

Eine Fehlprognose des GME - aber eine besondere !

Am 22.09.04, 00 UTC war eine Fehlprognose des GME zu verzeichnen, die eher selten ist. Das Modell sagte nämlich für die nächsten 36 Stunden eine klassische Zyklonogenese voraus, die dann aber überhaupt nicht eintraf. Interessant ist dabei außerdem, dass bereits der Modell-Lauf 12 Stunden später keine Entwicklung mehr brachte, was recht gut der Realität entsprach, aber zunächst natürlich für Verwirrung sorgte. All das sind Gründe, sich die Lage einmal genauer anzuschauen!

Die Analysen vom 22.09., 00 UTC, die in Abb.1 wiedergegeben sind, zeigten ein typisches Viererdruckfeld südlich von Grönland, in dem sich an der Warmfront eines westatlantischen Tiefs eine Frontalwelle entwickelte. In der Höhe lag ein markanter Trog über Südgrönland, der ostwärts schwenkte. Durch die Annäherung des in den Trog eingebetteten Vorticitymaximums an die untere Frontalwelle konnte man eine Kopplung der beiden Systeme und eine Zyklonogenese a la Petterssen erwarten, wie sie ja auch vom GME simuliert wurde: Die Welle sollte sich unter Vertiefung rasch ost-südostwärts verlagern und als kleines, aber kräftiges Sturmtief am 23.09., 12 UTC über der Deutschen Bucht ankommen. Sie sollte dabei – wie typisch für eine labile barokline Welle – zwischen dem Höhentrog und einer antizyklonalen Aufwölbung stromab davon liegen, und der 300 hPa-Jet, der ursprünglich weit nördlich der Frontalwelle verlief, sollte dann den Wellenscheitel direkt kreuzen.

In Wirklichkeit kam es allerdings zu keiner Zyklonogenese. Die Frontalwelle verlagerte sich rasch wie vorhergesagt, aber ohne nennenswerte Vertiefung und überquerte im Tagesverlauf des 23. das mittlere Deutschland. Somit gab es im Norden Deutschlands keinen Sturm wie befürchtet, sondern eher schwache Winde, aber dafür anhaltende Regenfälle. Erst östlich von Deutschland war eine Intensivierung der Welle zu verzeichnen, die aber nur kurz währte und keinesfalls zu einem Sturmtief führte. Das ist in Übereinstimmung damit, dass der Höhentrog weit schwächer blieb als vorhergesagt und damit die Höhenströmung über der Welle nahezu geradlinig blieb. Auch der Jet behielt eine Position nördlich der unteren Welle bei.

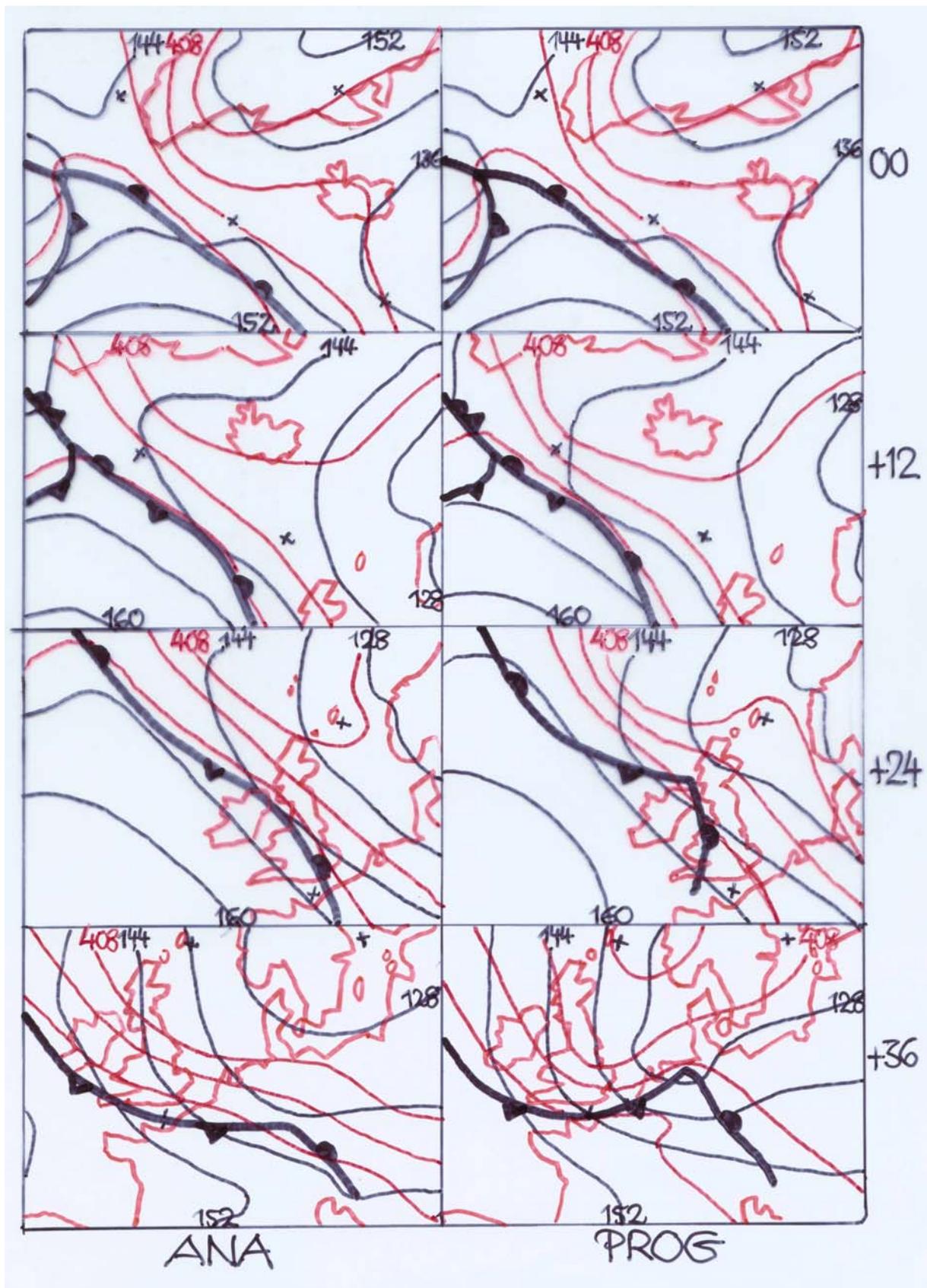


Abb.1 (a): Analysen und Prognosen von Geopotential 850 hPa (schwarz) und Schichtdicke zwischen 850 und 500 hPa (rot) zusammen mit den aus der Verteilung der äquivalent-potentiellen Temperatur 850 hPa abgeleiteten Bodenfronten.

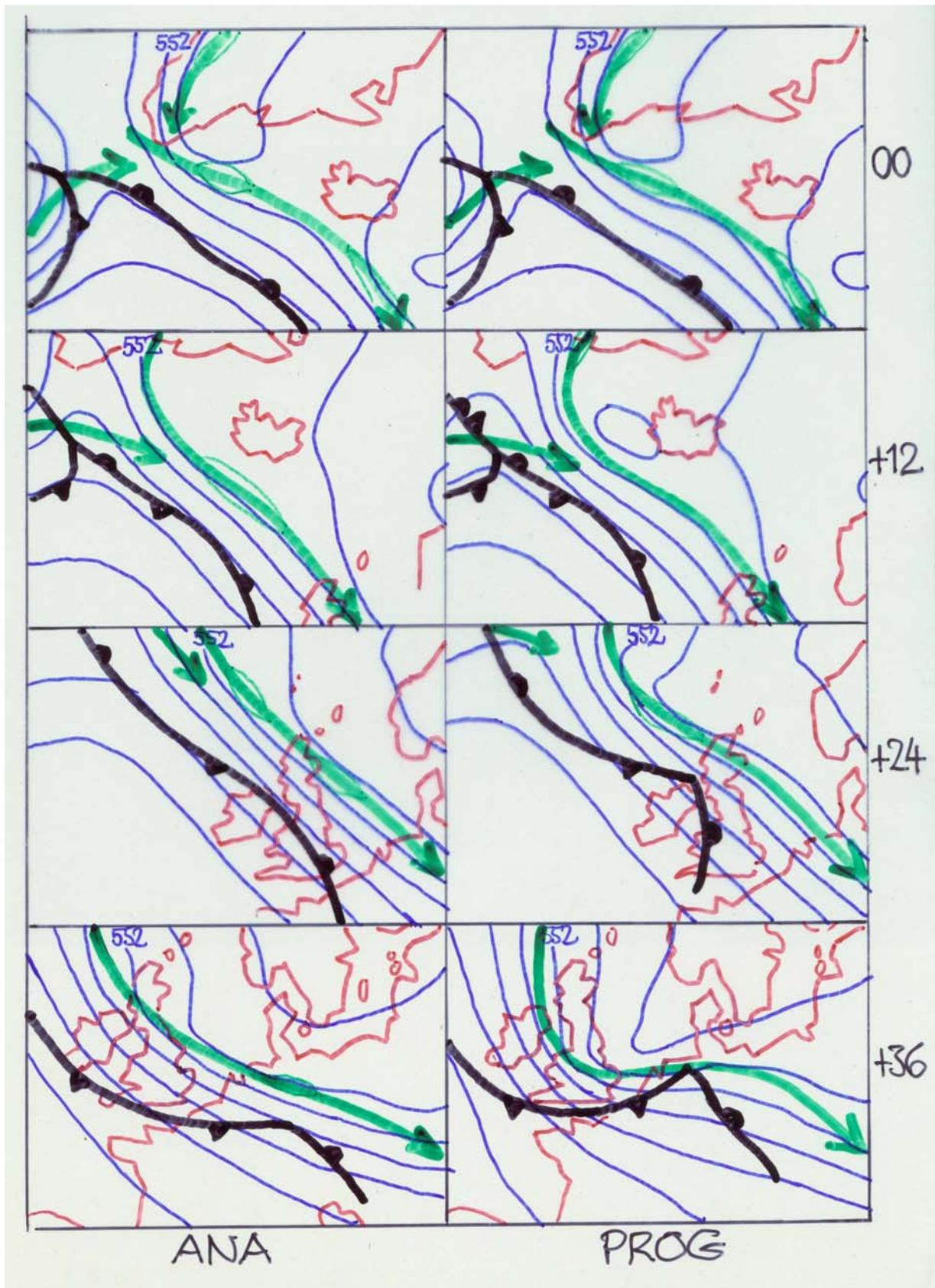


Abb.1 (b): Analysen und Vorhersagen von Geopotential 500 hPa (blau) und Verlauf der Jetachse 300 hPa (grün).

Vergleicht man die aus den Prognosen bzw. Analysen abgeleiteten Advektionsfelder von Vorticity und Schichtdicke in Abb.2, so stellt man fest, dass in der Prognose das PVA-Gebiet vorderseitig des Höhentrogs sich dem unteren WLA-Gebiet vorderseitig der Frontalwelle nähert und schließlich partiell überlagert, wie es charakteristisch für die labile barokline Welle ist. In der Analysenrealität dagegen kam es zu keiner derartigen Superposition: Das erste obere PVA-Gebiet lief nördlich an der Welle vorbei und nahm offensichtlich keinen Einfluß auf deren Entwicklung. Die untere WLA schwächte sich dabei sogar ab. Erst zuletzt findet man eine Anordnung mit wieder kräftigerer WLA vor der Welle und oberer PVA nicht weit stromauf, aus der auf eine Zyklonogenese-Tendenz geschlossen werden konnte. Tatsächlich kam es ja anschließend zu einer kurzen Intensivierung der Frontalwelle.

Betrachtet man die Vorticity-Analysen für den 22., 00 und 12 UTC, genauer, so stellt man anhand Abb.3 fest, dass zu Anfang vor dem ostwärts schwenkenden oberen Vorticity-Maximum tatsächlich ein zyklonogenetischer Effekt wirksam wurde, der sich aber nur bis 700 hPa herab auswirkte. Dort bildete sich unter dem oberen PVA- und Hebungsgebiet ein zweiteiliges Vorticity-Extrem. Da in der gleichen Zeit das bandartige Vorticitymaximum der unteren Warmfront etwas nach Norden advehiert wurde, formierte sich quer zur Strömung ein durchgehender Bereich maximierter zyklonaler Vorticity, der mit der Höhe zur kalten Luft geneigt war. Dieser Prozess vollzog sich allerdings stromauf vom Scheitel der unteren Frontalwelle und bezog diese nicht mit ein.

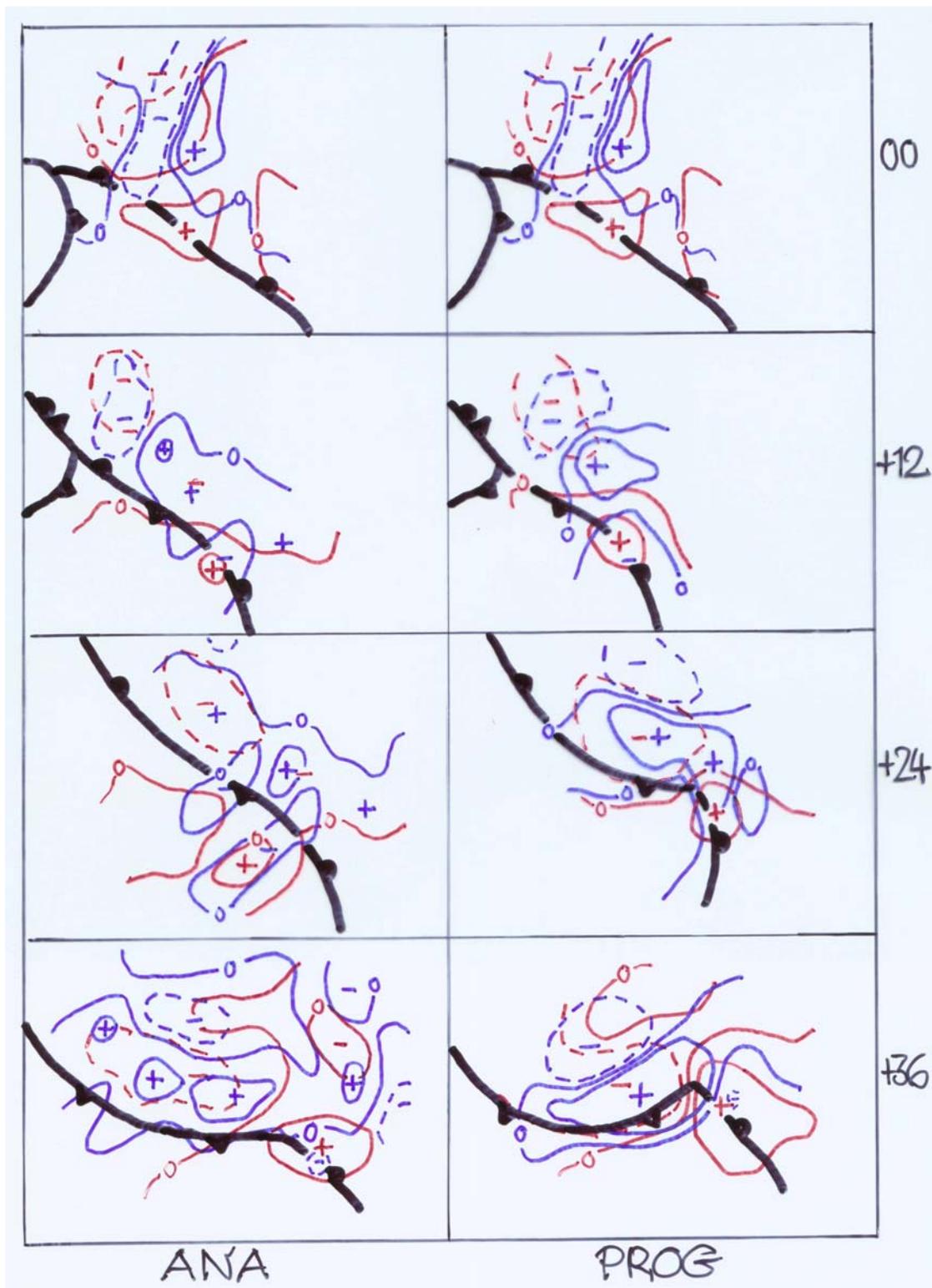


Abb.2: Analysen und Vorhersagen von Schichtdickenadvektion 500/1000 hPa (rot) und Vorticityadvektion 500 hPa (blau).

Diese Konstellation blieb während der folgenden 24 Stunden bei rascher Verlagerung ost-südostwärts weitestgehend erhalten. Auch die Beträge der Vorticity in den verschiedenen Niveaus blieben konstant. Erst zum Schluss, d.h. am 23., 12 UTC, zeigt sich zwischen 850 und 500 hPa eine leichte Rückwärtsneigung der Vorticity-Extreme, die eine gewisse Entwicklungsfähigkeit signalisiert.

Die Prognosen für den 12 UTC-Termin stimmen im großen und ganzen mit den Analysen überein, bringen allerdings bereits eine Ausweitung und leichte Intensivierung des unteren Vorticity-Maximums direkt über dem Scheitel der bodennahen Frontalwelle, die etwas weniger rasch verlagert wurde. Damit war de facto die Kopplung zwischen oben und unten bereits vollzogen und die Zyklonogenese eingeleitet. Zum 700 hPa-Vorticitymaximum ergibt sich bereits eine rückwärtige Achse schräg zur Strömung. 12 Stunden später gilt das auch bis 500 hPa hinauf, und am 23., 12 UTC wird der Idealzustand der labilen baroklinen Welle mit einer rückwärtigen Achsenneigung längs der Strömung zwischen 850 und 500 hPa erreicht. Dabei wachsen die Vorticitybeträge an – besonders stark in 850 hPa von 6 auf 15 Einheiten, in 700 hPa von ca. 8 auf ebenfalls 15 Einheiten und in 500 hPa von 16 auf ca. 20 Einheiten. Verbunden damit wurde eine deutliche Vertiefung des bodennahen Troges, in dem die Frontalwelle eingebettet war, und die Formierung eines Tiefkerns am Scheitel der Welle prognostiziert.

Diese signifikanten Unterschiede zwischen Analysenrealität und Prognose der Vorticityverteilung sind mit entsprechenden Unterschieden in den Temperaturfeldern verbunden. Betrachtet man zunächst die Relative Topographie 500/850 hPa in Abb.1, so zeigt die Analyse für den 12 UTC-Termin des 22. eine deutliche Abschwächung des markanten thermischen Trogs des Starttermins. Der Temperaturgradient der Mitteltemperatur wächst zwar anschließend etwas an, eine stärkere wellenförmige Deformation der relativen Isohypsen unterbleibt aber. Im Gegensatz dazu wurde in der Prognose sofort eine stärkere Abkühlung rückseitig der Frontalwelle angenommen und anschließend die Formierung einer kurzen Welle der Isothermen mit der warmen Aufwölbung über und vor dem Bodentief und dem thermischen Trog dicht dahinter simuliert. Bemerkenswert ist auch der immer stärker werdende difffluente Verlauf der Isothermen über das sich entwickelnde Tief hinweg.

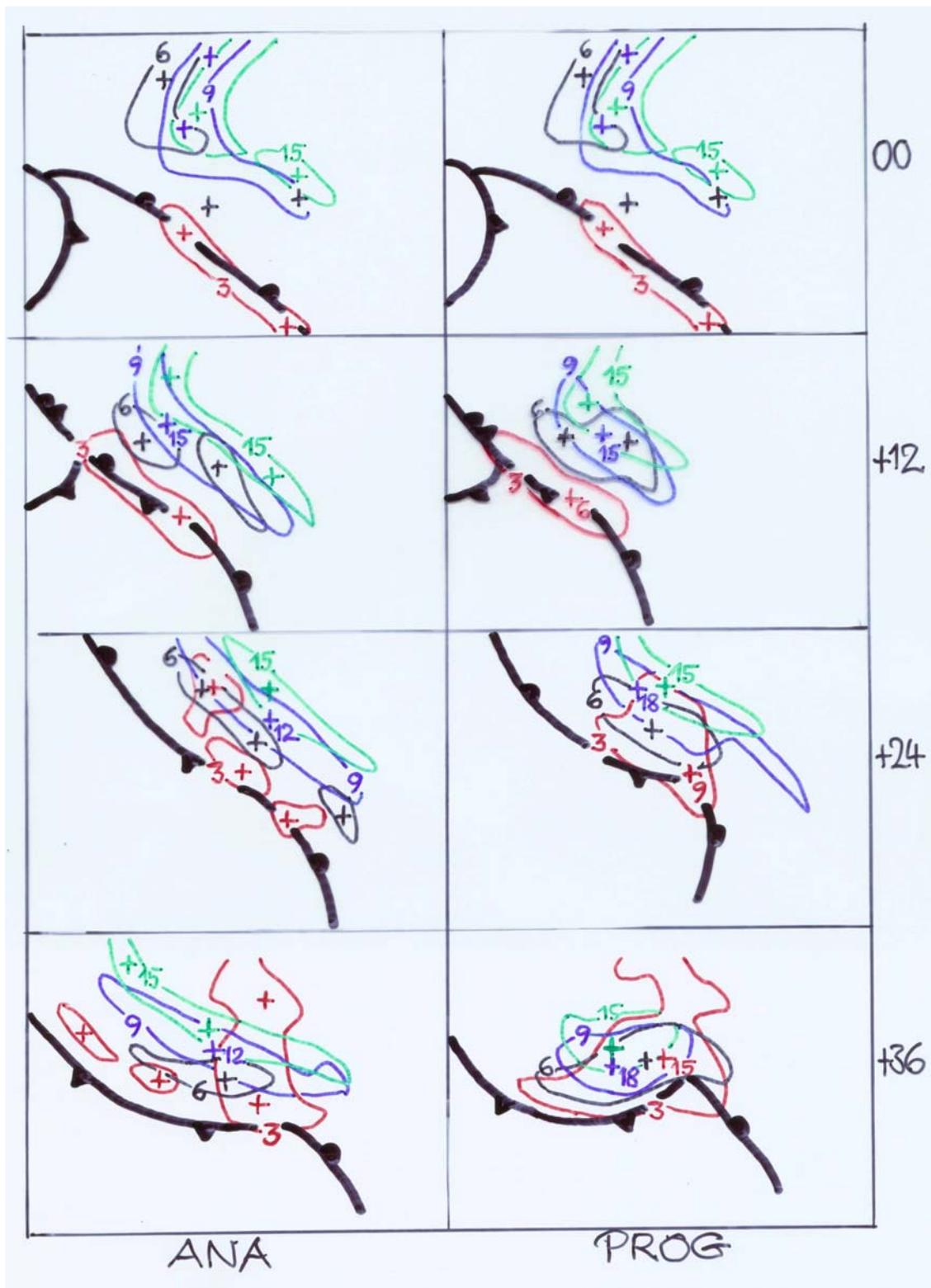


Abb.3: Analysen und Vorhersagen der Position der Vorticitymaxima in 850 hPa (rot), 700 hPa (schwarz), 500 hPa (blau) und 300 hPa (grün).

Gleiche Ergebnisse liefert der Vergleich der in Abb.4 zusammen mit der Vorticity wiedergegebenen Isothermen für das 700 hPa-Niveau. Die Analysen zeigen insgesamt keine größeren Veränderungen des Isothermen-Verlaufs relativ zur unteren Welle. Im Gegensatz dazu weisen die Prognosen eine deutliche Deformation der Frontalzone auf. Stromab des Vorticitymaximums entsteht eine warme Aufwölbung, stromauf davon eine kalte Eindellung der Isothermen. Das ist genau die thermische Voraussetzung dafür, dass die zunächst quer zur Strömung orientierte Vorticityachse eine rückwärtige Neigung aufgeprägt bekommt. Das untere Vorticitymaximum bewegt sich dabei ins Gebiet der warmen Aufwölbung der Isothermen, das obere ins Gebiet des kalten Troges. Verglichen mit den Analysen beinhalten die Prognosen für 700 hPa eine um 4K höhere Temperatur vorderseitig des Vorticitymaximums sowie eine um 8K niedrigere Temperatur dicht stromauf davon.

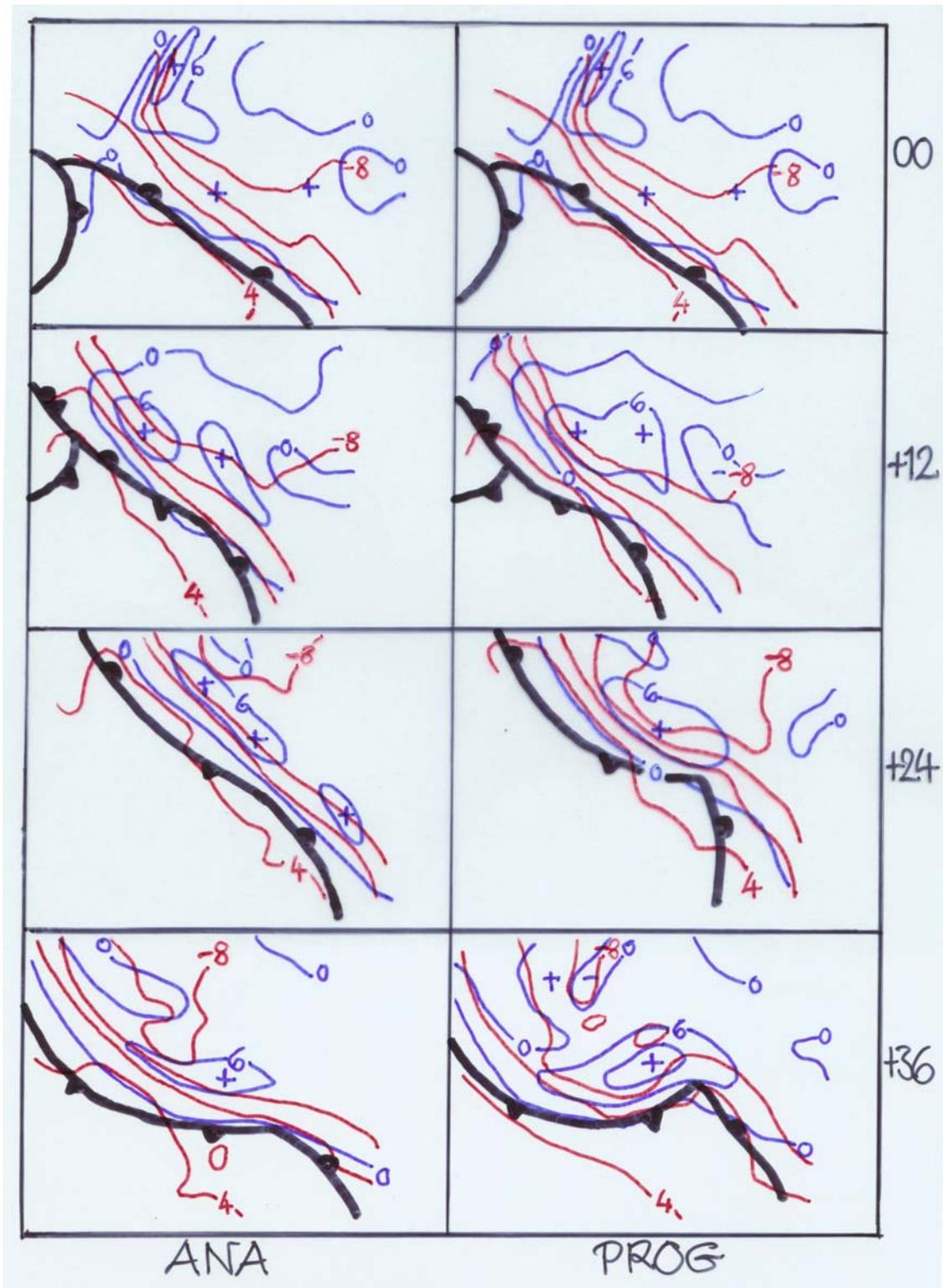


Abb.4: Analysen und Vorhersagen von Temperatur 700 hPa (rot) und Vorticity 700 hPa (blau).

Voraussetzung für die beschriebene Änderung der Achsenneigung ist bekanntlich, dass hinsichtlich der Vorticityänderung die Produktion zyklonaler Vorticity durch Konvergenz den entgegengerichteten Effekt der Vorticityadvektion relativ zur Verlagerung des Systems überwiegt. Die untere Konvergenz resultiert dabei aus Hebung vorderseitig, die obere Konvergenz aus Absinken rückseitig des Vorticitymaximums in der Mitte. Wie Abb.5 mit dem Modellomega für 700 hPa und der aus den Modellwinden abgeleiteten Divergenz für 500 und 850 hPa belegt, wurde diese Konstellation im Vorhersagelauf exakt simuliert. Im Gegensatz dazu zeigt die Analyse dieser Felder eine wesentlich schwächere Hebung und untere Konvergenz im Bereich der flachen Welle. Die signifikante Divergenz in 500 hPa über diesem Gebiet fehlt vollständig. Lediglich die über der rückseitigen Absinkzone resultierende Konvergenz in 500 hPa entspricht weitgehend der Prognose.

Für die mit der Vorticityänderung gekoppelte Änderung der Temperaturverteilung ist umgekehrt erforderlich, dass vorderseitig des Vorticitymaximums WLA und rückseitig davon KLA wirksam wird und zwar relativ zur Verlagerung, d.h. mit den Relativwinden, und dass der Effekt dieser Relativadvektion stärker ist als der entgegengerichtete Effekt der Vertikalbewegungen.

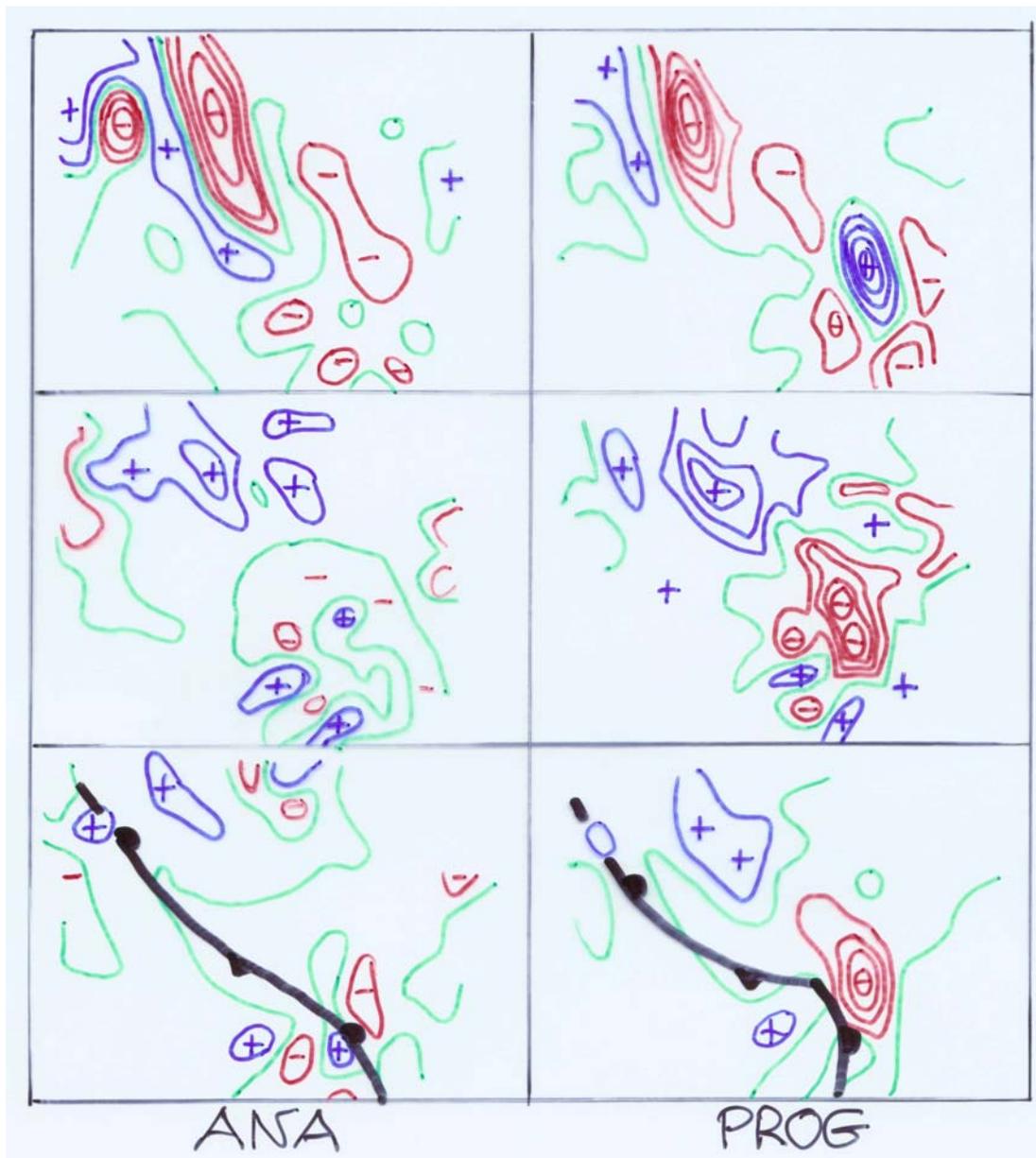


Abb.5: Analysen und Prognosen von Divergenz 500 hPa (oben), Omega 700 hPa (Mitte) und Divergenz 850 hPa (unten) für den Termin 00+24.

Um diesen Sachverhalt zu prüfen, wurden für den 23., 00 UTC die geostrophischen Relativwinde bestimmt. Zugrunde gelegt wurde dabei die Verlagerungsgeschwindigkeit des 700 hPa-Vorticitymaximums von ca. 90 km/h in ost-südöstlicher Richtung. Wie aus Abb.6 abzulesen, ergibt sich relativ dazu in den Vorhersagen in allen Niveaus KLA stromauf des Vorticitymaximums, besonders stark in 700 und 500 hPa. Die WLA mit den Relativwinden ist deutlich schwächer, aber in 700 und 500 hPa klar nachweisbar. Im Gegensatz dazu zeigt sich in den Analysen dieses Termins nur weitaus schwächere KLA, die in der mittleren Troposphäre auch vorderseitig des Vorticitymaximums wirksam ist und keinen Platz für eine advektive Erwärmung relativ zur Verlagerung lässt.

Es wurde bereits eingangs konstatiert, dass die vom Mittagstermin des 22.09. ausgehenden Vorhersagen dem wahren Wetterablauf gut entsprachen. Die Ursache für den signifikanten Unterschied zum 00 UTC-Lauf sollte also bereits aus der Differenz zwischen Prognose und Analyse für diesen Termin sichtbar werden.

Vergleicht man daraufhin die betreffenden Felder etwas genauer, stellt man in 850 hPa fest, dass in der Analyse – wie bereits oben ausgeführt – die Frontalwelle nicht nur flacher, sondern auch weiter östlich positioniert ist als in der Prognose. Auch der Trog südlich von Island ist etwas schwächer ausgeprägt. Dem entsprechen – wie bereits ausgeführt – die geringeren Beträge der Vorticity in beiden Bereichen sowie die östlichere Position des südlichen Maximums. Auch in 700, 500 und 300 hPa zeigen die Analysen einen schwächer entwickelten Trog, der in 300 hPa auch deutlich weiter stromauf zu finden ist. Die Beträge der zyklonalen Vorticity auf diesen Druckflächen sind zwar in Analyse wie Prognose etwa gleich, doch ist das vorderseitige Gefälle zu geringeren Werten in den Analysen deutlich schwächer, und das Vorticitymaximum in 300 hPa liegt natürlich auch weiter zurück.

Die Temperaturverteilung weist keine größeren Unterschiede auf, doch liegt in den Analysen für 700 und 500 hPa die Frontalzone im Bereich des Troges etwas nördlicher als in den Vorhersagen.

Entsprechend dem unterschiedlichen Vorticitygefälle ist in den Analysen die PVA vorderseitig des Troges in 500 und 300 hPa geringer, in 300 hPa überdies weiter nördlich zentriert verglichen mit den Prognosen. Und da umgekehrt die untere WLA vor der Frontalwelle in der Analyse nicht nur schwächer ist, sondern auch weiter östlich ihr Maximum aufweist, ergibt sich in der Analyse nicht die Überlappung von oberer PVA und unterer WLA, die typisch für den beginnenden Kopplungsprozess ist und in der Prognose klar angezeigt wird.

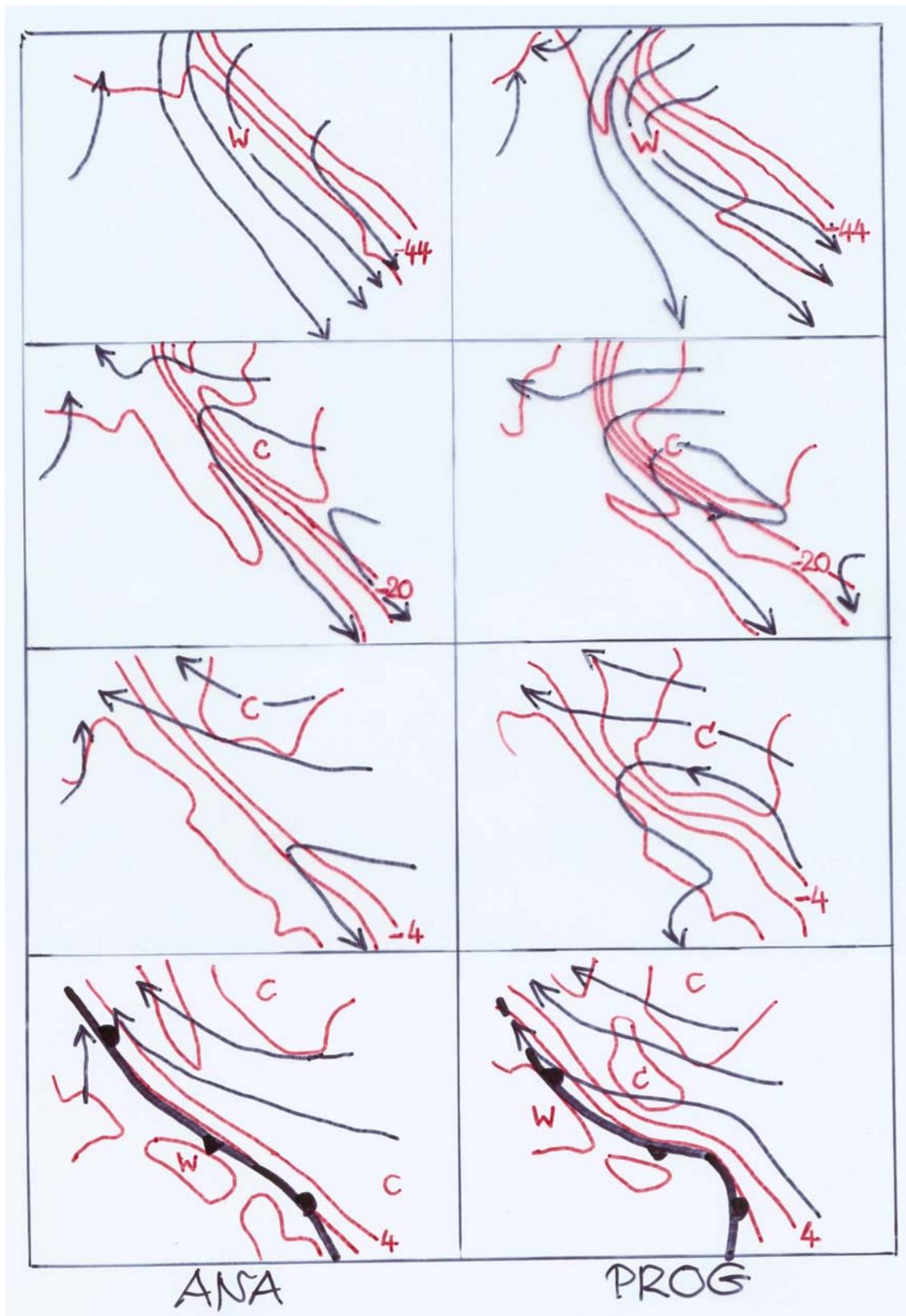


Abb.6: Analysen und Prognosen der geostrophischen Relativstromlinien in 300, 500, 700 und 850 hPa (von oben nach unten) zusammen mit der Temperatur auf den betreffenden Druckflächen (rot).

Vergleicht man mittels Abb.7 wieder die Analysen und Prognosen von Modellomega für 700 hPa und Winddivergenz 500 und 850 hPa, so ergibt sich, dass die Verteilung der Divergenz in 500 hPa fast identisch ist: man findet auf beiden Karten eine bandartige Zone mit Konvergenz, die das Vorticitymaximum auf dieser Fläche einschließt, neben einer Zone mit Divergenz, die über das untere Vorticitymaximum der Frontalwelle hinwegführt. Auch im Modellomega ergibt sich Übereinstimmung hinsichtlich der Hebungsgebiete über dem Scheitel der Frontalwelle und über dem südlichen Island, dann aber ein deutlicher Unterschied in Bezug auf das Absinken. Das ist in der Analyse relativ schwach und erreicht erst weit stromauf sein Maximum, während es in der Prognose stärker ist und nicht weit hinter der Hebungszone einsetzt. Korrespondierend dazu weist die Prognose der 850 hPa-Divergenz einen großen Bereich mit Divergenz unter dem 700 hPa-Absinkgebiet auf. Die Bereiche mit Konvergenz sind in Prognose und Analyse annähernd gleich.

Bekanntlich wird in erster Näherung Absinken durch Kaltluftadvektion mit den Relativwinden ausgelöst. Dieser Prozess wurde in der Vorhersage offensichtlich stärker simuliert als dann analysiert. Das Absinken ist aber wegen der darüber wirksamen Konvergenz wichtig für die Relativbewegung des oberen Vorticitymaximums nach rückwärts und damit für die Einleitung der Zyklonogenese., so dass die Prognose diesen Vorgang widerspiegelt, während er in Wirklichkeit nicht erfolgen konnte.

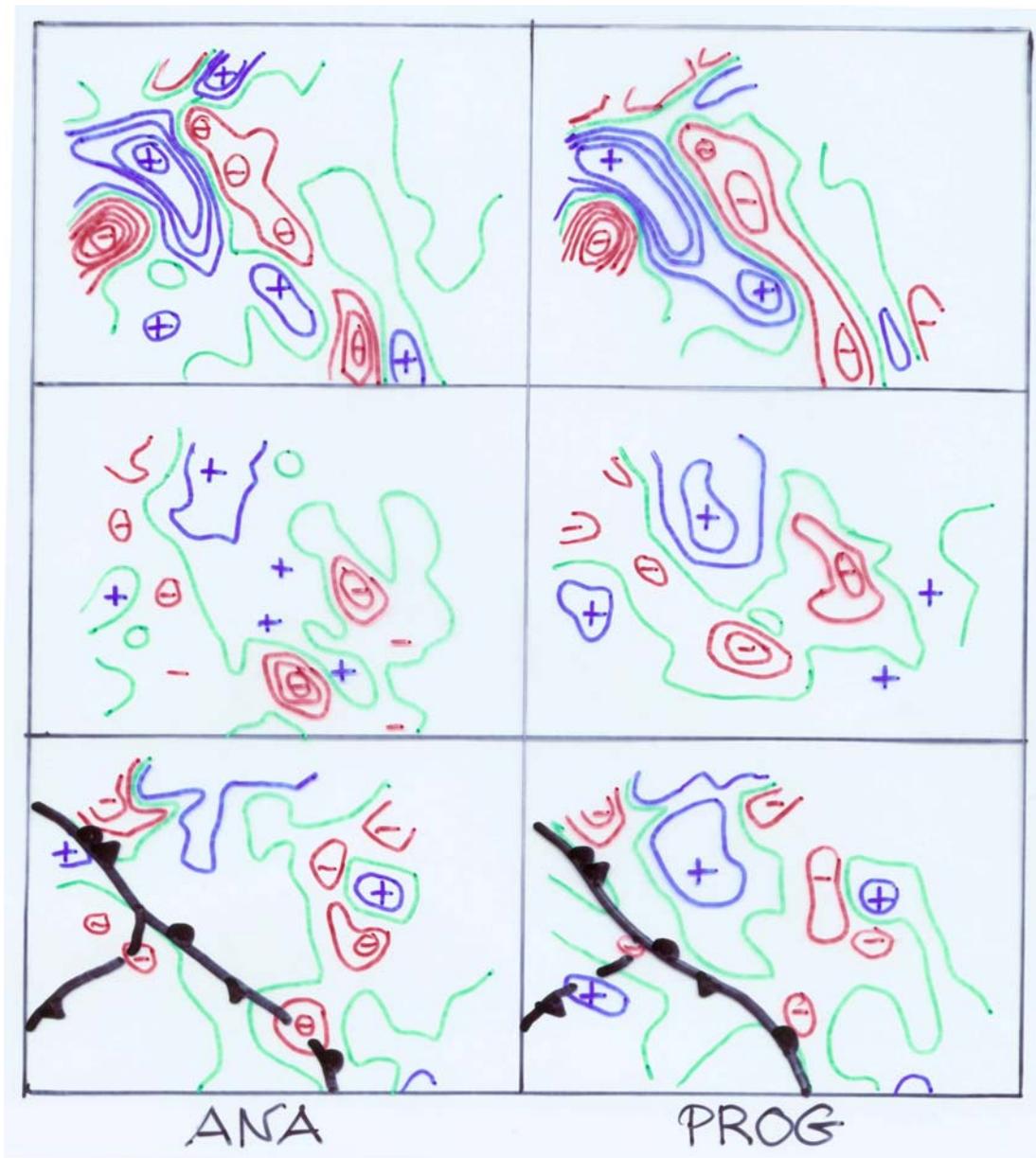


Abb.7: Analysen und Vorhersagen von Divergenz 500 hPa (oben), Omega 700 hPa (Mitte) und Divergenz 850 hPa (unten) für den Termin 00+12