

Prävention und Bekämpfung von Tuberkulose bei Rothirschen in Graubünden und Liechtenstein



Endbericht

Annette Nigsch (selbständig), Claudio Signer (WILMA / ZHAW) und Marie-Pierre Ryser (FIWI / Universität Bern)

St. Gerold, Wädenswil und Bern, 15. Dezember 2019

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	3
EMPFEHLUNGEN	6
1. EINLEITUNG	12
1.1 Projekthintergrund	16
1.2 TB-Situation Vorarlberg	17
1.3 TB-Situation Tirol	22
1.4 TB-Situation Ostschweiz und Liechtenstein	25
1.5 TB-Monitoring 2020+	25
2. VERGLEICHBARKEIT DER REGIONALEN GEGEBENHEITEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET	28
2.1 Vergleich der naturräumlichen Gegebenheiten	28
2.2 Vergleich der Rothirsch-Bestandesdichten und -Aggregationen	28
2.3 Vergleich der Bewegungsdaten besonderer Rothirsche	32
3. ERWARTETE AUSBREITUNG DER TB IN GRAUBÜNDEN UND LIECHTENSTEIN	35
4. MASSNAHMEN	42
4.1 Methodik	42
4.2 Auslegeordnung möglicher Massnahmen	43
4.3 Massnahmenprofile	46
4.4 Ranking der Massnahmen nach der Zweckmässigkeit ihres Einsatzes in Graubünden und Liechtenstein	46
4.5 Bewertung der einzelnen Massnahmen	50
4.6 Zusammenfassende Bewertung	55
LITERATURVERZEICHNIS	58
ANHANG	62

Projektteam	Annette Nigsch, Dr. med.vet., Dipl. ECVPH, MSc. VetEpi. Wissenschaftliche Arbeiten und Beratung (selbständig), Österreich Claudio Signer, Dr., Benjamin Sigrist & Tanja Koch Forschungsgruppe Wildtiermanagement WILMA Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Schweiz Marie-Pierre Ryser, Prof. Dr. med. vet., Dipl. ECZM (Wildl. Pop. Health) Zentrum für Fisch- und Wildtiermedizin FIWI Universität Bern, Schweiz Christian Gortazár, Prof. Institute for Game and Wildlife Research Universidad de Castilla-La Mancha, Spanien (Mitarbeit im 1. Arbeitspaket als Ersatz für Marie-Pierre Ryser)
Auftraggeber	Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV Schwarzenburgstrasse 155, 3003 Bern, Schweiz
Mitunterstützer	Amt für Lebensmittelsicherheit und Tiergesundheit Planaterrastrasse 11, 7000 Chur, Schweiz Amt für Lebensmittelkontrolle und Veterinärwesen Postplatz 2, 9494 Schaan, Fürstentum Liechtenstein
Projektdauer	01.02.2019 – 15.11.2019
Fälligkeiten gemäss Vertrag	Zwischenbericht: 31.07.2019 Endbericht: 15.11.2019. In Absprache mit den Projektauftraggebern wurde die Fälligkeit des Endberichts auf 15.12.2019 verschoben.

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Mit TB infizierte Rothirsche in Österreich stellen ein hohes Ansteckungsrisiko für Wild- und Nutztiere in der Schweiz und Liechtenstein dar. Ziel dieser Studie ist das Aufzeigen von Ansätzen zur Prävention und Bekämpfung der TB bei Rothirschen, welche die regionalen Charakteristika von Graubünden und Liechtenstein berücksichtigen. Dabei wird auch auf die TB-Situation in Vorarlberg und Tirol, sowie im internationalen Raum, eingegangen.

Methodik: Aus Literatur, Sammlung und Auswertung von bestehenden Daten, Workshops und Expertenbefragung wurden Massnahmen charakterisiert, welche in von TB-betroffenen Ländern bislang umgesetzt werden. Diese Massnahmen wurden anschliessend nach ihrer Relevanz und Umsetzbarkeit in Graubünden und Liechtenstein kategorisiert und entsprechende Empfehlungen abgeleitet.

Die regionalen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet in Graubünden, Liechtenstein und Vorarlberg wurden verglichen, um die erwartete Ausbreitung der TB in Graubünden und Liechtenstein zu beschreiben. Kernstück waren dabei Telemetriedaten aus vier Besenderungsprojekten, welche zeigen, dass die Rothirsche in Graubünden, Liechtenstein, Vorarlberg und Tirol gesamthaft als eine Population bzw. Metapopulation zu betrachten sind. Das Zusammentragen regional vorhandener Daten stellt *per se* einen Mehrwert dieser Arbeit dar, auch wenn die unterschiedlichen Datengrundlagen einen standhaften Vergleich zwischen den drei Regionen teilweise erschwert haben.

Resultate: Die TB-Hotspots im Vorarlberg sind die Rothirsch-Managmenteinheiten mit den höchsten Rothirsch-Dichten im gesamten Untersuchungsgebiet. Beim Vorkommen von grösseren Rothirsch-Aggregationen sind aber auch Gebiete mit niedrigerer Dichte als potenziell TB-tragfähig einzustufen.

Ausbreitung der TB: Ob in Graubünden oder Liechtenstein sporadische Fälle auftreten, hängt mehr von der TB-Situation in Vorarlberg ab als von der eigenen Rothirsch-Bestandessituation. Vereinzelte Fälle wären unvermeidbar, wenn die TB südlich der Ill in Vorarlberg auftreten würde. In diesem Fall wäre die erwartbare Anzahl der Fälle abhängig von der Prävalenz und Lokalisation in Vorarlberg. Um selbst diesen sporadischen Fällen vorzubeugen, ist der Einsatz von Massnahmen angezeigt, welche das Migrationsverhalten von Rothirschen nachhaltig beeinflussen.

Ausbruchsartige TB-Geschehen wie für Vorarlberg beschrieben, wären dann in Graubünden und Liechtenstein möglich, wenn verschiedene TB-begünstigende Konditionen zusammentreffen. Dazu zählen u.a. der Eintrag der TB über einen ausgeprägten Ausscheider, lokale Aggregationen und intensiver Kontakt über einen längeren Zeitraum. Eine Etablierung der TB in Graubünden oder Liechtenstein ohne wiederholte Einträge von aussen und ohne das Mitwirken von begünstigenden Management-, Umwelt- und/oder Wirtsfaktoren ist mittel- bis langfristig jedoch wenig wahrscheinlich (Einschätzung basierend auf heutiger Lage). Die zukünftigen Entwicklungen der Bestände von Rothirschen und weiterer empfänglicher Spezies (v.a. Wildschwein) sind zu beobachten, da mit wachsenden Beständen das Risiko einer Etablierung der TB zunimmt.

Massnahmen: Für die Prävention und Bekämpfung wurden vier Blöcke von Handlungsmöglichkeiten identifiziert:

1. Am zweckdienlichsten sind die Massnahmen im Rahmen des Rothirsch-Managements, welche bereits jetzt schon umgesetzt werden (z.B. Bestandesregulation und Fütterungsverbot). Diese Massnahmen können ohne Vorlaufzeit für Planung und Beschaffung von Infrastruktur zur Prävention intensiviert umgesetzt werden.
2. Augenmerk ist auf eine hohe Biosicherheit zu legen, um Kontakte zwischen Rothirschen und Nutztieren sowie zwischen Rothirschen und anderen Wildtieren zu vermindern. Dadurch wird die Erregerübertragung in beide Richtungen vermieden.
3. Lenkung um Kontakte zwischen TB-freien und von TB betroffenen Rothirschbeständen zu vermindern. Diese Massnahmen zählen zu den Kosten- und Infrastruktur-intensiven Massnahmen.

4. Die Impfung wird als mögliche Methode der Zukunft beschrieben. Ihr Einsatz kreiert voraussichtlich insbesondere in einer Bekämpfungssituation einen Mehrwert, scheint als Präventionsmassnahme dagegen weniger geeignet.

Unentbehrlich ist, dass alle Massnahmen weiterhin von einem TB-Monitoring und Populationsmonitoring begleitet werden.

Diskussion: Für die Wahl der Massnahmen muss für jede Region jener Mechanismus identifiziert werden, welcher zu Übertragungen des Erregers führt. Für Graubünden und Liechtenstein wurde kein eindeutiger (Haupt-)Faktor mit Alleinstellungsmerkmal gefunden. Für Vorarlberg hängt ein Grossteil der Übertragungen sehr wahrscheinlich mit den Winterfütterungen und den von ihnen verursachten künstlichen Aggregationen zusammen. In natürlichen Aggregationen treten erwartungsgemäss weniger intensive und kürzere Kontakte zwischen Rothirschen auf.

Wann in Graubünden oder Liechtenstein mit ersten TB-Fällen zu rechnen ist, kann auf Basis der vorliegenden Daten nur ungenügend beantwortet werden. Über die Bedeutung der Migration von Rothirschen für die Verbreitung von TB ist zu wenig bekannt. Gewiss ist, dass das TB-Eintragsrisiko massgeblich davon abhängt, ob eine weitere Ausbreitung der TB in Vorarlberg, aber auch in Tirol, gestoppt werden kann. Die Ausbreitungstendenz der TB bei Rothirschen im Alpenraum ist aktuell als gering einzustufen.

Bei der Wahl der Präventionsmassnahmen ist das Weiterführen von bereits implementierten Massnahmen, und wo nötig, deren Intensivierung angezeigt. Es gibt keine einzelne „beste“ Massnahme, um TB bei Wildtieren vorzubeugen oder zu bekämpfen. Erfahrungen anderer Länder zeigen, dass eine Kombination von Massnahmen effizienter zum Ziel führt und auf mehr Akzeptanz bei den verschiedenen Stakeholdern stösst.

Die Schweiz und Liechtenstein haben durch ihr proaktives Agieren gegenüber der TB einen Zeitvorsprung für die Krisenvorsorge und Ressourcenplanung im Sinne der Tiergesundheitsstrategie 2010+ (BVET, 2010) gewonnen. Diese Zeit wird für Pilotstudien dringend benötigt (z.B. Studien zur Migration oder Lenkung von Rothirschen), um ungewollte Nebenwirkungen besser vorab einschätzen zu können.

Massnahmen werden bei zunehmender Gefährdungsstufe besser akzeptiert: Was präventiv als nicht umsetzbar scheint, kann bei der Seuchenbekämpfung wieder eine mögliche Option werden. Um im Werkzeugkasten der möglichen Massnahmen genügend Auswahl zu haben, sind schwierig kommunizierbare und besonders aufwendige Massnahmen jetzt in „Friedenszeiten“ neutral zu prüfen und im Detail zu untersuchen.

EMPFEHLUNGEN

Wildtiere kennen keine Grenzen - die Rothirsche in Graubünden, Liechtenstein, Tirol und Vorarlberg sind als eine Gesamtpopulation bzw. Metapopulation zu betrachten. Die Massnahmen zur Prävention und Bekämpfung der TB an administrative Grenzen zu binden widerspräche sowohl der Ökologie als auch der Epidemiologie der TB bei Rothirschen im Alpenraum. Neben Empfehlungen für Graubünden und Liechtenstein schliesst dieser Bericht daher auch Empfehlungen für Westösterreich und Bayern ein. Diese Empfehlungen wurden in internationalen Workshops unter Beteiligung von Experten aus Vorarlberg, Tirol und Bayern erarbeitet.

Westösterreich und Bayern konnten in den vergangenen Jahren Erfolge in der TB-Bekämpfung verzeichnen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fliessen in die folgenden Empfehlungen ein.

Die Erkenntnisse und Entwicklungen der gesamten D-A-CH-Region sind für die Schweiz und Liechtenstein unmittelbar von Bedeutung, um daraus Massnahmen für die TB-Prävention im eigenen Land abzuleiten.

A) EMPFEHLUNGEN FÜR GRAUBÜNDEN UND LIECHTENSTEIN

Die folgenden Empfehlungen richten sich in erster Linie an Graubünden und Liechtenstein, können aber auch für TB-freie Gebiete in Westösterreich und Süddeutschland von Relevanz sein, um einer Weiterverbreitung der TB vorzubeugen.

Prävention

- **Rothirsch-Aggregationen reduzieren und soweit möglich vermeiden:** Je weniger Aggregation desto besser; Aggregationen sind für die Übertragung der TB wichtiger als Dichten.
- **Beibehalten eines strikten Rothirsch-Fütterungsverbots:** Sowohl aktive Fütterung (gezielte Ausbringung von Futter für Rothirsche) als auch passive Fütterung (unbeabsichtigter Zugang zu Silage, Kompost etc. für Rothirsche) konsequent unterbinden.
- **Regulation von Rothirschbeständen:** Stabilisierung der Rothirschbestände in Gebieten mit guter räumlicher Verteilung. Reduktion in Gebieten, in denen in den letzten Jahren Bestandeszunahmen zu verzeichnen waren, bzw. in Gebieten, welche ein hohes Zuwachspotential aufweisen; erhöhte Bestandesdichten können vermehrt zu Aggregationen führen. (Interne) Zielvorgaben für Bestandesgrössen und –dichten haben sich in anderen Ländern dabei als hilfreich herausgestellt.
- **Weiträumige Habitatwahl des Rothirschs gewährleisten:**
 - o Freier Zugang zu Sommer- und Wintereinständen; räumliche Verteilung ggf. weiter optimieren durch verfeinerte Schutz- und Lenkungsmassnahmen (z.B. Lebensraumaufwertung, Wildschutzgebiete und Wildruhezonen).

- Im TB-freien Status den (genetischen) Austausch zwischen Rothirsch-Populationen fördern (z.B. über Wildtierkorridore).
- **Potenzielle TB-Wirtsspezies im Untersuchungsgebiet als Gesamtsystem betrachten:** Mit jeder zusätzlichen Wirtsspezies vermindern sich die Erfolgschancen von Präventions- und Bekämpfungsmassnahmen.
 - Rinder: Aktive Überwachung bei eingeführten Rindern weiterverfolgen.
 - Prävention einer Multi-Spezies-TB-Situation durch konsequente Regulation der Wildschweinpopulation. Es ist zu erwarten, dass die Wildschweinbestände auch im Alpenraum zunehmen (v.a. um intensive landwirtschaftliche Kulturen) und es dadurch in Zukunft zu vermehrtem Kontakt zwischen Rothirschen, Wildschweinen und landwirtschaftlichen Nutztieren kommen wird.
 - Aktive Politik gegen hohe Wildschweindichten fahren:
 - Das Wildschwein hat seinen berechtigten Platz im ökologischen System. Aus Sicht der Seuchenprävention (nicht nur TB!) muss die weitere Ausbreitung des Wildschweins jedoch kritisch beurteilt werden. Dort wo Wildschweine bereits heute vorkommen: Möglichst konsequente Verhinderung eines Anstiegs der Wildschweinpopulation.
 - Dort wo heute noch keine Wildschweine leben: Aufkommen von Wildschweinen möglichst konsequent verhindern.
- **Kontakte zwischen Rindern und Rothirschen vermeiden:** Auszäunen von Salzlecken, Futterlagerplätzen und anderen „Risikoorten“, welche die indirekte Übertragung von TB zwischen Rindern und Wildtieren fördern (Stichwort „Biosicherheit“)
- **Aufbruchmanagement anpassen:** Bei TB-Vorkommen: Ausweideregime und Entsorgung des Aufbruchs von Wildhuftieren anpassen (z.B. Vergraben vor Ort oder Entsorgen an Sammelstelle).
- **Grossraubtiere als Sanitätspolizisten:** Die natürliche Ausbreitung von Grossraubtieren zulassen und deren räumliches und populationsdynamisches Einwirken auf Wildhuftiere fördern.
- **Frühwarnsystem:** Guten Austausch mit Vorarlberg weiterpflegen und mit Tirol (v.a. Bezirk Landeck) intensivieren, damit Informationen über TB-verdächtige Rothirsche in bislang TB-freien, grenznahen Gebieten bereits bei positivem PCR-Ergebnis erhalten werden (und nicht erst nach der Bestätigung mittels Zellkulturen). Dies schafft 2–3 Monate mehr Zeit für notwendige Vorbereitungen seitens Graubünden und Liechtenstein.
- **Bekämpfungsstrategien für Gebiete mit hohem Schutzstatus entwickeln:** Im Schweizerischen Nationalpark (SNP) bestehen spezielle rechtliche Rahmenbedingungen und Ansätze für das Rothirsch-Management. Damit ist die Auswahl an Präventions- und Interventionsmassnahmen im Vergleich mit den umliegenden Gebieten ausserhalb des SNP eingeschränkt. Der SNP braucht eine eigene Strategie in Anlehnung an das von Graubünden, Liechtenstein und St. Gallen entwickelte Massnahmenpaket beim Auftreten von TB bei Rothirschen (Massnahmen bei Fällen im Unterengadin, Massnahmen beim ersten TB-Fall im SNP etc.).

Überwachung

- **Systematische Bestandeserhebungen beim Rothirsch** fortführen und wo nötig ausbauen/verfeinern.
- **TB-Monitoring beim Rothirsch aufrechterhalten, wo nötig ausbauen:** Die Probenanzahl im Ostschweizer und Liechtensteiner TB-Monitoring ist grundsätzlich ausreichend. Um die Aussagekraft des Monitorings zu verbessern, kann der Fokus aber noch verstärkt auf Risikotiere gelegt werden:
 - o 1. Priorität: Hegeabschüsse, Unfalltiere oder beim Ansprechen auffällige Individuen (auch ohne Hinweise auf ein infektiöses Geschehen).
 - o Zeitraum und Ort des Samplings im Spätherbst/Frühwinter gezielt so wählen, dass aus Vorarlberg zurückwandernde Rothirsche beprobt werden. Ein Fotofallenmonitoring an wichtigen Migrationsstandorten würde dabei die Erkenntnisse aus bisherigen Telemetrieprojekten ergänzen.
 - o Risikotiere ganzjährig beproben, inkl. im Rahmen der Bündner Jagd erlegte Rothirsche.

Gesetzliche Grundlagen

- Abklärung/Schaffung der Möglichkeit, dass Rothirsche ganzjährig und im gesamten Untersuchungsgebiet für die gezielte TB-Prävention und das TB-Monitoring erlegt werden können (z.B. bei grenznahen TB-Fällen, welche das Eintragsrisiko der TB erhöhen würden).

B) EMPFEHLUNGEN FÜR VORARLBERG UND TIROL

Die folgenden Empfehlungen richten sich in erster Linie an Gebiete mit TB-Vorkommen in Westösterreich, welche durch die Nachbarschaft das TB-Eintragsrisiko für Graubünden und Liechtenstein massgeblich beeinflussen. Die Empfehlungen lassen sich auch auf TB-Gebiete in Bayern übertragen, sowie auf Graubünden und Liechtenstein selbst, falls eine Etablierung der TB nicht verhindert werden kann.

Bekämpfung

- **TB-Übertragung gezielt unterbrechen:** Jedes Gebiet weist spezifische Risikofaktoren auf, welche zu intensiven und längeren Kontakten zwischen Rothirschen führen. Diese Faktoren gilt es für jede Rothirsch-Managementeinheit zu identifizieren. Am effizientesten sind jene Massnahmen, welche gezielt die Mechanismen der TB-Übertragung unterbrechen.
- **Fütterungen als Drehscheibe der TB schrittweise aufheben:** Auch wenn angenommen wird, dass Fütterungen durch ihr Lenkungspotential die räumliche Verteilung in umliegende Gebiete zu reduzieren vermögen, so bleiben sie doch der zentrale Punkt für die Übertragung der TB. Solange in TB-Gebieten grosse künstliche

Aggregationen bestehen, wird es TB geben. Letztlich wird die Wirkung aller weiteren Bekämpfungsmassnahmen durch Fütterungen untergraben.

- Für TB-Endemiegebiete würde der Weg zum Ziel über eine Kombination einer massiven Bestandesreduktion, gefolgt von einer (eventuell schrittweisen) Aufhebung von Fütterungen und begleitet durch ein intensives Monitoring führen.
 - Es ist davon auszugehen, dass die TB sich nach ihrer Einschleppung über wenige erkrankte Individuen in aktuell freien Gebieten etablieren kann, wenn in diesen Gebieten grosse Fütterungen betrieben werden.
- **TB-Bekämpfung entschieden anpacken und langfristig verfolgen:** Mit offensiven Strategien schneller ans Ziel. Vermeidung des „Gewöhnungseffekts“ oder der Akzeptanz von TB durch Stakeholder.

C) EMPFEHLUNGEN FÜR DIE GESAMTE D-A-CH-GRUPPE

Eine überregionale Kooperation in der Überwachung, Datensammlung und Auswertung, sowie der Forschung bietet allen Partnern der D-A-CH-Gruppe einen Mehrwert. Je besser die Ergebnisse der Arbeiten gemeinsam genützt werden können, desto gezielter können für jede Region Massnahmen für die Prävention und Bekämpfung der TB gesetzt werden.

Überwachung

- **Früherkennung in Gebieten mit hohen Rothirschdichten:** Bei örtlich erhöhten Dichten und/oder bekannten Aggregationen Probenanzahl deutlich erhöhen. Das Ziel soll eine möglichst rasche Erkennung der TB sein.
- **Andere Wildtierspezies ins TB-Monitoring einbeziehen:**
 - Alle erlegten und tot aufgefundenen Wildschweine beproben: Wildschweine gelten als sehr gute TB-Indikatortiere.
 - Untersuchung von Hegeabschüssen, verunfallten und auffälligen Rehen, Gämsen, Steinböcken, Füchsen und Dachsen im TB-Risikogebiet ausbauen.
- **Nutztiere monitoren:** Neben all dem Augenmerk auf Wildtiere die Hauswiederkäuer nicht ignorieren.
 - Rinder: Angesichts der aktuellen Lage ist ein Eintrag der TB über Rinder aus Österreich, Deutschland oder einem anderen Land mit TB-Fällen ein nicht zu unterschätzendes Risiko.
 - Wenn eine Ansteckung von Kleinwiederkäuern und (Neuwelt-)Kameliden möglich erscheint (z.B. bei Sömmerung in bekannten TB-Gebieten), auch diese Spezies in das TB-Monitoring miteinbeziehen.

Datensammlung, Auswertung

- **Risikobewertung für den Eintrag der TB aus Tirol nach Graubünden:** Für dieses Projekt lagen nicht genügend Daten zu Tirol vor, um das Eintragsrisiko der TB ins Unterengadin bewerten zu können und potenzielle zukünftige Entwicklungen zu berücksichtigen. Diese Risikobewertung soll in Anlehnung an Kapitel 3 für Tirol zeitnah ergänzt werden.
- **Harmonisierung der Datenerhebung, Daten- und Informationsaustausch und gemeinsame Auswertung:** Bessere Vergleichbarkeit zwischen Graubünden, Liechtenstein, Vorarlberg, Tirol und Süddeutschland anstreben für:
 - o Daten zum Populationsmonitoring und -management,
 - o Daten zum Monitoring von TB und anderen Wildtierkrankheiten (Probensammlung und Verarbeitung).
- **Übersicht TB-Situation bei Rothirschen:** Überregional vergleichbare Darstellung der TB-Situation und Auswertung des TB-Risikos für Rothirschbestände (in Gebieten mit/ohne TB) in der D-A-CH-Region, z.B. mittels Kartenmaterial, in welchem der gesamte Grossraum mit Tirol und dem Allgäu abgebildet und weitere TB-Faktoren stärker berücksichtigt werden (u.a. Aggregationen, Rothirschdichten, Migrationsrouten, Ergebnisse des TB-Monitorings, Nähe zu TB-Fällen; vgl. Abb. 4 und 5).

Forschungsbedarf

Die folgenden Studien sind thematisch und nicht nach Priorität geordnet.

Aus Sicht der Autoren sind die Genotypisierung der TB-Isolate bei Rothirschen sowie Rindern, die systematische Untersuchung der TB-Übertragungen bei Rindern, Studien zur Winterfütterung von Rothirschen und die Rolle der Migration von Rothirschen für die Verbreitung der TB die Fragestellungen, die zuerst beantwortet werden sollten. Anschliessend an die Fotofallen-Studie zur Migration von Rothirschen wären Untersuchungen zu den Effekten von Vergrämnungs- und Lenkungsmassnahmen sinnvoll.

- **Aggregationen von Rothirschen:**
 - o Feldstudie zu potenziellen negativen Aspekten beim Eingriff in Aggregationen.
 - o Untersuchung der Kontaktmuster zwischen Rothirschen in natürlichen Aggregationen im Vergleich zu Winterfütterungen. Für Tirol/Bezirk Reutte liegt dazu bereits umfangreiches Bildmaterial vom Reduktionsgatter vor, welches stellvertretend für die Fütterungssituation analysiert werden könnte. Für Winter-Aggregationen von ungefütterten Rothirschen wären diese Daten erst noch zu erheben (evtl. im Rahmen einer Masterarbeit möglich).
- **Rolle der Migration von Rothirschen für die Verbreitung der TB:**
 - o Wann und über welchen Zeitraum finden Migrationen an den einzelnen Standorten (Alpenpässe/Joche) statt? → Fotofallen-Studie zum besseren Verständnis der zeitlichen und räumlichen Nutzung alpiner Pässe/Joche, welche für die saisonale Migration von Rothirschen wichtig sind.

- Wie lange halten sich migrierende Rothirsche im Offenland (ausserhalb Wald) auf? → Detailanalyse bestehender Rothirsch-Telemetriedaten.
- **Effekte von Vergrämungs-/Lenkungsmassnahmen:**
 - Welche Massnahmen (partielle Zäune, Hunde, Abschüsse, akustische/olfaktorische Methoden etc.) sind zur Verhinderung/Reduktion von saisonalen Migrationen an wichtigen Migrationspunkten zielführend?
 - Wie beeinflussen diese Massnahmen das Verhalten und die Raumnutzung der Rothirsche?
 - Führen die Massnahmen letztlich „nur“ zu einer Verschiebung des Migrationszeitpunkts bzw. -orts oder wirken sie anhaltend? Wenn nicht anhaltend: wie rasch finden Rothirsche nach der Implementierung von Vergrämungs-/ Lenkungsmassnahmen alternative Migrationswege?
- **Winterfütterung von Rothirschen:** Folgen der Auflassung und/oder Dezentralisierung einer Winterfütterung auf die Raumnutzung und Verteilung von Rothirschen untersuchen und dokumentieren.
- **Genotypisierung der TB-Isolate bei Rothirschen sowie Rindern** mittels *whole genome sequencing* ausbauen und Zusammenarbeit zwischen den D-A-CH-Partnern und anderen europäischen Gruppen aufgleisen. Alternativ bereits jetzt auf kommerziellen Anbieter für Sequenzierungen zurückgreifen, damit eine Auswahl der Isolate mit höchster Priorität zeitnah im Jahr 2020 untersucht werden kann.
 - Isolate mit höchster Priorität: Abgleich der sporadischen Fälle bei Rothirschen im Bezirk Bregenz und Bezirk Landeck und der drei ausbruchsartigen TB-Geschehen im Bezirk Bludenz mit *M. caprae*-Isolaten aus den Hotspots im Bezirk Bludenz, Bezirk Reutte und Allgäu.
- **Genomanalysen TB-infizierter und –nicht-infizierter Rothirsche** mittels *whole genome sequencing* starten, um die genetische Variabilität und allfällige TB-Resistenz der Populationen zwischen den Regionen zu vergleichen.
- **Studien für die Kosten-Nutzen-Berechnung** von ressourcenintensiven Massnahmen, die zurzeit noch nicht Teil des routinemässigen Rothirsch-Managements sind.
- **Impfung von Rothirschen:** Falls das Thema Impfung von Rothirschen in der D-A-CH-Gruppe weiterverfolgt werden soll, sind im Massnahmenprofil zur Impfung (Anhang A) die notwendigen Studien Schritt für Schritt gelistet.
- **Systematische Untersuchung der TB-Übertragungen bei Rindern:** Untersuchung der Bedingungen auf Betrieben und Alpen in Vorarlberg und Tirol, auf denen es zu TB-Übertragungen auf Rinder kam, um daraus Empfehlungen und/oder Vorgaben zur Biosicherheit abzuleiten. Dazu zählt u.a. die Art des Kontakts zwischen Rindern und Rothirschen (Dauer, Intensität, direkt, indirekt) auf diesen Standorten, z.B. in Form einer Fall-Kontrollstudie im Vergleich mit Standorten im TB-Gebiet, wo es zu keinen Ansteckungen von Rindern durch Rothirsche kam).

1. EINLEITUNG

Mycobacterium (M.) caprae ist Teil des *Mycobacterium tuberculosis* Komplexes (MtbC) und wird seit 2003 als eigenständige Spezies beschrieben (Aranaz et al., 2003). Infektionen mit *M. caprae* wurden bislang hauptsächlich aus Kontinentaleuropa berichtet. Neben Rothirschen, Rindern, Ziegen und Schweinen wurde *M. caprae* auch bei Rehen in Vorarlberg und Bayern (Anonymus, 2013; Greber, 2018), einem Fuchs in Bayern (Anonymus, 2013), bei Wildschweinen in Spanien, Polen und Ungarn (García-Jiménez et al., 2013; Krajewska et al., 2014; Csivincsik et al., 2016), bei Dromedaren und Bisons in einem Zoo in Slowenien (Pate et al., 2006), bei in freier Wildbahn lebenden europäischen Bisons in Polen (Krzysiak et al., 2018) und beim Grauwolf in Polen (Orłowska et al., 2017) festgestellt. Das Wirtsspektrum umfasst auch den Menschen (zusammengefasst von Prodinger et al., 2014).

Weltweit gilt jedoch *M. bovis* der häufigste Erreger der Tuberkulose (TB) bei Wildtieren (Miller and Sweeney, 2013; Gortazar et al., 2015). Es liegen keine vergleichenden Studien zu durch *M. bovis* und *M. caprae* verursachten TB-Infektionen bei (Rot-)Hirschen vor; gemäß Literatur erscheinen aber sowohl die Pathogenese als auch die Pathomorphologie der beiden Erreger im Wesentlichen gleich zu sein.

Krankheitsbild und Läsionen: Beim Rothirsch ist die TB eine subakute bis chronische Erkrankung, die in fortgeschrittenem Stadium unter Abmagerung und meist ohne deutlich erkennbare klinische Krankheitssymptome verläuft (Clifton-Hadley and Wilesmith, 1991). TB wird beim Rothirsch meist über veränderte Lymphknoten und Organe diagnostiziert (Buchan and Griffin, 1990). Als Eintrittspforte des Erregers werden die Tonsillen angenommen (Mackintosh and Griffin, 1994; Lugton et al., 1997). In Folge kommt es im Sinne eines Primärkomplexes zu einer Mitreaktion der medialen retropharyngealen Lymphknoten (Lisle and Havill, 1985; Griffin and Buchan, 1994; Lugton et al., 1998), welche deshalb oft in Früherkennungs- und Monitoringprogrammen standardmäßig untersucht werden. In weiterer Folge nehmen Veränderungen in den Lymphknoten der Brusthöhle (*Lnn. mediastinales* und *Lnn. tracheobronchales*) und der Lunge, sowie der Darmlymphknoten (*Lnn. mesenteriales*) zu (Mackintosh et al., 2004). Läsionen treten auch auf dem Brustfell (Pleura), in den Bauchorganen und deren regionären Lymphknoten, dem Gesäuge oder subkutan auf.

Indikative Läsionen für die TB beim Rothirsch sind u.a. stecknadelkopf- bis über 10 cm grosse granulomatöse bis abszedierende Veränderungen. Die Läsionen verändern sich im Verlauf der verschiedenen Infektionsstadien progressiv und nehmen an Grösse und Anzahl zu. Typisch sind im fortgeschrittenen Stadium dünnwandige Bindegewebskapseln gefüllt mit rahmigem gelblich-weißem Eiter. Dünnwandige Abszesse und generalisierte schwere TB führen zu einer hohen Ausscheidung von Mykobakterien und damit einer gesteigerten Infektiosität der betroffenen Tiere (Clifton-Hadley and Wilesmith, 1991; Vicente et al., 2013). Von den zwischen 2009-2018 untersuchten Rothirschen aus Vorarlberg zeigten ca. 20 % singuläre tuberkulöse Veränderungen <5 mm (Patho Score 1); ca. 30 % wiesen fortgeschrittene TB auf (Patho Score 4 oder 5, vgl. Nigsch et al., 2019). TB beim Rothirschen kann bei bis etwa 25% der Individuen ohne makroskopisch erkennbare Läsionen einhergehen (Lugton et al., 1998; Müller et al., 2014).

Zeitliche Entwicklung der Läsionen: Infektionsversuche bei Weisswedelhirschen (Gatterwild) zeigten, dass die ersten mit blossen Auge erkennbaren Veränderungen sechs bis acht Wochen nach der Ansteckung gefunden werden, während sich dünnwandige Abszesse erst etwa elf Monate nach der Ansteckung bilden (Palmer et al., 2002). Diese Erkenntnisse können nicht 1:1 auf in freier Wildbahn lebende Rothirsche übertragen werden, geben aber zumindest Anhaltspunkte für die Altersbestimmung von Organveränderungen. Eine neuseeländische Studie wies darauf hin, dass Rothirsche die nicht innerhalb von 1–2 Jahren nach der Infektion (mit *M. bovis*) sterben, viele Jahre weiterleben können (Nugent, 2005).

Tenazität und indirekte Übertragung über Futter: Neben der direkten Übertragung der TB von Tier zu Tier konnte gezeigt werden, dass die TB auch über das mit dem Erreger kontaminierte Futter indirekt übertragen werden kann (Miller et al., 2003; Palmer et al., 2004). Bei niedrigen Temperaturen, geringer Sonneneinstrahlung (fehlendes UV-Licht) und feuchtem Klima kann der TB-Erreger in verschiedenen Futtermitteln mehrere Monate überleben. In einer Studie konnte der Erreger bei Temperaturen zwischen -20 °C und 23 °C nach 7 Tagen auf allen kontaminierten Futtermitteln (Heu, Korn, Zuckerrüben, Äpfel, Karotten und Kartoffeln) nachgewiesen werden. Bei -20 °C konnte *M. bovis* auch noch nach 112 Tagen von allen Futtermitteln isoliert werden (Palmer and Whipple, 2006). Neben kontaminierten Futtermitteln können auch Salzlecksteine, Wasser (mit organischem Material) und Erde rund um Futterplätze eine indirekte Infektionsquelle darstellen (Santos et al., 2015). Die Anzahl der ansteckungsfähigen Mykobakterien auf Futtermitteln kann zu Beginn sehr hoch sein, nimmt aber abhängig von den Umgebungskonditionen schnell ab; nur wenige Erreger überleben Wochen bis Monate. Basierend auf den Studienergebnissen unter Labor- und Feldbedingungen muss für alle kontaminierten Futtermittel davon ausgegangen werden, dass der TB-Erreger auf ihnen lang genug überleben kann, dass sowohl indirekte Übertragung von Nutztier-zu-Nutztier und Wildtier-zu-Wildtier, als auch zwischen den verschiedenen Spezies stattfinden können (d.h. zwischen Rindern und Rothirschen oder anderen Nutztier-/Wildtierspezies).

Epidemiologische Rolle der Wirtsspezies: Der Rothirsch in freier Wildbahn wurden in Österreich, Bayern, Frankreich und Kanada als Erhaltungswirt für die TB identifiziert (Zanella, Durand, et al., 2008; Zanella, Duvauchelle, et al., 2008; Shury and Bergeson, 2011; Schöpf et al., 2012; Fink et al., 2015). In Michigan (O'Brien et al., 2008) und Neuseeland (Nugent, 2005) sowie in Spanien gelten Rothirsche hingegen nur als Spillover-Wirte. In Michigan sind Weisswedelhirsche die zentrale Spezies im Erhalt der TB in einem sogenannten „Multi-Spezies-System“ in welchem verschiedene Hirscharten involviert sind. In Neuseeland sind dies die Possums und in Spanien mehrheitlich Wildschweine. Auch in Frankreich stellen Rothirsche gemeinsam mit Wildschweinen ein solches Multi-Spezies-System dar.

Wildtierreservoirs gelten als Grund für das Scheitern mehrerer europäischer Länder beim Erreichen des offiziell TB-freien Status der Rinder (Gavin et al., 2009). Die in den von TB-betroffenen Ländern festgestellten unterschiedlichen Rollen des Rothirschs im Erhalt der TB zeigen auf, dass die Epidemiologie der TB nicht nur durch einzelne Tierarten, sondern viel mehr durch die lokalen Bedingungen (Umwelt, Management, Gesamtsystem mit weiteren

potentiellen TB-Wirtsspezies etc.) beeinflusst wird. Die TB bei Wildtieren verlangt daher nach einer ökologischen Gesamtbetrachtung.

Für TB bei Rot- und Weisswedelhirschen wird beschrieben, dass die Fälle oft in Clustern oder Hotspots auftreten (O'Brien et al., 2008; Greber, 2011; Kössler, 2011; Shury and Bergeson, 2011), insbesondere dort wo Aggregationen und/oder höchste Hirschkichten vorkommen. Neben den durch menschliche Einwirkung verursachten Aggregationen spiegelt dies auch die rudelbildende Lebensweise des Rothirschs wider, durch welche natürliche Aggregationen entstehen (Bedeutung des Sozialverhaltens in der Epidemiologie der TB).

Prävention und Bekämpfung: In der Literatur gibt es wenige Beschreibungen von erfolgreichen TB-Eradikationen aus Wildtierpopulationen. Beispiele dafür sind Minnesota/USA (Carstensen and DonCarlos, 2011) und Australien (More et al., 2015). Hingegen gibt es viele Beispiele, welche zeigen, dass Eingriffe in infizierte Wildtierbestände zu einer Verringerung der TB-Fälle bei Rindern geführt haben (Gortázar et al., 2015), auch wenn die TB bei Wildtieren weiterhin vorkommt. Für eine machbare Prävention und Kontrolle der TB im Alpenraum sprechen mehrere Faktoren:

- Aktuell ist der Rothirsch der einzige Erhaltungswirt (Anm.: das Rind ist stets auch ein potenzieller Erhaltungswirt).
- Der Alpine Lebensraum weist viele natürliche Barrieren auf und limitiert so die Kontakte zwischen Subpopulationen.
- Die Aggregationspunkte in den TB-Gebieten sind bekannt.
- Die geographische Grösse der Hot-spots innerhalb des Vorarlberger Kerngebiets und des Tiroler Seuchengebiets sind relativ klein.
- Die Bekämpfungsansätze von Vorarlberg und Tirol haben bereits zu Verbesserungen geführt.

Für die Prävention und Bekämpfung der TB können mehrere Ansätze verfolgt werden:

- Verringerung der Ansteckungsfähigkeit (Kontagiosität) von TB-infizierten Individuen.
- Verringerung der Empfänglichkeit (Suszeptibilität) von gesunden Individuen.
- Anzahl der infizierten und empfänglichen Individuen. Die Anzahl der Individuen beeinflusst auch die Kontaktrate zwischen Infizierten und Empfänglichen.
- Bei den Kontaktraten sind zu berücksichtigen:
 - o Direkte Kontakte: Intensität, Dauer und Frequenz der Kontakte.
 - o Indirekte Kontakte: Eignung der Umgebung für das längere Überleben des Erregers. Der TB-Erreger ist ein Mykobakterium, welches besonders lang in feuchter, kühler und schattiger Umgebung (wenig UV- bzw. Sonnenlicht) ansteckungsfähig bleibt.

Risikotiere: Zu den Rothirschen mit erhöhtem TB-Infektionsrisiko zählen:

- Hegeabschüsse, verunfallte und auffällige Individuen, Fallwild, inkl. Individuen mit TB-unspezifischen Verletzungen (z.B. Laufverletzungen),
- Individuen, die beim Ansprechen unauffällig waren, jedoch beim Aufbrechen Organveränderungen aufweisen,

- Individuen mit höherer Wahrscheinlichkeit eines Kontakts mit TB-positiven Individuen; z.B. Individuen aus demselben Gruppenverband, in welchem ein TB-positives Individuum auftrat, „Wanderer“ aus/nach Österreich,
- Ältere und männliche Individuen.

Untersuchungen zu Risikotieren in Vorarlberg (Nigsch et al., 2019) decken sich grösstenteils mit internationalen Erkenntnissen: Hegeabschüsse und sonstige Rothirsche in schlechter Kondition, sowie männliche Individuen waren signifikant häufiger TB-positiv und wiesen auch öfter fortgeschrittenere Krankheitsstadien der TB auf. Für männliche Rothirsche wird vermutet, dass sie nicht *per se* empfänglicher für die TB sind, sondern dass der Stress bei der Brunft den Fortschritt der Krankheit beeinflussen könnte.

Ältere Rothirsche waren ebenfalls signifikant häufiger TB-positiv, zeigten aber nicht häufiger fortgeschrittene TB als Einjährige (Nigsch et al., 2019). Höhere Anteile an TB-Positiven unter älteren Individuen werden mehrfach in der Literatur beschrieben. Als Gründe werden vermutet, dass sie in ihrem langen Leben länger dem TB-Erreger gegenüber exponiert waren und durch den chronischen Verlauf der TB die erkennbaren Läsionen zum Teil erst Jahre nach der Infektion auftreten. In Vorarlberg hatten 5–9-jährige Hirsche der Klasse II die höchste Prävalenz. Bei zehnjährigen und älteren Hirschen der Klasse I war die Wahrscheinlichkeit TB-positiv zu sein dreimal geringer. Diese Beobachtung wurde auch in Neuseeland gemacht (Lugton et al., 1997): Die Autoren vermuteten, dass infizierte Rothirsche in zwei Gruppen eingeteilt werden können. Einer Gruppe ist es durch ihr starkes Immunsystem möglich, den Fortschritt der TB im Körper aufzuhalten oder alte Läsionen sogar wieder durch Gewebeumbau aufzulösen. Die andere Gruppe ist empfänglicher und stirbt, bevor die Individuen ein höheres Alter erreichen. Übrig bleiben vornehmlich die Rothirsche der ersten Gruppe, welche die TB erfolgreich kontrollieren konnten. Eine weitere Erklärung für weniger TB-positive Klasse I Hirsche könnte deren Kontaktmuster sein: es wurde beobachtet, dass ältere männliche Rothirsche vermehrt in kleineren Gruppen wandern oder sogar solitär leben. Dieses Verhalten könnte zu einer reduzierten Exposition gegenüber dem TB-Erreger führen.

TB wird nur sehr selten bei Hirschkalbern festgestellt. In Vorarlberg waren die weiblichen Rothirsche über zwei Jahre die Gruppe, welche am seltensten fortgeschrittene TB zeigte. Dies deutet darauf hin, dass Muttertiere eine limitierte Rolle spielen für die Infektion ihrer Kälber spielen.

Ausscheider: Individuen mit der höchsten Ansteckungsfähigkeit sind sogenannte „Super-Shedder“ oder ausgeprägte Ausscheider. Dies sind Individuen mit fortgeschrittener bis generalisierter TB, d.h. Individuen, bei welchen in den Lymphknoten, in der Lunge und teilweise bereits in anderen Organen (Leber, Gesäuge, Hoden, etc.) Tuberkel auftreten und die entsprechend viele Erreger ausscheiden. Auch bei frisch infizierten Individuen wurde eine geringgradige Erregerausscheidung nachgewiesen (Palmer et al., 2002). Dennoch wird den „Super-Ausscheidern“ die wichtigste Rolle in der Verbreitung der TB zugesprochen, da sie in ihrer Umgebung den Erreger massiv streuen und – je nach Kontakthäufigkeit – innerhalb von kurzer Zeit sehr viele Individuen anstecken können. Nimmt man als Beispiel, dass durch den Abschuss dieser ausgeprägten Ausscheider im Extremfall 20-30 Neuansteckungen

verhindert werden können, wird klar, dass ein Fokus der Bekämpfung und Prävention auf der raschen Entnahme dieser Hochrisikotiere liegen muss.

Empfänglichkeit: Die Empfänglichkeit von Rothirschen kann stark von Individuum zu Individuum variieren. In der Literatur gibt es zunehmend Hinweise darauf, dass verschiedene Stressoren, Verhaltens- und Umweltfaktoren sowie genetische Faktoren die Empfindlichkeit gegenüber Mykobakterien beeinflussen (Acevedo-Whitehouse et al., 2005). Die genaue Pathogenese von TB beim Rothirsch ist noch nicht geklärt, sie scheint aber durch externe Einflüsse wesentlich beeinflusst zu sein. Die genetische Variabilität kann eventuell langfristig gezielt durch genügend genetischen Austausch positiv beeinflusst werden.

Box 1: Definitionen von epidemiologischen Begriffen.

Definitionen:

Erhaltungswirt (Maintenance host): Wildtierspezies, in dessen Population ein Erreger aufrechterhalten bleibt, ohne dass eine externe Infektionsquelle benötigt wird (ausser für den initialen Eintrag des Erregers in die Population). Der Erhaltungswirt dient als Reservoir für den Erreger, d.h. als Infektionsquelle für andere empfängliche Spezies.

Überlaufswirt (Spillover host): Wildtierspezies, in dessen Population der Erreger nicht eigenständig (ohne erneute Einträge) aufrechterhalten werden kann. Infizierte Tiere bleiben typischerweise Einzelfälle, die jedoch den Erreger übertragen können.

Die Einteilung in Erhaltungs- und Überlaufswirt ist nicht statisch. Ein wichtiger Faktor ist die Tierdichte: eine Tierspezies bzw. deren Population kann mit steigender Dichte vom Überlaufswirt zum Erhaltungswirt werden.

Multi-Spezies-System (Multi-host system): Mehrere Spezies bzw. deren Populationen tragen durch ihre Interaktion miteinander dazu bei, dass der Erreger langfristig zirkulieren kann. Alle beteiligten Spezies und ihre Umwelt stellen ein Gesamtreservoir für den Erreger dar.

Etablierung der TB: Übergang vom Eintrag zum Erhalt der TB in einer Population.

TB-Tragfähigkeit eines Gebiets (TB-maintenance capacity): Dieser Begriff wird in diesem Bericht verwendet, um zu beschreiben, ob die TB sich in einem Gebiet aufgrund seiner Rothirsch-Population (inkl. dessen Kontaktstruktur) und Umweltbedingungen langfristig etablieren kann.

1.1 Projekthintergrund

Mit TB infizierte Rothirsche in Österreich stellen ein hohes Ansteckungsrisiko für Wild- und Nutztiere in der Schweiz und Liechtenstein dar. Offen ist die Frage, welche Massnahmen zu einer nachhaltigen Reduktion des TB-Infektionsrisikos für Rothirsche (und in Folge für

Rinder) führen, falls sich die TB im österreichischen Grenzraum etabliert und mit jährlichen TB-Fällen in Graubünden und/oder Liechtenstein gerechnet werden muss (Abb. 1).

Übergeordnetes Ziel

Aufzeigen von Handlungsmöglichkeiten gegen die Etablierung eines TB-Reservoirs in den Rothirschpopulationen Graubündens und Liechtensteins. Dies dient der Krisenvorsorge und unterstützt damit den Erhalt des hohen Tiergesundheitsstatus in der Schweiz und in Liechtenstein, den Tierschutz, die Lebensmittelsicherheit und den Erhalt des Vertrauens in die Qualität der tierischen Produkte.

Detailziele

- 1) Auslegeordnung der Präventions- und Bekämpfungsmassnahmen gegen die TB bei Rothirschen, welche in Graubünden und Liechtenstein angewendet werden können, inklusive
 - Massnahmen im Rahmen des Rothirsch-Managements,
 - Senkung des Infektionsdruckes durch Reduktion der Kontakte mit infizierten Individuen (Rothirsch-Rothirsch, Rind-Rothirsch),
 - Impfung von Rothirschen gegen TB,
 - Reduktion der Mykobakterien in der Umwelt, resp. deren Überlebensfähigkeit im Rothirschhabitat.
- 2) Abschätzung der erwartbaren Ausbreitung der TB in den Rothirschpopulationen im Vergleich mit Westösterreich.
- 3) Identifikation der Kernfaktoren für einen Erfolg der unterschiedlichen Bekämpfungsansätze im Alpinen Raum, inklusive der potenziellen Rolle anderer empfänglichen sympatrischen Wirtsspezies (Rind, Wildschwein, Dachs, Fuchs).

Diese Studie entspricht generell einer Konzeptarbeit. Es werden Empfehlungen für Folgestudien gegeben.

1.2 TB-Situation Vorarlberg

Die folgende Zusammenfassung basiert auf einem Artikel von Nigsch et al. (2019), aktualisiert mit Daten des Vorarlberger TB-Rotwildmonitoring.

Hintergrund: Der erste TB-Fall bei Rothirschen in Vorarlberg wurde im Jahr 2006 offiziell dokumentiert. Wie lange davor der Erreger *M. caprae* schon im Rothirschbestand zirkulierte, ist nicht bekannt. Eine Vermutung ist, dass *M. caprae* ursprünglich von Rindern auf Rothirsche übertragen wurde, sich im Rothirschbestand auf niedrigem Niveau gehalten hat und durch den starken Anstieg der Rothirschpopulation seit den 70er Jahren (Reimoser, 1988) nun sichtbar wurde.

Seit 2009 wird ein systematisches TB-Rotwildmonitoring in Vorarlberg durchgeführt. Die Probenanzahl und das Beprobungsgebiet werden jährlich auf die Fälle der Vorjahre

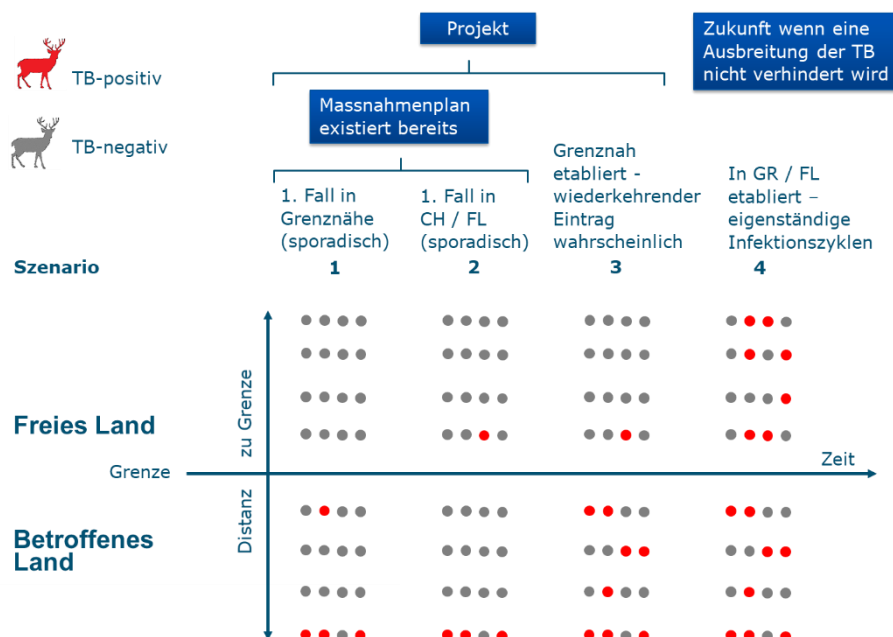


Abbildung 1: Szenarien für einen TB-Eintrag aus Österreich nach Graubünden (GR) oder Liechtenstein (FL). Die im Projekt evaluierten Massnahmen fokussieren auf die Szenarien 1 – 3 zur Verhinderung einer Etablierung der TB in GR / FL (Szenario 4). Mit dem Übergang von Szenario 3 zu Szenario 4 steigt das Risiko der Ansteckung von Rindern und empfänglichen Wildtierspezies durch infizierte Rothirsche („spillover“).

abgestimmt. Die TB-Fälle konzentrieren sich auf einen Hotspot in zwei Tälern (Klostertal und Silbertal) nördlich des Flusses Ill. Etwa 25–30 km nördlich von diesem Hotspot werden sporadische Fälle im Grenzgebiet zu Tirol und Deutschland detektiert. Beim Rothirsch scheint die Durchseuchung im Jahr 2013 ihr Plateau erreicht zu haben (Nigsch, 2016). Im Untersuchungsgebiet mit der höchsten Prävalenz (Kerngebiet) waren 16 (25 %) von 62 aller untersuchten Rothirsche TB-positiv. Seither nimmt die Prävalenz im Kerngebiet ab und das TB-Geschehen hat sich teilweise in die Peripherie des Kerngebiets verlagert (Greber, 2018). Generell zeigt die TB in Vorarlberg aber wenig Ausbreitungstendenz in neue Gebiete.

Die Wildfütterung ist in Vorarlberg nach wie vor erlaubt. Seit 2017 bestehen jedoch Einschränkungen bei der Wahl der Futtermittel und Auflagen zur Reinigung und Desinfektion der Anlagen im Frühjahr, sowie der Absperrung mit viehsicheren Zäunen (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2018). Es wird vermutet, dass die geringe Ausbreitung der TB mit der starken Lenkungswirkung der Fütterungen zusammenhängt.

TB-Gebiete: Das Monitoring unterscheidet vier Zonen entsprechend der TB-Prävalenz: Das Gebiet mit der höchsten Prävalenz ist das 103 km² grosse Kerngebiet, umringt vom Randgebiet (77 km²) und dem Beobachtungsgebiet (346 km²), sowie dem restlichen Landesgebiet mit Rothirschvorkommen (1,591 km²) in welchem zuvor TB beim Rothirsch nur sporadisch detektiert wurde (Abb. 2). Kern-, Rand- und Beobachtungsgebiet bilden

zusammen das 526 km² grosse TB-Bekämpfungsgebiet. Im Kern- und Randgebiet werden alle Rothirsche mit Ausnahme der Kälber (Jagdjahr 2018: n = 211) und im Beobachtungsgebiet mindestens 25 % der Abschüsse untersucht (Jagdjahr 2018: n = 183). Zusätzlich waren im TB-Bekämpfungsgebiet sämtliches untersuchungstaugliche Fallwild und Hegeabschüsse zu beproben. Auf das restliche Landesgebiet entfielen im Jagdjahr 2018 365 Proben, resp. 20 % der Abschüsse.

TB-Monitoring: Standardmässig werden die Rachenlymphknoten sowie der Lungentrakt mit den regionären Lymphknoten durch geschulte Jagdschutzorganen beprobt. Im Kern- und Randgebiet gelten aufgrund der Vollbeprobung die erleichterte Bedingung, dass bei Kahlwild das Probenmaterial auf den Schädel mit den medialen retropharyngealen Lymphknoten reduziert werden kann. Bei Rothirschen mit sichtbar veränderten Organen sind der Wildtierkörper und alle Innenorgane einem amtlichen Tierarzt zur Untersuchung vorzulegen. Fallwild und Hegeabschüsse werden generell von Tierärzten beprobt. Da – gleich wie in Tirol – nur verändertes Gewebe weiterführend untersucht wird (PCR, Kultur), ist davon auszugehen, dass die Prävalenz tendenziell unterschätzt wird. Internationale Studien zeigten, dass bis zu 25 % der TB-positiven Rothirsche noch keine erkennbaren Tuberkel aufweisen („non-visible lesions“) (Lugton et al., 1998; Müller et al., 2014).

Die Bekämpfungsmassnahmen wurden parallel zur Entwicklung der TB in der Rothirschpopulation und bei Rindern kontinuierlich erweitert und intensiviert. Sie beinhalten u.a.:

- Erhöhter Jagddruck / Vollbejagung im TB-Kern- und -Randgebiet,
- Aufhebung der Schonzeiten,
- Weitere Lenkungsmassnahmen bei Rothirschen,
- Fütterungshygiene und Lecksteinmanagement,
- Reinigung und Desinfektion der Rothirschfütterungen,
- Rahmenbedingungen für die implementierten Massnahmen und Ressourcenbedarf.

Eine detaillierte Zusammenstellung der Schwerpunktmassnahmen befindet sich auf der Homepage der Vorarlberger Landesregierung ([Link](#)).

Zusätzlich zu Rindern und Rothirschen wurden auch andere Wildtierspezies (Dachse, Füchse, Gämse, Rehe) untersucht, wenn auch nicht systematisch. TB konnte jedoch nur 2017 bei einem Rehbock festgestellt werden, welcher im bekannten TB-Gebiet erlegt wurde (Greber, 2018). Wildschweine sind in Vorarlberg selten und wurden bis dato nicht beprobt. Auf Basis der heutigen Erkenntnisse gibt es keinen Hinweis auf eine bedeutende Rolle anderer Wildtierspezies für den Erhalt des TB-Infektionszyklus in der Wildtierpopulation und für die Ansteckung von Rindern.

Muster in der TB-Verbreitung: In Vorarlberg können drei verschiedene Muster in der Verbreitung der TB unterschieden werden: Endemische Gebiete, Gebiete mit ausbruchsartiger Entwicklung der Fälle und Gebiete mit sporadischen Fällen.

Im Kerngebiet zeigt sich das typische Bild eines endemischen, dauerhaften und aktiven Geschehens ohne grosse Veränderungstendenz. Im selben Gebiet kommen sowohl Neuinfektionen als auch Ausscheider mit fortgeschrittener TB vor. Interessant ist, dass in den letzten Jahren weniger dieser Ausscheider detektiert wurden. Ob dies eine Folge des

erhöhten Jagddrucks über mehrere Jahre ist und ursächlich mit dem Rückgang der TB-Prävalenz zu tun hat, ist unklar. Besonders im Klostertal hat sich die TB-Situation nach der starken Reduktion der Rothirsche ab 2014 verbessert. Im Silbertal ist die Situation stabil, in den Jagdjahren 2016–2018 waren jeweils etwa 10 % der Proben TB-positiv. Mit sinkendem Rothirschbestand – und daran gekoppelt – verminderter Übertragungswahrscheinlichkeit der TB würde auch eine Ausbreitung in bislang TB-freie Gebiete weniger wahrscheinlich (z.B. südlich der III).

Ausbruchsgebiete zeigten das typische Bild einer punktuellen Ansteckungsquelle: Kurz nach der Ansteckung weisen viele Infizierte frühe Formen von Läsionen auf, welche sich Verlauf der Zeit in umfangreichere Stadien der Krankheit weiterentwickeln. Ob der Erregereintrag über einen einzelnen Ausscheider oder mehrere Individuen zurückzuführen ist, kann aus den Daten nicht herausgelesen werden. Die direkte Nachbarschaft zum Kerngebiet macht beide Szenarien möglich.

Bei allen drei Ausbrüchen wurden die ersten Fälle im Frühjahr detektiert, was auf eine Ansteckung im Winter hinweist. Nachdem alle bis Dezember untersuchten Kälber TB-negativ waren, konnten bei Schmaltieren und Schmalspiessern derselben Geburtskohorte 4–5 Monate später im April/Mai Tuberkel von <5 mm nachgewiesen werden. Von Januar bis März haben viele Kälber das erste Mal bei einer Fütterung Kontakt mit einer grösseren Anzahl von Rothirschen aller Altersgruppen. Auch mehrjährige Individuen wiesen im Frühjahr häufiger kleine Läsionen auf als im Rest des Jahres. Die Fütterung wird als zentraler Ansteckungsort angesehen.

Den sporadischen Fällen kommt eine besondere Bedeutung zu: Bislang gingen in Vorarlberg allen Ausbrüchen in den als TB-frei geltenden Gebieten sporadische Fälle voran. Im Norden Vorarlbergs werden nun aber schon 10 Jahre lang einzelne Fälle verzeichnet, ohne Hinweis auf eine lokale Weiterverbreitung. Sporadische Fälle wären in verschiedenen Szenarios zu erwarten; sie könnten entweder darauf hinweisen, dass sich die TB regional auf sehr niedrigem Niveau bei stationären Rothirschen etabliert hat und daher ständig präsent ist – oder dass regelmässige Einträge durch infizierte, wandernde Rothirsche aus betroffenen Teilen Vorarlbergs oder dem benachbarten Tirol oder Deutschland stattfinden. Die Daten des Monitorings deuten eher auf regelmässige Einträge hin. Die Abschussorte waren zwischen 1–13 km Luftlinie von der Vorarlberger Grenze zu Tirol und Deutschland entfernt. Auf Basis der Distanz zu TB-Gebieten können keine Rückschlüsse über die Herkunft der „Wanderer“ gezogen werden. Vergleichende genomische Untersuchungen könnten wichtige Erkenntnisse über die TB-Erreger liefern, welche in Vorarlberg, Tirol und dem Allgäu zirkulieren.

Auffallend ist die Alters- und Geschlechterverteilung bei den Fällen im Bezirk Bregenz: neun der insgesamt 14 Individuen waren mehrjährige männliche Rothirsche, sieben davon Hirsche der Klassen II und I. Auffallend war auch der hohe Anteil an Individuen mit fortgeschrittener TB (7 von 14; 50 %). Handelt es sich bei den sporadischen Fällen um „Wanderer“, welche aus betroffenen Gebieten temporär nach Vorarlberg gewandert sind, würde dies bedeuten, dass auch eine fortgeschrittene TB-Erkrankung für einen Rothirsch kein Hemmnis ist weite Distanzen zurückzulegen.

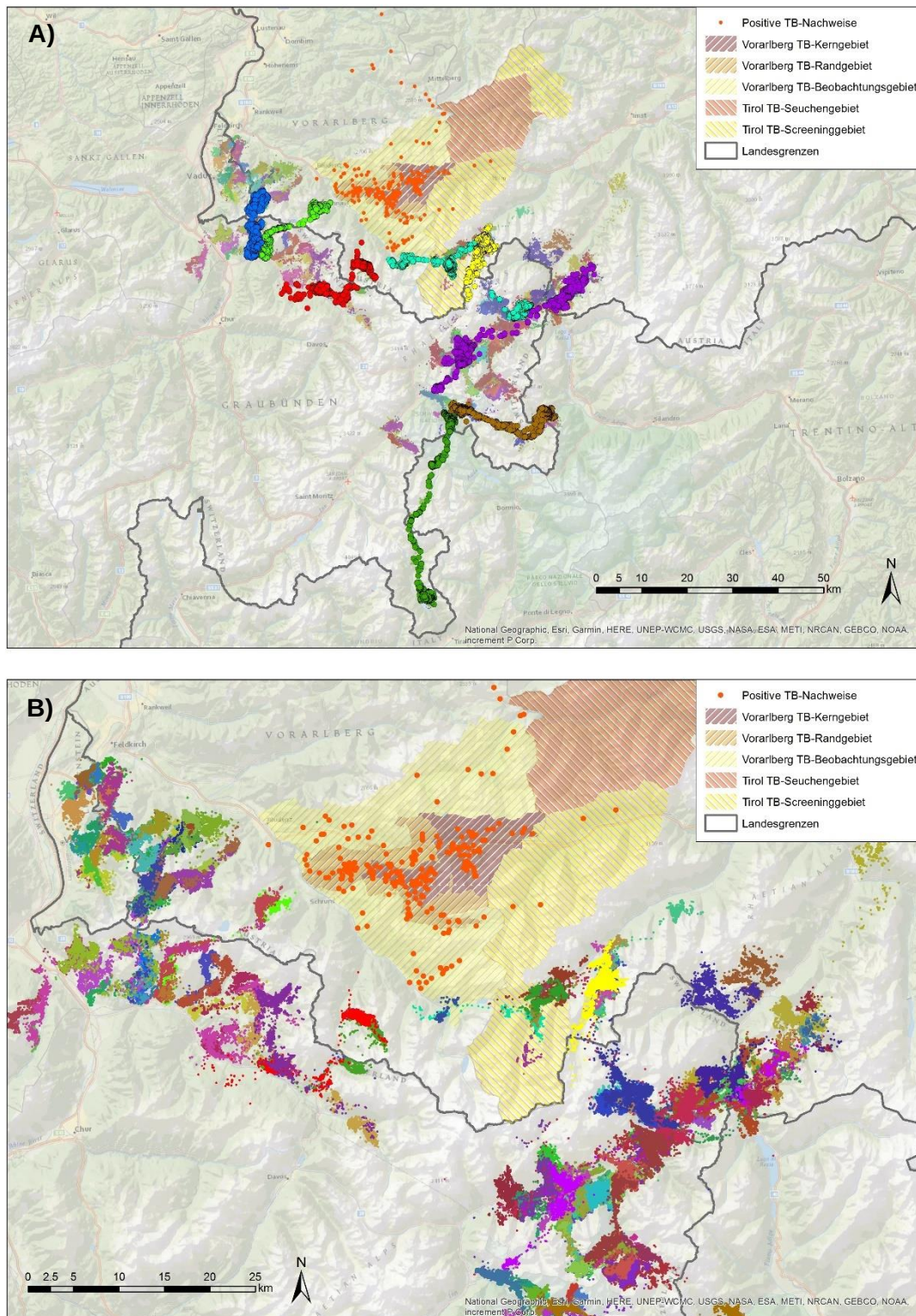


Abbildung 2: TB-Gebiete in Vorarlberg und Tirol und Migrationsrouten von Rothirschen in Graubünden, Liechtenstein, Vorarlberg und Tirol. A) Übersichtskarte mit Migrationsrouten ausgesuchter Rothirsche, um die räumliche Vernetzung der Rothirschbestände aufzuzeigen. B) Detailkarte vom Untersuchungsgebiet. Die Abschussorte von TB-positiven Rothirschen in Vorarlberg (TB-Fälle aus 2009-2019) und im Bezirk Landeck in Tirol (TB-Fälle aus 2018) sind als Punkte dargestellt. Das Tiroler TB-Seuchengebiet im Bezirk Landeck ist stellvertretend flächig skizziert.

1.3 TB-Situation Tirol

Die folgende Zusammenfassung basiert auf wissenschaftlicher Literatur, Vorträgen bei den jährlichen Alpenweidenviehverkehrstagungen, Berichten der Tiroler Landesregierung und des Landesrechnungshof Tirol, Pressemeldungen, Diskussionen beim TB-Workshop in Graubünden (Sept. 2019) und einem Interview mit Johannes Fritz (April 2019).

Im österreichischen Bundesland Tirol wurde im Dezember 1999 der erste TB-Fall bei einem Rothirsch im oberen Lechtal nachgewiesen. In den Jahren 2010/2011 betrug die TB-Prävalenz im Hotspot im oberen Lechtal (Gemeindegebiet Steeg) fast 40 % (Kössler, 2012). Dies führte dazu, dass die Bekämpfung der TB bei Rothirschen gemäss der Rotwild-TBC-Verordnung (BGBl. II 2011/181) auf Wunsch des Landes¹ in die Verantwortung der Veterinärbehörden fiel. Diese Verordnung sieht u.a. vor, dass ab einer Prävalenz von 35 % der Abschuss von Rothirschen nach dem TSG ausgeführt wird.

TB-Gebiete in Tirol: Das Seuchengebiet im Bezirk Reutte in fünf Gemeinden im oberen Lechtal hat sich ursprünglich in eine ca. 50 km² grosse Bekämpfungszone (davon „TB-Hotspot“ oder Kerngebiet ca. 12 km²) und die ca. 300 km² grosse Überwachungszone unterteilt (Abb. 2). Im Jahr 2014 wurde die Bekämpfungszone auf das Gebiet um das Reduktionsgatter auf ca. 25 ha reduziert. Neben dem Seuchengebiet werden zwei geographisch getrennte Rotwild-Tbc-Screeninggebiete ausgewiesen. Das Screeninggebiet (oder Überwachungsgebiet) im Westen Tirols in den Bezirken Reutte und Landeck umfasst aktuell weitere sechs Gemeinden mit ca. 480 km² Fläche. Diese Gemeinden grenzen östlich und südlich an das Seuchengebiet an. Im Süden im Bezirk Landeck zählen Reviere im Verwall, St. Anton und Galtür an der Grenze zu Vorarlberg dazu. Geographisch getrennt von den TB-Gebieten im Westen Tirols besteht 35 km östlich im Karwendelgebiet an der Grenze zu Bayern (nördliche Teile der Bezirke Innsbruck, Schwaz und Wörgl) ein weiteres Screeninggebiet. In diesen Screeninggebieten werden sporadische TB-Fälle bei Rothirschen (bisher nicht im Bezirk Reutte) nachgewiesen (siehe KVG, 2019 für eine Übersicht der untersuchten und *M. caprae*-positiven Rothirsche in Tirol). Die Grössen des Seuchengebietes und des Screeninggebietes werden regelmässig entsprechend der TB-Situation angepasst. Die detaillierten Massnahmen und die Ausweisung der Reviere im Tiroler TB-Seuchengebiet und dem Screeninggebiet werden jährlich in einer Verordnung veröffentlicht.

Reduktionsgatter: Als unterstützende Massnahme für die TB-Bekämpfung errichtete die Tiroler Landesregierung unter Assistenzleistung des österreichischen Bundesheeres in der Bekämpfungszone ein Reduktionsgatter. Ziel dieser Massnahme war die tierschutzgerechte Entnahme von Rothirschen, welche mit den herkömmlichen Jagdmethoden nicht erlegt werden konnten. Im 2011/2012 (Jahr 1) wurden ~285 Rothirsche in der Bekämpfungszone erlegt (davon 57 Individuen oder 20 % im Gatter selbst). Binnen 3 Jagdjahren (2010 bis 2012) wurde annähernd der gesamte Rothirschbestand im Hotspot erlegt (ca. 750

¹ Anmerkung: Die Massnahmen und Finanzierung nach dem Tierseuchengesetz des Bundes werden nur auf Antrag eines Bundeslandes umgesetzt, daher hat Vorarlberg eine Verordnung nach dem Jagdgesetz und verzichtet auf die (Kosten-)Beteiligung des Bundes.

Individuen). Aktuell wird wieder von einer Dichte (Frühsommerbestand) von 4-5 Rothirschen / 100 ha ausgegangen. Im Tiroler Hotspot entwickelte sich die TB-Situation seit dem Einsatz des Reduktionsgatters positiv: Die TB-Prävalenz beträgt seither noch 4–10 % mit jährlichen Schwankungen. Der Wiederanstieg der Rothirschpopulation und die Rückkehr der TB dürfte mit der Zuwanderung von Rothirschen aus den umliegenden TB-Gebieten zusammenhängen. Es liegen jedoch keine Untersuchungen über die Zuwanderungsrouten vor (z.B. durch genomischen Abgleich der *M. caprae*-Stämme mit Bayerischen oder Vorarlberger Isolaten).

Massnahmen: Im Tiroler Seuchen- und Screeninggebiet werden aktuell folgende Massnahmen durchgeführt:

- Verbot der Vorlage von Salzlecken auf Weidegebieten.
- Reinigung und Desinfektion (mit Formalin, Venno Vet, Branntkalk) der Fütterungen und Salzlecken durch den Jäger oder die Feuerwehr im Frühjahr und Herbst nach Vorgabe des Amtstierarztes.
- Lockfütterung / Kirrung ist nur dort erlaubt, wo kein Zugang für landwirtschaftliche Nutztiere besteht.
- Bei Nicht-Erreichen der Abschussquoten derzeit nur Strafverfahren mit Geldbussen nach dem Tierseuchengesetz.

Im Tiroler Seuchengebiet gelten zusätzlich folgende Vorgaben:

- Vorlage aller erlegten, getöteten und verendeten Rothirsche (gesamter Wildtierkörper ohne Magen, Gedärme und weitere Organe der Bauchhöhle, sofern keine Veränderungen vorliegen) beim Amtstierarzt.
- Pathologische Untersuchung aller Rothirsche durch einen Amtstierarzt. Beprobung und weiterführende labordiagnostische Untersuchung von Rothirschen mit sichtbaren Organveränderungen (Verdachtsproben) bzw. Abweichungen vom physiologischen Zustand (Abklärungsproben).
- Betretungsverbots der Bekämpfungszone vom 1. November – 31. März.
- Überwachungszone: Winterfütterung nur auf Anordnung des Amtstierarztes, limitiert auf Heu und Silage. Der Wechsel von Maissilage und Kraftfutter auf Heu und Grassilage hat zu keiner nennenswerten Verkleinerung der Aggregationen geführt.
- Reinigung des Fütterungsstandortes durch Entfernen des Festmists und der Futterreste und deren Lagerung als Dungpackung vermischt mit Branntkalk. Desinfektion des Fütterungsstandortes und der Düngerpackung nach Anweisung des Amtstierarztes.
- Rindersichere Abzäunung der Fütterungsstandorte.
- Regulierung auf Zielbestand von ca. 5-7 Rothirschen / 100 ha Sommerlebensraum (kartiert im geografische Informationssystem TIRIS für ganz Tirol auf Grundlage Gutachten von Forst/ Wildbiologie/ Jagd vor ca. 20 Jahren).

Im Screeninggebiet im Bezirk Reutte (3 Gemeinden) gelten zusätzlich folgende Vorgaben:

- Vorlage Stichproben von Rothirschen: Von erlegten, getöteten und verendeten weiblichen Rothirschen ab 2 Jahren sind nur die Köpfe vorzulegen (sofern keine sonstigen Auffälligkeiten vorliegen). Von Fallwild und Hegeabschüssen aller Klassen sind ebenfalls die Köpfe vorzulegen. Die Untersuchung des restlichen Wildtierkörpers obliegt der kundigen Person. Von allen auffälligen und von mindestens 10 % der unauffälligen gesammelten Köpfe werden Proben gezogen.

Entwicklung der TB im Bezirk Landeck: Gebiete im Westen des Bezirkes Landeck wurden ab 2013 ins Rotwild-Tbc-Screening aufgenommen. Im Herbst 2015 wurde bei zwei Rindern TB nachgewiesen, welche auf einer Alp in St. Anton gesömmert hatten. Etwa 40 Rothirsche wurden im betroffenen Gebiet auf TB getestet, aber alle Tests waren negativ (www.tt.com). Die ersten beiden TB-Fälle bei Rothirschen konnten im Bezirk Landeck erst 2016 nachgewiesen werden. Im Jagdjahr 2018 wurden insgesamt vier positive Rothirsche nachgewiesen: Zwei Fälle im Stanzertal (1x Pettneu/Ortsteil Schnann, 1x St. Anton) und zwei weitere Fälle ca. 14 km entfernt im höhergelegenen Verwalltal (1x Verwall, 1x Schönverwall; beide im Gemeindegebiet von St. Anton). Die Lokalisation der Fälle im Verwall und Schönverwall befindet sich dabei etwa 2–3 km östlich der Vorarlberger Grenze, etwa 11 km südlich des Seuchengebiets und etwa 15 km nördlich der Grenze zum Unterengadin (Luftlinie). An natürlichen Grenzen zum Unterengadin liegen in diesem Gebiet zwei Gebirge: Die Verwallgruppe mit Pässen ab 2'600 m ü.M. ins Paznaun- und Jammtal (sowie deren Seitentäler) und die Silvretta mit Pässen ab 2'600 m ü.M. (teilweise im Gletschergebiet) ins Unterengadin.

Im Bezirk Landeck werden jährlich etwa 50–77 Rothirsche im Rahmen des Tiroler Rotwild-Tbc-Screenings untersucht. Das Untersuchungsmaterial stellt sich aus weiblichen Rothirschen ab 2 Jahren zusammen, von denen Kopflymphknoten für labordiagnostische Untersuchungen an die AGES weitergeleitet werden.

Durch die geographische Nähe zu Graubünden und der nachgewiesenen Migration von Rothirschen aus Landeck ins Unterengadin erhöhen diese TB-Fälle das Eintragsrisiko der TB ins Unterengadin. Daten aus dem Besenderungsprojekt „Ingio via“ (Quelle: Amt für Jagd und Fischerei Graubünden & Schweizerischer Nationalpark) zeigten die Wanderbewegung eines männlichen Rothirschs, welcher Sommereinstände im hinteren Montafon und Paznauntal sowie Wintereinstände im Unterengadin hatte und damit eine potentielle Verbindung zwischen den Vorarlberger und Tiroler TB-Gebieten mit dem Unterengadin darstellt (siehe türkis-grüne Punkte in Abb. 2A). Die uns für dieses Individuum zur Verfügung gestellten Daten deckten den Zeitraum 31. März – 5. Dezember 2018 ab. In diesem Zeitraum konnten Wanderungen von mehreren, sowohl männlichen wie auch weiblichen Rothirschen über die Grenze zwischen Tirol und Graubünden dokumentiert werden (Datenquellen: Projekt „Ingio via“ des Amtes für Jagd und Fischerei Graubünden & Schweizerischen Nationalparks sowie Projekt „Ländereck“ der Tiroler Jägerschaft). Diese beiden Besenderungsprojekte befinden sich noch in der Durchführungsphase und es ist anzunehmen, dass es noch weitere Verbindungen zwischen Tiroler und Bündner Rothirschen gibt.

1.4 TB-Situation Ostschweiz und Liechtenstein

Die folgende Zusammenfassung basiert auf den Jahresberichten zur TB-Überwachung bei Wildtieren (BLV, 2019) und den dazugehörenden Rohdaten.

In der Ostschweiz (Teile der Kantone Graubünden und St. Gallen) und in Liechtenstein (gesamtes Land) wurden im Zeitraum Juni 2014 – Dezember 2018 insgesamt 1'049 Proben von Wildtieren im Rahmen von zwei Überwachungsprogrammen untersucht. Auf Rothirsche entfielen dabei 1'021 (97 %) der Proben. Die restlichen 28 Proben verteilten sich auf Rehe, Steinböcke, Gämsen und einen Fuchs.

Das Ziel der risikobasierten Überwachung TB Wildtier ist das frühe Erkennen einer Einschleppung von TB über Wildtiere, bzw. von autochthonen TB-Fällen bei Wildtieren über die Untersuchung von Fallwild und Hegeabschüssen (ganzjährig, alle Ziel-Spezies).

In der Stichprobe TB gesunde Rothirsche werden unauffällige Rothirsche untersucht, um einen Eintrag von TB festzustellen (z.B. frühe Formen ohne Klinik) bzw. um den Nachweis erbringen zu können, dass die Ostschweizer und Liechtensteiner Rothirschpopulationen noch stets TB-frei sind.

Auf Basis der Untersuchungsergebnisse gibt es keine Hinweise darauf, dass ein Eintrag von TB in die Wildtierpopulation der Ostschweiz und Liechtensteins erfolgt ist. Mit 95 %-iger Sicherheit liegt die TB-Prävalenz im überwachten Gebiet zwischen 0 und 1 %. Des Weiteren gibt es keinen Hinweis, dass innerhalb des TB-Überwachungsgebiets eine Infektion zwischen Wildtieren und möglicherweise unerkannten TB-positiven Nutztieren (Rindern oder anderen empfänglichen Tierarten) stattgefunden hat.

1.5 TB-Monitoring 2020+

Zu beprobende Rothirsche: Im Ostschweizer und Liechtensteiner TB-Monitoring werden mit 230–250 Rothirschen grundsätzlich ausreichend Proben untersucht. Die Probenanzahl sollte nicht unter 220 Rothirsche fallen. Um die Aussagekraft des Monitorings weiter zu verbessern, ist es wichtiger den Fokus noch stärker auf die risikobasierte Überwachung zu legen statt die Probenanzahl in der Stichprobe der gesunden Rothirsche zu erhöhen: Höchste Priorität haben weiterhin Hegeabschüsse, Unfalltiere oder beim Ansprechen auffällige Individuen (auch ohne Hinweise auf ein infektiöses Geschehen).

Bei einem ausbruchsartigen TB-Geschehen in Vorarlberg zeigte sich das Infektionsgeschehen zuerst bei einjährigen und bei weiblichen Rothirschen, welche vermutlich an einer Winterfütterung von älteren Rothirschen infiziert wurden. Es ist unklar, wie hoch das Ansteckungsrisiko für Jungtiere in Gebieten ohne Fütterungen ist. Aus Vorarlberg liegen keine Hinweise vor, dass Jungtiere eine bedeutende Rolle in der geographischen Verbreitung der TB spielen. Die TB wird eher über ältere Individuen in neue Gebiete eingetragen. Für die Früherkennung eines TB-Eintrags nach Graubünden oder Liechtenstein spielt die Untersuchung von unauffälligen Einjährigen daher eine nachgeordnete Rolle. Einjährige sind jedoch relevante Indikatortiere für ein aktives, lokales Infektionsgeschehen; aufgrund ihres geringen Alters kann der Zeitpunkt der Ansteckung nur

wenige Monate zurück liegen. Zudem sind sie aus ihrem Geburtsgebiet in der Regel noch nicht weiträumig abgewandert.

Zeit: In den fünf Jahren des TB-Monitorings 2014–2018 wurden im Zeitraum jeweils vom 1. Februar bis 31. Juli insgesamt nur 31 Individuen untersucht (davon 25 im Rahmen der risikobasierten Überwachung). Es ist darauf zu achten, dass Risikotiere ganzjährig beprobt werden, inkl. geschwächte Individuen an den Liechtensteiner Winternotfütterungen. Wird vermutet, dass Rothirschrudel in Liechtenstein oder Graubünden mit Vorarlberger oder Tiroler Rothirschen durchmischt sind, sollte der Hegebegriff sehr breit ausgelegt und Risikotiere auch bei geringen Auffälligkeiten im Rahmen der risikobasierten Überwachung erlegt und beprobt werden. Abgemagerte Rothirsche im Frühjahr könnten eine Folge von TB sein! Das Monitoring kann viel zur Aufdeckung einer TB-Infektionskette und zur Früherkennung der TB beitragen.

Ort: Das TB-Überwachungsgebiet bildet das Gebiet mit dem höchsten Risiko eines TB-Eintrags gut ab. Der Ort des Samplings im Spätherbst/Frühwinter ist gezielt so wählen, dass aus Vorarlberg zurückwandernde Rothirsche beprobt werden. Tabelle 3 listet die Passübergänge, welche von besenderten Rothirschen in den Telemetrieprojekten „Rätikon“, „Ingio via“ und „Ländereck“ begangen wurden. Die räumliche Verteilung der Proben könnte zusätzlich verbessert werden, indem im Unterengadin vermehrt Rothirsche nördlich des Inns beprobt werden. Ein Fotofallenmonitoring an wichtigen Migrationsstandorten würde dabei die Erkenntnisse aus bisherigen Telemetrieprojekten ergänzen.

Verstärkte Untersuchung weiterer Wildtierspezies: In den Monitoringjahren 2014–2018 wurden in der risikobasierten Überwachung neben Rothirschen auch ein Fuchs, sieben Gämse und je zehn Rehe und Steinböcke auf untersucht. Dachse und Wildschweine gelten in anderen Ländern als TB-Erhaltungswirte. Um deren potenzielle Rolle im Alpenraum besser zu verstehen, wird empfohlen zukünftig neben Hegeabschüssen, verunfallten und auffälligen Rehen, Gämsen, Steinböcken und Füchsen auch Dachse und Wildschweine im TB-Risikogebiet zu untersuchen.

Wildschweine gelten als besonders gute TB-Indikatortiere. Durch das Graben im Erdreich nehmen Wildschweine oft andere Mykobakterien auf (*M. microti* und weitere, nicht-tuberkulöse Mykobakterien), was die Diagnostik von *M. caprae* erschwert. Ergebnisse der Differentialdiagnostik sind auch für Rothirsche und andere Wildtiere relevant. Daher sollten alle erlegten oder tot aufgefundenen Wildschweine beprobt werden (auch unauffällige Individuen).

Schweizweit ist die Weiterführung des „Gesundheitsmonitoring Wild“ sicherzustellen, um mögliche TB-Einträge in die Wildtierpopulation frühzeitig erkennen zu können.

Nutztiere: Neben Wildtieren könnte die TB auch über falsch-negativ oder nicht getestete Rinder (und in geringerem Masse auch über andere empfängliche Nutztiere wie Kleinwiederkäuer oder (Neuwelt-)Kameliden) in die Schweiz oder nach Liechtenstein eingetragen werden.

In diesem Projekt wurde TB bei Rindern dezidiert nicht behandelt. Daher kann an dieser Stelle auch keine Aussage darüber gemacht werden, ob das TB-Eintragsrisiko über Rothirsche oder Rinder höher ist. Ein Eintrag der TB über Rinder aus Österreich,

Deutschland oder einem anderen Land mit TB-Fällen stellt grundsätzlich ein nicht zu unterschätzendes Risiko dar.

Neue Ansätze im Monitoring: In Portugal konnte *M. bovis* im Kot und Urin von Rothirschen mit TB-verdächtigen Läsionen in der PCR nachgewiesen werden (Santos et al., 2015). In einer ähnlichen Studie in Bayern wurden von 55 TB-positiven Rothirschen Organmaterial, Exkrete und Sekrete (Kot, Harn, Speichel und Tonsillentupfer) auf TB getestet. *M. caprae* konnte aber nur bei einem Individuum im Herzbeutel und im Kot in der Zellkultur isoliert werden. Es handelte sich um ein auf 16 Jahre geschätztes Alttier mit generalisierter TB (Dorn-In et al., 2019).

Das TB-Monitoring über Umweltproben wird derzeit in Vorarlberg und Tirol getestet (Reitmayer, Doktorarbeit in Vorbereitung). Gelingt es, den Erreger z.B. in der Umgebung von Fütterungen oder Salzlecken nachzuweisen, könnte die Risikoplätze schneller identifiziert werden, an denen Ausscheider stehen und wo für die gesamte Gruppe von Rothirschen ein höheres Ansteckungsrisiko besteht. Je nach der Sensitivität und Spezifität der Methode und den weiteren Ergebnissen aus dieser Doktorarbeit könnte dieser Ansatz auch für das TB-Monitoring in der Ostschweiz und Liechtenstein genutzt werden. Für 2020 ist die Untersuchung von Umweltproben aber noch nicht relevant.

Als weiterer neuer Ansatz für die Überwachung könnten in Zukunft Blut-Assays (siehe auch Anhang A, Kapitel 11.2) für ein Screening der Proben in der nationalen Serumbank oder für anlassbezogene Probenahmen verwendet werden.

2. VERGLEICHBARKEIT DER REGIONALEN GEGEBENHEITEN IM UNTERSUCHUNGSGBIET

Das Untersuchungsgebiet umfasst Liechtenstein, die Gebiete des Kantons Graubünden nördlich des Flusses Landquart und östlich des Alpenrheins sowie Vorarlberg.

2.1 Vergleich der naturräumlichen Gegebenheiten

Um die naturräumlichen Gegebenheiten im Untersuchungsgebiet über die Landesgrenzen hinweg zu vergleichen, haben wir ein aus schweizerischen und österreichischen Geodaten zusammengefügtes Höhenmodell benutzt und in einem 25x25m-Raster daraus die Parameter Höhe über Meer [m], Hangneigung [°], Kupiertheit des Geländes [Index] und Sonneneinstrahlung [Wh/m²] abgeleitet. Aus weiteren Geodatengrundlagen (Schweiz/Liechtenstein: Bodenbedeckung aus dem Topographischen Landschaftsmodell; Österreich: Sentinel-2 basierte Karte der Bodenbedeckung) haben wir zudem für jede Rasterzelle den Waldanteil, den Offenlandanteil (d.h. Grünflächen ausserhalb Wald) sowie den Anteil an Gewässern und Feuchtgebieten berechnet.

Die resultierenden Daten und Karten zeigen, dass die naturräumlichen Gegebenheiten in Graubünden, Liechtenstein und Vorarlberg grundsätzlich vergleichbar sind (Abb. 3). Verschiedene multifaktorielle Modelle zum Einfluss der naturräumlichen Gegebenheiten auf das Auftreten von TB-positiven Fällen beim Rothirsch heben unter sämtlichen der oben genannten Parameter insbesondere die Sonneneinstrahlung hervor. So konnten wir feststellen, dass positive TB-Proben vermehrt aus schattigen Standorten stammen (wenngleich hier angemerkt werden muss, dass die vorangehende Ansteckung natürlich auch andernorts erfolgt sein könnte).

2.2 Vergleich der Rothirsch-Bestandesdichten und -Aggregationen

Für den Vergleich der Rothirschbestände haben wir die uns vorliegenden Bestandesdaten länderübergreifend nach vergleichbaren Wildräumen analysiert. Dazu haben wir in Graubünden die Hirschregionen (Datengrundlage Amt für Jagd und Fischerei Graubünden), in Liechtenstein die Rothirschzonen (Datengrundlage Amt für Umwelt Liechtenstein) und in Vorarlberg die Wildregionen (Datengrundlage Amt der Vorarlberger Landesregierung) herangezogen (siehe Abb. 4 und 5). Als jeweilige Bestandesgrössen haben wir in Graubünden und Liechtenstein die Mittelwerte der reinen Taxationsergebnisse (ohne Dunkelziffer) aus den jeweils im Spätwinter/Frühling der Jahre 2012-2019 durchgeführten Scheinwerfertaxationen verwendet (Datengrundlagen Amt für Jagd und Fischerei Graubünden und Amt für Umwelt Liechtenstein), in Vorarlberg die für den Winter 2018/19 geschätzten Rothirschbestände an den Winterfütterungen und Wintergattern (Datengrundlage Amt der Vorarlberger Landesregierung sowie Expertise der zuständigen Fachperson Hubert Schatz). Nach unserer Einschätzung repräsentieren diese Datengrundlagen den minimalen Rothirschbestand während dem Winter in den einzelnen Wildräumen.

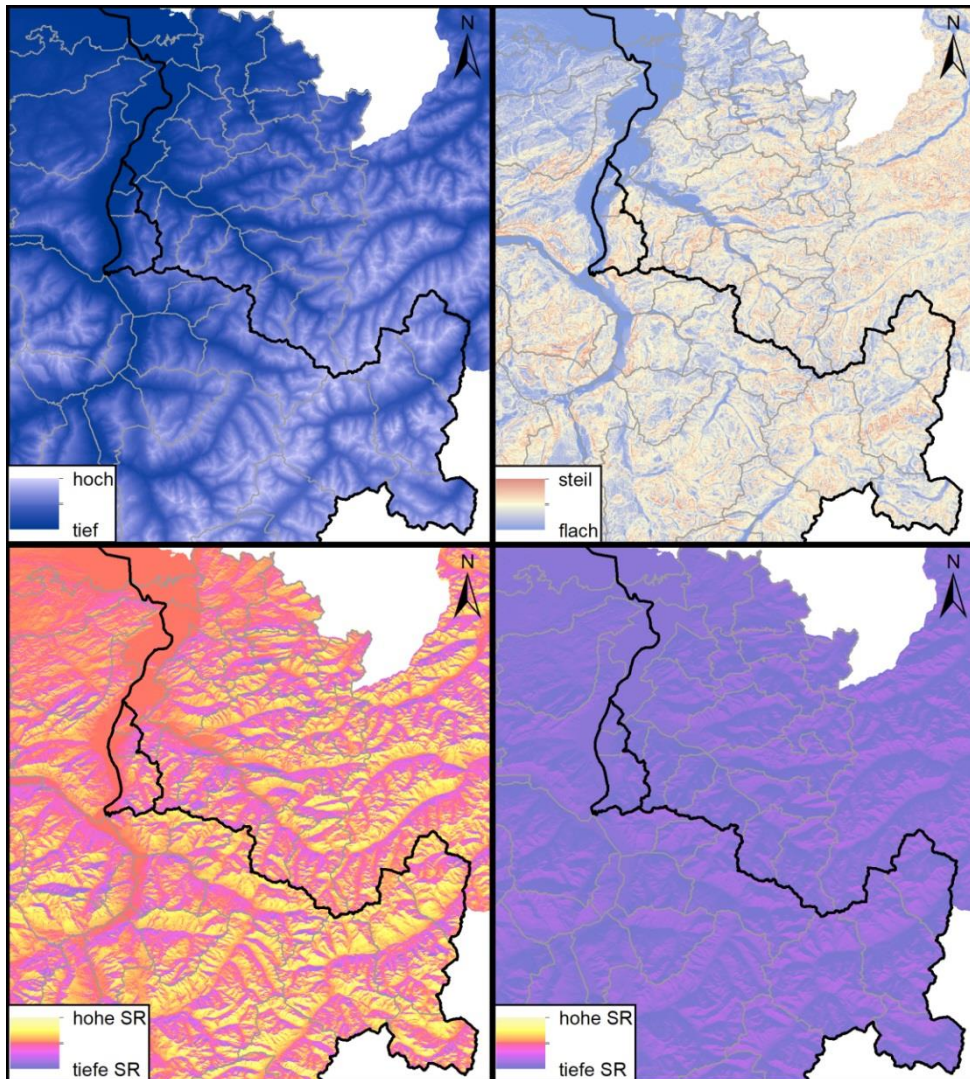


Abbildung 3: Darstellung der naturräumlichen Parameter Höhe über Meer (oben links), Hangneigung (oben rechts), Sonneneinstrahlung im September (unten links) und Sonneneinstrahlung im November-Dezember (unten rechts). Die schwarzen Linien kennzeichnen Landesgrenzen, die grauen Linien die von uns verwendeten Wildräume (Hirschregionen in Graubünden, Rothirschzonen in Liechtenstein und Wildregionen in Vorarlberg).

Aus obigen Bestandeszahlen haben wir einen relativen Index für die Rothirsch-Bestandesdichte pro Wildraum berechnet, indem wir die Anzahl Rothirsche auf den jeweils verfügbaren Rothirsch-Lebensraum (Summe aus Waldfläche und Grünlandfläche) bezogen haben. Die Ergebnisse weisen für die Wildregion „Bartholomäberg-Silbertal“ deutlich die höchsten Bestandesdichten aus, gefolgt von weiteren Wildregionen Vorarlbergs sowie einzelnen Hirschregionen Graubündens (Abb. 4). Aufgrund nicht vorhandener Bestandesschätzungen für den Sommer konnten wir die Dichtindices lediglich für den Winter generieren.

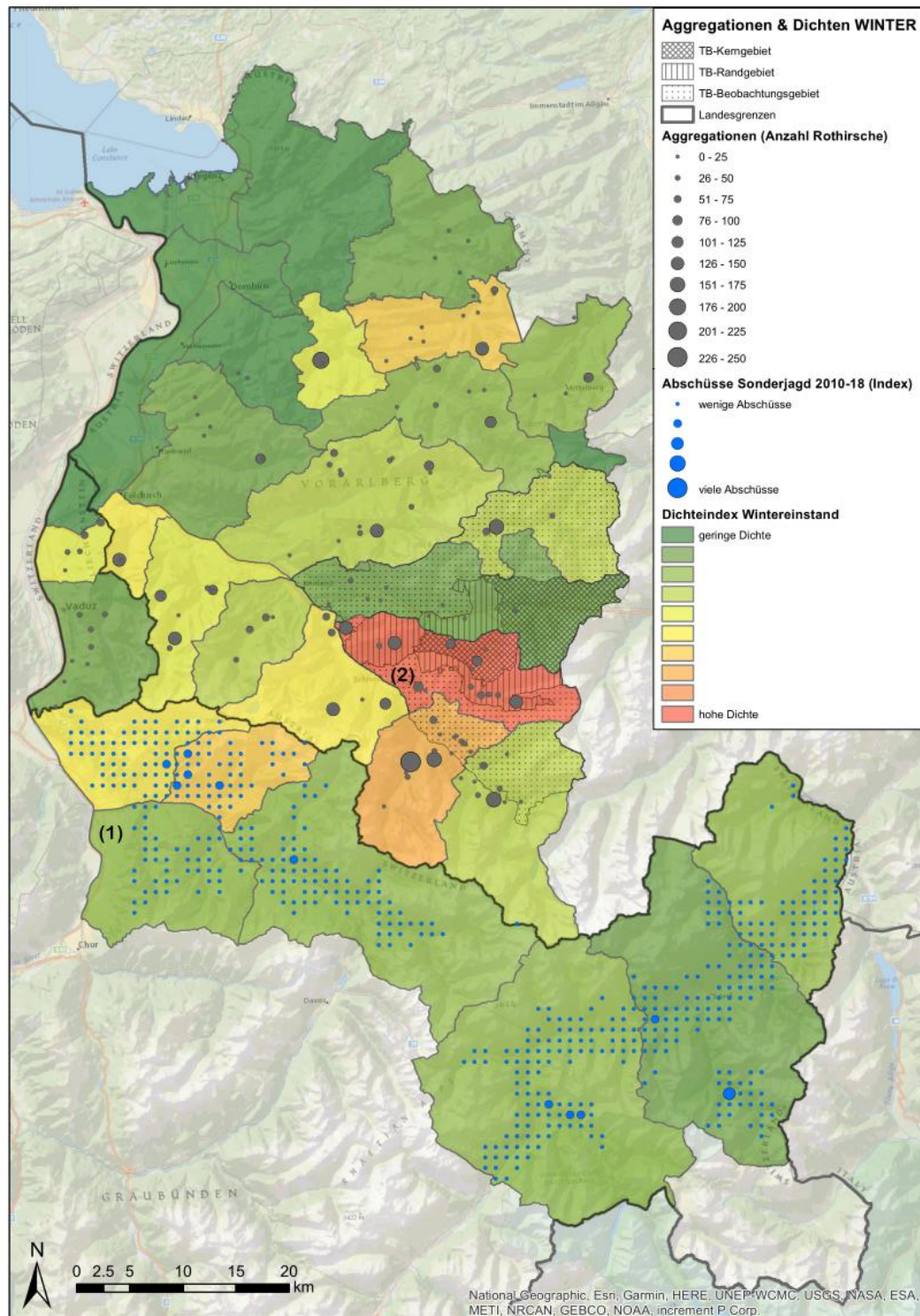


Abbildung 4: Dichteindex und Aggregationen im Winter im Vergleich im Untersuchungsgebiet Graubünden, Liechtenstein und Vorarlberg. Für Graubünden sind an Stelle von Aggregationen die Abschüsse während der Sonderjagd im November und Dezember als Index dargestellt. (1) Weil in der Hirschregion „Igis-Furna-Fideris“ nur ein Bruchteil des Rothirschlebensraums auf Taxationsrouten befahren wird, wurde hier der Dichteindex in Absprache mit der zuständigen Jagdverwaltung mit dem Faktor 3 multipliziert. (2) Im Rotwildraum „Klostertal“ war der Rothirschbestand gemäss zuständiger Behörde vor einigen Jahren um etwa den Faktor 3 höher als heute. Weitere Details siehe Text.

Zusätzlich zu den Bestandesdichten pro Wildraum haben wir die Standorte mit grösseren Rothirsch-Aggregationen ausgewiesen. Für die Aggregationen im Winter (Abb. 4) haben wir in Graubünden als Indikator die Sonderjagd-Abschüsse der Jahre 2010-2018 auf einer relativen Skala pro Kilometerquadrat dargestellt (die Sonderjagd findet jeweils im November-Dezember statt; Datengrundlage Amt für Jagd und Fischerei Graubünden). Für Liechtenstein haben wir konkrete gutachtliche Winter-Aggregationsstandorte und -zahlen erhalten (Datengrundlage Amt für Umwelt Liechtenstein) und für Vorarlberg wiederum die für den Winter 2018/19 geschätzten Rothirschbestände an den Winterfütterungen und Wintergattern verwendet (Datengrundlage Amt der Vorarlberger Landesregierung sowie Expertise der zuständigen Fachperson Hubert Schatz). Für die Aggregationen im Sommer (Abb. 5) haben wir in Graubünden als Indikator die Hochjagd-Abschüsse der Jahre 2010-2018 auf einer relativen Skala pro Kilometerquadrat dargestellt (die Hochjagd findet jeweils im September statt; Datengrundlage Amt für Jagd und Fischerei Graubünden). Für Liechtenstein haben wir wiederum konkrete gutachtliche Sommer-Aggregationsstandorte und -zahlen erhalten (Datengrundlage Amt für Umwelt Liechtenstein). Für Vorarlberg standen keine Daten zur Ausweisung von Sommer-Aggregationen zur Verfügung.

2.3 Vergleich der Bewegungsdaten besenderter Rothirsche

In den letzten Jahren wurden im Untersuchungsgebiet zahlreiche Telemetrieprojekte mit Rothirschen durchgeführt. So wurden uns von den Projektverantwortlichen unter anderem die Rothirsch-Telemetriedaten aus dem Projekt „Rätikon“ (Vorarlberger Jägerschaft, Amt für Umwelt Liechtenstein, Amt für Jagd und Fischerei Graubünden), dem Projekt „Ingio via“ (Amt für Jagd und Fischerei Graubünden, Schweizerischer Nationalpark) sowie aus dem Langzeitmonitoring des Schweizerischen Nationalparks zur Verfügung gestellt. Nach Aufarbeitung und Bereinigung der GPS-Rohdaten waren damit einheitliche Vergleiche zwischen den unterschiedlichen Gebieten möglich.

Als Mass für die räumliche Bewegungsintensität im Sommer- und Wintereinstand haben wir die von den Rothirschen durchschnittlich pro 3h-Intervall zurückgelegten euklidischen Distanzen zwischen jeweils zwei GPS-Positionen berechnet, jeweils getrennt nach Projektgebiet und unterteilt nach Jahreszeit (Tab. 1 und 2). Dabei haben wir für den Sommer die Daten aus den Monaten Juli und August herangezogen, weil sich die Rothirsche dann erfahrungsgemäss vollständig im Sommereinstand befinden und – wenn überhaupt – nur sehr zurückhaltend bejagt werden. Für den Winter haben wir die Daten aus den Monaten Januar und Februar herangezogen, weil sich die Rothirsche dann erfahrungsgemäss vollständig im Wintereinstand bzw. an den Fütterungen und in den Gattern befinden und in aller Regel nicht mehr bejagt werden.

Die Analyse der zurückgelegten Distanzen führt einige interessante saisonale und gebietsspezifische Unterschiede zu Tage. Im Sommer legen die sich Rätikongebiet auf österreichischer Seite aufhaltenden Rothirsche durchschnittlich die grössten Distanzen zurück, diejenigen auf der schweizerischen Seite die geringsten (Tab. 1). Die im Unterengadin und im Schweizerischen Nationalpark besenderten Rothirsche (Projekt Ingio

via und Monitoring Schweizerischer Nationalpark) legen im Sommereinstand generell vergleichsweise grosse Distanzen zurück.

Im Winter zeigen sich grundsätzlich veränderte Muster. Dann legen im Rätikongebiet die Rothirsche auf der schweizerischen Seite deutlich grössere Distanzen zurück als diejenigen auf österreichischer Seite (Tab. 2), was mit der Winterfütterung in Vorarlberg gut erklärt werden kann. Jedoch legen auch die im Unterengadin und im Schweizerischen Nationalpark besenderten, nicht gefütterten Rothirsche (Projekt Ingio via und Monitoring Schweizerischer Nationalpark) im Wintereinstand bemerkenswert geringe Distanzen zurück.

Tabelle 1: Im **Sommereinstand** (jeweils Juli-August) von den besenderten Rothirschen durchschnittlich pro 3h-Intervall zurückgelegte euklidische Distanzen und Geschwindigkeiten, jeweils aufgeteilt in die drei verschiedenen Projektgebiete. Für die Berechnungen wurden die Daten zuerst über die einzelnen Rothirsche gemittelt (Anz. Rothirsche) und daraus anschliessend Gesamtmittelwerte inkl. Standardfehler (SE) berechnet.

Projekt Rätikon					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	203.75	14.14	0.0189	0.0013	5163 (15)
Liechtenstein	207.64	15.54	0.0192	0.0014	3743 (15)
Österreich	224.44	12.25	0.0208	0.0011	7234 (30)
Projekt Ingio via (Unterengadin)					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	259.67	12.58	0.0240	0.0012	12057 (40)
Österreich	237.40	16.75	0.0220	0.0016	2056 (9)
Monitoring Schweizerischer Nationalpark (Engadin)					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	262.58	17.92	0.0243	0.0017	2369 (7)
Österreich	213.82	-	0.0198	-	71 (1)

Tabelle 2: Im **Wintereinstand** (jeweils Januar-Februar) von den besenderten Rothirschen durchschnittlich pro 3h-Intervall zurückgelegte euklidische Distanzen und Geschwindigkeiten, jeweils aufgeteilt in die drei verschiedenen Projektgebiete. Für die Berechnungen wurden die Daten zuerst über die einzelnen Rothirsche gemittelt (Anz. Rothirsche) und daraus anschliessend Gesamtmittelwerte inkl. Standardfehler (SE) berechnet.

Projekt Rätikon					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	258.23	26.94	0.0025	0.0025	4870 (20)
Liechtenstein	222.14	18.62	0.0206	0.0017	1605 (9)
Österreich	182.11	11.71	0.0169	0.0011	5141 (20)
Projekt Ingio via (Unterengadin)					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	145.76	11.25	0.0135	0.0010	8767 (36)
Österreich	126.08	15.99	0.0117	0.0015	905 (4)
Italien	118.15	-	0.0109	-	2 (1)
Monitoring Schweizerischer Nationalpark (Engadin)					
Land	Distanz [m/3h]	SE Distanz	Geschw. [m/s]	SE Geschw.	N (Anz. Rothirsche)
Schweiz	115.19	16.51	0.0107	0.0015	1816 (8)
Italien	169.26	9.44	0.0157	0.0009	609 (2)

Es ist anzunehmen, dass die von den Rothirschen im Sommer- und Wintereinstand zurückgelegten Distanzen wesentlich von der in den jeweiligen Gebieten vorhandenen Habitatqualität und Nahrungsverfügbarkeit abhängen, in Vorarlberg insbesondere auch von den Winterfütterungen. Wie sich diese Bewegungsmuster letztlich auf die Übertragung und Ausbreitung der TB bei Rothirschen auswirken, kann gegenwärtig jedoch nicht beurteilt werden. Diesbezüglich wäre weiterer Forschungsbedarf angezeigt. Diese Auswertungen beschreiben die Gegebenheiten im Sommer- bzw. Wintereinstand und bilden dadurch die Migrationszeit nicht ab. Insbesondere wäre die Fragestellung relevant, ob und unter welchen Gegebenheiten eine erhöhte Bewegungsaktivität die Kontaktrate zwischen Rothirschen erhöht oder erniedrigt.

3. ERWARTETE AUSBREITUNG DER TB IN GRAUBÜNDEN UND LIECHTENSTEIN

Um die Ausbreitung der TB in Graubünden und Liechtenstein abzuschätzen, sind die Erkenntnisse und Daten aus Vorarlberg die beste Grundlage. Zu den Limitationen dieses Vergleichs zählen dabei die entscheidenden Unterschiede im Rothirsch-Management und die bereits in Kapitel 2 beschriebenen Unterschiede in der Datengrundlage. Um welchen Faktor die Übertragungswahrscheinlichkeit in Graubünden und Liechtenstein geringer ist, lässt sich daher nur basierend auf Expertenmeinungen einschätzen.

Die sporadischen Fälle im Norden Vorarlbergs (Bezirk Bregenz) und ausserhalb des TB-Gebiets sollen dabei als Vergleichsbasis für den 1. Fall in Graubünden und Liechtenstein (Szenario 2, Abb. 1) dienen. Anhand der drei ausbruchsartigen Geschehen in der Nachbarschaft des Vorarlberger Kerngebiets soll abgeschätzt werden, welche Folgen ein grenznah etabliertes Seuchengeschehen in Vorarlberg auf TB-Einträge nach Graubünden und Liechtenstein haben könnte (Szenario 3, Abb. 1).

Szenario 2 - „1. Fall in Graubünden/Liechtenstein“: Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, werden im Bezirk Bregenz schon 10 Jahre lang vereinzelte TB-Fälle verzeichnet. Bislang gibt es keinen Hinweis auf eine lokale Weiterverbreitung, obwohl im Norden Vorarlbergs Rothirschdichten und Aggregationen um Fütterungen vorkommen, in welchen sich TB im stationären Rothirschbestand etablieren könnte. Die Abschussorte dieser sporadischen Fälle waren bis zu 13 km Luftlinie von den TB-Hotspots in Vorarlberg, Tirol und dem Allgäu entfernt, was etwa der Distanz zwischen dem Vorarlberger Kerngebiet und der Grenze mit Graubünden entspricht. Übertragen auf die Liechtensteiner und Bündner Situation könnte dies interpretiert werden, dass bereits jetzt sporadische Fälle in ihrem Landesgebiet auftreten können, aber diese eher nicht zu lokalen Weiterverbreitungen führen würden. Falls doch, dann in geringem Umfang und am ehesten in den Hirschregionen Vorderprättigau und Herrschaft-Seewis in Graubünden. Das Risiko für Einträge nach Graubünden wird steigen, wenn in Vorarlberg erste Fälle südlich der Ill auftreten, insbesondere, wenn das Gauertal oder das Gargellental betroffen sind. In diesen Tälern werden bei höheren Rothirschdichten grosse Fütterungen betrieben. Es ist unklar, wie sich das Risiko für benachbarte Täler in Vorarlberg und Graubünden verändern würde, wenn die Fütterungstradition südlich der Ill aufgrund des Auftretens der TB abrupt und grundlegend geändert würde. Um das mögliche Risiko einer Versprengung der Rothirsche – und damit auch der TB – zu verhindern, bedarf es vor einer grösseren Änderung des Fütterungsregimes einer starken Reduktion des Rothirschbestandes.

Für Liechtenstein erscheint es eher unwahrscheinlich, dass bereits jetzt TB über migrierende Rothirsche eingetragen werden könnte. Die Distanz zum Vorarlberger TB-Gebiet beträgt ca. 20 km und die kürzeste Route führt durch die dichtbebaute Talebene des Walgaus, welche zur Wildbehandlungszone „Randzone“ zählt (Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2019). Gemäss der Besenderungsdaten des Projekts „Rätikon“ wandern Rothirsche präferiert taleinwärts über die Pässe nach Süden. Für keines der in Vorarlberg besenderten Individuen wurden Wanderungen in westliche Richtung über mehrere Bergkämme nach Liechtenstein

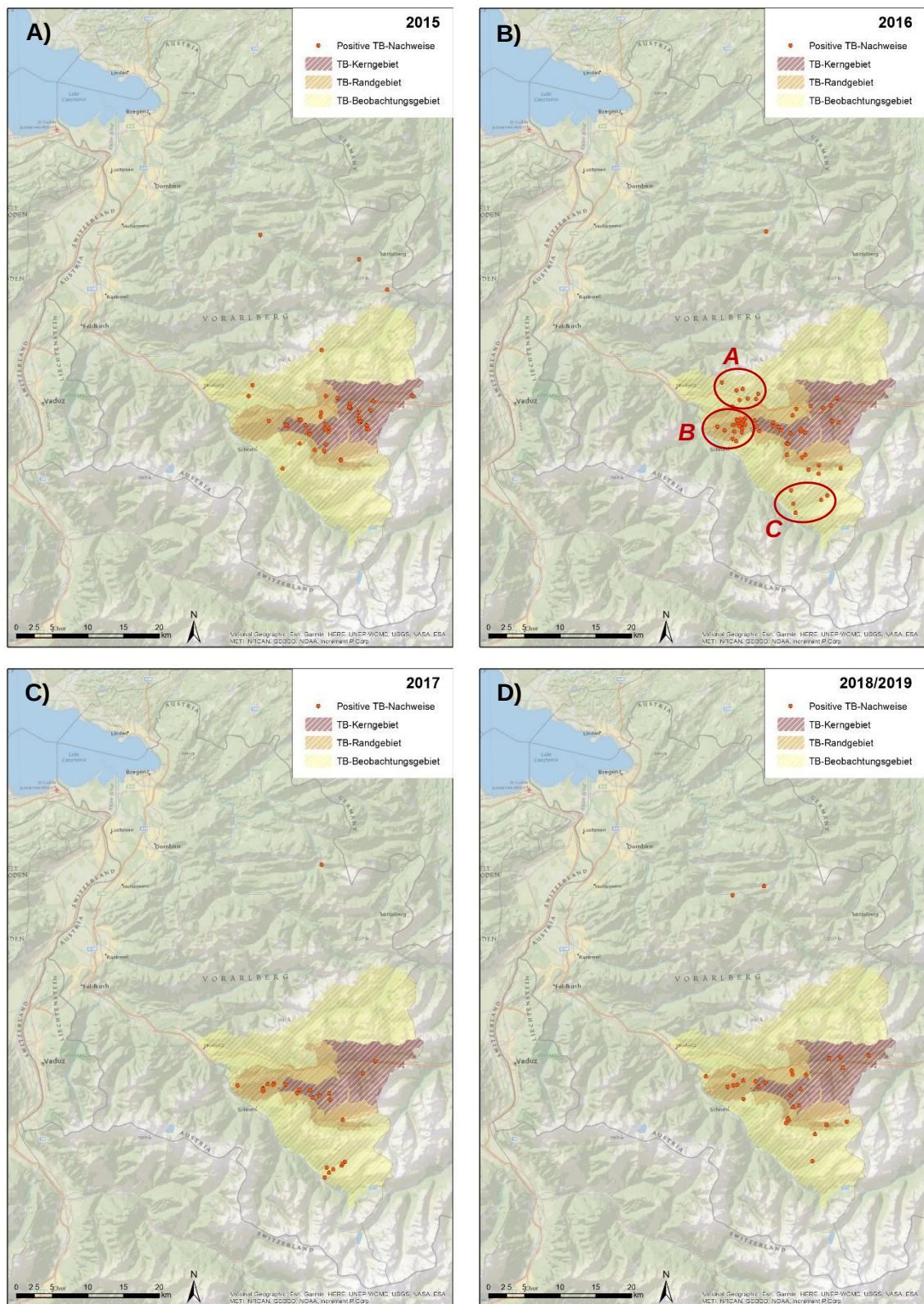


Abbildung 6: TB-Fälle bei Rothirschen in Vorarlberg in den Jahren 2015–2019 (Stand: Juni 2019). Karte B aus 2016 zeigt die drei ausbruchsartigen TB-Geschehen ausserhalb des Vorarlberger Kerngebiets (eingekreist): **A:** Bludenz/Braz, **B:** Bartholomäberg, **C:** Hinteres Montafon. Die Abschussorte der TB-positiven Rothirsche sind als Punkte dargestellt.

dokumentiert. Geographisch am nächsten wäre die Wanderroute über das Gamptal oder das Gamperdonatal/Nenzinger Himmel in die Liechtensteiner Bergreviere (Abb. 2).

Szenario 3 - „TB hat sich grenznah etabliert, ein wiederkehrender Eintrag nach Graubünden/Liechtenstein ist wahrscheinlich“: Zwischen 2009 und 2019 sind bislang drei ausbruchsartige TB-Geschehen in Vorarlberg aufgetreten (Abb. 6). Gemeinsame Merkmale dieser drei Ausbrüche waren die unmittelbare geographische Nähe zum Kerngebiet (<7 km). Allen Ausbrüchen sind in den Jahren davor sporadische Fälle vorausgegangen (jedoch ohne erkennbare Weiterverbreitung im stationären Bestand).

Ausbruch A – Bludenz/Braz (Beobachtungsgebiet): Im Gebiet Bludenz/Braz traten nur 2016 vermehrte TB-Fälle bei Rothirschen auf (n = 7). Als Ansteckungsquelle wurde ein epidemiologischer Zusammenhang mit dem Klostertal vermutet. Parallel mit der starken Bestandesreduktion im Klostertal sind auch keine Fälle mehr in Bludenz/Braz aufgetreten. Eine Hypothese ist daher, dass sich im Ausbruchsgebiet die TB nicht selbständig erhalten konnte nachdem der Zustrom von TB-positiven Rothirschen aus dem Klostertal geringer oder gestoppt wurde.

Ausbruch B – Bartholomäberg (Randgebiet): In den Jahren 2013–2015 wurde die TB bei einem, drei und wiederum bei einem Rothirsch nachgewiesen. Im Jahr 2016 wurden gleich zu Beginn der Jagdsaison im April fünf positive Rothirsche erlegt. Dieses unerwartete Ergebnis führte zu einer intensiven Bejagung und Beprobung dieses Reviers mit insgesamt 21 (23 %) Positiven von 93 untersuchten Rothirschen. Das Infektionsgeschehen zeigte sich zuerst bei Einjährigen und weiblichen Rothirschen, welche im Frühjahr den Hauptteil der Jagdstrecke ausmachen. Ab Oktober 2016 wurden auch positive mehrjährige männliche Rothirsche gefunden, darunter ein Hirsch der Klasse II, welcher eine schwere offene miliäre Lungentuberkulose aufwies.

Unklar ist, warum diese vermehrten Fälle erst 2016 aufgetreten sind. Zwischen dem endemisch infizierten Silbertal und dem benachbarten Bartholomäberg bestehen wenig natürliche Barrieren und regelmässiger Kontakt zwischen Rothirschen dieser Reviere ist wahrscheinlich.

Anhang B (Kap. 6) zeigt eine Zeitreihe der TB-Fälle und den Abschüssen von Bartholomäberg. Bemerkenswert sind die hohen Abschusszahlen zwischen April und Juli 2016. Diese schnelle Reaktion des Jägers hat wahrscheinlich einen wichtigen Beitrag geleistet, dass in den Folgejahren in Bartholomäberg weniger TB-Fälle auftraten.

Ausbruch C – hinteres Montafon (Beobachtungsgebiet): In den Jahren 2016 und 2017 wurden fünf und sieben TB-Fälle festgestellt, im Jagdjahren 2018 sank die Fallzahl auf einen Fall. Eine mögliche Hypothese ist, dass im Winter 2015/2016 ein Rothirsch mit fortgeschrittener TB aus dem Kerngebiet eingewandert ist, an einer Fütterung im hinteren Montafon überwintert hat und dort den Erreger gestreut hat. Ob sich die TB längerfristig im hinteren Montafon etabliert hat, ist jetzt noch nicht abschätzbar. Dies wird das Monitoring in den nächsten 2–3 Jahren zeigen. Die Rothirschdichte ist im hinteren Montafon geringer als im Kerngebiet und die Fütterungen nördlich der Ill sind kleiner.

Vereinfachtes Rechenbeispiel: Angenommen, die TB breitet sich über den Fluss Ill aus und Prävalenz steigt in einem Gebiet südlich der Ill auf 15 %. Davon haben 30 % fortgeschrittene

TB (Patho Score 4 oder 5, vgl. Nigsch et al., 2019) und werden zu ausgeprägten Ausscheidern. Angenommen, 40 %² der Vorarlberger Rothirsche nehmen eine grenzüberschreitende Wanderung vor. Dies würde bedeuten, dass $15 \% * 30 \% * 40 \% = 1.4 \%$ der Rothirsche in einem neuen TB-Gebiet südlich der Ill das Potential hätten, den Erreger zeitnah nach dem Grenzwechsel in grösserem Umfang zu streuen.

Dieses stark vereinfachte, auf Annahmen basierte Rechenbeispiel gibt nur einen Durchschnittswert an und berücksichtigt den Zufall nicht. Die Rechnung veranschaulicht aber dennoch, dass nicht unmittelbar mit mehreren Einträgen der TB aus Vorarlberg nach Graubünden oder Liechtenstein zu rechnen ist, falls sich südlich der Ill ein neuer Hotspot bildet.

Es ist nicht bekannt, ob Rothirsche mit fortgeschrittener TB noch über die Energie verfügen, die Berge zu queren. Wandernde Rothirsche mit Frühformen der TB würden hingegen aus zwei Gründen ein geringeres Ansteckungsrisiko darstellen: Erstens streuen sie den Erreger in geringerem Masse als Individuen mit fortgeschrittener TB, und zweitens besteht durch den langsamen, progressiven Verlauf der TB die Möglichkeit, dass sie durch die Jagd oder auf natürliche Weise vorzeitig aus der Population entfallen, bevor sie zu Ausscheidern werden.

Rothirsche, die den Winter in einem Vorarlberger TB-Gebiet verbringen, stellen wahrscheinlich ein grösseres Ansteckungsrisiko dar als Rothirsche, welche nur den Sommer in einem Vorarlberger TB-Gebiet verbringen und im Herbst in TB-freie Wintereinstände zurückkehren. Im Sommer herrschen Umweltbedingungen, in welchen der TB-Erreger ausserhalb des Tierkörpers weniger lang infektiös bleibt (intensivere Sonneneinstrahlung (UV-Licht tötet die Mykobakterien ab), Trockenheit und Wärme). Zudem ist anzunehmen, dass sich die Kontaktstrukturen zwischen Rothirschen im Sommer und Winter unterscheiden. Zumindest für Vorarlberg sind im Sommer weniger intensive Kontakte zu erwarten, da die Gruppengrössen kleiner sind, weniger Konzentration auf einen beschränkten Futterplatz stattfindet und diese kleineren Aggregationen über einen kürzeren Zeitraum bestehen (Feisteinstand im Sommer: bis ~90 Tage, Fütterung im Winter: ~90–200 Tage, vgl. Nigsch, 2016).

Daten zu den Kontaktmustern zwischen Rothirschen innerhalb von Aggregationen (beteiligte Altersklassen, Dauer und Intensität von Kontakten, etc.) fehlen für Graubünden, Liechtenstein und Vorarlberg. Eine entsprechende Studie könnte wichtige Erkenntnisse über die potenzielle Rolle von Risikotieren (wie schwache, kranke Rothirsche) oder von verschiedenen Altersklassen liefern.

Um die Rolle der Migration von TB-positiven Rothirschen in der geographischen Ausbreitung der TB besser verstehen zu können, sind genomische Untersuchungen des Erregers (*whole genome sequencing*) die Methode der Wahl. Die Sammlung der Isolate aus Westösterreich

² Im Projekt „Rätikon“ haben von 25 in Vorarlberg besenderten Rothirschen nur ein Individuum (4 %) die Grenze nach Graubünden und neun Individuen (36 %) die Grenze nach Liechtenstein überquert und hielten sich zumindest einen Tag im Nachbarland auf. Umgekehrt wanderten vier von insgesamt 15 (27 %) in Liechtenstein besenderte und 13 von insgesamt 27 (48 %) in Graubünden besenderte Rothirsche nach Vorarlberg (FIWI, 2014).

und Bayern besteht bereits und wird laufend ergänzt. Mittels Kooperationen innerhalb der D-A-CH-Gruppe (oder mit weiteren internationalen Partnern, bzw. kommerziellen Anbietern) könnten diese Isolate bereits 2020 analysiert werden. Genomische Untersuchungen vermögen aufzuzeigen, wie der Erreger sich verbreitet; Telemetrieprojekte unterliegen hingegen der Einschränkung, dass sie lediglich aufzeigen können, wie (gesunde) Rothirsche wandern³. Auf Basis der Ergebnisse der genomischen Untersuchungen kann entschieden werden, ob weiterführende telemetrische Studien in Vorarlberg oder Tirol angezeigt sind.

Alternativ könnten die genomischen Untersuchungen in einem ersten Schritt mittels mycobacterial interspersed repetitive-unit-variable-number tandem-repeat (MIRU-VNTR) Typisierung begonnen werden. Mit MIRU-VNTR konnten in Proben aus Vorarlberg und Tirol bereits verschiedene Varianten vom Lechtal-Typ differenziert werden (persönliche Mitteilung E. Hofer).

Zusammenfassende Einschätzung für Graubünden und Liechtenstein: Aktuell scheint durch die Distanz zum Vorarlberger TB-Kerngebiet die Wahrscheinlichkeit für regelmässige Einträge oder ein ausbruchsartiges TB-Geschehen in Graubünden oder Liechtenstein gering zu sein. Sporadische Einträge von TB sind ab dann zu erwarten, wenn die TB südlich der Ill mit geringer Prävalenz auftritt. Diese Einträge sind schwer zu verhindern, wenn keine gezielten Massnahmen getroffen werden, um Wanderungen von Rothirschen aus Vorarlberg über die Grenze zu reduzieren. Die Wahrscheinlichkeit ist gering, dass diese ersten sporadischen Fälle zur Weiterverbreitung in die Rothirschbeständen Graubündens oder Liechtensteins führen. In den Vorarlberger Rothirschhabitaten sind die Bedingungen für TB-Übertragungen besser, und trotzdem kam es in Distanzen über 10 km zum Kerngebiet zu keiner Häufung von TB-Fällen.

Wenn sich südlich der Ill in Vorarlberg ein neuer TB-Hotspot bildet, dann erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für regelmässige Einträge über die Grenze, und damit auch für eine Weiterverbreitung. Wenn dann in Graubünden oder Liechtenstein verschiedene, für die TB günstige Konditionen zusammentreffen, könnte es auch zu einer ausbruchsartigen Verbreitung kommen, wie zuvor für Vorarlberg beschrieben. Zu diesen Konditionen zählen: Eintrag durch einen Ausscheider, lokale Aggregationen und intensiverer Kontakt über einen längeren Zeitraum. Aktuell scheint die Wahrscheinlichkeit eher gering zu sein, dass sich die TB in Folge auch mittel- oder langfristig in den Rothirschbeständen Graubündens und Liechtensteins ohne weitere Einträge selbständig etablieren kann. Die Wechsel zwischen milden und schneereichen Wintern könnten für die Verbreitung der TB förderlich sein: In den milden Wintern überleben mehr Rothirsche; dies kann in einem darauffolgenden schneereichen Winter zu mehr Aggregationen in den begrenzten Winterkerneinständen und im Bereich attraktiver Futterquellen führen.

Solange der Rothirschbestand im Silbertal aber hoch bleibt, die Rothirsche gefüttert werden und die aktuelle Prävalenz von etwa 10 % nicht weiter sinkt, kann nicht ausgeschlossen

³ Es liegen keine systematischen Untersuchungen vor, ob sich das Wanderverhalten von gesunden und mit TB infizierten Rothirschen unterscheidet. Experten schätzen, dass sich Unterschiede erst bei Individuen mit schwerer Erkrankung in den letzten Lebenswochen bemerkbar machen.

werden, dass es zu einer weiteren räumlichen Verbreitung der TB im Montafon oder in andere an Graubünden und Liechtenstein grenzende Rotwildräume kommt. Als sehr kritisch sind insbesondere die höheren Rothirschbestände mit grossen Fütterungen im Gargellen- und Vermietal zu sehen. Im Gargellental besenderte Rothirsche wanderten über das Schlappinerjoch ins Bündner Schlappintal (Tab. 3) und von dort ins Haupttal des Prättigau. Dort treffen sie auf Rothirsche, die ganzjährig im Mittel- und Hinterprättigau, inkl. den südlichen Seitentälern übersommern. Ein weiteres kritisches Gebiet ist das Gauertal, wo ebenfalls grössere Fütterungen betrieben werden. Zwischen Gauertal und dem Vorderprättigau wurden im Projekt „Rätikon“ keine Wanderungen beobachtet. Im Projekt „Ingio via“ wurde die Wanderbewegung eines Rothirschs durch das Vorarlberger Beobachtungsgebiet über das Tiroler Paznauntal in den Wintereinstand im Unterengadin dokumentiert (siehe türkis-grüne Punkte in Abb. 2A). Welche Rolle diese Verbindung für das TB-Risiko im Unterengadin darstellt, kann auf Basis der aktuellen Datenlage nicht valide eingeschätzt werden. Die Rolle der Migration von Rothirschen für die Verbreitung der TB ist unklar.

Zeit: In Vorarlberg sind innerhalb von 10 Jahren Monitoring nur 16 TB-Fälle ausserhalb der bekannten TB-Gebiete aufgetreten (1–3 Fälle pro Jahr). In nur drei neuen Gebieten wurden Häufungen von TB beobachtet. Die Frage, wie lange es dauern wird, bis sporadische Fälle in Graubünden oder Liechtenstein auftreten, kann auf Basis der Daten nur ungenügend beantwortet werden. Die räumliche Verbreitung der TB ist ein seltenes Ereignis und unterliegt zu vielen unvorhersehbaren Zufällen, um valide Voraussagen zu treffen.

Für die Ausbreitung der TB bei Wildtieren darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass TB in vielen betroffenen Ländern in mehreren Wildtierspezies gleichzeitig vorkommt. Eine „single host“-Situation, wie in Westösterreich, ist eher die Ausnahme. Daher ist ein genaues Monitoring des Multi-Wirt-Systems notwendig, um Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Würden sich z.B. in Graubünden, Liechtenstein oder Vorarlberg Wildschweine stärker vermehren und sich die Habitate von Wildschwein und Rothirsch zunehmend überlappen (Abb. 7), könnte die Bekämpfung der TB beim Entstehen eines Multi-Spezies-Systems um ein Vielfaches an Komplexität anwachsen.

Tabelle 3: Übergänge von Österreich (AT) nach Liechtenstein (FL) und Graubünden (GR), welche durch besenderte Rothirsche aus den Telemetrie-Projekten „Rätikon“, „Ingio via“ und „Ländereck“ genutzt wurden. V: Vorarlberg; T: Tirol.

Übergang/Pass/Joch	Land 1	Land 2	Breite (m) ¹	Erläuterung
Grenze AT-FL	AT (V)	FL	mehrere km	
Barthümeljoch	AT (V)	GR	200	Nenzinger Himmel/ Gamperdonatal - Seewis
Kanzeljoch	AT (V)	GR	150	Lünersee - Vals
Lüneregg-Gafälljoch	AT (V)	GR	750	Lünersee - Gafäll
Schlappinerjoch	AT (V)	GR	200	Gargellen / Ober Valzifenzalp/ Gargellental - Schlappintal
Fimbatal - Val Fenga	AT (T)	GR	3000	Fimbatal (Tirol) - Val Fenga (GR)
Haupttal Inn	AT (T)	GR	mehrere km	

¹ Aufgrund limitierter Peilauflösung (z.T. nur alle 3 Stunden eine GPS-Position) wurde die ungefähre Breite der gut passierbaren Übergänge als Referenzangabe genommen.

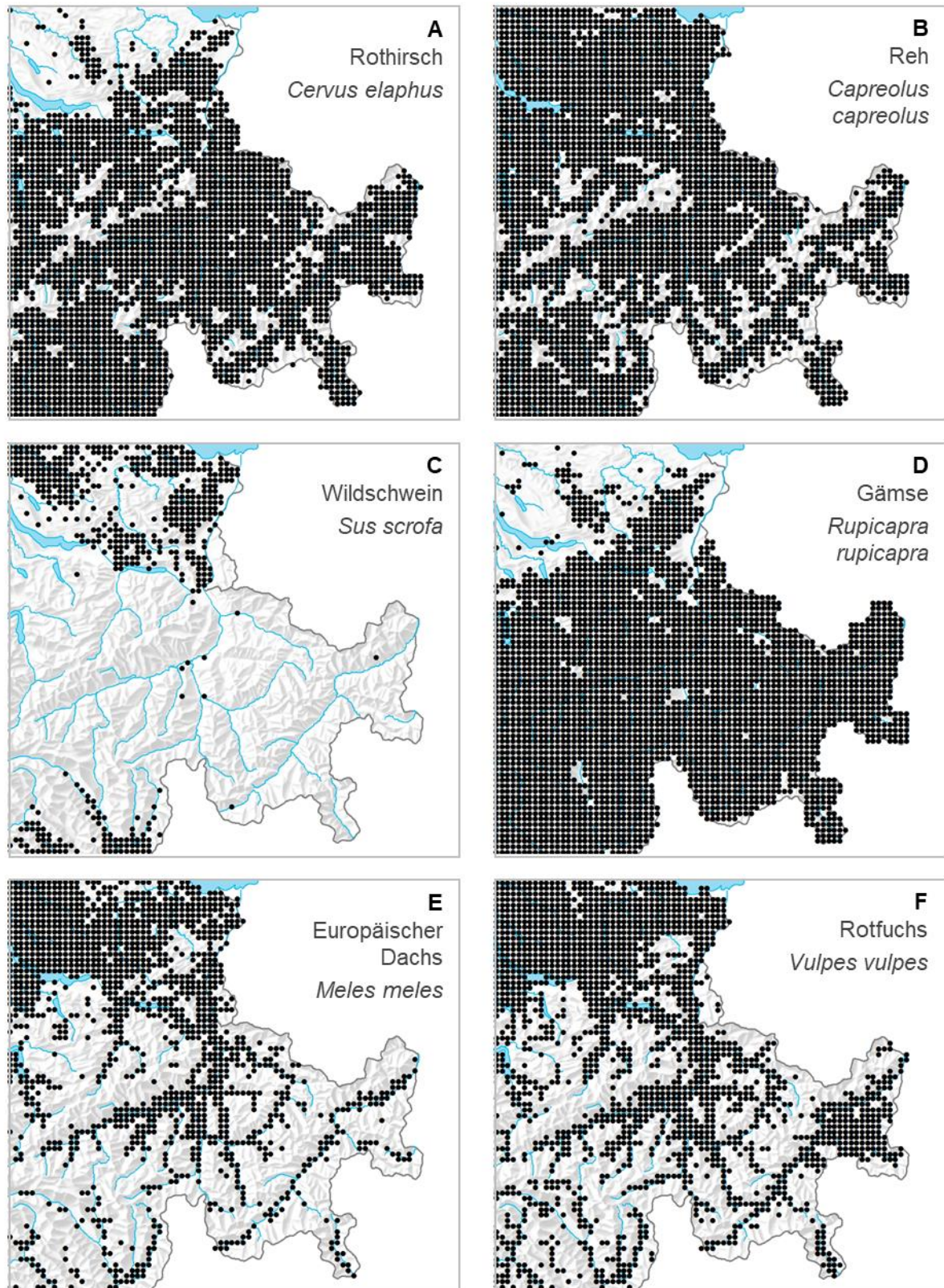


Abbildung 7: Verbreitungskarten von Rothirsch (A), Reh (B), Wildschwein (C), Gämse (D), Dachs (E) und Fuchs (F) in der Ostschweiz und Liechtenstein. Dargestellt ist die Verbreitung aufgrund Beobachtungen ab dem Jahr 2000. Jedes Rasterquadrat von 2x2 km mit mindestens einem Nachweis ist mit einem Punkt markiert. Quelle: Adaptiert von InfoFauna, SwissTopo, 2019.

4. MASSNAHMEN

4.1 Methodik

Für die systematische Auslegeordnung der Präventions- und Bekämpfungsmassnahmen gegen die TB bei Rothirschen in Graubünden und Liechtenstein wurde Literatur untersucht und Experten in Form von Einzelinterviews und multidisziplinären Workshops befragt.

Literatursuche: Aus wissenschaftlicher Literatur und Berichten wurden sowohl implementierte als auch lediglich empfohlene Massnahmen zur Prävention und Bekämpfung der TB bei Rothirschen und anderen Wildtieren identifiziert. Die Literatur wurde dabei aufgeteilt nach jenen (Bundes-)Ländern oder Bundesstaaten recherchiert, in welchen TB bei Rothirschen oder anderen Hirschspezies in relevantem Umfang vorkommt, bzw. in der Vergangenheit auftrat: Österreich (Vorarlberg und Tirol), Deutschland (Bayern), Frankreich, Spanien, USA (Michigan und Minnesota, beide TB bei Weisswedelhirschen), Kanada und Neuseeland. Experten wurden angefragt, die aus der Literatur erhobenen Massnahmen zu ergänzen. Die insgesamt 44 gesammelten Massnahmen wurden zu einem Massnahmenkatalog zusammengefasst (Anhang B) und bilden die Grundlage für die Auslegeordnung möglicher Massnahmen (Kap. 4.2).

Expertenbefragung und Workshops: Fragen, die nicht aus der Literatur oder aus Daten beantwortet werden konnten, wurden in zwei Workshops in Gruppendiskussionen und in Form von Interviews mit einzelnen Experten diskutiert. In Workshop 1 (12. – 13. September 2019, Seewis-Dorf, Graubünden) lag der Schwerpunkt auf epidemiologischen Fragestellungen. Workshop 2 (15. Oktober 2019, Schaan, Liechtenstein) fokussierte auf wildtierökologische Fragestellungen und die Bewertung der Umsetzbarkeit von Massnahmen im Feld.

Experten aus den untersuchten Ländern mit TB-Vorkommen bei Hirschen (siehe Literatursuche oben) wurden eingeladen, im Massnahmenkatalog für jede Massnahme anzukreuzen, ob sie in ihrem Land umgesetzt / geplant aber nicht umgesetzt / lediglich andiskutiert / gar nicht diskutiert wurde. Zu letzterer Kategorie wurde zusätzlich der Grund abgefragt, warum die Massnahmen nicht diskutiert wurde. Massnahmen, die in einem oder mehreren Ländern zur Umsetzung gekommen waren, wurden in den Workshops in Form einer strukturierten Diskussion besprochen.

Die Dokumentation zu den beiden Workshops befindet sich in Anhang B.

Synthese: Die Bewertung der Umsetzbarkeit von Massnahmen in Graubünden oder Liechtenstein stützte sich auf Literatur und die beiden Workshops. Folgende Charakteristika wurden erhoben und zu Massnahmenprofilen zusammengefasst (Kap. 4.3):

- Vor- und Nachteile,
- Zeitpunkt, an welchem die Massnahme idealerweise gestartet werden muss, um die gewünschte Wirkung zu erzielen,
- Beschreibung der Kernfaktoren für den Erfolg der unterschiedlichen Bekämpfungsansätze,

- Abschätzung des benötigten Ressourceneinsatzes (besonders geforderte Personengruppen und Expertise, Infrastruktur, Zeit und Kostenabschätzung in Grössenkategorien).

Abschliessend wurden die Massnahmen nach der Zweckmässigkeit ihres Einsatzes in Graubünden und Liechtenstein rangiert, unter Berücksichtigung der erwarteten Ausbreitung der TB (im Vergleich mit Westösterreich) und der regionalen Spezifika (alpines Gelände, etc., siehe Kap. 4.4). Aus dieser Bewertung wurden dann Empfehlungen zu weiterem Abklärungsbedarf abgeleitet (Datenerhebungen, Strategien in der Überwachung, gesetzliche Grundlagen, Anpassung von Prozessen, Folgestudien etc.).

Die Kapitel 4.5 und 4.6 beinhalten detailliertere Bewertungen von Einzelmassnahmen mit Relevanz für Graubünden und Liechtenstein, sowie eine zusammenfassende Bewertung.

4.2 Auslegeordnung möglicher Massnahmen

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht zu Präventions- und Bekämpfungsmassnahmen gegen TB, welche zumindest in einem Land umgesetzt wurden. Die Struktur für die Gliederung der Massnahmen orientiert sich an Gortazar et al. (2015).

Die gelisteten Länder und Literaturquellen haben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Ist zu einer Massnahmen in einem Land keine Quelle angegeben, wurde die entsprechende Massnahme von einem der Experten ergänzt (im TB-Workshop oder in einem Interview).

Tabelle 4: Übersicht der Massnahmen gegen TB, welche in anderen Ländern bereits umgesetzt wurden.

Massnahme	Erreger, Spezies, Land	Quelle
Bestandesreduktion (im weiteren Sinn)		
Bestandesreduktion generell - Erhöhter Abschuss ohne Vorgaben nach Alter, Geschlecht oder anderen Merkmalen	V ¹ , T ² , NZ ³ , F ⁴ , M ⁵ , A ⁶ , <i>M. bovis</i> , Rothirsch, Kanada	Radunz (2006); Nishi et al. (2006); Shury and Bergeson (2011); Vorarlberg ; Tirol
Gezielter Abschuss nach Altersklasse und Geschlecht	T, NZ, A, M	Tirol
Gezielter Abschuss von kranken Tieren / Tieren in schlechter Kondition	V, T, A, M	Vorarlberg
Gezielter Abschuss infizierter Wildtiere, resp. Wildtiere mit erhöhter Infektionswahrscheinlichkeit	V, NZ, A	Vorarlberg
Test-and-cull: nur Test-positive Rothirsche werden getötet	M	Cosgrove, Campa, Ramsey, et al. (2012); Cosgrove, Campa, Schmitt, et al. (2012)
Erlegung aller Tiere des Familienverbandes bzw. Rudels, aus dem das erste TB-positive Tier stammt	A, F	A: Persönliche Mitteilung Cousins: TB-Fall in Hirschfarm

Massnahme (Fortsetzung)	Erreger, Spezies, Land	Quelle
Einsatz von amtlichen Abschussorganen	NZ, A, M, T, <i>M. bovis</i> , Weisswedelhirsch, Minnesota/USA	Tirol ; More et al. (2015); Carstensen and DonCarlos (2011)
Aufhebung der Schonzeiten	V, M	Vorarlberg ; O'Brien et al. (2011)
Jagdbewilligung für alle Grundbesitzer	M	O'Brien et al. (2013)
Einsatz von Waffen mit Schalldämpfern	V, T, Washington/USA	Vorarlberg
Einsatz von Nachtzielvorrückung	V, T, NZ, Washington/USA	Vorarlberg
Reduktion im Reduktionsgatter / Tötungsgatter	T	Kössler (2012)
Fortpflanzungskontrolle / Immun- Kontrazeptiva	NZ	Ramsey (2007)
Vergiften von Wildtieren	NZ	Barron et al. (2013)
Impfung		
Impfung von Wildtieren	<i>M. bovis</i> , Dachs, Irland	Aznar et al. (2018)
Lenkungsmassnahmen		
Fütterungsverbot für Rothirsche	T, F, M	O'Brien et al. (2011); Tirol
Verbot von Anlocken/Ankirren von Rothirschen	F, M	O'Brien et al. (2011)
Massnahmen, um Massierungen an Wasserstellen zu verhindern	S ⁷ , F	Barasona et al. (2013)
Schaffung von mehr geeigneten Winteräsungsgebieten	M	
Vergrämen von Rothirschen aus definierten Gebieten / von tradierten Wildwechsellern	T	Tirol
Translokation und Barrieren		
Kontrolle von Verbringungen von Wildtieren	S, F	Spanien: Royal Decree 1082/2009
(Elektrische) Zäune als Barrieren für (Rot-)Hirsche	M	VerCauteren et al. (2006)
Andere physische Barrieren, um die Raumnutzung von Rothirschen einzuschränken	F, M	M: Persönliche Mitteilung O'Brien: z.B. Futterlagerung in Scheunen
Biosicherheit zur Prävention der Übertragung Hirsch-zu-Hirsch		
Wildtiersichere Entsorgung des (vollständigen) Aufbruchs	V, T, S, NZ, F	Vorarlberg ; Tirol

Massnahme (Fortsetzung)	Erreger, Spezies, Land	Quelle
Reinigung und Desinfektion von Hirschfütterungen	V, T	Vorarlberg ; Tirol
Reinigung und Desinfektion anderer potenziell kontaminierter Plätze/Oberflächen	T, A	Tirol ; A: Persönliche Mitteilung Cousins: Abtragung von 20 cm Boden in einer Hirschfarm mit hoher TB-Prävalenz
Wildtierfreie Zone zwischen infizierten und gesunden Wildtieren	<i>M. bovis</i> und <i>Brucella abortus</i> , Waldbison, Kanada	Shury et al. (2015)
Prävention der Übertragung zwischen Rind und Hirsch		
Lecksteine für Wild viehsicher ausbringen	V, T, F	Vorarlberg ; Tirol
Heu-/Siloballen hirschsicher einzäunen	V, T, F, M	Vorarlberg ; Tirol ; O'Brien et al. (2011)
(Hirsch-sicheres) Weidemanagement auf Heimbetrieben	V, F	Zanella, Durand, et al. (2008); Vorarlberg
(Hirsch-sicheres) Weidemanagement auf Alpen	V	Vorarlberg
Einzäunung von Rotwildfütterungen	V	Vorarlberg
Herdenschutzhunde, um Kontakt zwischen Rindern und Hirschen zu reduzieren	M	VerCauteren et al. (2012)
In Gebieten mit Hirschen die Haltung von Nutztieren reduzieren (z.B. durch Cattle-buy-out Programme)	M, <i>M. bovis</i> , Weisswedelhirsch, Minnesota/USA	Carstensen and DonCarlos (2011); O'Brien et al. (2011)
Andere Massnahmen, um den Kontakt zwischen Wildtieren und Nutztieren zu reduzieren	V, F, M	VerCauteren et al. (2006); Vorarlberg ;
Keine Massnahme bei Wildtieren		
Keine Massnahmen bei Wildtieren – Fokus auf TB-Bekämpfung bei Rindern	S	
Unterstützende Massnahmen		
Biosicherheitsplan für Betreiber von intensiv gemanagten Revieren (oder landwirtschaftlichen Wildtierhaltungen)	F	

¹ V für Vorarlberg: *M. caprae*, Rothirsch, Vorarlberg/Österreich.

² T für Tirol: *M. caprae*, Rothirsch, Tirol/Österreich.

³ NZ für Neuseeland: *M. bovis*, Rothirsch und Possum, Neuseeland.

⁴ F für Frankreich: *M. bovis*, Rothirsch, Wildschwein und Dachs, Frankreich.

⁵ M für Michigan: *M. bovis*, Weisswedelhirsch, Michigan/USA.

⁶ A für Australien: *M. bovis*, in freier Wildbahn lebende Büffel und andere Wildtiere, Australien.

⁷ S für Spanien: *M. bovis* und *M. caprae*, Rothirsch und Wildschwein, Spanien.

Folgende Massnahmen werden in der Literatur zu TB empfohlen oder als mögliche Massnahme angeführt, wurden aber gemäss den befragten Experten weder in Westösterreich, Bayern, Frankreich, Spanien, Australien, Neuseeland oder Michigan/USA zur Prävention oder Bekämpfung bei in freier Wildbahn lebenden (Rot-)Hirschen oder anderen empfänglichen Wildtierspezies umgesetzt (z.T. aber Einsatz bei Gatterwild):

- Grosse Beutegreifern als "Sanitätspolizist" (Tanner et al., 2019),
- Genetische Selektion auf bessere TB-Resistenz und/oder geringere Infektiosität (geringere Erregerausscheidung) der infizierten Tiere,
- Impfung von Rindern,
- Gerüche, optische oder akustische Mittel zur Abschreckung/Lenkung von Rothirschen,
- Dekontamination durch (künstliches) UV-Licht (nicht Sonnenlicht),
- Nichtbestossen von Alpen in TB-Gebieten mit Rindern,
- Zonierung – Ausscheidung einer TB-Zone im Land und Erhalt des offiziell TB-freien Status im restlichen Landesgebiet (Gortazar et al., 2015),
- Strategien zur langfristigen Abkehr von intensivem Wildmanagement, welches hohe Populationsgrössen und Tierdichten von Rothirschen fördert,
- Protokolle zum Erhalt der genetischen Vielfalt von Rothirschen.

4.3 Massnahmenprofile

Die ausführlichen Massnahmenprofile der in Kapitel 4.4 rangierten Massnahmen, samt Beschreibung der Einsatzmöglichkeiten, deren Vor- und Nachteile sowie Abhängigkeiten befinden sich im Anhang A.

4.4 Ranking der Massnahmen nach der Zweckmässigkeit ihres Einsatzes in Graubünden und Liechtenstein

Das folgende Ranking (Tab. 5 und Tab. 6) beinhaltet eine Auswahl der Massnahmen, welche in von TB-betroffenen Ländern bereits umgesetzt werden. Dazu ist anzumerken, dass die wissenschaftliche Literatur sich fast ausschliesslich auf Massnahmen zur Bekämpfung in Gebieten mit (vormals) hohen TB-Prävalenzen beschränkt. Über reine Präventionsmassnahmen gibt es wenig Beschreibungen, mit Ausnahme von Literatur zu Gebieten mit hohem Schutzstatus, wie z.B. Nationalparks in Nordamerika (Shury and Bergeson, 2011). Die beschriebenen Bekämpfungsmassnahmen weisen aber oft präventive Komponenten auf. Eine Differenzierung in präventive und bekämpfende Massnahmen kann daher oft nicht eindeutig gemacht werden.

Das erste Kriterium für die Bewertung jeder Massnahme ist deren unmittelbare Relevanz für die Prävention und Bekämpfung der TB. Das zweite Kriterium ist deren Umsetzbarkeit, unter Berücksichtigung der erwarteten Ausbreitung der TB (im Vergleich mit Westösterreich) und der regionalen Spezifika (alpines Gelände, etc.) von Graubünden und Liechtenstein, sowie

den TB-freien Gebieten in Vorarlberg. In die Bewertung fliessen die Ergebnisse aus den beiden TB-Workshops (September und Oktober 2019) ein.

Am Beginn dieses Rankings stehen Massnahmen des Rothirsch-Managements, welche heute bereits routinemässig umgesetzt werden. Um die präventive Wirkung zu verstärken, ist oft lediglich eine Intensivierung der Massnahmen anzustreben. Sie bedürfen keinen umfangreichen Vorarbeiten oder dem Aufbau von Infrastruktur. Der Faktor Zeit ist im Vergleich zum Routinebetrieb jedoch als Mehraufwand einzuplanen.

Weiter unten im Ranking stehen Massnahmen, welche Vorarbeiten in Form von Studien, Aufbau von Expertise und Infrastruktur bedürfen und teilweise mit hohen Kosten verbunden sind. Sie können heute noch nicht umgesetzt werden. Andere Länder haben die Erfahrung gemacht, dass teure Massnahmen wie die Impfung von Wildtieren oder physische Barrieren bei Stakeholdern und der Bevölkerung mehr Akzeptanz finden als Bestandesreduktion. Der Einsatz dieser Massnahmen wird auch vor diesem Hintergrund bei zunehmender TB-Gefährdungslage eher erwogen.

Alle Massnahmen sind von einem Populations- und TB-Monitoring zu begleiten, um Wirkung und allfällige Nebenwirkungen aufzuzeigen und um frühzeitig erkennen zu können, wann eine höhere TB-Gefährdungsstufe erreicht ist. Ein weiterer sehr zentraler Erfolgsfaktor ist die Kommunikation und Einbindung von Stakeholdern, um Akzeptanz für die Massnahmen sowie deren Kombinationen zu schaffen.

Die Anordnung der Massnahmen in Tabelle 6 entspricht dem Ranking in Tabelle 5. Tabelle 6 enthält eine Übersicht über die benötigten Ressourcen. Die gewählten Grössenkategorien sollen dabei den Mehraufwand der Ressource im Vergleich zum aktuellen Rothirsch-Management darstellen. Beispiel: Für Massnahmen in der Bestandesregulation wird davon ausgegangen, dass die bestehende Infrastruktur ausreichend ist, um die Massnahme auch auf einem intensivierten Niveau auszuführen. Daher wird der Mehraufwand für Infrastruktur als vernachlässigbar angegeben.

Des Weiteren wird mit der Kategorisierung der Ressourceneinsatz für die einzelnen Massnahmen miteinander verglichen. Beispiel: Die Kosten für die Planung, den Aufbau und Betrieb von Zäunen oder einem Regulierungsgatter sind hoch (→ Kategorie „hoch“), aber im Vergleich dazu sind die Investitionskosten und der Einsatz einer Impfung noch höher (→ Kategorie „sehr hoch“).

Anmerkung: Für eine systematische Kosten-Nutzen-Rechnung müssen die Kosten für den Einsatz von Präventionsmassnahmen den potenziell eingesparten Ausgaben für eine TB-Bekämpfung im Nutz- und Wildtierbereich gegenübergestellt werden.

Tabelle 5: Ranking und Zeitpunkt, bzw. Szenario, an welchem die Massnahme oder deren Vorbereitung idealerweise gestartet werden muss, um die gewünschte Wirkung zu erzielen. Die TB-Gefährdungslage für Graubünden (GR) und Liechtenstein (FL) nimmt mit den Szenarien von links nach rechts zu. Die Prävention bleibt in allen genannten Szenarien relevant. Mit steigender Gefährdungslage werden die bekämpfenden Komponenten wichtiger.

Rang	Massnahme				
		Start in Szenario...			
		Jetzt	1. Fall in Grenznähe	1. Fall in GR/FL	Grenznah etabliert
1	Gezielter Abschuss von Verdachtstieren (Risikotiere)	Umsetzung			
2	Verhindern/vermindern von Aggregationen	Umsetzung			
2a	Fütterungsverbot	Umsetzung			
2b	Weiträumige Habitatwahl / Lenkung der Rothirsche durch Ruhe und Schutz	Umsetzung			
3	Populationsmonitoring und Bestandeskontrolle generell	Umsetzung			
4a	Kontakte zwischen Rind und Rothirsch vermeiden (Biosicherheit)	Umsetzung			
4b	Aasfresser-sichere Entsorgung des Aufbruchs	Studien		Umsetzung	
5	Wildtierkorridore als Lenkung und für genetischen Austausch	Planung & Umsetzung; Austausch fördern	Umsetzung; Austausch unterbinden		
6a	Vergrämen zur Lenkung/Reduktion von Migration	Pilotstudie	Umsetzung		
6b	Zäune / physische Barrieren	Pilotstudie	(Öffentliche) Diskussion		Umsetzung
7	Impfung von Rothirschen	Pilotstudie ¹			
Begleitende Massnahmen					
	Monitoring	Früh-erkennung	Intensivierte Früherkennung		Überwachung
	Regulierungsgatter	Abhängig vom Erfolg der Bestandeskontrolle			

¹ Siehe Anhang A für die notwendigen Studien bis zur Verwendung eines Impfstoffs im Feld.

Tabelle 6: Ranking und Abschätzung des benötigten Ressourceneinsatzes (besonders geforderte Personengruppen und Expertise, Infrastruktur, Zeit und Kostenabschätzung). Grössenkategorien: vernachlässigbar (vernachl.) – gering – mittel – hoch – sehr hoch.

Rang	Massnahme	Personen/ Expertise	Infra- struktur ¹	Zeit ²	Kosten ^{1,3}
1	Gezielter Abschuss von Verdachtstieren (Risikotiere)	Erleger ⁴	Vernachl.	Mittel	Gering.- Mittel
2	Verhindern/vermindern von Aggregationen	Jagdbehörde, Jäger	Vernachl.	Mittel	Gering.- Mittel
2a	Fütterungsverbot	Jagdbehörde, Kontrolleure	Vernachl.	Vernachl.	Gering
2b	Weiträumige Habitatwahl / Lenkung der Rothirsche durch Ruhe und Schutz	Jagdbehörde	Vernachl.	Gering	Gering
3	Populationsmonitoring und Bestandeskontrolle generell	Erleger ⁴	Vernachl.	Hoch	Gering- Hoch
4a	Kontakte zwischen Rind und Rothirsch vermeiden (Biosicherheit)	Landwirte, Jäger	Gering	Gering	Gering
4b	Aasfresser-sichere Entsorgung des Aufbruchs	Erleger ⁴	Vernachl.- Mittel ⁵	Mittel- Hoch ⁵	Gering- Mittel ⁵
5	Wildtierkorridore als Lenkung und für genetischen Austausch	Jagdbehörde	Hoch	Gering	Gering- Sehr hoch
6a	Vergrämen zur Lenkung/Reduktion von Migration	Jagdbehörde, Jäger	Gering	Mittel	Gering- Mittel
6b	Zäune / physische Barrieren	Jagdbehörde, Konstrukteure	Sehr hoch	Gering ⁶	Hoch
7	Impfung von Rothirschen	Forscher, Jagdbehörde	Sehr hoch	Sehr hoch	Sehr hoch
Begleitende Massnahmen					
	Monitoring	Labor	Vernachl.	Mittel	Mittel
	Regulierungsgatter	Jagdbehörde, Jäger	Hoch	Mittel	Hoch

¹ Vergleich zwischen Status quo und Mehraufwand durch (intensivierte) Umsetzung der Massnahme.

² Zeit, welche für die routinemässige Umsetzung der Massnahme gebraucht wird; beinhaltet nicht die Zeit für Planung, Entwicklung oder Aufbau von Infrastruktur.

³ Kosten für Planung, Entwicklung, Aufbau und routinemässige Umsetzung. Die Kosten können je nachdem, wer für die Umsetzung betraut wird (Eigenpersonal oder externe Beauftragung) stark variieren.

⁴ Jäger sowie Wildhut oder andere Beauftragte.

⁵ Abhängig von der effektiven Umsetzungsmethode (von „Aasfresser-sicher im Wald vergraben“ bis „Einrichtung von betreuten Sammelstellen“).

⁶ Wartung und Kontrolle im Routinebetrieb; vgl. Fussnote 2.

4.5 Bewertung der einzelnen Massnahmen

Die folgende Beschreibung fasst die Ziele, Kernelemente und Limitationen der in Kapitel 4.4 rangierten Massnahmen zusammen. Für die umfangreichere Beschreibung der Massnahmen siehe die Massnahmenprofile in Kapitel 4.3, bzw. Anhang A.

4.5.1 Gezielter Abschuss von Verdachtstieren (Risikotiere)

Ziel dieser Massnahme ist die Früherkennung der TB, bzw. die TB-Bekämpfung durch die schnelle Eindämmung der TB nach ersten Fällen. Diese Massnahme wird in Kombination mit der Bestandeskontrolle durchgeführt.

Diese Massnahme steht im Ranking an oberster Stelle, da der gezielte Abschuss von Risikotieren als die effizienteste Methode angesehen werden kann: Durch die zeitnahe Entnahme von TB-positiven Individuen können Neuansteckungen rasch eingedämmt werden und die Infektionskette wird unterbrochen. Limitierender Faktor ist, dass die TB oft erst in späteren Krankheitsstadien, bzw. gar nicht am lebenden Tier erkennbar wird. Daher ist der Begriff von Risikotieren weit zu fassen: Neben Hegeabschüssen, verunfallten und gesundheitsauffälligen Rothirschen sind auch solche mit höherer Wahrscheinlichkeit eines Kontakts mit TB-positiven Individuen miteinzuschliessen (z.B. Individuen mit Sommerhabitat in Vorarlberg oder Individuen aus demselben Familienverband bzw. Rudel, in dem zuvor ein TB-positives Individuen festgestellt wurde). Voraussetzung dafür ist eine intensive TB-Überwachung und gute lokale Kenntnis der Rothirschbestände.

Eine wichtige Frage ist die Vereinbarkeit des ganzjährigen Abschusses von Risikotieren mit der saisonalen Jagd. Es bedarf einer rechtlichen Grundlage, die ermöglicht, dass Rothirsche ganzjährig und im gesamten Untersuchungsgebiet für die gezielte TB-Prävention und das TB-Monitoring erlegt werden können. Weiters muss sichergestellt werden, dass jedes auffällige / erkrankte Tiere vorgelegt wird (Selbstdeklaration).

4.5.2 Verhindern/vermindern von Aggregationen

Ziel dieser Massnahme ist die Prävention - weniger Individuen haben über einen kürzeren Zeitraum engen Kontakt. Vor allem im Winter ist eine grossflächigere Verteilung der Rothirsche über das Habitat anzustreben.

Aggregationen sind der wichtigste Risikofaktor für die Weiterverbreitung und Etablierung der TB. Daher ist diese Massnahmen an zweiter Stelle im Ranking, gemeinsam mit dem Fütterungsverbot und der Lenkung der Rothirsche durch die weiträumigere Habitatwahl. Die beiden letztgenannten Massnahmen beeinflussen ebenfalls die Aggregationen.

Jede Region hat ihre Besonderheiten, welche zu natürlichen oder künstlichen Aggregationen führen kann. Die Ansätze zur Verhinderung von Aggregationen sind daher gebiets-spezifisch festzulegen (Abschüsse, Lenkung, Habitatgestaltung). Wildschutzgebiete und Wildruhezonen können zu einer besseren Verteilung der Rothirsche über das Habitat führen. Beide Schutzgebietstypen können jedoch auch Aggregationen schaffen. Bei der Ausscheidung von Schutzgebieten (bezüglich Grösse, Lage, Verteilung etc.) gilt es die positiven und negativen Aspekte gegeneinander abzuwägen. Es gibt keinen allgemeingültigen Grenzwert für Aggregationsgrössen, unter dem davon ausgegangen

werden kann, dass keine Weiterverbreitung mehr geschieht. Der Ansatz ist daher: so wenig Aggregationen wie möglich – und dies bereits jetzt im TB-freien Status von Graubünden und Liechtenstein.

Die Folgen eines aktiven Eingriffs in natürliche Aggregationen sind nur eingeschränkt voraussehbar. Hier besteht Forschungsbedarf (siehe Empfehlungen).

4.5.3 Fütterungsverbot

Ziel dieser Massnahme ist die Prävention über die Verminderung von grösseren Aggregationen von Rothirschen unter Umweltbedingungen, welche die TB-Erreger-Übertragung fördern. Die Fütterung von Wildtieren wird in vielen Ländern als einer der hauptverantwortlichen Faktoren für die Aggregationen gesehen und gilt als grösstes Hindernis für den Fortschritt in der TB-Bekämpfung bei Wildtieren. Das Fütterungsverbot in Graubünden und Liechtenstein (mit Ausnahme der Notfallfütterung) ist eine der wichtigsten Massnahmen zur TB-Prävention und muss dringend beibehalten werden.

Für Vorarlberg wird vermutet, dass die geringe Ausbreitung der TB mit der starken Lenkungswirkung der Fütterungen zusammenhängt. Dieser Lenkungswirkung ist die Rolle der Winterfütterung als Motor für den Erhalt der TB gegenüberzustellen. In die Abwägung pro/contra Fütterung ist jedenfalls einzubeziehen, dass das gegenwärtige Fütterungsregime in Vorarlberg eine stabile TB-Situation nicht zu garantieren vermag.

Ein Fütterungsverbot ohne Bestandesreduktion könnte massive negative Konsequenzen nach sich ziehen. Um zu verhindern, dass ungefütterte Rothirsche in neue Gebiete abwandern, sind Fütterungsaufösungen in TB-Endemiegebieten mit einer massiven Bestandesreduktion zu kombinieren und durch ein intensives Monitoring zu begleiten.

Die mittel- und langfristigen Folgen der Auflassung und/oder Dezentralisierung einer Winterfütterung auf die Raumnutzung, die Verteilung von Rothirschen – und folglich auf die Verbreitung der TB - sind nicht bekannt. Hier besteht Forschungsbedarf (siehe Empfehlungen).

4.5.4 Weiträumige Habitatwahl

Die Schaffung von weiträumigeren Habitaten zur Lenkung der Rothirsche durch Ruhe und Schutz ist keine Massnahme zur Prävention oder Bekämpfung im herkömmlichen Sinn. Falls dadurch eine bessere räumliche Verteilung der Rothirsche erreicht oder die Bejagbarkeit erhöht werden kann, wäre dies ein Beitrag zur Bestandeskontrolle und Verminderung der Aggregationen. In Gebieten, in denen heute hohe Rothirschdichten herrschen, ist davon auszugehen, dass allein durch Ruhe nur ein limitierter präventiver Effekt erreicht werden kann. Aus wildtierökologischer Sicht sind die Lebensraumaufwertung und Ruhe für Rothirsche aber jedenfalls empfehlenswert.

4.5.5 Populationsmonitoring und Bestandeskontrolle

Diese Massnahme dient sowohl der Prävention als auch der Bekämpfung: In einem TB-freien Gebiet wird das Risiko einer TB-Etablierung vermindert. In Gebieten mit TB wird der Infektionszyklus im Rothirschbestand unterbrochen und es kommt zu weniger Neuansteckungen. Dies führt langfristig zur Eliminierung des TB-Erregers im Bestand. Die

Bestandesgrösse hat direkten Einfluss auf die Bildung von Aggregationen. Darum ist diese Massnahme an 3. Stelle rangiert.

Die Rothirschbestände nehmen in Teilen Graubündens, Liechtensteins und Vorarlbergs zu. Wenn diese Entwicklung nicht gestoppt wird, werden Gebiete, in denen sich die TB heute noch nicht etablieren könnte, immer „TB-tragfähiger“. Die Rothirsch-Management-Strategien von Graubünden und Liechtenstein sehen eine Stabilisierung der Rothirschbestände in Gebieten mit niedrigen Dichten vor; in Gebieten, welche in den letzten Jahren Zuwächse erreicht haben und/oder hohes Zuwachspotential aufweisen, soll eine Reduktion erreicht werden. Diese Strategien sind konsequent weiterzuverfolgen.

Bei zu niedriger Reduktion der TB-Wirtspopulation können die negativen Folgen überwiegen (vermehrte Wildbewegungen, Zerstörung der Populationsstrukturen, schwierigere Bejagbarkeit, Motivationsverlust bei den Jägern, fehlende Akzeptanz in der Bevölkerung) bei limitiertem Rückgang der TB-Prävalenz. Experten empfehlen daher die radikale Reduktion über einen kürzeren Zeitraum.

4.5.6 Kontakte zwischen Rind und Rothirsch vermeiden (Biosicherheit)

Ziel dieser Massnahme ist die Prävention – die Kontakte zwischen Rindern und Rothirsch werden auf ein Niveau gesenkt, welches die Erregerübertragung zwischen den Spezies verhindert. Verbesserungen der Biosicherheit stellen keine Einzelmassnahme für die TB-Kontrolle bei Nutz- und Wildtieren dar, können das Risiko eines TB-Eintrags jedoch um einen relevanten Prozentsatz verringern.

Viele der empfohlenen Biosicherheitsmassnahmen werden bereits jetzt umgesetzt und sollen ggf. in intensiver Form weitergeführt werden. Dazu zählen: Errichten von (kleinräumigen) Zäunen oder Barrieren rund um landwirtschaftliche Betriebe und attraktive (Risiko-)Plätze, welche von Nutztieren und Rothirschen genutzt werden, Reinigung und Desinfektion von Wildfütterungen zur Dekontamination von Oberflächen (in Gebieten mit Fütterungstradition), sichere Lagerung von Futter und sichere Positionierung von Lecksteinen, Weidemanagement, Herdenschutzhunde, etc.

Biosicherheitsmassnahmen, welche den direkten und indirekten Kontakt zwischen Nutztieren und Wildtieren reduzieren, sind in der Regel Aufgabe der Landwirtschaft. Im Gegensatz zu allen anderen in diesem Bericht gelisteten Ansätzen sind Biosicherheitsmassnahmen die einzigen Massnahmen, welche die Landwirte selbst aktiv durchführen können und dadurch nicht abhängig von der Jägerschaft oder Verwaltung sind. Der Wert dieser Massnahmen darf nicht unterschätzt werden; darum sind sie an 4. Stelle rangiert (gemeinsam mit dem Aufbruch-Management).

Um gezielte Empfehlungen und/oder Vorgaben zur Biosicherheit abzuleiten, wird die Untersuchung der Bedingungen auf Betrieben und Alpen in Vorarlberg und Tirol empfohlen, auf denen es zu TB-Übertragungen auf Rinder kam (siehe Empfehlungen zum Forschungsbedarf).

4.5.7 Aasfresser-sichere Entsorgung des Aufbruchs

Die sichere Entsorgung von Aufbruch ist eine der wenigen Massnahmen, mit welcher die Übertragung der TB zwischen Wildtierspezies reduziert werden kann und nimmt deshalb den

4. Rang ein. Das Aufbruch-Management ist eine Zusatzmassnahme für die Prävention der TB. TB-Fälle bei Aasfressern kommen im Alpenraum sicher öfter vor als bislang in der Literatur beschrieben. Es ist unklar, welche Rolle Aasfresser in Graubünden oder Liechtenstein spielen könnten. Für ein gutes Aufwand-Nutzen-Verhältnis wird empfohlen, mit der sicheren Entsorgung des Aufbruchs dann zu beginnen, wenn erste Fälle von TB im Gebiet auftreten (zuerst beschränkt auf die Gegend im Umkreis dieser Fälle).

4.5.8 Wildtierkorridore

Ziel dieser Massnahmen ist die Prävention durch Lenkung – Rothirsche sollen daran gehindert werden, zwischen TB-Gebieten und TB-freien Gebieten zu wandern. Im TB-freien Status können Wildtierkorridore den Austausch zwischen Populationen und damit die genetische Vielfalt in Wildtierpopulationen erhöhen. Dies ist förderlich für die TB-Resistenz. Bei erhöhtem TB-Eintragsrisiko kann der Korridor mit relativ wenig Aufwand geschlossen werden. Dadurch wird im Seuchenfall die Migration von potenziell TB-positiven Individuen verhindert (falls keine alternativen Migrationswege für Rothirsche offenstehen) und Zeit für die Vorbereitung weiterer Massnahmen gewonnen.

Der Aufwand für die Instandstellung eines Wildtierkorridors, z.B. durch bauliche Massnahmen, kann sehr hoch sein. Durch den erhöhten Ressourcenbedarf und die Vorlaufzeit bis zum Einsatz nimmt diese Massnahmen den 5. Rang ein.

Durch ein Frühwarnsystem bzw. schnelle Kommunikationswege zwischen den beiden durch den Wildtierkorridor verbundenen Gebieten kann sichergestellt werden, dass der Korridor bei erhöhter Eintragsgefahr der TB (oder einer anderen Krankheit) zeitgerecht geschlossen werden kann.

Zum Thema Vergleich der genetischen Variabilität und allfällige TB-Resistenz der Populationen zwischen den Regionen besteht Forschungsbedarf (siehe Empfehlungen).

4.5.9 Vergrämen

Ziel dieser Massnahmen ist die Prävention - Rothirsche sollen daran gehindert werden, zwischen TB-Gebieten und TB-freie Gebiete zu wandern. Gezielte Abschüsse oder andere Vergrämungsmethoden werden zur Lenkung von Wanderungen und für das langfristige Vertreiben/Fernhalten von Rothirschen von tradierten Wanderwegen eingesetzt.

Zu den Methoden zählen Jagddruck, Störung oder Gerüche, optische oder akustische Mittel zur Abschreckung. Durch Vergrämung können die Rothirsch-Wanderungen nicht komplett unterbunden werden, aber sicherlich ein Teil. Wie bei den zuvor beschriebenen Massnahmen gilt: Jedes Individuum, dass nicht von Vorarlberg oder Tirol nach Liechtenstein oder Graubünden wechselt, verringert das Eintragsrisiko für die TB.

Das Vergrämen ist nicht als alleinige Massnahme zu sehen, sondern zur Unterstützung. Die Massnahme ist zeitlich befristet zur Überbrückung bis nachhaltigere Massnahmen greifen.

Die Wirkung von Vergrämungs-/Lenkungsmassnahmen auf das mittel- bis langfristige Wanderverhalten von Rothirschen sind nur ungenügend bekannt. Hier besteht Forschungsbedarf (siehe Empfehlungen).

4.5.10 Zäune / physische Barrieren

Ziel dieser Massnahmen ist die Prävention durch Lenkung – Rothirsche sollen daran gehindert werden, zwischen TB-Gebieten und TB-freien Gebieten zu wandern. Zäune sind eine Zusatzmassnahme für die Prävention der TB. Zäune sind die physische Umsetzung von Vergrämungsmassnahmen. Darum sind die Vergrämung und Zäune gemeinsam auf dem 6. Rang. Physische Barrieren sind das naheliegendste Mittel, um den Kontakt zwischen Gruppen von (Wild-)Tieren zu verhindern. Sie sind ein klassisches Instrument der Tierseuchenbekämpfung.

Der Aufwand für die Planung, Materialkosten, Errichtung und die Wartung von Zäunen in alpinen Gebieten ist sehr hoch. Zäune sind limitiert einsetzbar – an jenen Plätzen, an denen ein kurzer Abschnitt („Zwangswechsel“) für den Wildwechsel genutzt wird oder an Stellen, welche Rothirsche. Zäune und natürliche Barrieren können Wanderungen nie vollständig verhindern, sondern lediglich den Anteil der migrierenden Rothirsche vermindern. Damit leisten sie einen Beitrag für die TB-Kontrolle. Erschwert ein Zaun die Migration, könnte dies insbesondere die Individuen mit fortgeschrittener TB („Super-shedder“) von der Wanderung in TB-freie Gebiete abhalten. Damit könnten im Extremfall 20-30 Neuansteckungen verhindert werden.

Im TB-freien Status ist die Errichtung von Zäunen nicht empfohlen, da dadurch in die natürliche Situation der migrierenden Rothirschpopulation eingegriffen wird.

Zur Rolle der Migration für die Verbreitung der TB und der Nutzung bestimmter Wanderrouen besteht Forschungsbedarf (siehe Empfehlungen).

4.5.11 Impfung von Rothirschen

Ziel dieser Massnahmen ist die Reduktion der Ansteckungsfähigkeit von infizierten Rothirschen. Experten gehen davon aus, dass die Impfung in Zukunft einen entscheidenden Vorteil für die TB-Bekämpfung bringen kann.

Die aktuellen Impfstoffkandidaten gegen TB bieten keinen Schutz gegen eine Ansteckung gesunder Individuen, aber verlangsamen den progressiven Fortschritt der Tuberkelbildung. Dadurch vermindern sich der Schweregrad und die Anzahl der Läsionen und infizierte Individuen werden erst zu einem späteren Zeitpunkt zu Ausscheidern. Diese gewonnene Zeit erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Infizierte zwischenzeitlich auf natürliche Weise oder durch Jagd aus dem Bestand ausscheiden und dadurch keine weiteren gesunden Individuen anstecken. Als Option könnte die Impfung mit einem Test-and-cull-System kombiniert werden.

Die Impfung von Wildtieren ist vorrangig dort angezeigt, wo durch Bestandeskontrolle eine Reduktion der TB-Prävalenz bereits erreicht werden konnte, aber mit den eingesetzten Massnahmen kein weiterer Fortschritt in der TB-Bekämpfung absehbar ist. Laut Expertenmeinung ist das Aufwand-Nutzen-Verhältnis für einen präventiven Einsatz ungünstig, da keiner der aktuellen Impfstoffkandidaten gegen eine Ansteckung mit TB wirkt.

Für einen Einsatz der Impfung in Graubünden, Liechtenstein oder Westösterreich sind eine Reihe von Experimenten und Pilotstudien im Feld notwendig. Die Schritte bis zum Einsatz sind im Anhang A, Kapitel 11.1 im Detail beschrieben. Ein Testeinsatz einer oralen Impfung

im Feld könnte frühestens in 3–4 Jahren gestartet werden, wenn die notwendigen Vorstudien zügig und parallel zueinander begonnen werden.

Jungtiere gelten als optimale Zielgruppe für die Impfung. Daher wäre die Impfung jährlich (oder zumindest jedes 2. Jahr) durchzuführen, um die benötigte Impfabdeckung bei den Kälbern und Einjährigen zu erreichen.

Verglichen mit anderen Massnahmen ist der Bedarf an finanziellen Mitteln, Zeit, Personal und Expertise sehr hoch. Eine grundsätzliche Frage ist, ob eine Impfung von Wildtieren ethisch-moralisch überhaupt erwünscht ist.

4.5.12 Monitoring

Ein TB-Monitoring soll im Vorfeld und während dem Einsatz jeglicher Massnahmen durchgeführt werden. Monitoring ist unverzichtbar für Früherkennung und Überwachung des TB-Status der Rothirschpopulation und zur Überprüfung des Erfolgs der umgesetzten Massnahmen.

Für Empfehlungen zum TB-Monitoring 2020+ in Graubünden und Liechtenstein siehe Kapitel 1.5

4.5.13 Regulierungsgatter

In einem Regulierungsgatter können Rothirsche tierschutzgerecht entnommen werden, welche mit den herkömmlichen Jagdmethoden nicht erlegt werden können. Dies dient in einem Gebiet mit hoher TB-Prävalenz der Eradikation der TB.

In Anhang A, Kapitel 13 werden das Tiroler Gatter im oberen Lechtal und die Einsatzmöglichkeiten eines Gatters im Detail beschrieben.

4.6 Zusammenfassende Bewertung

Die Auswahl an Massnahmen zur Bekämpfung und Prävention der TB sind bei Wildtieren noch limitierter als bei Nutztieren. Grundsätzlich zielen alle Massnahmen darauf ab, die Wahrscheinlichkeit einer Erreger-Übertragung zu minimieren: a) Reduktion der TB-positiven Individuen und des Erregers in der Umwelt, und b) Verringerung der Kontakthäufigkeit und -intensität zwischen Infizierten und Empfänglichen (inkl. Reduktion der empfänglichen Individuen bzw. des gesamten Bestandes). Es gibt keine praktikable einzelne „beste“ Methode, mit welcher diese Ziele erreicht werden können. Durch das Kombinieren von Massnahmen können die gesetzten Ziele oft mit weniger Aufwand und höherer Akzeptanz von Stakeholdern erreicht werden. Aber auch Kombinationen von Massnahmen können die Wahrscheinlichkeit einer Erregerübertragung nicht auf null senken, sondern lediglich reduzieren.

In der Literatur und von Experten werden zwei Kernfaktoren für die Übertragung der TB hervorgehoben, welche in Folge die Wahl von Massnahmen bestimmen: Aggregationen und Bestandesdichte (einer von mehreren Faktoren, welche das Aggregationsrisiko erhöhen). Aggregationen sind wichtig, da in solchen ein enger Kontakt zwischen Individuen eher stattfinden kann – und damit auch die Übertragung der TB.

Jedes geographische Gebiet hat seine spezifischen Risikofaktoren, welche zu Aggregationen führen können. Die Wahl der Massnahmen ist daher gebietsspezifisch auf diese Faktoren auszurichten. Künstliche Aggregationen, hervorgerufen durch Fütterung von Wildtieren, gelten in vielen von TB betroffenen Ländern als wichtigster Risikofaktor. Auf der anderen Seite können in Gebieten, in denen keine Fütterungen betrieben werden, durch Zugang zu attraktiven Nahrungsressourcen (z.B. landwirtschaftliche Kulturen), durch das Aufsuchen von Deckungs- und Schutzstrukturen sowie durch die rudelbildende Lebensweise des Rothirschs natürliche Aggregationen entstehen.

In einigen Regionen Graubündens und Liechtensteins steigen die Rothirschbestände tendenziell an. Wenn auch die TB-Erhaltungsfähigkeit dieser Gebiete heute vorsichtig noch als gering eingeschätzt werden kann, so würde eine weitere Zunahme der Rothirschbestände das Risiko erhöhen, dass TB sich in Zukunft nach einer Einschleppung in Graubünden oder Liechtenstein etablieren kann. Darum ist eine zentrale präventive Massnahme die Bestandesregulation, um die Bestände auf dem jetzigen Niveau zu stabilisieren, bzw. in Gebieten mit hohem Zuwachs oder starkem Wachstumspotential zu senken. Es gibt keinen allgemeingültigen Grenzwert für Bestandesgrössen oder Bestandesdichten, unter welchem eine Weiterverbreitung der TB unwahrscheinlich wird – dieser Grenzwert kann allenfalls im Nachhinein für ein Gebiet bestimmt werden. Grundsätzlich gilt jedoch: Je geringer die Bestandesdichte, desto eher können Aggregationen verhindert werden und desto geringer ist das TB-Risiko. Die Folgen eines aktiven Eingriffs in natürliche Aggregationen sind nur eingeschränkt voraussehbar. Es kann daher an dieser Stelle keine pauschale Empfehlung gegeben werden, ob und wie diese Eingriffe konkret umgesetzt werden sollen. Dies muss von Fall zu Fall entschieden werden (z.B. Auszäunung von attraktivem Nahrungsangebot im Winter wie Rapsfeldern und/oder das Schaffen von weiträumig vernetzten Habitaten zur Beruhigung des Rothirsch-Lebensraums).

Spezifischere Massnahmen gegen TB sind die gezielte Entnahme von Risikotieren und ein Monitoring zur Früherkennung der TB. Dabei ist der Begriff von Risikotieren weit zu fassen; neben Hegeabschüssen, verunfallten und gesundheitsauffälligen Rothirschen sind auch solche mit höherer Wahrscheinlichkeit eines Kontakts mit TB-positiven Individuen (z.B. Wanderer nach Österreich) miteinzuschliessen.

Die ins Projekt involvierten Experten fanden es bemerkenswert, dass Liechtenstein und die Schweiz sich vorbeugend gegen die TB wappnen wollen und bereit sind, dafür Ressourcen einzusetzen. Der dadurch gewonnene Zeitvorsprung darf nicht verspielt werden. Internationale Erfahrungen zeigen, dass die Umsetzung von als kritisch betrachteten Massnahmen mit steigender Gefährdungsstufe mehr Akzeptanz von der Bevölkerung, politischen Vertretern und anderen Stakeholdern findet. Bei fortgeschrittener Gefährdungsstufe bleibt jedoch im Werkzeugkasten von Massnahmen weniger Auswahl, weil die Vorbereitungszeit fehlt. Alternativ muss mehr Risiko in der Entscheidung über Massnahmen genommen werden, weil die Wirkung und Nebenwirkungen von Massnahmen in einer Präventiv-Situation nicht oder nur ungenügend evaluiert werden konnten. „Neue“ Massnahmen, die bislang noch nicht ausgeführt wurden, brauchen Vorlaufzeit. Dazu zählen die Wiederherstellung bzw. der Bau von Wildtierkorridoren, oder die Planung von Zäunen/physischen Barrieren und verschiedenen Vergrämungsmassnahmen zur Lenkung von Rothirschen. Einfacher plan- und umsetzbar sind hingegen Massnahmen, die bereits seit

Jahren routinemässig für das Rothirsch-Management angewendet werden und für die Prävention und Bekämpfung der TB lediglich intensiviert werden müssen (ohne hohen Mehraufwand für Investitionen). Dazu zählen Bestandesregulation, die Umsetzung von Fütterungsverboten, sowie auch die Biosicherheit zur Vermeidung von Kontakten zwischen Rindern und Wildtieren.

Die Impfung gegen TB gilt als eine mögliche Methode der Zukunft für die Unterstützung der TB-Bekämpfung bei Wildtieren. Für die Prävention von TB bei Rothirschen in einem Gebiet, in dem sich die TB potenziell nicht längerfristig etablieren könnte, ist das Aufwand-Nutzen-Verhältnis jedoch als schlecht einzuschätzen; es bedarf einer längeren Vorlaufzeit und ist kostenintensiv. Die Impfung ist daher eher als unterstützende Massnahme einzustufen für die TB-Bekämpfung in Gebieten, welche mit den bereits getroffenen Massnahmen die Prävalenz nicht mehr weiter senken können.

LITERATURVERZEICHNIS

- Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2018. Schwerpunktmaßnahmen zur Tbc-Vorbeugung und -Bekämpfung.
- Amt der Vorarlberger Landesregierung, 2019. Wildökologische Raumplanung.
- Acevedo-Whitehouse, K., Vicente, J., Gortazar, C., Hoefle, U., Fernández-de-Mera, I.G., Amos, W., 2005. Genetic resistance to bovine tuberculosis in the Iberian wild boar. *Molecular Ecology* 14, 3209–3217.
- Anonymus, 2013. EMIDA ERA-Net: TB Alpine Wildlife - Tuberkulose bei Wildtieren im Alpenraum. Teilprojekt TUM: „Erfassung und Bewertung wildbiologisch, epidemiologischer Faktoren in der Verbreitung und Übertragung von *Mycobacterium caprae* in Wildtierpopulationen“. Ed König A. Technische Universität München, Freising.
- Aranaz, A., Cousins, D., Mateos, A., Dominguez, L., 2003. Elevation of *Mycobacterium tuberculosis* subsp. *caprae* Aranaz et al. 1999 to species rank as *Mycobacterium caprae* comb. nov., sp. nov. *International journal of systematic and evolutionary microbiology* 53, 1785–1789.
- Aznar, I., Frankena, K., More, S.J., O’Keeffe, J., McGrath, G., De Jong, M., 2018. Quantification of *Mycobacterium bovis* transmission in a badger vaccine field trial. *Preventive veterinary medicine* 149, 29–37.
- Barasona, J.A., VerCauteren, K., Saklou, N., Gortazar, C., Vicente, J., 2013. Effectiveness of cattle operated bump gates and exclusion fences in preventing ungulate multi-host sanitary interaction. *Preventive veterinary medicine* 111, 42–50.
- Barron, M., Nugent, G., Cross, M., 2013. Importance and mitigation of the risk of spillback transmission of *Mycobacterium bovis* infection for eradication of bovine tuberculosis from wildlife in New Zealand. *Epidemiology & Infection* 141, 1394–1406.
- BLV, 2019. Tuberkulose-Überwachung beim Wild in der Ostschweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen, Bern.
- Buchan, G., Griffin, J., 1990. Tuberculosis in domesticated deer (*Cervus elaphus*): a large animal model for human tuberculosis. *Journal of comparative pathology* 103, 11–22.
- BVET, 2010. Tiergesundheitsstrategie Schweiz 2010+. Bundesamt für Veterinärwesen, Bern, Schweiz.
- Carstensen, M., DonCarlos, M.W., 2011. Preventing the establishment of a wildlife disease reservoir: a case study of bovine tuberculosis in wild deer in Minnesota, USA. *Veterinary medicine international* 2011.
- Clifton-Hadley, R., Wilesmith, J., 1991. Tuberculosis in deer: a review. *The Veterinary Record* 129, 5–12.
- Cosgrove, M.K., Campa, H., Ramsey, D.S., Schmitt, S.M., O’Brien, D.J., 2012. Modeling vaccination and targeted removal of white-tailed deer in Michigan for bovine tuberculosis control. *Wildlife Society Bulletin* 36, 676–684.
- Cosgrove, M.K., Campa, H., Schmitt, S.M., Marks, D.R., Wilson, A.S., O’Brien, D.J., 2012. Live-trapping and bovine tuberculosis testing of free-ranging white-tailed deer for targeted removal. *Wildlife Research* 39, 104–111.
- Csivincsik, Á., Rónai, Z., Nagy, G., Svéda, G., Halász, T., others, 2016. Surveillance of *Mycobacterium caprae* infection in a wild boar (*Sus scrofa*) population in south-western Hungary. *Veterinarski arhiv* 86, 767–775.
- Dorn-In, S., Körner, T., Büttner, M., Hafner-Marx, A., Müller, M., Heurich, M., Varadharajan, A., Blum, H., Gareis, M., Schwaiger, K., 2019. Shedding of *Mycobacterium caprae* by wild red deer (*Cervus elaphus*) in the Bavarian alpine regions, Germany. *Transboundary and emerging diseases*.
- Fink, M., Schleicher, C., Gonano, M., Prodinger, W.M., Pacciarini, M., Glawischnig, W., Ryser-Degiorgis, M.-P., Walzer, C., Stalder, G.L., Lombardo, D., others, 2015. Red deer

- as maintenance host for bovine tuberculosis, Alpine region. *Emerging infectious diseases* 21, 464.
- García-Jiménez, W., Benítez-Medina, J., Fernández-Llario, P., Abecia, J., García-Sánchez, A., Martínez, R., Risco, D., Ortiz-Peláez, A., Salguero, F., Smith, N., others, 2013. Comparative pathology of the natural infections by *Mycobacterium bovis* and by *Mycobacterium caprae* in wild boar (*Sus scrofa*). *Transboundary and emerging diseases* 60, 102–109.
- Gavin, W., Jennifer, B., Mark, C., Richard, C.-H., Tim, C., Fuente, J. de la, Richard, D., Dolores, G.-W., Christian, G., Glyn, H., others, 2009. Scientific review on Tuberculosis in wildlife in the EU. EFSA Supporting Publications 6, 12E.
- Gortázar, C., Che Amat, A., O'brien, D.J., 2015. Open questions and recent advances in the control of a multi-host infectious disease: animal tuberculosis. *Mammal review* 45, 160–175.
- Gortazar, C., Diez-Delgado, I., Barasona, J.A., Vicente, J., De La Fuente, J., Boadella, M., 2015. The wild side of disease control at the wildlife-livestock-human interface: a review. *Frontiers in veterinary science* 1, 27.
- Greber, N., 2011. Monitoring tuberculosis (*M. caprae*) in red deer and follow-up risk-based tuberculin-testing of cattle (In German: Monitoring auf Tuberkulose beim Rotwild durch *M. caprae* und nachfolgende risikobasierte Tuberkulintests bei Rindern)., in: *Proceedings DACH epidemiology meeting*, Vienna, 31.08.-02.09.2011.
- Greber, N., 2018. Bericht Rotwildmonitoring 2017. Vorarlberger Jagd Maerz/April, 8–9.
- Griffin, J., Buchan, G., 1994. Aetiology, pathogenesis and diagnosis of *Mycobacterium bovis* in deer. *Veterinary Microbiology* 40, 193–205.
- Kössler, J., 2012. Bekämpfung der Tuberkulose beim Rotwild im oberen Lechtal aktueller Stand. 18. Österreichische Jägertagung 2012 45.
- Krajewska, M., Lipiec, M., Zabost, A., Augustynowicz-Kope, E., Szulowski, K., 2014. Bovine tuberculosis in a wild boar (*Sus scrofa*) in Poland. *Journal of wildlife diseases* 50, 1001–1002.
- Krzysiak, M.K., Jabloski, A., Iwaniak, W., Krajewska, M., Kkesik-Maliszewska, J., Larska, M., 2018. Seroprevalence and risk factors for selected respiratory and reproductive tract pathogen exposure in European bison (*Bison bonasus*) in Poland. *Veterinary microbiology* 215, 57–65.
- KVG, 2019. Kommunikationsplattform VerbraucherInnenngesundheit. Tuberkulose.
- Lisle, G.W. de, Havill, P.F., 1985. *Mycobacteria* isolated from deer in New Zealand from 1970 - 1983. *New Zealand veterinary journal* 33, 138–140.
- Lugton, I., Wilson, P., Morris, R., Griffin, J., Lisle, G. de, 1997. Natural infection of red deer with bovine tuberculosis. *New Zealand Veterinary Journal* 45, 19–26.
- Lugton, I.W., Wilson, P.R., Morris, R.S., Nugent, G., 1998. Epidemiology and pathogenesis of *Mycobacterium bowis* infection of red deer (*Cervus elaphus*) in New Zealand. *New Zealand Veterinary Journal* 46, 147–156.
- Mackintosh, C., De Lisle, G., Collins, D., Griffin, J., 2004. *Mycobacterial diseases of deer*. *New Zealand Veterinary Journal* 52, 163–174.
- Mackintosh, C., Griffin, J., 1994. Epidemiological aspects of deer tuberculosis research, in: *Proceedings deer courseVeterinarians. Deer Branch, the Association*, pp. 106–115.
- Miller, R., Kaneene, J.B., Fitzgerald, S.D., Schmitt, S.M., 2003. Evaluation of the influence of supplemental feeding of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) on the prevalence of bovine tuberculosis in the Michigan wild deer population. *Journal of Wildlife Diseases* 39, 84–95.
- Miller, R.S., Sweeney, S.J., 2013. *Mycobacterium bovis* (bovine tuberculosis) infection in North American wildlife: current status and opportunities for mitigation of risks of further infection in wildlife populations. *Epidemiology & Infection* 141, 1357–1370.
- More, S.J., Radunz, B., Glanville, R., 2015. Lessons learned during the successful eradication of bovine tuberculosis from Australia. *The Veterinary record* 177, 224.

- Müller, M., Hafner-Marx, A., Ehrlein, J., Ewringmann, T., Ebert, U., Weber, B., Breuer, W., Kupca, A., Rettinger, A., Zimmermann, P., others, 2014. Pathomorphologische Veränderungen bei der Tuberkulose des Rotwildes. *Amtstierärztlicher Dienst und Lebensmittelkontrolle* 21(4).
- Nigsch, A., 2016. Tuberkulose beim Wild im Raum Vorarlberg. Expertise zur aktuellen Situation 2015/2016. Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV.
- Nigsch, A., Glawischnig, W., Bagó, Z., Greber, N., 2019. *Mycobacterium caprae* infection of red deer in Western Austria—optimized use of pathology data to infer infection dynamics. *Frontiers in Veterinary Science* 5, 350.
- Nishi, J.S., Shury, T., Elkin, B.T., 2006. Wildlife reservoirs for bovine tuberculosis (*Mycobacterium bovis*) in Canada: strategies for management and research. *Veterinary microbiology* 112, 325–338.
- Nugent, G., 2005. The role of wild deer in the epidemiology and management of bovine tuberculosis in New Zealand.
- O'Brien, D.J., Schmitt, S.M., Berry, D.E., Fitzgerald, S.D., Lyon, T.J., Vanneste, J.R., Cooley, T.M., Hogle, S.A., Fierke, J.S., 2008. Estimating the true prevalence of *Mycobacterium bovis* in free-ranging elk in Michigan. *Journal of Wildlife Diseases* 44, 802–810.
- O'Brien, D.J., Schmitt, S.M., Rudolph, B.A., Nugent, G., 2011. Recent advances in the management of bovine tuberculosis in free-ranging wildlife. *Veterinary Microbiology* 151, 23–33.
- O'Brien, D.J., Fierke, J.S., Carlson, E.S., Schmitt, S.M., 2013: An evaluation of liberalized distribution of disease control permits for white-tailed deer, 2008-2010. Michigan Department of Natural Resources, Wildlife Division Report No. 3565.
- Orłowska, B., Augustynowicz-Kope, E., Krajewska, M., Zabost, A., Welz, M., Kaczor, S., Anusz, K., 2017. *Mycobacterium caprae* transmission to free-living grey wolves (*Canis lupus*) in the Bieszczady Mountains in Southern Poland. *European Journal of Wildlife Research* 63, 21.
- Palmer, M., Waters, W., Whipple, D., 2002. Lesion development in white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) experimentally infected with *Mycobacterium bovis*. *Veterinary Pathology* 39, 334–340.
- Palmer, M.V., Waters, W.R., Whipple, D.L., 2004. Shared feed as a means of deer-to-deer transmission of *Mycobacterium bovis*. *Journal of Wildlife Diseases* 40, 87–91.
- Palmer, M.V., Whipple, D.L., 2006. Survival of *Mycobacterium bovis* on feedstuffs commonly used as supplemental feed for white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*). *Journal of Wildlife Diseases* 42, 853–858.
- Pate, M., Švara, T., Gombac, M., Paller, T., Žolnir-Dovc, M., Emeršic, I., Proding, W., Bartoš, M., Zdovc, I., Krt, B., others, 2006. Outbreak of tuberculosis caused by *Mycobacterium caprae* in a zoological garden. *Zoonoses and Public Health* 53, 387–392.
- Proding, W.M., Indra, A., Koksalan, O.K., Kilicaslan, Z., Richter, E., 2014. *Mycobacterium caprae* infection in humans. *Expert review of anti-infective therapy* 12, 1501–1513.
- Radunz, B., 2006. Surveillance and risk management during the latter stages of eradication: experiences from Australia. *Veterinary microbiology* 112, 283–290.
- Ramsey, D., 2007. Effects of fertility control on behavior and disease transmission in brushtail possums. *The Journal of Wildlife Management* 71, 109–116.
- Reimoser, E. F.; Tataruch F.; Klansek, 1988. Regionalplanungskonzept zur Schalenwildbewirtschaftung in Vorarlberg unter besonderer Berücksichtigung des Waldsterbens). Veterinärmedizinische Universität Wien.
- Santos, N., Almeida, V., Gortázar, C., Correia-Neves, M., 2015. Patterns of *Mycobacterium tuberculosis*-complex excretion and characterization of super-shedders in naturally-infected wild boar and red deer. *Veterinary research* 46, 129.
- Schöpf, K., Proding, W.M., Glawischnig, W., Hofer, E., Revilla-Fernandez, S., Hofrichter, J., Fritz, J., Köfer, J., Schmoll, F., 2012. A two-years' survey on the prevalence of

- tuberculosis caused by *Mycobacterium caprae* in red deer (*Cervus elaphus*) in the Tyrol, Austria. *ISRN veterinary science* 2012, 7 pages.
- Shury, T.K., Bergeson, D., 2011. Lesion distribution and epidemiology of *Mycobacterium bovis* in elk and white-tailed deer in south-western Manitoba, Canada. *Veterinary medicine international* 2011.
- Shury, T.K., Nishi, J.S., Elkin, B.T., Wobeser, G.A., 2015. Tuberculosis and brucellosis in wood bison (*Bison bison athabasca*) in Northern Canada: A renewed need to develop options for future management. *Journal of wildlife diseases* 51, 543–554.
- Tanner, E., White, A., Acevedo, P., Balseiro, A., Marcos, J., Gortázar, C., 2019. Wolves contribute to disease control in a multi-host system. *Scientific reports* 9, 7940.
- VerCauteren, K.C., Lavelle, M.J., Gehring, T.M., Landry, J.-M., 2012. Cow dogs: use of livestock protection dogs for reducing predation and transmission of pathogens from wildlife to cattle. *Applied Animal Behaviour Science* 140, 128–136.
- VerCauteren, K.C., Lavelle, M.J., Hygnstrom, S., 2006. From the Field: Fences and Deer-Damage Management: A Review of Designs and Efficacy. *Wildlife Society Bulletin* 34, 191–200.
- Vicente, J., Barasona, J., Acevedo, P., Ruiz-Fons, J., Boadella, M., Diez-Delgado, I., Beltran-Beck, B., González-Barrio, D., Queirós, J., Montoro, V., others, 2013. Temporal trend of tuberculosis in wild ungulates from Mediterranean Spain. *Transboundary and Emerging Diseases* 60, 92–103.
- Zanella, G., Durand, B., Hars, J., Moutou, F., Garin-Bastuji, B., Duvauchelle, A., Fermé, M., Karoui, C., Boschioli, M.L., 2008. *Mycobacterium bovis* in wildlife in France. *Journal of wildlife diseases* 44, 99–108.
- Zanella, G., Duvauchelle, A., Hars, J., Moutou, F., Boschioli, M., Durand, B., 2008. Patterns of lesions of bovine tuberculosis in wild red deer and wild boar. *The Veterinary record* 163, 43–47.

ANHANG

Die folgenden Beilagen befinden sich in zwei separaten Dokumenten:

Anhang A:

- Massnahmenprofile

Anhang B:

- Datenübersicht
- Terminübersicht
- Kontaktdaten Projektteam und Experten
- Dokumentation Workshop 1 und Workshop 2
- Zeitreihe der TB-Fälle und den Abschüssen von Bartholomäberg.
- Bericht von Christian Gortazar zur TB-Situation in Spanien (auf Englisch)