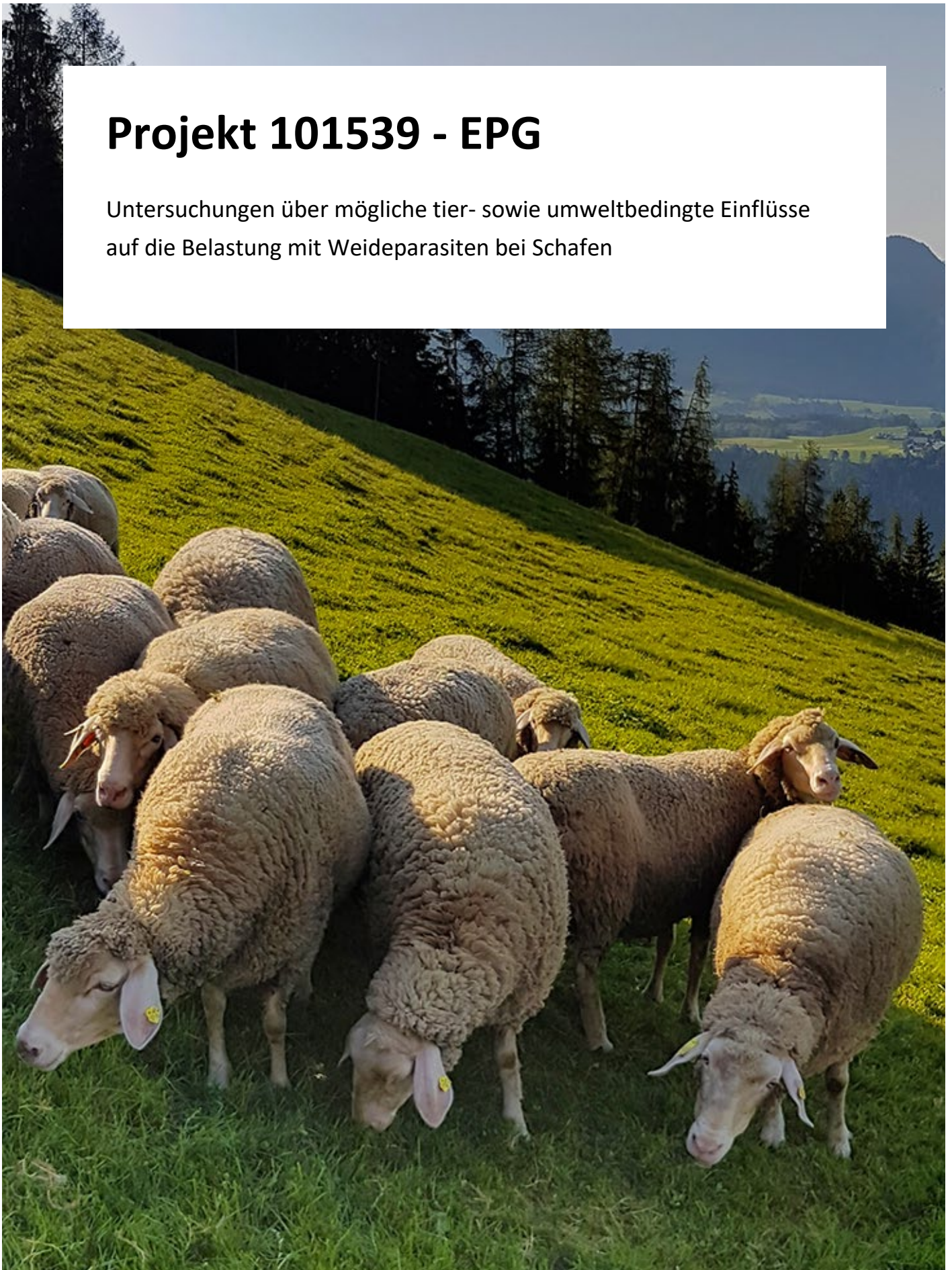


Projekt 101539 - EPG

Untersuchungen über mögliche tier- sowie umweltbedingte Einflüsse
auf die Belastung mit Weideparasiten bei Schafen



Impressum

Projektnehmer:in: HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Institut für Nutztierforschung

Adresse: Raumberg 38

Projektleiter:in: DIⁱⁿ Stefanie Gappmaier

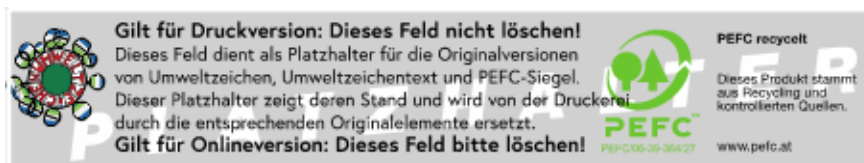
Tel.: 03682/22451-283

E-Mail: stefanie.gappmaier@raumberg-gumpenstein.at

Zitat: Guggenberger, T., F. Ringdorfer, S. Gappmaier, R. Huber, M. Naynar und L. Podstatzky, 2024: Untersuchungen über mögliche tier- sowie umweltbedingte Einflüsse auf die Belastung mit Weideparasiten bei Schafen. Forschungsbericht der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 47 S.

Projektlaufzeit: 08/2020 – 12/2024

Fotonachweis: Dr. Thomas Guggenberger



Wien, 2022. Stand: 19. November 2024

Inhalt

Zusammenfassung	5
Summary	6
1 Einleitung.....	7
2 Stand des Wissens zur Forschungsfrage	9
2.1 Schäden durch Magen-Darm-Stronglyiden	9
2.2 Entwicklung und Arten von Magen-Darm-Stronglyiden	9
2.3 Resilienz durch eine Immunantwort	11
2.4 Vererbbarkeit der Resilienz, die Fitness	12
2.5 Fitness im österreichischen Zuchtwert.....	13
2.6 Methoden zur Bestimmung des MDS-Befalls – die McMaster-Methode	14
2.7 Einflussfaktoren zur Bestimmung von EPG	15
3 These	16
4 Material und Methoden	17
4.1 Die Versuchsherde und der zeitliche Ablauf der Untersuchung.....	17
4.2 Klima am Versuchsstandort.....	18
4.3 Parameter	19
4.4 Datenaufbereitung.....	21
4.5 Klassifikationsvorschlag für eine Bewertung des Phänotyps	23
4.6 Statistisches Modell	25
4.7 Überlagerung des Jahreseffektes durch die Entwurmung	26
5 Ergebnisse.....	28
5.1 Parasitärer Befall der Muttertiere im Jahresverlauf	28
5.2 Deskriptive Darstellung von ln(EPG) der Muttertiere auf Einzeltierebene.....	29
5.3 Ergebnisse in den untersuchten Klassen der Muttertiere.....	31
5.4 Vererbte oder erworbene Resilienz.....	33
5.5 Distanzmatrix als Maß zur Bewertung von Veränderungen.....	35
6 Diskussion und Empfehlungen	37
Tabellenverzeichnis.....	41
Abbildungsverzeichnis.....	42
Formelverzeichnis	43
Literaturverzeichnis	44

Zusammenfassung

Zwischen 2019 und 2021 wurden im Forschungsprojekt DaFNE 101539 je 20 Jungschafe der Rassen Juraschaf und Tiroler Bergschaf mit guten genetischen Grundlagen, nach dem Zukauf im Versuchsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, auf ihr Futteraufnahmevermögen getestet. Die Tiere wurden unbehandelt auf die Weide gebracht und infizierten sich dort rasch mit Magen-Darm-Strongyliden (MDS). Die noch wachsenden Tiere antworteten auf diesen Befall mit unterschiedlicher Zuwachsleistung und konnten so in vier Phänotypen (leistungsschwach, leistungsstark, nicht resilient, resilient) eingeteilt werden. Aus der ersten Generation von Söhnen wurden 18 Tiere (Hammel) nach dem gleichen Verfahren belastet und ebenso in phänotypische Klassen eingeteilt. Der Korrelationskoeffizient der Phänotypen zwischen Müttern und Söhnen liegt bei nur 0,12. Da alle Tiere bis 2024 weiter beobachtet wurden, konnte im Laufe der Zeit aber beobachtet werden, dass unterschiedliche Tiere eine individuelle Immunität erwarben und der Gesamtdruck der MDS zurückging. Die in sehr kleinem Maßstab angelegte Untersuchung zeigt, dass genetische Resilienz im geringen Maß vererbt werden kann, dass vor allem aber die Förderung der individuellen Immunität zu Erfolgen führen kann. Dafür kann das gesamte Spektrum empfohlener Maßnahmen für die Schafhaltung genutzt werden.

Schlagwörter: Parasiten, Magen-Darm-Strongyliden, genetische Resilienz, Phänotypen, erworbenen Immunität

Summary

Between 2019 and 2021, in the research project DaFNE 101539, 20 young sheep of the Jura and Tyrolean Mountain breeds with good genetic backgrounds were tested for their feed intake at the agricultural research center HBLFA Raumberg-Gumpenstein. The animals were then released untreated onto the pasture, where they quickly became infected with gastrointestinal strongyles (GIS). The still-growing animals responded to this infestation with varying growth performance and could thus be divided into four phenotypes (low performance, high performance, non-resilient, resilient). From the first generation of offspring, 18 animals (rams) were exposed to the same conditions and similarly classified into phenotypic categories. The correlation coefficient of phenotypes between mothers and their offspring is only 0.12. However, since all animals were monitored until 2024, it was observed over time that different animals acquired individual immunity, and the overall pressure of the GIS decreased. The small-scale study shows that genetic resilience can be inherited to a small extent, but that promoting individual immunity can lead to success. For this purpose, the entire spectrum of recommended measures for sheep farming can be utilized.

Keywords: parasites, gastrointestinal strongyles, genetic resilience, phenotypes, acquired immunity

1 Einleitung

Die Haltung von Mutterschafen zur Produktion von Lämmern ist die dominante Produktionsform der Schafhaltung in Österreich. Diese Form entspricht den Bedürfnissen der meist rund 12.500 in Nebenerwerb geführten Betriebe (BML 2024), weil eine extensive Winterhaltung auf der Basis von betriebseigenem Grundfutter mit einer möglichst langen Weideperiode kombiniert werden kann. Idealerweise trifft in der Periode der frühen Weidesaison das zu diesem Zeitpunkt hochwertige Weidefutter auf den ebenso hohen Nährstoffbedarf der Muttertiere in der Frühphase ihrer Laktation.

Als Antagonist dieser günstigen Ausgangslage treten bei Schafen und anderen Wiederkäuern verschiedene Weideparasiten auf. Diese befallen die Tiere selbst bei guter Vorsorge und Weideführung mit sehr hoher Sicherheit in einer breit variierenden Intensität. Das Ausmaß des Befalls hängt vom Zeitpunkt im Jahr, von der Besatzdichte der Tiere auf den Flächen, von den Flächen selber und vor allem auch von der klimatischen Entwicklung im Weidejahr ab. Die Wirkungen des Befalles am Tier sind ebenso vielfältig. Sie reichen von hoher Resilienz bis zum Tod.

Eine ganze Reihe von Managementmaßnahmen, aber auch die Unterstützung der Tiermedizin helfen den Schafhaltern bei der Regulierung der Intensität des parasitären Befalls. Ebenso vielfältig sind jene Möglichkeiten, die am Betrieb für eine gute Allgemeingesundheit der Tiere geleistet werden können. Unter Ausnutzung dieser Möglichkeiten konnte schon immer unter praktischen Bedingungen beobachtet werden, dass zumindest bis zu einer mittleren Intensität des Parasitenbefalles, eine hohe Elastizität in der Resilienz des Einzeltieres besteht. Idealerweise antworten Tiere selbst bei hohem Parasitendruck mit geringen Leistungsdepressionen und leben mit den Parasiten in einer verträglichen Gemeinschaft.

Alle bisher aufgezählten Aspekte sind von hoher Relevanz in der Praxis. Dieses Bewusstsein hat zum Antrag und zur Umsetzung des vorliegenden Forschungsprojektes geführt. Das Projekt wurde so angelegt, dass Jungschafe ohne Vorbelastung ihre Erstinfektion auf Weiden der HBLFA Raumberg-Gumpenstein erlebten. Der Verlauf des parasitären Befalles (Art und Intensität) und dessen Auswirkung auf die Entwicklung der Tiere der Rassen Juraschaf und Tiroler Bergschaf wurden im ersten Jahr besonders genau untersucht. Je nach Entwicklung wurde die Beobachtung dieser Tiere für weitere drei Sommer fortgeführt. Besonderes Interesse hatte die Weitergabe von Eigenschaften der Muttertiere an ihre Nachkommen. Ein

Teil der Söhne der F1-Generation wurde in zwei aufeinander folgenden Jahren genau wie ihre Mütter untersucht. Es stellte sich die Frage, ob erfolgreiche, also resiliente Mütter ihre Eigenschaften über Jahre verändern und diese auch an die Söhne weitergeben können. Das gesammelte Datenmaterial des Projektes brachte zusätzliches Wissen über die Entwicklung des parasitären Befalls von Schafen mit Weideparasiten und deren individuelle Antwort über die Jahre ihres Lebens hervor.

2 Stand des Wissens zur Forschungsfrage

2.1 Schäden durch Magen-Darm-Strongyliden

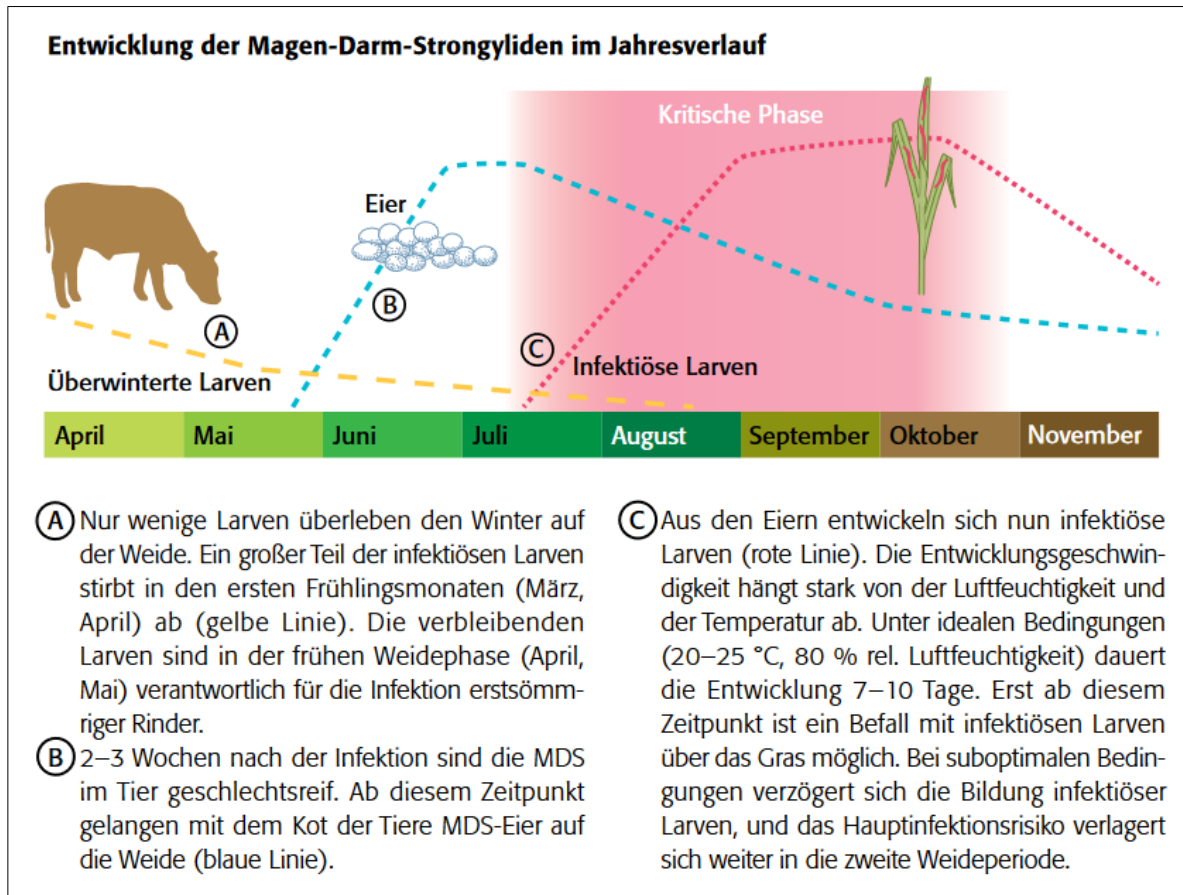
Magen-Darm-Strongyliden (MDS) zählen zum Stamm der Nematoden (Rundwürmer), Familie der Trichostrongylidae und verursachen eine Vielzahl von Schäden im Organismus von Schafen und Ziegen. Diese Schäden resultieren aus der parasitären Lebensweise der Würmer in verschiedenen Abschnitten des Magen-Darm-Trakts. Der rote, gedrehte Labmagenwurm schädigt die Säure produzierenden Belegzellen im Labmagen, was zu einem Anstieg des pH-Wertes führt. Dies beeinträchtigt die Proteinverdauung (Schnieder 2006). Die durch die Parasiten verursachten Schleimhautläsionen führen zu chronischen Entzündungen, Permeabilitätsstörungen und Proteinverlusten (Schnieder 2006). Kleinere Rundwürmer (MDS) verschiedener Art führen im Dünndarm zu einer Verdickung der Darmwand, Zottenatrophie und zur Zerstörung der Mukosa. Diese Veränderungen führen auch hier zu Enteritis und verminderter Resorptionsfähigkeiten, was die Nährstoffaufnahme beeinträchtigt (Deplazes et al. 2012). Ähnliches finden wir auch im Dickdarm. Dort werden Schleimhautentzündungen, Blutungen und die Bildung von Knötchen in der Submukosa des Dickdarms diagnostiziert. Durchfall führt in Folge zu Nährstoff- und Wasserverlusten (Deplazes et al. 2012). Sowohl der Verlust an Blut als auch der gestörte Stoffwechsel führen zu Schwäche und Wachstumsstörungen. Bei Jungtieren führen diese auch zum Tod (Schnieder 2006). Jedenfalls schwächt eine Infektion mit MDS das Immunsystem, insbesondere während Stressphasen wie der Geburt, Laktation oder bei schlechter Ernährung. Dies führt dazu, dass das Tier anfälliger für weitere Infektionen und Krankheiten wird (Vlassoff et al. 2001). Wirtschaftliche Schäden sind sicher (Sargison et al. 2007). Zusammenfassend verursachen MDS sowohl direkte Schäden durch die Zerstörung der Magen- und Darmschleimhaut und Blutverluste als auch indirekte Schäden durch Störungen des Verdauungs- und Stoffwechselsystems, reduzierte Nahrungsaufnahme, Wachstumshemmung und Schwächung des Immunsystems.

2.2 Entwicklung und Arten von Magen-Darm-Strongyliden

Der Lebenszyklus der MDS ist monoxen, d.h., er findet ohne Zwischenwirt statt und besteht aus einer äußeren (externen) und einer inneren (internen) Entwicklungsphase. Die äußere

Entwicklungsphase beginnt mit der Ausscheidung der Eier über den Kot des Wirtes (Schnieder 2006). In der Umgebung schlüpfen aus den Eiern die Larven des ersten Larvenstadiums (L1). Diese Larven häuten sich nach einer Wachstumsphase im Kot zu Larven des zweiten Larvenstadiums (L2). Anschließend folgt eine weitere Häutung zur infektiösen dritten Larve (L3), die auch als Dauer- oder Ansteckungsstadium bezeichnet wird (Deplazes et al. 2012). Diese L3-Larven sind beschichtet, also durch eine schützende Hülle umgeben, und stellen die infektiöse Phase dar. Sie benötigen ausreichend Feuchtigkeit und Temperaturen für ihre Entwicklung, wobei die bevorzugten Temperaturbedingungen je nach MDS-Art variieren (Schnieder 2006). Die infektiösen L3-Larven müssen auf Futterpflanzen gelangen, die weiter entfernt vom Kot sind, da Wiederkäuer das Gras in der Nähe von Fäkalien meiden. Dies geschieht beispielsweise durch Regentropfen, die die Larven verteilen, oder durch Flüssigkeitsfilme, in denen sie aktiv wandern können (Schnieder 2006). Die Aufnahme erfolgt oral durch den Wirt (Schnieder 2006, Vlassoff et al. 2001). Nach der oralen Aufnahme gelangen die Larven in den Magen-Darm-Trakt des Wirtes. Hier schlüpfen sie, abhängig von ihrem Zielorgan, entweder im Pansen, im Labmagen oder in einem entsprechenden Darmabschnitt. Diese Schlüpfreaktion wird durch Änderungen der Kohlendioxidkonzentration, Temperatur und des pH-Wertes ausgelöst (Vlassoff et al. 2001). Anschließend entwickeln sich die Larven in den Organen, in denen die adulten Würmer später parasitieren. Dabei siedeln sich die L3-Larven im Labmagen in den Drüsenlumina oder Mukosakrypten (z.B. *Haemonchus contortus*, *Trichostrongylus axei*) an oder im Dünndarm in den Lieberkühnschen Krypten (z.B. *Cooperia* spp., *Nematodirus* spp.) (Deplazes et al. 2012). Während dieser „paramukosalen Phase“ erfolgt die Häutung zur vierten Larve (L4). Anschließend siedeln sich die Larven an der Mukosaoberfläche an, wo sie zur geschlechtsreifen Adultenform heranwachsen (Deplazes et al. 2012). Die Präpatenz, also die Zeit von der Aufnahme der infektiösen L3 bis zur ersten Eiausscheidung, beträgt je nach Spezies zwischen zwei und vier Wochen (Schnieder 2006). Die L3-Larven der meisten MDS-Arten können auf Weiden überwintern, auch in den nördlichen Regionen Europas. Einige Arten, wie *Haemonchus contortus*, nutzen jedoch auch den Wirt für ihre Überwinterung, indem sie in eine Phase der Hypobiose eintreten (Sargison et al. 2007). Dabei wird die Weiterentwicklung der Larven im dritten, vierten oder präadulten Stadium vorübergehend gehemmt. Dieses Verhalten ermöglicht es den Parasiten, ungünstige Umweltbedingungen zu überdauern und sich zu einem späteren Zeitpunkt weiterzuentwickeln (Deplazes et al. 2012). Das Immunsystem des Wirtes spielt eine wichtige Rolle, indem es die Parasiten im Gewebe hemmen kann (Bostedt und Dedié 1996).

Abbildung 1: Entwicklung der Magen-Darm-Strongyliden im Jahresverlauf (HECKENDORN und FRUTSCHI 2014)



2.3 Resilienz durch eine Immunantwort

Schafe und Ziegen können eine Immunität gegen MDS entwickeln, wenn sie wiederholt und in einem geringen Maß mit den infektiösen Larven der Parasiten in Kontakt kommen (Bath 2014). Bei Schafen entwickelt sich diese Immunität in der Regel ab einem Alter von fünf bis neun Monaten (Schnieder 2006). Diese Immunität ist jedoch nicht vollständig schützend. Auch erwachsene Tiere können noch befallen werden und eine große Anzahl von Parasiten-Eiern ausscheiden (Hertzberg und Sager 2006). Das bedeutet, dass infizierte Tiere zwar nicht unbedingt krank werden, jedoch weiterhin lebende MDS in ihrem Körper beherbergen. Die Immunantwort kann sich durch verschiedene Mechanismen äußern, wie eine Verminderung der Ansiedlung von Larven, eine Hemmung der Entwicklung von Parasiten, eine Reduktion des Wachstums der Parasiten oder eine geringere Produktion und Ausscheidung von Eiern. Zudem kann das Immunsystem dazu beitragen, erwachsene Parasiten teilweise zu eliminieren (Deplazes et al. 2012). Stärkere Immunität findet sich bei extensiven, nicht

weit gezüchteten Rassen, bei älteren Tieren, bei weiblichen Tieren und bei Tieren im guten Ernährungszustand.

2.4 Vererbbarkeit der Resilienz, die Fitness

Resilienz gegen MDS ist mit eher geringer Heritabilität vererbbar, wobei sowohl die Resistenz (die Fähigkeit, eine Infektion abzuwehren) als auch die Resilienz (die Fähigkeit, mit einer Infektion ohne erhebliche Beeinträchtigung zu leben) genetische Komponenten aufweisen. Obwohl wegen der Linienzucht in Österreich noch mit wenig Bedeutung ausgestattet, scheint es, der Literatur folgend, möglich zu sein, eine Selektion von Tieren mit einer höheren Widerstandsfähigkeit gegen MDS durchzuführen. Global betrachtet spielen dabei traditionelle Rassen, z.B. das Red Maasai-Schaf in Afrika eine Rolle. Innerhalb einer Herde gibt es erhebliche individuelle Unterschiede in der Empfänglichkeit gegenüber Parasiten. Einige Tiere weisen eine geringere Eiausscheidung und weniger klinische Symptome auf, selbst wenn sie in einem befallenen Umfeld leben. Diese Unterschiede sind teilweise auf die genetische Veranlagung der Tiere zurückzuführen, vermischen sich aber auch stark mit der individuell erworbenen Immunantwort. Für die Selektion einzelner Tiere muss eine laufende Untersuchung des Befalles (z.B. EPG) und eine Diagnostik über dem Zustand der Tiere vorliegen. Potenzielle Tiere für eine selektive Zucht haben eine niedrigere Eiausscheidung, gute Körperkondition und geringe Anfälligkeit für klinische Symptome oder leisten bei gegebenem Befall hohen Widerstand gegen Krankheitsbilder und Leistungsabfall. Die Erbllichkeit der Resilienz gegen MDS ist, obwohl mittel bis niedrig, aber dennoch ausreichend, um durch Zuchtprogramme schrittweise Verbesserungen in einer Population zu erzielen. Jedenfalls soll auch in Österreich mit einer Zucht begonnen werden, bzw. ist diese zu intensivieren, weil die derzeit verwendete Tierarzneimittel durch immer häufiger auftretende Resistenzen der MDS zunehmend wirkungslos werden.

Zur Frage der Heritabilität legte Hayward (2022) eine Metaanalyse unter dem Titel „Genetic parameters for resistance to gastrointestinal nematodes in sheep“ vor. Diese Arbeit integriert aus 122 wissenschaftliche Arbeiten 559 genetische Korrelation mit der Leistung der Tiere und erstellt daraus eine Schätzung für die Verwertbarkeit der Resilienz gegen Befall mit MDS. Als Heritabilität wird von Hayward ein Wert von 0,25 (95 % Konfidenzintervall = 0,22 - 0,27) bei einer globalen Korrelation von +0,1 zwischen Resistenz und der Leistung der Tiere angegeben. Die Meta-Studie referenziert sich in ihrem Ursachen-Wirkungs-Prinzip auf phänotypische Merkmale, die sich aus der Beziehung des Befalles (Methoden dazu im nächsten Absatz) zur Leistung der Tiere ergeben. Die von Hayward angegebene Heritabilität

von 0,25 liegt im Bereich der Vererbbarkeit der Persistenz (0,2). Gut vererbbare Eigenschaften liegen bei bis zu 0,5 und sind meist Leistungsparameter (Milchmenge, Inhaltstoffe, Tageszunahmen, ...). Eine sehr schwache Heritabilität von 0,05 hat die Fruchtbarkeit der Tiere (Fürst-WALTL und Fürst 2017).

Die direkte genetische Selektion von Tieren die gegenüber MDS resistenter sind, scheitert derzeit noch an der Festlegung der bestimmenden Marker. Hunt et al. (2008) grenzte in seiner Arbeit „Future perspectives for the implementation of genetic markers for parasite resistance in sheep“ zwar den Bereich möglicher Gensequenzen in den Bereich der MHC-Klasse-II-Genen (Major Histocompatibility Complex) ein, teilt aber gleichzeitig mit, dass eine Resistenz den gesamten Komplex aller am Immunsystem beteiligten Gene benötigt. Deren Suche ist ein fortlaufender Prozess und zugleich die Suche nach Fitness. Diese ist in Österreich im Gesamtzuchtwert der Tiere bereits enthalten.

2.5 Fitness im österreichischen Zuchtwert

Der Zuchtwert für Schafe setzt sich aus verschiedenen Parametern zusammen, die je nach Rasse und Nutzungsrichtung variieren. Die Auswahl der Einzelzuchtwerte beruht grundsätzlich auf der Leistung der Schafe (Fürst-Walzl et al. 2016) und orientiert sich an der Zuchtwertschätzung beim Rind (Fürst et al. 2021). Kürzlich wurde die Nutzungsdauer und die Exterieurbewertung als Parameter in den Gesamtzuchtwert aufgenommen (Fürst-Walzl und Fürst 2022). Bei Milchrassen (Lacaune und Ostfriesisches Milchschaaf) ist die Milchleistung ein wesentlicher Parameter. Die Anzahl der Lebenstage ab der ersten Ablammung wird genutzt, um die Nutzungsdauer im Zusammenhang mit der Milchleistung zu bewerten. Die relative Leistung innerhalb der Herde wird ebenfalls berücksichtigt, indem sie in Klassen unterteilt wird, um Unterschiede in der Leistung der Tiere auszugleichen. Neu ist die Nutzungsdauer als Fitnessmerkmal. Die Nutzungsdauer wird als Anzahl der Lebenstage (bei Milchrassen) oder die Anzahl der Ablammungen (bei Rassen ohne Milchleistung) in festgelegten kumulativen Zeitabschnitten erfasst. Gesundheitsaspekte, wie die allgemeine Fitness und Langlebigkeit, fließen ebenfalls in den Zuchtwert ein, da sie die Wahrscheinlichkeit beeinflussen, dass ein Tier ein hohes Alter und damit eine längere Nutzungsdauer erreicht. Die Exterieurbewertung ergänzt die Parameter, um Linien mit Fehlern in Rahmen, Form, Fundament oder Wolle auszumerzen. In der aktuellen Gewichtung des Gesamtzuchtwertes wird die Fitness in ihrer Gesamtheit gleich oder nur geringfügig geringer als die Leistungsparameter bewertet (Lang et al. 2017).

2.6 Methoden zur Bestimmung des MDS-Befalls – die McMaster-Methode

Zur Bestimmung des MDS-Befalls bei Schafen werden Kotprobenanalysen, molekularbiologische Methoden und allgemeine klinische Methoden verwendet. Je nach Methode werden für die Kotprobenanalyse die Proben aufbereitet, um dann im Mikroskop die Eier bzw. die MDS zu zählen. Verbreitet sind das Sedimentations- und Flotationsverfahren, die McMaster-Methode und das Anlegen von Larvenkulturen. Molekularbiologische Methoden nutzen PCR, um MDS genetisch nachzuweisen, klinische Methoden der Tiermedizin bestimmen den Grad des Befalles indirekt über die Blutarmut (z.B. FAMACHA-Methode) oder über anderer indirekte Merkmale (z.B. Five Point Check). Die in diesem Projekt genutzte Nachweismethode ist die McMaster-Methode. Sie ist ein quantitatives Verfahren zur Bestimmung der Anzahl von Wurmeiern (Eizahl) in Kotproben. Dieses Verfahren wird in der Veterinärmedizin häufig eingesetzt, da es relativ einfach, kostengünstig und schnell durchzuführen ist. Für die Untersuchung ist eine frische Kotprobe (3-5 Gramm) zu nehmen und in einem dichten Flotationsmedium gründlich aufzulösen. Daraus wird eine gewisse Menge in die McMaster-Kammer pipettiert. Die Eier, die nach einer 5-minütigen Wartezeit nach oben schwimmen, können nun gezählt werden. Diese Kammer ist ein Hilfsmittel, das bei genormten Volumen eine Zählstruktur bereitstellt. Das Zählergebnis kann über das Volumen auf die Einheit Eier pro Gramm (EPG) hochgerechnet werden. Die McMaster-Methode liefert eine quantitative Einschätzung des Parasitenbefalls. Sie ist besonders nützlich zur Überwachung des Befallsgrades in Tierbeständen und zur Bestimmung des Behandlungsbedarfs. Bei Schafen und Ziegen besteht eine gute Übereinstimmung zwischen der Höhe der Eiausscheidung und dem Befall mit MDS.

Taylor (2010) beschreibt eine mögliche Klassifikation von EPG-Daten in vier (McMaster 1) bzw. in zwei Klassen (McMaster 2). Als wesentliche Abgrenzung gilt bei beiden Varianten ein Wert von EPG 500. Unter diesem Wert wird vom Infektionsgrad 1, darüber vom Infektionsgrad 2 gesprochen. McMaster 1 unterteilt den Infektionsgrad 1 in die Kategorie negativ (0-49 EPG) bzw. leichte Infektion (50-499 EPG) und den Infektionsgrad 2 in die Kategorie moderate Infektion (500-999 EPG) bzw. starke Infektion (≥ 1000 EPG).

2.7 Einflussfaktoren zur Bestimmung von EPG

Auf der Basis des Entwicklungszyklus von MDS kann der Jahresverlauf als wesentlich bestimmende Größe definiert werden. Heckendorn und Frutschi (2014) zeigen in der im Original übernommenen Abbildung 1 die Dynamik. Überwinterter Larven führen bei den Weidetieren sofort zur Erstinfektion. Die MDS entwickeln sich rasch und schon ab Mitte Mai werden frische Eier erzeugt. Ab Mitte Juli ist mit ersten Neuinfektionen aus diesen Eiern zu rechnen. Ab diesem Zeitpunkt ist ein exponentielles Wachstum im Befall möglich. Die Larven der MDS sterben erst bei entsprechendem Frost wieder ab.

Magen-Darm-Strongyliden (MDS) schädigen Schafe und Ziegen, indem sie die Magen- und Darmschleimhaut zerstören, die Physiologie der Tiere belasten, die Proteinverdauung stören, Blut saugen und zu chronischen Entzündungen, Nährstoffmangel und Schwächung des Immunsystems führen. Der Lebenszyklus der MDS verläuft über verschiedene Larvenstadien, bis sie sich im Darm des Wirtes ansiedeln. Schafe und Ziegen können eine teilweise Immunität entwickeln, wobei die Resilienz genetisch geringfügig vererbbar ist. Durch selektive Zuchtprogramme kann die Resistenz schrittweise verbessert werden. Weil genomische Selektionsmerkmale kaum bekannt sind, werden derzeit vor allem phänotypische Erscheinungen zur Selektion verwendet. Im österreichischen Zuchtwert für Schafe und Ziegen steht die Fitness stellvertretend für diesen Bereich. Grundvoraussetzung für eine Weiterentwicklung der Frage um MDS in der phänotypischen Selektion wäre eine kontinuierliche Information über den Befall der Zuchttiere. Das Verfahren McMaster scheint dafür gut geeignet.

3 These

Aus wissenschaftlichen Arbeiten geht hervor, dass Parasitenresilienz weitervererbt werden kann (Hayward 2020). Weiters scheint die Zucht auf MDS resiliente Tiere mittels genetischem Marker noch nicht zielführend (Hunt et al. 2008). Trotzdem lassen sich anhand von phänotypischen Merkmalen (Fitnessparametern) genetische Veranlagungen zur Zucht resilienter Tiere ableiten. Der Vergleich dieser Phänotypen über Generationen (Muttertiere vs. Nachkommen) erlaubt eine Beurteilung der Vererblichkeit.

4 Material und Methoden

4.1 Die Versuchsherde und der zeitliche Ablauf der Untersuchung

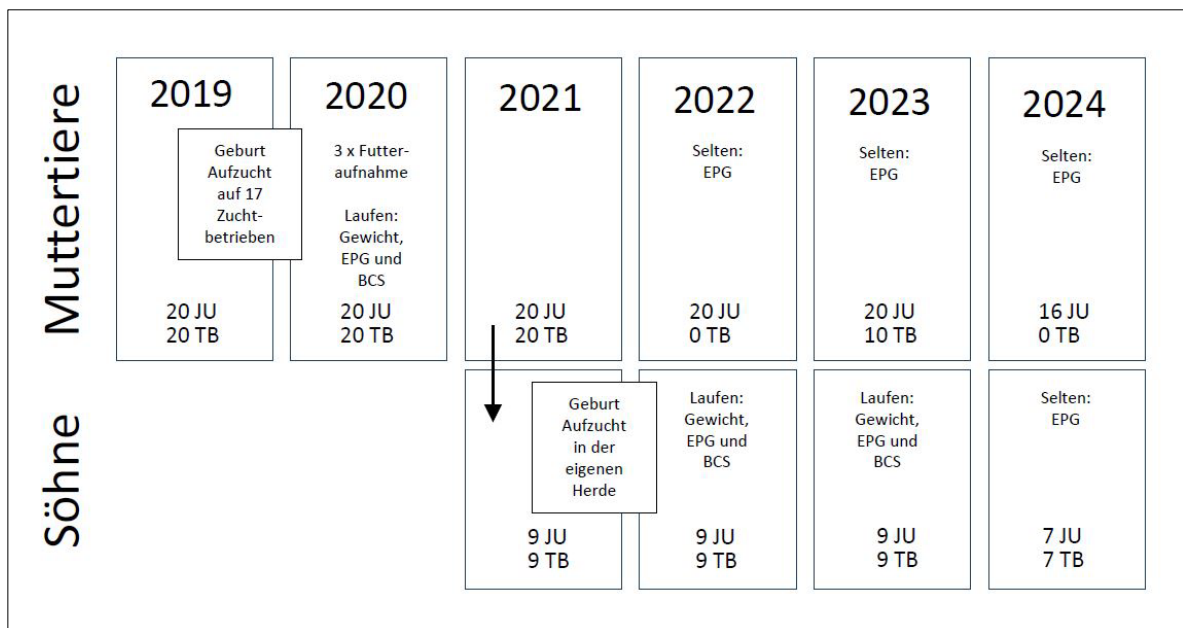
Die ungünstige Altersstruktur der Tiere nach dem Ende des lang andauernden Effizienzversuches führten im Jahr 2019 zur Entscheidung einer Neuerrichtung des gesamten Tierbestandes in der Abteilung Schafe und Ziegen. Diese Gelegenheit bildete die Basis für das Forschungsprojekt DaFNE 101539, weil mit der Beschaffung der Tiere von möglichst vielen verschiedenen Betrieben eine Verbreiterung der genetischen Basis der Schafherde verbunden ist. In einer strukturierten Suche wurden für den Aufbau der neuen Herde je 20 Jungtiere der Rassen Tiroler Bergschaf und Juraschaf von am Betrieb auffällig vitalen Müttern ausgewählt. Die insgesamt 40 Tiere stammten von unterschiedlichen Betrieben, wobei maximal 4 Tiere vom selben Betrieb abstammten. Diese 40 weiblichen Jungtiere bildeten die Basis des vorliegenden Versuches (Abbildung 2). Weil sie, wie später in den Daten gezeigt, mehrjährig beobachtet wurden, werden diese Tiere auch als Mütter angesprochen. Selbst dann, wenn sie zum Zeitpunkt der ersten Beobachtung noch keine Nachkommen hervorgebracht hatten.

Aufzucht der Muttertiere: Die Jungtiere wurden Anfang April 2020 in den neu adaptierten Versuchsstall eingestellt, wo im April und Mai 2020 das Futteraufnahme-potenzial erstmalig erhoben wurde. Zu diesem Zeitpunkt hatten die Juraschafe im Mittel ein Gewicht von 45 kg, die Tiroler Bergschafe waren um 5 kg schwerer. Direkt anschließend wurden die Tiere nach einer kurzen Übergangszeit auf Vollweide umgestellt. Als Weideflächen dienten verschiedene Versuchspartzen des Instituts für Nutztierforschung. Alle Flächen wurden in den letzten Jahrzehnten regelmäßig beweidet und lagen im Umfeld der Stallgebäude. Die Weiden wurden als Standweiden geführt, wobei die ortsübliche Nutzungsintensität Weidereste von maximal 20 % vorsah. Auf den einzelnen Partzen wurde den Tieren ausreichend Wasser und Schutz vor Hitze angeboten. Mit Ende September 2020 wurde die Weideperiode beendet und die Tiere wurden wieder im Forschungsstall der HBLFA Raumberg-Gumpenstein untergebracht. Die Tiere wurden nun auf Winterfütterung umgestellt. Die Belegung der Jungschafe erfolgte im Oktober 2020 mittels Jura- bzw. Tiroler Bergschaf-Widder für eine reinrassige Nachzucht. Im Dezember 2020 bzw. Jänner 2021 wurde das Futteraufnahmevermögen der nun erwachsenen Muttertiere noch einmal untersucht. Bis dorthin hatten die Tiere an Gewicht zugelegt. Die Juraschafe wogen nun im Mittel 50 kg, die Tiroler Bergschafe 58 kg. Im Verlauf des Jahres

2021 brachten die Jungtiere ihre Lämmer (F1-Generation) zur Welt. Beeinflusst durch Covid19 wurde im Jahr 2021 kein weiterer Futteraufnahmeversuch gemacht. Die Tiere verbrachten aber den Sommer auf den im Versuch vorgesehen Weiden. Die Kotuntersuchungen wurden in etwas geringerer Dichte weiter durchgeführt.

Aufzucht der F1-Generation: Die erste Generation an Lämmern (genauer die männlichen Nachkommen, die kastriert wurden) wurden für das Projekt EIP-Weideinnovationen im Stall aufgezogen und im Jahr 2022 erstmals auf eine neu angelegte Weide gebracht. Auch bei den Söhnen wurden die Gewichtsentwicklung und der Parasitenbefall genau erhoben. Im Jahr 2023 wurde die Weide mit der F1-Generation in leicht adaptierter Form weitergeführt. Bis zum Jahr 2024 wurden die verbleibenden Hammel (F1-Generation) und die noch lebenden Muttertiere weiter im Sommer auf die Weide gebracht, um gelegentlich den Parasitenbefall zu untersuchen.

Abbildung 2: Versuchsablauf

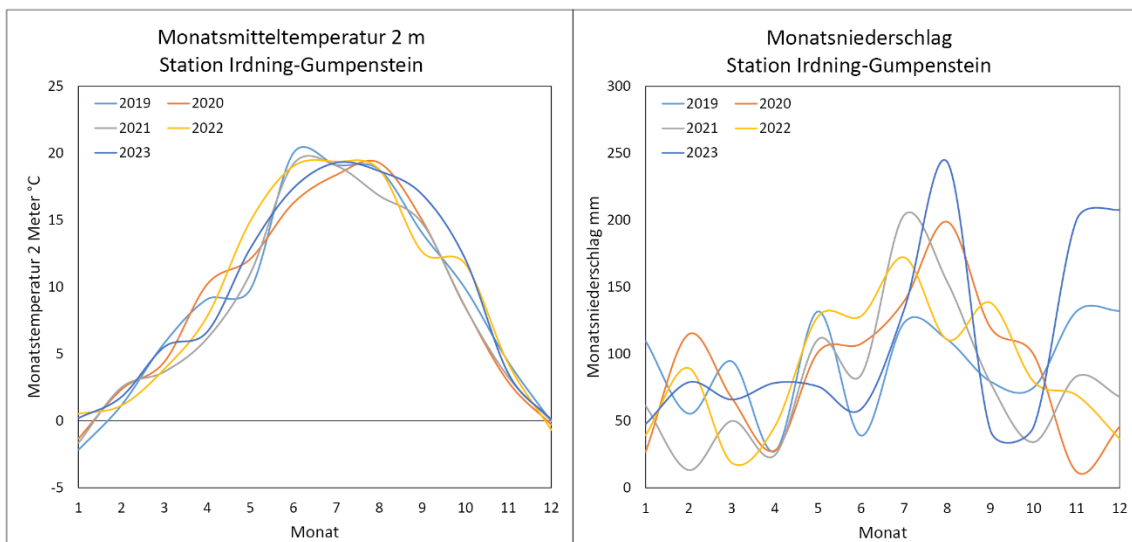


4.2 Klima am Versuchsstandort

MDS sind stark vom Klima am Standort abhängig. Im Larvenstadium wird ihre Infektionschance durch Niederschläge bei vegetationsfähigen Temperaturen gefördert. Abbildung 3

zeigt die Monatsmittelwerte der 2 Meter Lufttemperatur bzw. die Niederschlagssumme eines Monats am Standort Irdning-Gumpenstein, aus dem Messnetz der Geosphere Austria. In der typischen funktionalen Temperaturkurve fallen uns als Anomalien ein kalter Mai im Jahr 2023 bzw. ein kalter Juni in den Jahren 2019 bzw. 2020 auf. Der September 2022 war auch sehr kühl. Dazu kommt ein heißer Juni in den Jahren 2019 und 2021. Der Winterniederschlag in Abbildung 3 ist für das Infektionsgeschehen von geringer Bedeutung. Der Standort friert jeden Winter vollständig durch. Häufig nach der Schneeschmelze ist der April recht trocken, ebenso der September/Oktober. In den Sommermonaten schwankt der Niederschlag stark, allerdings fällt immer ausreichend Niederschlag.

Abbildung 3: Temperatur und Niederschlag am Versuchsort



4.3 Parameter

Angepasst an die Zeitleiste der Untersuchung wurden Parameter aus verschiedenen Bereichen der Entwicklung der Jungschafe erhoben. Diese Bereiche decken die Entwicklung der Tiere selber, aber auch den Parasitendruck auf der Weide, ab. Folgende Parameter wurden erhoben und stehen für die Untersuchung von Wirkungseffekten zur Verfügung:

- Das Lebendgewicht der Tiere: Die Tiere wurden mit einer elektronischen Ohrmarke versehen und wöchentlich gewogen (Wiegesystem Gallagher). Aus dem Lebendgewicht und dem Wiegedatum kann die Gewichtsentwicklung als tägliche Zunahme in Gramm abgeleitet werden.

- Die Körperkondition der Tiere: Jedes Tier wurde einmal im Monat nach der Methode BCS in seiner Körperkondition bewertet. Das Wachstum der Tiere wurde zusätzlich durch eine Reihe von Körpermaßen dokumentiert (Brust- und Bauchumfang, Beckenbreite, Kreuzhöhe und Kreuzlänge).
- Das Futteraufnahmepotenzial der Tiere: Nach dem Erhalt der Jungschafe im April 2020 wurde das reine Grundfutteraufnahmepotenzial der Tiere erhoben. Im Dezember 2020, die Tiere waren zu diesem Zeitpunkt bereits trächtig, wurde die Futteraufnahme von Heu bei einer gleichzeitigen Gabe von rund 15 % Kraftfutter erhoben. Die Brutto-Futtermengen wurden mit dem täglichen Trockenmassegehalt in die Trockenmasseaufnahme umgerechnet. Die Weender-Nährstoffe wurden untersucht und der Energiegehalt bestimmt.
- Der Parasitenbefall der Tiere: Zur Zählung der Eier mit der Methode EPG (Eier pro Gramm) wurde den Tieren wöchentlich rektal Kotproben mit einem Latexhandschuh entnommen. Dieser diente zugleich als Probenbehälter zum Weitertransport in das Labor. Im Labor wurden die Arbeitsschritte der nachfolgenden Aufzählung umgesetzt:

Arbeitsanleitung:

1. Kotprobe im Latexhandschuh gut durchmischen, Kügelchen zerdrücken
2. 2 - 4 Gramm Kot einwiegen
3. 60 ml gesättigte NaCl-Lösung dazu geben
4. Mit Magnetrührer gut durchmischen
5. Lösung durch Sieb abseihen
6. Flüssigkeit gut durchmischen und mit Pipette eine Probe ziehen und eine Zählkammer damit befüllen. Pipettenrest zurückgeben, gut durchmischen und eine weitere Probe für die 2. Zählkammer ziehen
7. Die Zählkammer ca. 2 - 3 Minuten ruhen lassen
8. Im Mikroskop die Eier zählen
9. EPG nach Formel 1 berechnen

Formel 1: Berechnung Eier pro Gramm (EPG) (MEINDL)

$$\text{Eier pro Gramm (EPG)} = \frac{\text{Anzahl der Eier} \times \text{Volumen}}{\text{Kotmenge (g)} \times \text{Zählfelderanzahl} \times 0,15}$$

4.4 Datenaufbereitung

Die Ergebnisse des Futteraufnahmevermögens der Muttertiere wurde zu einem Mittelwert pro Untersuchungszeitraum zusammengeführt (FutteraufnahmeStart, Futteraufnahme-Ende). Die wöchentlichen Wiege- und EPG-Ergebnisse wurden nach ihrer Kalenderwoche klassifiziert. Ausreißer, die über das 2-Sigma-Niveau einer dynamischen Funktion hinausragen, wurden entfernt. Diese Maßnahme wurde bei der Zählung der Parasiten auf $\log(\text{EPG})$ angewandt. Nach der Untersuchung der Rohdaten wurde die zeitliche Dynamik der Kalenderwochen für die statistische Analyse noch weiter aggregiert. Zuerst wurden je drei Kalenderwochen zu einer Einheit zusammengefasst und in Folge mehrere dieser Einheiten zu einer Periode. Die Periodenabgrenzung in Tabelle 2 wurde über die Gewichtsentwicklung der Tiere vorgenommen. Die Weideperiode 1 entspricht dem Zeitraum zwischen Anfang Mai und Anfang Juli. Diese Zeit ist besonders kritisch, die Tiere werden rasch von den Parasiten befallen. Das noch junge Weidefutter ist ernährungsphysiologisch hochwertig, treten aber erste Erkrankungen (Durchfall) auf, dann erhöht sich die Passagerate durch den Verdauungstrakt bei hohem Protein- und Zuckergehalt noch weiter. Die Weideperiode 1 ist sicherlich auch später bei den Mutterschafen die kritischste Periode, weil durch die Milchproduktion in diesem Zeitraum ein hoher Nährstoffbedarf besteht. Alle genannten Effekte führen dazu, dass die Tiere in dieser Zeit kaum Zunahmen erzielen. In normalen, trockenen Sommern und im zunehmend reiferen Futter treten die Tiere im Hochsommer in einer weniger belastenden Zeit ein, da die Tiere besser mit der Parasitenbelastung zurechtkommen. Diese hier als Weideperiode 2 gekennzeichnete Zeit dauert bis zum Weideende. Die Tiere legen (kompensatorisch) an Körpergewicht zu. Danach schließt die Stallperiode als Winterfutterperiode an. Die Unterteilung des Weidesommers nach Tabelle 1 wurde auch für die Söhne (F1-Generation Hammel) im EIP-Projekt Weideinnovationen aufrecht gehalten.

Tabelle 1: Aggregation der Kalenderwoche zu Untersuchungsperioden

Kalenderwoche	Periode
17-19	Weideperiode 1
20-22	
23-25	
26-28	
29-32	Weideperiode 2
33-35	
36-38	
39-42	Stallperiode
43-45	
46-48	
49-51	

Im nächsten Absatz wird gezeigt, dass für die Untersuchung verschiedener Klassen ein allgemeines lineares Modell verwendet wird. Dessen Nutzung und Konfiguration wird erst dann möglich, wenn sich die zu untersuchende Parameter linear verhalten. Für solche Parameter gilt, dass sie sich bei stetigem Messverlauf an ein für sie geeignetes Modell der Normalverteilung annähern. EGP widersetzt sich diesem Wunsch, weil es, wie alle offenen Wachstumsprozesse der Natur, immer einen exponentiellen Verlauf entwickeln. Damit ist der Parameter nicht mehr für leistungsfähige, lineare statistische Analysen geeignet und müsste nicht linearen Methoden zugeführt werden. Das ist zwar grundsätzlich leicht möglich, aber dafür sind andere Einflussgrößen (Tier, KW, Rasse, ...) wiederum kaum geeignet. Ein möglicher Kompromiss ist in solchen Fällen die Transformation der Rohdaten. Für die Auswertung von EPG in dieser Arbeit wurden die erhobenen Werte für EPG mit dem natürlichen Logarithmus (\ln), das ist der Logarithmus zur Basis e , umgewandelt und tragen deshalb den Namen $\ln(\text{EPG})$.

Tabelle 2: Transformation von EPG na ln(EPG) und Darstellung der Grenzwerte von MacMaster2

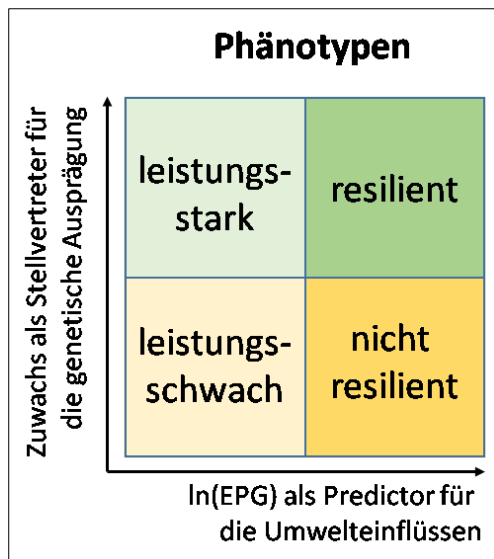
EPG	ln(EPG)	McMaster 2
3	1,1	negativ
7	1,9	
20	3,0	
49	3,9	
55	4,0	leichte Infektion
148	5,0	
403	6,0	
500	6,2	
1000	6,9	moderate Infektion
1097	7,0	starke Infektion
2981	8,0	
8103	9,0	
22026	10,0	

4.5 Klassifikationsvorschlag für eine Bewertung des Phänotyps

Die meisten Klassen für die Entwicklung eines allgemeinen linearen Modells können einfach gefunden und im nächsten Abschnitt des statistischen Modells dargestellt werden. Zu diesen Klassen zählt das Jahr, die Rasse, die Weideperiode und das Einzeltier. Schwierig hingegen ist die Benennung von beschreibenden Größen zur Prüfung des Phänotyps. Da für eine feste genetische Klassifikation eines Tieres in seiner Rasse die notwendigen Marker weder bekannt sind (Hunt et al. 2008), noch untersucht wurden, bleibt uns zur Untersuchung nur der vom Tier erworbene Wirkungsanteil der Umwelt. Die genetische Resistenz bzw. Resilienz gibt es (Hayward 2022), sie ist aber weder hoch in der Vererbung noch in der tatsächlichen Wirkung. Für unsere Klassifikation nehmen wir an, dass der Effekt für alle Tiere gleich ist und deshalb einfach weggelassen werden kann. Da wir aber trotzdem eine genetisch assoziierte Komponente brauchen, setzen wir die Leistung der Tiere, in unserem Fall die Tageszunahmen ein. Diese haben eine hohe Heritabilität und sind erfolgsentscheidend für das zu prüfende System. Die Umweltgröße des Phänotyps bestimmen wir mit dem Parameter $\log(\text{EPG})$ durch Messung. Durch diese „Deutung“ des genetischen Anteils über die Tageszunahmen und das Wissen über die MDS-Belastung gelingt eine Klassifikation in vier Klassen, die in Abbildung 4 dargestellt wird. Dem Design der 2 x 2 Matrix liegt eine Aufteilung jedes Parameters über seinen Median zugrunde. Die dafür zu bestimmenden Werte

werden für jede Grundgesamtheit (Jahr x Tiergruppe) individuell bestimmt. So wird der Jahreseinfluss ausgeschlossen. Für die Benennung der Leistungsfähigkeit der Tageszunahme wird bei geringer Umweltbelastung – also einem niedriger Wert für $\ln(\text{EPG})$ – die schwächere Hälfte der Tiere als nicht leistungsfähig und die stärkere Hälfte als leistungsfähig bezeichnet. Jene Hälfte der Tiere, die mit einer hohen Umweltwirkung = hoher $\ln(\text{EPG})$ belastet wurde und geringe Leistungen erbracht, wird als nicht resilient bezeichnet. Jene Gruppe der Tiere, die auch bei hoher Belastung durch MDS gut gewachsen ist nennt sich resilient. Jedes Tier in jedem Datensatz wird nach dieser Methode mit seinem Phänotyp klassifiziert.

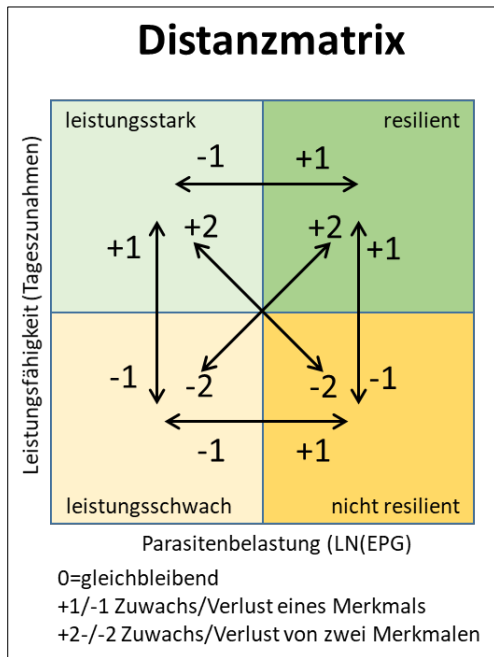
Abbildung 4: Klassifikation des Phänotyps



Bildbeschriftung zu Abbildung 4: Ein Phänotyp eines Mutterschafes trägt eine für uns unbekanntes genetische Disposition in sich, die um die Umwelteinflüsse ergänzt werden. Als Parameter für die Umwelteinflüsse zu den Fragen der MDS können wir direkt den Untersuchungswert $\ln(\text{EPG})$ verwenden. Als genetische Stellvertretergröße nutzen wir die täglichen Zunahmen, also den Zuwachs, der mit hoher Wahrscheinlichkeit gut vererbt wird und hohen Anteil am Endergebnis hat.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird sich zeigen, dass die Interpretation der Parameter im statistischen Modell nur ein Nebenschauplatz der neuen Erkenntnisse ist. Bedeutender ist, welche Korrelation die jährliche Klassifikation des Phänotyps in den Folgejahren oder zwischen Müttern und Söhnen erreicht. Nur wenn eine vorteilhafte Beziehung, z.B. die Bewertung resilient, bei einem Tier häufig auftritt, können wir davon ausgehen, dass dieses Tier besonders geeignet für eine weitere Zucht ist. Weil das nicht grundsätzlich zu erwarten ist, wird die Distanz zwischen den vier Phänotypen wie in Abbildung 5 dargestellt, bewertet. Da dabei zwei Einflussgrößen bewertet werden, beträgt der Bewertungsunterschied zwischen der Eigenschaft nicht leistungsfähig und resilient +2.

Abbildung 5: Distanzen zwischen den Phänotypen



Bildbeschriftung zu Abbildung 5: Jährlich festlegbare Phänotypen müssen sich bei der Bewertung zwischen den Jahren und zwischen Müttern und Söhnen nicht wiederholen. Um ein Maß für die Abweichung zu bekommen, wurde die Abweichung in einer Matrix bewertet. Möglich ist: Keine Abweichung (0), Abweichung um ein Merkmal (-1/+1), Abweichung um zwei Merkmale (-2/+2).

4.6 Statistisches Modell

Für die Bewertung der Beziehung zwischen den Klassen und den abhängigen Parametern wurde das Programm Statgraphics Centurion XVII verwendet (StatPoint 2009). 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 zeigte für alle Parameter (für EPG in der Form $\ln(\text{EPG})$) eine Dichtespur mit einer Schiefe und Wölbung, die eine direkte Übernahme der Daten ermöglicht. Als Klassen wurden für alle untersuchten Daten die Rasse, der als Periode bezeichnete Jahresabschnitt und der über die Tageszunahmen und $\ln(\text{EPG})$ definierte Phänotyp verwendet. Der Jahreseffekt wurde nur bei den Söhnen untersucht.

$$Y_{ijkl} = \mu + (J_i)^* + R_j + \text{PAE}_k + \text{PHA}_l^\# + (R_j \times \text{PER}_k) + (R_j \times \text{PHA}_l) + \varepsilon_{ijkl}$$

wobei

Y_{ijkl} = Beobachtungswert der abhängigen Variable (Lebendgewicht kg, Tageszunahmen g, $\ln(\text{EPG})$)

$(J_i)^*$	=	fixer Effekt des Jahres (2022,2023) bei der Untersuchung der Entwicklung der Söhne (Hammel)
R_j	=	fixer Effekt der Rasse (Juraschaf, Tiroler Bergschaf)
PAE_k	=	fixer Effekt des klassifizierten Phänotyps (leistungsschwach, leistungsstark, nicht resilient, resilient)
$PER_l^{\#}$	=	fixer Effekt der zeitlichen Periode nach Tabelle 1 (frühe bzw. späte Weidephase, Stall); nicht bei der Futteraufnahme
$(R_j \times PAE_k)$	=	Entwicklung der Rassen innerhalb der Phänotypen
$(R_j \times PER_k)$	=	Entwicklung der Rassen innerhalb der Weidephasen
ϵ_{ijkl}	=	Nicht erklärter Rest der Streuung der fixen Effekte

4.7 Überlagerung des Jahreseffektes durch die Entwurmung

Aus der Sicht des naturwissenschaftlichen Versuchsanstellers wird immer darauf geachtet, dass ein gewähltes Versuchsdesign fehlerfrei realisiert werden kann. Zugleich haben die handelnden Personen große Verantwortung für die Tiere übernommen. Im vorliegenden Versuch wurden die Jungschafe, später unsere Mütter, während ihres jugendlichen Wachstums auf junge Weiden in Gumpenstein gebracht. Diese Weiden sind schon lange Standweiden mit entsprechend hohem Infektionsdruck, weshalb die gewünschte Erstinfektion auch rasch stattgefunden hat. Ebenso wurden die Söhne (F1-Generation) zu Weidebeginn auf MDS-Belasteten Standweiden gehalten, um eine Erstinfektion zu gewährleisten, bevor die Tiere auf eine neuangelegte Weide an einem frischen Standort verbracht wurden. Die MDS-Belastung wurde bei den Muttertieren sowie bei den Hammeln der F1-Generation laufend anhand von Kotproben beurteilt. Wenn MDS in ihrer Entwicklung die Grenze zur starken Infektion (McMaster 2, EPG>1000) überschritten, wurden die Tiere entwurmt. Ende 2022 traf das auf alle Tiere zu. Aus der angesprochenen Verantwortung heraus wurden die Tiere in Gumpenstein fachgerecht entwurmt, was uns allerdings in ein methodisches Di-

lemma führte: Es entsteht eine Vermischung des vermuteten Effekts einer erworbenen Immunität mit dem Effekt der Wirkung der Entwurmung. Das lässt sich nicht vermeiden, aber immerhin können wir noch beobachten wie sich das gesamte Infektionsgeschehen unter dem Aspekt einer gleichen Handlungsweise für alle Gruppen (*ceteris paribus*) verhält.

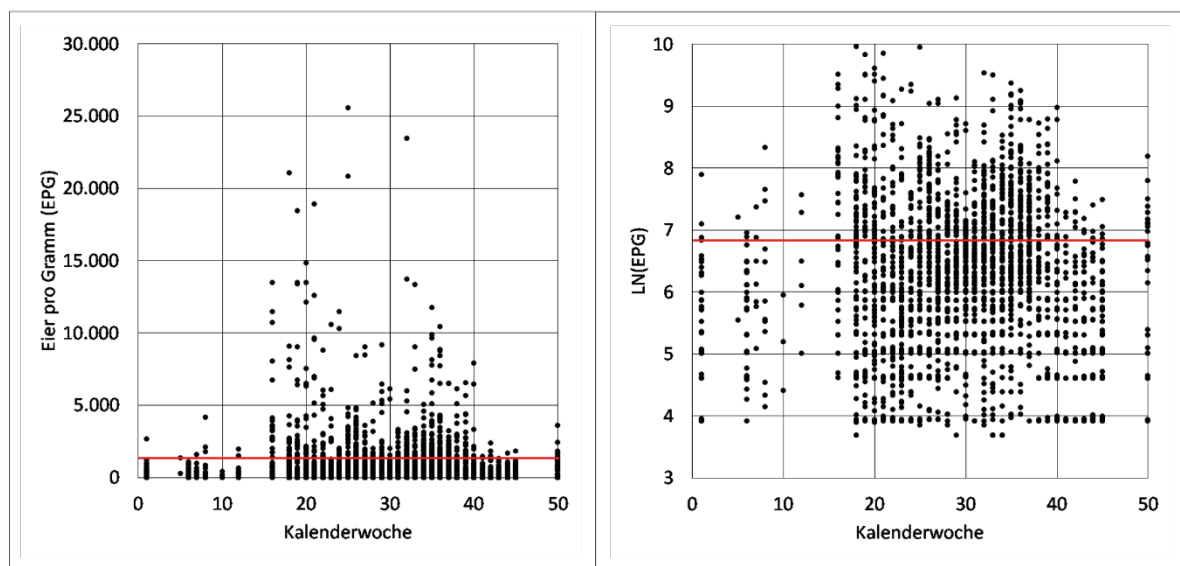
5 Ergebnisse

5.1 Parasitärer Befall der Muttertiere im Jahresverlauf

Abbildung 6 zeigt uns den Verlauf von EPG bzw. $\ln(\text{EPG})$ der Rohdaten aus der Tabelle 3. Deutlich wird die exponentielle Natur des Befalls von MDS sichtbar, wobei Extremwerte nur von wenigen Tieren erreicht werden. Ausgehend von der Grenze zur starken Infektion nach McMaster ($\text{EPG} > 1000$ bzw. $\ln(\text{EPG}) > 6,9$) zeigt sich die praktische Wichtigkeit des in diesem Beitrag angesprochenen Fachgebietes. Obwohl die Muttertiere ohne bedeutenden Befall im Mai auf die Weide gebracht wurden, breitete sich der Befall rasant aus und stabilisierte sich bis zum Jahresende auf hohem Niveau. Sogar in der Stallperiode, in Abbildung 6 betrifft das die Kalenderwoche 50/ bzw. die Kalenderwochen 1 - 15, wurden noch starke Infektionen beobachtet. Starke Infektionen sind omnipräsent.

Abbildung 6 zeigt zusätzlich den Effekt der Transformation der EPG-Werte in $\ln(\text{EPG})$. Auf der Basis der mathematischen Konstanten e werden in der Transformation hohe und sehr hohe Werte in die Nähe der Normalwerte „gestaucht“. Dies ermöglicht eine gemeinsame Beobachtung aller Werte, ohne dass die Normalwerte von Extremwerten dominiert werden.

Abbildung 6: Rohdaten EPG un $\ln(\text{EPG})$



Bildbeschriftung zu Abbildung 6: Die Muttertiere im Versuch infizierten sich sehr rasch und viele von ihnen litten etwas oder sehr an starken Infektionen – sichtbar über der roten Linie. Während die linke Abbildung die Originalwerte zeigt, zeigt die rechte deren Transformation auf der Basis des natürlichen Logarithmus.

5.2 Deskriptive Darstellung von In(EPG) der Muttertiere auf Einzeltierebene

Weil die wesentlichen Erkenntnisse aus dem Projekt multipel beeinflusst werden, erfolgt auf der Basis von Tabelle 3 zuerst noch eine deskriptive Erläuterung zum Infektionsgeschehen der Mütter über mehrere Jahre. Grob konnte folgendes beobachtet werden:

- Ein betriebliches Infektionsgeschehen ist nicht das Ergebnis eines Einzelereignisses, sondern die Summe vieler Wirkungen über längere Zeit. Solche Wirkungen sind der grundlegende Infektionsdruck am Standort, die jährlichen Einflüsse des Wetters und die Dynamik der Infektionskreisläufe der MDS.
- Der Infektionsdruck auf den Weiden der HBLFA ist klimatisch sicherlich gegeben. Die Lagen sind frisch und die Weiden werden schon Jahrzehnte mit Schafen genutzt. Abbildung 3 zeigt uns zwar jährliche Schwankungen in der Temperatur und dem Niederschlag, aber diese sind wohl zu gering, um MDS maßgeblich zu fördern/schädigen.
- Nach dem zentralen Versuchsjahr 2020 fokussierte sich die Untersuchung aus nicht spezifischen Gründen sehr stark auf die Juraschafe. Die Bergschafe wurden nur mehr sporadisch untersucht.
- Dem Entwicklungszyklus des MDS entsprechend waren im Mai 2020 nur wenige Tiere stark belastet. Spätestens im August 2020 waren alle Tiere stark infiziert, wobei sich die Tiere der Rasse Tiroler Bergschaf bereits im September etwas erholt hatten.
- Das Jahr 2021 (Covid19) war insgesamt von geringeren Aktivitäten geprägt, es gibt hier keine EPG-Daten. In der Stalldokumentation war das Jahr wenig auffällig.
- Im Jahr 2022 startete die Herde mit hohem Infektionsdruck. Im Juli eskalierte die Belastung, mehrfaches Behandeln zeigte im September noch keine Wirkung.
- In das Jahr 2023 startete man mit einer präventiven, selektiven Entwurmung in den Sommer. Obwohl das Jahr nicht außergewöhnlich trocken war, blieb der Infektionsdruck bei allen Rassen gering.
- 2024 wurden im Frühjahr so gut wie keine Alttiere behandelt. Der Sommer verlief trotz hohem Anfangsdruck günstig.

Zusammenfassend zeigt sich empirisch, dass das Infektionsgeschehen bei Jungschafen rasch eskaliert ist. Latent weiter von MDS belastet ist die Situation aber erst im dritten Weidesommer eskaliert. Eine maßgebliche Behandlung im Frühjahr 2023 und mögliche tierbezogene Effekte haben von da an eine weiter stabile Situation erzeugt.

Tabelle 3: In(EPG) der einzelnen Tiere in den Monaten der Weide von 2020-2024

Stallplatz	Mai				Juni			Juli				August				September		
	2020	2022	2023	2024	2020	2022	2023	2020	2022	2023	2024	2020	2022	2023	2024	2020	2022	2023
Juraschaf																		
1	3,9	6,6	7,0	6,6	6,5	4,7	5,1	6,1	6,4	1,0		8,4	5,9	1,2		8,7	0,0	0,0
2	8,9	5,1	4,6	6,8	7,0	5,6	5,1	5,4	6,5	1,0	5,1	6,5	6,7	3,6	0,0	6,6	5,9	7,4
3	6,7	5,0	2,8		5,9	6,5	3,9	6,2	7,9	0,0		6,5	7,2	0,7		6,2	7,2	0,0
4	6,7	7,4	2,1	3,7	5,7	7,6	2,1	6,6	7,8	0,0		5,4	7,9	1,5		5,8	5,8	0,0
5	1,8	4,7	5,1		5,3	6,1	2,3	5,9	6,8	2,0		7,1	6,3	0,9		6,6	7,6	0,0
6	2,5	5,7	7,0	7,9	5,8		6,9	6,9	7,1	2,2		6,7	6,5	3,8		7,3	6,7	6,7
7	2,0	5,5	6,5	6,8	4,8	6,9	5,0	5,6	7,4	0,0		7,0	7,7	3,1		6,9	6,5	0,0
8	6,8	4,9	7,0	6,4	6,9	6,6	7,8	6,8	6,7	1,3		6,2	7,2	7,2		6,5	6,2	7,5
9	9,1	6,2	3,6	3,7	9,2	6,3	1,2	8,1	7,4	0,0		8,0	6,4	0,7		7,7	6,9	0,0
10	8,5	6,3	4,9	7,9	7,0	6,8	2,2	6,8	7,1	1,3		6,9	5,6	3,1		7,1	5,5	
11	5,1	4,8	5,6	7,9	5,2	5,8	3,5	5,7	7,3	5,7		7,7	5,1	1,1		6,7	5,7	0,0
12	7,5	6,1	3,1	7,1	4,5	6,3	2,1	6,4	8,0	2,4		6,4	5,5	3,4		6,4	7,1	
13	2,5	5,6	0,0	6,2	3,9	5,9	2,3	6,1	6,3	2,6		6,1	7,0	1,5		6,3	6,1	0,0
14	3,5	4,9	5,1	3,8	4,8	6,7	1,2	5,0	6,6	2,7	0,0	6,1	7,3	6,7	0,0	5,9	7,6	5,1
15	3,4	5,6	4,0		4,2	7,2	3,7	6,1	6,9	1,8		5,9	7,1	0,0		5,6	7,7	
16	3,1	5,5	2,1	6,1	5,8	7,2	1,8	6,1	7,1	4,7	0,0	7,6	4,8	7,1	0,0	6,8	6,5	5,8
17	3,3	6,9	3,7	0,0	5,3	7,0	3,3	6,2	7,3	0,8	0,0	7,3	6,3	0,0	5,6	6,4	5,1	0,0
18	8,5	6,6	0,0	5,5	7,2	5,5	2,3	6,8	6,3	1,0	5,2	6,7	5,5	4,0	0,0	7,0	6,5	
19	5,4	6,5	3,2		5,1		4,2	6,0	5,4	2,1		7,7	3,5	3,0		6,2	2,5	5,5
20	1,6	5,7	4,4	7,2	6,8	6,2	4,8	6,4	6,5	0,0	7,7	7,8	4,7	0,7		6,3	0,0	4,4
Tiroler Bergschaf																		
101	2,7			5,9	6,4			6,0				6,6		0,0		4,3		
102	4,8				6,5			6,3				6,7				4,0		
103	6,3		4,4		6,5		7,1	6,1		6,9		7,0		4,2		4,6		
104	6,2		6,7	0,0	7,0		7,2	6,2		0,0		6,2		0,0		5,8		
105	1,8		0,0	0,0	4,6		5,8	6,4		2,0		5,3		0,0		2,5		
106	4,6			9,1	6,6			6,4				7,1				4,3		
107	6,8				6,2			6,0				6,1				3,2		
108	6,3			6,3	5,8		2,7	6,3		0,0		6,1		4,9		2,8		
109	4,6			6,5	4,3		0,0	6,5		4,0		6,0		0,0		3,3		
110	2,5				6,1			6,3				6,7				3,4		
111	4,9		4,1	7,2	5,2		0,0	6,2		0,0		5,7				2,6		
112	5,6		5,9		5,0			5,3		0,0		6,1		4,1		4,1		
113	6,8				5,8			5,6				6,0				2,5		
114	6,1				6,0			6,4				7,0				4,8		
115	1,6		0,0		5,2			5,7				6,6				2,7		
116	2,0		0,0	5,9	5,5		6,2	5,5		4,3		5,1		4,8		2,5		
117	4,7		4,9		6,4			6,8		0,0		6,5				5,2		
118	3,7				6,3		4,1	5,9				5,5		0,0		2,7		
119	3,3				6,1			5,6		5,6		6,5				4,6		
120	3,0		6,3	7,1	5,5			6,1				5,8				3,3		

5.3 Ergebnisse in den untersuchten Klassen der Muttertiere

Aufbauend auf den Erklärungen zum Versuchsaufbau und ergänzend zu den Beobachtungen im Versuchsablauf führt die Anwendung des bereits erläuterten statistischen Modells zu den in Tabelle 4 dargestellten Ergebnissen.

Juraschafe unterscheiden sich von Tiroler Bergschafen hoch signifikant durch ihr Gewicht. Sie sind im Mittel des Versuches um 6 kg leichter, wobei der absolute Unterschied zwischen April 2020 und Dezember 2020 (Futteraufnahmeversuche) noch um 2 kg höher lag. Die Futteraufnahme folgt diesem allgemein bekannten Rassenunterschied und im April 2020 fressen die Juraschafe um 9 % weniger als die Tiroler Bergschafe. Im Dezember 2020 überholen sie aber die Tiroler Bergschafe und fressen nun etwa 5 % mehr. Bezogen auf die tatsächliche Futteraufnahmekapazität bedeutet dies im Schnitt bei einem Gewicht von etwa 45 kg eine Futtermenge von 60 Gramm Futter pro kg metabolischem Körpergewicht und bei einem Gewicht von 56 kg eine Futteraufnahmemenge von 90 Gramm Futter pro kg metabolischem Körpergewicht. Die Einteilung des Phänotyps hat auf die Futteraufnahme im April 2020 keinen signifikanten Einfluss, alle Tiere in den Gruppen fressen etwa 1,1 kg. Im Dezember 2020 ist der Unterschied im Allgemeinen noch immer nicht signifikant, allerdings hebt sich innerhalb der Klassen der Phänotyp resilient signifikant von den anderen drei Gruppen ab. Besonders deutlich ist dieser Unterschied beim Tiroler Bergschaf.

Die Tageszunahmen im Verlauf der Weidephasen zeigen den ungünstigen Verlauf im Sommer 2020. Bereits in der ersten Weideperiode von Mai bis Juli leiden die Tiere. Obwohl wir im EPG erst 200-300 Eier zählen, haben die Tiere schon Durchfall und nehmen in den ersten 9 Wochen ab. Die Abnahmen drehen sich in der zweiten Weidephase zwischen Juli und September bei ansteigendem EPG in einen leicht positiven Wert. Der EPG-Wert nimmt zu, und wird erst im Winter wieder auf etwa 100 sinken. Nun wachsen die Tiere, wahrscheinlich kompensatorisch, etwas stärker als bei der Aufzucht mit diesem Alter zu erwarten wäre.

Die Einteilung der Phänotypen, wie in Abbildung 4: Klassifikation des Phänotyps eingeführt, bestätigt sich im statistischen Modell an den Daten. Der Median für die x-Achse, das ist die Belastung mit MDL nach $\ln(\text{EPG})$ beträgt 5,5. Im Ergebnis aus Tabelle 4 bedeutet das, dass die Hälfte der Tiere im Schnitt eine leichte und die andere Hälfte eine moderate Infektion durchläuft. Dieses Ergebnis wird allerdings durch die Anwendung des statistischen Modells geglättet. Dies gilt auch für die Wechselwirkung zur Rasse. Die Extremwerte wurden ja bereits in Tabelle 3 gezeigt. Der Median der y-Achse liegt im Mittel bei -15 Gramm. Die schwächere Gruppe bei den Tageszunahmen nahm also immer ab, während die bessere Gruppe

Tabelle 4: Auswertung der Aufzucht Daten der Muttertiere

Parameter	Mutter						
	n	Futtermittelaufnahme		Lebendgewicht	Tageszunahmen	Parasitenbelastung	
		Apr.20	Dez.20				
Einheit		kg		kg	Gramm	ln(EPG)	
Modellmittelwert		1,1	1,9	48,5	19	5,4	
Rasse							
Juraschaf	60	1,1	2,0	46,0	15	5,5	
Tiroler Bergschaf	60	1,2	1,9	51,0	22	5,3	
Weidephase							
Weidebeginn-Anfang Juli	40			46,5	-46	5,2	
Anfang Juli bis Weideende	40			46,9	30	6,4	
Stallperiode	40			53,9	110	4,3	
Phänotyp							
leistungsschwach	27	1,1	1,9	48,0	8	4,8	
nicht resilient	33	1,1	1,9	51,1	5	5,9	
leistungsstark	33	1,2	1,8	44,4	28	5,0	
resilient	27	1,1	2,1	50,4	34	6,0	
Rasse x Weidephase							
RASSE nach PHASE							
Juraschaf	Weidebeginn-Anfang Juli	20			44,3	-54	5,4
Juraschaf	Anfang Juli bis Weideende	20			44,0	18	6,6
Juraschaf	Stallperiode	20			51,4	126	4,4
Tiroler Bergschaf	Weidebeginn-Anfang Juli	20			48,7	-37	5,1
Tiroler Bergschaf	Anfang Juli bis Weideende	20			49,8	42	6,3
Tiroler Bergschaf	Stallperiode	20			56,3	94	4,3
Rasse x Phänotyp							
Juraschaf	leistungsschwach	18	1,1	2,0	46,2	-4	4,9
Juraschaf	nicht resilient	12	1,0	1,9	45,2	8	6,0
Juraschaf	leistungsstark	12	1,1	1,9	43,3	20	5,0
Juraschaf	resilient	18	1,1	2,1	49,4	37	6,2
Tiroler Bergschaf	leistungsschwach	9	1,2	1,7	49,8	20	4,7
Tiroler Bergschaf	nicht resilient	21	1,2	1,8	57,1	2	5,8
Tiroler Bergschaf	leistungsstark	21	1,2	1,7	45,6	35	5,0
Tiroler Bergschaf	resilient	9	1,2	2,2	51,3	32	5,8
P-Werte							
Rasse			0,001	0,053	0,001	0,139	0,113
Phase					0,001	0,001	0,001
Phänotyp			0,745	0,001	0,001	0,001	0,001
Rasse x Phase					0,940	0,001	0,948
Rasse x Phänotyp			0,497	0,151	0,001	0,067	0,852
Modell							
R2			34,3	50,1	56,6	84,1	58,7
SEE			0,12	0,17	4,98	28,26	0,81
SEE%			10,4	9,0	10,3	149,7	15,0

zunehm. Jedenfalls gelingt die Einteilung des Phänotyps hoch signifikant. In der Kombination von Tageszunahmen und $\ln(\text{EPG})$ tragen die Tageszunahmen deutlich mehr zur Eindeutigkeit der Erklärung bei als die Infektion. Das kann aus dem höheren Bestimmtheitsmaß des Modells bei diesem Parameter abgelesen werden.

5.4 Vererbte oder erworbene Resilienz

Mit der Untersuchung von Jungschafen in ihrer Leistungsfähigkeit bei bekanntem Infektionsgrad wurde die Grundlage für eine erste phänotypische Bewertung geschaffen. Jedes Tier hat eine von vier möglichen Klassifikationen erhalten. In beiden Rassen liegt der Anteil der Tiere in der Hauptdiagonale (leistungsschwach bzw. resilient) über jenen in der Nebendiagonale (leistungsstark bzw. nicht resilient). Die rassenspezifische Verteilung wird in Abbildung 7 dargestellt. Die Prüfung der Konstanz der Klassifikation ist im vorliegenden Versuch nicht möglich, die Tiere wurden nach ihrer ersten Ablammung nicht weiter in ihren Produktionsdaten beobachtet. Dies wäre auch nicht sinnvoll gewesen, da die Tiere nun ausgewachsen waren und im Gewichtsverlauf keine deutliche Response mehr zeigen können.

Für etwa die Hälfte der Mütter existiert im Projekt EIP-Weideinnovationen ein Datensatz der genau der Methode des hier vorliegenden Projekt entspricht. Söhne, die sogenannte F1-Generation dieser zuvor in 4 Gruppen eingeteilten Jungschafe, wurden im nächsten Schritt mit derselben Methodik wie die der Mütter aufgezogen. Die Tiere wurden laufend gewogen, der Infektionsstatus nach McMaster erhoben und eine Einteilung des Phänotyps vorgenommen. Da die Söhne über den Winter 2022/2023 nur auf Erhaltungsbedarf gefüttert wurden, waren sie im Jahr 2023 noch einmal in der Lage physiologisch auf die Entwicklung mit einem Zuwachs zu antworten.

Abbildung 7 zeigt die Kombination der Ergebnisse, die Mütter und Söhne gemeinsam erwarben haben und wie sich diese in zwei Jahren auch wieder unterscheiden können. Bei den Juraschaf-Müttern wurde zu je 30 % ein leistungsschwacher bzw. resilienter Phänotyp beobachtet. Die Phänotypen leistungsstark bzw. nicht resilient traten zu je 20 % auf. Beim Tiroler Bergschaf ist die Situation vergleichbar, allerdings haben wir hier 70 % der Phänotypen auf der Hauptdiagonalen. Diese Einteilung bleibt für beide Jahre, in denen Söhne untersucht wurden, konstant.

Müttern und Söhne liegt bei 0,12. Erreichen die Söhne im Summensignal irgendwann die Eigenschaften der Mütter, dann ist das die individuelle Wirkung der Umwelt und nicht der Genetik. Die These, dass phänotypische Resilienz weitervererbt wird, ist mit diesen Ergebnissen abzulehnen.

Tabelle 5: Jahresvergleich der Phänotypen auf der Basis der Distanzmatrix

Rasse	Phänotyp in den Jahren				Rasse
	TierID	2022	2023	Distanz	Distanz
Juraschaf	2	leistungsstark	leistungsschwach	-1	-0,3
	3	leistungsschwach	leistungsstark	1	
	5	resilient	leistungsschwach	-1	
	12	nicht resilient	leistungsschwach	-1	
	14	nicht resilient	leistungsschwach	-1	
	16	leistungsschwach	leistungsstark	1	
	17	leistungsschwach	leistungsschwach	0	
	19	resilient	leistungsstark	-1	
	20	leistungsschwach	leistungsschwach	0	
Tiroler Bergschaf	102	nicht resilient	nicht resilient	0	0
	103	nicht resilient	resilient	1	
	104	resilient	resilient	0	
	106	resilient	nicht resilient	-1	
	109	resilient	leistungsschwach	-2	
	112	nicht resilient	leistungsstark	2	
	116	resilient	nicht resilient	-1	
	117	resilient	leistungsstark	-1	
	119	nicht resilient	leistungsstark	1	
	120	nicht resilient	leistungsstark	1	
	Gesamtdistanz				

5.5 Distanzmatrix als Maß zur Bewertung von Veränderungen

Auf der Ebene der Söhne liegt eine Wiederholung der Bewertung in den Jahren 2022 und 2023 vor. Tabelle 5 stellt die Ergebnisse der Bewertung nebeneinander dar. Methodisch ist hier von Bedeutung, dass für die einzelnen Jahre ein jeweils individueller Median zur Bewertung verwendet wurde. Der Median liegt für das Jahr 2022 beim Juraschaf bei $\ln(\text{EPG})$ 6,49 und beim Tiroler Bergschaf bei 6,14. Dieser Wert ist hoch genug, um zwischen einer

leichten und einer moderaten Infektion zu unterscheiden. Im Jahr 2023 liegen die $\ln(\text{EPG})$ Werte insgesamt so tief, dass die Klassifikation nur eine leichte Infektion in zwei Hälften teilt.

Tabelle 5 zeigt, dass es in der Klassifikation des einzelnen Individuums zwischen zwei Jahren zu Unterschieden kommt. Eine vollständige Veränderung beider Merkmale ist ebenso selten wie die vollständige Wiederholung der Bewertung. Meistens weichen die Phänotypen um ein Merkmal ab. In Summe aller Distanzen, die sich aus der Bewertung ergeben, ließen die Juraschafe in ihrer relativen Bewertung im Jahr 2023 um $1/3$ eines Merkmals nach, während die Tiroler Bergschafe individuell zwar ihren Phänotyp wechselten, in Summe aber zum gleichen Ergebnis kamen. Das hier vorgestellte Ergebnis ist wegen der individuellen jährlichen Bewertung objektiv, aber wegen der geringen Anzahl der Tiere nicht sicher. Jedenfalls bestätigt die geringe Wiederholungsrate die Unsicherheit bei der Vererbung von Resilienz und weist wieder auf die individuellen Eigenschaften der Tiere hin.

6 Diskussion und Empfehlungen

Der parasitäre Befall von Schafen mit MDS ist eine zentrale Herausforderung für alle Schafbetriebe. Lösungen zur Eindämmung der Infektionen sind komplex, weil der gesamte Entwicklungszyklus der MDS so gut wie alle Arbeitsfelder am Betrieb betrifft. Die Hälfte der österreichischen Schafhalter halten nur bis zu 15 Schafe pro Betrieb, weshalb vermutlich häufiger zur medikamentösen Behandlung als zur systematischen Lösung der Herausforderungen gegriffen wird.

Neben den Erkenntnissen zum zeitlichen Verlauf der Infektion von Jungschafen und ihrer weiteren Entwicklung wird diese Arbeit von der Frage dominiert, ob Tiere, die nachgewiesen von Parasiten befallen sind, sich aber trotzdem gut entwickeln, diese Eigenschaft geerbt haben oder ob sie im Laufe der Zeit eine eigene Immunität erworben haben. Der geringe Korrelationskoeffizient von 0,12 zwischen den Phänotypen führt dazu, dass wir hier die These der Vererbbarkeit ablehnen. Das Ergebnis liegt sehr nahe bei Hayward (2022), der einer globalen Korrelation von 0,10 zwischen der Resilienz und der Leistung der Tiere angibt. Unter anderen Umständen werden in der Literatur aber auch andere Werte erzielt. Greeff und Karlsson (2006) teilten in einem ähnlichen Ansatz die Herde am Beginn ihres Versuches in zwei völlig unabhängige Gruppen. Resiliente Phänotypen blieben unter sich und konnten ihre Eigenschaft drei Jahre lang aufrechterhalten. Die Chance auf die Weitergabe von Eigenschaften war etwa dreimal so hoch wie in dieser Arbeit. Fraglich ist, mit welchem Anteil hier die Umweltwirkung mitbewertet wurde. Ngere et al. (2018) werteten über 12.000 Katahdin-Lämmer aus dem Zuchtprogramm U.S. National Sheep Improvement Program zwischen 2003 und 2015 aus. Das Ziel dieser Studie war es, genetische Parameter für die Wurmeizahlen im Kot zum Zeitpunkt des Absetzens (WFEC) und nach dem Absetzen (PWFEF) sowie deren Beziehung zu Geburtsgewicht (BWT), Absetzgewicht (WWT) und Gewicht nach dem Absetzen (PWWT) bei Katahdin-Lämmern zu bestimmen. Die Studie ergab, dass die Heritabilität (Erblichkeit) für WFEC zwischen 0,18 und 0,26 und für PWFEF zwischen 0,23 und 0,46 lag, abhängig vom verwendeten Modell. Die Korrelationen zwischen WFEC und PWFEF waren größtenteils hoch. Die Ergebnisse zeigten zudem, dass es nur geringe bis mäßige Korrelationen zwischen dem Körpergewicht und der Wurmeizahl gibt. Auch in dieser Studie ist fraglich, wie weit im späteren Leben der Jungschafe die genetische Eigenschaft noch von den Umweltwirkungen überlagert wird. Heckendorn et al. (2017) untersuchte die Erblichkeit und die genetischen Korrelationen zwischen MDS-bezogenen phänotypischen

Merkmale und der Milchleistung bei zwei wichtigen Milchziegenrassen (Alpine und Saanen). Insgesamt wurden 1.303 Ziegen aus 20 Herden, die eine einheitliche MDS-Exposition auf der Weide und regelmäßige Milchaufzeichnungen hatten, in die Studie einbezogen. Die Merkmale Kot-Eizahl (FEC), FAMACHA-Augenbewertung, Hämatokritwert (PCV) und Milchleistung wurden zweimal jährlich gemessen. Die Erblichkeiten für FEC, FAMACHA und PCV lagen bei 0,07, 0,22 und 0,22. Es zeigte sich, dass die genetische Korrelation zwischen FEC und FAMACHA nahe null und zwischen FEC und PCV bei 0,41 lag. Die phänotypische Korrelation zwischen FEC und Milchleistung war nahe null, jedoch betrug die genetische Korrelation 0,49. Diese Information deckt sich mit der hier vorliegenden Arbeit in dem Maß, dass die phänotypische Korrelation auch hier sehr gering ist.

Der Vergleich wissenschaftlicher Ergebnisse zeigt, dass der „Stein der Weisen“ im Hinblick auf eine Züchtung resilienter Schafe und Ziegen noch nicht gefunden ist. Da der genetischen Vererbung in den wissenschaftlichen Arbeiten geringe oder mäßige Chancen gegeben werden, verbleibt für den Phänotyp nur mehr die individuelle Entwicklung des Einzeltieres. Diese muss schlussfolgernd von anderen genetischen Eigenschaften außerhalb der Resilienz gegen MDS und von individuell umweltbezogenen Einflüssen abhängen. In Abbildung 7 sehen wir, dass ein bestimmter Anteil der Söhne in der Lage war, auch bei einer moderaten Infektion ein hohes Leistungsniveau zu erreichen. Tabelle 3 zeigt uns dasselbe bei den Müttern über die Jahre. Das bedeutet, dass wir davon ausgehen dürfen, dass Tiere unter guten Bedingungen auch eine individuelle Immunität erreichen. Das ist eine gute Nachricht, weil es uns die Sicherheit gibt den bäuerlichen Betrieben diese Nachricht zu überbringen: JA, wir müssen extrem stark belastete Tiere auch in Zukunft individuell behandeln. Aber JA, es zahlt sich im Laufe der Zeit auch aus in die Fitness der Tiere und in das Gesamtsystem Bauernhof zu investieren.

Die Chance auf eine individuelle selbst erworbene Immunität, benötigt einen schwachen Infektionsdruck. Dieser ist auf Weiden von Natur aus gegeben. Fehlerhafte Behandlungsansätze stören diese Chancen. In der Praxis werden dafür wahrscheinlich zwei mögliche Ereignisse auftreten. Entweder wird sehr häufig und früh behandelt, um die Infektion bereits im Keim zu ersticken (Helikopterbetriebe) oder es wird spät und mit hoher Dosis behandelt (Arzneigläubigkeit), um die Tiere zu retten. Beides schadet wahrscheinlich der Immunität der Tiere. Für die beiden Typen besteht ein zusätzliches Risiko. Helikopterbetriebe können im Falle des Ausbruches einer Infektion das Geschehen nur schwer beherrschen und die Arzneigläubigkeit führt direkt in die Wirkungslosigkeit von Tiermedizin durch die Resistenzbildung der MDS. Beispiele für beides gibt es in der Humanmedizin genug. Wir kennen den

schwachen Immunstatus aus Gesundheitseinrichtungen und den Missbrauch von Antibiotika bei bakteriellen Infektionen und individuell handelnden Personen.

Wohl immer wird die individuelle Immunität auch durch die Summe von Maximalbelastungen aller Umweltbedingungen beeinflusst. Diese zu vermeiden ist die Aufgabe einer wiederkäuergerechten Fütterung, die eine schonende Umstellung der Fütterung ebenso berücksichtigt, wie eine hohe Grundfutterqualität bei ausgewogenen Nährstoffverhältnissen. Dazu immer genug gutes Wasser. Natürlich spielt die Haltung der Tiere eine Rolle. Licht und Luft sind ebenso selbstverständlich wie ausreichender Platz. Auf der Seite der MDS, aber auch bei anderen Parasiten spielt das Weide- und Wassermanagement eine große Rolle. Im EIP-Projekt „Weideinnovationen“ werden hier gerade einige neue Methoden untersucht.

Umfassende Empfehlungen zur Fragestellung zeigt Bath (2014). Die Big Five Maßnahmen für Südafrika setzen umfassend auf folgende Maßnahmen:

1. Stärken Sie die Widerstandsfähigkeit des Wirts mit folgenden Maßnahmen: Auswahl der Widder, Ausmusterung von chronisch kranken Mutterschafen, gute Ernährung, ausreichende Exposition gegenüber MDS, Kontrolle anderer Krankheiten, Quarantäneverfahren.
2. Reduziere den Infektionsdruck durch folgende Maßnahmen: Hohe Rotationsgeschwindigkeit auf den Koppelweiden, geringerer Weidedruck, verlängere die Zeit zwischen zwei Weidephasen, Beseitigung von Hotspots der Infektion, Düngung der Weide.
3. Weidefaktoren mit folgenden Aspekten: Mit der phänologischen Entwicklung der Weide nimmt der Weidedruck logarithmisch ab, pflanzenspezifische Wirkungen, steilere Flächen geben der Larve schlechtere Entwicklungschance (Wasser fließt ab), Ausrichtung der Fläche in die Sonne senkt die Entwicklungschance der Larve (Globalstrahlungsdruck), Bewässerung erhöht den Infektionsdruck.
4. Managementmaßnahmen: Regelmäßige Kotuntersuchung, Anthelminthika-Resistenz (AR) Bewertungen, Überwachungsmethoden für Tiere (FAMACHA-Score, 5-Punkte-Check), Wetterüberwachung, Weidemanagement, Kot-Hämoglobin.
5. Einsatz der Medikamente: Umsetzung von gezielter selektiver Behandlung, Auswahl der richtigen Medikamente, Anpassung der Dosierung an die Einzeltiere (Alter, Gewicht), Wirksamkeit der Medikamente über die Kosten setzen.

Alle diese Maßnahmen sind auch in Europa bekannt und werden von vielen Autoren bearbeitet und in unterschiedlicher Tiefe für den Einsatz in der Praxis vor- und aufbereitet (Deinhofer und Stöger 2019, Goolsby et al. 2017, Krammeter-Frötscher 2013, Papadopoulos et al. 2013, Podstatzky 2009, 2011, 2015, Podstatzky und Gallnböck 2013, Van Wyk und Bath 2002).

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aggregation der Kalenderwoche zu Untersuchungsperioden	22
Tabelle 2: Transformation von EPG na ln(EPG) und Darstellung der Grenzwerte von MacMaster2	23
Tabelle 3: ln(EPG) der einzelnen Tiere in den Monaten der Weide von 2020-2024	30
Tabelle 4: Auswertung der Aufzuchtdateen der Muttertiere	32
Tabelle 5: Jahresvergleich der Phänotypen auf der Basis der Distanzmatrix	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Magen-Darm-Strongyliden im Jahresverlauf (HECKENDORN und FRUTSCHI 2014).....	11
Abbildung 2: Versuchsablauf.....	18
Abbildung 3: Temperatur und Niederschlag am Versuchsort.....	19
Abbildung 4: Klassifikation des Phänotyps.....	24
Abbildung 5: Distanzen zwischen den Phänotypen	25
Abbildung 6: Rohdaten EPG un ln(EPG)	28
Abbildung 7: Wiederholung des Phänotyps des in Mutter in den Söhnen.....	34

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung Eier pro Gramm (EPG) (MEINDL)..... 20

Literaturverzeichnis

Bath, G.F., 2014: The "BIG FIVE"—A South African perspective on sustainable holistic internal parasite management in sheep and goats. *Small Rum. Res.* 118 (1-3), 48-55.

BML (2024): Grüner Bericht 2024. Die Situation der österreichischen Land- und Forstwirtschaft, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien, 288 S.

Bostedt, H. und K. Dedié, 1996: Schaf- und Ziegenkrankheiten, 2. Aufl. Edition. *Journal (Issue)*.

Deinhofer, G. und E. Stöger, 2019: Tiergesundheit bei Schaf und Ziege, Österreichischer Bundesverband für Schafe und Ziegen, Wien.

Deplazes, P., J. Eckert, G. von Samson-Himmelstjerna und H. Zahner 2012: Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin, Georg Thieme Verlag.

Fürst-Waltl, B. und C. Fürst, 2022: Nutzungsdauer und Exterieur – die neuen Merkmale in der Zuchtwertschätzung., 12. Fachtagung für Schafhaltung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 9-21.

Fürst-Waltl, B. und C. Fürst, 2016: Entwicklung und Implementierung der Zuchtwertschätzungen für Milch, Fleisch, Fitness und Exterieur für Schafe und Ziegen (ZW-SchaZi).

Fürst, C., J. Dodenhoff, C. Egger-Danner, R. Emmerling, H. Hammann, D. Krogmeier und H. Schwarzenbacher, 2021: Zuchtwertschätzung beim Rind – Grundlagen, Methoden und Interpretationen., Rinderzucht Austria, Wien.

Goolsby, M.K., M.L. Leite-Browning und R. Browning Jr, 2017: Evaluation of parasite resistance to commonly used commercial anthelmintics in meat goats on humid subtropical pasture. *Small Rum. Res.* 146, 37-40.

Greeff, J. und L. Karlsson, 2006: Breeding for worm resistance-whole farm benefits. *International Journal of Sheep and Wool Science* 54 (2), 102-108.

Hayward, A.D., 2022: Genetic parameters for resistance to gastrointestinal nematodes in sheep: a meta-analysis. *International Journal for Parasitology* 52 (13-14), 843-853.

Heckendorn, F. und V. Frutschi, 2014: Innere Parasiten der Rinder mit Weidemanagement nachhaltig regulieren, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), Bio Suisse und Fondation.

Heckendorn, F., A. Bieber, S. Werne, A. Saratsis, V. Maurer und C. Stricker, 2017: The genetic basis for the selection of dairy goats with enhanced resistance to gastrointestinal nematodes. *Parasite* 24.

Hertzberg, H. und H. Sager, 2006: Problematik des Helminthenbefalls bei Hauswiederkäuern in der Schweiz: Aktuelle Perspektiven. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde* 148 (9), 511-521.

Hunt, P.W., J.C. McEwan und J.E. Miller, 2008: Future perspectives for the implementation of genetic markers for parasite resistance in sheep.

Krammeter-Frötscher, R., 2013: Entwurmungsstrategie in einem kleinen Wiederkäuer haltenden Betrieb, Veterinärmedizinische Universität Wien.

Lang, B., C. Fürst, B. Fürst-Waltl, M. Zeiler und J. Stöckl, 2017: Züchterhandbuch für Schafe und Ziegen, Österreichischer Bundesverband für Schafe und Ziegen, Wien, 40 S.

Meindl, L., 2023: Ausscheidungsdynamik von Helminthen-Eiern bei Pferden in kompletter oder teilweiser Weidehaltung – eine Fallstudie. Department für Pathobiologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien, Institut für Parasitologie, Wien, 88 S.

Ngere, L., J. Burke, J. Morgan, J. Miller und D. Notter, 2018: Genetic parameters for fecal egg counts and their relationship with body weights in Katahdin lambs. *Journal of Animal Science* 96 (5), 1590-1599.

Papadopoulos, E., E. Gallidis, S. Ptochos und G. Fthenakis, 2013: Evaluation of the FAMACHA© system for targeted selective anthelmintic treatments for potential use in small ruminants in Greece. *Small Rum. Res.* 110 (2-3), 124-127.

Podstatzky, L. (2009): Futtermittel mit kondensierten Tanninen in der Parasitenregulation. Parasitologische Fachtagung für Biologische Landwirtschaft, 19 S.

Podstatzky, L., 2011: Strategien gegen Parasiten in der Milchziegenhaltung. 5. Fachtagung für Ziegenhaltung, 31 S.

Podstatzky, L., 2015: Auswirkungen einer einmaligen Kalkdüngung bzw. regelmäßigen Weidebehandlung mit EM/MK5 bei intensiver Beweidung mit Lämmern.

Podstatzky, L. und M. Gallnböck, 2013: Einfluss von Düngemittel auf die Wiederfindungsraten von Parasitenlarven.

Sargison, N., D. Wilson, D. Bartley, C. Penny und F. Jackson, 2007: Haemonchosis and teladorsagiosis in a Scottish sheep flock putatively associated with the overwintering of hypobiotic fourth stage larvae. *Veterinary Parasitology* 147 (3-4), 326-331.

Schnieder, T., 2006: Helminthosen der Wiederkauer. 166-234. *Veterinärmedizinische Parasitologie* 6 S.

StatPoint, 2009: Statgraphics Centurion XVI - User Manual, Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, 305 S.

Taylor, M., 2010: Parasitological examinations in sheep health management. *Small Rum. Res.* 92 (1-3), 120-125.

Van Wyk, J.A. und G.F. Bath, 2002: The FAMACHA system for managing haemonchosis in sheep and goats by clinically identifying individual animals for treatment. *Veterinary research* 33 (5), 509-529.

Vlassoff, A., D. Leathwick und A. Heath, 2001: The epidemiology of nematode infections of sheep. *New Zealand Veterinary Journal* 49 (6), 213-221.

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
www.raumberg-gumpenstein.at