

# Die Formeln

Erklärung zu jeder Formel aus Super El Nino, Teil

2 – warum welcher Faktor drinsteckt und wie sie logisch miteinander verknüpft sind.

## 1. Der Oceanic Niño Index (ONI)

$$\text{ONI} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \text{SST}_i - \overline{\text{SST}}_{\text{Klimamittel}}$$

**Die Grundidee:** Man will wissen, ob der Pazifik gerade wärmer ist als "normal". Aber was ist "normal"? Dafür braucht man zwei Zutaten.

- $\text{SST}_i$  sind die gemessenen Wassertemperaturen der letzten drei Monate. Warum drei Monate und nicht ein einzelner Messwert? Weil einzelne Monatswerte stark rauschen (Wetterschwankungen, einzelne Sturmereignisse). Eine Drei-Monats-Mittelung glättet dieses Rauschen und zeigt den echten, langsamen Klimatrend.
- $\overline{\text{SST}}_{\text{Klimamittel}}$  ist der langjährige Durchschnittswert für genau diesen Kalendermonat (z. B. der Durchschnitt aller Julitemperaturen der letzten 30 Jahre). Das ist wichtig, weil der Pazifik im Juli natürlicherweise anders temperiert ist als im Januar – man vergleicht also nicht Äpfel mit Birnen, sondern Juli mit Juli.

**Die Verknüpfung:** Man nimmt den geglätteten aktuellen Wert und zieht den saisonal passenden Normalwert ab. Das Ergebnis ist eine reine "Abweichung vom Normalzustand" – genau das, was man braucht, um zu sagen: "Es ist X Grad wärmer als es sein sollte." Je größer diese Zahl, desto stärker das Ereignis (siehe Klassifizierungstabelle: ab  $+0,5^\circ\text{C}$  schwach, ab  $+2,0^\circ\text{C}$  Super-El-Niño).

## 2. Die Kelvin-Wellen-Amplitude

$$A(y) = A_0 \cdot e^{-y^2/2R^2}$$

**Die Grundidee:** Diese Formel beschreibt, wie stark eine Kelvin-Welle noch ist, wenn man sich vom Äquator entfernt.

- $A_0$  ist die Amplitude (Stärke) der Welle direkt am Äquator – also der Maximalwert, dort wo die Welle am stärksten ist.

- $y$  ist der Abstand vom Äquator in Breitengraden. Je größer  $y$ , desto weiter weg vom Äquator.
- $R$  (der Rossby-Radius, ca. 300 km) ist eine Art "charakteristische Reichweite" der Welle – wie weit sie sich seitlich noch spürbar auswirkt, bevor sie praktisch verschwindet.
- Die Funktion  $e^{-y^2/2R^2}$  ist eine Gauß-Glockenkurve: Bei  $y = 0$  (am Äquator) ist sie 1, das heißt volle Stärke. Je größer  $y$  wird, desto schneller fällt der Wert exponentiell gegen null ab.

**Warum diese Form?** Physikalisch ist das kein Zufall: Kelvin-Wellen sind an den Äquator "gefangen" durch die Corioli-Kraft, die dort null ist und mit der Entfernung vom Äquator zunimmt. Die Coriolis-Kraft wirkt wie eine Rückstellkraft, die die Welle seitlich einengt – das Ergebnis ist mathematisch genau diese Glockenform. Die Verknüpfung sagt also: Multipliziere die maximale Stärke  $A_0$  mit einem Dämpfungsfaktor, der davon abhängt, wie weit man vom Äquator weg ist, relativ zur typischen Reichweite  $R$ .

### 3. Die Richardson-Zahl (Turbulenz)

$$Ri = \frac{g}{\theta} \cdot \frac{\partial \theta / \partial z}{(\partial u / \partial z)^2}$$

Das ist die für Piloten interessanteste Formel, weil sie zwei gegensätzliche physikalische Kräfte gegeneinander abwägt.

#### Der Zähler – die "Bremse" (stabilisierender Effekt):

- $g$  ist die Erdbeschleunigung – sie sorgt dafür, dass kalte, schwere Luft nach unten sinkt und warme, leichte Luft aufsteigt.
- $\theta$  ist die potenzielle Temperatur (Temperatur, korrigiert um Höheneffekte).
- $\partial \theta / \partial z$  beschreibt, wie stark die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Wenn es mit der Höhe wärmer wird (stabile Schichtung), wirkt das wie ein Deckel: Luftpakete, die versuchen aufzusteigen, werden gebremst, weil sie in wärmere (leichtere) Umgebung geraten und wieder zurücksinken.

Zusammen beschreibt der Zähler also: Wie stark "bremst" die thermische Schichtung vertikale Bewegungen?

#### Der Nenner – der "Antrieb" (destabilisierender Effekt):

- $u$  ist die horizontale Windgeschwindigkeit.

- $\partial u / \partial z$  ist die Windscherung – wie stark sich der Wind mit der Höhe ändert. Wenn sich in wenigen hundert Metern Höhenunterschied der Wind stark ändert (z. B. am Rand eines starken Jetstreams), entstehen mechanische Wirbel, ähnlich wie wenn man zwei Wasserschichten mit unterschiedlicher Fließgeschwindigkeit übereinander schiebt.
- Das Quadrat sorgt dafür, dass die Windscherung immer positiv in die Rechnung eingeht (egal in welche Richtung sie zeigt) und dass ihr Effekt überproportional stark wirkt, je größer sie wird.

### **Die Verknüpfung – warum eine Division?**

Man teilt "Bremse" durch "Antrieb", weil Turbulenz genau dann entsteht, wenn der destabilisierende Antrieb (Windscherung) die stabilisierende Bremse (Temperaturschichtung) überwindet. Ist  $Ri$  groß, dominiert die Stabilität – die Luft bleibt ruhig. Ist  $Ri$  klein (unter 0,25), gewinnt die Windscherung, und es entsteht Turbulenz. Das erklärt direkt, warum ein verstärkter Jetstream (größeres  $\partial u / \partial z$ , also größerer Nenner) die Richardson-Zahl senkt und damit CAT wahrscheinlicher macht – exakt der Mechanismus, der bei El Niño verstärkt auftritt.

**Kurz zusammengefasst die Logik aller drei Formeln:** ONI misst "wie stark ist die Abweichung vom Normalzustand", die Kelvin-Wellen-Formel beschreibt "wie konzentriert bleibt die Energie um den Äquator", und die Richardson-Zahl wägt "Stabilität gegen Störung" ab. Jede Formel ist letztlich ein Verhältnis oder eine Differenz zwischen einem "treibenden" und einem "bremsenden" bzw. "referenzierenden" Faktor – ein sehr typisches Muster in der Atmosphären- und Ozeanphysik.