

Empa
Überlandstrasse 129
CH-8600 Dübendorf
T +41 58 765 11 11
F +41 58 765 11 22
www.empa.ch

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abt. Lärmbekämpfung/NIS
Postfach
CH-3003 Bern

Integration von Meteostatistiken in die sonARMS- Benutzeroberfläche

Untersuchungsbericht: Empa-Nr. 5214002154, int. 571.2594
Ihr Auftrag vom: 6. Mai 2013
Anzahl Seiten inkl. Beilagen: 8

Inhaltsverzeichnis

- 1 Auftrag
- 2 Meteodaten des COSMO-2-Modells
- 3 Zuordnung zu MeteoKlassen
- 5 Analyse der Windrosen
- 6 Resultat-Tabellen und ihre Benutzung
- 7 Datengruppierung

Dübendorf, 8. Oktober 2013

Der Projektleiter:



Jean Marc Wunderli

Abteilung Akustik / Lärminderung

Der Abteilungsleiter:



Kurt Eggenschwiler

1 Auftrag

Die Empa Abteilung Akustik/Lärminderung entwickelt in Zusammenarbeit mit Merz Technik das Schiesslärmmodell sonARMS sowie die zugehörige Benutzeroberfläche sonARMS-GUI. Das sonARMS-Berechnungsmodell berücksichtigt meteorologische Einflüsse auf die Schallausbreitung. Da die Zielgrösse von Berechnungsaufgaben typischerweise die Ermittlung von Beurteilungspegeln ist und diese auf Jahresmittelwerten der Einzelschusspegel basieren, wurde die Empa durch das Bundesamt für Umwelt Bafu, Abteilung Lärmbekämpfung/NIS beauftragt, entsprechende Grundlagen aufzubereiten und in Zusammenarbeit mit Merz Technik in die Benutzerumgebung zu integrieren.

Als Grundlage kann dabei auf früheren Arbeiten aufgebaut werden. So wurden im sonRAIL-Projekt flächendeckend für die Schweiz Meteostatistiken auf der Basis von Wetterdaten des COSMO-2-Berechnungsmodells der MeteoSchweiz erarbeitet sowie eine Methodik zu Klassierung von Meteosituationen entwickelt (siehe «Wunderli, J. M. and M. W. Rotach, Application of statistical weather data from the numerical weather prediction model COSMO-2 for noise mapping purposes. Acta Acustica United with Acustica 97: 403-415 (2011)»). Im Empa-Bericht Nr. 459'348 vom 25. Mai 2012 mit Titel «Aufbereitung von flächendeckenden Grundlagen für die Schallausbreitungsmodellierung in den Bereichen Meteorologie und Bodeneigenschaften» wurde eine Methodik zu Identifikation von repräsentativen Gebieten für die COSMO-2-Rasterpunkte erarbeitet. Die entsprechenden Gebiete mit einheitlicher Meteorologie sowie die zugrundeliegenden Meteostatistiken stellen die Grundlage der Aufbereitung für sonARMS dar.

Im Rahmen dieses Berichtes werden zu Dokumentationszwecken die Datengrundlagen aufgeführt und die einzelnen Schritte der nachfolgenden Datenaufbereitung vorgestellt. Auf eine Dokumentation der resultierenden Benutzeroberfläche wird an dieser Stelle verzichtet, da diese im sonARMS-GUI Benutzerhandbuch enthalten ist.

2 Meteodaten des COSMO-2-Modells

Das numerische Wetterprognosemodell COSMO (Consortium for Small-Scale MOdelling) wird seit 1998 in internationaler Zusammenarbeit erstellt und laufend weiterentwickelt. Das COSMO System besteht aktuell aus drei ineinander eingebetteten numerischen Wettervorhersagemodellen. Die äusserste Stufe bildet ein globales Modell, welches die gesamte Atmosphäre simuliert, jedoch nur eine mittlere Genauigkeit aufweist. Darin eingebettet befinden sich zwei regionale Modelle mit jeweils gesteigerter Genauigkeit (Auflösung), wobei COSMO-7 ganz Westeuropa und COSMO-2 den Alpenraum abdeckt. COSMO-2 weist dabei ein Flächengitter von 2.2 x 2.2 km und 60 Höhenstufen auf. Die vertikalen Abstände zwischen den Gitterpunkten sind in geringeren Höhen kleiner, um bodennahe Phänomene besser beschreiben zu können. Das Wetterprognosemodell COSMO-2 wird erst seit Ende Februar 2008 operativ eingesetzt. Als Basis für statistische Auswertungen wurden durch die Empa im Rahmen von sonRAIL Assimilationszyklen, d.h. die Reproduktion des IST-Zustandes eines Jahres, vom 1. März 2008 bis 28. Februar 2009, für jede Vorhersagestunde auf einem Ausschnitt über der Schweiz (190x130 Gitterpunkte) beschafft. Folgende Daten waren im Lieferumfang enthalten:

- Langwellige und kurzwellige Strahlungsbilanz,
- Globalstrahlung und langwellige einfallende Strahlung,
- Temperatur auf 2m und Wind auf 10 m,
- Temperatur und Feuchte auf ca. 10 m (unterste Modellfläche),
- Temperatur und Wind auf ca. 33 m und 65 m (2. und 3. unterste Modellfläche),
- Temperatur und Wind auf ca. 108 m und 160 m (4. und 5. unterste Modellfläche).

Zu den einzelnen Berechnungspunkten im Raster liegen zusätzlich zu diesen meteorologischen Grössen Angaben zur Lage, zur Land-Wasser-Verteilung, zur Bodenrauigkeit, zum Bodentyp und zur Höhe über Meer sowie zu den genauen Höhen der Modellflächen vor.

3 Zuordnung zu MeteoKlassen

Das Klassierungsschema, welches in der erwähnten Acta-Acustica-Publikation vorgestellt wird, basiert auf 15 Meteoklassen gemäss Tabelle 1. Die Klassierung unterscheidet dabei drei Nettostrahlungsklassen bzw. atmosphärische Stabilitätsklassen und fünf Windgeschwindigkeitsklassen.

Strahlungsbilanz / Stabilität		$\geq 180 \text{ W/m}^2$			$\leq -18 \text{ W/m}^2$		
Wind (Bereich / Mittelwert)		Labil		Neutral		Stabil	
0 – 1 m/s	0.0 m/s	L0		N0		S0	
1 – 2 m/s	1.5 m/s	L1		N1		S1	
2 – 3 m/s	2.5 m/s	L2		N2		S2	
3 – 5 m/s	4.0 m/s	L3		N3		S3	
> 5 m/s	6.0 m/s	L4		N4		S4	

Tabelle 1: Klassierungsschema mit 15 verschiedenen Meteosituationen. Die Windgeschwindigkeiten gelten für eine Messhöhe von 10 m über Grasland.

Um lokale Einflüsse der Landnutzung, d.h. der Untergrundeigenschaften auszugleichen, erfolgt die Zuordnung jedoch nicht auf der Referenzhöhe von 10 m, sondern auf einer Höhe von 100 m. Die Umrechnung von 10 auf 100 m erfolgt mit den Standardprofilfunktionen des Windes, welche ebenfalls in der erwähnten Publikation aufgeführt sind. Abbildung 1 zeigt exemplarisch zwei Windprofile für Grasland und Wald. Wie zu erkennen ist, unterscheidet sich bei gleicher Grosswetterlage das Windprofil über einem Wald in 10 m Höhe noch deutlich von den Bedingungen über Grasland.

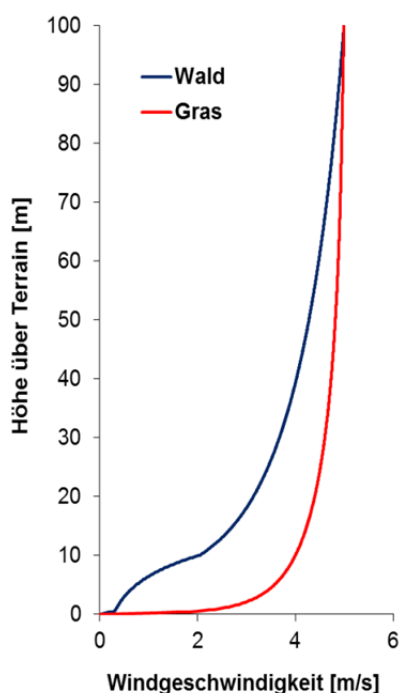


Abbildung 1: Standard-Windprofile für die Meteoklasse N3 über Wald und Grasland.

Die Zuordnung jedes Stundenwertes der COSMO-2-Daten zu einer der 15 Meteoklassen erfolgt für jeden COSMO-2-Rasterpunkt und separat für die drei Zeitabschnitte Tag (06 – 18 Uhr), Abend (18 – 22 Uhr) und Nacht (22 – 06 Uhr). Die Uhrzeiten berücksichtigen dabei Sommer- und Winterzeit und wurden aus der Weltzeit UTC umgerechnet, welche in den COSMO-Modellen verwendet wird.

Für jeden Rasterpunkt resultieren Angaben zur mittleren Temperatur und Feuchte pro Meteoklasse sowie eine Statistik der Auftretenshäufigkeit der einzelnen Klassen in den drei Zeitabschnitten. Exemplarisch ist ein Beispiel für den Tag in Abbildung 2 bzw. Tabelle 2 dargestellt.

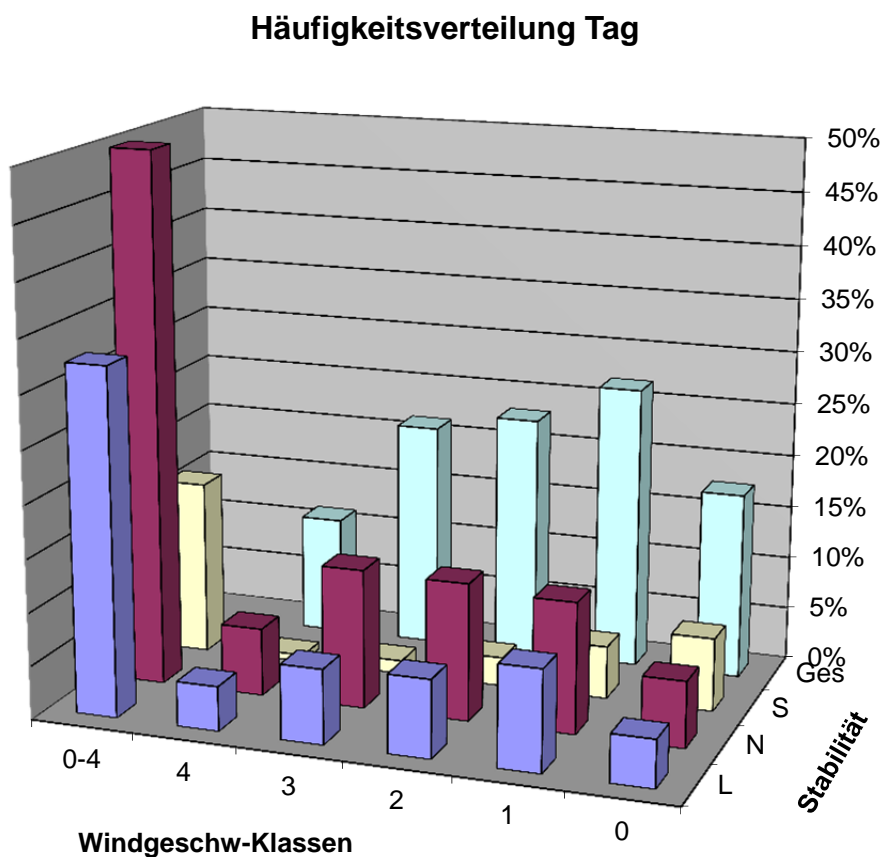


Abbildung 2: Häufigkeitsverteilung der 15 Meteoklassen am Tag am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759).

Tag	L	N	S	Ges
0	4.5%	6.2%	6.9%	17.6%
1	9.5%	12.3%	5.0%	26.8%
2	7.3%	12.9%	2.7%	23.0%
3	7.0%	13.1%	1.3%	21.4%
4	4.2%	6.4%	0.6%	11.2%
	32.5%	50.9%	16.5%	

Tabelle 2: Häufigkeitsverteilung der 15 Meteoklassen am Tag am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759).

5 Analyse der Windrosen

Für jeden Zeitabschnitt (Tag, Abend und Nacht) und für jede Meteoklasse wird eine Analyse der Windrichtung vorgenommen. Dazu werden die stündlichen Ereignisse auf ein Windrichtungsraster in 10°-Einteilung abgelegt. Tabelle 3 zeigt ein entsprechendes Beispiel, wobei die Auswertung der Klassen L3, N3 und S3 gemeinsam dargestellt sind. In der Spalte „Prozent“ ist die prozentuale Häufigkeit der entsprechenden Windrichtung aufgeführt, in der mit „ $\pm 30^\circ$ “ bezeichneten Spalte ist die summierte Häufigkeit um diese Windrichtung für einen Winkelbereich von $\pm 30^\circ$ aufgeführt. Abbildung 3 auf der nachfolgenden Seite zeigt die zugehörige Windrose für die Meteoklasse N3.

Richtung	Labil			Neutral			Stabil		
	Ereignisse	Prozent	+ - 30°	Ereignisse	Prozent	+ - 30°	Ereignisse	Prozent	+ - 30°
360	2	0.6%	3.9%	3	0.5%	9.8%	0	0.0%	7.3%
10	3	1.0%	10.4%	7	1.2%	15.4%	1	1.8%	12.7%
20	2	0.6%	20.1%	9	1.6%	21.5%	1	1.8%	21.8%
30	1	0.3%	28.6%	18	3.1%	24.4%	2	3.6%	25.5%
40	21	6.8%	31.8%	35	6.1%	25.7%	3	5.5%	27.3%
50	31	10.1%	32.1%	43	7.5%	24.8%	5	9.1%	25.5%
60	28	9.1%	31.8%	25	4.4%	24.1%	2	3.6%	23.6%
70	12	3.9%	32.1%	10	1.7%	21.5%	1	1.8%	20.0%
80	4	1.3%	25.6%	2	0.3%	15.7%	0	0.0%	16.4%
90	1	0.3%	16.6%	5	0.9%	8.4%	0	0.0%	7.3%
100	2	0.6%	8.4%	3	0.5%	4.7%	0	0.0%	3.6%
110	1	0.3%	4.9%	2	0.3%	3.3%	1	1.8%	1.8%
120	3	1.0%	3.6%	1	0.2%	3.1%	0	0.0%	3.6%
130	3	1.0%	3.2%	4	0.7%	3.0%	0	0.0%	5.5%
140	1	0.3%	3.2%	2	0.3%	3.3%	0	0.0%	7.3%
150	0	0.0%	2.9%	1	0.2%	5.1%	1	1.8%	5.5%
160	0	0.0%	2.9%	4	0.7%	7.7%	1	1.8%	12.7%
170	2	0.6%	2.3%	5	0.9%	11.3%	1	1.8%	12.7%
180	0	0.0%	2.6%	12	2.1%	15.5%	0	0.0%	23.6%
190	3	1.0%	4.2%	16	2.8%	21.8%	4	7.3%	32.7%
200	1	0.3%	6.8%	25	4.4%	29.0%	0	0.0%	40.0%
210	2	0.6%	11.4%	26	4.5%	36.6%	6	10.9%	47.3%
220	5	1.6%	17.5%	37	6.5%	42.8%	6	10.9%	56.4%
230	8	2.6%	27.6%	45	7.9%	48.3%	5	9.1%	52.7%
240	16	5.2%	38.6%	49	8.6%	48.2%	5	9.1%	56.4%
250	19	6.2%	47.1%	47	8.2%	46.8%	5	9.1%	45.5%
260	34	11.0%	52.9%	48	8.4%	43.3%	2	3.6%	36.4%
270	35	11.4%	52.9%	24	4.2%	36.3%	2	3.6%	27.3%
280	28	9.1%	48.7%	18	3.1%	28.3%	0	0.0%	18.2%
290	23	7.5%	43.2%	17	3.0%	20.6%	1	1.8%	9.1%
300	8	2.6%	32.5%	5	0.9%	12.7%	0	0.0%	5.5%
310	3	1.0%	21.4%	3	0.5%	9.9%	0	0.0%	1.8%
320	2	0.6%	13.0%	3	0.5%	8.2%	0	0.0%	1.8%
330	1	0.3%	6.2%	3	0.5%	5.8%	0	0.0%	0.0%
340	1	0.3%	4.5%	8	1.4%	6.1%	0	0.0%	1.8%
350	2	0.6%	4.2%	8	1.4%	7.2%	0	0.0%	3.6%
	308			573			55		

Tabelle 3: Analyse der Windrichtung für den Zeitraum Tag und Windgeschwindigkeiten von 3 – 5 m/s am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759).

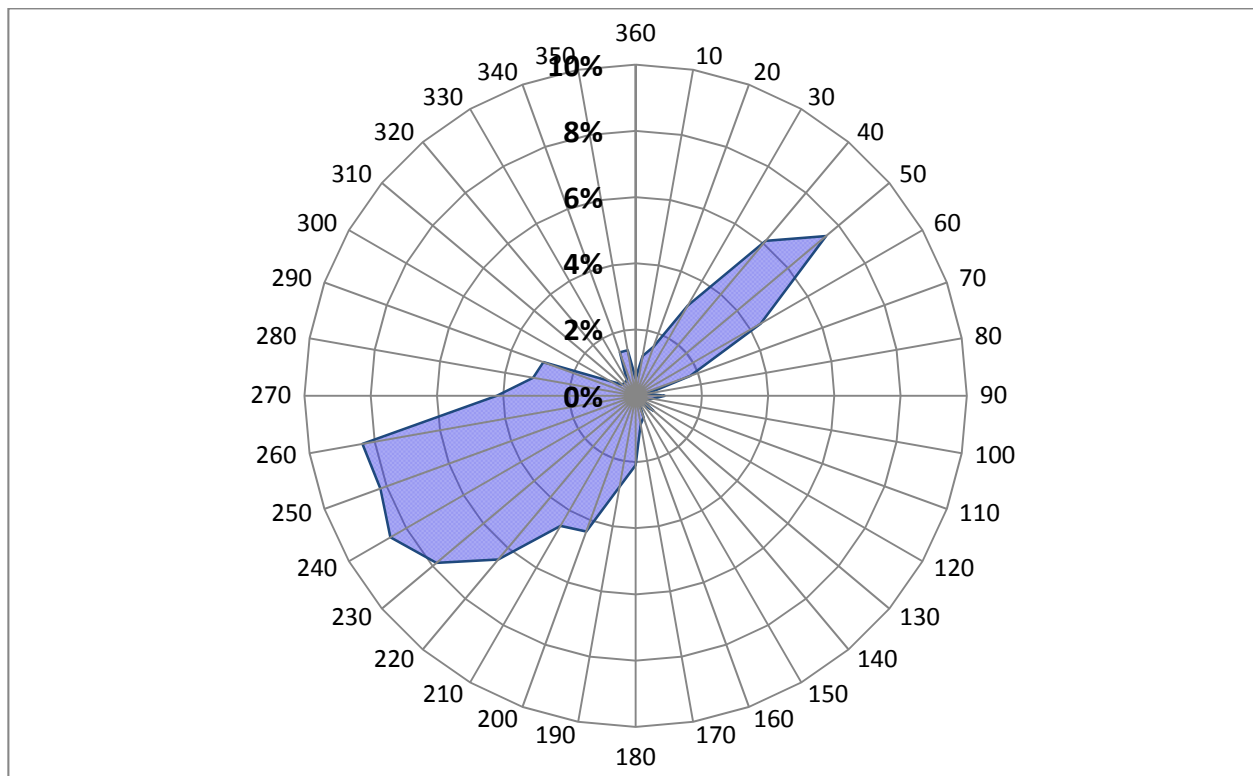


Abbildung 3: Analyse der Windrichtung für den Zeitraum Tag und Meteoklasse N3 am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759).

Anschliessend werden die drei Winkelbereiche von je $\pm 30^\circ$ bestimmt, welche zusammen eine grösstmögliche prozentuale Abdeckung ergeben, ohne sich zu überschneiden. Da damit lediglich die Hälfte des gesamten Winkelbereiches abgedeckt wird, resultiert eine summierte Häufigkeit, welche kleiner als 100% bleibt.

In einem weiteren Auswertungsschritt wird innerhalb der einzelnen Winkelbereiche von $\pm 30^\circ$ je die Hauptwindrichtung bestimmt. Es wird dazu ein über die Auftretenshäufigkeit gewichtetes Mittel der Windrichtungen gerechnet.

Die Häufigkeiten der drei Windrichtungen werden in einem letzten Schritt mit der Häufigkeit der Meteoklasse multipliziert. Dadurch resultiert die prozentuale Häufigkeit der entsprechenden Wettersituation. Tabelle 4 zeigt die entsprechenden Resultate für die in Tabelle 3 dargestellte Situation. Wie aus Abbildung 3 zu erkennen ist, liegt für die Klasse N3 eine Hauptwindrichtung im Bereich um 50° . Mit den anderen beiden Richtungen muss der breitere Bereich der Windrose um 240° abgedeckt werden. Aus der Analyse resultierenden repräsentative Windrichtungen von 44° , 211° und 259° , womit eine Abdeckung von 91% aller Fälle erreicht werden kann. Da die Klasse N3 während der Tageszeit eine Auftretenshäufigkeit von 12.9% aufweist, resultieren für die drei Windrichtungen absolute Häufigkeiten von 3.4, 3.8 und 4.7%.

3 - 5 m/s (+ - 30°)

Richtung	Labil	Neutral	Stabil	Total
1	54	44	43	47
2	236	211	177	211
3	276	259	234	263

Häufigkeit	Labil	Neutral	Stabil	Total
1	32%	26%	27%	28%
2	18%	29%	13%	22%
3	43%	36%	56%	41%

Rest 7% 9% 4% **9%**

Häufigkeit	Labil	Neutral	Stabil	Total
1	2.3%	3.4%	0.3%	5.9%
2	1.2%	3.8%	0.2%	4.8%
3	3.0%	4.7%	0.7%	8.8%

Tabelle 4: Hauptwindrichtungen und ihre Auftretenshäufigkeiten für den Zeitraum Tag und Windgeschwindigkeiten von 3 – 5 m/s am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759). Bei der mittleren Tabelle stellen sämtliche Situationen am Tag mit der entsprechenden Meteoklasse L3, N3 oder S3 100% dar. Im untersten Tabellenblock bezeichnet 100% den gesamten Tageszeitraum.

Für die Meteoklassen L0, N0 und S0 wird keine Windrichtung zugeordnet, da es sich um windstille Situationen handelt.

6 Resultat-Tabellen und ihre Benutzung

Das sonARMS-Berechnungsmodell benötigt als Eingangsparameter einen Verweis auf einen Datensatz mit Vertikalprofilen von Windgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte, eine Windrichtung, eine absolute Temperatur- und Feuchteangabe sowie eine Auftretenshäufigkeit der entsprechenden Situation während der Tages- und Abendzeit. Die vorgängig beschriebenen Resultate werden zu diesem Zweck in tabellarischer Form aufbereitet. Um die Anzahl Berechnungssituationen möglichst klein zu halten, wird zudem versucht, ähnliche Tages- und Abendsituationen zusammen zu führen. Dazu wird ein Vergleich der drei Windrichtungen des Tages mit den entsprechenden Richtungen des Abends vorgenommen. Weichen zwei Windrichtungen um weniger als 30° voneinander ab, so werden sie als Paare angesehen und zusammengeführt. Die Windrichtung der resultierenden Situation wird als Mittelwert der Windrichtungen des Tages und des Abends berechnet.

Tabelle 5 zeigt exemplarisch eine entsprechende Tabelle für den Rasterpunkt 18'636. In der sonARMS-Benutzeroberfläche wird eine analoge Tabelle dargestellt. Der Benutzer kann die Meteosituationen einzeln an- oder abwählen. Alternativ kann eine minimale Abdeckung vorgegeben werden und es wird dann eine Auswahl vorgeschlagen, welche die anvisierte prozentuale Abdeckung mit einer minimalen Anzahl Situationen ermöglicht. Wird gemäss Tabelle 5 beispielsweise eine minimale Abdeckung von 40 % anvisiert, so sind dazu 9 Einzelsituationen notwendig. In der Benutzerumgebung von sonARMS wird die Tabelle zusätzlich nach der Gesamthäufigkeit sortiert, wobei entsprechend der längeren Dauer der Tageszeit, der Tageshäufigkeit ein dreifaches Gewicht erhält.

Nr	Profilbez	Dir	Temp	rF	Tag	Abend
1	SP_S0	0	7.0 °C	81 %	6.9%	11.9%
2	SP_N0	0	8.1 °C	82 %	6.2%	2.5%
3	SP_N3	259	7.5 °C	81 %	4.7%	6.0%
4	SP_N3	211	7.5 °C	81 %	3.8%	5.4%
5	SP_N2	205	8.2 °C	83 %	3.6%	4.7%
6	SP_S1	206	7.8 °C	80 %	1.6%	4.7%
7	SP_L0	0	16.3 °C	65 %	4.5%	0.2%
8	SP_S2	230	7.7 °C	79 %	1.0%	4.0%
9	SP_S1	109	7.8 °C	80 %		3.9%
10	SP_N2	32	8.2 °C	83 %	3.6%	2.3%
11	SP_N2	263	8.2 °C	83 %	3.0%	3.4%
12	SP_N3	44	7.5 °C	81 %	3.4%	3.4%
13	SP_S1	61	7.8 °C	80 %	1.1%	3.3%
14	SP_N4	262	7.0 °C	79 %	3.0%	3.3%
15	SP_N1	221	8.1 °C	82 %	3.1%	
16	SP_L3	276	16.4 °C	57 %	3.0%	0.5%
17	SP_N1	291	8.1 °C	82 %	3.0%	
18	SP_N1	357	8.1 °C	82 %	2.8%	
19	SP_S2	39	7.7 °C	79 %	1.0%	2.7%
20	SP_L4	265	15.0 °C	53 %	2.7%	0.4%
21	SP_L1	250	17.5 °C	60 %	2.6%	
22	SP_N1	252	8.1 °C	82 %		2.5%
23	SP_L2	240	17.6 °C	58 %	2.4%	
24	SP_N1	185	8.1 °C	82 %		2.4%
25	SP_L3	54	16.4 °C	57 %	2.3%	0.8%

Tabelle 5: Resultierende Meteosituationen am Rasterpunkt 18'636 (686'216 / 251'759). Es sind die ersten 25 von gesamthaft 50 Einzelsituationen dargestellt. Die maximal resultierende Abdeckung am Tag beträgt 87% und am Abend 83%.

7 Datengruppierung

Für den Import in der sonARMS-Benutzeroberfläche wurden sämtliche Informationen in einer Shape-Datei mit der Bezeichnung „Meteogebiete“ abgelegt. Diese enthält zum einen die Meteogebiete in Form von geschlossenen Polygonen und zum anderen die acht folgenden DBF-Dateien:

- Haeuf-Tag: Auftretenshäufigkeit pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Tageszeit (39 Werte pro Rasterpunkt)
- Haeuf-Abend: Auftretenshäufigkeit pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Abendzeit (39 Werte pro Rasterpunkt)
- Haeuf-Nacht: Auftretenshäufigkeit pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Nachtzeit (39 Werte pro Rasterpunkt)
- WindDir-Tag: Windrichtung pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Tageszeit (39 Werte pro Rasterpunkt)¹
- WindDir-Abend: Windrichtung pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Abendzeit (39 Werte pro Rasterpunkt)¹
- WindDir-Nacht: Windrichtung pro Rasterpunkt, Meteoklasse und Windrichtung (a, b und c) während der Nachtzeit (39 Werte pro Rasterpunkt)¹
- Feuchte: Relative Luftfeuchtigkeit in 10 m Höhe pro Rasterpunkt und Meteoklasse
- Temperatur: Temperatur in 10 m Höhe pro Rasterpunkt und Meteoklasse

¹ In den Klassen L0, N0 und S0 wird die Windrichtung nicht gebraucht, der Wert ist auf 0 gesetzt.