

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf
Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät
Fachbereich Biologie



**Untersuchung der möglichen Lockwirkung
der Nachtkennzeichnung von
Windenergieanlagen auf den nächtlichen
Vogelzug**

**Investigation of the possible lure effect of night-time markings on
wind turbines on night-time bird migration**

Bachelorarbeit zum Erlangen des akademischen Grades Bachelor of
Science (B.Sc.) im Studiengang der Biologie an der Heinrich-Heine-Universität
Düsseldorf

Vorgelegt von:

Felix Fatum

Matrikelnummer: 2618872

Düsseldorf, 21. September 2022

Erstgutachter: Prof. Dr. Werner Kunz

Zweitgutachter: Prof. Dr. Heiko Schmaljohann

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| ZUSAMMENFASSUNG | IX |
| ABSTRACT | X |
| 1 EINLEITUNG: DIE ANLOCKWIRKUNG VON KÜNSTLICHEN LICHTQUELLEN AUF DEN NÄCHTLICHEN VOGELZUG | 11 |
| 2 BEDARFSGERECHTE BEFEUERUNG VON WINDENERGIEANLAGEN..... | 15 |
| 3 MATERIAL UND METHODEN..... | 16 |
| 3.1 Onshore-Windparks und Radarstandort | 16 |
| 3.1.1 Radarstandort im Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg..... | 16 |
| 3.2 Vogelzugerfassung..... | 20 |
| 3.2.1 Zeitraum der Erfassung..... | 20 |
| 3.2.2 Erfassungsmethodik..... | 21 |
| 3.3 Datenauswertung | 27 |
| 3.3.1 Datenprozessierung..... | 27 |
| 3.3.2 Vogelsignale im Turbinennahbereich | 29 |
| 3.3.3 Wetterparameter..... | 30 |
| 3.4 Datenanalyse | 31 |
| 4 ERGEBNISSE: | 33 |
| 4.1 Die Radarbilderauswertung im Vergleich zur Beleuchtungsform | 33 |
| 4.2 Vergleich der beiden verwendeten Radargeräte | 34 |
| 4.3 Die Differenz zwischen den Radargeräten..... | 35 |
| 4.4 Die Differenz der MTR und der Summe der Vogelsignale in Abhängigkeit zu den verschiedenen Wetterparametern..... | 40 |
| 4.4.1 Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 1.000 m | 40 |
| 4.4.2 Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 200 m | 42 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.4.3 | Die Differenz der Summe der Vogelsignale in den beiden Auswahlbereichen | 43 |
| 4.5 | Vergleich der Vogelsignale vor, während und nach der BNK-Beleuchtungsphase | 44 |
| 4.6 | Zusammenfassung der Ergebnisse | 47 |
| 5 | DISKUSSION | 48 |
| 6 | FAZIT | 53 |
| 7 | LITERATURVERZEICHNIS | 54 |
| A | ANHANG..... | 57 |
| B | EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG | 72 |
| C | DANKSAGUNG..... | 73 |

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1.1 Die BNK wird zur Gewährleistung der Flugsicherheit bei Detektion eines Flugobjektes aktiviert (Quelle: Lanthan Safe Sky GmbH, www.50komma2.de vom 19.01.2022). 14
- Abb. 3.1 Die geographische Lage des Studiengebietes in Schleswig-Holstein. Der Radarstandort ist durch das rote Kennzeichen markiert (Quelle: Google Maps vom 21.01.22). 17
- Abb. 3.2 Die Standortübersicht des Studiengebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg (Nordteil) und dem Windpark Hollmark (Südteil). Die WEA im Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg wurden durch die BNK bei Bedarf beleuchtet. Die WEA des Windpark Hollmark wurden durch die dauerhafte rote Nachtkennezeichnung beleuchtet. Die schraffierten Flächen kennzeichnen den Erfassungsbereich der Radargeräte. 18
- Abb. 3.3 Die Standortübersicht des Studiengebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg (Nordteil) und dem Windpark Hollmark (Südteil). Der Radarstandort ist durch das weiße Kennzeichen und die Koordinaten markiert. Die WEA im Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg sind bereits in Betrieb. Für die WEA des Windpark Hollmark sind bereits die Fundamente erkennbar (Baujahr 2020) (Quelle: Bing Maps vom 01.07.2022). 19
- Abb. 3.4 Die beiden Holzkonstruktionen mit den Radarantennen auf dem Flachdach des Servergebäudes im Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH). 22
- Abb. 3.5 Die umstehenden Windmühlen des Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg im Nordteil des Untersuchungsgebietes (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH). 22
- Abb. 3.6 Die vier umstehenden Windmühlen des Windpark Hollmark im Südteil des Untersuchungsgebietes (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH). 23
- Abb. 3.7 Die beiden geöffneten Aluminiumboxen mit dem Prozessor und weiteren Systemkomponenten am Radarstandort (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH). 24
- Abb. 3.8 Ein Beispiel für ein aufgezeichnetes Radarbild eines Vertikalradars vom 05.10.2021 um 18:40 Uhr (UTC) (Quelle: BioConsult SH). Die Vogelsignale kennzeichnen sich anhand der meist waagrechten Linie aus blauen Punkten (Nachleuchtdauer) hinter dem aktuellen gelben Signal. Bei den gelb/blauen breiten waagrechten und senkrechten Streifen innerhalb der Bildmitte handelt sich um Signale, die von der Erdoberfläche und den umstehenden Windenergieanlagen am Radarstandort reflektiert wurden. Auf diesem Radarbild sind mehrere Vogelsignale zu erkennen. Der rote Pfeil kennzeichnet ein beispielhaftes Vogelsignal. Der Erfassungsbereich wird in diesem Fall durch die waagerechte Erdoberfläche (gelbe Linie zwischen 90° und 270°) begrenzt. 25
- Abb. 3.9 Eine der beiden geöffneten Aluminiumboxen am Radarstandort mit dem Radarprozessor, der Bedieneinheit für das Radargerät, dem Rechner inklusive des Bildschirms und der externen Festplatte zur wöchentlichen Sicherung der Radarbilder (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH). 26

- Abb. 3.10 Die Standortübersicht des Studienggebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg (Nordteil, WEA grau gekennzeichnet) und dem Windpark Hollmark (Südteil, WEA rot gekennzeichnet). Für die Erläuterung der einzelnen Details siehe Legende der Abbildung 3.1. Mit den blauen Pfeilen markiert ist der Abstand der für die Auswahlbereich genutzten WEA vom Radarstandort (grüner Punkt, mittig). 29
- Abb. 4.1 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 36
- Abb. 4.2 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 37
- Abb. 4.3 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare der Vogelsignalsummen des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 38
- Abb. 4.4 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei guter Sicht (≥ 10.000 m) vs. schlechter Sicht (≤ 10.000 m) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 41
- Abb. 4.5 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei ohne Niederschlag vs. Niederschlag des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 42

- Abb. 4.6 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei ohne Niederschlag vs. Niederschlag des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“(unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 43
- Abb. 4.7 Die Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale pro Screenshot im Höhenbereich bis zu 1.000 m in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu jeweils einer halben Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 44
- Abb. 4.8 Die Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale pro Screenshot im Höhenbereich bis zu 200 m in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu jeweils einer halben Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an. 45

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----------|---|----|
| Tab. 3.1 | Die Zeiträume der Datenerfassung bzw. der Datenausfall durch technische Störungen im Studienzeitraum. | 20 |
| Tab. 4.1 | Die Anzahl der aufgezeichneten und ausgewerteten Vertikalradarbilder mit den Roh- und distanzkorrigierten Signalen getrennt nach der Beleuchtungsform (BNK oder dauerhafte Nachtkennzeichnung). | 33 |
| Tab. 4.2 | Die Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane und Maximalwerte der MTR [Signale/km*h] pro Stunde in Abhängigkeit zu dem zur Erfassung verwendeten Radargerät und dem betrachteten Höhenbereich bis zu 1.000 m oder bis zu 200 m. Des Weiteren ist das Ergebnis des statistischen Vergleichs zwischen den zur Erfassung verwendeten Radargeräten angegeben (Wilcoxon-Rangsummentest). | 34 |
| Tab. 4.3 | Die statistische Auswertung der Differenz der Radare für die nächtlichen Zugintensität (MTR) oder die Summe der Vogelsignale zwischen den zur Erfassung verwendeten Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde (Wilcoxon-Rangsummentest). | 39 |
| Tab. 4.4 | Die statistische Auswertung der Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu der mittleren Anzahl der Vogelsignale jeweils eine halben Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase (Wilcoxon-Rangsummentest). | 46 |

Abkürzungsverzeichnis

| Abkürzung | Bedeutung |
|--------------|--|
| AWZ | Ausschließliche Wirtschaftszone |
| BeBeO | Bedarfsgerechte Befeuerung von Offshore-Windenergieanlagen (Projekttitle) |
| BNK | Bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung der Windenergieanlagen |
| BSH | Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie |
| DWD | Deutscher Wetterdienst |
| GHz | Gigahertz (Einheit für elektromagnetische Wellenfrequenzen) |
| kW | Kilowatt (Energieeinheit) |
| MTR | migration traffic rate, Zugintensität in Radarsignale/(Stunde*Kilometer) |
| NM | Nautische Meile (Längeneinheit) |
| OWEA | Offshore-Windenergieanlagen |
| OWP | Offshore-Windpark |
| p | entfernungsabhängige Detektionswahrscheinlichkeit |
| RAD | Bogenmaß Radiant |
| R1 | Radargerät 1 |
| R2 | Radargerät 2 |
| R1-R2 | Differenz zwischen Radargerät 1 und Radargerät 2 |
| StUK4 | Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt“ (BSH 2013) |
| TWC | Rückenwind-Komponente (tailwind component) [m/s] |
| UTC | Universal Time Coordinated (koordinierte Weltzeit) |
| WEA | Windenergieanlagen (Onshore) |
| Δ MTR | Die Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität |
| Δ VS | Die Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale |

ZUSAMMENFASSUNG

Um den anthropogenen Klimawandel zu begrenzen, ist eine deutliche Reduzierung der anthropogenen CO₂-Emissionen notwendig. Dabei steht besonders der Ausbau der erneuerbaren Energien im Vordergrund. Die Windenergie stellt eine wichtige erneuerbare Energieform dar. Jedoch stehen dem Ausbau der Windenergie an Land (Onshore) und vor der Küste (Offshore) zunehmende Flächenkonflikte und Artenschutzbedenken gegenüber. Die Gefährdung von Vögeln auf ihren Wanderungen stellt ein großes Konfliktpotential bei dem Ausbau der Windenergie in Mitteleuropa dar. Der Vogelzug findet zum größten Teil nachts während der Hauptzugperioden (Frühjahr und Herbst) statt. Mehrere Studien belegen ein erhöhtes Kollisionsrisiko von nachts ziehenden Vögeln an beleuchteten anthropogenen Strukturen, deren größten Anteil Singvögel stellen, wobei schlechte Wetterbedingungen zu einer Verstärkung der Lockwirkung der künstlichen Lichtquellen führen. Um die Sicherheit des Luftverkehrs zu gewährleisten, müssen Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe von > 100 m nachts durch dauerhafte rote Blinklichter gekennzeichnet werden. Durch die Verwendung einer bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung wird die Beleuchtung der Nachtkennzeichnung auf die kurzen Zeiträume beschränkt, in denen die Flugsicherheit eine Befeuerung erfordert.

In der vorliegenden Studie wurde die mögliche Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen auf den nächtlichen Vogelzug wissenschaftlich untersucht. Die Erfassung des nächtlichen Vogelzuges fand mittels zweier Schiffsradargeräte an zwei benachbarten Onshore-Windparks in Nordfriesland statt, wobei sich die beiden Windparks durch ihre Form der Nachtkennzeichnung (dauerhafte oder bedarfsgerechte Befeuerung) voneinander unterschieden. Die Detektionswahrscheinlichkeit nachts migrierender Vögel durch die beiden Radargeräte war von der Entfernung zum Radarstandort abhängig. Aus diesem Grund war eine Distanzkorrektur der gewonnenen Daten vor der Berechnung der Zugintensitäten notwendig. Die beiden verwendeten Radargeräte wiesen einen Unterschied in ihrer Detektionswahrscheinlichkeit auf. Die Radargeräte wurden alle drei Wochen zwischen den beiden Studienbereichen gewechselt, um einen systematischen Einfluss der gerätespezifischen Unterschiede zu vermeiden. Innerhalb der Studie wurde die Zugintensität aus dem dauerbeleuchteten Windpark mit der aus dem bedarfsgerechten beleuchteten Windpark in drei verschiedenen Vergleichsräumen betrachtet, um Rückschlüsse auf die Anlockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung zu ziehen.

Die Ergebnisse zeigten statistisch signifikante Unterschiede in der Lockwirkung im Vergleich zwischen der dauerhaften und der bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung im unteren Höhenbereichen in der Nähe der Anlagen. Die Ergebnisse deuteten auf eine Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung der Onshore-Windenergieanlagen hin. Die Lockwirkung scheint sich dabei auf die Nähe zu den Anlagen zu beschränken. Die Ergebnisse zeigten jedoch keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den vorherrschenden Wetterbedingungen. Dies widerspricht sich jedoch mit den Ergebnissen vorangegangener Studien. Diese Abweichung der Ergebnisse könnten mit der Definition der guten und schlechten Wetterbedingungen zusammenhängen. Die Datengrundlage bei schlechten Wetterbedingungen war jedoch für eine solche Auswertung zu gering. Die flächendeckende Einführung der bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung hätte die Möglichkeit eine Erhöhung des Kollisionsrisikos von nächtlichen Zugvögeln durch die Lockwirkung der Nachtkennzeichnung zu reduzieren.

ABSTRACT

To limit the repercussions of human-induced climate change, a significant reduction in anthropogenic CO₂-emissions is necessary. In this context, of particular importance is the expansion of renewable energy production. Wind energy is an important form of renewable energy. However, the expansion of wind energy on land (onshore) and offshore faces increasing land – and sea - use conflicts and species protection concerns. The potential threat coming from wind parks for migratory birds represents a major conflict between in the expansion of wind energy and nature conservation in Central Europe. Bird migration mostly takes place at night during the main migration periods in spring and autumn. Several studies showed an increasing collision risk with illuminated anthropogenic structures for nocturnally migrating birds, of which songbirds represent the largest part, with poor weather conditions leading to an increased attractiveness of artificial light sources, such as wind parks. To ensure the safety for air traffic, wind turbines with a total height of > 100 m must be marked at night by permanent red flashing lights. By using an as-needed night marking, the illumination during night can be reduced to the short periods in which air safety requires lighting.

In the present study, a possible attraction effect of permanent night marking of wind turbines on nocturnal bird migration was scientifically investigated. The detection of nocturnal bird migration took place by means of two marine radars at two neighboring onshore wind farms in North Frisia, Germany, whereby the two wind farms differed from each other in their form of night marking (permanent or on-demand lighting). The detection probability of night migrating birds by the two radars was dependent on the distance to the radar site. For this reason, distance correction of the acquired data was necessary before calculating migration intensities. The two radars used showed a difference in their detection probability. The radars were swapped every three weeks between the two study sites to avoid a systematic influence of device-specific differences. This study, compares, migration intensity at permanently illuminated wind farm to that from the on-demand illuminated wind farm illuminated on demand in three different scales to draw conclusions about the attraction effect of permanent night marking.

This study reveals statistically significant differences in the attraction effect comparing permanent and on-demand night marking at lower elevations near the turbines. The results indicated an attraction effect of permanent night marking of onshore wind turbines. The luring effect appears to be limited to the proximity to the turbines. The results also showed no dependency of the luring effect from prevailing weather conditions. However, this contradicts results from previous studies. This discrepancy could be related to the definition of good and bad weather conditions. However, the data from bad weather conditions was too scarce for a thorough evaluation. The implementation of demand-based night marking would have the potential to reduce an increase in the collision risk for nocturnal migratory birds caused by the attractiveness of permanent night markings.

1 EINLEITUNG: DIE ANLOCKWIRKUNG VON KÜNSTLICHEN LICHTQUELLEN AUF DEN NÄCHTLICHEN VOGELZUG

Der anthropogene Klimawandel stellt wahrscheinlich eine der größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts dar. Aus diesem Grund unterzeichneten 195 Staaten und die Europäische Union das Pariser Klimaabkommen im Jahr 2015, dass die Erderwärmung auf unter 2 Grad Celsius im Vergleich zur vorindustriellen Zeit beschränken soll (LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG BADEN-WÜRTTEMBERG o. D., letzter Zugriff am 10. März 2022). Die Bundesregierung hat sich dabei im Jahr 2010 zum Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zum Jahr 1990 zwischen 80 und 95 Prozent zu reduzieren (BMU 2019). Nach dem Klimaschutzgesetz, das am 31. August 2021 in Kraft trat, soll Deutschland seine CO₂-Emissionen bis 2030 um 65% gegenüber dem Jahr 1990 verringern. Für das Jahr 2040 gilt ein Minderungsziel von mindestens 88% und der Prozess soll dann in einer Treibhausgasneutralität Deutschlands im Jahr 2045 enden (PRESSE- UND INFORMATIONSSAMT DER BUNDESREGIERUNG 2021, letzter Zugriff am 15. März 2022).

Um dieses Ziel zu erreichen und die Erderwärmung zu begrenzen, ist eine deutliche Reduzierung der anthropogenen CO₂-Emissionen notwendig. Dabei steht besonders die Verbrennung von fossilen Energieträgern, wie z.B. Kohle oder Erdöl im Fokus. Die Reduzierung der Stromgewinnung durch die Verbrennung der fossilen Energieträger nimmt daher eine Schlüsselrolle zum Erreichen der Klimaziele und der Begrenzung der Erderwärmung ein. Außerdem stellt die Abhängigkeit mancher Staaten vom Import fossiler Energieträger, wie z.B. Erdgas oder Erdöl für exportierende Länder ein politisches Druckmittel dar, da Einschränkungen des Imports von fossilen Energieträgern zu einer Gefährdung der Energiesicherheit mit wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Problemen im importierenden Land führen kann. Der Ausstieg aus der Verbrennung von fossilen Energien ist seit vielen Jahren ein politischer Schwerpunkt und Grundlage für viele Innovationen im Bereich der erneuerbaren Energien. Um die oben genannten Klimaziele zu erreichen, sind der Ausbau und die Weiterentwicklung erneuerbarer Energien notwendig. Zu den häufigsten erneuerbaren Energien zählen dabei aktuell die Solarenergie, die Windenergie, die Wasserkraft, die Erdwärme und die Energiegewinnung durch Biomasse. Eine der am weitest verbreiteten erneuerbaren Energieformen stellt dabei die Windenergie dar. So machte die Stromeinspeisung der Windkraft im ersten Halbjahr 2022 25,7% der eingespeisten Strommenge in Deutschland aus (STATISTISCHES BUNDESAMT 2022, letzter Zugriff am 07.09.2022). Bei dieser Form der erneuerbaren Energie wird zwischen Onshore-Windenergie (an Land) und Offshore-Windenergie (vor der Küste) unterschieden.

Die Windenergie ist daher für das Gelingen der Energiewende in Deutschland unverzichtbar. Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) können dabei aufgrund der günstigen Windbedingungen auf See beinahe jede Stunde eines Jahres Strom liefern und erreichen somit deutlich höhere Betriebsstunden als Onshore-Windenergieanlagen (WEA) oder Photovoltaik. Außerdem kommt es dadurch, dass die Flächenpotentiale an Land von Photovoltaik und Onshore-Windenergieanlagen begrenzt sind, beim Ausbau der Windenergie zunehmend zu Auseinandersetzungen aufgrund von einer hohen Nutzungskonkurrenz und vor allem durch Bedenken hinsichtlich des Arten- und Naturschutzes. Durch den Ausbau der Offshore-Windenergie kommt es zu weniger Konflikten und Akzeptanzproblemen (KNORR ET AL. 2017). Jedoch ist über die Folgen des Ausbaues der Offshore-Windenergie und deren Einfluss auf den Artenschutz wesentlich weniger bekannt.

Laut dem Bundesnaturschutzgesetz (§44 Abs.1 Nr.3) ist es verboten, „Fortpflanzungs- oder Ruhestätten der wildlebenden Tiere der besonders geschützten Arten aus der Natur zu entnehmen, zu beschädigen oder zu zerstören.“ Auch bei der Flächenausweisung für Windenergieanlagen gemäß des Baugesetzbuch (§35 Abs.3 Nr.5) kommt es daher bereits zur Berücksichtigung der Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege, jedoch stellt die potentielle Gefährdung der Zugvögel in ihrem Zug ins Brut-, Rast- und Überwinterungsgebiet der Nord- und Ostsee ein großes Konfliktpotential bei dem Ausbau der Offshore-Windenergie in Mitteleuropa dar (WELCKER & VILELA 2020).

Der Vogelzug findet zum größten Teil nachts während der Hauptzugperioden (Frühjahr und Herbst) im sogenannten Breitfrontenzug statt. In Mitteleuropa ziehen rund zwei Drittel aller Zugvögel in der Nacht (DORKA 1966; EASTWOOD 1967; BERTHOLD 2000; ZEHNDER ET AL. 2001). Während sich tagziehende Vögel häufig an verschiedenen visuellen Anhaltspunkten, wie markanten topografischen Strukturen orientieren, orientieren sich Nachtzieher viel mehr an Anhaltspunkten wie den Sternen, dem Mondzyklus und dem Magnetfeld (EASTWOOD 1967; BERTHOLD 2000; ZEHNDER ET AL. 2001; MOURITSEN 2018; WILTSCHKO & WILTSCHKO 2021). Das Magnetfeld der Erde liefert dabei allgegenwärtige Informationen für die Navigation der Tiere. Die magnetische Richtung (Polarität) und/oder der Neigungswinkel (der Winkel zwischen den Feldlinien und der Erdoberfläche) können zur Bestimmung einer Bewegungsrichtung herangezogen werden. Vögel können die magnetische Polarität und/oder den Neigungswinkel als Referenzrichtung für einen Magnetkompass verwenden. Ebenso können Vögel magnetische Parameter für die Bestimmung ihrer Position nutzen (MOURITSEN 2018; WILTSCHKO ET AL. 2021).

Mehrere Studien belegen ein erhöhtes Kollisionsrisiko an beleuchteten anthropogenen Strukturen bei nachts migrierenden Vögeln, deren größten Anteil Singvögel stellen (BALLASUS ET AL. 2009; MCLAREN ET AL. 2018). Die Ergebnisse dieser Studien widersprechen sich jedoch mit Ergebnissen anderer Studien, welche keinen derartigen Zusammenhang zeigen konnten (BALLASUS ET AL. 2009; CABRERA-CRUZ ET AL. 2020). Erste Beobachtungen der Anziehung von künstlichen Lichtquellen stammten von Leuchttürmen, aber auch andere anthropogene Strukturen mit künstlicher Lichtemission können Vögel nachts anziehen und eine Verhaltensänderung der Vögel hervorrufen (GAUTHREAUX JR & BELSER 2006; BALLASUS ET AL. 2009). Nach REBKE ET AL. 2019 wurden in einem Spotlight-Experiment bei Hörnum im Süden der Nordseeinsel Sylt die Vögel verschiedenen Kombinationen aus Lichtfarbe (rot, gelb, grün, blau, weiß), Intensität (halb, voll) und Blinkmodus (intermittierend, kontinuierlich) ausgesetzt und ihre Anzahl in der Nähe der Lichtquelle mit Wärmebildkameras gemessen. Dabei wurde festgestellt, dass keine Lichtvariante grundsätzlich gemieden wurde, jedoch bei allen Lichtfarben, außer Rot, mehr Vögel bei Dauerlicht als bei Blinklicht registriert wurden, was auf eine höhere Anlockwirkung bei einer dauerhaften Beleuchtung rückschließen lässt. Das rote Dauerlicht führte dabei zu einer wesentlich geringeren Anlockung als grünes, blaues und weißes Dauerlicht. Nur bei gelbem Licht ergaben sich keine eindeutigen Ergebnisse. Das rote Dauerlicht wies in der letztgenannten Studie eine ähnliche Lockwirkung wie das rote Blinklicht auf. Während die Lichtintensität keine Rolle für die Anlockwirkung hatte, zeigt die Studie nach REBKE ET AL. 2019, dass sich die Anzahl der gemessenen Vögel bei verschiedenfarbigen Blinklichtern nicht im Vergleich zur Dunkelheit unterschied. Die Lockwirkung des künstlichen Lichts schien daher von der Lichtfarbe und der Form der Beleuchtung abzuhängen und unabhängig von der Lichtintensität zu sein. Diese Ergebnisse der Studie widersprechen sich mit Ergebnissen anderer Studien (BALLASUS ET AL. 2009). Die Ergebnisse dieser Studien lassen daraus schließen, dass konstantes emittierendes Licht bei schlechten

Wetterbedingungen eine erhöhte Lockwirkung aufweist. Die Ergebnisse zu der Lockwirkung spezieller Lichtfarben sind widersprüchlich (BALLASUS ET AL. 2009). Die Lockwirkung des künstlichen Lichts trägt wesentlich zu einer Erhöhung des Kollisionsrisikos an der anthropogenen Struktur und einem Energieverlust für den Weiterflug bei. So können Vögel direkt mit der anthropogenen Struktur kollidieren oder aufgrund von Energieverlusten im späteren Verlauf des Zuges versterben (BALLASUS ET AL. 2009). Durch die künstlichen Lichtquellen kommt es also zu einer Anziehung und einer Verhaltensänderung bei nachts migrierenden Vögeln, wodurch jedes Jahr Millionen von Zugvögeln zu Tode kommen (EVANS OGDEN 1996).

Die Intensität des Vogelzuges und die Flughöhe der Vögel sind dabei auch stark von den vorherrschenden Wetterbedingungen abhängig (SHAMOUN-BARANES ET AL. 2017). Durch verschiedene Wetterparameter, wie z.B. die Windrichtung mit oder gegen die Zugrichtung oder Niederschlag, kann die Intensität des Vogelzuges stark variieren bis temporär vollständig zum Erliegen kommen (GAUTHREAUX JR & BELSER 2006; HÜPPOP ET AL. 2006; BALLASUS ET AL. 2009). Schlechte Wetterbedingungen (z.B. starke Bewölkung, Nebel, Niederschlag, Gegenwind), bei welchen die Sichtweite und Orientierung der Vögel eingeschränkt wird bzw. verloren geht, führen zu einer Verstärkung der Lockwirkung der künstlichen Lichtquellen und einer Verringerung der Flughöhe, was das Kollisionsrisiko an diesen anthropogenen Strukturen zusätzlich erhöht (AVERY ET AL. 1977; BALLASUS ET AL. 2009; AUMÜLLER ET AL. 2011; RONCONI ET AL. 2015; HÜPPOP ET AL. 2016; MCLAREN ET AL. 2018; REBKE ET AL. 2019). Die Betrachtung der für den Vogelzug relevanten Wetterparameter nimmt daher eine Schlüsselrolle bei der Modellierung von Zugintensitäten ein (VAN BELLE ET AL. 2007; VAN DOREN & HORTON 2018). Durch die Betrachtung der relevanten Wetterparameter bietet sich die Möglichkeit einer frühzeitigen Prognose der Zugintensität an bestimmten Orten während der Hauptzugperioden (Frühjahr und Herbst) und damit die Chance einer vorausschauenden Einleitung entsprechender Maßnahmen zur Gefahrenreduzierung z.B. in Zusammenhang mit der Planung und dem Bau von Windenergieanlagen. Dies kann zu einer Reduzierung der Kollisionszahlen von Zugvögeln an anthropogenen Strukturen wie z.B. Windenergieanlagen beigetragen.

Um die Sicherheit des Luftverkehrs zu gewährleisten, müssen Windenergieanlagen ab einer Gesamthöhe von >100m nachts dauerhaft durch rote Blinklichter gekennzeichnet werden. Durch die Verwendung einer bedarfsgerechten Nachtkennzeichnung (BNK) bei Offshore- und Onshore-Windenergieanlagen wird die Nachtkennzeichnung nur dann aktiviert, wenn die Flugsicherheit eine Befeuerng erfordert und damit auf ein Minimum begrenzt (FA WIND 2016). Die Abschaltung der Beleuchtung, außerhalb der Zeiträume zur Gewährleistung der Flugsicherheit, könnte zu einer direkten Reduzierung der Kollisionen von Zugvögeln und einer Reduzierung der Todesfälle durch die Verringerung der Energiereserven führen. Zusätzlich könnte diese Form der Nachtkennzeichnung zu einer größeren Akzeptanz bei der anwohnenden Bevölkerung führen, da hierbei auch die Störwirkung der Lichtemissionen der Windenergieanlagen minimiert werden. Die BNK könnte also eine weniger störende, umweltverträgliche und sichere Form der nächtlichen Kennzeichnung von Windenergieanlagen darstellen (FA WIND 2016). Während an Land kein erhöhtes Kollisionsrisiko für nachts ziehende Vögel mit WEA im Vergleich zu tags ziehenden Vögeln festgestellt werden konnte und nur wenige nachts ziehende Vögel mit WEA kollidieren (KERLINGER ET AL. 2010; GRÜNKORN ET AL. 2016; WELCKER ET AL. 2017), wird häufig davon ausgegangen, dass von OWEA ein erhöhtes Kollisionsrisiko für nachts migrierenden Vögeln auf dem Meer ausgeht (WELCKER & VILELA 2020). Eine wissenschaftliche Untersuchung der Anziehung der herkömmlichen Nachtkennzeichnung von WEA im Vergleich zur BNK liegt aktuell nicht vor. Daher können bislang keine Rückschlüsse auf eine Reduzierung des Kollisionsrisikos durch die BNK gezogen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Anziehung der BNK im Vergleich zur herkömmlichen Nachtkennzeichnung auf den Vogelzug untersucht, um eine erste Einschätzung einer potenziellen Lockwirkung durch die dauerhafte Nachtkennzeichnung zu ermöglichen. Die Erfassung des Vogelzuges fand dabei mittels zweier Schiffsradargeräte (Marke: JRC, Modell: NKE-2254-7) an zwei angrenzenden Onshore-Windparks in Nordfriesland statt, wobei sich die beiden Parks durch ihre Form der Nachtkennzeichnung (dauerhafte oder BNK) voneinander unterschieden.

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes „Bedarfsgerechte Befeuerung von Offshore-Windenergieanlagen“ (BeBeO) angefertigt. Das Projekt wurde vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz gefördert und von den Partnern aus der Stiftung Offshore-Windenergie, BioConsult SH GmbH & Co. KG (Schobüller Str. 36, 25813 Husum) und Deutsche WindGuard Offshore GmbH durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes sollte unter anderem ein möglicher Lockeffekt auf nachziehende Vögel durch die dauerhafte Nachtkennzeichnung im Offshore-Bereich wissenschaftlich untersucht werden und damit zur Abwägung des Kollisionsrisikos nachts ziehender Vögel an OWEA beitragen. Im Rahmen der Vorbereitung des BeBeO-Projektes wurde jedoch festgestellt, dass bis Projektbeginn noch kein BNK-System in Offshore-Windparks (OWP) eingesetzt wurde. Die vorliegende Studie im Onshore-Bereich dient daher als Grundlage für eine nachfolgende Studie, die den Einfluss der BNK auf den nächtlichen Vogelzug an einem OWP untersuchen soll.



Abb. 1.1 Die BNK wird zur Gewährleistung der Flugsicherheit bei Detektion eines Flugobjektes aktiviert (Quelle: Lanthan Safe Sky GmbH, www.50komma2.de vom 19.01.2022).

2 BEDARFSGERECHTE BEFEUERUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Zur Gewährleistung der Luftsicherheit müssen Windenergieanlagen in Deutschland als mögliche Luftfahrthindernisse in der Nacht gekennzeichnet werden. Außerhalb von Städten und dicht besiedelten Gebieten gilt die Kennzeichnungspflicht ab einer Höhe von 100 Metern. Innerhalb von Städten und dicht besiedelten Gebieten gilt eine Kennzeichnungspflicht ab einer Höhe von 150 Metern. In Sonderfällen, wie in der Nähe zu Flug- und Hubschrauberlandeplätzen, ist auch unter 100 Metern eine nächtliche Kennzeichnung der WEA erforderlich. Die Kennzeichnung der Windenergieanlagen erfolgt dabei grundsätzlich durch Blinklichter (FA WIND o. D., o. D., letzter Zugriff am 15. März 2022).

Im Energiesammelgesetz von 2018 wurde festgelegt, dass Windenergieanlagen, die nach den Vorgaben des Luftverkehrsrechts einer nächtlichen Kennzeichnungspflicht unterliegen, mit einer Einrichtung zur BNK von Luftfahrthindernissen ausgestattet sein müssen (§9 Abs.8 EEG 2017). Von dieser Regelung hat die Bundesnetzagentur derzeit zwei Mal Gebrauch gemacht und die im Gesetz festgelegte Umrüstpflicht der WEA nunmehr auf den 31. Dezember 2022 verlängert. Bis zu diesem Datum müssen sämtliche kennzeichnungspflichtigen Neu- und Bestandsanlagen, soweit für diese nicht eine Ausnahme erteilt wurde oder die BNK aus luftverkehrsrechtlichen Gründen unzulässig ist, entsprechend ausgestattet werden (FA WIND 2021). Zusammengefasst fallen somit WEA mit einer Inbetriebnahme vom 1. Januar 2006 bis zum 31. August 2021 und einer Gesamthöhe von mehr als 100 Metern unter den betrachteten Anlagenbestand, für den eine Pflicht zur Ausrüstung mit einer BNK bis zum 31. Dezember 2022 besteht. Dies sind nach Berechnungen bundesweit 14.070 Windenergieanlagen (FA WIND 2021). Die Einrichtung der BNK bei Neu- und Bestands-Windenergieanlagen in der ausschließlichen Wirtschaftszone (AWZ) in Nord- und Ostsee wurde bis zum 31. Dezember 2023 verlängert (BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN 2021, letzter Zugriff am 10. März 2022). Die BNK ermöglicht es, die Beleuchtung der Windenergieanlagen (Onshore und Offshore) direkt zu steuern und nur bei der Erfassung von relevantem Luftverkehr zu aktivieren. Durch die Aktivierung des BNK-Systems werden dann die Windenergieanlagen zur Gewährleistung der Luftsicherheit beleuchtet. Hierbei wird die Beleuchtung der Windenergieanlagen im Schnitt um 90% reduziert (HERRHOLZ 2015).

Aktuell beruhen die auf dem Markt etablierten Systeme zur Steuerung der BNK auf Radar- und Transpondertechnik, wobei bei der Radartechnik zwischen dem Aktiv- und dem Passivradar unterschieden wird (FA WIND 2016, FA WIND 2021). Bei der Steuerung der BNK durch das Aktivradar werden elektromagnetische Impulse erzeugt, die von Flugobjekten reflektiert und dann von Sensoren erfasst werden. Bei der Passivradartechnologie werden hingegen die Reflexion und der Dopplereffekt kontinuierlicher bestehender elektromagnetischer Wellen von den Sensoren ausgewertet (FA WIND 2016). Bei der Transpondertechnik, auch Sekundärradartechnologie genannt, werden die Transpondersignale von Flugobjekten im zu detektierenden Bereich sensorisch empfangen (FA Wind 2016). Die auf Transpondern beruhende BNK-Form wurde erstmalig im Jahr 2020 zugelassen (FA WIND 2021).

3 MATERIAL UND METHODEN

3.1 Onshore-Windparks und Radarstandort

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der möglichen Lockwirkung der Nachtkennzeichnung von WEA auf den nächtlichen Vogelzug an zwei benachbarten Onshore-Windparks. Die Studie wurde im Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg und Windpark Hollmark bei Enge-Sande durchgeführt. Innerhalb der Studie stellte der Windpark Hollmark den Südteil des Untersuchungsgebietes dar und wurde durch dauerhafte rot-blinkende Nachtkennzeichnung befeuert. Der Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg im Nordteil des Untersuchungsgebietes wurde durch die BNK-gesteuerte Nachtkennzeichnung bei Bedarf gekennzeichnet. Die Intensität des nächtlichen Vogelzuges wurde parallel über zwei Schiffsradargeräte mit vertikal drehenden Antennen detektiert (siehe Kapitel 3.2.2).

3.1.1 Radarstandort im Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg

Der Radarstandort befand sich ca. 18,9 km Luftlinie von der Küste entfernt im Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg. Der Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg und der direkt angrenzende Windpark Hollmark befinden sich im landwirtschaftlich genutzten Bereich südöstlich der Gemeinde Enge-Sande im Kreis Nordfriesland (siehe Abb. 3.1 bis Abb. 3.3). Die beiden Radarantennen wurden auf zwei Holzgestellen auf dem Flachdach eines kleinen Servergebäudes innerhalb des Bürgerwindparks Holzacker-Knorburg installiert (siehe Abb. 3.4). Die beiden Konstruktionen wurden mit Sandsäcken und Abspanngurten zusätzlich befestigt (siehe Abb. 3.4 und Abb. 3.7). Der genaue Radarstandort lag bei der Koordinate: 54°42'46.9"N 9°02'52.5"E. Der Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg wurde im Jahr 2014 erbaut und beinhaltet auf einer Fläche von 684.423 m² aktuell 7 WEA (siehe Abb. 3.5). Der benachbarte Windpark Hollmark befindet sich südlich vom Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg und umfasst eine Fläche von 349.052 m² mit aktuell 4 WEA (siehe Abb. 3.6). Um den Vogelzug in Abhängigkeit zur Nachtkennzeichnung von WEA zu quantifizieren, wurde der Windpark Hollmark mit einer dauerhaften Nachtkennzeichnung und der Bürgerwindparks Holzacker-Knorburg mit der BNK nur bei Bedarf beleuchtet. Alle WEA innerhalb dieser beiden Windparks haben einen Rotordurchmesser von 113 m und eine Nabenhöhe von 92,5 m.

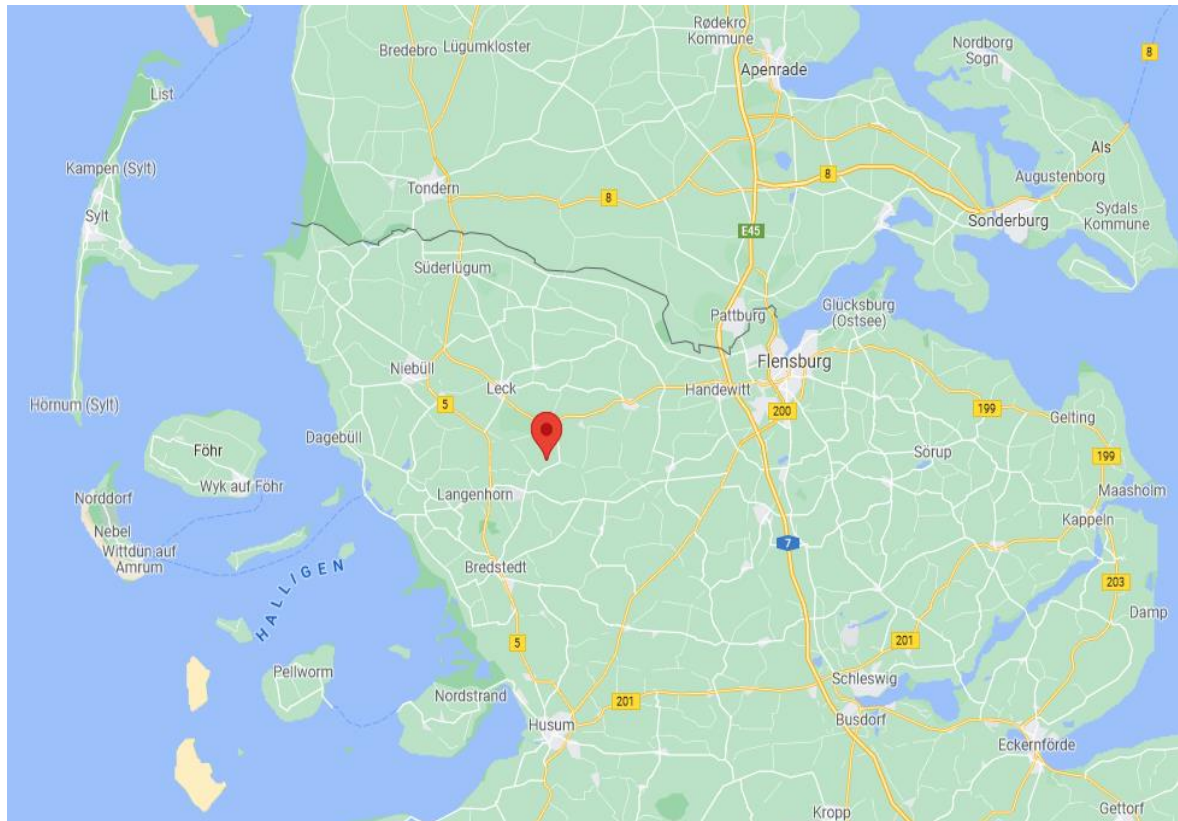


Abb. 3.1 Die geographische Lage des Studiengebietes in Schleswig-Holstein. Der Radarstandort ist durch das rote Kennzeichen markiert (Quelle: Google Maps vom 21.01.22).

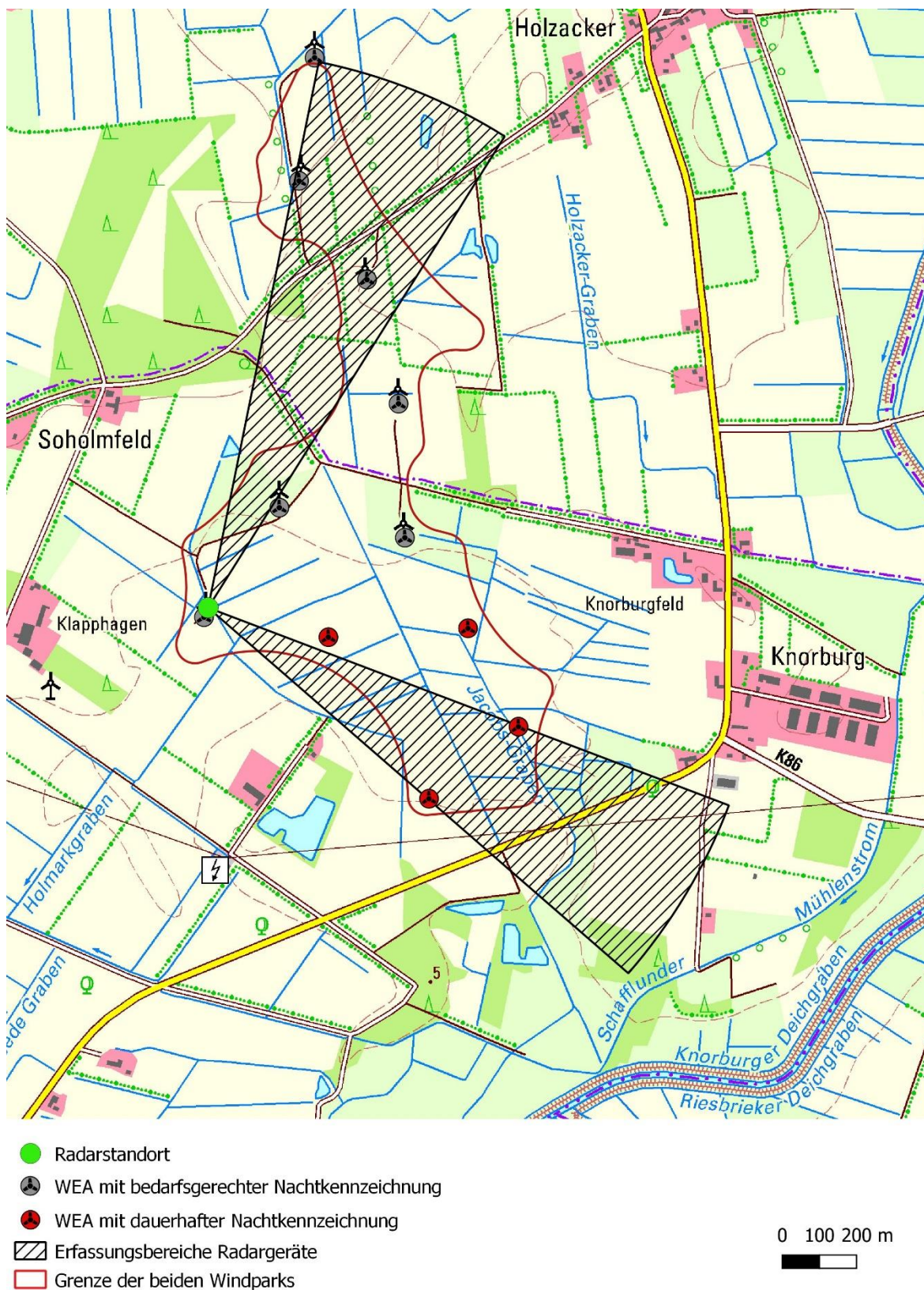


Abb. 3.2 Die Standortübersicht des Studiengebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorbürg (Nordteil) und dem Windpark Hollmark (Südteil). Die WEA im Bürgerwindpark Holzacker-Knorbürg wurden durch die BNK bei Bedarf beleuchtet. Die WEA des Windpark Hollmark wurden durch die dauerhafte rote Nachtkennzeichnung beleuchtet. Die schraffierten Flächen kennzeichnen den Erfassungsbereich der Radargeräte.

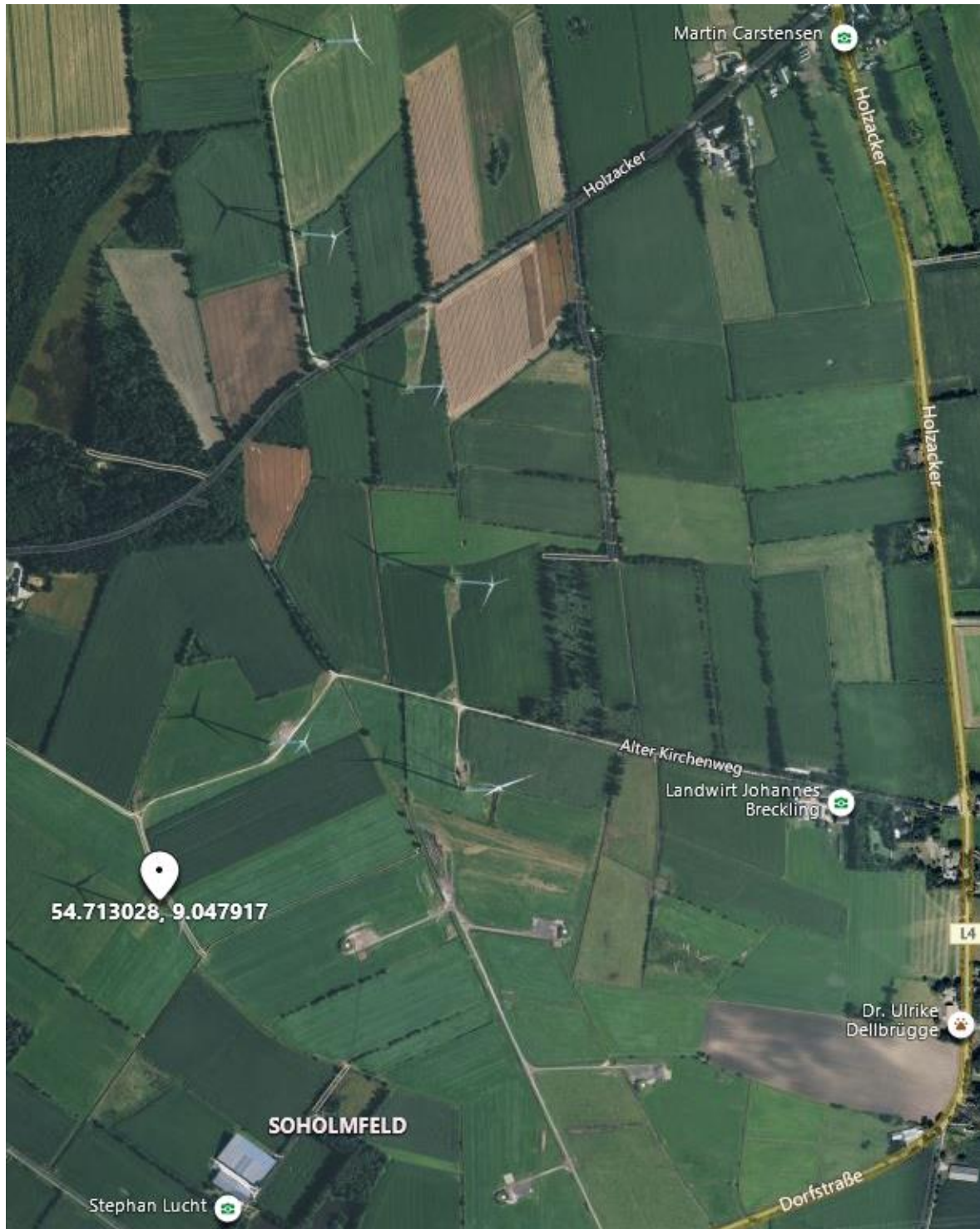


Abb. 3.3 Die Standortübersicht des Studiengebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg (Nordteil) und dem Windpark Hollmark (Südteil). Der Radarstandort ist durch das weiße Kennzeichen und die Koordinaten markiert. Die WEA im Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg sind bereits in Betrieb. Für die WEA des Windpark Hollmark sind bereits die Fundamente erkennbar (Baujahr 2020) (Quelle: Bing Maps vom 01.07.2022).

3.2 Vogelzugerfassung

3.2.1 Zeitraum der Erfassung

Die Daten, die zur Anfertigung dieser Arbeit verwendet wurden, entstammen einem nicht durchgängigen Studienzeitraum vom 19. April 2021 bis zum 15. Oktober 2021 (siehe Tab. 3.1). Die Felderfassung sollte möglichst die Hauptphasen des Vogelzuges in der Region abdecken und war daher ursprünglich für die Nächte der Zeiträume 01. März bis 31. Mai 2021 sowie 01. August bis 31. Oktober 2021 vorgesehen. Aufgrund einer zeitlichen Verzögerung durch fehlende BNK-Systeme wurde mit der Datenaufnahme mit einem Monat Verzögerung am 31. März 2021 am Radarstandort im Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg begonnen. Der Datenausfall, der durch die Verzögerung von ca. einen Monat entstand, wurde durch eine zusätzliche Datenaufnahme im Juni und Juli kompensiert. Die Datenaufnahme der Studie fand also entgegen der ursprünglichen Planung, vom 31. März 2021 bis zum 31. Oktober 2021 statt. Innerhalb dieses Untersuchungszeitraums kam es mehrfach zu Datenausfällen durch verschiedene Faktoren. Am 19. April 2021 wurde bei dem Radargerät im Nordteil der Erfassungsradius (Range) von 1,6 nautischen Meilen (NM) auf 0,75 NM angepasst. Da die vorher im April mit dem größeren Erfassungsradius von 1,6 NM erhobenen Daten nicht mit denen des zweiten Radargerätes vergleichbar waren, wurden die Daten dieses Zeitraums verworfen. Des Weiteren kam es vom 26. August 2021 bis zum 03. September 2021 durch einen technischen Defekt zum Ausfall eines Radargerätes, sodass die Daten des anderen Radargerätes aufgrund der hier nicht gegebenen Vergleichsmöglichkeit ebenfalls verworfen wurden. Ab dem 15. Oktober 2021 kam es erneut zu einem technisch bedingten Ausfall des Radargerätes, das den Nordbereich erfasste. Das defekte Radargerät konnte innerhalb des Studienzeitraums nicht nochmal instandgesetzt werden. Die Daten des anderen Radargerätes wurden für die restliche Studiendauer aufgrund der fehlenden Vergleichbarkeit der Daten verworfen (siehe Tab. 3.1).

Tab. 3.1 Die Zeiträume der Datenerfassung bzw. der Datenausfall durch technische Störungen im Studienzeitraum.

| Zeitraum | Erfassung oder Störung der Datenaufnahme |
|---------------------------------|--|
| 01. März bis 31. März | Keine Datenaufnahme, durch ein fehlendes BNK-System. |
| Ab dem 31. März | Der Beginn der Datenaufnahme. |
| Am 19. April | Die Umstellung des Erfassungsradius eines Radargerätes von 1,6 NM auf 0,75 NM. Die zuvor erhobenen Daten wurden verworfen. |
| Am 26. August bis 03. September | Der Ausfall eines Radargerätes. Die Daten des anderen Radargerätes wurden für diesen Zeitraum verworfen. |
| Ab dem 15. Oktober | Der Ausfall eines Radargerätes und Beendigung der Datenaufnahme. |

3.2.2 Erfassungsmethodik

Dem Standard „Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt“ (StUK4) des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) aus dem Jahr 2013 folgend, wurden zwei Vertikalradare mit einer Leistung von 25 kW und einer Sendefrequenz von 9,41 GHz (X-Band-Bereich) verwendet (BSH 2013). Schiffsradargeräte werden regelmäßig zur wissenschaftlichen Erfassung von Zugvögeln eingesetzt und ermöglichen eine zeitliche und räumliche Quantifizierung des nächtlichen Vogelzugs. Radargeräte erzeugen elektromagnetische Strahlen, die von Vögeln reflektiert und vom Empfänger in der Radarantenne erfasst werden. Somit war die Lokalisation von migrierenden Vögeln im Raum möglich. Aufgrund der Tatsache, dass Zugvögel im Verhältnis zu Schiffen, Leichtflugzeugen oder anderen anthropogenen Strukturen nur ein geringes Körpervolumen besitzen, werden sie am besten von Radargeräten detektiert, die nur eine geringe Wellenlänge erzeugen. Der obere Teil des C-Bandes (3,8-7,5 cm) und der untere Teil des S-Bandes (7,5-15 cm) sind optimal für die Detektion kleiner Vögel, während größere Wellenlängen die Reflektion kleiner Sperlingsvögel unterdrücken können (BRUDERER 1997a; b).

Ein wichtiger Schritt bei der Erfassung von Vögeln mit Radargeräten ist die korrekte Unterscheidung der Vögel von aufgezeichneten Störsignalen auf den Radarbildern. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist daher davon abhängig, dass die Radarsignale als ziehende Vögel identifiziert werden. Des Weiteren ändern sich die erfassten Volumen mit den Radarquerschnitten ändern, was eine zuverlässige Quantifizierung des Vogelzuges erschwert (EASTWOOD 1967; BRUDERER 1997a). Der Radarquerschnitt beschreibt dabei das Maß für den Teil eines Objektes, der die Radarstrahlen reflektiert und wie dieses von dem zur Erfassung verwendeten Radargerät detektiert wird. Die Detektionswahrscheinlichkeit hängt von der Größe, der Form, der Ausrichtung, den Reflexionseigenschaften des Objekts, sowie der Länge und Polarisation der Radarstrahlen ab (SCHMALJOHANN ET AL. 2008).

Für die Detektion des Vogelzuges wurden zwei marktübliche Schiffsradare (Marke: JRC, Modell: NKE-2254-7) mit vertikal drehenden Antennen auf dem Flachdach eines Servergebäudes innerhalb des Windparks (siehe Abb. 3.4 und Abb. 3.7) verwendet. Der Radarprozessor, die Bedieneinheit und die weiteren Systemkomponenten wurden in zwei wetterfesten Aluminiumkisten unterhalb der Konstruktionen auf einer Holz-Picknickbank montiert (siehe Abb. 3.7 und Abb. 3.9). Die beiden Radargeräte unterschieden sich in ihren Einstellungen der Erfassungsradien (Range). Eine Korrektur der unterschiedlichen Einstellungen war jedoch nicht möglich, sodass bei einem Radargerät die Abstände in NM und bei dem anderen Radargerät in Kilometer (km) erfasst wurden. Die beiden Radargeräte wiesen außerdem einen Unterschied in ihrer Detektionswahrscheinlichkeit auf. Die gerätespezifischen Unterschiede in der Einstellung der zu Erfassung verwendeten Radargeräte konnten nicht korrigiert werden, was die Vergleichbarkeit der erhobenen Daten erschwerte.



Abb. 3.4 Die beiden Holzkonstruktionen mit den Radarantennen auf dem Flachdach des Servergebudes im Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH).



Abb. 3.5 Die umstehenden Windmühlen des Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg im Nordteil des Untersuchungsgebietes (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH).



*Abb. 3.6 Die vier umstehenden Windmühlen des Windpark Hollmark im Südteil des Untersuchungsgebietes
(Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH).*



Abb. 3.7 Die beiden geöffneten Aluminiumboxen mit dem Prozessor und weiteren Systemkomponenten am Radarstandort (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH).

Der Erfassungsradius (Range) der Radargeräte wurde auf 1.410 m (0,75 NM) und 1.600 m eingestellt. Das Radargerät wurde alle drei Wochen zwischen den beiden Studienbereichen gewechselt, um einen systematischen Einfluss gerätespezifischer Unterschiede zu vermeiden und vom Effekt der Beleuchtungsform unterscheiden zu können.

Die Radarsignale wurden auf dem Radarbildschirm dargestellt und alle vier Minuten ein Screenshot des Radarbildschirms erzeugt. Diese Screenshots wurden dann als Bilddateien im jpg-Format (siehe Abb. 3.8) gespeichert und bei wöchentlichen Kontrollen des Projektstandortes auf externen Festplatten gesichert (siehe Abb. 3.7 und Abb. 3.9).

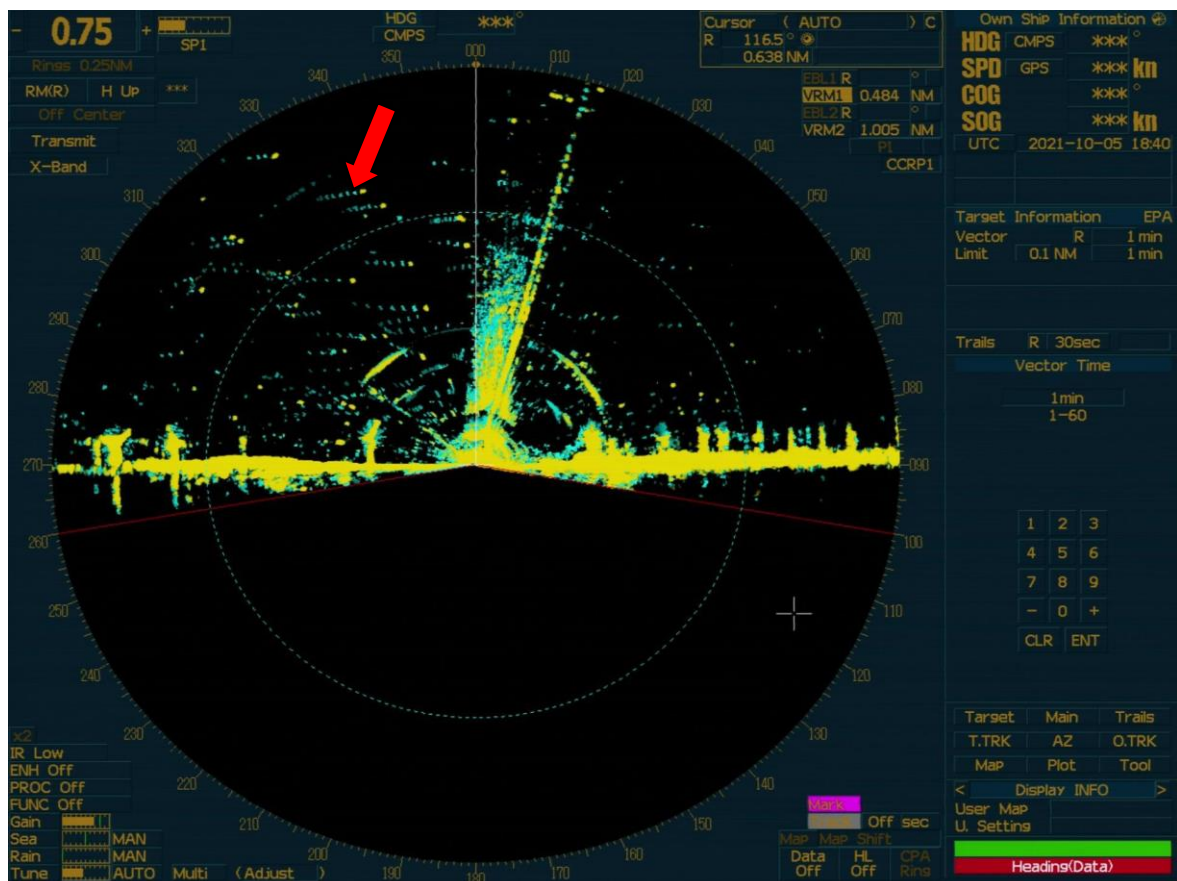


Abb. 3.8 Ein Beispiel für ein aufgezeichnetes Radarbild eines Vertikalradars vom 05.10.2021 um 18:40 Uhr (UTC) (Quelle: BioConsult SH). Die Vogelsignale kennzeichnen sich anhand der meist waagrechten Linie aus blauen Punkten (Nachleuchtdauer) hinter dem aktuellen gelben Signal. Bei den gelb/blauen breiten waagrechten und senkrechten Streifen innerhalb der Bildmitte handelt sich um Signale, die von der Erdoberfläche und den umstehenden Windenergieanlagen am Radarstandort reflektiert wurden. Auf diesem Radarbild sind mehrere Vogelsignale zu erkennen. Der rote Pfeil kennzeichnet ein beispielhaftes Vogelsignal. Der Erfassungsbereich wird in diesem Fall durch die waagerechte Erdoberfläche (gelbe Linie zwischen 90° und 270°) begrenzt.

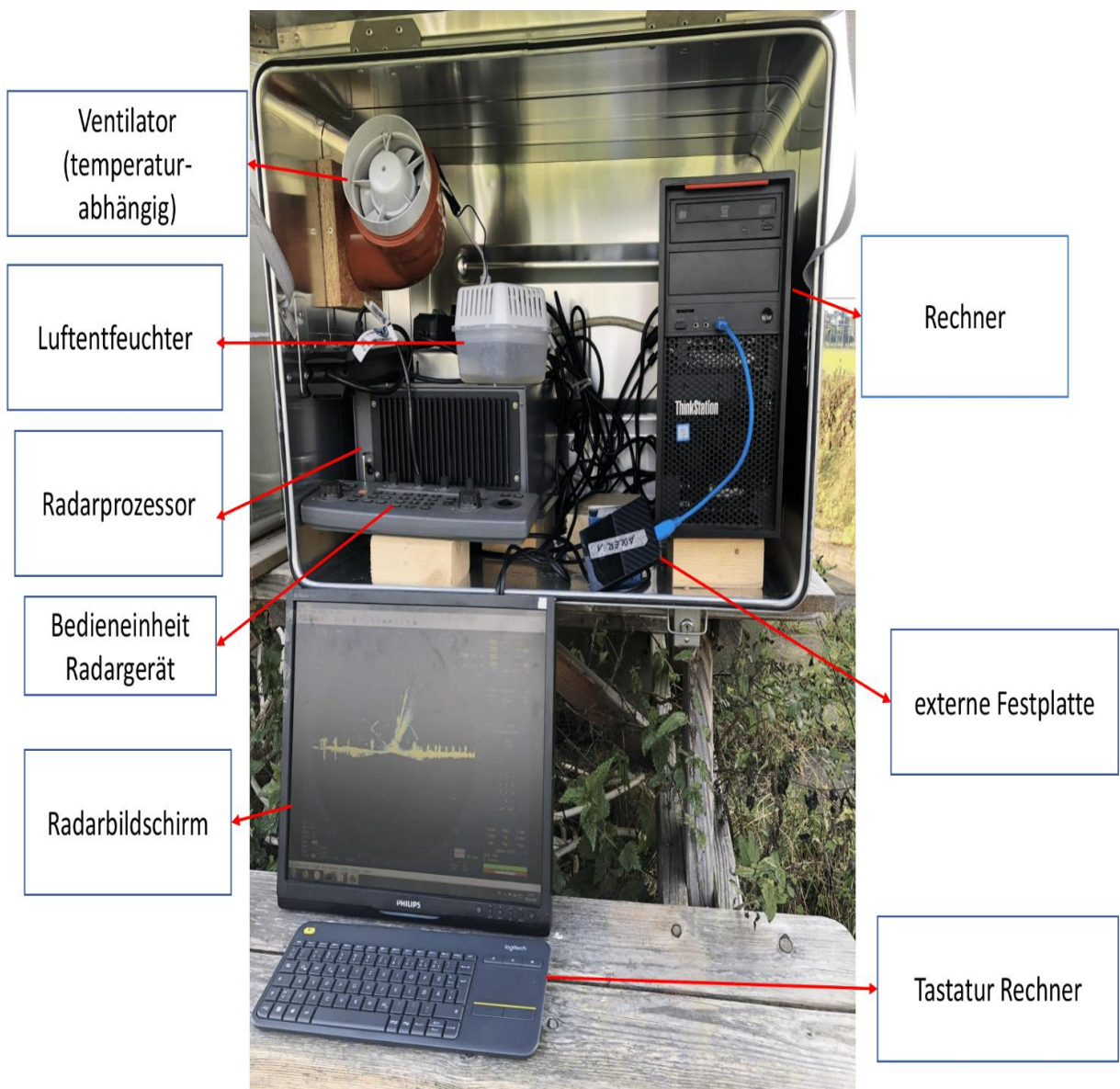


Abb. 3.9 Eine der beiden geöffneten Aluminiumboxen am Radarstandort mit dem Radarprozessor, der Bedieneinheit für das Radargerät, dem Rechner inklusive des Bildschirms und der externen Festplatte zur wöchentlichen Sicherung der Radarbilder (Quelle: Dr. Jorg Welcker, Mitarbeiter von BioConsult SH).

3.3 Datenauswertung

3.3.1 Datenprozessierung

Die auszuwertenden Radarbilder wurden in die Software „GSA Bird Counter 1.17“ der Gesellschaft für Softwareentwicklung und Analytik (Rostock) eingefügt und vor der Auswertung kalibriert. Hierzu wurde bei dem ersten Radarbild pro Woche eine Kalibrierungslinie vom markierten Mittelpunkt bis zum gestrichelten Rand des Radarbildes gezogen und so der Erfassungsradius/Range (1.410 m bzw. 1.600 m) räumlich definiert. Der kalibrierte Erfassungsradius des ersten Bildes wurde auf alle folgenden Bilder übertragen. Die Radarbilder wurden dann einzeln visuell auf Vogelsignale überprüft, welche sich anhand ihrer Größe, Farbe und der durch die Nachleuchtdauer („Trail“) entstandenen „Spuren“ (siehe Abb. 3.8) erkennen lassen. Die Spuren ergaben sich dabei aus den Positionen des Signals, die innerhalb der vorangegangenen 30 Sekunden erfasst wurden. Die zuletzt aufgezeichnete Position des Vogelsignals wurde manuell mit einer Positionskoordinate markiert. Die Flughöhe und die Distanz zum Radarstandort des Signals wurden aus der Entfernung der Position des Signals zum Radarstandort aus dem zuvor kalibrierten Erfassungsradius berechnet. Die Bilder, die zu mehr als 25% von Störsignalen bedeckt waren (z.B. durch Regen oder Nebel) wurden als „nicht auswertbar“ deklariert und in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt (siehe Tab. 4.1). Die Ergebnisse mit den markierten Vogelsignalen wurden dann in Textdokumenten aus dem Programm exportiert und für die weitere Auswertung gespeichert.

Eine genaue Abschätzung der Individuenzahl kann durch die Betrachtung der Radarbilder nicht festgestellt werden, da nicht erkannt werden kann, ob ein Radarsignal einen oder mehrere Vögel abbildet. Eng zusammenfliegende Vögel/Schwärme können dabei nicht von Einzelindividuen unterschieden werden. Die detektierten Vogelsignale kennzeichnen mindestens einen Vogel, ohne dabei weitere Informationen zu Anzahl und Art zu liefern. Weitere Informationen zum Artenspektrum und der Häufigkeitsverteilung der nachts ziehenden Vogelarten wären durch den Einsatz weiterer Erfassungsgeräte, wie z.B. zur Flugruferfassung, Flügelschlagfrequenzerfassung, oder Kollisionsoffererfassung möglich gewesen, waren aber im Rahmen dieses Projektes nicht vorgesehen.

Die weitere Auswertung fand mit dem freien Statistik-Programmierprogramm R (<https://www.r-project.org/>, R Version 4.1.2) statt. Die verschiedenen Textdokumente mit den markierten Vogelsignalen wurden in das Programm eingelesen, zusammengefasst und überprüft. Als Tag/Nacht-Grenze wurde die bürgerliche Dämmerung gewählt. Die bürgerliche Dämmerung wird dabei so definiert, dass die Sonne maximal 6° unter dem Horizont steht. Dieser Zeitpunkt wurde für jeden Tag des Erfassungszeitraumes für die Koordinaten des Erfassungsstandortes berechnet. Dafür wurde die R-Funktion "crepuscule" (Paket: mapproj) benutzt, in der der entsprechende Winkel von 6° angegeben wurde. Im Folgenden wurde der Zeitraum zwischen der bürgerlichen Abend- und der bürgerlichen Morgendämmerung als eine Nacht zusammengefasst und mit dem Datum der Abenddämmerung angegeben. Die Ergebnisse außerhalb des Zeitraums zwischen der bürgerlichen Morgen- und Abenddämmerung (Taghälften) wurden im Rahmen dieser Auswertung nicht weiter betrachtet.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Vogel von einem Radargerät erfasst wird, ist abhängig von seiner Entfernung zum Radargerät. Grundsätzlich sinkt die Erfassungswahrscheinlichkeit mit steigender Entfernung, da die Radarstrahlen im größer werdenden Raum mit einer sinkenden Wahrscheinlichkeit ausreichend reflektiert und wieder empfangen werden. Daher ist es notwendig, eine distanzabhängige Korrektur der Anzahl der Signale vorzunehmen. Für diese sogenannte Distanzkorrektur wurde jeweils ein Teil der Daten eines bestimmten Höhenbereichs für jedes Radargerät verwendet (WELCKER ET AL. 2017). Die Distanzkorrektur fand getrennt für die beiden Radargeräte statt, da sich die entfernungsabhängige Detektionswahrscheinlichkeit zwischen einzelnen Radargeräten unterscheiden kann. Ausgewählt wurden jeweils alle Signale in einem Höhenbereich von 150 bis 250 m Höhe. In diesem begrenzten Höhenbereich kann davon ausgegangen werden, dass eine horizontale Gleichverteilung der Vögel vorlag und eine höhenabhängige Abnahme der Signale nicht zum Tragen kommt (WELCKER ET AL. 2017). Die Abnahme der Anzahl der Signale zu den Randbereichen des Erfassungsbereichs hin kommt somit ausschließlich durch die hier verminderte Detektionswahrscheinlichkeit zustande. Auf Grundlage dieser ausgewählten Datensätze wurden jeweils mehrere Modelle („Hazard Rate“ und „Half normal“) zur entfernungsabhängigen Detektionswahrscheinlichkeit berechnet. Die Qualität der Modelle wurde mit Hilfe des „Akaike Information Criterion“ verglichen. Das Akaike Information Criterion dient dazu, verschiedene Modellkandidaten zu vergleichen. Dies geschieht anhand des Wertes der log-Likelihood-Funktion, der umso größer ist, je besser das Modell die abhängige Variable erklärt. Um nicht komplexere Modelle als durchweg besser einzustufen, wird neben der log-Likelihood-Funktion noch die Anzahl der geschätzten Parameter als Strafterm mitaufgenommen (FREIE UNIVERSITÄT BERLIN 2019, letzter Zugriff am 18. Juli 2022). Anschließend wurde das am besten geeignete Modell ausgewählt. Anhand des gewählten Modells wurde für die gewonnenen Rohdaten die entfernungsabhängige Detektionswahrscheinlichkeit (p) individuell für jedes Signal berechnet. Daraufhin wurde ein Korrekturwert für die Detektionswahrscheinlichkeit ($1/p$) berechnet.

Mit den distanzkorrigierten Daten (d.h. alle Signale jeweils multipliziert mit ihrem individuellen Korrekturfaktor) wurde die Zugintensität (migration traffic rate (MTR)) berechnet. Diese ist definiert als die Anzahl der Vögel, die innerhalb einer Stunde eine virtuelle Linie von 1 km Länge senkrecht zur Flugrichtung überfliegen (SCHMALJOHANN ET AL. 2008). Dies wurde in dieser Studie sowohl bis 1.000 m Höhe als auch bis 200 m Höhe berechnet. Bei beiden Höhenbereichen wurden die unteren 50 m der Höhe nicht bei der Berechnung der Zugintensitäten berücksichtigt, da dieser Bereich aufgrund von Störsignalen wie z.B. durch WEA oder der umstehenden Vegetation nicht auswertbar war. Aus diesem Grund umfasst der „Höhenbereich bis zu 200 m“ einen Erfassungsbereich von 1.000x150 Metern und der „Höhenbereich bis zu 1.000 m“ einen Erfassungsbereich von 1.000x950 Metern.

Zur Berechnung der stündlichen Zugintensität wurden die Signale aus den 15 Bildern pro Stunde, die jeweils einen Erfassungszeitraum von 30 Sekunden widerspiegeln (entspricht insgesamt 675 erfassten Sekunden pro Stunde), aufsummiert und ihre Anzahl auf die Dauer einer Stunde (entspricht 3.600 Sekunden) für den betrachteten Höhenbereich hochgerechnet. Im Ergebnisteil werden die nächtlichen Zugintensitäten separat für den beleuchteten und den unbeleuchteten Erfassungsbereich für die verschiedenen Höhenbereiche getrennt nach Radargerät dargestellt und interpretiert. Dabei wurden aufgrund der Abweichung der Daten von einer Normalverteilung nicht-parametrische Tests (Wilcoxon-Rangsummentest) in der statistischen Analyse verwendet.

3.3.2 Vogelsignale im Turbinennahbereich

Zur weiteren Untersuchung einer Lockwirkung der Nachtkennzeichnung wurden in der Nähe von zwei Windenergieanlagen die Summe der erfassten nächtlichen Vogelsignale berechnet. Die Summe der distanzkorrigierten Vogelsignale wurde für jeweils eine WEA aus den beiden Teilen (Nord und Süd) des Untersuchungsgebietes in separaten Auswahlbereichen berechnet. Die beiden verwendeten WEA unterschieden sich dabei in ihrer Form der Nachtkennzeichnung, wobei die WEA im Nordteil (BNK) des Untersuchungsgebietes einen Abstand von 752 m und die WEA im Südteil (Dauerlicht) einen Abstand von 787 m zum Radarstandort aufwies (siehe Abb. 3.10). Für beide WEA wurde in einem Auswahlbereich (250x200 m) um die Anlage herum die Summe der distanzkorrigierten Signale in Abhängigkeit zu der Form der Nachtkennzeichnung und des für die Erfassung verwendeten Radargeräts ermittelt. Eine Zugintensität wie in Kapitel 3.3.1 beschrieben wurde nicht berechnet, da die betrachteten Auswahlbereiche sehr klein waren. Stattdessen wurden in diesem Teilabschnitt die Mittelwerte der distanzkorrigierten Vogelsignale verwendet, um die Hypothese der Lockwirkung der Nachtkennzeichnung von WEA auf den nächtlichen Vogelzug zu überprüfen.

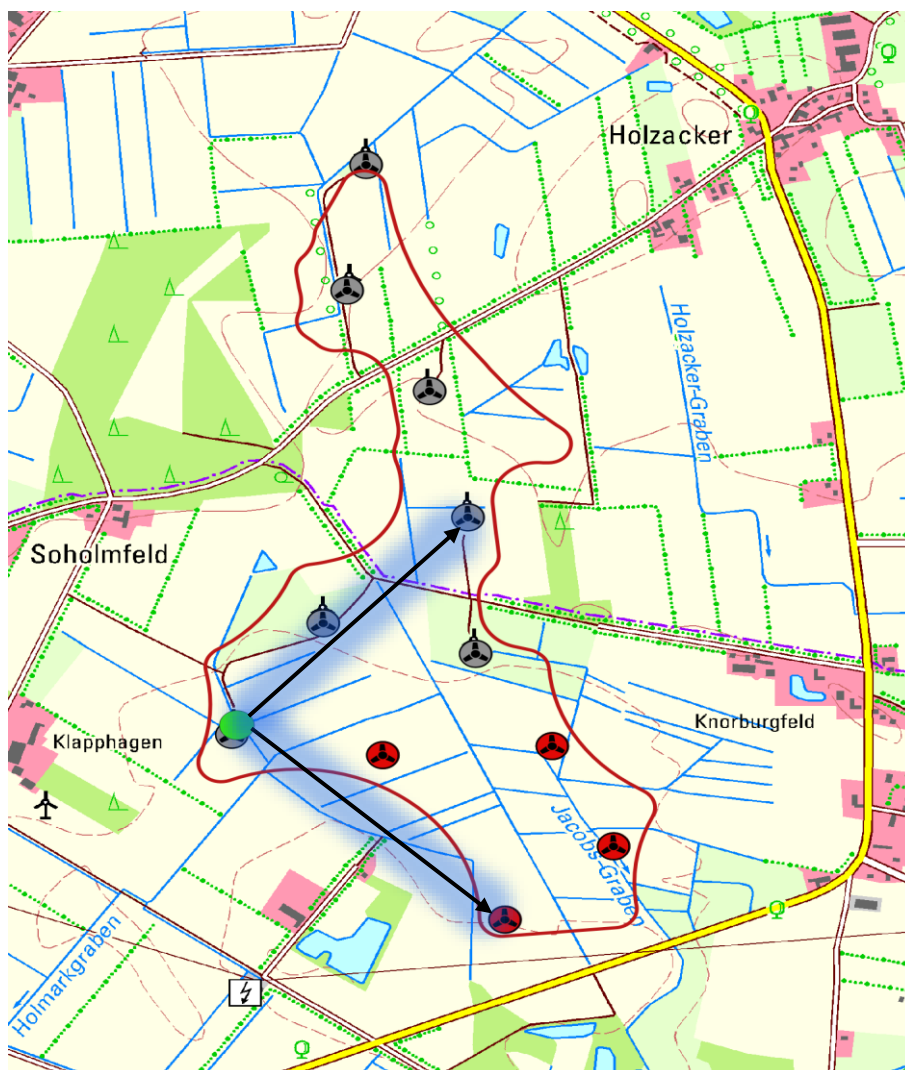


Abb. 3.10 Die Standortübersicht des Studiengebietes mit dem Bürgerwindpark Holzacker-Knorburg (Nordteil, WEA grau gekennzeichnet) und dem Windpark Hollmark (Südteil, WEA rot gekennzeichnet). Für die Erläuterung der einzelnen Details siehe Legende der Abbildung 3.1. Mit den blauen Pfeilen markiert ist der Abstand der für die Auswahlbereich genutzten WEA vom Radarstandort (grüner Punkt, mittig).

3.3.3 Wetterparameter

In der weiteren Auswertung dieser Studie sollte die Wetterabhängigkeit einer möglichen Lockwirkung durch die dauerhafte Nachtkennezeichnung der WEA untersucht werden. Im Folgenden wurden die betrachteten Wetterparameter aus der Wetterdatenbank des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet und im weiteren Verlauf interpretiert. Die Daten der einzelnen Wetterparameter wurden der öffentlich zugänglichen Wetterdatenbank des DWD (https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/observations_germany/climate/hourly/ und <https://cdc.dwd.de/portal/>), für den Wetterstationsstandort Leck (Stations-ID: 02907), am 11. Februar 2022 entnommen. Der Stationsstandort Leck (Koordinaten: 54°47'25.1"N 8°57'05.0"E) wurde dabei aufgrund der geographischen Nähe zum Bürgerwindpark Holzacker-Knorborg und Windpark Hollmark im Gemeindegebiet von Enge-Sande ausgewählt. Die Entfernung zwischen dem Radarstandort in Bürgerwindpark-Holzacker Knorborg und dem Wetterstationsstandort Leck betrug ca. 10,6 km (Luftlinie).

Bei den betrachteten Wetterparametern handelt es sich um die stündliche Stationsmessung der Niederschlagshöhe [mm], die stündliche Stationsmessung des Bedeckungsgrades in Achteln, das Stundenmittel der Stationsmessung der Windgeschwindigkeit [m/s] in ca. 10 m Höhe, die stündliche Stationsmessung der relativen Feuchte [%], das Stundenmittel der Stationsmessung der Windrichtung [°] in ca. 10 m Höhe und die stündliche Stationsmessung der Sichtweite [m]. Generell wurden gute Wetterbedingungen für die Zugaktivität mit guter Sicht, keinem Niederschlag, geringer Windgeschwindigkeit, geringer Luftfeuchtigkeit und Rückenwind definiert. Als für den Zug ungünstige Wetterbedingungen wurden hingegen reduzierte Sicht, Niederschlag, hohe Luftfeuchtigkeit, hohe Windgeschwindigkeit und Gegenwind angenommen.

Viele verschiedene Untersuchungen des Einflusses der verschiedenen Wetterparameter belegen, dass der Wind einer der größten Einflussfaktoren auf das Zugmuster, die Flugrichtung und die Flughöhe migrierender Vögel ist (ALERSTAM 1979; RICHARDSON 1990). Auf Grundlage der oben genannten Wetterparameter wurde die Rückenwind-Komponente (TWC[m/s]) nach ZEHNDER ET AL. 2001 und HÜPPOP & HILGERLOH 2012 berechnet:

$$\text{tailwind component (TWC)} = \cos(\text{observed wind direction} - \text{tailwind direction}) * \text{wind speed}$$

Zur Berechnung der Rückenwind-Komponenten wurden die Stundenmittel der Windgeschwindigkeit [m/s] und der Windrichtung [°] als „observed wind direction“ und „wind speed“ aus den Wetterdaten des DWD verwendet. Für die Rückenwindrichtung (tailwind direction) wurde bis zum 01. Juli 2021 eine Zugintensität im Frühjahr (45°, nordöstlich) und ab dem 01. Juli 2021 eine Zugintensität im Herbst (225°, südwestlich) angenommen (WELCKER & VILELA 2019, 2020). Daraus wurden die Rückenwind-Komponenten mit dem Bogenmaß Radiant (RAD) berechnet. Die Rückenwind-Komponente kann positive oder negative Werte annehmen und so die Richtung des Windes auf den migrierenden Vogel kennzeichnen. Positive TWC-Werte kennzeichnen dabei unterstützende Windkomponenten (Rückenwind), wohin gegen sich Gegenwinde durch negative TWC-Werte kennzeichnen. Positive und negative Werte der TWC zeigen somit eine Verbesserung oder Verschlechterung der Zugbedingungen für Zugvögel an (WELCKER & VILELA 2019, 2020).

3.4 Datenanalyse

Innerhalb des Bürgerwindparks Holzacker-Knorburg wurde die Aktivierung- und Abschaltung des BNK-Systems vom 31. März 2021 bis zum 31. Oktober 2021 zeitlich erfasst und vom Unternehmen zur Auswertung zur Verfügung gestellt. Die für die Auswertung verwendeten Daten der Zeiträume des aktivierten BNK-Systems wurden mit dem Statistik-Programmiersprogramm R (Version R 4.1.2) sortiert und die zeitliche Dauer des aktivierten BNK-Systems berechnet. Im Rahmen dieser Studie wurde willkürlich angenommen, dass die aktive BNK erst ab einer Beleuchtungsdauer von mindestens 5 Minuten den nächtlichen Vogelzug durch einen möglichen Lockeffekt beeinflusst. Die Stunden, in denen das BNK-System mindestens 5 Minuten aktiviert war und damit eine Beleuchtung der WEA vorlag, wurden für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt. Diese Stunden wurden in den folgenden Auswertungsschritten, in denen die nächtliche Zugintensität bzw. die Summen der Vogelsignale verwendet wurde, nicht berücksichtigt, um eine mögliche Lockwirkung der aktiven BNK auf den nächtlichen Vogelzug auszuschließen. Aufgrund der Abweichung der Daten von einer Normalverteilung wurden nicht-parametrische Tests in der statistischen Analyse verwendet.

Innerhalb des Studienzeitraums wurde der nächtliche Vogelzug in den beiden Windparks zeitgleich mit zwei verschiedenen Radargeräten erfasst. Die beiden verwendeten Radargeräte wiesen jedoch einen statistisch signifikanten Unterschied in der Detektionswahrscheinlichkeit von Vögeln auf (siehe Tab. 4.2). Die aus den distanzkorrigierten Rohsignalen berechneten MTR-Werte pro Stunde unterschieden sich unabhängig von der Beleuchtungsform des erfassten Bereiches zwischen den Radargeräten. Sowohl die Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m als auch im Höhenbereich bis zu 1.000 m wiesen nach dem Wilcoxon-Rangsummentest statistisch signifikante Unterschiede auf (siehe Tab. 4.2). Bei der weiteren Betrachtung der nächtlichen Zugintensitäten ist daher prinzipiell von einer Differenz aufgrund der unterschiedlichen Detektionswahrscheinlichkeit zwischen den beiden verwendeten Radargeräten auszugehen. Das Radargerät mit der höheren erfassten nächtlichen Zugintensität wird im Folgenden als „Radar 1“ bezeichnet. Das Radargerät mit der geringeren erfassten Zugintensität wird im Folgenden als „Radar 2“ bezeichnet. Aufgrund dessen wurde bei der weiteren Auswertung das zur Erfassung verwendete Radargerät berücksichtigt, da eine konkrete Bestimmung des Korrekturfaktors für die Differenz der Detektionswahrscheinlichkeit der beiden Radargeräte nicht möglich war.

In der weiteren Auswertung wurden die Differenz der stündlichen Zugintensität bzw. der Summe der distanzkorrigierten Vogelsignale verwendet. Die Differenzen der nächtlichen Zugintensität bzw. der Summe der Vogelsignale ergaben sich aus der Subtraktion der stündlichen Zugintensität oder der Summe der Vogelsignale von Radargerät 2 (R2) von der Zugintensität oder der Summe der Vogelsignale von Radargerät 1 (R1). Die Differenz (R1-R2) wird im Folgenden in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde, verglichen. Nachfolgend wird die Differenz im gesamten Studienzeitraum („insgesamt“), unabhängig der Beleuchtungsform, in dem Zeitraum, in dem Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich erfasste („R1-beleuchtet“) und in dem Zeitraum, in dem das Radargerät 1 den BNK-gesteuerten Bereich („R1-dunkel“) erfasste, miteinander verglichen. Im weiteren Verlauf werden die Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität mit ΔMTR und die Differenz der Radare für die Summen der distanzkorrigierten Vogelsignale mit ΔVS abkürzt. ΔMTR und ΔVS werden in Abhängigkeit von der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde, für die drei verschiedenen Vergleichsräume (Höhenbereich bis zu 1.000 m, Höhenbereich bis zu 200 m und die Nahbereiche der Turbinen) dargestellt (siehe Kap. 4.3 und Kap. 4.4).

Die Betrachtung von ΔMTR und ΔVS in Abhängigkeit zu den Wetterparametern sollte eine mögliche Abhängigkeit der Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung von WEA von den Wetterbedingungen ermöglichen. Die verwendeten Wetterparameter stammten aus der Wetterdatenbank des DWD und werden im Kapitel „Wetterparameter“ (siehe Kap. 3.3.3) beschrieben. Für jeden betrachteten Wetterparameter wurde die stündliche Zugintensität bzw. der Summe der Vogelsignale bei guten und schlechten Wetterbedingungen für den Vogelzug betrachtet (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3).

Des Weiteren wurde die Anzahl der distanzkorrigierten Vogelsignale in den Zeiträumen, in denen die WEA mit der BNK beleuchtet („BNK beleuchtet“) waren, mit den distanzkorrigierten Vogelsignalen aus den unbeleuchteten Zeiträumen jeweils eine halbe Stunde vor („vorher“) und nach („nachher“) der BNK-Beleuchtungsphase miteinander verglichen, um Rückschlüsse auf eine mögliche Lockwirkung der aktiven BNK ziehen zu können. Die 228 Zeiträume in denen keine auswertbaren Screenshots des Radarbildschirms vorlagen, wurden für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt. Für die weitere Auswertung wurde dann ein Mittelwert der Vogelsignale aus der Anzahl der Signale durch die Anzahl der auswertbaren Screenshots aus dem jeweiligen Zeitraum errechnet. Insgesamt wurden die Mittelwerte der Vogelsignale aus 31 Beleuchtungsphasen mit den Mittelwerten aus den unbeleuchteten Zeiträumen verglichen. Die Beleuchtungsphasen umfassten dabei eine Mindestdauer von 10 Minuten (siehe Kap. 4.5).

4 ERGEBNISSE:

4.1 Die Radarbilderauswertung im Vergleich zur Beleuchtungsform

Die Anzahl der aufgezeichneten und ausgewerteten Radarbilder mit den Roh- und distanzkorrigierten Vogelsignalen sind in der folgenden Tabelle (siehe Tab. 4.1) getrennt nach der Beleuchtungsform (BNK oder dauerhafte Nachtkenzeichnung) dargestellt. Der Unterschied zwischen der Anzahl der Rohsignale und der Anzahl der distanzkorrigierten Signale ist dabei auf die vorgenommene Distanzkorrektur zurückzuführen. Für eine konkrete Beschreibung der Radarbilderauswertung und der vorgenommenen Distanzkorrektur der Signale siehe Kapitel „Datenprozessierung“ (3.3.1) im Material- und Methodenteil. Insgesamt wurde der nächtliche Vogelzug in 1.304 Nachtstunden zeitgleich erfasst und bot einen ausreichenden Datenumfang für die statistische Analyse.

Tab. 4.1 Die Anzahl der aufgezeichneten und ausgewerteten Vertikalradarbilder mit den Roh- und distanzkorrigierten Signalen getrennt nach der Beleuchtungsform (BNK oder dauerhafte Nachtkenzeichnung).

| | BNK | dauerhafte Nachtkenzeichnung | Gesamt |
|--|----------------------|---------------------------------|---------------------|
| Anzahl aufgezeichnete Bilder | 20.489 | 23.697 | 44.186 |
| Anzahl ausgewertete Bilder | 16.513 | 20.830 | 37.343 |
| Anzahl Rohsignale (Prozentsatz der Gesamtanzahl) | 51.662 (36,9%) | 88.367 (63,1%) | 140.029 (100%) |
| Durschnitt (Anzahl Rohsignale/ Anzahl ausgewertete Bilder) | 3,13 | 4,24 | 3,75 |
| Anzahl der distanzkorrigierten Signale (Prozentsatz der Gesamtanzahl) | 137.703,3 (38,2%) | 222.475,5 (61,8%) | 360.178,8 (100%) |
| Durschnitt (Anzahl distanz- korrigierten Signale/ Anzahl ausgewertete Bilder) | 8,339 | 10,680 | 9,645 |

4.2 Vergleich der beiden verwendeten Radargeräte

Innerhalb des Studienzeitraums wurde der nächtliche Vogelzug in den beiden Windparks zeitgleich mit zwei verschiedenen Radargeräten erfasst. Die beiden verwendeten Radargeräte wiesen jedoch einen statistisch signifikanten Unterschied in der Detektionswahrscheinlichkeit von Vögeln auf (siehe Tab. 4.2). Die aus den distanzkorrigierten Rohsignalen berechneten MTR-Werte pro Stunde für die Höhenbereiche bis zu 1.000 m und 200 m unterschieden sich unabhängig von der Beleuchtungsform zwischen den Radargeräten. Die mediane Zugintensität für den Höhenbereich bis zu 200 m bei Radargerät 1 war näherungsweise doppelt so hoch wie die von Radargerät 2 (siehe Tab. 4.2). Sowohl die Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m als auch im Höhenbereich bis 1.000 m wiesen nach dem Wilcoxon-Rangsummentest statistisch signifikante Unterschiede auf (siehe Tab. 4.2). Bei der weiteren Betrachtung der nächtlichen Zugintensitäten ist daher prinzipiell von einer Differenz aufgrund der unterschiedlichen Detektionswahrscheinlichkeit zwischen den beiden verwendeten Radargeräten auszugehen. Das Radargerät mit der höheren erfassten nächtlichen Zugintensität wird im Folgenden als „Radar 1“ bezeichnet. Das Radargerät mit der geringeren erfassten Zugintensität wird im Folgenden als „Radar 2“ bezeichnet. Aufgrund dessen wurde bei der weiteren Auswertung das zur Erfassung verwendete Radargerät berücksichtigt (siehe Kap. 3.4).

Tab. 4.2 Die Mittelwerte, Standardabweichungen, Mediane und Maximalwerte der MTR [Signale/km*h] pro Stunde in Abhängigkeit zu dem zur Erfassung verwendetem Radargerät und dem betrachteten Höhenbereich bis zu 1.000 m oder bis zu 200 m. Des Weiteren ist das Ergebnis des statistischen Vergleichs zwischen den zur Erfassung verwendeten Radargeräten angegeben (Wilcoxon-Rangsummentest).

| MTR [Signale/km*h] | betrachteter Höhenbereich [m] | Radar 1 | Radar 2 | Wilcoxon-Rangsummentest |
|--------------------|-------------------------------|----------|----------|-------------------------|
| Mittelwert | 1.000 | 1.621,5 | 1.098,4 | |
| | 200 | 108,8 | 62,5 | |
| Standardabweichung | 1.000 | ±3.574,0 | ±2.052,5 | |
| | 200 | ±145,6 | ±100,9 | |
| Median | 1.000 | 426,9 | 362,6 | p = 0,006 |
| | 200 | 58,4 | 27,3 | p < 0,0001 |
| Maximalwert | 1.000 | 47.415,1 | 16.862,2 | |
| | 200 | 1.175,0 | 1.236,3 | |

4.3 Die Differenz zwischen den Radargeräten

Innerhalb der Studie fand die Erfassung des nächtlichen Vogelzuges in den beiden benachbarten Windparks zeitgleich mit zwei verschiedenen Radargeräten (Radar 1 und Radar 2) statt. Der Vogelzug wurde dabei in Abhängigkeit zu ihrer Beleuchtungsform (dunkel oder beleuchtet) erfasst. Die Beleuchtungsform „dunkel“ bezeichnet dabei die BNK-gesteuerten WEA und die Beleuchtungsform „beleuchtet“ die dauerhafte Beleuchtung der WEA des Studiengebiets. Von der Hypothese ausgehend, dass von dem emittierten Licht der dauerhaften Nachtkennzeichnung der WEA eine Lockwirkung auf den nächtlichen Vogelzug ausgeht, wäre im dauerbeleuchteten Teil des Studiengebiets (Bereich: beleuchtet) eine höhere Zugintensität zu erwarten. Im BNK-gesteuerten Teil des Studiengebiets (Bereich: dunkel) wäre zeitgleich eine geringe Zugintensität zu erwarten. Eine mögliche Lockwirkung durch die aktive BNK der WEA entfällt, da die Stunden in denen die BNK mindestens 5 Minuten beleuchtet war, nicht für die Auswertung berücksichtigt wurden, um eine mögliche Lockwirkung der aktiven BNK auf den nächtlichen Vogelzug auszuschließen. Die zeitgleichen Ergebnisse der folgenden Auswertungsschritte sind aufgrund der Differenz der Detektionswahrscheinlichkeit der Radargeräte nicht vollständig mit denen des anderen Radargerätes vergleichbar. In Folge dieser systematischen Differenz, aufgrund der unterschiedlichen Detektionswahrscheinlichkeit, ist in Bezug auf die Hypothese davon auszugehen, dass die Differenz der erfassten Zugintensität der beiden Radargeräte größer wird, wenn das Radargerät 1 (R1) den beleuchteten Bereich und das Radargerät 2 (R2) den dunklen Bereich des Studiengebiets erfasst.

Die Differenzen der Zugintensität bzw. der Summe der distanzkorrigierten Vogelsignale ergaben sich aus der Subtraktion der zeitgleichen stündlichen Zugintensität oder der Summe der Vogelsignale von Radargerät 2 (R2) von der zeitgleichen stündlichen Zugintensität oder der Summe der Vogelsignale von Radargerät 1 (R1). Die Differenz (R1-R2) wird im Folgenden in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde, verglichen. Die Differenz wird im gesamten Studienzeitraum („insgesamt“), unabhängig der Beleuchtungsform, in dem Zeitraum, in dem Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich erfasste („R1-beleuchtet“) und in dem Zeitraum, in dem das Radargerät 1 den BNK-gesteuerten Bereich („R1-dunkel“) erfasste, miteinander verglichen. Im weiteren Verlauf wird die Differenz der medianen nächtlichen Zugintensität oder die Mittelwerte der Summen der distanzkorrigierten Vogelsignale dargestellt. Des Weiteren werden die Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität mit ΔMTR und die Differenz der Radare für die Summen der distanzkorrigierten Vogelsignale mit ΔVS abkürzt (siehe Kap. 3.4).

Bei dem Vergleich im Höhenbereich bis zu 1.000 m lag ΔMTR bei R1-dunkel (Median: 57 Signale/(h*km)) höher als ΔMTR bei R1-beleuchtet (Median: 42 Signale/(h*km)). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant (siehe Abb. 4.1 und Tab. 4.3).

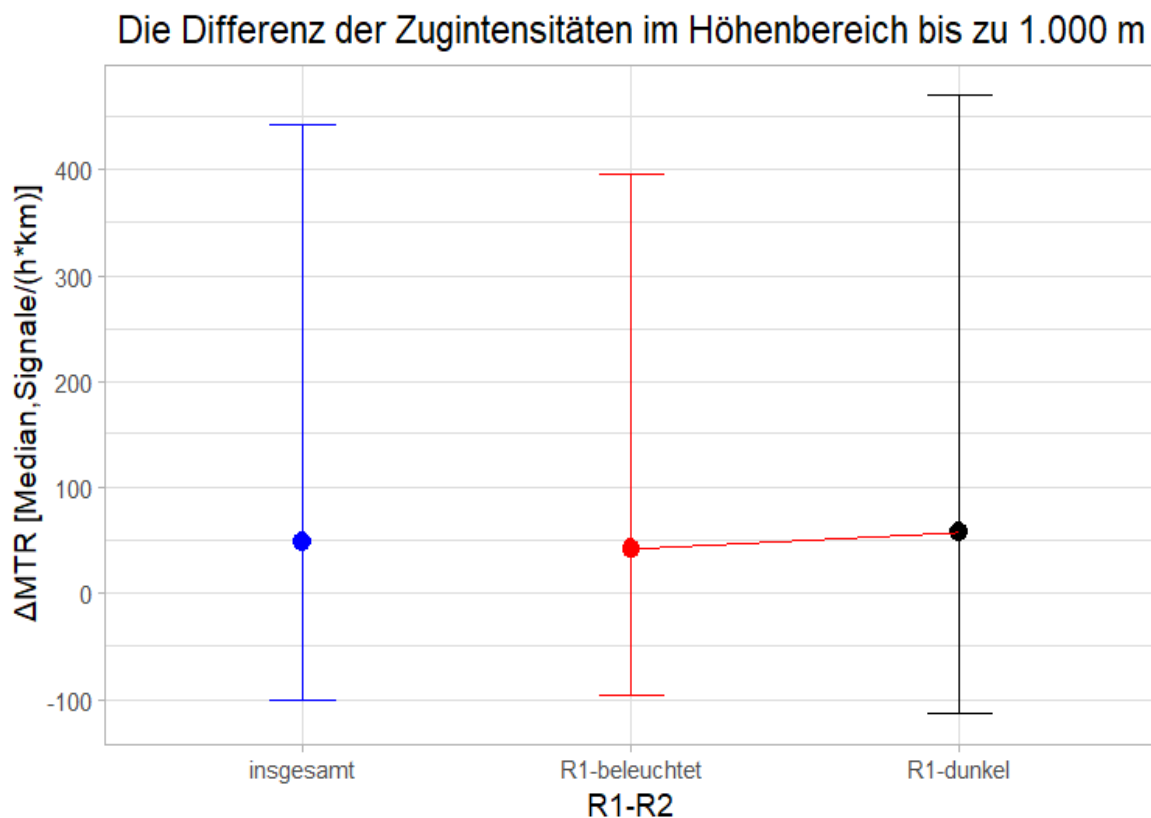


Abb. 4.1 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Die Betrachtung von ΔMTR im Höhenbereich bis zu 200 m zeigte ein gegenläufiges Ergebnis im Vergleich zur Betrachtung von ΔMTR im Höhenbereich bis zu 1.000 m. Dabei war ΔMTR bei R1-beleuchtet (Median: 35 Signale/(h*km)) höher als ΔMTR bei R1-dunkel (Median: 0 Signale/(h*km)). Dieser Unterschied war statistisch signifikant (siehe Abb. 4.2 und Tab. 4.3).

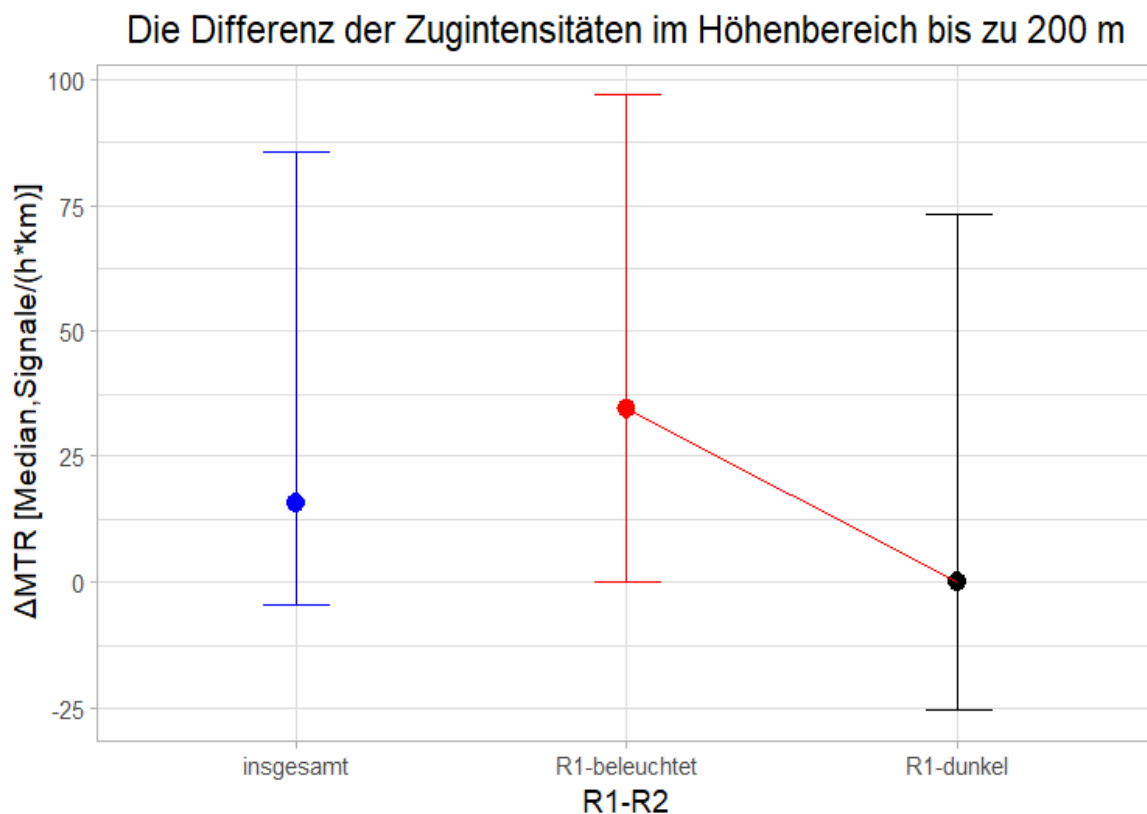


Abb. 4.2 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Die Betrachtung von ΔVS in den beiden Auswahlbereichen zeigte ein ähnliches Ergebnis wie die Betrachtung von ΔMTR im Höhenbereich bis zu 200 m. Dabei wies ΔVS bei R1-beleuchtet (Mittelwert: ca. 2,9 Signale) einen höheren Wert im Vergleich zu ΔVS bei R1-dunkel (Mittelwert: ca. 0,3 Signale) auf. Dieser Unterschied war statistisch signifikant (siehe Tab. 4.3 und Abb. 4.3).

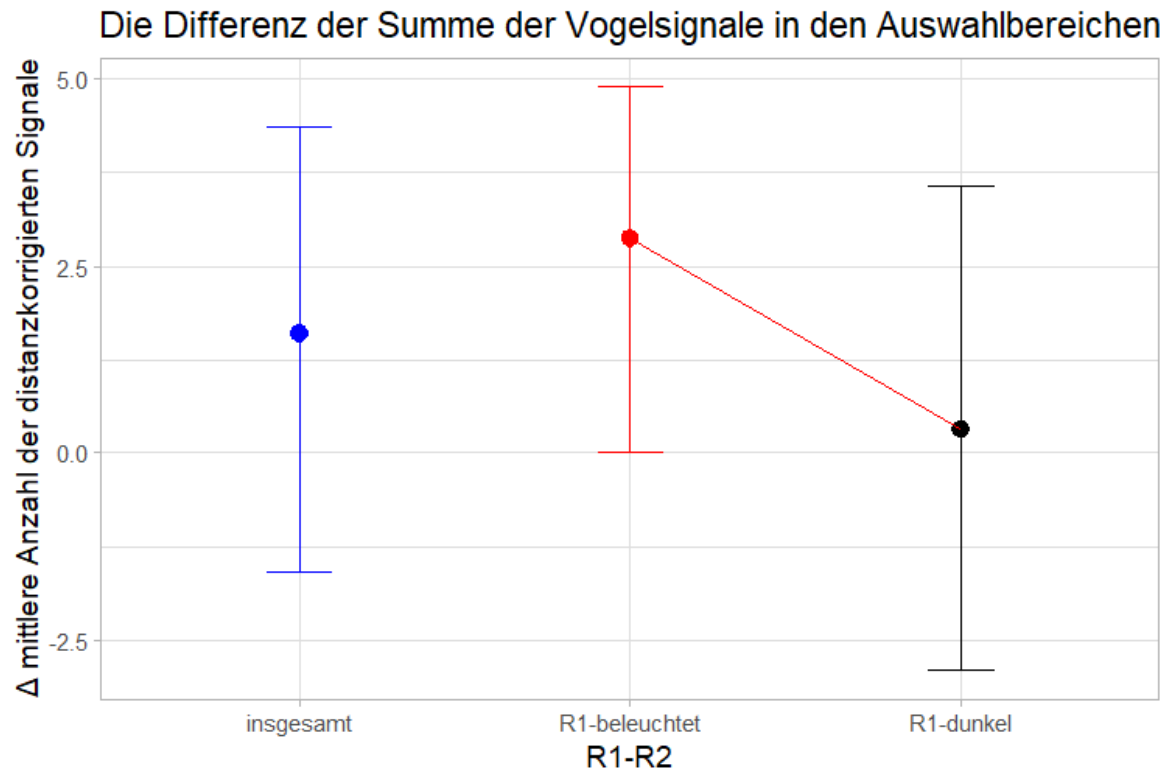


Abb. 4.3 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare der Vogelsignalsummen des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in dem Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und wenn der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Tab. 4.3 Die statistische Auswertung der Differenz der Radare für die nächtlichen Zugintensität (MTR) oder die Summe der Vogelsignale zwischen den zur Erfassung verwendeten Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde (Wilcoxon-Rangsummentest).

| betrachteter Vergleichsbereich | Vergleich | Teststatistik (W) | p-Wert |
|---------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| Höhenbereich bis zu 1.000 m | R1-beleuchtet vs. R1-dunkel | 187.232 | 0,926 |
| Höhenbereich bis zu 200 m | R1-beleuchtet vs. R1-dunkel | 222.280 | < 0,001 |
| Vogelsignale in den Auswahlbereichen | R1-beleuchtet vs. R1-dunkel | 249.637 | < 0,001 |

4.4 Die Differenz der MTR und der Summe der Vogelsignale in Abhängigkeit zu den verschiedenen Wetterparametern

Im Folgenden wird die Differenz (R1-R2) der von den beiden Radargeräten zeitgleich erfassten Zugintensität bzw. der Vogelsignale in Abhängigkeit zu verschiedenen Wetterparametern betrachtet. Die Differenz der beiden Radargeräte wurde, wie in Kapitel 4.3 beschrieben, in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde, verglichen. Die Differenz wird im gesamten Studienzeitraum („insgesamt“), unabhängig der Beleuchtungsform, in dem Zeitraum, in dem Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich erfasste („R1-beleuchtet“) und in dem Zeitraum, in dem das Radargerät 1 den BNK-gesteuerten Bereich („R1-dunkel“) erfasste, miteinander verglichen. Die Differenz der Radare für die stündliche Zugintensität wird mit ΔMTR und die Differenz der Radare für die Summen der distanzkorrigierten Vogelsignale wird mit ΔVS abkürzt. Die Betrachtung sollte eine Einschätzung der möglichen Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen ermöglichen.

4.4.1 Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 1.000 m

Bei der Betrachtung der Mediane von ΔMTR im Höhenbereich bis zu 1.000 m konnte keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen belegt werden. Zur erwarten wäre bei einer Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen eine höhere ΔMTR im beleuchteten Bereich (R1-beleuchtet) bei schlechten Wetterbedingungen. Die beispielsweise Betrachtung der Mediane von ΔMTR bei schlechter Sicht (≤ 10.000 m) zeigte mit $-2,9$ Signale/(h*km) bei R1-beleuchtet und $42,2$ Signale/(h*km) bei R1-dunkel eine höhere ΔMTR im dunkeln Bereich, was keinen Lockeffekt belegt. Jedoch lag in den Zeiträumen mit guter Sicht (> 10.000 m) ΔMTR bei R1-beleuchtet mit $43,9$ Signale/(h*km) ebenso unterhalb von R1-dunkel mit $58,3$ Signale/(h*km) und deutete auf keinen Lockeffekt hin (siehe Abb. 4.4). Auch die Vergleiche von ΔMTR in Abhängigkeit zu den anderen betrachteten Wetterparameter wiesen ähnliche Ergebnisse auf (siehe Anhang 1). ΔMTR wies im Höhenbereich von bis zu 1.000 m nur geringe Unterschiede innerhalb der Beleuchtungsform auf. Die Fehlerbalken, die den Interquartilsabstand (25-75%) angeben, deuten bei einigen Wetterparametern auf eine ähnliche Variabilität der Zugintensität bei guten und schlechten Wetterbedingungen hin (siehe Abb. 4.4 und Anhang 1).

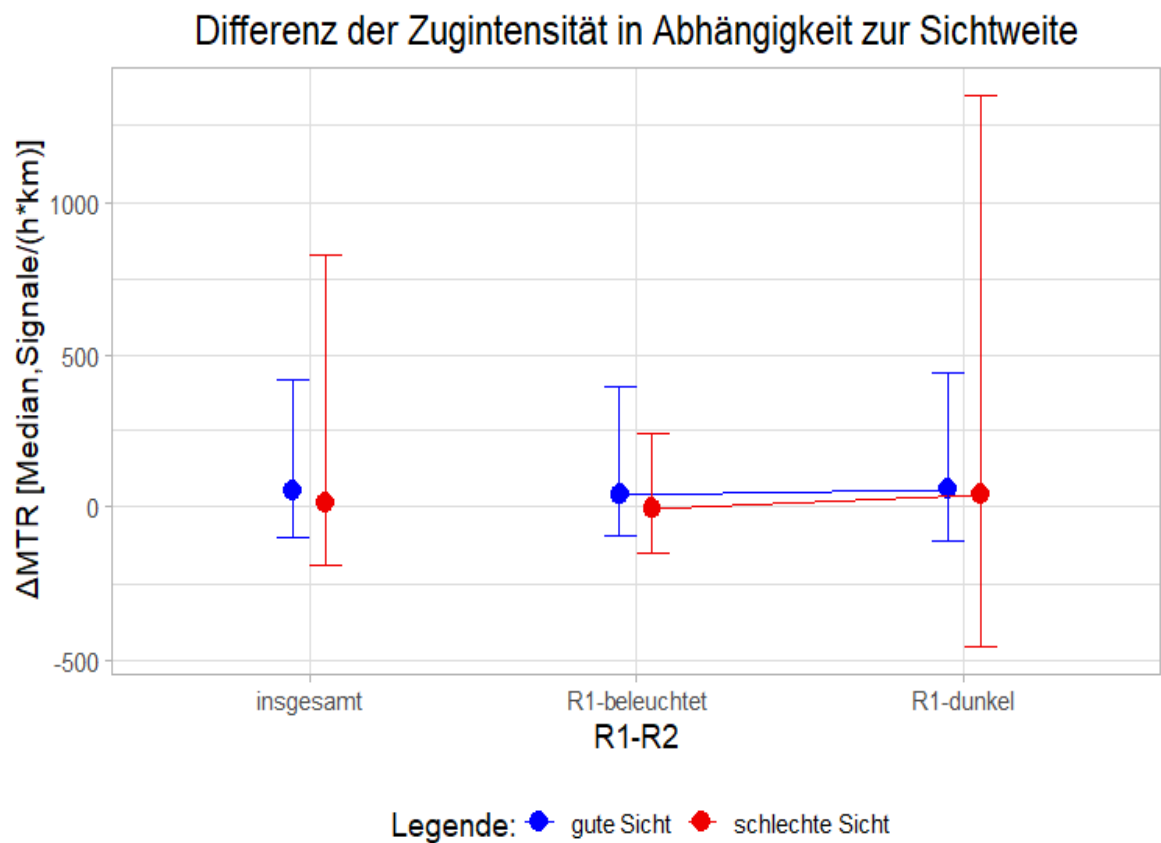


Abb. 4.4 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei guter Sicht (≥ 10.000 m) vs. schlechter Sicht (≤ 10.000 m) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

4.4.2 Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 200 m

Durch den Vergleich der Mediane von ΔMTR im Höhenbereich bis zu 200 m konnte keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen belegt werden. Zur erwarten wäre bei einer Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen eine höhere ΔMTR im beleuchteten Bereich (R1-beleuchtet) bei schlechten Wetterbedingungen. Die beispielsweise Betrachtung der Mediane von ΔMTR bei Niederschlag zeigte mit 44,1 Signale/(h*km) bei R1-beleuchtet und 0,0 Signale/(h*km) bei R1-dunkel eine höhere ΔMTR im beleuchteten Bereich, was einen Lockeffekt belegt. Jedoch lag in den Zeiträumen ohne Niederschlag ΔMTR bei R1-beleuchtet mit 33,7 Signale/(h*km) ebenso deutlich oberhalb von R1-dunkel mit 0,0 Signale/(h*km)) (siehe Abb. 4.5) und deutete daher auf einen ähnlichen Lockeffekt hin. Auch die Vergleiche von ΔMTR in Abhängigkeit zu den anderen betrachteten Wetterparameter wiesen ähnliche Ergebnisse auf (siehe Anhang 2). ΔMTR wies im Höhenbereich von bis zu 200 m nur geringe Unterschiede innerhalb der Beleuchtungsform auf. Die Fehlerbalken, die den Interquartilsabstand (25-75%) angeben, deuten bei einigen Wetterparametern auf eine ähnliche Variabilität der Zugintensität bei guten und schlechten Wetterbedingungen hin (siehe Abb. 4.5 und Anhang 2).

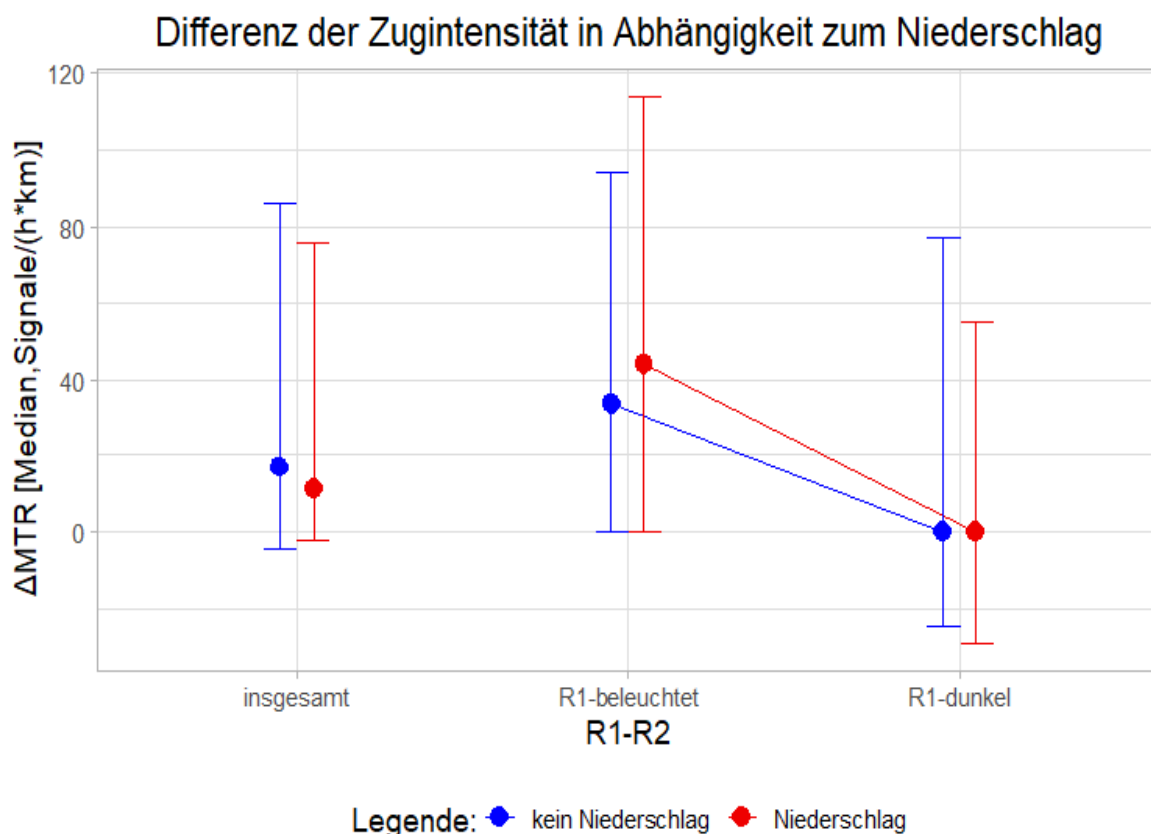


Abb. 4.5 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei ohne Niederschlag vs. Niederschlag des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

4.4.3 Die Differenz der Summe der Vogelsignale in den beiden Auswahlbereichen

Bei dem Vergleich der Mittelwerte von ΔVS aus den beiden Auswahlbereichen konnte keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen belegt werden. Zur erwarten wäre bei einer Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen eine höhere ΔVS im beleuchteten Bereich (R1-beleuchtet) bei schlechten Wetterbedingungen. Die beispielsweise Betrachtung der Mittelwerte von ΔVS bei Niederschlag zeigte mit ca. 2,4 Signalen bei R1-beleuchtet und ca. 0,0 Signalen bei R1-dunkel eine höhere ΔVS im beleuchteten Bereich, was einen Lockeffekt belegt. Jedoch lag in den Zeiträumen ohne Niederschlag ΔVS bei R1-beleuchtet mit ca. 2,7 Signalen ebenso deutlich oberhalb von R1-dunkel mit ca. 0,4 Signalen (siehe Abb. 4.6) und deutete daher auf einen ähnlichen Lockeffekt hin. Auch die Vergleiche von ΔVS in Abhängigkeit zu den anderen betrachteten Wetterparameter wiesen ähnliche Ergebnisse auf (siehe Anhang 3). ΔVS wies in den beiden Auswahlbereichen nur geringe Unterschiede innerhalb der Beleuchtungsform auf. Die Fehlerbalken, die den Interquartilsabstand (25-75%) angeben, deuten bei einigen Wetterparametern auf eine ähnliche Variabilität der Zugintensität bei guten und schlechten Wetterbedingungen hin (siehe Abb. 4.6 und Anhang 3).

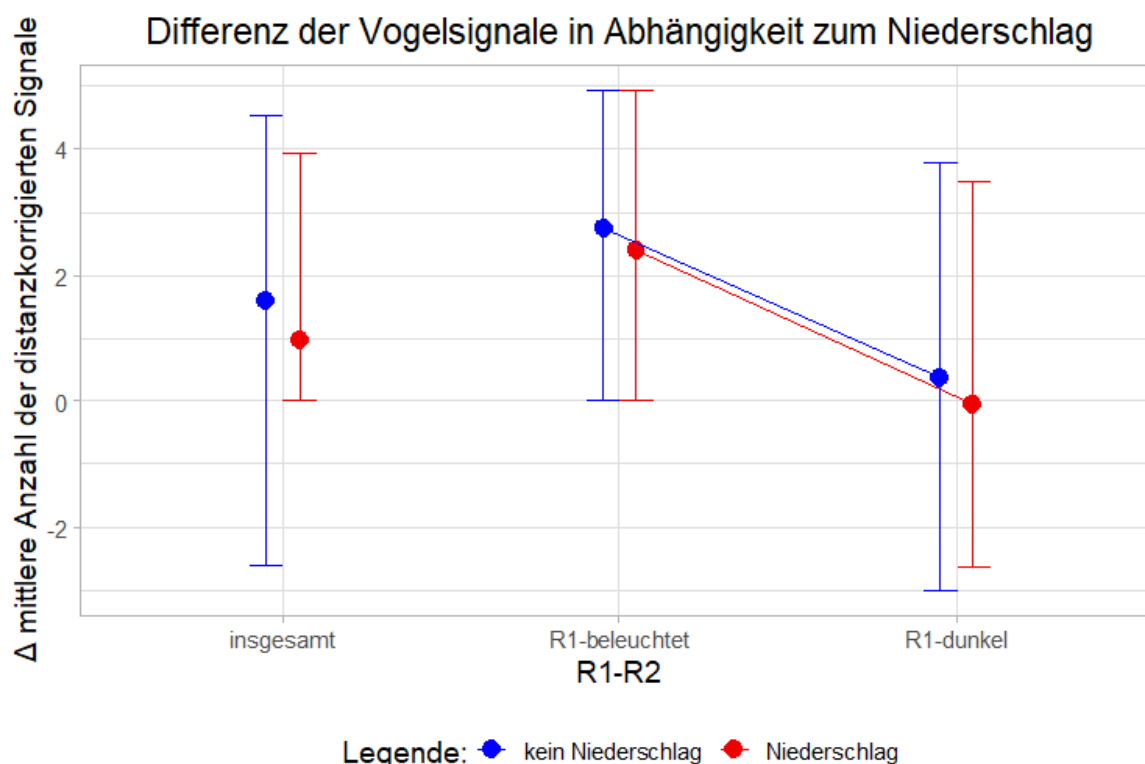


Abb. 4.6 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei ohne Niederschlag vs. Niederschlag des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

4.5 Vergleich der Vogelsignale vor, während und nach der BNK- Beleuchtungsphase

Im Folgenden wird die Anzahl der distanzkorrigierten Vogelsignale in den Zeiträumen, in denen die WEA mit der BNK beleuchtet („BNK beleuchtet“) waren, mit den distanzkorrigierten Vogelsignalen aus den unbeleuchteten Zeiträumen jeweils eine halbe Stunde vor („vorher“) und nach („nachher“) der Beleuchtungsphase miteinander verglichen. Insgesamt wurden die Mittelwerte der Vogelsignale aus 31 Beleuchtungsphasen mit den Mittelwerten aus den unbeleuchteten Zeiträumen verglichen. Die Mittelwerte der Vogelsignale aus dem Höhenbereich bis zu 1.000 m und dem Höhenbereich bis zu 200 m werden im Folgenden für die drei verschiedenen Zeiträume dargestellt (siehe Kap. 3.4).

Bei der Betrachtung der Vogelsignale im Höhenbereich bis zu 1.000 m lag der Mittelwert der distanzkorrigierten Vogelsignale vor der BNK-Beleuchtungsphase bei 8,5 Signalen und der Mittelwert nach der Beleuchtungsphase bei 11,0 Signalen. Der Mittelwert der Vogelsignale während der BNK-Beleuchtungsphase lag mit 14,9 Signalen oberhalb der Mittelwerte aus den unbeleuchteten Zeiträumen („vorher“ und „nachher“), jedoch war der Unterschied zu den unbeleuchteten Zeiträumen statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.4). Die Fehlerbalken, die den Interquartilsabstand (25-75%) angeben, deuten bei den Zeiträumen auf eine ähnliche Variabilität der mittleren Anzahl der Vogelsignale hin (siehe Abb. 4.7 und Tab. 4.4).

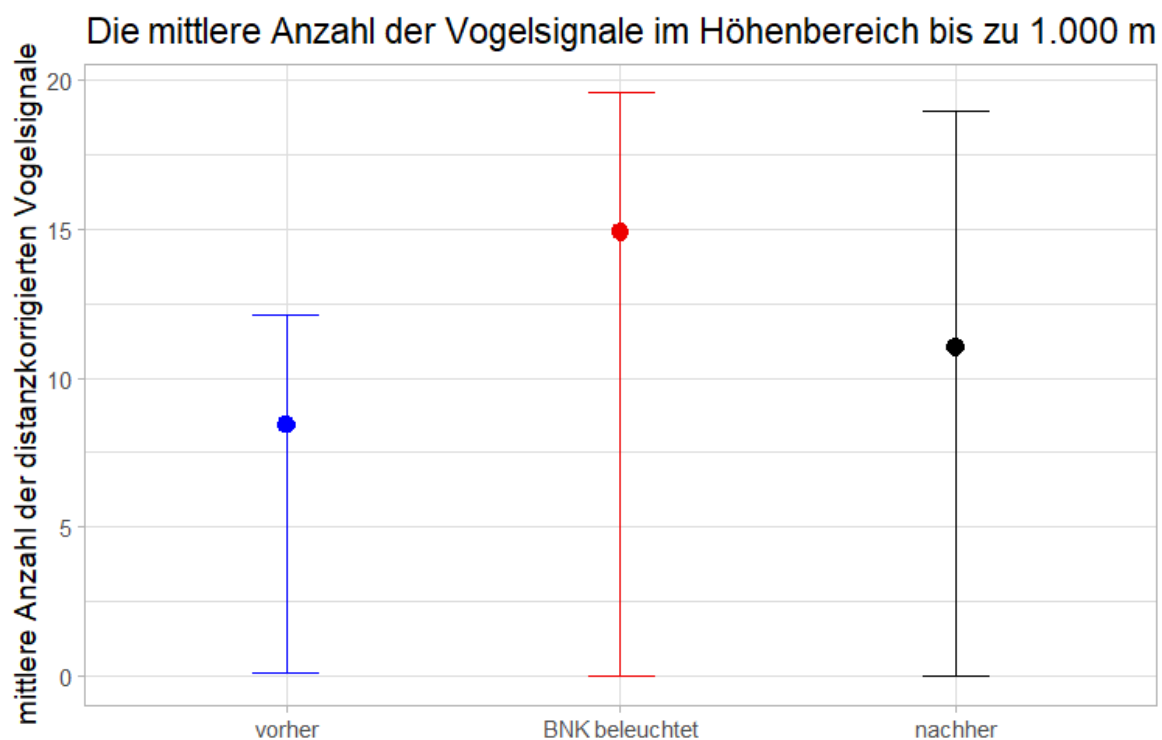


Abb. 4.7 Die Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale pro Screenshot im Höhenbereich bis zu 1.000 m in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu jeweils einer halben Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Die Betrachtung der Mittelwerte der Vogelsignale im Höhenbereich bis zu 200 m zeigte ein ähnliches Ergebnis. Der Mittelwert der Vogelsignale vor der BNK-Beleuchtungsphase lag bei 0,9 Signalen und der Mittelwert nach der Beleuchtungsphase bei 0,6 Signalen. Der Mittelwert der Vogelsignale während der BNK-Beleuchtungsphase lag, wie im Höhenbereich bis zu 1.000 m, mit 1,1 Signalen oberhalb der Mittelwerte aus den unbeleuchteten Zeiträumen. Auch in diesem Höhenbereich war der Unterschied jedoch statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.4). Die Fehlerbalken, die den Interquartilsabstand (25-75%) angeben, deuten bei den unbeleuchteten Zeiträumen auf eine ähnliche Variabilität der mittleren Anzahl der Vogelsignale hin (siehe Abb. 4.8 und Tab. 4.4).

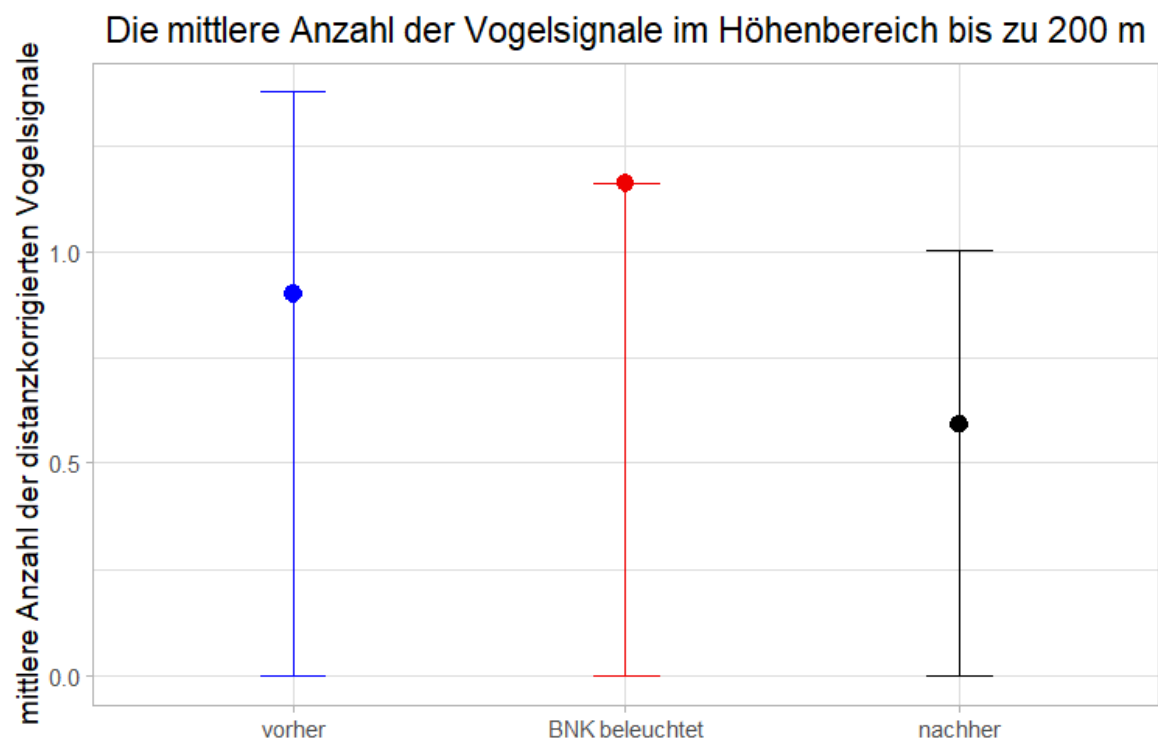


Abb. 4.8 Die Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale pro Screenshot im Höhenbereich bis zu 200 m in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu jeweils einer halben Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Tab. 4.4 Die statistische Auswertung der Differenz der mittleren Anzahl der Vogelsignale in den Zeiträumen, in denen die BNK beleuchtet war, im Vergleich zu der mittleren Anzahl der Vogelsignale jeweils eine halbe Stunde vor (vorher) und nach (nachher) der BNK-Beleuchtungsphase (Wilcoxon-Rangsummentest).

| betrachteter Höhenbereich | Vergleich | Teststatistik (W) | p-Wert |
|----------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------|
| bis zu 1.000 m | BNK beleuchtet vs. vorher | 445 | 0,878 |
| | BNK beleuchtet vs. nachher | 502 | 0,768 |
| bis zu 200 m | BNK beleuchtet vs. vorher | 400 | 0,516 |
| | BNK beleuchtet vs. nachher | 426 | 0,352 |

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Innerhalb der Studie wurde die Zugintensität aus dem dauerbeleuchteten Windpark mit der aus dem BNK-gesteuerten Windpark in drei verschiedenen Vergleichsräumen (Höhenbereich bis zu 1.000 m, Höhenbereich bis zu 200 m und die Nahbereiche der Turbinen) betrachtet, um Rückschlüsse auf die mögliche Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung der WEA zu ziehen. Die Betrachtung von ΔMTR in dem Höhenbereich bis zu 1.000 m zeigte einen geringen Unterschied zwischen R1-beleuchtet und R1-dunkel, jedoch war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant (siehe Abb. 4.1 und Tab. 4.3). Bei dem Vergleich von ΔMTR in dem Höhenbereich bis zu 200 m wurde hingegen ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen R1-beleuchtet und R1-dunkel festgestellt (siehe Abb. 4.2 und Tab. 4.3). In diesem Höhenbereich war ΔMTR statistisch signifikant höher, wenn das Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich („R1-beleuchtet“) erfasste (siehe Tab. 4.3). Der Vergleich von ΔVS aus den Nahbereichen der Turbinen zeigte ebenfalls einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen R1-beleuchtet und R1-dunkel (siehe Tab. 4.3). Auch in dem Nahbereich der Turbinen war ΔVS statistisch signifikant höher, wenn das Radargerät 1 die WEA im dauerbeleuchteten Bereich erfasste (siehe Abb. 4.3 und Tab. 4.3).

Der Vergleich von ΔMTR oder ΔVS zwischen R1-beleuchtet und R1-dunkel konnte die Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen nicht belegen. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten keine Verstärkung der Lockwirkung bei schlechten Wetterbedingungen (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3). Der Vergleich von ΔMTR oder ΔVS zwischen den schlechten Wetterbedingungen und guten Wetterbedingungen, wies ähnliche Ergebnisse auf. Innerhalb der Beleuchtungsform wies ΔMTR oder ΔVS oftmals nur geringe Unterschiede im Vergleich zwischen den guten und schlechten Wetterbedingungen auf (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3).

Bei dem Vergleich der distanzkorrigierten Vogelsignale vor, während und nach der aktiven BNK-Beleuchtungsphase wurden nur geringe Unterschiede zwischen den Zeiträumen festgestellt, jedoch waren diese Unterschiede statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.4, Abb. 4.7 und Abb. 4.8). Eine Lockwirkung der beleuchteten BNK auf den nächtlichen Vogelzug innerhalb des Studienzeitraums war nicht belegbar (siehe Tab. 4.4, Abb. 4.7 und Abb. 4.8).

5 DISKUSSION

Die vorliegende Studie diente der Untersuchung der möglichen Lockwirkung durch die dauerhafte Nachtkennzeichnung von WEA auf den nächtlichen Vogelzug. Die beiden verwendeten Radargeräte wiesen einen statistisch signifikanten Unterschied in der Detektionswahrscheinlichkeit von Vögeln auf, was einen direkten Vergleich zwischen dem dauerbeleuchteten und dem BNK-gesteuerten Bereich nicht möglich machte (siehe Tab. 4.2). Die Ergebnisse der Studie deuteten auf eine Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung hin. Die Lockwirkung scheint sich dabei auf die unteren Höhenbereichen in der Nähe der WEA zu beschränken und mit zunehmender Distanz zur Anlage abzunehmen bzw. zu entfallen (siehe Kap. 4.3 und Kap. 4.4). Jedoch war eine Einschätzung eines daraus möglich resultierenden erhöhten Kollisionsrisikos für nachziehende Vögel im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da die hierfür benötigten Daten nicht erhoben wurden. Eine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen war nicht belegbar (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3).

Bei dem Vergleich von ΔMTR in dem Höhenbereich bis zu 1.000 m wurde nur ein geringer Unterschied zwischen dem Zeitraum, in dem Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich („R1-beleuchtet“) und dem Zeitraum, in dem das Radargerät 1 den BNK-gesteuerten Bereich erfasste („R1-dunkel“) festgestellt (siehe Abb. 4.1). Dieser Unterschied war jedoch statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.3). Zur erwarten wäre bei einer Lockwirkung in diesem Höhenbereich eine höhere ΔMTR im dauerbeleuchteten Bereich im Vergleich zur ΔMTR aus dem dunklen Bereich des Studiengebiets gewesen. Ein Lockeffekt durch die dauerhafte Nachtkennzeichnung der WEA in diesem Höhenbereich konnte durch den Vergleich der ΔMTR in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde, nicht belegt werden. Die Ergebnisse der Studie deuteten darauf hin, dass ein möglicher Lockeffekt der dauerhaften Nachtkennzeichnung auf nachts migrierende Vögel nicht im weiteren Umfeld der Anlage belegbar war. Möglicherweise war die Intensität des emittierenden Lichtes der dauerhaften Nachtkennzeichnung im weiteren Umfeld der WEA nicht ausreichend, um den nächtlichen Vogelzug durch einen Lockeffekt zu beeinflussen. In Folge dessen würden Zugvögel im weiteren Umfeld oder in einer Flughöhe oberhalb der WEA daher wahrscheinlich nicht durch einen Lockeffekt beeinflusst, sodass möglicherweise nur Zugvögel bei geringer Flughöhe beeinflusst werden.

Bei dem Vergleich von ΔMTR in dem Höhenbereich bis zu 200 m wurde ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Zeiträumen festgestellt, in welchem das Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich („R1-beleuchtet“) oder den BNK-gesteuerten Bereich („R1-dunkel“) erfasste (siehe Abb. 4.2 und Tab. 4.3). In diesem Höhenbereich war ΔMTR statistisch signifikant höher, wenn das Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich erfasste, im Vergleich zur ΔMTR , wenn das Radargerät 1 den BNK-gesteuerten Bereich erfasste (siehe Abb. 4.2 und Tab. 4.3). Die Ergebnisse im Höhenbereich bis zu 200 m deuteten auf eine Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung auf den nächtlichen Vogelzug in der Nähe der WEA hin. In Folge dessen würden Zugvögel in der Nähe der WEA durch einen Lockeffekt beeinflusst, sodass möglicherweise nur Zugvögel bei geringer Flughöhe beeinflusst werden.

Wie im Höhenbereich bis zu 200 m, zeigte der Vergleich von ΔVS aus den Nahbereichen der Turbinen einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Zeitspannen, in denen das Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich („R1-beleuchtet“) oder den BNK-gesteuerten Bereich („R1-dunkel“) erfasste (siehe Tab. 4.3). Auch in diesem Bereich war ΔVS statistisch signifikant höher, wenn das Radargerät 1 die WEA im dauerbeleuchteten Bereich erfasste, im Vergleich zur ΔVS , wenn das Radargerät 1 die BNK-gesteuerte WEA erfasste (siehe Tab. 4.3 und Abb. 4.3). Der Vergleich von ΔVS aus den beiden Auswahlbereichen einer WEA deutete somit ebenfalls auf eine Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung in der Nähe der WEA hin. Die Ergebnisse aus den beiden Auswahlbereichen deuteten ebenfalls darauf hin, dass Zugvögel bei geringer Flughöhe in der Nähe der WEA durch einen Lockeffekt beeinflusst werden.

Bei einer möglichen Abhängigkeit der Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung von den Wetterbedingungen wäre eine höhere ΔMTR oder ΔVS zu erwarten gewesen, wenn Radar 1 den dauerbeleuchteten Bereich bei schlechten Wetterbedingungen erfasste. Der Vergleich von ΔMTR oder ΔVS zwischen R1-beleuchtet und R1-dunkel konnte keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen oder die Verstärkung der Lockwirkung bei schlechten Wetterbedingungen belegen (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3). Der Vergleich von ΔMTR oder ΔVS zwischen den schlechten Wetterbedingungen und guten Wetterbedingungen, wies ähnliche Ergebnisse auf. Innerhalb der Beleuchtungsform wies ΔMTR oder ΔVS oftmals nur geringe Unterschiede im Vergleich zwischen den guten und schlechten Wetterbedingungen auf. Die Ergebnisse belegten keine Abhängigkeit von den Wetterbedingungen und deuteten jedoch auf eine prinzipielle Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung im Nahbereich hin (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3). Dies widerspricht den Ergebnissen aus vorangegangenen Studien (AVERY ET AL. 1977; BALLASUS ET AL. 2009; AUMÜLLER ET AL. 2011; RONCONI ET AL. 2015; HÜPPPOP ET AL. 2016; MCLAREN ET AL. 2018; REBKE ET AL. 2019).

Diese Abweichung von den Ergebnissen früherer Studien zur Lockwirkung von künstlichen Lichtquellen könnten mit der Definition der guten und schlechten Wetterbedingungen für den nächtlichen Vogelzug zusammenhängen. Generell wurden gute Wetterbedingungen für die Zugaktivität mit guter Sicht, keinem Niederschlag, geringer Windgeschwindigkeit, geringer Luftfeuchtigkeit und Rückenwind definiert. Als für den Zug ungünstige Wetterbedingungen wurden hingegen reduzierte Sicht, Niederschlag, hohe Luftfeuchtigkeit, hohe Windgeschwindigkeit und Gegenwind angenommen (siehe Kap. 4.4 und Anhang 1 bis 3). Die einzelnen Definitionen der Wetterparameter für gute und schlechte Wetterbedingungen innerhalb der Studie mussten jedoch oftmals weit gefasst werden, um einen ausreichenden Datenumfang für die weitere Analyse verwenden zu können. So wurde beispielsweise geringe Sichtweite mit ≤ 10.000 m definiert. Jedoch kann davon ausgegangen werden, dass eine verstärkte Lockwirkung der Nachtkennzeichnung auf den Vogelzug erst bei einer noch stärker reduzierten Sichtweite eintritt. Jedoch ließ sich dies im Rahmen dieser Studie nicht überprüfen, da beispielsweise nur in 19 Stunden eine Sichtweite von unter 1.000 m vorlag und damit die Datengrundlage für eine solche Auswertung zu gering war. Inwieweit die Lockwirkung auf die Zugvögel bei einer engeren Definition von schlechtem Wetter hiervon abweicht, kann daher schlecht beurteilt werden. Eine verstärkte Lockwirkung bei schlechten Wetterbedingungen kann daher auf Basis der vorliegenden Daten nicht ausgeschlossen werden.

Bei dem Vergleich der distanzkorrigierten Vogelsignale vor, während und nach der aktiven BNK-Beleuchtungsphase wurden nur geringe Unterschiede zwischen den Zeiträumen festgestellt, jedoch waren diese Unterschiede statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.4, Abb. 4.7 und Abb. 4.8). Zur erwarten wäre bei einer Lockwirkung eine höhere Anzahl der Vogelsignale während der BNK-Beleuchtungsphase gewesen. Die Ergebnisse dieses Auswertungsschrittes zeigten jedoch keine Hinweise auf eine Lockwirkung der beleuchteten BNK und widersprechen sich mit den Ergebnissen aus den vorangegangenen Auswertungsschritten. Die Anzahl der Vogelsignale während der BNK-Beleuchtungsphase zeigte jedoch die Tendenz zu einer höheren Vogelanzahl, jedoch war dieser Unterschied statistisch nicht signifikant (siehe Tab. 4.4). Ein Lockeffekt durch die beleuchtete BNK auf den Vogelzug konnte daher nicht belegt werden. Dies hängt vielleicht mit der Dauer der aktiven Beleuchtungsphase zusammen, da möglicherweise erst ab einem längeren Beleuchtungszeitraum ein Lockeffekt auf den Vogelzug entsteht oder durch die Radargeräte nachweisbar wird. Jedoch ließ sich dies im Rahmen dieser Studie nicht überprüfen, da nur 10 Beleuchtungsphasen mit einer Dauer von über 20 Minuten vorlagen und damit die Datengrundlage für eine solche Auswertung zu gering war. Inwieweit eine Lockwirkung der BNK-Beleuchtungsphase auf die Zugvögel bei längeren BNK-Beleuchtungsphasen auftritt bzw. diese bei einer größeren Datengrundlage nachgewiesen werden könnte, kann daher nicht beurteilt werden. Eine Lockwirkung bei BNK-Beleuchtungsphase kann daher nicht ausgeschlossen werden und wird von den obigen Ergebnissen nahegelegt.

Durch die Abweichung der Detektionswahrscheinlichkeit von Vögeln zwischen den beiden Radargeräten war nur eine indirekte Quantifizierung des Lockeffektes möglich. Die Zugintensität im gesamten Studienbereich zeigte, unabhängig der Beleuchtungsform, eine ca. 20% höhere Zugintensität, wenn diese von Radargerät 1 im Vergleich zu Radargerät 2 erfasst wurde. Wenn das Radargerät 1 den dauerbeleuchteten Bereich des Studiengebietes erfasst, wurde eine ca. 30% höhere Zugintensität im Vergleich zum dunklen Bereich detektiert, der durch das Radargerät 2 erfasst wurde. Die Ergebnisse legen nahe, dass durch die Lockwirkung eine ca. 10% höhere Zugintensität im dauerbeleuchteten Bereich zu Stande kommt.

Ob durch die Lockwirkung der Anlagen ein erhöhtes Kollisionsrisiko für den nächtlichen Vogelzug an den WEA ausgeht, konnte auf Basis der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. Innerhalb der Studie war keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen belegbar, daher ist unklar, ob sich Wetterbedingungen auf das Kollisionsrisiko auswirken. Eine mögliche Verstärkung der Lockwirkung bei schlechten Wetterbedingungen war nicht belegbar, da die Datengrundlage für eine solche Auswertung zu gering war. Die Erfassung von Kollisionsopfern war im Projekt aufgrund von Kosten und Zeitlimitation nicht vorgesehen. Bei der Durchführung einer ähnlichen Studie an einem oder mehreren Onshore-Windparks wäre die Sammlung der nächtlichen Kollisionsopfer in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Windparks möglich. Hierbei wäre die Entfernung der Kollisionsopfer durch Prädatoren vor dem Fund oder das Übersehen von Kollisionsopfern als mögliche Fehlerquellen zu berücksichtigen (GRÜNKORN ET AL. 2005). Des Weiteren wäre jedoch durch die alleinige Erfassung von Kollisionsopfern keine Rückschlüsse auf die Lockwirkung möglich gewesen, da unklar geblieben wäre, ob die Lockwirkung der Nachtkennzeichnung direkt mit einer Erhöhung des Kollisionsrisikos einhergeht. Für die Beurteilung des Kollisionsrisikos wäre die Erfassung möglicher Kollisionsopfer und der Einsatz weiterer Technik notwendig gewesen. Eine Ermittlung und Bestimmung der Kollisionsopfer an OWP ist nach wie vor nicht möglich und bedarf neuer wissenschaftlicher Methoden.

Die Ergebnisse dieser Studie stammen nur von zwei Onshore-Windparks. Der dauerbeleuchtete Windpark grenzte dabei jedoch unmittelbar an den mit einem BNK-System ausgestatteten Windpark an, so dass sich die Entfernungen der Anlagen innerhalb der Windparks nicht von der Entfernung zwischen den Windparks unterschied (siehe Abb. 3.2 und Abb. 3.3). Durch diese direkte Nähe der beiden Windparks ist von einer geographisch bedingten Differenz der Zugintensität zwischen den beiden Windparks nicht auszugehen. Es ist daher anzunehmen, dass die Unterschiede in der Differenz der Zugintensität oder der Summe der Vogelsignale auf die unterschiedliche Beleuchtungsform der beiden Windparks zurückzuführen sind. Bei einer ähnlichen Studie wäre es daher wünschenswert mehrere Windparks mit dauerhafter und BNK-gesteuerter Nacht Kennzeichnung aus verschiedenen Regionen zu beproben, um eine besser Datengrundlage zu erhalten und den Einfluss lokaler Unterschiede im Zugeschehen auszuschließen. Ein Beispiel hierfür ist die Studie nach KERLINGER ET AL. 2010, die Daten über die tödlichen Kollisionen von Vögeln in 30 Onshore-Windparks in ganz Nordamerika zusammengetragen hat, um das Kollisionsrisiko an WEA und einen möglichen Zusammenhang mit der Beleuchtungsform der WEA abzuschätzen.

Des Weiteren sind Ergebnisse der vorliegenden Studie nicht ohne weiteres auf OWP übertragbar. Der Einfluss der dauerhaften Nacht Kennzeichnung von OWP in der AWZ auf den nächtlichen Vogelzug ist daher weiterhin unklar, da hier mit anderen Standortbedingungen und damit zusammenhängenden Einflussfaktoren auf den nächtlichen Vogelzug zu rechnen ist. So geht man davon aus, dass die nachts ziehenden Vögel die OWEA nur begrenzt wahrnehmen können und die Lockwirkung der dauerhaften Nacht Kennzeichnung durch die wenigen anderen künstlichen Lichtquellen möglicherweise zu einer Verstärkung der Lockwirkung führt (EVANS OGDEN 1996; GEHRING ET AL. 2009; VAN DOREN ET AL. 2017). Des Weiteren können nachts migrierende Vögel im Offshore-Bereich ihren Zug bei aufkommenden schlechten Wetterbedingungen nicht unterbrechen (WELCKER & VILELA 2020). Diese Studie stellt aber eine Grundlage für eine mögliche zukünftige Untersuchung der möglichen Anziehung des Vogelzuges durch die Nacht Kennzeichnung von OWEA in der AWZ dar. Weitere vergleichbare Studien aus anderen Onshore- oder Offshore-Windparks, z.B. aus der Nord- und Ostseeregion oder einem anderen Teil Deutschlands liegen aktuell nicht vor.

Sollte die Studie in einem oder mehreren Onshore- und Offshore-Windparks wiederholt werden, sollte darauf geachtet werden, dass die zur Erfassung des nächtlichen Vogelzuges verwendeten Radargeräte eine identische Detektionswahrscheinlichkeit von Vögeln aufweisen, um die erhobenen Daten besser vergleichen zu können. Hierbei wäre die direkte Vergleichbarkeit der Zugintensität oder der Vogelsignale zwischen dem dauerbeleuchteten und dem dunklen Studienbereich, ohne die Berücksichtigung des zur Erfassung verwendeten Radargeräts und die Hinzunahme von Differenzen wünschenswert.

Außerdem wäre eine längere zeitliche Erfassung des Vogelzuges sinnvoll, um mehr Daten aus dem Frühjahrs- und Herbstzug bei schlechten Wetterbedingungen erheben zu können. Eine wesentliche Einschränkung der Erfassungen mit Schiffsradaren und der vorgenommenen Auswertungsmethode ist, dass die einzelnen Radarbilder visuell von Mitarbeitern auf Vogelsignale überprüft und diese identifiziert werden müssen. Die Zuverlässigkeit der Ergebnisse ist daher davon abhängig, dass die Radarsignale korrekt als ziehende Vögel klassifiziert werden. Hierdurch kann es zu einer starken Beeinflussung der späteren Ergebnisse der Studien und Naturschutzentscheidungen kommen (SCHMALJOHANN ET AL. 2008). Eine weitere Einschränkung der Erfassung mit Radargeräten ist deren Anfälligkeit gegenüber Störeffekten durch „schlechte“ Wetterbedingungen. Regen und starker

Nebel können Radarstrahlen reflektieren, so dass eine Detektion von Vögeln bei schlechten Wetterbedingungen eingeschränkt oder verhindert wird. Dadurch führen schlechte Wetterbedingungen oftmals zu nicht auswertbaren Radarbildern, die für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt werden (siehe Tab. 4.1). Oftmals können daher nur Aussagen über die Zugaktivität bei guten Wetterbedingungen getroffen werden.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien führt zu einer Steigerung der Windenergieanlagenanzahl (Onshore und Offshore) und damit zu einer Erhöhung der anthropogenen Strukturen auf dem Breitfrontenzug der Vögel. Bei OWEA wird davon ausgegangen, dass von ihnen ein erhöhtes Kollisionsrisiko für nachts migrierenden Vögeln auf dem Meer ausgeht (WELCKER & VILELA 2020). Man geht davon aus, dass die nachts ziehenden Vögel die OWEA nur begrenzt wahrnehmen können und die Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung durch die wenigen anderen künstlichen Lichtquellen möglicherweise zu einer verstärkten Lockwirkung führt (EVANS OGDEN 1996; GEHRING ET AL. 2009; VAN DOREN ET AL. 2017). Jedoch liegen kaum Erkenntnisse über das Kollisionsrisiko für nachts migrierenden Vögeln an OWEA vor, da die systematische Erfassung von Kollisionen oder die Bestimmung von Kollisionsopfern an OWP nicht möglich ist und daher neuer wissenschaftlicher Methoden bedarf. Die flächendeckende Einführung der BNK im Onshore- und Offshore-Bereich hätte die Möglichkeit eine mögliche Erhöhung des Kollisionsrisikos durch die Lockwirkung der Nachtkennzeichnung zu reduzieren. Außerdem würde die flächendeckende Einführung der BNK die Akzeptanz der örtlichen Bevölkerung und der Touristen fördern, die sich an den Lichtemissionen der Nachtkennzeichnung der Onshore- und Offshore-Windparks stören. Möglicherweise führt die größere Akzeptanz zu einer Förderung des Baues von WEA in der Nähe menschlicher Siedlungen und somit zur Förderung des Ausbaus der erneuerbaren Energien.

Der Artenschutz sollte bei dem Ausbau der erneuerbaren Energien eine wichtige Rolle spielen und ausführlich betrachtet werden, um eine weitere Gefährdung der Biodiversität zu vermeiden und den Effekt des Artenschwundes in Europa nicht zusätzlich zu beschleunigen. Der Schutz von nächtlichen Zugvögeln ins Brut-, Rast- und Überwinterungsgebiet sollte daher eine wichtige Rolle bei dem Ausbau der erneuerbaren Energien darstellen. Die BNK stellt die Möglichkeit da, die Beleuchtung der OWEA und WEA im Schnitt um 90% zu reduzieren (HERRHOLZ 2015). Innerhalb dieser Studie lag der Anteil der Stunden, in denen die BNK-gesteuerten WEA mindestens 5 Minuten beleuchtet waren, bei 6,4% des Untersuchungszeitraums. Hierdurch könnte das mögliche Kollisionsrisikos durch die Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung deutlich reduziert werden und somit wesentlich zu einer Reduzierung der Kollisionen von nachts migrierenden Vögeln an WEA beitragen.

Des Weiteren könnte durch die BNK der Einfluss des emittierten Lichts der dauerhaften Nachtkennzeichnung auf andere Tiere wie z.B. Fledermäuse oder Insekten ebenfalls reduziert werden. Die gesetzlich vorgeschriebene Verwendung der BNK könnte als mögliche umfangreiche Artenschutzmaßnahme zur Verminderung des möglichen Kollisionsrisikos von nächtlichen Zugvögeln und des Einflusses auf andere Tiere verstanden werden. Eine unmittelbare Attraktion von der WEA-Beleuchtung auf Fledermäuse ist bislang jedoch nicht nachgewiesen worden. Die Lichtquellen wirken sich möglicherweise vor allem unmittelbar über die Anziehung von Insekten auf Fledermäuse aus. Tendenziell treten Fledermauskollisionen mit WEA verstärkt bei warmem, windstillem Wetter auf, wenn die Aktivität der Tiere hoch ist. Schlechte Sicht, starke Bewölkung, Regen und Nebel könnten das Kollisionsrisiko ebenfalls erhöhen (BALLASUS ET AL. 2009).

6 FAZIT

Die Ergebnisse der Studie stammen aus der Radarerfassung des nächtlichen Vogelzuges von zwei unmittelbar benachbarten Onshore-Windparks in Nordfriesland und deuteten auf eine Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen in den unteren Höhenbereichen in der Nähe der Anlagen hin. Eine Abhängigkeit der Lockwirkung von vorherrschenden Wetterbedingungen konnte im Rahmen der Studie nicht belegt werden. Dies widerspricht den Ergebnissen vorangegangener Studien zum nächtlichen Vogelzug, die eine Verstärkung der Lockwirkung von beleuchteten anthropogenen Strukturen bei schlechten Wetterbedingungen belegen (AVERY ET AL. 1977; BALLASUS ET AL. 2009; AUMÜLLER ET AL. 2011; RONCONI ET AL. 2015; HÜPPPOP ET AL. 2016; REBKE ET AL. 2019). Innerhalb der Studie war keine Abhängigkeit der Lockwirkung von den Wetterbedingungen belegbar. Eine mögliche Verstärkung der Lockwirkung bei schlechten Wetterbedingungen war daher nicht belegbar. Ob durch die Lockwirkung der Anlagen ein erhöhtes Kollisionsrisiko für den nächtlichen Vogelzug an den WEA ausgeht, kann auf Basis der vorliegenden Daten nicht beurteilt werden. Für die Beurteilung des Kollisionsrisikos wäre die Erfassung möglicher Kollisionsopfer und der Einsatz weiterer Technik notwendig gewesen. Die Ergebnisse der Studie stellen eine Vergleichsstudie für eine mögliche zukünftige Untersuchung der Anziehung des Vogelzuges durch die Nachtkennzeichnung von OWP in der AWZ dar. Der Einfluss der dauerhaften Nachtkennzeichnung von OWP auf den nächtlichen Vogelzug ist daher weiterhin unklar, da im Offshore-Bereich mit anderen Standortbedingungen und damit zusammenhängenden Einflussfaktoren auf den nächtlichen Vogelzug zu rechnen ist.

Dennoch konnte eine höhere Migrationsbewegung von nachts ziehenden Vögeln in der Nähe der dauerbeleuchteten WEA festgestellt werden. Daher stellt eine BNK von OWEA und WEA eine Möglichkeit dar, die Lockwirkung deutlich zu reduzieren. Hier durch könnte das mögliche Kollisionsrisiko durch die Lockwirkung der dauerhaften Nachtkennzeichnung reduziert werden und somit insgesamt zu einer Reduzierung der Kollisionen von nachts migrierenden Vögeln an Windenergieanlagen beitragen. Des Weiteren könnte durch die BNK der Einfluss des emittierten Lichts auf andere Tiere ebenfalls reduziert werden. Die gesetzlich vorgeschriebene Verwendung der BNK an Windenergieanlagen (Onshore und Offshore) könnte als eine mögliche Verminderung des Kollisionsrisikos von nachts ziehenden Zugvögeln dienen, sowie den Einfluss von Licht auf andere Tiergruppen wie Fledermäuse oder Insekten reduzieren, wobei sich die Lichtquellen vor allem unmittelbar über die Anziehung von Insekten auf Fledermäuse auswirken (BALLASUS ET AL. 2009).

7 LITERATURVERZEICHNIS

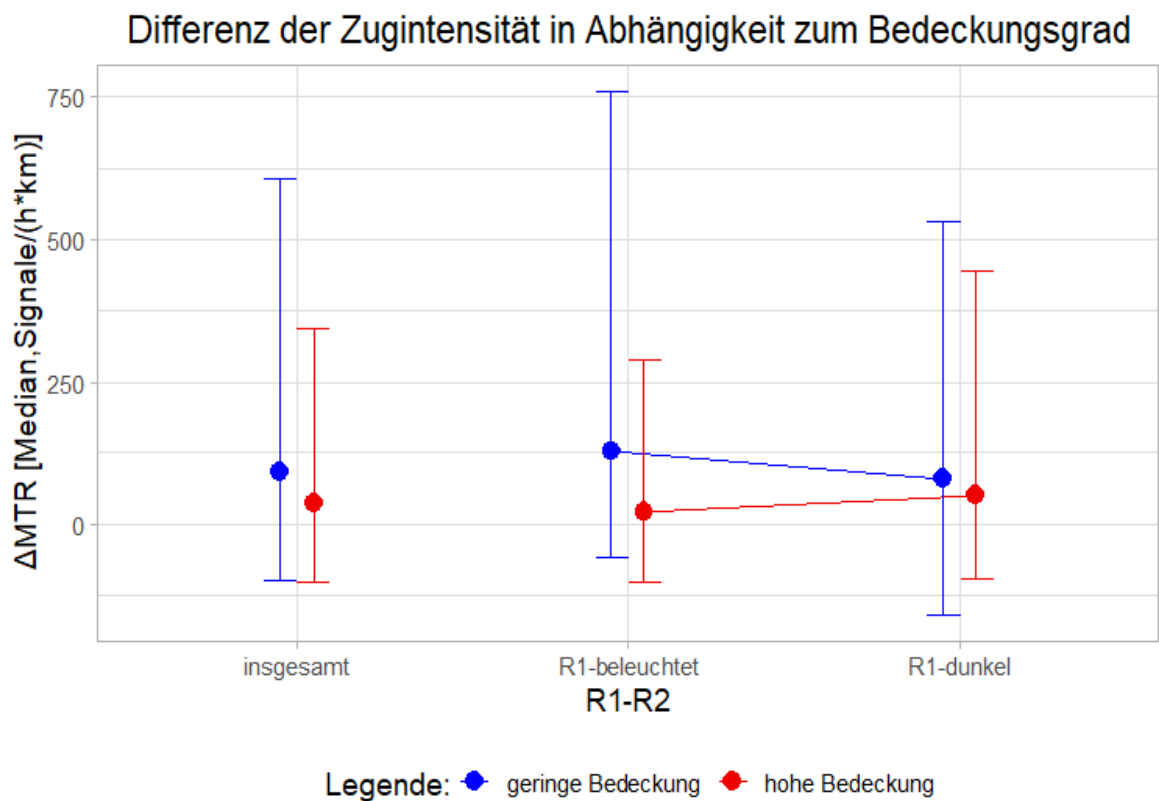
- Alerstam, T. (1979) Wind as selective agent in bird migration. *Ornis Scandinavica*, S. 76–93.
- Aumüller, R., K. Boos, S. Freienstein, K. Hill & R. Hill (2011) Beschreibung eines Vogelschlagereignisses und seiner Ursachen an einer Forschungsplattform in der Deutschen Bucht. *Vogelwarte* (Bd. 49), S. 9–16.
- Avery, M., P. F. Springer & J. F. Cassel (1977) Weather influences on nocturnal bird mortality at a North Dakota tower. *The Wilson Bulletin* (2, Bd. 89), S. 291–299.
- Ballasus, H., K. Hill & O. Hüppop (2009) Gefahren künstlicher Beleuchtung für ziehende Vögel und Fledermäuse. *Ber. Vogelschutz* (Bd. 46), S. 127–157.
- Berthold, P. (2000) Vogelzug. Eine aktuelle Gesamtübersicht. Aufl. 4., stark überarb. und erw. Aufl, Verl. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt (DEU), S. 280.
- BMU (2019) Klimaschutzplan 2050 - Klimaschutzpolitische Grundsätze und Ziele der Bundesregierung. (Hrsg. der Reihe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit). Rostock (DEU).
- Bruderer, B. (1997a) The study of bird migration by radar. Part 1: The technical basis. *Naturwissenschaften* (1, Bd. 84), S. 1–8.
- Bruderer, B. (1997b) The study of bird migration by radar. Part 2: Major achievements. *Naturwissenschaften* (2, Bd. 84), S. 45–54.
- BSH (2013) Standard - Untersuchung der Auswirkungen von Offshore-Windenergieanlagen auf die Meeresumwelt (StUK 4). Ergänzung zum Schutzgut Benthos, gemäß StUK4. (Aut. Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie). Hamburg & Rostock (DEU).
- Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen (2021) Be-schluss-kam-mer 6. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Beschlusskammern/1_GZ/BK6-GZ/2019/BK6-19-059/BK6-19-059_Ausnahmeantr%C3%A4ge_Aktualisierung_05.11..html (14.10.2021).
- Cabrera-Cruz, S. A., E. B. Cohen, J. A. Smolinsky & J. J. Buler (2020) Artificial light at night is related to broad-scale stopover distributions of nocturnally migrating landbirds along the Yucatan Peninsula, Mexico. *Remote Sensing* (395, Bd. 12).
- Dorka, V. (1966) Das jahres- und tageszeitliche Zugmuster von Kurz- und Langstreckenziehern nach Beobachtungen aus den Alpenpässen Cou/Bretolet (Wallis). *Der Ornithologische Beobachter* (6, Bd. 63), S. 166–223.
- Eastwood, E. (1967) Radar ornithology. Verl. Methuen & Co Ltd., London (GBR), S. 278.
- Evans Ogden, L. J. (1996) Collision course: the hazards of lighted structures and windows to migrating birds. Ontario (CAN).
- FA Wind (Hrsg. der Reihe) (2016) Bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen. Berlin (DEU).
- FA Wind (2021) Umsetzung der bedarfsgesteuerten Nachtkennzeichnung.
- FA Wind ((o. D.)) Bedarfsgerechte Nachtkennzeichnung. www.fachagentur-windenergie.de/themen/befeuerung/bedarfsgerechte-nachtkennzeichnung.
- FA Wind ((o. D.)) Befeuerung. <https://www.fachagentur-windenergie.de/themen/befeuerung/>.
- Freie Universität Berlin (2019) Modellselektion (AIC, BIC, Pseudo R²...). <https://wikis.fu-berlin.de/pages/viewpage.action?pagelId=736857812> (2019).
- Gauthreaux Jr, S. A. & C. G. Belser (2006) Chapter 4: Effects of artificial night lighting on migrating birds. (Hrsg. Rich, C. & T. Longcore). Aus *Ecological Consequences of Artificial Night Lightning*, Verl. Island Press, Washington D. C. (USA), S. 67–93.
- Gehring, J., P. Kerlinger & A. M. Manville (2009) Communication towers, lights, and birds: successful methods of reducing the frequency of avian collisions. *Ecological Applications* (2, Bd. 19), S. 505–514.
- Grünkorn, T., J. Blew, T. Coppack, O. Krüger, G. Nehls, A. Potiek, M. Reichenbach, J. Von Rönn, H. Timmermann & S. Weitekamp (2016) Ermittlung der Kollisionsraten von (Greif-)Vögeln

- und Schaffung planungsbezogener Grundlagen für die Prognose und Bewertung des Kollisionsrisikos durch Windenergieanlagen (PROGRESS). Schlussbericht zum durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) im Rahmen des 6. Energieforschungsprogrammes der Bundesregierung geförderten Verbundvorhaben PROGRESS, FKZ 0325300A-D. S. 332.
- Grünkorn, T., A. Diederichs, B. Stahl, D. Poszig & G. Nehls (2005) Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des Kollisionsrisikos von Vögeln an Windenergieanlagen. (Hrsg. der Reihe BioConsult SH). Unveröff. Gutachten, Hockensbüll (DEU), S. 106.
- Herrholz, T. (2015) Bedarfsgerechte Befeuerung - Mehr Akzeptanz für Windparks.
- Hüppop, O., J. Dierschke, K. M. Exo, E. Fredrich & R. Hill (2006) Bird migration studies and potential collision risk with offshore wind turbines. *Ibis* (Bd. 148), S. 90–109.
- Hüppop, O. & G. Hilgerloh (2012) Flight call rates of migrating thrushes: effects of wind conditions, humidity and time of day at an illuminated offshore platform. *Journal of Avian Biology* (1, Bd. 43), S. 85–90.
- Hüppop, O., K. Hüppop, J. Dierschke & R. Hill (2016) Bird collisions at an offshore platform in the North Sea. *Bird Study* (Bd. 63), S. 73–82.
- Kerlinger, P., J. L. Gehring, W. P. Erickson, R. Curry, A. Jain & J. Guarnaccia (2010) Night migrant fatalities and obstruction lighting at wind turbines in North America. *The Wilson Journal of Ornithology* (4, Bd. 122), S. 744–754.
- Knorr, K., D. Horst, S. Bofinger & P. Hochloff (2017) Energiewirtschaftliche Bedeutung der Offshore-Windenergie für die Energiewende. (Hrsg. der Reihe Fraunhofer Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IWES). Im Auftrag der Stiftung Offshore-Windenergie, S. 43.
- Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg ((o. D.)) Pariser Klimaabkommen. <https://www.lpb-bw.de/pariser-klimaabkommen>.
- McLaren, J. D., J. J. Buler, T. Schreckengost, J. A. Smolinsky, M. Boone, E. Emiel van Loon, D. K. Dawson & E. L. Walters (2018) Artificial light at night confounds broad-scale habitat use by migrating birds. (Hrsg. Norris, R.). *Ecology Letters*.
- Mouritsen, H. (2018) Long-distance navigation and magnetoreception in migratory animals. *Nature* (7708, Bd. 558), S. 50–59.
- Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (2021) Klimaschutzgesetz 2021 - Generationenvertrag für das Klima. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimaschutzgesetz-2021-1913672> (2021).
- Rebke, M., V. Dierschke, C. N. Weiner, R. Aumüller, K. Hill & R. Hill (2019) Attraction of nocturnally migrating birds to artificial light: The influence of colour, intensity and blinking mode under different cloud cover conditions. *Biological Conservation* (Bd. 233), S. 220–227.
- Richardson, W. (1990) Timing of bird migration in relation to weather: updated review. Aus *Bird migration*, Verl. Springer, S. 78–101.
- Ronconi, R. A., K. A. Allard & P. D. Taylor (2015) Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management* (Bd. 147), S. 34–45.
- Schmaljohann, H., F. Liechti, E. Bächler, T. Steuri & B. Bruderer (2008) Quantification of bird migration by radar – a detection probability problem. *Ibis* (2, Bd. 150), S. 342–355.
- Shamoun-Baranes, J., F. Liechti & W. M. Vansteelant (2017) Atmospheric conditions create freeways, detours and tailbacks for migrating birds. *Journal of Comparative Physiology A* (6–7, Bd. 203), S. 509–529.
- Statistisches Bundesamt (2022) Stromerzeugung im 1. Halbjahr 2022: 17,2 % mehr Kohlestrom als im Vorjahreszeitraum. https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2022/09/PD22_374_43312.html (7.9.2022).

- Van Belle, J., J. Shamoun-Baranes, E. Van Loon & W. Bouten (2007) An operational model predicting autumn bird migration intensities for flight safety. *Journal of Applied Ecology* (4, Bd. 44), S. 864–874.
- Van Doren, B. M. & K. G. Horton (2018) A continental system for forecasting bird migration. *Science* (6407, Bd. 361), S. 1115–1118.
- Van Doren, B. M., K. G. Horton, A. M. Dokter, H. Klinck, S. B. Elbin & A. Farnsworth (2017) High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences* (42, Bd. 114), S. 11175–11180.
- Welcker, J., M. Liesenjohann, J. Blew, G. Nehls & T. Grünkorn (2017) Nocturnal migrants do not incur higher collision risk at wind turbines than diurnally active species. *Ibis* (2, Bd. 159), S. 366–373.
- Welcker, J. & R. Vilela (2019) Weather-dependence of nocturnal bird migration and cumulative collision risk at offshore wind farms in the German North and Baltic Seas. Technical report, Husum (DEU), S. 70.
- Welcker, J. & R. Vilela (2020) ProBIRD - Prognose des regionalen und lokalen Vogelzugs und des kumulativen Vogelschlagrisikos an Offshore-Windenergieanlagen. Endbericht, Husum (DEU), S. 70.
- Wiltschko, R., C. Nießner & W. Wiltschko (2021) The magnetic compass of birds: The role of cryptochrome. *Frontiers in Physiology* (667000, Bd. 12).
- Wiltschko, R. & W. Wiltschko (2021) The discovery of the use of magnetic navigational information. *Journal of Comparative Physiology A*.
- Zehnder, S., F. Liechti, B. Trösch & B. Bruderer (2001) Gibt es topographie-unabhängigen Nachtzug über den Alpen? *Der Ornithologische Beobachter* (Bd. 98), S. 215–222.

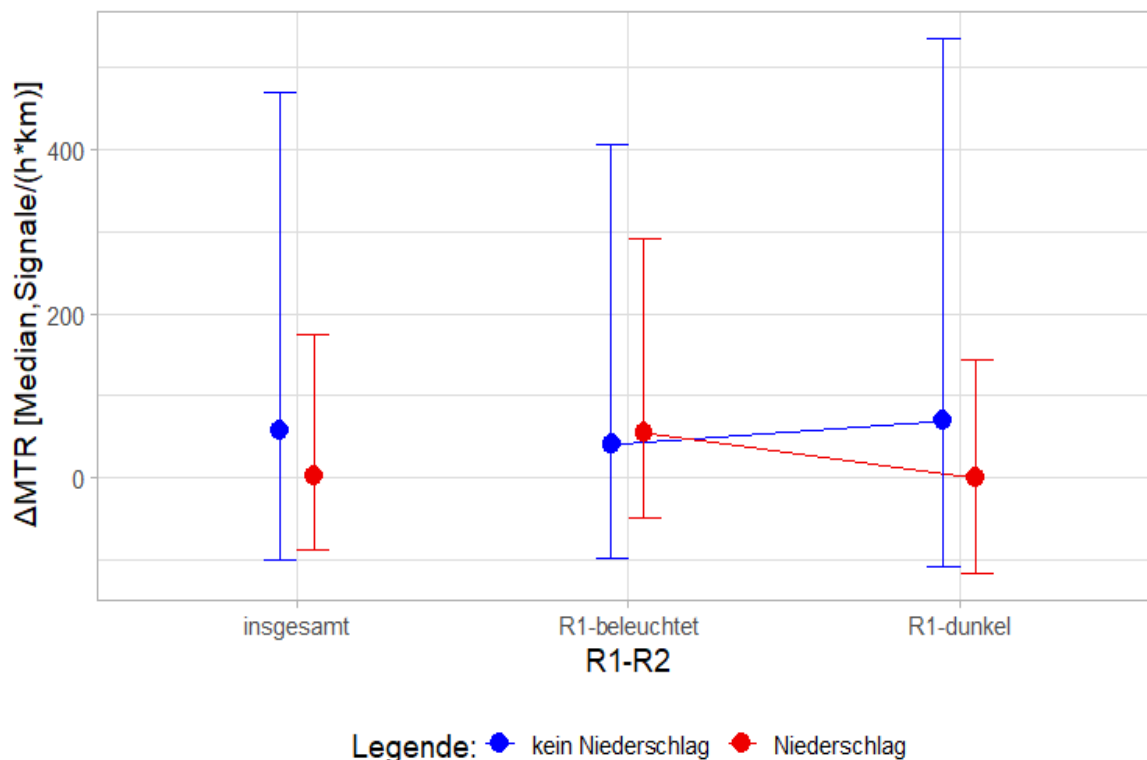
A ANHANG

Anhang 1: Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 1.000 m



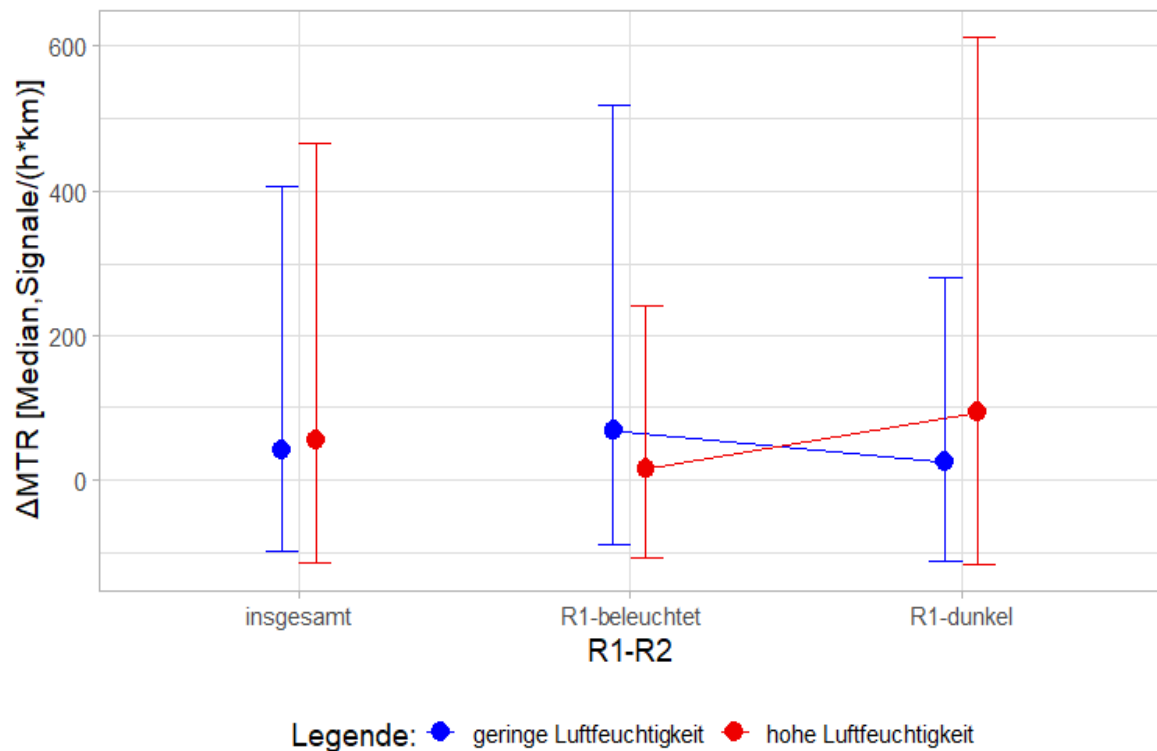
Anhang 1.1 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei geringer Bedeckung (≤ 4 Bedeckungsgrad in Achteln) vs. hohe Bedeckung (> 4 Bedeckungsgrad in Achteln) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Differenz der Zugintensität in Abhängigkeit zum Niederschlag

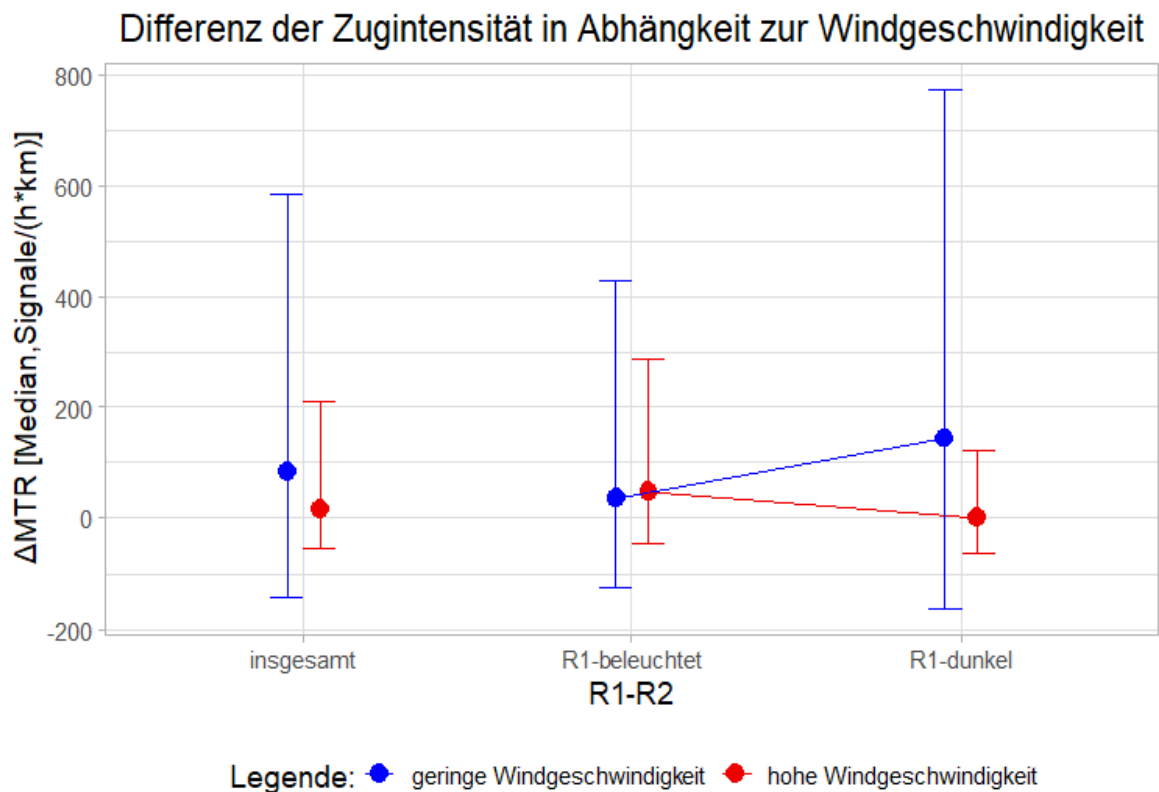


Anhang 1.2 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei keinem Niederschlag vs. Niederschlag des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Differenz der Zugintensität in Abhängigkeit zur Luftfeuchtigkeit

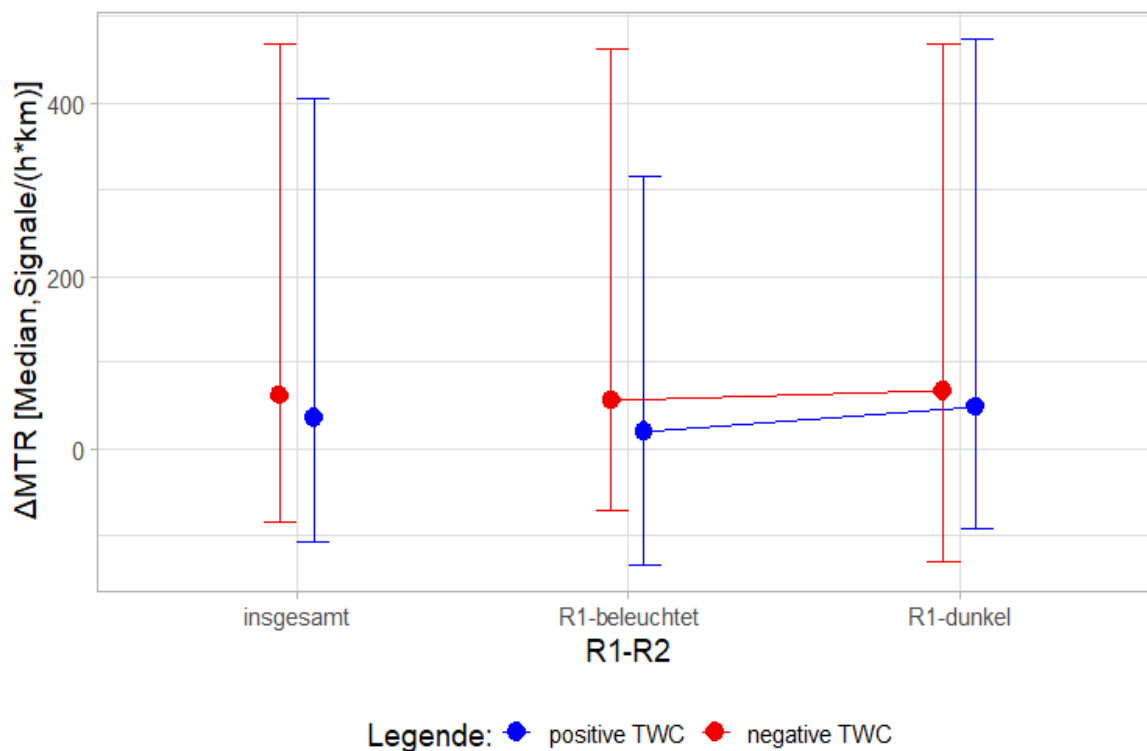


Anhang 1.3 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei geringer Luftfeuchtigkeit (< 85 %) vs. hoher Luftfeuchtigkeit (>= 85 %) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



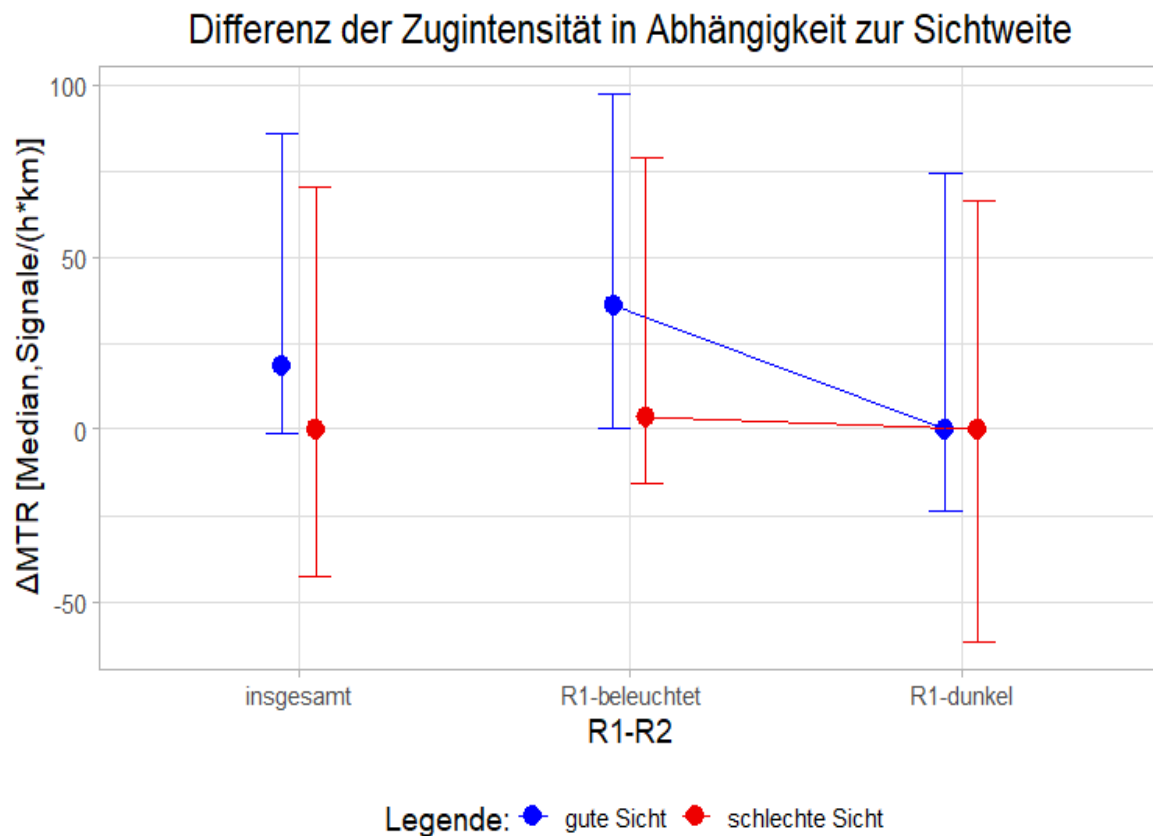
Anhang 1.4 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei geringer Windgeschwindigkeit ($< 4,1$ ms) vs. hoher Windgeschwindigkeit ($\geq 4,1$ ms) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Differenz der Zugintensität in Abhängigkeit zur TWC



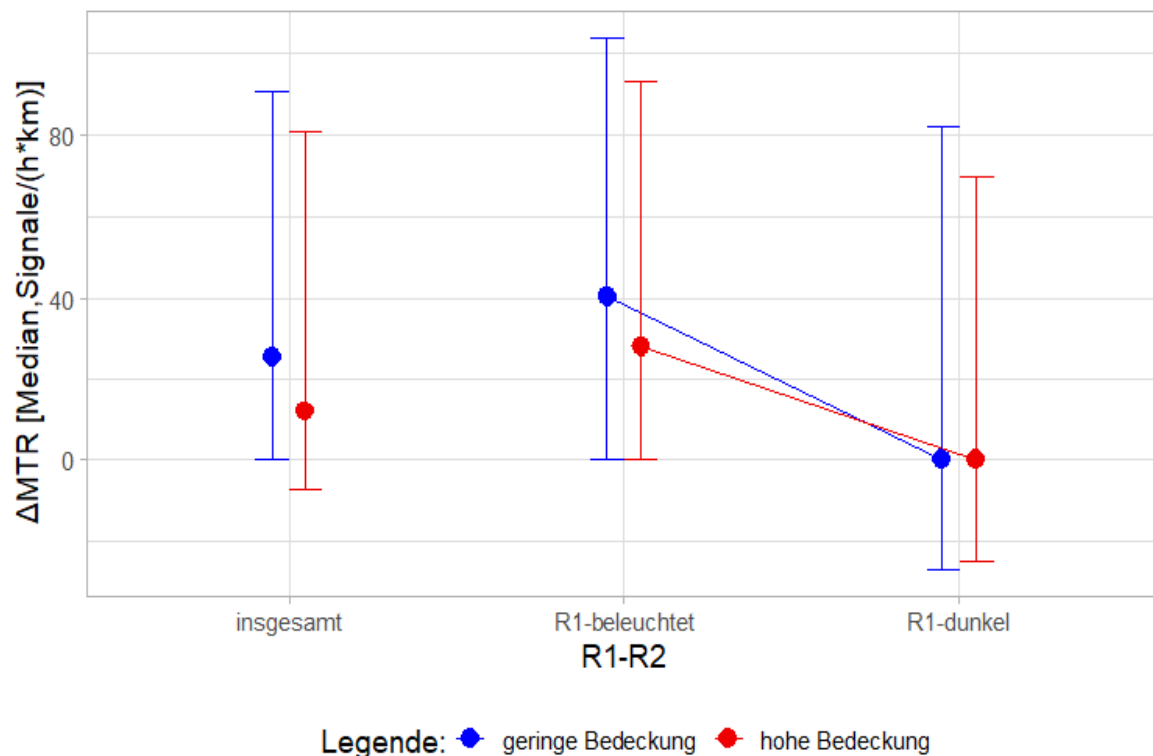
Anhang 1.5 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 1.000 m zwischen den beiden Radargeräten (R1-R2) in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Zugintensität bei positiver Rückenwind-Komponente (TWC) vs. negativer Rückenwind-Komponente (TWC) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Anhang 2: Die Differenz der MTR im Höhenbereich bis zu 200 m

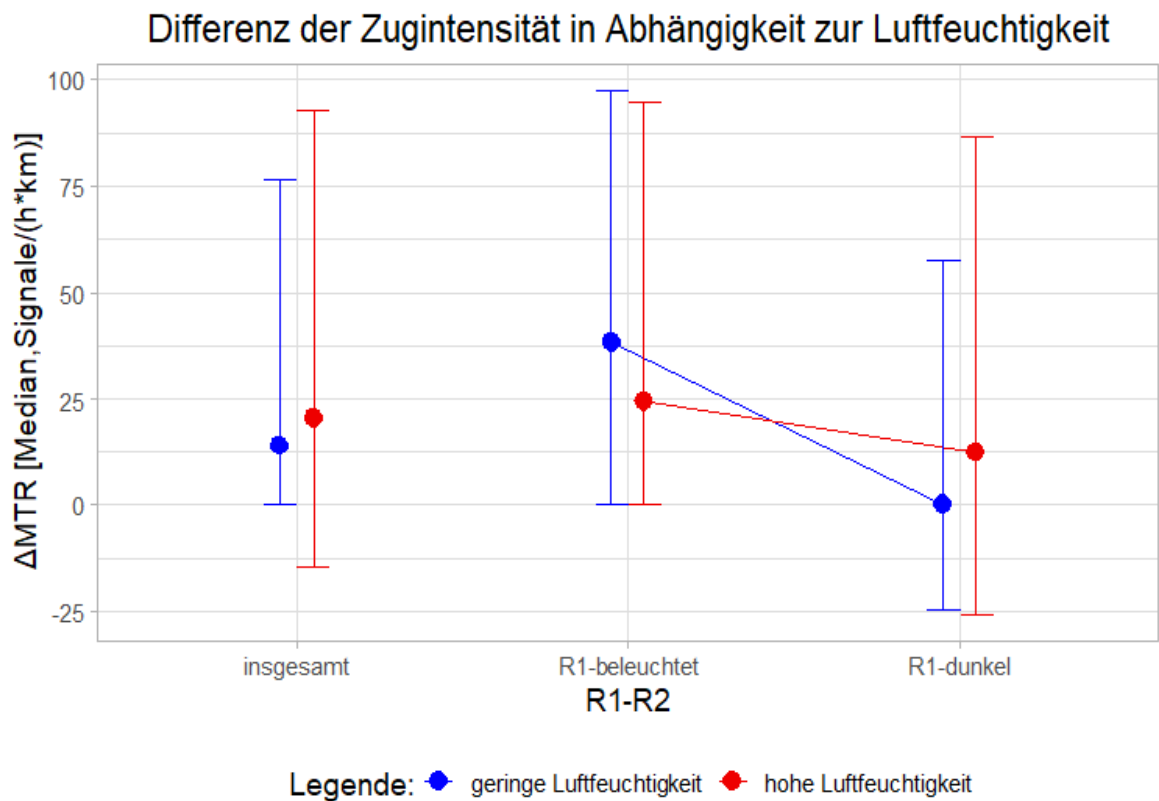


Anhang 2.1 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei guter Sicht (> 10.000 m) vs. schlechter Sicht (<= 10.000 m) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

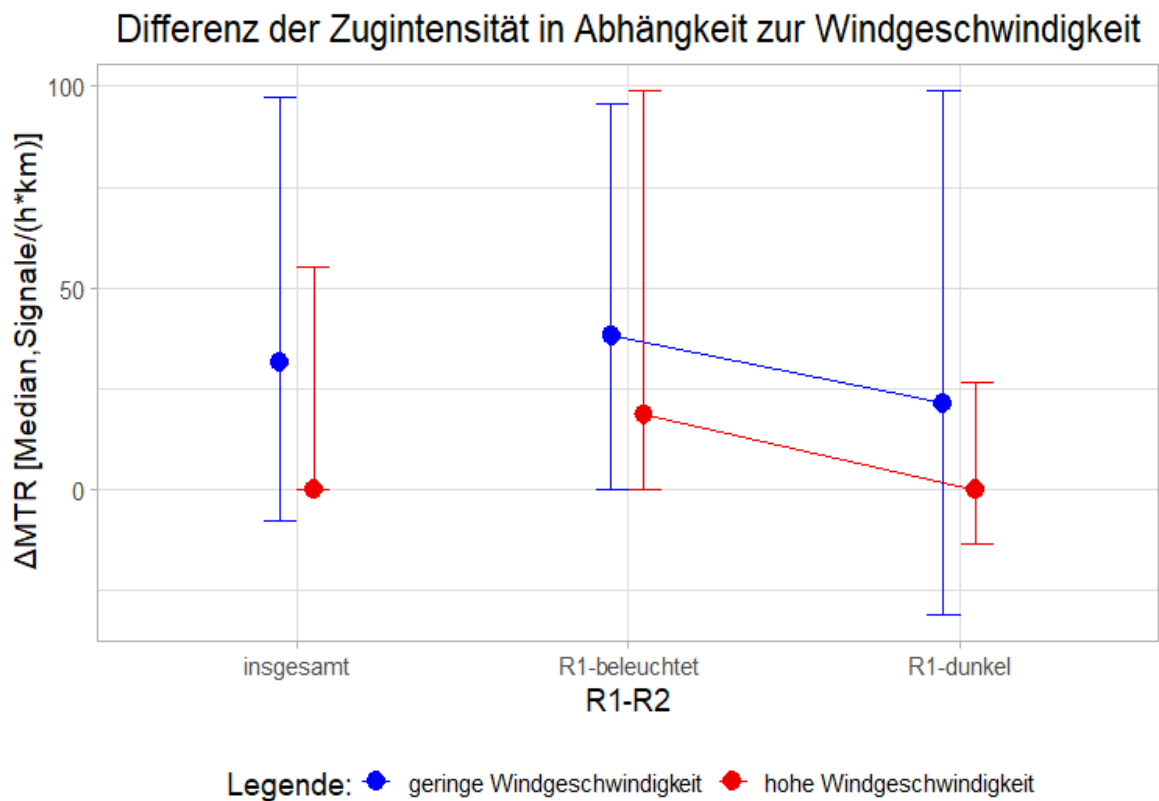
Differenz der Zugintensität in Abhängigkeit zum Bedeckungsgrad



Anhang 2.2 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei geringer Bedeckung (≤ 4 Bedeckungsgrad in Achteln) vs. hohe Bedeckung (> 4 Bedeckungsgrad in Achteln) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

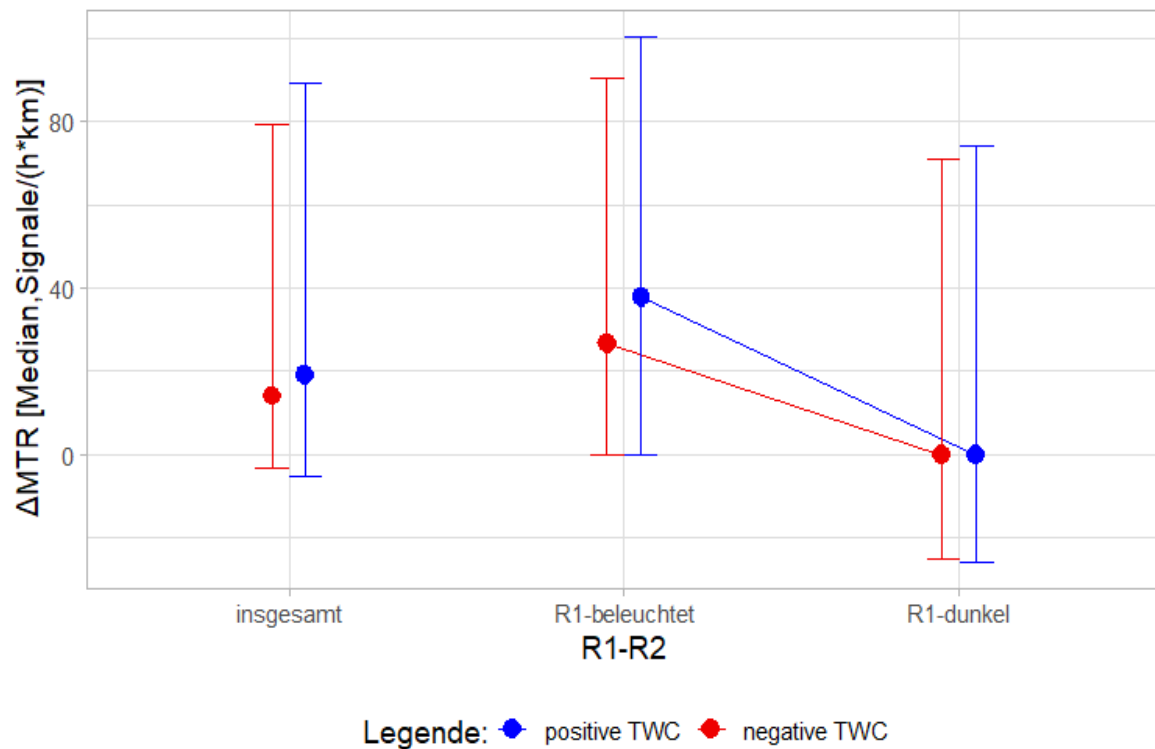


Anhang 2.3 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei geringer Luftfeuchtigkeit (< 85 %) vs. hoher Luftfeuchtigkeit (>= 85 %) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



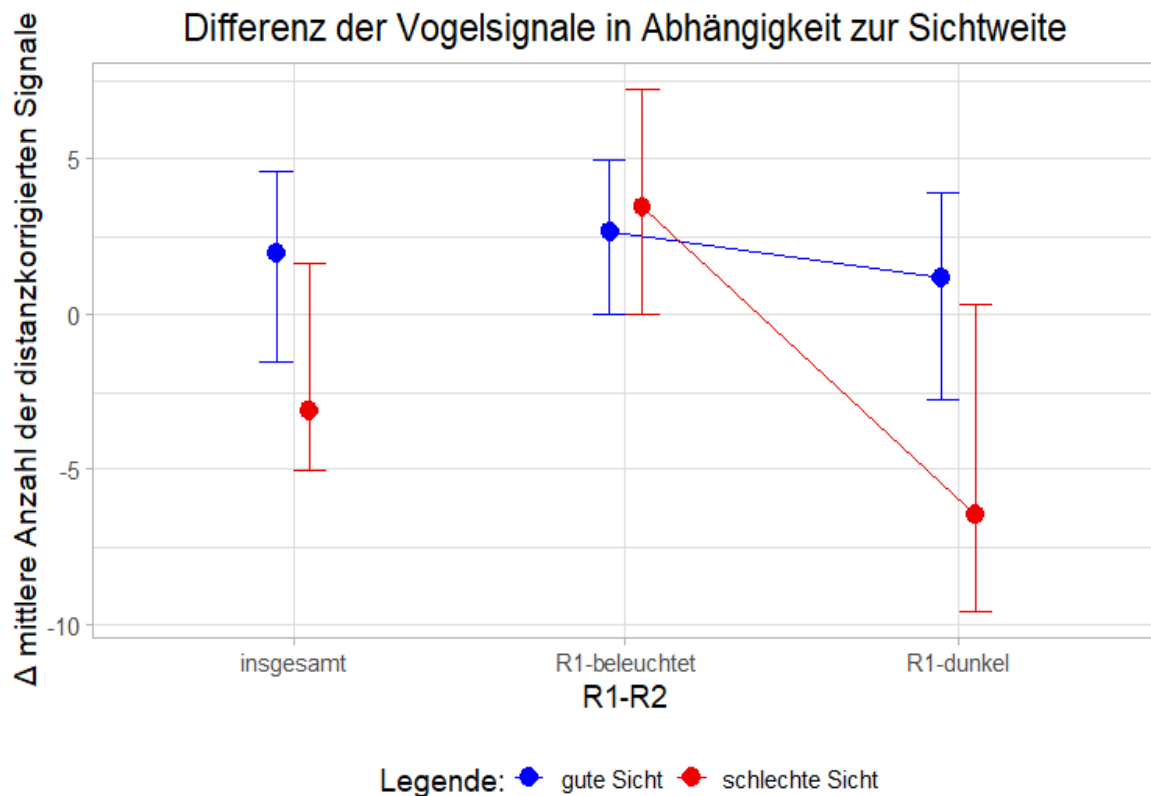
Anhang 2.4 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei geringer Windgeschwindigkeit ($< 4,1$ m/s) vs. hoher Windgeschwindigkeit ($\geq 4,1$ m/s) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

Differenz der Zugintensität in Abhängigkeit zur TWC

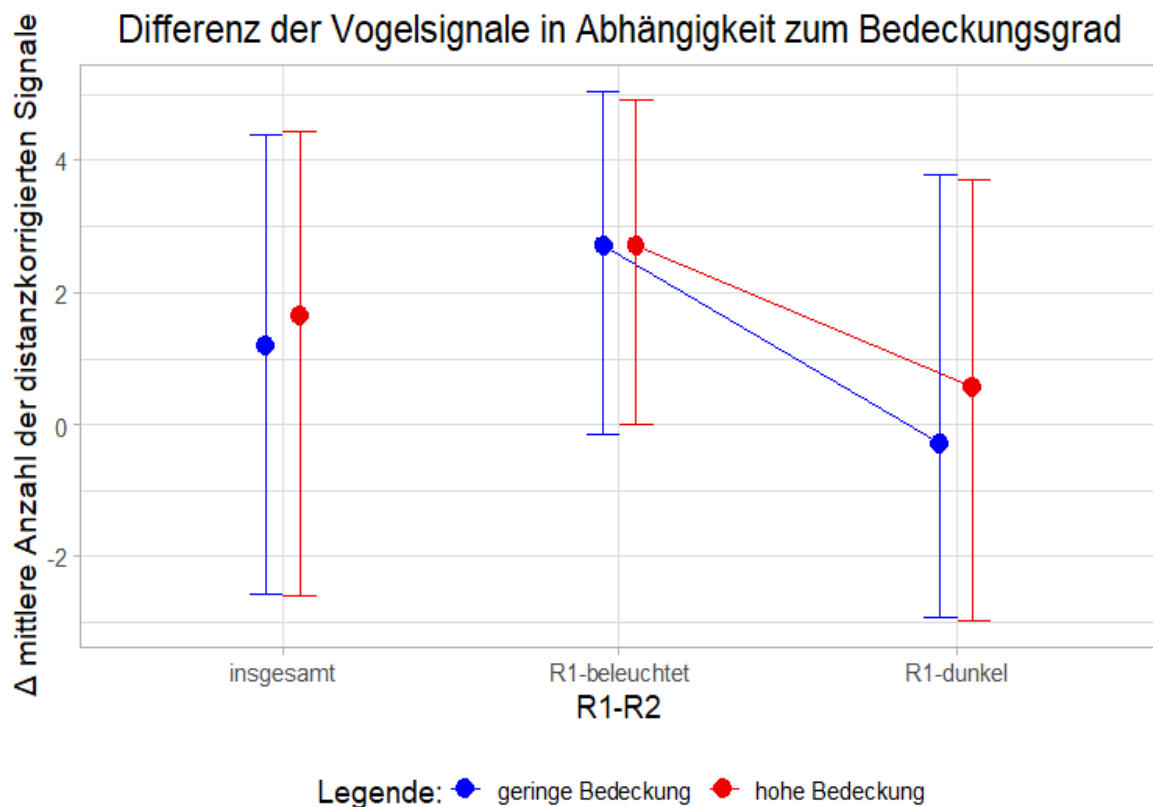


Anhang 2.5 Die Differenz der Zugintensität im Höhenbereich bis zu 200 m in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mediane der Differenz der Radare für die Zugintensität bei positiver Rückenwind-Komponente (TWC) vs. negativer Rückenwind-Komponente (TWC) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

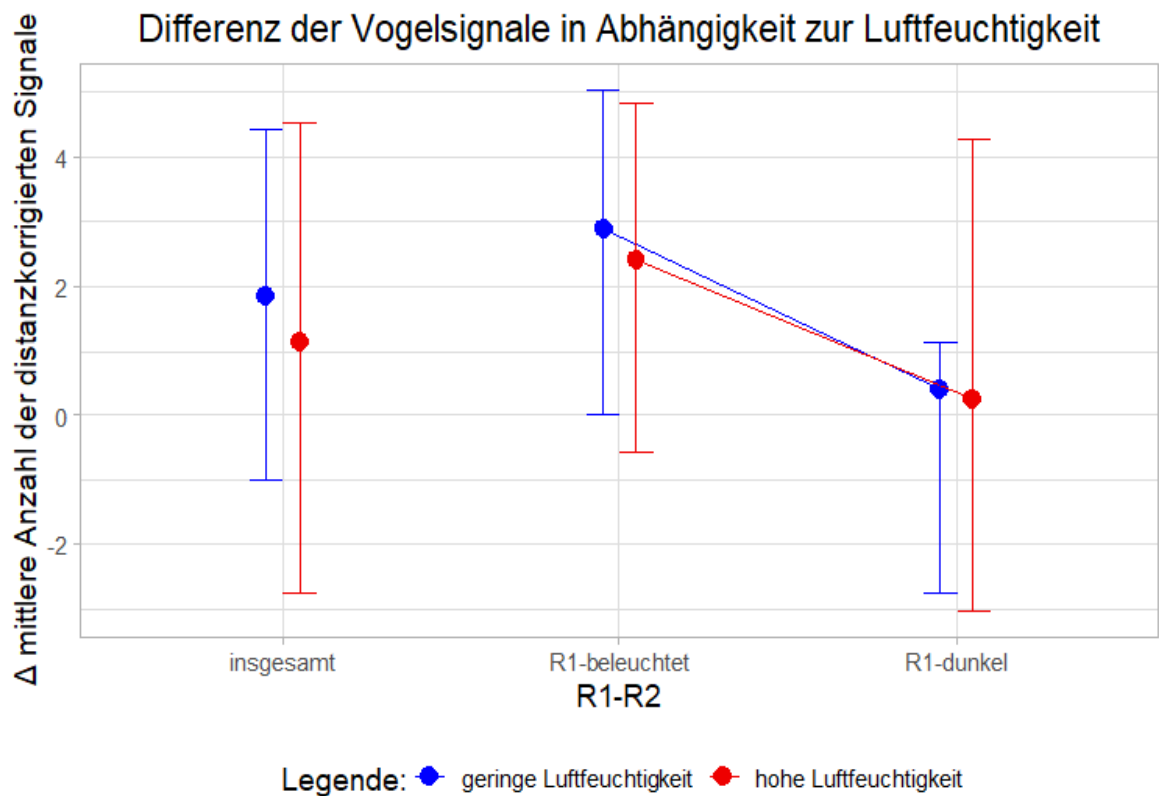
Anhang 3: Die Differenz der Summe der Vogelsignale in den beiden Auswahlbereichen



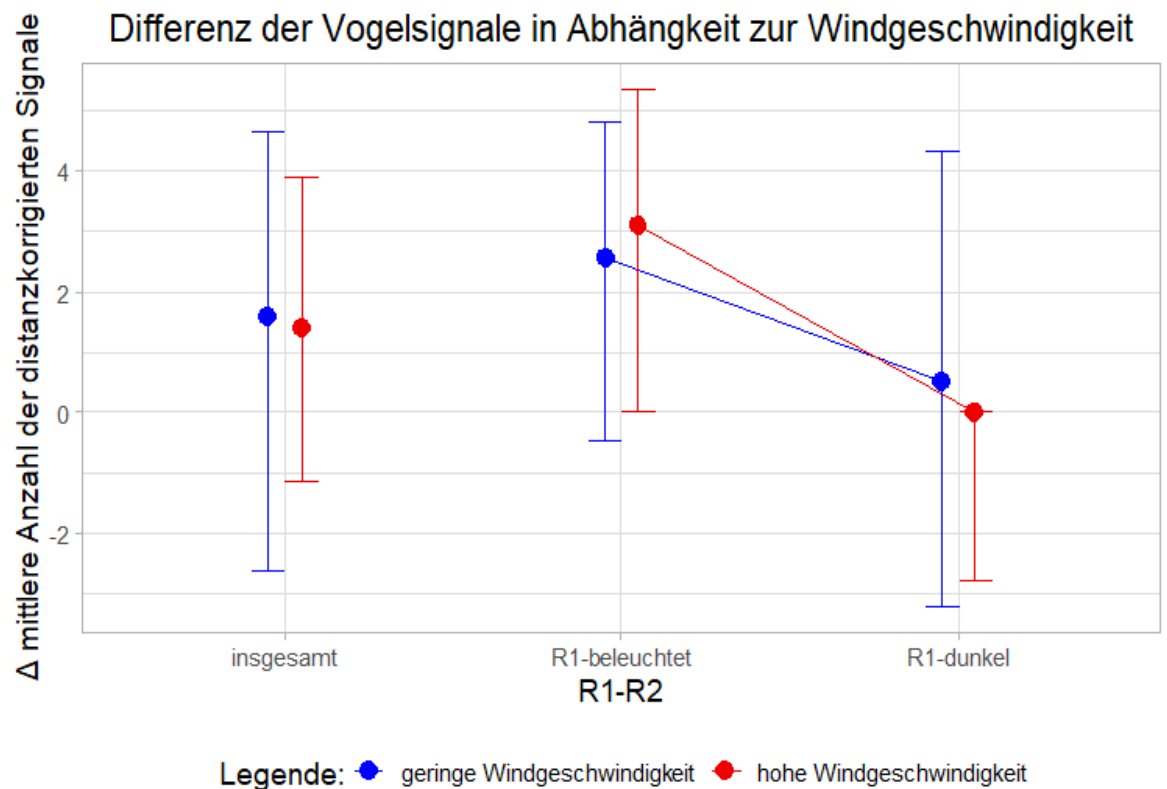
Anhang 3.1 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei guter Sicht (> 10.000 m) vs. schlechter Sicht (<= 10.000 m) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



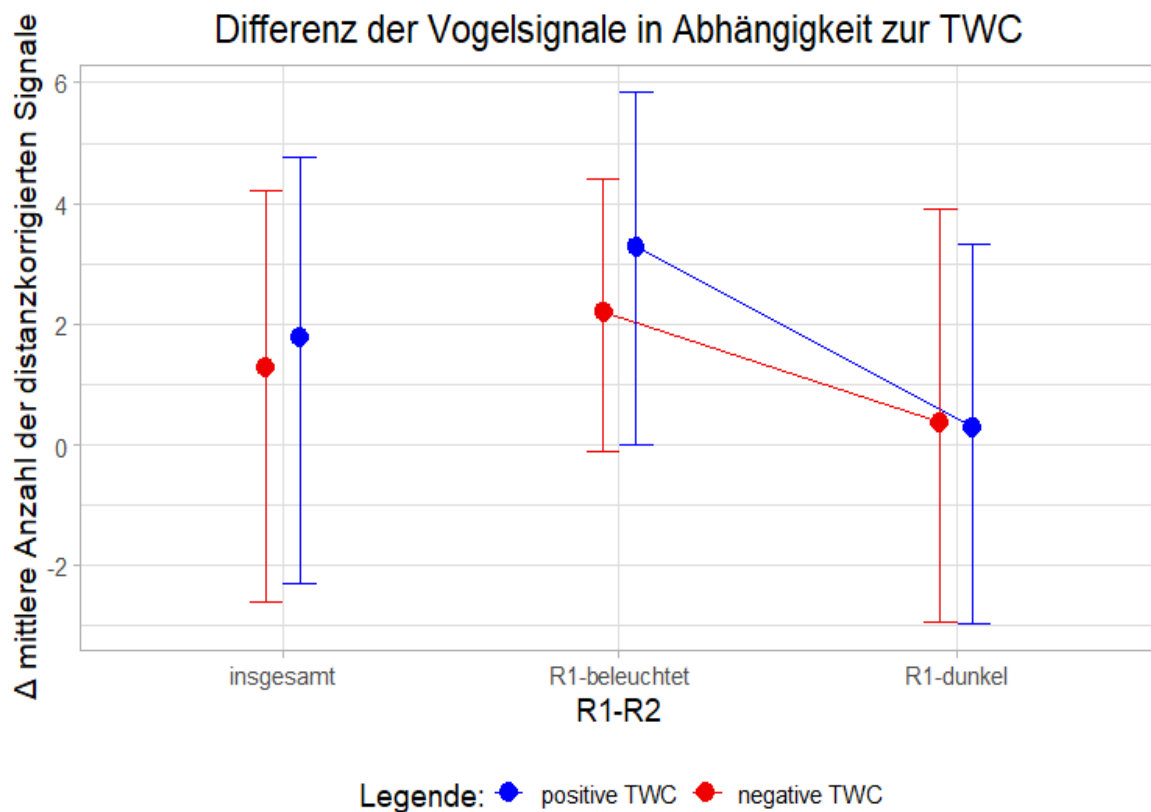
Anhang 3.2 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei geringer Bedeckung (≤ 4 Bedeckungsgrad in Achteln) vs. hohe Bedeckung (> 4 Bedeckungsgrad in Achteln) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



Anhang 3.3 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei geringer Luftfeuchtigkeit (< 85 %) vs. hoher Luftfeuchtigkeit (>= 85 %) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



Anhang 3.4 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei guter Sicht bei geringer Windgeschwindigkeit ($< 4,1$ m/s) vs. hoher Windgeschwindigkeit ($\geq 4,1$ m/s) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.



Anhang 3.5 Die Differenz der Vogelsignalsummen aus den beiden Auswahlbereichen in Abhängigkeit zu der Beleuchtungsform des Studienbereiches, der von Radargerät 1 erfasst wurde. Dargestellt sind die Mittelwerte der Differenz der Radare für die Summen der Vogelsignale bei positiver Rückenwind-Komponente (TWC) vs. negativer Rückenwind-Komponente (TWC) des gesamten Untersuchungszeitraums („insgesamt“ (unabhängig der Beleuchtungsform)), in der Radar 1 den dauerbeleuchteten Studienbereich („R1-beleuchtet“) erfasste und der Studienzeitraum in der Radar 1 den BNK-gesteuerten Studienbereich („R1-dunkel“) erfasste. Die Fehlerbalken geben den Interquartilsabstand (25-75%) an.

B EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt und dabei keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet habe. Die Stellen, die ich aus anderen Publikationen entnommen wurden, habe ich kenntlich gemacht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

F. Fatum

Felix Fatum

Düsseldorf, 21. September 2022

C DANKSAGUNG

Hiermit möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meines Studiums und bei der Anfertigung meiner Bachelorarbeit unterstützt haben. Außerdem möchte ich bei allen bedanken, die mich in meiner schönen Zeit in Husum begleitet haben. Leider kann ich hier nicht alle namentlich erwähnen.

Zunächst möchte ich mich besonders für die Betreuung meiner Bachelorarbeit durch Herrn Prof. Dr. Werner Kunz bedanken. Durch seine Geduld und Zustimmung wurde mir das Schreiben meiner Bachelorarbeit in Nordfriesland ermöglicht und dennoch seitens der Universität betreut. Dabei war er jeder Zeit über verschiedene Kommunikationsmedien erreichbar und man erhielt stets eine hilfreiche Rückmeldung zu seinen Fragen oder Verbesserungsansätze zu den eingereichten Kapiteln. Des Weiteren möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. Heiko Schmaljohann für die Übernahme meines Zeitgutachtens und das Korrekturlesen meiner Bachelorarbeit mit den zahlreichen Verbesserungen bedanken.

Außerdem möchte ich mich bei dem gesamten Team von BioConsult SH (Schobüller Str. 36, 25813 Husum) für die Möglichkeit bei Ihnen meine Bachelorarbeit zu schreiben und die schöne Zeit bedanken. Ich wurde von Beginn an herzlich aufgenommen und in die Gemeinschaft intrigiert haben. Des Weiteren möchte ich mich für die ganze Unterstützung bedanken, die ich durch sie in meiner Zeit in Husum erhalten habe. Sie haben dazu beigetragen, dass ich die Zeit in Husum so gut in Erinnerung behalten werde. Dabei möchte ich mich besonders bei Chris Groß bedanken, der mir das Arbeiten mit R beigebrachtet und mir stets geholfen hat, wenn es mal wieder nicht funktionierte. Außerdem bedanke ich mich bei Dr. Claudia Burger für das Korrektur lesen meiner Bachelorarbeit und die vielen hilfreichen Kommentare. Ganz besonders möchte ich mich auch bei Frederike Stapela und Dr. Jorg Welcker für die Betreuung meiner Arbeit vor Ort und die ganze Unterstützung bedanken. Auch wenn ich es Ihnen wahrscheinlich oftmals nicht leicht gemacht habe, waren sie stets geduldig mit mir, jederzeit ansprechbar und stets Hilfsbereit bei allen meinen Anliegen.

Ein besonderer Dank geht auch an Dr. Jutta Leyrer, in deren Haus ich in der ganzen Zeit in Husum leben durfte. Sie stand mir immer mit Rat und Tat zur Seite, was es auch war. Für was genau, weiß sie schon. Außerdem möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich stets unterstützt und motiviert haben. Ein ganz besonderer Dank geht dabei an meine Eltern, ohne deren Unterstützung ich das niemals geschafft hätte.