gehölze und Beerenobst gehören zu den genügsamen Kandidaten, deren Bedarf sich in der Regel schon mit einer Kompostgabe decken lässt. Anders sieht es im Gemüsegarten und beim Rasen aus. In diesen Bereichen erfordert die Düngung mehr Fingerspitzengefühl, um den vergleichsweise hohen Nährstoffbedarf zu decken, aber auch nicht zu überschreiten (SCHEU-HELGERT 2021). Zu hohe Düngergaben können das Pflanzenwachstum beeinträchtigen, zu einer höheren Anfälligkeit gegenüber Schaderregern, zur einseitigen Nährstoffanreicherung im Boden, zur Auswaschung von Nährstoffen und zur Verschwendung wertvoller Ressourcen führen, sodass die bedarfsgerechte Düngung sowohl für das Pflanzenwachstum, als auch für den Umweltschutz eine zentrale Bedeutung einnimmt (MEINKEN & BUCHER 2021).

Tipps zur erfolgreichen Düngung im Hausgarten sind im entsprechenden Leitfaden im Zusatzmaterial zu finden. Eine wertvolle Hilfestellung bei der Bemessung der Düngergaben bietet auch das Programm DiG – Düngung im Garten, das von der Hochschule Weihenstephan-Triesdorf in Zusammenarbeit mit der Bayerischen Gartenakademie und dem Bayerischen Landesverband für Gartenbau und Landespflege e. V. entwickelt wurde und als kostenlose Software unter folgender Adresse zum Download bereitsteht: <https://www.gartenbausoftware.de/dig-duengung-im-garten.html>.

Folie 48

Gibt es spezielle Düngeempfehlungen im Hinblick auf den Klimawandel? Wird sich der Nährstoffbedarf der Pflanzen verändern?

Auf diese Fragen kann keine pauschale Antwort formuliert werden. Schließlich hängt der Nährstoffbedarf einer Kultur stets auch von den konkreten Wachstumsbedingungen, die am Standort gegeben sind, ab. Dabei ist neben den klimatischen Einflussgrößen stets auch der Faktor Boden und die Nachlieferung von Nährstoffen aus der organischen Substanz zu beachten. Beide Aspekte können von Ort zu Ort und von Jahr zu Jahr erheblichen Schwankungen unterliegen (SCHALLER et al. 2012; MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011; SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT 2009).

Folie 49

Dennoch sollte keinesfalls einfach drauf los gedüngt werden. Der Ausgangspunkt der Düngung ist und bleibt der grundlegende Nährstoffbedarf der jeweiligen Kultur. Vorhandene Richtwerte geben eine realistische Größenordnung vor, auch wenn der tatsächliche Bedarf in Abhängigkeit des konkreten Witterungsverlaufs etwas höher oder niedriger ausfallen kann. Da die Bilanz zwischen Nährstoffentzügen und Nährstoffnachlieferung immer schwieriger abzuschätzen ist, gewinnt die regelmäßige Analyse von Bodenproben zunehmend an Bedeutung. In Anbetracht der zunehmenden Auswaschungsgefahr bei Starkniederschlägen empfiehlt es sich, die gesamte Düngermenge nicht auf einmal zu verabreichen, sondern auf mehrere, kleinere Gaben aufzuteilen. Dies gilt vor allem für Kulturen mit hohem Nährstoffbedarf, die in erster Linie im Gemüsegarten angesiedelt sind (NEUMAIER 2021).

5. Fazit

Folie 51

Welche Erkenntnis lässt sich aus all den gesammelten Informationen ziehen?

Klima, Boden und Pflanzenwachstum sind durch wechselseitige Beziehungen in einem komplexen System miteinander verknüpft (BUNDESVERBAND BODEN E. V. (c); BUNDESVERBAND BODEN E. V. (b)). Ein Faktor des Systems kann nie isoliert betrachtet werden, da er stets von anderen Elementen beeinflusst wird und seinerseits Einfluss auf die anderen Elemente nimmt. Ändert sich ein Einflussfaktor, so wird eine Kette bzw. ein Netz von Reaktionen angestoßen, deren Resultat nicht vorhersehbar ist (KRUSCHE 2018). Diese sich gegenseitig beeinflussenden Wechselwirkungen machen es so schwierig, die Auswirkungen des Klimawandels auf den Boden und die Wachstumsbedingungen der Pflanzen abzuschätzen und angemessene Anpassungsmaßnahmen zu ergreifen. Regionale und lokale Unterschiede bezüglich der Bodenverhältnisse und des Klimas machen konkrete Prognosen noch schwerer (SCHALLER et al. 2007; SCHALLER et al. 2012; EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR 2015). Klar ist, dass es Veränderungen geben wird und dass der Klimawandel sowohl für Böden, als auch für Pflanzen erhebliche Strapazen mit sich bringen wird (SCHALLER et al. 2007). Um Pflanzen für die Herausforderungen des Klimawandels zu wappnen, gibt es zwar kein allgemeingültiges Patentrezept, doch ist es ein entscheidender erster Schritt, sie auf einem belebten, gut strukturierten und fruchtbaren Boden wachsen zu lassen (KLEMISCH 2017). Ein gesunder Boden bietet der Pflanze Halt, versorgt sie mit Wasser und Nährstoffen und stärkt ihre Widerstandskraft gegenüber klimatischen Einflüssen und anderen Stressfaktoren (POLAK et al. 2014; KLEMISCH 2017). Damit stellt ein fruchtbarer Boden im wahrsten Sinne des Wortes das Fundament dar, auf dem vitale und kräftige Pflanzen wachsen können (MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN 2011).

Folie 52

Mit Hilfe einiger einfacher, aber dafür umso wirkungsvollerer Maßnahmen lassen sich die Qualität des Bodens und damit die Wachstumsbedingungen für Pflanzen enorm verbessern (KLEMISCH 2017). Kompostgaben, organische Düngung, Mulchen und Gründüngung stehen hier an erster Stelle. Außerdem sollte die Bodenbearbeitung nicht zu früh erfolgen und das Umgraben zumindest auf leichten Böden durch die Einsaat von Gründüngungspflanzen und eine nicht wendende Bodenbearbeitung ersetzt werden. Düngergaben sollten stets bedarfsgerecht erfolgen (NEUMAIER 2021). Viele dieser Anpassungsmöglichkeiten unterstützen nicht nur Böden und Pflanzen, sondern liefern gleichzeitig einen wertvollen Beitrag zum Klima- und Umweltschutz (DIE UMWELTBERATUNG 2011). Es lohnt sich daher in jeder Hinsicht, aber ganz besonders im Hinblick auf die Herausforderungen des Klimawandels, den Boden und das Bodenleben durch gezielte Pflegemaßnahmen zu schützen und zu fördern (KLEMISCH 2017).

Literatur

- AHU AG & J. MATHEWS, 2011: Boden. Themenblatt: Anpassung an den Klimawandel. Hrsg.: Umweltbundesamt, Kompetenzzentrum Klimafolgen und Anpassung.
- AID, 2012: Bodenpflege, Düngung, Kompostierung im Garten, Bonn, 4. überarbeitete Auflage.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2019: Humus, 7. überarbeitete Auflage.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU, 2018: Der Garten im Klimawandel. Infoschrift 1105.
<https://www.lwg.bayern.de/gartenakademie/gartendokumente/infoschriften/204893/index.php>.
Zugriff am 16.02.2021.
- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WEINBAU UND GARTENBAU, 2019: Freie Gartenbeete bestücken. Gartencast, 01.09.2019.
<https://www.lwg.bayern.de/gartenakademie/gartendokumente/gartencast/225759/index.php>.
Zugriff am 16.02.2021.
- BAYERISCHER LANDESVERBAND FÜR GARTENBAU UND LANDESPFLEGE E. V., 2005: Bodengesundheit erhalten und fördern. Merkblatt: Die bayerischen Obst- und Gartenbauvereine informieren.
- BAYERISCHER LANDESVERBAND FÜR GARTENBAU UND LANDESPFLEGE E. V., 2006: Richtiges Gießen im Garten. Merkblatt: Die bayerischen Obst- und Gartenbauvereine informieren.
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, 2015: Klima-Report Bayern 2015. Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten.
- BECK, M., 2021: Sparsame Bewässerung im Hausgarten. Mündliche Mitteilung, 07.01.2021.
- BOUSLAMA, S. & B. BIRLI, 2015: BodenReich. Lehrmaterialien für Jugendliche, 15 - 19 Jahre, 1. Aufl.
- BUCHER, A., 2020: Organische Düngemittel. Mündliche Mitteilung, 28.10.2020.
- BUCHER, A., 2021: Düngung im Klimawandel. Mündliche Mitteilung, 14.01.2021.
- BUNDESINFORMATIONSZENTRUM LANDWIRTSCHAFT: Richtig düngen im Gemüsegarten.
<https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-erleben/garten-und-balkon/duengung-und-pflanzenschutz/richtig-duengen-im-gemuesegarten>. Zugriff am 04.09.2020.
- BUNDESVERBAND BODEN E. V. (a): Boden und Klima. Mögliche Auswirkungen auf den Boden.
<https://www.bodenwelten.de/content/moegliche-auswirkungen-auf-den-boden>. Zugriff am 01.09.2020.
- BUNDESVERBAND BODEN E. V. (b): Bodenfunktionen. Der ökologische Wert der Böden.
<https://www.bodenwelten.de/content/bodenfunktionen-der-oekologische-wert-der-boeden>. Zugriff am 01.09.2020.
- BUNDESVERBAND BODEN E. V. (c): Rolle der Böden im Klimawandel.
<https://www.bodenwelten.de/content/rolle-der-boeden-im-klimawandel>. Zugriff am 01.09.2020.
- DEGEN, M. & K. SCHRADER, 2002: Grundwissen für Gärtner. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- DEUTSCHER WETTERDIENST, 2020: Sonnenscheindauer. Jährliches Gebietsmittel in Bayern im Zeitraum 1951-2019. <https://www.dwd.de/DE/leistungen/zeitreihen/zeitreihen.html>. Zugriff am 02.09.2020.
- DIE UMWELTBERATUNG, 2011: Klimaschutz durch nachhaltige Gartenprodukte. Nachhaltigkeit, die sich rechnet. <https://www.umweltberatung.at/download/?id=klimaschutz-gartenprodukte-2029-umweltberatung.pdf>. Zugriff am 04.09.2020.
- DIE UMWELTBERATUNG, 2020: Schonende Bodenbearbeitung.
<https://www.umweltberatung.at/schonende-bodenbearbeitung>. Zugriff am 04.09.2020.

EUROPÄISCHE UMWELTAGENTUR, 2015: Boden und Klimawandel. In: Signale - Leben mit dem Klimawandel. <https://www.eea.europa.eu/de/signale/signale-2015/artikel/boden-und-klimawandel>. Zugriff am 04.09.2020.

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

FISCHER, P. & M. JAUCH, 1999: Leitfaden zur Kompostierung im Garten. Hrsg.: Hochschule Weihenstephan-Triesdorf.

HÖLZER, A., 2017: Gärten für die Zukunft. Wie können wir handeln? Hrsg.: Deutsche Umwelthilfe e. V., Hannover.

JOHANN HEINRICH VON THÜNEN-INSTITUT: Humus für Bodenfruchtbarkeit und Klimaschutz. Unter Mitarbeit von Jacobs, A., Institut für Agrarklimaschutz. <https://www.thuenen.de/de/thema/boden/humus-fuer-bodenfruchtbarkeit-und-klimaschutz/>. Zugriff am 01.09.2020.

KASANG, D., 2017: Boden im Klimasystem. Wiki Klimawandel. http://wiki.bildungsserver.de/klimawandel/index.php/Boden_im_Klimasystem. Zugriff am 01.09.2020.

KELL, K., 2021: Bodenbearbeitung im Klimawandel. Mündliche Mitteilung, 29.01.2021.

KLEMISCH, M., 2017: Mach Dich locker, Boden! Der Gartenboden bei Wetterextremen. Vortrag am Fachzentrum Analytik der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau am 12.07.2017.

KRUSCHE, S., 2018: Emergenz - Definition und Erläuterungen. Mündliche Mitteilung.

LANDWIRTSCHAFTSKAMMER NORDRHEIN-WESTFALEN: Welche Gründüngung eignet sich für den Gemüsegarten? <https://www.landwirtschaftskammer.de/verbraucher/garten/gartentipp028.htm>. Zugriff am 04.09.2020.

LUDOLPH, D., 2021: Kohlenstoff als Rückgrat des Gartenbaus - Sind Zierpflanzen eine CO₂-Senke? Ahlemer Forum Online: Ressourcenschonung und Zierpflanzenproduktion, 19.01.2021.

MEINKEN, E., 2020: Bodenkunde. Mündliche Mitteilung.

MEINKEN, E. & A. BUCHER, 2021: Leitfaden zur Düngung im Garten. In fünf Schritten zur erfolgreichen Düngung. Berichte der Bayerischen Gartenakademie 2. Hrsg.: Bayerische Gartenakademie an der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Institut für Gartenbau. 3. überarbeitete Auflage.

MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, 2011: Klimawandel und Boden. Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Boden als Pflanzenstandort, 2. Auflage.

NEUMAIER, D., 2020: Bodenbearbeitung. Mündliche Mitteilung.

NEUMAIER, D., 2021: Anpassung an den Klimawandel. Mündliche Mitteilung, 22.03.2021.

NIEMEYER-LÜLLWITZ, A.: Gesundheitskur für den Boden: Gründüngung. Naturgarten praktisch 1.06. Hrsg.: Natur- und Umweltschutz-Akademie des Landes Nordrhein-Westfalen, Landesverband Westfalen und Lippe der Kleingärtner e. V.; Landesverband Rheinland der Gartenfreunde e. V.

ÖSTERREICHISCHE AGENTUR FÜR GESUNDHEIT UND ERNÄHRUNGSSICHERHEIT GMBH, 2019: Mineralische und organische Düngemittel. <https://www.ages.at/themen/landwirtschaft/duengemittel/mineralische-und-organische-duengemittel/>. Zugriff am 04.09.2020.

PFLANZENFORSCHUNG.DE: Photosynthese.

<https://www.pflanzenforschung.de/de/pflanzenwissen/lexikon-a-z/photosynthese-285>. Zugriff am 02.09.2020.

POLAK, P., G. GUNDAKER, C. WUNDRAK, J. HAMBRUSCH, A. STEINERT, P. SANTNER, F. KISS, G. DIETRICH & J. BROCKS, 2014: Boden. Grundlage gesunden Pflanzenwachstums. Natur im Garten. Hrsg.: Land Niederösterreich, Abteilung Umwelt- und Energiewirtschaft.

POPP, L., 2021: Dauerhumus. Mündliche Mitteilung, 22.03.2021.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT, 2009: Klimawandel und Landwirtschaft. Strategien zur Anpassung der sächsischen Landwirtschaft an den Klimawandel.

SCHALLER, M., C. BEIERKUHNEIN, S. RAJMIS, T. SCHMIDT, H. NITSCH, M. LIESS, M. KATTWINKEL & J. SETTELE, 2012: Auswirkungen auf landwirtschaftlich genutzte Lebensräume. In: MOSBRUGGER, V., G. 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.

SCHEMBECKER, F.-K.: Der Boden im Klimawandel. Vortrag aus der Reihe Urbane Klima-Gärten: Bildungsinitiative der Modellregion Berlin an der Humboldt-Universität zu Berlin.

SCHAU-HELGER, M., 2020: Mulchen - aber richtig! Merkblatt: Die bayerischen Obst- und Gartenbauvereine informieren. Hrsg.: Bayerischer Landesverband für Gartenbau und Landespflege e. V., München.

SCHAU-HELGER, M., 2021: Düngung im Hausgarten. Mündliche Mitteilung, 22.03.2021.

SIEMENS, F., 2021: Hornspäne.

<https://www.mein-schoener-garten.de/hornspaene-0#a-257831-hornspne-horngrie-oder-hornmehl>. Zugriff am 08.03.2021.

UMWELTBUNDESAMT, 2020: Nähr- und Schadstoffe.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/gewaesser/grundwasser/nutzung-belastungen/naehr-schadstoffe>. Zugriff am 03.09.2020.

WEIGEL, H.-J., 2011: Klimawandel - Auswirkungen und Anpassungsmöglichkeiten. In: Neues aus dem Ökologischen Landbau 2011, 9-28.