

+2⁺ °C: Klimaveränderung im Almgebiet

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Abschlussbericht ALM20

+2° °C: Klimaveränderung im Almgebiet

+2° °C: *Climate change on alpine meadows*

Projektleitung:

Dr. Thomas Guggenberger (2019-2021)

Dr. Albin Blaschka (2016-2018)

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Projektmitarbeiter:

Reinhard Huber, Dr. Andreas Schaumberger,

Dipl.-Ing. Stefanie Gappmaier,

Dipl.-Ing. Andreas Klingler,

Petra Unterweger

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

Abschlussbericht ALM20

zum Forschungsprojekt DAFNE 101151/1 *Futterwert, Phänologie und Bestandesstruktur von Almweiden in einem 20-jährigen Vergleich* des Bundesministeriums für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus, Wien

Projektlaufzeit: 2016 – 2021

Zitiervorschlag:

Guggenberger, T.; Blaschka, A.; Huber, R.; Schaumberger, A.; Gappmaier, S.; Klingler, A. und Unterweger, P. (2021): +2° °C: Klimaveränderung im Almgebiet. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 105 S.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at

Für den Inhalt verantwortlich: Die AutorInnen

Korrespondierender Autor: Dr. Thomas Guggenberger,

email: thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at

Fotonachweis: HBLFA Raumberg-Gumpenstein/Dr. Guggenberger

Gestaltung: Alexandra Eckhart

Alle Rechte vorbehalten

Irdning-Donnersbachtal 2021

Danksagung

Die Forschungsgruppe Almwirtschaft der HBLFA Raumberg-Gumpenstein unter der Leitung von Reinhard Huber, dankt Dr. Albin Blaschka für die Beantragung und die wissenschaftliche Begleitung des Projektes. Dr. Blaschka übernahm vor Abschluss des Projekts die Stelle des Geschäftsführers des Österreichszentrums Bär, Wolf, Luchs. Weshalb der Forschungsbericht von den verbleibenden Projektmitarbeitern unter der Leitung des Hauptautors erstellt wurde.

Besonderer Dank gilt den Almbesitzern bzw. weideberechtigten Almbauern und Hirten, die den MitarbeiterInnen der HBLFA Raumberg-Gumpenstein unentgeltlichen Zugang zu ihren Almen gewährt haben. Wir wurden von euch immer freundlich aufgenommen und danke auch für die Umsicht in eurer Weideführung, da ihr dafür gesorgt habt, dass unsere Versuchspartellen gut geschützt waren. In alphabetischer Folge sind das:

Agrargemeinschaft Aigelsbrunn (Persch Alois), Agrargemeinschaft Neuburgeralm (Wolf Josef), Burghauser Franz aus Treglwang, Forstverwaltung Paltenstein (Hans Lothar von Holleuffer) aus Treglwang, Gassner Johann aus Admont, Griesebner Gerald aus Irdning, Löschenkohl Christian aus Weng bei Admont, Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger), Wolf Ludwig vulgo Kölblwirt in Johnsbach, Wolf Josef vulgo Gschaidger in Johnsbach.

Für die Zuteilung eines Wegerechtes und die Bereitstellung diverser Schlüssel für die verschiedenen Schranken sei folgenden Institutionen und Personen herzlich gedankt:

Forstverwaltung Paltenstein (Hans Lothar von Holleuffer) aus Treglwang, Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger) vertreten durch Förster Ing. Karl Platzer, Revierjäger Hubert Reichenfelser und Förster Ing. Martin Zorn.

Den Betreiberorganisationen des Klimastationsnetzes in Johnsbach, danken wir für die kostenlose Bereitstellung der Monatsmittelwerte von vier ausgewählten Klimastationen, das sind der Nationalpark Gesäuse, das Wegener Center und das Institut für Geographie der Universität Graz, die Universität für Bodenkultur, die Österreichischen Bundesbahnen, der Hydrographische Dienst und das internationale Projekt GLORIA. Mag. Alexander Maringer sei herzlich für die Organisation der Daten gedankt.

Der Stabstelle Analytik der HBLFA Raumberg-Gumpenstein danken wir für die Durchführung der chemischen Analysen.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	7
1 Einleitung	9
2 Triebkräfte einer veränderten Almwirtschaft	10
2.1 Standortbedingungen.....	10
2.2 Management.....	15
3 Forschungsansatz „Höhenprofil Johnsbach“	17
3.1 Ursprung und Periode zwischen 1993 und 1996.....	17
3.2 Lage.....	18
3.3 StartClim2014.D.....	24
3.4 Erhebungen.....	24
3.4.1 Klimadaten.....	24
3.4.1.1 Station Hall bei Admont.....	24
3.4.1.2 Klimastationsmessnetz im Johnsbachtal.....	26
3.4.2 Ertrag und Futtermittelinhaltstoffe.....	28
3.4.3 Botanische Erhebungen.....	30
3.4.4 Almbewirtschaftungsdaten.....	31
3.4.5 Verknüpfung der Daten aus der Periode 1993-1996 mit den Daten der Periode 2016-2019.....	31
3.4.6 Erstellung belastbarer Klimadaten.....	31
3.5 Statistische Modelle.....	24
3.5.1 Bewertung der grundlegenden fixen Effekte der einzelnen Versuchsflächen in den Perioden.....	33
3.5.2 Bewertung der fixen Effekte der Hauptfaktoren mit der Klasse Periode.....	34
3.5.3 Bewertung der fixen Effekte der Hauptfaktoren mit den quantitativen Messdaten ΔT (Temperatur) und ΔN (Niederschlag).....	34
3.5.4 Bewertungsmodelle der botanischen Erhebung.....	35
4 Ergebnisse	36
4.1 Veränderung der Klimadaten.....	36
4.1.1 Veränderung von Temperatur und Niederschlag im 30-jährigen Beobachtungszeitraum der Stationen bei Admont.....	36
4.1.2 Korrelation der Klimastation Admont mit der Klimastation Kölblwiese in Johnsbach.....	39
4.1.3 Gradienten für Temperatur und Niederschlag im Johnsbachtal.....	40

4.1.4	Schwankungen des Klimas in den Untersuchungsperioden auf der Basis der übertragenen Modelldaten.....	43
4.1.5	Festlegung der Veränderungsgradienten.....	45
4.2	Pflanzenbauliche Veränderungen.....	45
4.2.1	Erklärungskraft der fixen und variablen Größen der statistischen Modelle.....	45
4.2.2	Futterertrag und Futterwert im 25-jährigen Beobachtungszeitraum.....	47
4.2.2.1	<i>Die Wirkung der Periode</i>	47
4.2.2.2	<i>Die Wirkung des Grundgesteins</i>	49
4.2.2.3	<i>Die Wirkung der Höhenlage</i>	50
4.2.3	Wirkung der Klimadaten auf Futterertrag und Futterwert.....	51
4.2.4	Entwicklungsdynamik von Ertrag und Futterwert im 1. Aufwuchs.....	52
4.2.5	Bestimmung der Zeitverschiebung für einen angepassten Almauftrieb.....	54
4.2.6	Veränderungen im Pflanzenbestand.....	57
4.2.6.1	<i>Analyse der Vegetationsaufnahmen</i>	57
4.2.6.2	<i>Phänologische Reife der Versuchsflächen in der Periode 2</i>	60
4.3	Veränderungen in der Almbewirtschaftung und im Mangement.....	62
5	Zusammenfassung	66
6	Literatur	72
7	Anhang	76
7.1	Monatsdaten der Klimastationen Admont und Hall bei Admont.....	76
7.2	Schwankungen an den Klimastationen Admont und Hall bei Admont.....	78
7.3	Schwankungen der Klimadaten in der Periode 1993-1996 auf Basis der Klimadaten der Station Hall bei Admont am Standort Kölblwiese.....	80
7.4	Schwankungen der Klimadaten in der Periode 2016-2019 auf Basis der Klimadaten der Stationen Johnsbach.....	82
7.5	Veränderung von Ertrag und Futterwert.....	84
7.6	Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen.....	87
7.7	Klima, Hauptfaktoren.....	92
7.8	Dynamik, Hauptfaktoren.....	94
7.9	Verdaulichkeiten des Almfutters.....	97
7.10	Einzelbeschreibung der Versuchsflächen.....	98

+2° °C: Klimaveränderung im Almgebiet

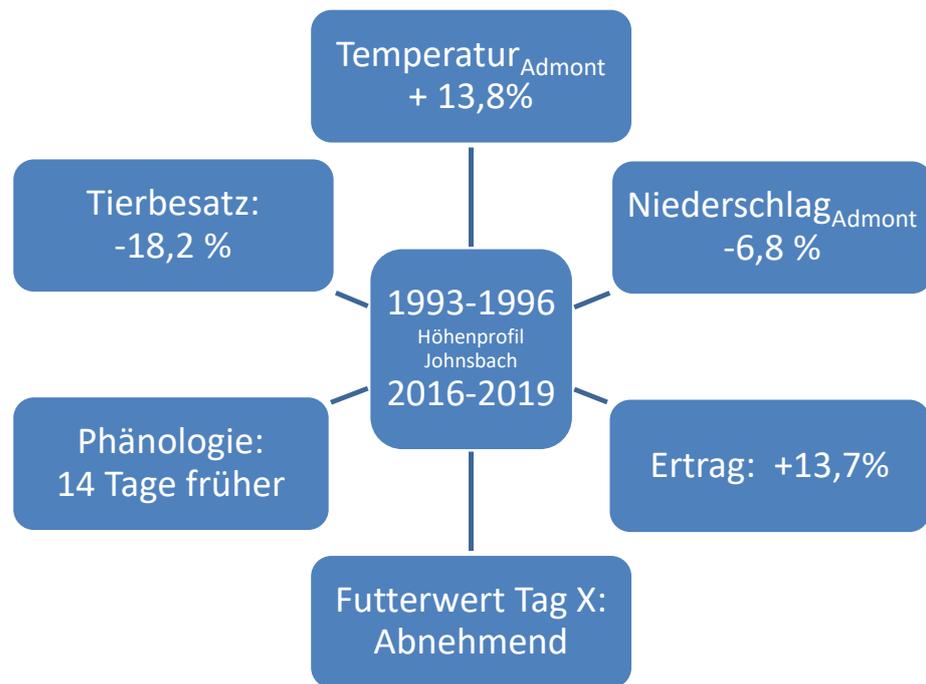
+2° °C: *Climate change on alpine meadows*

Kurzfassung

Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein hat im Zeitraum 2016-2019 ein Projekt in der Dauerversuchsanlage des Höhenprofils Johnsbach (47° 31' 21.6984» N 14° 39' 7.9668» E) aus dem Jahre 1993-1996 wiederholt, um den aktuellen Einfluss der Klimaerwärmung auf den Ertrag und die Futterqualität von Almweiden zu untersuchen. Dafür wurden die Versuchsflächen rekonstruiert, befestigt und ein Drittel der Fläche an einem fixen, bereits 1993-1996 festgelegten Termin geerntet. 10 Tage vor diesem Termin und 10 Tage danach wurden je ein verbleibendes Drittel geerntet um die Entwicklungsdynamik des Almfutters zu bestimmen. Der Ertrag im ersten Aufwuchs und die Nährstoffe im Futter wurden bestimmt. Zur Untersuchung der Klimaveränderung wurde der langjährige Datensatz der ZAMG-Station in Admont zwischen 1990 und 2019 ausgewertet. Dessen Eignung wurde vorab über das lokale Messstationsnetz der Integrativen Kooperationsplattform Johnsbachtal geprüft. Für Zukunftsprognosen werden die Klimaszenarien für Österreich der Arbeitsgruppe ÖKS15 genutzt (ÖKS15, 2015).

Die Untersuchung der Klimadaten zeigte, im Vergleich zur ersten Periode von 1993-1996 einen Anstieg der Temperatur im jeweiligen Monat vor der Ernte um 13,8 % oder 2,1 °C und einen Rückgang des Niederschlages um 6,8 % oder 10 mm. Die Erwärmung hat zu einem früheren Vegetationsbeginn von rund 14 Tagen geführt, weshalb zum festen Erntetermin bereits um 13,7 % mehr an Futterertrag zu finden war. Dieses Futter war um jeweils mindestens eine phänologische Phase weiter und befand sich nun nicht mehr in der 1993-1996 beobachteten Weidereife, sondern mindestens in der Blüte. Damit verbunden konnte eine veränderte Zusammensetzung der Strukturkohlenhydrate beobachtet werden. Entlang der Entwicklungsdynamik der Vegetation lagern die Pflanzen entlang des Höhengradienten mehr an Strukturkohlenhydraten ein. Insgesamt sinkt deshalb der Futterwert. Um auf diese Entwicklung zu reagieren, dürfen Almbauern in Zukunft den Almauftriebstermin nicht zu spät ansetzen. Traditionelle Termine bzw. rechtlich verankerte Termine müssen unbedingt überdacht werden, da der Weidebeginn unter Anwendung der Prognosen des ÖKS15 bis zur Periode 2071-2100 ab heute noch weitere 5 Wochen früher stattfinden könnte. Diese Aussage bezieht sich auf Standorte mit ausreichendem Niederschlag im Frühling und Frühsommer. Im gesamten Beobachtungszeitraum ist außerdem der Tierbesatz an Weidevieh in Folge der Strukturänderung in der Landwirtschaft um 18,2 % zurückgegangen.

Die stärkere Dynamik der Vegetation und der Rückgang der Weidetiere werden in Zukunft zu einem weiteren Rückgang von Qualitätsweiden auf den Almen führen. Als Gegenmaßnahmen sind eine systematische Beweidung und eine weiterhin aktive Weidepflege durch die Almbauern unbedingt notwendig. Dass dafür die Landwirtschaft im Berggebiet intakt bleiben muss, versteht sich von selbst.



1 Einleitung

Almen berühren!

Almen sind schwer in einen Begriff zu fassen. Aus der Sicht der landwirtschaftlichen Produktion handelt es sich um Grünlandflächen, die, bedingt durch ihre Höhenlage und die klimatischen Bedingungen, nur sehr beschränkt genutzt werden können. Aus der Sicht des Förderungswesens wurde mit der digitalen Erfassung der Almfutterflächen ein Datenbestand definiert, der die Almen im Sinne einer (möglichst klaren) Reinweidestruktur räumlich einfasst. Die mit der Inhomogenität der Pflanzenbestände und der Strukturierung der Habitate einhergehenden Erfassungsschwierigkeiten sind bekannt. Wer den Wanderer fragt, darf keine scharfe Abgrenzung erwarten. Dort wo der Dauersiedlungsraum aufhört beginnt für die Mehrheit der Bevölkerung die Alm und sie endet erst, wenn im Hochgebirge die Vegetationsdecke in den Rohboden übergeht. Almen stehen aber auch für ein Lebensgefühl, für das Ursprüngliche und Freie in einer sehr hektisch gewordenen Welt.

Wenn auch der Begriff der Alm unsicher ist, eines steht fest: Almen sind alte, anthropogene Rodungsinseln, die von Menschen geschaffen wurden, die diese Ressourcen für das Überleben der eigenen Familien gebraucht haben (Obermair und Stamm, 2019). Untrennbar mit der Rodung und Nutzung verbunden ist ein angepasster Bestand an Wiederkäuern. Dieser muss in der Lage sein das einjährige Futter regelmäßig zu ernten und zugleich die mehrjährigen Pflanzen so zu schädigen, dass sich diese keinen Standortvorteil verschaffen können. Es steht heute fest, dass die Berglandwirtschaft diese Herausforderung zunehmend schlechter bewältigen kann. Zugleich zeigen sowohl alle wissenschaftlichen Studien, aber auch die empirischen Erfahrungen, dass sich das Standortklima der Almen langsam verändert. Almen werden dabei zwar zum einen fruchtbarer, zugleich steigt aber auch das Risiko von Extremsituationen wie Trockenheit oder Starkniederschläge.

Das **Höhenprofil Johnsbach**, dieses wurde von der damaligen BAL Gumpenstein unter der Leitung von HR Dr. Kurt Chytil im Jahr 1993 installiert, ist ein pflanzenbaulicher Dauerversuch zur systematischen Analyse von Pflanzenerträgen und Nährstoffgehalten von Almweiden (Chytil, 1998). Im Ursprung zur Wissensgewinnung für die damals wichtigen Verfahren zur Wald-Weide-Trennung gedacht, ist das Höhenprofil Johnsbach heute eine wertvolle Referenz zur Bewertung der Veränderungen der Almwirtschaft in den letzten 30 Jahren. Das vorliegende Projekt ALM20 wiederholt den Ansatz von 1993-1996 in den Jahren 2016-2019 und vergleicht die Ergebnisse der botanischen Erhebung der Pflanzengemeinschaften, des Ertrages und des Futterwertes mit der Gegenwart.

Aufbauend auf der Einleitung können über die Zeitspanne von rund 30 Jahren insgesamt vier Fragen an das nun verfügbare Datenmaterial gestellt werden. Diese Fragen betreffen in sehr einfacher Form die Managementverfahren der Almwirtschaft im Untersuchungsgebiet und die Entwicklung der almwirtschaftlichen Grundlage der Landwirtschaft in dieser Region. Mögliche Veränderungen des lokalen Klimas können methodisch besser untersucht werden, weil sich zum einen

in der Nähe des Gebietes eine langjährige, amtliche Wetterstation der ZAMG befindet und zum anderen seit rund 10 Jahren direkt im Untersuchungsgebiet ein Netz an Klimastationen einer lokalen Forschungspartnerschaft befindet. Dieses trägt den Namen *Integrative Kooperationsplattform Johnsbachtal* und dient der Umweltbeobachtung im Hochgebirge. Die Analysen zum Futterertrag und zur Futterqualität werden ebenso über die lokal installierten Versuchsfelder der HBLFA im Höhenprofil Johnsbach interpretiert, wie die möglichen Veränderungen der Pflanzenbestände. Neben den Fachfragen bleibt, geschuldet den möglichen Empfehlungen, ein prognostizierender Blick in die Zukunft.

So lauten nun also die 5 Fragen im Detail:

- Wie verändert sich die Almwirtschaft?
- Hat sich das Klima im Untersuchungsgebiet in den letzten 30 Jahren geändert?
- Wie wirkt ein verändertes Klima auf den Ertrag und den Futterwert?
- Hat sich die Pflanzenzusammensetzung geändert?
- Welche Maßnahmen sind in der Almwirtschaft zukünftig notwendig?

2 Triebkräfte einer veränderten Almwirtschaft

Vor der methodischen Beschreibung des Forschungsprojektes ALM20 muss unbedingt noch ein Blick auf die treibenden Kräfte der Veränderung geworfen werden. Diese waren und sind immer im Wechselspiel der natürlichen Standortbedingungen mit dem Wirken des Menschen zu suchen. Beide Aspekte können in der vollen Breite von einer begünstigenden Beziehung bis zur vollständigen Zerstörung wirksam werden.

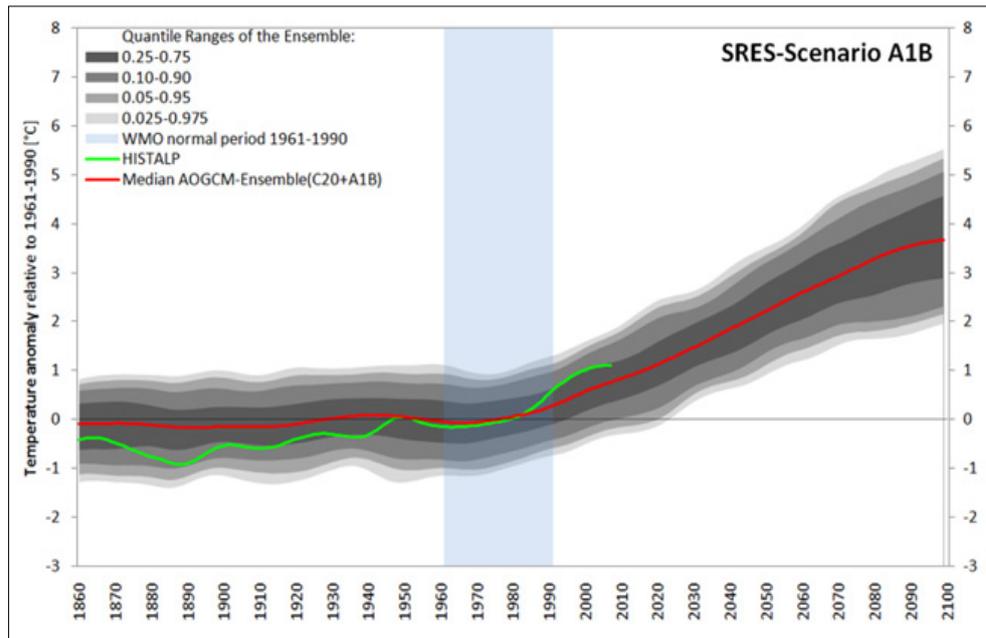
2.1 Standortbedingungen

Die grundlegenden Faktoren, das sind die physikalischen Rahmenbedingungen am Standort sowie die Chancen von Pflanzen auf Nährstoff- und Wasserversorgung, bestimmen das Wachstum. Immer benötigen sie für den eigenen Energiestoffwechsel die Photosynthese und sichern sich die Nährstoffnachlieferung aus dem Boden. Neben diesen bestimmenden Konzepten greift der Mensch im Wirtschaftsgrünland über die Düngung (Intensität, Zeitpunkt, Form), die Nutzung (Häufigkeit, Zeitpunkt, Art) und den Pflanzenbestand (Artengruppenverhältnis, Artenspektrum) ein und beeinflusst so den Ertrag und die Futterqualität im Grünland (Pötsch et al., 2019). Diese Einflüsse nehmen auf den Grenzertragsflächen der Berglandwirtschaft langsam ab. Die Düngung von Jung- oder Galtviehalmen findet nur in seltenen Fällen als technische Düngung statt. Auf Milchviehalmen muss der im Almstall anfallende Wirtschaftsdünger ordnungsgemäß ausgebracht werden. Über die Technik und den Tierbesatz werden so auch Grenzertragsflächen anthropogen beeinflusst. Gleiches gilt für die Weideführung auf der Alm, die eine kontinuierliche Nutzung der Almweiden während des Almsommers sicherstellen soll. Auf vielen Almen folgt die Beweidung der Vegetation entlang des Höhengradienten und so finden die Weidetiere immer ausreichend Qualitätsfutter. Ist der Höhengradient kaum ausgeprägt, benötigt die

Alm eine systematische Nutzung der verschiedenen Almbereiche im Sinne einer Koppelweide. Beides, der Tierbesatz und die Weidemethode, beeinflussen den lokalen Pflanzenbestand. Wird die Nutzung von einjährigen Pflanzenbeständen unterhalb der Waldgrenze völlig eingestellt, dann werden sehr rasch mehrjährige Pflanzen ihre Vorteile nutzen. In ein bis zwei Dekaden schließt sich dann die regionaltypische Waldgemeinschaft über der ehemaligen Dauerweidefläche. An der Waldgrenze gestaltet sich der Prozess etwas anders, weil dort mit den Zwergsträuchern eine Pflanzengemeinschaft dominiert, die als Übergangsform zwischen Wald und hochgelegenen Magerrasen ihre Energiebilanz so optimiert hat, dass sie ihre Biomasse über die Winterperiode aufrechterhalten kann. Die Waldbildung wird durch Kälteschäden (Bader und Ruijten, 2007), Wintertrockenheit (Sakai und Larcher, 1987) und mechanische Schäden (Holtermeier, 1974) verhindert. Über diese Grenze bilden sich sehr schwachwüchsige Gemeinschaften aus Gräsern, Kräutern und Klee (Magerrasen), die nur die Sommermonate nutzen und im Winter den Stoffwechsel weitgehend einstellen (Hoch und Körner, 2003). Da sich die Landwirtschaft in aller Regel nicht schlagartig von den Almflächen zurückzieht, läuft der Umwandlungsprozess in einer Mischform aus der Wirkung der mehrjährigen Pflanzengemeinschaften und einer lokalen Artenverschiebung innerhalb der ursprünglichen Pflanzengemeinschaft ab. Typisch sind ursprüngliche Reinweiden, die unter reduzierten Weidedruck bald eine Mischung aus ein- und mehrjährigen Pflanzen aufweisen und die zunehmend von Verunkrautung betroffen sind (Buchgraber et al., 2010). Wir kennen aber auch Verunkrautungen in der Form einer Leger-Flora, die sich gerne an jenen Stellen bildet an den sich Tiergruppen zum Wiederkäuen niederlassen. Diese entsteht meist durch eine lokale Überdüngung rund um die Almzentren (Spatz et al., 1978).

Nun, da die grundsätzliche Dynamik grob beschrieben ist, können auch Veränderungsvektoren bestimmt werden. Neben den anthropogenen Einflüssen der Almbauern, diese werden über das Management unter 2.2 noch genauer beschrieben, bestimmen vor allem die natürlichen Standortfaktoren die Fruchtbarkeit einer Alm (Pötsch et al., 1998). Zu diesen zählen als statische Einflussfaktoren die Geologie, die lokale Ausformung des Geländes mit ihrer Exposition und Neigung sowie der Kammerung und Rauheit der gesamten Geländebeschaffenheit im Umfeld eines Standortes. Dynamisch, zumindest im Zeitmaß der Natur, entwickeln sich innerhalb dieser Grundstruktur die Böden und ihre Fruchtbarkeit. Alle Faktoren bilden ein kompaktes Gefüge, auf welches das regionale Klima mit hoher Variabilität einwirkt. Die Temperatur bildet dabei ein dynamisches Feld, welches hauptsächlich durch die einwirkende Globalstrahlung und den daraus resultierenden Wärmeströmen aufgebaut wird. Das tägliche Wetter manipuliert dieses Feld mit der bekannten Bandbreite, was uns vom Tauwetter im Winter bis hin zum Schnee im Juli beschert. Die kleinräumig meist sehr unterschiedlichen Niederschlagsereignisse bilden in der Regel kein kontinuierliches Feld aus. Es wird vom aktuellen Wetter bestimmt. Aus der Sicht der Pflanzen spielt vor allem der Niederschlag in der Vegetationszeit eine große Rolle (Krimberger, 1998). Winterniederschläge, die als Schneedecke gespeichert bleiben, führen durch Schmelze am Beginn der Vegetationszeit zu wassergesättigten Böden, die den Wasserbedarf der Pflanzen decken und so gute Startvoraussetzungen schaffen.

Abbildung 1: Änderung des Jahresmittels der Lufttemperatur (30-jährig gefiltert) in der Greater Alpin Region GAR bezogen auf das Mittel von 1961-1990 aus Klimamodellierungsdaten (IPCC 2007) und Messdaten. Rot: Median aus 15 globalen Klimamodellen, grün: HISTALP-Messdaten, grau: Streuung der Modelle (aus einer laufenden Untersuchung an der Abteilung für Klimaforschung, HISTALP; IPCC Data).



Wir können in den letzten 30 Jahren keine Veränderungen in den statischen Einflussfaktoren unserer Almweiden beobachten, befassen uns aber intensiv mit den immer deutlicheren Veränderungen von Temperatur und Niederschlag. Die globalen Zusammenhänge werden im AR5 des IPCC umfassend dargestellt, AR6 soll im Laufe des Jahres 2021 veröffentlicht werden (IPCC, 2014). *Abbildung 1* aus ZAMG (2021) zeigt uns die Entwicklung des Modells A1B für den gesamten Alpenraum. Dieses Modell geht von einem weiteren Wachstum der Weltbevölkerung aus, unterstützt aber einen zunehmenden Umstieg auf alternative Energien. Der roten Modelllinie, diese ist auf die Basisperiode 1961-1990 normiert, folgt als grüne Linie das Messergebnis des Projektes HISTALP (Auer et al., 2007). Seit etwa 1980 liegen diese Messungen noch deutlich über dem ansteigenden Modellmedian. Im Alpenraum ist also mit einer überproportionalen Erwärmung zu rechnen.

Die notwendige Ernsthaftigkeit und Sicherheit für zukünftige Prognosen beginnt bei der Interpretation der Messdaten in der Vergangenheit. ÖKS15 zeigt die dramatische Entwicklung an 6 „Flagship-Stationen“ in der weltweit längsten klimatologischen Messreihe (ÖKS15, 2015). *Abbildung 2* zeigt die Frühlingstemperatur der Messperiode zwischen 1761 und 2010. Auffällig ist hier die Kaltphase zwischen 1836 und 1860 und die Warmphase ab 1986. Beide Anomalien weichen signifikant von der langjährigen Entwicklung ab. ÖKS15 gibt für letzte Periode folgende Bewertung: Starker und signifikanter Anstieg der Mitteltemperatur in ganz Österreich um +1,0 °C auf 7,0 °C. Für den Frühling gibt ÖKS15 eine Erwärmung von +1,1 °C bei einer mittleren Temperatur von +6,7 °C an. Die Sommertemperatur hat sich um +1,3 °C bei einer mittleren Temperatur von +15,7 °C erwärmt. Im Herbst nimmt die Erwärmung langsam ab und beträgt bei einer mittleren Temperatur von +7,3 °C aber immer noch +0,4 °C. Im Winter finden wir ein nicht mehr so klares Erwärmungssignal. Diese variiert je nach Standort der Klimastation. Für den Niederschlag gibt ÖKS15 für die letzte Periode ab 1986 folgendes Urteil ab: „Schwache Zunahme der Niederschlagsmengen um 11 % im Gesamtjahr ausgenommen der Alpensüdseite.

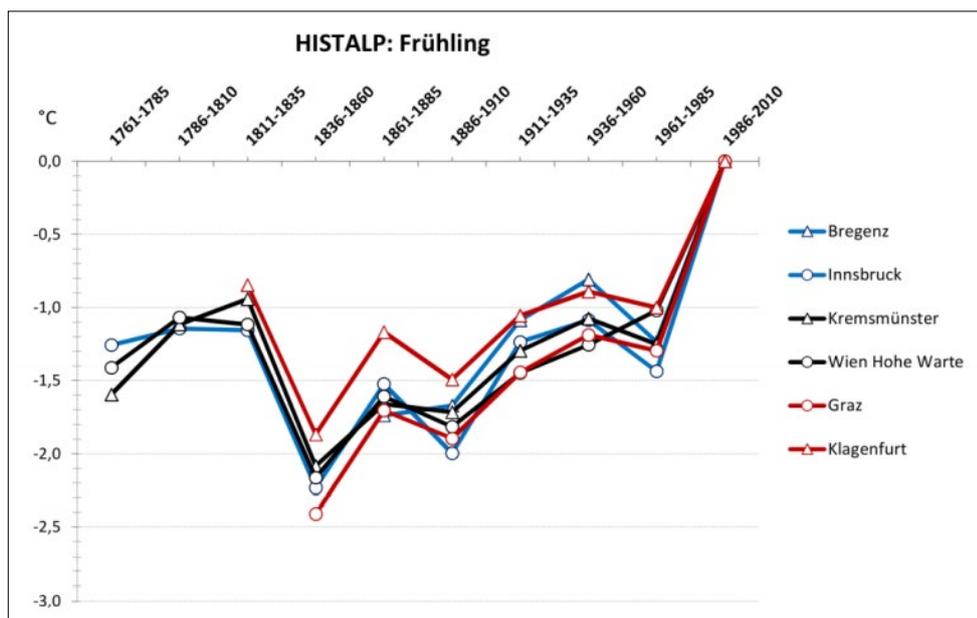


Abbildung 2: Änderung der saisonalen Mitteltemperatur seit 1761 relativ zur Referenzperiode (ÖKS15, 2016, 27).

Dort ebenso große Abnahme. Die Änderung zeigt sich vor allem in den letzten 25 Jahren, ist aber nur in einigen wenigen Gebieten signifikant, nicht konsistent. Der Klimawert für das Gesamtjahr beträgt 1.136 mm.“

In ÖKS15 (2016) werden die Zeiträume der *Nahen Vergangenheit* bzw. *Nahen Zukunft* verbunden und damit ist auch der Bereich der eigenen Untersuchungen (1993-1993 bzw. 2016-2019) ausreichend abgedeckt (Tabelle 1). Wir können damit auf der Basis des Beobachtungszeitraumes die Erwärmung der *Nahen Vergangenheit* mit den Prognosen der *Nahen Zukunft* addieren. Tun wir das, erreichen wir im Jahreswert eine Erwärmung von rund 2,35 °C. Im Frühling beträgt die Erwärmung 2,20 °C, im Sommer 2,65 °C, im Herbst 1,8 °C und im Winter 2,7 °C. Der Blick auf die Prognosen der *Fernen Zukunft* zeigt wie wichtig der Klimaschutz ist. Ist der Prozess erst einmal richtig in Fahrt (Kippeffekte), dann könnte sich eine maximale Temperaturveränderung zwischen 1989 und 2100 von rund 5 °C ergeben.

Für einen Blick in die Zukunft der Wasserversorgung landwirtschaftlicher Kulturen liefert das Projekt CLIWA-STMK die notwendigen Informationen (Schaumberger, 2020). Die Autoren haben in dieser Arbeit die Wasserverfügbarkeit in der Steiermark für die ferne Zukunft (2071-2100) modelliert. Diese Arbeit deckt auch das Projektgebiet von ALM20 vollständig ab, weshalb die Zukunftsprognosen aus dieser Arbeit entnommen werden. Die Autoren nutzen ebenfalls die Szenarien aus Tabelle 1, wenden aber für RCP8.5 auch noch ein alternatives meteorologisches Modell an. Wie Abbildung 3 zeigt, dürfen wir annehmen, dass sich die Niederschlagsmengen im Almbereich der Steiermark auch bis zum Ende des Jahrhunderts nicht zu einem limitierenden Faktor entwickeln. Diese Erkenntnis deckt sich mit ÖKS15, wo für die Nordalpen auch mit einer neutralen bis leichtzunehmenden Niederschlagsentwicklung gerechnet wird. Über die zeitliche Verteilung sagt das allerdings noch nichts aus!

Aus der Sicht der Standortbedingungen der alpinen Pflanzengemeinschaft ist in Zukunft mit einer höheren Wärmesumme bei ausreichendem Niederschlag zu

Tabelle 1: Temperaturänderung in verschiedenen Szenarien (ÖKS15, 2016)

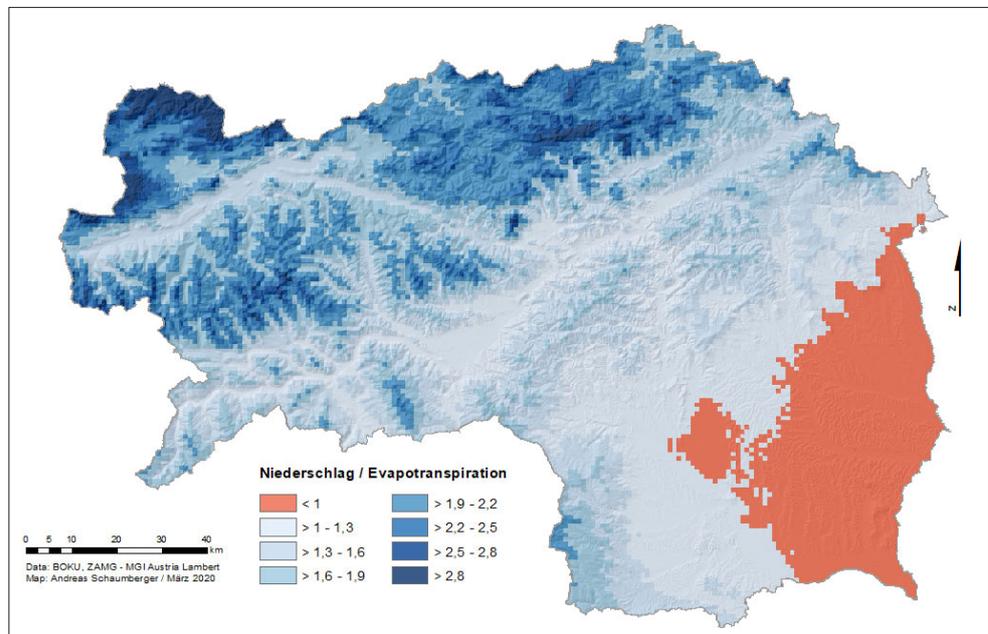
Zeit	Modell	Δ Temperatur [°C]		
		Nahe Vergangenheit 1986-2010	Nahe Zukunft 2021-2050	Ferne Zukunft 2071-2100
Jahreswert	HISTALP	1		
	RCP4.5		1,3	2,3
	RCP8.5		1,4	4
Frühling	HISTALP	1,1		
	RCP4.5		1	2,1
	RCP8.5		1,2	3,7
Sommer	HISTALP	1,3		
	RCP4.5		1,3	2,1
	RCP8.5		1,4	4,1
Herbst	HISTALP	0,4		
	RCP4.5		1,2	2,3
	RCP8.5		1,6	3,9
Winter	HISTALP	1,2		
	RCP4.5		1,5	2,4
	RCP8.5		1,5	4,4

HISTALP: Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region (Auer et al., 2007)

RCP 4.5 IPCC (IPCC, 2014): Klimaschuttszenario

RCP 8.5 IPCC (IPCC, 2014): Weiter wie bisher (Business as Usual BAU)

Abbildung 3: Median der relativen klimatischen Wasserbilanz für die Zielperiode 2071-2100 des fehlerkorrigierten EURO-CORDEX Modells ICHEC-EC-EARTH RCP 8.5 (Abbildung 16 in der Originalpublikation)



rechnen, sodass wir wärmeliebende und mehrjährige Pflanzen fördern (Grabherr et al., 1994). Der Druck auf die Almweiden, besonders unter den Aspekten, die

das nächste Kapitel liefern wird, nimmt zu. Es wird zu einer Waldbildung in den bestehenden Almen und über der heutigen Waldgrenze kommen (Guggenberger, 2008).

2.2 Management

Nestroy (1984) blickt aus der Sicht seiner Zeit auf die Almwirtschaft der Epoche von 1952 bis 1984 und diagnostiziert der Almwirtschaft einen aufsteigenden Trend. Wie in *Tabelle 2* gezeigt, steigen zu dieser Zeit die Almauftriebszahlen nach einer Depression in den 1970er Jahren wieder an, was auch mit einer Verstärkung der auf den Almen tätigen Personen einhergeht. Die Ergebnisse der Almerhebung der Statistik Austria im Jahre 1986 zeigen zudem, dass von den rund 12.000 Almen dieser Zeit bereits $\frac{3}{4}$ ausreichend mit Zufahrt und Wasserversorgung erschlossen sind. Bei einer schwankenden Anzahl an Almen nimmt die Almfläche aber seit den 1950er Jahren kontinuierlich ab, wobei die großen Sprünge bzw. der Übergang von der Katasterfläche zur Almfutterfläche und deren starke Reduktion in den letzten Jahren meist stärker mit administrativen Notwendigkeiten verbunden war, als mit der Beweidungswirklichkeit. Fest steht, dass für die Bewirtschaftung der verbleibenden Almfläche immer weniger Personen in der Form aktiver Betriebe gegenüberstehen und ein Trend zur Bewirtschaftung der Alm vom Heimbetrieb aus nicht zu übersehen ist.

Der Blick in die Gegenwart der Milchkuhhaltung in *Abbildung 4* und *Abbildung 5* zeigt uns, was wir in der Almwirtschaft zu erwarten haben: Angetrieben durch eine schwache ökonomische Entwicklung der landwirtschaftlichen Produktpreise für Milch und Rindfleisch in den letzten 20-25 Jahren findet auch in der Berglandwirtschaft eine zunehmende Konzentration der Milchkuhherde statt (Guggenberger, 2020). Die aktuelle Schrumpfrate bei Betrieben mit weniger als 10 Milchkühen beträgt 7 % pro Jahr. Dieser Wert nimmt bei Betrieben mit einem Tierbestand bis zu 30 Kühen fast linear ab, danach zu. Bedeutend für die Almwirtschaft ist die Erkenntnis, dass der starke Rückgang auf Betrieben mit Erschwernispunkten (EP) in einem Bereich bis 150 EP besonders stark ist und danach abnimmt. Ähnlich, wenn auch mit anderen Herdengrößen, verhält sich die Mutterkuhhaltung. Die Anzahl der Milchkühe blieb konstant, die der Mutterkühe schrumpft allerdings zunehmend.

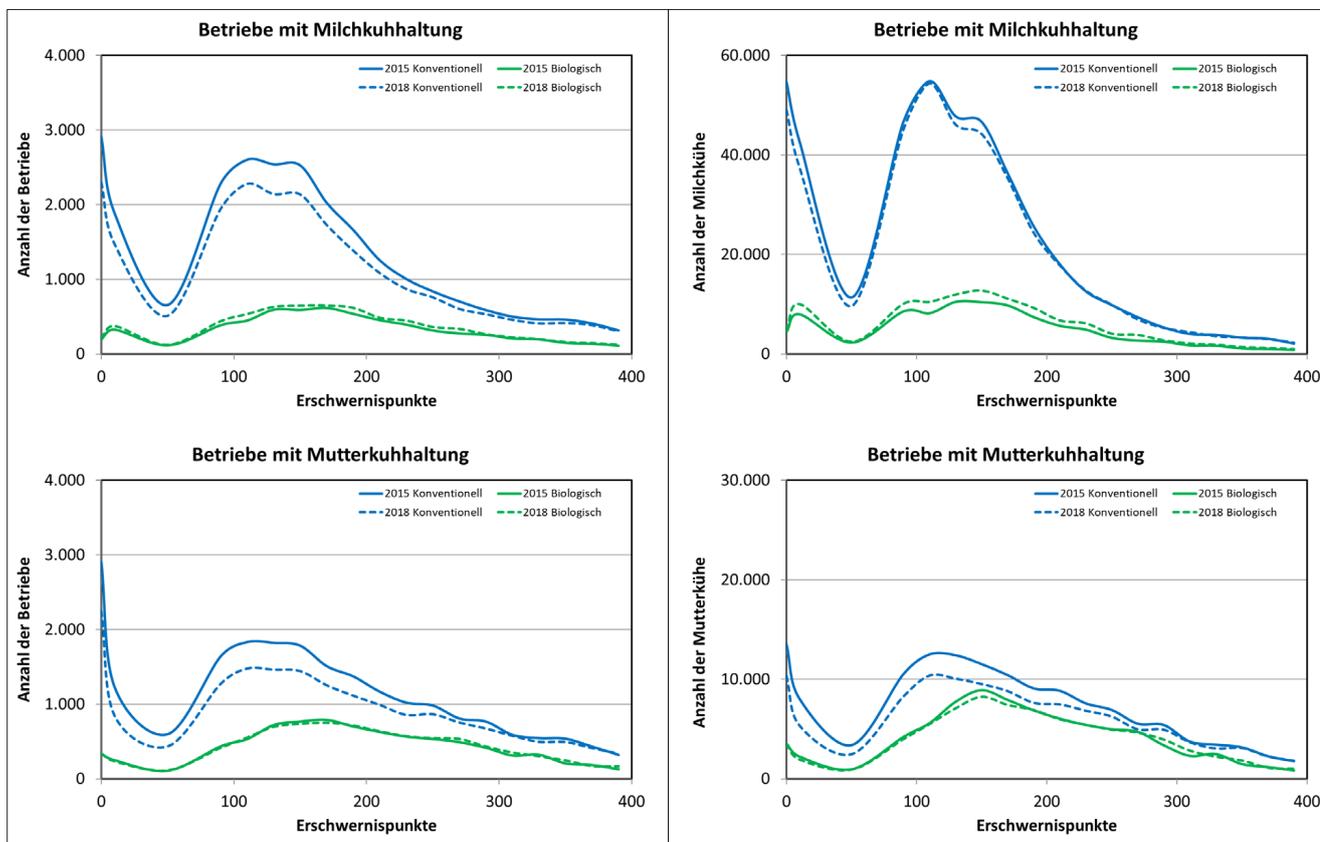
Tabelle 2 : Entwicklung der Almwirtschaft in Österreich

Jahr	Anzahl der Almen	Almkataster [ha]	Almfutterflächen [ha]	Gealpte GVE	Almen mit Behirtung	Alm-personal
1952 ¹	10.819	1.721.201	904.337	315.200	-	18.411
1974 ¹	9.311	1.449.405	742.588	234.076	-	7.637
1986 ²	12.069	1.452.020	761.849	289.041	-	12.754
2000 ²	9.233	-	574.372	283.939	4.288	6.692
2010 ³	8.542	-	412.477	290.843	4.383	7.272
2018 ³	7.910	-	316.122	266.694	4.680	7.102

¹Statistik Austria, Almerhebung 1986, ²Grüner Bericht 2014, Tabelle 3.1.15, ³Grüner Bericht 2020 Tabelle 2.1.9.2 - Keine Daten verfügbar

Abbildung 4: Veränderung der Milch- und Mutterkuhalter zwischen 2015 und 2018 nach den Erschwernispunkten der Betriebe

Abbildung 5: Anzahl der Milch- und Mutterkühe zwischen 2015 und 2018 nach den Erschwernispunkten der Betriebe



Die Auswirkungen der aktuellen Änderungen können schwer abgeschätzt werden. Sicher ist, dass es regionale Unterschiede gibt, die mit der lokalen Struktur der Almen und der Intensität der Rinderhaltung in Verbindung steht. Die wirklich dramatischen ökonomischen Ergebnisse der Mutterkuhhaltung (BMLRT, 2020) lassen im Bereich der Niederalmen unter 1.300 Meter Seehöhe (zumeist in den Voralpen oder im Alpenostrand) eine Abnahme des Viehbesatzes erwarten. Für Mittelialmen bis 1.700 Meter Seehöhe und Hochalmen gilt, dass es eine engere Bindung zum Heimbetrieb gibt. Betriebe mit hohen EP, oft wirtschaften diese auch in biologischer Wirtschaftsweise, können wir auf jeden Fall mit diesen Almen assoziieren. Sie erscheinen derzeit noch recht robust im Hinblick auf eine deutlich sinkende Herdengröße. Möglicherweise kann auch die wachsende Herdengröße von Heimbetrieben die aktive Bestoßung von Almen mit Jungvieh fördern. Größer werdende Herden führen bei den Heimbetrieben zu einer Verdichtung des Ressourcenbedarfes. Die Alm und ihre Sommerweide bietet in Zukunft ein lokales Ventil zur Steigerung des Autarkiegrades bei Grundfuttermitteln.

Im technologischen Bereich fördern Werkzeuge wie GPS-Halsbänder die Bewirtschaftung der Alm (Huber, 2019). Werden Tiere vom Heimbetrieb aus betreut, gelingt mit GPS-Halsbändern ein rascheres Auffinden der Herden. Das senkt den Arbeitszeitbedarf für die verpflichtende Tierkontrolle. Die mobile Kommunikation,

heute fast selbstverständlich, fördert auf jeden Fall den Managementaufwand der Bewirtschaftung und verschafft zusätzlich Sicherheit für Mensch und Vieh. Von großem, zukünftigem Wert können die automatisierten Ergebnisse der Fernerkundung sein. Satelliten wie Sentinel-2 liefern inzwischen im Rhythmus von wenigen Tagen gut aufgelöste Beobachtungsdaten der Vegetation auf unseren Almen. Diese Information ist extrem wichtig, um die richtigen Maßnahmen in der Weideführung zu setzen.

Neben der Technologie ist vor allem die soziologische Bindung der Gesellschaft an die Naturlandschaft der Almen eine der stärksten Antriebskräfte für eine aktive Almwirtschaft. Ob im Hintergrund, wie etwa im Tourismus, wirtschaftliche Interessen am Werke sind (Greif und Riemerth, 2006) oder ob es sich um die Sehnsucht für eine intakte Natur handelt (Hellebart, 2006), ist aus der Sicht der Almwirtschaft nicht maßgeblich. Wichtig ist, dass sich Bedürfnisse und Interessen der Gesellschaft in ihrem Handeln wiederfinden. Solange die österreichische Bevölkerung ihre Almlandschaft durchwandert und die darüber liegenden Gipfel besteigt und solange sie die Produkte von der Alm am Teller auch wertschätzt, werden politische Programme die notwendigen Transferleistungen für die Anliegen der Almbauern bereitstellen (Guggenberger et al., 2014). Diese Erkenntnis schmeckt meist süß, stößt im Falle eines Übertourismus oder in der Frage der großen Beutegreifer aber auch manchmal sauer auf.

Im Abwägen der genannten Aspekte (Schrumpfen der Wiederkäuerbestände, technologische Unterstützung, Renaissance von Naturwerten, Druck durch große Beutegreifer, ...) kann sich ein Gleichgewicht einstellen, dass aus der Sicht der Autoren zwar nicht mehr den Optimismus von Nestroy (1984) hat, aber immerhin als neutral bewertet werden kann. Unvermeidlich im Hinblick auf die vermehrten Veränderungen ist eine wache, regelmäßige Planung der Aktivitäten auf der Alm in der Form eines zeitgemäßen Almmanagements.

3 Forschungsansatz „Höhenprofil Johnsbach“

3.1 Ursprung und Periode zwischen 1993 und 1996

Das vorliegende Forschungsprojekt ALM20 ist keine Innovation, sondern stellt die Vorführung eines Projektes der damaligen BAL Gumpenstein aus dem Zeitraum von 1993 bis 1996 dar. Zur Einleitung soll nun der Ursprung dieses Projektes noch einmal, nach Chytil (1998) in Erinnerung gerufen werden.

Auslöser für Errichtung des Höhenprofil Johnsbach, dieses wird im nächsten Kapitel genau beschrieben, war der Wunsch der Bundes- und Landesforste die in vielen Regionen Österreichs, eingetragenen Wald-Weide-Rechte der landwirtschaftlichen Betriebe aus- oder aufzulösen. Aus forstlicher Sicht kann dieses Ansinnen leicht nachvollzogen werden, da die Beweidung von bestehenden Waldflächen bei selbigen zu Schäden führen kann. Die Bereiche, in denen Projekte zur Schutzwaldsanierung oder zur Hochlagenaufforstung umgesetzt wurden, waren besonders betroffen. Bestehende Wald-Weide-Rechte, so das Vorhaben am Beginn der 1990er Jahre, sollten in geregelten Verfahren aufgelöst werden. Als Wald-Weide-Trennung bezeichnet, müssen diese Verfahren folgende Schritte erledigen:

- Das bestehende Recht muss bewertet werden: Diese Bewertung wurde über den Futterbedarf der eingetragenen Auftriebsrechte formuliert. Naturwissen-

schaftlich ist das über den Futterbedarf von Weidetieren und deren Anspruch an die Futterqualität zu lösen.

- Rodung von Waldflächen und Ausschluss der Weidetiere aus den verbleibenden Waldgebieten: Im Ausmaß des Futterbedarfes wurden bestehende Waldflächen gerodet und in Reinweideflächen umgewandelt.

Beide Punkte benötigen den Konsens der betroffenen Parteien, weshalb der Reihe nach sowohl der Futterbedarf, dann das zukünftige Ertragspotenzial und die zu erwartende Futterqualität und zuletzt der zu erwartende Aufwand und ein möglicher praktischer Verlauf der geplanten Maßnahmen zu klären sind.

Alle Abteilungen der BAL Gumpenstein, aber auch verschiedene andere Bundes- und Landesorganisationen wurden mit diesen Fragen konfrontiert und ein interdisziplinäres Forschungsprojekt entwickelt. Dieses bestand aus zwei Teilen:

- In einem systematischen Forschungsprofil sollten die Ertragserwartung und die Futterqualität von bestehenden Weideflächen in Abhängigkeit des Höhengradienten untersucht werden. Als weitere zu berücksichtigende Faktoren wurden die Exposition der Flächen und der geologische Untergrund definiert. Mit diesen drei Faktoren kann, so das Ziel, die Fragestellung dynamisch gelöst werden. Eine Verfeinerung mit maßgeblichen Standortfaktoren wie Boden und Standortklima wurde angedacht. Alle gewünschten Faktoren sollen in einem möglichst kurzen Transekt untersucht werden, um systematische Einflüsse der Lage zu verhindern.
- In einem praktischen Versuch sollten zusätzlich erste Waldflächen gerodet und in Reinweideflächen umgewandelt werden. Diese Versuche klären dann ganz praktische Fragen wie die Technik der Rodung selber, das zu wählende Saatgut und die zeitliche Entwicklung der Reinweiden nach der Rodung.

Sowohl im Forschungsprofil, dieses wird später nach dem gefundenen Standort den Namen Höhenprofil Johnsbach tragen, als auch bei den praktischen Versuchen auf insgesamt 7 Almen im Bereich von Altaussee ostwärts über Wildalpen bis in die Fischbacher Alpe und südwärts bis nach St. Lambrecht wurden alle Fachdisziplinen der BAL Gumpenstein aufgeboten, um die gewünschten Aspekte zu untersuchen (Pötsch et al., 1998). Bodenkundliche Profile (Eisenhut und Eder, 1998) und klimatische Messungen (Krimberger, 1998) definierten dabei die Standortbedingungen, botanische Untersuchungen beschrieben die Pflanzengemeinschaften (Sobotik et al., 1998). Es wurden, da zu dieser Zeit noch viel zu teuer, keine geeichten Klimastationen angeschafft, sondern selbstständig eine günstigere, technische Lösung entwickelt. In unzähligen Besuchen der angelegten Versuchsparzellen wurden Infrastrukturmaßnahmen und mehrere Ernten pro Jahr vorgenommen, um das Erntegut später auf seine chemische Zusammensetzung und seine Eignung als Wiederkäuerfutter zu prüfen (Gruber et al., 1998). Wer sich ganz genau in das Thema einlesen möchte, dem sei der Bericht mit dem Titel „Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden“ vom 24. und 25. März 1998 empfohlen (BAL Gumpenstein, 1998).

3.2 Lage

Das Höhenprofil Johnsbach steht im Zentrum des Interesses des vorliegenden Projektes. Es trägt alle Merkmale, die von den Fragestellungen unter 3.1 gefordert

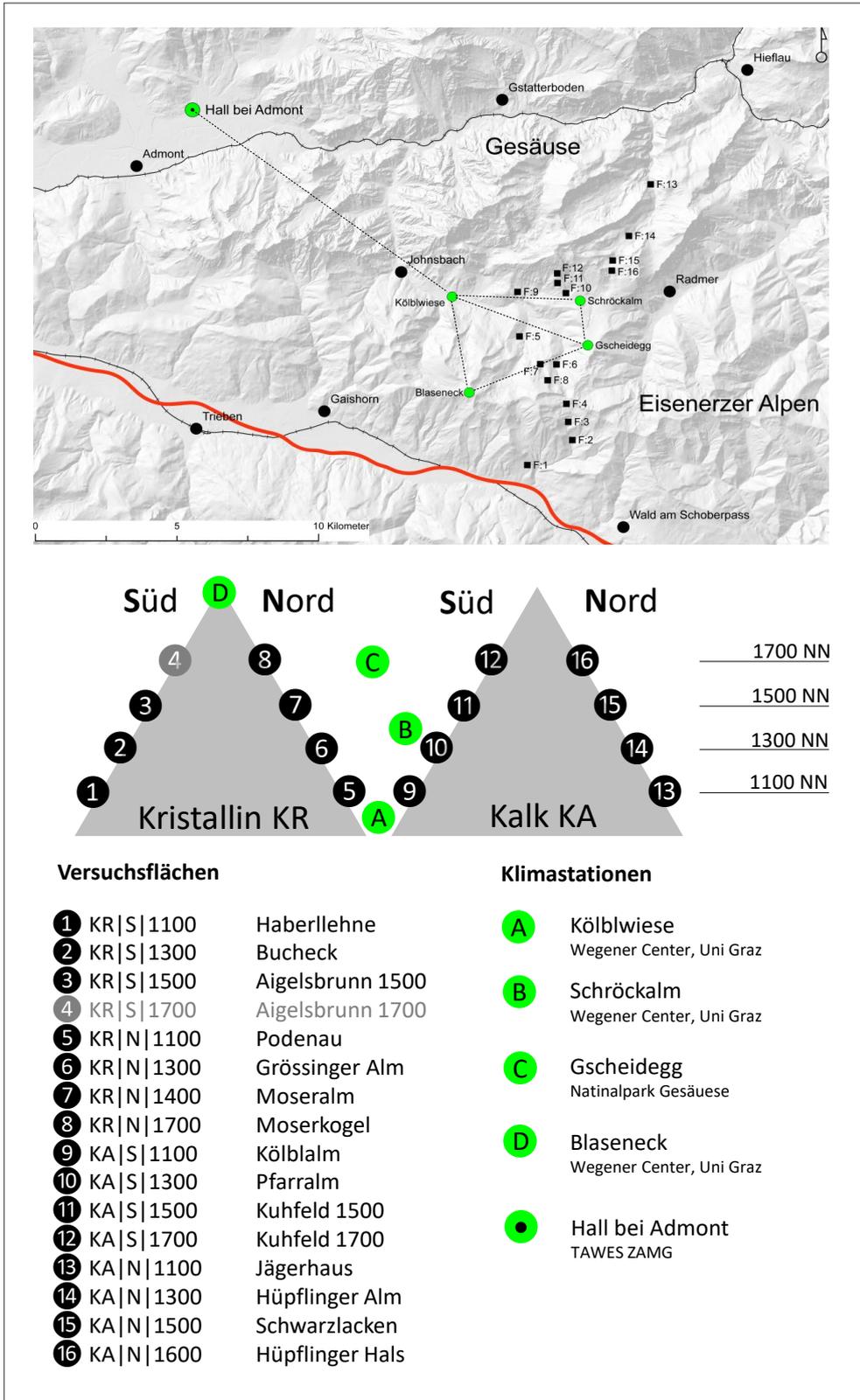


Abbildung 6: Räumliche Lage der Versuchsflächen im Höhenprofil Johnsbach und der im Projekt nutzbaren Klimastationen

wurden und erstreckt sich als Transekt in der nördlichen Steiermark zwischen dem Schoberpass und Hieflau. Auf einer Länge von nur etwas mehr als 11 km Luftlinie liegen 16 Versuchsflächen, die in je 8 Versuchspartellen zuerst die kris-

tallinen Eisenerzer Alpen und dann die Kalkberge des Gesäuses überspannen. Innerhalb jedes geologischen Grundgesteins zerfällt die 8er Gruppe in zwei 4er Gruppen, die jeweils die südliche bzw. nördliche Gebirgsflanke abdecken. Jede Flanke für sich trägt schließlich auf 1.100, 1.300, 1.500 und 1.700 Meter Seehöhe eine geeignete Versuchsfläche. Will man das Transekt in der ÖK50 von Süden her genau nachvollziehen, beginnt man in südlicher Exposition beim Weiler Haberl im Puchgraben, dem Ursprungstal der Palten, und folgt diesem bis auf das Leobner Törl auf der Aigelsbrunn Alm. Von dort senkt sich das Transekt in nördlicher Lage mit einer leichten Seitenbewegung nach Westen über die Moser Alm (Brunnfurtneralm) auf die Grössingeralm und dann weiter bis in die Plo(d)nau im Johnsbachtal. Hier springt man vom kristallinen Grundgestein nun auf die südliche Exposition des kalkalpinen Gesteins und findet rund einen Kilometer talauswärts die Kölblalm. Von dort, wieder mit Versatz, nun in Richtung Osten liegen die drei weiteren Flächen dieses Teilstückes fast übereinander in einer Rinne, die sich von der Pfarralm in Richtung Stadelfeldschneid erhebt. Das letzte Teilstück, es handelt sich um die nördliche Exposition im kalkalpinen Gestein, beginnt rund zwei Kilometer nach Osten versetzt am Hüpflingerhals oberhalb der Neuburgalm. Von dort folgt es der Tallinie bis zur Hartelsgrabenhütte (Jägerhaus).

Mit der Gründung des Nationalparks Gesäuse, einzelne Versuchspartellen liegen innerhalb der Nationalparkgrenzen, hat die allgemeine Forschungstätigkeit im

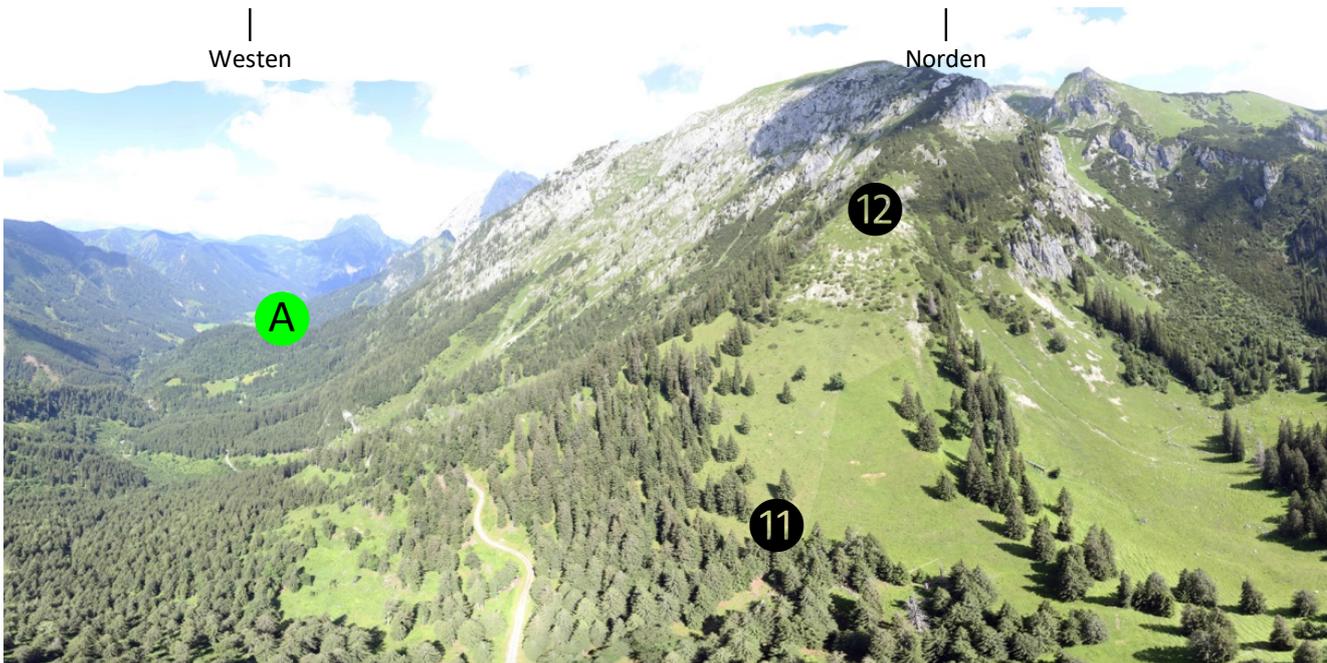
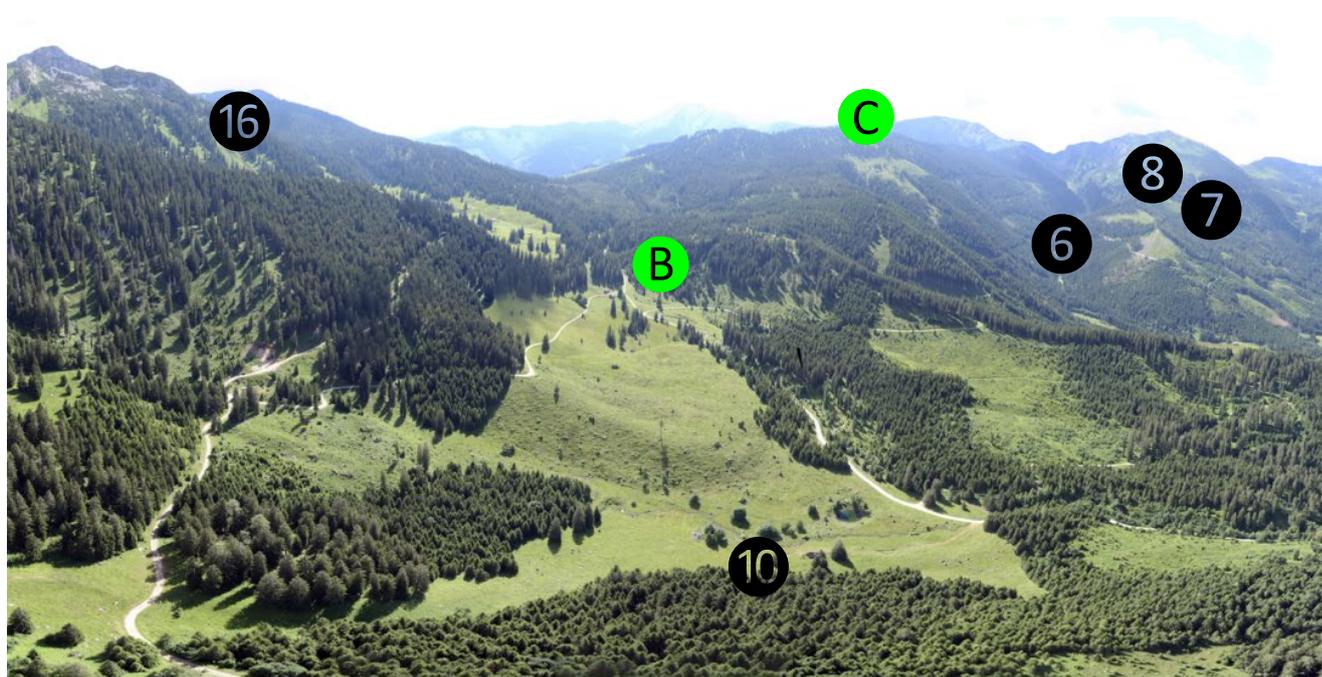


Abbildung 7: 360 Grad Panorama des hinteren Johnsbachtal (Guggenberger, 2021)

Bildbeschreibung: Beginnend am linken Bildrand (linkes Bildteil) findet sich unter A (grün) in 3,5 km Entfernung vom Aufnahmeort die Wetterstation der Kölblwiese im Dauersiedlungsraum des Johnsbachtals. In direkter Nähe finden wir mit den Versuchsflächen 10, 11 und 12 das Teiltransekt „Kalkalpin, Süd“. Wer die Mächtigkeit der Kronen, der zum Teil sehr alten Nadelbäume, im unteren Bildbereich betrachtet, sieht, dass hier der geschlossene Nadelwald als natürlicher Bewuchs anzusehen ist. Nur dort wo Lawingänge die Fläche nachhaltig freihalten, halten sich beständige Weideflächen. Die Projektion im Bild täuscht

Gebiet schlagartig zugenommen. Neben allen Wissenszweigen rund um die Fauna und Flora des Gebietes wurde vor allem auch die Umweltbeobachtung maßgeblich vorangetrieben. Im Nationalpark befindet sich heute ein dichtes Netz an Messstationen zur Erfassung von hydrologischen Daten und zur Klimamessung. Mit Zustimmung der Stationsbetreiber, dem Nationalpark Gesäuse und dem Wegener Center für Klima und Globalen Wandel der Universität Graz, konnten für die Auswertung des Projektes ALM20 die Monatsmittelwerte der Vegetationsphase im ersten Aufwuchs der Almen (April bis August) als erklärende Größen genutzt werden. Verwendet wurden dafür die Messstation Kölblwiese (870 m NN), Schröckalm (1.344 m NN), Gscheidegg (1.690 m NN) und Blaseneck (1.969 m NN). Seit dem Messbeginn der Kölblwiese im Jahr 2012 stehen unterschiedliche Daten an allen vier Stationen zur Verfügung. Das lokale Messnetz in Johnsbach kann aber auch mit der langjährigen Klimamessung der ZAMG an den Standorten Admont (bis 2007) bzw. Hall bei Admont (ab 2008) in Verbindung gebracht werden. Wir werden im Rahmen dieser Arbeit die Klimadaten aller Stationen verbinden und damit die notwendige Sicherheit zur Verwendung der Referenzstation Hall bei Admont gewinnen. Von dieser einen Station werden wir dann auch jene anerkannten Klimadaten übernehmen für die wir in der Zeit von 1993-1996 nur subjektive, lokale Messungen gewonnen haben. Diese Maßnahme ist von höchster Bedeutung um eine Veränderung von Temperatur und Niederschlag objektiv vorzunehmen.



hier ein eher flaches Gelände vor. Die Rinne die rechts von 12 beginnt und bis nach 10 abfällt ist im oberen Bereich so steil, dass sie kaum ohne Steigeisen zu begehen ist. Im Osten (rechter Bildteil) finden wir mit der Fläche 16 die höchste Fläche im Teiltransekt „Kalkalpin, Nord“. Diese Fläche kann auch in *Abbildung 8* noch einmal genauer betrachtet werden. In der Mitte des Bildes findet sich als B (grün) die Klimastation der Schröckalm und dahinter am Bergrücken zwischen dem Johnsbachtal und Radmertal mit C (grün) die Klimastation Gscheidegg. Abschließend im Süden befindet sich das Teiltransekt „Kristallin, Nord“ mit den vier Flächen 5 6 7 und 8. Zwischen dem Aufnahmeort und der Fläche 7 auf ähnlicher Höhe liegt eine Distanz von rund 3 km. Die Klimastation C (grün) am Blaseneck schließt den Rundumblick.

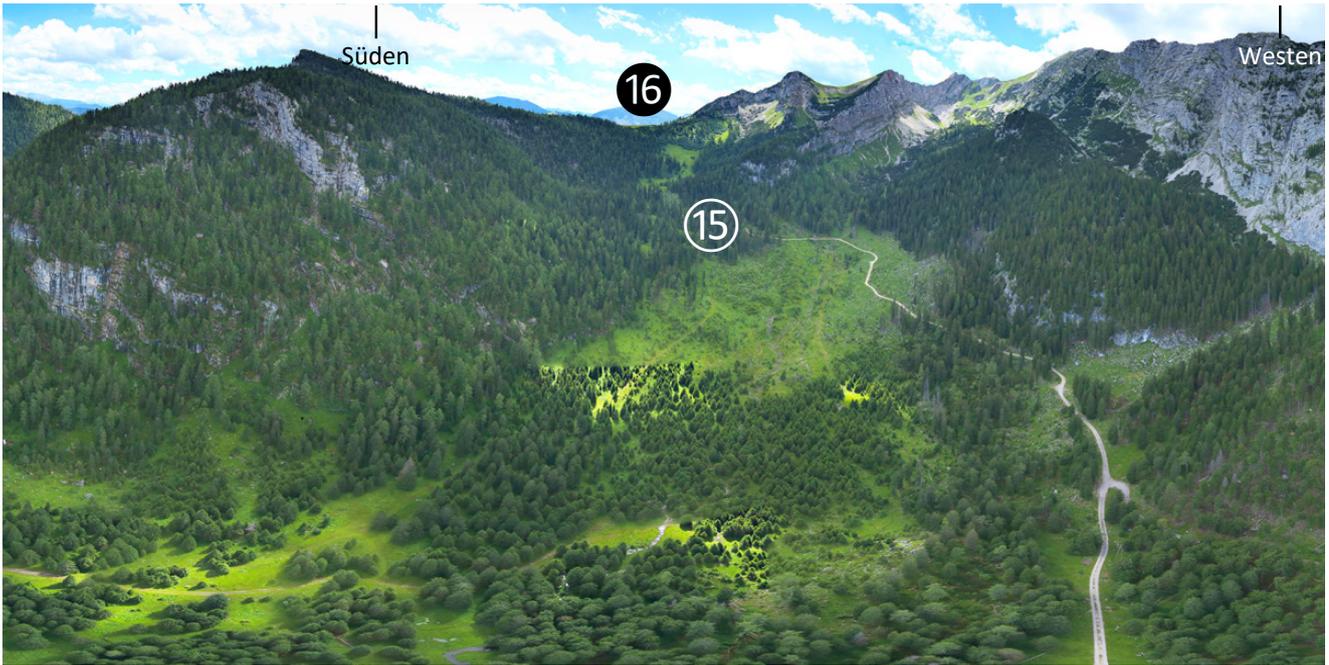


Abbildung 8: 360 Grad Panorama im Hartlsgraben (Guggenberger, 2021)

Die Aufnahme im Teiltransekt „Kalkalpin, Nord“ zeigt die vier Teilflächen vom Abflugstandort 14 aus. Im Süden liegt am Übergang in das Johnsbachtal die Fläche 16 auf einem Rücken und darunter die Fläche 15 in einem Graben. In beiden Bildteilen wird deutlich, dass der Wald die bei weitem dominante Landbedeckungsform des Hartlsgrabens ist.

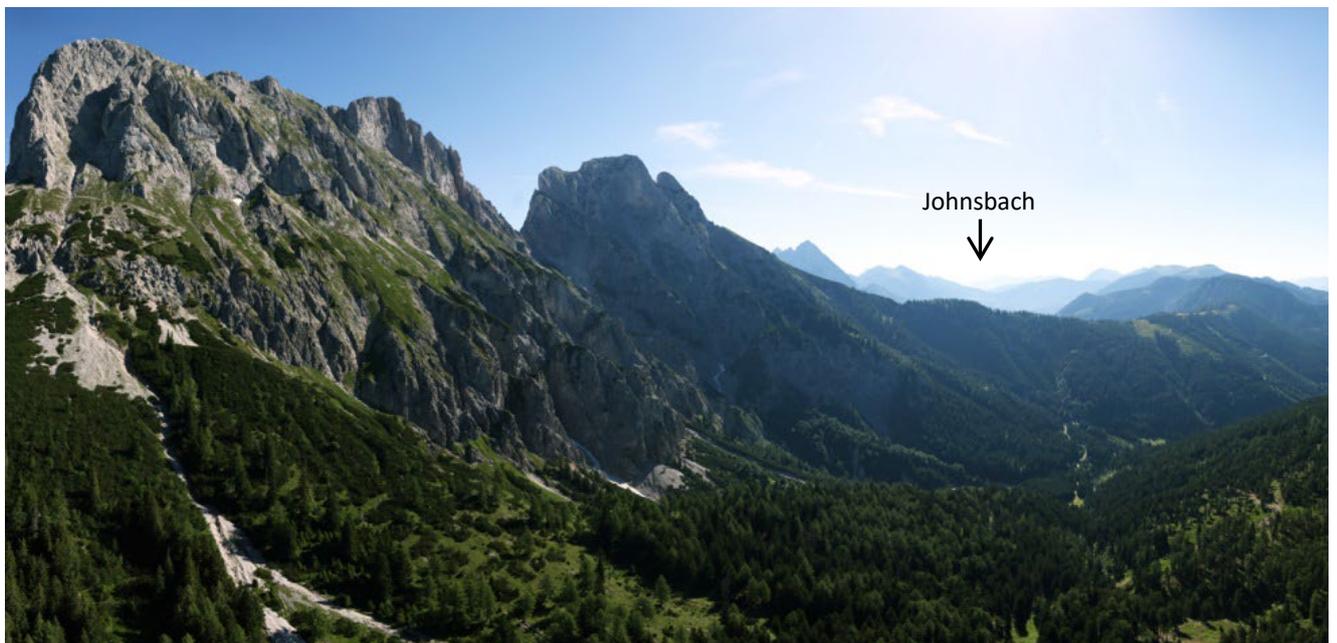


Abbildung 9: Der Dauersiedlungsraum im Johnsbachtal umrahmt vom Großen Ödstein

Der Dauersiedlungsraum im Johnsbachtal umrahmt vom Großen Ödstein (2.335 Meter) auf der rechten Seite und dem Reichenstein (2.251 Meter) im Hintergrund mit Blickrichtung Nord-West. In der flachen Talsohle befinden sich nur vereinzelte Weiler, die durch verschiedenen Landschaftselemente (Flussläufe, Baumgruppen, ...) voneinander getrennt sind. Der Übergang in die Waldzone findet fast ohne Übergangsformen statt. Dies ist in der Steilheit des Geländes begründet.



Die Weideflächen gleichen eher dauerhaften Rodungsinseln. Eine etwas größere, geschlossene Weidefläche liegt im rechten Bildteil im Sattel des Lugauers. Im Talausgang, an einer Stelle in der das Hochtal steil in eine Schlucht und dann weiter in das Gesäuse abfällt liegt auf 1.100 Meter Seehöhe die Fläche ⑬.



Gebirgslandschaft aufgenommen vom Lahngangkogel (Kaiserau) in Richtung Osten. Dieses Bild zeigt, dass hochalpine Solitäre wie der Kaibling (im Vordergrund), der Reichenstein (in der Mitte) und der Große Ödstein (im Hintergrund) das Johnsachtal vom Ennstal zwischen Admont und Gesäuse abtrennen. Der Kamm der Eisenerzer Alpen hingegen (am linken Bildrand) ist kontinuierlich, hat aber eine geringere Seehöhe.

Abbildung 10: Talansicht und alpine Lage

3.3 StartClim2014.D

Unter dem Titel „Zur Bedeutung des Klimawandels für Ernährung und Krankheiten alpiner Wildarten“ (StartClim 2014.D), in einer Projektschiene der Universität für Bodenkultur, Department für Wasser–Atmosphäre–Umwelt, Institut für Meteorologie) hat die Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum gemeinsam mit der HBLFA Raumberg-Gumpenstein das Auftreten von Erkrankungen und die Dynamik des Hornwachstums bei Steinböcken untersucht (Deutz et al., 2015). Die wissenschaftliche Arbeit geht in ihrer These der Fragestellung eines häufigeren Auftretens von Krankheiten und der schlechten Entwicklung einiger Wildtierpopulationen nach. Gefunden wurde, als einer der Ursachen, dass die Äsung für die Jungtiere nach dem Absetzen von der Mutter in vielen Sommern schon zu weit in der Vegetation fortgeschritten ist und der geringere Futterwert zu einer Schwächung der Tiere führt. Das wiederum führt in Folge zu einer höheren Anfälligkeit für Krankheiten und auch zu einem veränderten Hornwachstum bei Steinböcken. Für diese Arbeit wurden im Jahr 2015 die Flächen des Höhenprofils Johnsbach das erste Mal seit 1996 wieder aufgesucht, provisorisch befestigt und beprobt. Als Ergebnis wurde folgende Aussage, allerdings noch mit geringer Sicherheit, formuliert: Der Vegetationsbeginn in inneralpinen Tälern hat sich um 3 bis 4 Tage pro Dekade verfrüht.

3.4 Erhebungen

3.4.1 Klimadaten

3.4.1.1 Station Hall bei Admont

Die Lufttemperatur und der Niederschlag sind für uns wichtige Größen. Sie korrelieren eng mit den physiologischen Bedürfnissen der Vegetation und sind neben dem Boden und seinen Nährstofflieferungen die wichtigsten Wachstumsfaktoren (Pötsch et al., 2019). Beide Größen sind höchst variabel und unterliegen in ihrer Schwankungsbreite einer hohen Anzahl an physikalischen Kräften. Die Neigung der Erde beschert uns mit den Jahreszeiten eine dynamische Globalstrahlungssumme, die zur Winter- bzw. Sommersonnenwende ihre Wendepunkte erreicht. Durch die Trägheit der Atmosphäre und der puffernden Wirkung der Ozeane hinkt die tatsächliche Temperaturentwicklung dieser physikalischen Konstante hinterher. Die Hauptzugrichtung des Wetters, das Höhenprofil Johnsbach wird von Nord-West-Wetterlagen dominiert, wird physikalisch durch die Corioliskraft bestimmt. Und zuletzt sorgen die physikalischen Wirkungen von Verdunstung und Kondensation vor allem im alpinen Hochsommer noch für eine hohe, lokale Eigendynamik. Untersuchen wir die Wirkungen des Standortklimas, müssen wir über lange Messreihen verfügen, da wir andernfalls nicht das Klima, sondern nur das Wetter oder Wetteranomalien beschreiben!

Der Standort Admont wurde 1884 begründet (Hanselmayer, 1955) und verfügt bis zum Jahr 2007 über eine durchgängige Messreihe an Klimadaten. Mit einer Überlappungsphase von fast einem Jahr wurde diese Station durch eine teilautomatische Wetterstation (TAWES) in Hall bei Admont (637 m Seehöhe)

ersetzt. Aus der Überlappungsphase kann die funktionale Korrelation der beiden Stationen abgeleitet werden. Für die Temperaturmessung kann die Beziehung der Tagesmittelwerte der beiden Stationen mit einer Korrelation von 99,66 % so beschrieben werden:

$$Temperatur[^\circ C]_{Hall\ bei\ Admont} = -0,09 + 1,003 * Temperatur[^\circ C]_{Admont}$$

Der Zusammenhang beim Niederschlag auf der Basis der Tageswerte erreicht bei weitem nicht die Übereinstimmung der Temperaturmessung, weshalb hier die Daten auf Monatswerte summiert wurden. Die Prüfung dieses Zusammenhanges, leider nur mit geringem zeitlichen Überlappungsgrad, zeigt eine Korrelation von 83,94 % und kann formal so beschrieben werden:

$$Niederschlag[mm]_{Hall\ bei\ Admont} = 5,41 + 0,970 * Niederschlag[mm]_{Admont}$$

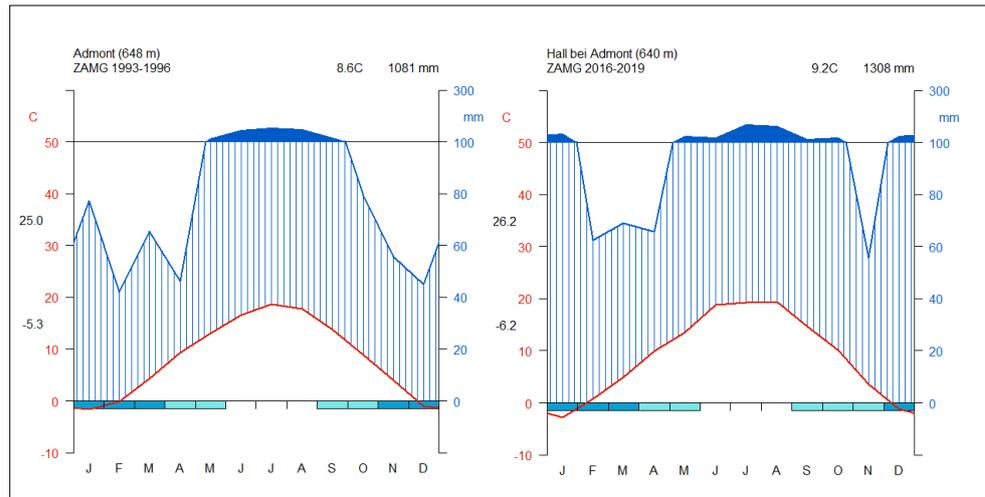
Der Intercept beider Regressionen ist im Verhältnis zu ihrem Wertebereich im Hinblick auf die für diese Untersuchung notwendige Genauigkeit nahe Null, der Regressionskoeffizient liegt in beiden Fällen nahe 1. Das bedeutet für uns, dass wir die Messreihe der Station Admont, wir verwenden hier den Zeitraum von 1990 bis 2007 mit den gefundenen Beziehungen direkt an die Messreihe der neuen Station in Hall bei Admont anschließen können. *Abbildung 11* zeigt symbolisch die Lage der beiden Stationen im Talkessel zwischen Admont und Hall bei Admont. Zusätzlich wird auch noch ein Richtungsvektor angezeigt, der zum Höhenprofil Johnsbach zeigt. Dieses liegt rund 15 km Luftlinie von diesen Wetterstationen in Richtung Süd-Ost.

An der Station Admont messen wir in der Periode von 1993-1996 eine mittlere Tagestemperatur von 8,6 °C bei einem Jahresniederschlag von 1.081 mm. Im kältesten Monat Jänner liegt die mittlere Tagestemperatur bei -5,3 °C, im wärmsten Monat Juli bei 25,0 °C. An der Station Hall bei Admont wurde in der Periode von 2016-2019 eine mittlere Tagestemperatur von 9,2 °C gemessen. Das Minimum der Temperatur im Jänner lag bei -6,2 °C und im Juni bei 26,2 °C. Der Jahresniederschlag stieg auf 1.308 mm an. *Abbildung 12* zeigt diese Ergebnisse in der Form von Klimadiagrammen. Diese Darstellungsform interpretiert den gesamten Jahresverlauf einer Periode mit einigen Grenzwerten und den Jahresmittelwerten. Für die Untersuchungen und Interpretation in dieser Arbeit rücken aber die Monate von Vegetationsbeginn bis zur Ernte des 1.Schnittes ins Zentrum.

Abbildung 11: Lage der TAWES Stationen im Ennstal bei Admont



Abbildung 12: Lufttemperatur und Niederschlag der Stationen Admont/Hall bei Admont zwischen 1990 und 2019



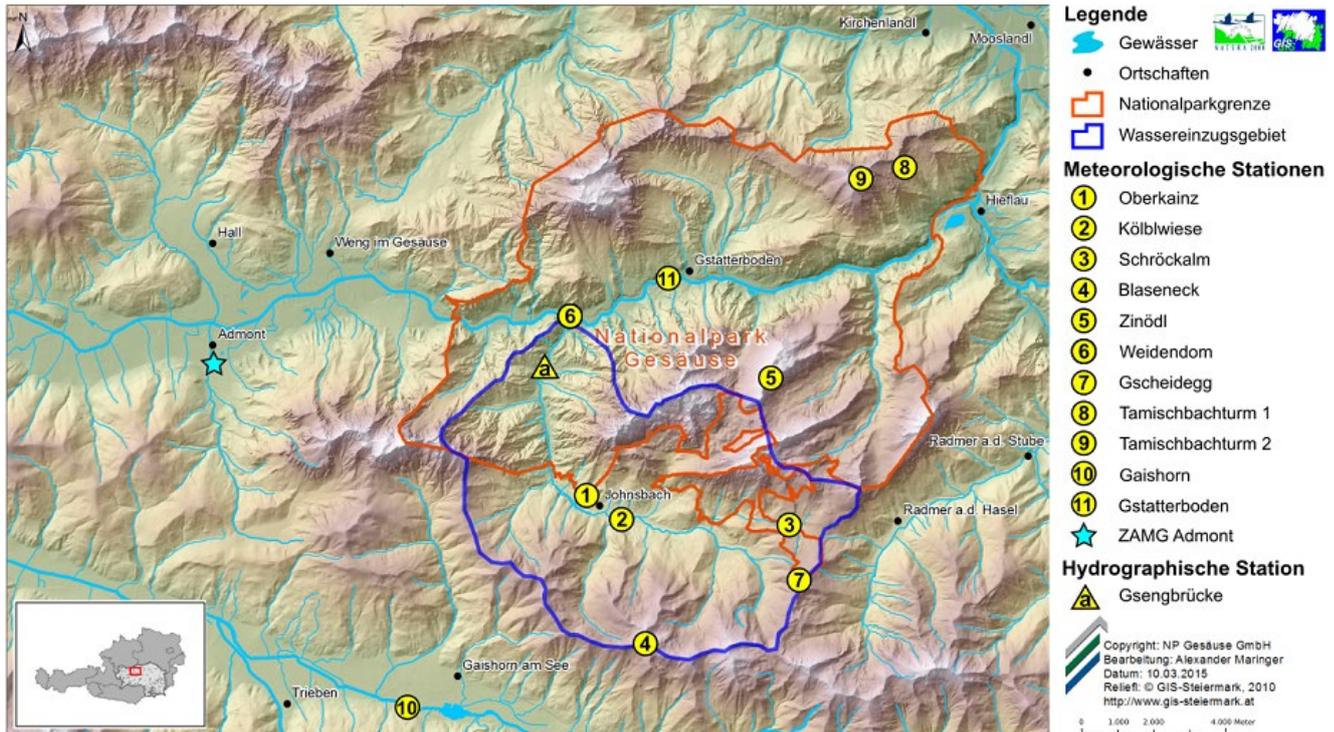
Für die Bewertung der langfristigen Entwicklung von Temperatur und Niederschlag in den einzelnen Monaten zwischen 1990 und 2019, wurde für jeden Parameter und jeden Monat von April-September eine lineare Regression erstellt. Diese können im Anhang unter 7.1 als absoluter Wert (°C, mm) und 7.2 auch als relativer Wert (% Abweichung von langjährigen Monatsmittel) eingesehen werden.

Tabelle 3: Monatsmittelwerte der Stationen Admont/Hall bei Admont zwischen 1990 und 2019

Periode Monat	1990-2019			
	Lufttemperatur [°C]			Niederschlags- summe [mm]
	Mittelwert	Maximum	Minimum	Mittelwert
Jänner	-3,1	0,5	-6,6	83,4
Februar	-0,6	4,1	-5,2	69,7
März	3,7	9,2	-1,7	93,9
April	8,5	14,9	2,1	72,3
Mai	13,2	19,7	6,7	115,5
Juni	16,6	23,0	10,2	144,8
Juli	18,2	24,7	11,6	173,9
August	18,1	24,6	11,5	143,2
September	13,6	19,4	7,8	124,7
Oktober	9,1	14,4	3,8	89,8
November	3,1	6,8	-0,6	77,6
Dezember	-2,5	0,6	-5,5	83,1
Jahr	8,2	24,7	-6,6	1271,7

3.4.1.2 Klimastationsmessnetz im Johnsbachtal

Der Nationalpark Gesäuse betreibt gemeinsam mit dem Wegener Center, dem Institut für Geographie der Universität Graz, der Universität für Bodenkultur, den Österreichischen Bundesbahnen, dem Hydrographischen Dienst und dem internationalen Projekt GLORIA die Kooperationsplattform Johnsbachtal (Grün-



wald, 2014). Ein Datenzugriff für Interessierte kann über www.bogner-lehner.net/xeis_datensportal_de.php erfolgen. Organisiert durch den Nationalpark Gesäuse (Mag. Alexander Maringer) konnte das Projekt ALM20 die Daten einiger Klimastationen (siehe *Tabelle 4*) nutzen, wofür hier noch einmal ein herzlicher Dank ausgesprochen werden soll (*Abbildung 13*).

Abbildung 13: Stationsnetz unterschiedlicher Monitoringeinrichtungen zur Umweltbeobachtung der Kooperationsplattform Johnsbach

Wie bereits unter 3.2 ausgeführt, umrahmen die Stationen aus *Tabelle 4* den Talkessel von Johnsbach in dem die zwei Teiltransekte „Kristallin Nord“ und „Kalkalpin Süd“ liegen und die beiden anderen Teiltransekte über das Leobner Törl in Richtung Süden und den Hüflinger Hals in Richtung Norden anschließen. Die Klimastationen sind reich mit Sensoren bestückt, wobei wir in dieser Arbeit

Tabelle 4: Auswahl an Klimastationen für das Projekt ALM20

Standort	seit	Betreiber	See-höhe	Messwerte																
				T	RLF	GS	NiS	WG	WR	Bö	WRBö	SH	NSch	SWÄ	OT	StB	RSt	VT	LD	
Kölblwiese	2012	Wegener Center	870	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x		x
Schröckalm	2010	Wegener Center	1.344	x	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x		
Gscheidegg	2008	NP Gesäuse	1.690	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x					
Blaseneck	2011	Wegener Center	1.969	x	x	x		x	x	x	x						x			

Bö - Windböen, GS - Globalstrahlung, LD - Luftdruck, NiS - Niederschlag, NSch - Neuschnee, OT - Oberflächentemperatur, RLF - Relative Luftfeuchtigkeit, RSt - Reflexstrahlung, SH - Schneehöhe, StB - Strahlungsbilanz, SWÄ - Schnee-Wasser-Äquivalent, T - Lufttemperatur, VT - Virtuelle Temperatur, WG - Windgeschwindigkeit, WR - Windrichtung, WRBö - Windrichtung Böe

am Ende nur mit den Daten der Temperatur- und Niederschlagssensoren arbeiten werden. Als Temperatursensoren kommen bei allen Stationen robuste Industriefühler zum Einsatz (z.B. Rotronic HC2S3), die in der Regel sowohl die Lufttemperatur als auch die Luftfeuchtigkeit messen können. Natürlich sind die Fühler mit dem vorgesehenen Strahlungsschutz ausgestattet. Die Niederschlagsmessung erfolgt mit Allwetter-Niederschlagsmessgeräten nach dem Wägeprinzip (z.B. Ott Pluvio2). Diese sind in der Regel unbeheizt.

3.4.2 Ertrag und Futtermittelinhaltstoffe

Die 16 bereits beschriebenen Versuchsflächen wurden in der ersten Untersuchungsperiode von 1993 bis 1996 in variabler Größe zwischen 484 m² und 1.099 m² angelegt. Der Größenunterschied beruht auf der Notwendigkeit so viel Futter zu ernten, dass damit ein *in vivo* Verdauungsversuch bei Hammeln durchgeführt werden konnte. Mit zunehmender Höhe wurden die Flächen nach den nutzbaren Literaturvorgaben zur Ertragserwartung größer (Schechtner, 1978). In den Jahren 2015/2016 wurden die Flächen durch zwei Mitarbeiter der HBLFA Raumberg-Gumpenstein rekonstruiert. Beide haben maßgeblich bereits in der ersten Periode mitgearbeitet. Die Größe der Versuchsflächen wurde nun aber auf ein Quadrat mit einer Größe von nahe 7,5 x 7,5 Meter reduziert. Die Flächen wurden mit einem Stacheldrahtzaun vor dem Weidevieh geschützt, wobei der unterste Draht so tief angesetzt wurde, dass auch eine Beweidung im Randbereich unmöglich wurde. Jede Seite des Quadrates wurde mit zwei mittleren Pfosten gleichmäßig in drei gleich große Teile aufgeteilt. Entlang des Hanges wurden diese drei Teile zu unterschiedlichen Zeitpunkten botanisch untersucht und anschließend geerntet. Für jede Parzelle wurde ein fester kalendarischer Erntezeitpunkt festgehalten (siehe *Tabelle 5*) und als Hauptprobe (HP) bezeichnet. Rund 10 Tage vor diesem Termin wurde je ein weiterer Teil der Fläche als Vorprobe (VP) und der dritte Teil 10 Tage danach als Nachprobe (NP) bearbeitet. Die einzelnen Teilflächen rotieren innerhalb der Jahre nach dem Plan in *Abbildung 14*. Im Jahr 2019 wurde wieder die Situation aus Jahr 1 angewandt. Die Ernte der Teilflächen erfolgte schonend durch eine Mahd mit einer Stihl Motorsense, die mit einem Kreissägeblatt ausgestattet war. Die Ernte wurde vor Ort vollständig gewogen. Aus dem Erntematerial wurde in mehreren Teilentnahmen eine repräsentative Probe gezogen, die am selben Tag zur HBLFA Raumberg-Gumpenstein gebracht und direkt weiterverarbeitet wurde. Im Verlauf der Bewertung der Daten hat sich gezeigt, dass die Versuchsfläche 4, das ist die Fläche auf 1.700 Meter Seehöhe im Teiltransekt „Kristallin, Süd“, aus der Auswertung vollständig ausgeschlossen werden musste. Diese Fläche ist die einzige, die nicht lagegenau rekonstruiert werden konnte, weil ein enormes Latschenwachstum die alte Fläche in 25 Jahren derart überwuchert hatte, dass an eine Herstellung nicht mehr zu denken war.

Eine maßgebliche, methodische Entscheidung und damit auch die größte Abweichung zur ersten Versuchsperiode von 1993-1996 war die Ernte der einzelnen Versuchsflächen zu einem feststehenden Tag des Jahres. Dieser Tag entspricht für jede Versuchsfläche aber dem mittleren Erntetag aus der Periode von 1993-1996. In der ersten Periode wurden diese Tage durch die phänologische Reife der

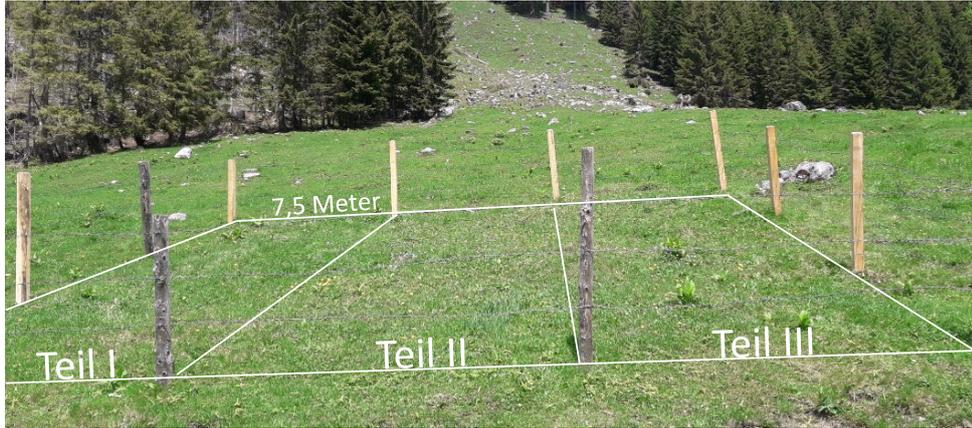
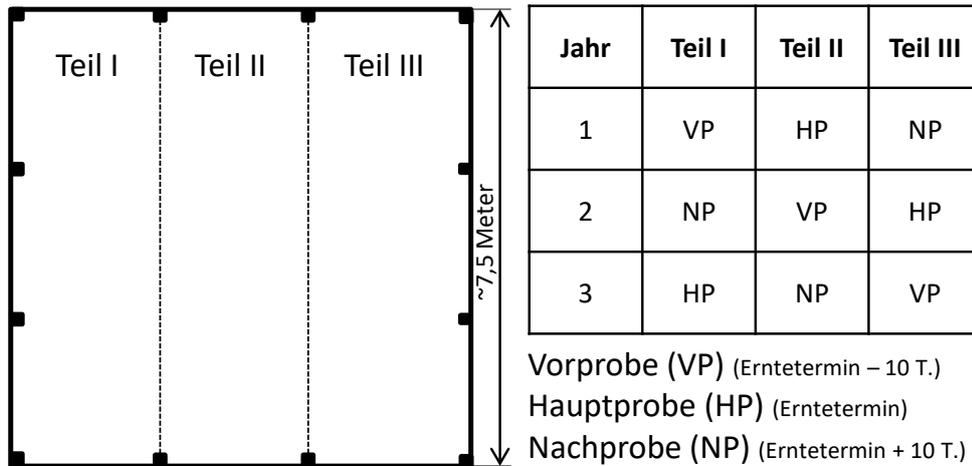


Abbildung 14: Anlage und Behandlung der Versuchsflächen



Parzellen im Stadium der Weidereife durch Monika Sobotik festgelegt (Sobotik et al., 1998). Somit ergaben sich zeitliche Schwankungen durch die jährlichen Wettereinflüsse. Wir werden diesen Unterschied, sie sind flächenspezifisch und liegen im Bereich von $\pm 4,7$ Tagen, unter 3.4.5 aber mathematisch noch korrigieren.

Tabelle 5: Feststehende Erntetermine

Tag des Jahres					Datum				
Seehöhe	Kristallin		Kalk		Seehöhe	Kristallin		Kalk	
	Süd	Nord	Süd	Nord		Süd	Nord	Süd	Nord
1.100	160	165	170	170	1.100	09. Jun	14. Jun	19. Jun	19. Jun
1.300	185	185	185	185	1.300	04. Jul	04. Jul	04. Jul	04. Jul
1.500	200	200	185	200	1.500	19. Jul	19. Jul	04. Jul	19. Jul
1.700	225	200	200	215	1.700	13. Aug	19. Jul	19. Jul	03. Aug

Das Erntegut der einzelnen Erntezeitpunkte (VP, HP, NP) wurde vor der Nährstoffanalyse bei 50-55 °C für 72 h schonend getrocknet und anschließend auf 1 mm Partikelgröße vermahlen. Sämtliche Analysen der Inhaltsstoffe (TM, Nährstoffe, Mineralstoffe) erfolgten nach den Methoden der VDLUFA (2012). Alle Analysen wurden im anstaltseigenen Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt (Trockenmasse (TM): Methode 3.1; Rohprotein (XP): 4.1.2; Rohfett (XL): 5.1.1; Rohfaser (XF): 6.1.1; Rohasche (XA): 8.1; Neutral-Detergentien-Faser (NDF): 6.5.1, Säure-Detergentien-Faser (ADF): 6.5.2, Lignin (ADL): 6.5.3) (VDLUFA, 2012). Die für eine Energiebewertung notwendigen Verdaulichkeiten der Hauptnährstoffe aus der Periode von 1993-1996 wurden nicht wiederholt. Über die von Gruber et al. 1998 dargestellte funktionale Beziehung zwischen den Hauptnährstoffen und den Verdaulichkeiten der *in vivo* Untersuchungen wurden neue Koeffizienten geschätzt. Der Energiegehalt (metabolische Energie (ME) und Nettoenergie Laktation (NEL)) wurden mit diesen Koeffizienten berechnet.

3.4.3 Botanische Erhebungen

Änderungen der klimatischen Standortverhältnisse betreffen sowohl die einzelnen Individuen als auch die gesamte Artengarnitur eines Standortes. Dabei komme es in kürzerer Zeit zu physiologischen Anpassungen der Pflanzen und bei längerer oder auch intensiverer Einwirkung auch zu einer Änderung auf der Gemeinschaftsebene. Um dies zu untersuchen, waren bei beiden Untersuchungsperioden systematische botanische Erhebungen Teil beider Projekte. Die im Rahmen des Projektes ALM20 (Periode 2) zusätzlichen Fragen ergeben sich aus dem Vergleich zu den Ergebnissen aus der Periode 1. Vor allem geht es hier um die Prüfung, ob sich durch wärmere und zum Teil auch trockenere Verhältnisse ausgelöste Verschiebungen in den Dominanzverhältnissen und/oder in einer geänderten Artenzusammensetzung nachweisen lassen. Aus diesen Überlegungen heraus wurden folgende Detailfragen geprüft:

- Haben sich die Bestände in den Jahren von 1993 bis 2017 in ihrer Struktur (Homogenität innerhalb der Gruppen) verändert?
- Haben sich Unterschiede zwischen den Beständen im Untersuchungszeitraum, insbesondere zwischen den unterschiedlichen Höhenstufen, geändert?

Für die dazu notwendigen Auswertungen wurden die botanischen Aufnahmen aus dem Almpjekt 1993-1996 mit den im Projekt ALM20 durchgeführten Aufnahmen gemeinsam analysiert. Die Erhebungen für ALM20 wurden zwischen 2015 und

2017 zum Zeitpunkt der Hauptprobe unmittelbar vor der Probenahme auf den Versuchspartellen durchgeführt. Die Aufnahmefläche betrug daher konstant die zwei verbleibenden Teile jeder Parzelle (siehe vorhergehendes Kapitel), dies entspricht rund 30 m². Die Aufnahmemethode folgte Schechtner (1958), die eine vollständige Vergleichbarkeit mit den Daten aus der ersten Projektperiode garantiert, aber Vorteile gegenüber der in der ersten Periode verwendeten Methode nach Braun-Blanquet (1964) in Hinblick auf statistische Analysen hat. Im Rahmen der Probenahme wurde für die jeweilige Probefläche der phänologische Status nach Vorbild der BBCH-Skala (Meier 2001 bzw. 2018) anhand der dominanten Gräser bestimmt.

3.4.4 Almbewirtschaftungsdaten

Zur Berücksichtigung der unter 2.2 angesprochenen Veränderungen in der Almwirtschaft wurde für die Almen im Höhenprofil Johnsbach eine Befragung der Weideberechtigten und vor allem eine Bewertung der Almauftriebsmeldungen über die INVEKOS-Tabelle L013 durchgeführt. Die lokalen Ergebnisse werden mit der Entwicklung in einem über 4.200 km² großen Testgebiet, dieses umgibt das Höhenprofil Johnsbach, verglichen.

3.4.5 Verknüpfung der Daten aus der Periode 1993-1996 mit den Daten der Periode 2016-2019

Unter Punkt 3.4.2 wurde bei den Ernteterminen der Hauptprobe bereits festgestellt, dass sich die erste Periode mit ihren leicht variablen, an die Weidereife des Futters angepassten Ernteterminen von der zweiten Periode mit fixen Ernteterminen unterscheidet. Dieser Aspekt führt ohne Korrektur dazu, dass die statistische Prüfung der Periode nicht nur die zeitliche Entwicklung zwischen 1993-1996 und 2016-2019 enthält, sondern auch jene zeitliche Schwankung, die sich aus der Abweichung der Termine und der damit verbundenen Änderung der phänologischen Reife ergibt. Da die Methodik der dreiteiligen Ernte (VP, HP, NP) in gleicher Weise in beiden Perioden umgesetzt wurde, kann für jedes Jahr und jeden Nährstoff eine individuelle lineare Gleichung erstellt werden, die als Verschiebungsvektor entlang der Zeitachse genutzt werden kann. Wir haben 2.548 solcher Regressionen erstellt, um damit die Daten beider Perioden zum vorgegebenen Tag aus *Tabelle 5* zu verschieben.

Abbildung 15 zeigt das Verfahren in grafischer Form. In der linken Abbildung zeigt sich die Abweichung der Perioden über die drei Stufen VP, HP und NP von der Hauptdiagonale. Nach der Korrektur, nun interessiert uns nur mehr die Hauptprobe, stimmen die Erntetermine vollständig überein.

3.4.6 Erstellung belastbarer Klimadaten

Die in der Periode 1993-1996 erhobenen Klimadaten bilden ein geschlossenes Referenznetz zur Bewertung von Einflussgrößen an den Untersuchungsstandorten im Höhenprofil Johnsbach. Die Positionierung und der Aufbau der einzelnen

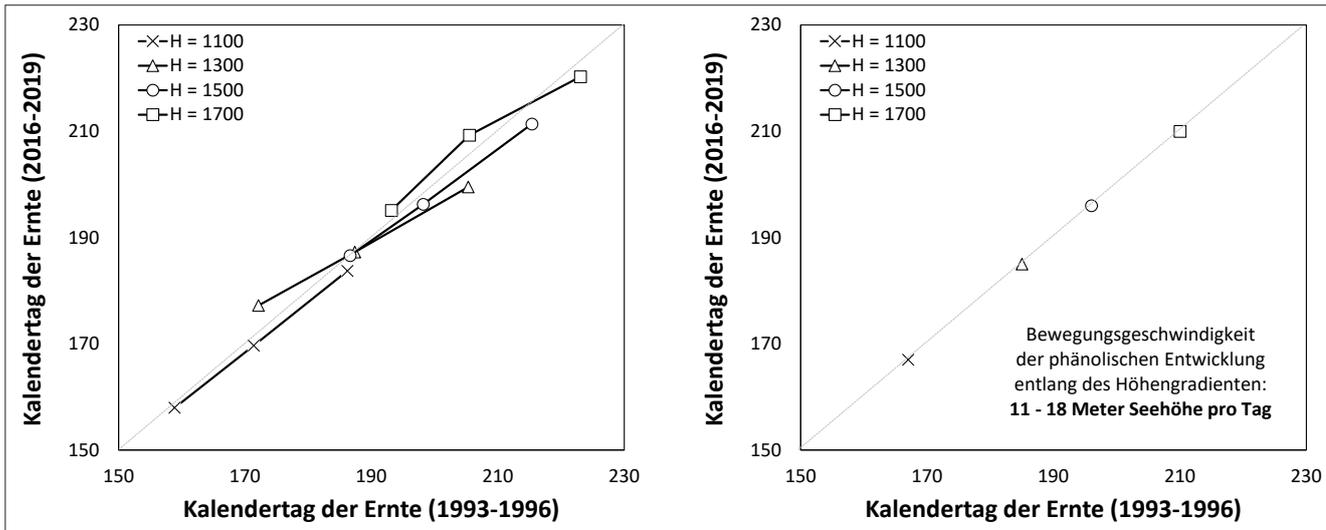


Abbildung 15: Korrektur der unterschiedlichen Erntezeitpunkte in den beiden Versuchsperioden

Stationen entsprachen allerdings nicht den grundlegenden Vorschriften amtlicher Klimastationen. Die Klimadaten aus der Periode 1993-1996 können deshalb nicht in eine vergleichende Analyse mit der Periode 2016-2019 einbezogen werden. Alternativ müssen nun Daten langjähriger Messungen für die lokale Bewertung herangezogen werden. Dabei wurde folgender Algorithmus auf die Station Admont/Hall bei Admont angewandt:

1. Bildung von langjährigen Mittelwerten als Referenzwerte für die gesamte Messdauer auf Monatsbasis (z.B. *Tabelle 3*).
2. Bewertung der relativen jährlichen Anomalie zu langjährigen Monatsmittelwerten (siehe Kapitel 4.1.1).
3. Sicherstellung der Beziehung zwischen der langjährigen Station in Admont (Kapitel 3.4.1.1) zu den lokalen Klimastationen im Messnetz Johnsbachtal (Kapitel 3.4.1.2), wie in Kapitel 4.1.2 gezeigt.
4. Entnahme der relativen Werte im gewünschten Zeitraum vor der Ernte der landwirtschaftlichen Kultur. Diese Werte, wir bezeichnen sie als ΔT und ΔN , zeigten nichts anders an, als den Prozentsatz der relativen Abweichung im gewählten Zeitraum. Würden wir diesen Wert verbal interpretieren, so würden wir Begriffe wie „trocken“, „sehr trocken“, „sehr nass“, „kalt“, „warm“, ... verwenden.

Zweck: Der relative Wert im Zeitraum vor der Ernte zeigt für den Standort die grobe Entwicklung des untersuchten Klimaparameters an. Das hilft, um die Streuung von Ertragsdaten und Futterinhaltsstoffen über mögliche qualitative Klassen hinaus zu erklären. Der mit dem Algorithmus gebildete Wert kann als quantitative Klasse in das statistische Modell aufgenommen werden.

3.5 Statistische Modelle

Für die Bewertung der Beziehung zwischen den Klassen und den abhängigen Parametern wurde das Programm Statgraphics Centurion XVII verwendet. Für den Gruppenvergleich wurde ein Allgemeines Lineares Modell (GLM), Typ III verwendet. Innerhalb des GLMs wurde eine Varianzanalyse, eine Residuen-Analyse sowie ein Mehrfach-Mittelwertvergleich (LSD) genutzt. Die Prüfung auf Normalverteilung zeigt für alle Parameter eine Dichtespur mit einer Schiefe und Wölbung die eine direkte Übernahme der Daten ermöglicht. Auch wenn es gelegentlich bei einigen Mineralstoffen tendenziell zu geringfügig rechtschiefen Verteilungen kommt, wurde von einer Transformation Abstand genommen. Die statistische Bewertung der Daten erfolgt über drei Stufen. In der ersten Stufe nutzen wir nur die fixen Effekte der Periode und der Versuchsfläche (3.5.1). Dieser Schritt gibt uns Auskunft über die grundsätzlichen Möglichkeiten zur statistischen Klärung der Gesamtstreuung über die fixen Klassen (Grundgestein, Exposition, Höhenlage). In der zweiten Stufe unter 3.5.2 werden die fixen Effekte aus dem Versuchsaufbau geprüft. Von hohem Interesse für das Projekt ist dabei die Wirkung der Periode. In der dritten Stufe 3.5.3 entnehmen wir diesen fixen Effekt und ergänzen dafür das Modell mit den beiden variablen Effekten ΔT und ΔN , die uns Auskunft über den relativen Wetterverlauf im Monat vor der Ernte geben. Zur Bewertung der botanischen Erhebungen wurde ein Ordinationsverfahren gewählt.

3.5.1 Bewertung der grundlegenden fixen Effekte der einzelnen Versuchsflächen in den Perioden

$$y_{ij} = \mu + P_i + F_j + (P_i \times F_j) + \varepsilon_{ij}$$

wobei

y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable laut Ergebnistabellen unter 7.6

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

P_i = fixer Effekt der Periode (1 = 1993-1996, 2 = 2016-2019)

F_j = fixer Effekt der Fläche (1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16)

$(P_i \times F_j)$ = Wechselwirkung aus Periode und Fläche

ε_{ij} = Nicht erklärter Rest der Streuung

3.5.2 Bewertung der fixen Effekte der Hauptfaktoren mit der Klasse Periode

$$y_{ijkl} = \mu + P_i + G_j + E_k + H_l + (P_i \times G_j) + (P_i \times E_k) + (P_i \times H_l) + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei

y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable laut Ergebnistabellen unter 7.6

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

P_i = fixer Effekt der Periode (1 = 1993-1996, 2 = 2016-2019)

G_j = fixer Effekt des Grundgesteins (1 = Kristallin, S = Kalk)

E_k = fixer Effekt der Exposition (1 = südexponiert, 2 = nordexponiert)

H_l = fixer Effekt der Höhenlage (1 = 1.100, 2 = 1.300, 3 = 1.500, 4 = 1.700)

$(P_i \times G_j)$ = Wechselwirkung aus Periode und Grundgestein

$(P_i \times E_k)$ = Wechselwirkung aus Periode und Exposition

$(P_i \times H_l)$ = Wechselwirkung aus Periode und Höhenlage

ε_{ijkl} = Nicht erklärter Rest der Streuung

3.5.3 Bewertung der fixen Effekte der Hauptfaktoren mit den quantitativen Messdaten ΔT (Temperatur) und ΔN (Niederschlag)

$$Y_{jklmn} = \mu + G_j + E_k + H_l + T_m + N_n + \varepsilon_{jklmn}$$

wobei

y_{ij} = Beobachtungswert der abhängigen Variable laut Ergebnistabellen unter 7.6

μ = gemeinsame (mittlere) Konstante

G_j = fixer Effekt des Grundgesteins (1 = Kristallin, S = Kalk)

E_k = fixer Effekt der Exposition (1 = südexponiert, 2 = nordexponiert)

H_l = fixer Effekt der Höhenlage (1 = 1.100, 2 = 1.300, 3 = 1.500, 4 = 1.700)

T_m = variabler Effekt der quantitativen Größe von ΔT

N_n = variabler Effekt der quantitativen Größe von ΔN

ε_{jklmn} = Nicht erklärter Rest der Streuung

3.5.4 Bewertungsmodelle der botanischen Erhebung

Die Unterschiede zwischen den beiden Zeiträumen werden für die weitere Auswertung als zeitliche Entwicklung gesehen. Die Ergebnisse beschreiben die Charakteristik des zeitlichen Gradienten. Als Methode zur Analyse wurden das Ordinationsverfahren des „Non-metric multidimensional scaling“ (NMDS - Nicht-metrische multidimensionale Skalierung) verwendet. Mit Hilfe dieses Verfahrens lassen sich Beziehungen zwischen Vegetationsaufnahmen in Bezug auf grundlegende Einflussgrößen untersuchen. Es wird die Ähnlichkeit zwischen allen Aufnahmen anhand eines Ähnlichkeitsindex analysiert. Der verwendete Ähnlichkeitsindex ist der weit verbreitete Bray-Curtis-Index.

Im vorliegenden Fall wird die zeitliche Entwicklung entlang des Höhengradienten untersucht. Dazu werden Vegetationsaufnahmen so angeordnet, dass die Abstände, zwischen diesen im Raum möglichst exakt den erhobenen Ähnlichkeiten entsprechen. Je weiter die Vegetationsaufnahmen voneinander entfernt sind, desto unähnlicher sind sie und je näher sie beieinander sind, desto ähnlicher sind sie. Es werden also Informationen über Paare von Objekten erhoben, um daraus metrische Informationen zu ermitteln. Diese Anordnung lässt sich grafisch sehr gut darstellen und interpretieren. Anhand der Ordination lässt sich zusätzlich der Einfluss von Umweltfaktoren auf diese Anordnung in Form einer Korrelationsanalyse analysieren.

Um den unterschiedlichen Einfluss der Standortfaktoren (Zeit, Höhenlage, geologischer Untergrund, Exposition) zu testen, werden die Vegetationsdaten durch eine multivariate ANOVA auf Basis einer Ähnlichkeitsmatrix untersucht (R-Funktion `adonis2`). Dabei wurde ein hierarchisches Modell gewählt, mit der Periode (1993-1996 und 2015-2017) als oberstes Element und die anderen Faktoren darin jeweils eingebettet (Periode/Jahr der Aufnahme * Höhenlage * Exposition * Geologie).

Es handelt sich bei dieser Funktion um eine robuste Variante einer MANOVA (multivariate ANOVA), die auch „permutational MANOVA“ (PERMANOVA) bezeichnet wird. Es wird dabei analysiert, wie sich die Varianz in Abhängigkeit auf die untersuchten Faktoren verteilt, diese Verteilung wird durch einen Permutationstest auf Signifikanz geprüft. Es werden die Unterschiede der Mittelwerte der einzelnen Gruppen untersucht. Für die genannten statistischen Analysen wurde das Programm R (Version 4.0.3; R Core Team, 2020) mit dem Paket `vegan` (Version 2.5-7; Oksanen et al., 2020) verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Veränderung der Klimadaten

4.1.1 Veränderung von Temperatur und Niederschlag im 30-jährigen Beobachtungszeitraum der Stationen bei Admont

Im Anhang dieser Arbeit, genauer im Kapitel 7.1, finden sich Abbildungen mit Liniendiagrammen der Monatsmittelwerte von Temperatur und Niederschlag der kombinierten Stationen von Admont und Hall bei Admont. Gezeigt werden je eine Abbildung für die Monate von April bis September, also jene Monate die für die Almwirtschaft von großer Bedeutung sind. Die Ganglinie der Parameter schwankt entlang einer Zeitreihe von 1990 bis 2019 innerhalb jener natürlichen Breite, die wir bereits von den Prognosen des IPCC kennen (Kapitel 2.1) (IPCC, 2014, ZAMG, 2021). Während der Korridor der Temperaturschwankungen eng ist, scheint bei den Niederschlägen über 30 Jahre hinweg alles möglich zu sein und die Skalierung der Abbildung muss sehr breit werden. Diese Beobachtung erinnert uns sofort wieder an die deutlich geringere Korrelation des Niederschlages bei der Zusammenführung der Daten der Station Admont mit der Station Hall bei Admont. *Tabelle 6* zeigt uns die Koeffizienten der Geradengleichung $y = kx + d$, die sich aus dem Punkteausgleich jeder Zeitreihe ergeben. Wir müssen uns nicht mit dem Intercept (d) der Gleichung befassen, weil dieser Wert von der Jahreszahl auf der X-Achse festgelegt wird, sondern sollen uns vor allem mit der Steigung der Geraden (k) befassen. Dieser Wert zeigt uns an, um welche Einheit der Messwert steigt oder sinkt, wenn der Bezugswert (x) um Eins zunimmt. Das x in unserem Fall das Kalenderjahr ist, zeigt der Wert k für jeden der untersuchten Monate die Veränderung von Temperatur und Niederschlag pro Jahr.

Für die Lufttemperatur [°C] finden wir den Maximalwert für k von 0,117 °C/Jahr im April. Diesem folgt der Mai, in dem sich die Temperatur nur minimal bewegt und k fast 0 ist. Im Juni finden wir wieder einen höheren Wert für k von 0,104 °C/Jahr. Dieser nimmt dann bis in den September wieder kontinuierlich ab.

In allen Monaten zeigt die Geradengleichung nach oben, die Werte für k sind positiv und es wird laufend wärmer.

Beim Niederschlag [mm] gibt es über die Monate dagegen keinen Trend. Einem trockenen April mit einer Niederschlagsabnahme folgt ein nasser Mai. Im Juni und Juli wiederum geringfügig geringere Niederschläge, dafür im August wieder deutlich höhere. Der September wieder sehr ausgeglichen.

Über die Monate hinweg finden wir eine variable Dynamik, die in beide Seiten der Möglichkeiten ausschlagen kann.

Tabelle 6 zeigt diese Dynamik mit den jeweiligen Koeffizienten der linearen Geradengleichung und rechnet dann noch den Wert für den Anfang im Jahr

Tabelle 6: Regressionen zur Bewertung der Messwerte von Temperatur und Niederschlag in den Monaten April bis September

Parameter	April	Mai	Juni	Juli	August	September	April-September
Lufttemperatur [°C] Mittelwert							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	-225,380	-36,908	-191,110	-143,880	-94,820	-90,196	
k	0,117	0,025	0,104	0,081	0,056	0,052	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	6,9	12,8	15,1	16,9	17,2	12,9	13,6
2019	10,2	13,6	18,1	19,3	18,8	14,4	15,7
Veränderung [1990,2019]	3,4	0,7	3,0	2,3	1,6	1,5	2,1
Veränderung [10 Jahre]	1,17	0,25	1,04	0,81	0,56	0,52	0,72
Niederschlagssumme [mm] Mittelwert							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	2.135,4	-3.893,5	1.517,8	934,91	-2.521,5	-319,03	
k	-1,0293	2	-0,685	-0,3794	1,3929	0,2198	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	87,1	86,5	154,7	179,9	250,4	118,4	876,9
2019	57,2	144,5	134,8	168,9	290,8	124,7	920,9
Veränderung [1990,2019]	-29,8	58,0	-19,9	-11,0	40,4	6,4	44,1
Veränderung [10 Jahre]	-10,29	20,00	-6,85	-3,79	13,93	2,20	15,19

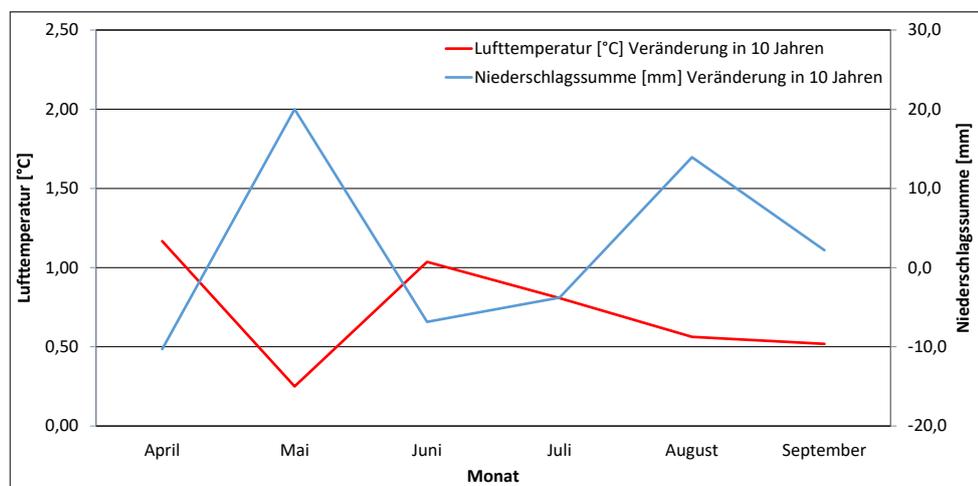


Abbildung 16: Absolute Dynamik der Temperatur und Niederschlagsentwicklung am Standort Admont in 10 Jahren

1990 und das Ende im Jahr 2019 aus. Im Mittel der betroffenen Monate stieg die berechnete Temperatur von 1990 bis 2019 um 2,1 °C an. Das bedeutet einen Anstieg von 0,72 °C in 10 Jahren. Die gesamte Periode hat für die Almwirtschaft eine grundlegende Bedeutung. Im Falle von ALM20, wir konzentrieren uns hier auf den 1. Aufwuchs, hat aber das Monat vor der Ernte eine besondere Bedeutung. Dies sind für die Flächen auf 1.100 Meter Seehöhe zur Hälfte der vergleichsweise kühle Monat Mai und der überdurchschnittlich warme Juni. Die Flächen auf 1.300 Meter können fast vollständig dem Juni zugeordnet werden,

jene auf 1.500 Meter wieder zur Hälfte dem überdurchschnittlich warmen Juni und dem durchschnittlichen Juli. Flächen auf 1.700 Meter Seehöhe brauchen für ihr Wachstum vor allem den Juli. Beim Niederschlag verhält es sich ebenso. Auf den Flächen in 1.100 Meter Seehöhe ist es somit nicht nur kühler, sondern im Mai auch noch feuchter. Auf allen anderen Standorten ist mit geringeren Niederschlägen zu rechnen.

Die genauen Werte für die einzelnen Höhenlagen und Perioden können in *Tabelle 7* nachgelesen werden. Diese Tabelle zeigt die relativen Abweichungen nach dem unter 3.4.6, Punkt 3 vorgeschlagenen Normierungsprozess, der Wert von der ursprünglichen Einheit in % des langjährigen Referenzwertes. *Tabelle 8* zeigt nach dem Muster von *Tabelle 6* die linearen Funktionen, die sich aus diesem Schritt ergeben. Insgesamt auffällig sind dabei die sehr nassen Bedingungen für die Lagen auf 1.100 Meter Seehöhe in der ersten Periode und die sehr trockenen Bedingungen für die Lagen auf 1.300 Meter Seehöhe in der zweiten Periode. Die Temperatur lag in der ersten Periode relativ gleichmäßig unter dem langjährigen Mittel. In der zweiten Periode war es vor allem auf den Lagen unter 1.500 Meter überdurchschnittlich warm.

Tabelle 7: Relative Abweichungen von Temperatur und Niederschlag in den einzelnen Höhenlagen und Perioden

Höhenlage	Relative Abweichung vom langjährigen Mittel in %			
	Temperatur		Niederschlag	
	1993-1996	2016-2019	1993-1996	2016-2019
1.100	-5,4	10,2	14,8	-2,1
1.300	-6,4	11,3	-1,4	-13,7
1.500	-4,1	6,9	-3,2	-4,7
1.700	-4,1	7,0	-7,8	-3,2

Aus der Sicht der relativen Veränderung von Temperatur und Niederschlag zeigt sich in der gesamten Periode wegen des sehr warmen Aprils eine sehr hohe Temperaturzunahme von 16,0 % zum Normalwert. Der Niederschlag folgt dieser Entwicklung wegen des nassen Mais und nimmt um 13,3 % zu. Unsere primär betroffenen Monate Mai, Juni und Juli weichen von dieser Aussage soweit ab, als die Temperaturzunahmen mit 6,0 bis 11,3 % unter der gesamten Periode liegen. Für den Niederschlag dreht sich die Aussage sogar und wir haben in der Vegetationsperiode im 1. Aufwuchs eine Niederschlagsabnahme zwischen -2,1 und -13,7 %.

Von April bis September hat die Temperatur an der Klimastation in Admont um 2,1 °C oder 16 % zugenommen. Der Niederschlag ist um 44 mm oder 13,3 % angestiegen. In den für uns so wichtigen Monaten Mai, Juni und Juli stellt sich die Situation etwas anders dar: Die Temperatur (ΔT) ist im Schnitt um 8,9 % angestiegen, die trockenen Monate Juni und Juli lassen den Niederschlag (ΔN) um 6 % sinken.

Tabelle 8: Regressionen zur Bewertung der relativen Veränderung von Temperatur und Niederschlag in den Monaten April bis September

Parameter	April	Mai	Juni	Juli	August	September	April-September
Lufttemperatur [%] Mittelwert zum Referenzwert							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	-2.570,400	-379,360	-1.248,400	-892,430	-624,840	-721,850	
k	1,372	0,189	0,623	0,445	0,312	0,360	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	160,1	-2,7	-9,0	-6,5	-4,4	-5,1	22,1
2019	199,9	2,8	9,0	6,4	4,7	5,4	38,0
Veränderung [1990, 2019]	39,8	5,5	18,1	12,9	9,0	10,4	16,0
Veränderung [10 Jahre]	13,72	1,89	6,23	4,45	3,12	3,60	5,50
Niederschlagssumme [%] Mittelwert zum Referenzwert							
<i>Koeffizienten der linearen Gleichung</i>							
d	3.149,9	-3.216,1	1.004,4	448,83	-1.729,3	-574,69	
k	-1,5714	1,6045	-0,5011	-0,2238	0,8626	0,2868	
<i>Rechenwerte der linearen Gleichung</i>							
1990	22,8	-23,1	7,2	3,5	-12,7	-4,0	-6,3
2019	-22,8	23,4	-7,3	-3,0	12,3	4,4	6,9
Veränderung [1990, 2019]	-45,6	46,5	-14,5	-6,5	25,0	8,3	13,3
Veränderung [10 Jahre]	-15,71	16,05	-5,01	-2,24	8,63	2,87	4,58

4.1.2 Korrelation der Klimastation Admont mit der Klimastation Kölblwiese in Johnsbach

Die Ergebnisse der Station Admont decken mit der langen Messreihe die Zeit der beiden Versuchsperioden im Höhenprofil vollständig ab. Es stellt sich aber die Frage, ob es zulässig ist, die Entwicklung in Admont in das 15 km entfernte Johnsbachtal zu übertragen, um es dort in die Analyse der Veränderungen von Ertrag und Nährstoffgehalten einzubeziehen. Diese Frage kann durch einen Vergleich der Übereinstimmung der Stationen beantwortet werden. Dafür wird die Station Kölblwiese verwendet, weil sie im Talboden des Johnsbachtals genau 233 Meter über der Referenzstation in Admont liegt.

Abbildung 17 zeigt uns diese Beziehung und erklärt den Zusammenhang wieder mit den Koeffizienten der Geradengleichung. Für die Temperatur liegt die Steigung der Geraden (k) mit 0,9687 ganz nahe bei 1. Die Temperatur der beiden Stationen steht damit in sicherer Beziehung. Das Intercept (d) von -2,4 °C beschreibt die systematischen Differenz zwischen den Stationen. Alleine aus dem Höhenunterschied kann diese Differenz von rund -1 °C/100 Meter Seehöhe nicht erklärt werden. Der für unsere Breiten angegebene feuchtadiabatische Temperaturgradient liegt üblicherweise bei -0,5 bis -0,7 °C/100 Meter Seehöhe (Holtermeier, 2000). Dieser Wert bestätigt sich im Johnsbachtal auch in höheren Lagen (Tabelle 9). Die Kölblwiese liegt topographisch tiefer unter dem Horizont als die Station in Admont und hat deswegen eine geringere, potenzielle Sonnenscheindauer. Es darf angenommen werden, dass dieser Aspekt den Rest erklärt. Wie zu erwarten war, kann die Qualität der Beziehung für den Parameter Niederschlag nicht erreicht

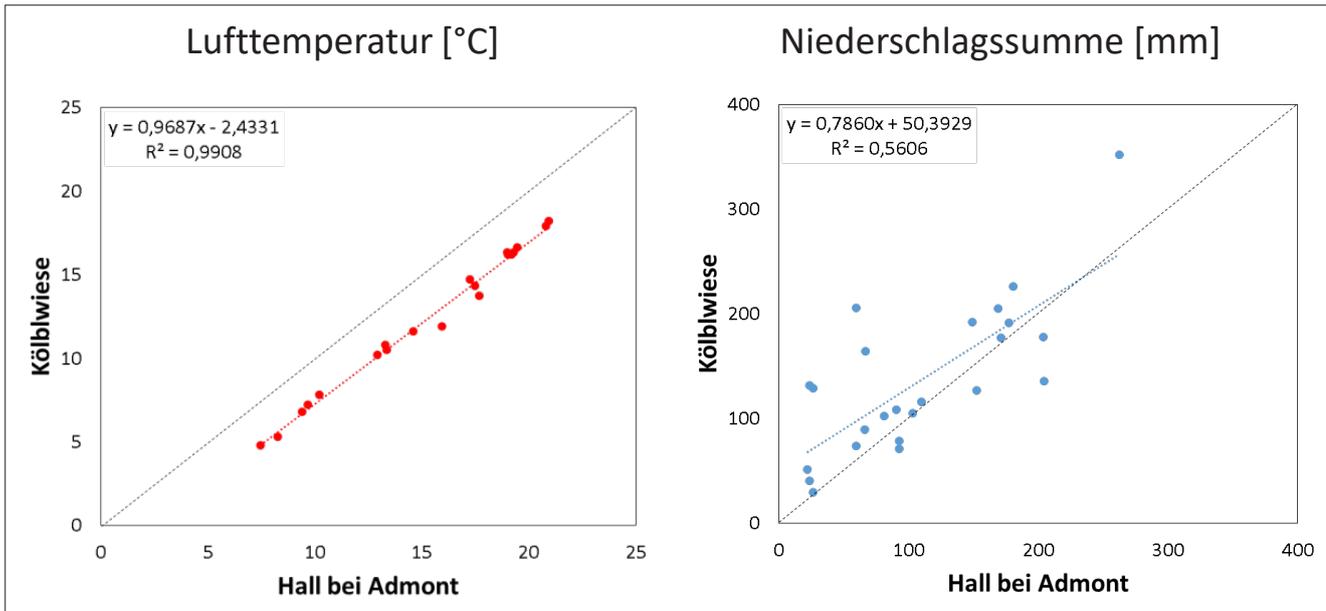


Abbildung 17: Übereinstimmung von Temperatur und Niederschlag der Stationen Hall bei Admont und Kölblwiese

werden. Zum einen werden geringe Niederschläge etwas über- und hohe Niederschläge unterschätzt, zum anderen ist die Streuung der Punktwolke recht groß. Die Gesamtbeziehung in *Abbildung 17*, rechts, zeigt, dass die Geradengleichung der Normbeziehung aber in akzeptablem Ausmaß folgt. Ausschlaggebend für die Abweichungen sind einzelne Starkniederschläge die im Johnsbachtal fallweise sehr stark ausfallen können.

Die Dynamik der Temperaturentwicklung der Station Admont findet sich systematisch vollständig auf der Station Kölblwiese wieder. Das gilt auch für die Dynamik von Normalniederschlägen. Starkniederschläge im Johnsbachtal sind lokal und an der Station Admont nicht abgebildet. Diese Starkniederschläge haben aber keine zentrale Bedeutung für das Pflanzenwachstum, weshalb wir für diese Arbeit sagen können: „Was wir in der langen Zeitreihe in Admont an Veränderungen erkennen, gilt auch für das Johnsbachtal!“.

4.1.3 Gradienten für Temperatur und Niederschlag im Johnsbachtal

Wir nutzen die Klimastationen im Stationsnetz Johnsbachtal in dieser Arbeit nicht zur weiteren Klärung des Einflusses von Klimaänderungen auf die Pflanzen, sondern zur Bestimmung der Veränderung von Temperatur und Niederschlag entlang des Höhengradienten.

Abbildung 18 zeigt die Beziehung der vier ausgewählten Stationen in den Monaten April bis August im Zeitintervall von 2013 bis 2020. Für die Temperatur sind diese Abbildungen immer so angeordnet, dass die tiefer liegende Station auf der X-Achse und die höher liegende auf der Y-Achse liegt. Für alle Stationen zeigt sich eine sehr schöne, direkte Beziehung der Regressionen bei der Steigung der

Geradengleichung (k). Die Werte für k liegen zwischen 0,959 und 1,095 und damit nahe bei 1. Das Bestimmtheitsmaß R^2 liegt nahe an 100, die Beziehung der Stationen klärt die Streuung fast vollständig. Die höheren Abweichungen am Blaseneck sind dem Standort am Übergang ins Paltental geschuldet. Für den Niederschlag gibt es eine hohe Übereinstimmung solange die Stationen im Talkessel liegen. Das gilt für die Schröckalm aber nicht für die Station Gscheidegg, die am Grat zwischen Johnsbachtal und Radmortal liegt. Die Schröckalm entspricht der Kölblwiese sehr genau mit einem Versatz von 23 mm Niederschlag pro Monat. Dieser Wert gilt auch am Gscheidegg, aber hier gibt es eine systematische Abweichung in der Steigung der Geradengleichung. Dass die Streuung der Werte beim Niederschlag viel höher ist, als bei der Temperatur, kennen wir bereits von den vorhergehenden Kapiteln.

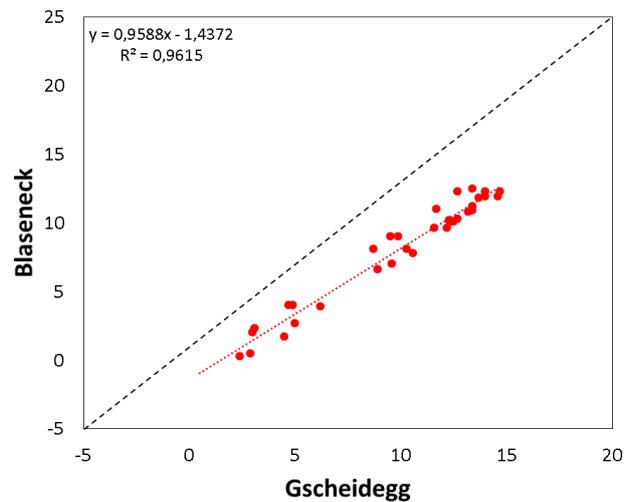
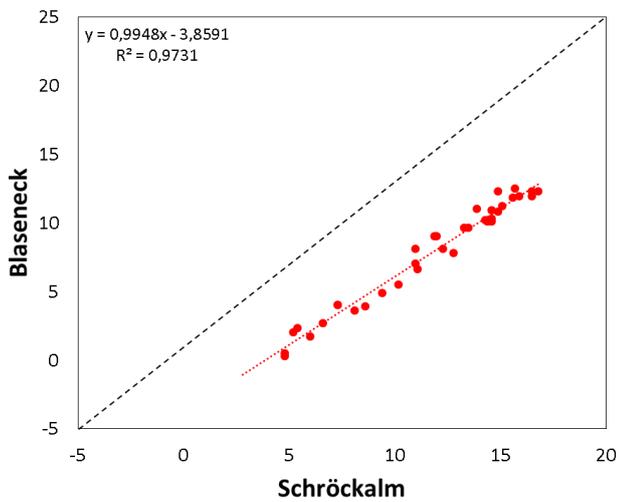
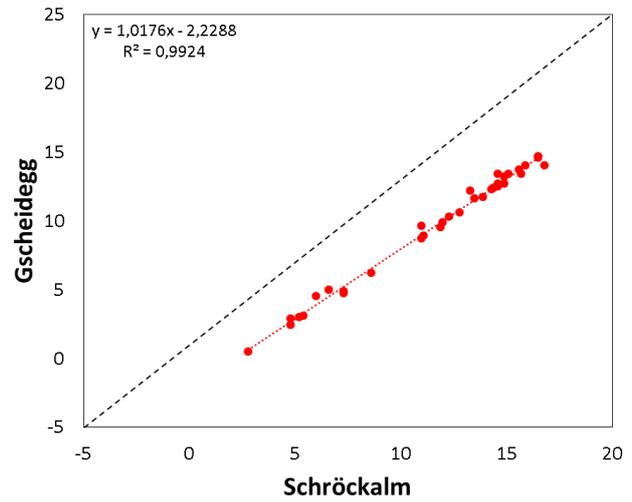
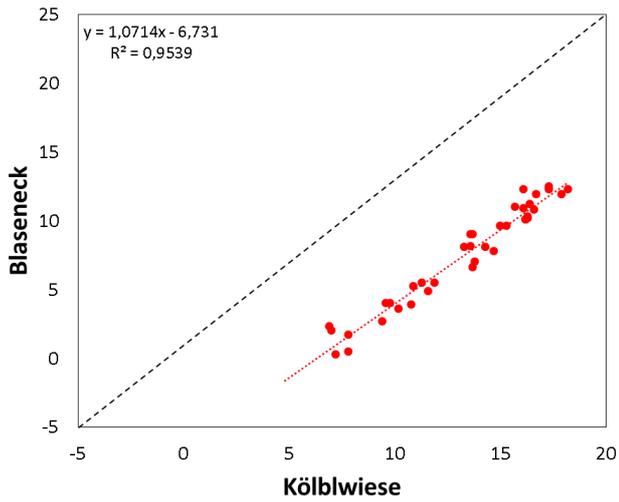
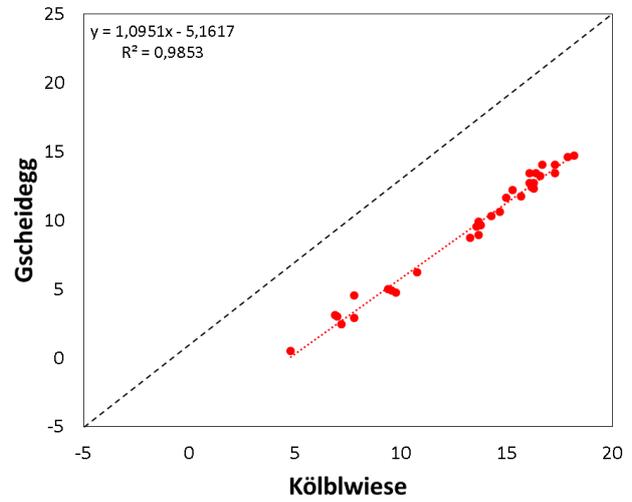
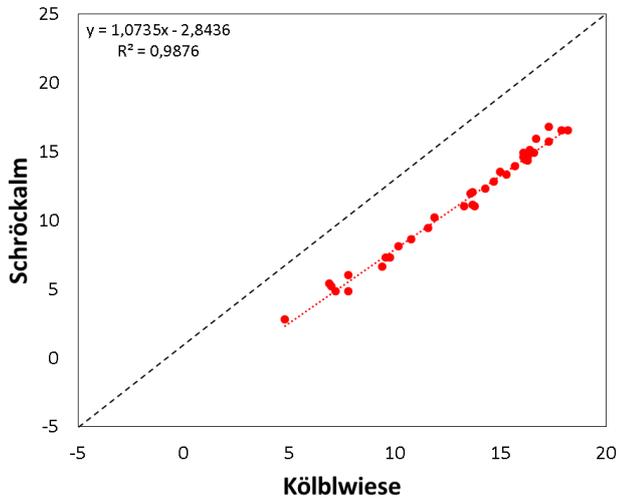
Aus den Gleichungen in *Abbildung 18* kann das Intercept (d) entnommen werden. Die Seehöhen der Klimastationen können aus *Tabelle 4* entnommen werden. Mit diesen werden wir auch die Höhendifferenz zwischen den einzelnen Stationen berechnen. In *Tabelle 9* werden diese Werte nun so angeordnet, dass sich eine Beziehung zwischen den Stationen ergibt. Die Division der systematischen Unterschiede der Stationen durch die Höhendifferenz wird als feuchtadiabatischer Temperaturgradient [$^{\circ}\text{C}/100$ Höhenmeter] eingetragen. Dieser Wert liegt im gesamten Talkessel des Johnsbachtales zwischen -0,52 und -0,64 und damit genau im Referenzbereich. Wenn wir -0,62 verwenden, bedeutet dies bei einer Erwärmung von 2,1 $^{\circ}\text{C}$, dass sich an einem festgesetzten Tag des Jahres die Temperatur entlang des Höhengradienten um 340 Meter Seehöhe nach oben verschoben hat.

Für den Niederschlag gibt es nur die Beziehung zwischen der Kölblwiese und der Schröckalm. Die Zunahme des Niederschlages von 23 mm trifft auf eine Höhendifferenz von 474 m. Das bedeutet eine Niederschlagszunahme von rund 5 mm/100 Meter Seehöhe. Diese Beziehung ist aus der Literatur für den Jahres-

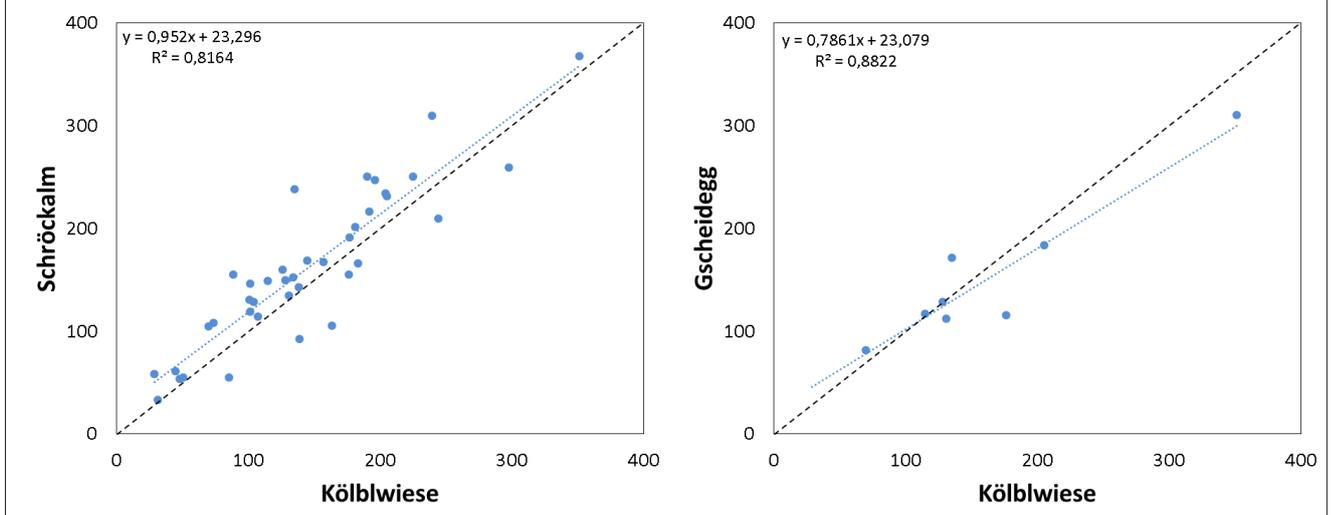
Tabelle 9: Feuchtadiabatischer Temperaturgradient

Höhendifferenz zwischen den Klimastationen [Meter Seehöhe]			
	Schröckalm	Gscheidegg	Blaseneck
Kölblwiese	474	820	1.099
Schröckalm	-	346	625
Gscheidegg	-	-	279
Intercept (d) zwischen den Stationen [$^{\circ}\text{C}$]			
	Schröckalm	Gscheidegg	Blaseneck
Kölblwiese	-2,84	-5,16	-6,73
Schröckalm	-	-2,23	-3,86
Gscheidegg	-	-	-1,44
Feuchtadiabatischer Temperaturgradient [$^{\circ}\text{C}/100$ Höhenmeter]			
	Schröckalm	Gscheidegg	Blaseneck
Kölblwiese	-0,60	-0,63	-0,61
Schröckalm	-	-0,64	-0,62
Gscheidegg	-	-	-0,52

Beziehung der Lufttemperatur [°C] zwischen den Wetterstationen im Datenportal Johnsbach in den Monaten April bis August [2013,2020]



Beziehung der Niederschlagssumme [mm] zwischen den Wetterstationen im Datenportal Johnsbach in den Monaten April bis August [2013,2020]



niederschlag bekannt und statistisch sicher, auf die Monatswerte bezogen ist die Aussage nur von empirischer Natur und damit statistisch nicht belastbar.

Abbildung 18: Korrelation von Temperatur und Niederschlag der einzelne Klimastationen im Klimastationsnetz Johnsbach

Für die Temperaturentwicklung im Johnsbachtal lässt sich aus den Stationsdaten zwischen 2013 und 2020 für die Monate April bis September eine Abnahme der mittleren Temperatur von $-0,62\text{ °C}/100\text{ Meter}$ Seehöhe berechnen. Der Niederschlag nimmt um $5\text{ mm}/100\text{ Meter}$ Seehöhe zu. Die Aussagen zur Temperaturveränderung sind sicher, die zur Niederschlagsänderung unsicher. Unter diesen Bedingungen hat sich eine bestimmte Temperatur an einem festgelegten Tag um 340 Meter Seehöhe nach oben gearbeitet.

4.1.4 Schwankungen des Klimas in den Untersuchungsperioden auf der Basis der übertragenen Modelldaten

Die bisherige Analyse der Messdaten von Klimastationen hat sich mit der zeitlichen Entwicklung zwischen 1990 und 2019 und den Korrelationen zwischen verfügbaren Messstationen befasst. Diese Analyse liefert uns ein klares Signal für den zeitlichen Trend. Für die Pflanze selber, untrennbar an ihren Standort gebunden, spielt aber zusätzlich das lokale Wetter eine entscheidende Rolle. Wir wollen deshalb noch einen kurzen Blick auf die Schwankungen in den einzelnen Monaten der beiden Versuchsperioden werfen, um festzustellen welche Gradienten dort zu finden sind. Wir müssen aber bei der Interpretation auch noch bedenken, dass der Monatsmittelwert die Tagesschwankungen stark glättet. Daten für die Bewertung dieser Schwankung stehen nicht zur Verfügung. Die graphisch aufbereiteten Daten im Anhang unter 7.3 und 7.4 zeigen uns die

Tabelle 10: Maximale, relative Schwankung von Temperatur und Niederschlag in den Untersuchungsjahren

Relative Abweichung vom langjährigen Mittelwert [%]						
	Temperatur			Niederschlag		
	Min	Max	Differenz	Min	Max	Differenz
1993	-10	16	26	-36	69	105
1994	-3	9	12	-22	32	54
1995	-14	12	26	-35	7	42
1996	-10	7	17	-11	23	34
Mittelwert			20,3			58,8
2016	-11	0	11	10	89	79
2017	-47	18	65	-37	40	77
2018	-20	45	65	-59	21	80
2019	-43	23	66	-71	14	85
Mittelwert			51,8			80,3

Variabilität von Temperatur und Niederschlag im Monatsmittelwert der Monate April bis August der Periode 1993-1996 bzw. 2016-2019.

Für die erste Periode fassen wir in *Tabelle 10* zusammen: Die relative Differenz der Minima und Maxima ist weit gespreizt. Bei der Temperatur beträgt diese Spreizung 20,3 % um das langfristige Referenzniveau, beim Niederschlag sogar um 58,8 %. Es kommen dabei alle Möglichkeiten rund um das Referenzniveau vor. Es gibt kühle und heiße, nasse und trockene Bedingungen.

Für die zweite Periode öffnet sich die Spreizung noch weiter und nimmt nun für die Temperatur 51,8 % und für den Niederschlag 80,3 % an. Wieder kommen alle Möglichkeiten vor. Die Minima und Maxima der zweiten Periode gestalten sich noch breiter. Die Extreme werden stärker!

Neben der langjährigen Beobachtung von Temperatur und Niederschlag spielen für die Pflanzen vor allem auch die jährlichen Extreme eine große Rolle. Diese haben von der ersten zur zweiten Versuchsperiode deutlich zugenommen. Es gibt also nicht nur ein sich veränderndes Klima, sondern auch mehr Stress in den einzelnen Jahren.

4.1.5 Festlegung der Veränderungsgradienten

Für die Bewertung der Wirkung von Temperatur und Niederschlag auf das Pflanzenwachstum und die Inhaltstoffe entlang der Zeitachse der beiden Versuchsperioden benötigen wir Veränderungsgradienten, die der gesamten Entwicklung entsprechen. Wir entnehmen *Tabelle 11* für die Frage der Klimaerwärmung einen Abweichungswert ΔT von +13,8 % und für die Frage der Veränderung des Niederschlages eine Abweichungswert ΔN von -6,8 %. Für den jährlichen Stress nutzen wir den Quartilsabstand der aktuellen Spreizung von 14,3 % für die Temperatur und 75,5 % für den Niederschlag.

Tabelle 11: Die Veränderungsgradienten der Versuchsperioden

Relative Abweichung der Temperatur im Monat vor der Ernte vom 30-jährigen Mittel in %	1993-1996	2016-2019	Δ Perioden
	Minimum	-16,3	-10,5
Unteres Quartil	-9,5	0,3	9,8
Mittelwert	-5,0	8,8	13,8
Median	-2,9	8,8	11,7
Oberes Quartil	-2,2	14,6	16,8
Maximum	3,1	45,1	42,1
Quartilabstand	7,3	14,3	

Relative Abweichung des Niederschlags im Monat vor der Ernte vom 30-jährigen Mittel in %	1993-1996	2016-2019	Δ Perioden
	Minimum	-48,1	-61,6
Unteres Quartil	-19,7	-43,6	-23,9
Mittelwert	1,2	-5,6	-6,8
Median	2,5	7,1	4,6
Oberes Quartil	20,6	31,9	11,3
Maximum	52,3	59,7	7,4
Quartilabstand	40,2	75,5	

4.2 Pflanzenbauliche Veränderungen

4.2.1 Erklärungskraft der fixen und variablen Größen der statistischen Modelle

Das Kapitel zur Darstellung der Ergebnisse pflanzenbaulicher Versuchsfragen soll mit der Abschätzung der Sicherheit von später zu treffenden Aussagen beginnen. Wer, wie die Kollegen aus Gumpenstein, so oft durch die Transekte des Höhenmodells Johnsbach gefahren ist und dabei Hitze, Kälte, Dürre und Starkniederschlag mit jeder Pore des Körpers aufgesaugt hat und wer mit viel Schweiß Material auf den Berg und Proben vom Berg getragen hat, der hat empirisch früher oder später die volle Breite an Klima, Böden und Pflanzen gesehen. Die Variabilität dieser Region im Nationalpark Gesäuse ist hoch und unter diesen Bedingungen drängt sich die Frage auf, ob naturwissenschaftliche Erkenntnisse aus dem Projekt am Ende überhaupt statistisch abgesichert werden können. Mit dem Bestimmtheitsmaß R^2 gibt es ein Maß, das uns Auskunft über die Erklärungskraft von Modellen gibt. Ein R^2 von 100 bedeutet dabei, dass die gesamte Streuung der Daten vollständig durch fixe und variable Effekte (und deren Wechselwirkungen) erklärt werden kann. Ein R^2 von 0 würde bedeuten, dass die Streuung völlig unabhängig von Faktoren ist. Weder das eine noch das andere wird bei einem Feldversuch je auftreten.

Tabelle 12 zeigt uns die verschiedenen R^2 von Parametern nach der Anwendung der im Kapitel 3.5 vorgestellten Modelle. Das Model 3.5.1 nutzt die Periode (P) und die Fläche (F) um die Ergebnisse zu erklären. Dieses Modell liefert keine Ergebnisse zu den in der Versuchsanlage definierten Größen (Grundgestein, Exposition, Höhe), zeigt uns aber, wie weit die Erklärung der Parameter maximal gehen kann. Die Fläche selber hat die größte Erklärungskraft. Sie steht als eine Art Black Box nur für sich. Der Erklärungsgrad des Modells ist im natürlichen Schwankungsbereich von Feldversuchen schon erstaunlich hoch. Ganz wenige Parameter bleiben unter 50 %, manche nähern sich schon der 90 %-Marke an. Das gilt auch für die in dieser Arbeit wichtigsten Parameter NDF, ADF, ADL und NFC. Sie geben Auskunft über die Verteilung der Kohlenhydratfraktionen und stehen in enger Beziehung zur phänologische Reife von Pflanzenbeständen.

Wenn wir die Fläche aus dem Modell nehmen und dafür unsere vereinfachten Erklärungsgrößen wie die Periode (P), das Grundgestein (G), die Exposition (E) und die Seehöhe (H) verwenden (Modell 3.5.2), dann sinkt R^2 um die Hälfte. Zwischen unseren fixen und variablen Effekten gibt es also noch viele erklärende Größen, die wir noch nicht berücksichtigt haben oder die wir nicht berücksichtigen können. Die meisten haben mit dem lokalen Mikroklima, dem Boden und der lokalen Zusammensetzung des Pflanzenbestandes zu tun. Ähnliches geschieht, wenn wir in Modell 3.5.3 die Periode (P) durch die Klimaveränderungen, ausgedrückt durch ΔT und ΔN ersetzen. Zwischen den beiden letzten Modellen bricht R^2 nicht mehr

Tabelle 12: Erklärungskraft der statistischen Modelle

Parameter	Kapitel Faktoren	Bestimmtheitsmaß R^2		
		3.5.1 P, F	3.5.2 P, G, E, H	3.5.3 G, E, H, ΔT , ΔN
Ertrag an Trockenmasse				
1. Aufwuchs		52,2	28,3	30,6
Rohnährstoffe				
Rohprotein	XP	66,8	30,7	36,4
Rohfett	XL	44,1	27,9	11,1
Rohfaser	XF	74,5	30,7	26,1
Rohasche	XA	78,9	29,2	24,8
N-freie Extraktstoffe	XX	51,7	19,5	20,3
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	77,3	24,0	17,3
Organische Masse	OM	78,9	29,2	24,8
Gerüstsubstanzen				
Faserkohlenhydrate	NDF	87,6	29,8	18,7
Lignozellulose	ADF	80,5	65,2	33,5
Lignin	ADL	68,3	60,9	35,6
Hemizellulose	HEM	84,6	23,2	23,6
Zellulose	CEL	24,6	5,2	28,0
Energiekonzentration				
Gesamtenergie	GE	72,6	33,0	27,2
Umsetzbare Energie	ME	-	48,8	42,6
Netto-Energie	NEL	-	47,8	42,1
Mineralstoffe				
Kalzium	Ca	83,9	22,2	17,5
Phosphor	P	85,3	60,7	56,6
Magensium	Mg	67,9	19,2	17,4
Kalium	K	79,0	33,3	34,5
Natrium	Na	50,4	24,5	23,0
Mangan	Mn	82,4	60,5	52,9
Zink	Zn	49,5	24,1	22,7
Kupfer	Cu	78,1	56,2	40,9

deutlich ein. Das bedeutet, dass wir den fixen Effekt der Periode (P) durch die variablen Effekte ΔT und ΔN ersetzen können. Mit dieser Aussage können wir die Erkenntnisse des Projektes ALM20 auch in die Zukunft projektieren!

Auch wenn uns der Modellansatz 3.5.1 die größte Sicherheit für Aussagen gibt: Wir wollen ja nicht die Fläche selber, sondern ihre Einflussgrößen erklären und müssen deshalb bis zu Modell 3.5.3 weitergehen. Das werden wir auch, müssen uns aber voll bewusst sein, dass unsere Aussagen eine hohe Schwankungsbreite zulassen!

4.2.2 Futterertrag und Futterwert im 25-jährigen Beobachtungszeitraum

Die volle Breite der Veränderungen im Futterertrag und den Nährstoffgehalten des 1. Aufwuchses können im Anhang grafisch unter 7.5 und tabellarisch unter 7.6 nachgeschlagen werden. Hier an dieser Stelle nehmen wir die zusammenfassende Interpretation der eingesetzten fixen Effekte vor.

4.2.2.1 Die Wirkung der Periode

Durch die Wiederholung der Erhebungen von 1993-1996 (Periode 1) in den Jahren 2016-2019 (Periode 2) entstehen zwei vergleichbare Perioden. Der Trockenmasseertrag (TM) des 1. Aufwuchses ist zwischen Periode 1 und Periode 2 an den festgelegten Ernteterminen von 1.564 kg TM/ha auf 1.779 kg TM/ha angestiegen. Ähnliches ist mit jenen Rohnährstoffen und Gerüstsubstanzen geschehen, die für die Stabilität der größeren, reiferen Pflanzen sorgen müssen. Der Zellulosegehalt (CEL) beschreibt diese Entwicklung besonders gut und ist von 252 g/kg TM auf 268 g/kg angestiegen. CEL kann zwar von Wiederkäuern recht gut verdaut werden, allerdings handelt es sich schon um schwerer lösliche Kohlenhydrate. CEL ist ein Polysaccharid, das aus mehreren tausend Glukosemolekülen besteht, die sich in langen Ketten hintereinander reihen. Diese Ketten werden durch eine 3-D-Matrix aus Hemizellulose (HEM) zusammengehalten (Gruber, 2009, Gruber et al., 2008). Der Gehalt an HEM verhält sich indirekt proportional zu CEL und ist bei ihrem Anstieg von Periode 1 zu Periode 2 von 222 g/kg TM auf 200 g/kg TM zurückgegangen. Dafür ist der Gehalt an Lignin (ADL), das ist der fast unverdauliche Teil der Gerüstsubstanzen, besonders stark von 44 g/kg TM auf 64 g/kg TM angestiegen. Diese Entwicklung bildet sich auch im Rohnährstoff Rohfaser (XF) ab. Dieser enthält viele der Fraktionen der Gerüstsubstanzen und steigt deshalb ebenfalls von 261 g/kg TM auf 273 g/kg TM an. Bei konstantem, niedrigem Rohaschegehalt (XA) (71 g/kg TM), dieser enthält in unserem Fall nur die Mineralstoffe der Futterproben und einen äußerst geringen Rohfettanteil (XL) (19 bzw. 22 g/kg TM), sinkt der Rohproteingehalt (XP) signifikant von 134 g/kg TM auf 121 g/kg TM ab.

Die Verschiebung innerhalb der Gerüstsubstanzen wird auch von RESCH et al. (2016) beobachtet. Seine Untersuchung bezieht sich auf intensiv genutztes Wiesenfutter in den Tallagen. Dieses legt im ersten Aufwuchs bei den Faserkohlenhydraten (NDF) um +23 g NDF/kg TM/Woche zu und bei der Lignozellulose (ADF) um +18 g NDF/kg TM/ Woche. ADL nahm ebenfalls zu, aber nur mit +2 g ADL/kg TM/Woche (Resch, 2016). Bei Almfutter in unserer Untersuchung verläuft

die Reifung ähnlich, aber deutlich gebremst. NDF legt pro Woche um +12,2 g zu, ADF um +9,6 g und ADL um +1,6 g. Im Verhältnis zwischen den drei Werten und den beiden Quellen zeigt sich, dass Almfutter bei einer vergleichbaren Bildung von fast unverdaulichem ADL deutlich weniger an NDF und ADF bilden. Die plausibelste Erklärung dafür liefern die unterschiedlichen Pflanzenbestände. Die leichter verdaulichen Fraktionen werden zugunsten der stabilen, strukturfestigenden verschoben. Deshalb ist auch die Verdaulichkeit und in Folge der Energiegehalt von Almfutter nicht besonders hoch (Gruber et al., 1998). Wird dieses Futter überständig, dann ist es für Wiederkäuer bald wertlos. Wer sich im September auf Borstgras niederlässt kann diese Aussage auch praktisch nachvollziehen.

Mit dem Gehalt an XP und XF und der ÖAG-Futterwerttabelle für das Grundfutter im Alpenraum (Resch et al., 2006) kann auch eine erste Einschätzung der phänologischen Entwicklung vorgenommen werden. In der Tabelle „Grünfutter aus Einschnittwiesen, Naturschutzflächen und Streuwiesen, Seite 14/15“ wird für das Stadium des *Ähren-Rispen-Schieben*, hier würde auch etwa die Einstufung der Weidereife nach Sobotik (1998) liegen, ein XP-Gehalt von 136 g XP/kg TM und ein XF-Gehalt von 240 g XF/kg TM angegeben. In den nächsten beiden Stadien *Beginn Blüte* und *Mitte Blüte* sinkt der XP-Gehalt zuerst auf 118 g XP/kg TM und dann weiter auf 107 g XP/kg TM. XF steigt zuerst auf 263 g XF/kg TM und dann weiter auf 286 g XF/kg TM an. Mit diesen Referenzwerten kann das Almfutter in der 1. Periode nach XP als im *Ähren-Rispen-Schieben* und nach XF *am Beginn der Blüte* eingestuft werden. In der 2. Periode verschiebt sich das Stadium über die Nährstoffgehalte nach XP zu *am Beginn der Blüte* und nach XF nach *Mitte der Blüte*.

Wir stellen fest, dass es von Periode 1 zu Periode 2 bei gleichem Erntetermin zu einem Anstieg des Ertrages um 13,7 % gekommen ist. Der Ertragszuwachs wurde von einem Anstieg der Gerüstsubstanzen und einer Abnahme des Rohproteingehaltes begleitet. Er ist damit nicht nur Ausdruck einer veränderten Pflanzengesellschaft, sondern zeigt das Voranschreiten der phänologischen Entwicklung an.

Diese Verschiebung hat ihren Niederschlag in der Qualität des Futters gefunden. Der Gehalt an umsetzbarer Energie (ME) des Futters ist von 9,0 MJ/kg TM auf 8,7 MJ/kg TM zurückgegangen. Da die Änderung in den Verdaulichkeitswerten aus Anhang 7.9 als moderat angenommen wurde, könnte in der Praxis auch noch mit einem stärkeren Energieabfall gerechnet werden. *Abbildung 19* zeigt die Veränderungen zwischen den Perioden in % des jeweiligen Nährstoffgehaltes in Periode 1. *Abbildung 20* stellt alle Kohlenhydratfraktionen der beiden Perioden gegenüber.

Bei den Mineralstoff- und Spurenelementgehalten folgt der Calciumgehalt (Ca) unseren Aussagen und verstärkt mit einem Anstieg von 6,8 g/kg TM auf 7,7 g/kg TM die größere Masse an Zellwänden. Kalium (K) und Natrium (Na), beide haben physiologische Aufgaben innerhalb der Zelle, gehen leicht zurück. Auch

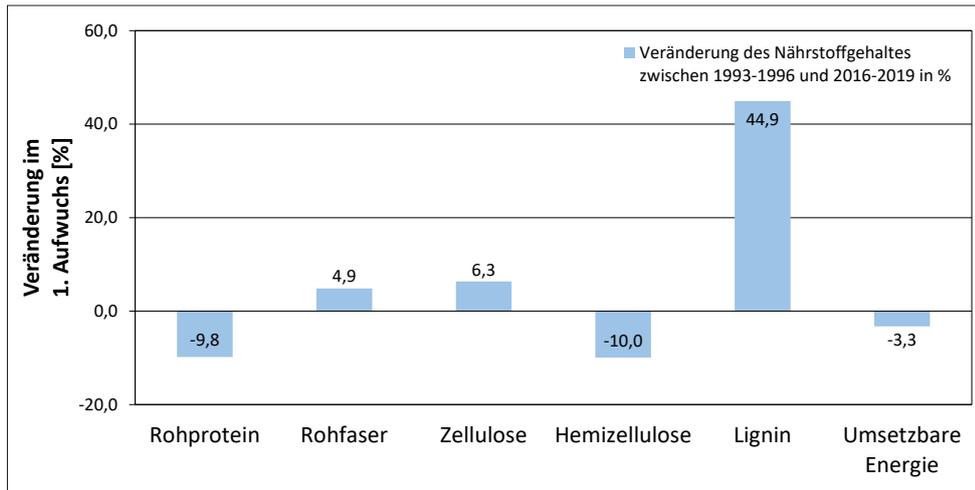


Abbildung 19: Differenz der Fraktionen zwischen den Perioden in %

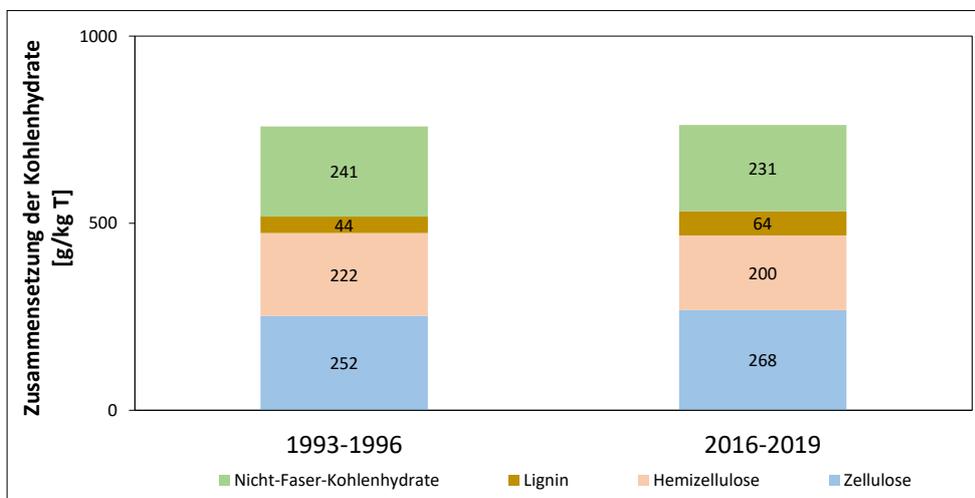


Abbildung 20: Zusammensetzung der Kohlenhydrate in den Perioden

alle anderen Mineralstoff- und Spurenelemente folgen, je nach Aufgabe in der Pflanze, der Entwicklung.

Gemeinsam mit dem höheren Ertrag kann ein sehr klarer Befund erstellt werden: Die Vegetation zwischen Periode 1 und Periode 2 war an den fest gelegten Ernteterminen phänologisch weiter fortgeschritten. Bei Almfutter bedeutet dies das überproportional hohe Mengen an Lignin gebildet werden.

4.2.2.2 Die Wirkung des Grundgesteins

Zunächst muss erklärt werden, dass die Klasse Grundgestein einer sehr unscharfen Darstellung des tatsächlichen Sachverhaltes entspricht. Das Grundgestein (Kristallin, Kalk) bestimmt zwar die grundlegende Entwicklung des Bodens, tatsächlich sind es aber die unterschiedlich hydrologischen Eigenschaften und der Verwitterungsverlauf der am Ende dazu führt, dass sich die Standorte in ihren Bodeneigenschaften unterscheiden. Wenn wir also von Grundgestein

sprechen, dann meinen wir eigentlich die potenzielle Bodenbildung an den Standorten. Ungeachtet dieser Vereinfachung und der Wirkung der Periode unterscheiden sich Ertrag und Futterwert im Grundgestein des Höhenprofils Johnsbach. Der TM-Ertrag im 1. Aufwuchs erreicht im Kalk einen Wert von 1.498 kg TM/ha, jener im Urgestein (Kristallin) einen deutlich höheren Wert von 1.846 kg TM/ha. Die im vorigen Kapitel beschriebene Beziehung zwischen Zellstrukturen und Zellinhaltsstoffen finden wir in einer gleichen Dynamik auch bei der Untersuchung der Wirkung des Grundgesteines. Im Kalk finden wir Futter mit signifikant geringerem Anteil an schwerer verdaulichen Zellwandstrukturen. Dafür hat dieses Futter einen höheren Anteil an Zellinhaltsstoffen und liefert im Sommer mehr Energie. Der Gehalt an Mineralstoffen und Spurenelementen folgt oft dem Grundgestein.

Die Pflanzengemeinschaften im Kalk bilden eine höhere Biodiversität mit feineren Pflanzen aus. Die hydrologischen Eigenschaften des Bodens wirken hier als ein zusätzliches Limit und verhindern ein sehr üppiges Pflanzenwachstum.

4.2.2.3 Die Wirkung der Höhenlage

Auch wenn der Versuchsansatz fast zur Annahme eines nach oben abnehmenden Ertragsgradienten nötigt: So ist es nicht zwingend! Deshalb werden für die weitere Erklärung nun auch noch einmal die Periode und ihre Wechselwirkung zur Höhenlage herangezogen. Die Flächen auf 1.100 Meter Seehöhe, diese zählen eigentlich noch zum Dauersiedlungsraum und werden an den Hofstellen mitbewirtschaftet, waren in der 1. Periode noch verhältnismäßig ertragreich. In der 2. Periode ist der Ertrag um 114 kg TM/ha auf 1.658 kg TM/ha abgefallen. Und das obwohl der Ertrag zwischen den Perioden im Allgemeinen um 215 kg TM/ha angestiegen ist. Die Gründe dafür sind aus der Sicht des Managements die zunehmende Umwandlung der ehemals als zweimähdig genutzten Flächen in Hutweiden und die Beobachtung, dass die größten Wetteranomalien in der 2. Periode den Monat April und Mai betroffen haben. Diese Monate wirken auf 1.100 Meter Seehöhe besonders ertragsbildend und in fast jedem der letzten Jahre kann eine Anomalie gefunden werden (siehe Kapitel 7.4). Somit finden wir heute in der Höhenstufe 1.300 Meter die ertragsreichsten Lagen mit einem aktuellen Durchschnittsertrag von 2.286 kg TM/ha. Die Versuchsflächen in dieser Lage zählen zu den Mittellagen. Sie haben alle eine gute Bodenbildung, sind ausreichend frisch und werden im Frühjahr auch noch länger mit Schmelzwasser versorgt. Außerdem fallen sie von ihrer Vegetationsperiode her schon stärker in den begünstigten Juni. Die Versuchsflächen auf 1.500 bzw. 1.700 Meter nehmen im Ertrag wieder ab. Das ist klar der immer kürzer werdenden Vegetationsperiode geschuldet. Dass die Lagen auf 1.500 Meter Seehöhe davon oft stärker betroffen sind, liegt an einzelnen Flächen (siehe dazu auch die Flächenbeschreibung im Anhang). Viele der Nährstoffe folgen der bisherigen Interpretation in Bezug auf das Verhältnis von schwerer verdaulichen Pflanzenstrukturen zu leichter verdaulichen Zellinhaltsstoffen.

Mit zunehmender Höhe verschiebt sich das Verhältnis zugunsten stabilerer Pflanzen und anderer Pflanzengemeinschaften. Deshalb nimmt am Ende auch der Futterwert von 9,2 MJ ME/kg TM auf 1.100 Meter Seehöhe, auf 8,5 MJ ME/kg TM auf 1.700 Meter Seehöhe ab.

4.2.3 Wirkung der Klimadaten auf Futterertrag und Futterwert

Im statistischen Modell 3.5.3 wird der fixe Effekt der Periode durch die variablen Effekte ΔT und ΔN ersetzt. Beide Werte wurden für den Monat vor dem festgelegten Erntetermin aus der für das Gebiet repräsentativen Wetterstation in Hall bei Admont als relativer Wert entnommen. Die vollständige Tabelle mit allen fixen Effekten findet sich im Anhang unter Kapitel 7.7.

Die Zahlen der fixen Effekte weichen manchmal wegen der ausgleichenden Wirkung der Effekte im Modell geringfügig von den Erklärungen im vorigen Kapitel ab, bei der Interpretation würde man aber zum gleichen Ergebnis kommen. Wichtig sind für uns hier nun die beiden Spalten für (T) und (N), die in *Tabelle 13* übernommen wurden. Die Größen +13,8 % an relativer Erwärmung zwischen den Perioden (ΔT) und -6,8 als relativer Rückgang im Niederschlag zwischen den Perioden (ΔN) im Monat vor der Ernte werden in der Tabelle mit den jeweiligen Koeffizienten multipliziert und der Differenz der statistischen Auswertung von P im Model 3.5.2 gegenübergestellt. Das Ergebnis ist nicht für jeden Parameter sinnvoll und weicht oft von der Differenz von P2 - P1 aus 3.5.2 ab. Für Rohprotein und Zellulose decken sich die Ergebnisse aber besonders gut.

Die Koeffizienten für T spiegeln den Zusammenhang von Futterertrag und den gerüstbildenden Fraktionen wieder. Alle Werte haben positive Koeffizienten. Das bedeutet, dass die relative Zunahme der Temperatur von 1 % an der Referenzstation den Wert um die angegebene Zahl nach oben schiebt. Das gilt auch für den Zusammenhang mit N. Die relative Zunahme von 1 % an Niederschlag beschleunigt ebenfalls den Ertrag, aber auch die Strukturwerte. Umgekehrt ist das mit den Zellinhaltsstoffen und dem Futterwert, der dann abnimmt.

Am Futterertrag soll hier in *Tabelle 14* noch einmal die ganze Kraft dieser Koeffizienten dargestellt werden. Minimum und Maximum der Demonstration wurden aus der Schwankung der Daten entnommen. Wenn die Temperatur einer Versuchsfläche um -10,5 % unter dem Mittel liegt, dann sinkt der Ertrag um 174 kg TM/ha, ist es sehr warm (und ausreichend feucht), dann steigt der um 746 kg TM/ha. Diese Schwankung entspricht insgesamt der Hälfte des Ertragspotenzials der Flächen. Ähnlich ist das beim Niederschlag der allerdings eine Schwankungsbreite von -61,6 (sehr trocken) bis 59,1 (sehr nass) hat.

Die Veränderung von ΔT und ΔN an einer geeigneten Referenzstation im Tal steht mit einer relativen Veränderung von Ertrag, Futtermittelinhaltsstoffen und Futterwert in Beziehung. Wenn wir die Dynamik im Monat vor der Beweidung kennen, können wir schon vorab auch eine Prognose über Mehr- oder Mindererträge abgeben.

Tabelle 13: Koeffizienten für ΔT und ΔN

Modell		Koeffizienten und Ergebnis aus dem Modell 3.5.3			Ergebnis 3.5.2	
Faktor		Wirkung von Δ 1 % zum \emptyset		Rechnerische Gesamtwirkung	P2 - P1	
Stufe		1990-2019				
		Temperatur (T)	Niederschlag (N)			
Δ Klimadaten aus Tabelle 10		%	13,8	-6,8		
Ertrag an Trockenmasse						
1. Aufwuchs		kg T/ha	16,5	7,0	180,5	215,3
<i>Rohnährstoffe</i>						
Rohprotein	XP	g/kg TM	-0,893	-0,153	-11,278	-13,181
Rohfaser	XF	g/kg TM	0,648	0,173	7,769	12,660
Rohasche	XA	g/kg TM	-0,039	-0,044	-0,236	0,323
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	0,412	0,061	5,276	3,403
Organische Masse	OM	g/kg TM	0,039	0,044	0,236	-0,324
<i>Gerüstsubstanzen</i>						
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	0,633	0,033	8,513	23,350
Zellulose	CEL	g/kg TM	1,192	0,191	15,158	15,975
<i>Energiekonzentration</i>						
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	-0,003	0,000	-0,038	-0,085
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	-0,009	-0,001	-0,121	-0,295
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	-0,006	-0,001	-0,082	-0,201
<i>Mineralstoffe</i>						
Kalzium	Ca	g/kg TM	0,049	0,000	0,681	0,905
Kalium	K	g/kg TM	-0,085	-0,015	-1,074	-0,659
Zink	Zn	mg/kg TM	-0,382	-0,154	-4,225	-3,501

Tabelle 14: Wirkung der Koeffizienten auf den möglichen Ertrag

Maximale Wirkung von ΔT und ΔN auf den Ertrag				
Parameter	ΔT	ΔN	Wirkung T	Wirkung N
	Relative Veränderung %		Ertragswirkung kg TM/ha	
Minimum	-10,5	-61,6	-174	-433
Maximum	45,1	59,1	746	415
Koeffizienten für T: 16,5, Koeffizient für N: 7,0				

4.2.4 Entwicklungsdynamik von Ertrag und Futterwert im 1. Aufwuchs

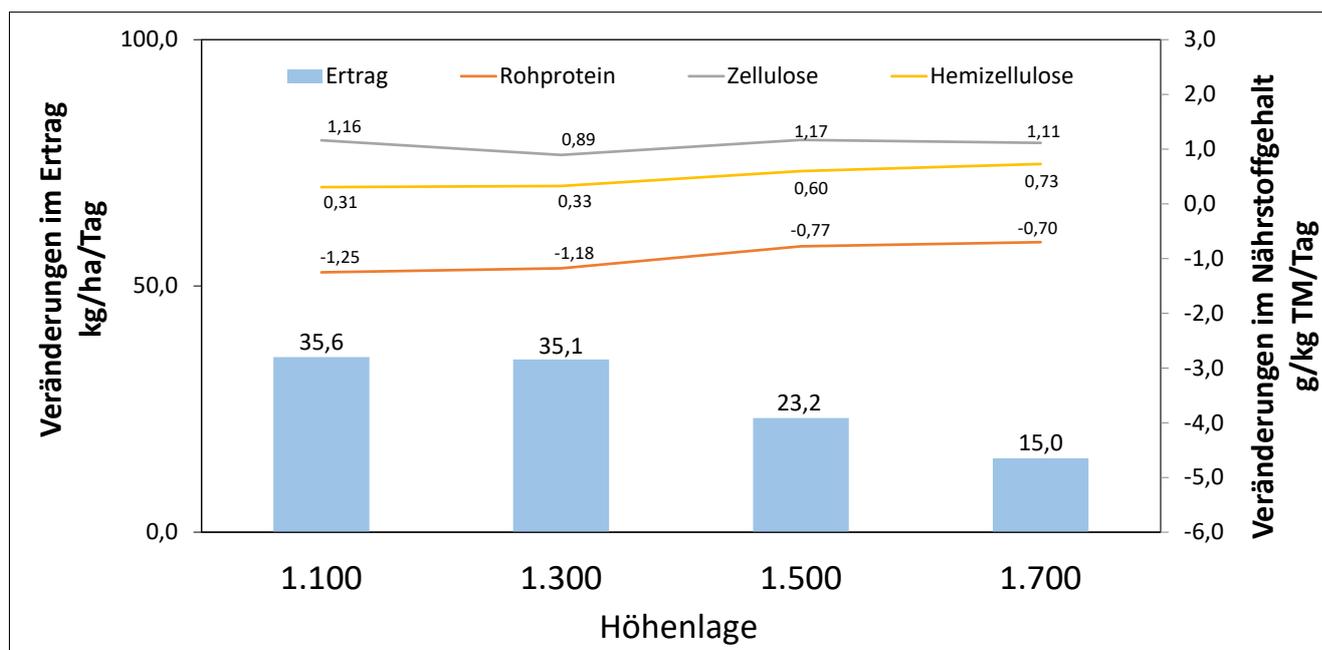
Weidepflanzen wachsen über mehrere phänologische Stadien von einzelnen Blättern zu Pflanzen die Samen ausbilden können. Der erste Teil dieser Entwicklung, das ist die vegetative Phase, ist von einem reinen Massenwachstum geprägt. Die Pflanzen entwickeln hier Biomasse und schieben die Strukturen nach oben. Das Ziel ist die Ausbildung einer möglichst großen Blattfläche für die Photosynthese und die Stabilisierung der Pflanze. Ist die Pflanze ausgewachsen, hat sie immer einen hohen Anteil an Gerüstsubstanzen. Sie ist dann sehr stabil, hat aber keinen sehr hohen Nährwert mehr. Die generative Reife erreichen nur

Pflanzen die nicht abgeweidet werden. Auf der Alm ist dies im Gegensatz zum Wirtschaftsgrünland noch oft möglich.

Nun verbleibt also nur noch eine Klärung der Dynamik die sich entlang der phänologischen Stadien von Wiesenfutter in einem Intervall von rund 3 Wochen ergibt. Wir haben am Beginn der Beobachtungsperiode, rund 10 Tage vor der geplanten Ernte eine erste Beprobung der Fläche vorgenommen und diese als Vorprobe (VP) bezeichnet. 10 Tage nach der Ernte der Hauptprobe (HP) haben wir den Teil III der Versuchsanlage als Nachprobe (NP) geerntet. Wir haben also die Möglichkeiten für den Ertrag, die Futtermittelinhaltsstoffe und den Futterwert eine funktionale Beziehung zu erstellen und diese im Anschluss auch nach der Methode des statistischen Modells 3.5.2 auszuwerten. Die Ergebnisse dieser Analyse können im Anhang unter 7.8 nachgelesen werden.

Kurz zusammengefasst kann Folgendes gesagt werden: Nur bei ganz wenigen Parametern zeigt einer der fixen Effekte eine signifikante Wirkung im Modell. Diese sind in der Ergebnistabelle auch fett markiert. Ein sehr stimmiges Beispiel betrifft den Ertrag auf den Höhenstufen. Auf 1.100 bzw. 1.300 Meter Seehöhe beträgt der Ertragszuwachs in der Beobachtungszeit 35,6 kg TM/ha/Tag bzw. 35,1 kg TM/ha/Tag. Danach fällt der Zuwachs auf 1.500 Meter Seehöhe auf 23,2 kg TM/ha/Tag und dann auf 1.700 Meter Seehöhe auf 15,0 kg TM/ha/Tag (siehe *Abbildung 21*). Weil wir dem Proteingehalt und den Gerüstsubstanzen in dieser Arbeit eine größere Bedeutung einräumen, sollen diese, obwohl in der Höhenlage nicht signifikant unterschiedlich, besprochen werden. Es zeigt sich, dass wie zu erwarten ist, der Rohproteingehalt im Beobachtungsfenster mit jedem Tag abnimmt. Diese Abnahme verliert ihre Kraft über die Höhenstufen aber deutlich und geht von -1,25 g/kg TM/Tag auf 1.100 Meter auf -0,70 g/kg TM/Tag auf 1.700 Meter zurück. Dafür nimmt aber die Bildung von Hemizellulose mit der Höhe an Fahrt auf und steigt von 0,31 g/kg TM/Tag in 1.100 Meter Seehöhe auf 0,73 g/kg TM/Tag auf 1.700 Meter Seehöhe. Die Dynamik der Zellulosebildung wird von

Abbildung 21: Dynamik der Ertrags- und Nährstoffveränderung der Höhenlage



der Höhe nicht beeinflusst. Es bleibt noch zu erwähnen, dass die Darstellungen der Entwicklungsdynamik während der physiologischen Reife nicht konstant sind. Das bedeutet, dass die Entwicklungsgradienten pro Tag sehr stark vom aktuellen phänologischen Stadium abhängig sind, wobei die Wirkung mit zunehmender Reife mehr und mehr abnimmt. Eine verspätete Ernte wirkt sich unterproportional auf den Entwicklungsgradienten von Ertrag und Futterqualität aus.

Aus der Sicht der Physiologie der Pflanzenzelle geschieht Folgendes: Die Zellwand wird aus einem Netz von Zellulose-Strängen (Fibrillen) gebildet. Die Hemicellulosen stabilisieren dieses Netz und geben der Struktur mehr Festigkeit. Dazwischen und innerhalb der Zelle finden wir Rohprotein. Die Pflanzen der Almweiden investieren mit zunehmender Höhe pro Tag mehr in die Festigkeit ihres Gewebes als in das Massenwachstum. Dieser Prozess der Alterung läuft mit zunehmender Höhe auch langsamer ab, weshalb der Proteingehalt auch langsamer sinkt.

Für die allermeisten Parameter müssen wir aber mit den Durchschnittswerten im Modell auskommen. Almweiden legen demnach pro Tag um 1 g/kg TM an Rohfaser zu während der Proteingehalt um 1 g/kg TM abnimmt. Diese 1 g/kg TM gilt auch für die noch gut verdauliche Zellulose während das sehr schlecht verdauliche Lignin nur um 0,24 g/kg TM zunimmt. Der Rohfettgehalt und der Rohaschegehalt nehmen marginal ab, die Mineralstoffe schwanken je nach Parameter. Für den Energiegehalt konnten in der zweiten Periode von 2016-2019 keine weitreichenden *in vitro* Untersuchungen gemacht werden. Wir können hier im beschreibenden Text aber die Ergebnisse aus der ersten Periode von 1993-1996 übernehmen. Damals ging der Energiegehalt an Umsetzbarer Energie (ME) pro Tag um 0,02 MJ ME/kg TM zurück.

Mit jedem Tag, den eine Almweide nach dem optimalen Stadium (*Ähren-Rispen-Schieben* bis *Beginn Blüte*) geerntet wird, nimmt die Zellulose und der Rohfasergehalt um 1 g/kg TM zu und der Rohproteingehalt um 1 g/kg TM ab. Zudem steigt der Ligningehalt überproportional an und der Futterwert sinkt rasch. Allerdings gibt es auch einen Ertragszuwachs. Diese beträgt im Schnitt 27 kg TM/ha/Tag.

4.2.5 Bestimmung der Zeitverschiebung für einen angepassten Almauftrieb

Alle bisherigen Ergebnisse zeigen uns eindeutig, dass das Futter der Versuchsfelder in der Periode 2 bei einem fixierten Erntedatum in der Entwicklung weiter fortgeschritten war. Da der Almwirt in seiner Beweidungspraxis aber frei ist, braucht er diese Entwicklung grundsätzlich nicht zu fürchten, muss aber zeitlich früher auf die Almweiden und diesen zeitlichen Vorsprung auch über den ganzen Almsommer aufrechterhalten. Wir haben mit den vorliegenden Ergebnissen ausreichend Daten um die dafür notwendige Zeitspanne zu bestimmen. Wir können zwei Wege beschreiten:

- Der erste Weg führt über die Unterschiede der Parameter zwischen den Perioden (Anhang Kapitel 7.6) und der Entwicklungsgeschwindigkeit an den Standorten (Anhang Kapitel 7.8) zwischen Vorprobe, Hauptprobe und Nachprobe. Für die Bewertung der Zeitverschiebung nutzen wir die nebenstehende Formel. P1 und P2 beschreiben den jeweiligen Wert des Parameters in der Periode, D die Entwicklungsdynamik des Parameters pro Tag wie er sich aus der Dynamik des Aufwuchses ergibt.

$$\text{Zeitverschiebung}_{\text{Tage}} = \frac{P2 - P1}{D}$$

- In *Tabelle 15* ergeben sich für die strukturbildenden Nährstoffgruppen ein sehr stimmiges Bild mit einer Zeitverschiebung zwischen 13 und 16 Tagen. Der Ertrag verhält sich mit 8 Tagen nur halb so dynamisch. Wir dürfen also davon ausgehen, dass ein Massenwachstum stärker limitiert ist, als die den Pflanzengemeinschaften eigene Entwicklung in den phänologischen Stadien.
- Der zweite Weg führt über die Wirkung von ΔT und ΔN (Anhang Kapitel 7.7) auf den Futterertrag und die Nährstoffe. Der Periodenunterschied wird hier über die klimatische Gesamtentwicklung aus *Tabelle 14* berücksichtigt. Wir haben diese Berechnung schon in *Tabelle 13* eingefügt und haben dort für Rohprotein und Zellulose eine hohe Übereinstimmung gefunden. Eine Schätzung der zukünftigen Entwicklung auf der Basis der ÖKS15-Prognosen für die Zeitspanne von 2071-2100 kann, zumindest um ein Bild über die zeitliche Verschiebung zu erhalten, nun auch über diese Werte geführt werden. *Tabelle 16* zeigt die Ergebnisse für das meteorologische Frühjahr (Monate März, April, Mai) und weicht damit etwas von der bisherigen Methode ab den letzten Monat vor der Ernte besonders zu würdigen. Außerdem wurde ΔN gar nicht berücksichtigt, weil ÖKS15 hier keine eindeutigen Werte beschreibt. Trotzdem ergibt sich mit einer Zeitverschiebung von 16,3 bzw. 19,6 Tagen für die Nährstoffe Rohprotein und Zellulose ein Wert der Nahe bei der ersten Methode (13,5 bzw. 14,7 Tage) liegt. Der zweite Ansatz ist damit

Tabelle 15: Zeitverschiebung der beiden Versuchsperioden in Tagen

Parameter	Nährstoffgehalt		Entwicklungs- dynamik pro Tag D	Differenz der Periode	Zeitdifferenz in Tagen	
	Periode 1	Periode 2				
	P1	P2				
Ertrag an Trockenmasse						
1. Aufwuchs	kg TM/ha	1.564	1.779	27,20	215	7,91
Rohnährstoffe						
Rohprotein	XP g/kg TM	134	121	-0,98	-13	13,50
Rohfaser	XF g/kg TM	261	273	0,98	13	12,87
N-freie Extraktstoffe	XX g/kg TM	511	514	0,23	3	14,57
Lösliche Kohlenhydrate	NFC g/kg TM	241	231	-0,61	-10	16,42
Gerüstsubstanzen						
Faserkohlenhydrate	NDF g/kg TM	532	555	1,74	23	13,44
Zellulose	CEL g/kg TM	252	268	1,08	16	14,74

Tabelle 16: Zeitverschiebung mit Klimadaten unter Berücksichtigung von Zukunftsprognosen für die Monate März, April, Mai

Model			ALM20	ÖKS15		Gesamtwirkung	
Szenarien				Klima- schutz	BAU	Klima- schutz	BAU
Zeitraum			1990-2019	2071-2100		1990-2100	
Klimadaten							
	Basistemperatur	°C	13,3				
Temperaturdaten	Veränderung	°C	2,4	2,1	3,7	4,5	6,1
	ΔT	%	17,8	15,8	27,9	33,6	45,7
Klimawirkung auf die Nährstoffe							
Wirkung von 1 % ΔT	Rohprotein	g/kg TM	-0,89				
	Zellulose	g/kg TM	1,19				
Gesamtwirkung von ΔT	Rohprotein	g/kg TM	-15,9	-14,1	-24,9	-30,0	-40,8
	Zellulose	g/kg TM	21,3	18,9	33,2	40,1	54,5
Zeitverschiebung							
Entwicklungsdynamik pro Tag	Rohprotein	g/kg TM	-0,98				
	Zellulose	g/kg TM	1,08				
Gesamtwirkung von ΔT	Rohprotein	Tage	16,3	14,5	25,5	30,8	41,8
	Zellulose	Tage	19,6	17,4	30,7	37,0	50,3

plausibel und die statistischen Modelle 3.5.2 und 3.5.3 führen zu ähnlichen Ergebnissen. Der Periodenunterschied des Rohprotein- und Zellulosegehalts konnte auf die Klimadaten übertragen werden. Mit dieser Erkenntnis darf nun auch eine Aussage zur zeitlichen Verschiebung der Vegetation für die ÖKS15-Szenarien durchgeführt werden. Von heute aus gerechnet wird sich im Klimaschutzszenario die phänologische Dynamik noch einmal um 14-17 Tage nach vorne verschieben. Im BAU-Szenario werden es sogar 25-30 Tage sein. Der oft traditionelle Termin für den Almauftrieb in einem normalen Frühjahr ist demnach schon heute von Anfang Juni nach Mitte Mai zu verschieben. Folgt man den Ergebnissen aus *Tabelle 16* kann in fernerer Zukunft der Almauftrieb unter Umständen bereits Anfang Mai erfolgen. Empirisch wird man hier aber eine ähnliche Situation wie heute im Obstbau vorfinden. In manchen Jahren kann es gut funktionieren, in anderen nicht und man muss nach Kälteeinbrüchen wieder abtreiben.

Sowohl über die Entwicklungsdynamik von Nährstoffen als auch über klimatische Veränderungswerte (ΔT und ΔN) lassen sich die Nährstoffe des Weidefutters in eine Information zur zeitlichen Verschiebung der phänologischen Phase an den festen Erntetermin bestimmen. Seit der ersten Periode im Jahr 1993-1996 ergibt sich je nach Ansatz eine zeitliche Verschiebung zwischen 13 und 20 Tagen. Wenn wir ab jetzt in die Zukunft blicken, dann kann sich eine zusätzliche Verschiebung von weiteren 15-30 Tagen ergeben. Die Konsequenz ist ganz eindeutig: Der Auftriebstermin ist in Zukunft sicher um mehrere Wochen nach vorne zu verlegen.

4.2.6 Veränderungen im Pflanzenbestand

4.2.6.1 Analyse der Vegetationsaufnahmen

Analyse der Vegetationsentwicklung in Abhängigkeit von Periode und Standortsfaktoren

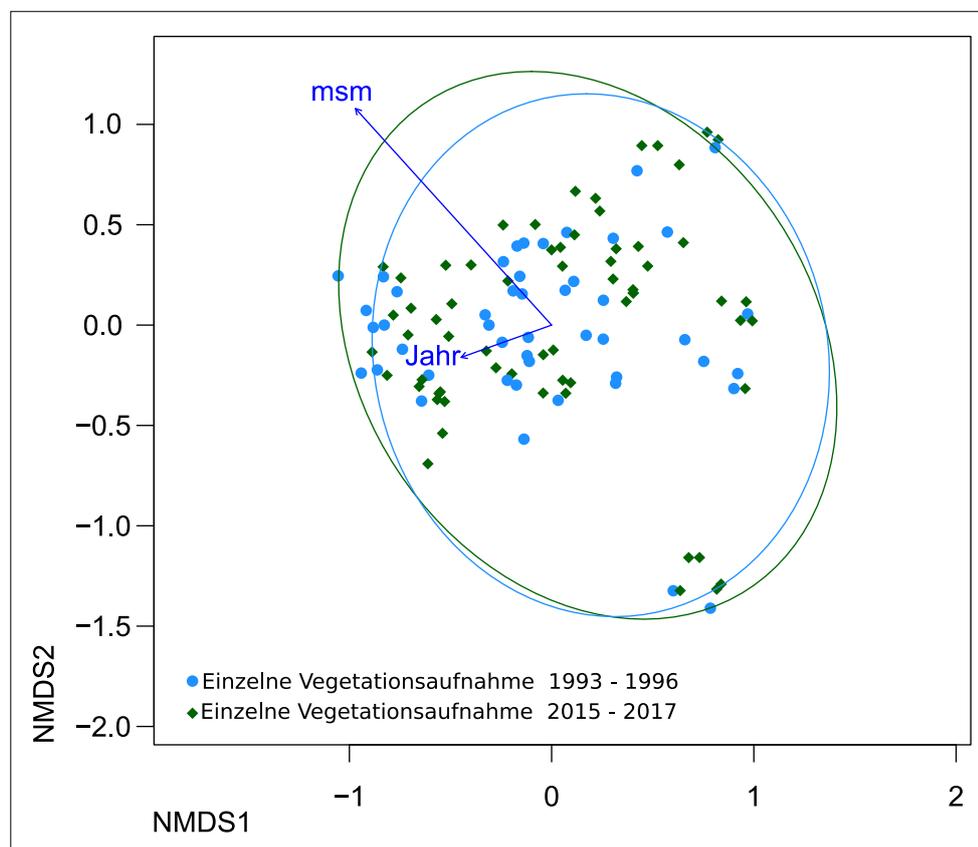


Abbildung 22: Ordination der Vegetationsaufnahmen aus beiden Perioden mittels NMDS. Es zeigen sich keine Unterschiede auf Bestandesebene zwischen den beiden Perioden. (Kennzahlen zur Analyse: Stress 0,17; 20 Durchläufe, Distanzmaß Bray-Curtis, lineares R^2 88 %)

Bei der gemeinsamen Analyse der Vegetationsaufnahmen aus beiden Perioden zeigen sich bei der Ordination keine Unterschiede (siehe *Abbildung 22*). In den Daten lässt sich ein Gradient entlang der Seehöhe (msm) darstellen. Das bedeutet, die Flächen ändern sich in Abhängigkeit von der Seehöhe, was den Erwartungen entspricht. Die Seehöhe besitzt jedoch nur einen geringen Erklärungswert von rund 8 %, jedoch mit einer statistischen Signifikanz von $p=0,015$. Das Jahr der Vegetationsaufnahme ist als Gradient darstellbar, hat aber keinen Einfluss auf die botanische Zusammensetzung der erhobenen Bestände und keine statistische Signifikanz, was auch durch die Länge der Pfeile symbolisiert wird. Dieses Ergebnis, wie es sich aus der Grafik entnehmen lässt, untermauert auch die Feststellung, dass die Flächen eine sehr hohe Varianz aufweisen und daher angenommen werden kann, dass viele unterschiedliche Faktoren hier wirksam werden. Für die Pflanzenbestände der Flächen bedeutet dies, dass innerhalb des Beobachtungszeitraumes von 1993 bis 2017 (Jahr der letzten Vegetationsaufnahmen) kein Umweltfaktor stark genug war, über botanische Erhebungen nachweisbare Änderungen in der Artenzusammensetzung und Verschiebungen in den Beständen insgesamt auszulösen. Gäbe es Unterschiede in der Vegeta-

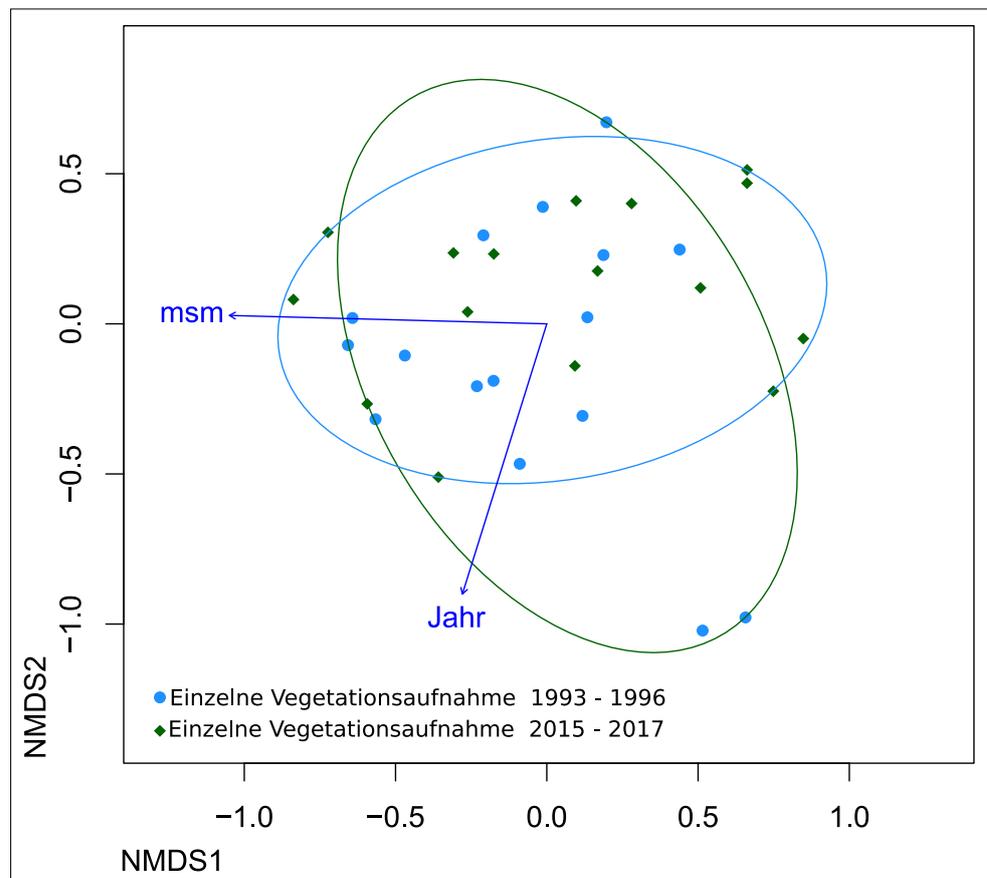
tion zwischen den beiden Perioden, wären Gruppierungen (Cluster) erkennbar. Interessant ist auch die Gruppe von Aufnahmen am nächsten der x-Achse, es handelt sich hier um die Fläche 12 (Kalk, Süd, 1.700), die mit Abstand artenreichste Fläche des Transektes in beiden Perioden.

Die durchgeführte PERMANOVA bestätigt dieses Bild. Bei dieser Analyse zeigten sich schwache, aber statistische signifikante Wechselwirkungen zwischen der Periode, dem geologischen Untergrund und dem Jahr der Aufnahme, was bedeutet, dass es möglicherweise Trends über den zeitlichen Verlauf gesehen gibt, dass sich Flächen in Abhängigkeit vom geologischen Untergrund unterschiedlich zu entwickeln beginnen. Bedingt durch den geringen R^2 -Wert von 3 % und der bereits erwähnten im Verhältnis kleinen Stichprobengröße ist dieses Ergebnis jedoch nicht belastbar. Da es ebenfalls, wenn auch ebenfalls sehr schwach ausgeprägt, weiters auch Wechselwirkungen mit der Exposition gibt, könnte hier ein Zusammenhang mit der Temperaturentwicklung bestehen.

Im vorhergehenden Abschnitt stand die Entwicklung im zeitlichen Verlauf im Vordergrund, nachfolgend wird der Zustand zu Beginn der Beobachtungen innerhalb der ersten Periode (1993) direkt mit dem Ende der zweiten Periode (2017) verglichen. Dies verringert die Varianz, beschränkt aber die Aussagen auf die Unterschiede zwischen diesen Jahren und blendet die Verhältnisse dazwischen aus. Die Ergebnisse der Ordination bestätigen das Bild der ersten Auswertung,

Unterschiede in der Vegetation zwischen 1993 und 2017

Abbildung 23: Ordination der Vegetationsaufnahmen aus 1993 und 2017 mittels NMDS. Es zeigen sich keine Unterschiede auf Bestandesebene zwischen den beiden Perioden. (Kennzahlen zur Analyse: Stress 0,19; 30 Durchläufe, Distanzmaß Bray-Curtis, lineares R^2 83 %)



mit einem Unterschied: Hier taucht bei der Analyse der prägenden Gradienten (Korrelation) die Exposition mit einem Erklärungswert von 16 % und $p=0,01$ auf. Der statistische Test mit Hilfe der PERMANOVA (multivariate Varianzanalyse) bestätigt dies (R^2 8 % für die Exposition, $p=0,003$).

Da in der statistischen Analyse mit Hilfe der Ordination keine Unterschiede festgestellt werden konnten, wurden die detaillierten pflanzensoziologischen Analysen mit den neu erhobenen Daten nicht wiederholt. Die von Sobotik et al. (1998) getroffene Charakteristik der Vegetation besitzt noch ihre Gültigkeit.

Die hier präsentierten statistischen Analysen zeigen, dass auf Gemeinschaftsebene noch keine signifikanten Änderungen erkennbar sind. Statistisch gesehen, können unter Umständen Trends für (zukünftige) Änderungen sich abzeichnen, jedoch kann hier dies nicht bewiesen werden und es ist eigentlich noch Spekulation: Erstens kann nicht gesagt werden, ob es sich hier um systematische Effekte handelt, oder ob hier eine ungerichtete Dynamik, die jeder natürliche oder naturnahe Bestand aufweist, ebenso dahinterstecken könnte. Die langjährige, durchgehende Nutzung als Weide wirkt stabilisierend auf die Artenzusammensetzung, da die dafür notwendigen Anpassungen der Pflanzen an Verbiss, Tritt und Nährstoffregime durch die dafür notwendige Spezialisierung unmittelbar notwendig sind um sich im Bestand halten zu können. Die menschliche Nutzung ist somit der (noch) entscheidende Standortfaktor.

Der Beobachtungszeitraum der vegetationsökologischen Untersuchungen (1993-2017) umfasst zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit auch bereits einige wenige Generationen bei unterschiedlichen Arten, andere werden aber mit hoher Wahrscheinlichkeit noch dieselben genetischen Individuen sein wie zu Beginn des Almprojektes, auch wenn die oberirdischen Teile jedes Jahr neu austreiben – die Wurzeln fungieren hier als Überdauerungsorgane. Damit sind Änderungen in der Artzusammensetzung ebenfalls zumindest gebremst.

Organismen können grundsätzlich auf drei Arten auf Änderungen der Umweltbedingungen bzw. dadurch verursachten Stress reagieren: (1) Anpassen und Ausharren unter den geänderten Bedingungen, (2) Migration in Gebiete mit besser passenden Bedingungen im Sinne einer Stress-Vermeidung (Avoidanz) oder (3) aussterben. Der erstgenannte Punkt geht mit Anpassungen im Stoffwechsel einher und ist primär auf Gemeinschaftsebene nicht unmittelbar sichtbar, im Gegensatz zu den beiden anderen Punkten, die sich unmittelbar auf das Artenspektrum der Gemeinschaft auswirken, je nach räumlichen Betrachtungsmaßstab (Standort – lokal – regional). Für uns hier interessant sind die Strategien, die ein Ausharren am Standort ermöglichen, da Pflanzen im Gegensatz zu Tieren wenig mobil sind. Auch hier gibt es drei Möglichkeiten, die sich teilweise ergänzen bzw. ineinander übergehen können: (a) ökologische Toleranz einzelner Arten, also die Möglichkeiten von Arten eine bestimmte Schwankungsbreite eines Umweltfaktors zu ertragen, (b) langsam verlaufende genetische Anpassungen der jeweiligen Population, oder (c) dass durch externe Prozesse (z. B. im Boden) die Änderungen für bestimmte Pflanzengemeinschaften abgepuffert werden und so zumindest nicht voll zum Tragen kommen. Als erstes werden die Teile einer Population besser mit den geänderten Bedingungen zu Rande kommen, die die höchste (genetische) Diversität aufweisen und damit verbunden wahrscheinlich

auch die höchste ökologische Toleranz besitzen. Eine höhere genetische Diversität erhöht ebenso die Möglichkeit, dass genetische Anpassungen im Sinne einer Selektion erfolgen können.

Zu den Anpassungen im Stoffwechsel zählen auch die in den anderen Kapiteln festgestellten Änderungen der Pflanzeninhaltsstoffe, hier besonders die Gerüstsubstanzen, da diese als Stressindikatoren gesehen werden können (Deléglise et al. 2015, Meiser et al., 2019). Die vorgefundenen Arten besitzen auf jeden Fall die Anpassungsfähigkeit, um mit von Jahr zu Jahr sich in einem bestimmten Rahmen ändernden Bedingungen durch Anpassungen im Stoffwechsel fertig zu werden.

Die in der Literatur genannten Änderungen in der Vegetation in Berggebieten entstehen durch Wanderbewegungen entlang des Höhengradienten (u.a. Grabherr et al., 1994; Gottfried et al., 2012). Im vorliegenden Fall, durch die durchgehende Nutzung als Weide und der im Vergleich zu den genannten Arbeiten geringen Seehöhe, ist die überwiegende Zahl an Arten schon bisher entlang des gesamten Höhengradienten vorhanden. Elsen and Tingley (2015) stellten jedoch bei Arealverschiebungen Unterschiede fest, je nach ursprünglicher Herkunft der wandernden Arten und je nach Gebirge. Arten der tieferen Lagen im Alpengebiet, die in mittlere Lagen wandern, haben auch, bedingt durch Unterschiede in der Morphologie, Chancen auf ein vergrößertes Areal. Elsen and Tingley (2015) schlussfolgern, dass für endgültige Aussagen das jeweilige Gebiet bzw. Gebirge mit seiner charakteristischen Topographie jedenfalls zu berücksichtigen ist. Daraus lässt sich jedoch auch schließen, dass der Konkurrenzdruck für Arten der mittleren Lagen (montane Stufe) höher sein wird als für andere. Dies bedeutet, dass zukünftige Änderungen nicht ausgeschlossen werden können.

Die Untersuchung der Pflanzenbestände der Flächen zeigt, dass innerhalb des Beobachtungszeitraumes von 1993 bis 2017 (Jahr der letzten Vegetationsaufnahmen) kein Umweltfaktor stark genug war, um Artenzusammensetzung bzw. Verschiebungen in den Beständen auszulösen.

4.2.6.2 Phänologische Entwicklung der Versuchsflächen in der Periode 2

Die Ausrichtung des Erntezeitpunktes während Periode 1 erfolgte anhand des phänologischen Entwicklungszustandes der dominanten Gräser auf der jeweiligen Fläche, ausgerichtet auf die Weidereife von Almfutter, was in etwa mit dem Ende des Ähren-/Rispschiebens gleichgesetzt werden kann. In Periode 2 wurden darauf aufbauend fixe Erntetermine festgelegt, um den Einfluss der Witterung über die Jahre bestimmen zu können. Diese zeichnen sich in den in Periode 2 festgestellten phänologischen Stadien zu den jeweiligen Erntezeitpunkten deutlich ab (siehe *Tabelle 17*).

Von jeder Probenart (Vor-, Haupt- und Nachprobe) gibt es pro Jahr 16 Proben, im Jahr insgesamt 48 (16 x 3). Die theoretische Grundannahme war, dass die Vorprobe ungefähr mit dem Zustand des Ähren-/Rispschiebens, die Hauptprobe mit dem Beginn Blüte und die Nachprobe mit der Blüte oder Ende Blüte

korreliert. Dies bedeutet, aufsummierte Werte über 16 aus *Tabelle 17* zeigen eine Verschiebung zugunsten des jeweiligen Stadiums an.

Im Jahr 2016 wurden 21 Proben (43,8% der Gesamtproben im Jahr) im Zustand „Beginn Blüte“ genommen, davon 8 bei zum Zeitpunkt der Hauptprobe. Dieses phänologische Stadium repräsentiert somit die relative Mehrheit der Proben. Im Jahr 2017 verschiebt sich dieser zum Stadium „Blüte“: 22 Proben in diesem Jahr wurden diesem Stadium zugerechnet, davon 10 bei der Hauptprobe. Es gab aber auch eine deutliche Differenzierung im Transekt, es befanden sich 2017 nur 2 Flächen im Zustand „Beginn Blüte“ bei der Hauptprobe, im Jahr 2016 waren umgekehrt bereits 5 Proben zusätzlich zu den 8 mit „Beginn Blüte“ im Zustand „Blüte“, die Verteilung war also etwas ausgeglichener. Es kann also die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Vegetationsentwicklung im Jahr 2017 schneller als im Jahr 2016 ablief.

Das Jahr 2018 war dafür etwas ausgeglichener, jedoch ebenfalls mit einer Tendenz zu einer beschleunigten Entwicklung im Vergleich: Bei der Hauptprobe wurden hier ebenfalls 10 Proben im Zustand „Blüte“ geerntet, jedoch die Zahl der Stadien der Reife und Rückentwicklung (Verblüht, Samenreife, Seneszenz) bei der Nachprobe betrug im Jahr 2018 insgesamt 12 Proben, im Jahr 2016 4, 2017 6 Proben. Aus dieser zusammenfassenden Aufstellung lässt sich damit eine bereits beschleunigte Vegetationsentwicklung gegenüber der Periode 1 ableiten.

Tabelle 17: Phänologische Stadien zu den jeweiligen Erntezeitpunkten

Jahr		Ähren/ Rispen- schieben	Beginn Blüte	Blüte	Ende Blüte	Ver- blüht	Samen- reife	Seneszenz
2016	Vorprobe	3	11	2				
2017	Vorprobe	3	6	7				
2018	Vorprobe	5	8	3				
2016	Hauptprobe		8	5	3			
2017	Hauptprobe		2	10	1	3		
2018	Hauptprobe	1	2	10	1		2	
2016	Nachprobe		2	6	4	3	1	
2017	Nachprobe			5	5	2	4	
2018	Nachprobe			1	3	6	5	1
Summe nach phänologischen Stadium								
2016		3	21	13	7	3	1	0
2017		3	8	22	6	5	4	0
2018		6	10	14	4	6	7	1

Die in der Periode 1 angepeilte Nutzung der Hauptprobe im Ähren-Rispen-Schieben wird in Periode 2 nicht mehr erreicht. Zum Nutzungszeitpunkt der Hauptprobe befinden sich die Versuchsflächen in aller Regel nun schon im Stadium der Blüte. Der frühere Vegetationsbeginn führt dazu, dass die Pflanzen zu einem festen Datum schon um mindestens eine phänologische Stufe weiterentwickelt sind.

4.3 Veränderungen in der Almbewirtschaftung und im Management

Die Versuchsflächen im Höhenprofil Johnsbach unterliegen nicht nur den Einflüssen am Standort, sondern werden auch durch die Hand der Almbäuerinnen und Almbauern verändert. Im Kapitel 2, Triebkräfte einer veränderten Almwirtschaft, beschreiben wir sowohl die Aspekte des Standortes selber als auch die der Managementwirkungen. Die Frage der Änderungen am Standort sind geklärt (Temperatur, Niederschlag, Pflanzenwachstum), das Ausmaß der Managementwirkungen klären wir jetzt. Diese Klärung hat keine Wirkung auf die Ergebnisse der Versuchspartellen. Diese werden ja systematisch geschützt und bewirtschaftet. Wir wollen aber prüfen, ob der Effekt der rückläufigen Größe der Rinderherde in Österreich auch auf den Almen zu finden ist und über die Konsequenzen nachdenken. Wenn wir Empfehlungen abgeben wollen, dann ist das dringend notwendig.

Methodisch wollen wir dafür zuerst die Entwicklung auf den Almen im Höhenprofil besprechen und dann ein über 4.200 km² großes Gebiet mit einer starken Nord-Süd-Ausprägung in der Region untersuchen. Was uns interessiert ist folgende Frage: In welchem Ausmaß verändert sich der Tierbesatz auf den Almen?

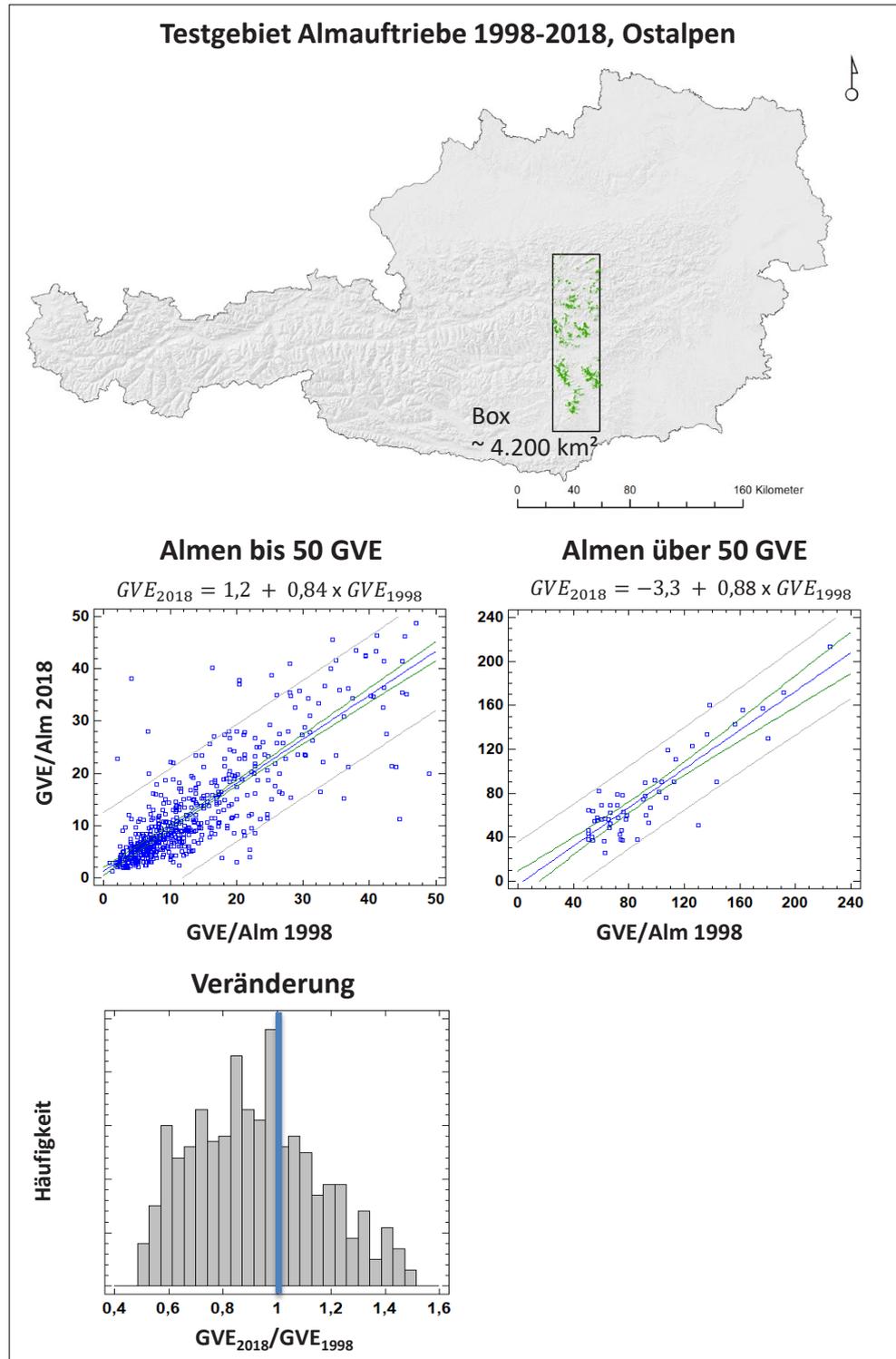
Im Höhenprofil Johnsbach betrifft die Veränderung zuerst einmal die Flächen auf 1.100 Meter Seehöhe. Diese liegen im Fall des Haberlehens, der Plodenau und der Kölblalm noch eindeutig im Dauersiedlungsraum und werden entweder als Mähwiese oder als Dauerweide bewirtschaftet. Das Haberlehen wurde in Periode 1 noch zweimal im Jahr vollständig gemäht, heute finden wir dort eine äußerst schlecht gepflegte Standweide, die mit einer geringen Anzahl an Tieren bestoßen und im Herbst gemulcht wird. Die Plodenau wird von der zugehörigen Hofstelle in beiden Perioden gleich genutzt, dies gilt auch für die Kölblalm. Die vierte Fläche auf 1.100 Meter Seehöhe, das Jägerhaus im Hartlsgraben, ist eine Fläche die in ihrer Bewirtschaftungsintensität von den Interessen der Jägerschaft abhängt. Im persönlichen Gespräch mit den Jägern konnten wir erfahren, dass die Fläche einige Jahre zur Werbung von Wildheu genutzt wurde. Sie lag aber auch brach und diente zuletzt auch als Pferdeweide. Da sich diese Flächen insgesamt noch nahe an den Hofstellen befinden, sind hier starke Managementeffekte zu finden. Ab einer Seehöhe von 1.300 Meter befinden wir uns überall am Rande oder schon im Almgebiet. Hier bestimmt vor allem die Auftriebszahl an Wiederkäuern und die (manuelle) Weidepflege den Managementeinfluss. Keines der Almgebiete wurde seit 1993

aufgelassen und die Obsorge der Besitzer oder Pächter ist klar zu sehen. Die Wege und Hütten sind intakt, die Zäune werden in der ortsüblichen Tradition jährlich errichtet und gepflegt. Das gilt auch für die Pflanzenbestände, wenn wohl die Zwergsträucher, Grünerlen und Latschen subjektiv zugenommen haben. Spuren vom Schwenden sind überall sichtbar. Auch die Lager bei den Almhütten haben sich kaum verändert. Was wir sicher beobachtet haben, und das bestätigen auch die Ergebnisse der Vegetationsdynamik, sind hohe Anteile an Weideresten, die immer mehr zunehmen, wenn wir uns vom Alzentrum entfernen. Die höhere Menge an Futter kann von der geringeren Zahl an Weide-GVE nicht mehr gefressen werden. Der Rückgang beträgt seit 1998 in Aigelsbrunn, auf der Grössinger Alm und der Kölblalm etwa 10 %. Auf der sehr großen Neuburgeralm sind die Auftriebszahlen um 20 % zurückgegangen, auf der Moseralm hat sich die Herde sogar halbiert. Vor allem die oberen Lagen der Aigelsbrunnalm als auch die große Neuburgeralm brauchen schon heute dringend einen geregelten Almwirtschaftsplan.

Blicken wir in die weite Nachbarschaft dieses Almgebiets (siehe *Abbildung 24* oben) und untersuchen wir eine zufällig positionierte Box mit einer Größe von über 4.200 km² können wir auf der Basis der INVEKOS-Daten (Tabelle L013) die Veränderung im Tierbestand besprechen. Wir haben die Almen über die INVEKOS-Tabelle im Mehrfachantrag (L037) mit der Schlagnutzung 990 selektiert. Sicherlich haben wir so nicht alle Almen bzw. Weiden erreicht, es ergibt sich aber eine ausreichend große Stichprobe um die Beziehung zwischen den Jahren 1998 und 2018 zu besprechen.

Dafür haben wir die Almen über den Gesamtbesatz auf Almen am Grenzwert von 50 GVE in zwei Bereiche geteilt. In *Abbildung 24*, Mitte, kann die Korrelation der Almauftriebsdaten aus dem Jahr 1998 mit den Daten von 2018 verglichen werden. In beiden Fällen ist der Tierbesatz systematisch zurückgegangen, wobei die Steigung der Geraden bei den kleineren Almen einen Wert von 0,84 und bei den größeren von 0,88 aufweist. Die Entwicklung ist also auf allen Almen ähnlich und der Tierbesatz nimmt innerhalb der untersuchten Box um 0,7 % pro Jahr ab. Die Streuung rund um die Gerade zeigt aber, dass es im Jahr 2018 auch eine große Anzahl von Almen gegeben hat die mehr Vieh weiden. *Abbildung 24*, unten, präsentiert abschließend ein Histogramm mit der Verteilung der Zu- bzw. Abnahmen im Tierbesatz. Liegt der Wert unter 1, hat der Tierbesatz abgenommen, darüber zu. Wir sehen hier eine große Streubreite von Entwicklungen. Wir finden auf der linken Seite Almen mit halbiertem Tierbesatz, auf der rechten Almen mit einer Zunahme von Tieren bis zu 1/3 des ursprünglichen Besatzes. Insgesamt bestätigt sich aber der Trend einer Abnahme des Tierbesatzes.

Abbildung 24: Veränderung der Almwirtschaft in der Testregion



Auf den Almen im Höhenprofil Johnsbach ist in den letzten 30 Jahren eine stetige Abnahme im Tierbesatz zu beobachten. Ob dieser marginal oder deutlich ausfällt, hängt von der direkten Entwicklung des Hofes der Auftriebsberechtigten ab. In einem großen Beobachtungsfenster von über 4.200 km² bestätigt sich dieser Zusammenhang. Die Auftriebszahlen nehmen im Schnitt pro Jahr um 0,7 % ab. Die Aussage wird von einer großen Breite an Wirkungen begleitet. Manche Almen haben in den letzten 20 Jahren den Tierbestand halbiert, andere haben deutlich zugelegt.

5 Zusammenfassung

Das vorliegende Projekt ALM20 wiederholt in vereinfachter Form zwischen 2016 und 2019 (Periode 2) ein Projekt, das die damalige BAL Gumpenstein zwischen 1993 und 1996 (Periode 1) durchgeführt hat. Während in der Periode 1 vor allem die Entwicklung eines Ertrags- und Qualitätsmodells für Almfutter im Vordergrund stand, interessiert uns in Periode 2 die Wirkung der klimatischen Veränderungen in den letzten 26 Jahren.

Auf 16 Versuchsflächen wurde im Höhenprofil Johnsbach ein Dauerversuch systematisch so angelegt, dass die Flächen gleichmäßig über zwei Grundgesteine (Kristallin, Kalk), über zwei Expositionen (Süd, Nord) und über vier Höhenstufen (1.100, 1.300, 1.500, 1.700) verteilt sind. Auf diesen Flächen wird der Futterertrag, der Nährstoffgehalt der Almweiden, die botanische Zusammensetzung und die phänologische Reife zu einem festen Erntetermin des 1. Aufwuchses (Hauptprobe) erfasst. Mit einem Abstand von je 10 Tagen vor bzw. nach diesem Termin werden die gleichen Parameter für eine Vor- bzw. Nachprobe erhoben. Somit kann nicht nur der systematische Ansatz des Modells, sondern auch seine Dynamik in einem 20tägigen Fenster bewertet werden.

Zur Bewertung der klimatischen Veränderungen in den letzten 30 Jahren wurden grundsätzlich Daten der ZAMG Klimastation Admont bzw. Hall bei Admont verwendet. Für die Prüfung der Akzeptanz dieser Referenzstation, diese liegt etwas außerhalb des Untersuchungsgebietes, konnten dankenswerterweise Informationen der Kooperationsplattform Johnsbach genutzt werden. Folgende Expertise aus der Untersuchung der Temperatur und Niederschlagsdaten wurde erarbeitet:

- In den für die Almwirtschaft besonders relevanten Monaten von April bis September wird es bei der Station Admont seit 1990 langsam, aber stetig immer wärmer. Diese Entwicklung, auch wenn sie durch das aktuelle Wetter von starken Schwankungen begleitet wird, hat dazu geführt, dass die Temperatur zwischen 1990 und 2019 in den untersuchten Monatsmittelwerten um 2,1 °C oder 13,8 % zugenommen hat.
- Für den Niederschlag kann diese Aussage nicht so eindeutig getroffen werden, da es eine starke Schwankung zwischen den Monaten gibt. Im Mittel aller untersuchter Monatsmittelwerte ergab sich ein Anstieg um +44 mm oder 13,3 %. Dieses Ergebnis ist stark vom feuchten Mai beeinflusst. Da der Juni und Juli, das ist die wichtige Vegetationszeit für höhergelegene Almflächen, eher trocken war, wurde für unsere Untersuchung eine Abnahme (ΔN) des Niederschlages von -6,8 % in der Vegetationsperiode ermittelt.
- Das gesamte Stationsnetz der Kooperationsplattform Johnsbach liegt nachweislich im Temperaturfeld der Station Admont. Wir können deshalb die relativen Veränderungssignale dieser langjährigen Messstation in statistischen Modellen als dynamische Größe nutzen. Das Niederschlagsfeld hat große Ähnlichkeit, ist aber wegen Starkregenereignissen mit großen Streuungen behaftet. Trotzdem verwenden wir auch die Signale der Station Admont. Es gilt: „Was wir in der langen Zeitreihe in Admont an Veränderungen erkennen, gilt auch für das Johnsbachtal!“.

- Entlang des Höhengradienten im Johnsbachtal nimmt die Temperatur mit $-0,62\text{ °C pro }100\text{ Meter Seehöhe ab}$. Der Niederschlag nimmt um $5\text{ mm}/100\text{ Meter Seehöhe zu}$. Das bedeutet, dass bei einer Erwärmung von $2,1\text{ °C}$ in den wichtigen Monaten der Vegetationsperiode ein rasanter Anstieg der Temperatur entlang des gesamten Höhengradienten erfolgt. Eine bestimmte Temperatur findet sich dann an einem bestimmten Tag um 340 Meter höher im Höhengradienten.
- Die Kontinuität von Temperatur und Niederschlag um ein langjähriges Mittel hat zwischen den beiden Perioden abgenommen. Wir finden zunehmend größere Abweichungen in beide Seiten der Referenzwerte. Es gibt also nicht nur ein sich veränderndes Klima, sondern auch mehr Stress in den einzelnen Jahren.

Die Wirkung der fixen Effekte auf den Ertrag und Futterwert von Almfutter im Höhenprofil Johnsbach aus dem Jahr 1993 bis 1996, diese wurden im Jahr 1998 beim 4. Alpenländischen Expertenforum der BAL Gumpenstein mit dem Titel „Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden“ vom 24. und 25. März 1998 publiziert, wurden unisono bestätigt. Im Tagungsband dieser Veranstaltung werden diese Effekte so ausführlich besprochen und mit Literatur belegt, dass eine vertiefte Diskussion hier nicht als sinnvoll erscheint. Wir wollen uns deshalb auch hier vor allem mit den Unterschieden zwischen den Perioden befassen:

- Wir stellen fest, dass es von Periode 1 zu Periode 2 zum gleichen Erntetermin zu einem Anstieg des Ertrages um $13,7\%$ gekommen ist. Damit verbunden sind aber eine Reduktion von leicht löslichen Rohnährstoffen und eine Verschiebung der Kohlenhydrate in Richtung der Zellwand bildenden, stabilen Fraktion. Die Vegetation in Periode 2 war an den festgelegten Ernteterminen phänologisch eindeutig weiter fortgeschritten.
- Die Pflanzengemeinschaften im Kalk bilden eine höhere Biodiversität mit feineren Pflanzen aus. Die hydrologischen Eigenschaften des Bodens wirken hier wohl als ein zusätzliches Limit und verhindern ein sehr üppiges Pflanzenwachstum. Diese Aussage ist von allgemeiner Natur und wurde in ALM20 nicht explizit geprüft.
- Mit zunehmender Höhe passen sich die Pflanzenbestände an die schwieriger werdenden Bedingungen an. Andere Arten und ein höherer Anteil an Strukturkohlenhydraten haben zur Folge, dass der Futterwert von $9,2\text{ MJ ME}$ auf $1.100\text{ Meter Seehöhe}$ auf $8,5\text{ MJ ME}$ auf $1.700\text{ Meter Seehöhe}$ abnimmt.
- Mit jedem Tag den eine Almweide nach dem optimalen Stadium (Ähren-Rispen-Schieben bis Beginn Blüte) geerntet wird, nimmt die Zellulose und der Rohfasergehalt um 1 g/kg TM zu und der Rohproteingehalt um 1 g/kg TM ab. Zudem steigt der Ligningehalt überproportional an und der Futterwert sinkt rasch. Allerdings gibt es auch einen Ertragszuwachs. Dieser beträgt im Schnitt 27 kg TM/ha/Tag .
- Wir haben erkannt, dass wir im statistischen Modell den fixen Effekt der Periode durch die relative Veränderung des Klimas (ΔT und ΔN) ersetzen können. Das bedeutet, dass wir damit das ursprüngliche Modell aus der Periode 1 an die langfristige Klimamessung angeschlossen haben. Wenn wir nun

Entwicklung der Versuchsflächen im Höhenprofil Johnsbach

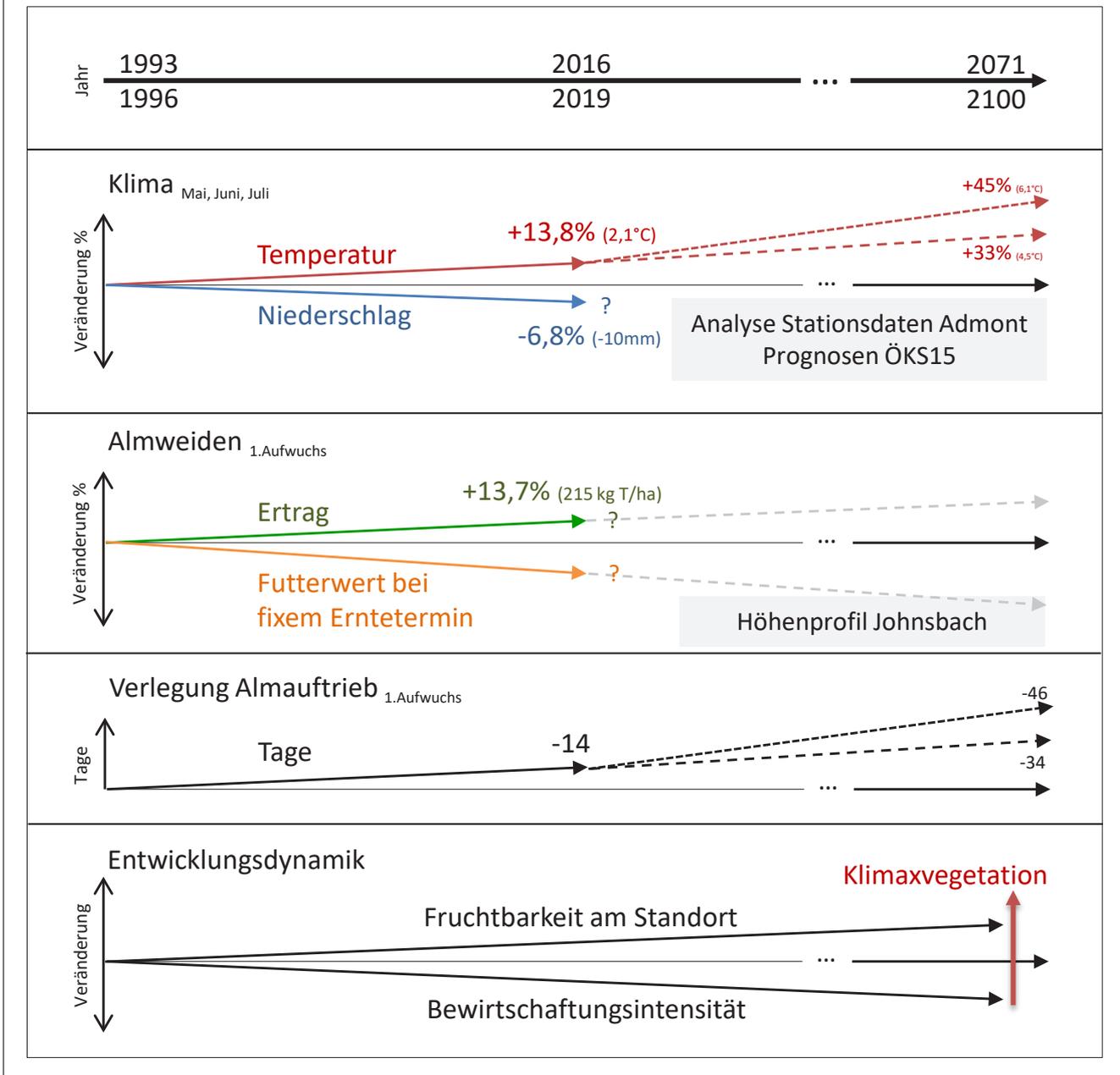


Abbildung 25:
Zusammenfassung

die Dynamik im Monat vor der Beweidung kennen, können wir schon vorab auch eine Prognose über Mehr- oder Mindererträge abgeben.

- Sowohl über die Entwicklungsdynamik von Nährstoffen als auch über klimatische Veränderungswerte (ΔT und ΔN) lassen sich die Nährstoffe des Weidefutters in eine Information zur zeitlichen Verschiebung der phänologischen Phase an den festen Erntetermin bestimmen. Seit der ersten Periode im Jahr 1993-1996 ergibt sich je nach Ansatz eine Vorverlegung zwischen 13 und 20 Tagen. Wenn wir ab jetzt in die Zukunft blicken, dann kann sich eine zusätzliche Vorverlegung von weiteren 15-30 Tagen ergeben. Die Konsequenz ist

ganz eindeutig: Der Auftriebstermin ist in Zukunft sicher um mehrere Wochen nach vorne zu verlegen. Gelingt dies nicht, muss in höheren Lagen mit der Beweidung begonnen werden.

- Aus der Sicht der Untersuchung der Pflanzenbestände der Flächen haben wir erkannt, dass innerhalb des Beobachtungszeitraumes von 1993 bis 2017 (Jahr der letzten Vegetationsaufnahmen) kein Umweltfaktor stark genug war, um Artenzusammensetzung bzw. Verschiebungen in den Beständen auszulösen. Zum Nutzungszeitpunkt der Hauptprobe befinden sich die Versuchsflächen allerdings in aller Regel nun schon im Stadium der Blüte. Der frühere Vegetationsbeginn führt dazu, dass die Pflanzen zu einem festen Datum schon um mindestens eine phänologische Stufe weiterentwickelt sind.

Der letzte Block der Zusammenfassung betrifft das Management von Almen im Hinblick auf den notwendigen Tierbesatz. Hier konnte folgende Erkenntnis gewonnen werden:

- Auf den Almen im Höhenprofil Johnsbach ist in den letzten 30 Jahren eine stetige Abnahme im Tierbesatz zu beobachten. Ob dieser marginal oder deutlich ausfällt, hängt von der direkten Entwicklung des Hofes der Auftriebsberechtigten ab. In einem großen Beobachtungsfenster von über 4.200 km² bestätigt sich dieser Zusammenhang. Die Auftriebszahlen nehmen im Schnitt pro Jahr um 0,7 % ab. Die Aussage wird von einer großen Breite an Wirkungen begleitet. Manche Almen haben in den letzten 20 Jahren den Tierbestand halbiert, andere haben deutlich zugelegt.

Abschließend können die einleitend gestellten Fragen, nun ganz allgemein, so beantwortet werden:

- Wie verändert sich die Almwirtschaft?
 - Weil in den Grenzertragslagen der Alpentäler und im Alpenvorland die Tierbesätze auf den Höfen zurückgehen oder diese ihre traditionelle Bewirtschaftungsform wegen der erreichten Betriebsgröße ändern, sinkt auch der Tierbesatz der Almen.
 - Das führt nicht nur dazu, dass das Almfutter nicht mehr vollständig abgeweidet wird, sondern rüttelt auch an der Wirtschaftlichkeit der Alm selber. Ab einer gewissen Herdengröße kann eine Behirtung nicht mehr wirtschaftlich dargestellt werden und die Alm wird vom Heimbetrieb versorgt. Das mag bei Niederalmen gut möglich sein, für viele Mittel- und Hochalmen ist es der erste Schritt zur Aufgabe der Alm.
 - Kompensatorisch zum akuten Zeitmangel für die Betreuung unbehirteter Almen werden gerade GPS-Halsbänder für den Praxiseinsatz auf Almen erprobt. Es mag sein, dass diese in einigen Jahren ausreichend mit Vitalfunktionen ausgestattet sind und tatsächlich eine Linderung des beschriebenen Problems möglich wird.
 - Weiter bleiben wird aber das immer gegenwärtige Risikopotential durch alpine Naturgefahren. Ein wärmeres Wetter bedeutet mehr Extremereignisse (Trockenheit und Starkniederschlag). Damit verbunden ist die Notwendigkeit einer permanenten geistigen Präsenz der Tierhalter um die Tiere rasch und effektiv zu schützen. Die Forschungsgruppe Almwirt-

schaft an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein entwickelt derzeit mit dem „Almwirtschaftlichen Notfallplan“ ein Werkzeug um solchen Gefahren mit Kompetenz zu begegnen. Wie sinnvoll das ist, hat sich im Katastrophenfall 2010 im Kleinsölktal gezeigt (Guggenberger, 2011). Dass diese Planung in Zukunft sowohl das Wirken großer Beutegreifer als auch die Konflikte zwischen Landwirtschaft und Tourismus mitberücksichtigen muss, versteht sich von selbst.

- Hat sich das Klima im Untersuchungsgebiet in den letzten 30 Jahren geändert?
 - Ja, und zwar so eindeutig, dass es sowohl an den Klimastationen gemessen, aber auch von jedermann empirisch beobachtet werden kann (Gletscher, erste Frühjahrsblüher, erste allergische Reaktionen auf Pollen usw.).
 - Im nordalpinen Bereich hat das, mit Ausnahme einer Vorverlegung des Almauftriebes, noch keine stark schädigende Wirkung. Täler, die im südlichen Lee des Hauptkammes der Alpen liegen oder die überhaupt schon dem mediterranen Klima zugeordnet werden können, werden sicherlich zunehmend trockener. Das gilt auch mit Almen die schon im Einfluss des pannonischen Klimas liegen. Folgt man den Prognosen der Klimaforschung, dann wird der Niederschlag im Frühjahr bzw. Frühsommer noch ausreichend verfügbar sein (Kromb-Kolb und Formayer, 2018). Im Hochsommer ist das nicht mehr sicher. Vielleicht treiben wir in solchen Lagen in ferner Zukunft schon im April/Mai auf und Anfang August wieder ab. Das ist in manchen Regionen in Norditalien schon lange üblich. In trockenen Lagen steigt der Wert von Almen auch deshalb an, weil sie im Verhältnis zu den Flächen in den Gunstlagen auch unter trockenen Bedingungen noch verhältnismäßig sicher im Ertrag sind. So wirken Almen den Ertragsdefiziten in den Gunstlagen entgegen.
 - Wir taxieren in dieser Arbeit eine Vorverlegung der Vegetation seit 1993 um 2 Wochen. Unter Annahme extremer Entwicklungen können gut noch 5 weitere Wochen dazukommen.
- Wie wirken verändertes Klima und Niederschlag auf den Ertrag und den Futterwert?
 - Folgt die Bewirtschaftung der Entwicklung der Vegetation wird es nur geringe Auswirkungen auf den Futterwert geben und eine ertragreiche Vegetation hat vorerst sogar einen positiven Effekt.
 - Wer nicht flexibel genug ist, weil das Auftriebsrecht fixiert ist oder weil die Kühe im Laktationsverlauf noch nicht früher trockengestellt werden können, der wird nur mehr sehr altes Futter vorfinden.
- Hat sich die Pflanzenzusammensetzung geändert?
 - Das kann aus botanischer Sicht noch kaum beobachtet werden. Stärker zu beobachten sind aber die Verunkrautung bzw. die Sukzession von Almen in Folge der geringeren Nutzung bzw. schlechteren Pflege.
 - Die langsame Rückkehr der Wälder in die anthropogenen Rodungsinseln aber auch der Anstieg der Waldgrenze führt zu einem Verlust wichtiger Refugialgebiete für endemische, an kühlere Bedingungen angepasste

pflanzlichen und tierischen Arten (Grabherr et al., 2011, Stanisci et al., 2005).

- Die Zunahme von subalpinen Wald- und Straucharten wirkt sich negativ auf den Wasserhaushalt der Böden aus (Strasser et al., 2017). Die höhere Evapotranspiration von Wäldern senkt das Grundwasserpotenzial und damit die Ergiebigkeit lokaler, nutzbarer Wasserquellen.
- Welche Maßnahmen sind in der Almwirtschaft zukünftig notwendig?
 - Stärkung der bäuerlichen Strukturen in der österreichischen Berglandwirtschaft.
 - Hohe Flexibilität im Almauftrieb auf eignen Almen.
 - Flexibilisierung von termingebundenen Auftriebsterminen bei Servituten.
 - Erstellung und Umsetzung der „Almwirtschaftlichen Notfallplanung“.
 - Bauliche Maßnahme zur Wasserversorgung in Trockenlagen.

6 Literatur

Auer, I.; Böhm, R.; Jurkovic, A.; Lipa, W.; Orlik, A.; Potzmann, R.; Schöner, W.; Ungersböck, M.; Matulla, C.; Briffa, K.; Jones, P.; Efthymiadis, D.; Brunetti, M.; Nanni, T.; Maugeri, M.; Mercalli, L.; Mestre, O.; Moisselin, J.-M.; Begert, M. und Nieplova, E. (2007): HISTALP – historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region HISTALP. *International Journal of Climatology* 27, 17-46.

Bader, M.Y. und Ruijten, J.A. (2007): A topography-based model of forest cover at the alpine tree line in the tropical Andes. *Journal of Biogeography* 35, 711-723.

BAL Gumpenstein (1998): Zeitgemäße Almbewirtschaftung sowie Bewertung von Almflächen und Waldweiden. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, BAL Gumpenstein, 109 S.

BMLRT (2020): Unternehmensführung 2019, Ergebnisse aus den Arbeitskreisen Unternehmensführung und Sonderauswertung der buchführenden Betriebe für den Grünen Bericht, BMLRT, Wien, 42 S.

Buchgraber, K.; Pötsch, E.M.; Bohner, A.; Häusler, J.; Ringdorfer, F.; Pöllinger, A.; Resch, R.; Schaumberger, J. und Rathbauer, J. (2010): Bewirtschaftungsmaßnahmen des Grünlandes zur Erhaltung einer vielfältigen Kulturlandschaft mit hoher Biodiversität *Ländlicher Raum* 2010, 18.

Chytil, K. (1998): Beschreibung des Forschungsprojektes »Höhenprofil Johnsbach«. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 35-36.

Deutz, A.; Greßmann, G.; Guggenberger, T. und Blaschka, A. (2015): Zur Bedeutung des Klimawandels für Ernährung und Krankheiten alpiner Wildarten, *StartClim2014*, Universität für Bodenkultur, Department für Wasser –Atmosphäre –Umwelt, Wien, 51 S.

Eisenhut, M. und Eder, G. (1998): Bodenkundliche Charakterisierung der Standorte des Höhenprofils Johnsbach. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 45-50.

Grabherr, G.; Gottfried, M. und Pauli, H. (1994): Climate effects on mountain plants. *Nature* 369 (6480), 448-448.

Grabherr, G.; Gottfried, M. und Pauli, H. (2011): Global Change Effects on Alpine Plant Diversity. In Zachos und Habel (Eds.): *Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 149-163.

Greif, F. und Riemerth, A. (2006): Gesamtökonomische Bedeutung der Almen Österreichs, ALP-Austria - Programm zur Sicherung und Entwicklung der Kulturlandschaft, Klagenfurt.

Gruber, L. (2009): Chemische Zusammensetzung, Analytik und Bedeutung pflanzlicher Gerüstsubstanzen in der Ernährung der Wiederkäuer. *Übersichten Tierernährung* 37, 45-86.

Gruber, L.; Wielscher, F.; Schauer, A. und Urdl, M. (2008): Abbau der Trockenmasse von Wiesenfutter in situ in Abhängigkeit von Vegetationsstadium und Aufwuchs. ALVA-Jahrestagung 2008.

Gruber, L.; Guggenberger, T.; Steinwider, A.; Schauer, A.; Häusler, J.; Steinwender, R. und Sobotik, M. (1998): Ertrag und Futterqualität von Almfutter des Höhenprofils Johnsbach in Abhängigkeit von Standortfaktoren. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 63-93 S.

Grünwald, T. (2014): Das Klimastationsmessnetz im Johnsbachtal und eine erste Auswertung der Daten. Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, 136 S.

Guggenberger, T. (2008): Automatisierte Abschätzung des notwendigen Tierbesatzes zur Vermeidung klimabedingter Sukzession alpiner Weideflächen. Paris Lodron Universität, Zentrum für Geoinformatik - UNIGIS, Salzburg, 103 S.

Guggenberger, T. (2011): Fallstudie zur Anwendbarkeit und Vollständigkeit der „Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel“ am Beispiel der Katastrophe im steirischen Kleinsölketal vom Sommer 2010. HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 18 S.

Guggenberger, T. (2021): Magie der Landschaft. www.heimat-hd.at

Guggenberger, T.; Ringdorfer, F.; Blaschka, A.; Huber, R. und Haslgrüber, P. (2014): Praxishandbuch zur Wiederbelebung von Almen mit Schafen, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 150 S.

Guggenberger, T. (2020): Die Standortgerechte Landwirtschaft als Ausweg für die Rinderhaltung in Österreich. 1. Online Meeting Standortangepasste Rinderwirtschaft 2040 Online, Zentrale Arbeitsgemeinschaft österreichischer Rinderzüchter.

Hanselmayer (1955): Die steirischen Wetterbeobachtungs- bzw. Klimastationen und die Meßstellen des hydrographischen Dienstes nebst einer kurzen Übersicht über die Entstehung des Stationsnetzes. Mitteilungen des naturwissenschaftlichen Vereins für Steiermark 85, 88-96.

Hellebart, S. (2006): Almwirtschaft und Schutzfunktion, ALP-Austria, Umweltbüro Klagenfurt, Klagenfurt.

Hoch, G. und Körner, C. (2003): The carbon changing of pines at the climatic treeline: a global comparison. *Oecologia* 135, 10-21.

Holtermeier, F.-K. (1974): Geoökologische Beobachtungen und Studien an der subarktischen und alpinen Waldgrenze in vergleichender Sicht., Franz Steiner, Wiesbaden.

Holtermeier, F.-K. (2000): Die Höhengrenze der Gebirgswälder, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.

Huber, R. (2019): GPS-Halsbänder als innovatives Herdenschutz-Instrument in der Weidehaltung, Projektantrag Dafne 101394/1, Projektantrag Dafne HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal.

IPCC (2014): Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. , Geneva, Switzerland, 151 S.

Krimberger, K. (1998): Die klimatischen Bedingungen der Standorte des Höhenprofil Johnsbach. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 39-43.

Kromb-Kolb, H. und Formayer, H. (2018): Plus zwei Grad: Warum wir uns für die Rettung der Welt erwärmen sollten, Molden Verlag in Verlagsgruppe Styria, 208 S.

Nestroy, O. (1984): Wandel und Probleme der österreichischen Almwirtschaft. Schriften des Vereines zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse in Wien 122/123, 11-25.

Obermair, H. und Stamm, V. (2019): Alpine Ökonomie in Hoch-und Tieflagen — das Beispiel Tirol im Spätmittelalter und in Früher Neuzeit. In (Hg.) (Ed.): *Relire l'altitude : la terre et ses usages. Suisse et espaces avoisinants, XIIe-XXIe siècles*, Alphil-Presses universitaires suisses, 29-56.

ÖKS15 (2015): KLimaszenarien für Österreich, Endbericht, Climate Change Centre Austria Wien, 353 S.

Pötsch, E.M.; Bergler, F. und Buchgraber, K. (1998): Ertrag und Futterqualität von Alm- und Waldweiden als Grundlage für die Durchführung von Wald-Weide-Trennverfahren - Bewertungsmodelle. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 95-109.

Pötsch, E.M.; Herndl, M.; Schweiger, M.; Resch, R. und Adelwöhrer, M. (2019): Auswirkung zukünftiger Klimabedingungen auf Ertrag und Futterqualität im Grünland. 21. Alpenländisches Expertenforum am 26. und 27. März 2019, Irdning-Donnersbachtal, 49-54.

Resch, R.; Guggenberger, T.; Gruber, L.; Ringdorfer, F. und Buchgraber, K. (2006): Futterwerttabelle für das Grünfutter im Alpenraum, Österreichische Arbeitsgruppe für Grünland und Viehwirtschaft (ÖAG), Irdning-Donnersbachtal.

Resch, R. (2016): Einfluss des Vegetationsstadiums von Grundfutter auf den Gehalt an Strukturkohlenhydraten. 43. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2016, Irdning-Donnersbachtal, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 11-19.

Sakai, A. und Larcher, W. (1987): Frost survival of plants. Response and adaption to freezing stress. *The Quarterly Review of Biology* 63 (1), 94.

Schaumberger, A. (2020): Abschlussbericht CLIWA-STMK: Einfluss von Klimaveränderungen auf die Wasserverfügbarkeit in der steirischen Landwirtschaft, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 32 S.

Schechtner, G. (1978): Produktionstechnische Voraussetzungen für Bergbauern. *Der Alm und Bergbauer* 28, 56-70 und 121-137.

Sobotik, M.; Poppelbaum, C. und Gruber, L. (1998): Die Pflanzenbestände der Versuchsflächen des Höhenprofils Johnsbach. 4. Alpenländisches Expertenforum am 24. und 25. März 1998, Irdning, 51-61.

Spatz, G.; Weis, B. und Dolar, D.M. (1978): Der Einfluß von Bewirtschaftungsänderungen auf die Vegetation von Almen im Gasteiner Tal. *Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Hochgebirgsprogramms Hohe Tauern* 2, 163-180.

Stanisci, A.; Pelino, G. und Blasi, C. (2005): Vascular plant diversity and climate change in the alpine belt of the central Apennines (Italy). *Biodiversity & Conservation* 14 (6), 1301-1318.

Strasser, U.; Schermer, M.; Formayer, H.; Förster, K.; Meißl, G.; Marke, T.; Mair, E.; Stotten, R.; Steinbacher, M. und Nadeem, I. (2017): Storylines of Socio-Economic and Climatic drivers for Land use and their hydrological impacts in Alpine Catchments, Austrian Climate Research Program 6 (Project B368582, Endbericht), Klima- und Energiefonds, Wien, 36 S.

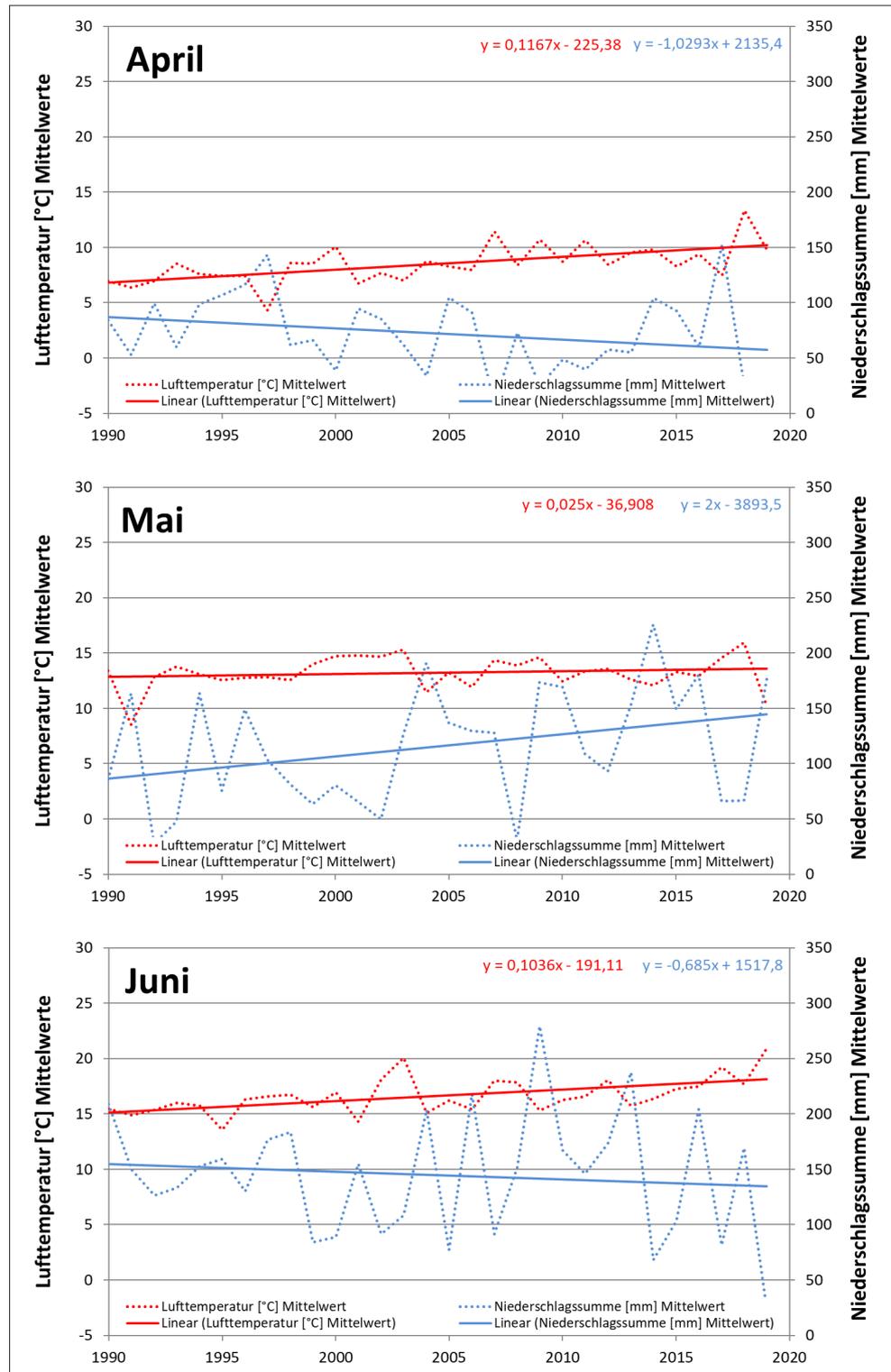
VDLUFA (2012): Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.

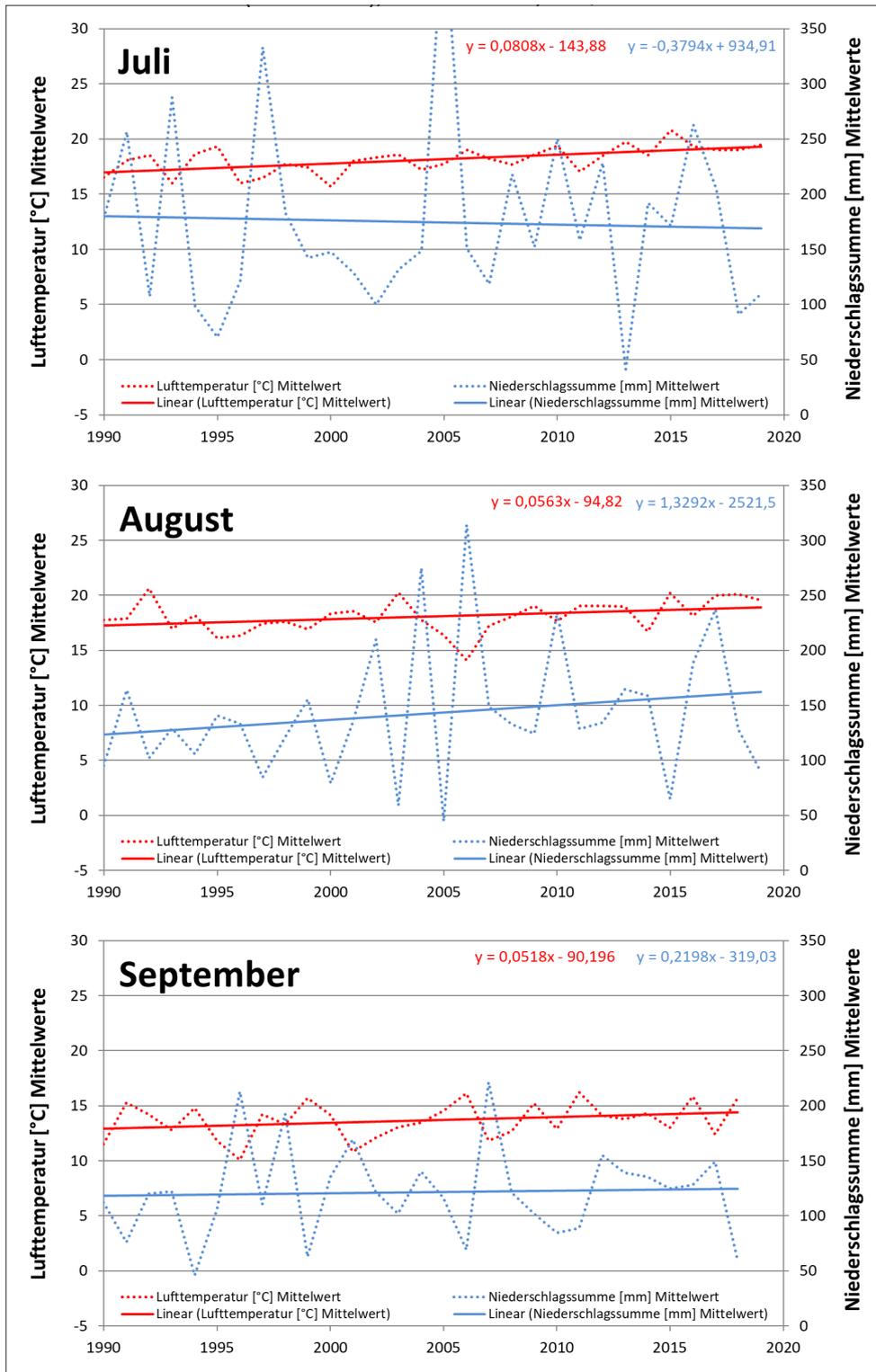
ZAMG (2021): Klimaerwärmung im Alpenraum. *Journal* (Issue).

7 Anhang

7.1 Monatsdaten der Klimastationen Admont und Hall bei Admont

7.1/1: Lufttemperatur und Niederschlag an den Klimastationen Admont (1990-2006) und Hall bei Admont (2007-2019), Absolutwerte, 2. Quartal

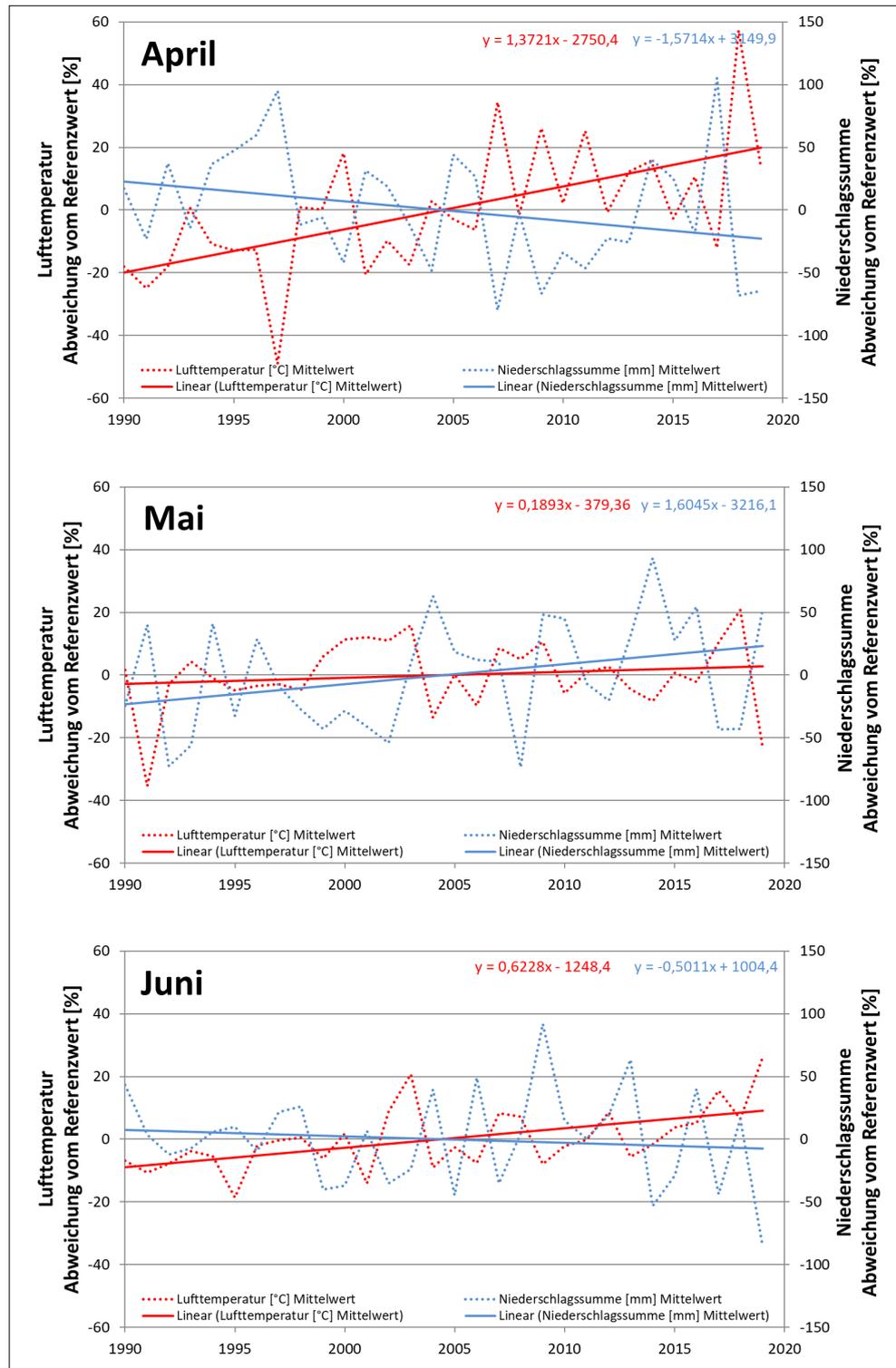


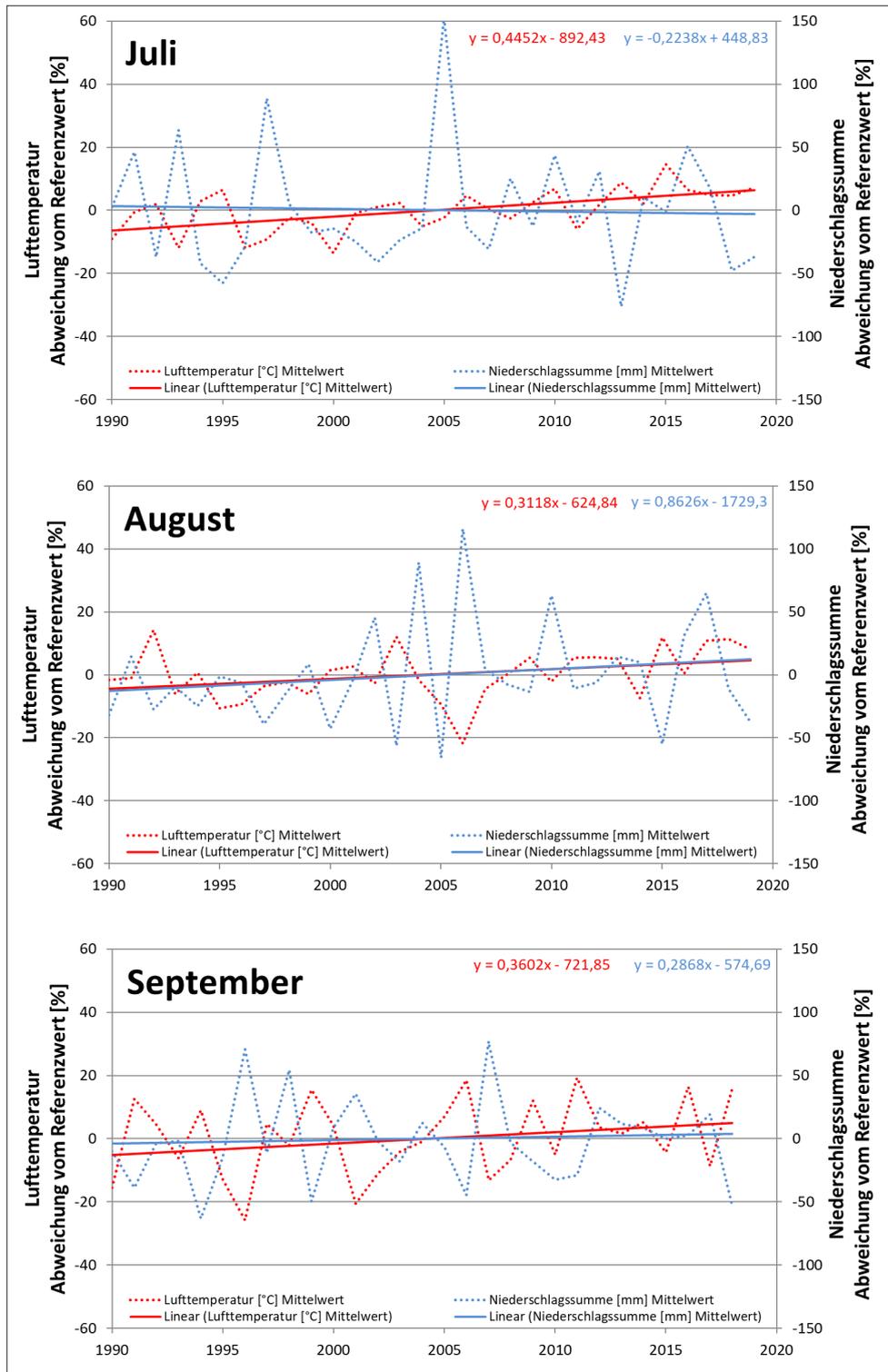


7.1/2: Lufttemperatur und Niederschlag an den Klimastationen Admont (1990-2006) und Hall bei Admont (2007-2019), Absolutwerte, 3. Quartal

7.2 Schwankungen an den Klimastationen Admont und Hall bei Admont

7.2/1: Abweichung der einzelnen Messwerte von Lufttemperatur und Niederschlag vom Gesamtmittelwert der Periode [1990, 2019] in % an den Klimastationen Admont (1990-2006) und Hall bei Admont (2007-2019), 2. Quartal

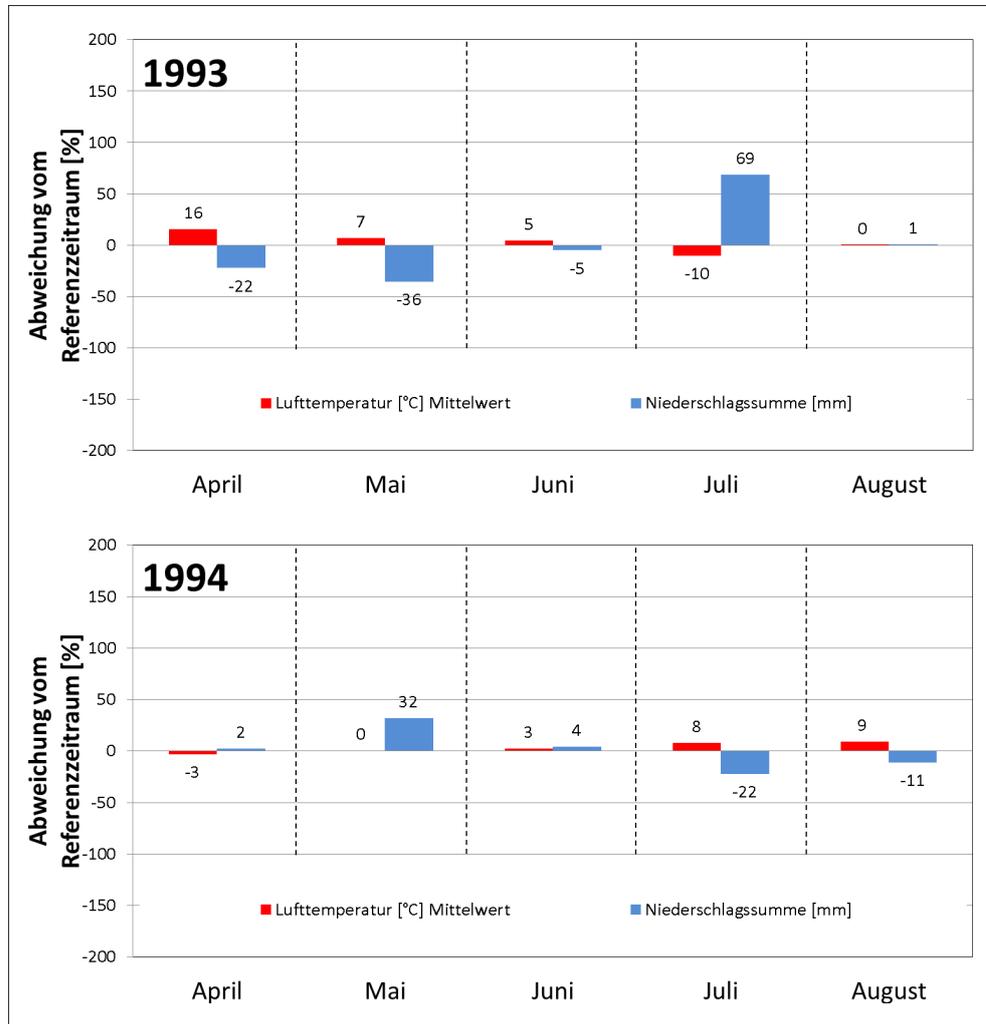


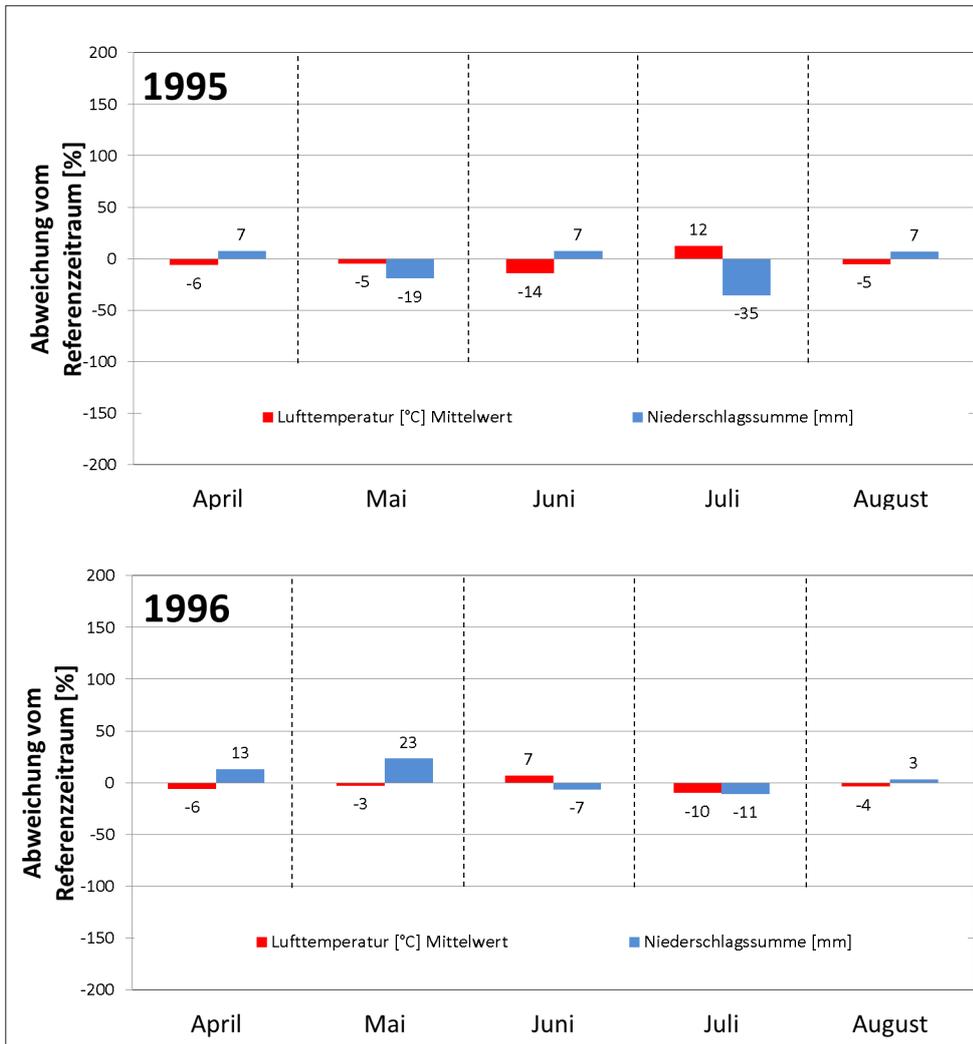


7.2/2: Abweichung der einzelnen Messwerte von Lufttemperatur und Niederschlag vom Gesamtmittelwert der Periode [1990, 2019] in % an den Klimastationen Admont (1990-2006) und Hall bei Admont (2007-2019), 3. Quartal

7.3 Schwankung der Klimadaten in der Periode 1993-1996 auf der Basis der Klimadaten der Station Hall bei Admont am Standort Kölblwiese

7.3/1: Relative Bewertung von Lufttemperatur und Niederschlag der Versuchsjahre auf der Basis der Mittelwerte der Referenzzeiträume

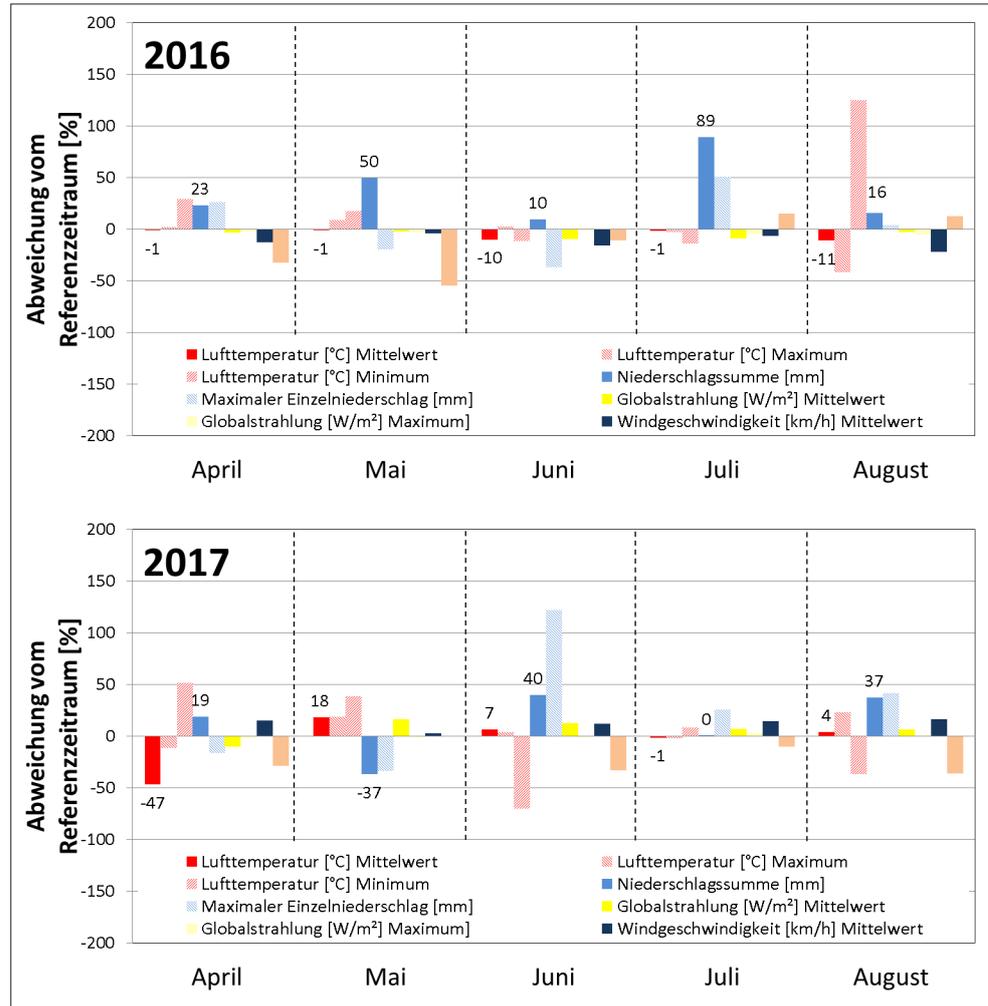


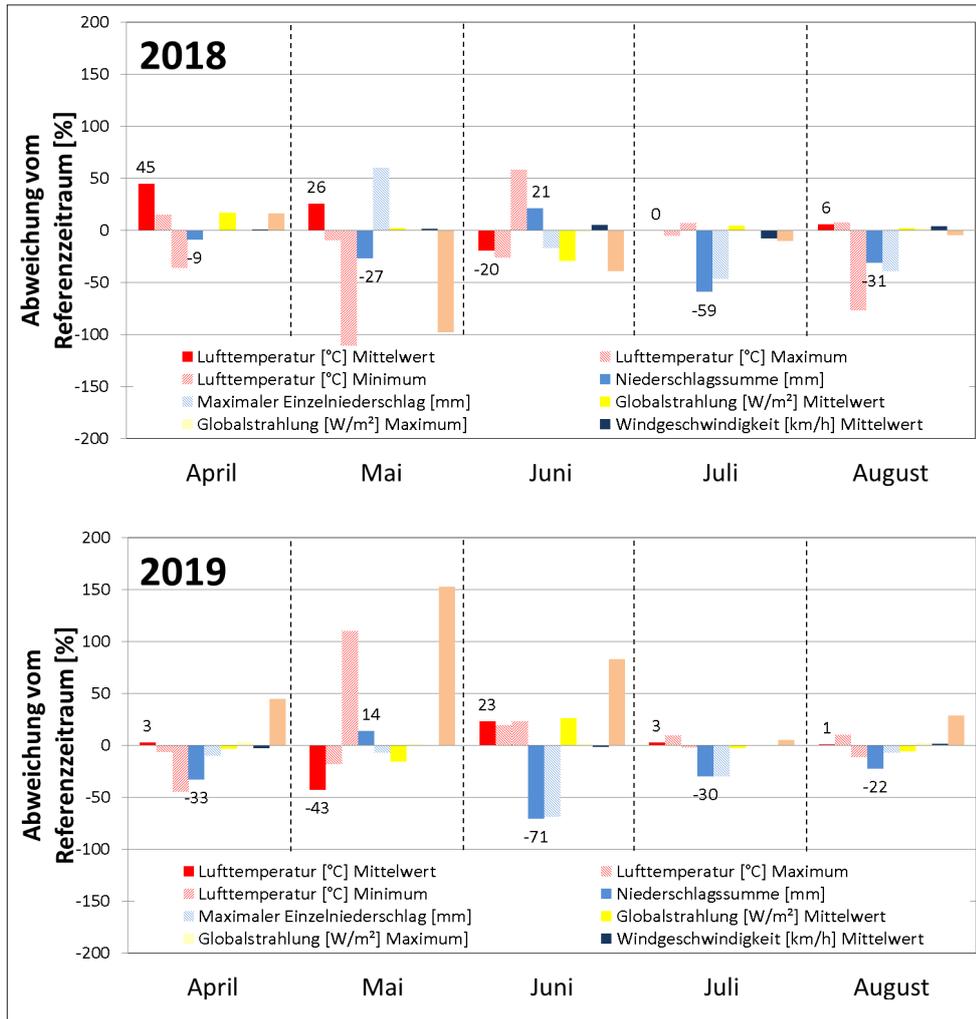


7.3/2: Relative Bewertung von Lufttemperatur und Niederschlag der Versuchsjahre auf der Basis der Mittelwerte der Referenzzeiträume

7.4 Schwankung der Klimadaten in der Periode 2016-2019 auf der Basis der Klimadaten der Stationen Johnsbach

7.4/1: Relative Bewertung von Lufttemperatur und Niederschlag der Versuchsjahre auf der Basis der Mittelwerte der Referenzzeiträume

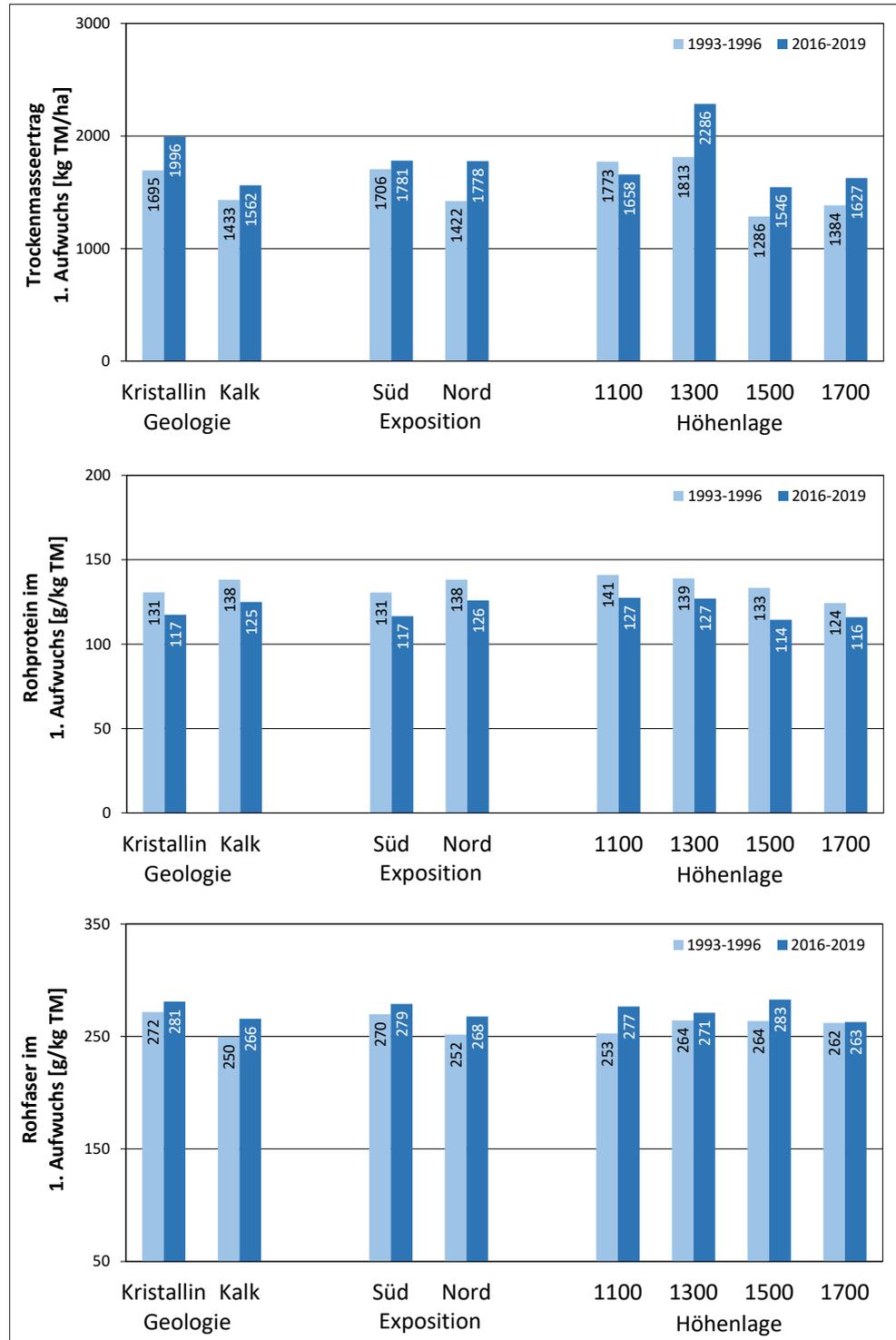




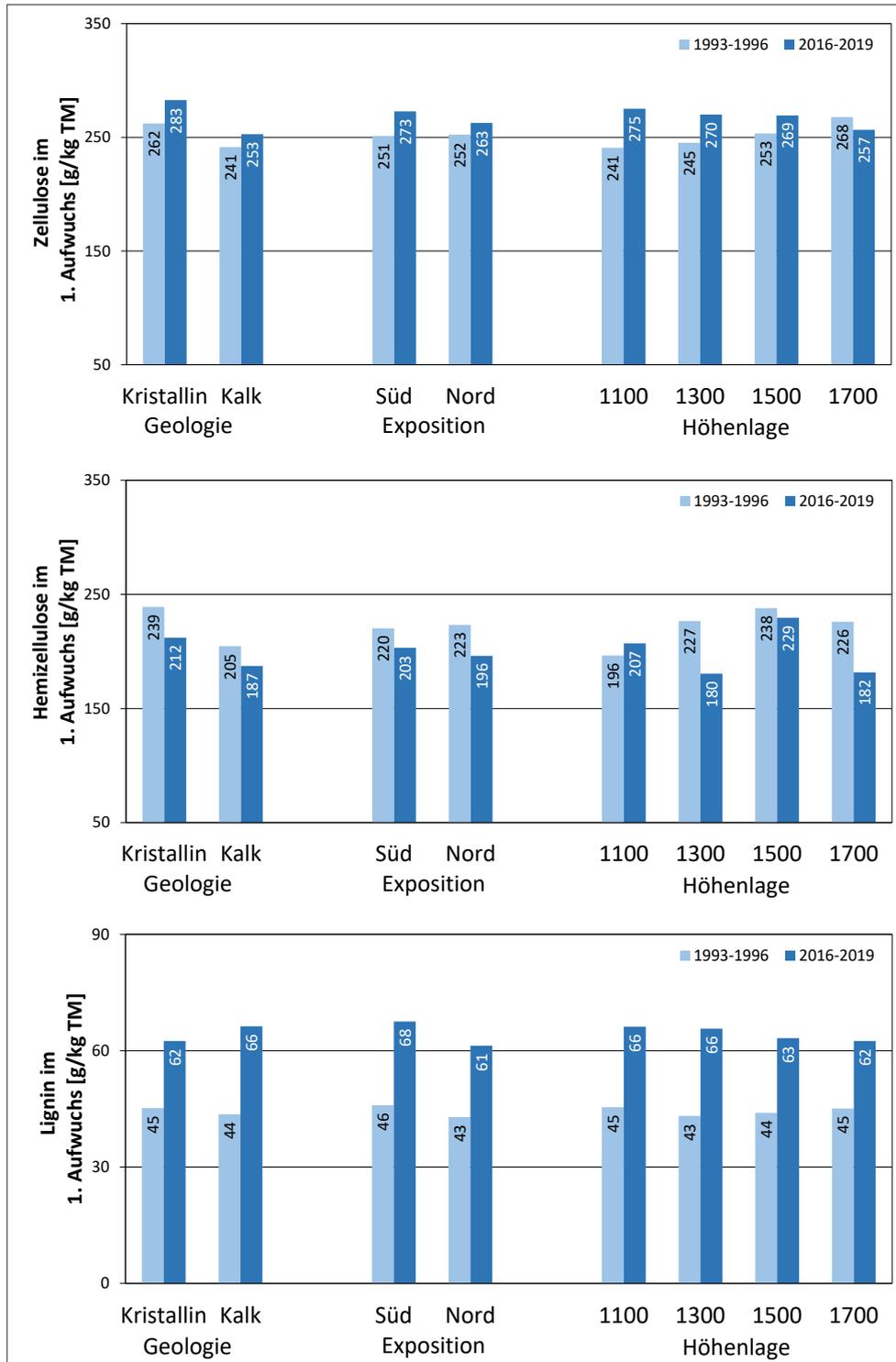
7.4/2: Relative Bewertung von Lufttemperatur und Niederschlag der Versuchsjahre auf der Basis der Mittelwerte der Referenzzeiträume

7.5 Veränderung von Ertrag und Futterwert

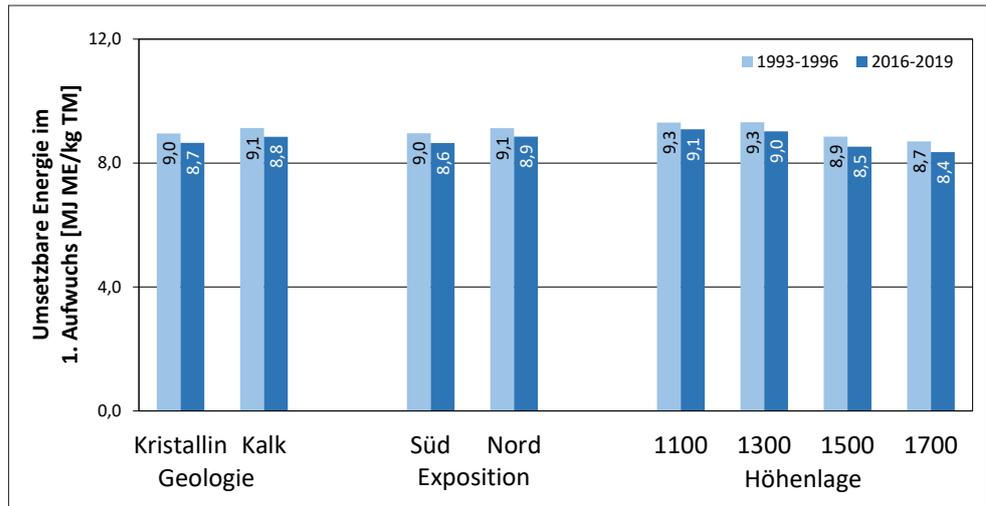
7.5/1: Ertrag und Rohnährstoffe der Hauptfaktoren im 1. Aufwuchs



7.5/2: Gerüstsubstanzen der Hauptfaktoren im 1. Aufwuchs



7.5/3: Energie der Hauptfaktoren im 1. Aufwuchs



7.6/1: Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen

Faktor Stufe			Periode (P)		Geologie (G)		Exposition €	
		My	1993-1996	2016-2019	Kristallin	Kalk	Süd	Nord
Ertrag an Trockenmasse								
1. Aufwuchs	kg TM/ha	1.672	1.564	1.779	1.846	1.498	1.743	1.600
Rohnährstoffe								
Rohprotein	XP g/kg TM	128	134	121	124	132	124	132
Rohfett	XL g/kg TM	20	22	19	20	21	19	22
Rohfaser	XF g/kg TM	267	261	273	276	258	274	260
Rohasche	XA g/kg TM	71	71	71	65	77	72	70
N-freie Extraktstoffe	XX g/kg TM	513	511	514	513	512	510	515
Lösliche Kohlenhydrate	NFC g/kg TM	236	241	231	226	246	233	239
Organische Masse	OM g/kg TM	929	929	929	935	923	928	930
Gerüstsubstanzen								
Faserkohlenhydrate	NDF g/kg TM	544	532	555	563	524	550	537
Lignozellulose	ADF g/kg TM	334	310	359	338	331	341	328
Lignin	ADL g/kg TM	54	44	64	54	55	57	52
Hemizellulose	HEM g/kg TM	211	222	200	225	196	212	210
Zellulose	CEL g/kg TM	260	252	268	272	247	262	258
Energiekonzentration								
Gesamtenergie	GE MJ/kg TM	18,2	18,3	18,2	18,3	18,1	18,2	18,3
Umsetzbare Energie	ME MJ/kg TM	8,9	9,0	8,7	8,8	9,0	8,8	9,0
Netto-Energie	NEL MJ/kg TM	5,2	5,3	5,1	5,1	5,2	5,1	5,2
Mineralstoffe								
Kalzium	Ca g/kg TM	7,3	6,8	7,7	6,8	7,8	7,2	7,4
Phosphor	P g/kg TM	2,3	2,4	2,2	2,5	2,1	2,1	2,6
Magensium	Mg g/kg TM	2,6	2,4	2,8	2,6	2,6	2,6	2,6
Kalium	K g/kg TM	16,9	17,2	16,6	15,1	18,7	17,2	16,6
Natrium	Na mg/kg TM	72,2	72,7	71,7	68,4	76,0	69,1	75,4
Mangan	Mn mg/kg TM	424,2	378,8	469,6	498,3	350,1	413,4	434,9
Zink	Zn mg/kg TM	71,3	73,0	69,5	72,6	70,0	69,0	73,5
Kupfer	Cu mg/kg TM	7,7	8,6	6,8	7,5	7,9	7,3	8,1

7.6/2: Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen

Faktor	Höhenlage (H)					
	Stufe		1.100	1.300	1.500	1.700
Ertrag an Trockenmasse						
1. Aufwuchs	kg TM/ha		1.715	2.049	1.416	1.506
Rohnährstoffe						
Rohprotein	XP	g/kg TM	134	133	124	120
Rohfett	XL	g/kg TM	20	20	21	21
Rohfaser	XF	g/kg TM	265	268	273	262
Rohasche	XA	g/kg TM	72	71	71	70
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	509	505	511	524
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	239	234	214	256
Organische Masse	OM	g/kg TM	928	929	929	930
Gerüstsubstanzen						
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	536	539	572	528
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	334	335	339	330
Lignin	ADL	g/kg TM	56	54	54	54
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	202	204	234	204
Zellulose	CEL	g/kg TM	258	258	261	262
Energiekonzentration						
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	18,2	18,3	18,2	18,2
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	9,2	9,2	8,7	8,5
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	5,4	5,4	5,0	4,9
Mineralstoffe						
Kalzium	Ca	g/kg TM	7,6	7,8	6,2	7,6
Phosphor	P	g/kg TM	2,7	2,4	2,4	1,8
Magensium	Mg	g/kg TM	2,6	2,8	2,3	2,8
Kalium	K	g/kg TM	15,8	17,8	16,9	17,0
Natrium	Na	mg/kg TM	96,7	63,7	76,1	52,4
Mangan	Mn	mg/kg TM	325,1	429,3	550,4	392,0
Zink	Zn	mg/kg TM	68,5	73,7	82,0	60,8
Kupfer	Cu	mg/kg TM	8,1	7,7	7,5	7,5

7.6/3: Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen

Faktor	1993-1966		2016-2019		1993-1966		2016-2019			
	Stufe		Kristallin	Kalk	Kristallin	Kalk	Süd	Nord	Süd	Nord
Ertrag an Trockenmasse										
1. Aufwuchs	kg TM/ha		1.695	1.433	1.996	1.562	1.706	1.422	1.781	1.778
Rohnährstoffe										
Rohprotein	XP	g/kg TM	131	138	117	125	131	138	117	126
Rohfett	XL	g/kg TM	21	23	19	19	21	22	17	21
Rohfaser	XF	g/kg TM	272	250	281	266	270	252	279	268
Rohasche	XA	g/kg TM	64	78	66	77	73	69	72	70
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	512	510	514	514	506	516	515	514
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	229	252	223	239	239	242	226	235
Organische Masse	OM	g/kg TM	936	922	934	923	927	931	928	930
Gerüstsubstanzen										
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	557	507	569	542	536	528	565	546
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	316	303	360	358	317	302	365	354
Lignin	ADL	g/kg TM	45	44	62	66	46	43	68	61
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	239	205	212	187	220	223	203	196
Zellulose	CEL	g/kg TM	262	241	283	253	251	252	273	263
Energiekonzentration										
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	18,4	18,2	18,3	18,1	18,2	18,3	18,1	18,3
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	9,0	9,1	8,7	8,8	9,0	9,1	8,6	8,9
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	5,2	5,3	5,0	5,1	5,2	5,3	5,0	5,1
Mineralstoffe										
Kalzium	Ca	g/kg TM	6,3	7,4	7,3	8,2	6,6	7,1	7,8	7,7
Phosphor	P	g/kg TM	2,6	2,2	2,4	2,0	2,2	2,7	2,0	2,5
Magensium	Mg	g/kg TM	2,4	2,4	2,8	2,8	2,4	2,4	2,8	2,8
Kalium	K	g/kg TM	15,2	19,2	14,9	18,2	17,3	17,2	17,0	16,1
Natrium	Na	mg/kg TM	62,2	83,3	74,6	68,8	69,3	76,1	68,8	74,6
Mangan	Mn	mg/kg TM	467,9	289,7	528,6	410,5	366,5	391,1	460,3	478,8
Zink	Zn	mg/kg TM	75,8	70,2	69,3	69,7	72,7	73,3	65,4	73,6
Kupfer	Cu	mg/kg TM	8,4	8,9	6,6	7,0	8,3	9,0	6,3	7,3

7.6/4: Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen

Faktor			1993-1966				2016-2019			
Stufe			1.100	1.300	1.500	1.700	1.100	1.300	1.500	1.700
Ertrag an Trockenmasse										
1. Aufwuchs	kg TM/ha		1.773	1.813	1.286	1.384	1.658	2.286	1.546	1.627
Rohnährstoffe										
Rohprotein	XP	g/kg TM	141	139	133	124	127	127	114	116
Rohfett	XL	g/kg TM	22	22	22	21	19	19	19	20
Rohfaser	XF	g/kg TM	253	264	264	262	277	271	283	263
Rohasche	XA	g/kg TM	76	71	71	66	67	72	71	74
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	508	502	510	523	510	508	513	526
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	259	231	223	251	219	238	205	261
Organische Masse	OM	g/kg TM	924	929	929	934	933	928	929	926
Gerüstsubstanzen										
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	499	538	551	539	572	540	593	516
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	305	307	313	313	363	362	365	347
Lignin	ADL	g/kg TM	45	43	44	45	66	66	63	62
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	196	227	238	226	207	180	229	182
Zellulose	CEL	g/kg TM	241	245	253	268	275	270	269	257
Energiekonzentration										
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	18,2	18,3	18,3	18,3	18,3	18,2	18,2	18,1
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	9,3	9,3	8,9	8,7	9,1	9,0	8,5	8,4
Netto-Enerige	NEL	MJ/kg TM	5,5	5,5	5,1	5,0	5,3	5,3	4,9	4,8
Mineralstoffe										
Kalzium	Ca	g/kg TM	8,0	6,8	6,1	6,5	7,1	8,9	6,3	8,7
Phosphor	P	g/kg TM	3,0	2,5	2,5	1,7	2,5	2,4	2,2	1,8
Magensium	Mg	g/kg TM	2,5	2,4	2,2	2,4	2,7	3,1	2,3	3,1
Kalium	K	g/kg TM	16,9	18,1	17,4	16,5	14,8	17,6	16,4	17,5
Natrium	Na	mg/kg TM	106,9	57,1	74,0	52,9	86,6	70,4	78,1	51,8
Mangan	Mn	mg/kg TM	255,3	459,6	492,3	308,0	394,9	398,9	608,4	476,0
Zink	Zn	mg/kg TM	72,7	80,9	80,0	58,3	64,3	66,4	84,1	63,3
Kupfer	Cu	mg/kg TM	9,2	8,4	8,8	8,2	7,0	7,1	6,2	6,9

7.6/5: Periode, Hauptfaktoren und Wechselwirkungen

Faktor			P-Werte							Modellqualität	
Stufe			P	G	E	H	P x G	P x E	P x H	s _e	R ²
Ertrag an Trockenmasse											
1. Aufwuchs	kg TM/ha		0,076	0,004	0,226	0,001	0,469	0,237	0,303	620	28,3
Rohnährstoffe											
Rohprotein	XP	g/kg TM	0,000	0,015	0,006	0,003	0,998	0,774	0,694	31	30,7
Rohfett	XL	g/kg TM	0,000	0,026	0,002	0,985	0,146	0,096	0,530	4	27,9
Rohfaser	XF	g/kg TM	0,009	0,000	0,002	0,409	0,472	0,458	0,296	24	30,7
Rohasche	XA	g/kg TM	0,883	0,000	0,202	0,975	0,484	0,814	0,065	12	29,2
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	0,319	0,727	0,188	0,003	0,736	0,084	0,985	17	19,5
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	0,243	0,024	0,509	0,010	0,673	0,717	0,135	42	24,0
Organische Masse	OM	g/kg TM	0,883	0,000	0,202	0,975	0,484	0,814	0,065	12	29,2
Gerüstsubstanzen											
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	0,048	0,001	0,256	0,043	0,347	0,642	0,028	58	29,8
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	0,000	0,114	0,005	0,615	0,234	0,653	0,250	21	65,2
Lignin	ADL	g/kg TM	0,000	0,541	0,010	0,811	0,137	0,369	0,799	9	60,9
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	0,038	0,007	0,851	0,099	0,652	0,636	0,154	50	23,2
Zellulose	CEL	g/kg TM	0,373	0,165	0,799	0,997	0,799	0,752	0,849	82	5,2
Energiekonzentration											
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	0,024	0,000	0,003	0,743	0,894	0,653	0,058	0,2	33,0
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	0,000	0,010	0,010	0,000	0,850	0,746	0,923	0,4	48,8
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	0,000	0,006	0,014	0,000	0,872	0,770	0,963	0,3	47,8
Mineralstoffe											
Kalzium	Ca	g/kg TM	0,031	0,022	0,616	0,019	0,885	0,578	0,018	2,2	22,2
Phosphor	P	g/kg TM	0,006	0,000	0,000	0,000	0,834	0,877	0,072	0,4	60,7
Magensium	Mg	g/kg TM	0,001	0,839	0,974	0,015	0,632	0,765	0,265	0,7	19,2
Kalium	K	g/kg TM	0,282	0,000	0,374	0,106	0,633	0,495	0,375	3,2	33,3
Natrium	Na	mg/kg TM	0,881	0,263	0,357	0,000	0,049	0,938	0,297	33,0	24,5
Mangan	Mn	mg/kg TM	0,000	0,000	0,348	0,000	0,191	0,894	0,003	112,3	60,5
Zink	Zn	mg/kg TM	0,303	0,447	0,195	0,001	0,392	0,272	0,116	17,5	24,1
Kupfer	Cu	mg/kg TM	0,000	0,021	0,000	0,102	0,737	0,435	0,030	1,0	56,2

7.7/1: Klima, Hauptfaktoren

Faktor	Stufe		Geologie (G)		Exposition €		Höhenlage (H)			
			Kristallin	Kalk	Süd	Nord	1.100	1.300	1.500	1.700
Ertrag an Trockenmasse										
1. Aufwuchs		kg TM/ha	1.837	1.489	1.740	1.586	1.647	2.078	1.433	1.492
Rohnährstoffe										
Rohprotein	XP	g/kg TM	124	132	124	132	136	133	123	119
Rohfett	XL	g/kg TM	20	21	19	22	20	20	21	21
Rohfaser	XF	g/kg TM	277	257	275	260	263	268	274	263
Rohasche	XA	g/kg TM	65	77	72	70	72	71	71	70
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	513	512	510	515	508	505	512	525
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	227	246	233	239	239	234	215	256
Organische Masse	OM	g/kg TM	935	923	928	930	928	929	929	930
Gerüstsubstanzen										
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	562	523	549	536	532	539	571	528
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	337	327	339	325	328	332	337	331
Lignin	ADL	g/kg TM	54	55	57	52	56	54	54	55
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	232	195	212	215	203	206	234	211
Zellulose	CEL	g/kg TM	285	273	283	275	278	279	285	275
Energiekonzentration										
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	18,3	18,1	18,2	18,3	18,2	18,3	18,2	18,2
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	8,8	9,0	8,8	9,0	9,2	9,2	8,7	8,5
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	5,1	5,2	5,1	5,2	5,4	5,4	5,0	4,9
Mineralstoffe										
Kalzium	Ca	g/kg TM	6,8	7,7	7,2	7,3	7,4	7,8	6,2	7,7
Phosphor	P	g/kg TM	2,5	2,1	2,1	2,6	2,7	2,4	2,4	1,7
Magensium	Mg	g/kg TM	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,8	2,3	2,8
Kalium	K	g/kg TM	15,0	18,7	17,1	16,6	16,0	17,8	16,8	16,9
Natrium	Na	mg/kg TM	69,6	73,3	68,6	74,3	94,6	62,9	76,2	52,1
Mangan	Mn	mg/kg TM	495,8	351,1	412,5	434,4	326,3	426,1	556,5	384,9
Zink	Zn	mg/kg TM	73,0	69,7	69,3	73,3	70,2	73,7	81,2	60,1
Kupfer	Cu	mg/kg TM	7,5	8,0	7,3	8,1	8,3	7,7	7,4	7,5

7.7/2: Klima, Hauptfaktoren

Faktor			Wirkung von Δ 1 % zum $\bar{\text{Ø}}$ 1990-2019		P-Werte					Modell- qualität	
Stufe			Tempe- ratur (T)	Nieder- schlag (N)	G	E	H	T	N	se	R ²
Ertrag an Trockenmasse											
1. Aufwuchs		kg TM/ha	16,538	7,025	0,003	0,177	0,000	0,007	0,001	598	30,6
Rohnährstoffe											
Rohprotein	XP	g/kg TM	-0,893	-0,153	0,006	0,003	0,000	0,000	0,004	15	36,4
Rohfett	XL	g/kg TM	-0,031	-0,013	0,038	0,004	0,996	0,427	0,332	4	11,1
Rohfaser	XF	g/kg TM	0,648	0,173	0,000	0,002	0,319	0,012	0,041	25	26,1
Rohasche	XA	g/kg TM	-0,039	-0,044	0,000	0,187	0,958	0,742	0,263	12	24,8
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	0,412	0,061	0,592	0,189	0,001	0,020	0,296	17	20,3
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	-0,005	0,024	0,031	0,534	0,014	0,704	0,627	42	17,3
Organische Masse	OM	g/kg TM	0,039	0,044	0,000	0,187	0,958	0,742	0,263	12	24,8
Gerüstsubstanzen											
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	0,633	0,033	0,002	0,294	0,055	0,339	0,879	61	18,7
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	1,866	0,283	0,082	0,018	0,699	0,000	0,007	29	33,5
Lignin	ADL	g/kg TM	0,727	0,003	0,627	0,026	0,835	0,000	0,932	11	35,6
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	-1,027	-0,222	0,001	0,798	0,148	0,133	0,655	47	23,6
Zellulose	CEL	g/kg TM	1,192	0,191	0,032	0,105	0,595	0,000	0,040	23	28,0
Energiekonzentration											
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM	-0,003	0,000	0,000	0,003	0,749	0,198	0,665	0,2	27,2
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	-0,009	-0,001	0,009	0,012	0,000	0,017	0,304	0,4	42,6
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM	-0,006	-0,001	0,006	0,016	0,000	0,302	0,020	0,3	42,1
Mineralstoffe											
Kalzium	Ca	g/kg TM	0,049	0,000	0,042	0,744	0,029	0,021	0,976	2,2	17,5
Phosphor	P	g/kg TM	-0,010	-0,003	0,000	0,000	0,000	0,018	0,072	0,4	56,6
Magensium	Mg	g/kg TM	0,021	0,001	0,916	0,957	0,018	0,002	0,629	0,7	17,4
Kalium	K	g/kg TM	-0,085	-0,015	0,000	0,350	0,170	0,007	0,157	3,1	34,5
Natrium	Na	mg/kg TM	0,210	-0,178	0,575	0,391	0,000	0,542	0,121	32,6	23,0
Mangan	Mn	mg/kg TM	3,589	-0,148	0,000	0,370	0,000	0,005	0,729	119,9	52,9
Zink	Zn	mg/kg TM	-0,382	-0,154	0,327	0,235	0,001	0,030	0,009	17,4	22,7
Kupfer	Cu	mg/kg TM	-0,085	-0,019	0,027	0,000	0,018	0,000	0,000	1,2	40,9

7.8/1: Dynamik, Hauptfaktoren

Faktor Stufe			Periode (P)			Geologie (G)		Exposition €	
		My	1993-1996	2016-2019	Kristallin	Kalk	Süd	Nord	
Ertrag an Trockenmasse									
1. Aufwuchs	kg TM/ha	27,20				29,19	25,21	28,81	25,60
Rohnährstoffe									
Rohprotein	XP	g/kg TM	-0,98	-0,89	-1,06	-0,88	-1,07	-0,97	-0,98
Rohfett	XL	g/kg TM	-0,04	-0,08	-0,01	-0,05	-0,03	-0,02	-0,07
Rohfaser	XF	g/kg TM	0,98	1,03	0,94	1,00	0,97	1,02	0,95
Rohasche	XA	g/kg TM	-0,21	-0,22	-0,21	-0,20	-0,22	-0,21	-0,21
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	0,23	-0,06	0,53	0,15	0,32	0,14	0,32
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	-0,61	-1,15	-0,06	-0,79	-0,42	-0,52	-0,69
Organische Masse	OM	g/kg TM	0,15	0,11	0,19	0,15	0,15	0,15	0,16
Gerüstsubstanzen									
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	1,74	2,07	1,41	1,97	1,50	1,57	1,90
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	1,38	1,32	1,44	1,40	1,36	1,44	1,31
Lignin	ADL	g/kg TM	0,24	0,35	0,12	0,25	0,22	0,25	0,22
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	0,49	0,88	0,10	0,62	0,36	0,22	0,76
Zellulose	CEL	g/kg TM	1,08	0,94	1,23	1,16	1,00	1,13	1,04
Energiekonzentration									
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM							
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM		Keine dynamische Bewertung möglich					
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM							
Mineralstoffe									
Kalzium	Ca	g/kg TM	0,028	0,024	0,032	0,016	0,040	0,021	0,036
Phosphor	P	g/kg TM	-0,015	-0,016	-0,015	-0,018	-0,013	-0,012	-0,019
Magensium	Mg	g/kg TM	0,002	0,006	-0,001	0,000	0,004	0,002	0,003
Kalium	K	g/kg TM	-0,095	-0,088	-0,102	-0,093	-0,096	-0,102	-0,088
Natrium	Na	mg/kg TM	-0,586	-0,721	-0,450	-0,427	-0,744	-0,558	-0,613
Mangan	Mn	mg/kg TM	3,226	3,925	2,528	4,591	1,862	3,171	3,282
Zink	Zn	mg/kg TM	-0,288	-0,381	-0,194	-0,357	-0,219	-0,434	-0,142
Kupfer	Cu	mg/kg TM	-0,041	-0,038	-0,045	-0,040	-0,042	-0,039	-0,043

7.8/2: Dynamik, Hauptfaktoren

Faktor	Höhenlage (H)				
	Stufe	1.100	1.300	1.500	1.700
Ertrag an Trockenmasse					
1. Aufwuchs	kg TM/ha	35,6	35,1	23,2	15,0
Rohnährstoffe					
Rohprotein	XP g/kg TM	-1,25	-1,18	-0,77	-0,70
Rohfett	XL g/kg TM	-0,03	-0,05	-0,05	-0,03
Rohfaser	XF g/kg TM	1,18	0,79	1,03	0,93
Rohasche	XA g/kg TM	-0,27	-0,21	-0,21	-0,16
N-freie Extraktstoffe	XX g/kg TM	0,41	0,68	-0,12	-0,04
Lösliche Kohlenhydrate	NFC g/kg TM	-0,39	0,04	-0,98	-1,08
Organische Masse	OM g/kg TM	0,17	0,20	0,11	0,11
Gerüstsubstanzen					
Faserkohlenhydrate	NDF g/kg TM	1,70	1,46	1,95	1,85
Lignozellulose	ADF g/kg TM	1,58	1,37	1,32	1,24
Lignin	ADL g/kg TM	0,21	0,32	0,25	0,17
Hemizellulose	HEM g/kg TM	0,31	0,33	0,60	0,73
Zellulose	CEL g/kg TM	1,16	0,89	1,17	1,11
Energiekonzentration					
Gesamtenergie	GE MJ/kg TM				
Umsetzbare Energie	ME MJ/kg TM	Keine dynamische Bewertung möglich			
Netto-Energie	NEL MJ/kg TM				
Mineralstoffe					
Kalzium	Ca g/kg TM	0,035	0,013	0,037	0,027
Phosphor	P g/kg TM	-0,015	-0,021	-0,017	-0,009
Magensium	Mg g/kg TM	0,001	0,001	0,005	0,002
Kalium	K g/kg TM	-0,073	-0,106	-0,109	-0,091
Natrium	Na mg/kg TM	-0,723	-0,938	-0,393	-0,289
Mangan	Mn mg/kg TM	2,031	3,597	3,214	4,063
Zink	Zn mg/kg TM	-0,517	-0,512	-0,121	-0,002
Kupfer	Cu mg/kg TM	-0,062	-0,055	-0,023	-0,025

7.8/3: Dynamik, Hauptfaktoren

Faktor			P-Werte			
Stufe			P	G	E	H
Ertrag an Trockenmasse						
1. Aufwuchs		kg TM/ha		0,422	0,524	0,045
Rohnährstoffe						
Rohprotein	XP	g/kg TM	0,152	0,132	0,953	0,002
Rohfett	XL	g/kg TM	0,002	0,412	0,038	0,899
Rohfaser	XF	g/kg TM	0,545	0,860	0,628	0,236
Rohasche	XA	g/kg TM	0,910	0,840	0,997	0,868
N-freie Extraktstoffe	XX	g/kg TM	0,011	0,448	0,439	0,047
Lösliche Kohlenhydrate	NFC	g/kg TM	0,002	0,272	0,621	0,065
Organische Masse	OM	g/kg TM	0,314	0,987	0,907	0,836
Gerüstsubstanzen						
Faserkohlenhydrate	NDF	g/kg TM	0,013	0,077	0,214	0,559
Lignozellulose	ADF	g/kg TM	0,578	0,833	0,544	0,706
Lignin	ADL	g/kg TM	0,023	0,744	0,712	0,721
Hemizellulose	HEM	g/kg TM	0,002	0,308	0,029	0,555
Zellulose	CEL	g/kg TM	0,174	0,472	0,653	0,764
Energiekonzentration						
Gesamtenergie	GE	MJ/kg TM				
Umsetzbare Energie	ME	MJ/kg TM	Keine dynamische Bewertung möglich			
Netto-Energie	NEL	MJ/kg TM				
Mineralstoffe						
Kalzium	Ca	g/kg TM	0,523	0,057	0,233	0,480
Phosphor	P	g/kg TM	0,853	0,390	0,157	0,408
Magensium	Mg	g/kg TM	0,159	0,420	0,796	0,912
Kalium	K	g/kg TM	0,511	0,884	0,519	0,566
Natrium	Na	mg/kg TM	0,466	0,396	0,882	0,595
Mangan	Mn	mg/kg TM	0,050	0,000	0,876	0,211
Zink	Zn	mg/kg TM	0,291	0,447	0,104	0,096
Kupfer	Cu	mg/kg TM	0,479	0,801	0,691	0,006

7.9: Verdaulichkeiten des Almfutters

Faktor		1993-1996 Kristallin							
Stufe		Süd				Nord			
Stufe		1100	1300	1500	1700	1100	1300	1500	1700
Verdaulichkeit der Rohnährstoffe %									
Rohprotein	dXP	62,7	67,7	63,0	62,0	67,1	62,8	59,7	59,1
Rohfett	dXL	16,4	23,4	16,3	7,3	25,9	12,0	12,7	18,4
Rohfaser	dXF	57,8	61,2	60,0	55,1	64,0	61,7	52,4	54,4
N-freie Extraktstoffe	dXX	61,4	68,6	60,4	63,2	73,2	62,4	53,3	68,0
Organische Masse	dOM	60,4	66,0	60,5	60,6	69,5	62,0	58,4	63,0

Faktor		1993-1996 Kalk							
Stufe		Süd				Nord			
Stufe		1100	1300	1500	1700	1100	1300	1500	1700
Verdaulichkeit der Rohnährstoffe %									
Rohprotein	dXP	60,2	67,8	67,5	64,7	64,8	70	67	68,1
Rohfett	dXL	19	36,1	29,5	27,6	36,4	29,2	11,7	7,7
Rohfaser	dXF	57,7	57,3	60,8	54,2	61,7	60,4	54,8	53
N-freie Extraktstoffe	dXX	67,4	71,2	69,1	63,7	73,2	68,4	64,2	55
Organische Masse	dOM	63,5	66,8	66,3	61,8	69,1	66,4	62,3	57,9

Faktor		2016-2019 Kristallin							
Stufe		Süd				Nord			
Stufe		1100	1300	1500	1700	1100	1300	1500	1700
Verdaulichkeit der Rohnährstoffe %									
Rohprotein	dXP	60,9	65,8	61,2	60,2	65,2	61,0	58,0	57,4
Rohfett	dXL	15,8	22,6	15,8	7,1	25,0	11,6	12,3	17,8
Rohfaser	dXF	56,5	59,8	58,7	53,9	62,6	60,3	51,2	53,2
N-freie Extraktstoffe	dXX	59,6	66,6	58,6	61,4	71,1	60,6	51,7	66,0
Organische Masse	dOM	58,9	64,4	59,0	59,1	67,8	60,5	57,0	61,5

Faktor		2016-2019 Kalk							
Stufe		Süd				Nord			
Stufe		1100	1300	1500	1700	1100	1300	1500	1700
Verdaulichkeit der Rohnährstoffe %									
Rohprotein	dXP	58,5	65,9	65,6	62,8	62,9	68,0	65,1	66,2
Rohfett	dXL	18,4	34,9	28,5	26,7	35,2	28,2	11,3	7,4
Rohfaser	dXF	56,4	56,0	59,5	53,0	60,3	59,1	53,6	51,8
N-freie Extraktstoffe	dXX	65,4	69,1	67,1	61,8	71,1	66,4	62,3	53,4
Organische Masse	dOM	62,0	65,2	64,7	60,3	67,4	64,8	60,8	56,5

7.10: Einzelbeschreibung der Versuchsflächen

Fläche	Haberlehen		1
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.100
Koordinaten (WGS84)	14,6451585	47,4751002	
Lageparameter	Exposition: S	Hangneigung: 14,9	Seehöhe: 1.099



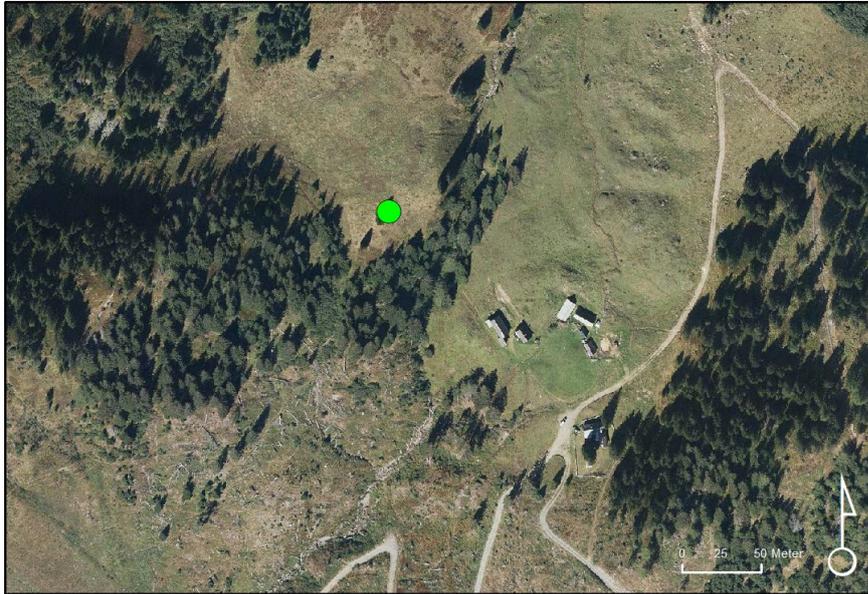
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Burghauser Franz, Treglwang

Fläche	Buheck		2
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.300
Koordinaten (WGS84)	14,6664694	47,4831386	
Lageparameter	Exposition: SW	Hangneigung: 13,9	Seehöhe: 1.285



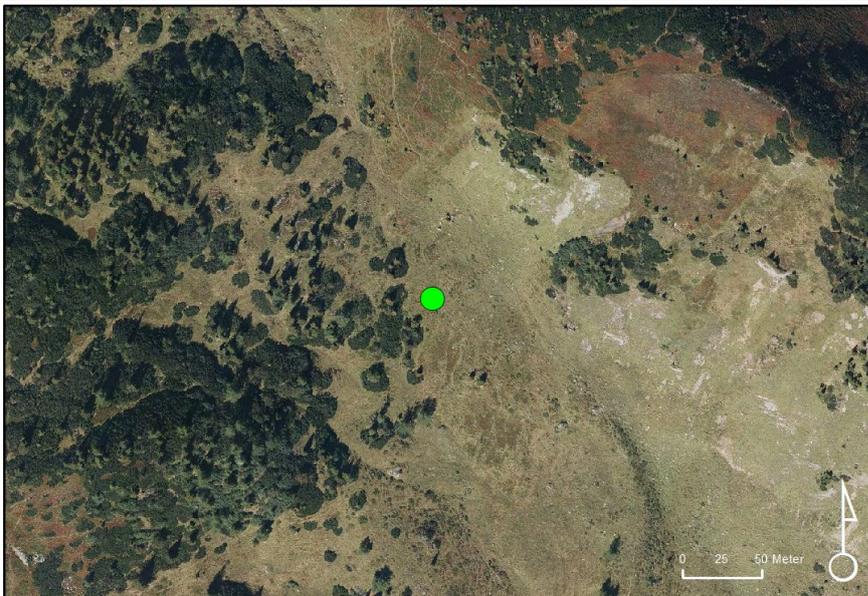
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Forstverwaltung Paltenstein (Hans Lothar von Holleuffer) aus Treglwang, Agrargemeinschaft Aigelsbrunn

Fläche	Aigelsbrunn 1500		3
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.500
Koordinaten (WGS84)	14,6647275	47,4891744	
Lageparameter	Exposition: SO	Hangneigung: 14,4	Seehöhe: 1.557



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Forstverwaltung Paltenstein (Hans Lothar von Holleuffer) aus Treglwang, Agrargemeinschaft Aigelsbrunn

Fläche	Aigelsbrunn 1700		4
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.700
Koordinaten (WGS84)	14,6639954	47,4951570	
Lageparameter	Exposition: SW	Hangneigung: 13,9	Seehöhe: 1.704



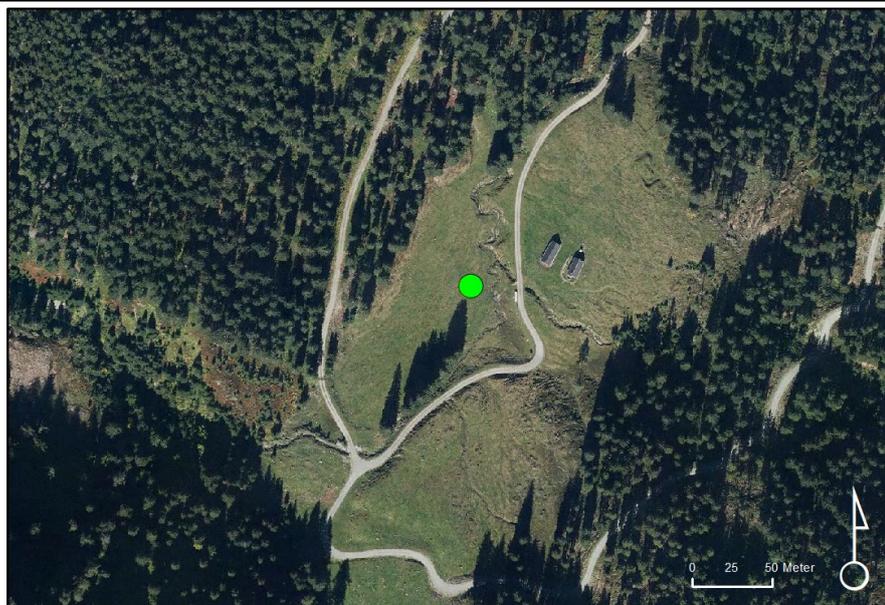
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Forstverwaltung Paltenstein (Hans Lothar von Holleuffer) aus Treglwang, Agrargemeinschaft Aigelsbrunn

Fläche	Plodenau		5
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.100
Koordinaten (WGS84)	14,6425530	47,5177540	
Lageparameter	Exposition: NO	Hangneigung: 15,7	Seehöhe: 1.076



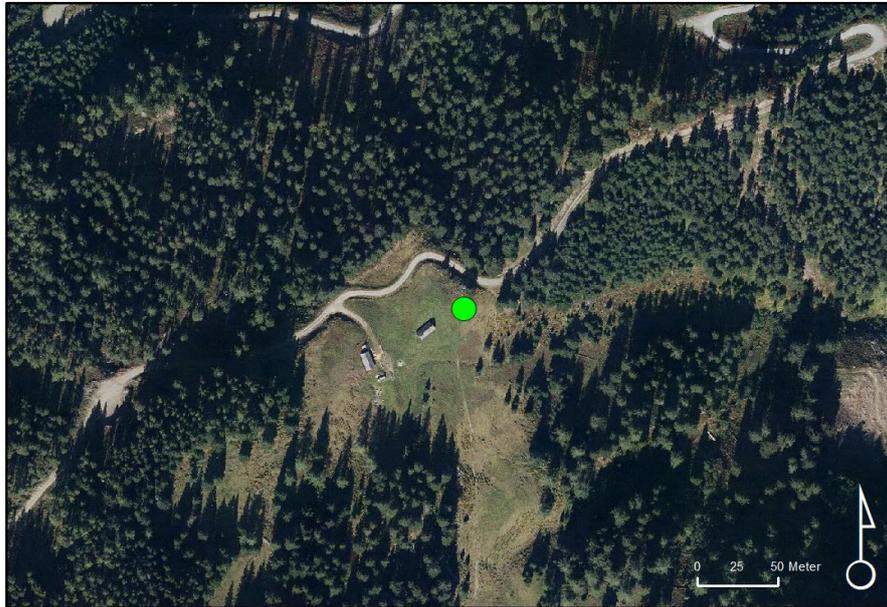
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Wolf Josef vulgo Gschaidegger in Johnsbach

Fläche	Grössinger Alm		6
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.300
Koordinaten (WGS84)	14,6596644	47,5082583	
Lageparameter	Exposition: NO	Hangneigung: 6,9	Seehöhe: 1.317



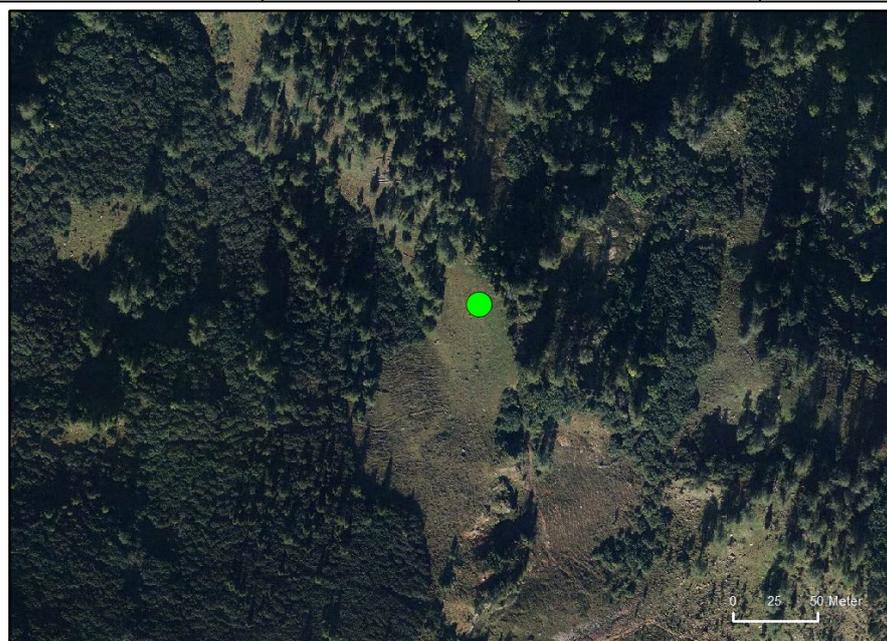
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Gassner Johann aus Admont

Fläche	Moseralm		7
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.500
Koordinaten (WGS84)	14,6520893	47,5084449	
Lageparameter	Exposition: O	Hangneigung: 10,4	Seehöhe: 1.526



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Löschenkohl Christian aus Weng bei Admont

Fläche	Moserkogel		8
Modelldaten	Gestein: Kristallin	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.700
Koordinaten (WGS84)	14,6554043	47,5030826	
Lageparameter	Exposition: N	Hangneigung: 18,4	Seehöhe: 1.674



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Löschenkohl Christian aus Weng bei Admont

Fläche	Kölblalm		9
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.100
Koordinaten (WGS84)	14,6420386	47,5325218	
Lageparameter	Exposition: S	Hangneigung: 19,4	Seehöhe: 1.116



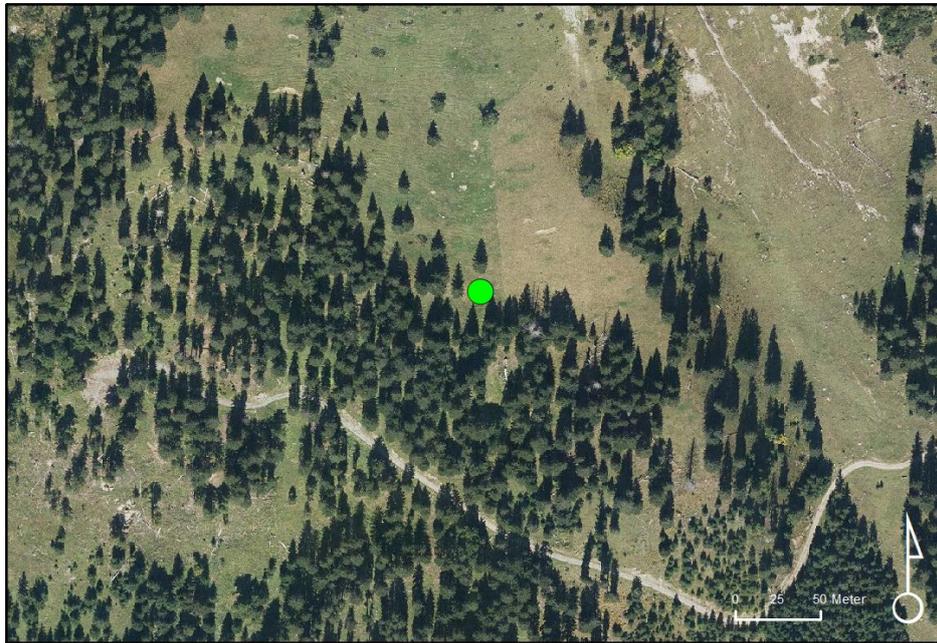
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Wolf Ludwig vulgo Kölblwirt in Johnsbach

Fläche	Pfarralm		10
Modelldaten	Gestein: Klak	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.300
Koordinaten (WGS84)	14,6647170	47,5318416	
Lageparameter	Exposition: S	Hangneigung: 9,5	Seehöhe: 1.307



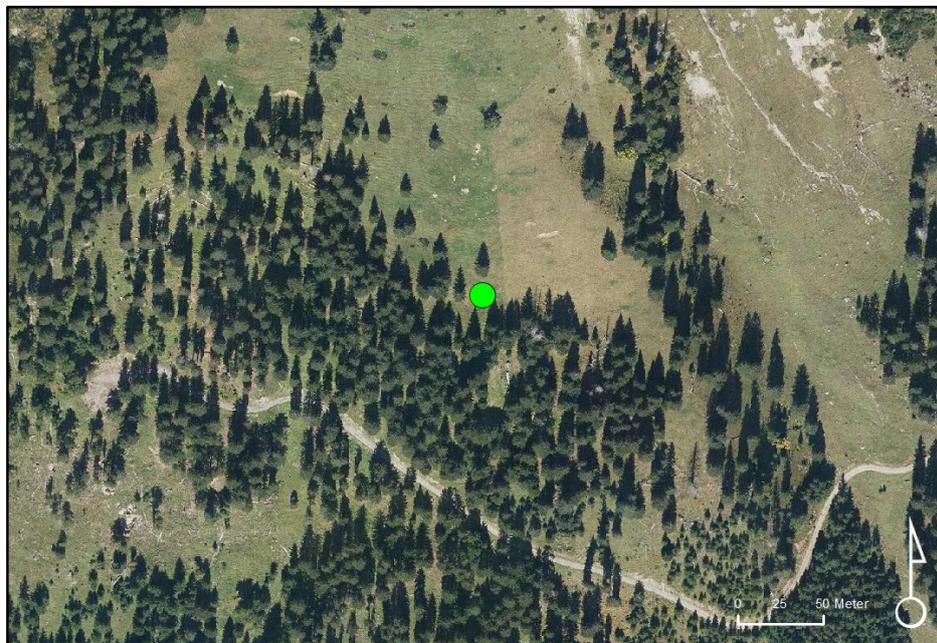
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger), Agrargemeinschaft Neuburgeralm

Fläche	Kuhfeld 1500		11
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.500
Koordinaten (WGS84)	14,6608410	47,5352595	
Lageparameter	Exposition: S	Hangneigung: 25,3	Seehöhe: 1.488



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Wolf Ludwig vulgo Kölblwirt in Johnsbach

Fläche	Kuhfeld 1700		12
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Süd	Seehöhe: 1.700
Koordinaten (WGS84)	14,6607874	47,5384252	
Lageparameter	Exposition: S	Hangneigung: 24,9	Seehöhe: 1.675



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Wolf Ludwig vulgo Kölblwirt in Johnsbach

Fläche	Jägerhaus		13
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.100
Koordinaten (WGS84)	14,7053833	47,5673988	
Lageparameter	Exposition: W	Hangneigung: 10,9	Seehöhe: 1.115



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger)

Fläche	Hüpflinger Alm		14
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.300
Koordinaten (WGS84)	14,6947210	14,6947210	
Lageparameter	Exposition: SO	Hangneigung: 13,9	Seehöhe: 1.427



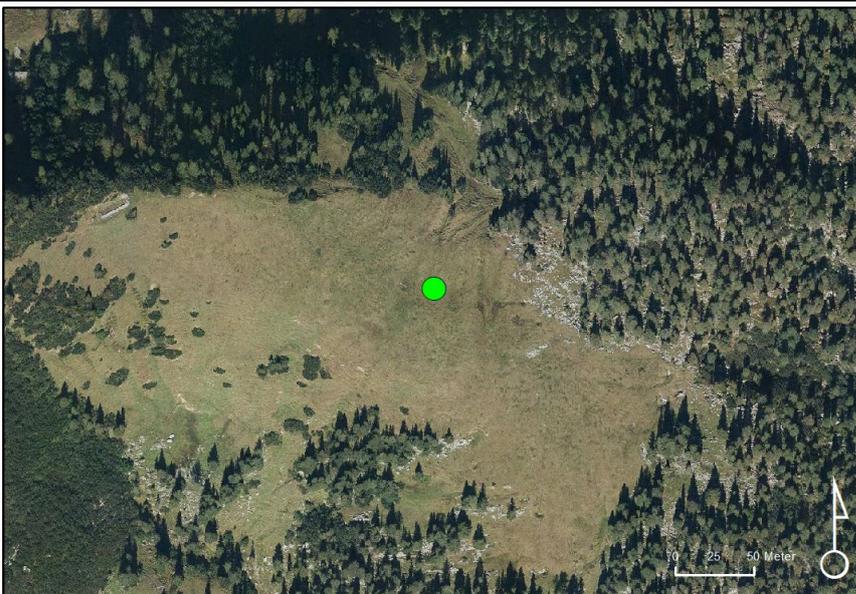
Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger), Griesebner Gerald aus Irdning

Fläche	Schwarzlacken		15
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.500
Koordinaten (WGS84)	14,6869004	47,5423910	
Lageparameter	Exposition: N	Hangneigung: 18,4	Seehöhe: 1.580



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger)

Fläche	Hüpflinger Hals		16
Modelldaten	Gestein: Kalk	Exposition: Nord	Seehöhe: 1.700
Koordinaten (WGS84)	14,6864253	47,5390406	
Lageparameter	Exposition: N	Hangneigung: 3,7	Seehöhe: 1.703



Grundbesitz bzw. Weideberechtigt: Steirische Landesforste (Forstdirektor DI Andreas Holzinger)

Abschlussbericht

ALM20

Herausgeber:

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
A-8952 Irdning-Donnersbachtal

Druck, Verlag und © 2021