



Lisa DANUIS

Auswirkungen des Klimawandels auf das Grünland – am Beispiel der Flachland-Mähwiese und Pfeifengraswiese

Abbildung 1

Vertrocknete Wiese während der Hitzeperiode 2018
(Foto: Mimikry11/CC BY-SA 3.0 via Wiki Commons, URL 1).

Der gegenwärtige Klimawandel hat bereits spürbare Auswirkungen auf Boden, Biomasse, Produktivität und Biodiversität im Grünland. Anhand einer Literaturstudie betrachte ich hier besonders die beiden Grünlandtypen Flachland-Mähwiese und Pfeifengraswiese. Durch die Wechselwirkungen zwischen Klimaerwärmung und Niederschlagsveränderungen werden bereits Ökosysteme beeinflusst und Standortveränderungen hervorgerufen. Besonders gravierend ist dabei die zunehmende saisonale Austrocknung der Böden, die zum Rückgang ihrer Kohlenstoff-Senkenfunktion führt, sowie zu Trockenstress bei Pflanzen und schlechteren Wachstumsbedingungen. Tendenziell verringern sich Biomasse und Produktivität und es ist mit einem Rückgang der bisher etablierten Artenvielfalt und einer sich verändernden Artenzusammensetzung zu rechnen. Die gängige Naturschutzpraxis ist gefordert, flexibler zu agieren.

Für das 21. Jahrhundert erwarten viele Wissenschaftler*innen große klimatische Veränderungen, die auch bereits heute messbar sind: Die Mitteltemperaturen steigen an, extreme Hitzeereignisse treten immer häufiger auf und die Vegetationsperiode verlängert sich. Außerdem verändert sich die Niederschlagsverteilung: tendenziell werden Frühling und Sommer trockener, während in Herbst und Winter der Niederschlag zunimmt und sich Starkregenereignisse häufen (IPCC 2014). All diese Prozesse wirken sich schon jetzt stark auf die Vegetation des Grünlands aus und sie

werden sich in Zukunft immer weiter verstärken (BRASSEUR et al. 2017). Im Folgenden gehe ich besonders auf zwei für die deutsche Kulturlandschaft typische und weit verbreitete Grünlandtypen ein, anhand derer die Auswirkungen beispielhaft diskutiert werden sollen:

- Die Flachland-Mähwiese oder Glatthaferwiese (Natura 2000-Lebensraumtyp LRT 6510) ist eine arten- und blütenreiche Mähwiese (zwei- bis dreischürig) auf mäßig trockenen bis frischen Böden (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2
Flachland-Mähwiese
im Landkreis Gar-
misch-Partenkirchen
(Foto: Andreas
Zehm/Piclease).

- Die Pfeifengraswiese oder Streuwiese (Natura2000-Lebensraumtyp LRT 6410) ist eine einschürige, artenreiche und hochwüchsige Wiese auf feuchten bis nassen Grund- oder Sickerwasserböden (siehe Abbildung 3; STURM et al. 2018).

Boden: Wechselwirkungen durch den veränderten Niederschlag

Der Boden spielt eine zentrale Rolle im Klimageschehen: Veränderungen werden hier schnell sichtbar und beeinflussen das gesamte Ökosystem. Aufgrund der erhöhten Temperaturen und der Trockenheit im Frühjahr und Sommer gelangt weniger Wasser in den Boden. Gleichzeitig steigen der Wasserbedarf der Pflanzen und die Verdunstung an, wodurch die Böden zunehmend

trockener werden. Diese Entwicklungen haben enormen Einfluss auf die Nährstoffkreisläufe: Durch die geringere Bodenwasserverfügbarkeit können die Pflanzen ihre Nährstoffe schlechter aufnehmen und verwerten. Sogar Düngemaßnahmen haben dadurch nicht den gewünschten Effekt (BRASSEUR et al. 2017). Diese Entwicklungen haben unter anderem gravierende Auswirkungen auf die Biodiversität, auf die im Verlauf des Artikels noch genauer eingegangen wird.

Besonders die oberen Bodenschichten trocknen mit zunehmender Erwärmung und besonders bei länger andauernden Dürreperioden immer mehr aus und werden so anfälliger für Winderosionen. Die Wasserverfügbarkeit im Boden kann sogar so weit zurückgehen, dass das Grundwasser absinkt: Die natürlichen Wasservorräte gehen zurück und weniger Trinkwasser kann neu gebildet werden. Diese zunehmende Austrocknung des Bodens hat vor allem für natürlicherweise eher feuchte Biotope gravierende Folgen, da die dortige Vegetation nicht an die periodisch trockeneren Bedingungen angepasst ist (BRASSEUR et al. 2017). Auch der Humusgehalt im Boden geht durch die Klimaerwärmung zurück. Dadurch werden Bodenfruchtbarkeit und Bodenleben negativ beeinflusst und die Pflanzenerträge nehmen tendenziell ab (MULNV NRW 2011).

Die zunehmenden Niederschläge in Herbst und Winter können durch die Austrocknung der oberen Bodenschichten in den wärmeren Jahreszeiten oft nicht vollständig in den Boden aufgenommen werden, sodass diese verstärkt als Oberflächenwasser abfließen. Das erhöht die Erosion, die vor allem die nährstoffreichen

Wie beeinflusst der Boden den Klimawandel?

Humusreichere Böden fungieren als wichtige Senken für CO₂ und andere Treibhausgase. Da die Böden jedoch durch die Klimaerwärmung zeitweilig trockener werden und so mehr Sauerstoff in den Böden verfügbar ist, verstärkt sich der Abbau der organischen Substanz zunehmend. Die klimawirksamen Gase werden somit an die Atmosphäre abgegeben und verstärken damit den anthropogenen Treibhauseffekt. Es handelt sich hier also um einen Rückkopplungseffekt: Je mehr sich das Klima erwärmt, desto mehr Gase entweichen aus den Senken und desto mehr erwärmt sich wiederum das Klima und so weiter (BRASSEUR et al. 2017; vergleiche hierzu Abbildung 4). Feuchte Standorte, wie zum Beispiel Pfeifengraswiesen und speziell Moore, können besonders viele Treibhausgase speichern. Dabei handelt es sich nicht nur um CO₂, sondern auch um die besonders klimawirksamen Gase Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O). Während Kohlenstoffdioxid ein globales Erwärmungspotenzial (GWP) von 1 aufweist, liegt das von Methan bei 21 und das von Lachgas sogar bei 290 (IPCC 1990). Feuchtbiootope sind also als Senke besonders bedeutsam und schützenswert.



Abbildung 3
Pfeifengraswiese im
Landkreis Garmisch-
Partenkirchen (Foto:
Andreas Zehm/
Piclease).

Oberböden beeinträchtigt (BLUM 2019; MULNV NRW 2011). Der erhöhte Niederschlag in Herbst und Winter wäscht außerdem verstärkt nicht genutzte Düngernährstoffe aus. So steigt das Risiko, dass auch vermehrt Nitrat und Phosphor in das Grundwasser ausgewaschen werden, wodurch sich die Trinkwasserqualität verschlechtern kann. Durch die erhöhten Herbst- und Winterniederschläge sowie auch durch Starkregenereignisse steigt zudem die Gefahr von periodisch zunehmender Bodenvernässung und Überflutungen an. Diese Prozesse sind besonders bei den natürlicherweise bereits trockenen bis mittelfeuchten Böden ausgeprägt, welche beispielsweise mit Flachland-Mähwiesen bestanden sind (siehe Tabelle; BERAUER et al. 2019).

Es hat jedoch nicht nur der Klimawandel Auswirkungen auf den Boden, sondern der Boden nimmt über Rückkopplungseffekte auch Einfluss auf das Klima (siehe Info-Kasten).

Biomasse: Besonders Niederschlagsänderungen haben einen direkten Einfluss

In einer Feldstudie von BERAUER et al. (2019) wurden 126 verschiedene Bodenausschnitte mit typischen Pflanzenarten des alpinen Grünlands hangabwärts verschoben. Dadurch sollen die Folgen von abrupten Veränderungen der klimatischen Bedingungen für die Vegetation simuliert werden. Die Monolithen wurden in PVC-Schläuchen mit 30 cm Durchmesser, 25–40 cm Höhe und offenem Boden auf 2.440, 1.850, 1.300, 900 beziehungs-

weise 550 Höhenmeter entnommen und anschließend auf 900, 550 beziehungsweise 350 Höhenmeter wieder in den natürlichen Boden eingesetzt. Durch die Untersuchung von insgesamt sechs verschiedenen Orten und unterschiedlichen Höhendifferenzen wurden verschiedene mögliche Klimaszenarien und Wechselwirkungen betrachtet. So konnten wichtige Erkenntnisse über klimabedingte Veränderungen der Biomasse, also der Stoffmasse von Lebewesen, getroffen werden.

BERAUER et al. (2019) kommen zu dem Ergebnis, dass sich die Biomasse bei untersuchten Standorten mit erhöhtem Niederschlag im Schnitt um 29–35 % erhöht und bei Standorten mit verringertem Niederschlag hingegen um durchschnittlich 24 % verringert. Letzteres liegt vor allem daran, dass die Pflanzen durch die geringere Bodenfeuchte nur über einen limitierten Zugang zu Wasser verfügen. So kommt es zu einer geringeren Nährstoffversorgung und schlechteren Wachstumsbedingungen.

Die Studie zeigt also, dass Niederschlag der entscheidende Faktor für die Produktion von Biomasse ist: die steigenden Temperaturen des Klimawandels erhöhen diese zwar grundsätzlich, aber nur, solange der Niederschlag nicht signifikant zurückgeht oder länger anhaltende Dürreperioden auftreten. Das liegt vor allem daran, dass die meisten Pflanzen nicht an Trockenstress innerhalb der Vegetationszeit angepasst

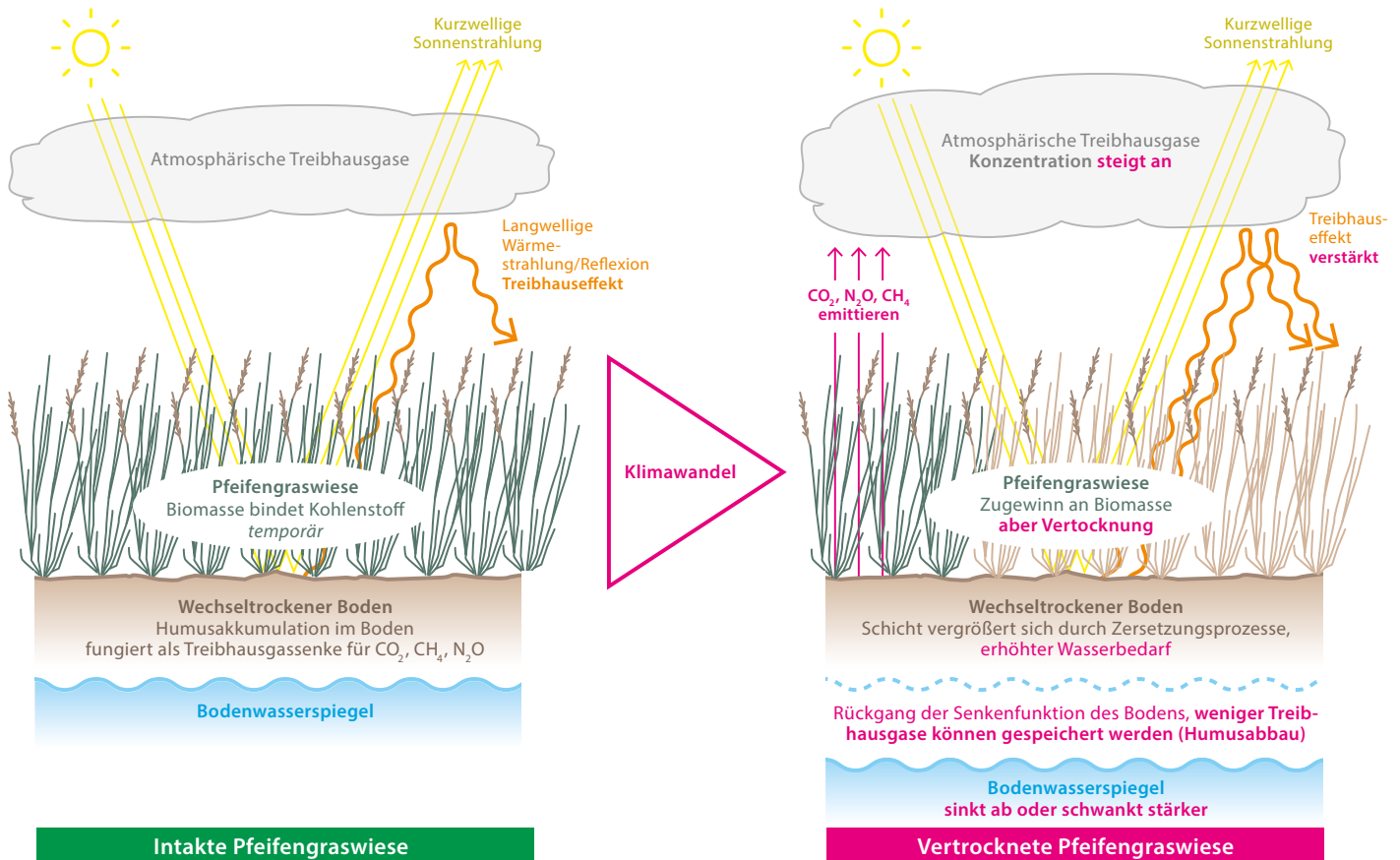


Abbildung 4

Übersicht der möglichen Entwicklung von Pfeifengraswiesen mit Fokus auf Boden und Biomasse (ähnliche, jedoch weniger stark ausgeprägte Prozesse auch bei der Flachland-Mähwiese).

sind. Ob sich die Biomasse erhöht oder verringert ist also vor allem abhängig vom Niederschlag (BERAUER et al. 2019).

Zusammenfassend legen STERNBERG et al. (1999) und BERAUER et al. (2019) dar, dass sich die Biomasse aufgrund der steigenden Temperaturen und der verlängerten Vegetationsperiode grundsätzlich erhöht, solange wichtige Nährstoffe und vor allem Wasser ausreichend zur Verfügung stehen (STERNBERG et al. 1999; BERAUER et al. 2019). Wachsen die Pflanzen durch die Erwärmung stark auf, steigt auch ihr Wasserbedarf. Dieser kann jedoch durch die trockeneren Bedingungen in der Vegetationsperiode oft nicht mehr gedeckt werden. Es kommt zu Trockenschäden und der Futterwert nimmt trotz dem Mehr an Biomasse ab (MULNV NRW 2011). Da besonders die Pflanzenarten aus Ökosystemen mit natürlicherweise feuchten Böden, wie zum Beispiel der Pfeifengraswiese, nicht an die trockeneren Bedingungen akklimatisiert sind, werden diese besonders beeinträchtigt. Es wird also eine Entwicklung hin zu Biotoptypen erwartet, die an Wechselfeuchte mit Trockenphasen angepasst sind, mit Vegetationsstrukturen wie beispielsweise Flutrasen und Röhrichten (HANDKE 2010). Da Erwärmung und Niederschlag also ver-

schiedene Effekte haben, kann es je nach Standort zu unterschiedlichen Aus- und Wechselwirkungen kommen.

Produktivität: Klimabedingte Veränderungen sind hier stark standortabhängig

Grundsätzlich sorgen erhöhte Temperaturen für schnellere Stoffwechselprozesse und einen höheren Stoffumsatz bei Pflanzen, wodurch wiederum die Produktivität erhöht wird. Durch die Klimaveränderungen wird außerdem die Dauer der einzelnen phänologischen Stadien der Pflanzen beeinflusst: Blüte und Abreife beginnen zum Beispiel oft früher. Die erhöhten Temperaturen sorgen zudem für gesteigerte mikrobiotische Aktivitäten. Dadurch wird die Stickstoffverfügbarkeit im Boden erhöht und damit die Produktivität der Vegetation zusätzlich positiv beeinflusst (BRASSEUR et al. 2017; BERAUER et al. 2019).

Stärker erhöhte Temperaturen in Verbindung mit periodischer Trockenheit verringern hingegen die Produktivität, da aufgrund der niedrigeren Wasserverfügbarkeit Stoffwechsel und Photosynthese beeinträchtigt werden. Bei Hitzeperioden kann das Photosystem der Pflanzen sogar überhitzen oder es kommt zu Gewebeschäden, da weniger Wasser verdunstet und so die Abkühlung

des Pflanzengewebes verhindert wird. Die geringe Bodenfeuchte reduziert außerdem die stomatare Leitfähigkeit. Es wird also der Öffnungsgrad der in der Blattepidermis befindliche Spaltöffnungen verringert, wodurch die Transpiration reduziert wird. In Folge dessen geht die Kühlfunktion der Vegetation zurück und die bodennahen Luftschichten erwärmen sich noch mehr (BERAUER et al. 2019). Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklungen besonders die Pfeifengraswiese beeinträchtigen, deren Arten nicht an die periodisch trockeneren Bedingungen angepasst sind. Das wirft nun die Frage auf, ob der Klimawandel auf diese Weise schon an Trockenperioden angepasste Arten fördert, die dadurch aber selbst bereits eine geringere Produktivität haben. So könnte die Produktivität in Zukunft auch durch natürliche Selektion zurückgehen.

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Photosyntheserate der Pflanzen ist die CO₂-Konzentration. Kohlenstoffdioxid bildet die Grundlage für pflanzliche Entwicklung und Wachstum. Man spricht hier auch von dem sogenannten CO₂-Düngeeffekt: mit einem Teil des überschüssigen CO₂ des Klimawandels aus der Atmosphäre kann die Photosynthese der Pflanzen und damit auch ihre Produktivität verbessert werden (BLASCHKA 2015). Dieser für den Klimaschutz wichtige Effekt nimmt nun aber laut der Studie von WANG et al. (2020) deutlich ab: Laut den Forschern liegt das vor allem daran, dass die Pflanzen die erhöhte CO₂-Konzentration in der Luft wegen der verringerten Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit nicht effektiv nutzen können (WANG et al. 2020).

Der Einfluss des Klimawandels auf die Produktivität der Pflanzen ist also differenziert zu betrachten und verschiedene experimentelle Studien zeigen widersprüchliche Ergebnisse (vergleiche WHITE et al. 2012). Die Veränderung der Produktivität ist stark standortabhängig und wird so auch beispielsweise von der Artenvielfalt beeinflusst: Diese kann bei Grünland mit geringer Produktivität zur besseren Erholung beitragen und teilweise sogar den Verlust von Biomasse kompensieren (KREYLING et al. 2017).

Biodiversität: Arten sterben aus – innerartliche Diversität ist gefragt

Es lässt sich im Grünland bereits ein Artensterben infolge des Klimawandels beobachten, das langfristig zu einem verringerten Artenreichtum in Bayern führen wird (BLASCHKA 2015; BRASSEUR et al. 2017). Zu diesem Ergebnis kommen auch BERAUER et al. (2019) in ihrer Feldstudie mit den

höhenverschobenen Arten (siehe Biomasse): Mit der Translokation hat sich der Artenreichtum an allen untersuchten Orten um 13–46 % verringert (BERAUER et al. 2019).

Die Überlebenschancen der einzelnen Arten hängen von ihren evolutionären Eigenschaften ab, wie etwa der unterschiedlichen Art der Fortpflanzung oder Ressourcenbeschaffung. Arten, die sich den veränderten Bedingungen und Ressourcen nicht so gut anpassen können oder von besser akklimatisierten Arten ausgestochen werden, sterben aus (BERAUER et al. 2019).

Durch die verbesserte oder verschlechterte Verfügbarkeit von verschiedenen Ressourcen kommt es nicht nur zum lokalen Aussterben bestimmter Arten, sondern auch zu einer neuen Artenzusammensetzung, Dominanz und Konkurrenz. Viele Pflanzenarten schaffen es, trotz teils enormer klimatischer Veränderungen an ihrem Standort auszuharren oder sogar in weitere Gebiete einzuwandern. Das liegt vor allem an

- externen Gegebenheiten (wie einer Senke- oder Flusslage) oder Prozessen (wie einem erhöhten Nährstoffeintrag durch vermehrte Bewässerung oder Düngung), wodurch die klimatischen Veränderungen für bestimmte Pflanzengemeinschaften gepuffert werden,
- langsam verlaufenden genetischen Anpassungen an die neuen Bedingungen oder
- der ökologischen Toleranz einzelner Arten, also der Fähigkeit, Umweltfaktoren bis zu einem gewissen Grad zu ertragen (BLASCHKA 2015).

Die letzten zwei Punkte gehen vor allem auf eine hohe genetische Diversität zurück. Je heterogener eine Population ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass zumindest einige Individuen die veränderten Umweltbedingungen ertragen. So kommt es nicht zwangsläufig zu einem lokalen Aussterben einer Art. Außerdem erhöht genetische Diversität das Potenzial für Anpassungen über viele Generationen hinweg, wie etwa beim Stoffwechsel, der Phänologie oder den Fortpflanzungsstrategien. Je schneller sich die Arten an die veränderten klimatischen Bedingungen anpassen, desto höher ist ihre Überlebenschance (BRASSEUR et al. 2017). Die Fachliteratur gibt meist wenig Beispiele zur Entwicklung einzelner Arten her, daher erfolgt hierzu eine Einschätzung der Botanikerin Lisa Silbernagl (siehe Interview).

Biodiversität: Vorteile und Reaktionen verschiedener Arten

Der Klimawandel bietet teils auch Vorteile für bestimmte Pflanzen: Perioden mit erhöhten Temperaturen fördern Arten, die sich gut anpassen können, schnell und höher wachsen und effizient von den veränderten Ressourcen profitieren. So gewinnen vor allem bestimmte Gräserarten häufig den Kampf um Licht und Platz und frühblühende Arten profitieren von der längeren Vegetationsperiode. Einen Vorteil

haben so auch vor allem thermophile, also wärmeliebende Arten. Diese können häufig die eher kälteangepassten Arten ausstechen, da sie die veränderten Umweltbedingungen besser für Wachstum oder eine gesteigerte Fertilität nutzen können (BERAUER et al. 2019). Zudem können bereits in Gang gesetzte Entwicklungen, wie die Etablierung wärmeliebender Arten, durch Extremereignisse beschleunigt werden (VITTOZ et al. 2009).

Beeinflusste Grünlandparameter	Klimatische Einflussfaktoren	Zu erwartende Auswirkungen	FMW*	PGW*
Boden	Erhöhte Temperatur	Es kann weniger Wasser in den trockeneren Boden eindringen, gleichzeitig gibt es eine höhere Verdunstung > die Bodenfeuchte geht zurück und das Grundwasser kann absinken (BRASSEUR et al. 2017)	++	++
		Der Humusgehalt im Boden geht zurück mit negativen Folgen für Bodenfruchtbarkeit, Bodenleben und Pflanzenerträge (MULNV NRW 2011)	++	++
		Die wichtige Senkenfunktion der Böden für klimawirksame Gase wird beeinträchtigt und die Böden emittieren diese teilweise zurück in die Atmosphäre > verstärkende Wirkung für den Klimawandel durch Rückkopplungseffekte (siehe Info-Kasten; BLUM 2019; BRASSEUR et al. 2017; DRÖSLER & KRAUT 2020)	+	+++
	Frühlings- und Sommer-trockenheit	Durch den verringerten Niederschlag geht die Bodenfeuchte stark zurück, das Grundwasser kann absinken und die Neubildung von Trinkwasser wird reduziert > Verringerung der natürlichen Wasservorräte (BLUM 2019; BRASSEUR et al. 2017)	++	++
		Es entsteht vor allem ein Wassermangel in den Oberböden und die Nährstoffverfügbarkeit wird beeinträchtigt (BRASSEUR et al. 2017)	++	+++
		Durch die trockeneren Böden kommt es zu einer erhöhten Winderosion (BRASSEUR et al. 2017)	+	0
		Zunehmende Niederschläge Herbst und Winter	Die Wassermenge kann nicht mehr vollständig in den Boden eindringen und fließt verstärkt als Oberflächenwasser ab – das führt zu einer erhöhten Erosion, die vor allem die nährstoffreichen Oberböden betrifft (BRASSEUR et al. 2017; MULNV NRW 2011)	+
		Es besteht die Gefahr zunehmender Bodenvernässung und nicht genutzte Düngernährstoffe werden ausgewaschen (BRASSEUR et al. 2017)	+	0
		Es kann zu einer schlechteren Trinkwasserqualität kommen, da Nitrate und Phosphate zunehmend in das Grundwasser ausgewaschen werden (BRASSEUR et al. 2017)	+	0
		Extremwetterereignisse	Bei Starkregen besteht eine besonders hohe Erosionsgefahr und es kann zu Überflutungen kommen (BRASSEUR et al. 2017)	+

Tabelle 1

Klimatische Faktoren und deren zu erwartende Auswirkungen auf das Grünland mit besonderer Einschätzung der Entwicklung von Flachland-Mähwiesen und Pfeifengraswiesen auf Grundlage der Literatur.

Legende

- 0 = keine bis kaum Auswirkungen erwartet
- + = hat bereits oder in der Zukunft spürbare Auswirkungen
- ++ = hat bereits oder in der Zukunft gravierende Auswirkungen
- +++ = hat bereits oder in der Zukunft extreme Auswirkungen
- FMW* = Flachland-Mähwiese
- RGW* = Pfeifengraswiese

Beeinflusste Grünland-parameter	Klimatische Einflussfaktoren	Zu erwartende Auswirkungen	FMW*	PGW*
Biomasse	Erhöhte Temperatur	Die Biomasse erhöht sich bei ausreichender Wasserversorgung grundsätzlich, zum Teil auch aufgrund der verlängerten Vegetationsperiode (BERAUER et al. 2019)	+	++
		Es kommt zu einem gesteigerten überirdischen Wettbewerb der Pflanzen (zum Beispiel um Licht), das betrifft vor allem Wiesen mit seltener oder später Mahd (BERAUER et al. 2019)	0	+
		Es wird eine Entwicklung hin zu Biotoptypen erwartet, die an Wechselfeuchte mit Trockenphasen angepasst sind (HANDKE 2010)	+	+++
	Frühlings- und Sommer-trockenheit	Der limitierte Zugang zu Wasser, die geringere Bodenfeuchte sowie die erhöhte Evapotranspiration (Summe der Verdunstungsprozesse) führen zu Trockenstress und damit zu deutlich schlechteren Wachstumsbedingungen (BERAUER et al. 2019)	+	+++
		Abnahme des Futterwerts durch Trockenschäden trotz meist zunehmender Biomasse (MULNV NRW 2011)	++	++
		Düngemaßnahmen führen aufgrund der geringeren Bodenfeuchte nicht zum gewünschten Ziel, da die Pflanzen die Nährstoffe schlechter aufnehmen (BRASSEUR et al. 2017)	+	0
	Zunehmende Niederschläge Herbst und Winter	Düngernährstoffe werden verstärkt ausgewaschen, dadurch wird das Pflanzenwachstum zusätzlich beeinträchtigt (BRASSEUR et al. 2017)	+	0
	Extremwetter-ereignisse	Es besteht die Gefahr zunehmender Bodenvernässung und nicht genutzte Düngernährstoffe werden ausgewaschen (BRASSEUR et al. 2017)	++	+

Auswirkungen auf die Biomasse

Beeinflusste Grünland-parameter	Klimatische Einflussfaktoren	Zu erwartende Auswirkungen	FMW*	PGW*
Produkti-vität	Erhöhte Temperatur	Stoffwechselprozesse, Stoffumsatz, Photosynthese-Rate und damit die Produktivität erhöhen sich grundsätzlich (BERAUER et al. 2019) Stoffwechselprozesse, Stoffumsatz, Photosynthese-Rate und damit die Produktivität erhöhen sich grundsätzlich (BERAUER et al. 2019)	+	+
		Kohlenstoffdioxid spielt eine wichtige Rolle für die Photosynthese, viele Pflanzen profitieren also von der höheren CO ₂ -Konzentration (BLASCHKA 2015)	+	+
		Die Dauer der einzelnen phänologischen Stadien der Pflanzen ändert sich, Blüte und Abreife werden beschleunigt und beginnen früher (BRASSEUR et al. 2017)	+	+
	Frühlings- und Sommer-trockenheit	Die geringere Bodenwasserverfügbarkeit reduziert die Photosyntheserate, das Wachstum, die Einspeicherung von Treibhausgasen und die stomatare Leitfähigkeit (BERAUER et al. 2019)	++	+++
		Extreme Hitzeereignisse können zu einer Überhitzung des Photosystems der Pflanzen beitragen und verstärken den Wassermangel (BRASSEUR et al. 2017)	+	++

Auswirkungen auf die Produktivität

Beeinflusste Grünlandparameter	Klimatische Einflussfaktoren	Zu erwartende Auswirkungen	FMW*	PGW*
Biodiversität	Erhöhte Temperatur	Durch die veränderten Ressourcen kommt es zur Migration, (genetischen) Anpassungen, einer Veränderung phänologischer Merkmale und zum Aussterben vieler Arten (BERAUER et al. 2019; BRASSEUR et al. 2017)	++	+++
		Es verändern sich Artenzusammensetzung, Dominanz, Konkurrenz, Räuber-Beute-Beziehungen und andere komplexe Wechselwirkungen, sodass sogar eine Neuorganisation der Artengemeinschaft folgen kann (HANDKE 2010; STERNBERG et al. 1999; STURM et al. 2018)	+	++
	Frühlings- und Sommer-trockenheit	Der erhöhte Trockenstress führt zu einem Rückgang der Artenvielfalt und einer Veränderung der Artenzusammensetzung (BERAUER et al. 2019; STERNBERG et al. 1999)	++	+++
		Phänologische Veränderungen, zum Beispiel verstärkte Seneszenz (Alterungsprozesse) oder vermehrtes Wurzelwachstum (BERAUER et al. 2019; BRASSEUR et al. 2017)	+	++
	Extremwetterereignisse	Durch die verringerte Artenvielfalt und die genetische Homogenisierung wird die Fähigkeit der Artengemeinschaften reduziert, auf Extremwetterereignisse zu reagieren (BERAUER et al. 2019)	+	+

Auswirkungen auf die Biodiversität

Viele Arten reagieren auch auf die neuen klimatischen Bedingungen, indem sie ihre Phänologie verändern. Sie bilden zum Beispiel mehr Behaarung als Schutz vor Austrocknung und UV-Strahlung aus oder versuchen, durch vermehrtes Wurzelwachstum ein größeres Bodenvolumen zu erschließen und so mehr Wasser aufzunehmen. Zudem kann das oberirdische Sprosswachstum insgesamt beeinträchtigt werden und Trockenstress fördert die Seneszenz, also das Altern der Pflanzen (BLASCHKA 2015).

Häufig tritt auch eine, wenn auch langsame, Migration von Pflanzen auf: in Süddeutschland dehnen viele Arten ihr Verbreitungsgebiet vor allem in Richtung Norden sowie entlang des Höhengradienten nach oben aus (BLASCHKA 2015). Speziell im Alpenraum werden so zunehmend neue Gebiete von zuvor tiefer angesiedelten Arten erschlossen (PAULI et al. 2012).

Insgesamt sind die größten Veränderungen und Beeinträchtigungen bei den feuchten Standorten, wie zum Beispiel den Pfeifengraswiesen, zu erwarten: Diese werden besonders durch den zunehmenden Trockenstress in der Vegetationsperiode gefährdet und müssen sich in deutlich höherem Maße an die neuen Bedingungen anpassen, als die bereits besser akklimatisierten und trockeneren Flachland-Mähwiesen (siehe Tabelle 1).

Biodiversität: Einfluss auf das gesamte Ökosystem

Die Veränderungen von Artenvielfalt, -reichtum und -zusammensetzung beeinflussen auch die Konkurrenzverhältnisse und Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Organismen in der Artengemeinschaft, wie etwa Räuber-Beute-Beziehungen, Bestäubung, Parasitismus oder auch Pflanzenfraß (BRASSEUR et al. 2017).

Dabei sind die Änderungen im Grünland stark ortsspezifisch und können auch sehr kleinskalig (< m²) stattfinden, unter anderem auch durch veränderte Bodensubstratbedingungen (FRIDLEY et al. 2011). Auf lange Sicht ist jedoch mit unvorhersehbaren Wechselwirkungen und Folgen für ganze Ökosysteme zu rechnen. Der durch den Klimawandel sowie auch zusätzlich durch Landnutzungsänderungen verursachte enorme Rückgang der Artenvielfalt und die damit einhergehende genetische Homogenisierung reduzieren die Stabilität der Pflanzengemeinschaften. Der Rückgang der Artenvielfalt beeinträchtigt also zum Beispiel die Trockentoleranz (VETTER et al. 2020) beziehungsweise verstärkt potenziell Trockenstress (KLAUS et al. 2016). Die Fähigkeit, auf diese und weitere Extremwetterereignisse zu reagieren, wird also beschränkt und die aktuellen Ökosystemdienstleistungen gefährdet (BERAUER et al. 2019).

Interview mit Lisa Silbernagl



„In artenreichen Lebensräumen ist der Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung einzelner Arten nur schwer vorherzusagen.“

Lisa Silbernagl ist an der ANL im Sonderbereich Bayerisches Artenschutzzentrum tätig und koordiniert den Aufbau des Netzwerkes Artenkenntnis. Mit ihrem Studium der Biologie und Botanik ist sie die Expertin der ANL für verschiedenste Pflanzenarten.

Lisa Danius: Welche Pflanzenarten könnten auf der Flachland-Mähwiese beziehungsweise der Pfeifengraswiese von den Klimaveränderungen profitieren?

LS: Es ist sehr schwierig, den Einfluss des Klimawandels auf bestimmte Pflanzenarten vorherzusehen, besonders in artenreichen, komplexen Lebensräumen. Das Zusammenspiel von Nährstoffeinträgen verschiedensten Ursprungs, Trockenheit und Erwärmung ist sehr komplex. Dazu kommen noch biotische Faktoren wie Konkurrenz und Symbiose. Trotzdem kann man natürlich überlegen, welche Arten von den zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels, also höheren Temperaturen, trockeneren Sommer und mehr Niederschlag in den Wintermonaten, profitieren könnten. Dabei müssen natürlich auch indirekte Einflüsse wie verstärkte Nährstoffmobilisierung bei sinkendem Wasserstand oder schlechtere Nährstoffaufnahme bei größerer Trockenheit mit bedacht werden. Besonders bei Arten, die typisch für trockenere Ausprägungen von Flachland-Mähwiesen sind, wie dem Wiesen-Salbei (*Salvia pratensis*) oder dem knolligen Hahnenfuß (*Ranunculus bulbosus*), ist zu erwarten, dass sie sich im Zuge des Klimawandels weiter ausbreiten. Auch tiefwurzelnde Arten wie der Hornklee

(*Lotus corniculatus*) gehören zu den Klimawandelgewinnern. Auf Pfeifengraswiesen und anderen feuchten Grünlandtypen profitiert seit einiger Zeit massiv das Schilf (*Phragmites australis*, siehe Abbildung 5) von Nährstoffeinträgen, die sowohl Folge des Klimawandels sein können, als auch direkt anthropogen verursacht sind. Die Verschilfung ist allerdings häufig die Ursache für den Rückgang anderer, den Pfeifengraswiesen wertgebender Arten.

LD: Und welche Arten werden jeweils wahrscheinlich zu Verlierern?

LS: Zu den Klimawandel-Verlierern gehören hier primär die Arten der wechselfeuchten Pfeifengraswiesen, die besonders klimasensibel sind. Dazu gehören Arten, die durch den verstärkten Nährstoffeintrag und veränderte Nutzung ohnehin schon einen starken Rückgang zu verzeichnen haben, zum Beispiel das Breitblättrige Knabenkraut (*Dactylorhiza majalis*), die Sibirische Schwertlilie (*Iris sibirica*), der Teufelsabbiss (*Succisa pratensis*) oder der Lungenenzian (*Gentiana pneumonanthe*). Diese Arten haben einerseits ein Problem mit der zunehmenden Sommertrockenheit und können andererseits gegen das Schilf und andere Nährstoffzeiger nicht konkurrieren. Auch Arten der feuchteren Ausprägung von Flachland-Mähwiesen werden langfristig zu den Klimawandel-Verlierern gehören, zum Beispiel der große Wiesenknopf (*Sanguisorba officinalis*) oder die Kuckucks-Lichtnelke (*Lychnis flos-cuculi*, siehe Abbildung 6), die bereits zu den Feuchtwiesen überleiten.

LD: Kann man bereits jetzt abschätzen, welche Arten in neue Gebiete einwandern?

LS: Viele der bereits eingewanderten Neophyten sind Generalisten und wärmeliebend, so beispielsweise die Goldruten (*Solidago canadensis* und *S. gigantea*), die Rispenhirse (*Panicum capillare*) oder das kanadische Berufkraut (*Erigeron canadense*). Sie können sich damit erwartungsgemäß auch mit dem Fortschreiten des Klimawandels weiter ausbreiten. Darunter sind auch naturschutzfachlich hochproblematische Arten wie das Schmalblättrige Greiskraut (*Senecio inaequidens*), der Götterbaum (*Ailanthus altissima*), die Robinie (*Robinia pseudoacacia*) oder die beiden Staudenknöterich-Arten (*Fallopia japonica* und *F. sachalinensis*). Mit einer prognostizierten Sommertrockenheit und verstärktem Niederschlag im Winterhalbjahr nähert sich unser Klima

dem mediterranen an. Insofern ist vorstellbar, dass in Zukunft verstärkt Arten aus der mediterranen und submediterranen Zone zuwandern.

In den Alpen beobachtet man seit einigen Jahrzehnten, dass Arten der tieferen Lagen in Folge des Klimawandels in das Hochgebirge vordringen. Aktuell führt das zu einer Zunahme der Artenvielfalt, langfristig ist aber mit einer Verdrängung der hochalpinen Spezialisten zu rechnen, die in den Gipfelbereichen keine Ausweichmöglichkeiten mehr nach oben haben. Ähnliche Verdrängungseffekte sind

auch für das Flachland zu erwarten, nur dass hier die Einflüsse und Mechanismen deutlich multifaktorieller und komplexer sind. Dadurch ist es auch schwierig vorherzusagen, wie sich die Grünlandtypen auf Vegetationsebene entwickeln werden. Es ist durchaus denkbar, dass völlig neue Vegetationstypen entstehen. In der praktischen Naturschutzarbeit muss das bei der Definition gesetzlich geschützter Flächen in der Zukunft auf jeden Fall flexibler mitgedacht werden.

Das Interview führte Lisa Danius.

Fazit und Empfehlungen für die Praxis

Der Klimawandel hat enorme Auswirkungen auf die Vegetation im Grünland und beeinflusst Boden, Biomasse, Produktivität und Biodiversität. Die Klimaerwärmung und ihre Folgen werden in Zukunft immer gravierendere Ausmaße annehmen. Es ist wichtig, das artenreiche Grünland und seine Ökosystemdienstleistungen zu bewahren und zu schützen, beziehungsweise aber auch manche Veränderungen zu akzeptieren und damit neue Entwicklungen zuzulassen.

Allgemein:

- Möglichst hohe Artenvielfalt und genetische Vielfalt auf verschiedenen Standorten halten und nicht überall aus- oder nachsäen

- Migration natürlicher Arten zulassen und Einwanderung sowie Biotopverbund fördern
- Naturschutzmaßnahmen flexibel und räumlich differenziert gestalten (zu starre Vorgaben, zum Beispiel fixe Mähzeitpunkte, hinderlich)

Management Flachland-Mähwiesen:

- Mähzeitpunkte phänologisch ausrichten
- Düngung anpassen (Trockenphasen zwingend meiden!)
- Erfolgsorientierte Grünlandförderung breiter auffassen, gegebenenfalls das Artenspektrum in Richtung trockener Standorte erweitern

Abbildung 5

Das für Pfeifengraswiesen typische Schilf (*Phragmites australis*) profitiert voraussichtlich von den klimatischen Veränderungen und verdrängt sogar teilweise andere Arten (siehe Interview; Foto: Manfred Nieveler/Piclease).





Abbildung 6

Die Kuckucks-Lichtnelke (*Lychnis flos-cuculi*), eine Art der feuchteren Ausprägung von Flachland-Mähwiesen, wird langfristig wohl zu den Klimawandel-Verlierern gehören (siehe Interview; Foto: Andreas Zehm/Piclease).

Management Pfeifengraswiesen:

- Bodenwassermanagement anpassen, Wasserpufferflächen einrichten und naturschutzfachliche Bewässerung etablieren

Es besteht noch viel weiterer Forschungsbedarf:

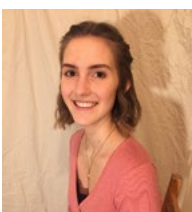
- Wie werden sich die verschiedenen Grünlandtypen in Zukunft entwickeln und wie lässt sich das naturschutzfachlich bewerten?
- Wie reagieren lokale (typische und gefährdete) Pflanzenarten auf die klimatischen Veränderungen (auch außerhalb der Vegetationsperiode, zum Beispiel in der Keimungsphase [siehe EVERS et al. 2021])?
- Wie genau werden sich die Wechselwirkungen zwischen Temperatur und Niederschlag (wie bei Biomasse und Produktivität angesprochen) auswirken?
- Welchen Einfluss haben richtige Bewässerung, Düngung und Beweidung auf die Grünlandvegetation?
- Welche Auswirkungen hat der Klimawandel auf Bestäuber, Parasiten, Pflanzenschädlinge et cetera und wie wirken sich diese Veränderungen auf das Grünland aus?

Literatur

- BERAUER, B., WILFAHRT, P., ARFIN-KHAN, M. et al. (2019): Low resistance of montane and alpine grasslands to abrupt changes in temperature and precipitation regimes. – Arctic, Antarctic, and Alpine Research 51(1): 215–231.
- BLASCHKA, A. (2015): Änderungen in der Grünlandvegetation durch den Klimawandel. – Bericht über das 20. Alpenländische Expertenforum zum Thema Bedeutung und Funktionen des Pflanzenbestandes im Grünland, Irdning-Donnersbachtal: 87–90.
- BLUM, W. (2019): Boden und globaler Wandel. – Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.
- BRASSEUR, G., JACOB, D. & SCHUCK-ZÖLLER, S. (2017): Klimawandel in Deutschland: Entwicklung, Folgen, Risiken und Perspektiven. – Springer Nature, Berlin, Heidelberg.
- CIAIS, J., SOUSSANA, F., VUICHARD, N. et al. (2010): The greenhouse gas balance of European grasslands. – Biogeosciences Discussions 7(4): 5997–6050.
- DRÖSLER, M. & KRAUT, M. (2020): Klimaschutz durch Moorschutz – im Klimaprogramm Bayern (KLIP 2020/2050). – ANLiegen Natur 42(1), 31–38; www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/meldungen/wordpress/klimaschutz-moorschutz/.
- EVERS, S., KNIGHT, T., INOUE, D. et al. (2021): Lagged and dormant season climate better predict plant vital rates than climate during the growing season. – Global Change Biology 27(9): 1927–1941.
- FRIDLEY, J., GRIME, J., ASKEW, A. et al. (2011): Soil heterogeneity buffers community response to climate change in species-rich grassland. – Global Change Biology 17(5): 2002–2011.

- HANDKE, K. (2010): Auswirkungen des Klimawandels auf Arten und Biotope in der Stadtgemeinde Bremen. – Unveröff. Gutachten i. A. des Senators für Umwelt, Bau, Verkehr und Europa, Bremen.
- IPCC (= INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 1990): Policymaker Summary of Working Group I – Scientific Assessment of Climate Change.
- IPCC (= INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, 2014): Climate Change 2014 – Synthesis Report – Summary for Policymakers. – Genf.
- KLAUS, V., HÖLZEL, N., PRATI, D. et al. (2016): Plant diversity moderates drought stress in grasslands: Implications from a large real-world study on ¹³C natural abundances. – *Science of the total environment* 566: 215–222.
- KREYLING, J., DENGLER, J., WALTER, J. et al. (2017): Species richness effects on grassland recovery from drought depend on community productivity in a multisite experiment. – *Ecology Letters* 20(11): 1405–1413.
- MULNV NRW (= 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. – Düsseldorf.
- PAULI, H., GOTTFRIED, M., DULLINGER, S. et al. (2012): Recent Plant Diversity Changes on Europe's Mountain Summits. – *Science* 336(6079): 353–355.
- STERNBERG, M., BROWN, V., MASTERS, G. et al. (1999): Plant community dynamics in a calcareous grassland under climate change manipulations. – *Plant Ecology* 143(1): 29–37.
- STURM, P., ZEHM, A., BAUMBACH, H. et al. (2018): Grünlandtypen Erkennen – Nutzen – Schützen. – Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., Wiebelsheim.
- URL 1: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trockenheit2018.jpg>.
- VETTER, V., KREYLING, J., DENGLER, J. et al. (2020): Invader presence disrupts the stabilizing effect of species richness in plant community recovery after drought. – *Global change biology* 26(6): 3539–3551.
- VITTOZ, P., RANDIN, C., DUTOIT, A. et al. (2009): Low impact of climate change on subalpine grasslands in the Swiss Northern Alps. – *Global Change Biology* 15(1): 209–220.
- WANG, S., ZHANG, Y., JU, W. et al. (2020): Recent global decline of CO₂ fertilization effects on vegetation photosynthesis. – *Science*, 370(6522): 1295–1300.
- WHITE, S., CARLYLE, C., FRASER, L. et al. (2012): Climate change experiments in temperate grasslands: synthesis and future directions. – *Biology Letters* 8.

Autorin



Lisa Danius,
Jahrgang 2001.

Studium European Studies mit Schwerpunkt
Geographie an der Universität Passau seit 2020.

lisa.danius@gmx.de

Zitiervorschlag

DANIUS, L. (2021): Auswirkungen des Klimawandels auf das Grünland – am Beispiel der Flachland-Mähwiese und Pfeifengraswiese – ANLIEGEN Natur 43(2): 47–58, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen.