

WIE REPRÄSENTATIV SIND DIE  
METEOROLOGISCHEN MESSUNGEN VON NEUMAYER  
FÜR DAS EKSTRÖM-SCHELFEIS?

*HOW REPRESENTATIVE IS THE METEOROLOGICAL DATA AS  
MEASURED AT NEUMAYER FOR THE EKSTRÖM ICE SHELF?*

VON SIMONE HEUPEL SANTOS

BACHELORARBEIT DES STUDIENGANGS LANDSCHAFTSÖKOLOGIE (B.Sc.) DER  
WESTFÄLISCHEN WILHELMS-UNIVERSITÄT MÜNSTER, OKTOBER 2013

ERSTGUTACHTER: PROF. DR. OTTO KLEMM

ZWEITGUTACHTER: DIPL.-LANDSCHAFTSÖKOLOGE TAREK EL-MADANY



## Abstract

This work discusses the spatial representativeness and quality of meteorological data sampled by two different measurement approaches: a continuously monitored meteorological station at the polar research base *Neumayer III* and a nearby unmanned and more cost-effective automatic weather station (AWS), both located on the Ekström Ice Shelf (Antarctica).

Agreement of the two datasets was statistically tested for summer and winter season, as well as for polar day and polar night.

The results show, that the Neumayer III station has a much better data coverage, whereas the AWS shows many data gaps, especially during polar night. Correlation analysis of the majority of the meteorological parameters result in very high correlation coefficients ( $r_s > 0.9$ ) differing only in the second decimal value. Notably the air pressure has always the strongest correlation,



# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 Einleitung</b> .....               | <b>1</b>  |
| <b>2 Material und Methoden</b> .....    | <b>2</b>  |
| 2.1 Untersuchungsgebiet.....            | 2         |
| 2.1.1 Klimatologie.....                 | 2         |
| 2.2 Messgeräte .....                    | 7         |
| 2.2.1 Neumayer-Station .....            | 7         |
| 2.2.2 Automatische Wetterstation.....   | 8         |
| 2.3 Datengrundlage.....                 | 9         |
| 2.3.1 Neumayer-Daten.....               | 10        |
| 2.3.2 AWS-Daten .....                   | 10        |
| 2.4 Methoden.....                       | 11        |
| <b>3 Ergebnisse</b> .....               | <b>13</b> |
| 3.1 Unterteilung nach Jahreszeit.....   | 16        |
| 3.2 Unterteilung nach Windrichtung..... | 17        |
| <b>4 Diskussion</b> .....               | <b>19</b> |
| <b>5 Fazit</b> .....                    | <b>21</b> |
| <b>Danksagung</b> .....                 | <b>22</b> |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....       | <b>23</b> |
| <b>Anhang</b> .....                     | <b>25</b> |
| <b>Erklärung</b> .....                  | <b>35</b> |

## Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 1: Übersichtskarte.....  | 2  |
| Abb. 2: Jahresverlauf bei NM III. Polartag:15. Nov. – 27. Jan., Polarnacht: 21. Mai – 22. Jun. ....   | 3  |
| Abb. 3: Höhen-Zeit-Schnitt der Temperatur aus den täglichen Radiosondierungen von 1983 bis 2005 an den Neumayer-Stationen.....  | 3  |
| Abb. 4: Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in Prozent aller Beobachtungen mit einer Windgeschwindigkeit über 2,5 Knoten. Die Klassenweiten betragen 5 Knoten sowie 20° ..... | 4  |
| Abb. 5: Schematische Darstellung der katabatischen Winde über Antarktika .....  | 5  |
| Abb. 6: Standorte der Messstationen auf dem Ekström-Schelfeis an der Atka-Bucht; Neumayer-Station (orange); automatische Wetterstation (blau). ....   | 6  |
| Abb. 7: B. Loose (r.), technischer Leiter der meteorologischen Observatorien, beim Aufbau der AWS am 13. Februar 2012 10 km nördlich von NM III. ....   | 9  |
| Abb. 8: Die Messungen der AWS können durch Vereisung beeinträchtigt werden. ....  | 9  |
| Abb. 9: Luftdruckverlauf während des Winterhalbjahrs (April – September) in hPa (NM III=blau; AWS=grün).....  | 13 |
| Abb. 10: Scatterplot von T2 der Stationen NM III u. AWS .....   | 14 |
| Abb. 11: Windrose der NM III (2 m).....   | 15 |
| Abb. 12: Windrose der AWS.....  | 15 |
| Abb. 13: Windrose der NM III (10 m) .....   | 15 |
| Abb. 14: Box-Whisker-Plot von T2 im Sommer. ....  | 16 |
| Abb. 15: Box-Whisker-Plot von RH2 im Sommer.....  | 16 |
| Abb. 16: Box-Whisker-Plot der Temperatur (2 m bei NM III) bei N-Wind .....  | 18 |
| Abb. 17: Box-Whisker-Plot der Temperatur (2 m bei NM III) bei SW-Wind.....  | 18 |
| Abb. 18: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für T2 mit der <i>TIM</i> . ....  | 25 |
| Abb. 19: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für T10 mit der <i>TIM</i> .....  | 25 |
| Abb. 20: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für RH2 mit der <i>TIM</i> .....  | 26 |
| Abb. 21: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für RH10 mit <i>TIM</i> . ....  | 26 |
| Abb. 22: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für P mit der <i>TIM</i> . ....   | 26 |
| Abb. 23: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WS2 mit der <i>TIM</i> . ....   | 26 |
| Abb. 24: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WS10 mit <i>TIM</i> .....   | 26 |
| Abb. 25: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WD2 mit der <i>TIM</i> .....  | 26 |
| Abb. 26: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WD10 mit der <i>TIM</i> . ....  | 27 |
| Abb. 27: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Kin mit der <i>TIM</i> . ....   | 27 |
| Abb. 28: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Kout mit der <i>TIM</i> .....   | 27 |
| Abb. 29: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Lin mit der <i>TIM</i> . ....   | 27 |
| Abb. 30: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Lout mit der <i>TIM</i> .....   | 27 |

## Tabellenverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Tab. 1: Verwendete Geräte zur Messung der meteorologischen Parameter beider meteorologischer Stationen ..... | 7  |
| Tab. 2: Datenanzahl der Minutenwerte nach Bereinigung, sowie die Anzahl der davon genutzten Daten.....       | 11 |
| Tab. 3: Ergebnisse des Korrelationstest der Messreihen an den Stationen NM III und AWS.....                  | 14 |
| Tab. 4: Die von den Geräten ausgegebenen Fehlwerte.....  | 25 |
| Tab. 5: Sommer, Min .....  | 28 |
| Tab. 6: Sommer, 10-min.....  | 28 |
| Tab. 7: Sommer, Std .....  | 28 |
| Tab. 8: Winter, Min.....   | 28 |
| Tab. 9: Winter, 10- Min.....   | 28 |
| Tab. 10: Winter, Std .....   | 28 |
| Tab. 11: Polartag, Min .....   | 28 |
| Tab. 12: Polartag, 10- Min.....  | 28 |
| Tab. 13: Polartag, Std.....  | 29 |
| Tab. 14: Polarnacht, Min .....   | 29 |
| Tab. 15: Polarnacht, Std .....   | 29 |
| Tab. 16: N, Min .....  | 29 |
| Tab. 17: N, 10- Min .....  | 29 |
| Tab. 18: N, Std.....   | 29 |
| Tab. 19: NE, Min.....  | 29 |
| Tab. 20: NE, 10- Min.....  | 29 |
| Tab. 21: NE, Std.....  | 29 |
| Tab. 22: E, Min .....  | 30 |
| Tab. 23: E, 10-Min.....  | 30 |
| Tab. 24: E, Std .....  | 30 |
| Tab. 25: SE, Min.....  | 30 |
| Tab. 26: SE, 10-Min.....   | 30 |
| Tab. 27: SE, Std.....  | 30 |
| Tab. 28: S, Min .....  | 30 |
| Tab. 29: S, 10-Min .....   | 30 |
| Tab. 30: S, Std.....   | 31 |
| Tab. 31: SW, Min.....  | 31 |
| Tab. 32: SW, 10-Min.....   | 31 |
| Tab. 33: SW, Std .....   | 31 |
| Tab. 34: W, Min .....  | 31 |
| Tab. 35: W 10-Min .....  | 31 |

|   |    |
|---|----|
| Tab. 36: W, Std .....   | 31 |
| Tab. 37: NW, Min .....  | 31 |
| Tab. 38: NW, 10-Min.....  | 32 |
| Tab. 39: NW, Std .....  | 32 |
| Tab. 40: Mediane der Parameter gemessen an NM III aufgeteilt nach unterschiedlicher Jahreszeit        | 32 |
| Tab. 41: Mediane der Parameter gemessen an AWS aufgeteilt nach unterschiedlicher Jahreszeit....       | 33 |
| Tab. 42: Mediane der Parameter gemessen an NM III aufgeteilt nach unterschiedlicher Windrichtung..... | 33 |
| Tab. 43: Mediane der Parameter gemessen an AWS aufgeteilt nach unterschiedlichen Windrichtungen.....  | 33 |
| Tab. 44: Häufigkeiten der Windrichtung.....   | 34 |

## Abkürzungsverzeichnis

|              |   |
|--------------|---|
| 10-Min       | 10-Minutenmittelwerte   |
| AWI          | Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung |
| AWS          | Automatische Wetterstation  |
| BSRN         | Baseline Surface Radiation Networks                                       |
| E            | Osten   |
| GAW          | Global Atmosphere Watch   |
| Lin          | Langwellige Einstrahlung  |
| Lout         | Langwellige Ausstrahlung  |
| M            | Median  |
| Min          | Minutenmittelwerte  |
| Mio.         | Millionen   |
| MOD          | Modalwert   |
| N            | Norden  |
| <i>n. b.</i> | Nicht bekannt   |
| NaN          | Not a Number  |
| NE           | Nordosten   |
| NM III       | Station Neumayer III  |
| NW           | Nordwesten  |
| P            | Luftdruck   |
| RH           | Relative Luftfeuchtigkeit   |
| RH10         | Relative Luftfeuchtigkeit gemessen in 10 m Höhe an der NM III             |
| RH2          | Relative Luftfeuchtigkeit gemessen in 2 m Höhe an der NM III              |
| $r_s$        | Rangkorrelationskoeffizient Rho nach Spearman                             |
| S            | Süden   |
| SE           | Südosten  |
| Sin          | Kurzwellige Einstrahlung  |
| Sout         | Kurzwellige Ausstrahlung  |
| Std          | Stundenmittelwerte  |
| SW           | Südwesten   |
| T            | Temperatur  |
| T10          | Temperatur gemessen in 10 m Höhe an der NM III                            |
| T2           | Temperatur gemessen in 2 m Höhe an der NM III                             |
| TIM          | Theil's Incomplete Method   |
| W            | Westen  |
| WD           | Windrichtung  |
| WD10         | Windrichtung gemessen in 10 m Höhe an der NM III                          |
| WD2          | Windrichtung gemessen in 2 m Höhe an der NM III                           |
| WMO          | World Meteorological Organization   |
| WS           | Windgeschwindigkeit   |
| WS10         | Windgeschwindigkeit gemessen in 10 m Höhe an der NM III                   |
| WS2          | Windgeschwindigkeit gemessen in 2 m Höhe an der NM III                    |



## 1 Einleitung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem Vergleich meteorologischer Messungen von zwei unterschiedlichen Stationen auf dem Ekström-Schelfeis (Antarktika). Die Neumayer III (NM III) verfügt über ein den WMO-Richtlinien entsprechendes meteorologisches Observatorium und ist bemannt. Bei der anderen handelt es sich um eine unbemannte, automatische Wetterstation (AWS). Die Messungen liefen von Februar 2012 bis Januar 2013 und wurden vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar und Meeresforschung (AWI) durchgeführt.

Hintergrund dieser Untersuchung war zum einen die Frage nach der Repräsentativität meteorologischer Daten in Antarktika, zum anderen sollte die Funktionalität automatischer Wetterstationen getestet werden. Die verglichenen Messgrößen sind die Temperatur, die Luftfeuchtigkeit, der Luftdruck, Windrichtung und -geschwindigkeit, sowie die kurz- und langwellige Strahlung.

Nach Bereinigung der Daten mit Plausibilitätstests wurden Korrelationsanalysen mit der Spearman'schen Rangkorrelation für nicht-parametrische Daten durchgeführt.

Bei den AWS-Daten kam es zu wesentlich größeren Datenausfällen als bei NM III. Die Korrelationstests ergaben durchgehend sehr hohe Korrelationskoeffizienten. Die Analyse der Korrelationen in Abhängigkeit von der Windrichtung und der Jahreszeit erbrachte keine relevanten Änderungen der Ergebnisse.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Untersuchungsgebiet

Antarktika, der antarktische Kontinent, ist etwa 14 Mio. km<sup>2</sup> groß, Schelfeisgebiete und Inseln mit einberechnet. Nahezu 98 % des Kontinents sind mit Eis bedeckt. Geologisch unterteilt man Ost- und Westantarktika, getrennt durch den transantarktischen Gebirgszug (BARGAGLI 2005, BLÜMEL 1999).

Das Ekström-Schelfeis befindet sich in der Ostantarktis am nordöstlichen Wedell-See (Abb.1). Es ist 8700 km<sup>2</sup> groß und die Schelfeisdicke beträgt bis zu 850 m (CliSAP o. J.)

Bis heute gibt es abgesehen von knapp 40 größeren und dauerhaft betriebenen Forschungsstationen keine permanente Besiedlung (WÜTHRICH u. THANNHEISEN 2002).

Die für diese Arbeit genutzten meteorologischen Daten wurden vom 13. Februar 2012 bis zum 31. Januar 2013 vom Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung auf dem Ekström-Schelfeis in der Antarktis erhoben.

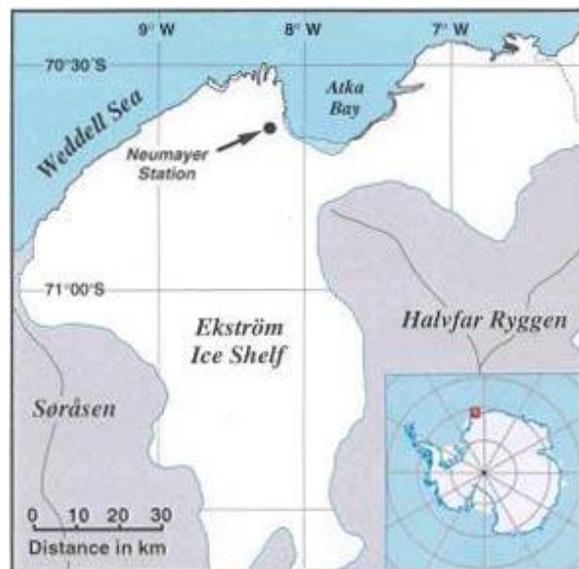


Abb. 1: Übersichtskarte. (Quelle: AWI o. J.c)

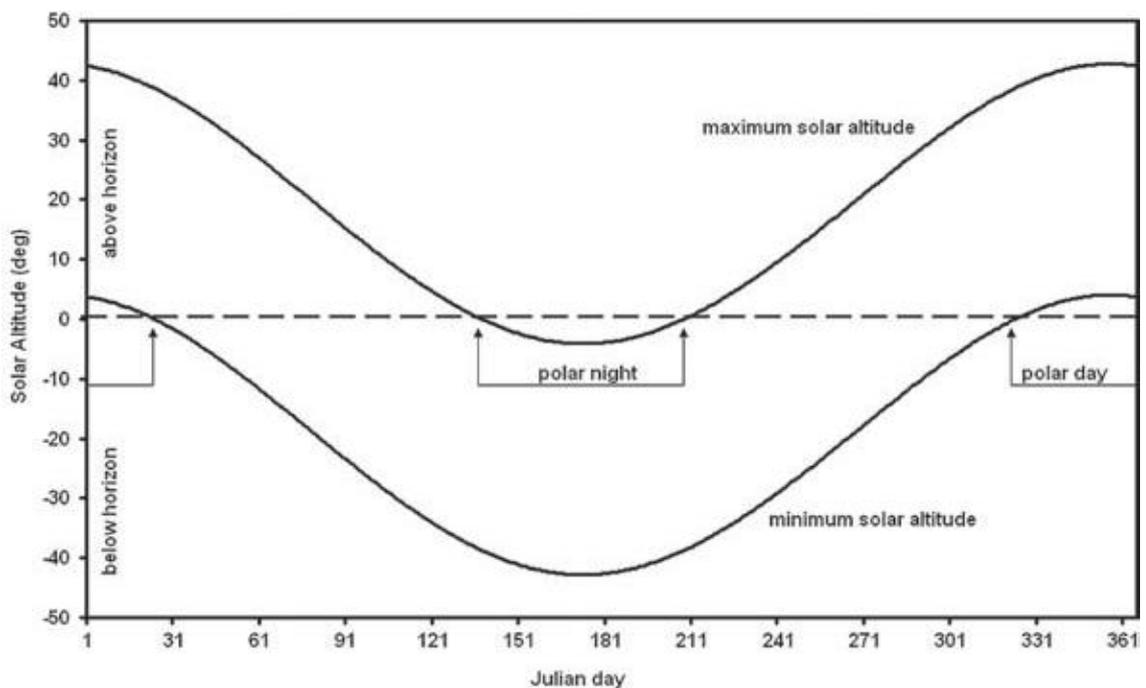
#### 2.1.1 Klimatologie

Klimatologisch lassen sich Sommer- (Oktober bis März) und Winterhalbjahr (April bis September) unterscheiden. Separat zu betrachten ist aber auch das Phänomen des Polartags und der Polarnacht. Zur Zeit der Polarnacht geht die Sonne nicht auf, während des Polartags geht sie nicht unter (Abb. 2). Dies hat eine erhebliche Wirkung auf die Meteorologie des Gebiets und sorgt für starke Variabilität während eines Jahres. Antarktika ist ein Kontinent der meteorologischen Extreme. Hier befindet sich die größte Wüste der Welt und es werden sowohl die tiefsten Temperaturen, die niedrigsten atmosphärischen Drücke als auch die stärksten Windgeschwindigkeiten gemessen.

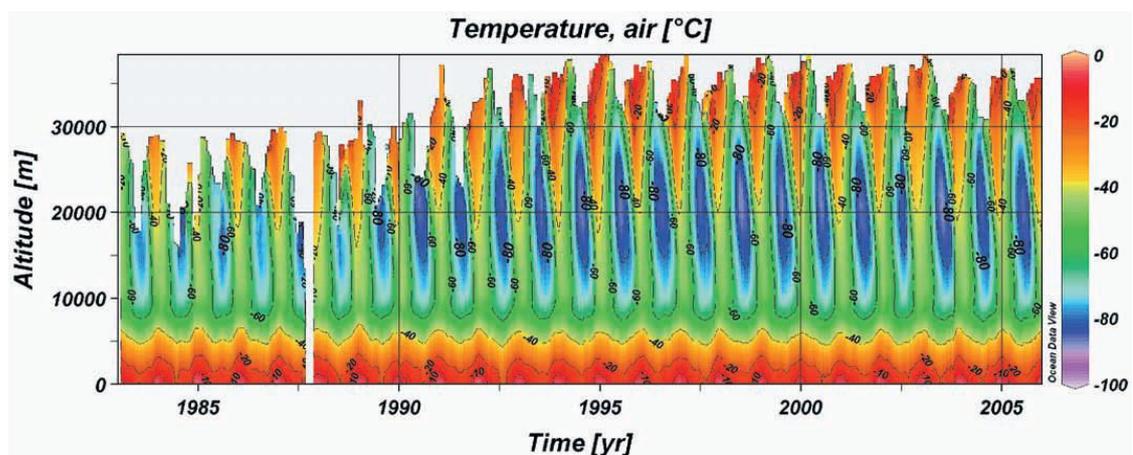
Die mittlere Lufttemperatur der ostantarktischen Küstenregionen schwankt zwischen -4 °C im Sommer und -25 °C im Winter (BARGAGLI 2005, S. 17). Diese Werte spiegeln sich

auch in der Langzeitmessung der Temperatur des AWI wider (Abb. 3). Nicht zuletzt weil Antarktika der höchstgelegene Kontinent ist – 60 % liegen über 2000 m (SCHALLER u. ROSE 1988, S. 11) – und die Sonneneinstrahlung nur mit sehr geringem Neigungswinkel eintrifft, ist es der kälteste Ort der Erde. Daher spielt sie als größte Wärmesenke der südlichen Hemisphäre eine wichtige Rolle im globalen Klimasystem (BARGAGLI 2005, S. 11).

Ein sehr niedriger Luftdruck ist charakteristisch für diese Region, die vornehmlich durch die subpolare Tiefdruckrinne beeinflusst ist.



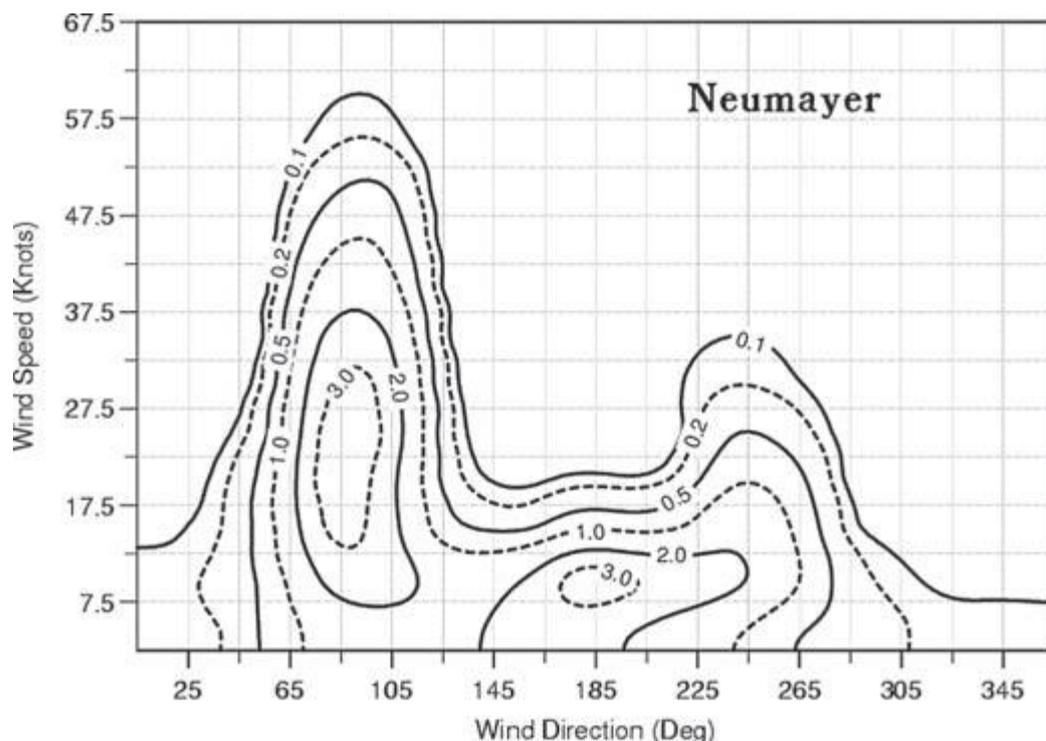
**Abb. 2:** Jahresverlauf bei NM III. Polartag: 15. Nov. – 27. Jan., Polarnacht: 21. Mai – 22. Jun. (Quelle: KÖNIG-LANGLU u. LOOSE 2007, S. 29)



**Abb. 3:** Höhen-Zeit-Schnitt der Temperatur aus den täglichen Radiosondierungen von 1983 bis 2005 an den Neumayer-Stationen. (Quelle: KÖNIG-LANGLU u. LOOSE 2007, S. 32)

Die Küste Ostantarktikas ist geprägt von starken Windsystemen. Durch den großen Druckgradienten zwischen dem ganzjährig stationären Hoch über der Zentralantarktis und der subpolaren Tiefdruckrinne direkt vor der Küste bilden sich die zyklonalen Westwindströmungen, welche hohe Windgeschwindigkeiten zur Folge haben.

Hinzu kommt das Phänomen der katabatischen Winde. Diese in den extrem kalten Höhenlagen entstehenden Luftmassen fließen als Fallwinde hangabwärts Richtung Küste (Abb. 5). Auf diesem Weg nimmt die Beschleunigung immer weiter zu. Ihr Auftreten kann plötzlich sein und wegen des geringen Reibungswiderstands orkanartige Geschwindigkeiten von bis zu  $50 \text{ m s}^{-1}$  (KLEIN 2000, S. 1) erreichen. Besonders während der Polarnacht steigt die Häufigkeit an und sie können durch das Zusammentreffen mit den zyklonalen Westwinden verstärkt werden. An der Neumayer-Station kommen die katabatischen Winde aus östlicher Richtung (Abb. 4). Katabatische Winde spielen außerdem eine zentrale Rolle bei der Bildung von Polynjas, offenen Wasserflächen.



**Abb. 4:** Zweidimensionale Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung in Prozent aller Beobachtungen mit einer Windgeschwindigkeit über 2,5 Knoten. Die Klassenweiten betragen 5 Knoten sowie  $20^\circ$ . (Quelle: KÖNIG-LANGLO u. LOOSE 2007, S. 31)

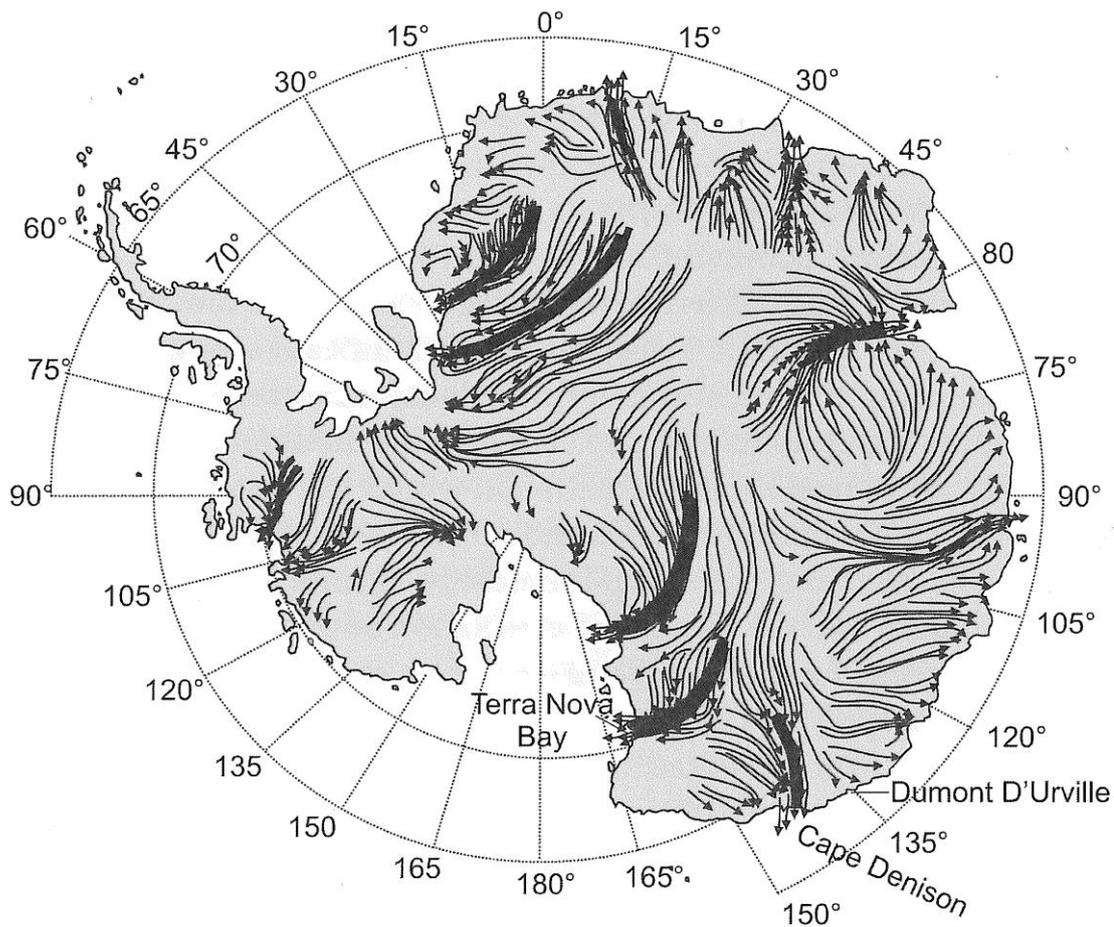


Abb. 5: Schematische Darstellung der katabatischen Winde über Antarktika. (Quelle: BARGAGLI 2005, S. 23)

### Neumayer-Station

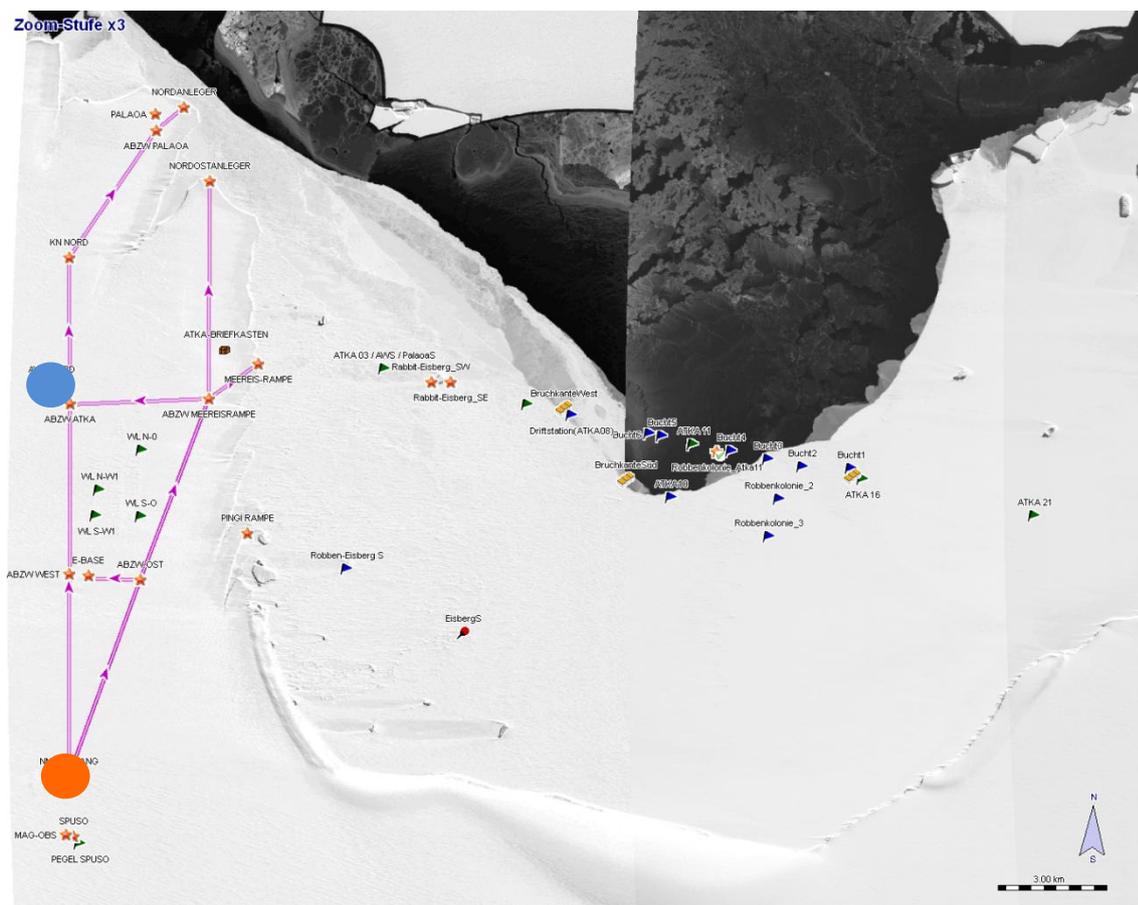
Seit dem 20. Februar 2009 ist die Neumayer-Station III in Betrieb. Als Zentrum der deutschen Antarktisforschung befindet sie sich wie ihre Vorgänger auf dem Ekström-Schelfeis wenige Kilometer von der Atka-Bucht des Wedell-Meers entfernt (Abb. 6). Die geographischen Koordinaten sind  $70^{\circ}40'S$ ,  $008^{\circ}16'W$  (AWI o. J.a) bei einer Höhe von 43 m ü. NN.

Im meteorologischen Observatorium der Station werden nicht nur minütlich die Messungen des meteorologischen Messturms (MET-Tower) aufgezeichnet (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und -geschwindigkeit in 2 und 10 m Höhe). Täglich finden Radiosondenaufstiege statt – einmal wöchentlich mit Ozonsondierung. Außerdem wird den Anforderungen des *Baseline Surface Radiation Networks (BSRN)* entsprechend die bodennahe Strahlung gemessen. Neben dem meteorologischen Observatorium verfügt die Neumayer-Station über ein geophysikalisches Observatorium, welches sich mit den The-

men der Seismologie und Geomagnetik beschäftigt. Das Spurenstoff-Observatorium untersucht die Luftchemie, z. B. die Konzentration von Spurengasen oder Feinstaub. Gemeinsam mit dem eng zusammenarbeitenden meteorologischen Observatorium werden die Daten an das WMO-Netzwerk *Global Atmospheric Watch* weitergegeben. Des Weiteren wird ein 13 km entferntes Akustik-Observatorium *Perennial Acoustic Observatory in the Antarctic Ocean (PALOA)* zur kontinuierlichen Aufnahme der Unterwassergeräusche nahe der Schelfeiskante betrieben.

### Automatische Wetterstation

Am 13. Februar 2012 wurde die AWS etwa 10 km nördlich von Neumayer aufgebaut (Abb. 6). Mit den Koordinaten  $70^{\circ}34'S$ ,  $8^{\circ}17'W$  liegt sie westlich der Atka-Bucht.



**Abb. 6:** Standorte der Messstationen auf dem Ekström-Schelfeis an der Atka-Bucht; Neumayer-Station (orange); automatische Wetterstation (blau). (Quelle: AWI)

## 2.2 Messgeräte

### 2.2.1 Neumayer-Station

Tab. 1 zeigt die Geräte der Neumayer-Station des AWI, deren Messparameter für die folgenden Analysen verwendet wurden.

**Tab. 1:** Verwendete Geräte zur Messung der meteorologischen Parameter beider meteorologischer Stationen (KÖNIG-LANGLO u. LOOSE 2007)

| Parameter                 | Instrument NM III                     | Einbauhöhe       | Instrument AWS                  | Einbauhöhe |
|---------------------------|---------------------------------------|------------------|---------------------------------|------------|
| Lufttemperatur            | PT-100 Widerstandsthermometer (Thies) | 2 m<br>10 m      | HMP155 (Vaisala)                | 2,65 m     |
| Taupunkttemperatur        | 2 Hygrometer HMP233 (Vaisala)         | 2 m<br>10 m      | -                               | -          |
| Relative Luftfeuchtigkeit | <i>Wird berechnet, nicht gemessen</i> | 2 m              | HMP155 (Vaisala)                | 2,65 m     |
| Luftdruck                 | Digiquartz (Paroscientific Inc.)      | Auf NN gerechnet | 61302V Barometer (Young)        | 1,7 m      |
| Windgeschwindigkeit       | Schalenanemometer (Thies)             | 2 m<br>10 m      | 05106-5 Wind Monitor-Ma (Young) | 4,10 m     |
| Windrichtung              | Windfahne (Thies)                     | 2 m<br>10 m      | 05106-5 Wind Monitor-Ma (Young) | 4,10 m     |
| Kurzwellige Einstrahlung  | Pyranometer CM11 (Kipp&Zonen)         | <i>n. b.</i>     | Pyranometer CNR4 (Kipp&Zonen)   | 3,3 m      |
| Kurzwellige Ausstrahlung  | Pyranometer CM11 (Kipp&Zonen)         | <i>n. b.</i>     | Pyrgeometer CNR4 (Kipp&Zonen)   | 3,3 m      |
| Langwellige Einstrahlung  | Pyrgeometer PIR (Eppley)              | <i>n. b.</i>     | Pyrgeometer CNR4 (Kipp&Zonen)   | 3,3 m      |
| Langwellige Ausstrahlung  | Pyrgeometer PIR (Eppley)              | <i>n. b.</i>     | Pyranometer CNR4 (Kipp&Zonen)   | 3,3 m      |

Die Parameter Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Windgeschwindigkeit sowie Windrichtung wurden an der NM III in zwei Höhen gemessen, 2 m sowie 10 m.

Die relative Luftfeuchtigkeit wird an NM III nicht direkt gemessen, sondern aus der Lufttemperatur und der ebenfalls gemessenen Taupunkttemperatur berechnet. Dieses indirekte Verfahren minimiert das Auftreten fehlerhafter Werte an windstillen, sonnigen Tagen durch Strahlung.

Der Druck wird mit drei identischen Geräten gemessen, die ständig abgeglichen werden. Das ausgegebene Ergebnis ist bereits auf Meeressniveau zurückgerechnet. Aufgrund der Bewegungen des Ekström-Schelfeises hat die Messung eine Unsicherheit von etwa 4 m entsprechend 0,5 hPa.

Windrichtung und -geschwindigkeit werden pro Messhöhe mit zwei einzelnen Geräten, einem Schalensternanometer und einer Windfahne, gemessen.

Die Strahlungsmessung entspricht einem sehr hohen Standard (BSRN), da diese durch einen Sonnenfolger unterstützt wird. Dieser sorgt zum einen für das Folgen der Sonnenbahn, so dass das Pyranometer zur Messung der direkten Sonnenstrahlung kontinuierlich auf die Sonne ausgerichtet ist. Zum anderen gewährleistet er die Abschattung des Pyranometers zur Messung der Diffusstrahlung und des Pyrgeometers zur Messung der Wärmestrahlung.

Da die Neumayer-Station durchgehend besetzt ist, unterliegen die Geräte einer kontinuierlichen Kontrolle. Zudem wird der Temperatursensor belüftet, die Windmessgeräte beheizt und die Strahlungsmessgeräte belüftet und beheizt. Beeinträchtigungen der Qualität durch Störungen wie Vereisungen werden minimiert und es besteht eine gesicherte Stromversorgung.

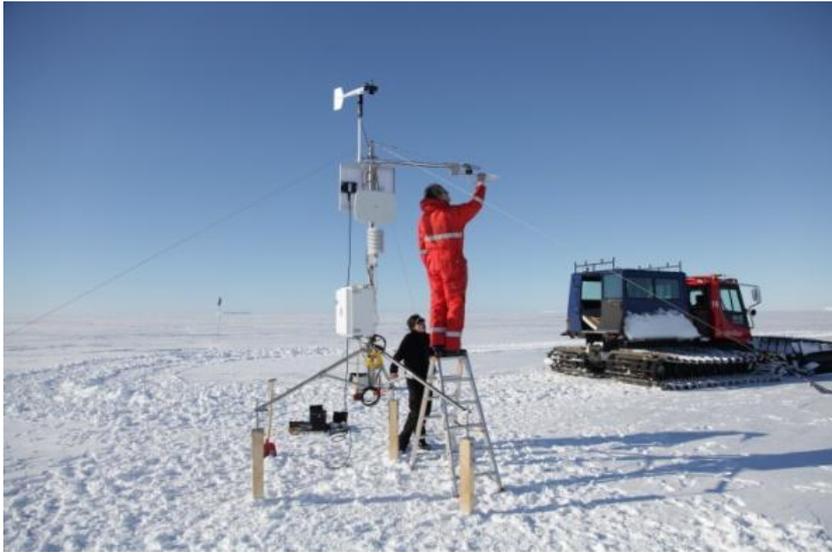
### **2.2.2 Automatische Wetterstation**

An der AWS sind die Geräte (Tab. 1) in anderen Höhen als an NM III angebracht. Die Lufttemperatur und -feuchte werden 2,65 m, Windgeschwindigkeit und -richtung 4,10 m über der Schneedecke gemessen. Der Luftdrucksensor misst in 1,70 m und das CNR4 in 3,30 m Höhe (Abb. 7).

Eine 12 V Batterie sorgt für die Stromversorgung der Station. Diese wird zusätzlich von einem Solarpanel, welches nach Norden ausgerichtet ist, geladen. Trotzdem muss die Batterie regelmäßig ausgewechselt werden.

Die Datenübertragung an die Neumayer-Station erfolgt über WLAN. Die Antenne ist aus stromeinsparenden Gründen steuerbar und wird nur für den Zeitpunkt der Übertragung eingeschaltet.

Da es sich bei der automatischen Wetterstation um keine bemannte Station handelt, ist diese mit ihren Geräten anfälliger für Störungen, welche nicht sofort behoben werden können (Abb. 8).



**Abb. 7:** B. Loose (r.), technischer Leiter der meteorologischen Observatorien, beim Aufbau der AWS am 13. Februar 2012 10 km nördlich von NM III. (Quelle: AWI)



**Abb. 8:** Die Messungen der AWS können durch Vereisung beeinträchtigt werden. (Quelle: AWI)

## 2.3 Datengrundlage

Die vom AWI zur Verfügung gestellten Daten enthielten die Messungen von NM III und AWS in einer zeitlichen Auflösung von einer Minute. Des Weiteren wurden Fotomaterial, Satellitenbilder und das Stationstagebuch der automatischen Wetterstation übergeben.

### 2.3.1 Neumayer-Daten

Die Daten der Neumayer-Station wurden von den zuständigen Stationsmitgliedern validiert. So wurden nach der täglichen Sichtung der Station um 9:00 Uhr (UTC) z. B. die Werte der letzten Stunden des Windmessers gelöscht, falls dieser eingefroren war. Nach einer ersten Sichtung auf Plausibilität der Daten musste nicht viel bereinigt werden. Zunächst wurden bereits als Fehlwerte gekennzeichnete Daten (Anhang 1) einheitlich als NaN bezeichnet. In den weiteren Schritten wurde die Windrichtung NaN gesetzt, wenn die Windgeschwindigkeit den Wert Null angenommen hat. Werte der relativen Luftfeuchte von über 100 % wurden auf 100 % reduziert.

Ähnlich wurde mit der kurzwelligen Ein- und Ausstrahlung verfahren. Werte, die kleiner 0 waren, wurden auf  $0 \text{ W m}^{-2}$  hochgesetzt.

### 2.3.2 AWS-Daten

Die Daten der AWS benötigten eine stärkere Qualitätssicherung als die der NM III. Zu Beginn wurde anhand der Einträge des Stationstagebuchs bereinigt, d. h. Perioden, an denen bekannt war, dass Geräte ausgefallen waren, die Batterie leer war o. ä. wurden NaN gesetzt. Auch wenn die Messperiode eigentlich bis einschließlich 31. Januar 2013 reicht, wurden alle Werte ab 13. Januar 2013 auf NaN gesetzt, da zu diesem Zeitpunkt nahezu alle Sensoren ausgefallen waren und durchgängig Fehlwerte angezeigt haben. Von diesem Verhalten ausgenommen waren die kurzwellige Strahlung und die Windgeschwindigkeit. Die kurzwellige Strahlung nahm jedoch nur negative Werte oder den Wert Null an, bevor sie letztlich am 31. Januar 2013 auch Fehlwerte anzeigte. Da die Windgeschwindigkeit vom gleichen Gerät wie die Windrichtung gemessen wird, schien es plausibel sie ebenfalls NaN zu setzen.

Im weiteren Verlauf wurden unrealistische Temperaturwerte über  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  entfernt. Alle Parameter während des Aufbaus der AWS (bis zum 13. Februar 2012 18:00 Uhr) wurden herausgefiltert. Schwieriger gestaltete sich der Umgang mit der Windgeschwindigkeit. Lange Perioden mit einer Windgeschwindigkeit gleich oder nahe Null lassen auf eine Beeinträchtigung durch Frost schließen. Insbesondere wenn zeitgleich bei NM III starke Windgeschwindigkeiten gemessen wurden. Von vier solcher mehrstündigen Perioden wurden letztendlich zwei als fehlerhaft eingestuft und herausgefiltert. Ebenso wurde mit einigen Einzelwerten umgegangen. Dabei handelte es sich immer um den ersten Wert nach einer Reihe von NaN-Werten, welcher jedes Mal Null angezeigt hat. Insgesamt wur-

den 6065 Windgeschwindigkeitswerte, sowie die entsprechenden Windrichtungen entfernt, was ca. 1 % der Messreihe entspricht.

Mit den AWS-Daten der Luftfeuchte und der kurzwelligigen Strahlung wurde genauso Verfahren wie bei denen von Neumayer III Es waren knapp 36 % der kurzwelligigen Ausstrahlung und 12 % der kurzwelligigen Einstrahlung betroffen.

Eine Übersicht der Anzahl der bereinigten Daten von ursprünglich 511200 kann Tab. 2 entnommen werden.

Nach der Bereinigung kann die Periode der ausgewerteten Daten genauer definiert werden. Sie reicht vom 13. Februar 2012 18:01 Uhr bis zum 13. Januar 2013 07:29 Uhr.

**Tab. 2:** Datenanzahl der Minutenwerte nach Bereinigung, sowie die Anzahl der davon genutzten Daten

|      | <b>Station</b> | <b>bereinigt</b> | <b>genutzt</b> | <b>[%]</b> |
|------|----------------|------------------|----------------|------------|
| T2   | NM III         | 510417           | 467284         | 91.55      |
|      | AWS            | 467828           | 467284         | 99.88      |
| T10  | NM III         | 510849           | 467555         | 91.53      |
|      | AWS            | 467828           | 467555         | 99.94      |
| RH2  | NM III         | 510408           | 467446         | 91.58      |
|      | AWS            | 468058           | 467446         | 99.87      |
| RH10 | NM III         | 509908           | 466976         | 91.58      |
|      | AWS            | 468058           | 466976         | 99.77      |
| WS2  | NM III         | 510949           | 461383         | 90.36      |
|      | AWS            | 461995           | 461383         | 99.87      |
| WS10 | NM III         | 510949           | 461756         | 90.37      |
|      | AWS            | 461995           | 461756         | 99.95      |
| WD2  | NM III         | 500482           | 453284         | 91.53      |
|      | AWS            | 461479           | 453284         | 99.94      |
| WD10 | NM III         | 508179           | 459356         | 90.39      |
|      | AWS            | 461479           | 459356         | 99.54      |
| P    | NM III         | 511003           | 467861         | 91.56      |
|      | AWS            | 468058           | 467861         | 99.96      |
| Sin  | NM III         | 509748           | 467255         | 91.66      |
|      | AWS            | 468058           | 467255         | 99.96      |
| Sout | NM III         | 509578           | 466551         | 91.56      |
|      | AWS            | 468058           | 466551         | 99.68      |
| Lin  | NM III         | 510918           | 467776         | 91.56      |
|      | AWS            | 468058           | 467776         | 99.94      |
| Lout | NM III         | 506213           | 463117         | 91.49      |
|      | AWS            | 468058           | 463117         | 98.94      |

## 2.4 Methoden

Die Daten beider Stationen wurden nach erfolgter Qualitätssicherung in zehnminütige, stündliche und tägliche Werte gemittelt. Für die anschließenden Untersuchungen wurden verschiedene Unterteilungen der Daten vorgenommen. Einerseits eine jahreszeitliche Ein-

teilung in Sommer- und Winterhalbjahr sowie in Polartag und Polarnacht, andererseits eine Einteilung der Daten anhand 45 °-großer Windrichtungsklassen. Für die Windrichtungsklassen wurden die Daten der Neumayer-Station in 10 m Höhe gewählt. Zum einen ist davon auszugehen, dass an Neumayer III die höhere Datenqualität vorliegt und zum anderen entspricht die Messhöhe den WMO-Richtlinien.

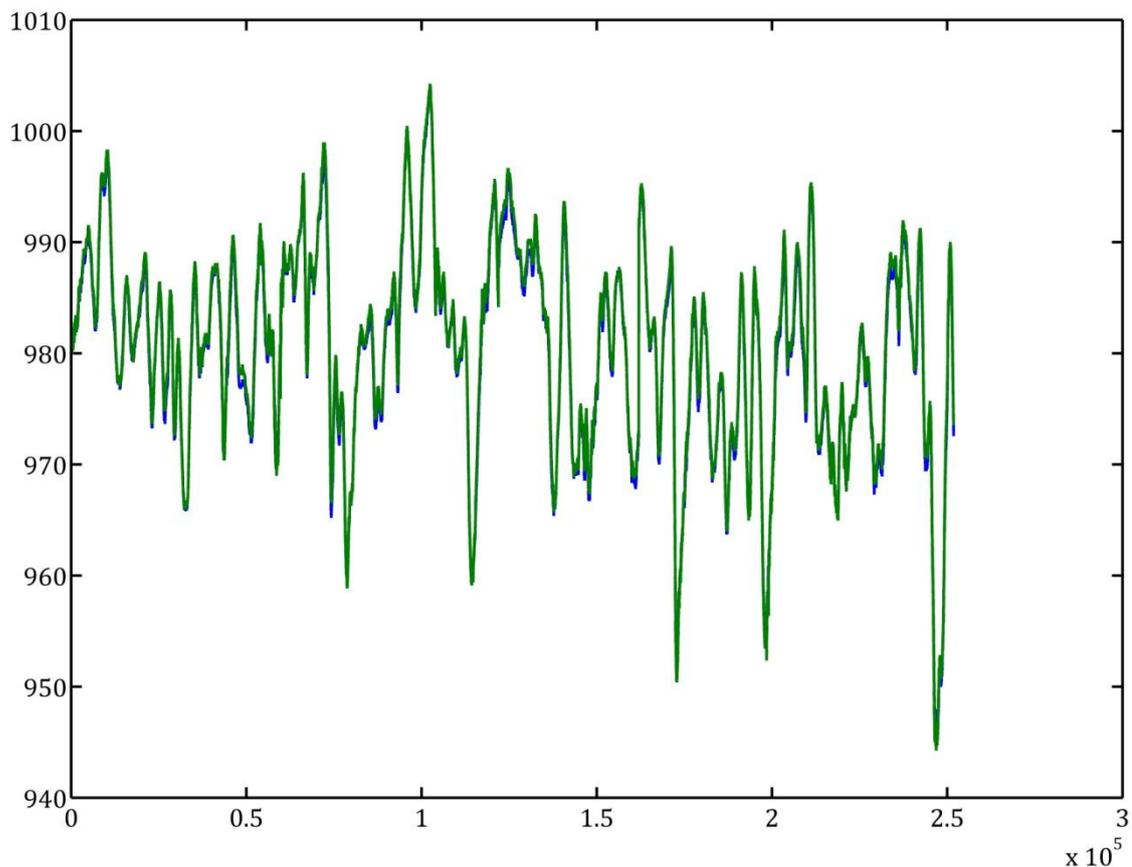
Zunächst wurden die einzelnen Parameter mit dem Kolmogorow-Smirnow-Test auf Normalverteilung geprüft. Da keiner der Datensätze normalverteilt war, wurde der Korrelationskoeffizient  $r_s$  nach der Spearman'schen-Rang-Korrelation (für nicht-gepaarter Daten) für die äquivalenten Parameter beider Stationen berechnet sowie das Bestimmtheitsmaß  $R_s^2$  ermittelt. Hinzu kam die Berechnung einer Regressionsgeradengleichung. Diese wurden mithilfe der für nicht-parametrische Daten geeigneten *Theil's Incomplete Method (TIM)* nach Potts et al. (1987) erstellt.

Für weitere Analysen wurden Mediane berechnet und Boxplots erstellt.

Alle Bereinigungen, Berechnungen und Diagrammerstellungen wurden mit der Software *MATLAB® (The MathWorks, Inc.)* durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

Bereits bei der optischen Betrachtung von Zeitreihen konnte von einer guten Übereinstimmung der Daten ausgegangen werden. In Abb. 9 sieht man die Ergebnisse der Luftdruckmessungen im Winter. Dieser Verlauf sei hier nur beispielhaft für die gesamte Messperiode dargestellt. Der Luftdruck ist der Parameter, der immer die höchsten Korrelationsergebnisse erbracht hat.

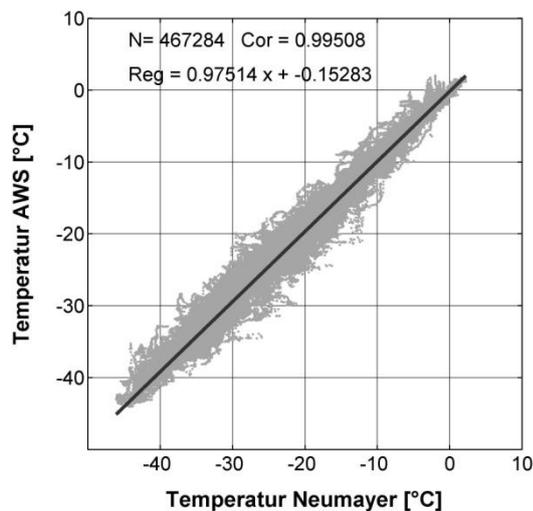


**Abb. 9:** Luftdruckverlauf während des Winterhalbjahrs (April – September) in hPa (NM III=blau; AWS=grün).

Beim anfänglich durchgeführten Kolmogorow-Smirnow-Test wurde die Nullhypothese aller Daten verworfen. Das Signifikanzniveau beträgt 5 %. Sie wurden als nicht-parametrisch identifiziert. Die daraufhin ermittelten Korrelationskoeffizienten nach der *Spearman*-Methode stützen die Vermutung einer guten Korrelation. So wurde bei Betrachtung der Gesamtdaten in minütlicher Auflösung für alle Parameter ein sehr hoher linearer Zusammenhang mit Korrelationskoeffizienten über 0,9 berechnet, abgesehen von der kurzweilige Einstrahlung ( $r_s > 0,8$ , Tab. 3). Alle weiteren Tabellen mit den Ergebnissen der Korrelationstests finden sich in Anhang 3.

**Tab. 3:** Ergebnisse des Korrelationstest der Messreihen an den Stationen NM III und AWS basierend auf Minutenmittelwerten

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | $p$   |
|------|-------|---------|-------|
| T2   | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| T10  | 0.932 | 0.869   | 0.000 |
| RH2  | 0.952 | 0.905   | 0.000 |
| RH10 | 0.990 | 0.980   | 0.000 |
| D    | 0.995 | 0.990   | 0.000 |
| WS2  | 0.938 | 0.880   | 0.000 |
| WS10 | 0.939 | 0.881   | 0.000 |
| WD2  | 0.947 | 0.897   | 0.000 |
| WD10 | 0.949 | 0.901   | 0.000 |
| Sin  | 0.952 | 0.906   | 0.000 |
| Sout | 0.888 | 0.788   | 0.000 |
| Lin  | 0.961 | 0.924   | 0.000 |
| Lout | 0.995 | 0.991   | 0.000 |

**Abb. 10:** Scatterplot von T2 der Stationen NM III u. AWS basierend auf Minutenmittelwerten

Die Geradengleichung der Regression nach der Theil's Incomplete Method (Abb. 10) lässt erkennen, dass die Temperaturwerte der NM III etwas größer sind als die der AWS. Weitere Regressionsgeraden finden sich in Anhang 2.

Der über das Jahr ermittelte Median der Temperatur ergibt nahezu identische Ergebnisse (NM III:  $M(T2) = -15,8 \text{ °C}$ ,  $M(T10) = -15,3 \text{ °C}$ ; AWS:  $M(T) = -15,7 \text{ °C}$ ). Die genauen Mediane können dem Anhang 4 entnommen werden. Die weitere Analyse der Temperatur erbringt eine extrem hohe Korrelation (T2:  $r_s = 0,995$ , T10:  $r_s = 0,990$ ).

Den höchsten linearen Zusammenhang bei allen Korrelationsanalysen zeigt jedoch der Druck mit  $r_s > 0,990$ .

Der Modalwert der Windrichtung ergab für alle drei Windrichtungsinstrumente, dass Osten im gesamten Messzeitraum am häufigsten auftritt (NM III: 50,4 % (2 m), NM III: 50,7 %, AWS: 47,4 %) (Anhang 5). Norden und Nordwesten hingegen kommt mit einem Gesamtanteil von 1 % oder weniger am seltensten vor – ebenfalls an allen Geräten. Die Betrachtung der Windrosen (Abb. 11Abb. 13) zeigt die genaue Verteilung der Windrichtungen und der dazugehörigen Windgeschwindigkeiten. Im Vergleich mit der Häufigkeitsverteilung aller bisherigen Beobachtungen der NM III (Abb. 4) lässt sich ein starker Zusammenhang erkennen.

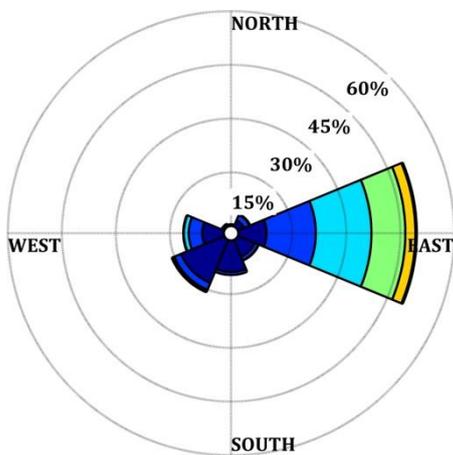


Abb. 11: Windrose der NM III (2 m)

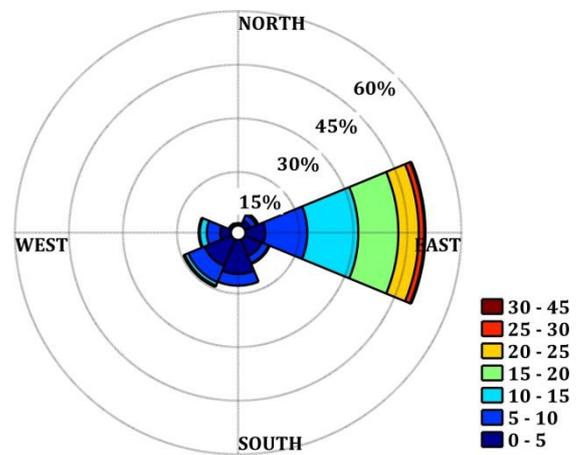


Abb. 13: Windrose der NM III (10 m)

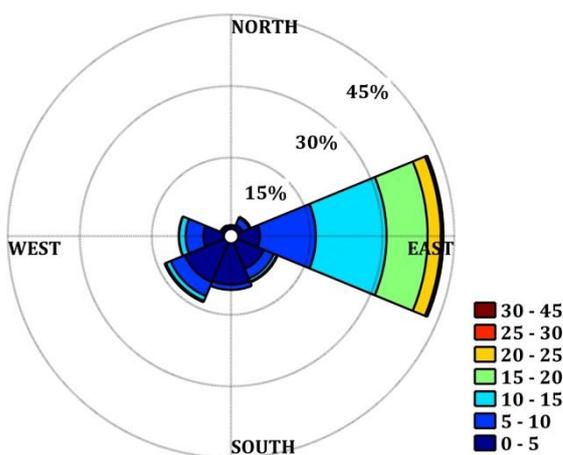


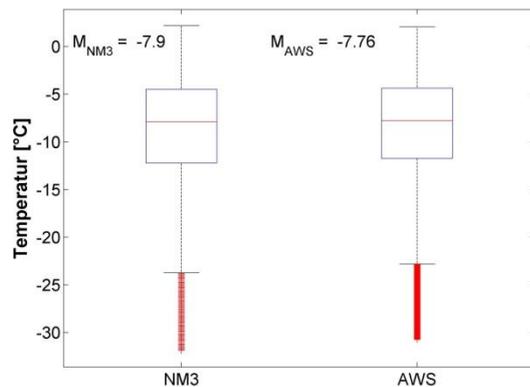
Abb. 12: Windrose der AWS

### 3.1 Unterteilung nach Jahreszeit

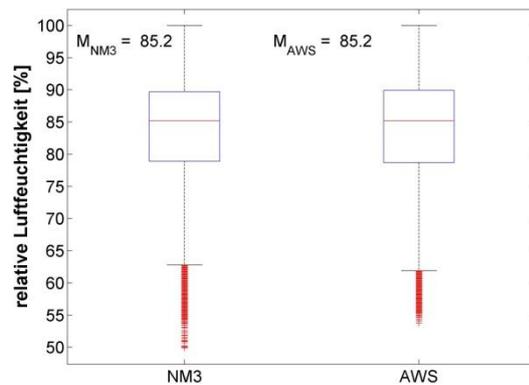
#### Sommer

Besonders der Sommer zeigt gute Korrelationen der Stationen. Die niedrigste Korrelation liegt bei der Windrichtung mit  $r_s = 0,901$  vor. Die Mediane der Temperatur liegen bei knapp  $-8\text{ °C}$  (Abb. 14).

Der Modalwert zeigt Osten als häufigste Windrichtung an. Der Median der Windgeschwindigkeit liegt bei  $6,6\text{ m s}^{-1}$  in 2 m Höhe bei NM III,  $8,0\text{ m s}^{-1}$  in 10 m Höhe bei NM III und  $7,0\text{ m s}^{-1}$  an der AWS. Da Messungen in unterschiedlichen Höhen durchgeführt wurden, kann man diese nicht direkt miteinander vergleichen. Wind weist bei einer neutralen Schichtung der Atmosphäre ein näherungsweise logarithmisches Windprofil auf.



**Abb. 14:** Box-Whisker-Plot von T2 im Sommer, basierend auf Minutenmittelwerten.



**Abb. 15:** Box-Whisker-Plot von RH2 im Sommer, basierend auf Minutenmittelwerten.

Unter Bestimmung einer Rauigkeitsklasse und dem Rauigkeitskoeffizienten kann mit einem Messpunkt der Windgeschwindigkeit ein zweiter berechnet werden. In diesem Fall erhält man bei der Wahl der Rauigkeitsklasse *strukturlose Schneeoberfläche* ( $z_0 \leq 0.005$ ) bei AWS und NM III (2 m) für NM III (10 m) Werte ähnlich  $8\text{ m s}^{-1}$  (KRAUS 2008).

Die relative Luftfeuchtigkeit hat an den Stationen NM III (2 m) und AWS den gleichen Median ( $M(\text{RH2}) = \text{AWS} = 85,2\text{ \%}$ ) (Abb. 15).

Auch alle Strahlungsparameter gelten mit einem Korrelationskoeffizienten mit mindestens  $0,947$  als extrem hoch korreliert.

## Winter

Die meisten Parameter beider Stationen korrelieren auch hier sehr hoch mit einem Koeffizienten von meist über 0,92 (RH). Die kurzwellige Einstrahlung fällt hingegen mit  $r_s = 0.58$  aus dem Muster und weist nur eine mittlere Korrelation auf.

Die Median zeigt eine Temperatur von kälter als  $-22\text{ °C}$  bei AWS und NM III an.

Im Unterschied zu den anderen Jahreszeiten ist im Winter nicht Osten die am häufigsten auftretende Windrichtung, sondern Nordosten (41 %).

## Polartag

Die Korrelationen während Polartag verhalten sich sehr ähnlich denen im Sommer. Alle verglichenen Parameter sind hochgradig korreliert, die niedrigste Korrelation ist bei der Windrichtung zu finden ( $r_s = 0,886$ ).

## Polarnacht

Zur Zeit der Polarnacht sind die Korrelationen am niedrigsten, verglichen mit den anderen Jahreszeiten. Nichts desto trotz zeigen die Temperatur sowie die langwellige Strahlung immer noch einen extrem hohen linearen Zusammenhang. Bei der kurzwelligen Einstrahlung hingegen kann man mit  $r_s = 0,27$  nur noch von einer schwachen Korrelation sprechen. Die kurzwellige Einstrahlung hat mit einem Koeffizient von 0,68 noch eine mittlere Korrelation.

## 3.2 Unterteilung nach Windrichtung

Die Windrichtungsverteilung und -intensität entspricht den Messungen der letzten Jahre (Abb. 4).

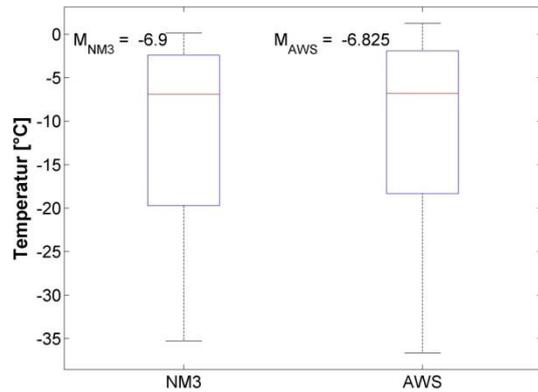
Die Windrosen lassen erkennen, dass Osten die Hauptwindrichtung ist. Nur bei einer genaueren Betrachtung der Daten in Abhängigkeit von der Jahreszeit kommt es zur Zeit der Polarnacht zu einer Hauptwindrichtung von Südwesten.

Von besonderem Interesse für die Fragestellung dieser Arbeit sind die Korrelationskoeffizienten der Temperaturen in Abhängigkeit von den Windrichtungen. Bei allen Windrichtungen liegen höchst korrelierte Temperaturen mit  $r_s \geq 0,97$  vor. Unter Berücksichti-

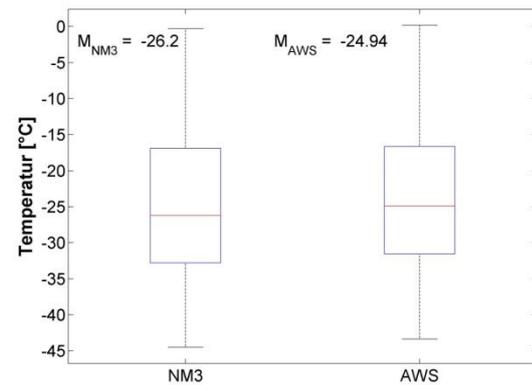
gung der dritten Nachkommastelle ist der lineare Zusammenhang der Temperatur bei Ostwindrichtung am größten.

Auch andere Parameter zeigen hohe Korrelationskoeffizienten. Der  $r_s$  der relative Luftfeuchtigkeit beträgt minimal 0,8 bei Nordwind, was einer hohen Korrelation entspricht.

Die Mediane zeigen, dass bei seltener auftretendem Nordwind die Mediane der Temperaturen nicht so niedrig sind wie bei den anderen Windrichtungen (Abb. 16 u. Abb. 17).



**Abb. 16:** Box-Whisker-Plot der Temperatur (2 m bei NM III) bei N-Wind, basierend auf Minutenmittelwerten.



**Abb. 17:** Box-Whisker-Plot der Temperatur (2 m bei NM III) bei SW-Wind, basierend auf Minutenmittelwerten

## 4 Diskussion

Zu Beginn kann man sagen, dass die Parameter ein ähnliches Verhalten an beiden Stationen zeigen. Sehr hoch frequentierte und starke östliche Winde, sowie etwas weniger starke Südwinde prägen die Windmeteorologie des Ekström-Schelfeises.

Die statistischen Analysen haben eindeutig gezeigt, dass die Messungen sehr gut korrelieren. Die geringen Korrelationskoeffizienten der kurzwelligen Strahlung während des Winters und der Polarnacht lassen sich durch die lange Abwesenheit der Sonnenstrahlung erklären. Der Unterschied im Messinstrument kann auch eine Rolle spielen. Das Strahlungsmessgerät der automatischen Wetterstation ist anfälliger für die Messung nicht vorgesehener Strahlung ist. Dies kann z. B. bei sehr tief stehender Sonne vorkommen, das zur Erde gerichtete Pyranometer misst in diesem Fall Direktstrahlung statt Reflexstrahlung. Abgesehen davon konnten die Analysen in Abhängigkeit der Jahreszeiten oder der Windgeschwindigkeiten keine relevanten Unterschiede feststellen. Diese Ergebnisse und die in den meisten Fällen annähernd gleichen Mediane deuten auf eine sehr hohe räumliche Repräsentativität der meteorologischen Messungen der Neumayer III-Station für das Ekström-Schelfeis hin.

Die Bereinigung spricht dafür, dass die Daten von NM III einen sehr hohen Qualitätsstandard haben, was eine Voraussetzung für die Repräsentativität der Station für das Gebiet ist. Als Beispiel seien Schalensternanemometer genannt, wie sie an der NM III zu finden sind. Sie sind im Allgemeinen frostempfindlicher als Windpropeller (AWS). Nichts desto trotz wurden nur bei der AWS Windgeschwindigkeitsdaten als fehlerhaft markiert. Dies wird damit zusammenhängen, dass das Anemometer beheizt wird und die AWS nicht gewartet wird. Es kann also weder der Frost entfernt werden, noch können die fehlerhaften Daten nach der Sichtung erkannt noch gelöscht werden. Für die direkten statistischen Vergleiche beider Stationen war die Datenqualität der AWS entscheidend. Viele der NM III-Daten konnten aufgrund des stärkeren Datenverlusts an der AWS nicht genutzt werden. Es sind etwa 99 % der bereinigten AWS-Daten mit in die Statistik eingegangen, jedoch nur 91 % der NM III-Daten.

In der Antarktis werden zwar umfangreiche meteorologische Messungen durchgeführt, im Vergleich mit anderen Teilen der Erde jedoch wenige. Die immer aktueller werdende Problematik des Klimawandels lässt sich daher in der Antarktis und ihren Regionen nicht ausreichend erforschen (BARGAGLI 2005, S. 12). Automatische Wetterstationen könnten die Messnetze erweitern. Das AWI hat eine automatische Wetterstation ein Jahr lang in direk-

ter Nähe der deutschen Forschungsstation NM III laufen lassen. Die Ergebnisse befinden sich noch in der Auswertung. Durch persönliche Gespräche kann aber zunächst festgehalten werden, dass die Messergebnisse im Mittel vergleichbar waren.

Doch obwohl automatische Wetterstationen nicht die gleiche Qualität wie Messungen bemannter Stationen gewährleisten, hat die Untersuchung gezeigt, dass auch die AWS definitiv repräsentative Messungen durchführen kann, abgesehen von den Datenverlusten durch unzureichende Stromversorgung oder schlechte Witterungsverhältnisse. Der Betrieb von automatischen Wetterstationen ist durch die Erkenntnis dieser Arbeit also durchaus geeignet, um die Meteorologie der Antarktis flächendeckend zu messen.

## 5 Fazit

Die meteorologischen Messungen von Neumayer können als sehr repräsentativ für das Ekström-Schelfeis eingestuft werden.

Die gewählten statistischen Methoden ergaben sehr hohe Korrelationen mit der Vergleichsstation. Nicht nur bei Parametern wie dem Druck, der Temperatur, der Luftfeuchtigkeit oder der Windgeschwindigkeit, sondern auch bei den Strahlungsmessungen. Es wären in Bezug auf die Korrelation weitere Klassifikationen möglich. Bei einer Einteilung in verschiedene Temperaturklassen könnte das Verhalten der Ausreißer beobachtet werden. Treten diese vielleicht hauptsächlich bei Temperaturen kleiner als  $-30\text{ °C}$  auf und wären somit auf die eigene Gerätespezifikation zurückzuführen?

Auch zum Thema der automatischen Wetterstationen zeigt diese Arbeit weiteren Untersuchungsbedarf auf. Die Voraussetzungen für den Ausbau des Messnetzes in der Antarktis sind durchaus gegeben. Wie genau dieses jedoch auszusehen hat, z. B. welche Entfernungen zwischen den Stationen liegen könnten, bleibt zu untersuchen. Von großer Bedeutung hierzu ist die Frage nach einer gesicherten Stromversorgung. Die wenigsten Orte der Antarktis liegen nahe Forschungsstationen, wodurch der Wechsel einer Batterie erheblich erschwert wird, insbesondere bei schwierigen Wetterverhältnissen. Diese wiederum sind verantwortlich für die nächste Problematik, die Wahl der Messinstrumente und wie diese sicher aufgebaut werden können. Die auf dem Ekström-Schelfeis genutzten meteorologischen Geräte lagen zwar alle im noch betriebsfähigen Bereich, doch das Klima der antarktischen Küste ist wesentlich milder als das des Inlands, wo Temperaturen bis zu  $-80\text{ °C}$  keine Ausnahme darstellen.

Abschließend ist zu sagen, dass die Untersuchungen dieser Arbeit erfolgreich waren. Die Ergebnisse können Voraussetzung für viele weitere Forschungsprojekte sein.

Die AWS wurde während der Polarnacht 2013 abgebaut und soll als nächstes nahe der Kohlen-Station ( $75^{\circ}00'S$ ,  $00^{\circ}04'O$ , 2892 m ü. NN) in Betrieb genommen werden.

## Danksagung

An erster Stelle gilt mein Dank meinem Betreuer Herrn Professor Dr. Otto Klemm. Er hat diese Bachelorarbeit mit viel Interesse, Fachwissen und konstruktiver Kritik begleitet und mir das selbstständige wissenschaftliche Arbeiten während meines bisherigen Studiums näher gebracht.

Nicht zuletzt möchte ich mich beim Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung bedanken, insbesondere bei Herrn Dr. Gert König-Langlo. Durch die Bereitstellung der Daten, auf denen diese Arbeit beruht, hat er mir großes Vertrauen entgegengebracht und er stand mir bei Fragen jederzeit zur Verfügung.

Ein herzlicher Dank gilt meinem Zweitgutachter Tarek El-Madany ebenso wie Julian Deventer. Mit viel Geduld und Ausdauer haben mich beide von Anfang an mit ihrer Erfahrung zuverlässig unterstützt und motiviert.

## Literaturverzeichnis

- AWI (o. J.a): Das neue Zentrum der deutschen Antarktisforschung – Neumayer-Station III. Online unter: [http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer\\_station/](http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer_station/) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- AWI (o. J.b): Die Observatorien der Neumayer-Station III. Online unter: [http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer\\_station/observatorien/](http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer_station/observatorien/)
- AWI (o. J.c): Measuring site and meteorological situation. Online unter: [http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer\\_station/observatorien/spurenstoff\\_observatorium/technical\\_aspects/](http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer_station/observatorien/spurenstoff_observatorium/technical_aspects/) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- AWI (o. J.d): Meteorologisches Observatorium der Neumayer Station. Online unter: [http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer\\_station/observatorien/meteorologisches\\_observatorium/](http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer_station/observatorien/meteorologisches_observatorium/) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- AWI (o. J.e): Polartag und Polarnacht. Online unter: [http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer\\_station/polartag\\_und\\_polarnacht/](http://www.awi.de/de/infrastruktur/stationen/neumayer_station/polartag_und_polarnacht/) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- BARGAGLI, R. (2005): Antarctic Ecosystems. Environmental Contamination, Climate Change, and Human Impact. Berlin Heidelberg (Ecological Studies 175)
- BERENS, P. (2009): CircStat. A MATLAB Toolbox for Circular Statistics. In: Journal of Statistical Software, vol. 31 issue 10
- BLÜMEL, W. D. (1999): Physische Geographie der Polargebiete. Stuttgart, Leipzig (= Teubner Studienbücher der Geographie)
- Campbell Scientific Ltd. (2010): User Manual 61302V Barometer. Online unter: <ftp://ftp.campbellsci.com/pub/csl/outgoing/uk/manuals/61302v.pdf> (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- CLISAP (o. J.): Masterstudent auf Expedition am Ekstroemisen, Antarktis. Online unter: <https://klimacampus.de/2125+M564f342c8f3.html?&L=0> (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- EFASTATHIOU, C. E. (o. J.): A Non-Parametric Linear Regression. Theil's Incomplete Method. Online unter: [http://www.chem.uoa.gr/applets/AppletTheil/Appl\\_Theil2.html](http://www.chem.uoa.gr/applets/AppletTheil/Appl_Theil2.html) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- EGGER, J. (1988): Die bodennahen Winde in der Antarktis In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg) (1988): Promet. Meteorologische Fortbildung. Meteorologie und Klimatologie in der Antarktis I. Schweinfurt, S. 8-10. Online unter: [http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/promet\\_90\\_93/18\\_4.pdf](http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/promet_90_93/18_4.pdf)
- Kipp & Zonen (2009): Manual CNR4 Net Radiometer. Online unter: [www.kippzonen.com/Download/354/CNR-4-Net-Radiometer-Manual](http://www.kippzonen.com/Download/354/CNR-4-Net-Radiometer-Manual) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- KLEIN, T. (2000): Katabatic Winds over Greenland and Antarctica and their interaction with Mesoscale and synoptic-scale Weather Systems. Investigations using Three-Dimensional Numerical Models. St. Augustin (= Bonner Meteorologische Abhandlungen, H. 53)
- KÖNIG-LANGLO, G. (2012): persönliche Mitteilung.

- KÖNIG-LANGLO, G. u. B. LOOSE (2007): The Meteorological Observatory at Neumayer Stations (GvN and NM-II) Antarctica. *Polarforschung* 76 (1-2), 25 – 38 Online verfügbar unter: <http://epic.awi.de/17763/1/Kni2007o.pdf> (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- KRAUS, H. (2008): Grundlagen der Grenzschicht-Meteorologie. Einführung in die Physik der Atmosphärischen Grenzschicht und in die Mikrometeorologie. Berlin, Heidelberg
- POTTS, P. J., WRIGHT, D. W., WATSON, J. S. u. P. C. WEBB (1987): Calculation of calibration line parameters from reference material data in the analysis of silicate rocks – Theil's incomplete method compared with least-squares regression. In: *Chemical Geology* 63 (3-4), S345–354
- R. M. Young Company (2000): Manual Wind Monitor-MA Model 05106-5. Online Unter: <http://www.youngusa.com/Manuals/05106-90%28I%29.pdf> (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- SCHALLER, E. u. L. ROSE (1988): Die Strömungsverhältnisse im Bereich der Filchner-Schelfeiskante unter sommerlichen Bedingungen. In: Deutscher Wetterdienst (Hrsg) (1988): *Promet. Meteorologische Fortbildung. Meteorologie und Klimatologie in der Antarktis I*. Schweinfurt, S. 11 Online unter: [http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/promet\\_90\\_93/18\\_4.pdf](http://www.dmg-ev.de/gesellschaft/publikationen/pdf/promet/promet_90_93/18_4.pdf) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- SCHMIDT, T. (2012): AWS-AtkaNord. Persönliche Mitteilung.
- Vaisala Oyj (2012): User's Guide Vaisala Humicap® Humidity and Temperature Probe HMP 155. Online unter: [http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/HMP155\\_User\\_Guide\\_in\\_English.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala%20Documents/User%20Guides%20and%20Quick%20Ref%20Guides/HMP155_User_Guide_in_English.pdf) (abgerufen am 19. Oktober 2013)
- WALTHER, C. (2009): Antarktis. Ein Reise-, Lese- und Informationsbuch über den Kontinent am Südpol. 6. Auflage. Welter
- WÜTHRICH, C. u. D. THANNHEISER (2002): Das geographische Seminar. Die Polargebiete. Braunschweig

## Anhang

### Anhang 1

Tab. 4: Die von den Geräten ausgegebenen Fehlwerte.

| Paramter | Fehlwert | Paramter | Fehlwert |
|----------|----------|----------|----------|
| T2       | -999.9   | lEin     | -999.9   |
| T10      | -999.9   | lAus     | -999.9   |
| L2       | -999.9   | T_AWS    | -99.99   |
| L10      | -999.9   | F_AWS    | -99.9    |
| WG2      | -999.9   | WG_AWS   | -99.9    |
| WG10     | -999.9   | WR_AWS   | 999      |
| WR2      | -999.9   | P_AWS    | -999.99  |
| WR10     | -999.9   | kEin_AWS | -999.9   |
| D        | -999.99  | kAus_AWS | -999.9   |
| kEin     | -999.9   | lEin_AWS | -999.9   |
| Kkaus    | -999.9   | lAus_AWS | -999.9   |

### Anhang 2

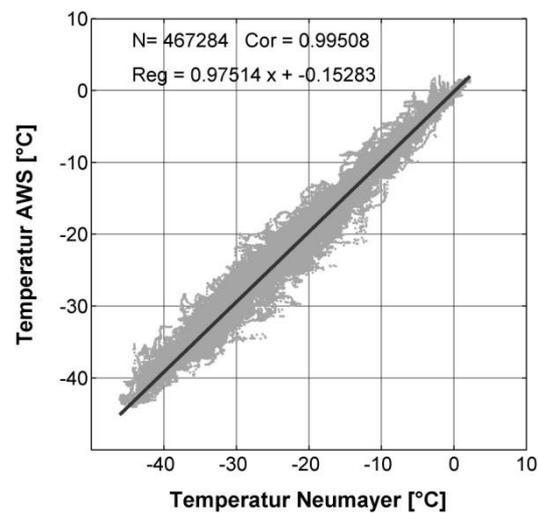


Abb. 18: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für T2 mit der TIM.

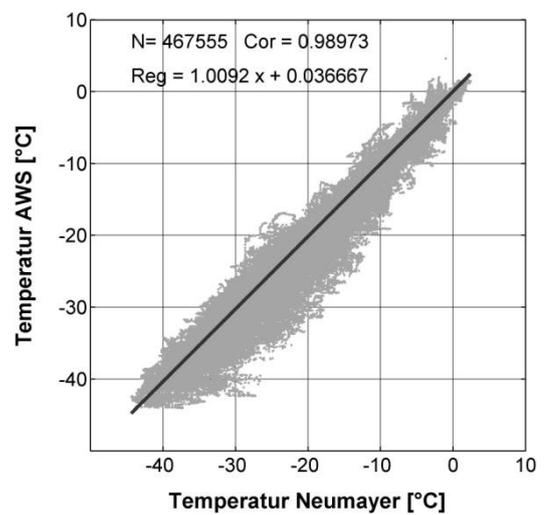


Abb. 19: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für T10 mit der TIM.

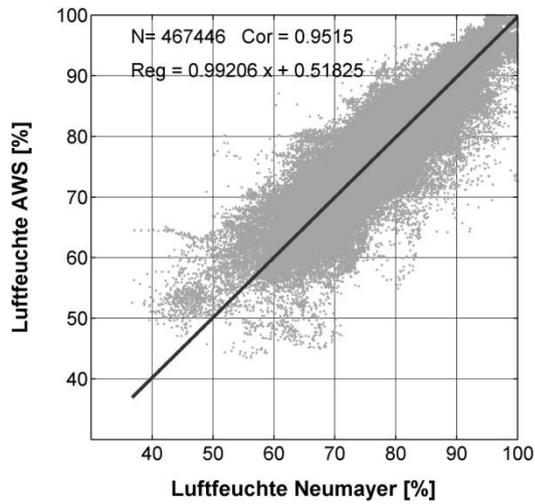


Abb. 20: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für RH2 mit der TIM.

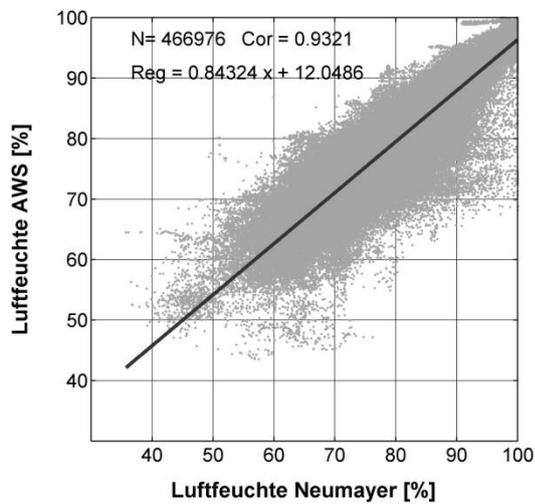


Abb. 21: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für RH10 mit TIM.

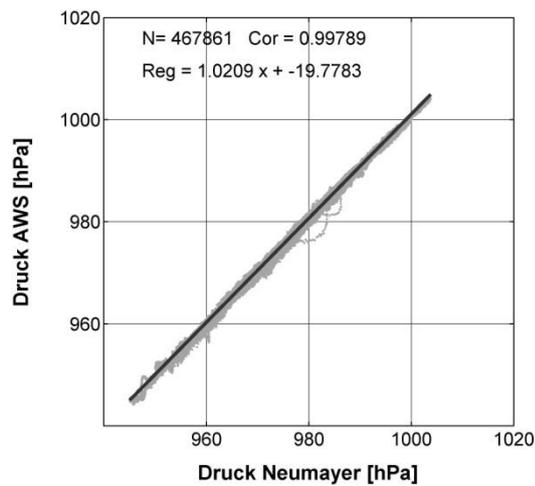


Abb. 22: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für P mit der TIM.

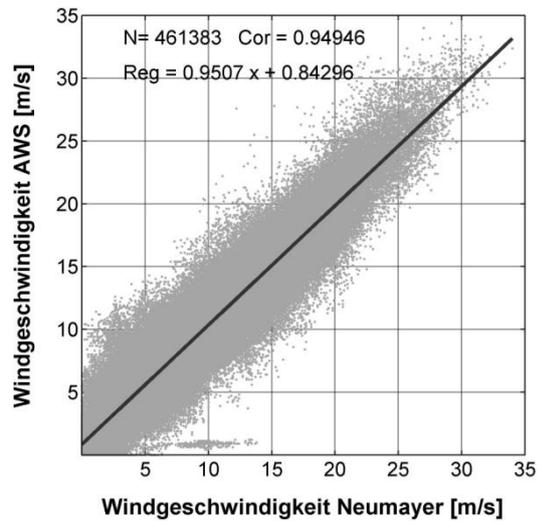


Abb. 23: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WS2 mit der TIM.

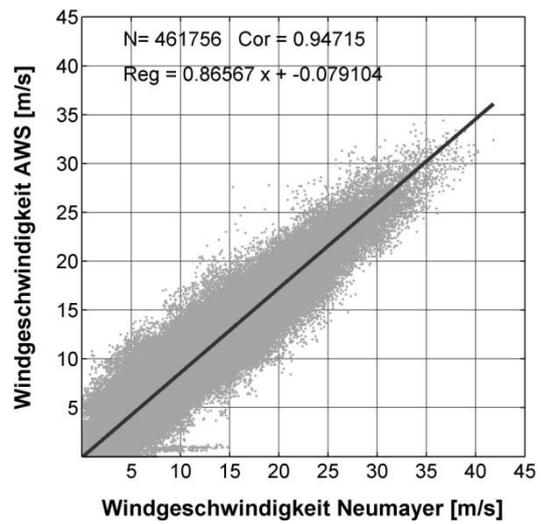


Abb. 24: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WS10 mit TIM.

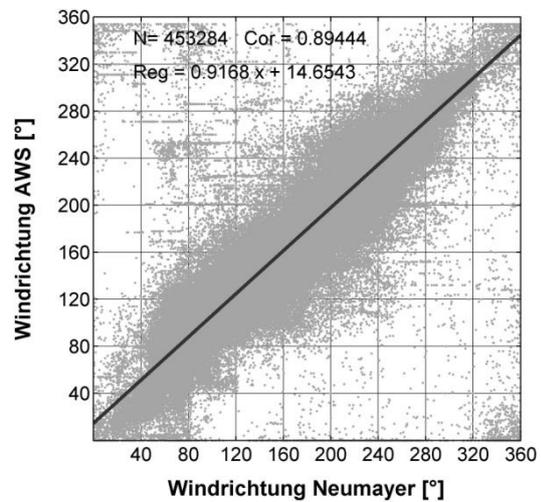


Abb. 25: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WD2 mit der TIM.

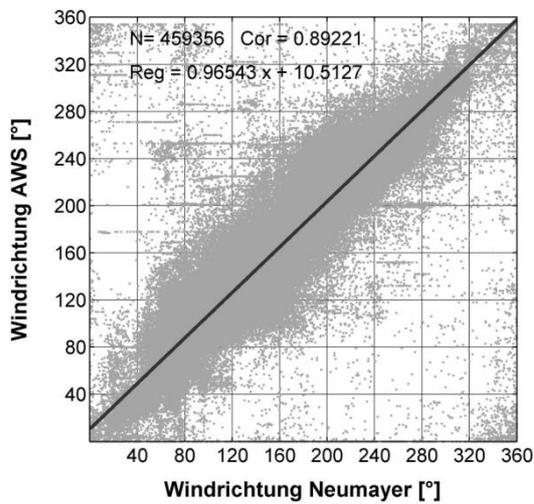


Abb. 26: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für WD10 mit der TIM.

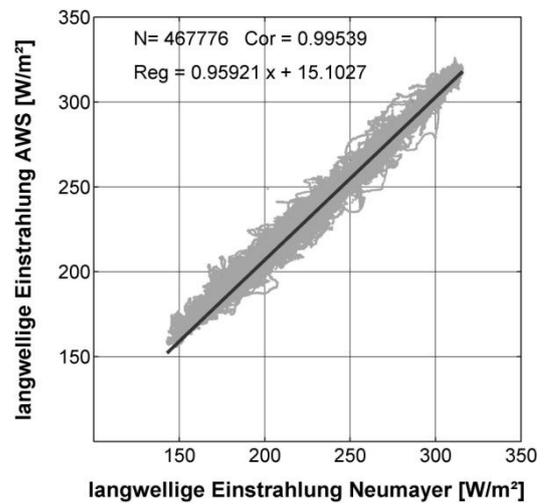


Abb. 29: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Lin mit der TIM.

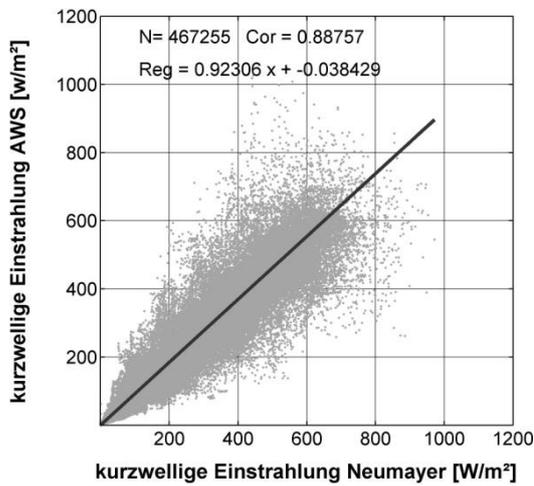


Abb. 27: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Kin mit der TIM.

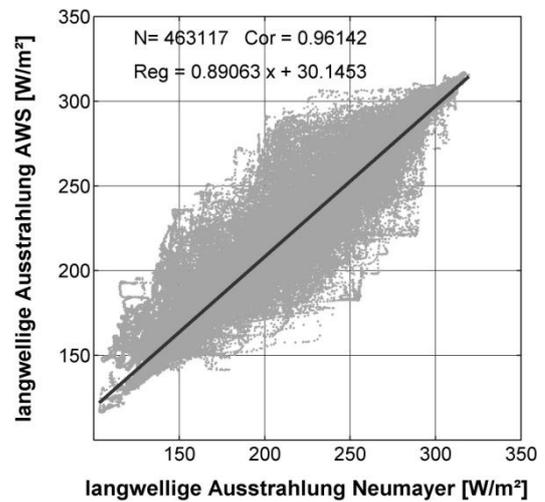


Abb. 30: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Lout mit der TIM.

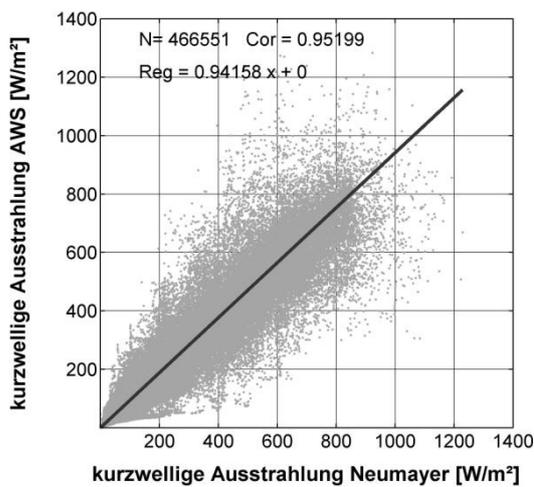


Abb. 28: Regressionsgerade und Regressionsgleichung für Kout mit der TIM.

## Anhang 3

Tab. 5: Sommer, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.995   | 0.000 |
| L10  | 0.928 | 0.862   | 0.000 |
| L2   | 0.930 | 0.866   | 0.000 |
| T10  | 0.983 | 0.967   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.980   | 0.000 |
| WD10 | 0.905 | 0.819   | 0.000 |
| WD2  | 0.901 | 0.812   | 0.000 |
| WS10 | 0.959 | 0.921   | 0.000 |
| WS2  | 0.961 | 0.924   | 0.000 |
| kAus | 0.986 | 0.973   | 0.000 |
| kEin | 0.985 | 0.971   | 0.000 |
| lAus | 0.947 | 0.896   | 0.000 |
| lEin | 0.990 | 0.980   | 0.000 |

Tab. 6: Sommer, 10-min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.995   | 0.000 |
| L10  | 0.932 | 0.868   | 0.000 |
| L2   | 0.933 | 0.871   | 0.000 |
| T10  | 0.984 | 0.968   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.981   | 0.000 |
| WD10 | 0.901 | 0.813   | 0.000 |
| WD2  | 0.900 | 0.810   | 0.000 |
| WS10 | 0.964 | 0.930   | 0.000 |
| WS2  | 0.966 | 0.933   | 0.000 |
| kAus | 0.988 | 0.977   | 0.000 |
| kEin | 0.987 | 0.973   | 0.000 |
| lAus | 0.949 | 0.901   | 0.000 |
| lEin | 0.990 | 0.981   | 0.000 |

Tab. 7: Sommer, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.995   | 0.000 |
| L10  | 0.940 | 0.884   | 0.000 |
| L2   | 0.941 | 0.886   | 0.000 |
| T10  | 0.985 | 0.971   | 0.000 |
| T2   | 0.992 | 0.983   | 0.000 |
| WD10 | 0.929 | 0.862   | 0.000 |
| WD2  | 0.927 | 0.859   | 0.000 |
| WS10 | 0.972 | 0.945   | 0.000 |
| WS2  | 0.974 | 0.948   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| kAus | 0.993 | 0.986 | 0.000 |
| kEin | 0.990 | 0.980 | 0.000 |
| lAus | 0.962 | 0.925 | 0.000 |
| lEin | 0.991 | 0.983 | 0.000 |

Tab. 8: Winter, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| L10  | 0.919 | 0.845   | 0.000 |
| L2   | 0.953 | 0.909   | 0.000 |
| T10  | 0.970 | 0.940   | 0.000 |
| T2   | 0.987 | 0.974   | 0.000 |
| WD10 | 0.952 | 0.905   | 0.000 |
| WD2  | 0.954 | 0.911   | 0.000 |
| WS10 | 0.935 | 0.874   | 0.000 |
| WS2  | 0.939 | 0.881   | 0.000 |
| kAus | 0.819 | 0.670   | 0.000 |
| kEin | 0.590 | 0.348   | 0.000 |
| lAus | 0.938 | 0.881   | 0.000 |
| lEin | 0.988 | 0.977   | 0.000 |

Tab. 9: Winter, 10- Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| L10  | 0.925 | 0.856   | 0.000 |
| L2   | 0.958 | 0.917   | 0.000 |
| T10  | 0.971 | 0.942   | 0.000 |
| T2   | 0.987 | 0.975   | 0.000 |
| WD10 | 0.939 | 0.881   | 0.000 |
| WD2  | 0.941 | 0.885   | 0.000 |
| WS10 | 0.931 | 0.867   | 0.000 |
| WS2  | 0.932 | 0.868   | 0.000 |
| kAus | 0.813 | 0.661   | 0.000 |
| kEin | 0.576 | 0.331   | 0.000 |
| lAus | 0.940 | 0.883   | 0.000 |
| lEin | 0.989 | 0.977   | 0.000 |

Tab. 10: Winter, Std

|     | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|-----|-------|---------|-------|
| P   | 0.999 | 0.998   | 0.000 |
| L10 | 0.935 | 0.873   | 0.000 |
| L2  | 0.963 | 0.928   | 0.000 |
| T10 | 0.974 | 0.950   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| T2   | 0.989 | 0.978 | 0.000 |
| WD10 | 0.948 | 0.899 | 0.000 |
| WD2  | 0.950 | 0.903 | 0.000 |
| WS10 | 0.943 | 0.890 | 0.000 |
| WS2  | 0.943 | 0.889 | 0.000 |
| kAus | 0.830 | 0.688 | 0.000 |
| kEin | 0.587 | 0.344 | 0.000 |
| lAus | 0.945 | 0.893 | 0.000 |
| lEin | 0.990 | 0.979 | 0.000 |

Tab. 11: Polartag, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.993   | 0.000 |
| RH10 | 0.921 | 0.848   | 0.000 |
| RH2  | 0.918 | 0.843   | 0.000 |
| T10  | 0.963 | 0.927   | 0.000 |
| T2   | 0.980 | 0.961   | 0.000 |
| WD10 | 0.891 | 0.794   | 0.000 |
| WD2  | 0.886 | 0.786   | 0.000 |
| WS10 | 0.936 | 0.875   | 0.000 |
| WS2  | 0.941 | 0.885   | 0.000 |
| kAus | 0.981 | 0.963   | 0.000 |
| kEin | 0.982 | 0.964   | 0.000 |
| lAus | 0.938 | 0.880   | 0.000 |
| lEin | 0.971 | 0.943   | 0.000 |

Tab. 12: Polartag, 10- Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.994   | 0.000 |
| RH10 | 0.925 | 0.856   | 0.000 |
| RH2  | 0.922 | 0.850   | 0.000 |
| T10  | 0.964 | 0.929   | 0.000 |
| T2   | 0.981 | 0.962   | 0.000 |
| WD10 | 0.893 | 0.798   | 0.000 |
| WD2  | 0.890 | 0.792   | 0.000 |
| WS10 | 0.941 | 0.886   | 0.000 |
| WS2  | 0.946 | 0.895   | 0.000 |
| Sout | 0.985 | 0.970   | 0.000 |
| Sin  | 0.986 | 0.972   | 0.000 |
| Lout | 0.941 | 0.886   | 0.000 |
| Lin  | 0.972 | 0.944   | 0.000 |

Tab. 13: Polartag, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.994   | 0.000 |
| RH10 | 0.935 | 0.874   | 0.000 |
| RH2  | 0.932 | 0.868   | 0.000 |
| T10  | 0.967 | 0.934   | 0.000 |
| T2   | 0.983 | 0.966   | 0.000 |
| WD10 | 0.922 | 0.850   | 0.000 |
| WD2  | 0.918 | 0.842   | 0.000 |
| WS10 | 0.953 | 0.908   | 0.000 |
| WS2  | 0.958 | 0.917   | 0.000 |
| Sout | 0.992 | 0.983   | 0.000 |
| Sin  | 0.991 | 0.983   | 0.000 |
| Lout | 0.955 | 0.912   | 0.000 |
| Lin  | 0.974 | 0.948   | 0.000 |

Tab. 14: Polarnacht, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.893 | 0.798   | 0.000 |
| RH2  | 0.939 | 0.882   | 0.000 |
| T10  | 0.951 | 0.905   | 0.000 |
| T2   | 0.980 | 0.961   | 0.000 |
| WD10 | 0.878 | 0.771   | 0.000 |
| WD2  | 0.834 | 0.696   | 0.000 |
| WS10 | 0.872 | 0.760   | 0.000 |
| WS2  | 0.871 | 0.758   | 0.000 |
| Sout | 0.655 | 0.429   | 0.000 |
| Sin  | 0.271 | 0.073   | 0.000 |
| Lout | 0.923 | 0.852   | 0.000 |
| Lin  | 0.979 | 0.959   | 0.000 |

Tab. 15: Polarnacht, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.906 | 0.821   | 0.000 |
| RH2  | 0.949 | 0.901   | 0.000 |
| T10  | 0.953 | 0.908   | 0.000 |
| T2   | 0.978 | 0.956   | 0.000 |
| WD10 | 0.769 | 0.592   | 0.000 |
| WD2  | 0.717 | 0.514   | 0.000 |
| WS10 | 0.755 | 0.570   | 0.000 |
| WS2  | 0.733 | 0.537   | 0.000 |
| Sout | 0.683 | 0.467   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| Sin  | 0.274 | 0.075 | 0.000 |
| Lout | 0.924 | 0.853 | 0.000 |
| Lin  | 0.979 | 0.959 | 0.000 |

Tab. 16: N, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.995 | 0.990   | 0.000 |
| RH10 | 0.843 | 0.710   | 0.000 |
| RH2  | 0.810 | 0.657   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.975   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.980   | 0.000 |
| WD10 | 0.357 | 0.127   | 0.000 |
| WD2  | 0.224 | 0.050   | 0.000 |
| WS10 | 0.700 | 0.489   | 0.000 |
| WS2  | 0.716 | 0.512   | 0.000 |
| Sout | 0.977 | 0.954   | 0.000 |
| Sin  | 0.968 | 0.937   | 0.000 |
| Lout | 0.930 | 0.865   | 0.000 |
| Lin  | 0.978 | 0.957   | 0.000 |

Tab. 17: N, 10- Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.996 | 0.991   | 0.000 |
| RH10 | 0.855 | 0.732   | 0.000 |
| RH2  | 0.814 | 0.663   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.974   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.979   | 0.000 |
| WD10 | 0.355 | 0.126   | 0.000 |
| WD2  | 0.208 | 0.043   | 0.000 |
| WS10 | 0.751 | 0.564   | 0.000 |
| WS2  | 0.756 | 0.572   | 0.000 |
| Sout | 0.977 | 0.955   | 0.000 |
| Sin  | 0.970 | 0.941   | 0.000 |
| Lout | 0.928 | 0.861   | 0.000 |
| Lin  | 0.980 | 0.961   | 0.000 |

Tab. 18: N, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.995 | 0.990   | 0.000 |
| RH10 | 0.883 | 0.780   | 0.000 |
| RH2  | 0.813 | 0.660   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.974   | 0.000 |
| T2   | 0.991 | 0.981   | 0.000 |
| WD10 | 0.350 | 0.122   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| WD2  | 0.263 | 0.069 | 0.000 |
| WS10 | 0.831 | 0.690 | 0.000 |
| WS2  | 0.878 | 0.771 | 0.000 |
| Sout | 0.975 | 0.951 | 0.000 |
| Sin  | 0.971 | 0.943 | 0.000 |
| Lout | 0.953 | 0.909 | 0.000 |
| Lin  | 0.984 | 0.968 | 0.000 |

Tab. 19: NE, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.940 | 0.883   | 0.000 |
| RH2  | 0.931 | 0.867   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.974   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.979   | 0.000 |
| WD10 | 0.565 | 0.319   | 0.000 |
| WD2  | 0.503 | 0.253   | 0.000 |
| WS10 | 0.917 | 0.841   | 0.000 |
| WS2  | 0.913 | 0.834   | 0.000 |
| Sout | 0.972 | 0.944   | 0.000 |
| Sin  | 0.950 | 0.902   | 0.000 |
| Lout | 0.967 | 0.935   | 0.000 |
| Lin  | 0.989 | 0.979   | 0.000 |

Tab. 20: NE, 10- Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.940 | 0.884   | 0.000 |
| RH2  | 0.931 | 0.866   | 0.000 |
| T10  | 0.986 | 0.973   | 0.000 |
| T2   | 0.989 | 0.978   | 0.000 |
| WD10 | 0.513 | 0.263   | 0.000 |
| WD2  | 0.486 | 0.236   | 0.000 |
| WS10 | 0.924 | 0.853   | 0.000 |
| WS2  | 0.918 | 0.842   | 0.000 |
| Sout | 0.973 | 0.947   | 0.000 |
| Sin  | 0.948 | 0.899   | 0.000 |
| Lout | 0.965 | 0.931   | 0.000 |
| Lin  | 0.989 | 0.978   | 0.000 |

Tab. 21: NE, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.999 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.944 | 0.892   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| RH2  | 0.931 | 0.868 | 0.000 |
| T10  | 0.983 | 0.966 | 0.000 |
| T2   | 0.987 | 0.974 | 0.000 |
| WD10 | 0.532 | 0.283 | 0.000 |
| WD2  | 0.482 | 0.233 | 0.000 |
| WS10 | 0.946 | 0.894 | 0.000 |
| WS2  | 0.943 | 0.889 | 0.000 |
| Sout | 0.977 | 0.955 | 0.000 |
| Sin  | 0.966 | 0.933 | 0.000 |
| Lout | 0.976 | 0.953 | 0.000 |
| Lin  | 0.987 | 0.975 | 0.000 |

Tab. 22: E, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.926 | 0.857   | 0.000 |
| RH2  | 0.949 | 0.900   | 0.000 |
| T10  | 0.991 | 0.981   | 0.000 |
| T2   | 0.993 | 0.987   | 0.000 |
| WD10 | 0.550 | 0.303   | 0.000 |
| WD2  | 0.585 | 0.342   | 0.000 |
| WS10 | 0.947 | 0.898   | 0.000 |
| WS2  | 0.948 | 0.898   | 0.000 |
| Sout | 0.969 | 0.938   | 0.000 |
| Sin  | 0.933 | 0.870   | 0.000 |
| Lout | 0.952 | 0.907   | 0.000 |
| Lin  | 0.994 | 0.988   | 0.000 |

Tab. 23: E, 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.928 | 0.860   | 0.000 |
| RH2  | 0.950 | 0.902   | 0.000 |
| T10  | 0.991 | 0.982   | 0.000 |
| T2   | 0.993 | 0.987   | 0.000 |
| WD10 | 0.556 | 0.309   | 0.000 |
| WD2  | 0.603 | 0.364   | 0.000 |
| WS10 | 0.955 | 0.913   | 0.000 |
| WS2  | 0.956 | 0.914   | 0.000 |
| Sout | 0.967 | 0.935   | 0.000 |
| Sin  | 0.926 | 0.857   | 0.000 |
| Lout | 0.956 | 0.913   | 0.000 |
| Lin  | 0.994 | 0.988   | 0.000 |

Tab. 24: E, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.997   | 0.000 |
| RH10 | 0.933 | 0.870   | 0.000 |
| RH2  | 0.954 | 0.911   | 0.000 |
| T10  | 0.992 | 0.984   | 0.000 |
| T2   | 0.994 | 0.988   | 0.000 |
| WD10 | 0.591 | 0.349   | 0.000 |
| WD2  | 0.631 | 0.399   | 0.000 |
| WS10 | 0.962 | 0.926   | 0.000 |
| WS2  | 0.963 | 0.928   | 0.000 |
| Sout | 0.970 | 0.941   | 0.000 |
| Sin  | 0.927 | 0.860   | 0.000 |
| Lout | 0.966 | 0.933   | 0.000 |
| Lin  | 0.994 | 0.989   | 0.000 |

Tab. 25: SE, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.993   | 0.000 |
| RH10 | 0.880 | 0.774   | 0.000 |
| RH2  | 0.915 | 0.838   | 0.000 |
| T10  | 0.981 | 0.962   | 0.000 |
| T2   | 0.993 | 0.987   | 0.000 |
| WD10 | 0.428 | 0.183   | 0.000 |
| WD2  | 0.496 | 0.246   | 0.000 |
| WS10 | 0.765 | 0.585   | 0.000 |
| WS2  | 0.795 | 0.631   | 0.000 |
| Sout | 0.963 | 0.928   | 0.000 |
| Sin  | 0.921 | 0.849   | 0.000 |
| Lout | 0.954 | 0.910   | 0.000 |
| Lin  | 0.994 | 0.989   | 0.000 |

Tab. 26: SE, 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.993   | 0.000 |
| RH10 | 0.891 | 0.793   | 0.000 |
| RH2  | 0.923 | 0.852   | 0.000 |
| T10  | 0.981 | 0.963   | 0.000 |
| T2   | 0.994 | 0.987   | 0.000 |
| WD10 | 0.411 | 0.169   | 0.000 |
| WD2  | 0.480 | 0.230   | 0.000 |
| WS10 | 0.775 | 0.601   | 0.000 |
| WS2  | 0.802 | 0.643   | 0.000 |
| Sout | 0.962 | 0.926   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| Sin  | 0.920 | 0.847 | 0.000 |
| Lout | 0.956 | 0.915 | 0.000 |
| Lin  | 0.995 | 0.989 | 0.000 |

Tab. 27: SE, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.994   | 0.000 |
| RH10 | 0.905 | 0.818   | 0.000 |
| RH2  | 0.936 | 0.876   | 0.000 |
| T10  | 0.983 | 0.967   | 0.000 |
| T2   | 0.994 | 0.989   | 0.000 |
| WD10 | 0.502 | 0.252   | 0.000 |
| WD2  | 0.590 | 0.348   | 0.000 |
| WS10 | 0.807 | 0.651   | 0.000 |
| WS2  | 0.835 | 0.696   | 0.000 |
| Sout | 0.966 | 0.934   | 0.000 |
| Sin  | 0.933 | 0.871   | 0.000 |
| Lout | 0.964 | 0.930   | 0.000 |
| Lin  | 0.995 | 0.990   | 0.000 |

Tab. 28: S, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.996 | 0.993   | 0.000 |
| RH10 | 0.898 | 0.806   | 0.000 |
| RH2  | 0.925 | 0.855   | 0.000 |
| T10  | 0.969 | 0.938   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.981   | 0.000 |
| WD10 | 0.483 | 0.234   | 0.000 |
| WD2  | 0.505 | 0.255   | 0.000 |
| WS10 | 0.749 | 0.561   | 0.000 |
| WS2  | 0.754 | 0.569   | 0.000 |
| Sout | 0.923 | 0.853   | 0.000 |
| Sin  | 0.841 | 0.707   | 0.000 |
| Lout | 0.907 | 0.823   | 0.000 |
| Lin  | 0.991 | 0.982   | 0.000 |

Tab. 29: S, 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.993   | 0.000 |
| RH10 | 0.912 | 0.831   | 0.000 |
| RH2  | 0.932 | 0.868   | 0.000 |
| T10  | 0.969 | 0.940   | 0.000 |
| T2   | 0.990 | 0.981   | 0.000 |
| WD10 | 0.494 | 0.244   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| WD2  | 0.501 | 0.251 | 0.000 |
| WS10 | 0.765 | 0.585 | 0.000 |
| WS2  | 0.759 | 0.576 | 0.000 |
| Sout | 0.924 | 0.854 | 0.000 |
| Sin  | 0.841 | 0.708 | 0.000 |
| Lout | 0.907 | 0.823 | 0.000 |
| Lin  | 0.991 | 0.982 | 0.000 |

Tab. 30: S, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.997 | 0.994   | 0.000 |
| RH10 | 0.929 | 0.864   | 0.000 |
| RH2  | 0.943 | 0.890   | 0.000 |
| T10  | 0.972 | 0.945   | 0.000 |
| T2   | 0.992 | 0.984   | 0.000 |
| WD10 | 0.548 | 0.300   | 0.000 |
| WD2  | 0.591 | 0.350   | 0.000 |
| WS10 | 0.831 | 0.690   | 0.000 |
| WS2  | 0.823 | 0.677   | 0.000 |
| Sout | 0.928 | 0.861   | 0.000 |
| Sin  | 0.867 | 0.751   | 0.000 |
| Lout | 0.913 | 0.833   | 0.000 |
| Lin  | 0.992 | 0.984   | 0.000 |

Tab. 31: SW, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.903 | 0.816   | 0.000 |
| RH2  | 0.935 | 0.874   | 0.000 |
| T10  | 0.975 | 0.950   | 0.000 |
| T2   | 0.989 | 0.978   | 0.000 |
| WD10 | 0.466 | 0.217   | 0.000 |
| WD2  | 0.333 | 0.111   | 0.000 |
| WS10 | 0.834 | 0.696   | 0.000 |
| WS2  | 0.842 | 0.710   | 0.000 |
| Sout | 0.910 | 0.828   | 0.000 |
| Sin  | 0.821 | 0.674   | 0.000 |
| Lout | 0.887 | 0.786   | 0.000 |
| Lin  | 0.988 | 0.975   | 0.000 |

Tab. 32: SW, 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.907 | 0.823   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| RH2  | 0.940 | 0.883 | 0.000 |
| T10  | 0.975 | 0.952 | 0.000 |
| T2   | 0.989 | 0.978 | 0.000 |
| WD10 | 0.430 | 0.185 | 0.000 |
| WD2  | 0.319 | 0.102 | 0.000 |
| WS10 | 0.811 | 0.658 | 0.000 |
| WS2  | 0.808 | 0.653 | 0.000 |
| Sout | 0.910 | 0.828 | 0.000 |
| Sin  | 0.821 | 0.673 | 0.000 |
| Lout | 0.888 | 0.788 | 0.000 |
| Lin  | 0.988 | 0.976 | 0.000 |

Tab. 33: SW, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.921 | 0.847   | 0.000 |
| RH2  | 0.947 | 0.896   | 0.000 |
| T10  | 0.979 | 0.958   | 0.000 |
| T2   | 0.991 | 0.982   | 0.000 |
| WD10 | 0.461 | 0.213   | 0.000 |
| WD2  | 0.395 | 0.156   | 0.000 |
| WS10 | 0.840 | 0.705   | 0.000 |
| WS2  | 0.836 | 0.698   | 0.000 |
| Sout | 0.919 | 0.845   | 0.000 |
| Sin  | 0.839 | 0.704   | 0.000 |
| Lout | 0.892 | 0.795   | 0.000 |
| Lin  | 0.989 | 0.977   | 0.000 |

Tab. 34: W, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.930 | 0.865   | 0.000 |
| RH2  | 0.943 | 0.890   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.973   | 0.000 |
| T2   | 0.992 | 0.984   | 0.000 |
| WD10 | 0.441 | 0.195   | 0.000 |
| WD2  | 0.398 | 0.158   | 0.000 |
| WS10 | 0.922 | 0.850   | 0.000 |
| WS2  | 0.916 | 0.839   | 0.000 |
| Sout | 0.945 | 0.892   | 0.000 |
| Sin  | 0.886 | 0.785   | 0.000 |
| Lout | 0.912 | 0.832   | 0.000 |
| Lin  | 0.991 | 0.982   | 0.000 |

Tab. 35: W 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.932 | 0.868   | 0.000 |
| RH2  | 0.947 | 0.896   | 0.000 |
| T10  | 0.987 | 0.974   | 0.000 |
| T2   | 0.992 | 0.985   | 0.000 |
| WD10 | 0.291 | 0.085   | 0.000 |
| WD2  | 0.274 | 0.075   | 0.000 |
| WS10 | 0.911 | 0.829   | 0.000 |
| WS2  | 0.900 | 0.811   | 0.000 |
| Sout | 0.948 | 0.898   | 0.000 |
| Sin  | 0.890 | 0.792   | 0.000 |
| Lout | 0.916 | 0.838   | 0.000 |
| Lin  | 0.992 | 0.983   | 0.000 |

Tab. 36: W, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.937 | 0.878   | 0.000 |
| RH2  | 0.955 | 0.911   | 0.000 |
| T10  | 0.988 | 0.975   | 0.000 |
| T2   | 0.993 | 0.986   | 0.000 |
| WD10 | 0.359 | 0.129   | 0.000 |
| WD2  | 0.312 | 0.098   | 0.000 |
| WS10 | 0.931 | 0.866   | 0.000 |
| WS2  | 0.922 | 0.849   | 0.000 |
| Sout | 0.961 | 0.924   | 0.000 |
| Sin  | 0.912 | 0.832   | 0.000 |
| Lout | 0.918 | 0.844   | 0.000 |
| Lin  | 0.992 | 0.984   | 0.000 |

Tab. 37: NW, Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.891 | 0.794   | 0.000 |
| RH2  | 0.887 | 0.786   | 0.000 |
| T10  | 0.982 | 0.965   | 0.000 |
| T2   | 0.989 | 0.977   | 0.000 |
| WD10 | 0.463 | 0.214   | 0.000 |
| WD2  | 0.559 | 0.312   | 0.000 |
| WS10 | 0.804 | 0.646   | 0.000 |
| WS2  | 0.802 | 0.642   | 0.000 |
| Sout | 0.913 | 0.834   | 0.000 |

|      |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|
| Sin  | 0.848 | 0.718 | 0.000 |
| Lout | 0.917 | 0.841 | 0.000 |
| Lin  | 0.992 | 0.984 | 0.000 |

Tab. 38: NW, 10-Min

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.895 | 0.800   | 0.000 |
| RH2  | 0.905 | 0.819   | 0.000 |
| T10  | 0.983 | 0.966   | 0.000 |
| T2   | 0.988 | 0.977   | 0.000 |
| WD10 | 0.402 | 0.162   | 0.000 |
| WD2  | 0.470 | 0.221   | 0.000 |
| WS10 | 0.822 | 0.676   | 0.000 |
| WS2  | 0.823 | 0.677   | 0.000 |
| Sout | 0.908 | 0.824   | 0.000 |
| Sin  | 0.839 | 0.703   | 0.000 |
| Lout | 0.919 | 0.844   | 0.000 |

|     |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|
| Lin | 0.992 | 0.984 | 0.000 |
|-----|-------|-------|-------|

Tab. 39: NW, Std

|      | $r_s$ | $R_s^2$ | p     |
|------|-------|---------|-------|
| P    | 0.998 | 0.996   | 0.000 |
| RH10 | 0.909 | 0.825   | 0.000 |
| RH2  | 0.891 | 0.794   | 0.000 |
| T10  | 0.984 | 0.967   | 0.000 |
| T2   | 0.989 | 0.978   | 0.000 |
| WD10 | 0.446 | 0.199   | 0.000 |
| WD2  | 0.561 | 0.314   | 0.000 |
| WS10 | 0.885 | 0.784   | 0.000 |
| WS2  | 0.892 | 0.795   | 0.000 |
| Sout | 0.872 | 0.760   | 0.000 |
| Sin  | 0.827 | 0.684   | 0.000 |
| Lout | 0.926 | 0.857   | 0.000 |
| Lin  | 0.992 | 0.983   | 0.000 |

## Anhang 4

Tab. 40: Mediane der Parameter gemessen an NM III aufgeteilt nach unterschiedlicher Jahreszeit

|      | Sommer | Winter | Polartag | Polarnacht |
|------|--------|--------|----------|------------|
| T2   | -7.9   | -22.3  | -3.2     | -27.6      |
| T10  | -7.6   | -21.6  | -3.1     | -26        |
| RH2  | 85.2   | 76.6   | 87.3     | 74.3       |
| RH10 | 85.8   | 77.1   | 87.9     | 73.9       |
| WS2  | 6.6    | 5.3    | 4.1      | 3.2        |
| WS10 | 8      | 7      | 5.2      | 4.9        |
| P    | 982.17 | 981.15 | 986.74   | 984.96     |
| Sin  | 121.7  | 0.3    | 187.1    | 0.2        |
| Sout | 142.6  | 0.1    | 226.2    | 0.2        |
| Lin  | 276.5  | 216.1  | 298.7    | 198.9      |
| Lout | 254.4  | 194.1  | 268.3    | 186.6      |

Tab. 41: Mediane der Parameter gemessen an AWS aufgeteilt nach unterschiedlicher Jahreszeit

|      | <b>Sommer</b> | <b>Winter</b> | <b>Polartag</b> | <b>Polarnacht</b> |
|------|---------------|---------------|-----------------|-------------------|
| T2   | -7.76         | -22.01        | -3.01           | -26.59            |
| T10  | -7.76         | -22.01        | -3              | -26.59            |
| RH2  | 85.2          | 76.7          | 87.2            | 74.8              |
| RH10 | 85.2          | 76.7          | 87.2            | 74.8              |
| WS2  | 7             | 6.2           | 4.8             | 4.1               |
| WS10 | 7.1           | 6.2           | 4.8             | 4.1               |
| P    | 983           | 981.66        | 987.92          | 985.68            |
| Sin  | 114.7         | 0.4           | 175.5           | 0.2               |
| Sout | 132.5         | 0             | 208.9           | 0                 |
| Lin  | 280.7         | 222.1         | 302.8           | 206.2             |
| Lout | 259.2         | 202.3         | 275.2           | 194.8             |

Tab. 42: Mediane der Parameter gemessen an NM III aufgeteilt nach unterschiedlicher Windrichtung

|      | <b>N</b> | <b>NE</b> | <b>E</b> | <b>SE</b> | <b>S</b> | <b>SW</b> | <b>W</b> | <b>NW</b> |
|------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| T2   | -6.9     | -10.1     | -12.6    | -14.0     | -26.8    | -26.2     | -21.3    | -11.9     |
| T10  | -6.7     | -9.9      | -12.5    | -13.1     | -24.9    | -24.9     | -20.4    | -11.4     |
| RH2  | 80.9     | 86.3      | 83.8     | 75.7      | 72.0     | 74.5      | 78.0     | 82.5      |
| RH10 | 82.8     | 87.4      | 85.1     | 76.7      | 72.4     | 74.9      | 77.7     | 83.9      |
| WS2  | 1.3      | 4.8       | 11.0     | 2.1       | 2.0      | 3.0       | 5.2      | 1.9       |
| WS10 | 1.9      | 6.0       | 12.9     | 3.8       | 3.9      | 4.7       | 6.8      | 2.6       |
| P    | 987.0    | 982.9     | 980.1    | 984.2     | 983.4    | 982.8     | 981.5    | 982.7     |
| Sin  | 41.2     | 45.4      | 8.6      | 11.3      | 0.4      | 0.3       | 0.8      | 0.5       |
| Sout | 45.6     | 54.3      | 9.3      | 13.5      | 0.4      | 0.3       | 0.6      | 0.5       |
| Lin  | 279.1    | 269.1     | 256.7    | 247.3     | 200.2    | 201.4     | 219.5    | 259.3     |
| Lout | 266.5    | 257.9     | 242.8    | 209.8     | 164.9    | 163.4     | 178.4    | 248.9     |

Tab. 43: Mediane der Parameter gemessen an AWS aufgeteilt nach unterschiedlichen Windrichtungen

|      | <b>N</b> | <b>NE</b> | <b>E</b> | <b>SE</b> | <b>S</b> | <b>SW</b> | <b>W</b> | <b>NW</b> |
|------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|
| T2   | -6.8     | -9.9      | -12.5    | -13.5     | -25.4    | -24.9     | -20.9    | -11.7     |
| T10  | -6.8     | -9.7      | -12.5    | -13.5     | -25.4    | -24.9     | -20.9    | -11.7     |
| RH2  | 80.5     | 85.5      | 83.7     | 76.2      | 71.0     | 74.2      | 77.7     | 81.9      |
| RH10 | 80.5     | 85.5      | 83.7     | 76.2      | 71.0     | 74.2      | 77.7     | 81.8      |
| WS2  | 1.6      | 5.3       | 11.3     | 3.0       | 2.9      | 4.0       | 6.2      | 2.2       |
| WS10 | 1.6      | 5.3       | 11.3     | 3.0       | 2.9      | 4.0       | 6.2      | 2.2       |
| P    | 988.3    | 983.9     | 980.7    | 985.1     | 984.0    | 983.5     | 982.4    | 983.9     |
| Sin  | 39.1     | 42.4      | 7.9      | 11.2      | 1.0      | 0.7       | 1.3      | 0.5       |
| Sout | 43.3     | 49.1      | 8.4      | 11.8      | 0.1      | 0.0       | 0.4      | 0.4       |
| Lin  | 283.3    | 275.2     | 260.4    | 252.2     | 208.9    | 211.2     | 224.5    | 263.4     |
| Lout | 271.6    | 262.1     | 245.3    | 214.9     | 180.0    | 183.5     | 192.7    | 260.2     |

## Anhang 5

Tab. 44: Häufigkeiten der Windrichtung

|                    | Anzahl     | [%]  |
|--------------------|------------|------|
| <i>NM III WD2</i>  |            |      |
| N                  | 2743.000   | 0.5  |
| NE                 | 19113.000  | 3.8  |
| E                  | 253634.000 | 50.7 |
| SE                 | 32373.000  | 6.5  |
| S                  | 49402.000  | 9.9  |
| SW                 | 81101.000  | 16.2 |
| W                  | 57643.000  | 11.5 |
| NW                 | 4473.000   | 0.9  |
| <i>NM III WD10</i> |            |      |
| N                  | 3499.000   | 0.7  |
| NE                 | 20675.000  | 4.1  |
| E                  | 255843.000 | 50.3 |
| SE                 | 38390.000  | 7.6  |
| S                  | 65617.000  | 12.9 |
| SW                 | 73854.000  | 14.5 |
| W                  | 45922.000  | 9.0  |
| NW                 | 4379.000   | 0.9  |
| <i>AWS WD</i>      |            |      |
| N                  | 4200.000   | 0.9  |
| NE                 | 14933.000  | 3.2  |
| E                  | 218813.000 | 47.4 |
| SE                 | 46218.000  | 10.0 |
| S                  | 51541.000  | 11.2 |
| SW                 | 71953.000  | 15.6 |
| W                  | 49033.000  | 10.6 |
| NW                 | 4788.000   | 1.0  |

## **Erklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die anderen Quellen im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen wurden, sind durch Angaben der Herkunft kenntlich gemacht. Dies gilt auch für Tabellen, Zeichnungen, bildliche Darstellungen sowie für Quellen aus dem Internet.

Simone Heupel Santos, Münster, Oktober 2013