

Untersuchungen zum Tiefsee-Hintergrundrauschen am ANTARES-Standort

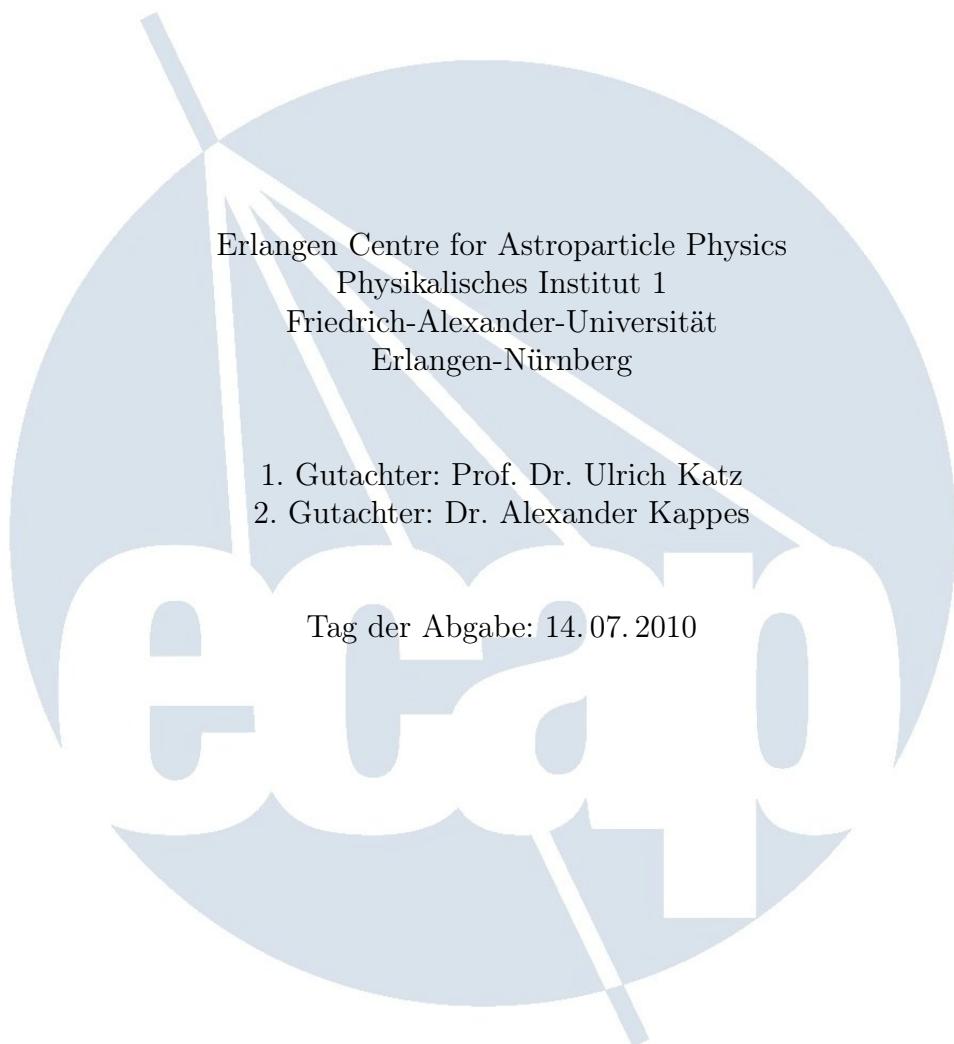
Bachelorarbeit

vorgelegt von
Jochen Müller

Erlangen Centre for Astroparticle Physics
Physikalisches Institut 1
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

1. Gutachter: Prof. Dr. Ulrich Katz
2. Gutachter: Dr. Alexander Kappes

Tag der Abgabe: 14.07.2010



Inhaltsverzeichnis

1	Der Nachweis hochenergetischer Neutrinos	3
2	Unterwasserakustik und Datennahme	5
2.1	Physik des Tiefsee-Hintergrundrauschen	5
2.1.1	Transiente und persistente Signale	5
2.1.2	Das Hintergrundrauschen für verschiedene Frequenzbereiche	6
2.1.3	Die Knudsen-Kurven	7
2.2	Der AMADEUS-Aufbau	8
2.3	Datennahme der Rausch- und Wetterdaten	9
3	Analyse und Korrelation der Rausch- und Wetterdaten für das Jahr 2008	11
3.1	Auswahl und Charakterisierung der Wetterstationen	11
3.2	Charakterisierung und Filterung der Rauschdaten	17
3.3	Vorbemerkungen und Motivation für die durchgeführten Untersuchungen	18
3.4	Tageszeitabhängigkeit des Rauschens	19
3.5	Abhängigkeit von der Windrichtung	26
3.6	Einschränkung der Wind-Rausch-Korrelation auf ähnliche Wetterdaten	28
3.6.1	Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten	28
3.6.2	Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen	29
3.6.3	Kombination der beiden Filterungen	30
4	Zusammenfassung und Vorschläge zur Weiterarbeit	32
5	Anhang	34

Kapitel 1

Der Nachweis hochenergetischer Neutrinos

Neutrino-Astronomie ist ein vielversprechender Forschungszweig der Astroteilchenphysik. Mit der Detektion von Neutrinos möchten Astroteilchenphysiker unter anderem Rückschlüsse auf Erzeugungs- und Beschleunigungsmechanismen von Teilchen in Sternen, Supernovae und aktiven galaktischen Kernen ziehen und weitere, noch unbekannte, Neutrinoquellen im Universum entdecken. Auch der indirekte Nachweis supersymmetrischer WIMPs, die einen Großteil der Dunklen Materie ausmachen könnten, kann generell über Neutrinodetektion gelingen, wenngleich er mit den derzeit vorhandenen Detektoren nicht realistisch ist. Da Neutrinos nur schwach wechselwirken, werden sie, anders als geladene Teilchen, von elektromagnetischen Feldern nicht abgelenkt. Zwar unterliegen sie Neutrino-Oszillationen doch haben diese, aufgrund der geringen Neutrinomassen, kaum Einfluss auf die kinetischen Energien hochenergetischer (Neutrinoenergien über 10 GeV) Neutrinos. Diese erreichen die Erde somit aus der Richtung, aus der sie emittiert worden sind und mit Energien, die nur unwesentlich von ihren Emissionsenergien abweichen. Dieser Sachverhalt stellt einen großen Vorteil der Neutrinoastronomie dar.

Der ANTARES-Detektor, der sich vor der Küste Südfrankreichs im Mittelmeer in 2500 m Wassertiefe befindet, wurde von der ANTARES-Kollaboration für die Detektion hochenergetischer Neutrinos konstruiert. Der Nachweis der Neutrinos gelingt indirekt über die Detektion der entlang einer Myonen-Spur erzeugten Cherenkov-Strahlung. Die Myonen entstehen dabei durch die Wechselwirkung eines Neutrinos mit einem Nukleon über den schwachen geladenen Strom [10]. Für die Detektion ultra-hochenergetischer Neutrinos (Neutrinoenergien jenseits von 100 PeV) werden aufgrund der geringen Ereignisraten Volumina von weit über 10 km³ benötigt. Weil die Abschwächlänge der zu detektierenden Lichtsignale bei etwa 60 m liegt, benötigt die optische Nachweismethode Sensordichten von circa 5000 km³ [4]. Dieser Sachverhalt schränkt eine erfolgreiche Umsetzung dieser Technik für ultra-hohe Neutrinoenergien stark ein.

Eine für die Zukunft mögliche Alternative zur optischen Methode ist der akustische Neutrino-Nachweis. Das AMADEUS-Projekt ist Teil des ANTARES-Experiments. In diesem Projekt werden die physikalischen Grundlagen einer akustischen Nachweismethode untersucht. Der AMADEUS-Aufbau mit 36 akustisch-sensitiven Piezo-Sensoren ist in den ANTARES-Detektor eingebettet. Bei hochenergetischen Teilchenreaktionen im Wasser entstehen durch den thermoakustischen Effekt Schallsignale, die nachgewiesen werden sollen. Zwar ist die Ereignisrate der akustischen Signale ebenso gering wie die der optischen Signale, doch ist die Reichweite der Schallpulse im Vergleich zur Reichweite der Cherenkov-Strahlung weitaus größer, sodass das Potential besteht, die Anzahl der benötigten Sensoren und die damit verbundenen Kosten in Grenzen zu halten [4]. Dies ist, neben der Einfachheit der Sensoren und der Datennahmehardware, ein Vorzug der akustischen Nachweismethode.

Um die charakteristischen Schallsignale erfolgreich nachzuweisen, muss man diese einerseits im akustischen Untergrund finden und andererseits von störenden Geräuschen des Meeres unterscheiden können, was eine fundierte Kenntnis des Tiefsee-Hintergrundrauschen voraussetzt. Einen wesentlichen Faktor, der zum Rauschniveau in der Tiefsee beiträgt, stellen die Wetterbedingungen dar [1]. Es gibt theoretische Ansätze, die Abhängigkeit des Rauschens von den Wetterbedingungen zu beschreiben, doch resultieren diese lediglich aus den Mittelungen vieler, an verschiedenen Orten durchgeföhrter Messungen und vereinfachenden Annahmen. Aufgrund der Komplexität der Unterwasserakustik und der daraus resultierenden Tatsache, dass es keine universell geltenden Theorien gibt, sollte jeder Standort hinsichtlich seines akustischen Hintergrundes individuell analysiert und charakterisiert werden, bevor an ihm weitere, physikalische Experimente durchgeführt werden.

Diese Arbeit stellt einen Teil der Analyse des Hintergrundrauschen am ANTARES-Detektor vor. Dabei steht die Untersuchung der Abhängigkeit des Rauschniveaus von den Wetterbedingungen im Vordergrund. Es soll studiert werden, ob das Hintergrundrauschen, und seine Korrelation mit den Wetterbedingungen, von der Tageszeit abhängen. Ferner soll untersucht werden, inwiefern die Einschränkung der Wetterdaten unterschiedlicher Stationen, die an der Küste vor dem ANTARES-Standort verteilt sind, auf koinzidente Wetterlagen, die Korrelation zwischen den Wetterbedingungen und dem Tiefsee-Hintergrundrauschen beeinflusst.

Kapitel 2

Unterwasserakustik und Datennahme

2.1 Physik des Tiefsee-Hintergrundrauschen

Die Tiefsee ist voller Geräusche. Unterwasser-Schallsignale entstammen einer Vielfalt natürlicher und technischer Quellen. Zu diesen gehören zum Beispiel sich brechende Wellen, Regen, Meeressäuger, Schiffe und U-Boote. Die Tatsache, dass diese Quellen unterschiedliche Signalformen erzeugen und sowohl räumlichen, als auch zeitlichen Fluktuationen unterliegen, macht die physikalische Beschreibung des Tiefsee-Hintergrundrauschen zu einer äußerst komplexen Aufgabe.

Das Rauschniveau hängt von der Intensität des Regens und der Wellenbewegung ab, und somit von den Wetterbedingungen. Ferner zeigt die akustische Aktivität von Meeressäugern tageszeitliche und jahreszeitliche Schwankungen und hängt darüber hinaus ganz entscheidend vom Standort ab. Auch die anthropogenen Unterwassergeräusche, wie die von Schiffen oder U-Booten, können sich für verschiedene Standorte deutlich unterscheiden. Während es in der Tiefsee Orte gibt, an denen diese technischen Quellen nur peripher zum Hintergrundrauschen beitragen, gibt es andere Meeresbereiche (z.B. in der Nähe eines Knotenpunktes von Schiffahrtsrouten), für die diese Quellen von großer Relevanz sind.

Da ein großer Teil der Schallquellen von der Meeresoberfläche her röhrt und die meisten Schallsignale auf dem Weg von ihrer Quelle zum betrachteten Standort leicht abgeschwächt werden, hängt das Rauschniveau in der Tiefsee in geringem Maße auch mit der Meerestiefe zusammen. Zur Komplexität der Unterwasserakustik tragen darüber hinaus Reflexionen des Schalls an der Oberfläche, am Meeresboden, an Erhebungen unter Wasser und auch an der Küstenlinie bei.

2.1.1 Transiente und persistente Signale

Der akustische Hintergrund in der Tiefsee lässt sich in zwei verschiedene Klassen unterteilen: Persistente, sich nur langsam ändernde Signale (Rauschen) und transiente, also kurzzeitige Untergrundsignale. Welche Signale man dabei als „persistent“ bzw. „transient“ einstuft, hängt von den systemintrinsischen Zeitkonstanten ab. Transiente Signale haben eine Signaldauer die kürzer ist als die Durchgangszeit durch das System, persistente Signale sind jene mit höheren Signaldauern, sodass man ihren Beginn und ihr Ende nicht gleichzeitig in einer Aufnahme sehen kann. Kurzzeitige Signale kommen häufig von Walen, Delphinen oder anderen Meeresbewohnern. Die Tatsache, dass Meeressäuger in für sie typischen Frequenzbereichen emittieren, stellt neben den verschiedenen Signaldauern ein Kriterium für die Unterscheidung von transienten und persistenten Signalen dar [5]. Das persistente Rauschen ist in der Regel eine Überlagerung vieler Signale. Sie entstammen verschiedensten Quellen, die jedoch nicht alle einzeln zu entschlüsseln sind.

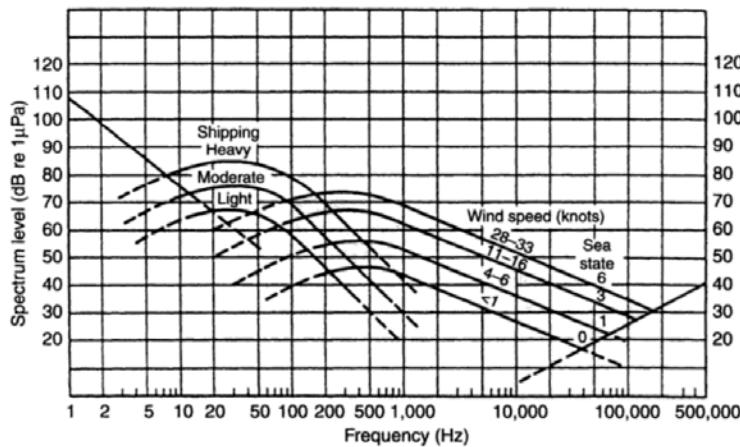


Abbildung 2.1: Die Wenz-Kurven [7]

2.1.2 Das Hintergrundrauschen für verschiedene Frequenzbereiche

Einen Überblick über die Quellen des Hintergrundrauschens und den für sie jeweils typischen Frequenzgang geben die sogenannten „Wenz-Kurven“ (siehe Abb. 2.1). Dabei ist zu beachten, dass die dargestellten Kurven lediglich aus der statistischen Mittelung sehr vieler durchgeföhrter Experimente hervorgehen, die an unterschiedlichen Standorten durchgeföhr wurden. Die Kurven dienen daher also zur groben Orientierung, mit welchen Effekten und Quellen in welchen Frequenzbereichen zu rechnen ist, sollten jedoch nicht als universell vorgegebene Tatsachen betrachtet werden. Grundsätzlich sollte jeder Standort in der Tiefsee auf sein Hintergrundrauschen hin einzeln untersucht werden, um spezifische Aussagen zu treffen. Man kann das Hintergrundrauschen grob in drei verschiedene Spektralbereiche unterteilen [1]:

- Das Frequenzband **unterhalb von 200 Hz** ist sehr variabel. Das kontinuierliche Hintergrundrauschen in diesem Bereich zeigt sich sowohl von Meereströmungen und Turbulenzen im Wasser, als auch von Geräuschen entfernter Schiffe beeinflusst. Transiente Signale sind in diesem Frequenzbereich typischerweise seismischen und biologischen Ursprungs. Für die Neutrinodetektion ist dieses Frequenzband nicht relevant.
- Der für den Neutrinonachweis relevante Frequenzbereich geht von **200 Hz bis 50 kHz**. In diesem Band erwartet man akustische Signale detektiert Neutrinos. Für Frequenzen unterhalb von 1 kHz dominieren anthropogene Geräusche. Ab einer Frequenz von 1 kHz hängt das Rauschen in erster Linie von den Wetterbedingungen ab (siehe Kapitel 2.1.3). Bei hohen Windstärken ist das Meer unruhig und aufgewühlt. Die Wasserbewegungen an der Meeresoberfläche nehmen zu und es kommt es zu verstärktem Wellengang. Turbulenzen, Gischt und die Bildung kleinstter Luftbläschen, die ihrerseits akustische Signale generieren, sind die Folge. Transiente Signale kommen auch in diesem Frequenzbereich von Meeresbewohnern oder sind anthropogener Art.
- **Oberhalb von 50 kHz** ist das Untergrundrauschen auf die thermische Bewegung der Wassermoleküle zurückzuföhren, die gegen die sensiblen Flächen des Piezo-Sensors stoßen. Der Frequenzgang des erwarteten Neutrinosignals ist so geartet, dass fast die gesamte Signalenergie im Frequenzbereich 200 Hz bis 50 kHz enthalten ist und nur geringe Signalanteile über 50 kHz erwartet werden. Da diese nur für sehr starke Signale über dem Untergrund liegen, ist dieser Frequenzbereich für die Neutrinodetektion nur von geringem Interesse.

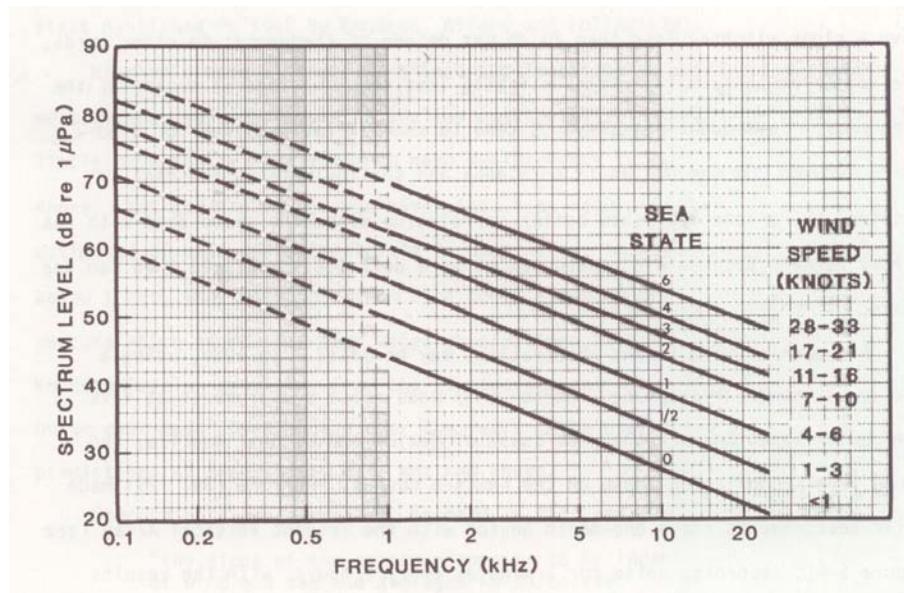


Abbildung 2.2: Die Knudsen-Kurven [1]

2.1.3 Die Knudsen-Kurven

Wie in Kapitel 2.1.2 erwähnt, befindet sich der gegenüber den Wetterbedingungen sensitive Anteil des Hintergrundrauschen in einem Frequenzbereich von 1 kHz bis 10 kHz. Für diesen Frequenzbereich gibt es die sogenannten „Knudsen-Kurven“ (siehe Abb. 2.2), die eine grobe Vorhersage des Frequenzgangs in Abhängigkeit vom sogenannten „Sea State“, der Stärke des Seegangs, erlauben [1]. Dieser charakterisiert die Wellenbewegung des Meeres und ist unmittelbar mit der Windgeschwindigkeit an der Wasseroberfläche verknüpft (siehe Tabelle 2.1). Der Faktor NL_{1K} , der das Rauschniveau in den Knudsen-Kurven beschreibt, ist in Glg. 2.1 eingeführt. Die Knudsen-Kurven kann man als Teil der Wenz-Kurven auffassen.

Sea State	Knoten	m/s	NL_{1K} in dB re $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$
0	<1	0 - 0,2	44,5
1/2	1 - 3	0,3 - 1,5	50
1	4 - 6	1,6 - 3,3	55
2	7 - 10	3,4 - 5,4	61,5
3	11 - 16	5,5 - 7,9	64,5
4	17 - 21	8,0 - 10,7	66,5
5	22 - 27	10,8 - 13,8	68,5-70
6	28 - 40	13,9 - 20,7	68,5-70

Tabelle 2.1: Verknüpfung zwischen Sea State und Wind [1]

Die Mittelung über viele Experimente ergibt, dass in dem betrachteten Frequenzband die spektrale Amplitudendichte in logarithmischer Darstellung mit dem Logarithmus der Frequenz in guter Näherung linear abnimmt [7].

$$NL_{SURF} = NL_{1K} - 17 \log \frac{f}{1000 \text{ Hz}} \quad (2.1)$$

Dabei ist NL_{SURF} die spektrale Hintergrundrauscdichte (engl.: Noise Level) in dB re $\mu\text{Pa}/\sqrt{\text{Hz}}$, die von der Oberfläche her röhrt und f die betrachtete Frequenz.

NL_{1K} ist die Rauschdichte für $f = 1 \text{ kHz}$ und hängt, wie in Tabelle 2.1 zu sehen ist, von der Stärke des Seegangs ab.

2.2 Der AMADEUS-Aufbau

Abb. 2.3 zeigt den Standort des ANTARES-Detektors, in den der AMADEUS-Aufbau integriert ist. Der Detektor befindet sich circa 20 km südlich der Insel Porquerolles und 40 km südsüdöstlich von Toulon an der Mittelmeerküste.

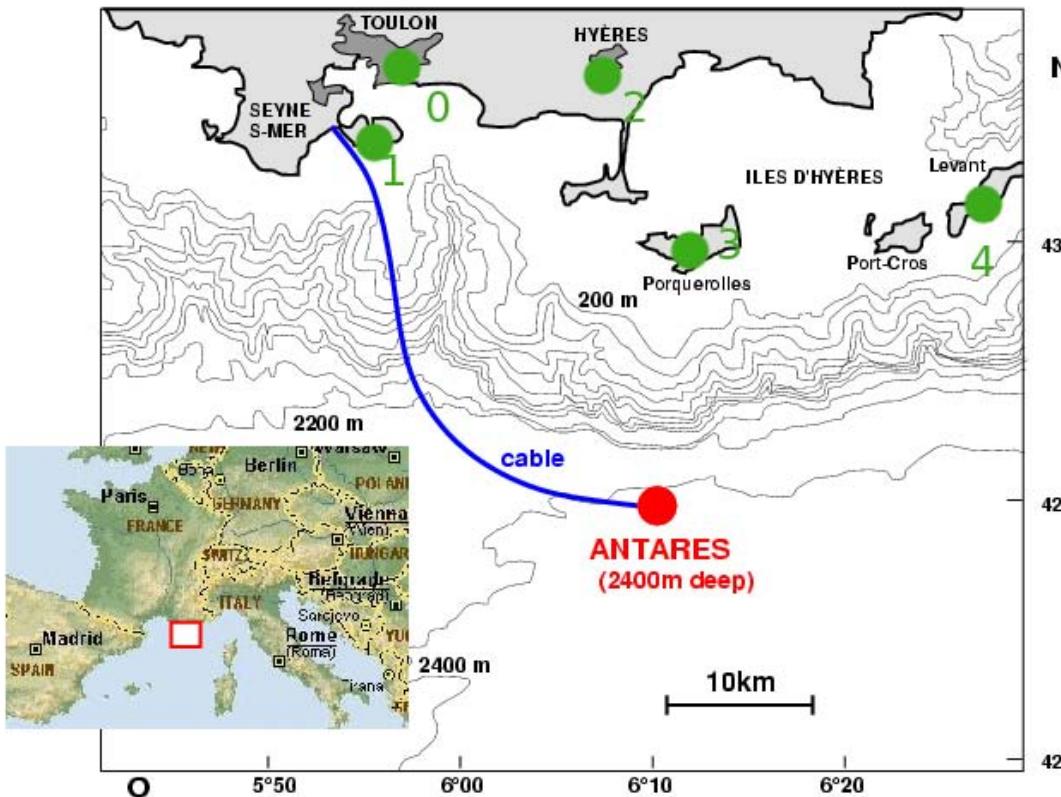


Abbildung 2.3: Standort des ANTARES-Detektors und der im Text näher beschriebenen Wetterstationen [9]

Inwieweit der AMADEUS-Aufbau in den ANTARES-Detektor eingebettet ist, zeigt Abb. 2.4. Der ANTARES-Detektor besteht aus 12 flexiblen Kabelsträngen, den „lines“, die jeweils in 25 Stockwerke, die sogenannten „storeys“, untergliedert sind. Die einzelnen lines sind am Meeresboden in circa 2500 m Tiefe verankert und werden am oberen Ende circa 500 m über dem Meeresboden von Bojen stabilisiert.

Neben diesen Strukturen gibt es die „Instrumentation Line“, die die Umgebungsparameter mit unterschiedlichen Sensoren überwacht und den akustischen Sensoren des AMADEUS-Projektes mit drei Stockwerken Platz bietet. Diese drei akustischen Stockwerke der IL07 sind mit jeweils sechs Unterwassermikrofonen (Hydrophonen) ausgestattet. Zusammen mit drei weiteren Stockwerken an der „L12“, die ebenso mit sechs akustischen Sensoren versehen sind, befinden sich also insgesamt 36 akustische Sensoren im ANTARES-Detektor. Die meisten der restlichen Stockwerke beherbergen die „optischen Module“ die für die optische Neutrinodetektion zuständig sind [9].

Aus Abb. 2.4 geht hervor, dass die Hydrophone auf unterschiedliche Weise an den akustischen Stockwerken angebracht sind. Die unterschiedliche Richtungskonfiguration der Sensoren erlaubt eine Untersuchung der Richtungsverteilung des Hintergrundrauschen, unterschiedliche Sensorientypen die Optimierung der Sensorik.

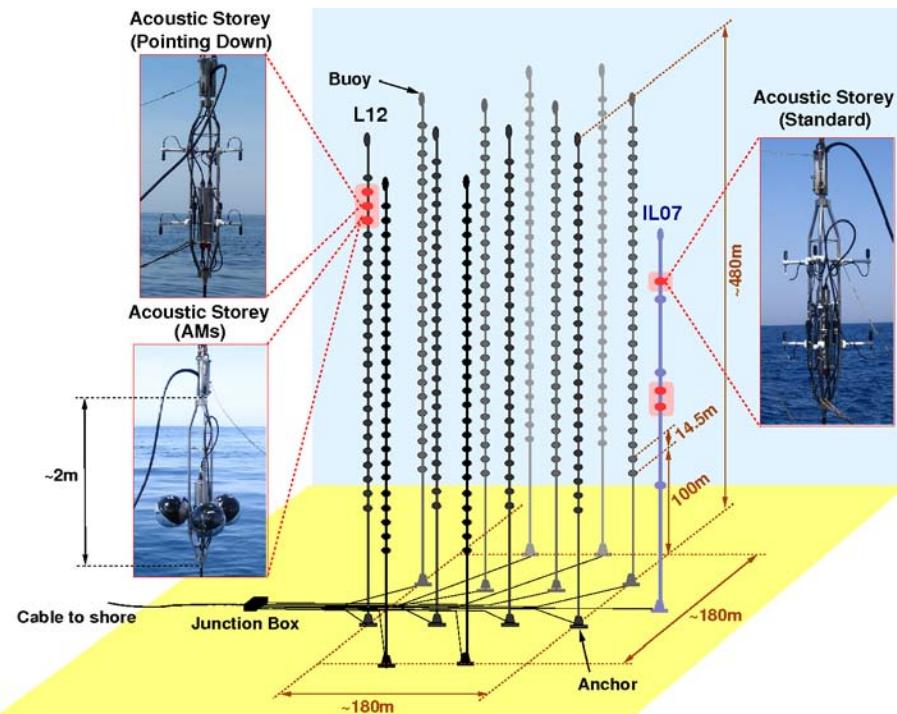


Abbildung 2.4: Schema der Integration der akustischen Sensoren in den ANTARES-Aufbau [9]

2.3 Datennahme der Rausch- und Wetterdaten

Für die **Rauschdaten** besteht die Datennahme im Wesentlichen aus vier Schritten [3]:

1. Die Hydrophone, welche in etwa 10 cm lang sind und mittels Piezoelementen kleinste Druck-Schwankungen detektieren, liefern einen kontinuierlichen Strom analoger Daten. Zum Einsatz kommen hierbei sowohl Hydrophone vom Physikalischen Institut der Universität Erlangen, als auch kommerziell produzierte Messgeräte. Abb. 2.5 zeigt eines der kommerziellen Unterwassermikrofone.
2. Die aufgenommenen Daten werden unmittelbar am Standort in einem „Off-shore Elektronikcontainer“ digitalisiert und anschließend in das für die Übertragung benötigte Format umgewandelt.
3. Danach werden die Daten über optische Fasern in einem circa 40 km langen Kabel (siehe Abb. 2.3) an das ANTARES-Kontrollzentrum an der Küste geleitet. Die Daten der verschiedenen Hydrophone werden hier zusammengeführt.
4. Schließlich werden transiente Signale durch Schwellen und Signalformfilter herausgefiltert. Die „Minimum-Bias“ -Daten werden dann als Rauschdaten verwendet.

Wie bereits in Kapitel 2.1.2 erwähnt, ist für die Detektion von Neutrinos vor allem der Frequenzbereich 1 kHz bis 50 kHz interessant. Die im AMADEUS/Aufbau verwendeten Sensoren sind aus diesem Grunde so konfiguriert, dass sie in diesem Band sensitiv sind.

Aufgrund der enormen Datenmengen von 1,5 TByte pro Tag, werden pro aufgenommener Stunde nur 10 s - in stündlichen Abständen - betrachtet.

Um die Abhängigkeit des Tiefseerauschen von den Wetterbedingungen zu untersuchen, werden **Wetterdaten** benötigt, die idealerweise den Wetterbedingungen am Detektor entsprechen. Es ist jedoch nicht möglich, eine Wetterstation direkt am ANTARES-Detektor zu installieren und



Abbildung 2.5: Verwendetes, kommerzielles Hydrophon [9]

zu unterhalten. Unter der Prämisse, dass die Wetterbedingungen am Messort mit den Wetterbedingungen am Ort der Wetterstation in guter Näherung übereinstimmen, kann man alternativ auf Wetterdaten nahegelegener Wetterstationen zurückgreifen und anschließend die gemessenen Rauschdaten mit den Wetterdaten der jeweils betrachteten Wetterstation vergleichen. Die Kontrolle der Validität dieser Annahme ist Ausgangspunkt für die Untersuchungen in Kapitel 3.6. In jenem Kapitel wird überprüft, ob die Einschränkung der Wetterdaten auf ähnliche Wetterlagen, Einfluss auf die Korrelation zwischen Hintergrundrauschen und Windgeschwindigkeit hat.

Die Wetterstationen, die dem ANTARES-Detektor vor der Küste Südfrankreichs am Nächsten sind, sind in Tabelle 2.2 zusammengetragen. Ihre geographische Lage ist in Abb. 2.3 eingezzeichnet. Im Rahmen der durchgeführten Analysen werden die Stationen mit ihrer Stationsnummer identifiziert.

Nr	ID	Station
0	076600	Toulon
1	076610	Cap Cépet
2	076670	Hyères
3	076700	Porquerolles
4	076780	Ile du Levant

Tabelle 2.2: Wetterstationen und ihre Kennnummern

Kapitel 3

Analyse und Korrelation der Rausch- und Wetterdaten für das Jahr 2008

Alle in diesem Kapitel durchgeführten Analysen beziehen sich auf die Wetter- und Rauschdaten des Jahres 2008. Sowohl Darstellung als auch Analyse der Daten wurden mit „C++“ - basierten Root-Macros vorgenommen [6].¹

3.1 Auswahl und Charakterisierung der Wetterstationen

Die Auswahl von Wetterstationen, die eine aussagekräftige Analyse und Korrelation der Rausch- mit den Wetterdaten gewährleisten, unterliegt folgenden Kriterien:

1. Wie bei allen physikalischen Experimenten, ist eine große Datenmenge vorteilhaft. Die Wetterstation sollte daher möglichst häufig Wetterdaten geliefert haben.
2. Die Datennahme der Wetterdaten sollte in regelmäßigen Abständen stattfinden.

Während Kriterium 1 und 2 allgemeiner Art sind, tragen die weiteren Kriterien der Anforderung Rechnung, dass die Wetterdaten der Station der Wetterlage über dem ANTARES-Standort möglichst nahe kommen.

3. Die Wetterstationen sollten nicht zu weit vom Standort des Detektors entfernt liegen.
4. Die geographische Lage der Wetterstationen sollte mit der geographischen Lage des Detektors hinsichtlich der ihr zugrunde liegenden Wetterbedingungen möglichst übereinstimmen. Wetterstationen in Küstennähe repräsentieren die Wetterlage über dem ANTARES-Standort möglicherweise besser.
5. Die ausgewählten Wetterstationen sollten untereinander hinsichtlich ihrer gemessenen Wetterdaten möglichst übereinstimmen.

Betrachtet man die Verteilungen der Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen, die im Jahre 2008 gemessen wurden (siehe Abb. 5.1, 5.2, 5.3 und 5.4 im Anhang Kapitel 5), so erkennt man Unterschiede zwischen den sich im Land befindlichen Stationen Toulon und Hyères und den küstennahen Stationen Cap Cépet, Porquerolles und Ile du Levant. Die unterschiedlichen Verteilungen der Windgeschwindigkeiten und -richtungen sind in Abb. 3.1 und 3.2 exemplarisch für die Stationen 1 und 2 dargestellt. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale sind:

¹Die in den Legenden zu den Graphen erscheinende Bezeichnung „RMS“ beschreibt in Root die Standardabweichung der zugrunde liegenden Verteilung und nicht die mittlere quadratische Abweichung.

- Die an der Küste im Mittel gemessenen Windgeschwindigkeiten \bar{v} sind um circa 2 bis 3 m/s größer als die Windgeschwindigkeiten im Land (siehe Tabelle 3.1).
- Die Verteilungen der Windgeschwindigkeiten sind für die Wetterstationen an der Küste deutlich breiter als für die Stationen im Land. Auch hohe Windgeschwindigkeiten (über 15 m/s) werden gemessen.
- Die Wetterstationen am Meer weisen zwei häufig vorkommende Windrichtungen auf. Diese liegen in engen Bereichen (Halbwertsbreiten von etwa 20 bis 30 Grad) um circa 70 und 270 Grad. Die Verteilungen der Windrichtungen der sich im Land befindlichen Wetterstationen sind deutlich flacher. Lediglich Station 0 zeigt eine starke Bevorzugung des Windes aus 280 Grad.

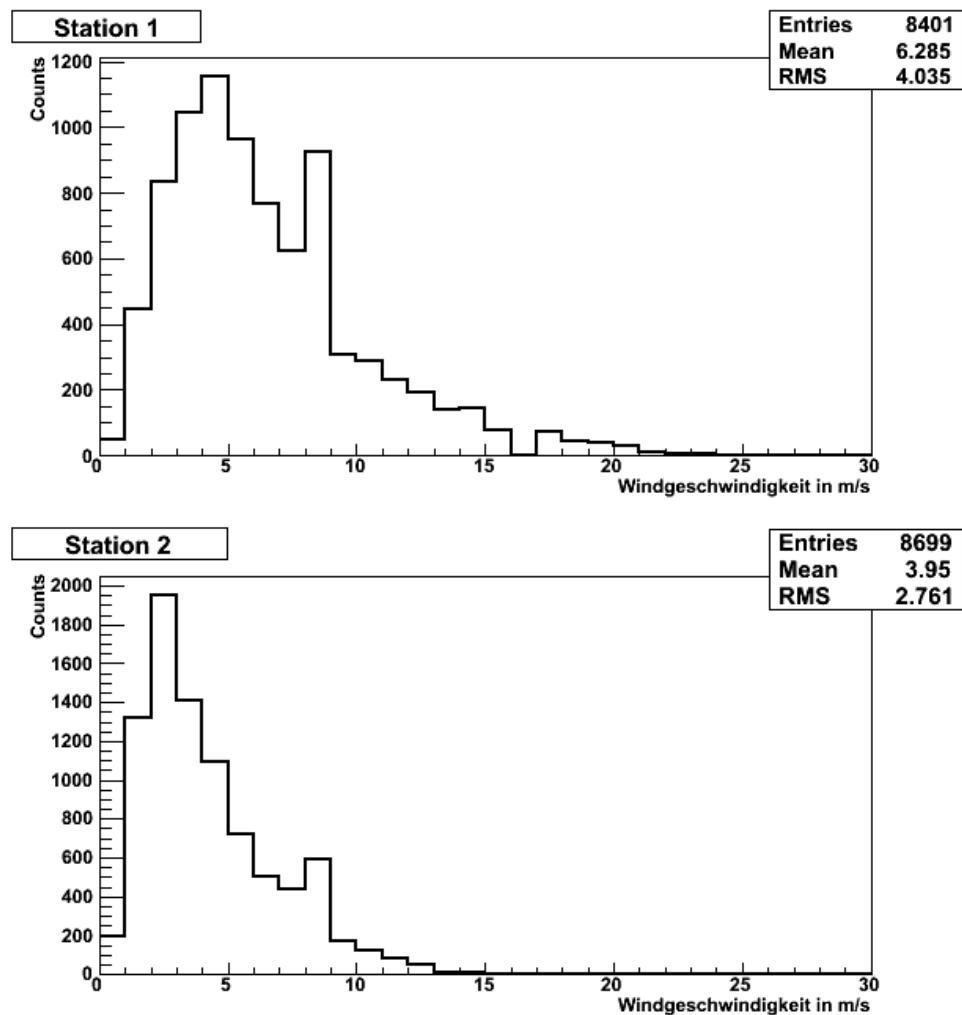


Abbildung 3.1: Verteilungen der Windgeschwindigkeiten im Jahr 2008 für die Stationen 1 und 2

Aus den unterschiedlichen Verteilungen der Windrichtungen und der Windgeschwindigkeiten zwischen küstennahen und küstenferneren Stationen, und der Erfahrung, dass das Küstenwetter dem Meereswetter im Allgemeinen näher kommt als das Wetter im Landesinneren, ergibt sich die Annahme, dass die Wetterstationen Cap Cépet (Station 1), Porquerolles (Station 3) und Ile du Levant (Station 4) die Wetterbedingungen am ANTARES-Detektor besser repräsentieren als die Stationen in Toulon und Hyères.

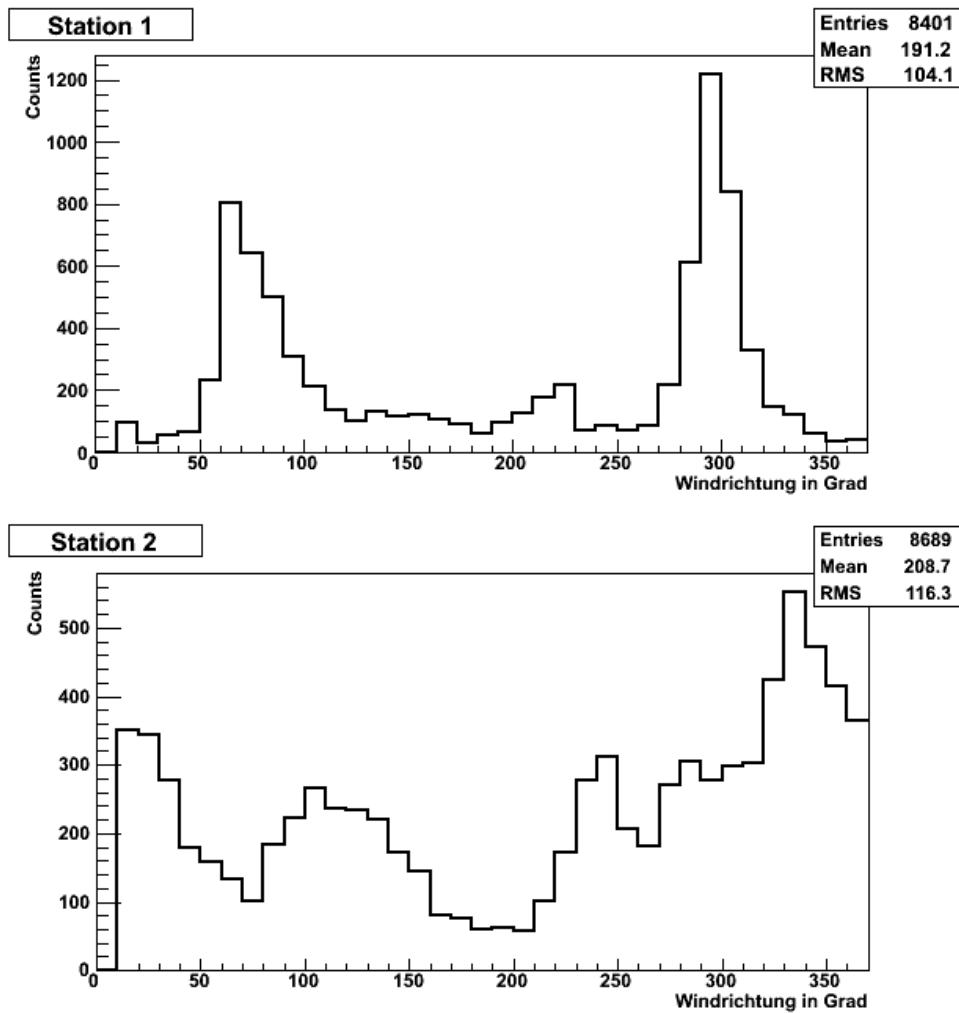


Abbildung 3.2: Verteilungen der Windrichtungen im Jahr 2008 für die Stationen 1 und 2

Station	Einträge	\bar{v} in m/s	σ_v
0 Toulon	8452	4,424	3,251
1 Cap Cépet	8401	6,285	4,035
2 Hyères	8699	3,950	2,761
3 Porquerolles	2038	6,502	4,083
4 Ile du Levant	7879	6,872	4,777

Tabelle 3.1: Anzahl der Messwerte, Mittelwerte \bar{v} und Standardabweichungen σ_v der Windgeschwindigkeiten der Wetterstationen für das Jahr 2008

Aus diesem Grunde beschränken sich alle folgenden Untersuchungen auf die Wetterdaten von Cap Cépet (Station 1), Porquerolles (Station 3) und Ile du Levant (Station 4).

Während die Stationen Cap Cépet und Ile du Levant stündlich Wetterdaten erfassen, erfolgt die Datennahme bei der Station auf Porquerolles nur alle drei Stunden. Dieser Sachverhalt ist in Abb. 3.3 einzusehen. Dadurch, dass die Wetterstation auf Porquerolles zudem ab September 2008 überhaupt keine Daten mehr genommen hat, liefert diese Station nur circa ein Viertel der Daten der anderen Stationen (siehe Tabelle 3.1). Diese Wetterstation wird für die weitere Analyse zunächst nicht ausgeschlossen, da sie von allen Wetterstationen die zum ANTARES-Detektor näherte ist.

Die Tatsache dass die Anzahl der Einträge der anderen Wetterstationen untereinander nicht völlig übereinstimmt, ist darauf zurückzuführen, dass die Stationen keine hundertprozentige Datennahmeeffizienz haben.

Die Säulendiagramme in Abb. 3.4 zeigen die für jede Tageszeit gemittelten Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von der Tageszeit.

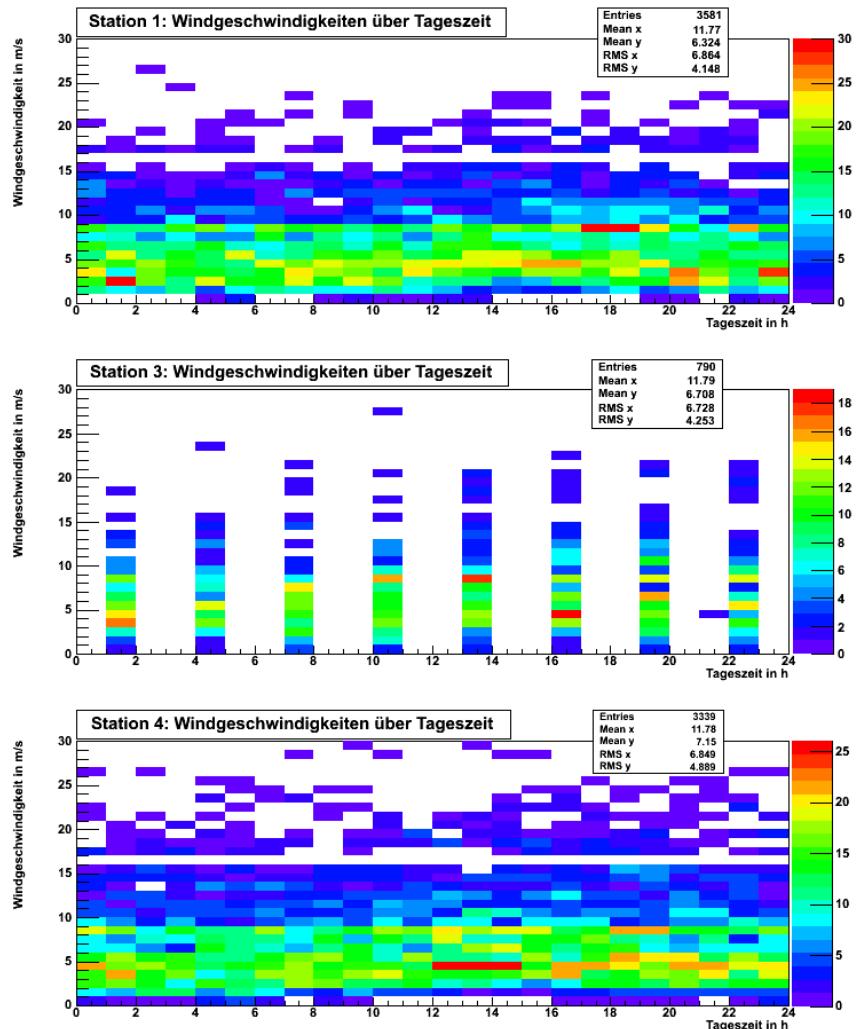


Abbildung 3.3: Verteilungen der Windgeschwindigkeiten in Abhängigkeit von den entsprechenden Tageszeiten

Für die weiteren Analysen ist das Ausmaß der Korrelation der Wetterstationen untereinander wichtig, insbesondere für den für die Analyse wichtigsten Parameter, der Windgeschwindigkeit. Abb. 3.5 zeigt die Korrelation der von verschiedenen Stationen gemessenen Windgeschwindigkeiten. Tabelle 3.2 gibt einen Überblick über die zugehörigen Korrelationsfaktoren.

Stationen	gemeinsame Einträge	Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet - 3 Porquerolles	2011	82,7 %
1 Cap Cépet - 4 Ile du Levant	7673	78,6 %
3 Porquerolles - 4 Ile du Levant	1858	84,1 %

Tabelle 3.2: Korrelation der Wetterstationen bezogen auf die gemessenen Windgeschwindigkeiten

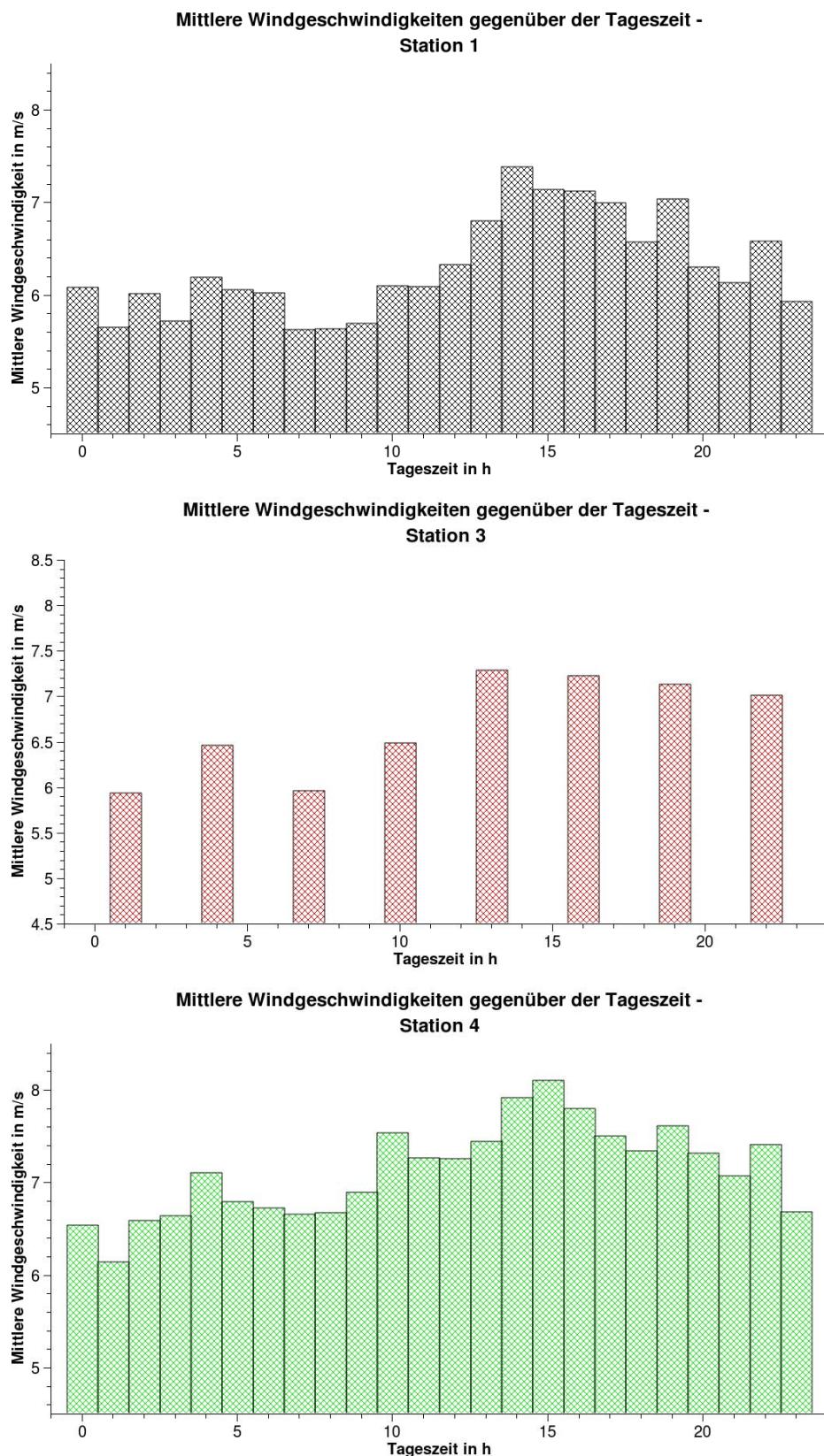


Abbildung 3.4: Sensor 11: Mittlere Windgeschwindigkeiten für alle Tageszeiten

Die Korrelation der Wetterstationen untereinander hinsichtlich ihrer gemessenen Windgeschwindigkeiten bewegt sich im Bereich von 80 %. Darüber hinaus zeigt Tabelle 3.2, wie ein Vergleich der Wetterstation 1 bzw. 4 mit Station 3 die Anzahl der Einträge, entsprechend der wenigen Werte von Station 3, einschränkt.

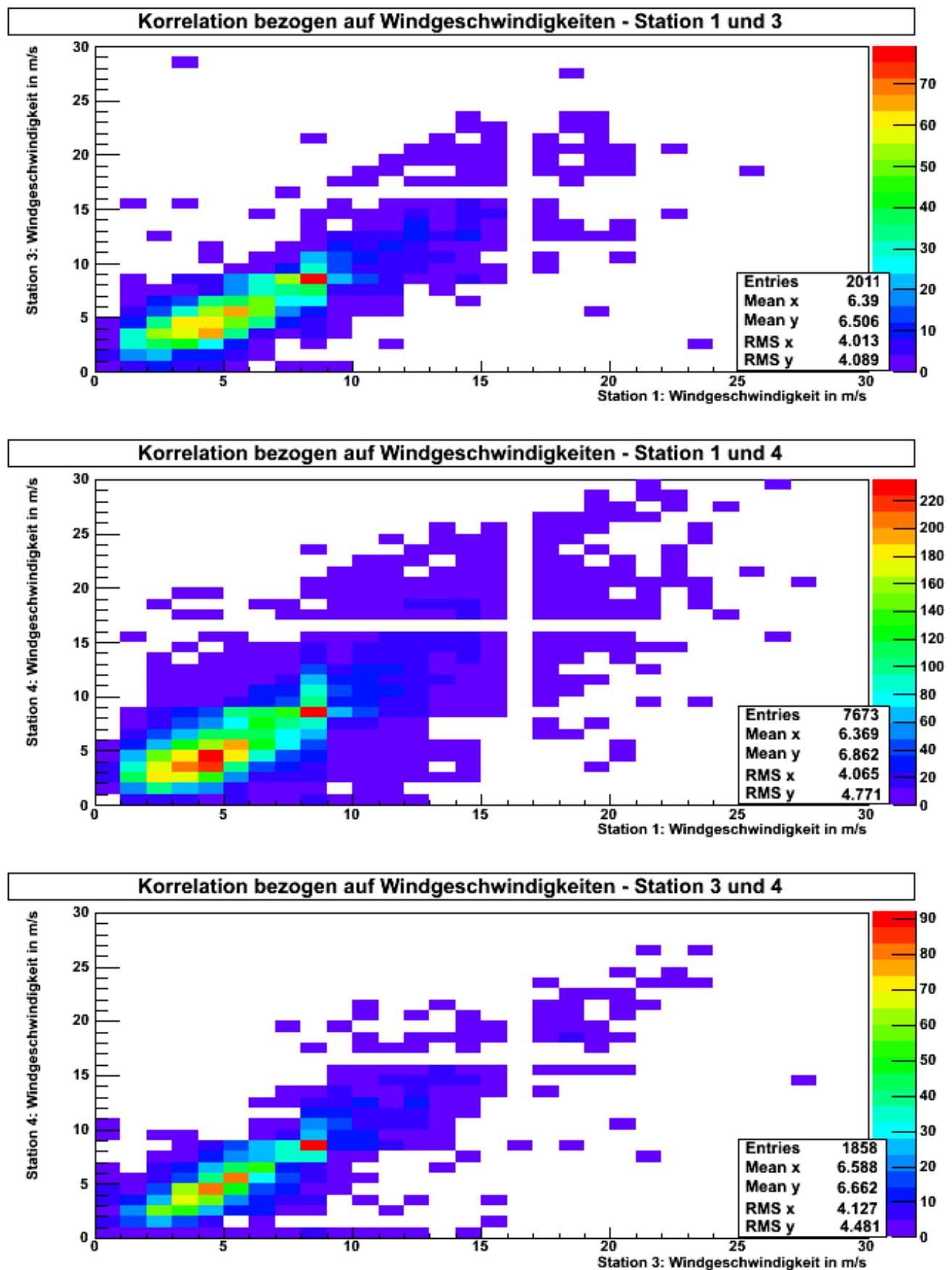


Abbildung 3.5: Korrelationen der Wetterstationen bezüglich der Windgeschwindigkeiten

3.2 Charakterisierung und Filterung der Rauschdaten

Alle Untersuchungen dieser Arbeit beschränken sich auf die vom Referenz-Sensor 11 gemessenen Daten. Dieser Sensor ist funktionsfähig, und die gemessenen Rauschniveaus aller funktionierenden Sensoren sind zu mehr als 90 % korreliert. Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, entscheiden die Wetterbedingungen vor allem über das persistente Rauschen. Der für die Beschreibung des persistenten Rauschniveaus wichtigste Parameter ist die Standardabweichung (in Root: RMS-Wert) der Amplitudenverteilung des 10-sekündigen Datensamples (höhere Rauschpegel liefern höhere RMS-Werte der Amplitudenverteilungen.). Dieser kennzeichnet den Rauschpegel, dem der Sensor zu jener Zeit ausgesetzt ist. Abb. 3.6 zeigt exemplarisch eine typische Amplitudenverteilung für ein 10-sekündiges Signal. Es wurde vom Sensor 11 am 23.05.2008 ab 02:07:34 Uhr aufgenommen. Der Einbruch der Amplitudenverteilung um 0V röhrt von Nicht-Linearitäten der Aufnahmeelektronik um 0V her. Die zur Zeit der Aufnahme gemessenen Windgeschwindigkeiten sind $v_1 = 8,2 \text{ m/s}$ (Station 1) und $v_4 = 9,8 \text{ m/s}$ (Station 4). Wetterstation 3 hat für diesen Zeitpunkt keine Daten aufgezeichnet.

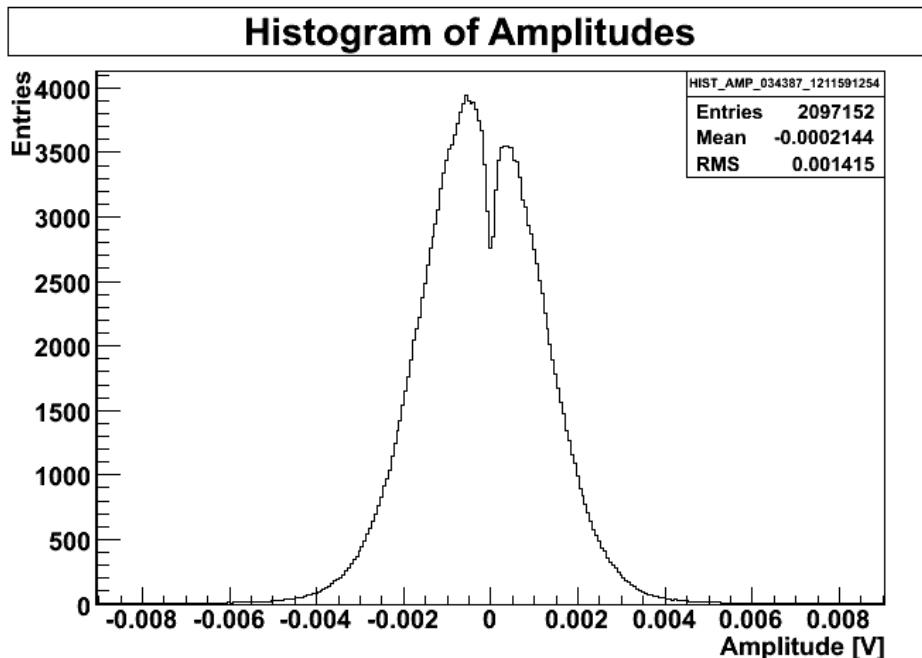


Abbildung 3.6: Sensor 11: Amplitudenhistogramm vom 23.05.2008 um 02:07:34 MESZ

Für jede Aufnahme errechnet sich also ein RMS-Wert. Abb. 5.11 (siehe Anhang Kapitel 5) zeigt die Verteilung der gemessenen RMS-Werte für das Jahr 2008.

Es ist zu erwähnen, dass das AMADEUS-System von Ende Juni bis Anfang September 2008 (circa 75 Tage) aufgrund eines Bruchs des Verbindungskabels zwischen dem Detektor und der Küste keine Daten aufgenommen hat.

Die Rauschdaten werden noch gefiltert bevor sie mit den Wetterdaten korreliert werden. Ein Programm filtert starke und hochfrequente, transiente Signale (Pinger, Delphine, Wale, etc.), aufgrund der Form der Amplitudenverteilung bzw. der spektralen Leistungsdichte, heraus (für die Rauschdaten des Jahres 2008 circa 10% der 10s-Perioden). Dies geschieht unter der Annahme, dass diese Signale nicht auf Effekte der Wetterbedingungen zurückzuführen sind.

3.3 Vorbemerkungen und Motivation für die durchgeführten Untersuchungen

Nach dem Filtern der Rauschdaten werden diese mit den Wetterdaten verglichen. Die theoretischen Vorüberlegungen in Kapitel 2.1.3 zeigen, dass das Hintergrundrauschen in der Tiefsee, für einen Frequenzbereich von 1 kHz bis 50 kHz, insbesondere von der Stärke des Seegangs und damit von der Windgeschwindigkeit abhängt. Einfache Untersuchungen im Rahmen dieser Bachelorarbeit haben zudem ergeben, dass das Hintergrundrauschen weder signifikant noch explizit - d.h. unabhängig von der Windgeschwindigkeit - von weiteren Wetterparametern wie Temperatur oder Luftdruck abhängt. Dieser Sachverhalt motiviert die Entscheidung, die gemessenen Rauschdaten lediglich mit der Windgeschwindigkeit zu vergleichen.

In Abb. 3.7 ist der Zusammenhang zwischen den von den betrachteten Wetterstationen gemessenen Windgeschwindigkeiten und der von Sensor 11 gemessenen RMS-Werte dargestellt.

Die qualitative Verteilung der RMS-Werte und Windgeschwindigkeiten ist, aufgrund der starken Korrelation der Stationen bezüglich der gemessenen Windgeschwindigkeiten untereinander, erwartungsgemäß für alle drei Wetterstationen ähnlich. Die Graphen bestätigen die Erwartung, dass höhere Windgeschwindigkeiten tendenziell mit höheren RMS-Werten einhergehen. Für den Bereich von 0 m/s bis 5 m/s befinden sich die meisten RMS-Werte zwischen 0 V und 0,002 V. Hingegen führen Windgeschwindigkeiten von 20 m/s bis 25 m/s zu RMS-Werten von 0,001 V bis 0,005 V.

Die Tatsache, dass im Sommer 2008 keine Daten vorhanden waren und die verfügbaren Daten zudem der in Kapitel 3.2 beschriebenen Filterung unterliegen, schränkt die Anzahl der Wetter-Rausch-Datenpaare ein.

Auffallend ist zudem, dass es einige Einträge gibt, die hohe bis sehr hohe RMS-Werte liefern. Diese liegen in einem RMS-Bereich von 0,004 V bis 0,012 V. Selbst sehr hohe Windgeschwindigkeiten führen nicht zu derart hohen RMS-Werten. Zudem geht die Häufigkeit dieser „Ausreißer“ für eine feste Windgeschwindigkeit mit der gesamten Häufigkeit jener betrachteten Windgeschwindigkeit - zumindest auf den ersten Blick hin - einher. Dies legt die Vermutung nahe, dass einige der Einträge mit RMS-Werten über 0,004 V nicht primär auf Effekte des Windes zurückzuführen sind.

Die zu den Graphen in Abb. 3.7 gehörenden Korrelationskoeffizienten zwischen den RMS-Werten und den Windgeschwindigkeiten sind in Tabelle 3.3 für jede der drei betrachteten Wetterstationen zusammengetragen.

Herangezogene Station	Einträge	Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet	3581	37,2 %
3 Porquerolles	790	40,0 %
4 Ile du Levant	3339	37,1 %

Tabelle 3.3: Wind-Rausch-Korrelationsfaktoren und Einträge

Ziel der in den folgenden Kapiteln durchgeführten Analysen ist es, herauszufinden, ob diese Korrelation von der Tageszeit abhängt. Anschließend wird getestet, ob die Korrelation von der Windrichtung abhängt. Zuletzt soll überprüft werden, inwiefern sie davon abhängig ist, dass die Wetterstationen für Windgeschwindigkeit und Windrichtung ähnliche Werte liefern.

3.4 Tageszeitabhängigkeit des Rauschens

Betrachtet man die RMS-Werte als Funktion der Tageszeit und die für jede Tageszeit gemittelten RMS-Werte, so erhält man die Graphen in Abb. 3.8.

Es fällt auf, dass die sehr hohen RMS-Werte bevorzugt um 2 bis 3 Uhr, sowie um 21 bis 22 Uhr gemessen werden. Auch die für jede Tageszeit gemittelten Rauschniveaus sind für diese Tageszeiten größer. Die Verteilung der im Mittel gemessenen Windgeschwindigkeit gegenüber der Tageszeit ist jedoch für jede betrachtete Station relativ flach (siehe Abb. 3.4). Keine Tageszeit ist daher in Bezug auf Windgeschwindigkeiten ausgezeichnet. Dies ist ein eindeutiger Hinweis darauf, dass die hohen RMS-Werte nicht in kausalem Zusammenhang mit der Windgeschwindigkeit stehen. Die Ursache für diesen Effekt soll nun untersucht werden.

Unter der Annahme, dass nur langsam veränderliche Rauschniveaus auf den Einfluss der Windgeschwindigkeit zurückzuführen sind, kann der ΔRMS -Wert herangezogen werden. Er ist wie folgt definiert:

$$\Delta\text{RMS}(t) = \text{RMS}(t + 1h) - \text{RMS}(t) \quad (3.1)$$

Dabei bezeichnet $\text{RMS}(t)$ den RMS-Wert zur Zeit t und $\text{RMS}(t+1h)$ den RMS-Wert, der eine Messung nach der Zeit t gemessen wird. Der ΔRMS -Wert gibt also die absolute Änderung des Rauschniveaus in einer Stunde an [2].

Abb. 3.10 zeigt die Verteilung der ΔRMS -Werte über das ganze Jahr 2008. Die Graphen in Abb. 3.9 zeigen die ΔRMS -Werte als Funktion der Tageszeiten zu denen diese gemessen wurden und stellen die für jede Tageszeit gemittelten ΔRMS -Werte den jeweiligen Tageszeiten gegenüber. Die Standardabweichung der ΔRMS -Verteilung ist $\sigma_{\Delta\text{RMS}} = 0,001314$. Hohe ΔRMS -Werte sind z.B. solche, die $\Delta\text{RMS} > \sigma_{\Delta\text{RMS}}$ erfüllen.

Da man annimmt, dass das Hintergrundrauschen des Meeres, das auf Wetteränderungen zurückzuführen ist, träge ist und sich daher nur langsam ändert, sind hohe ΔRMS -Werte ein Indiz für Effekte, die nicht auf veränderte Wetterbedingungen zurückzuführen sind [2].

Aus Abb. 3.8 und 3.9 geht hervor, dass hohe ΔRMS -Werte zeitlich mit hohen RMS-Werten korrelieren. Da hohe ΔRMS -Werte ein Hinweis auf nicht wettergemachte Effekte sind und zusammen mit den hohen RMS-Werten zu ganz bestimmten Zeiten vorkommen, die in der Windverteilung aber nicht ausgezeichnet sind, liegt es nahe, sie auf störende Effekte zurückzuführen. Es besteht die Vermutung, dass es sich um Signale von Schiffen handelt, die den Detektor regelmäßig zu den zwei „Stoßzeiten“ passieren. Gestützt wird diese Vermutung durch die Erkenntnis, dass die Zeiten, zu denen erhöhtes Hintergrundrauschen detektiert wird, mit den Zeiten, zu denen die Fähre von Marseille nach Korsika (21 bis 22 Uhr) und zurück von Korsika nach Marseille (2 bis 3 Uhr) den Detektor passiert, übereinstimmen [8].

Unter der Annahme, dass hohe ΔRMS -Werte ein Indiz für störende, nicht auf Wetteränderungen zurückzuführende Effekte sind, kann man die zu den hohen ΔRMS -Werten gehörenden RMS-Werte beim Untersuchen der Abhängigkeit des Hintergrundrauschens von den Wetterbedingungen ausschließen.

Aus diesem Grund werden alle folgenden Analysen nur solche RMS-Werte berücksichtigen, die mit niedrigen ΔRMS -Werten verbunden sind, für die also gilt:

$$\Delta\text{RMS} < \sigma_{\Delta\text{RMS}} = 0,001314 \quad (3.2)$$

Diese Einschränkung reduziert die Anzahl der Einträge um etwa 10 %. Unter Berücksichtigung dieses Schnitts ist in Abb. 3.11 erneut das Hintergrundrauschen gegen die Windgeschwindigkeit

aufgetragen.

Im Vergleich zu Abb. 3.7, fehlen die hohen RMS-Werte. Wie Tabelle 3.4 zeigt, führt dies zu einer stark verbesserten Korrelation zwischen der Windgeschwindigkeit und dem Hintergrundrauschen.

Station	Einträge	Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet	3231	71,5 %
3 Porquerolles	711	70,1 %
4 Ile du Levant	3011	68,4 %

Tabelle 3.4: Wind-Rausch-Korrelationsfaktoren und Einträge für Schnitt auf hohe Δ RMS-Werte

Nachdem einige Einträge herausgefiltert worden sind, die auf technische Einflüsse zurückgeführt wurden, lässt sich untersuchen, ob der Wind-Rausch-Korrelationsfaktor von der Tageszeit abhängt. Wenn man für jede volle Stunde die Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen berechnet und anschließend für jede der drei Stationen die erhaltenen Korrelationsfaktoren gegenüber der Tageszeit darstellt, so ergeben sich die Säulendiagramme in Abb. 3.12.

Nach den durchgeföhrten Filterungen gibt es für die Stationen 1 und 4 für das gesamte Jahr 2008 jeweils circa 3000 Datenpaare (siehe Tabelle 3.4). Somit stehen für jede Tageszeit circa 140 Einträge zur Verfügung. Die Korrelationsfaktoren sind mit einer entsprechenden Ungenauigkeit behaftet. Station 3 hat nur in etwa ein Viertel der Einträge von Station 1 und 4, misst jedoch nur alle drei Stunden, sodass die zu Station 3 gehörenden Korrelationskoeffizienten eine ähnliche Signifikanz aufweisen wie die der anderen zwei Stationen. Es zeigt sich, dass sich die Korrelationsfaktoren für alle drei herangezogenen Wetterstationen nicht bedeutend unterscheiden. Der Korrelationsfaktor zwischen dem Hintergrundrauschen und der Windgeschwindigkeit bewegt sich nach Anwendung des Δ RMS-Schnitts im Bereich von 55 bis 80 %. Auffallend ist, dass dieser für die erwähnten Stoßzeiten, also von 21 Uhr bis 22 Uhr und von 2 Uhr bis 3 Uhr mit circa 60 % tiefer angesiedelt ist als zu anderen Zeiten. Dies könnte man als Indiz für die Existenz weiterer, noch nicht herausgefilterter Störungen betrachten. Möglicherweise lässt sich der Verlauf des Korrelationskoeffizienten gegenüber der Tageszeit durch einen schärferen Δ RMS-Schnitt stabilisieren. Ohnehin wurden bei dem angewendeten Schnitt nur sehr hohe Δ RMS herausgefiltert. Um signifikantere Aussagen zu einer möglichen Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten von der Tageszeit zu treffen, sind jedoch weitere, detailliertere Untersuchungen, mit einem evtl. höheren Datensatz, von Nötien.

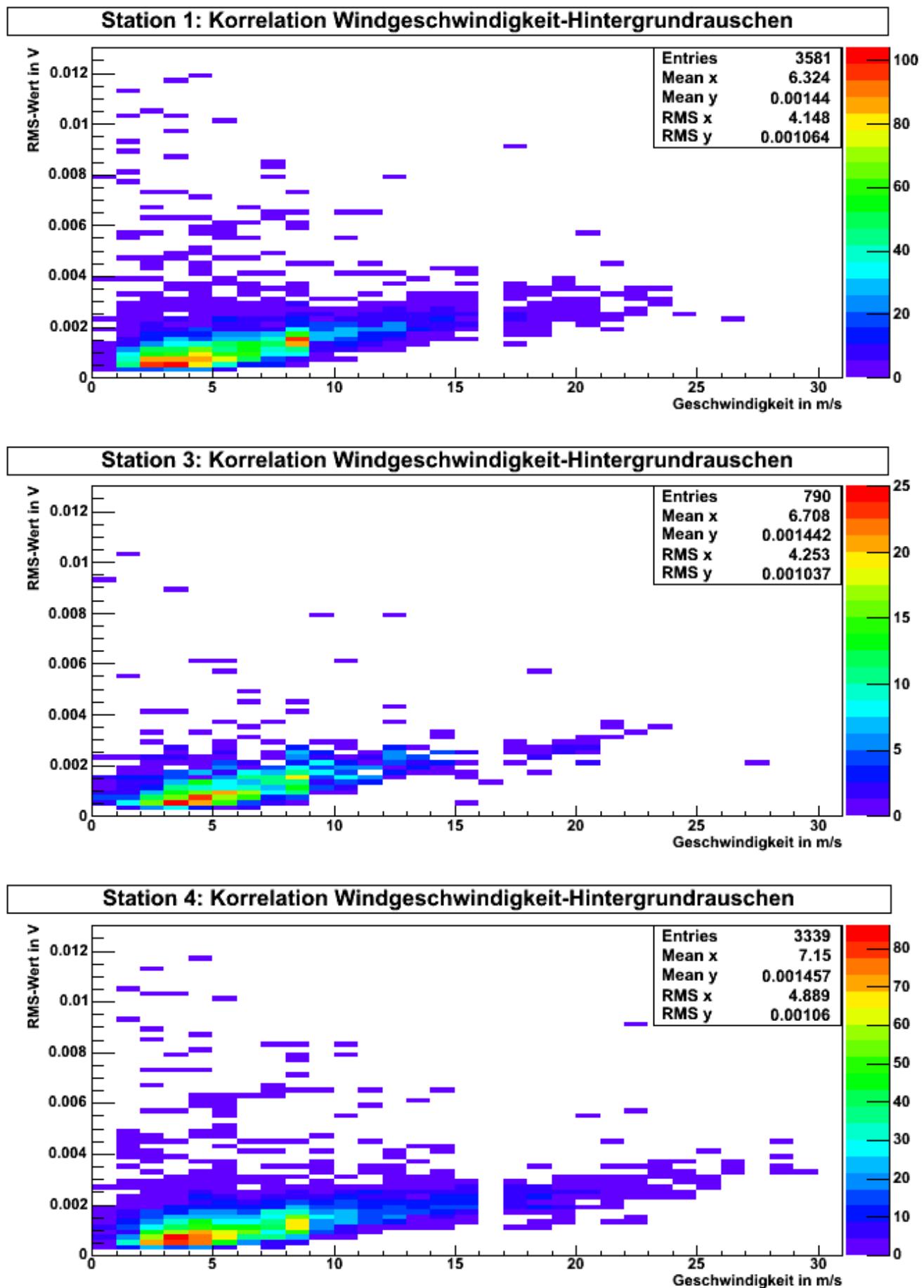


Abbildung 3.7: Korrelation zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten

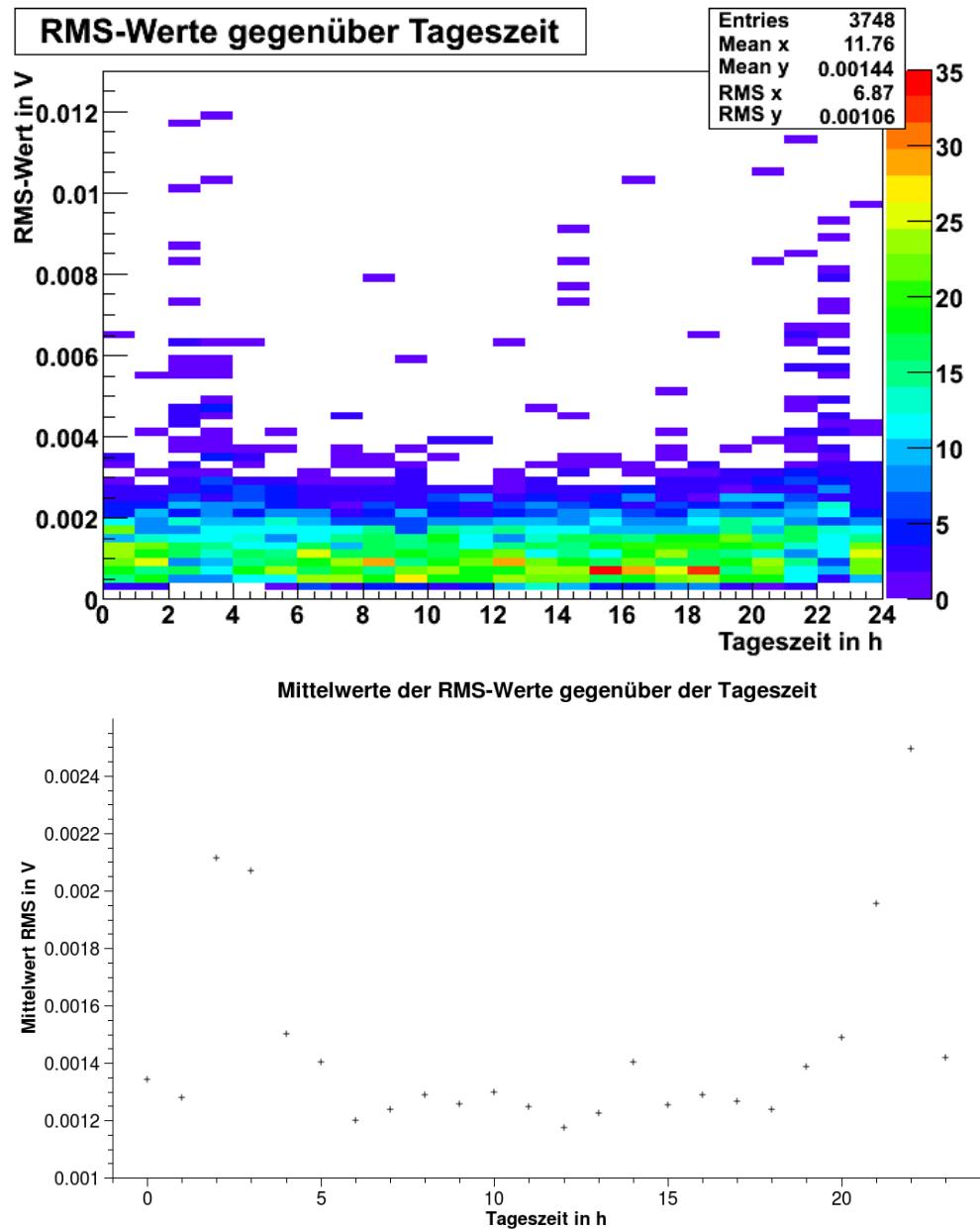


Abbildung 3.8: RMS-Werte und für Tageszeiten gemittelte RMS-Werte in Abhängigkeit von der Tageszeit

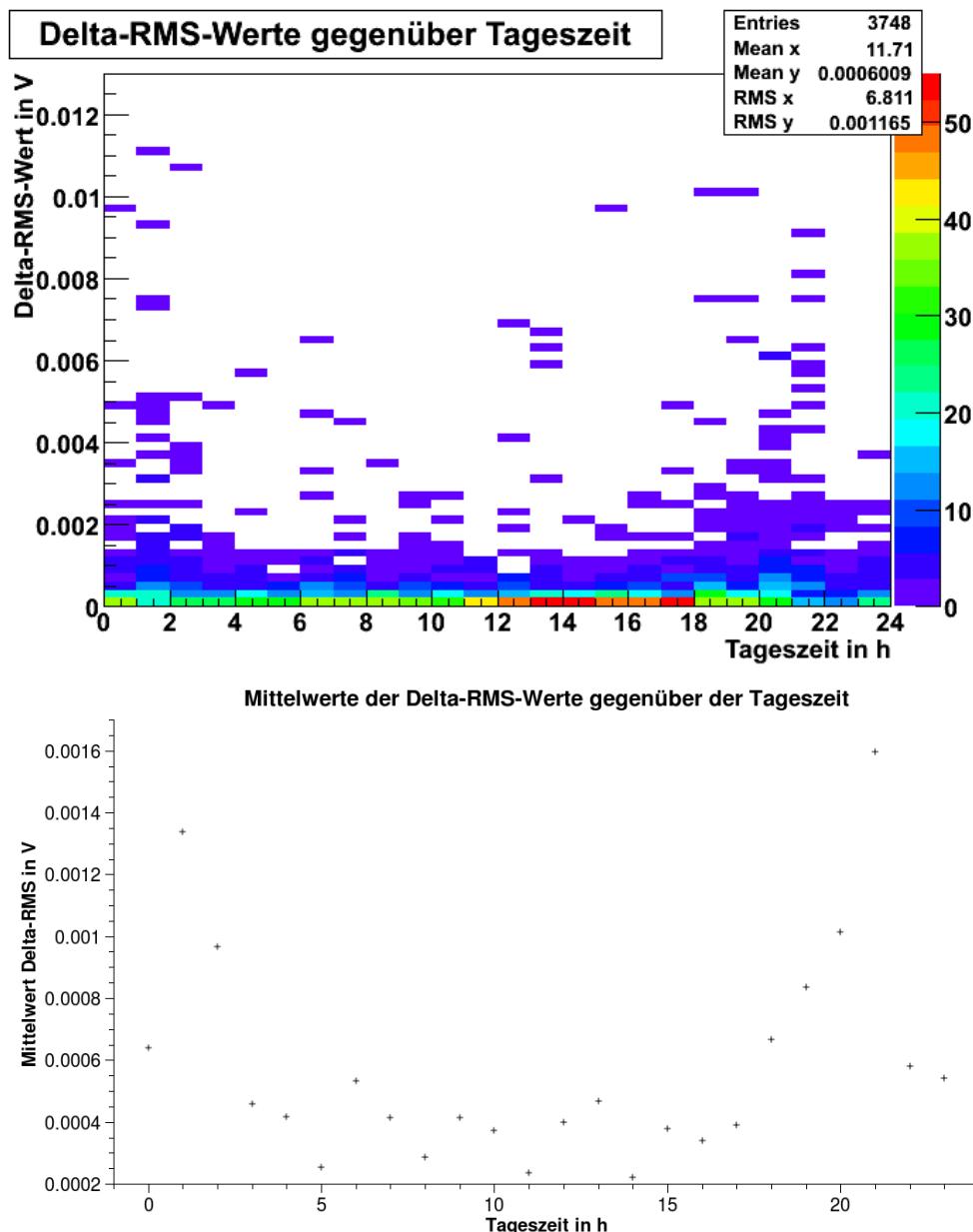


Abbildung 3.9: ΔRMS -Werte und für Tageszeiten gemittelte ΔRMS -Werte in Abhängigkeit von der Tageszeit

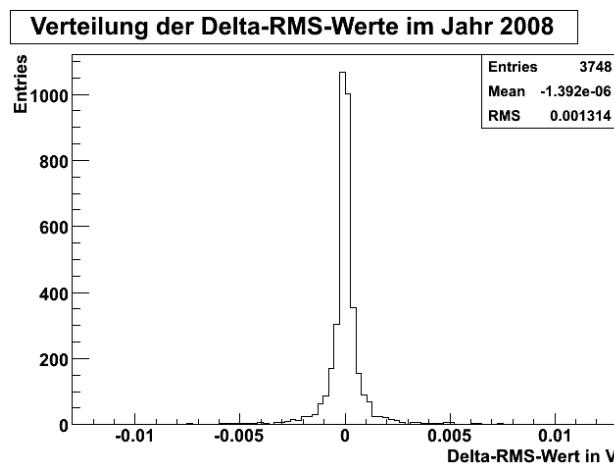


Abbildung 3.10: Verteilung der ΔRMS -Werte für das Jahr 2008

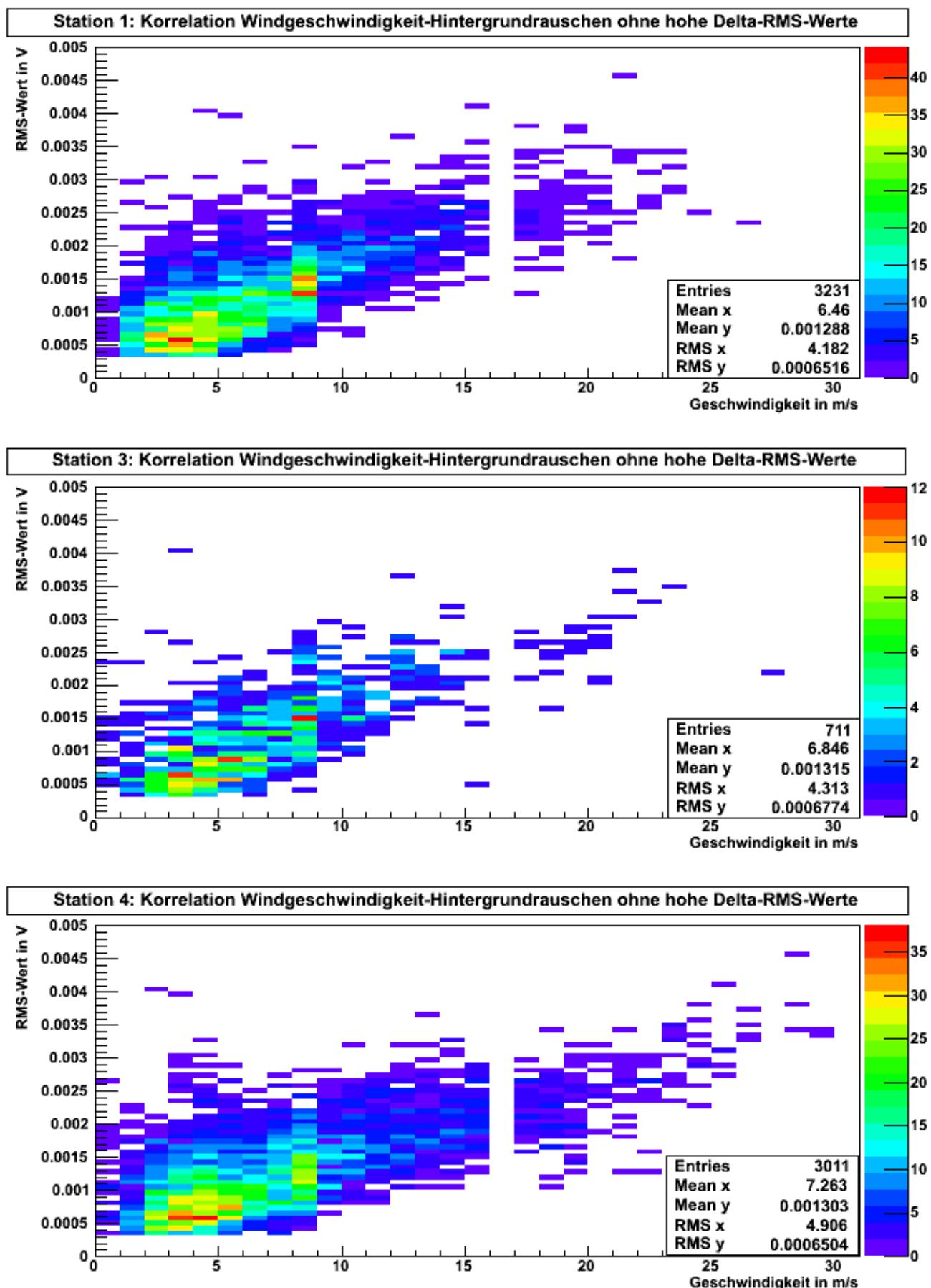


Abbildung 3.11: Korrelation zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten mit Schnitt auf hohe Δ RMS-Werte

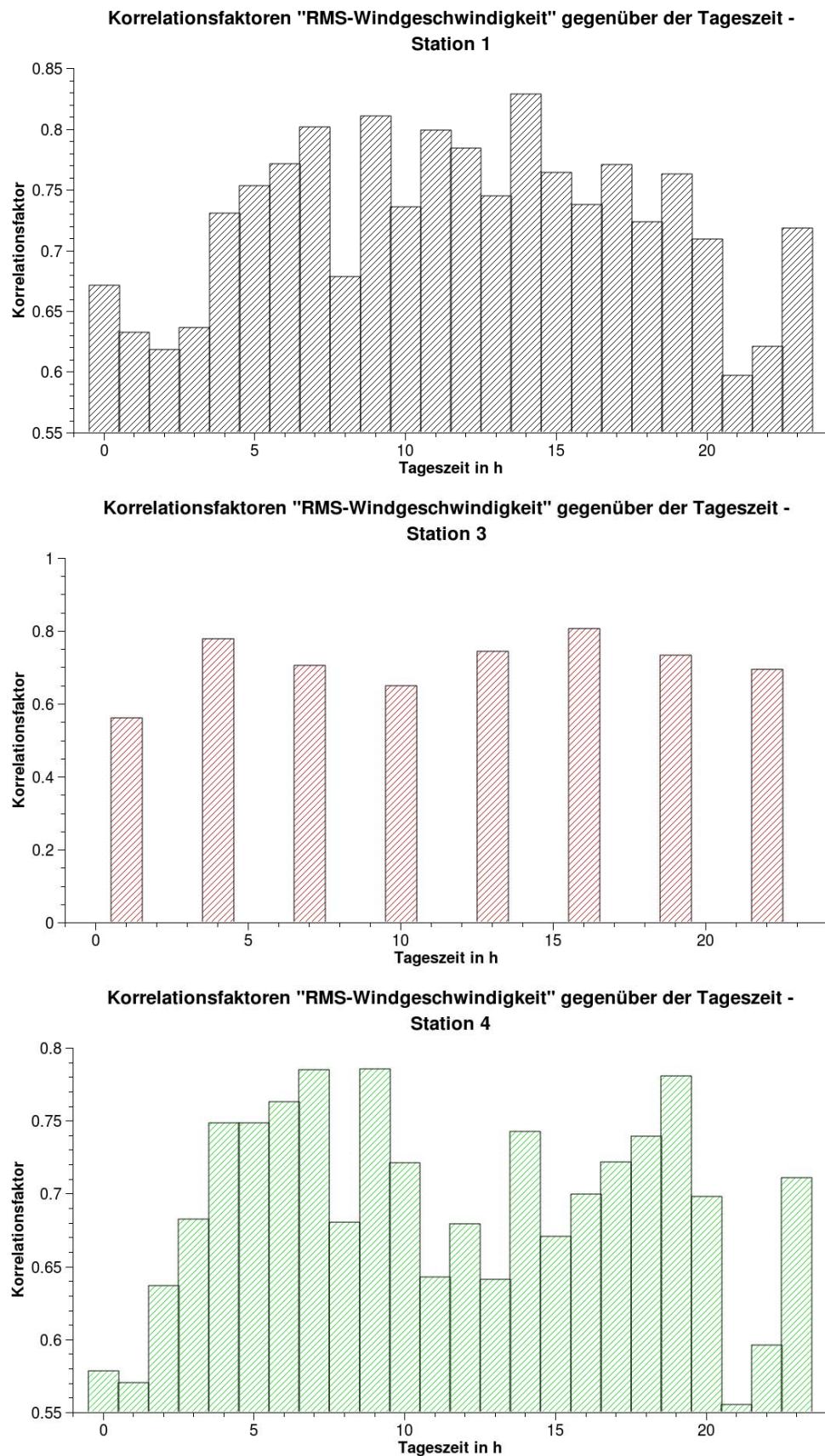


Abbildung 3.12: Korrelationsfaktoren zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten für verschiedene Tageszeiten

3.5 Abhängigkeit von der Windrichtung

Die Untersuchungen in Kapitel 3.4 haben ergeben, dass eine starke Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen in der Tiefsee am ANTARES-Standort, mit einem Korrelationskoeffizienten von circa 70 %, besteht.

In diesem Abschnitt wird untersucht, ob der Korrelationskoeffizient, der den Zusammenhang zwischen dem Hintergrundrauschen und der Windgeschwindigkeit angibt, von der Windrichtung abhängt. Eine Abhängigkeit von der Windrichtung würde nahe legen, dass die Tiefsee am Antares-Standort bevorzugt auf Winde aus ganz bestimmten Richtungen mit Wellenbewegung und Gischt reagiert, bzw. dass die Wetterlage am Standort für derartige Bedingungen besser wiedergegeben wird.

Da gewisse Windrichtungen sehr selten vorkommen und auch die Peaks von Station zu Station leicht unterschiedlich sind (siehe Abb. 5.4 im Anhang Kapitel 5), wird für jede Windrichtung $dir \in \{5^\circ; 15^\circ; 25^\circ; \dots; 355^\circ\}$ ein Intervall von Windrichtungen $[(dir - 15^\circ) \bmod 360^\circ; (dir + 15^\circ) \bmod 360^\circ]$ definiert.

Die Untersuchung der Korrelation des Hintergrundrauschens und der Windgeschwindigkeit wird einzeln für jedes Intervall durchgeführt. Die Intervallbreite von 30° ist dabei ein Kompromiss aus den Forderungen, einerseits die Anzahl der Daten nicht zu stark zu limitieren, andererseits eine möglichst hohe Richtungsauflösung beizubehalten.

Berechnet man nun in den oben dargestellten 10 Grad-Schritten für jede mittlere Windrichtung dir den dazugehörigen Korrelationsfaktor und trägt diesen gegen die mittlere Windrichtung auf, erhält man die Säulendiagramme in Abb. 3.13.

Der qualitative Verlauf des Korrelationskoeffizienten in Abhängigkeit von der Windrichtung ist für die betrachteten Stationen ähnlich. Dieser Sachverhalt ist vermutlich auf die gute Übereinstimmung der Verteilungen ihrer gemessenen Windrichtungen zurückzuführen.

Die Korrelationskoeffizienten von Station 3 weichen für mittlere Windrichtungen im Bereich von 135 Grad bis 175 Grad deutlich von den Korrelationskoeffizienten der anderen Stationen ab und nehmen zum Teil sogar negative Werte an. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für selten vorkommenden Windrichtungen zum Teil keine, oder nur sehr wenige, hohe Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Da jedoch vor allem hohe Windgeschwindigkeiten eine starke Korrelation bedingen, ist der Korrelationskoeffizient für diese Windrichtungen entsprechend gering oder gar negativ.

Für jede Station gibt es zwei ausgezeichnete, aber dennoch relativ flache Bereiche (um circa 70 Grad und 270 Grad), in denen die Korrelationskoeffizienten Werte von 70 % bis 80 % aufweisen. Dabei handelt es sich jedoch um die gleichen Bereiche, die in den Verteilungen der Windrichtungen (siehe Abb. 5.4 im Anhang Kapitel 5) bevorzugt vorkommen. Für die selten vorkommenden Winde aus 120 bis 180 Grad ist der Korrelationskoeffizient mit circa 45 % entsprechend gering.

Aussagen zu einer möglichen Richtungsabhängigkeit der Korrelation zwischen der Windgeschwindigkeit und dem Tiefsee-Hintergrundrauschen kann man, aufgrund der für manche Windrichtungen zu geringen Häufigkeit hoher Windgeschwindigkeiten, nicht treffen.

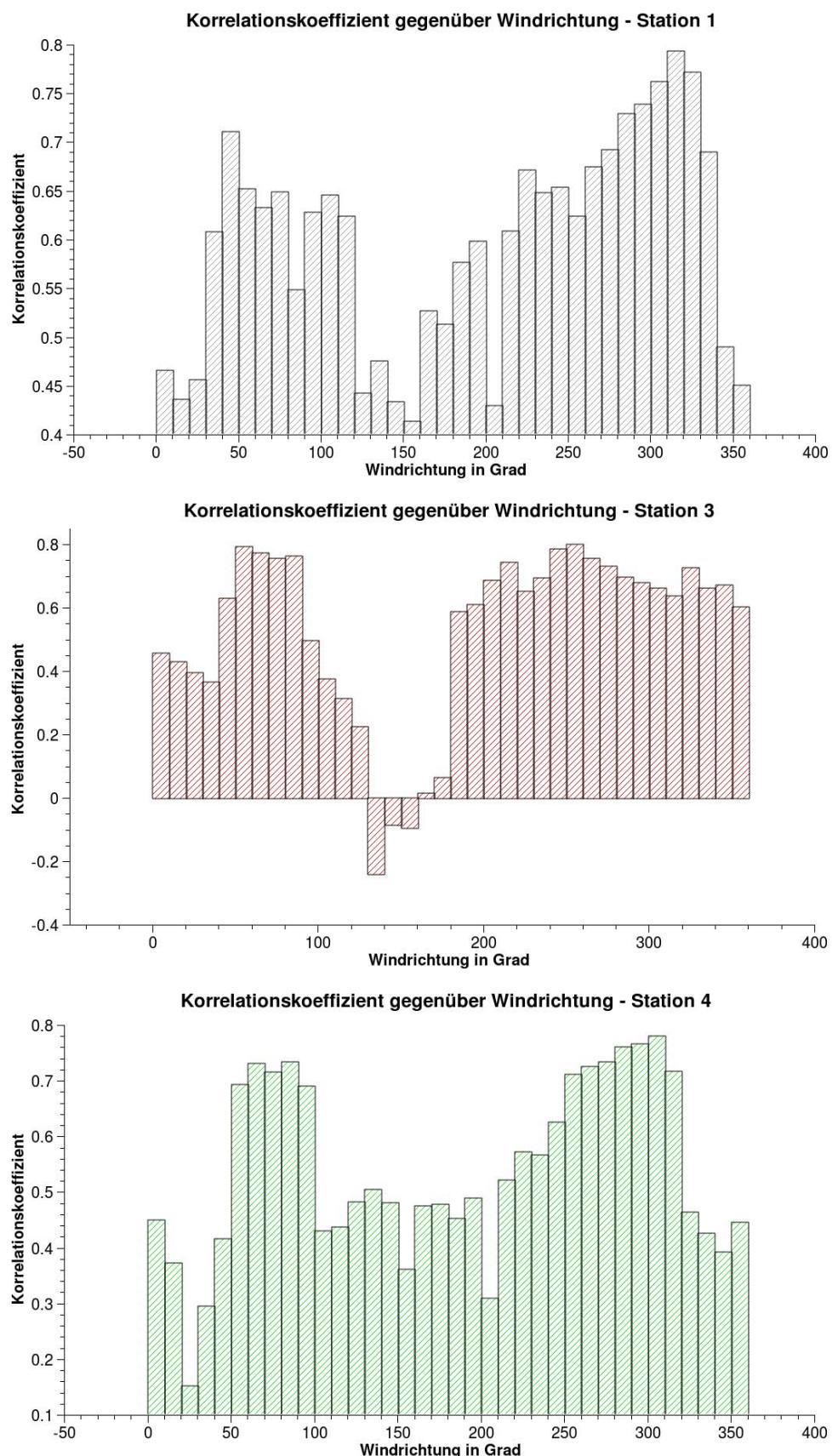


Abbildung 3.13: Korrelationsfaktoren zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten als Funktion der Windrichtung

3.6 Einschränkung der Wind-Rausch-Korrelation auf ähnliche Wetterdaten

Wie bereits in Kapitel 3.1 erwähnt, sollten diejenigen Wetterstationen ausgesucht werden, deren aufgenommene Wetterdaten die Wetterbedingungen am ANTARES-Detektor möglichst gut repräsentieren. Misst beispielsweise Wetterstation 1 in Cap Cépet eine Windgeschwindigkeit von 15 m/s, die Station auf Ile du Levant jedoch nur 5 m/s, bleibt die Frage offen, welche der beiden Daten nun mit den Rauschdaten des Detektors zu korrelieren ist. Ebenso verhält es sich für Windrichtungen. Bisher wurden die Stationen mit den besten Konditionen gesucht. Nun soll auch die Ähnlichkeit der Messungen verwendet werden, um die Qualität der Daten zu erhöhen.

Der zweite Teil dieser Arbeit widmet sich der Frage, ob und in welchem Maße die Einschränkung der Analyse auf ähnliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen Einfluss auf den Korrelationsfaktor zwischen Windgeschwindigkeit und Tiefsee-Hintergrundrauschen hat. Für die folgenden Untersuchungen werden die Wetterstationen hinsichtlich der von ihnen gemessenen Winde miteinander verglichen. Da Station 3 nur ein Viertel der Daten der anderen Stationen aufgezeichnet hat und seine Wetterdaten nach Tabelle 3.4 nicht besser mit den Rauschdaten korreliert sind, beschränken sich die folgenden Analysen auf die Windgeschwindigkeiten und -richtungen der Wetterstationen 1 (Cap Cépet) und 4 (Ile du Levant).

3.6.1 Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten

Zunächst wird untersucht, inwieweit es für die Korrelation zwischen Hintergrundrauschen und Windgeschwindigkeit von Bedeutung ist, sich nur auf solche Windgeschwindigkeiten zu beschränken, die von den Stationen als hinreichend ähnlich eingestuft wurden. Liefern die zwei betrachteten Wetterstationen ähnliche Windgeschwindigkeiten, so werden die Daten in der Analyse berücksichtigt.

Misst Wetterstation 1 eine Windgeschwindigkeit v_1 (in m/s) und Wetterstation 4 eine Windgeschwindigkeit v_4 (in m/s), so werden v_1 und v_4 als „ähnlich“ eingestuft, wenn sie folgendes Kriterium erfüllen:

$$|v_1 - v_4| \leq \sqrt{\frac{v_1 + v_4}{2}} \quad (3.3)$$

Abb. 3.14 zeigt die Wirkung des beschriebenen Schnitts auf die Wetterstationen 1 und 4. Motivation ist es, den Toleranzbereich für kleine Windgeschwindigkeiten klein zu halten. Für große Windgeschwindigkeiten dürfen auch größere Abweichungen vorkommen. Der Schnitt (siehe Abb. 3.14) filtert circa 10 % aller Wetterdaten heraus (von 7673 auf 7028).

Der angewendete Schnitt verbessert die Korrelation der Wetterstationen 1 und 4 hinsichtlich ihrer gemessenen Windgeschwindigkeiten im Vergleich zu Tabelle 3.2 auf 87,2 %.

Schränkt man nun den Vergleich von RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten auf diese Windgeschwindigkeiten ein und behält dabei den Schnitt auf hohe Δ RMS-Werte bei, so erhält man im Vergleich zu den Werten in Tabelle 3.4 leichte Verbesserungen der Korrelationsfaktoren (siehe Tabelle 3.5).

Die durch die Einschränkung auf hinreichend ähnliche Windgeschwindigkeiten erzielte Verbesserung des Korrelationsfaktors beläuft sich dabei auf 2 bis 3 %. Da man durch die Einschränkung 10 % der Daten verliert, ist sie wenig effizient.

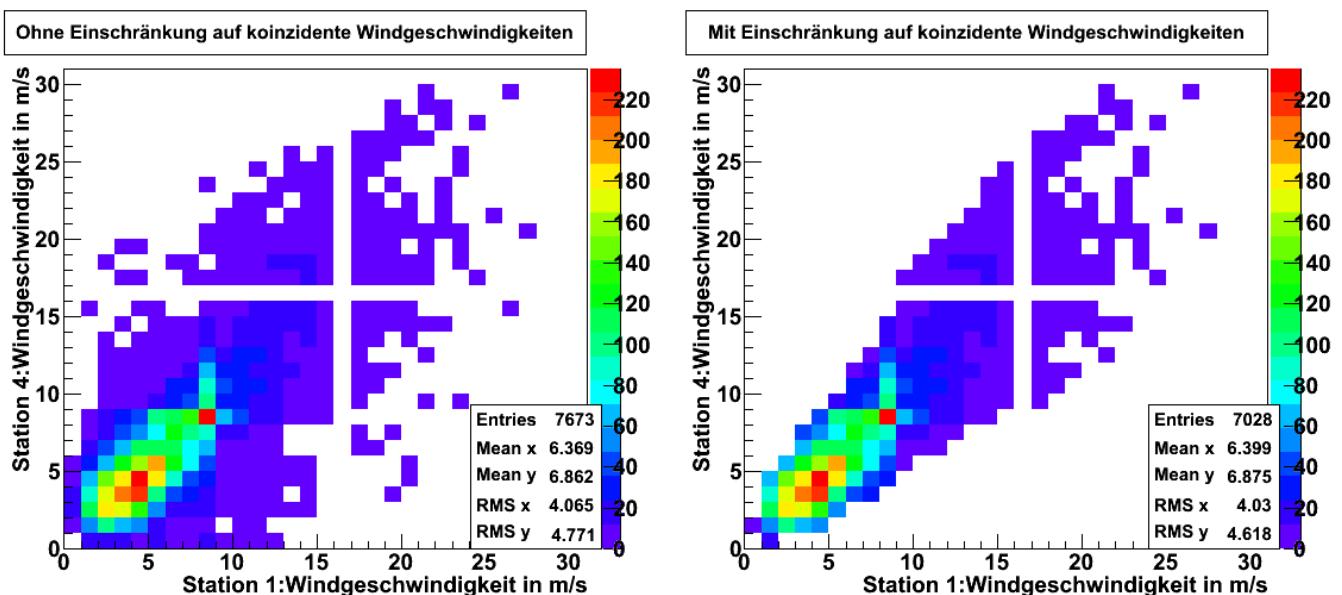


Abbildung 3.14: Wirkung des Schnitts auf ähnliche Windgeschwindigkeiten für Stationen 1 und 4

Station	gemeinsame Einträge	neuer Korrelationsfaktor	alter Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet	2633	73,5 %	71,5 %
4 Ile du Levant	2634	71,1 %	68,4 %

Tabelle 3.5: Korrelationsfaktoren nach Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten

Die zu diesem Schnitt gehörenden Graphen (RMS-Werte gegenüber Windgeschwindigkeiten) sind in Abb. 5.5 und Abb. 5.6 im Anhang (Kapitel 5) einzusehen.

3.6.2 Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen

Die Tatsache, dass man Hintergrundrauschen mit Windgeschwindigkeiten in Verbindung bringt, gründet in der berechtigten Annahme, dass die Effekte „Wind“ und „Rauschen“ kausal miteinander im Zusammenhang stehen. Als einfaches Modell kann man annehmen, dass die an jedem Ort gemessenen Windrichtungen ein Vektorfeld beschreiben. Dies wirft aber die Frage auf, wie dieses Vektorfeld am ANTARES-Standort aussieht. Da diese Frage nicht zu beantworten ist, sollen in diesem Abschnitt nur solche Windgeschwindigkeiten in die Analyse einfließen, die aus ähnlichen Windrichtungen kommen.

Die Windrichtungen dir_1 und dir_4 der betrachteten Wetterstationen gelten als „ähnlich“, wenn sie folgendes Kriterium erfüllen:

$$|dir_1 - dir_4| \leq 40^\circ \text{ oder } |dir_1 - dir_4| \geq 320^\circ \quad (3.4)$$

Wie diese Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen der Stationen 1 und 4 wirkt, ist in Abb. 3.15 zu erkennen.

Schränkt man nun die Verteilung zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten auf solche Windrichtungen ein, die zu denen der anderen Wetterstation ähnlich sind und behält man dabei den Schnitt auf hohe Δ RMS-Werte bei, so sieht man in Tabelle 3.6, dass sich im Vergleich zu den Werten in Tabelle 3.4 erneut nur geringe Verbesserungen der Korrelationsfaktoren ergeben. Die durch die Einschränkung auf hinreichend ähnliche Windrichtungen erzielte Verbesserung

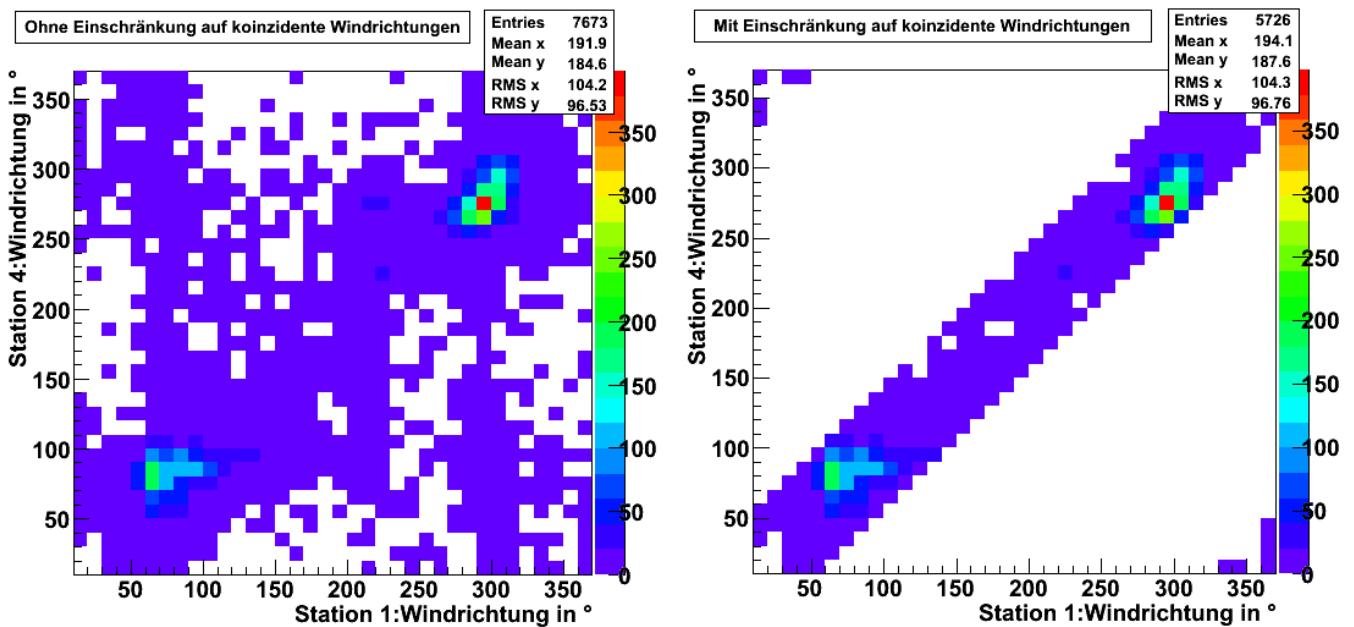


Abbildung 3.15: Wirkung des Schnitts auf ähnliche Windrichtungen für Stationen 1 und 4

Station	Einträge	neuer Korrelationsfaktor	alter Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet	2189	73,9 %	71,5 %
4 Ile du Levant	2191	71,7 %	68,4 %

Tabelle 3.6: Korrelationsfaktoren nach Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen

des Korrelationsfaktors beläuft sich, wie schon bei der Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten, auf 2 bis 3 %. Da man durch diesen Schnitt fast 30% der Daten verliert, ist auch er wenig effizient.

Die zu diesem Schnitt gehörenden Graphen (RMS-Werte gegenüber Windgeschwindigkeiten) sind in Abb. 5.7 und Abb. 5.8 im Anhang (Kapitel 5) einzusehen.

3.6.3 Kombination der beiden Filterungen

Kombiniert man schließlich die in Kapitel 3.6.1 und 3.6.2 getroffenen Einschränkungen, so erhält man für ähnliche Windgeschwindigkeiten und ähnliche Windrichtungen nochmals leicht verbesserte Korrelationsfaktoren (siehe Tabelle 3.7).

Station	Einträge	neuer Korrelationsfaktor	alter Korrelationsfaktor
1 Cap Cépet	2051	75,0 %	71,5 %
4 Ile du Levant	2053	72,4 %	68,4 %

Tabelle 3.7: Korrelationsfaktoren nach Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen

Die zu diesem Schnitt gehörenden Graphen (RMS-Werte gegenüber Windgeschwindigkeiten) sind in Abb. 5.9 und Abb. 5.10 im Anhang (Kapitel 5) einzusehen.

Die Kombination beider Schnitte reduziert die ursprüngliche Datenmenge um ein Drittel der Daten. Die Korrelationskoeffizienten wurden um circa 4 % erhöht. Die Effizienz dieses Schnitts ist also äußerst gering.

Dies zeigt, dass die Ursache für die nicht perfekte Korrelation zwischen RMS-Werten und Windgeschwindigkeiten mit großer Sicherheit nicht primär auf die Unbestimmtheit der „wahren“

Windgeschwindigkeiten am ANTARES-Standort zurückzuführen ist. Rauschen das von Schiffen, Meeressäugern und anderen Quellen generiert wird und trotz der beschriebenen Filterprozesse im geringem Maße weiterhin vorhanden ist, stellt vermutlich die Hauptursache für diesen Sachverhalt dar.

Die Frage, ob eine perfekte Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen besteht, ist also nicht endgültig geklärt. Da eine hundertprozentige Korrelation jedoch eine vollkommene Abwesenheit äußerer, störender Effekte bedingen würde, dieses Szenario aber unrealistisch und aus diesem Grund auch für die Zwecke der Neutrinodetektion uninteressant ist, ist die Beantwortung dieser Frage nur von geringer Relevanz.

Kapitel 4

Zusammenfassung und Vorschläge zur Weiterarbeit

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeföhrten Untersuchungen zum Tiefsee-Hintergrundrauschen am ANTARES haben folgende Erkenntnisse gebracht:

1. Es wurde nachgewiesen, dass eine starke Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen am ANTARES-Standort besteht.
2. Es wurde gezeigt, dass das aufgenommene Rauschen auch anderen Effekten unterliegt. Diese Effekte treten bevorzugt von 21 bis 22 Uhr und von 2 bis 3 Uhr auf und offenbaren sich in erhöhten RMS- und Δ RMS-Werten. Es besteht der Verdacht, dass diese Störungen von - den Detektor passierenden - Fähren stammen.
3. Die Filterung der hohen RMS- und Δ RMS-Werte liefert Korrelationsfaktoren, die sich auf dem 70 %-Niveau bewegen.
4. Auch unter Anwendung der in 3. beschriebenen Filterung ist die Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen für die Tageszeiten von 21 bis 22 Uhr und von 2 bis 3 Uhr schlechter als zu anderen Uhrzeiten. Dies ist ein Indiz für die Existenz weiterer, von dem Schnitt nicht erfasster Störungen.
5. Eine Richtungsabhängigkeit des Korrelationsfaktors zwischen Rauschen und Windgeschwindigkeit konnte nicht nachgewiesen werden. Die Schwankungen des Korrelationskoeffizienten mit der Windrichtung beruhen vermutlich auf der begrenzten Datenmenge und der damit verbundenen Tatsache, dass für selten vorkommende Windrichtungen keine, oder nur sehr wenige, hohe Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Diese sind es jedoch, die eine gute Korrelation mit dem Hintergrundrauschen bedingen.
6. Die erreichten Korrelationskoeffizienten unterscheiden sich für die betrachteten Wetterstationen auf Cap Cépet, Porquerolles und Ile du Levant nur unwesentlich.
7. Es wurde gezeigt, dass die Einschränkung der Analyse auf ähnliche Wetterdaten die Korrelation zwischen Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen verbessert. Allerdings sind die mit dieser Einschränkung verbundenen Schnitte wenig effizient. Schnitte auf ähnliche Windgeschwindigkeiten reduzieren die Daten um 10 %, Schnitte auf hinreichend ähnliche Windrichtungen reduzieren die Anzahl der Einträge um ein Drittel. Die erzielten Verbesserungen des Korrelationsfaktors betragen in etwa 3 %. Die Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen erhöht den Korrelationsfaktor um 4 %. Die geringe Effizienz der angewandten Schnitte macht deutlich, dass die nicht perfekte

Korrelation nicht primär auf die Unbestimmtheit der Wetterbedingungen am ANTARES-Detektor zurückzuführen ist.

Für die Weiterarbeit denkbar, wäre eine Untersuchung der Reaktionszeit des Hintergrundrauschen auf Änderungen der Windgeschwindigkeit. Wie in Kapitel 2.1 dargestellt wurde, geht das Rauschen auf verstärkte Wellenbewegung und Gischt zurück. Die Trägheit des Meeres bedingt jedoch, dass Änderungen des Wellengangs gegenüber Änderungen der Wetterlage verspätet stattfinden. Die mit diesem Effekt verbundene Reaktionszeit müsste man für eine aussagekräftigere Korrelationsbetrachtung von Windgeschwindigkeit und Hintergrundrauschen miteinbeziehen. Für diesen Zweck wird jedoch eine sehr viel höhere räumliche und zeitliche Auflösung der gemessenen Windgeschwindigkeiten benötigt.

Wie in Kapitel 3.6.2 gesehen, reduziert die Betrachtung diverser Windrichtungen die Datens Mengen so beachtlich, dass für manche Windrichtungen keine hohen Windgeschwindigkeiten vorkommen. Eine weitere Untersuchung der Abhängigkeit des Korrelationskoeffizienten von der Windrichtung erfordert daher einen erhöhten Datensatz. Ein solcher würde auch signifikantere Aussagen hinsichtlich der Tageszeitabhängigkeit des Korrelationskoeffizienten zulassen.

Kapitel 5

Anhang

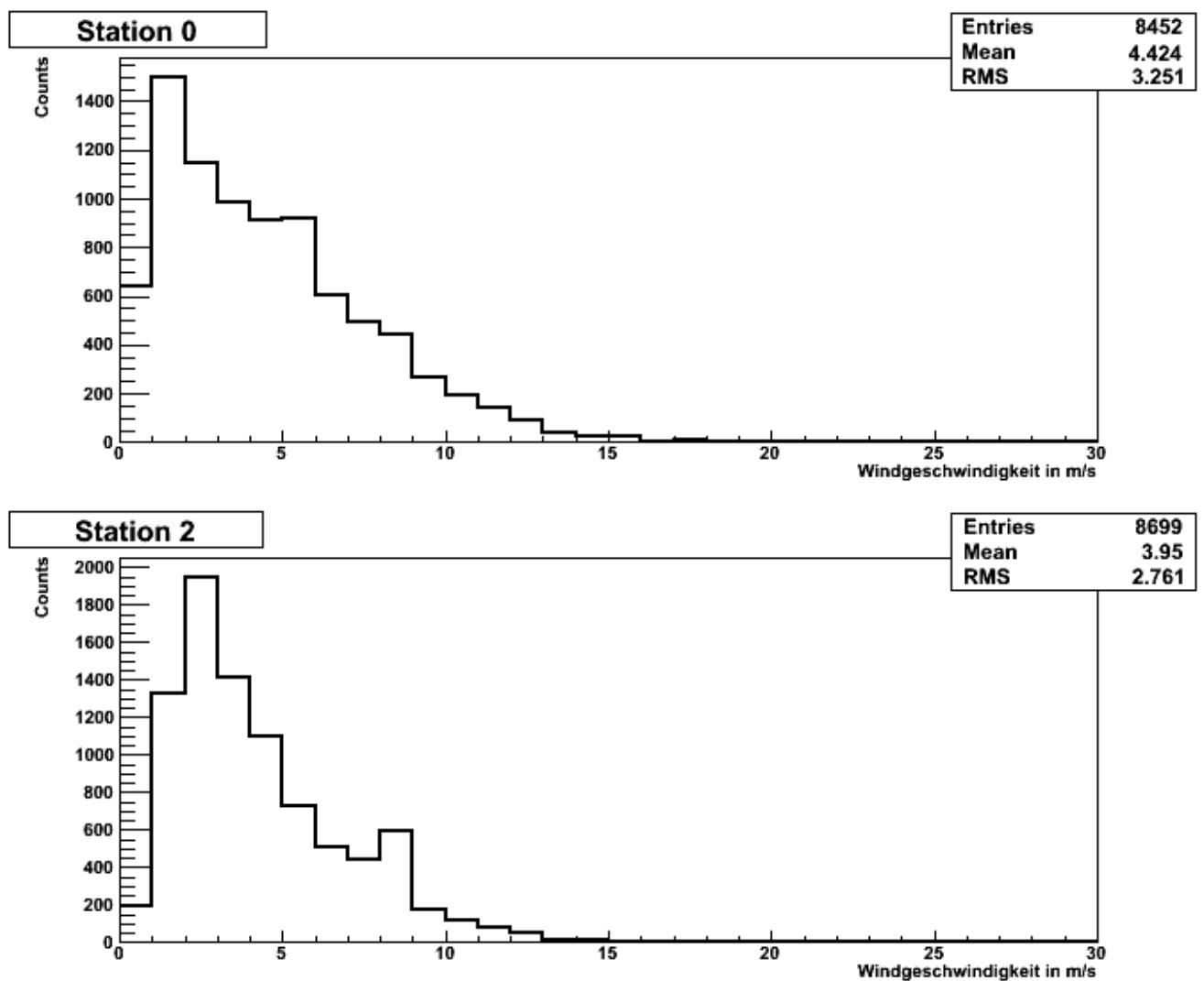


Abbildung 5.1: Verteilungen der Windgeschwindigkeiten im Jahr 2008 für die Stationen 0 und 2

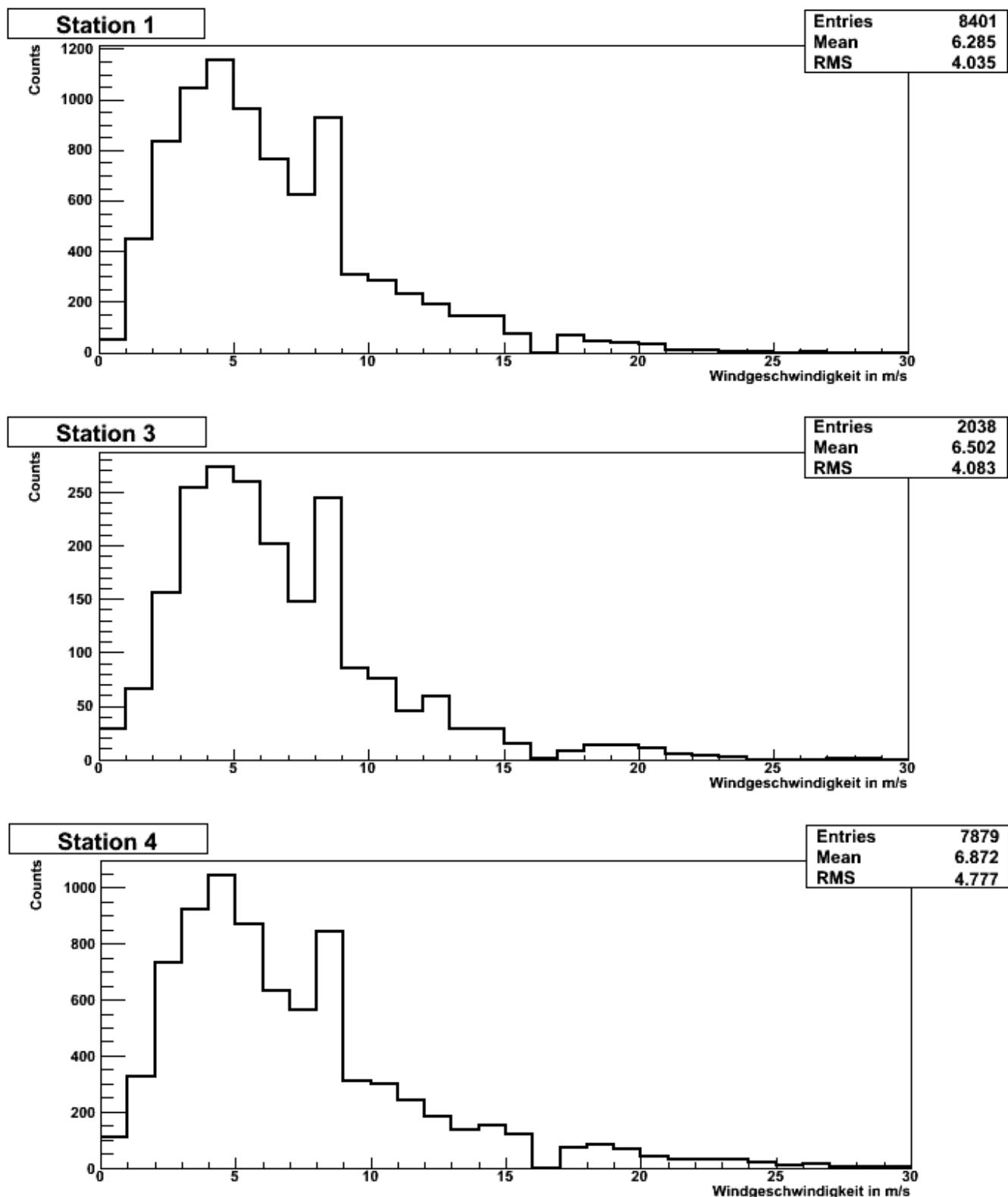


Abbildung 5.2: Verteilungen der Windgeschwindigkeiten im Jahr 2008 für die Stationen 1, 3 und 4

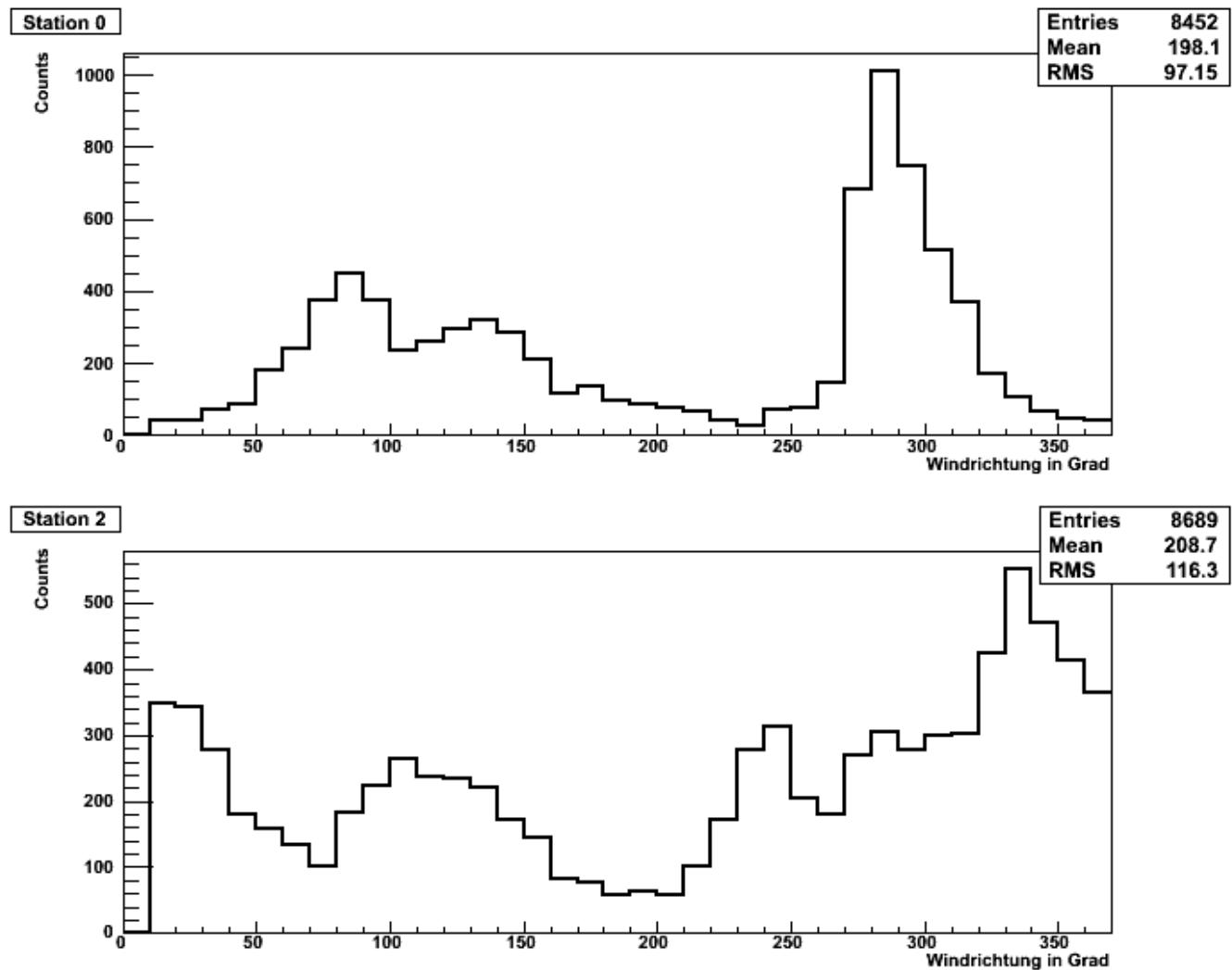


Abbildung 5.3: Verteilungen der Windrichtungen im Jahr 2008 für die Stationen 0 und 2

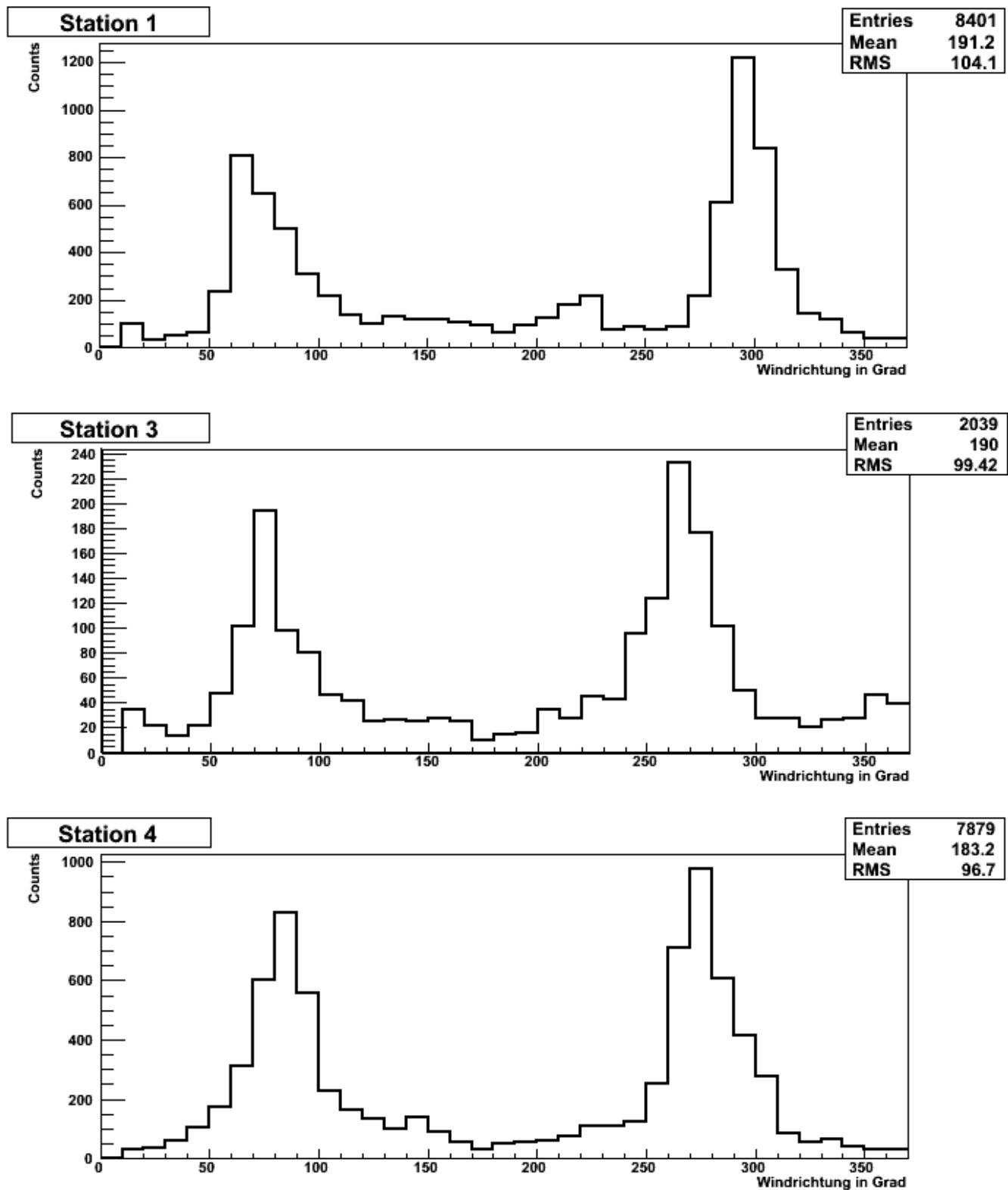


Abbildung 5.4: Verteilungen der Windrichtungen im Jahr 2008 für die Stationen 1, 3 und 4

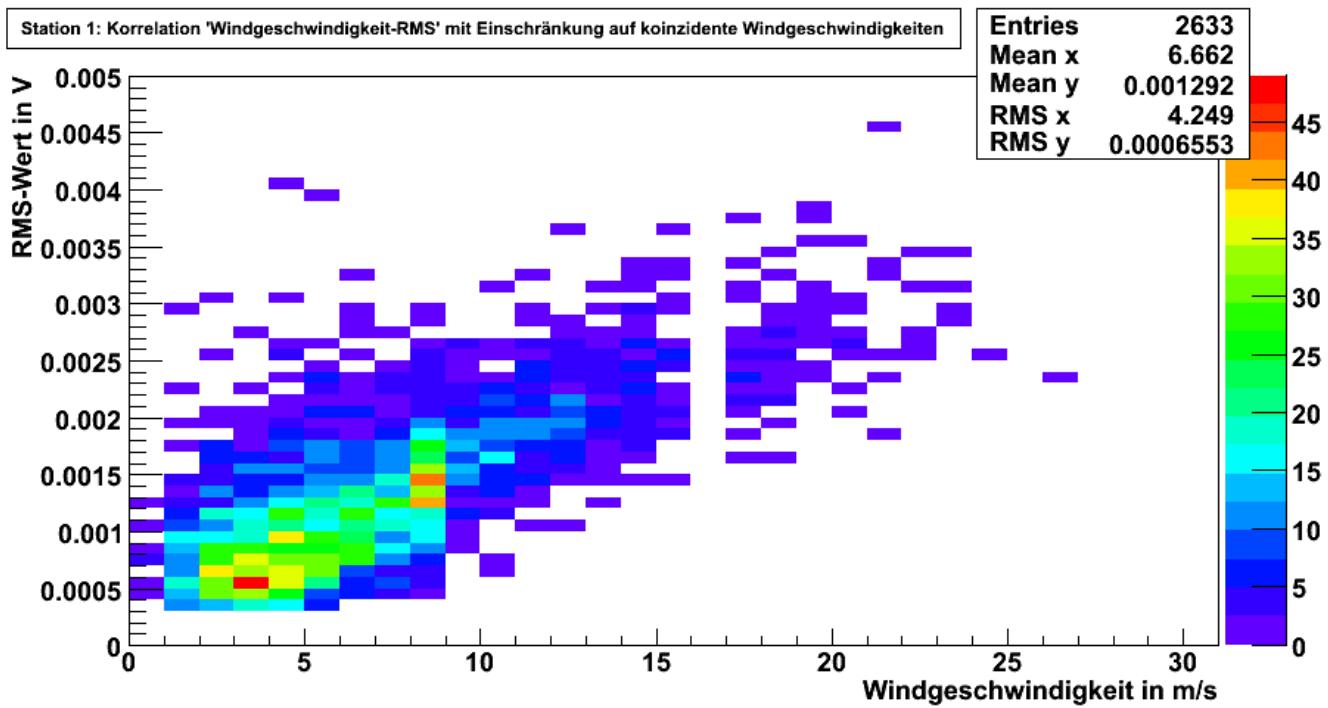


Abbildung 5.5: Station 1: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten

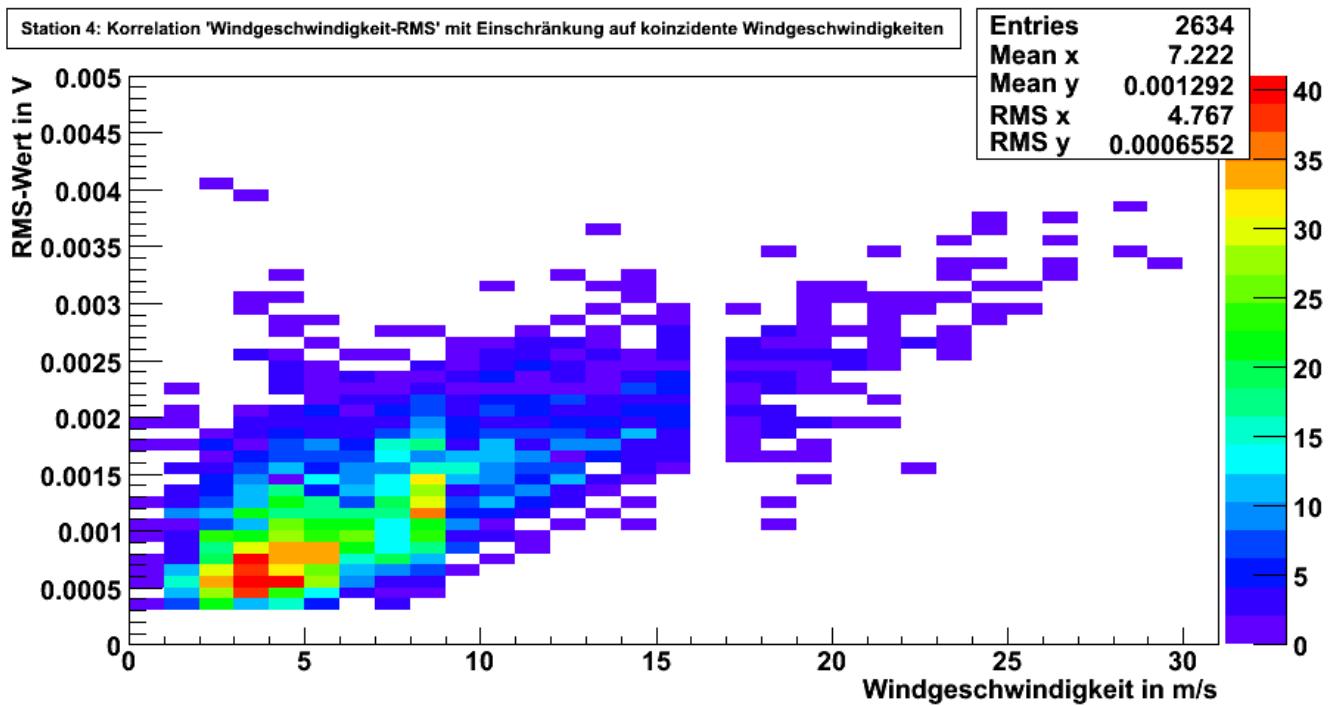


Abbildung 5.6: Station 4: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten

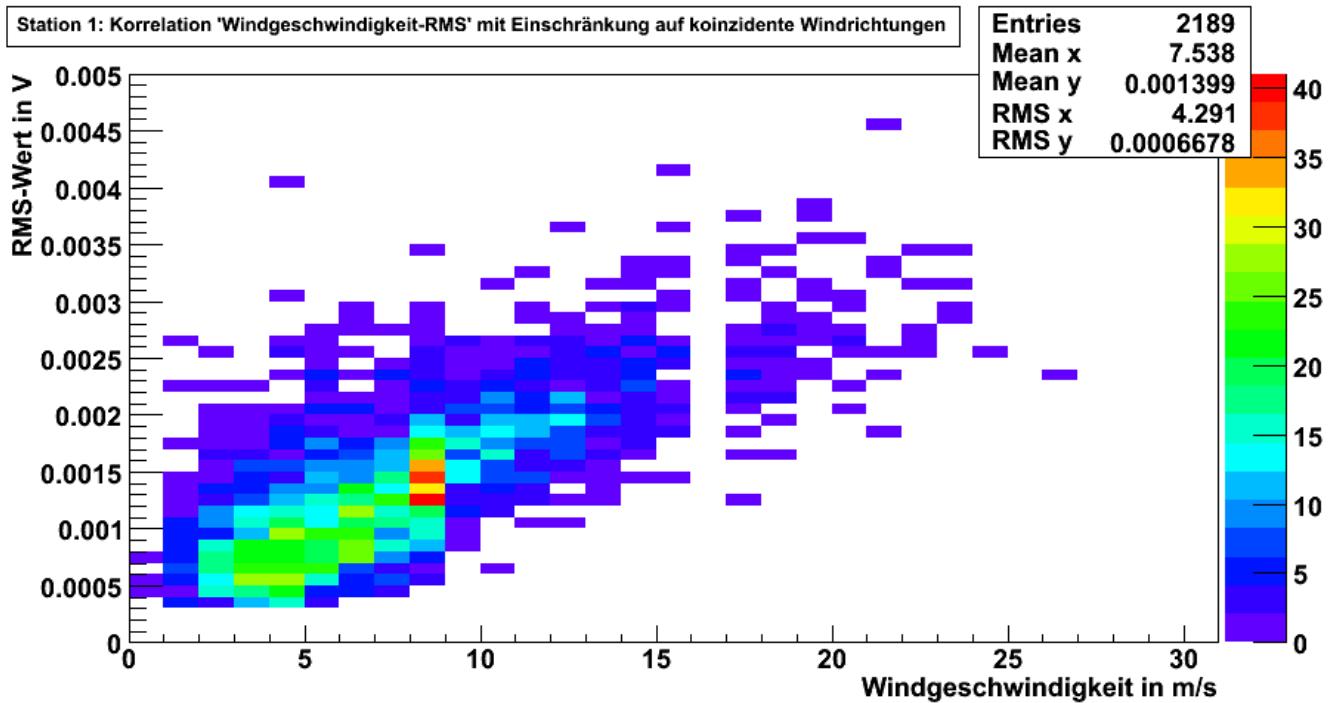


Abbildung 5.7: Station 1: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen

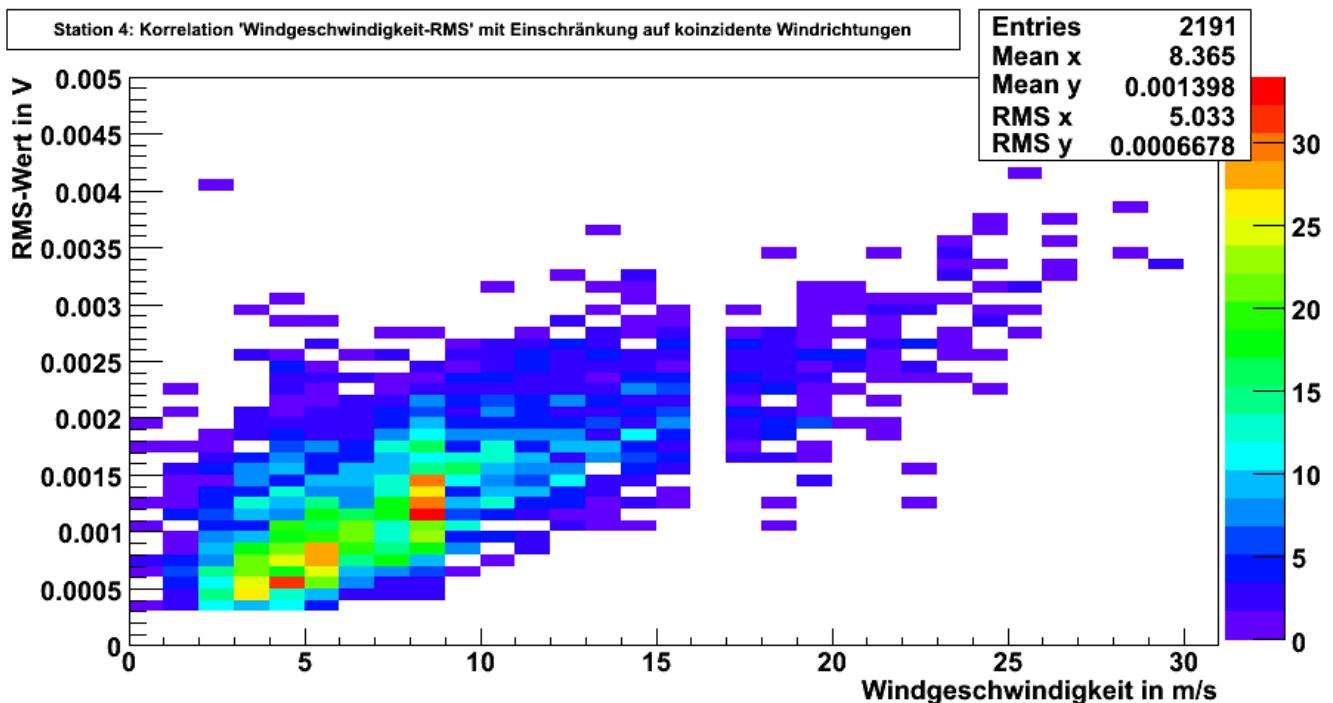


Abbildung 5.8: Station 4: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windrichtungen

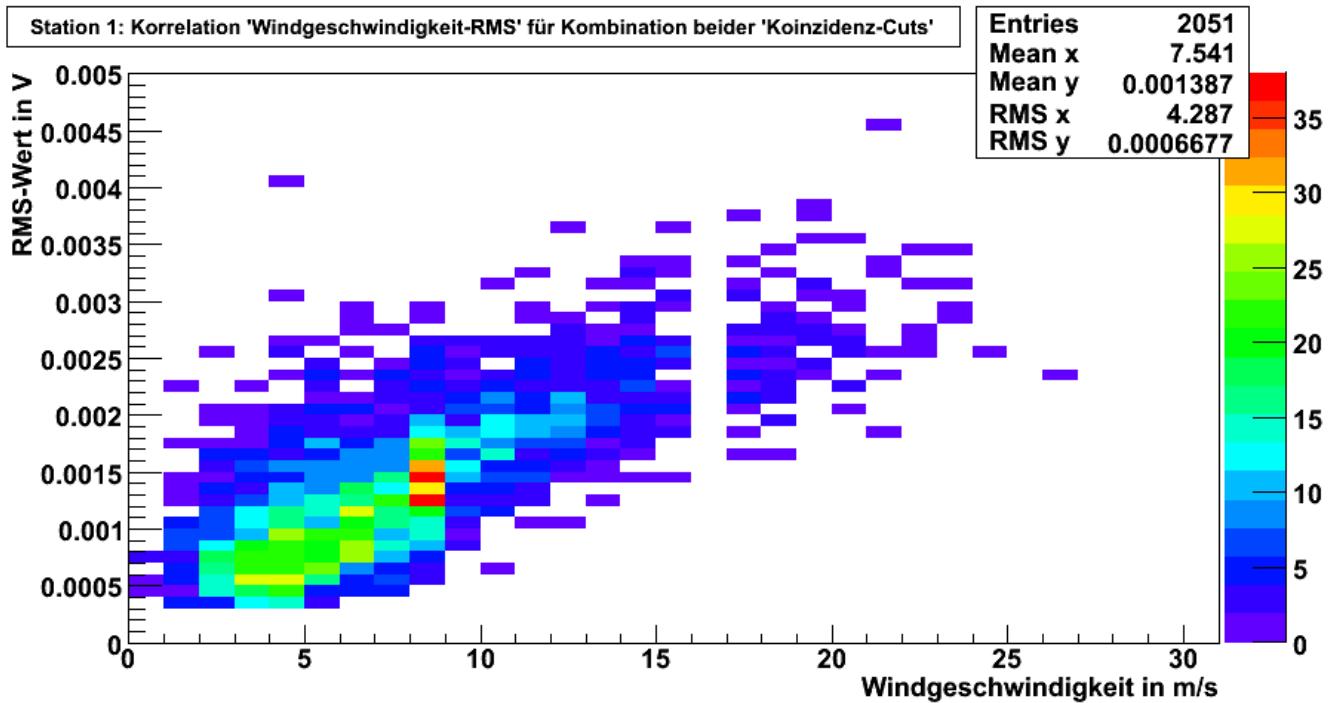


Abbildung 5.9: Station 1: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen

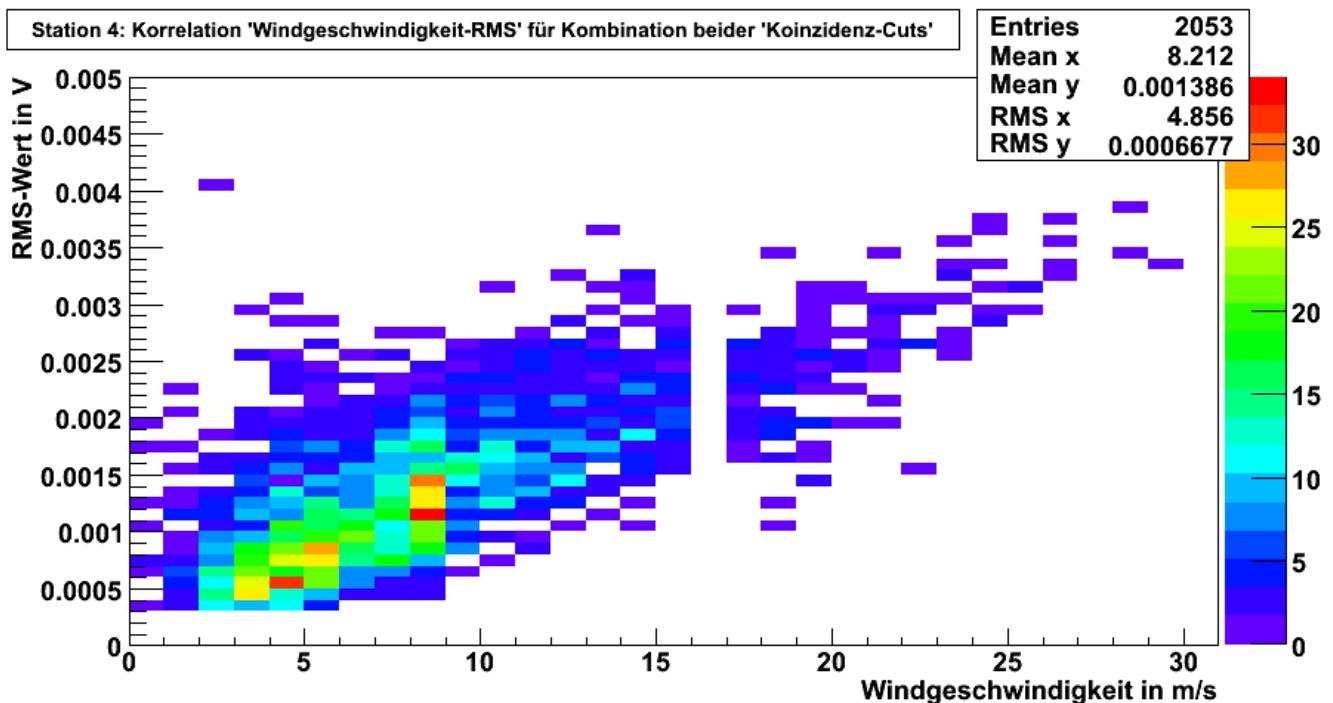


Abbildung 5.10: Station 4: Korrelationen „Windgeschwindigkeit-RMS-Wert“ mit Einschränkung auf ähnliche Windgeschwindigkeiten und -richtungen

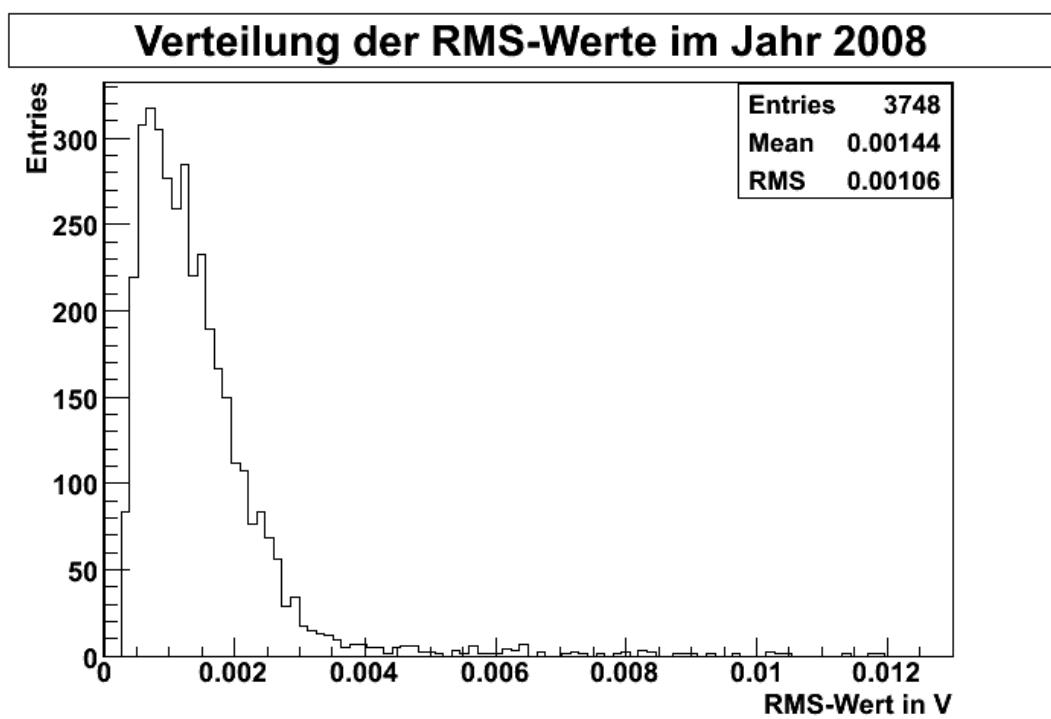


Abbildung 5.11: Sensor 11: Verteilung der RMS-Werte für das Jahr 2008

Literaturverzeichnis

- [1] Robert J. Urick, *Ambient Noise in the Sea*, 1984
- [2] Benedikt Bergmann, *Untersuchungen zum Tiefsee-Hintergrundrauschen am ANTARES-Standort*, Bachelorarbeit, 2010
- [3] Robert Lahmann, *Deep-sea acoustic neutrino detection and the AMADEUS system as a multi-purpose acoustic array*, 2009
- [4] Kay Graf, *Experimental Studies within ANTARES towards Acoustic Detection of Ultra-High Energy Neutrinos in the Deep-Sea*, Dissertation, 2008
- [5] <http://www.dosits.org/>, 13.07.2010
- [6] <http://root.cern.ch/drupal/>
- [7] <http://www.nadn.navy.mil/Users/physics/ejtuchol/Chapter11.pdf>
- [8] http://www.faehre-online.de/sncm_faehren_korsika.html, 13.07.2010
- [9] <http://www.acoustics.physik.uni-erlangen.de/>
- [10] <http://antares.in2p3.fr/>

Erklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich diese Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Erlangen, 14.07.2010