



Titelfoto: FVA, Olga von Plate

Untersuchung des Einflusses fest installierter Erdungen auf Herdenschutzzaunsysteme im Biosphärengebiet Schwäbische Alb

**Marius Huber, Laura Huber-Eustachi, Ronja Schütz, Natascha
Zimmermann**

August 2024

Abschlussbericht des Projekts
**Naturschutzorientierte Strukturanalyse der Schäferei
im Biosphärengebiet Schwäbische Alb**

Projektfinanzierung und -Organisation:
Geschäftsstelle Biosphärengebiet Schwäbische Alb

Wissenschaftliche Koordination und Erarbeiten des Abschlussberichts:
Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg



Zusammenfassung

Mit der Rückkehr des Wolfes in dessen ursprüngliches Verbreitungsgebiet steigt die Bedeutung wolfsabweisender Herdenschutzmaßnahmen in der Nutztierhaltung. Ein wirksames Mittel zum Schutz von Nutztieren vor Wolfsübergriffen bietet die Nutzung elektrifizierter Zäune.

Die vorliegende Studie untersucht den Einfluss der Parameter gesamte Erdstablänge im Boden, Bodenfeuchte und Kationenaustauschkapazität auf Zaunsysteme im Biosphärengebiet Schwäbische Alb. Ziel der Untersuchung ist es, die Relevanz der Erdung für die Effektivität und Funktionalität von wolfsabweisenden Herdenschutzzäunen zu untermauern.

Anhand von Model Averaging (Modellmittlung) gemischter Modelle werden die Effektgröße und -Richtung der Prädiktoren untersucht.

Die Ergebnisse bestärken die Hypothesen, dass sich das Hinzufügen weiterer Erdstäbe im Zaunsystem vorteilhaft auf die Stromspannung auswirkt.

Auch im kalkhaltigen Ausgangsgestein der Schwäbischen Alb, welches eine vergleichsweise geringe elektrische Leitfähigkeit aufweist, kann durch das Hinzufügen zusätzlicher Erdstäbe der elektrische Widerstand der Erdung minimiert werden. Dadurch erzeugt der Stromschlag bei Zaunkontakt ein einprägsames, abschreckendes Ereignis für jedes Tier, das an den Zaun kommt – in unserem Fall gezielt für den Wolf.

Einleitung

Im Jahr 2000 wurde nach über 150 Jahren wieder Reproduktion bei Wölfen in Deutschland nachgewiesen (Kluth et al., 2002 in Reinhardt et al., 2023). Seither wächst die Wolfspopulation Deutschlands. Im Zeitraum Mai 2022 bis einschließlich April 2023 gab es gesicherte Wolfsnachweise in allen Bundesländern mit Ausnahme des Saarlands (DBBW, 2023). In Baden-Württemberg wurde im Jahr 2015 der erste Wolf nachgewiesen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022). Aktuell gelten drei territoriale Einzeltiere als resident (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2024). Aufgrund der geographischen Lage und der naturräumlichen Ausstattung ist zu erwarten, dass in Baden-Württemberg Wölfe unterschiedlicher Quellpopulationen aufeinander treffen werden und dass die Populationsdichte steigen wird (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2022). Die Wiederbesiedlung der Schwäbischen Alb durch den Wolf ist ebenfalls zu erwarten (Kramer-Schadt et al., 2020).

Mit der Rückkehr des Wolfes in Teile des ursprünglichen Verbreitungsgebiets steigt die Bedeutung wolfsabweisender Herdenschutzmaßnahmen in der Nutztierhaltung. Wolfsabweisende Herdenschutzmaßnahmen dienen der Verringerung des Risikos von Wolfsübergriffen auf Nutztiere. Auch in Baden-Württemberg konnten mehrfach Wölfe als Verursacher von Nutztierissen nachgewiesen werden (z.B. Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2024).



Wolfsabweisender Herdenschutz mit Elektrozäunen

Zur Schadensreduktion bei Wolfsübergriffen erweist sich die elektrifizierte Zäunung von Weideflächen als effektive Maßnahme (Brunns et al., 2020). Die Wirksamkeit der Herdenschutzzäune hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab:

Um Zäune zu passieren, untergraben Wölfe diese für gewöhnlich (Lüthi et al., 2016), demnach ist besonders auf das Einhalten eines geringen Abstandes vom untersten stromführenden Leiter zum Boden zu achten. Sind Zäune nicht ausreichend elektrifiziert, können einzelne Individuen das Überwinden erlernen (Reinhardt et al., 2023). Um dies zu verhindern, muss die Barrierewirkung der Zäune durch einen entsprechenden Stromfluss ausreichend stark sein. Erhält ein Tier bei Zaunkontakt einen starken Stromschlag, stellt das ein abschreckendes, einprägsames Ereignis dar (Reinhardt et al., 2012).

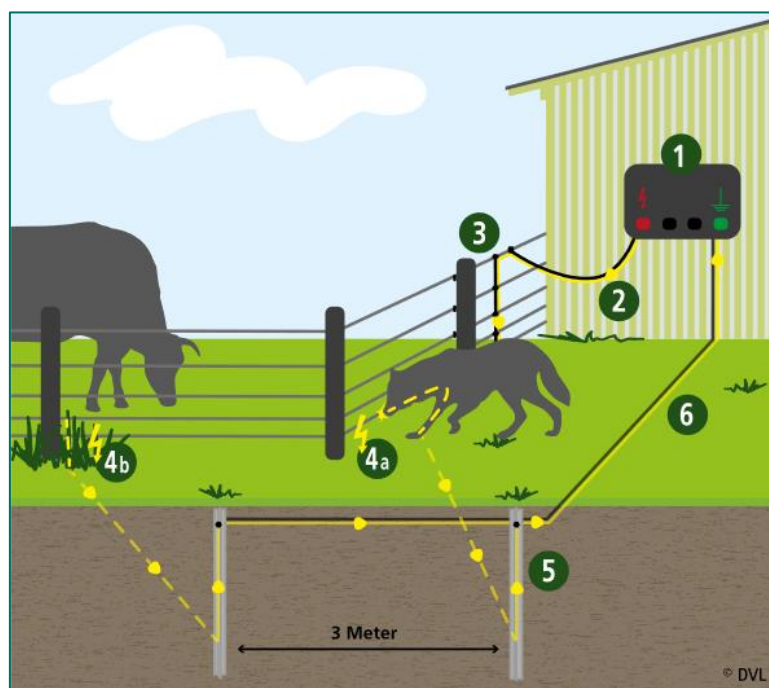


Abbildung 1: Aufbau eines Zaunsystems. An den Pluspol des Elektrozaungeräts (1) sind über die Zaunzuleitung (2) die elektrischen Leiter (3) verbunden. Die Erdstäbe (5) bilden die Erdung des Zaunsystems und sind über die Erdzuleitung (6) mit dem Minuspol des Elektrozaungeräts verbunden. Bei Zaun- und Bodenkontakt (4a und 4b) schließt sich der Stromkreislauf. Quelle: DVL (2022)

Die Stärke des Stromschlags bedingt sich durch die elektrische Spannung am Zaun sowie dem elektrischen Widerstand des verwendeten Leitermaterials:

Neben einer hohen elektrischen Spannung erhöht ein möglichst geringer elektrischer Widerstand die Stärke des Stromschlags. Um einen möglichst geringen elektrischen Widerstand erreichen zu können, ist neben der Verwendung hochwertigen Leitermaterials, sowohl an der Erdung, als auch am Zaun, auch auf die Auswahl des bestmöglichen Standorts zu achten¹. Zum Überprüfen der Erdung eignet sich der "Kurzschlussstest", dessen Durchführung in Abbildung 4 dargestellt und erläutert ist.

¹ Der Verband der Elektrotechnik, Elektronik, Informationstechnik (VDE) veröffentlichte 2020 einen Leitfaden zur wolfsabweisenden Gestaltung von Herdenschutzzäunen, enthalten sind auch grundlegende Informationen zur Auswahl von Leitermaterial und Erdungsstandort (VDE, 2020).



Nicht nur der Standort, auch die Auswahl der Erdstäbe kann den elektrischen Widerstand beeinflussen: Eine Vergrößerung der Oberfläche der Erdstäbe im Boden reduziert den elektrischen Widerstand. Die Oberfläche der Erdung kann durch das Hinzufügen von Erdstäben sowie durch die Nutzung eckiger Erdstäbe erhöht werden (Abbildung 2). Genauso erhöhen die Bodeneigenschaften die Leitfähigkeit des Bodens und verringern damit den elektrischen Widerstand (Schüssele, 2007). Die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bedingt sich größtenteils durch die Bodenfeuchte und die Kationenaustauschkapazität² (Friedman, 2005).



*Abbildung 2: Unterschiedliche Formen von Erdstäben. Der eckige Erdstab (links) hat eine größere Oberfläche als der Runde.
Foto: Frank Lamprecht.*

Nutztierhaltung auf der Schwäbischen Alb

Die Schwäbische Alb ist ein traditionelles Schäfereigebiet, wobei ein hoher Anteil der Tiere von Betrieben gehalten wird, die klassische Wanderschäferei betreiben. Diese Form der Nutztierhaltung zeichnet sich dadurch aus, dass die Herde tagsüber von Mensch und Hütehund behirtet wird. Nachts werden die Schafe ohne menschliche Präsenz oder Hütehunde in sogenannten Nachtpferchen untergebracht. Hierbei handelt es sich in der Regel um ausgewiesene, eingezäunte Flächen. In vom Wolf besiedelten Gebieten besteht bei dieser nächtlichen Umzäunung die Notwendigkeit einer wolfsabweisenden Wirkung (Petridou et al., 2023). Da Nachtpferche in der Wanderschäferei meist täglich auf- und abgebaut werden, sollte die Zäunung möglichst einfach und damit effizient installiert werden können.

Die untersuchten Flächen sind Pferchflächen, die während der Sommerweide mit mobilen Weidenetzen umzäunt und alljährlich genutzt werden. Aufgrund der periodischen

² „Die Kationenaustauschkapazität eines Bodens kennzeichnet die austauschbare Kationenmenge (cmol⁺) bezogen auf eine bestimmte Bodenmasse (kg Boden). [...] Kationenaustauscher dienen als Reservoir für Pflanzennährstoffe, die durch Ionenaustauschvorgänge nach und nach an die Bodenlösung abgegeben und von den Wurzeln aufgenommen werden können.“ Quelle: Geologischer Dienst NRW (2024)



Nutzung ist für derartige Flächen die Installation fester Erdungen eine praktikable Herdenschutzempfehlung. Die Installation fester Erdungen unterscheidet sich von der gängigen Praxis in der Wanderschäferei, bei der eine „mobile“ Erdung genutzt wird. In der üblichen Praxis werden Erdstäbe zwischen Pferchstandorten transportiert und bei jeder neuen Pferchfläche erneut eingeschlagen. Bei der Nutzung festinstallierter Erdstäbe an periodisch beweideten Pferchstandorten entfällt der Transport und das erneute Einschlagen der Erdstäbe.

Forschungsziel

Dieses Projekt dient der Untersuchung der Auswirkung fest installierter Erdungen sowie standortspezifischer Bodenvoraussetzungen auf die in zwei Messszenarien gemessene Stromspannung. Durch den Vergleich der Messung bei herkömmlicher Erdung und bei hinzugefügten, fest installierten Erdstäben, kann die Wirksamkeit der festen Installation von Erdungen an den periodisch genutzten Pferchstandorten evaluiert werden. Das Ziel der Studie umfasst darüber hinaus die Analyse der Effekte der Leitfähigkeitsparameter Bodenfeuchte und Kationenaustauschkapazität auf die Messwerte.

Durch statistische Analyse wird die folgende Forschungsfrage bearbeitet:

Wie hoch sind die Einflüsse der Faktoren Kationenaustauschkapazität, Bodenfeuchte und Erdungsart im kalkhaltigen Untersuchungsgebiet der Schwäbischen Alb?

Basierend auf dem Forschungsstand zum Einfluss der Bodeneigenschaften Kationenaustauschkapazität und Bodenfeuchte auf die elektrische Leitfähigkeit, ergibt sich die Hypothese, dass eine höhere Bodenfeuchte und eine höhere Kationenaustauschkapazität bei gleichbleibender Erdungsart zu einer geringeren messbaren Stromspannung am letzten Erdstab bei Kurzschluss führen (**Hypothese A**). Anhand bestehender Literatur wird davon ausgegangen, dass durch die höhere elektrische Leitfähigkeit eines Bodens mit höherer Bodenfeuchte und höherer Kationenaustauschkapazität der elektrische Widerstand des Bodens geringer ist und somit der Stromkreislauf besser geschlossen ist – messbar an geringerer Spannung am letzten Erdstab bei Kurzschluss.

Zudem wird die Hypothese untersucht, dass zusätzlich angeschlossene Erdstäbe die Stromspannung am letzten Erdstab bei Kurzschluss reduzieren (**Hypothese B**) sowie die am Zaun gemessene Stromspannung ohne Kurzschluss erhöhen (**Hypothese C**).

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet ist das Biosphärengebiet Schwäbische Alb. Dabei handelt es sich um eine großräumige Kulturlandschaft südlich von Stuttgart. Biosphärengebiete zeichnen sich durch eine charakteristische und reiche Naturlandschaft aus, die es zu erhalten, fördern und zu entwickeln gilt. Das Untersuchungsgebiet ist durch Streuobstwiesen, beweidete Wacholderheiden und Buchenwälder geprägt. Die Fläche des



Gebietes umfasst circa 85.000 ha, wobei es sich bei 3 % um Kernzone handelt, in der der Schutz natürlicher Prozesse Vorrang vor der menschlichen Nutzung hat. 42 % des Biosphärengebietes sind Pflege- und 55 % Entwicklungszone. Während in der Pflegezone eine schonende Landnutzung praktiziert wird, um wertvolle Ökosysteme zu erhalten, dient die Entwicklungszone der wirtschaftenden Tätigkeit des Menschen. Die Tierhaltung in der Pflege- und Entwicklungszone des Biosphärengebietes umfasst die Haltung von Schafen, Ziegen, Rindern und Büffeln (Biosphärengebiet Schwäbische Alb, 2020).

Die Geologie der Schwäbischen Alb ist geprägt durch Gesteine des Jura und der Kreidezeit, welche Kalkstein, Mergel und Ton umfassen (Geyer et al., 2011). Die Verkarstung³ der kalksteinhaltigen Ausgangsgesteine der Böden bedingen schnelle Versickerung von Niederschlag in das Grundwasser (De Vries & Simmers, 2002). Dies führt zu einer geringeren oberflächennahen Bodenfeuchte. Bedingt durch den Karbonathaltigen Kalkstein weist der Boden eine hohe Kationenaustauschkapazität auf und eine hohe elektrische Leitfähigkeit.

Böden mit karstigem Ausgangsgestein haben einen hohen Karbonat-Anteil, dennoch sind die Böden im Großteil des Untersuchungsgebiets geprägt von sehr geringer bis mittlerer Kationenaustauschkapazität und trockener bis mäßig feuchter Bodenfeuchte (vergleiche Abbildung 3).

³ „natürliche chemische Auflösungs- und Zersetzungsprozesse an Gesteinen“ (Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, 2024). Verkarstung bedeutet das Aushöhlen des Bodens durch Sickerwasser.

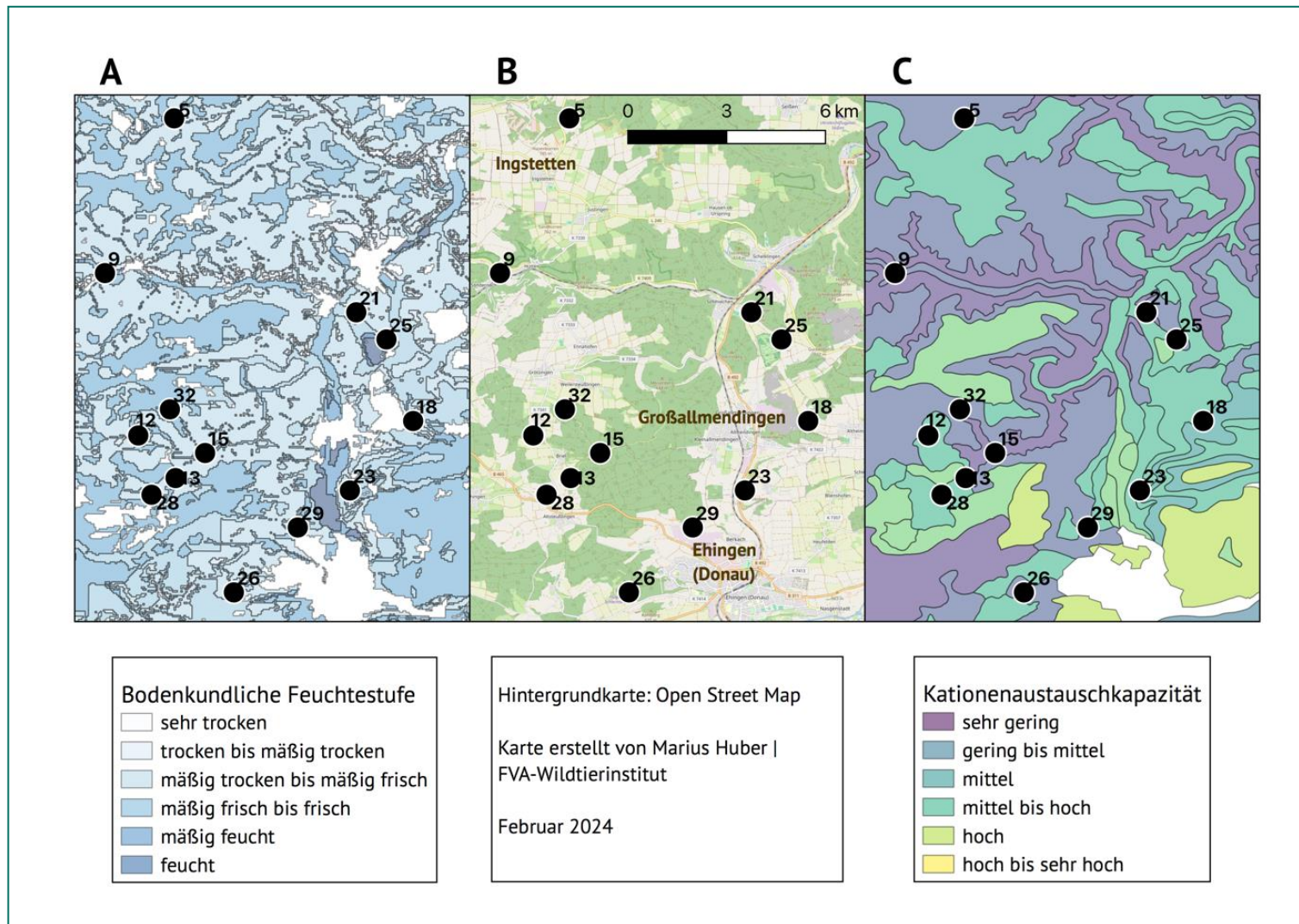


Abbildung 3: Karten der Erdungsstandorte der beprobten Pferchflächen mit A) der bodenkundlichen Feuchtestufe, B) Open Street Map und C) der Kationenaustauschkapazität als Hintergrundkarte. Zur kompakteren Darstellung der Legende sind nicht alle Farbnuancen abgebildet. Die Punkte kennzeichnen die Lage der untersuchten Pferchflächen.



Datensammlung

Zwischen Juli und September 2020 wurde auf 13 Standorten ein Pferch nicht-standardisierter Größe aus mobilen Weidenetzen errichtet und mit identischen Weidezaungeräten elektrifiziert. Die Fläche der Pferche betrug zwischen 500 m² und 7300 m². Das genutzte Weidezaungerät „Matrixx Evo“ des Herstellers Weidewaechter hat eine Impulsenergie von 6,4 J.

An unterschiedlichen Stellen des Pferches wurde die Stromspannung (V) bei variabler Erdungsart auf in zwei verschiedenen Messszenarien aufgenommen:

- 1) Messung der Spannung am letzten Erdstab mit Kurzschluss ("Kurzschlussstest-Daten") (siehe Abbildung 4)
- 2) Messung der Zaunspannung in ca. 100 m Entfernung zum Weidezaungerät ohne Kurzschluss ("Zaunspannung ohne Kurzschluss").

Im Messszenario 1 wird überprüft, ob die Erdung ausreichend ist. Das Messszenario 2 bildet die Möglichkeit, das gesamte Zaunsystem auf Leistung zu überprüfen. Zu beachten ist, dass im ersten Messszenario möglichst geringe Messwerte angestrebt werden, während im zweiten Messszenario hohe Spannungswerte vonnöten sind. Die Messwerte der Spannung bildeten die Antwortvariable, die Erdungsart einen kategorialen Prädiktor der statistischen Analyse.

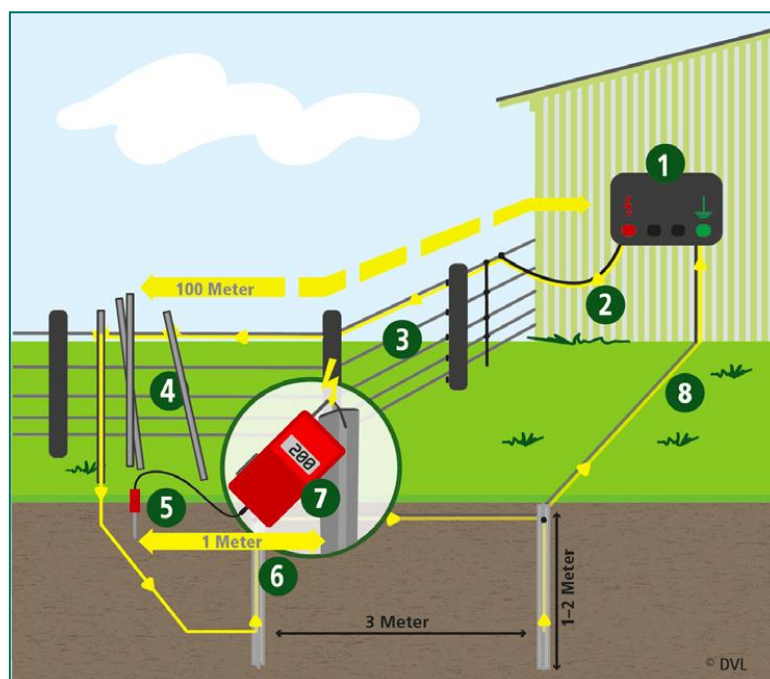


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Kurzschlussstests. Durch Erzeugen eines Kurzschlusses (4) am Zaun und Spannungsmessung am letzten Erdstab (7) kann die Erdung getestet werden: Eine gemessene Spannung unter 500 V bei 100 m entferntem Kurzschluss (auf 2000 V reduzierte Stromspannung am Zaun) zeigt eine geeignete Erdung an. 1 = Weidezaungerät; 2 = Verbindung Weidezaungerät-Weidezaun; 3 = Stromleiter Weidezaun; 4 = erzeugter Kurzschluss; 5 und 7 = Voltmeter/ Spannungsmessung; 6 = letzter Erdstab; 8 = Verbindung Weidezaungerät Erdung. Quelle: DVL (2022).

Die Erdungsart wurde variiert, indem statt der herkömmlichen Erdung, ein- bis vier Erdstäbe von je einem Meter Länge als Erdung angeschlossen wurden. Als herkömmliche Erdung wird die bisherige Installation von Erdstäben bezeichnet. Die herkömmliche Erdung entspricht einem ein Meter langen Erdstab, der je nach Möglichkeit ca. 20 bis 50



cm tief in den Boden gehämmert wurde. Diese Erdung wird in der Regel mobil verwendet und täglich eingeschlagen und wieder entfernt.

Bei den zusätzlichen Erdstäben handelt es sich um dauerhafte Installationen. An jedem Standort wurden vier der ein Meter langen Erdstäbe in einem Abstand von jeweils 3 m bodeneben versenkt und durch Erdzuleitung fest miteinander verbunden. Bei den unterschiedlichen Messungen wurde von dieser fest installierten Erdung ein Erdstab nach dem anderen an die Erdung angeschlossen und die Stromspannung nach dem Anschließen jedes Erdstabes gemessen.

Weitere Prädiktoren sind neben der Erdungsart die *Bodenfeuchte* sowie die *Kationenaustauschkapazität*. Diese Bodenkennwerte sind Hauptfaktoren der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens (Geyer et al., 2011). Datengrundlage dieser Parameter bildeten die Rasterdaten der Monatsmittelwerte der Bodenfeuchte (DWD Data Climate Center (CDC), 2020) und der digitalisierte Vektorlayer „Bodenkennwerte“ der Bodenübersichtskarte 1:200.000 (BGR, 2012) für das Land Baden-Württemberg.

Der Bodenkennwerte-Layer, der Geodaten der Kationenaustauschkapazität enthält, wurde zunächst in einer räumlichen Auflösung von 10 m x 10 m in Rasterzellen umgewandelt. Die Auflösung des Bodenfeuchtelayers ist 1000 m x 1000 m. Die Daten zum Leitfähigkeitsparameter Kationenaustauschkapazität und zur monatlichen Bodenfeuchte lagen im Koordinatenreferenzsystem WGS 84 / Pseudo-Merkator (EPSG:3857) vor.

Die Einheit der Bodenfeuchte ist Volumenprozent (%), die Kationenaustauschkapazität liegt als Anteil der Kationenaustauschkapazität des Bodens (%) in unterschiedlichen Werteklassen vor. Es gibt fünf Werteklassen: 0 bis 50 cmol/kg, 50 bis 100 cmol/kg, 100 bis 200 cmol/kg, 200 – 300 cmol/kg und >300 cmol/kg. Hierbei besteht die Annahme, dass hohe Anteile in hohen Klassen eine stärkere elektrische Leitfähigkeit des Bodens begünstigen, genauso wie hohe Bodenfeuchtevolumenprozent.

Wir haben konzentrische Kreise der Radien 100m, 500m und 1000m um die Erdungsstandorte gebildet (*buffer*-Funktion, *terra*-Package, Version 1.7-29 (Hijmans, 2023)) und die Werte der in den Kreisen enthaltenen Rasterzellen der Parameter Bodenfeuchte und Kationenaustauschkapazität in R gemittelt (*extract*-Funktion, *terra*-Package), um die Wirkreichweite der Bodenparameter mehrskalig zu untersuchen. Für die Bodenfeuchte nutzen wir die Daten des jeweiligen Monats, in dem die Spannung gemessen wurde.

Statistische Analyse

Für die statistische Analyse und das Berechnen der standortspezifischen Bodenfeuchte und Kationenaustauschkapazität wurde das Statistikprogramm *R* (Version 4.1.0 – „*Camp Pontanezen*“ (R Core Team, 2021)) in der Anwendungsumgebung *RStudio* (Version 1.4.1717 – „*Juliet Rose*“ (RStudio Team, 2021)) genutzt



Die statistische Analyse besteht aus der Modellinferenz⁴ gemischter Modelle durch Model Averaging. Die Antwortvariable waren die Spannungswerte der unterschiedlichen Messszenarien, die Prädiktorvariablen die Bodenfeuchte, die Kationenaustauschkapazität und der kategoriale Prädiktor Erdungsart.

Für die Modellinferenz nutzten wir gemischte Modelle („mixed effect models“) mit der Standort-ID als zufälligen Effekt („random intercept“). Grund dafür ist die mehrfache Messung beim Hinzufügen von Erdstäben und die damit einhergehende räumliche Abhängigkeit der Messungen, welche in gemischten Modellen berücksichtigt werden können (Gatecki et al., 2013). Die Modelle wurden mit dem *lme4*-Package, Version 1.1.32 gefittet (Bates et al., 2015).

Die unterschiedlichen Messszenarien erzeugen unterschiedlich verteilte Antwortvariablen. Die Spannungsmesswerte des Messszenario 1 folgten einer logarithmierten Normalverteilung – die Spannungsmessungen wurden logarithmiert, um besser zur Verteilung zu passen (lognormale Verteilung).

Für die Messwerte ohne Kurzschluss am Zaun wurden gemischte Modelle mit negativ-binomialer Verteilung analysiert.

Der Einfluss der Prädiktoren auf die Antwortvariable wurde durch Model Averaging ermittelt. Zuerst wird ein sogenanntes „global model“ gefittet, das alle untersuchten Prädiktoren enthält. Die „candidate models“ – alle Modelle, die durch Kombination der Prädiktoren entstehen – werden daraufhin berechnet. Diese Modelle vergleicht die „*dredge*“-Funktion (*MuMIn*-package, Version 1.46.0, (Bartoń, 2022)) anhand des „corrected Akaike’s Information Criterion“⁵ („AICc“). Die Modelle, die sich im AICc um nicht weniger als zwei unterscheiden, bilden das sogenannte „Delta-2-Set“ und werden gemittelt. Von den im Delta-2-Set enthaltenen Prädiktoren wird angenommen, einen relevanten Einfluss auf die Antwortvariable auszuüben. Durch das Mitteln resultieren präzisere Koeffizienten als bei der Model Selection – der Auswahl des Modells mit dem niedrigsten AICc-Wert (Burnham & Anderson, 2002; Richards et al., 2011). Für das Model Averaging wurde die *model.avg*-Funktion verwendet (*MuMIn*-package).

Bei der Interpretation von negativ-binomialen Modellen kann man mit dem von *R* errechneten Koeffizienten den prozentualen Zuwachs pro Einheit berechnen - nach der Formel:

$$\text{Zuwachs} = (e^x - 1) * 100$$

Wobei *x* der errechnete Koeffizient der untersuchten Prädiktorvariablen ist (Hilbe, 2011).

Ergebnisse

Spannungsmessungen

An allen der 13 Pferchflächen wurde die Spannung mit Kurzschluss am letzten Erdstab bei herkömmlicher Erdung gemessen. Mit einem zusätzlichem, festinstalliertem Erdstab

⁴ Modellinferenz bedeutet das Herausfinden, welche der Prädiktoren signifikanten Einfluss auf die Antwortvariable Spannung hat und in welche Richtung der Effekt wirkt.

⁵ Der AIC ist ein Wert, welcher in der Informationstheoretik häufig genutzt wird, um zu überprüfen, wie gut die Werte der Antwortvariablen zum gefitteten Modell passen. Ein kleiner AIC-Wert bedeutet ein gutes Passen der Werte zum Modell, das führt zur Annahme, dass die im Modell enthaltenen Prädiktoren einen messbaren Einfluss auf die Antwortvariable ausüben. AICc ist der AIC mit einer rechnerischen Korrektur für kleine Stichprobengrößen.



wurden ebenfalls alle Flächen beprobt, für zwei-, drei- und vier zusätzliche Erdstäbe ist die Anzahl der Messungen jeweils drei. Bei den Kurzschlussstestdaten sinken mit Hinzufügen zusätzlicher Erdstäbe die Mediane der Spannungsmesswerte (Abbildung 5A). Für die Spannungsmessungen am letzten Erdstab mit Kurzschluss sind die Unterschiede zwischen der Messwertgruppe mit herkömmlicher Erdung und allen weiteren Gruppen hochsignifikant ($p < 0.001$ (***)).

Die errechnete Senkung der gemessenen Spannung durch das Hinzufügen eines Erdstabes von einem Meter Länge zur herkömmlichen Erdung beträgt 1494 V, von 2445 V (h.E.) auf 951 V (h.E. + 1m). Der Abfall der gemessenen Spannung mit zwei zusätzlichen Erdstäben liegt bei weiteren 492 V, bei Ergänzung von drei Erdstäben zur herkömmlichen Erdung bei weiteren 404 V und bei vier zusätzlichen Erdstäben bei 340 V.

Die Zaunspannung wurde bei 13 Flächen mit herkömmlicher Erdung gemessen, weitere Erdstäbe wurden für dieses Messzenario nur bei zwei Flächen hinzugefügt.

Abbildung 5B zeigt, dass die Mediane der Spannungsmessungen in vergleichbarer Höhe zwischen 7600 V und 7800 V liegen. Das negativ-binomiale Modell verdeutlicht hochsignifikante Unterschiede zwischen der Kategorie der herkömmlichen Erdung und den übrigen Kategorien ($p < 0.001$ (***)).

Auf Basis der errechneten Koeffizienten bewirkt das Hinzufügen eines zusätzlichen Erdstabs einen Anstieg der Zaunspannung um 12,7 %. Zwei ergänzte Erdstäbe haben einen Anstieg von 15,0 % zur Folge, für drei und vier ergänzte Erdstäbe beträgt der errechnete Zuwachs 15,7 beziehungsweise 14,8 %.

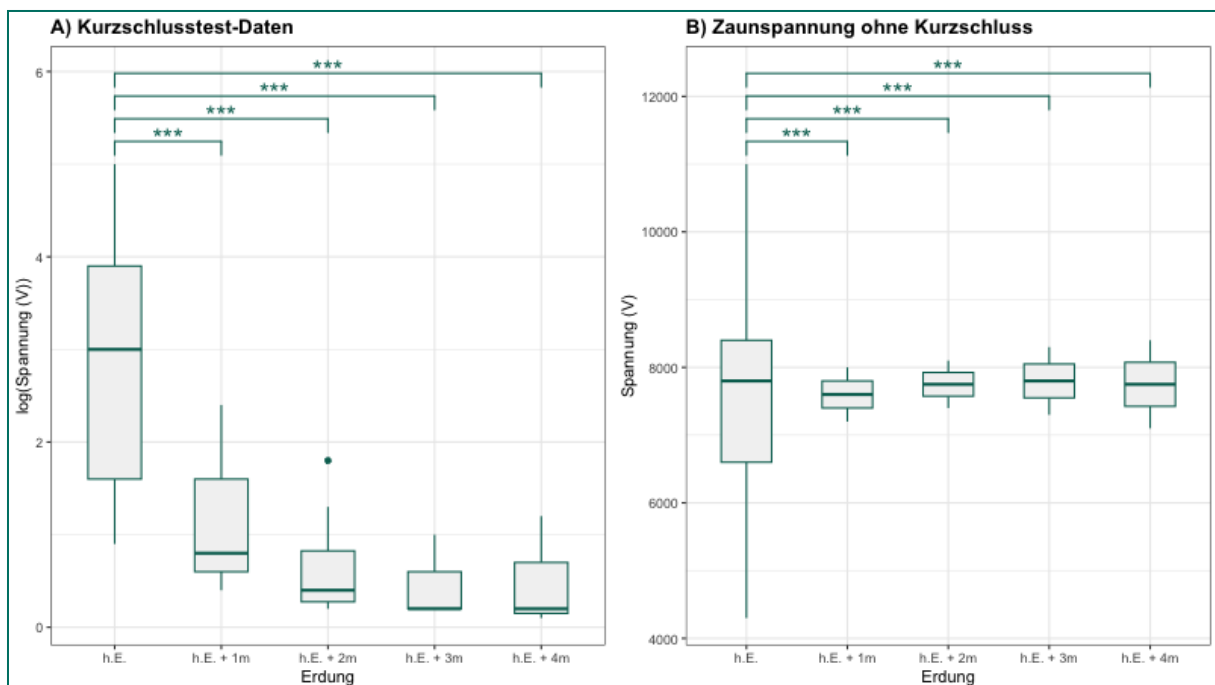


Abbildung 5: Boxplots der Antwortvariablen A) logarithmierte Spannung (V) am letzten Erdstab bei Kurzschluss; B) Spannung (V) 100 m entfernt vom Erdungsstandort am Zaun ohne Kurzschluss als Funktion des Prädiktors Erdstablänge in . „h.E.“ = herkömmliche Erdung. Der waagerechte Strich in der Mitte stellt den Median dar, unteres und oberes Ende der Box das 25.- bzw. 75.Perzentil, unteres und oberes Ende der „Whiskers“ das 2,5.- bzw. 97,5.-Perzentil. Signifikanzwerte basieren auf den Ergebnissen der gemischten Modelle, Levels: $p: 0 < *** < 0.001 < ** < 0.01 < * < 0.05$



Model Averaging

Für die Kurzschlussstest-Daten ergab das Model Averaging des Bodenfeuchte-Modells ein Delta-2-Set, das zuzüglich des zufälligen Effekts Standort-ID nur die Erdungsart als Prädiktor vorweist. Für die Messungen der Spannung ohne Kurzschluss am Zaun waren die Bodenfeuchte-Prädiktoren ebenfalls nicht in den entsprechenden Delta-2-Sets enthalten. Die Ergebnisse des Model Averagings zeigen für diesen Datensatz keinen statistischen Einfluss der Bodenfeuchte auf die gemessenen Spannungswerte.

Aus der Analyse der Kationenaustauschkapazität resultierten differenziertere Ergebnisse: Die Untersuchung der Kurzschlussstest-Daten enthält im Delta-2-Set ein Modell bestehend aus den Prädiktoren prozentualer Anteil Kationenaustauschkapazität 50 bis 100 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ gemessen im Radius 500 m um die Erdungsstandorte und Erdungsart (Abbildung 6A). Der errechnete, signifikante Koeffizient des KAK-Parameters liegt in der transformierten Skala vor und lautet $-0,04047$ ($p < 0.05$ (*)). Das bedeutet zurücktransformiert eine Abnahme der gemessenen Spannung von 227,6 V pro Prozent Zunahme dieses Kationenaustauschkapazitätswertes. Die Kationenaustauschkapazitätswerte anderer Klassen und -Radien sind nicht in den Delta-2-Sets enthalten. Die Kationenaustauschkapazität hat anhand der Daten eine geringere Effektgröße als das Hinzufügen von Erdstäben, also einen kleineren Einfluss.

Im Model Averaging für die Antwortvariable Zaunspannung ohne Kurzschluss bestand das Delta-2-Set ebenfalls nur aus einem Modell. Das erstrangige Modell enthält die Prädiktoren Erdungsart und Kationenaustauschkapazität 100 bis 200 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ im Radius 100 m um den Erdungsstandort (Abbildung 6B). Der Effekt der Kationenaustauschkapazität wird als signifikant ($p < 0.01$ (**)) und positiv errechnet. Der Zuwachs der Stromspannung pro Prozent Zunahme der Kationenaustauschkapazität beträgt 16,3 %. Die Kationenaustauschkapazität dieses Segments hat somit eine vergleichbare Effektstärke wie das Hinzufügen von Erdungsstäben.

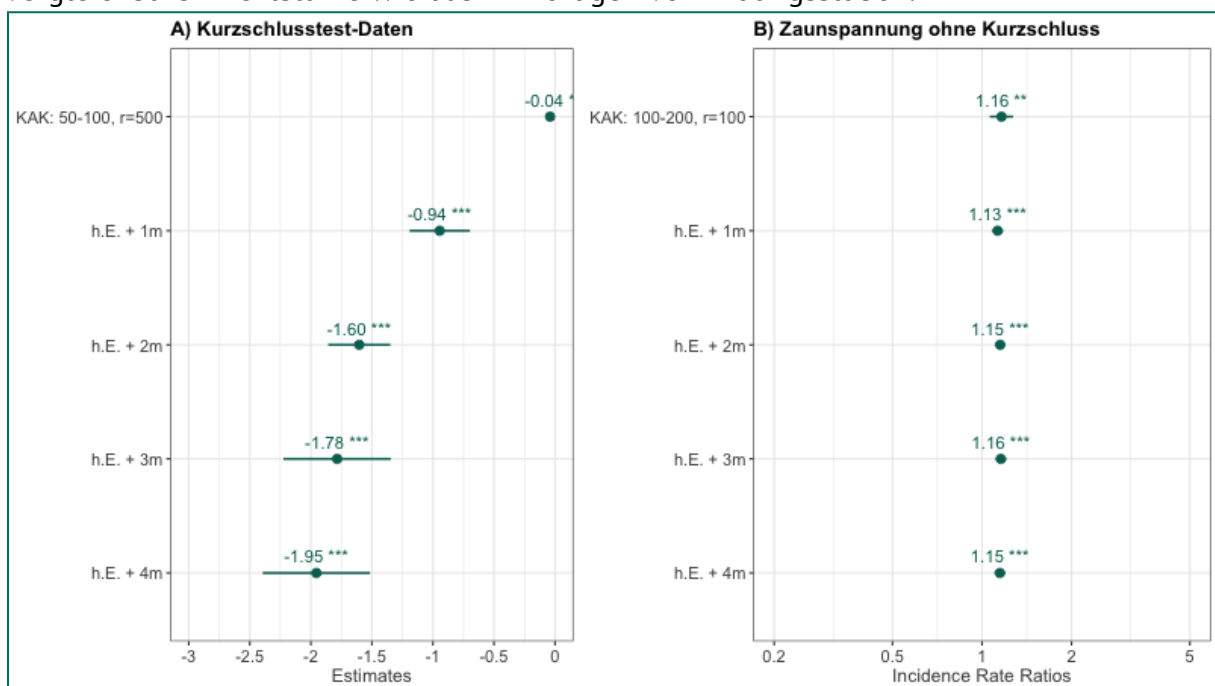


Abbildung 6: Effektstärke-Plots der Ergebnisse des Modell Averagings mit den Kationenaustauschkapazitätsparametern: A) Einflussstärke der signifikanten Prädiktoren auf die Spannung am letzten Erdstab gemessen bei Kurzschluss; B) Einflussstärke auf die Spannung 100 m entfernt vom Erdungsstandort ohne Kurzschluss.



Diskussion

Im Rahmen der Studie haben wir an 13 Standorten die Stromspannung unter verschiedenen Bedingungen am Zaun und am letzten Erdstab untersucht.

Die sich ändernden Bedingungen sind *Erzeugen eines Kurzschlusses* und *gesamte Erdstablänge im Boden*. Für die Analyse, welche Faktoren welchen Einfluss auf die Stromspannung haben, nutzten wir Modellmittlung. Die Antwortvariable war die *gemessene Stromspannung*, die Prädiktoren stellten die *Erdstablänge im Boden*, die *Bodenfeuchte* und die *Kationenaustauschkapazität* dar. Die letzten Prädiktoren sind erwiesenermaßen wichtige Einflussfaktoren der elektrischen Leitfähigkeit des Bodens. In den gemischten Modellen addierten wir den zufälligen Effekt *Standort-ID* als „random intercept“. Die Analyse resultierte in den Ergebnissen, dass die *gesamte Erdstablänge im Boden* und die daraus entstehende Oberfläche der Einflussfaktor mit der höchsten Effektgröße für die Messung der Spannung am letzten Erdstab bei vorliegendem Kurzschluss ist.

Die am Zaun gemessene Stromspannung wird ebenfalls hochsignifikant durch die *gesamte Erdstablänge im Boden* beeinflusst. Der Anteil der *Kationenaustauschkapazität* zwischen 100 und 200 $\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ im Radius von 100 m um den Erdungsstandort hat dieselbe positive Effektgröße.

Die Datengrundlage der Antwortvariablen bilden Spannungsmessungen an 13 unterschiedlichen Standorten. Pro Standort wurden fünf bis 15 Messwerte genommen. Diese statistische Pseudo-Unabhängigkeit der Stichprobe⁶ wurde durch Nutzen gemischter Modelle mit *Standort-ID* als zufälligem Effekt entgegengewirkt. Dennoch ist durch die geringe Stichprobengröße davon auszugehen, dass die statistische Aussagekraft der Analyse, größer sein müsste, um robustere Aussagen zu den Hypothesen treffen zu können (Prajapati et al., 2010).

Ein Teil der Ergebnisse steht im Kontrast zum bestehenden Forschungsstand. Um die bestehenden Hypothesen anzufechten, bedarf es jedoch einer solideren Datengrundlage. Die Stichprobengröße liefert hinreichend Ergebnisse, um die in der Einleitung aufgestellten Hypothesen zu diskutieren.

Die erste Hypothese besagt, dass eine höhere Bodenfeuchte und –Kationen-Austauschkapazität bei einem erzeugten Kurzschluss zu einer niedrigeren Stromspannung am letzten Erdstab führen.

Die Bodenfeuchte hat in keinem der analysierten Radien einen signifikanten Einfluss auf die am letzten Erdstab gemessene Stromspannung.

Somit kann die Nullhypothese, dass die Bodenfeuchte keine signifikante Auswirkung auf die Kurzschluss-Stromspannung hat, nicht falsifiziert werden. Die Hypothese A wird in Bezug auf die Bodenfeuchte nicht durch die Ergebnisse des Projekts gestützt, die im Kontrast zu vorhergehender Literatur stehen:

Während Friedman (2005) aufzeigt, dass Bodenfeuchte einer der Hauptfaktoren der elektrischen Leitfähigkeit ist und die elektrische Leitfähigkeit des Bodens als wichtiger

⁶ Da bis zu 15 Spannungsmessungen an einem Standort durchgeführt wurden, während sich die geographischen Daten des Standorts sich nicht veränderten, sind diese Daten nicht an gänzlich unabhängigen Datenpunkten entnommen.



Faktor zur Erhöhung der Stromstärke gilt (DVL, 2022), hat dieser Prädiktor in dieser statistischen Analyse keinen signifikanten Einfluss.

Ein Grund dafür liegt möglicherweise in der Grobkörnigkeit der Ausgangsdaten: Die Grundlage der Bodenfeuchtwerte bildeten Rasterdaten der räumlichen Auflösung von 1000 m x 1000 m. Die unterschiedlichen Radien der Bodenfeuchte haben somit stark ähnliche Werte. Insgesamt ist die Varianz der Bodenfeuchte in den untersuchten Daten sehr gering (vergleiche Appendix i.). Für eine robustere Untersuchung der Auswirkung der Bodenfeuchte sind höheraufgelöste Daten oder Standorte mit einer höheren kleinräumigen Varianz in der Bodenfeuchte vonnöten.

Die Kationenaustauschkapazität hat in den Messszenarien einen signifikanten Einfluss auf die Stromspannung. Bei den Kurzschlussstest-Daten führt eine höhere Kationenaustauschkapazität zu einer Verringerung der Spannung am letzten Erdstab. Ohne Kurzschluss erhöht sich die Zaunspannung bei einer höheren Kationenaustauschkapazität. Diese Ergebnisse stärken die Hypothese A in Bezug auf die Kationenaustauschkapazität und sind im Einklang mit Friedman (2005).

Für die Zaunspannung ohne Kurzschluss ist der Radius 100 m um den Erdungsstandort, in dem die Kationenaustauschkapazität einen signifikanten Effekt hat. Für die Kurzschlussstest-Daten zeigt die Kationenaustauschkapazität in einem 500 m Radius einen signifikanten Einfluss.

Die signifikanten Klassen unterscheiden sich ebenfalls in den beiden Messszenarien. Potentieller Grund hierfür könnte die größere Entfernung des Kurzschlusses sein, dies sollte jedoch Gegenstand weiterer Forschung darstellen und kann in dieser Studie nicht hinreichend erforscht werden.

Das Hinzufügen zusätzlicher Erdstäbe zeigt in jeglichen Messszenarien signifikante Effekte in der vorteilhaften Richtung: Die gemessene Spannung am Zaun erhöht sich signifikant, die Spannung am letzten Erdstab mit Kurzschluss sinkt signifikant. Bei den Spannungsmessungen mit Kurzschluss sind die Ergebnisse deutlicher, als bei den Spannungsmessungen ohne Kurzschluss am Zaun. Die Mediane der gemessenen Stromspannungen am Zaun weisen ohne Kurzschluss bei Hinzufügen zusätzlicher Erdstäbe ein ähnliches Niveau, wie bei der herkömmlichen Erdung auf. Allerdings ergibt sich bei den Messungen mit zusätzlichen Erdstäben eine kleinere Varianz der Spannung. Bei allen Boxplots mit zusätzlichen Erdstäben liegt das untere Ende der Whiskers über den 4000 – 5000 V, die als Zaunspannung empfohlen werden (DVL, 2022). Die Anzahl der Zaunspannungsmessungen ohne Kurzschluss mit zusätzlichen Erdstäben ist wesentlich kleiner ($n = 2$), als die Anzahl der Messungen mit herkömmlicher Erdung ($n = 13$). Dies kann ebenfalls der Grund dafür sein, dass die Varianz bei diesen Spannungsmessungen kleiner ist. Dennoch lässt sich anhand der Ergebnisse des Modell Averagings die Nullhypothese, dass das Hinzufügen von Erdstäben keinen signifikanten Einfluss auf die Zaunspannung ohne Kurzschluss hat, falsifizieren. Auch auf die anderen Messszenarien wird signifikanter Einfluss durch das Hinzufügen von Erdstäben ausgeübt. Die Hypothesen B und C werden durch die Ergebnisse der Studie bestärkt.



Diese Ergebnisse reproduzieren Erkenntnisse vorhergegangener Literatur. Schüssele (2007) liefert Daten, die andeuten, dass bei Erdungsstäben eine höhere Länge im Boden den elektrischen Widerstand verringert. Der Verband der Elektrotechnik empfiehlt eine Ergänzung von Erdstäben, wenn die Spannung am letzten Erdstab bei einem Kurzschluss-Test zu hoch ist (Verband der Elektrotechnik, 2020).

Durch die kleine Stichprobengröße und die räumliche Nähe der Messungen ergeben sich geringe Varianzen in den Werten der untersuchten Prädiktoren, die die Generalisierbarkeit der Ergebnisse stark einschränken. Dennoch liefert die Analyse Ergebnisse, aus denen sich praxisorientierte Hinweise speziell für das Untersuchungsgebiet des Biosphärengebiets Schwäbische Alb oder geologisch und hydrologisch ähnliche Standorte ableiten lassen.

Fazit

Die Studie untermauert die Bedeutung der Erdstablänge im Boden, um die effektive Schutzwirkung von wolfsabweisenden Herdenschutzzäunen zu gewährleisten. Im geologisch ungünstigen, kalkhaltigen Ausgangsgestein der Schwäbischen Alb erweist sich das Hinzufügen von zusätzlichen Erdstäben als unverzichtbar, um den elektrischen Widerstand der Erdung zu minimieren und den Stromschlag bei Zaunkontakt zu einem einprägsamen, abschreckenden Erlebnis zu machen.

Der Mehraufwand lohnt sich: Eine hohe Zaunspannung etabliert sich mit dem zusätzlichen Anschließen von Erdstäben und basierend auf den Ergebnissen der Studie liegen erst ab dem Ergänzen von mindestens zwei Erdstäben die Hälfte der gemessenen Kurzschluss-Test-Spannungen unter den benötigten 500 V Stromspannung am letzten Erdstab. Durch die Installation fester Erdungen kann die empfohlene Stromspannung am letzten Erdstab bei Kurzschluss auch in der Wanderschäferei effizient erreicht werden.

Auch wenn die Relevanz der *Bodenfeuchte* als Einflussfaktor der Zaunspannung im Kurzschluss-Test-Messszenario in dieser Studie nicht aufgezeigt werden kann, soll keinesfalls die bekannte Empfehlung eines bevorzugt feuchten, schattigen Erdungsstandorts entkräftet werden.

Die Stromstärke bedingt sich durch die Stelle des höchsten elektrischen Widerstandes, deshalb soll abschließend auf die unbedingte Bedeutung, die Erdung zu testen und nötigenfalls zu korrigieren hingewiesen werden – „Die schwächste Stelle zählt!“ (DVL 2022, S. 6).



Literatur

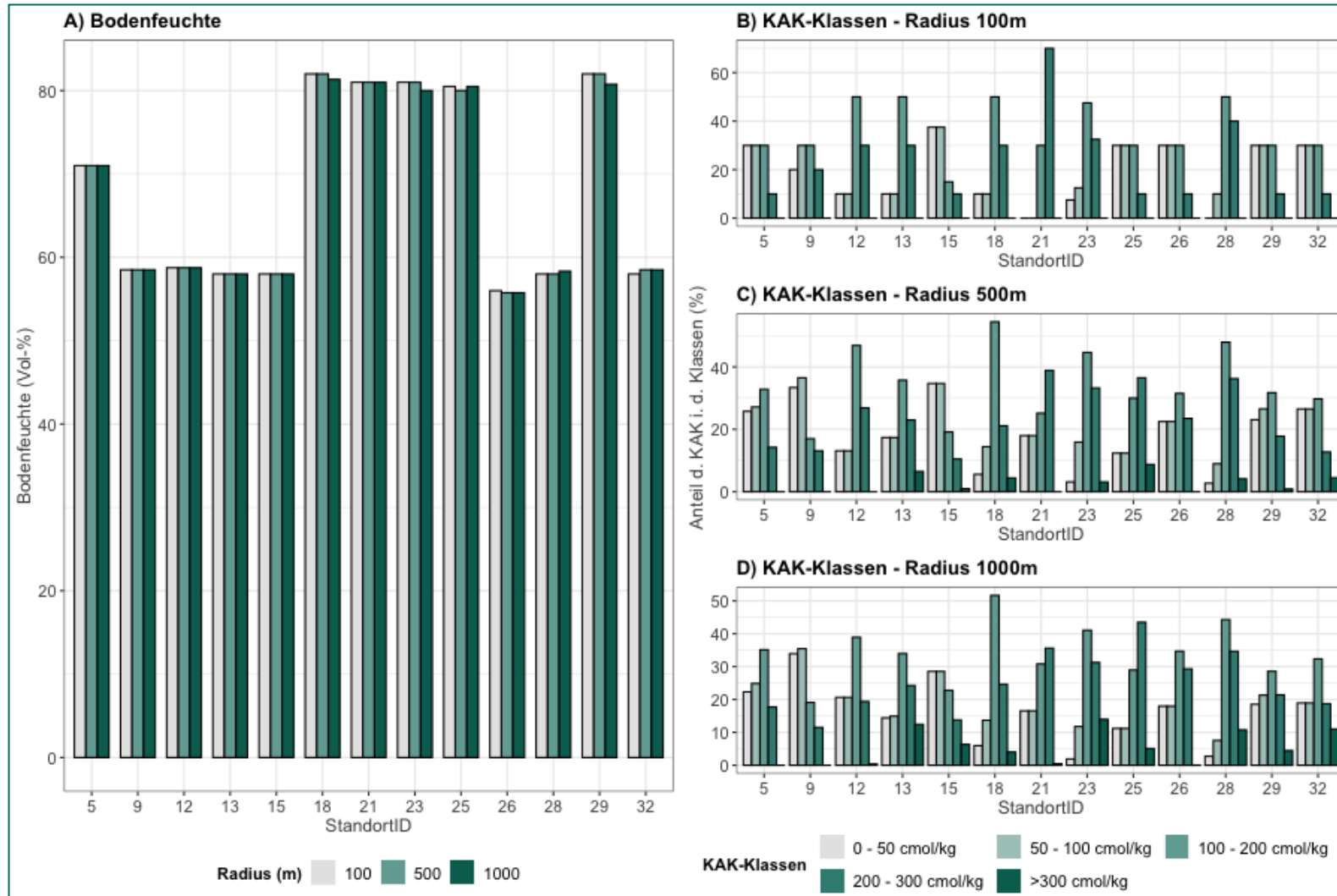
- Bartoń, K. (2022). MuMIn: Multi-Model Inference. <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., & Walker, S. (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, 67(1), 1–48. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- BGR. (2012). Bodenübersichtskarte von Baden-Württemberg (BÜK200) [Map]. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe.
- Biosphärengebiet Schwäbische Alb. (2020). *Leben und Wirtschaften mit der Natur*. Biosphärengebiet Schwäbische Alb.
- Bruns, A., Waltert, M., & Khorozyan, I. (2020). The effectiveness of livestock protection measures against wolves (*Canis lupus*) and implications for their co-existence with humans. *Global Ecology and Conservation*, 21, e00868.
- Burnham, K. P., & Anderson, D. R. (2002). A practical information-theoretic approach. *Model Selection and Multimodel Inference*, 2, 70–71.
- DBBW. (2023). Wölfe in Deutschland – Statusbericht 2022/23. <https://dbb-wolf.de/mehr/literatur-download/statusberichte>
- De Vries, J. J., & Simmers, I. (2002). Groundwater recharge: An overview of processes and challenges. *Hydrogeology Journal*, 10(1), 5–17. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0171-7>
- DVL. (2022). Weidezäune richtig erden. Grundlagen des Stromkreislaufs und Praxishinweise zur Installation der Erdung. Deutscher Verband für Landschaftspflege (DVL) e. V. <https://www.herdenschutz.dvl.org/dvl-infosammlung>
- DWD Data Climate Center (CDC). (2020). Monatliche Raster der mittleren Bodenfeuchte unter Gras und sandigem Lehm [Dataset].
- Friedman, S. P. (2005). Soil properties influencing apparent electrical conductivity: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 46(1–3), 45–70.
- Gałecki, A., Burzykowski, T., Gałecki, A., & Burzykowski, T. (2013). *Linear mixed-effects model*. Springer.
- Geologischer Dienst NRW. (2024). Kationenaustauschkapazität. Kationenaustauschkapazität. https://www.gd.nrw.de/wms_html/ISBK50/HTML/kak.htm
- Geyer, M., Nitsch, E., Simon, T., Simon, T., & Simon, T. (2011). *Geologie von Baden-Württemberg*. Schweizerbart.
- Hijmans, R. J. (2023). terra: Spatial Data Analysis. <https://CRAN.R-project.org/package=terra>
- Hilbe, J. M. (2011). *Negative binomial regression*. Cambridge University Press.
- Kluth, G., Ansorge, H., & Gruschwitz, M. (2002). Wölfe in Sachsen. *Naturschutzarbeit in Sachsen*, 44, 41–46.
- Kramer-Schadt, S., Wenzler, M., Gras, P., & Knauer, F. (2020). Habitatmodellierung und Abschätzung der potenziellen Anzahl von Wolfsterritorien in Deutschland. *Deutschland/Bundesamt für Naturschutz*.
- Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau. (2024). Glossar | LGRBwissen. Glossar. <https://lgrbwissen.lgrb-bw.de/glossar-alt#Karst>
- Lüthi, R., Hilfiker, D., Landry, J., & Tolon, V. (2016). *Pilotprojekt zum Verhalten von Wölfen gegenüber Zäunen in der Landwirtschaft*. Version. Lausanne: AGRIDEA (Hrsg.).
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2022).



- Managementplan Wolf–Handlungsleitfaden für Baden-Württemberg (Vol. 1).
https://www.fva-bw.de/fileadmin/user_upload/Abteilungen/FVA-Wildtierinstitut/Luchs_und_Wolf/2022_Managementplan-Wolf-BW_barrierefrei.pdf
- Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2024). Eindeutige Nachweise (C1) zu Wölfen in Baden-Württemberg. um.baden-wuerttemberg.de.
<https://um.baden-wuerttemberg.de/de/umwelt-natur/biologische-vielfalt-und-mensch/artenschutz-und-management/wolf/nachweise>
- Petridou, M., Benson, J. F., Gimenez, O., Iliopoulos, Y., & Kati, V. (2023). Do husbandry practices reduce depredation of free-ranging livestock? A case study with wolves in Greece. *Biological Conservation*, 283, 110097.
- Prajapati, B., Dunne, M., & Armstrong, R. (2010). Sample size estimation and statistical power analyses. *Optometry Today*, 16(7), 10–18.
- R Core Team. (2021). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reinhardt, I., Knauer, F., Herdtfelder, M., Kluth, G., & Kaczensky, P. (2023). Wie lassen sich Nutztierübergänge durch Wölfe nachhaltig minimieren?–Eine Literaturübersicht mit Empfehlungen für Deutschland. *Evidenzbasiertes Wildtiermanagement*, 231–256.
- Richards, S. A., Whittingham, M. J., & Stephens, P. A. (2011). Model selection and model averaging in behavioural ecology: The utility of the IT-AIC framework. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 65, 77–89.
- RStudio Team. (2021). RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>
- Schüssele, H.-D. (2007). Erdung und Erdungsmessung. *Elektropraktiker*, 61(1), 1–4.
- Verband der Elektrotechnik. (2020). Leitfaden Elektrozaune – Herdenschutz gegen den Wolf (1.0). VDE.
<https://www.vde.com/resource/blob/1975842/9628a8301e8cb8e15dfc5466554bec92/vde-spec-leitfaden-elektrozaeune---herdenschutz-gegen-den-wolf---download-data.pdf>



Appendix



Appendix i: Barplots der Prädiktoren. A) Bodenfeuchte-Werte der Standorte in den Radien 100, 500 und 1000 m. B) Anteil (%) der Kationenaustauschkapazität in den KAK-Klassen im Radius 100 m; C) 500 m und D) 1000 m um die Erdungsstandorte.



Appendix ii:
Korrigierte Akaikes Informationskriterium-Werte und deren Differenzen ($\Delta AICc$). Der zufällige Effekt Standort-Id ist in jeglichen Modellen als "random intercept" enthalten.

Antwortvariable	Prädiktoren global model	Prädiktoren - Modelle Delta-2-Set	AICc	$\Delta AICc$
Kurzschlussstest-Daten	~ Erdung + Bodenfeuchte.100 + Bodenfeuchte.500 + Bodenfeuchte.1000	~ Erdung	70,8	-
	~ Erdung + KAK.0-50.100 + KAK.0-50.500 + KAK.0-50.1000	~ Erdung	70,8	-
		~ Erdung + KAK.0-50.500	72,4	1,52
	~ Erdung + KAK.50-100.100 + KAK.50-100.500 + KAK.50-100.1000	~ Erdung + KAK.50-100.100	68,5	-
	~ Erdung + KAK.100-200.100 + KAK.100-200.500 + KAK.100-200.1000	~ Erdung	70,8	-
		~ Erdung + KAK.100-200.500	72,5	1,62
		~ Erdung + KAK.100-200.1000	72,5	1,67
		~ Erdung + KAK.100-200.100	72,7	1,83
	~ Erdung + KAK.200-300.100 + KAK.200-300.500 + KAK.200-300.1000	~ Erdung	70,8	-
		~ Erdung + KAK.200-300.500	71,2	0,39
		~ Erdung + KAK.200-300.1000	71,8	0,95
		~ Erdung + KAK.200-300.100	72,4	1,60
Zaunspannung ohne KS	~ Erdung + Bodenfeuchte.100 + Bodenfeuchte.500 + Bodenfeuchte.1000	~ Erdung	364,1	-
	~ Erdung + KAK.0-50.100 + KAK.0-50.500 + KAK.0-50.1000	~ Erdung	364,1	-
	~ Erdung + KAK.50-100.100 + KAK.50-100.500 + KAK.50-100.1000	~ Erdung	364,1	-
	~ Erdung + KAK.100-200.100 + KAK.100-200.500 + KAK.100-200.1000	~ Erdung + KAK.100-200.100	361,6	-
	~ Erdung + KAK.200-300.100 + KAK.200-300.500 + KAK.200-300.1000	~ Erdung	364,1	-

Die Modelle mit den kleinsten korrigierten AICc-Werten sind **fett** formatiert.

KS = Kurzschluss; KAK.0-50.100 = Kationenaustauschkapazität (%) zwischen 0 und 50 cmol*kg⁻¹ in 100 m Radius; KAK.0-50.500 = Kationenaustauschkapazität (%) zwischen 0 und 50 cmol*kg⁻¹ in 500 m Radius etc.



Dokumentation der Messung

Protokolliert am: _____ von: _____

Wetter

Temperatur	Grad Celsius
Luftfeuchtigkeit	<input type="checkbox"/> extrem trocken <input type="checkbox"/> trocken <input type="checkbox"/> schwül <input type="checkbox"/> regnerisch
Regen	<input type="checkbox"/> Regen am Tag vor der Messung <input type="checkbox"/> Regen in der Nacht vor der Messung <input type="checkbox"/> Regen am Tag der Messung

Fläche

Flächenbezeichnung/ Nummer	GPS:
Flächennutzung	<input type="checkbox"/> Nachtpferch <input type="checkbox"/> Großkoppel <input type="checkbox"/> Mittagspferch <input type="checkbox"/> Sonstiges:
Anzahl Netze	
Zustand Vegetation	<input type="checkbox"/> verbuscht <input type="checkbox"/> hoher Bewuchs <input type="checkbox"/> niedriger Bewuchs <input type="checkbox"/> Sonstiges:

Beschreibung des Weidezaungeräts und der Stromspannung:

Typ des Weidezaungeräts + Jouleangabe Weidezaungerät (laut Hersteller) <i>mindestens 1 Joule</i>	Joule:
Erdung <i>Entweder Erdung nach Herstellerangaben / Tabelle Joule pro Erdstab / maximal 600 V</i>	Art Erdungsstab: <input type="checkbox"/> Zauneinschlaghülse <input type="checkbox"/> T-Stab <input type="checkbox"/> Sonstiges: Anzahl der Erdungsstäbe: Länge Erdstäbe im Boden (in cm) Bemerkung zur Erdung am Standort (BSG):
Stromspannung des Zauns (Tabelle der Messungen) <i>Auf Schalterstellung bei Messgerät achten- relevant ist die Messung ohne zugeschalteten Widerstand: minimal 4000 Volt</i>	Stromspannung an Erdung (Volt) (Gemessen am letzten Erdstab) Kurzschlussstest: in einigem Abstand zum Weidezaungerät Kurzschluss herstellen, sodass Zaunspannung auf 2000 Volt herabsinkt. Dann Spannung am letzten Erdstab messen.
Messung in V	Spannung am Zaun 100m von letzter Erdung
	Ohne Kurzschluss
	Mit Kurzschluss (<2000 V)
	Spannung an der letzten Erdung
	(Mit Kurzschluss) Ziel < 500 V
"normale" Erdung	<input type="checkbox"/> abgeflex?
Eine feste Erdung	<input type="checkbox"/> abgeflex?
Zwei	<input type="checkbox"/> abgeflex?
Drei	<input type="checkbox"/> abgeflex?
Vier	<input type="checkbox"/> abgeflex?

Zeitaufwand Messung	<input type="checkbox"/> eine Person	Dauer: min
	<input type="checkbox"/> zwei Personen	

Appendix iii: Protokollbogen zur Aufnahme der Messwerte. Dank für die Erstellung des Erhebungsbogens, die Konzeption der Feldarbeit und der Mitarbeit in der Organisation des Projekts gebührt **Natascha Zimmermann**.