

## **Wetterinterpretation für die Modelle ICON, ICON-EU, ICON-D2 und COSMO-D2**

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	4
Formelverzeichnis .....	5
1. Einleitende Bemerkungen .....	6
2. Diagnostizierte Wetterelemente.....	8
3. Definitionen .....	10
3.1. Konvektivindex .....	10
3.2. Höhenbestimmung der Drucklevel.....	10
3.3. Lightning Potential Index .....	11
4. Allgemein genutzte Kriterien.....	12
4.1. Kriterium für Minimum-Niederschlag .....	12
4.2. Kriterien für konvektiven Niederschlag (80 - 89).....	12
4.3. Kriterien für skaligen Niederschlag (50 - 79).....	13
4.4. Kriterien für flüssigen Niederschlag (50 - 69, 80, 81, 82).....	13
4.5. Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer (60 - 69, 80, 81, 82).....	14
4.6. Kriterien für gefrierenden Niederschlag (66, 67).....	14
4.7. Kriterien für Sprühregen oder Schneegriesel (50 - 59, 77).....	15
4.8. Zusatzkriterien für gefrierenden Sprühregen (56, 57).....	15
4.9. Kriterien für festen Niederschlag (70 - 79, 85, 86).....	16
5. Wetterinterpretation - Die Bestimmung der ww-Schlüssel .....	17
5.1. Gewitter.....	17
5.1.1. ICON und ICON-EU .....	17
5.1.2. ICON-D2 und COSMO-D2 .....	18
5.2. Schauer.....	20
5.2.1. Regenschauer.....	20
5.2.2. Schneeschauer .....	21
5.3. Regen .....	21
5.4. Schneefall .....	22
5.5. Sprühregen .....	23
5.6. Schneegriesel .....	24
5.7. Wetter ohne Niederschlag .....	24
5.7.1. Nebel .....	24
5.7.2. Kein signifikantes Wetter.....	26
6. Literatur.....	27
7. Anhang.....	28



---

7.1. Variablen und "Shortnames" .....	28
7.2. Verwendete Shortnames .....	30
Höhenlevelabhängige Modellvariablen .....	30
Höhenlevelunabhängige Modellvariablen .....	30

---

## *Abkürzungsverzeichnis*

KOI.....	<i>Konvektivindex</i>
LPI.....	<i>Lightning Potential Index</i>
NI .....	<i>Nebulae-Index</i>
NWV.....	<i>Numerische Wettervorhersage</i>
WI.....	<i>Wetterinterpretation</i>
WMO.....	<i>World Meteorological Organization</i>
ww.....	<i>gegenwärtiges Wetter</i>

## Formelverzeichnis

(3.1.1) – Definition des KO-Index .....	10
(4.1.1) – Kriterium für Minimum-Niederschlag .....	12
(4.2.1) – Kriterien für konvektiven Niederschlag (modellabhängig) .....	13
(4.3.1) – Kriterien für skaligen Niederschlag (modellabhängig) .....	13
(4.4.1) – Kriterien für flüssigen Niederschlag .....	13
(4.5.1) – Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer .....	14
(4.6.1) – Kriterien für gefrierenden Niederschlag .....	15
(4.7.1) – Kriterien für Sprühregen bzw. Schneegriesel .....	15
(4.8.1) – Zusatzkriterien für gefrierenden Sprühregen .....	16
(4.9.1) – Kriterien für festen Niederschlag .....	16
(5.1.1) – Kriterien für leichtes/ mäßiges Gewitter (95) (ICON, ICON-EU) .....	18
(5.1.2) – Zusatzkriterien für starkes Gewitter (96) (ICON, ICON-EU) .....	18
(5.1.3) – Kriterien für leichtes/ mäßiges Gewitter (95) (ICON-D2, COSMO-D2) .....	19
(5.1.4) – Kriterien für leichtes/ mäßiges Gewitter mit Graupel/ Hagel (96) (ICON-D2, COSMO-D2) .....	19
(5.1.5) – Kriterien für starkes Gewitter mit Graupel/ Hagel (99) (ICON-D2, COSMO-D2) .....	19
(5.2.1) – Kriterien Gesamtniederschlag für Regenschauer (80, 81, 82) .....	20
(5.2.2) – Kriterien Gesamtniederschlag für gefrierenden Regen (66, 67) .....	20
(5.2.3) – Kriterien Gesamtniederschlag für Schneeschauer (85, 86) .....	21
(5.3.1) – Kriterien Gesamtniederschlag für Regen (61, 63, 65) .....	22
(5.3.2) – Kriterien Gesamtniederschlag für gefrierenden Regen (66, 67) .....	22
(5.4.1) – Kriterien Gesamtniederschlag für Schneefall (71, 73, 75) .....	22
(5.5.1) – Kriterien Gesamtniederschlag für Sprühregen (51, 53, 55) .....	23
(5.5.2) – Kriterien Gesamtniederschlag für Schneegriesel (77) .....	23
(5.5.3) – Kriterien Gesamtniederschlag für gefrierenden Sprühregen (56, 57) .....	23
(5.6.1) – Kriterien Gesamtniederschlag für Schneegriesel (77) .....	24
(5.7.1) – Kriterium für Wetter ohne Niederschlag .....	24
(5.7.2) – Nebulae-Index .....	25
(5.7.3) – Kriterien für Nebel (45) .....	25
(5.7.4) – Kriterien für Nebel mit Reifbildung (48) .....	25
(5.7.5) – Kriterien für Gesamtbedeckungsgrad (0, 1, 2, 3) .....	26



## 1. Einleitende Bemerkungen

Im Referat „Verifikation und Vorhersagbarkeit“ des Deutschen Wetterdienstes wurde ab Mitte der 90er Jahre durch Herrn Volker Renner und mit fachlicher Unterstützung durch Matthias Jaeneke (damals BTZ Langen) eine Wetterinterpretation (WI) entwickelt. Die WI baute auf den seinerzeit vorhandenen Ansätzen auf und benutzte als Entwicklungsrahmen die damaligen Routinemodelle „EM“ und „DM“. Nach kurzem operationellen Einsatz in diesen Modellen wurde die WI zunächst weitgehend unverändert auf die folgenden Modelle „GME“ und „LM“ übertragen, wobei wegen der globalen Anwendung im „GME“ bereits Breitengrad-abhängige Schwellwerte für den konvektiven Niederschlag eingeführt wurden. Die WI wurde seitdem in „GME“ und „COSMO-EU“ (vor 2007 als „LME“ bzw. „LM“ bezeichnet) operationell benutzt und nebenbei weiterentwickelt. Letzteres geschah vor allem im Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Modelle selbst.

Für das „COSMO-DE“ (vor 2007 als „LMK“ bezeichnet) wurde die WI des „COSMO-EU“ weitgehend übernommen. Einige Änderungen waren notwendig aufgrund einiger nicht verfügbarer Größen wegen der fehlenden Parametrisierung für hochreichende Konvektion in der Schauer- und Gewitterinterpretation notwendig.

Mit dem Ersatz des globalen „GME“ durch „ICON“ im Februar 2015 wurde die WI des „COSMO-EU“ weitgehend unverändert übernommen. Lediglich die Schauerbedingungen mussten aufgrund des neuen Konvektionsschemas geringfügig angepasst werden. Das in „ICON“ genestete „ICON-EU“, welches zum 1. Dezember 2016 das „COSMO-EU“ ablöste, verwendet die gleiche WI, wie das globale „ICON“.

2017 wurden die geänderten Schwellwerte der WMO für die Unterscheidung von leichtem, mäßigem und starkem Niederschlag in die WI übernommen. Weitere Änderungen betrafen die bisher für leichten Niederschlag verwendeten Schlüsselzahlen, die Verwendung der WMO-Klassifikation für Sprühregen und gefrierenden Sprühregen, die Einführung von Schneegriesel und die Nebelinterpretation.

2018 wurde die WI des „COSMO-DE“ unverändert für das „COSMO-D2“ übernommen, welches auf einem feineren Gitter operierte.

2019 wurde im COSMO-D2 die Gewitterinterpretation auf Basis des im Modell berechneten „Lightning Potential Index“ (LPI) nach Lynn und Yair (2010) und Yair et al. (2010) eingeführt.

2021 wurde die WI des „COSMO-D2“ weitgehend unverändert für das „ICON-D2“ übernommen. Anpassungen betrafen lediglich die Einbeziehung der Umgebung bei einigen Modellvariablen aufgrund des unstrukturierten Originalgitters des „ICON-D2“.

Aktuell besteht die Modellkette der numerischen Wettervorhersage (NWV) aus dem globalen „ICON“, dem genesteten „ICON-EU“ und dem lokalen „ICON-D2“ für Deutschland und Umgebung. Eine Modellbeschreibung ist auf den Internetseiten des DWD zu finden unter:

[https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/icon/icon\\_dbbe\\_schr\\_aktuell.html](https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/icon/icon_dbbe_schr_aktuell.html)

Mitteilungen über Erfahrungen mit den Interpretationsergebnissen und Vorschläge für Verbesserungen richten Sie bitte zuständigkeitshalber an:

Deutscher Wetterdienst

Referat Beobachtungsmodellierung und Verifikation



Frankfurter Straße 135

D-63067 Offenbach am Main

E-Mail: [michael.hoff@dwd.de](mailto:michael.hoff@dwd.de) , [christoph.gebhardt@dwd.de](mailto:christoph.gebhardt@dwd.de)

## 2. Diagnostizierte Wetterelemente

Aus den Vorhersageergebnissen in den Modelldatenbanken wird im Abstand von einer Stunde an jedem Modellgitterpunkt das vorhergesagte Wetter diagnostiziert und durch eine Schlüsselziffer ausgedrückt. Diese soll inhaltlich das Wetter der vorangegangenen Stunde bis einschließlich zum aktuellen Termin wiedergeben. Sie wird in einem verkürzten sogenannten ww-Schlüssel ausgedrückt-

Aus den verfügbaren Modellvariablen ermittelbare Schlüsselziffern und ihre Bedeutung sind folgende:

ww = 45	Nebel
ww = 48	Nebel mit Reifbildung
ww = 51	leichter Sprühregen
ww = 53	mäßiger Sprühregen
ww = 55	starker Sprühregen
ww = 56	leichter gefrierender Sprühregen
ww = 57	mäßiger oder starker gefrierender Sprühregen
ww = 61	leichter Regen
ww = 63	mäßiger Regen
ww = 65	starker Regen
ww = 66	leichter gefrierender Regen
ww = 67	mäßiger oder starker gefrierender Regen
ww = 71	leichter Schneefall
ww = 73	mäßiger Schneefall
ww = 75	starker Schneefall
ww = 77	Schneegriesel
ww = 80	leichter Regenschauer
ww = 81	mäßiger oder starker Regenschauer
ww = 82	sehr starker Regenschauer
ww = 85	leichter Schneeschauer
ww = 86	mäßiger oder starker Schneeschauer
ww = 95	leichtes oder mäßiges Gewitter ohne Graupel oder Hagel
ww = 96	starkes Gewitter ohne Graupel oder Hagel bzw. Gewitter mit Graupel oder Hagel (leicht oder mäßig, nur bei ICON-D2 und COSMO-D2)
ww = 99	starkes Gewitter mit Graupel oder Hagel (nur bei ICON-D2 und COSMO-D2)





Falls keiner der o.g. ww-Schlüssel eintritt, wird das Wetter als nicht signifikant eingestuft. An Gitterpunkten ohne signifikantes Wetter wird der Gesamtbedeckungsgrad,  $c_{\text{total}}$ , verschlüsselt (siehe Kapitel 5.7.2).

ww = 00	wolkenlos
ww = 01	leicht bewölkt
ww = 02	wolkig
ww = 03	stark bewölkt bis bedeckt

## 3. Definitionen

### 3.1. Konvektivindex

Der Konvektivindex, kurz auch *KO-Index* genannt, ist eine wichtige meteorologische Größe, die die Stabilität der atmosphärischen Luftschichtung beschreibt.

Mit Hilfe des KO-Index kann die Entwicklung hochreichender Konvektion vorhergesagt werden, die häufig von Gewittern begleitet sind. Der KO-Index ist ein Maß für die vertikale Änderung der äquivalentpotentiellen Temperatur. Vereinfacht ausgedrückt nimmt der KO-Index negative Werte an, wenn trockene kalte Luft über feuchter warmer liegt und umgekehrt größere Werte, wenn feucht-warme Luft über trocken-kalter liegt.

Ist der Index nieder und kommt es zusätzlich noch zu großräumigen atmosphärischen Hebungen (das erzwungene Aufsteigen von Luftmassen), so wird die ursprünglich stabile thermische Schichtung in einen labilen Zustand überführt. Auslöser einer solchen großräumigen Hebung kann zum Beispiel eine Kaltfront sein.

Wird nun eine Luftmasse mit oben trocken-kalter und unten feucht-warmer Luft angehoben, so kühlt sie zunächst trockenadiabatisch ab, bis in der feuchten Luftschicht der Taupunkt erreicht wird und die Luftfeuchtigkeit zu kondensieren beginnt. Beim weiteren Heben der feuchten Luftmasse kühlt diese nun feuchtadiabatisch, d.h. langsamer ab. Der zunehmende Temperaturunterschied zwischen den beiden Luftmassen führt zu einer rasch steigenden Labilisierung der Luftschichtung und schafft damit die Voraussetzung für starke vertikale Luftbewegungen<sup>[1]</sup> und damit für Schauer und Gewitter.

(Zitat aus [de.wikipedia.org/wiki/Konvektiv-Index](https://de.wikipedia.org/wiki/Konvektiv-Index))

Der KO-Index (KOI) ist wie folgt definiert:

$$KOI = \frac{1}{2}(\theta_{\text{a}}(500 \text{ hPa}) + \theta_{\text{a}}(700 \text{ hPa}) - \theta_{\text{a}}(850 \text{ hPa}) - \theta_{\text{a}}(950 \text{ hPa})). \quad (3.1.1)$$

### 3.2. Höhenbestimmung der Drucklevel

Die meisten höhenabhängigen Berechnungen für entsprechende ww-Schlüssel verlangen die Verwendung eines bestimmten Drucklevels (500 hPa, 700 hPa, etc. Druckfläche). Da diese in den Modellvariablen aufgrund der Diskretisierung der Höhenlevel jedoch nicht explizit verfügbar sind, wird der Index jener Modellschicht ermittelt, der der entsprechenden Druckfläche am nächsten liegt. Zum Beispiel wird der Modellschichtindex  $k_{500\text{hPa}}$  wie folgt ermittelt. Zuerst werden die Koordinaten des Minimums der gesamten Modelltopografie ermittelt. Im Idealfall liegt dieses an einem Meeresgitterpunkt und beträgt die Höhe  $h_{\text{topo}} = 0 \text{ m}$ , wobei dieser Wert von der entsprechenden Modelldomäne abhängig ist. Die Referenzhöhe des 500 hPa Druckniveaus wird folgendermaßen abgeleitet:  $h_{500\text{hPa}} = h_{\text{int},500\text{hPa}} - h_{\text{int},1000\text{hPa}} = 5463.56 \text{ m}$ , wobei  $h$  die entsprechende Höhe repräsentiert und das Subskript „int“ für die Berechnung der Höhe mit Hilfe der internationalen Höhenformel der US Standardatmosphäre steht. Anschließend wird der Index der Modellfläche bestimmt, deren Höhe oberhalb von  $h_{500\text{hPa}}$  liegt und als  $k_{500\text{hPa}}$  bezeichnet. Anschließend werden nun im gesamten Modellgebiet



alle Flächen ausgewertet, die unterhalb dieser Modellfläche liegen ( $k_{500\text{hPa}} < k < k_e$ ), wobei  $k_e$  die Anzahl der Modellschichten und gleichzeitig die unterste Schicht darstellt. Hierbei kann es in gebirgigen Regionen vorkommen, dass die Modellflächen sehr stark gestaucht sind, da sie geländefolgend sind.

Im Folgenden werden alle benötigten Modellschichtindizes auf dieselbe Weise ermittelt.

### *3.3. Lightning Potential Index*

Der Lightning Potential Index (LPI; J/kg) ist eine Ausgabegröße von COSMO-D2 und ICON-D2. Die Berechnung des LPI erfolgt nach Lynn and Yair (2010) und Yair et al. (2010) mit zwei zusätzlichen räumlichen Filtern zur Eliminierung von Fehlsignalen. Der LPI beruht auf der expliziten Simulation des „Riming“-Prozesses in konvektiven Aufwinden und benötigt daher Graupel in der Wolkenphysikparametrisierung und eine entsprechend kleine, konvektionserlaubende Maschenweite des entsprechenden NWV-Modells.

## 4. Allgemein genutzte Kriterien

Im folgenden Abschnitt werden Kriterien beschrieben, die in der Regel mehrfach bei entsprechenden Kategorisierungen der ww-Schlüssel genutzt werden.

Bei der folgenden Darstellung ist generell zu bedenken, dass beim Umgang mit reellen Zahlen in Rechnergenauigkeit Bedingungen mit „ $\leq$ “ und „ $<$ “ bzw. „ $\geq$ “ und „ $>$ “ im Allgemeinen praktisch gleichwertig sind, da das genaue Treffen eines Grenzwertes (z.B. einer Temperatur von genau 5 °C) unwahrscheinlich ist.

### 4.1. Kriterium für Minimum-Niederschlag

Die meisten der in Kapitel 2 aufgelisteten ww-Schlüssel sind Wetterelemente mit Niederschlag. Dies betrifft alle  $ww \geq 50$  (Niesel, Regen, Schnee, Schauer, Gewitter). Für diese Fälle wurde festgelegt, dass der Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , folgendes Kriterium erfüllen muss:

$$R_{\text{total}} \geq 0.015 \text{ mm/h.} \quad (4.1.1)$$

Ist das Kriterium (4.1.1) erfüllt, spricht man in der Regel von Wetter mit Niederschlag. Ist dieses Kriterium nicht erfüllt, gilt Wetter ohne Niederschlag und es findet eine Überprüfung auf Nebel statt (siehe Kapitel 5.7.1). Ist ferner keine der Nebelbedingungen erfüllt, wird der Gesamtbedeckungsgrad verschlüsselt (siehe Kapitel 5.7.2).

### 4.2. Kriterien für konvektiven Niederschlag (80 - 89)

Es wird beurteilt, ob der konvektive Niederschlagsanteil im Modell überwiegt. Hierbei wird zwischen den klein- und großskaligen Modellen unterschieden. Im Falle des ICON und ICON-EU wird der konvektive Anteil des Niederschlags,  $R_{\text{konvektiv}}$ , mit dem skaligen Anteil des Niederschlags,  $R_{\text{skalig}}$ , verglichen. Im COSMO-D2 stand  $R_{\text{konvektiv}}$  noch nicht zur Verfügung. Daher wird in diesem Falle der Konvektivindex, KOI, und die mittelhohe Bewölkung,  $c_m$ , verwendet. Da Schauer in der Realität sehr lokale Phänomene sind und diese im Modell selten ortsgenau dargestellt werden können, wird  $c_m$  zuvor über eine festgelegte Umgebung gemittelt. Für das COSMO-D2 ist diese Umgebung durch einen Bereich von  $5 \times 5$  Gitterpunkten um den jeweils aktuellen Gitterpunkt definiert. Die auf diese Art und Weise gemittelte mittelhohe Bewölkung wird als  $c_{m,s}$  bezeichnet, wobei der Index „s“ für „smoothed“, zu Deutsch „geglättet“, steht. Anschließend wird das Minimum von  $c_{m,s}$  über dieselbe Umgebung ermittelt. Dieses Vorgehen soll den Charakter von Schauern einfangen, bei dem auf geringer räumlicher Skala wechselnde Auf- und Absinkbewegungen, und somit wolkiger und wolkenloser Himmel, einhergehen. Für das ICON-D2 wurde die Methodik der Schauerklassifikation des COSMO-D2 fast unverändert übernommen, wobei die Umgebung in diesem Falle aufgrund der Dreiecksgitterstruktur sechs Gitterpunktringe beträgt. Es sei an



dieser Stelle erwähnt, dass ICON-D2 zwar über den Parameter  $R_{\text{konvektiv}}$  verfügt, dieser jedoch aufgrund der feineren Maschenweite des Gitters keine verlässlichen Ergebnisse liefert. Zusammengefasst ergeben sich folgende grundlegende Schauerbedingungen:

$$\begin{array}{llll} R_{\text{konvektiv}} & > & R_{\text{skalig}} & \text{für ICON und ICON-EU,} \\ \text{KOI} & < & 6 & \text{für COSMO-D2 und ICON-D2,} \\ \min(c_{\text{m,s}})_{5 \times 5} & < & 99.99 \% & \text{für COSMO-D2,} \\ \min(c_{\text{m,s}})_{6\text{GP Ringe}} & < & 85.00 \% & \text{für ICON-D2,} \end{array} \quad (4.2.1)$$

wobei  $R_{\text{konvektiv}}$  der konvektive Niederschlagsanteil,  $R_{\text{skalig}}$  der skalige Niederschlagsanteil, KOI der Konvektiv-Index und  $c_{\text{m,s}}$  die geglättete mittelhohe Bewölkung in der entsprechenden modellabhängigen Umgebung ist.

### 4.3. Kriterien für skaligen Niederschlag (50 - 79)

Es wird beurteilt, ob der skalige Niederschlagsanteil,  $R_{\text{skalig}}$ , im Modell überwiegt. Hierbei wird, wie schon in Abschnitt 4.2, zwischen den klein- und großskaligen Modellen unterschieden. Prinzipiell tritt skaliger Niederschlag genau dann auf, wenn die Kriterien für konvektiven Niederschlag (4.2.1) nicht erfüllt sind. Daher gelten folgende Kriterien für skaligen Niederschlag:

$$\begin{array}{llll} R_{\text{skalig}} & > & R_{\text{konvektiv}} & \text{für ICON und ICON-EU,} \\ \text{KOI} & \geq & 6 & \text{für COSMO-D2 und ICON-D2,} \\ \min(c_{\text{m,s}})_{5 \times 5} & \geq & 99.99 \% & \text{für COSMO-D2,} \\ \min(c_{\text{m,s}})_{6\text{GP Ringe}} & \geq & 85.00 \% & \text{für ICON-D2,} \end{array} \quad (4.3.1)$$

wobei  $R_{\text{konvektiv}}$  der konvektive Niederschlagsanteil,  $R_{\text{skalig}}$  der skalige Niederschlagsanteil, KOI der Konvektivindex und  $c_{\text{m,s}}$  die geglättete mittelhohe Bewölkung in der entsprechenden modellabhängigen Umgebung ist.

### 4.4. Kriterien für flüssigen Niederschlag (50 - 69, 80, 81, 82)

Es wird anhand des Modell-Outputs beurteilt, ob der entsprechende Niederschlag in flüssiger Form vorliegt. Hierfür gelten folgende Bedingungen für flüssigen Niederschlag:

$$\begin{array}{llll} R_{\text{flüssig}} & > & R_{\text{fest}} & \text{oder } T_{2\text{m}} > 5^\circ\text{C} \\ T_{2\text{m}} & \geq & -10^\circ\text{C} & \end{array} \quad (4.4.1)$$



wobei  $R_{\text{flüssig}}$  der flüssige Niederschlagsanteil,  $R_{\text{fest}}$  der feste Niederschlagsanteil und  $T_{2\text{m}}$  die Temperatur 2 m über Grund ist.

#### 4.5. Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer (60 - 69, 80, 81, 82)

Es werden Zusatzkriterien für flüssigen Niederschlag verwendet. Sind diese nicht erfüllt, so wird auch dann Schnee diagnostiziert, wenn im Modell-Output der flüssige Niederschlagsanteil,  $R_{\text{flüssig}}$ , größer als der feste Niederschlagsanteil,  $R_{\text{fest}}$ , ist. Die Zusatzkriterien werden generell im Zusammenhang mit der Diagnose von gefrierendem Niederschlag (4.6.1) verwendet. Bei Regen und Regenschauer (jedoch nicht Sprühregen) erfolgt darüber hinaus ggf. eine Phasenumkehr auch bei leicht positiven Werten der Temperatur 2 m über Grund,  $T_{2\text{m}}$ . Die Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer sind wie folgt definiert:

$$T_{2\text{m}} > 0.5^{\circ}\text{C} \text{ und } T_{\text{Erdoberfläche}} > -0.1^{\circ}\text{C} \text{ oder} \\ \sum_{k=k_{500\text{hPa}}}^{k_e} T(k)\Delta p(k) > 100 [^{\circ}\text{C hPa}] \text{ für alle } T(k) > 0 \quad (4.5.1)$$

wobei der Index  $k$  die Höhenlevel des Modells,  $T(k)$  die höhenlevelabhängige Temperatur,  $\Delta p(k) = p(k+1) - p(k)$  die Druckdifferenz zur jeweils niedrigeren Schicht und  $k_e$  die Anzahl der Modellschichten und gleichzeitig die unterste Modellschicht darstellt. Der Index  $k_{500\text{hPa}}$  repräsentiert diejenige Modellschicht, die am nächsten am 500 hPa Höhenlevel liegt. Der Index  $k_{500\text{hPa}}$  wird wie folgt ermittelt. Zuerst werden die Koordinaten des Minimums der gesamten Modelltopografie ermittelt. Im Idealfall liegt dieses an einem Meeresgitterpunkt und beträgt die Höhe  $h_{\text{topo}} = 0$  m, wobei dieser Wert von der entsprechenden Modelldomäne abhängig ist. Die Referenzhöhe des 500 hPa Druckniveaus wird folgendermaßen abgeleitet:  $h_{500\text{hPa}} = h_{\text{int},500\text{hPa}} - h_{\text{int},1000\text{hPa}} = 5463.56$  m, wobei das Subskript „int“ für die Berechnung der Höhe mit Hilfe der internationalen Höhenformel der US Standardatmosphäre steht. Anschließend wird der Index der Modellfläche bestimmt, deren Höhe oberhalb von  $h_{500\text{hPa}}$  liegt und als  $k_{500\text{hPa}}$  bezeichnet. Anschließend werden nun im gesamten Modellgebiet alle Flächen ausgewertet, die unterhalb dieser Modellfläche liegen ( $k_{500\text{hPa}} < k < k_e$ ). Hierbei kann es in gebirgigen Regionen vorkommen, dass die Modellflächen sehr stark gestaucht sind, da sie geländefolgend sind.

Für die Bedingung (4.5.1) bedeutet dies mit anderen Worten, dass nur positive Werte des Produktes  $T(k)\Delta p(k)$  in den untersten 500 hPa der Atmosphäre im Modell in der Summe berücksichtigt werden.

#### 4.6. Kriterien für gefrierenden Niederschlag (66, 67)

Sind entsprechende Bedingungen für flüssigen Niederschlag (4.4.1) und Regen bzw. Regenschauer (4.5.1) erfüllt, wird anhand folgender Kriterien geprüft, ob gefrierender Niederschlag vorliegt:



$$T_{2m} < -0.1\text{ °C} \text{ oder } T_{\text{Erdoberfläche}} < -0.1\text{ °C}, \quad (4.6.1)$$

wobei  $T_{2m}$  die Temperatur 2 m über Grund und  $T_{\text{Erdoberfläche}}$  die Erdoberflächentemperatur ist.

#### 4.7. Kriterien für Sprühregen oder Schneegriesel (50 - 59, 77)

Für die Klassifikation von Sprühregen und Schneegriesel gelten spezielle Bedingungen, da dies Phänomene sind, die speziell in der untersten Schicht der Atmosphäre auftreten. Folgende Voraussetzungen werden für Sprühregen und Schneegriesel festgelegt:

$$c_{m,s} < 95\% \text{ und } q_c(k) > 0 \text{ für mindestens ein } k \text{ mit } k_{950\text{hPa}} < k < k_e, \quad (4.7.1)$$

wobei  $c_{m,s}$  die geglättete mittlere Bewölkung ist und  $q_c$  der flüssige Wolkenwassergehalt. Der Index  $k$  steht für die verschiedenen Modellschichten, wobei  $k_e$  die Anzahl der Schichten und gleichzeitig die unterste Modellschicht darstellt und  $k_{950\text{hPa}}$  den Index der Modellschicht, die am nächsten am 950hPa Höhenlevel liegt. Der Index  $k_{950\text{hPa}}$  wird wie folgt ermittelt. Zuerst werden die Koordinaten des Minimums der gesamten Modelltopografie ermittelt. Im Idealfall liegt dieses an einem Meeresgitterpunkt und beträgt die Höhe  $h_{\text{topo}} = 0\text{ m}$ , wobei dieser Wert von der entsprechenden Modelldomäne abhängig ist. Die Referenzhöhe des 950 hPa Druckniveaus wird folgendermaßen abgeleitet:  $h_{950\text{hPa}} = h_{\text{int},950\text{hPa}} - h_{\text{int},1000\text{hPa}} = 429.46\text{ m}$ , wobei das Subskript „int“ für die Berechnung der Höhe mit Hilfe der internationalen Höhenformel der US Standardatmosphäre steht. Anschließend wird der Index der Modellfläche bestimmt, deren Höhe oberhalb von  $h_{950\text{hPa}}$  liegt und als  $k_{950\text{hPa}}$  bezeichnet. Nun werden im gesamten Modellgebiet alle Flächen ausgewertet, die unterhalb dieser Modellfläche liegen ( $k_{950\text{hPa}} < k < k_e$ ). Hierbei kann es in gebirgigen Regionen vorkommen, dass die Modellflächen sehr stark gestaucht sind, da sie geländefolgend sind.

Für die Bedingung (4.7.1) bedeutet dies mit anderen Worten, dass der flüssige Wolkenwassergehalt,  $q_c$ , in den untersten 50hPa der Atmosphäre im Modell mindestens einmal einen Wert größer als Null annehmen muss, damit Sprühregen auftreten kann.

#### 4.8. Zusatzkriterien für gefrierenden Sprühregen (56, 57)

Um herauszufinden, ob gefrierender Sprühregen vorliegt, gelten zusätzliche Bedingungen, die sich hauptsächlich auf die untere Grenzschicht der Atmosphäre beziehen.

Sei  $k_{u,c}$  der Index der untersten Modellschicht mit einem Wolkenwassergehalt  $q_c(k) > 0$  (untere Grenze tiefer Wolken), so wird gefordert:







## 5. Wetterinterpretation - Die Bestimmung der ww-Schlüssel

Die Wetterinterpretation erfolgt mit Hilfe der in den Vorhersagedatenbanken vorhandenen Elementen. Eine grundlegende Schwierigkeit besteht darin, dass die Niederschlagskomponenten Summen über ein dem jeweiligen Termin vorangehendes einstündiges Zeitintervall darstellen. Im Gegenzug dazu liegen die meisten anderen Größen jedoch nur als Augenblickswerte zum Termin vor. Dies bedingt einerseits einige Besonderheiten der Wetterinterpretation, um Inkonsistenzen oder Fehlinterpretationen zu vermeiden. Andererseits beeinträchtigt dies auch die mögliche Qualität der Wetterinterpretation. Als Beispiel sei hier Nebel erwähnt, der nur im vorangehenden Zeitintervall auftritt, jedoch nicht mehr zum aktuellen Termin, was auch bei exakter Modellvorhersage nicht erfassbar ist.

Bei der folgenden Darstellung ist generell zu bedenken, dass beim Umgang mit reellen Zahlen in Rechnergenauigkeit Bedingungen mit „ $\leq$ “ und „ $<$ “ bzw. „ $\geq$ “ und „ $>$ “ im Allgemeinen praktisch gleichwertig sind, da das genaue Treffen eines Grenzwertes (z.B. einer Temperatur von genau 5 °C) unwahrscheinlich ist.

In den folgenden Kapiteln wird jeweils die Berechnung der entsprechenden ww-Schlüssel erläutert. Hierbei wird von den in Kapitel 3 erläuterten allgemeinen Kriterien und Zusatzkriterien an entsprechender Stelle Gebrauch gemacht. Bei einigen Kriterien ist es notwendig, Unterscheidungen in Abhängigkeit des jeweiligen Modells vorzunehmen. In den meisten Fällen ist der Grund hierfür fehlender Modell-Output bzw. ein Niederschlags-Bias, der mit der ww-Nachbearbeitung ausgeglichen werden muss.

### 5.1. Gewitter

Im ww-Schlüssel sind Gewitter generell mit Zahlen zwischen 90 und 99 verschlüsselt.

Generell gilt bei Gewitter Wetter mit Niederschlag. Dementsprechend muss das Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1) erfüllt sein. Diese Voraussetzung gilt modellunabhängig. Im weiteren Verlauf wird jedoch zwischen den aktuell im DWD genutzten, oder kürzlich genutzten, Modellen unterschieden.

#### 5.1.1. ICON und ICON-EU

##### *Leichtes oder mäßiges Gewitter (ww = 95)*

Ein leichtes oder mäßiges Gewitter (ww = 95) tritt ein, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:



$$\begin{aligned} \text{KOI} &< 1, \\ p_{\text{basis}} - p_{\text{top}} &> 400 \text{ hPa}, \\ T_{\text{top}} &< -25 \text{ }^{\circ}\text{C}, \\ R_{\text{konvektiv}} &> 0.75 \text{ mm/h}, \end{aligned} \tag{5.1.1}$$

wobei KOI der Konvektivindex,  $p_{\text{basis}}$  und  $p_{\text{top}}$  der Druck an der Konvektionswolkenuntergrenze bzw. -obergrenze,  $T_{\text{top}}$  die Temperatur an der Konvektionswolkenobergrenze und  $R_{\text{konvektiv}}$  der konvektive Niederschlagsanteil ist.

#### *Starkes Gewitter oder Gewitter mit Graupel bzw. Hagel (ww = 96)*

Ein starkes Gewitter oder Gewitter mit Graupel bzw. Hagel (ww = 96) tritt ein, wenn zusätzlich zu den Bedingungen (5.1.1) folgende Bedingungen gelten:

$$\begin{aligned} \text{KOI} &< -6, \\ T_{\text{top}} &< -45 \text{ }^{\circ}\text{C}, \\ R_{\text{konvektiv}} &> 2.0 \text{ mm/h}, \end{aligned} \tag{5.1.2}$$

wobei wiederum KOI der Konvektiv-Index,  $T_{\text{top}}$  die Temperatur an der Konvektionswolkenobergrenze und  $R_{\text{konvektiv}}$  der konvektive Niederschlagsanteil ist.

#### *5.1.2. ICON-D2 und COSMO-D2*

Für ICON-D2 und COSMO-D2 erfolgt aufgrund der feineren Maschenweite des zugrunde liegenden Gitters und anderer zur Verfügung stehender Modellvariablen eine gesonderte Behandlung der Gewitterinterpretation.

Zur grundsätzlichen Klassifizierung eines Gewitters im ww-Schlüssel wird das stündliche Maximum des „Lightning Potential Index“ ( $\text{LPI}_{\text{max}}$ ) genutzt. Zusätzlich wird  $\text{LPI}_{\text{max}}$  über eine Umgebung gemittelt, um etwaige Fluktuationen auszugleichen. Im Falle des ICON-D2 wird  $\text{LPI}_{\text{max}}$  über alle Gitterpunkte in einem Umgebungsradius von 3000 m gemittelt. Im Falle des COSMO-D2 geschieht die Mittelung in einem Bereich von  $3 \times 3$  Gitterpunkten um den jeweiligen Gitterpunkt herum, wobei der Abstand zweier Gitterpunkte 2.2 km beträgt. Der auf diese Art und Weise geglättete  $\text{LPI}_{\text{max}}$  wird als  $\text{LPI}_{\text{max,s}}$  bezeichnet, wobei der Index „s“ für „smoothed“, zu deutsch „geglättet“, steht.

Gewitter sind außerdem Phänomene, die eine starke Jahreszeitabhängigkeit besitzen. Da aus diesem Grund auch der  $\text{LPI}_{\text{max,s}}$  eine starke Jahreszeitabhängigkeit besitzt, ist es notwendig, die Klassifizierung der Gewitter monatsabhängig vorzunehmen. Zusätzlich zum  $\text{LPI}_{\text{max,s}}$  wird auch der Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , in diesem speziellen Fall monatsabhängig betrachtet, da z. B. Sommergewitter auch ohne messbaren Niederschlag auftreten können.



### Leichtes oder mäßiges Gewitter ( $ww = 95$ )

Durch empirische Optimierung der Verifikationsergebnisse unter Berücksichtigung der o.g. Fakten sind folgende Kriterien für ein leichtes oder mäßiges Gewitter ( $ww = 95$ ) festgelegt worden:

$$\begin{aligned} \text{LPI}_{\max,s} &> 0.001 \text{ J/kg und } R_{\text{total}} \geq 0.0 \text{ mm/h} && \text{für Mai bis August,} \\ \text{LPI}_{\max,s} &> 0.200 \text{ J/kg und } R_{\text{total}} \geq 1.2 \text{ mm/h} && \text{für März, April, September,} \\ \text{LPI}_{\max,s} &> 0.500 \text{ J/kg und } R_{\text{total}} \geq 3.0 \text{ mm/h} && \text{für Oktober bis Februar,} \end{aligned} \quad (5.1.3)$$

mit  $\text{LPI}_{\max,s}$  als räumlich gemittelter „Lightning Potential Index“ und  $R_{\text{total}}$  als Gesamtniederschlag.

### Leichtes oder mäßiges Gewitter mit Graupel bzw. Hagel ( $ww = 96$ )

Ein leichtes oder mäßiges Gewitter mit Graupel bzw. Hagel ( $ww = 96$ ) tritt ein, wenn zusätzlich zu den Bedingungen (5.1.3) mindestens **eine** der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &> 10 \text{ mm/h oder} \\ v_{\max,10\text{m}} &> 18 \text{ m/s oder} \\ q_{\text{graupel,max}} &> 0.001 \text{ kg/kg (stellvertretend für das Auftreten von Hagel),} \end{aligned} \quad (5.1.4)$$

wobei  $v_{\max,10\text{m}}$  die Windböen 10 m über Grund und  $q_{\text{graupel,max}}$  das Maximum des spezifischen Graupelwassergehaltes über alle Modellhöhenlevel darstellt.

### Starkes Gewitter mit Graupel bzw. Hagel ( $ww = 99$ )

Ein starkes Gewitter mit Graupel bzw. Hagel ( $ww = 99$ ) tritt ein, wenn zusätzlich zu den Bedingungen (5.1.3) mindestens **eine** der folgenden Bedingungen erfüllt ist:

$$\begin{aligned} R_{\text{total}} &> 25 \text{ mm/h oder} \\ v_{\max,10\text{m}} &> 29 \text{ m/s oder} \\ q_{\text{graupel,max}} &> 0.005 \text{ kg/kg (stellvertretend für das Auftreten von Hagel),} \end{aligned} \quad (5.1.5)$$

wobei  $v_{\max,10\text{m}}$  die Windböen 10 m über Grund und  $q_{\text{graupel,max}}$  das Maximum des spezifischen Graupelwassergehaltes über alle Modellhöhenlevel darstellt.



## 5.2. Schauer

Im ww-Schlüssel sind Schauer generell mit Zahlen zwischen 80 und 89 verschlüsselt, wobei sowohl Regenschauer als auch Schneeschauer inbegriffen sind.

Folgende Kriterien werden für Schauer betrachtet:

- a) Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1).
- b) Kriterien für konvektiven Niederschlag (4.2.1) (modellabhängig).

### 5.2.1. Regenschauer

Folgende Kriterien werden für Regenschauer betrachtet:

- c) Kriterien für flüssigen Niederschlag (4.4.1)
- d) Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer (4.5.1)
- e) Kriterien für gefrierenden Niederschlag (4.6.1)

Gelten die Kriterien a), b), c), d) und nicht e), respektive (4.1.1), (4.2.1), (4.4.1), (4.5.1) und nicht (4.6.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von Regenschauer festgelegt:

$$\begin{aligned} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 2.50 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 80 \text{ (ICON-D2, COSMO-D2),} \\ 0.20 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 2.50 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 80 \text{ (ICON, ICON-EU)} \\ 2.50 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 20.0 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 81, \\ R_{\text{total}} > 20 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 82, \end{aligned} \tag{5.2.1}$$

wobei  $ww = 80$  einem leichten,  $ww = 81$  einem mäßigen und  $ww = 82$  einem starken Regenschauer entspricht. Das Minimum-Kriterium für Niederschlag musste an dieser Stelle modellabhängig gewählt werden, da aus dem ICON und ICON-EU ein signifikanter Bias des Niederschlags im Bereich des konvektiven leichten Sprühregens bekannt ist.

Gelten die Kriterien a), b), c), d) und e), respektive (4.1.1), (4.2.1), (4.4.1), (4.5.1) und (4.6.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von gefrierendem Regen festgelegt:

$$\begin{aligned} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 2.5 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 66, \\ R_{\text{total}} > 2.5 \text{ mm/h} & \quad \text{dann } ww = 67, \end{aligned} \tag{5.2.2}$$

wobei  $ww = 66$  einem leichten,  $ww = 67$  einem mäßigen bzw. starken gefrierenden Regen entspricht.



Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass es in der Klassifikation der Schauer keinen entsprechenden ww-Schlüssel mit Zusatz gefrierender Regen gibt, sodass der entsprechende ww-Schlüssel für gefrierenden Regen ggf. auf zwei unterschiedliche Art und Weisen berechnet werden kann. Ausgeschlossen ist der gefrierende Sprühregen, der separat in Kapitel 5.5 behandelt wird.

Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

### 5.2.2. Schneeschauer

Folgende Kriterien werden für Schneeschauer betrachtet:

- f) Kriterien für festen Niederschlag (4.9.1)

Gelten die Kriterien a), b) und f), respektive (4.1.1), (4.2.1) und (4.9.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von Schneeschauer festgelegt:

$$\begin{array}{ll} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 1.0 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 85, \\ R_{\text{total}} > 1.0 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 86, \end{array} \quad (5.2.3)$$

wobei  $ww = 85$  einem leichten,  $ww = 86$  einem mäßigen bzw. starken Schneeschauer entspricht.

Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

## 5.3. Regen

Im ww-Schlüssel ist Regen generell mit Zahlen zwischen 60 und 69 verschlüsselt, wobei gefrierender Regen inbegriffen ist.

Folgende Kriterien werden für Regen betrachtet:

- a) Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1).
- b) Kriterien für skaligen Niederschlag (4.3.1) (modellabhängig).
- c) Kriterien für flüssigen Niederschlag (4.4.1)
- d) Zusatzkriterien für Regen bzw. Regenschauer (4.5.1)
- e) nicht erfüllte Kriterien für Sprühregen (4.7.1)
- f) Kriterien für gefrierenden Niederschlag (4.6.1)

Gelten die Kriterien a), b), c), d), e) und nicht f), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.4.1), (4.5.1), (4.7.1) und nicht (4.6.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von Regen festgelegt:



$$\begin{array}{ll} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 2.50 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 61, \\ 2.50 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 10.0 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 63, \\ R_{\text{total}} > 10 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 65, \end{array} \quad (5.3.1)$$

wobei  $ww = 61$  einem leichten,  $ww = 63$  einem mäßigen und  $ww = 65$  einem starken Regen entspricht.

Gelten die Kriterien a), b), c), d), e) und f), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.4.1), (4.5.1), (4.7.1) und (4.6.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die  $ww$ -Verschlüsselung von gefrierendem Regen festgelegt:

$$\begin{array}{ll} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 2.5 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 66, \\ R_{\text{total}} > 2.5 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 67, \end{array} \quad (5.3.2)$$

wobei  $ww = 66$  einem leichten,  $ww = 67$  einem mäßigen bzw. starken gefrierenden Regen entspricht.

Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

## 5.4. Schneefall

Im  $ww$ -Schlüssel ist Schneefall generell mit Zahlen zwischen 70 und 79 verschlüsselt.

Folgende Kriterien werden für Schneefall betrachtet:

- a) Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1).
- b) Kriterien für skaligen Niederschlag (4.3.1) (modellabhängig).
- c) Kriterien für festen Niederschlag (4.9.1)

Gelten die Kriterien a), b) und c), respektive (4.1.1), (4.3.1) und (4.9.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die  $ww$ -Verschlüsselung von Schneefall festgelegt:

$$\begin{array}{ll} 0.05 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 1.00 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 71, \\ 1.00 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 5.00 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 73, \\ R_{\text{total}} > 5 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 75, \end{array} \quad (5.4.1)$$

wobei  $ww = 71$  einem leichten,  $ww = 73$  einem mäßigen und  $ww = 75$  einem starken Schneefall entspricht.



Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

## 5.5. Sprühregen

Im ww-Schlüssel ist Sprühregen generell mit Zahlen zwischen 50 und 59 verschlüsselt, wobei gefrierender Sprühregen inbegriffen ist.

Folgende Kriterien werden für Sprühregen betrachtet:

- a) Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1).
- b) Kriterien für skaligen Niederschlag (4.3.1) (modellabhängig).
- c) Kriterien für flüssigen Niederschlag (4.4.1)
- d) Kriterien für Sprühregen oder Schneegriesel (4.7.1)
- e) Kriterien für gefrierenden Niederschlag (4.6.1)
- f) Zusatzkriterien für gefrierenden Sprühregen (4.8.1)

Gelten die Kriterien a), b), c), d), und nicht e), f), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.4.1), (4.5.1), (4.7.1) und nicht (4.6.1), (4.8.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von Sprühregen festgelegt:

$$\begin{array}{ll} 0.015 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 0.100 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 51, \\ 0.100 \text{ mm/h} \leq R_{\text{total}} \leq 0.500 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 53, \\ R_{\text{total}} > 0.500 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 55, \end{array} \quad (5.5.1)$$

wobei  $ww = 51$  einem leichten,  $ww = 53$  einem mäßigen und  $ww = 55$  einem starken Sprühregen entspricht.

Gelten die Kriterien a), b), c), d), e) und nicht f), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.4.1), (4.5.1), (4.7.1), (4.6.1) und nicht (4.8.1), so wird die ww-Verschlüsselung von Schneegriesel festgelegt:

$$ww = 77 \quad \text{für alle } R_{\text{total}} \geq 0.015 \text{ mm/h.} \quad (5.5.2)$$

Gelten die Kriterien a), b), c), d), e) und f), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.4.1), (4.5.1), (4.7.1), (4.6.1) und (4.8.1), so werden folgende Intensitätsbedingungen des Gesamtniederschlags,  $R_{\text{total}}$ , für die ww-Verschlüsselung von gefrierendem Sprühregen festgelegt:

$$\begin{array}{ll} R_{\text{total}} \leq 0.1 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 56, \\ R_{\text{total}} > 0.1 \text{ mm/h} & \text{dann } ww = 57, \end{array} \quad (5.5.3)$$



wobei  $ww = 56$  einem leichten,  $ww = 57$  einem mäßigen bzw. starken gefrierenden Sprühregen entspricht.

Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

## 5.6. Schneegriesel

Im ww-Schlüssel ist Schneegriesel mit der Zahl 77 verschlüsselt.

Folgende Kriterien werden für Sprühregen betrachtet:

- a) Kriterium für Minimum-Niederschlag (4.1.1).
- b) Kriterien für skaligen Niederschlag (4.3.1) (modellabhängig).
- c) Kriterien für festen Niederschlag (4.9.1)
- d) Kriterien für Sprühregen oder Schneegriesel (4.7.1)

Gelten die Kriterien a), b), c) und d), respektive (4.1.1), (4.3.1), (4.9.1) und (4.7.1), so wird die ww-Verschlüsselung von Schneegriesel festgelegt:

$$ww = 77 \quad \text{für alle } R_{\text{total}} \geq 0.015 \text{ mm/h.} \quad (5.6.1)$$

Ist ferner keines der o.g. Kriterien für den Gesamtniederschlag,  $R_{\text{total}}$ , erfüllt, so erfolgt ein Test auf Nebel (siehe Kapitel 5.7.1).

## 5.7. Wetter ohne Niederschlag

Generell gilt bei Wetter ohne Niederschlag:

$$R_{\text{total}} < 0.015 \text{ mm/h,} \quad (5.7.1)$$

wobei es hier durch Unterschiede in den Modellen zu vereinzelt Abweichungen kommen kann (siehe Kapitel 5.1 bis 5.6).

### 5.7.1. Nebel

Wenn keines der in den Kapiteln 5.1 bis 5.6 beschriebenen Kriterien erfüllt ist, und somit kein entsprechender ww-Schlüssel zugewiesen werden konnte, muss anschließend getestet werden, ob die Kriterien für auftretenden Nebel erfüllt sind.

Hierfür wird der durch M. Eckert entwickelte sogenannte Nebulae-Index, NI, genutzt. Dieser ist definiert durch:





$$NI = T_{2m} - T_{BL,max} + T_{2m} - T_{d,BL,max} + \bar{v}_{BL}, \quad (5.7.2)$$

mit  $T_{2m}$  als Temperatur in 2 m über Grund,  $T_{BL,max}$  und  $T_{d,BL,max}$  das Maximum der Temperatur bzw. Taupunkttemperatur in der Grundsicht bis 100 hPa über Grund und  $\bar{v}_{BL}$  die mittlere Windgeschwindigkeit in der Grundsicht bis 35 hPa über Grund. Die Bestimmung der entsprechenden Modellfläche erfolgt analog der Beschreibungen in Kapitel 4.5 bzw. 4.7.

Der Nebulae-Index, NI, ist kleiner, je geringer die Temperaturunterschiede in der Höhe der Grenzschicht sind, je ähnlicher sich Temperatur und Taupunkttemperatur sind (hohe relative Luftfeuchtigkeit), je niedriger die Temperatur am Boden ist und je geringer die bodennahe Windgeschwindigkeit ist. Ist es demnach windstill in Bodennähe bei niedrigen 2m-Temperaturwerten und Taupunkttemperaturen in der Grenzschicht, die ähnlich der 2m-Temperatur sind, so sind dies ideale Bedingungen für auftretenden Nebel.

#### 5.7.1.1. Nebel ( $ww = 45$ )

Unter Einbezug des Nebulae-Index (5.7.2) werden folgende Bedingungen für Nebel ( $ww = 45$ ) festgelegt:

$$NI < 5 \text{ und } (f_{rel}(k_e) > 95\% \text{ oder } f_{rel}(k_e - 1) > 95\%) \text{ oder} \quad (5.7.3)$$

$$c_k(k_e) \geq 99\% \text{ oder } c_k(k_e - 1) \geq 99\%,$$

wobei NI den Nebulae-Index,  $f_{rel}$  die relative Feuchte,  $c_k$  den Bedeckungsgrad in den Modellschichten und  $k_e$  die Anzahl der Schichten und gleichzeitig die unterste Modellschicht darstellt.

Zusätzlich zu einem niedrigen Nebulae-Index wird geschaut, ob die bodennahe relative Feuchte einen kritischen Wert übersteigt. In diesem Falle ist Nebel auch in der Realität wahrscheinlich. Ist abgesehen von diesen beiden Bedingungen der Bedeckungsgrad in den untersten beiden Modellschichten größer als 99 %, was einer dichten tiefen Wolkenbedeckung am Boden entspricht, so wird direkt Nebel klassifiziert.

#### 5.7.1.2. Nebel mit Reifbildung ( $ww = 48$ )

Nebel mit Reifbildung ( $ww = 48$ ) tritt ein, wenn zusätzlich zu den Kriterien (5.7.3) folgendes gilt:

$$T_{2m} < -1^\circ\text{C} \text{ oder } T_{\text{Erdoberfläche}} < -1^\circ\text{C} \text{ und} \quad (5.7.4)$$

$$v_{10m} > 1.5 \text{ m/s},$$



wobei  $v_{10m}$  der Betrag der Windgeschwindigkeit 10 m über Grund,  $T_{2m}$  die Temperatur 2 m über Grund und  $T_{\text{Erdoberfläche}}$  die Erdoberflächentemperatur ist.

### 5.7.2. *Kein signifikantes Wetter*

Wenn ferner keine der zuvor genannten Nebelbedingungen erfüllt ist, wird lediglich der Gesamtbedeckungsgrad verschlüsselt.

$0.00\% \leq c_{total} \leq 6.25\%$	dann $ww = 0$ ,	(5.7.5)
$6.25\% < c_{total} \leq 43.75\%$	dann $ww = 1$ ,	
$43.75\% < c_{total} \leq 81.25\%$	dann $ww = 2$ ,	
$81.25\% < c_{total} \leq 100.00\%$	dann $ww = 3$ .	

---

## 6. Literatur

Lynn, B., and Y. Yair, 2010: *Prediction of lightning flash density with the WRF model*, Adv. Geosci., **23**, 11–16.

Renner, V., Interpretation, Promet, Meteorologische Fortbildung, 28. Jahrgang, Heft ½: Die neue Modellkette des DWD II, 1–7, Herausgeber Deutscher Wetterdienst, 2002.

Yair, Y, B. Lynn, C. Price, V. Kotroni, K. Lagouvardos, E. Morin, A. Mugnai, and M. Llasat, 2010: *Predicting the potential for lightning activity in Mediterranean storms based on the Weather Research and Forecasting (WRF) model dynamic and microphysical fields*, JGR, **115**, D04205, doi:10.1029/2008JD010868.



## 7. Anhang

### 7.1. Variablen und "Shortnames"

Variable	Shortname	Bezeichnung
$c_{\text{total}}$	CLCT	Gesamtbedeckungsgrad
$c_m$	CLCM	Bedeckungsgrad mittelhoher Wolken
$c_{m,s}$		Umgebungsgemitteltes $c_m$ (modellabhängig)
$c_k$	CLC	Wolkenbedeckungsgrad (höhenlevelabhängig)
$f_{\text{rel}}$		Relative Feuchte
$h_{500\text{hPa}}, h_{700\text{hPa}},$ $h_{850\text{hPa}}, h_{900\text{hPa}},$ $h_{950\text{hPa}}, h_{965\text{hPa}}$ $h_{1000\text{hPa}}$		Höhen der jeweiligen Hektopascalschichten in m, ermittelt aus der internationalen Höhenformel.
$h_{\text{topo}}$		Höhe der Topographie (hier Meeresgitterpunkt)
$k$		Index für Modellhöhenlevel
$k_{500\text{hPa}}, k_{700\text{hPa}},$ $k_{850\text{hPa}}, k_{900\text{hPa}},$ $k_{950\text{hPa}}, k_{965\text{hPa}}$		Index der Modellschicht, die der jeweiligen Druckschicht am nächsten ist (Ermittelt mithilfe der internationalen Höhenformel)
$k_e$		Anzahl der Modellschichten und unterste Modellschicht
$k_{u,c}$		Index der untersten Modellschicht, für die $q_c > 0$ gilt.
KOI		Konvektivindex
LPI	LPI	Lightning Potential Index
$\text{LPI}_{\text{max}}$	LPI_MAX	Stündliches Maximum des LPI
$\text{LPI}_{\text{max},s}$		Umgebungsgemittelter $\text{LPI}_{\text{max}}$ (modellabhängig)
NI		Nebulae-Index
$p$	P	Druck (höhenlevelabhängig)
$p_{\text{basis}}$	PBAS	Druck an der Konvektivwolkenuntergrenze



$p_{\text{top}}$	PTOP	Druck an der Konvektivwolkenobergrenze
$q_c$	QC	Flüssiger Wolkenwassergehalt
$q_{\text{graupel,max}}$		Maximum des spezifischen Graupelwassergehaltes
$R_{\text{fest}}$	SNOW_GSP + SNOW_CON	Fester Niederschlagsanteil
$R_{\text{flüssig}}$	RAIN_GSP + RAIN_CON	Flüssiger Niederschlagsanteil
$R_{\text{konvektiv}}$	RAIN_CON + SNOW_CON	Konvektiver Niederschlagsanteil
$R_{\text{skalig}}$	RAIN_GSP + SNOW_GSP	Skaliger Niederschlagsanteil
$R_{\text{total}}$	RAIN_GSP + SNOW_GSP + GRAÜ_GSP* + RAIN_CON + SNOW_CON	Gesamtniederschlag
$T$	T	Temperatur (höhenlevelabhängig)
$T_{2\text{m}}$	T_2M	Temperatur 2 m über Grund
$T_{\text{BL,max}}$		Maximum der Temperatur in der Grenzschicht bis 100 hPa über Grund
$T_{\text{d,BL,max}}$		Maximum der Taupunkttemperatur in der Grenzschicht bis 100 hPa über Grund
$T_{\text{Erdoberfläche}}$	T_G	Erdoberflächentemperatur
$T_{\text{top}}$		Temperatur an der Konvektivwolkenobergrenze
$v_{10\text{m}}$		Betrag der Windgeschwindigkeit 10 m über Grund
$\bar{v}_{\text{BL}}$		Mittlere Windgeschwindigkeit in der Grenzschicht bis 35 hPa über Grund
$v_{\text{max},10\text{m}}$	VMAX_10M	Windböen 10 m über Grund
ww	WW	Wetterinterpretation (WMO)



## 7.2. Verwendete Shortnames

Im Folgenden werden alle Modellvariablen aufgezählt, die für die Berechnung aller ww-Schlüssel und entsprechend benötigter Hilfsvariablen benötigt werden. Eine Komplettübersicht der Modelle und ihrer Variablen ist in den Internetseiten des Deutschen Wetterdienstes zu finden unter:

[https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/icon/icon\\_dbbeschr\\_aktuell.html](https://www.dwd.de/SharedDocs/downloads/DE/modelldokumentationen/nwv/icon/icon_dbbeschr_aktuell.html)

### Höhenlevelabhängige Modellvariablen

Shortname	Bezeichnung	Einheit
CLC	Wolkenbedeckungsgrad	%
P	Druck	Pa
QC	Flüssiger Wolkenwassergehalt	kg/kg
QG	Graupelmischungsverhältnis	kg/kg
QV	Spezifische Feuchte	kg/kg
T	Temperatur	K
U	Zonaler Wind	m/s
V	Meridionaler Wind	m/s

### Höhenlevelunabhängige Modellvariablen

Shortname	Bezeichnung	Einheit
CLCM	Bedeckungsgrad mittelhoher Wolken	%
CLCT	Gesamtwolkenbedeckungsgrad	%
GRAU_GSP	Skaliger Graupel	kg/m <sup>2</sup>
HBAS_CON	Höhe der Konvektivwolkenuntergrenze über Meeresniveau	m
HTOP_CON	Höhe der Konvektionwolkenobergrenze über Meeresniveau	M
LPI_MAX	Stündliches Maximum des Lightning Potential Index	J/kg
PS	Bodendruck	Pa
RAIN_CON	Konvektiver Regen	kg/m <sup>2</sup>
RAIN_GSP	Großskaliger Regen	kg/m <sup>2</sup>
SNOW_CON	Konvektiver Schneefall	kg/m <sup>2</sup>



---

SNOW_GSP	Großskaliger Schneefall	kg/m <sup>2</sup>
T_2M	Temperatur 2 m über Grund	K
T_G	Erdoberflächentemperatur	K
TD_2M	Taupunktstemperatur 2 m über Grund	K
U_10M	Zonaler Wind 10 m über Grund	m/s
V_10M	Meridionaler Wind 10 m über Grund	m/s
VMAX_10M	Windböen 10 m über Grund	m/s