



PRAKTIKUM THERMISCHE MESSTECHNIK

TEIL 3: METEOROLOGISCHE MESSGRÖSSEN

Lena Völlinger & Marvin Grosch

Praktikumstag: 04.09.2020
Erstabgabe: 05.10.2020
Betreuer: Markus Rusack & Christoph Schmelzer
Studiengang: Master re²
Semester: SoSe 2020
Matrikelnr.: 35597894, 35598242

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	I
1 Einleitung	1
2 Versuchsauswertung	1
2.1 Solarstrahlung	1
2.1.1 Aufnahme der Messdaten	1
2.1.2 Bestimmung des Ansprechverhaltens	3
2.2 Luftfeuchtemessung	3
2.3 Niederschlag	7
2.4 Windmessung	8
2.4.1 Windrichtung	8
2.4.2 Windgeschwindigkeit	10

Abbildungsverzeichnis

1	Messreihe zur Bestimmung der Solarstrahlung	2
2	Messreihe zur Bestimmung des Ansprechverhaltens.	3
3	Messreihe Umgebung	4
4	Kalibrationsmessung	5
5	Kalibrationsgerade des Temperatursensors	6
6	Datenerfassung zur Niederschlagsbestimmung	7
7	Windrichtung	9
8	Windrichtung Verteilung	9
9	Windgeschwindigkeit	10
10	Windgeschwindigkeit Verteilung	11

1 Einleitung

In dem Praktikumsversuch Meteorologische Messgrößen sollen verschiedene Wetterdaten aufgenommen und die Funktionen und Messprinzipien der jeweiligen Geräte erklärt werden. Die aufgezeichneten Wetterdaten beinhalten die Globalstrahlung mit Anteilen der Direkt- und Diffusstrahlung, die Umgebungstemperatur und Luftfeuchte, die Windrichtung und -geschwindigkeit sowie eine Niederschlagsmessung. Der Luftfeuchtesensor soll anhand zweier Referenz-Salzlösungen kalibriert und mit der Umgebungsluftfeuchte verglichen werden. Die verschiedenen Strahlungsmessgeräte sollen auf ihr Ansprechverhalten und die Genauigkeit überprüft werden. Die Niederschlagsmessung wird mit einer Wasserflasche simuliert und dient lediglich dem Verständnis des Messprinzips.

2 Versuchsauswertung

2.1 Solarstrahlung

2.1.1 Aufnahme der Messdaten

Zur Bestimmung der Solarstrahlung wurden folgende Halbleitersensoren und Pyranometern in die Messdatenerfassung eingebunden:

Sensorname	Sensorart
CM 11	Thermosäule
CM 11 (mit Schattenring)	Thermosäule
CM3	Thermosäule
SSR 81	Halbleiter
TA GBS	Halbleiter

Der Schattenring des Pyranometers zur Messung der Diffusstrahlung wurde nach Tabelle 5 des Praktikumsskriptes ausgerichtet. Die Ausrichtung der Messtafel mit den übrigen Sensoren Richtung Sonne konnte nur geschätzt werden, da der Himmel zum Zeitpunkt der Messung bedeckt war. Für die weitere Auswertung wird daher ein bereitgestellter Datensatz (vgl. Abbildung 1) verwendet.

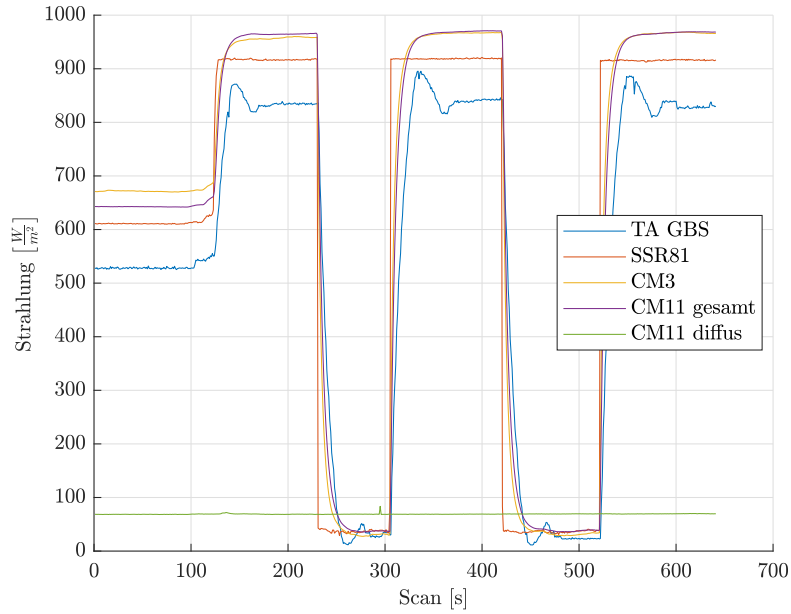


Abb. 1: Messreihe zur Bestimmung der Solarstrahlung

Zum Vergleich der Messwerte wurden der Mittelwert und die Standardabweichung der einzelnen Sensoren über den stationären Messbereich zwischen Sekunde 170 und Sekunde 220 gebildet. Tabelle 2.1.1 zeigt die bestimmten Werte.

Sensor	Strahlung [$\frac{W}{m^2}$]
TA GBS	833,6252 \pm 2,1081
SSR81	916,4836 \pm 0,6581
CM3	957,7781 \pm 1,7451
CM11	964,5125 \pm 0,4149
CM11 (diffus)	68,6927 \pm 0,1916

Die Angegeben Strahlungswerte beziehen sich auf die Globalstrahlung. Das mit einem Schattenring ausgestattete CM11 Pyranometer misst hingegen nur die Diffusstrahlung. Die Direktstrahlung kann mittels folgender Gleichung aus den beiden CM11 Pyranometern berechnet werden:

$$E_{dir} = E_{global} - E_{diffus} = 964,5125 \text{ W/m}^2 - 68,692 \text{ W/m}^2 = 895,8205 \text{ W/m}^2 \quad (1)$$

Aus dem Datensatz geht hervor, dass die Halbleitersensoren verglichen mit den Pyranometern eine geringere Strahlung messen. Der induzierte Photoeffekt ist bei Halbleitersensoren abhängig von der Wellenlänge. Aufgrund dieser Verluste wird ein niedrigere Ausgangsspannung am Messwiderstand gemessen. Für eine genauere Messung müsste der Sensor anhand einer definierten Strahlungsleistung (Bsp. Sonnensimulator) kalibriert werden. Weiterhin sind die verwendeten Halbleitersensoren nach keinem Standard klassifiziert, sodass keine nähere Aussage über die messgenauigkeit getroffen werden kann. Thermosäulen liefern präzisere Messwerte, da sie ein Thermisches Messverfahren nutzen und

Verluste durch den Glasdom gemindert werden. Die verwendeten CM11 Pyranometer sind nach dem Secondary Standard klassifiziert und sollten daher im Rahmen des Versuchs als Referenz betrachtet werden.

2.1.2 Bestimmung des Ansprechverhaltens

Wie im vorherigen Teil der Auswertung wurden bereitgestellte Daten verwendet. Die Messreihe ist in Abbildung 2 gezeigt.

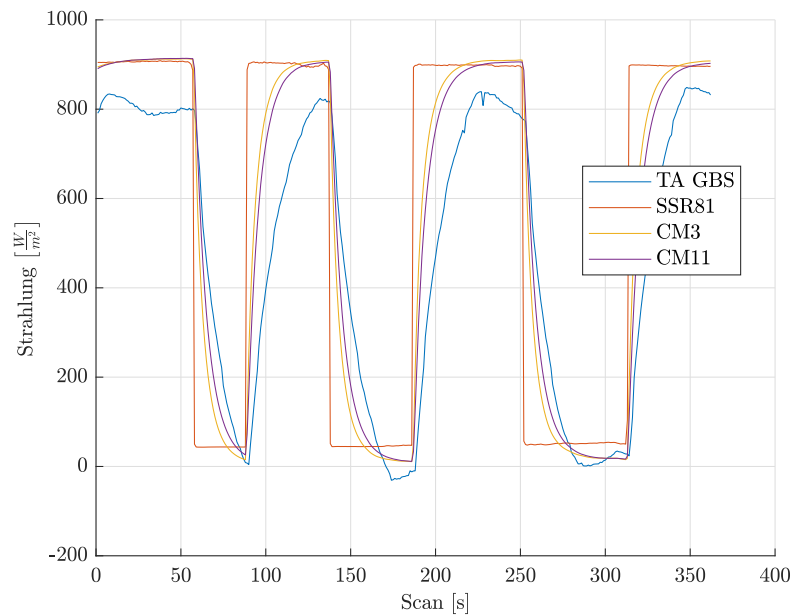


Abb. 2: Messreihe zur Bestimmung des Ansprechverhaltens.

2.2 Luftfeuchtemessung

Zunächst wurden die Umgebungstemperatur und die Ausgangsspannung des Feuchtesensors ermittelt. Abbildung 3 zeigt den Messverlauf. Die Mittelwerte und Standardabweichungen sind in Tabelle 2.2 zusammengefasst.

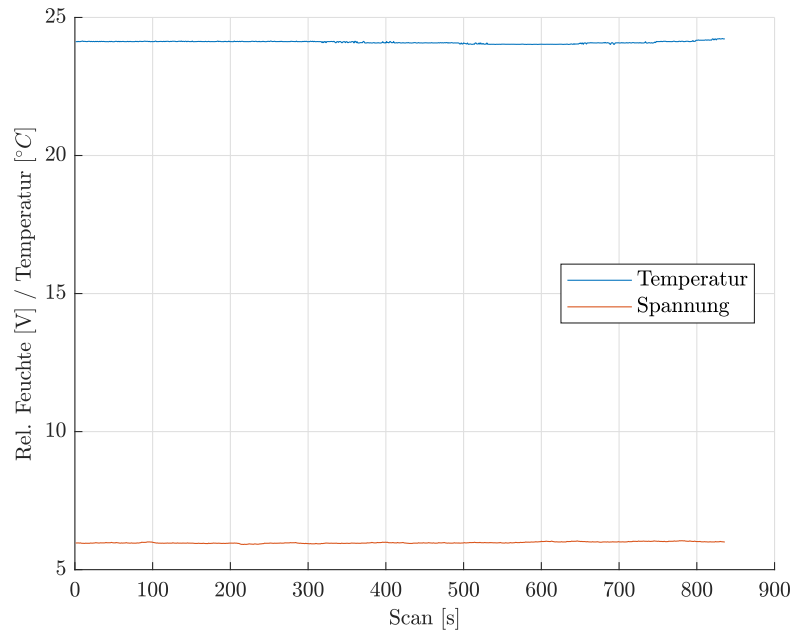


Abb. 3: Messreihe zur Bestimmung der Umgebungstemperatur und -luftfeuchte.

Messgröße	Mittelwerte
Umgebungstemperatur	24,1005 °C \pm 0,0434
Umgebungsluftfeuchte	5,9791 V \pm 0,0284

Zur Bestimmung der relativen Feuchte wurde eine Kalibriergerade anhand zweier Messpunkte angefertigt. Hierzu wurde die Ausgangsspannung des Sensors zunächst über einer NaCl-Lösung, anschließend über einer LiCl-Lösung gemessen. Der Messverlauf ist in Abbildung 4 aufgetragen. Es wurden jeweils die letzten 100 Scans zur Bestimmung der Ausgangsspannung gemittelt (vgl. Tabelle 2.2). Bei der vorliegenden Umgebungstemperatur von ca. 24 °C entspricht die relative Luftfeuchte über NaCl 75 %, über LiCl 12 %.

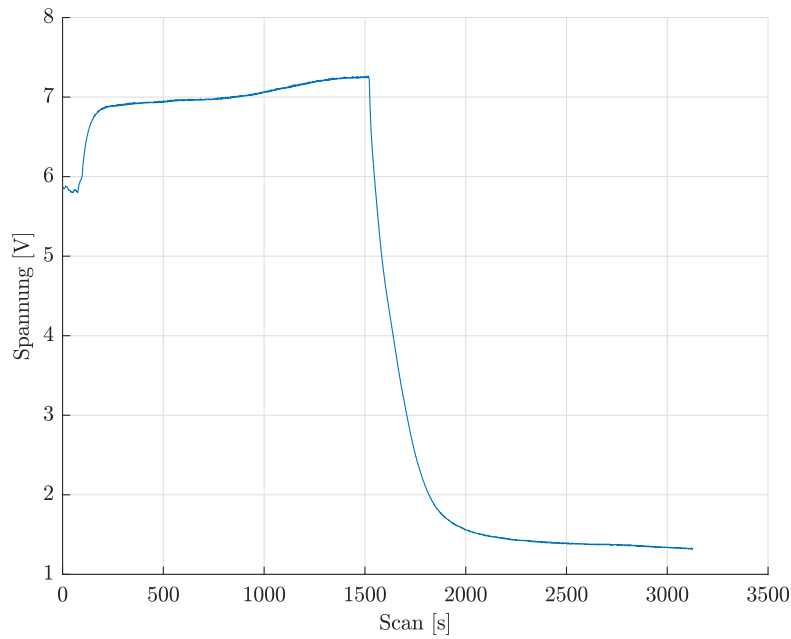


Abb. 4: Kalibrationsmessung anhand zweier Salzlösungen. Zum Zeitpunkt $t=1500s$ wurde der Sensor von der NaCl-Lösung über die LiCl-Lösung überführt.

Aus Abbildung 4 geht hervor, dass die Spannungen nicht konstant gemessen wurden. Für eine genauere Kalibration ist eine längere Verweilzeit über den Salzlösungen nötig. Prinzipiell eignen sich die gewählten Messpunkte gut, da die Luftfeuchte über den verwendeten Lösungen nahezu temperaturunabhängig ist. Die Messkurve des Sensors wird im Versuch als linear betrachtet, über den wahren Verlauf kann keine Aussage getroffen werden. Zur Optimierung müssen daher weitere Messpunkte aufgenommen werden.

Kalibrierlösung	Mittelwerte [V]	rel. Feuchte [%]
LiCl	$1,3298 \pm 0,0052$	12
NaCl	$7,2433 \pm 0,0056$	75

Die Kalibriergerade (vgl. Abbildung 6) wurde anhand der Spannungen aus Tabelle 2.2 erstellt. Diese wird als Polynom erster Ordnung beschrieben (vgl. Gleichung 2).

$$\varphi(V) = p1 \cdot V + p2 \quad (2)$$

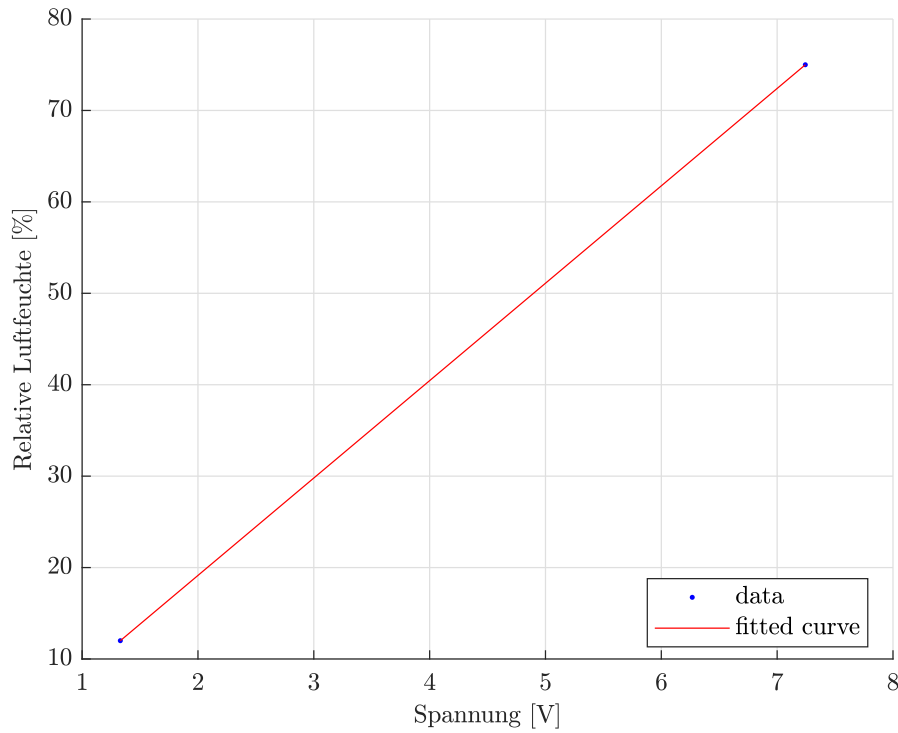


Abb. 5: Kalibrationsgerade des Temperatursensors mit der Fit-Funktion $f(x) = p_1 \cdot x + p_2$ und den Parametern $p_1=10,65$ und $p_2=0.2034$

Die relative Feuchte der Umgebungsluft errechnet sich nach Abbildung 6 und Gleichung 2 zu

$$\varphi(V) = 10,65 \cdot 5,9791 \text{ V} - 2,167 = 61,51 \% \quad (3)$$

Zur Umrechnung der absoluten Feuchte wird der temperaturabhängige Sättigungspartialdampfdruck des Wassers näherungsweise nach Gleichung 4 bestimmt.

$$p_{D,S}(24^\circ\text{C}) = 611 \cdot \exp(-1,91275 \cdot 10^{-4} + 7,258 \cdot 10^{-2} \cdot 24^\circ\text{C} - 2,939 \cdot 10^{-4} \cdot (24^\circ\text{C})^2 + 9,841 \cdot 10^{-7} \cdot (24^\circ\text{C})^3 - 1,92 \cdot 10^{-9} \cdot (24^\circ\text{C})^4) \quad (4)$$

$$p_D = p_{D,S} \cdot \varphi = 2982,47 \text{ Pa} \cdot 61,51 \% = 1834,52 \text{ Pa} \quad (5)$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_D}{p - p_D} = \frac{1834,52 \text{ Pa}}{100\,000 \text{ Pa} - 1834,52 \text{ Pa}} = 0,0116 \text{ kg/kg} \quad (6)$$

2.3 Niederschlag

Zur Simulation des Niederschlags wurde in drei Durchläufen je 1 L Wasser in den Auffangtrichter gegossen und die Impulse der Messwippe gezählt. Abbildung ?? zeigt die aufgenommenen Messdaten.

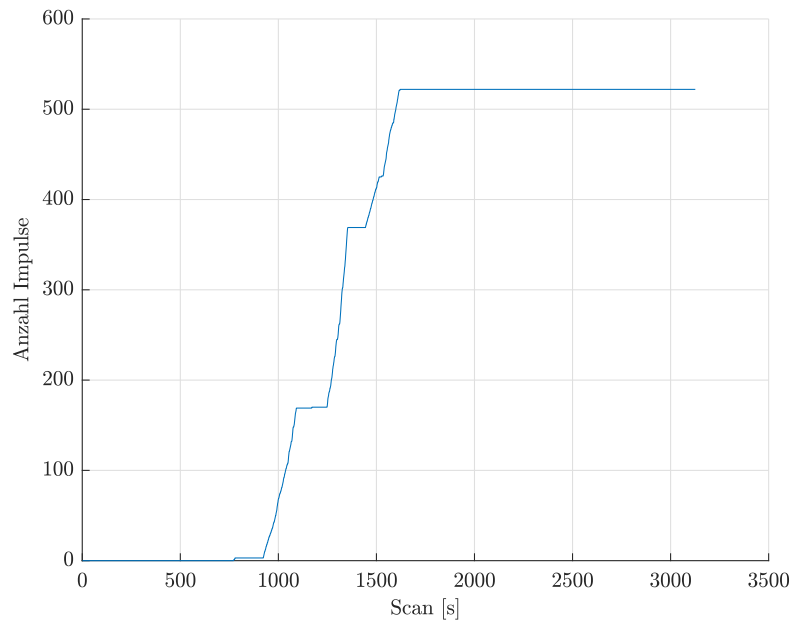


Abb. 6: Datenerfassung zur Niederschlagsbestimmung.

Die Impulszahl entspricht jeweils der Differenz des Ordinatenabschnittes zwischen den Messungen. Zusätzlich wurde die Messdauer betrachtet und der Volumenstrom bilanziell aus dem Kehrwert der Messdauer berechnet. Das Volumen der Wippen wurde aus dem Kehrwert der Impulszahl berechnet (vgl. Tabelle 2.3).

Messung	Impulszahl	Messdauer [s]	Volumenstrom [$\frac{ml}{s}$]	Liter pro impuls
1	166	168	5,95	6,02
2	200	105	9,52	5,00
3	153	171	5,85	6,54
Mittel	173	148	7,11	5,85

Das Messergebnis ist in erster Linie vom zufließenden Volumenstrom abhängig. Bei geringerem Zufluss wird Wippe langsam an ihren Kippunkt gebracht, während sie bei höheren Zuflussraten durch den Impuls des Fluids schon vor der vollständigen Befüllung kippt. Dieser Trend ist in Tabelle 2.3 zu sehen. Das Volumen pro Impuls ist bei Messung 2 am geringsten, der bilanzielle Volumenstrom am größten. Die Messmethode ist daher tendenziell für die Messung bei leichten Regenschauern geeignet. Bei Starkregen versagt

sie. Das Volumen einer Kippwaage ist mit 2 cm^3 angegeben. Somit entspricht das getestete Volumen von einem Liter in der Theorie 500 Impulsen.

Für die Bestimmung der Niederschlagshöhe wird zunächst nach Gleichung 7 die Trichterfläche bestimmt:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot \left(\frac{0,165 \text{ m}}{2}\right)^2 = 0,0214 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Die normierte Niederschlagshöhe ergibt sich entsprechend Gleichung 8 aus dem Quotienten der Niederschlagsmenge und der Trichterfläche:

$$h = \frac{V}{A} = \frac{0,001 \text{ m}^3}{0,0214 \text{ m}^2} = 0,0467 \text{ m} = 46,7 \text{ mm} \quad (8)$$

2.4 Windmessung

Eine sinnvolle Messung der Luftströmung war aufgrund der ungünstigen Position der Messstation nicht möglich. Daher wird auch bei diesem Versuchsteil auf einen bereitgestellten Datensatz zurückgegriffen.

2.4.1 Windrichtung

Zunächst ist die Aufnahme der Windrichtung in Abbildung 7 gezeigt. Ohne weitere Datenaufarbeitung ist der Datensatz kaum interpretierbar. Die statistische Verteilung in Abbildung 8 dargestellt.

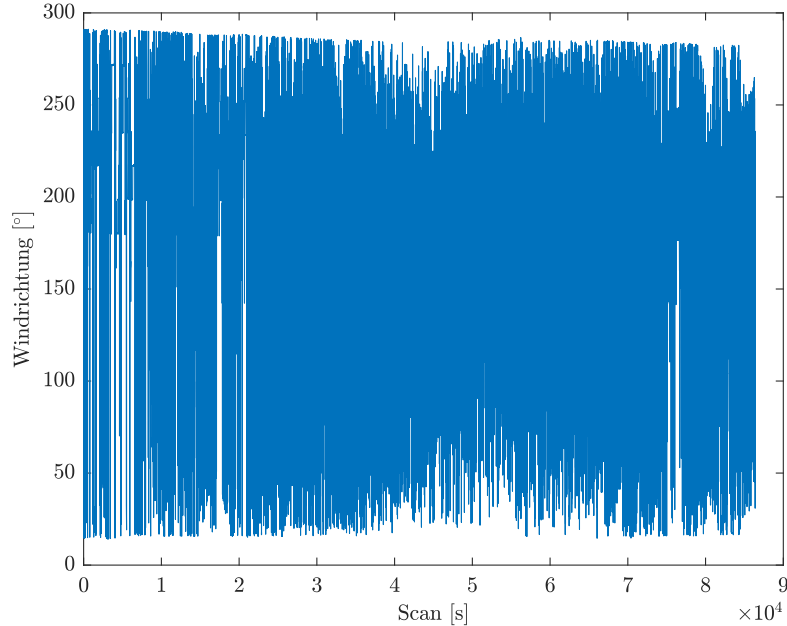


Abb. 7: Windrichtung.

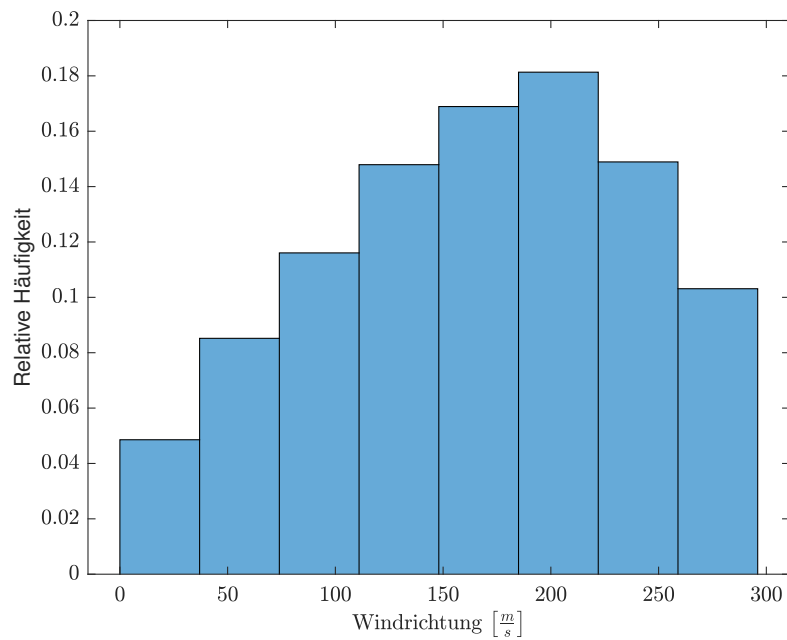


Abb. 8: Windrichtung Verteilung.

Am Häufigsten wehte der Wind aus SWS mit einem Anteil von 0,18. Davon ausgehend ist eine abnehmende Verteilung gegen den Uhrzeigersinn bis NO zu sehen, im Uhrzeigersinn bis WNW. windrichtung der Klasse 8 (NWN) wurde nie gemessen.

2.4.2 Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit kann bereits anhand der Rohdaten (vgl. Abbildung 9) interpretiert werden. Zu großen Anteilen betrug die Windgeschwindigkeit zwischen 0 und 1 m/s. Zwischenzeitlich wurde eine Spitze mit 5 m/s gemessen. Die Häufigkeitsverteilung (Abbildung 10) bestätigt diese Beobachtung. Die Geschwindigkeitsklasse 0 bis 1 m/s ist mit einer statistischen Häufigkeit von 0,8 vertreten, gefolgt von 1 bis 2 m/s mit einer Häufigkeit von 0,1.

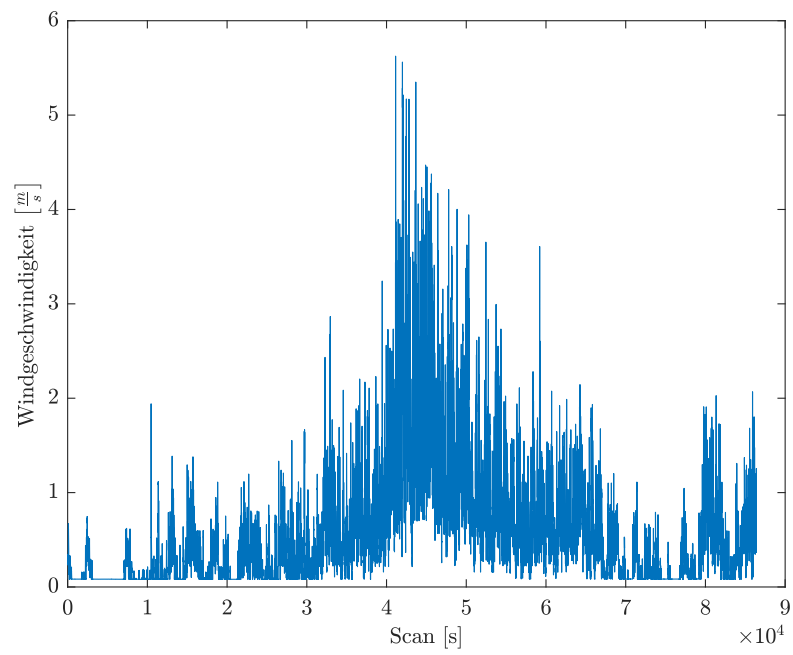


Abb. 9: Windgeschwindigkeit.

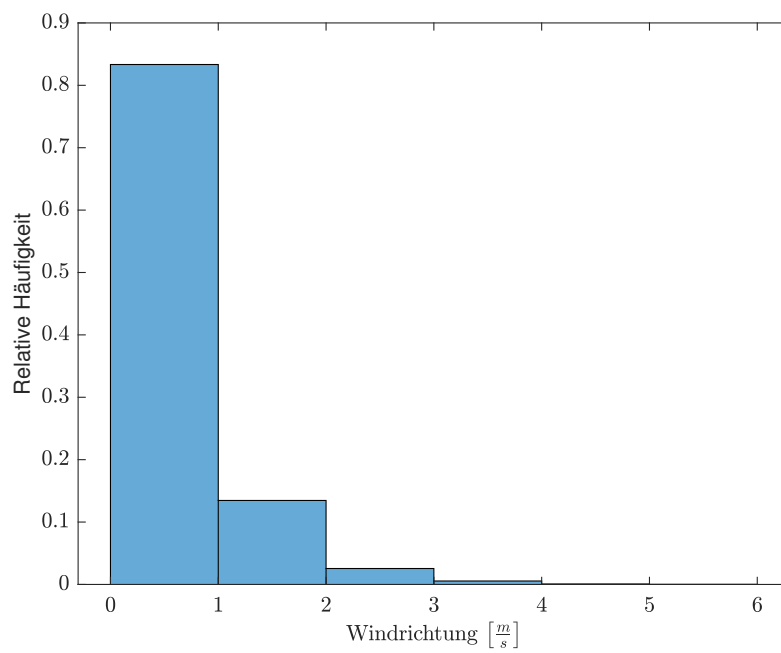


Abb. 10: Windgeschwindigkeit Verteilung.