

# Ringversuch „Ertragsverluste Phase 1“ 2021/22 des Windgutachterbeirats des BWE

Zusammenfassender Bericht der statistischen Auswertungen und ihrer Ergebnisse

August

2022





### **Impressum**

Bundesverband WindEnergie e.V.  
EUREF-Campus 16  
10829 Berlin  
030 21234121 0  
info@wind-energie.de  
[www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de)  
V.i.S.d.P. Wolfram Axthelm

### **Foto**

matthiaslindner, 90793220, 123rf.de (bearbeitet)

### **Haftungsausschluss**

Die in diesem Papier enthaltenen Angaben und Informationen sind nach bestem Wissen erhoben, geprüft und zusammengestellt. Eine Haftung für unvollständige oder unrichtige Angaben, Informationen und Empfehlungen ist ausgeschlossen, sofern diese nicht grob fahrlässig oder vorsätzlich verbreitet wurden.

### **Ansprechpartnerinnen**

Christina Hasse  
Fachreferentin Planung und Projektierung  
[c.hasse@wind-energie.de](mailto:c.hasse@wind-energie.de)

Manuela Scholz  
Teamassistentin  
[m.scholz@wind-energie.de](mailto:m.scholz@wind-energie.de)

### **Datum**

August 2022

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis .....	4
<b>1 Ringversuch Verluste – Kontext des vorliegenden Berichtes .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Liste der Teilnehmer*innen .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Aufgabenstellung sowie Inhalt und Umfang der Ergebnismeldungen .....</b>	<b>7</b>
<b>4 Ergebnisse auf einen Blick .....</b>	<b>9</b>
<b>5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....</b>	<b>11</b>
5.1.1 Größe der Ertragsverluste Fledermaus und Schall .....	11
5.1.2 Einflussfaktoren auf die Verluste .....	14
5.1.2.1 Reihenfolge und Methode der Verlustkombination Fledermaus/Schall .....	14
5.1.2.2 Abhängigkeit des Ertragsverlusts Fledermaus von mittlerer Temperatur/Windgeschwindigkeit und verwendetem Datensatz .....	16
5.1.2.3 Abhängigkeit Ertragsverluste Schall von verwendeten Datensätzen .....	18
5.1.2.4 Abhängigkeit kombinierte Ertragsverluste Fledermaus/Schall von verwendeten Datensätzen 19	
5.1.3 Auswertung der Unsicherheitsschätzungen .....	20
5.1.4 Fazit und Schlussfolgerungen .....	21
<b>6 Danksagung .....</b>	<b>22</b>

## Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 4.1 Mittelwerte der Ertragsverluste von Juni bis September in MWh</i> .....	9
<i>Abbildung 4.2 Mittelwert der Ertragsverluste von Juni bis September [%]</i> .....	10
<i>Abbildung 5.1 Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung [%] mit festen Abschaltparametern</i> .....	12
<i>Abbildung 5.2 Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung [%] mit Nachtzehnteln</i> .....	12
<i>Abbildung 5.3 Monatliche Boxplots der Ertragsverluste</i> .....	13
<i>Abbildung 5.4 Häufigkeitsverteilung der angewendeten Methoden der Verlustkombination</i> .....	14
<i>Abbildung 5.5 Häufigkeitsverteilung der Reihenfolge der Verlustkombination</i> .....	15
<i>Abbildung 5.6 Kombiniertes Ertragsverlust Schallreduktion/Fledermaus (sortiert nach Höhe des Ertragsverlusts)</i> .....	16
<i>Abbildung 5.7 Ertragsverluste Fledermaus (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Temperatur (Nachtperiode 22-6 Uhr), sortiert nach Größe des Ertragsverlustes</i> .....	16
<i>Abbildung 5.8 Ertragsverlust aufgrund Fledermausabschaltung (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind</i> .....	17
<i>Abbildung 5.9 Ertragsverlust aufgrund Fledermausabschaltung (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von der Datenquelle Temperatur</i> .....	17
<i>Abbildung 5.10 Ertragsverlust aufgrund Schallreduktion in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind</i> .....	18
<i>Abbildung 5.11 Kombiniertes Ertragsverlust Fledermaus/Schall in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind</i> .....	19
<i>Abbildung 5.12 Kombiniertes Ertragsverlust Fledermaus/Schall in Abhängigkeit von der Datenquelle Temperatur</i> .....	19
<i>Abbildung 5.13 Häufigkeitsverteilung der angesetzten Unsicherheit der Berechnung des Fledermausverlusts</i> .....	20
<i>Abbildung 5.14 Häufigkeitsverteilung der angesetzten Unsicherheit der Berechnung des Schallverlusts</i> .....	21

## Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2.1 Liste der Teilnehmer*innen am Ringversuch</i> .....	6
--------------------------------------------------------------------	---

## 1 Ringversuch Verluste – Kontext des vorliegenden Berichtes

In den Jahren 2005, 2008 und 2013 hat der Windgutachterbeirat des BWE e.V. Ringvergleiche zur Herstellung des Langzeitbezugs von WEA-Betriebsdaten durchgeführt und publiziert. Zudem wurde im Jahr 2015 ein Vergleich der Verfahren und Spannweite der Ergebnisse bei der Erstellung von Windgutachten durchgeführt. Schließlich fand 2018/2019 ein weiterer Ringversuch zur Auswertung von Messdaten einer Anemometer-Windmessung statt.

Aufgrund der immer umfangreicheren genehmigungsrechtlichen Auflagen rückte in letzter Zeit mit der Veröffentlichung der Revisionen 10 und 11 der TR6 die Ermittlung von Ertragsverlusten stärker in den allgemeinen Fokus. In der Sitzung des BWE-Windgutachterbeirats vom 30.03.2021 wurde daher die Durchführung eines Ringversuchs zur Ermittlung von Ertragsverlusten beschlossen.

In der im vorliegenden Bericht dokumentierten ersten Phase des Ringversuchs wurden die Herangehensweisen und Spannweiten der Ergebnisse bei der Ertragsverlustermittlung für die Parameter Fledermausabschaltung und Schallreduktion ausgewertet und verglichen.

Die Vorbereitungs- und Auswertungsgruppe des Ringversuchs, das Organisationsteam, bestand aus den folgenden Personen:

Jan Thomas Beißwenger, Juwi AG

Christina Hasse, Bundesverband Windenergie e.V.

Andreas Köhl, Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH

Anne Lepinski, Bundesverband Windenergie e.V. (zeitweise)

Jan Raabe, UKA Umweltgerechte Kraftanlagen GmbH & Co. KG

Manuela Scholz, Bundesverband Windenergie e.V.

Sabine Theunert, Meteorologisches Beratungsbüro

Florian Weber, TÜV SÜD Industrie Service GmbH

## 2 Liste der Teilnehmer\*innen

Folgende Firmen nahmen am Ringversuch teil:

ABO Wind AG
anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
anemos-jacob GmbH
Deutsche Windguard Consulting GmbH
enosite GmbH
EWS Consulting GmbH
Fichtner GmbH & Co. KG
GEO-NET Umweltconsulting GmbH
IEL GmbH
Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH
JH Wind GmbH
juwi AG
Menzio GmbH
Meteorologisches Beratungsbüro
MeteoServ - Ingenieurbüro für Meteorologische Dienstleistungen GbR
Pavana GmbH
Plankon Ingenieurbüro für Tragwerks-, Objekt und Energieplanung
Ramboll Deutschland GmbH
reko GmbH & Co. KG
renerco plan consult GmbH
RSC GmbH
Tractebel Engineering GmbH
TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
TÜV SÜD Industrie Service GmbH
UL International GmbH - Location Oldenburg
VSB Neue Energien Deutschland GmbH
wpd Europe GmbH
WIND-consult GmbH

*Tabelle 2.1 Liste der Teilnehmer\*innen am Ringversuch*

Anmerkung: Die Teilnehmer\*innen sind alphabetisch geordnet, die Reihenfolge steht nicht im Zusammenhang mit den bei der Anonymisierung der Ergebnisse vergebenen Teilnehmer\*innen -IDs.

### 3 Aufgabenstellung sowie Inhalt und Umfang der Ergebnismeldungen

Die im Rahmen dieses Berichtes gestellten Aufgaben sollten gemäß den Anforderungen der Technischen Richtlinie TR6 „Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen“ (Rev. 11 vom 21.09.2020, Bezug über die FGW – Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien e.V.) ausgearbeitet werden. Projektgrundlage bildet der fiktive Windpark „Gilkenheide / Niedersachsen“, welcher bereits für den Ringvergleich Windgutachten im Jahr 2015 als Grundlage diente. Hierfür wurden Vorgaben zu den zu betrachtenden Szenarien hinsichtlich der Anlagenabschaltungen bzw. Leistungsreduzierungen sowie weitere Dokumente und Informationen zur Verfügung gestellt.

Für die Durchführung des Ringversuchs wurden im Einzelnen die folgenden Daten und Informationen geliefert:

- Standortbeschreibung (Kurzbeschreibung, 360°-Panorama) des geplanten Anlagenstandorts,
- WEA-Typ, Nabenhöhe und mittlerer Jahresertrag der geplanten WEA,
- Angaben zum Windklima (Windrichtungsverteilung, Weibull-Parameter) am geplanten Anlagenstandort in 166 m Höhe über Grund,
- (fiktiver) Auszug aus dem Genehmigungsbescheid mit Angaben zu den notwendigen Abschaltungen zum Schutz von Fledermäusen sowie Vorgaben zum nächtlichen schallreduzierten Betrieb der geplanten Anlage,
- Leistungskennlinie (Normalbetrieb und zu berücksichtigender schallreduzierter Betriebsmodus) der geplanten WEA,
- Vorgefertigte Ergebnisdatei mit Eingabemaske für die ermittelten Ausgangswerte und berechneten Verluste.

Die Teilnehmer\*innen sollten in einem ersten Schritt die ermittelten Wind- und Temperaturwerte für den betrachteten Zeitraum (Juni – September) eintragen, jeweils für die Originalzeitreihe und die skalierte Zeitreihe.

Im nächsten Schritt wurden die ermittelten prozentualen als auch absoluten Verluste in den einzelnen Monaten abgefragt. Die Verluste sollten hierbei für drei Szenarien berechnet werden.

Szenario 1: Feste Abschaltparameter für die fledermausbedingte Abschaltung

Szenario 2: Fledermausbedingte Abschaltung auf Basis von Nachtzehnteln

Szenario 3: Kombination des Szenarios 2 mit einer zusätzlichen Schallreduktion zur Nachtzeit

Weiterhin sollten die Teilnehmer\*innen die verwendeten Methoden und Verfahrensweisen für die Berechnung der Verluste erläutern. Hierzu wurden Informationen hinsichtlich der verwendeten Datenquellen, der Bearbeitungsmethode (Filterung, Datenaufbereitung), des Berechnungsprozesses (Extrapolationsmethode, Kalibrierung) und der Anpassung der Leistungskurve abgefragt.

Zum Schluss sollten die Teilnehmenden die Unsicherheit der berechneten Verluste ermitteln.

Die Planung des vorliegenden Ringversuches wurde durch das Organisationsteam im Rahmen des BWE-Windgutachterbeirates durchgeführt. Die fachliche Grundlage bildete die Technische Richtlinie - TR 6 „Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen“ in der aktuell gültigen Revision 11, herausgegeben von der Fördergesellschaft Windenergie e. V. (FGW).

Diesen Ringversuch haben insgesamt 28 Teilnehmer\*innen durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Hinblick auf Vergleichbarkeit statistisch ausgewertet und in Diagrammen und Tabellen dargestellt.

Die Genauigkeit der Ergebnisangaben war durch die einheitlichen Formulare gegeben bzw. wurde bei der Übernahme auf die gleiche Anzahl von Dezimalstellen gerundet oder korrigiert. Mittels der Formulare wurden ebenfalls Angaben zu den gewählten Datensätzen und Arbeitsmethoden erfasst.

Die Ergebnismeldungen aller 28 Teilnehmer\*innen wurden harmonisiert und den Teilnehmenden zur Verfügung gestellt. Alle Ertragswerte wurden vor der Auswertung in die Einheit kWh/a umgerechnet. Nullwerte wurden in der Tabelle BWE-RV-WGA-Ergebnismeldungen.xlsx bestehen gelassen, jedoch bei den Auswertungen nicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Auswertungen wurden ggf. erheblich abweichende Ergebnisse von einzelnen Teilnehmer\*innen nicht berücksichtigt, dieses ist in den entsprechenden Textstellen erläutert worden.



## 4 Ergebnisse auf einen Blick

Die Ergebnisse des Ringversuchs zeigen die Ertragsverluste durch Schallreduktion sowie fledermausbedingte Abschaltungen in dem Zeitraum von Juni bis September 2021. Die Anlage erreichte einen Gesamtertrag von 4690 MWh in den genannten vier Monaten (Juni: 1060 MWh, Juli: 1111 MWh, August 1183 MWh, September 1336 MWh). Nach der Berechnung der Mittelwerte<sup>1</sup> der Ertragsverluste in den vier Monaten zeigen sich zusammenfassend folgende Ergebnisse. Abbildung 4.1 stellt die Ertragsverluste der einzelnen Monate unterteilt in feste Abschaltparameter für die fledermausbedingte Abschaltung, fledermausbedingte Abschaltung auf Basis von Nachtzehnteln, Schallreduktion und die Kombination des Szenarios 2 mit einer zusätzlichen Schallreduktion zur Nachtzeit dar.

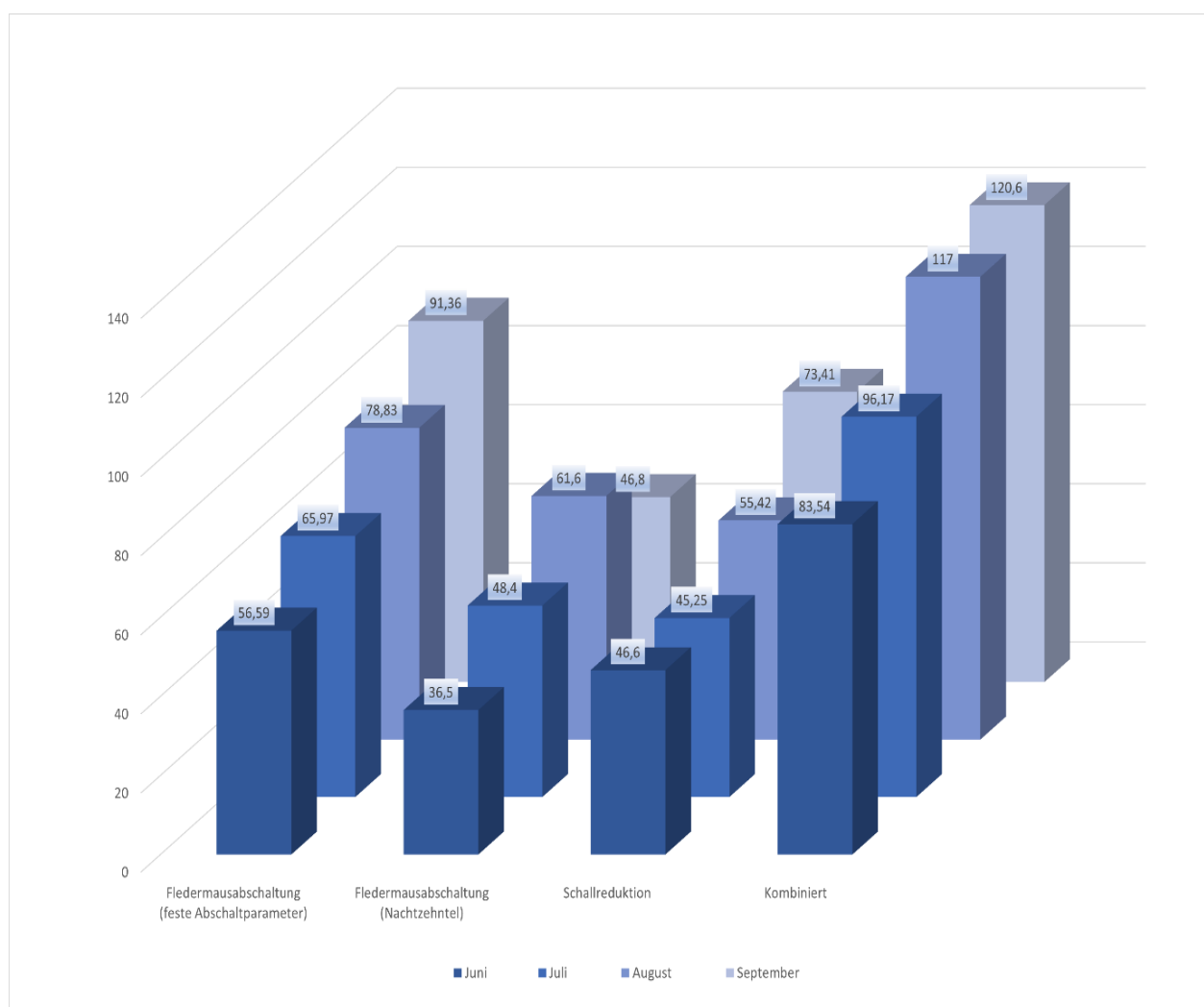


Abbildung 4.1 Mittelwerte der Ertragsverluste von Juni bis September in MWh

<sup>1</sup> Mittelwert bezieht sich rein auf die vier ausgewerteten Monate (Juni-September 2021)

Die nächste Grafik (Abbildung 4.2) zeigt die errechneten Mittelwerte der Ertragsverluste für die vier Szenarien in Prozent an. Es wird dargestellt, wie viel Erträge innerhalb des genannten Zeitraums durch Abschaltungen monatlich verloren gehen.

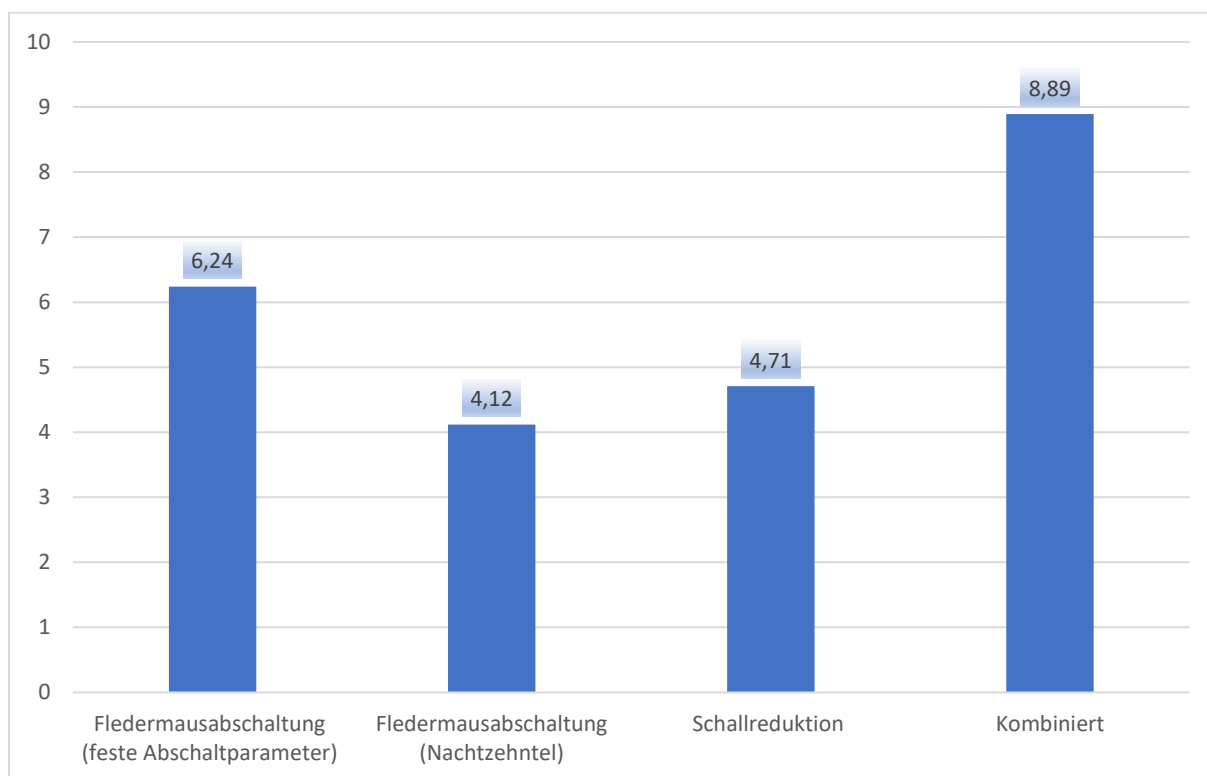


Abbildung 4.2 Mittelwert der Ertragsverluste von Juni bis September [%]

## 5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Grundlage des vorliegenden Ringversuchs waren Aufgabenstellungen zur Abschätzung des Fledermaus- und Schallverlustes, wobei es um die beiden Aspekte Datenaufbereitung und Ergebnisbewertung ging. Dem ersten Block stehen beispielsweise die reine Aufbereitung der Eingangsdaten wie Wind und Temperatur hinsichtlich diverser Datenquellen, methodisches Vorgehen und Zielparameter im Fokus. Im zweiten Block wurden die Ergebnisse des Ertragsverlustes dargestellt und die Einflussfaktoren bzgl. der Eingangswerte und ihrer Aufbereitung untersucht. Die Ergebnisdarstellung umfasst die Fledermausverluste (feste Abschaltparameter und Nachtzehntel) und Schallverluste sowie die Kombination der beiden Verlustarten. Die Größe der Verlustwerte ist abhängig von den jeweiligen Eingangsparametern Wind und Temperatur (jeweils aus dem Zeitraum 22-6 Uhr).

Die Datenanalyse und ihre Darstellung erfolgte teilnehmerscharf, die Darstellung im vorliegenden Bericht konzentriert sich auf die Spannweite und Variation der Ergebnisse ohne Teilnehmerbezug.

Zur Untersuchung der Datensatzabhängigkeit wurden, teilnehmerscharf, Mittelwerte der skalierten Eingangsparameter Wind und Temperatur und deren Abweichung vom gemeinsamen Mittelwert betrachtet. Bei beiden Parametern ergeben sich bei 2/3 der Teilnehmer\*innen geringe Abweichungen, bei der Temperatur von kleiner als 0,5°C, bei der Windgeschwindigkeit liegen 1/3 der Teilnehmer\*innen beim Mittelwert auf 0.1 m/s zusammen, während hier größere Abweichungen auftreten. Interessanterweise ist hierbei übergreifend festzustellen, dass trotz unterschiedlicher Datenquellen und verschiedener Anpassungsmethoden die skalierten Windgeschwindigkeiten eine erheblich geringere Streuung aufweisen als die Originaldaten. Bei der Temperatur wie auch der Windgeschwindigkeit ist das Mittelfeld der Werte überwiegend der Datenquelle EMD-WRF zuzuordnen, während größere Abweichungen mit ERA5 bzw. sonstigen Datenquellen verbunden sind.

### 5.1.1 Größe der Ertragsverluste Fledermaus und Schall

Insgesamt liegen die prozentualen Abschaltverluste für Fledermaus mit festen Abschaltparametern sowie auch bei den Nachtzehnteln untereinander jeweils nahe beieinander, bis auf zwei deutliche Ausreißer nach oben sowie drei nach unten. Alle anderen Teilnehmer\*innen haben vergleichbare Ergebnisse erzielt. Im Vergleich der beiden Berechnungsmethoden fallen die Ergebniswerte der Nachtzehntel meist kleiner aus.

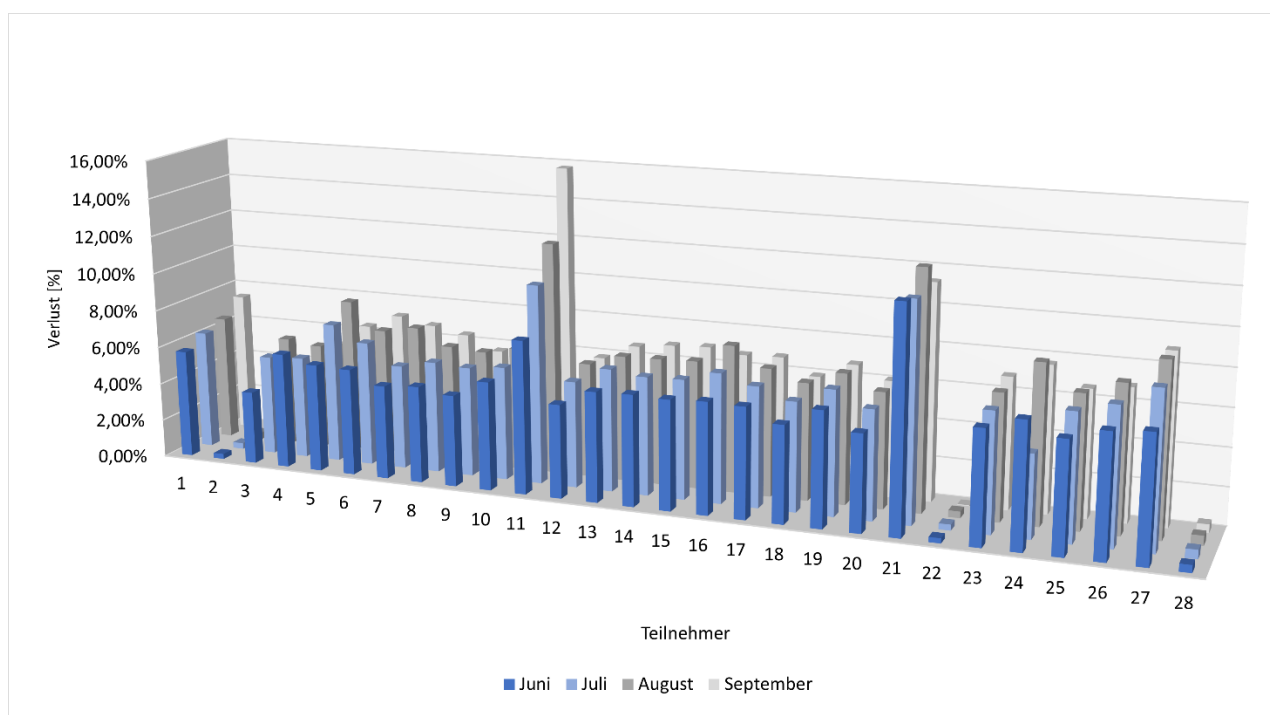


Abbildung 5.1 Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung [%] mit festen Abschaltparametern

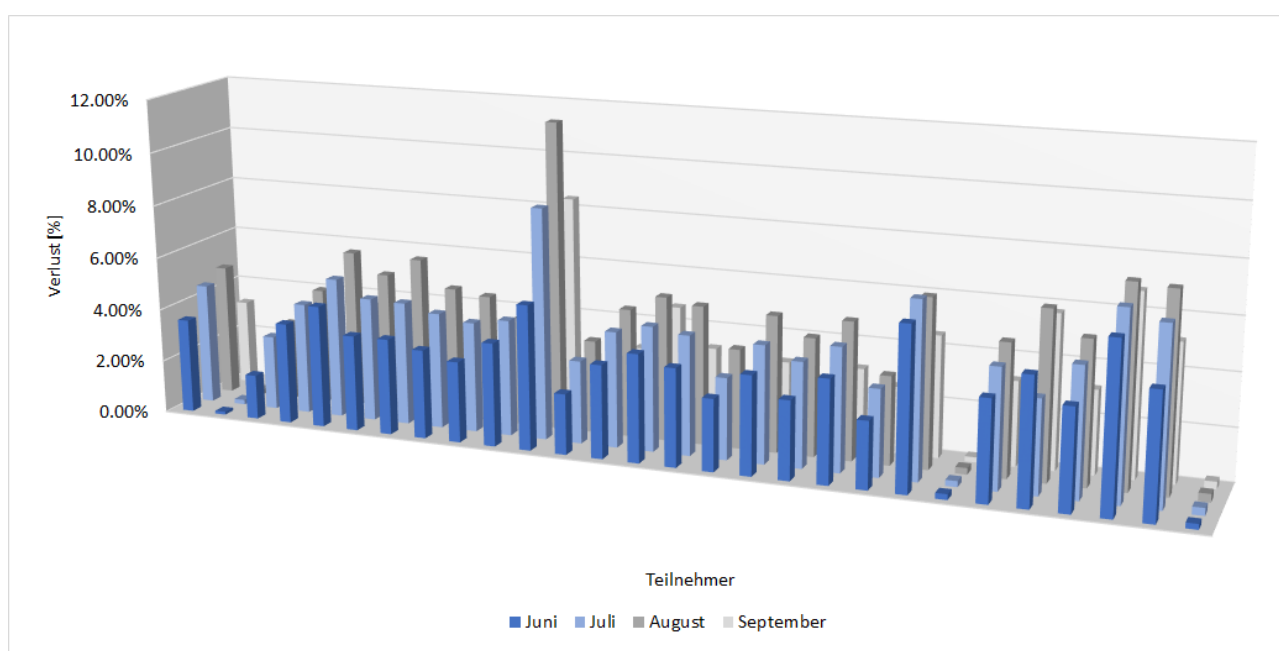


Abbildung 5.2 Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung [%] mit Nachtzehteln

In den nachfolgenden Boxplots werden die Unterschiede der monatlichen Ertragsverluste sowie der beiden Berechnungsmethoden nochmals deutlich. Innerhalb der Box liegen jeweils 50% der Ergebnisse, wobei die untere Kante der Box das untere Quantil, die obere Kante das obere Quantil und die Linie innerhalb der Box den Median markiert. Die „Antennen“ („Whisker“) enden jeweils beim letzten Wert,

der die 1,5fache Länge der Box unterschreitet, aller darüberhinausgehenden Werte werden als Ausreißer klassifiziert.

Bei der Betrachtung der Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung (feste Abschaltparameter) zeigt sich aufgrund der meteorologischen Bedingungen eine Zunahme der Verluste von Juni bis August. Der nochmalige Anstieg der Verluste im September ist durch die, laut Aufgabenstellung verlängerte Abschaltzeit zu erklären. Mit Ausnahme einzelner Ausreißer liegen die berechneten Verluste nah zusammen. Nur im August ist die Streubreite der Ergebnisse größer.

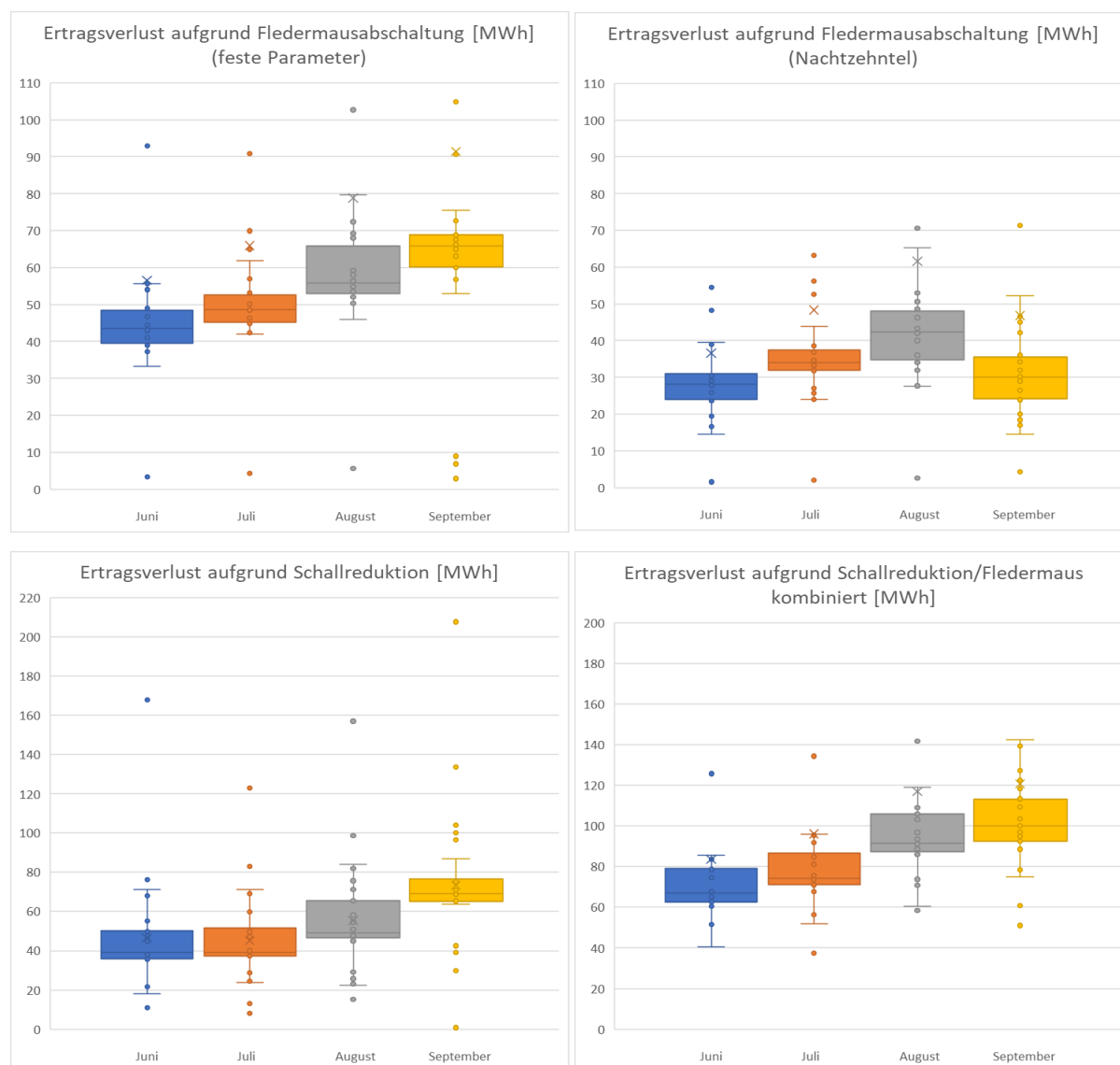


Abbildung 5.3 Monatliche Boxplots der Ertragsverluste

Ein etwas anderes Bild zeigt sich bei den auf Basis von Nachtzehnteln berechneten Fledermausverlusten. Die Spannweite der Ergebnisse ist deutlich geringer als bei der Berechnung mit festen Abschaltparametern. Im Juni und Juli ist die Box mit 50% der Ergebnisse schmaler, im August vergleichbar und im September breiter. Zudem streuen die Ergebnisse bei den letztgenannten Monaten stärker.

Die Ergebnisse der Schallverlustberechnung zeigen wiederum ein erwartbares Resultat. Nach den windschwächeren Sommermonaten steigen die Verluste beim Übergang zum Herbst deutlich an. Die Streuung der Ergebnisse ist jedoch recht hoch, insbesondere im September.

Das Diagramm mit den kombinierten Verlusten Schall/Fledermaus (Nachtzehntel) zeigt schließlich das erwartete Bild: die Verluste steigen von Juni bis September an, ebenso die Spannweite, wobei nur noch ein bis zwei Ausreißer pro Monat auftreten.

### 5.1.2 Einflussfaktoren auf die Verluste

Ein wichtiges Thema sind die Anpassungsmethoden und Zielparameter. Für die Temperatur ist dies das vertikale Temperaturprofil: Ein Drittel der Teilnehmer\*innen hat keine Anpassungen vorgenommen, während sich ein weiteres Drittel am EMD-Scaler beziehungsweise an der Standardatmosphäre orientiert hat. Das restliche Drittel hat andere Methoden verwendet. Ein Drittel der Teilnehmer\*innen hat zudem weitere externe Daten beim Skalierungsprozess eingesetzt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse ergeben sich Hinweise, dass die bestehenden Unterschiede neben der Datenquelle auch von der Skalierung des Zielparameters abhängen.

Auch wenn die Verlustwerte von vielen Teilnehmenden nahe beieinanderliegen, so sind doch die Größe der Eingangsparameter sowie die Anpassungsmethoden recht unterschiedlich und einfache lineare Zusammenhänge sind nicht ableitbar.

#### 5.1.2.1 Reihenfolge und Methode der Verlustkombination Fledermaus/Schall

Neben der Größe der Verluste wurde auch abgefragt, mit welcher Methode und in welcher Reihenfolge die Verluste von Fledermausabschaltung und Schallreduktion kombiniert wurden.

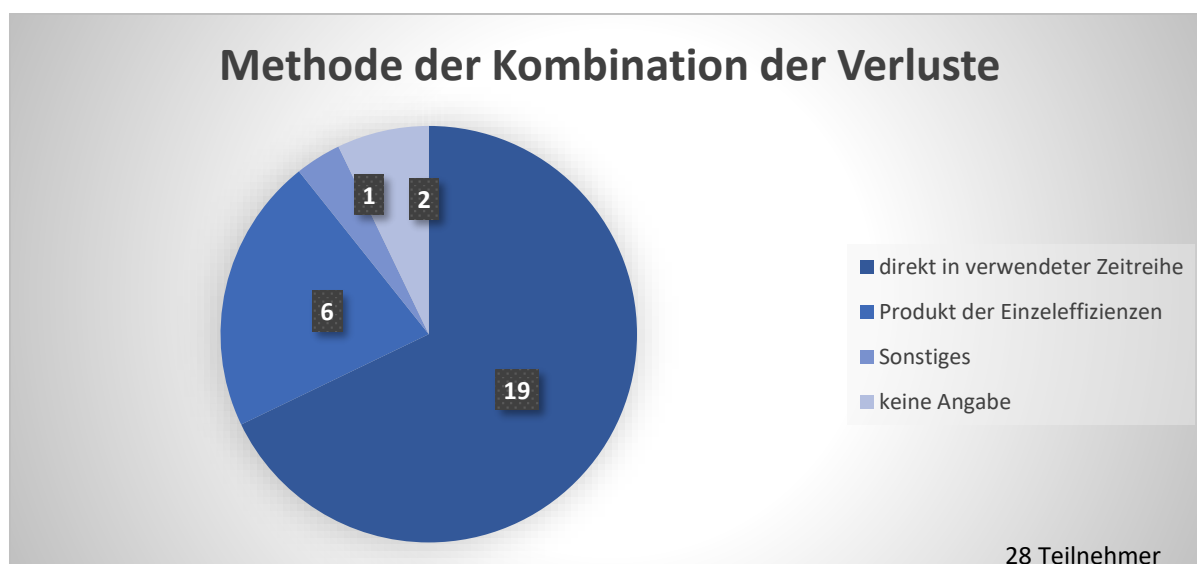


Abbildung 5.4 Häufigkeitsverteilung der angewendeten Methoden der Verlustkombination

Die Abbildung 5.4 zeigt die Häufigkeiten der von dem Teilnehmer\*innen angewendeten Methoden zur Kombination der ermittelten Ertragsverluste durch Fledermausabschaltung und Schallreduktion. Ca. 2/3



Abbildung 5.6 Kombiniertes Ertragsverlust Schallreduktion/Fledermaus (sortiert nach Höhe des Ertragsverlusts)

In Abbildung 5.6 sind die kombinierten Ertragsverluste aufsteigend sortiert nach ihrer Größe dargestellt; die Einfärbung der Säulen zeigt jeweils die angewendete Kombinationsmethode. Es wird ersichtlich, dass die Teilnehmer\*innen, die die Verluste aus dem Produkt der Einzeleffizienzen kombiniert haben, entweder im unteren oder im oberen Bereich bei der Höhe des Ertragsverlusts liegen. Die Teilnehmer\*innen, bei denen die Kombination direkt in der verwendeten Zeitreihe erfolgte, konzentrieren sich im mittleren Bereich. Auch die Spannweite der Größe des Ertragsverlusts ist bei diesen Teilnehmer\*innen geringer.

### 5.1.2.2 Abhängigkeit des Ertragsverlusts Fledermaus von mittlerer Temperatur/Windgeschwindigkeit und verwendetem Datensatz

Weiterhin wurde die Abhängigkeit des Fledermaus-Ertragsverlustes von den Steuerungsparametern Wind und Temperatur untersucht. In der nachfolgenden Abbildung 5.7 sind als Beispiel die Ertragsverluste für die Nachtzehntel zusammen mit den Windgeschwindigkeiten und Temperaturen aufgeführt. Die Darstellung ist nach der Rangfolge des Ertragsverlustes sortiert.

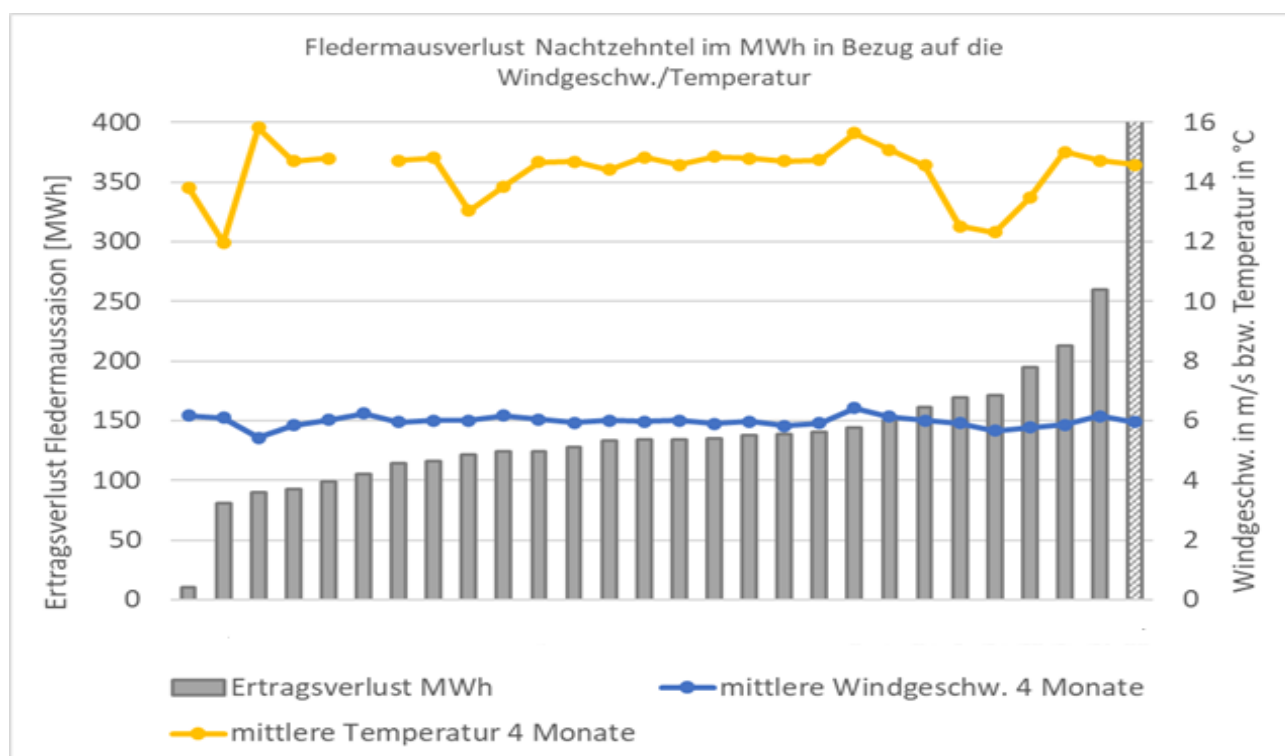


Abbildung 5.7 Ertragsverluste Fledermaus (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Temperatur (Nachtperiode 22-6 Uhr), sortiert nach Größe des Ertragsverlustes



Es ist eine gewisse Tendenz feststellbar, dass die mittlere Windgeschwindigkeit bei den höchsten Ertragsverlustwerten kleiner ausfällt, während hier auch viele niedrige mittlere Temperaturen feststellbar sind, aber nicht durchgängig.

Nachfolgend wird der Ertragsverlust in Abhängigkeit von der Datenquelle der Eingangsparameter abgebildet, wobei hier Darstellung bzgl. der Nachtzehntel erfolgt.

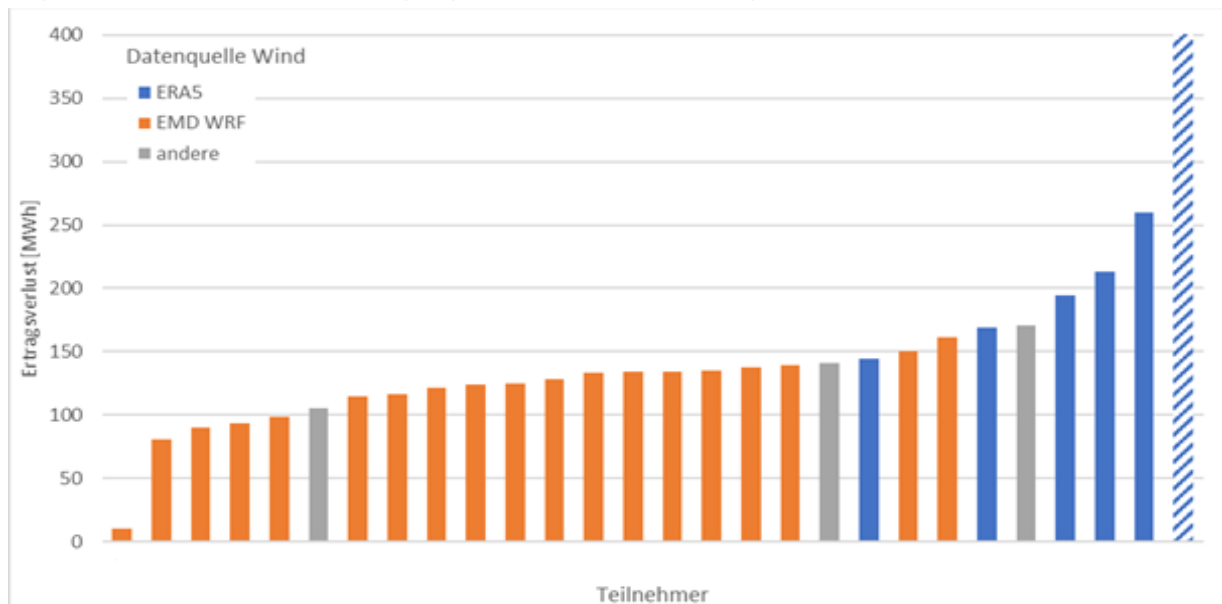


Abbildung 5.8 Ertragsverlust aufgrund Fledermausabschaltung (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind

Die nach Größe des Ertragsverlusts für die Fledermausabschaltung sortierten Ergebnisse der Datenquelle Wind in Abbildung 5.8 zeigen deutlich, dass die Verwendung der ERA5-Daten zu höheren ermittelten Verlusten führte als die Nutzung der EMD-WRF-Daten.

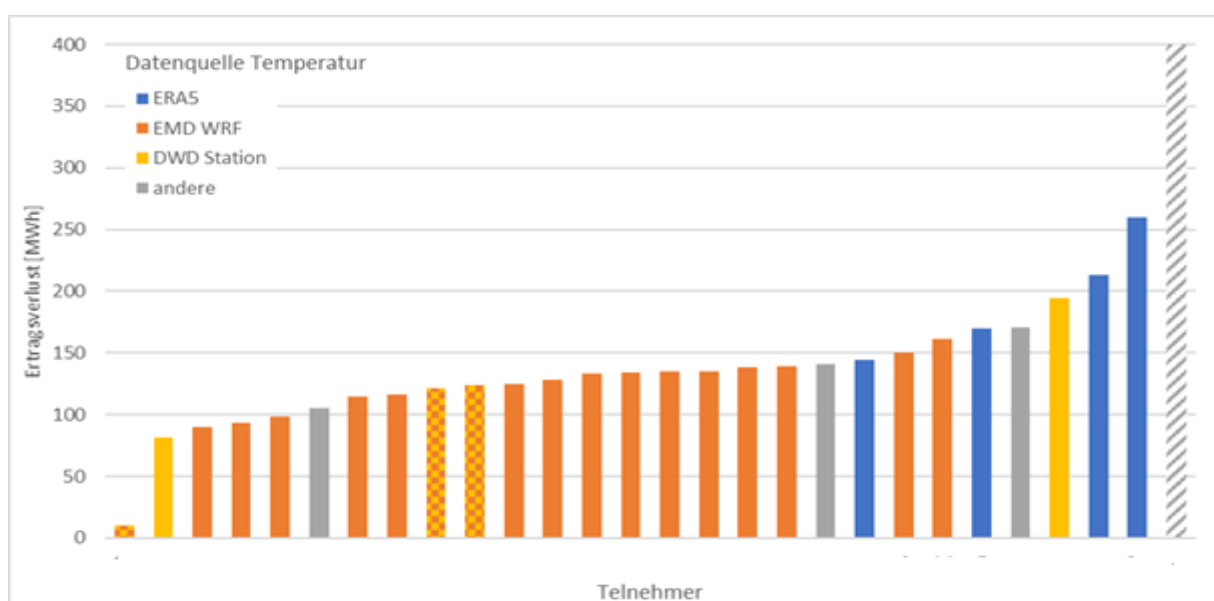


Abbildung 5.9 Ertragsverlust aufgrund Fledermausabschaltung (Nachtzehntel) in Abhängigkeit von der Datenquelle Temperatur

Ein ähnliches Bild zeigt Abbildung 5.9, in der die Datenquelle für die Temperatur veranschaulicht ist. Auch hier führte die Verwendung von ERA5-Daten zu höheren Ertragsverlusten als die Nutzung der EMD-WRF-Daten. Die (zusätzliche) Nutzung von Daten einer DWD-Station ergibt kein klares Bild: die beiden Teilnehmer\*innen, die ausschließlich eine DWD-Station verwendeten, haben entweder einen deutlich geringeren oder einen deutlich höheren Ertragsverlust als die anderen Teilnehmer\*innen ermittelt. Die Einbeziehung zusätzlicher Daten einer DWD-Station durch zwei andere Teilnehmer\*innen zeigte keinen Unterschied zur denen, die ausschließlich EMD WRF-Daten nutzten (ein Teilnehmender wurde als Ausreißer nicht berücksichtigt).

### 5.1.2.3 Abhängigkeit Ertragsverluste Schall von verwendeten Datensätzen

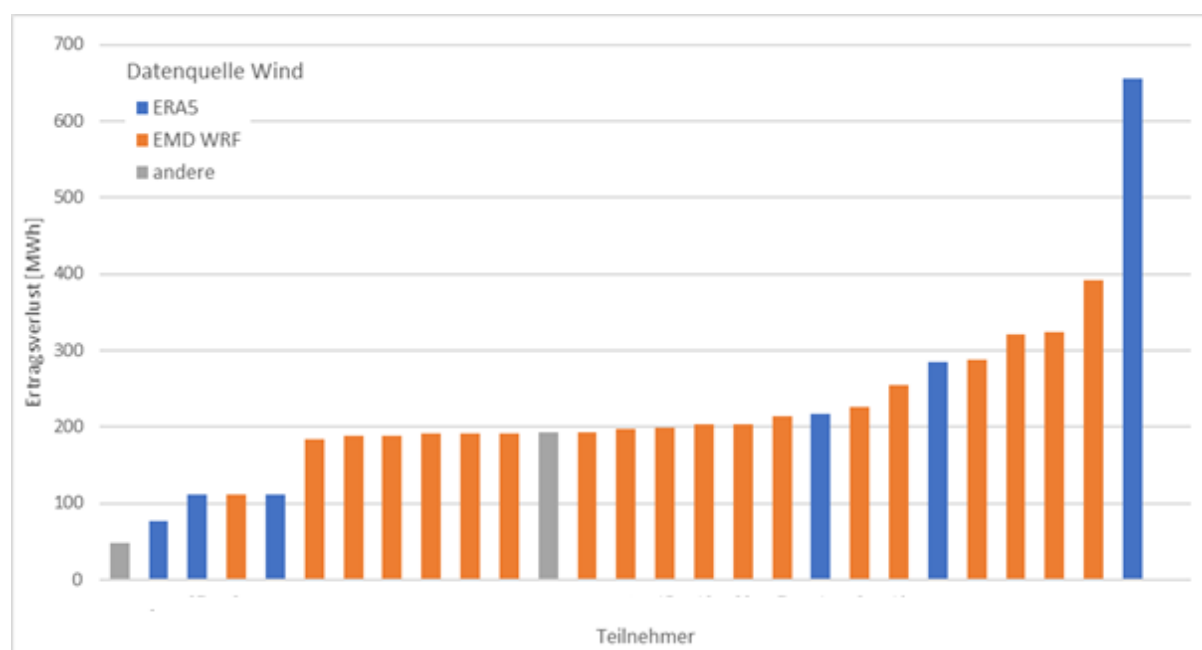


Abbildung 5.10 Ertragsverlust aufgrund Schallreduktion in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind

In Abbildung 5.10 sind die Ertragsverluste durch Schallreduktion aufsteigend nach der Höhe des Verlusts sortiert dargestellt. Hier zeigt sich, dass die Verwendung des ERA5-Datensatzes tendenziell entweder zu geringeren oder zu höheren Verlusten führt als die Nutzung des EMD-WRF-Datensatzes. Etwa die Hälfte aller Teilnehmer\*innen hat nahezu identische Schallverluste ermittelt, wobei ausschließlich der EMD-WRF-Datensatz genutzt wurde.

### 5.1.2.4 Abhängigkeit kombinierte Ertragsverluste Fledermaus/Schall von verwendeten Datensätzen

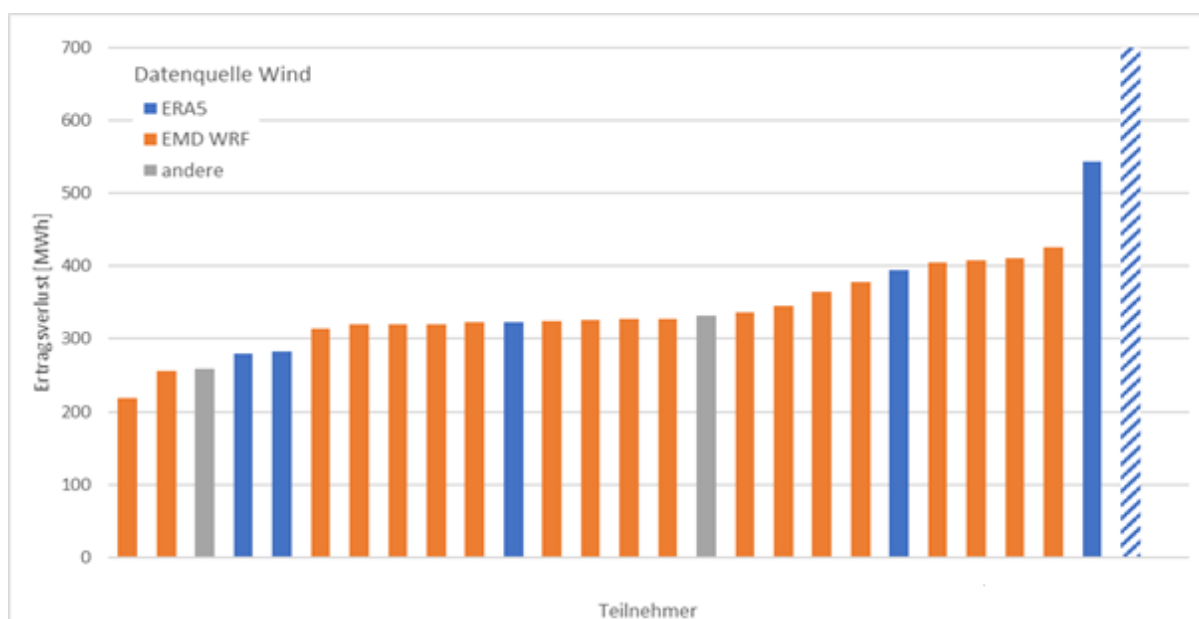


Abbildung 5.11 Kombiniertes Ertragsverlust Fledermaus/Schall in Abhängigkeit von der Datenquelle Wind

Die Sortierung der Ergebnisse der kombinierten Ertragsverluste aufgrund von Fledermausabschaltung und Schallreduktion anhand der Höhe des Verlusts zeigt wiederum keine erkennbare Abhängigkeit von der verwendeten Datenquelle für die Windgeschwindigkeit. Es ist lediglich ersichtlich, dass mehrere Teilnehmer\*innen, die den ERA5-Datensatz verwendet haben, eher im unteren oder oberen Bereich der Ertragsverluste liegen.

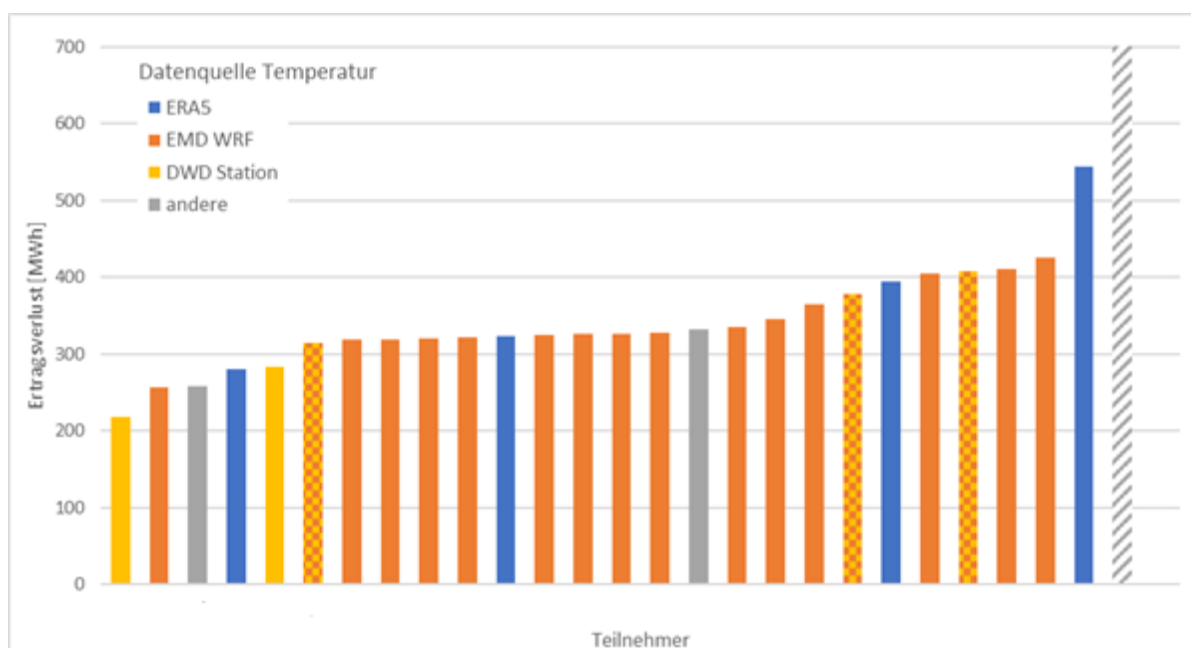


Abbildung 5.12 Kombiniertes Ertragsverlust Fledermaus/Schall in Abhängigkeit von der Datenquelle Temperatur

Auch bei der verwendeten Datenquelle für die Temperatur ist keine Abhängigkeit von der Wahl des Datensatzes zu erkennen. Lediglich die ausschließliche Verwendung einer DWD-Station führt zu geringeren Ertragsverlusten, die Kombination von DWD-Daten mit EMD-WRF-Daten hat augenscheinlich keinen Einfluss auf das Ergebnis. Die Teilnehmer\*innen, die den ERA5-Datensatz verwendet haben, sind gleichmäßig innerhalb des Diagramms verteilt.

### 5.1.3 Auswertung der Unsicherheitsschätzungen

Im Folgenden Abschnitt werden die im Ringversuch abgefragten Angaben zur Unsicherheit der ermittelten Ertragsverluste kurz statistisch beschrieben und ausgewertet.

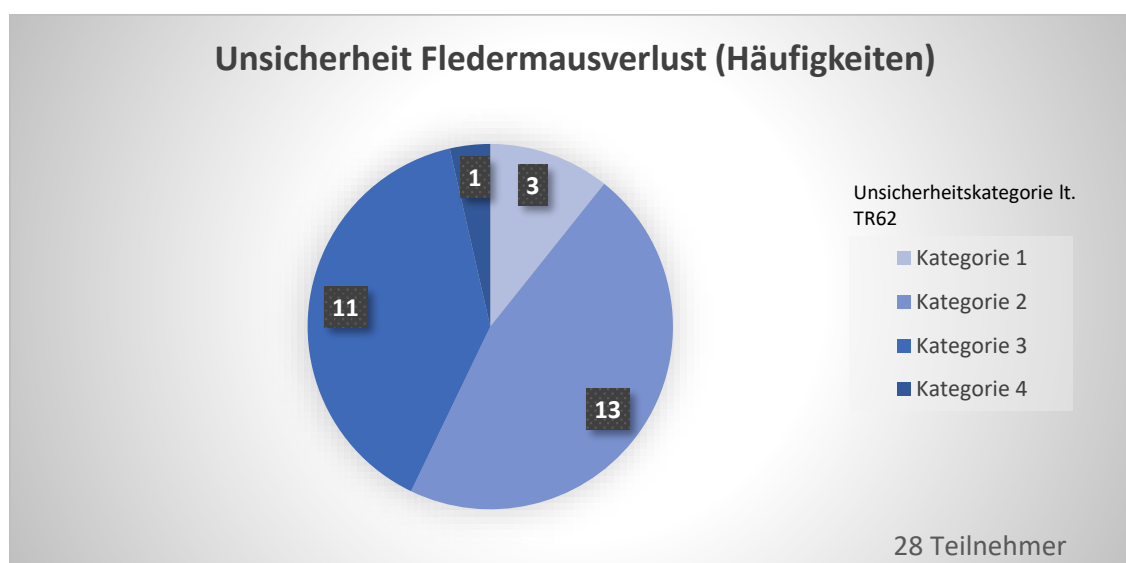


Abbildung 5.13 Häufigkeitsverteilung der angesetzten Unsicherheit der Berechnung des Fledermausverlusts

In Abbildung 5.13 sind die Häufigkeiten der von dem Teilnehmer\*innen gewählten Unsicherheitskategorie lt. TR6 für die Unsicherheit der Fledermausverlustberechnung dargestellt. Es zeigt sich, dass die überwiegende Anzahl der Teilnehmer\*innen (86%) die Kategorie 2 (Berechnungsmodell oder Eingangsdaten unsicher) bzw. Kategorie 3 (Berechnungsmodell und Eingangsdaten unsicher) gewählt hat.

Bei allen Teilnehmer\*innen, die Unsicherheitskategorie 2 angesetzt haben, wird das Berechnungsmodell als sicher angesehen, die Eingangsdaten jedoch nicht. Hier wird auf die abweichende Verteilung von Windgeschwindigkeit und Temperatur in den verwendeten Reanalysedaten oder die Umsetzung der Abschaltparameter in der Anlage (unbekannte Hysterese, Unsicherheit der Temperaturmessung) verwiesen. Die Teilnehmer\*innen mit der gewählten Unsicherheitskategorie 3 verorteten das Verhalten und die technischen Eigenschaften der WEA beim Punkt „Modell“ und haben daher die Kategorie mit der höheren Unsicherheit angewendet.

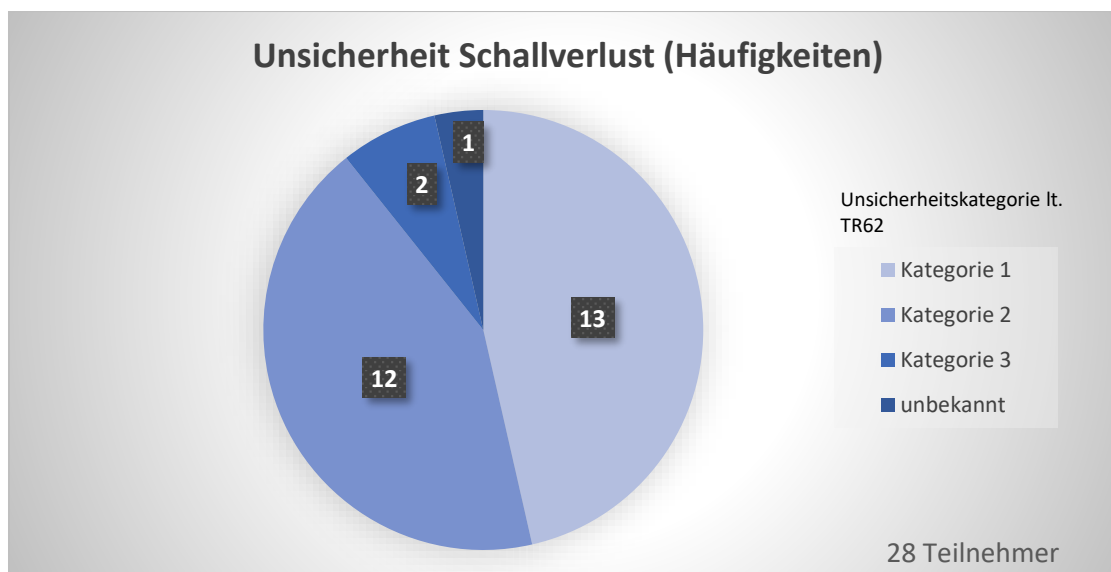


Abbildung 5.14 Häufigkeitsverteilung der angesetzten Unsicherheit der Berechnung des Schallverlusts

Die Abbildung 5.14 zeigt die Häufigkeitsverteilung der von den Teilnehmenden gewählten Unsicherheitskategorie lt. TR6 für die Unsicherheit der Berechnung des Schallverlusts. Hier wurde von fast 90% der Teilnehmenden die Kategorie 1 (Berechnungsmodell sicher und Eingangsdaten sicher) bzw. Kategorie 2 (Berechnungsmodell oder Eingangsdaten unsicher) angesetzt.

#### 5.1.4 Fazit und Schlussfolgerungen

Die Auswertung der Ertragsverluste soll eine Übersicht über die verwendeten Datensätze und das methodische Vorgehen zur Abschätzung der Ertragsverluste bieten. Auch wenn sich insgesamt zeigt, dass die Fledermausverluste, hier anhand fester Anschlagparameter bzw. Nachtzehntel, sowie die Schallverluste bei etwa 2/3 der Teilnehmer\*innen nahe beieinanderliegen, so unterscheidet sich doch bei den einzelnen Teilnehmer\*innen das methodische Vorgehen.

Im Detail zeigen die Fledermausverluste der einzelnen Teilnehmer\*innen neben den saisonalen Variationen insbesondere bei den Nachtzehnteln eine deutlich geringere Spannbreite der Ergebnisse, während die Streuung der Ergebnisse beim Schallverlust deutlich größer ist. Auch wenn die Verlustwerte von vielen Teilnehmenden nahe beieinanderliegen, so sind doch die Größe der Eingangsparameter sowie die Anpassungsmethoden recht unterschiedlich und einfache lineare Zusammenhänge sind nicht ableitbar.

Beim Fledermausverlust führt die Datenquelle ERA5 bei den Temperaturen sowie bei der Windgeschwindigkeit zu höheren Ertragsverlustwerten, während die mittleren Werte den EMD-WRF-Daten zuzuordnen sind. Auch DWD-Stationen zeigen einen deutlich geringeren oder deutlich höheren Ertragsverlust.

Der direkte Vergleich der beiden Eingangsparameter mit den Ertragsverlustwerten weist darauf hin, dass die mittlere Windgeschwindigkeit bei den höchsten Verlustwerten häufig kleiner ausfällt, aber auch viele niedrige mittlere Temperaturen feststellbar sind, weshalb eine klare Aussage diesbezüglich schwierig ist. Weiterhin ist der Prozentanteil von Windwerten kleiner/gleich 6 m/s bei den höheren

Ertragsverlusten geringer, während bei den Temperaturen individuelle Unterschiede in den Prozentanteilen von Temperaturen oberhalb dieses Grenzwertes in den einzelnen Monaten feststellbar sind. Diese Ergebnisse könnten auf recht unterschiedlich ausgeprägte Häufigkeitsverteilungen der Geschwindigkeit hinweisen, zumal auch die Maxima der Windwerte recht unterschiedlich ausfallen.

Bei den Schallverlusten zeigt sich, dass die Hälfte aller Teilnehmer\*innen mit dem EMD-WRF-Datensatz nahezu identische Verlustwerte ermittelt haben.

Ein weiteres Auseinanderdriften von Ergebnissen ist auf die Methoden und Reihenfolge der Verlustkombination zurückzuführen, wobei sich hauptsächlich durch die Methode der Kombination eine Differenzierung ergibt.

Die auf den ersten Blick erfreulich große Anzahl ähnlicher Ergebnisse sollte nicht darüber hinwegtäuschen, dass es im Detail doch recht unterschiedliche Ergebnisse geben kann, wenn man z.B. die einzelnen Monate betrachtet. Für ein tieferes Verständnis und Nachvollziehbarkeit der eigenen Ergebnisse ist ein genauere Vergleich mit den Ergebnissen der anderen Teilnehmer\*innen wichtig. Es zeigt sich, dass für eine weitergehende Dateninterpretation die Häufigkeitsverteilungen der Eingangsparameter mitgetrachtet werden sollten. Weiterhin sollte die Sensitivität der Eingangsparameter und ihrer Anpassungsmethoden auf das Ergebnis der Verlustschätzung analysiert werden.

Phase I lieferte erste Erfahrungswerte zum methodischen Umfang und der Durchführung eines Ringversuchs Ertragsverluste. Die bereits ansatzweise erfolgte Klassifizierung des methodischen Vorgehens könnte noch verfeinert und durch detailliertere Vorgaben bei einer weiteren Phase II des Ringvergleichs zum Einsatz kommen.

## 6 Danksagung

Die mit der Organisation des Ringversuchs Messdatenauswertung betraute Arbeitsgruppe dankt

- den im BWE-Windgutachterbeirat vertretenen Unternehmen für das erwiesene Vertrauen,
- dem Kompetenzzentrum BWE Geschäftsstelle Fachabteilung Wind für die organisatorische Unterstützung und
- den 28 Teilnehmer\*innen am Ringvergleich für ihre Bereitschaft zur kostenpflichtigen Teilnahme sowie den mit der Lösung der Aufgabenstellungen verbundenen Aufwand.

Das Organisationsteam des Ringvergleichs Ertragsverluste, im August 2022