

Stüve Diagrammpapier mit einer $6,5^{\circ}\text{C}$ ELR (Environmental lapse rate = Schichtungsgradient [hier: $^{\circ}\text{C}/1.000\text{m}$]) in rot und einer $6,5^{\circ}\text{C}$ [wet adiabatic isocline] SALR (Saturated Adiabatic Lapse Rate = feuchtadiabatischer Hebungsgradient [hier: $^{\circ}\text{C}/1.000\text{m}$]) in schwarz.

Die Atmosphäre ist absolut stabil über und bedingt instabil unter dem Punkt, an dem sich die Linien kreuzen.

Welleninduzierte Wolken sind unterhalb dieses Punktes konvektiv und oberhalb dieses Punktes stabil.

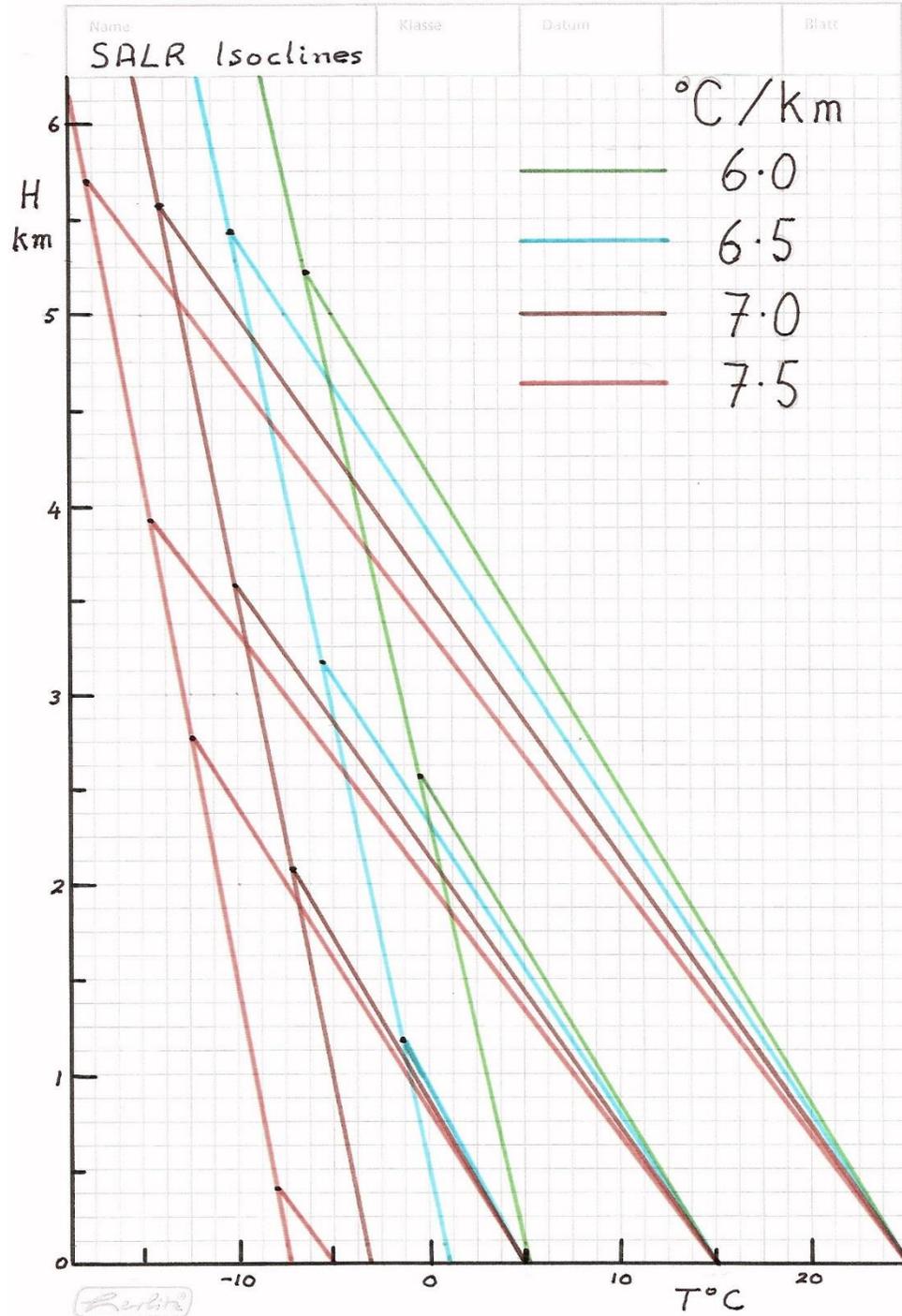
Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig

Unterhalb der Punkte, an denen die verschiedenen ELRs auf die entsprechenden SALRs treffen, sind Wellenwolken konvektiv.

Die Höhe dieser Punkte hängt von der Stabilität der ELR und der Bodentemperatur ab.

Die Höhe, in der Wellenwolken eine glatte, stabile Form haben, nimmt mit zunehmender Stabilität und niedrigeren Bodentemperaturen ab.

Im Winter können sich Lenticularis-Wolken auf viel niedrigeren Höhen ausbilden als im Sommer.





Aboyne cumuliform wave clouds

Diese konvektiven Wellenwolken haben andere Cumuluswolken unter sich.



Welle an der Lure
Glatte linsenförmige Wellenwolken über konvektiven Wellenzügen.

Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig

Hauptsächlich von Environmental Aerodynamics von Prof. Richard Scorer

Castellanus

Cumuluswolken, die in der Luft erzeugt werden, wo Konvergenz und Aufwärtsbewegung auftreten, beginnen, wenn Kondensation auftritt. Wenn der Temp stärker abfällt als der nasse adiabatische, können Thermik spontan aus dieser Wolke sprießen. Solche Wolken nennt man Castellanus (Turmwolken). Sie haben keine Wurzeln in identifizierbaren Thermik, die durch die Unterwolken-schicht aufsteigen, sondern bekommen fast alle ihren Auftrieb von Kondensation ab.

Wellen erzeugen oft ähnliche Effekte wie das Heben und Senken einer Schicht. So kann Castellanus durch Wellen initiiert werden und sich in Linien stromabwärts von dem Punkt erstrecken, an dem Kondensation auftritt. Auf der anderen Seite mag die Instabilität weniger groß sein und nur die erste Wellenwolke in eine zellulare Struktur brechen, die an der windabwärts Kante der Wellenwolke verdampft und an der windaufwärts Kante der nächsten wieder erscheint.

Abwärtskonvektionszellen

Es ist ungewöhnlich, dass Schichtwolken für lange Zeit formlos bleiben. Der obere Teil einer Schicht verliert bei Tag und bei Nacht Wärme durch Strahlung in den Weltraum, es sei denn, es gibt eine darüber liegende Schicht, die bei ihrer eigenen Temperatur nach unten strahlt. Folglich setzt die Abwärtskonvektion von der oberen Oberfläche die ganze Zeit fort und Wolkenschichten haben eine zellulare Struktur in ansonsten ruhigen Bedingungen. Solche Zellen können auch in Wellenwolken vorhanden sein. Da diese Wolken eine Umverteilung der Feuchtigkeit darstellen, bleiben sie wie ein fossiles Muster, wenn die Verdampfung durch Absinken stattfindet, wie es auf der Abwindseite einer Welle geschieht. Somit können Zellen, die in einer Wellenwolke gebildet werden, bereits in der nächsten Welle an der Aufwindseite der Wolke erscheinen.



Convective Glory Castellanus
Castellanus-Wolken, die aus Wellenwolken sprießen.



Cells in convective cumulus waves
Zellen in Wellenwolken können durch Abwärtskonvektion erzeugt werden.



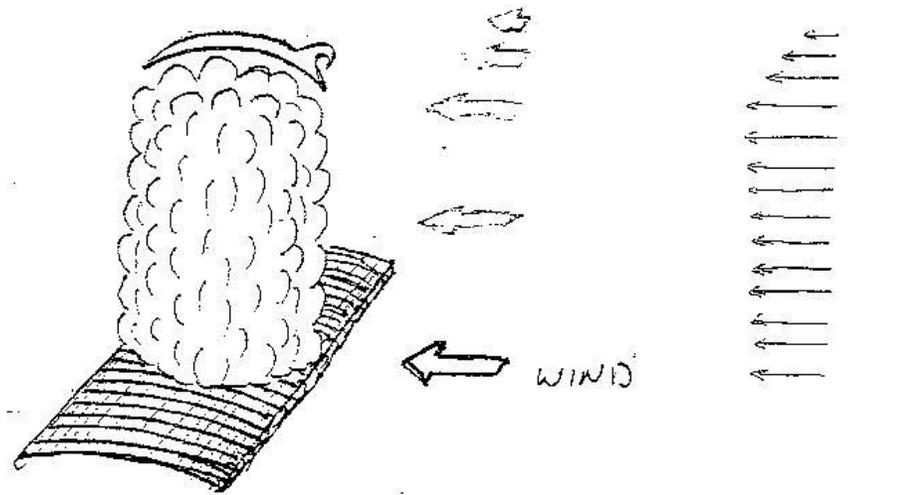
Wave castellanus Coburg

Thermik kann aus Wellenwolken sprießen, wie hier am Horizont zu sehen ist.



Williams mushroom

Nahaufnahme einer röhrenförmigen Thermik, die aus einer Wellenwolke aufsteigt.



Ein thermischer Aufwind, der einer Wellenwolke entspringt, mit einer Pileuswolke darüber - wie der Autor beobachtet hat.

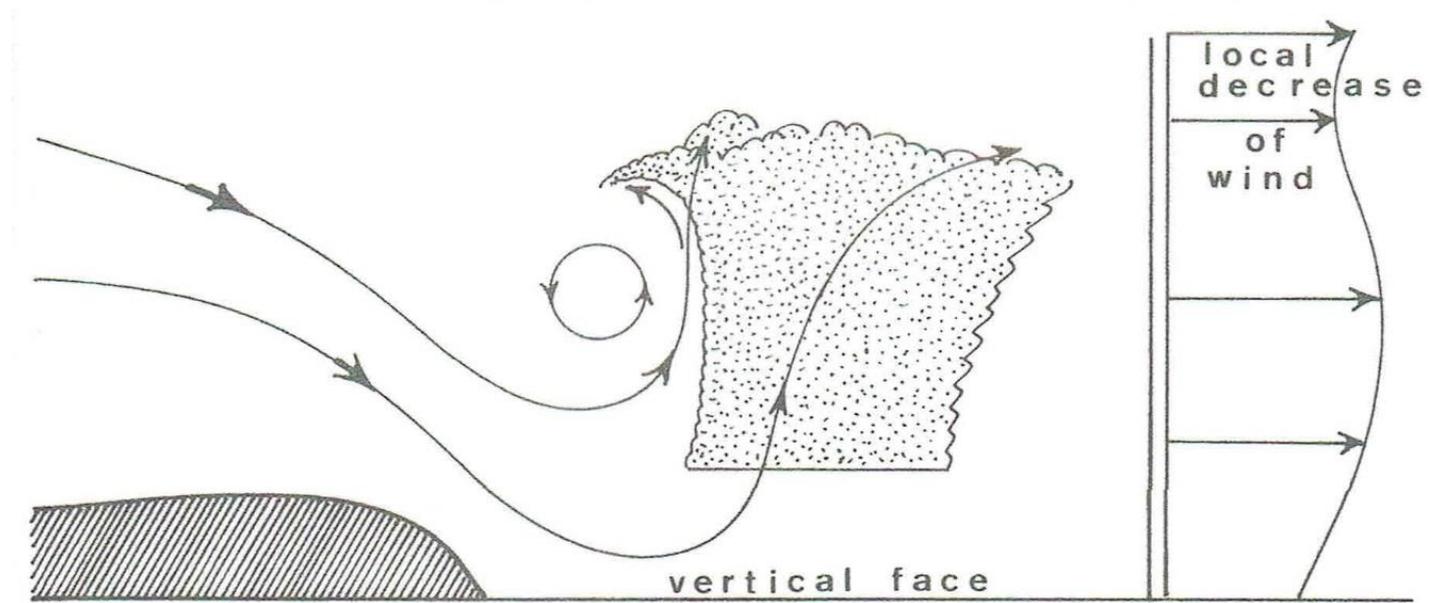
Wave thermal diagram (vgl.o.)



Morning Glory Wall cloud convection



Konvektive Morning Glory Wand mit instabiler Rückseite.



(b) Vertical face to wave with steep lee slope and local decrease in wind speed aloft

Wave arch diagram

(Abbildung eines Wellen-“Bogens“ in Gestalt einer in der Höhe nach Luv ausgetreckten Wellenwolke)



Williams wave-arch



Convective Glory arch

Dieser Effekt wird durch einen Rotor vor der Wand konvektiver Wellenwolken hervorgerufen.



Convective Glorybar & small rotor cloud
Rotorwolken haben einen kreisförmigen Querschnitt.



Stabiler Morning Glory Wellenzug mit großer Rotor Wolke.
Rotoren wandeln absolute Stabilität in absolute Instabilität um.

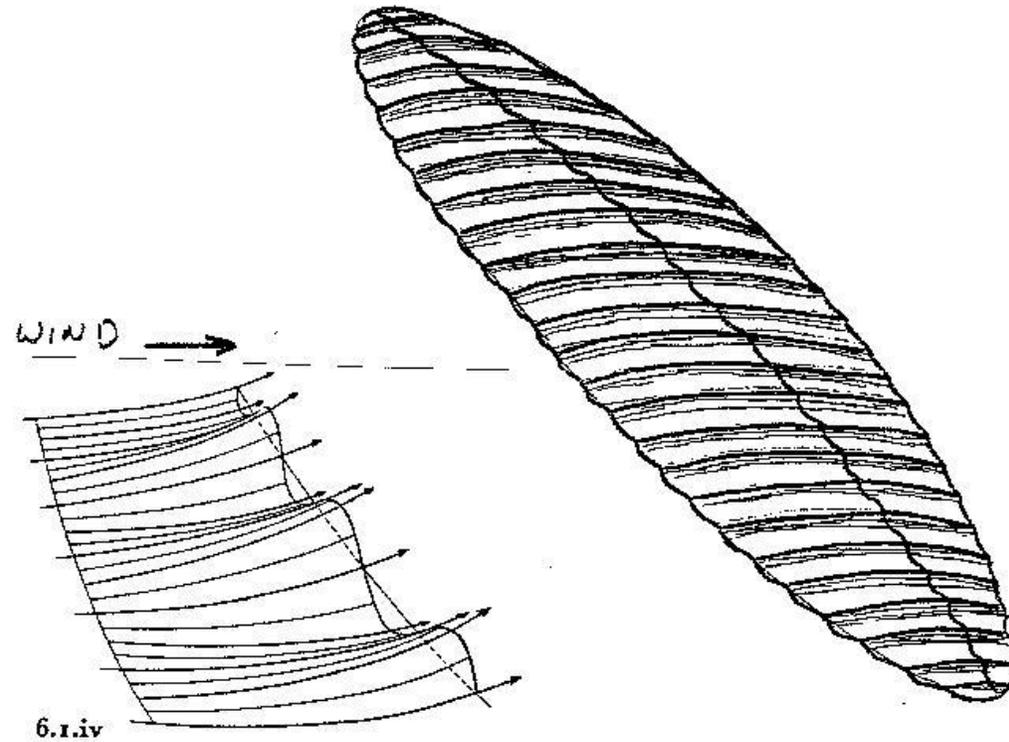
Zentrifugalwellen

Wenn die Bewegung ausreichend gekrümmt ist und die Geschwindigkeitsgradienten groß sind, können Zentrifugalkräfte eine ähnliche Rolle spielen wie die Gravitationskräfte. Wo eine starke Scherschicht in die Wellenbewegung eintritt, tendiert die sich schneller bewegende Flüssigkeit dazu, sich außerhalb jeder Kurve in der Strömung zu bewegen. Wenn sich also die schnellere Flüssigkeit oben befindet, wird sie sich unter der sich langsamer bewegenden Flüssigkeit unter ihr im Wellental bewegen. Diese Art von Instabilität nimmt die Form von longitudinalen Wellen an und kann nur auftreten, wenn die Krümmung und die Scherung zusammen ausreichen, um die statische Stabilität zu überwinden. Abbildung 6.1.iv zeigt Wellen, die wachsen, wenn die Luft durch einen Wellental fließt.

Sobald die Luft in den nächsten Wellenberg eindringt, wird eine ehemals instabile Schicht sehr stabil, so dass sich die Wellen als stabile Wellen über die Wolke ausbreiten und im nächsten Trog wieder wachsen. Auf diese Weise können sie eine gewisse Distanz in einem Wellenbereich beibehalten. Diese Wellen können sich wie Finger in die Wellenlücke erstrecken. Ihre Wellenlänge ist diejenige der stabilen Schicht, in der sie sich ausbreiten.

Cumulus kann durch Strahlung von ihren Oberflächen Inversionen erzeugen. Ein Wolkenoberfläche ist normalerweise ein Niveau, von dem Wärme durch Strahlung verloren geht, und wird kontinuierlich in den Weltraum gekühlt, und so wird die Schicht darunter kontinuierlich gekühlt, und eine stabile Temperaturdiskontinuität wird hergestellt. Dies ist in der Tat eine flache Schicht von sehr großer statischer Stabilität, die zu feinen Wellungen, wie denen von Dachplatten, führen kann.

"Clouds of the World" von Prof. R. S. Scorer - Kapitel 6.1



Centrifugal wave diagram

Zentrifugalwellen entstehen in Wellentälern und können Wolkenfinger oder Riffelungen auf den Wolkenoberseiten bilden.

Schwallwolken (Kelvin-Helmholtz "Schwallwolken")

Wellen sind eine wahrscheinliche Stelle für das Auftreten von Schwallen. In der Tat wissen die Segelflieger seit langem, dass die oberste Schicht des Stratocumulus normalerweise das Niveau ist, auf dem die Leewellen ihre maximale Amplitude haben. Dies deshalb, weil die Strahlung von der Wolkenoberseite die gesamte darunter liegende Luft abkühlt (durch Abwärtskonvektion) und eine Schicht großer statischer Stabilität an ihrer Oberseite erzeugt, wo oft Schwallwolken zu sehen sind. In der Tat sind oberste Wolkenschichtfläche ihre häufigste Stelle in Wellen. Ihre Entwicklung aus einer sinusförmigen Störung einer Wirbelschicht ist in Abb. 6.3.ii dargestellt.

Die Auftriebskräfte in Schwallwolken aufgrund von Kondensation sind zu klein, um diese Bewegung zu beeinflussen, die bereits eine große Vorticity hat und die Strahlung zu lange dauert, um signifikante Temperaturdifferenzen zu erzeugen. Die Form der Schwallwolken in Abb. 11.7.ii. hängt von ihrer Position im Bewegungsvorbild ab, und die verschiedenen Möglichkeiten sind in Abb. 11.7.i dargestellt. Nicht alle diese Formen sind gleichzeitig sichtbar, und weil sich das Vorbild immer entwickelt, sind viele Formen flüchtig. Wenn, wie es sehr häufig ist, die Schwallen in einer Welle erzeugt werden, kann die volle Entwicklung des Umstürzens gestoppt werden, wenn die Luft den Wellenkamm passiert und Vorticity mit entgegengesetztem Vorzeichen beginnt, erzeugt zu werden. So können Schwallen der Art, die in den frühen Stadien des Schwallenwachstums dargestellt sind, tatsächlich fortbestehen und nicht in die späteren Formen umgewandelt werden. Da die Wolken eine Umverteilung der Feuchtigkeit darstellen, bleiben sie wie ein fossiles Vorbild, wenn die Verdampfung durch Subsidenz auftritt, wie es auf der windabwärts Seite einer Welle der Fall ist. Daher können in einer Wellenwolke gebildete Schwallen bereits in der nächsten Welle an der windaufwärts Seite der Wolke erscheinen.

"Schwallwolken" sind "billows" auf englisch.

Scorer, Environmental Aerodynamics Kapitel - 6.2, 6.3, 11.7

Darstellung der Mechanik von Kelvin-Helmholtz "Schwallwolken"

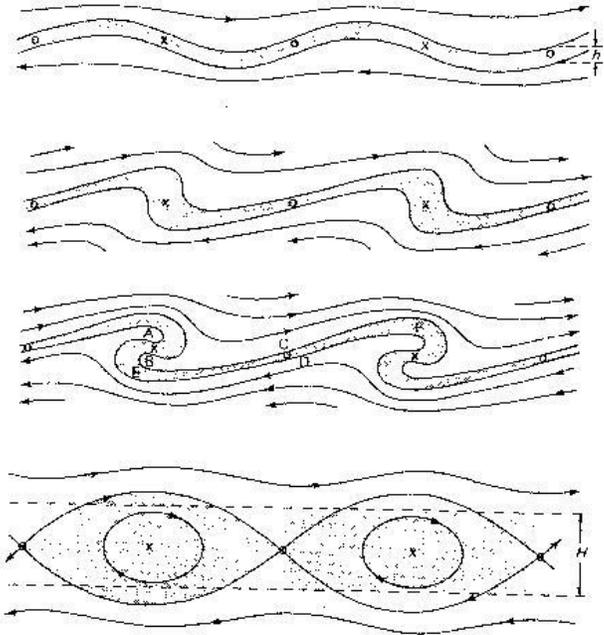


Fig. 6.2.i The evolution of billows from a sinusoidal perturbation of the vortex layer, which rolls up at the downslope nodes. The fluid in the rolls is gravitationally unstable and soon begins to mix up to form discrete lumps of mixed fluid in the cat's eyes pattern shown in the last diagram: eventually this fluid flattens out under gravity into a layer of depth H indicated on the right of that diagram.

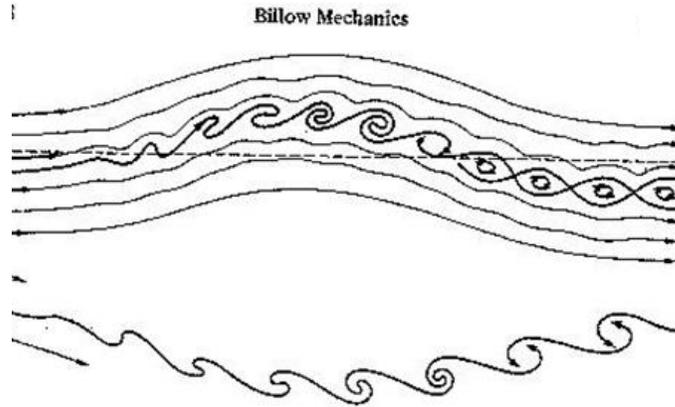


Fig. 6.3.ii The diagram shows the typical stage of evolution of billows in the crest of a wave, and below in the trough of a wave where they are not usually visible in cloud.

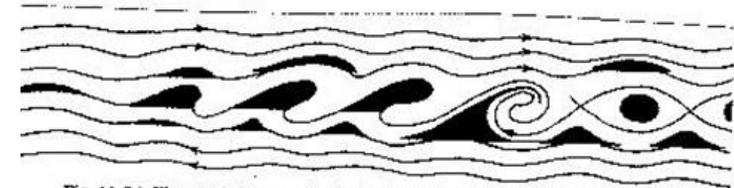


Fig. 11.7.i The shaded areas illustrate the various cloud shapes which may appear within the billow motion discussed in Chapter 6. The progressive development of the billows is sketched from left to right. Most of the forms occur in typical billow manner, that is several parallel elements together regularly spaced. However subsequent billow motions may generate several criss-cross patterns in the clouds they produce, because their orientations may differ (see Fig. 11.7.ii).

Kelvin-Helmholtz (K-H) Instabilität verursacht durch Scherung.

K-H Instabilität in Wellen, mit gegenläufiger Vorticity in den Wellenkämmen und -tälern.

Entwicklung von Wolkenformen der K-H Instabilität.



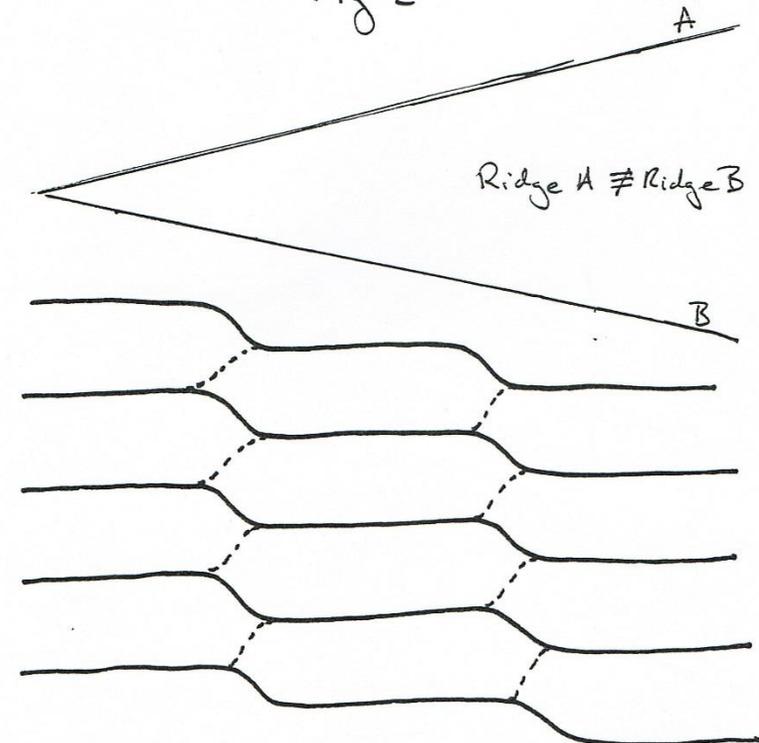
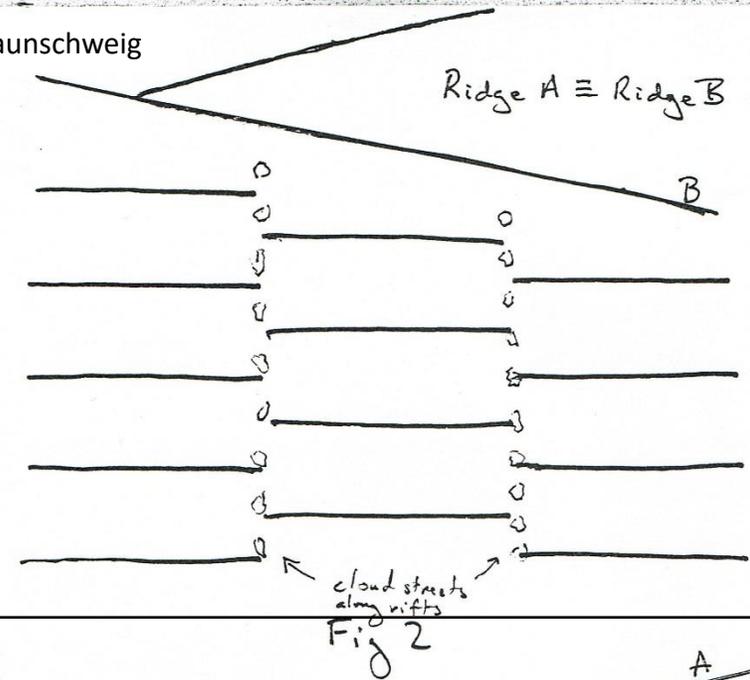
Thermik, die aus Wellenwolken in eine Schicht mit K-H Instabilität hinein sprießt.

(Photo: Thomas Seiler / Christof Maul)

"Leiterwolken"-Diagramm

Hinter zwei gleich großen, schräg zueinander angeordneten Gaten bilden sich "Leiterwolken" mit einer Phasenverschiebung zwischen den Sprossengruppen.

Wenn die beiden Gate ungleich sind, werden die Leitersprossen miteinander verbunden. Die gestrichelte Linie zeigt die Linie des geringsten Sinkens.





„Leiterwolken“ Coburg
Einem Stratus wird durch Wellen ein Leitemuster aufgeprägt.



Wilson wavelets

Die Resonanz einer Inversion kann zusätzlich zu der Lee-Wellenlänge auch kürzere Wellenlängen erzeugen.

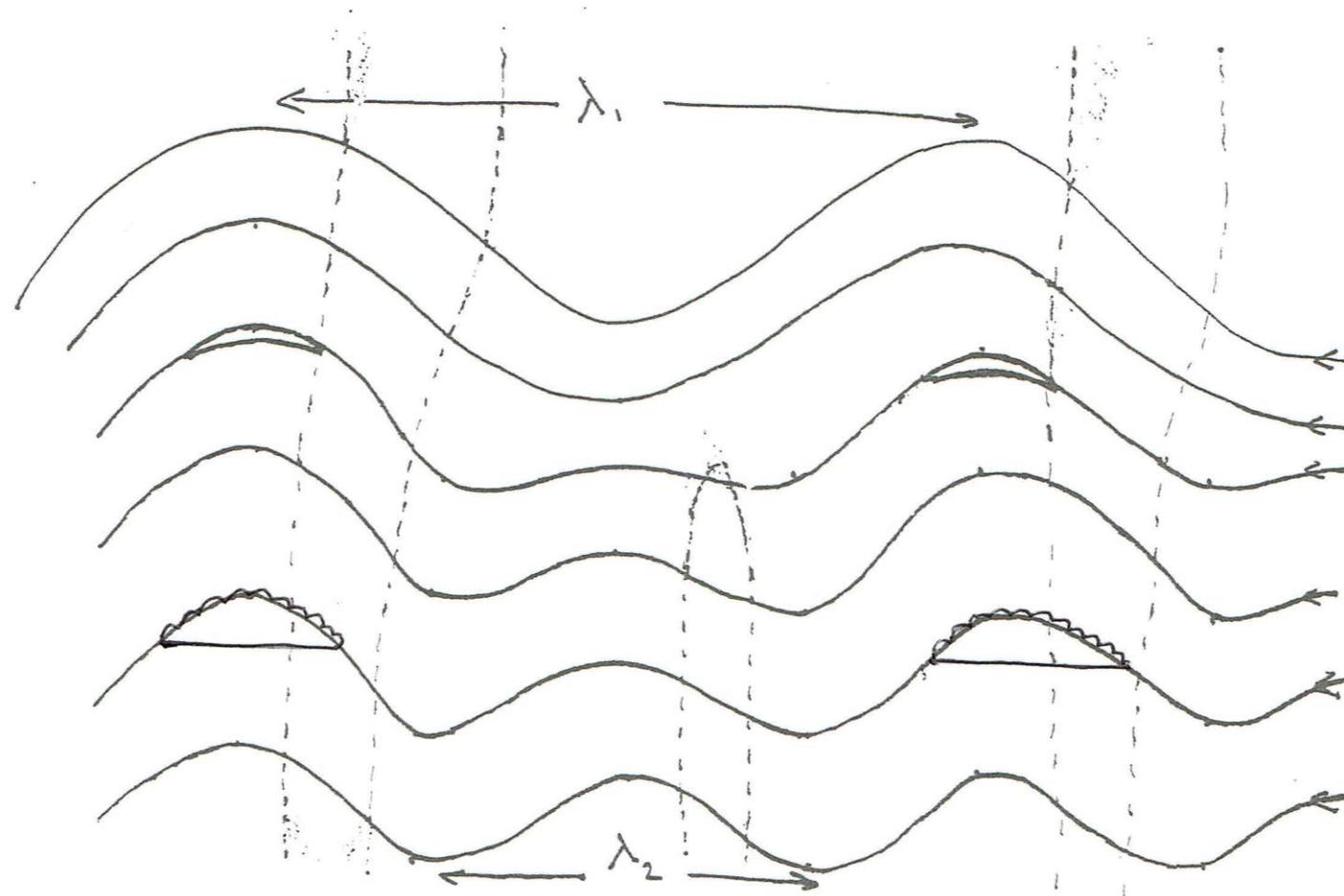
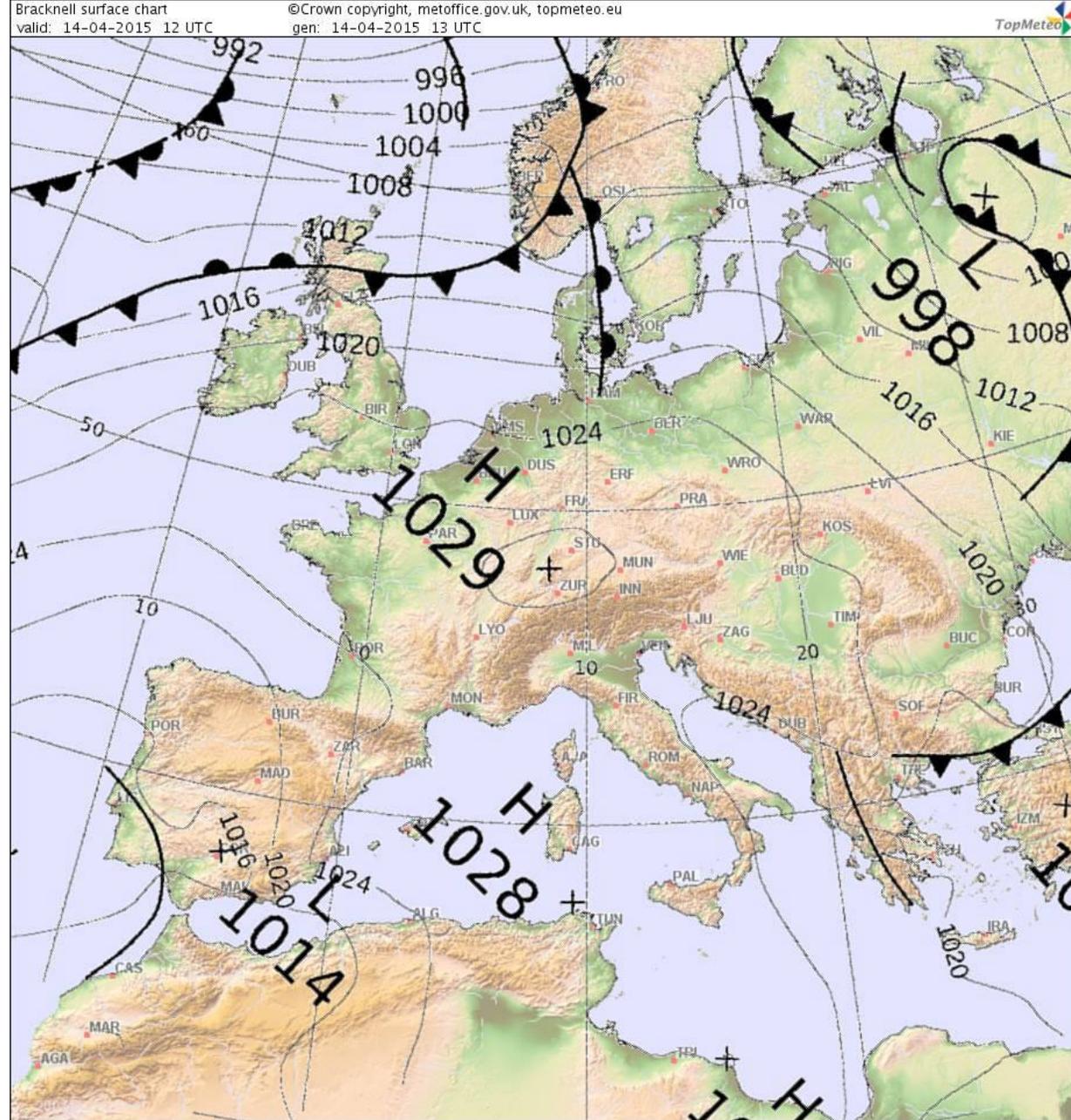


Fig 27 Multiple Wave System $\lambda_1 : \lambda_2 = 2 : 1$

Zwei Wellenlängen:
Inversionsresonanz kann zu einem unmarkierten Aufwind zwischen zwei Wellenzügen führen.

Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig



Bodenkarte 12.00 14.04.15
Die Prognosekarte sagt Leewellen über Schottland voraus, aber was ist mit Deutschland?



Haag 14.04.2015

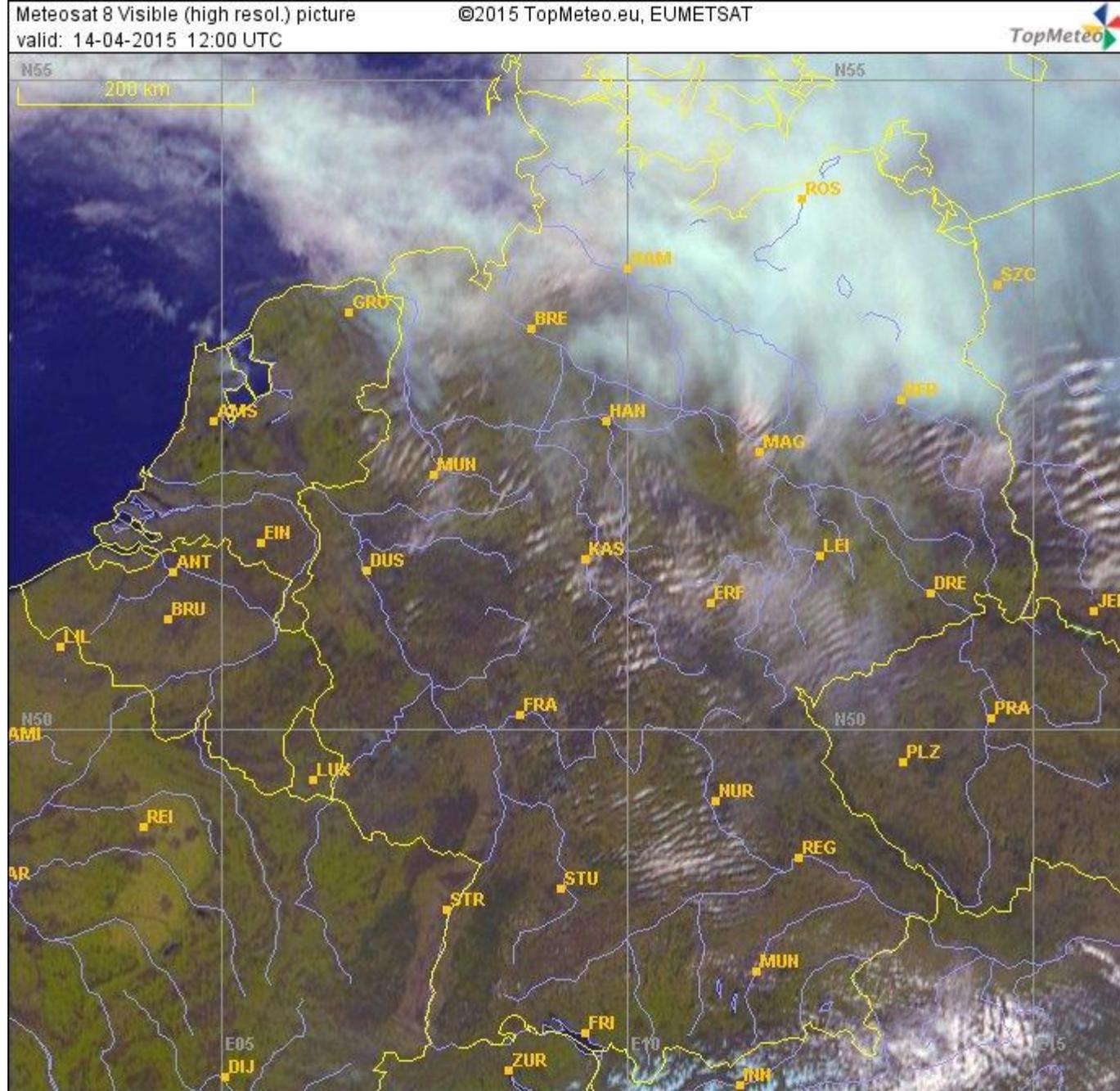
Wellengenerierte Wolkenstraßen mit Zentrifugalwellen-Fingern, die nach ENE ausgerichtet sind.



Haag 14.04.2015

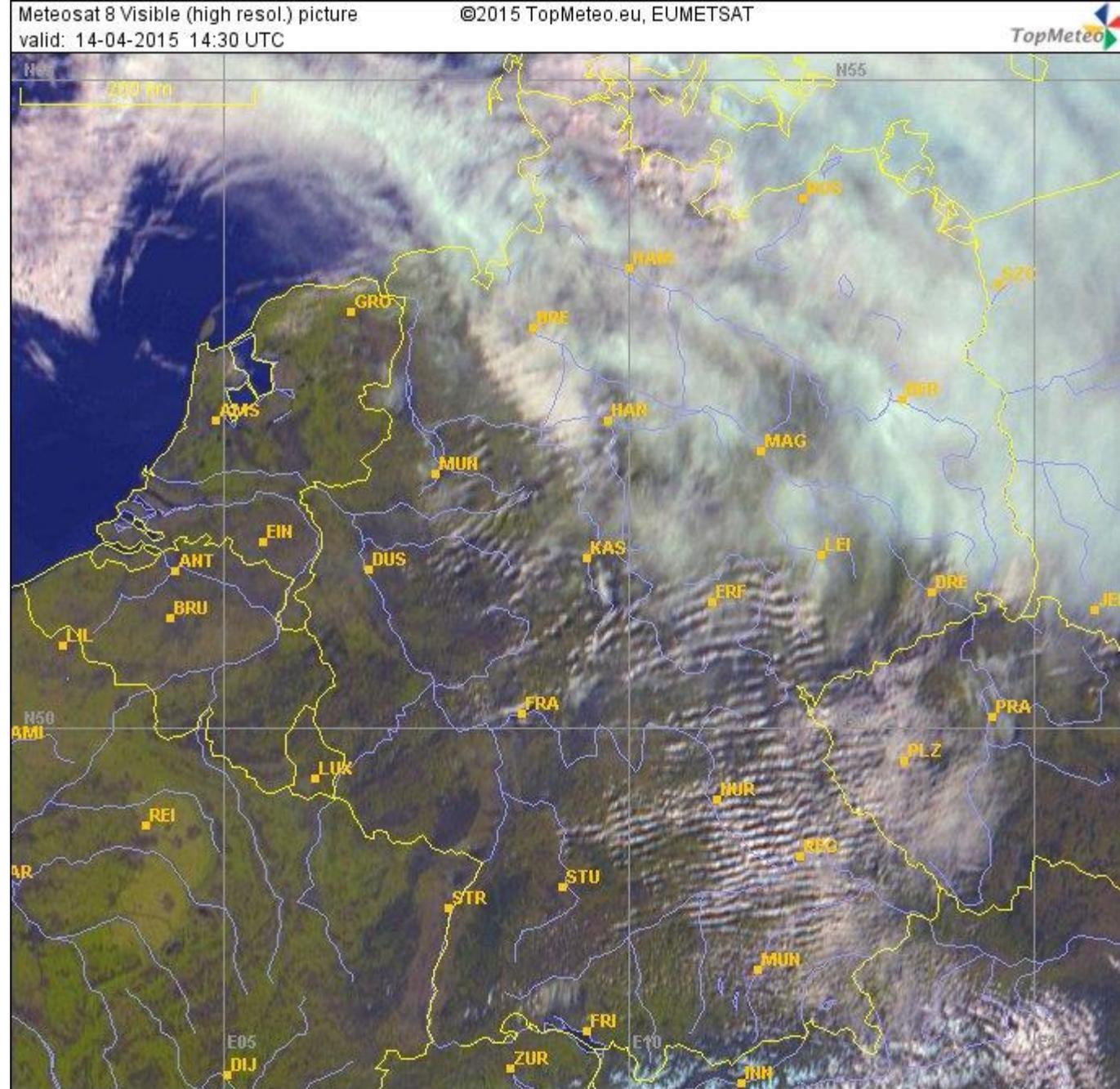
Wellengenerierte Wolkenstraßen mit Zentrifugalwellen-Fingern, die nach WSW ausgerichtet sind.

Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig



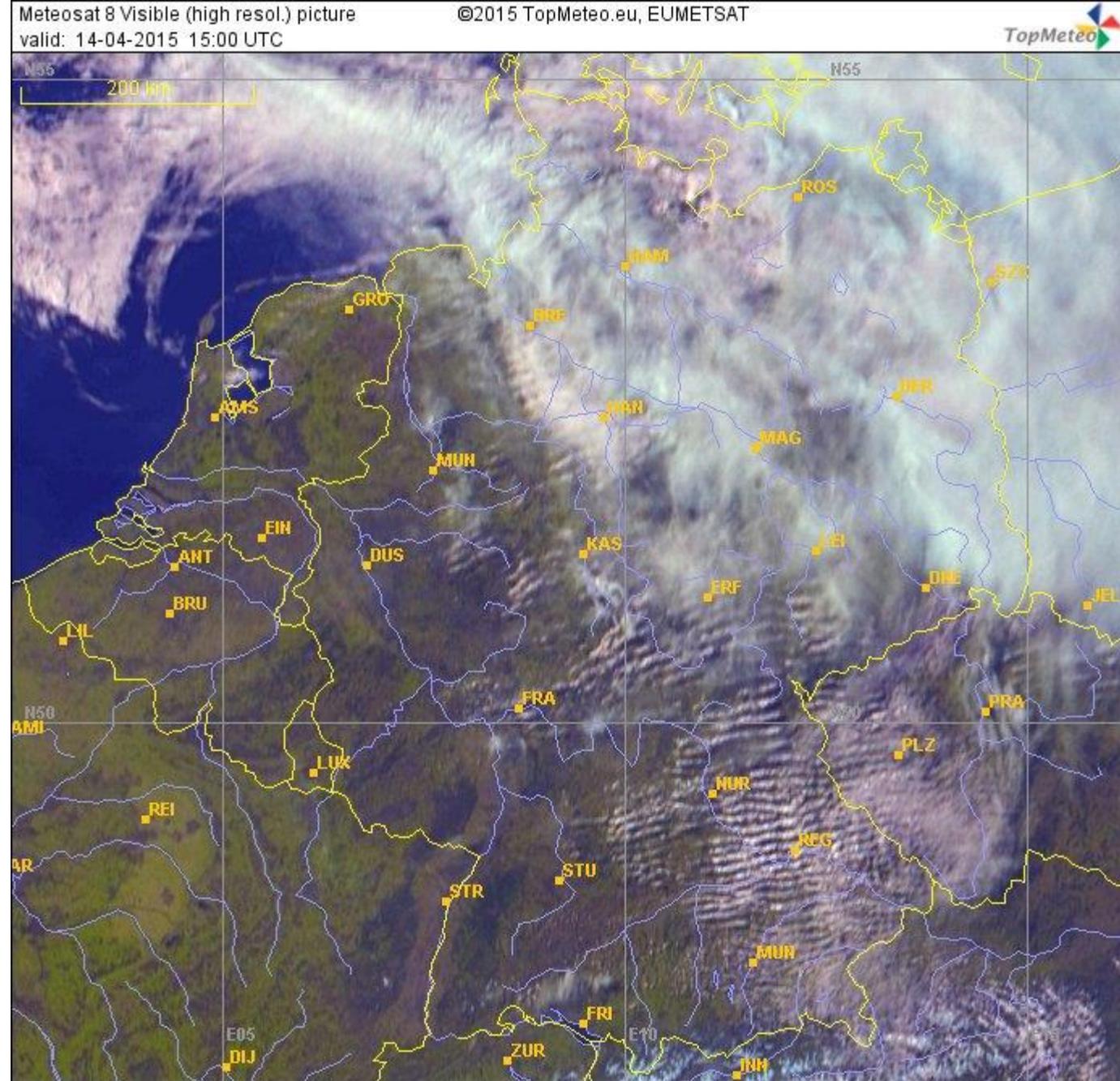
Sat image 12.00 14.04.15

Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig



Sat image 14.30 14.04.15

Julian West
„Wellensymposium“ 10.03.2018
(www.schwerewelle.de)
Institut für Strömungsmechanik,
TU Braunschweig



Sat image 15.00 14.04.15