

KfK 3565
Mai 1984

**Untersuchung
mesoskaliger Luftströmungen
in der Umgebung des
Kernforschungszentrums
Karlsruhe
mit radarverfolgten Tetroons**

S. Vogt, P. Thomas
Hauptabteilung Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Hauptabteilung Sicherheit

KfK 3565

Untersuchung mesoskaliger Luftströmungen in der
Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe
mit radarverfolgten Tetroons

von

S. Vogt, P. Thomas

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Im Oberrheingraben in der Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe wurden in den Jahren 1978, 1980 und 1982 19 Tetroons mit Radar verfolgt. Die mittleren Flughöhen der Tetroons lagen zwischen 300 m und 1000 m, die maximale Verfolgungreichweite betrug 83 km. Teilweise trugen die Tetroons Transponder. Während der Meßkampagnen standen weitere meteorologische Daten vom 200 m hohen Mast des Kernforschungszentrums, von einem Dopplersodar und von Struktursonden zur Verfügung.

Aus den Meßwerten des Radar werden die Trajektorien der Tetroons berechnet und als Profile und im Grundriß dargestellt. Die gemessenen Trajektorien werden mit berechneten Trajektorien verglichen. Diese basieren auf verschiedenen Modellen und verschiedenen ortsfest gemessenen meteorologischen Daten. Aus den Trajektorien werden horizontale Ausbreitungsparameter berechnet und mit Ergebnissen eigener Tracerexperimente verglichen.

Investigation of Meso-scale Atmospheric Transport Phenomena in the Environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center by Use of Radar-tracked Tetroons

Abstract

In the Upper Rhine Valley near the Karlsruhe Nuclear Research Center 19 tetroons were tracked by radar during the years 1978, 1980 and 1982. The mean flight levels of the tetroons varied between 300 m and 1000 m, the maximum range of tracking extended up to 83 km. Some of the tetroons had been equipped with transponders. During the measuring campaigns additional meteorological data were supplied by the 200 m high meteorological tower erected on the site of the Nuclear Research Center, by a Doppler sodar and by radiosondes.

II

The measured values received from the radar are used to calculate the trajectories of the tetroons. They are represented as profiles and in horizontal projections. The measured trajectories are compared with calculated ones. The latter have been derived from various models and a number of meteorological data measured at fixed locations. The trajectories are the basis for calculating horizontal dispersion parameters which are compared with results of own tracer experiments.

Inhaltsverzeichnis

	Seiten
1. Einleitung	1
2. Versuchstechnik	1
2.1 Tetroon	1
2.2 Einstellung der Sollflughöhe des Tetroon	2
2.3 <u>M</u> obiles- <u>B</u> allon- <u>V</u> erfolgungs- <u>R</u> adar MBVR-120	3
2.4 Transponder	4
3. Standort	5
4. Meteorologische Messungen	6
5. Tetroonflüge	8
5.1 Flüge im Jahr 1978	8
5.2 Flüge im Jahr 1980	9
5.3 Flüge im Jahr 1982	9
6. Auswertung	10
6.1 Lagebestimmung in einem rechtwinkligen Koordinatensystem	10
6.2 Trajektoriendarstellung	11
6.3 Horizontaler Ausbreitungsparameter	12
6.4 Vergleich von Tetroontrajektorien und ortsfesten Windmessungen	14
6.5 Windfeld	16
6.6 Vergleich von Tetroontrajektorien mit den Ergebnissen eines 2D-Strömungsmodells	19
7. Zukünftige Aufgaben	21
8. Literaturverzeichnis	24

1. Einleitung

Am Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) wird seit 1970 die Ausbreitung luftgetragener Schadstoffe untersucht. Dazu werden Rechenmodelle entwickelt und durch Messungen mittels festen und beweglichen Bodenstationen die für die Modelle relevanten Parameter ermittelt. Die Arbeiten bezogen sich zunächst auf atmosphärische Ausbreitungsrechnungen bis ca. 20 km Quellentfernung zur Ermittlung der Umgebungsbelastung aufgrund der radioaktiven Emissionen des KfK. Später wurde im Projekt Nukleare Sicherheit die Deutsche Risikostudie für Leichtwasserreaktoren erstellt. Dazu gehören atmosphärische Ausbreitungsrechnungen bis einige 100 km Quellentfernung. In Zukunft ist geplant, im Rahmen des Klimaforschungsprogramms atmosphärische Ausbreitungs- und Austauschprozesse zu untersuchen und anthropogene Auswirkungen auf das regionale Klima abzuschätzen.

Die am KfK dazu betriebenen Geräte und durchgeführten Messungen sind der 200 m hohe meteorologische Mast, Tracerexperimente und zwei Dopplersodare. Seit 1978 werden Tetroons mit Radar verfolgt. Die Flugbahnen (Trajektorien) der Tetroons geben Aufschluß über Turbulenz- und Strömungsverhältnisse in der atmosphärischen Grenzschicht bis zu Entfernungen von 100 km. Die Trajektorien entsprechen, im Gegensatz zu ortsfesten meteorologischen Messungen, einer Lagrangeschen Betrachtungsweise. Darauf beruhen mesoskalige Ausbreitungsmodelle, die die Bewegungen einzelner Luftpakete beschreiben.

Im Rheingraben wurden ähnliche Experimente mit Tetroons am Kaiserstuhl /JU83/, sowie am Hochrhein /EK81/ durchgeführt. Die erzielten Reichweiten blieben bei beiden Meßkampagnen infolge der Topographie und der Versuchstechnik meist deutlich unter 20 km.

2. Versuchstechnik

2.1 Tetroon

Als Ballone werden sog. Tetroons (tetrahedral balloons) benutzt (s. Abb. 1). Sie sind, wie ihr Name sagt, tetraederförmig, aus roter 51 µm dicker Polyesterfolie gefertigt, haben ein Gewicht

von 470 g und ein Volumen von 1 m³. Im Gegensatz zu einem Wetterballon bläht sich der Tetroon beim Aufstieg nicht auf; die Polyesterfolie dehnt sich nicht. Der Tetroon steigt auf, bis sein Gewicht gleich seinem Auftrieb ist, und er auf Flächen gleicher Luftdichte (constant level) schwebt.

Um die Verfolgung durch ein Radar zu erleichtern, hängt ein Reflektor am Tetroon. Der Reflektor besteht aus Holzstangen und aus Papier, das mit Aluminium beschichtet ist. Er wiegt ca. 380 g (s. Abb. 1).

2.2 Einstellung der Sollflughöhe des Tetroon

Der Tetroon wird mit Helium gefüllt. Aus den Dichten ρ von Luft (L) und Füllgas (G) wird der Auftrieb

$$A = (\rho_L - \rho_G) V \quad (1)$$

errechnet. Mit dem Volumen des Tetroon $V = 1 \text{ m}^3$ und $\rho_L = 1,2928 \text{ g/l}$ und $\rho_G = 0,1785 \text{ g/l}$ ergibt sich:

$$A = 300 \frac{p}{T} \text{ in g.} \quad (2)$$

Der Luftdruck p ist dabei in die Gleichung (2) in mb, die Temperatur in K einzusetzen. Liegen Druck und Temperatur in der Sollflughöhe nicht vor, so können sie aus den Bodenwerten folgendermaßen abgeschätzt werden:

$$\begin{aligned} \text{Druckabnahme } \Delta p &= 12,5 \text{ mb/100 m bei } 15 \text{ }^\circ\text{C,} \\ \Delta p &= 11,4 \text{ mb/100 m bei } 30 \text{ }^\circ\text{C.} \end{aligned}$$

Temperaturabnahme

$$\begin{aligned} \text{bei adiabatischer Schichtung } \Delta T &= 0,5-0,9 \text{ K/100 m,} \\ \text{bei überadiabatischer Schichtung } \Delta T &\gtrsim 1,0 \text{ K/100 m.} \end{aligned}$$

Ein Tetroon steigt nur so lange in die Höhe, bis das Gewicht der verdrängten Luft gleich dem Gesamtgewicht des Tetroongespannes ist.

In der Sollflughöhe gilt:

$$\rho_L \cdot V = \rho_G \cdot V + \text{Masse von (Tetroonhülle + Reflektor + Ballast)} \quad (3)$$

Aus Gleichung (3) wird der Ballast für die gewünschte Sollflughöhe berechnet.

Bei geringen bis mäßigen Winden kann der Tetroon durch Schweben am Boden sehr genau austariert werden:

- Die Druck- und Temperaturverhältnisse am Startplatz bzw. in der Sollflughöhe Z bestimmen den Auftrieb am Boden A_0 bzw. in der Sollflughöhe A_Z .
- Aus der Differenz zwischen Auftrieb am Boden und in Flughöhe wird das Tariergewicht $A_0 - A_Z$ errechnet. Pro 100 m Flughöhe beträgt das Tariergewicht ca. 10 g.
- Das Tetroongespann (Tetroon + Reflektor + Tariergewicht) wird solange mit Ballast beschwert, bis das Gespann schwebt. Dabei ist es vorteilhaft, während des Austarierens den sperrigen Reflektor durch entsprechende Gewichtssätze zu ersetzen. So wird die Angriffsfläche für Auf- oder Abwinde verkleinert und das Risiko wird verringert, ein Tetroongespann durch Aufprall am Erdboden zu beschädigen.
- Vor dem Start wird das Tariergewicht entfernt. Der nun vorhandene Auftrieb erlaubt dem Tetroon, bis zur Sollflughöhe aufzusteigen.

2.3 Mobiles-Ballon-Verfolgungs-Radar MBVR-120

Bei der Radaranlage handelt es sich um das MBVR-120 des Geophysikalischen Meßzuges in Neuhausen o. E. (s. Abb. 1). Die Eigenschaften der Anlage sind in Tab. 1 zusammengestellt. Für die Verfolgung eines Tetroon-Reflektor-Gespannes wird die

MBVR-120-Anlage im Betriebsmode eines Primärradar betrieben. Die Anlage sendet Radarimpulse aus und empfängt das Oberflächen-echo des passiven Reflektors, das es für die automatische Verfolgung verarbeitet. Dazu wird eine Zwischenfrequenz von 30 MHz mit Hilfe eines Lokaloszillators erzeugt.

Bei der automatischen Verfolgung der Tetroons liefert das MBVR-120 folgende Bahndaten mit den angegebenen Genauigkeiten:

Zeit nach Tetroonstart,
Schrägentfernung zwischen Radar und Tetroon, ± 10 m,
Elevation, $\pm 0,01^\circ$,
Azimut, $\pm 0,01^\circ$.

Der Abfragerhythmus der Bahndaten beträgt wahlweise 2 s, 5 s, 10 s, 20 s, 60 s, 120 s. Die Daten liegen im BCD-Code vor und werden digital angezeigt und auf Papierstreifen gedruckt. Beim Ausdruck auf Papierstreifen werden Elevation und Azimut allerdings nur auf $1/10^\circ$ angegeben. Die $1/100^\circ$ werden ohne Rundung unterdrückt.

2.4 Transponder

Um störende Bodenechos auszuschalten und die Reichweite des Radar zu erhöhen, werden die passiven Reflektoren durch Transponder (Transmitter - Responder) ersetzt. Dazu wird das Radar im Sekundärmode betrieben: Der Transponder empfängt den Sendeimpuls des Radar und antwortet nach einem definierten Verzögerungsintervall mit einem Signal, das um ΔF neben der Radarfrequenz liegt (s. Abb. 3). Der Empfängerzug des Radar muß den geänderten Frequenzverhältnissen angepaßt werden. Dazu wird der Lokaloszillator des Radar mechanisch und elektrisch verstimmt, um wieder die für die automatische Verfolgung nötige Zwischenfrequenz ZF (s. Abb. 3) zu erzeugen. Nach dieser Frequenzverstimmung diskriminiert das Radar die störenden Bodenechos.

Die Transponder entwickelte die Firma Elektro Spezial, der Hersteller des MBVR-120. Die erste Vorserie der Transponder wurde zwischen dem 16. und 18. Juli 1979 erfolgreich getestet /TH80/. Dabei zeigten die Transponder allerdings noch Mängel. Außerdem wollte die Firma Elektro-Spezial mit dem bisher verfolgten Konzept aus Kostengründen nicht in die Hauptserie gehen. Elektro-Spezial erhielt deshalb den Auftrag zur Herstellung einer zweiten Vorserie.

Die technischen Daten der neuen Serie sind in Tab. 1 zusammengestellt. In einigen Eigenschaften differieren die Transponder geringfügig von Stück zu Stück, wie Tab. 2 zeigt.

Die Abb. 2 zeigt einen Transponder mit den beiden Radoms und der Aufhängung. Um den Batteriesatz der Transponder zu schonen, werden die Batterien nur während des Tests und erst kurz vor dem Start über einen Stecker angeschlossen. Dazu muß das mit Kreuzschlitzschrauben befestigte obere Radom entfernt werden.

Die Abnahmeversuche der neuen Serie wurden in /TH81/ beschrieben. Dabei verfolgte das auf dem Witthoh bei Tuttlingen stehende MBVR-120 einen Transponder über 8 h lang bis zu einer Entfernung von 94 km.

3. Standort

Das Kernforschungszentrum (110 m ü. NN) liegt im Oberrheingraben etwa 10 km nördlich von Karlsruhe (s. Abb. 4). Die Rheinebene ist hier ca. 40 km breit. Sie wird im Osten durch die bis zu 250 m hohen Hängen des Kraichgau und im Westen durch den bis zu 600 m hohen Pfälzer Wald begrenzt.

An den Kraichgau schließen sich im Norden der Odenwald, im Süden der Schwarzwald an. Der Übergang vom Kraichgau zum Odenwald entspricht einer Geländestufe von 100 m bis 250 m Höhe, der Übergang in den Schwarzwald findet allmählich bis über 1000 m statt.

Die Achse des Rheintales verläuft auf der Höhe des KfK von SW (215°) nach NO (35°). Auf der Höhe Mannheim/Ludwigshafen hat sie einen S-N-Verlauf ($190^\circ - 10^\circ$).

Aufgrund von Erfahrungen bei früheren Meßkampagnen stellten wir das Radar höher als die Umgebung auf. Das gewährleistet eine lange Verfolgung. Unbewaldete Bergkuppen oder Hügel sind daher ideale Standorte. Leider gibt es keine derartigen Standorte im Versuchsgebiet, die bei allen Windrichtungen eine ungestörte Radarverfolgung erlauben.

Auf der rechtsrheinischen Seite wurden drei Standorte ausgesucht, die sich hinsichtlich freier Sicht ergänzen. In Tab. 3 sind geographische Lage, sowie Angaben über die freie Sicht aufgelistet. Der Standort "Sportplatz bei Friedrichstal" befindet sich mitten in der Rheinebene und ist kein freier Hügel. Der Standort wurde speziell für den Flug am 25.4.1978 ausgewählt, da gleichzeitig ein Tracer-Ausbreitungsexperiment am KfK durchgeführt wurde. Auch ein linksrheinischer Radarstandort wurde gesucht. Er liegt etwa 10 km östlich von Bad Bergzabern und ist bei Winden mit einer westlichen Komponente nahezu ideal. Außerdem ist unter einem Azimut von 89° in etwa 21 km Entfernung der Meßmast des KfK bei günstigem Wetter zu sehen.

4. Meteorologische Messungen

Am KfK werden ein 200 m hoher meteorologischer Mast /H083/ und ein monostatisches, aus drei Antennen bestehendes Dopplersodar kontinuierlich betrieben. Neben den Vertikalprofilen der Windgeschwindigkeit, der Windrichtung, der Lufttemperatur, des Taupunkts und der Turbulenz mittels Vektorfahnen werden Niederschlag, Luftdruck und Strahlung als 10minütige Meßwerte erfaßt, kontrolliert und gespeichert.

In den Tabn. 5 bis 11 sind die wichtigsten, während der Flüge am KfK gemessenen meteorologischen Daten, aufgelistet. In der Kopfzeile der Tabellen stehen die Zeiten, zu denen die Erfassung der 10-min-Mittelwerte der meteorologischen Daten abgeschlossen ist. In den nächsten Zeilen werden die Windrichtungen und die Windgeschwindigkeiten in den Höhen 40 m, 60 m, 100 m, 160 m und 200 m angegeben. Die Schwankungsbreite der horizontalen und vertikalen Windrichtungsfluktuationen werden in 40 m, 100 m und 160 m Höhe mit Vektorfahnen gemessen. Bei der Bestimmung der Schwankungsbreite beträgt die Sammelzeit 180 s und die Mittelungszeit 15 min. Die Schwankungsbreite der horizontalen Windrichtungsfluktuation einer Schwertwindfahne (Typ 1466 H der Firma Lamprecht), der Temperaturgradient, ermittelt aus den Temperaturwerten in 30 m und 100 m Höhe und die Strahlungsbilanz liefern weitere Informationen über den Turbulenzzustand der Atmosphäre während des Versuchs.

In den letzten vier Zeilen werden nach verschiedenen Schemata /NE80/ ermittelte Ausbreitungskategorien angegeben, die während der einzelnen Sammelperioden herrschten: Das erste Schema verwendet die Vertikalfluktuation der Vektorfahne in 100 m Höhe, das zweite Schema die Horizontalfluktuation der Schwertwindfahne. Dem dritten Schema liegt der Temperaturgradient (30/100 m) und die Windgeschwindigkeit in 40 m zugrunde. Die synoptischen Beobachtungen der Wolkenhöhe und Wolkenart, sowie der Windgeschwindigkeit legen die Kategorie im letzten Schema fest /MA75/.

Da die Schemata in der Bestimmung der Kategorien um eine Stufe differieren können, es andererseits aber erwünscht ist, eine einheitliche Ausbreitungskategorie festzulegen, erfolgt die entgeltige Bestimmung der Kategorien in der Rangordnung der Tabelle. Die Vertikalfluktuation der Vektorfahne gibt somit die gültige Ausbreitungskategorie an. Bei Ausfall der Vektorfahne kommt das zweite Schema zur Anwendung, u. s. w.

5. Tetroonflüge

5.1 Flüge im Jahr 1978

Vom 25. bis 27. April 1978 wurden sieben Flüge durchgeführt. Alle Tetroons waren mit passiven Reflektoren ausgerüstet. Der Standort des Radar und der Startplatz der Tetroons mußte täglich neu festgelegt werden, da die mittlere Windrichtung während der Versuchstage von NO auf SW drehte. Am 25. April 1978 mußte nach dem ersten Flug der Standort gewechselt werden. In Tab. 4 sind einige Angaben zu den Flügen zusammengefaßt. Den Abbn. 5 bis 7 kann die großräumige Wetterentwicklung während der Flugtage entnommen werden. Die Abbildungen a) stellen die Bodenwetterkarten dar, während die Abbildungen b) die Lage der 850-mb-Druckfläche zeigen. Diese entspricht den Druckverhältnissen in etwa 1600 m Höhe. Der Beobachtungstermin aller Bodenwetterkarten ist 12.00 GMT $\hat{=}$ 13.00 MEZ des jeweiligen Tages, die der Höhenwetterkarten um 00.00 GMT $\hat{=}$ 01.00 MEZ.

Am 25. April 1978 erstreckte sich über dem Versuchsgebiet eine Tiefdruckrinne in west-östlicher Richtung. Nachmittags wurde mit einem Temperaturgradienten von bis zu 1,3 K/100 m eine sehr labile Schichtung am KfK registriert. Eine eingelagerte Kaltfront bewegte sich am späten Nachmittag von Norden nach Süden und überquerte, verbunden mit einem Gewitter, kurz vor Start des Tetroon BR7802 das Versuchsgebiet. Am 26. April 1978 fiel der Luftdruck über Frankreich. Damit kam das Versuchsgebiet in den Einflußbereich östlicher Winde. Vormittags war es heiter, die am KfK bestimmte Ausbreitungskategorie war leicht labil. Zum 27. April 1978 bildete sich ein flaches Tiefdruckgebiet über dem ostbayrischen Raum aus. Im Versuchsgebiet kam es zu SW-Winden. Die Ausbreitungskategorie wurde am KfK mit A bis C bestimmt.

In den Tabn. 5 bis 6 sind die wichtigsten während dieser Flüge am KfK gemessenen meteorologischen Daten zusammengestellt.

5.2 Flüge im Jahr 1980

Bei dieser Meßkampagne wurden fünf Flüge an einem Tag durchgeführt (s. Tab. 4). Gestartet wurden alle Tetroons vom Galgenberg bei Minfeld (s. Tab. 3). Dieser Standort befindet sich etwa 21 km westlich des KfK. Zwar ist der Galgenberg nur 20 - 40 m höher als das umliegende Gelände, doch ist die Sicht mit Ausnahme in Richtung Pfälzer Wald nahezu frei.

Die Wetterlage kann der Abb. 8 entnommen werden. Ein ausgeprägtes Tiefdruckgebiet mit Kern zwischen Island und Mittelnorwegen führte in unserem Gebiet zu starken SW-Winden. Die Schichtung der Atmosphäre war neutral. In der Tab. 7 sind die wichtigsten während der Flüge gemessenen meteorologischen Daten aufgelistet.

5.3 Flüge im Jahr 1982

Die umfangreichste Meßkampagne fand Mitte Mai 1982 statt. Begleitend zu diesen Flügen sollte ein Tracerexperiment mit Sammelstellen bis zu 50 km Quellentfernung durchgeführt werden /NE83/. Aufgrund des Wetters während der ersten Versuchstage wurde dieses mesoskalige Tracerexperiment jedoch abgesetzt.

Alle Tetroons waren mit Transpondern ausgerüstet, die erzielten Verfolgungsweiten waren entsprechend groß (s. Tab. 4). So beträgt das Minimum 42 km, das Mittel 58 km und das Maximum 83 km. Fünf Transponder wurden nach der Landung gefunden und an das KfK zurückgesandt. Der Tetroon BR8203 flog bis vor die Westküste Schottlands und legte damit eine Flugstrecke von mindestens 1600 km zurück.

Den Wetterkarten in den Abbn. 9 bis 11 und den Tabn. 9 bis 11 ist zu entnehmen, daß an allen drei Flugtagen eine labile Schichtung herrschte. Am 12. und 13. Mai 1982 herrschten östliche Winde vor, so daß alle Flüge vom Standort Eisenhut bei Bruchsal gestartet und verfolgt wurden. Am 17. Mai 1982 stand das Radar am Galgenberg bei Minfeld da nun SW-Winde vorherrschten.

Die Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe (LfU) ließ während dieser Meßkampagne Radiosonden aufsteigen. Insgesamt wurden 18 Sonden vom Typ PTT'E 074 der Firma Sprenger gestartet. Dieser Sontentyp erlaubt die Ermittlung des Temperatur- Feuchte- und Windprofils. Die Position der Sonde wurde durch Einfachanschnitt eines Theodoliten und einer mittleren Steiggeschwindigkeit von 1,6 m/s bestimmt. Der Tab. 8 sind die Aufstiegszeiten sowie Gipfelhöhen zu entnehmen. Vier Sonden konnten wegen technischer Mängel oder frühzeitiger Unterbrechung der Funkverbindung nicht ausgewertet werden. Damit ergibt sich eine Aufstiegsfrequenz von 4 ÷ 5 Sonden pro Tag. Die Meßdaten der Sonden Nr. 3 bis 14 ergänzen die Meßdaten des Mastes des KfK und erlauben detaillierte Aussagen über die Schichtungsverhältnisse in der Grenzschicht während dieser Meßkampagne.

6. Auswertung

6.1 Lagebestimmung in einem rechtwinkligen Koordinatensystem

Aus den Radardaten (Schrägentfernung s , Elevation ϕ , Azimut α) wird die Lage des Tetroon zu jedem Zeitschritt in x , y , z -Koordinaten berechnet. Dieses rechtwinklige Koordinatensystem ist mit der x -Achse in West-Ost-Richtung orientiert. Der Koordinatenursprung fällt mit dem Radarstandort zusammen.

$$x = s \cdot \cos \phi \sin \alpha \quad (4)$$

$$y = s \cdot \cos \phi \cos \alpha \quad (5)$$

$$h = s \cdot \sin \phi \quad (6)$$

Bei Berücksichtigung der Erdkrümmung ist die wahre Höhe Z des Tetroons:

$$Z = h + \frac{s^2}{2R} \quad (7)$$

R (= 6378 km) ist der Erdradius.

Bei Flügen über sehr lange Distanzen (> 50 km) wird der Einfluß der Brechung des Radarstrahls auf die wahre Höhe des Tetroon immer stärker. Wie jede elektromagnetische Welle breitet sich die Radarwelle nur im luftleeren Raum geradlinig aus. Durch Änderung des Brechungsindex in Abhängigkeit von Temperatur, Feuchte und Dichte der Luft mit der Höhe wird der Verlauf des Radarstrahls in einer realen Atmosphäre gekrümmt. Wegen der Nichtkenntnis obiger Parameter entlang des Radarstrahls kann die Brechung nur pauschal korrigiert werden /SC62/. Anstelle des Erdradius R wird deshalb ein Äquivalentradius von $\frac{4}{3} R$ in der Formel (7) angewandt. Von der Atmosphäre wird dann angenommen, daß sich die Wellen geradlinig fortpflanzen. In Tab. 12 sind die Korrekturen für die Höhe des Tetroon über dem Radarstandort für verschiedene Entfernungen angegeben.

6.2 Trajektoriendarstellung

Die Trajektorien aller Flüge werden in drei verschiedenen Darstellungsformen in den Abbn. 12 bis 23 gezeigt. Sofern die Übersichtlichkeit nicht beeinträchtigt ist, werden mehrere Flüge zusammengefaßt dargestellt. Dies kann alle Flüge einer Meßkampagne oder alle Flüge an einem Tag betreffen.

Die erste Darstellungsform (s. Abbn. 12, 15, 18 und 19) zeigt die Projektion der Flugbahn auf die x, y -Ebene. Dabei zeigt die pos. x -Achse nach Osten und die pos. y -Achse nach Norden. Den Trajektorien der Jahre 1978 und 1980 ist eine topographische Karte unterlegt, die Flüge des Jahres 1982 sind in eine vereinfachte Landkarte projiziert.

Die Abbn. 13, 16 und 20 zeigen das Höhenprofil in Abhängigkeit der Flugzeit bzw. Flugstrecke. Dabei sind Erdkrümmung sowie Brechung des Radarstrahls berücksichtigt.

Die dritte Darstellungsart (s. Abbn. 14, 17, 21 und 22) zeigt die Bewegung der Tetroons in einer z, y' -Ebene. y' ist dabei

rechtwinklig zur mittleren Flugrichtung des einzelnen Tetroon orientiert (s. Tab. 4). Blickt man in Flugrichtung, so bewegt sich der Tetroon bei einer positiven bzw. negativen Abweichung rechts bzw. links von der mittleren Flugrichtung. Die Abstände der Markierungskreise an den Flugbahnen entsprechen 5 min Flugzeit; die Bewegungsrichtung ist durch Pfeile angezeigt.

Die Darstellung des Fluges BR7801 (s. Abb. 14) zeigt nicht den Nullpunkt der Abszisse. Dieser Tetroon wurde erst 27 min nach dem Start vom Radar erfaßt; daher beginnt die Trajektorie mit einer seitlichen Abweichung von 1,4 km. Ähnliches gilt für BR7805, der erst nach 9 min erfaßt wurde. Auffällig sind die vielen schleifenförmigen Bewegungen des Tetroon BR7801. In seinem Trajektorienverlauf spiegelt sich sehr anschaulich die labile Schichtung mit stark ausgeprägter konvektiver Turbulenz wieder. Viel gleichförmiger ist dagegen der Flug des Tetroon BR7802 mit allerdings großen seitlichen Abweichungen. Neutrale zu stabil übergehende Schichtung sowie eine gleichförmige Windrichtungsänderung über nahezu 90° sind dafür die Gründe (s. Tab. 5).

Die Flüge am 8. Oktober 1980 (s. Abb. 17) zeigen im Mittel geringere seitliche Abweichungen und mit Ausnahme von MI8001 auch keine Schleifen. Dies liegt an der an diesem Tag herrschenden neutralen Schichtung. Die schleifenförmige Bewegung des Tetroon MI8001 nach etwa 15 Flugminuten ist bedingt durch die niedrige Flughöhe und die mechanisch induzierte Turbulenz beim Überfliegen der Orte Rheinzabern und Kuhardt sowie der Auwälder am Rhein.

Die Flüge im Mai 1982 (s. Abbn. 21 bis 23) zeichnen sich mit Ausnahme des ersten Fluges (BR8201) durch ausgeprägte Schleifenbildung aus. Dies weist wieder auf die labilen Schichtungsverhältnisse.

6.3 Horizontaler Ausbreitungsparameter

Aus den Trajektorien zeitlich nacheinander gestarteter Tetroons ist es möglich, den horizontalen Ausbreitungsparameter σ_y zu bestimmen /SL68/. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Trajektorien in einem Schnitt quer zur Flugrichtung normal verteilt sind. Die wichtigste Voraussetzung ist, daß vom Start des ersten bis zum

Verfolgungsende des N-ten Tetroon keine Windrichtungsdrehungen sondern nur Windrichtungsschwankungen auftreten. Es gilt allgemein:

$$\sigma_y^2(x) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i(x) - \bar{y}(x))^2 / (N - 1), \quad (8)$$

N ist die Zahl der Trajektorien, $y_i(x) - \bar{y}(x)$ ist der seitliche Abstand der i-ten Trajektorie von einer gedachten mittleren Trajektorie bei einer Entfernung x vom Startplatz.

Von den Flügen des Jahres 1978 eignen sich nur BR7805 und BR7806 zur σ_y -Bestimmung; die Flüge der Jahre 1980 und 1982 werden alle verwendet. Die Flüge des Jahres 1982 sind entsprechend den drei Tagen in drei Flugserien aufgeteilt. Die Standardabweichung von der mittleren Flugrichtung je Flugserie sind am 12. und 13. Mai 1982 nahezu identisch (s. Tab. 13). Tab. 13 zeigt auch den Zeitraum Δt zwischen Start des ersten und letzten Tetroon einer Flugserie. Er liegt zwischen 4,5 h und fast 8 h. Die mit obiger Formel ermittelten σ_y gelten daher streng genommen nur für Ausbreitungsrechnungen mit derartigen Emissionszeiten. In /VO83/ ist σ_y in Abhängigkeit von $2 \text{ h} \leq \Delta t \leq 6 \text{ h}$ für Tetroonflüge an der Nordseeküste untersucht worden.

Wie in /VO82/ genau erläutert, wird Formel (8) beginnend bei einer Entfernung $x = 2 \text{ km}$ fortschreitend mit $\Delta x = 1 \text{ km}$ angewandt. Das Ergebnis jeder Serie ist in Abb. 24 eingezeichnet. Nähern oder kreuzen sich die Trajektorien in der x, y-Ebene, wie es der Fall bei Serie 4 ist (s. Abb. 19), wird mit zunehmender Entfernung formal ein abnehmendes σ_y berechnet. In Abb. 24 sind derartige Effekte eliminiert. Dies ist der Realität angepaßt, da eine Abluftfahne sich mit wachsender Quellentfernung ausdehnt. Zum Vergleich sind die mittels Tracerexperimenten am KfK ermittelten σ_y ebenfalls in Abb. 24 eingezeichnet /HÜ80/. Die Emissionshöhen der Tracer lagen bei 160 m und 195 m. Für die Quellentfernungen über 10 km sind die Tracerergebnisse extrapoliert. Die mit Tetroons und Tracern ermittelten σ_y -Kurven zeigen eine befriedigende Übereinstimmung. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen

sichtigen, daß sie sich auf verschiedene Höhen und Sammelzeiten beziehen.

Mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate wird für jede Kurve eine Gleichung der Form

$$\sigma_y = \sigma_o x^p \quad (9)$$

bestimmt. Folgende Begründungen sprechen für einen derartigen Ansatz: Erstens ist der Korrelationskoeffizient bei diesem Ansatz für jede Einzelserie besser als 0,98 und zum zweiten wird ein Vergleich mit den Tracerexperimenten erleichtert, da bei deren Auswertung ebenfalls ein Potenzansatz gewählt wurde. Der Faktor σ_o und der Exponent p sind in Tab. 13 aufgeführt und mit entsprechenden Größen verglichen, die aus den Tracerexperimenten stammen /HÜ80/. Beim Vergleich ist zu berücksichtigen, daß die σ_o -, p -Werte der Tracerexperimente Mittelwerte vieler Einzelversuche sind und geglättet wurden. Die σ_o -, p -Werte einzelner Tracerversuche streuen stärker als die entsprechenden Werte einzelner Serien von Trajektorien.

6.4 Vergleich von Tetroontrajektorien und ortsfesten Windmessungen

Im folgenden Abschnitt wird ein Vergleich durchgeführt zwischen mit Tetroons "erflogenen" und errechneten Trajektorien. Die errechneten Trajektorien ergeben sich durch Vektoraddition der Horizontalkomponenten des Windes, die in 200 m Höhe am Mast des KfK mit Schwertwindfahne und Anemometer gemessen werden. Die Windwerte liegen als 10-min-Mittelwerte vor (s. Tabn. 5-11). Die Startzeit eines Tetroon setzt den Beginn der berechneten Trajektorien fest; es wird keine Advektion berücksichtigt. Die "erflogene" Trajektorie ergibt sich aus der Projektion der Flugbahn auf die Erdoberfläche (x, y -Ebene). Die bei der Tetroonverfolgung erhaltenen Trajektorien entsprechen einer Lagrangeschen Betrachtungsweise, während man bei den errechneten Trajektorien von einer Eulerschen Betrachtungsweise spricht.

In Tab. 14 ist das Ergebnis des Vergleichs für alle Flüge dargestellt. Die mittlere Geschwindigkeit und Richtung bezieht sich dabei auf die gesamte Trajektorie und entspricht einer vektoriellen Mittelung. Die Mittelwerte der Richtung und Geschwindigkeit für die Mastmessungen werden skalar berechnet.

Die größten Unterschiede in Richtung und Geschwindigkeit ergeben sich bei den Flügen BR7805 und BR7806. An diesem Tag wird das Rheintal in 200 m Höhe aus Südwesten und der Kraichgau in 600 m Höhe aus Nordwesten angeströmt. Ob hier das Rheintal die Strömung beeinflusst - wie es z. B. in /FI83/ eindrucksvoll gezeigt wird - oder ob das Druckfeld die Strömung bestimmte, wird in Abschnitt 6.5 diskutiert.

In 6 von 19 Fällen ist die in 200 m Höhe am Mast gemessene Windgeschwindigkeit höher als die Fluggeschwindigkeit des Tetroon. Die Annahme einer Windgeschwindigkeitszunahme mit der Höhe, die im allgemeinen in der Prandtl-Schicht (einige Dekameter) gut zutrifft, darf also nicht allgemein auf größere Höhen extrapoliert werden.

In vier der sechs Fälle dreht die Windrichtung mit zunehmender Höhe nach links (gegen den Uhrzeiger). Mit Ausnahme der beiden Flüge BR7801 und BR7802 sind die Richtungsabweichungen Tetroon-Mast bei Linksdrehung kleiner als bei Rechtsdrehung.

Wird bei der 1980 Serie MI8001 außer Betracht gelassen - die Flughöhe über Grund liegt teilweise unter 200 m - so ergibt sich im Mittel ein einheitliches Bild. Die Abweichungen $\bar{\alpha}_T - \bar{\alpha}_M$, bzw. der Quotient (\bar{v}_M / \bar{v}_T) betragen etwa 21° bzw. 0,82. Wie in Abschnitt 5.2 ausgeführt, herrschten während der Flüge neutrale Schichtungsverhältnisse.

Die Meßkampagne im Jahr 1982 fand bei labilen Verhältnissen statt. Bei der Mittelungsbildung wird BR8201 nicht berücksichtigt, da dessen mittleres Flugniveau in einer Schicht lag, die einige Besonderheiten zeigt. Es ergeben sich als mittlere Abweichung

-1,2° bzw. 0,91.

Gestützt auf die Daten der LfU-Sonde Nr. 3 (s. Tab. 8) ist das Flugverhalten des Tetroon BR8201 verständlich. Schon nach knapp 200 m Höhe geht die Windgeschwindigkeit zurück und erreicht bei etwa 1000 m Höhe ein sekundäres Minimum von etwa 2,5 m/s (s. Abb. 25). Auch die Windrichtung dreht in 1000 m Höhe weit über die in den unteren Schichten herrschenden Richtungen von NW bis WNW hinaus und erreicht über 110°.

6.5 Windfeld

Ein Windfeld kann berechnet werden aus Messungen des Windes oder des Druckes an ortsfesten Stationen oder mit mesoskaligen numerischen Simulationsmodellen (/TA80/ und /GR82/).

Zur Auswertung der Tetroonflüge wurde ein einfaches Programm WINDFELD erstellt, das es gestattet, ein Windfeld aus ortsfesten Winddaten zu konstruieren. Die Winddaten können von Mastmessungen, von Radiosondenaufstiegen oder wie im folgenden gemischt aus synoptischen Meldungen der Bodenstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) bzw. automatisch registrierenden Stationen der LfU oder Masten des Badenwerks, des Kernkraftwerk Philippsburg und des KfK stammen.

Das Programm WINDFELD errechnet Windrichtung und Windgeschwindigkeit für maximal 441 (= 21²) Gitterpunkte eines rechtwinkligen Rasters durch gewichtete Mittelwertbildung aus den Winddaten von maximal 30 Stationen. Es werden die nachfolgenden Interpolationsformeln verwendet:

Berechnung der u- und v-Komponenten im Gitterpunkt n:

$$u_n = \frac{\sum_{i=1}^M R_{i,n} \cdot D_{i,n} \cdot u_i}{\sum_{i=1}^M R_{i,n} \cdot D_{i,n}} \quad (10)$$

$$v_n = \frac{\sum_{i=1}^M R_{i,n} \cdot D_{i,n} \cdot v_{i,n}}{\sum_{i=1}^M R_{i,n} \cdot D_{i,n}} \quad (11)$$

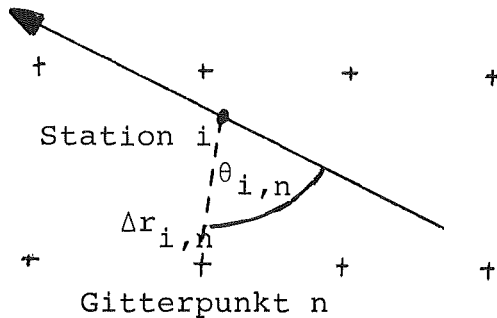
Mit $\sum_{i=1}^M$ wird über alle M Meßstationen summiert.

$$R_{i,n} = 1/(\Delta r_{i,n})^2 \text{ ist der Entfernungsgewichtsfaktor} \quad (12)$$

Dieser Faktor ist eine Funktion des Abstandes Δr_i der Station i zum Gitterpunkt n. Die nächstgelegene Station erhält das größte Gewicht.

$$D_{i,n} = 1 - 0.5 \cdot |\sin(\theta_i)| \text{ ist der Richtungsgewichtsfaktor} \quad (13)$$

Dieser Faktor ist eine Funktion des Winkels θ , der gebildet wird aus gemessener Windrichtung an der i-ten Station und der Verbindungslinie zwischen Gitterpunkt n und Station i (s. nachfolgende Skizze).



Die Interpolationsformeln (10) und (11) sowie die Gewichtsfaktoren in (12) und (13) basieren auf einer Arbeit von Heffter /HE80/.

In Tab. 15 sind die Stationen aufgelistet, deren Daten bei der Auswertung verwendet wurden. Neben 15 DWD-Stationen sind es drei Masten (Kernkraftwerk Philippsburg, KfK, Badenwerk/

Freistett). Rastatt, Kehl und Heilbronn sind automatisch registrierende Bodenstationen der LfU. Bei Bruchsal und Minfeld lagen die Startplätze der Meßkampagnen. Hier erfolgten keine Windmessungen in Bodennähe. Damit beträgt die Stationsdichte im weiteren Gebiet des mittleren Oberrheingrabens etwa 1 Station pro 2500 km².

Für mindestens einen Termin pro Meßkampagne wurde ein Windfeld berechnet und in den Abbn. 26 bis 29 dargestellt. Links sind die beobachteten Winddaten gezeigt, während rechts das konstruierte Windfeld auf einer Fläche von 120 x 120 km² dargestellt ist. Zusätzlich eingetragen ist die Projektion der Tetroontrajektorie in die x-y-Ebene.

Windfeld und Trajektorienrichtung (s. Abb. 26) passen am 27.04.1978 nur sehr schlecht zusammen. Wie der Bodenkarte (s. Abb. 7) zu entnehmen ist, überquerte kurz vor dem Beobachtungstermin eine Kaltfront das Versuchsgebiet und beeinflusste das Windfeld stark.

Für die Meßkampagne am 08.10.1980 sind Windbeobachtungen sowie Windfeld in Abb. 27 dargestellt. Kurz nach 16:00 MEZ wurde MI8002 gestartet, dessen Trajektorie ebenfalls eingezeichnet ist. Windfeld und mittlere Trajektorienrichtung weichen nur um etwa 5 bis 6° voneinander ab.

In Abb. 28 sind die entsprechenden Verhältnisse für BR8206 dargestellt. Windfeld und Tetroontrajektorie passen gut zusammen. So unterscheidet sich im Mittel die Richtung der Tetroontrajektorie nur um 3° von der aus dem Windfeld errechneten Trajektorienrichtung. Die aus den Windfelddaten errechnete Transportgeschwindigkeit erreicht etwa 63 % der Fluggeschwindigkeit des Tetroon. Richtung und Betrag des geostrophischen Windes wurden aus dem täglichen Wetterbericht des DWD und den Radiosondenaufstiegen der LfU Nr. 11 zu 250° bzw. 8,0 m/s bestimmt. Somit ergibt sich eine Differenz von fast 30° zwischen geostrophischer Windrichtung und Trajektorienrichtung.

Bei der an diesem Tage herrschenden labilen thermischen Schichtung hätte man nach klassischer Lehrmeinung erwartet, daß die obere Strömung ($\hat{=}$ geostrophischer Wind) verstärkt auf die bodennahe Grenzschicht wirkt. Tatsächlich tritt der umgekehrte Fall ein: Die Strömung im Flugniveau des Tetroon wird mit der bodennahen Strömung verzahnt. Auch Fiedler /FI83/ konnte an Hand des Experiments MESOCLIP zeigen, daß die für ebenes Gelände gültige Lehrmeinung bei der Überströmung von breiten Tälern gerade umgekehrt wird. Eine weitere Voraussetzung für die Ausbildung eines eigenen Windsystems war der geringe Druckgradient. So betrug der Druckgradient $\text{grad } p$ zwischen Frankfurt-Flughafen und Freiburg nur $-0,3 \cdot 10^{-5} \text{ h Pa/m}$.

An den beiden ersten Tagen dieser Meßkampagne wurde der Oberrheingraben aus östlichen Richtungen angeströmt. Den LfU-Sonden Nr. 9 und 10 vom Nachmittag des 13.05.1982 kann ein geostrophischer Wind der Richtung 54° und der Geschwindigkeit $5,5 \text{ m/s}$ entnommen werden. Die thermische Schichtung war labil.

Abb. 29 zeigt das Bodenwindfeld gemittelt aus den Windmeldungen um 13:00 und 16:00 MEZ, sowie die Tetroontrajektorie von BR8204 (Start 13:00 MEZ). Das Strömungsfeld in den bodennahen Schichten weicht um etwa 8° im Mittel von der Tetroontrajektorie ab, die ihrerseits nahezu mit der geostrophischen Richtung übereinstimmt. Die Fluggeschwindigkeit von etwa $6,3 \text{ m/s}$ im Mittel übertrifft die geostrophische Windgeschwindigkeit von $5,5 \text{ m/s}$ und die Geschwindigkeit in Bodennähe von $4,3 \text{ m/s}$. Offensichtlich verhinderte der Druckgradient in Talrichtung von $2,25 \cdot 10^{-5} \text{ h Pa/m}$ die Ausbildung eines eigenständigen Windsystems im Oberrheingraben, das z. B. Fiedler /FI83/ für ähnliche Anströmverhältnisse aus Osten beschreibt. Allerdings erreichte $\text{grad } p$ bei Fiedler nur sehr kleine Werte ($-0,5 \cdot 10^{-5} \text{ h Pa/m} < \text{grad } p < 0,5 \cdot 10^{-5} \text{ h Pa/m}$).

6.6 Vergleich von Tetroontrajektorien mit den Ergebnissen eines 2D-Strömungsmodells

Am Meteorologischen Institut der Universität Karlsruhe (MIK) wurden mehrere mesoskalige Simulationsmodelle entwickelt /TA80/. Für den

hier interessierenden Vergleich wurde ein 2D-Strömungsmodell verwendet. Es basiert auf den hydrostatisch approximierten Navier-Stokes Gleichungen. Die Modellgleichungen setzen sich zusammen aus den horizontalen Bewegungsgleichungen, der Wärmegleichung und der Richardson-Gleichung zur Prognose der drei Windgeschwindigkeitskomponenten und der potentiellen Temperatur. Der Druck stellt sich so ein, daß Gleichgewicht besteht zwischen Druck- und Massenkräften. Die Orographie wird durch die Verwendung eines dem Gelände folgenden Koordinatensystems berücksichtigt. Für alle meteorologischen Variablen und die Orographie wird Homogenität in y-Richtung vorausgesetzt.

Für eine vom MIK durchgeführte Modellrechnung wurde der Vormittag des 17.05.1982 ausgewählt. In diese Zeit fällt der Flug von BR8205. Die meteorologischen Eingabeparameter für das Strömungsmodell wurden aus LfU-Sonden, KfK-Mastdaten, Sodardaten und Druckangaben des Deutschen Wetterdienstes abgeleitet. Die wichtigsten meteorologischen Daten sind wie folgt:

- geostrophischer Wind:	8,0 m/s,	250°
- thermische Schichtung:		-0,5 K/100 m
- potentielle Temperatur an der Modellobergrenze:		281,2 K
- Luftdruck an der Modellobergrenze:		736 mbar

Spezielle Modellvorgaben für den Vergleich sind nachfolgend aufgelistet:

- vertikale Ausdehnung des Modells:	2600 m ü. N.N.
- Anzahl der Gitterpunkte in West-Ost-Richtung:	32
- Anzahl der Gitterpunkte in vertikaler Richtung:	25
- horizontaler Gitterabstand:	2000 m
- Prognosezeit (\sim stationäre Lösung):	10 Std
- Bodenrauigkeit:	1 m
- Coriolisparameter ($\hat{=} 49^\circ$ n. B.):	$1,1 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$
- eingegebene Orographie:	s. Abb. 30

Die für den Standort des KfK berechneten Profile von Temperatur, Windgeschwindigkeit sowie -richtung sind in Abb. 31 dargestellt und mit entsprechenden Meßwerten verglichen.

Mit den Ergebnissen des Simulationsmodells läßt sich die Tetroon-trajektorie nachrechnen. Hierzu werden die Windvektoren in 300 m über Grund ($\hat{=}$ mittlerer Flughöhe) an benachbarten Gitterpunkten vektoriell addiert. Die aus dem Modell bestimmte mittlere Geschwindigkeit liegt um 7 % unter der mittleren Fluggeschwindigkeit von BR8206.

In Abb. 32 sind die Projektionen der Trajektorien Modell bzw. BR8206 eingezeichnet. Während im Mittel die Richtungen gut übereinstimmen ($\bar{\alpha}_{\text{Tetroon}} = 44^\circ$; $\bar{\alpha}_{\text{Modell}} = 45,7^\circ$), wird das Drehen des Tetroon ($\Delta\alpha_{\text{Tetroon}} \approx 30^\circ$) im Modell nur andeutungsweise erfaßt ($\Delta\alpha_{\text{Modell}} = 4^\circ$).

Eine geänderte Orographie am Ostrand läßt eine Verbesserung erwarten. Derzeit ist am Ostrand der Kraichgauanstieg gewählt, tatsächlich flog der Tetroon in Richtung Heidelberg, Odenwald. Bei der Addition der Windvektoren sollten außerdem die Werte nicht in der mittleren Flughöhe von 300 m gewählt sondern dem aktuellen Flugniveau entnommen werden. Ob eine ortsabhängige Bodenrauigkeit und eine Änderung des geostrophischen Windes Auswirkungen auf die errechnete Trajektorie haben, soll in weiteren Modellrechnungen geprüft werden.

7. Zukünftige Aufgaben

Die bisher im Oberrheingraben in der Umgebung des KfK durchgeführten 19 Tetroonflüge zeigen, wie mit dieser Versuchstechnik Luftströmungen im Mesoskala erkundet werden. Wird auf lange Reichweiten bei der Radarverfolgung Wert gelegt, so ist der Einsatz von Transpondern unerlässlich. Mit Transpondern sind auch Flüge bei nächtlichen stabilen Schichtungen leichter durchführbar. Derartige Flüge sind für die Zukunft verstärkt vorgesehen.

Zur Bestimmung der Ausbreitung von Schadstoffen im Mesoskale sollen zukünftig Tracerexperimente und Tetroonflüge parallel durchgeführt werden. Ein erstes, erfolgreiches Pilotexperiment fand im April 1983 statt.

Der Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Trajektorien wird weitergeführt. Mit dem 2D-Strömungsmodell werden Parameterstudien bezüglich Rauigkeit, Geometrie der Berandung, geostrophischen Wind angestellt, um die Wirksamkeit derartiger Parameter zu untersuchen. Wünschenswert wäre auch die Verifizierung weiterer Strömungsmodelle anhand der vorliegenden Tetroon Daten. Die auf Magnetbändern gespeicherten Daten stehen hierfür auch anderen Autoren zur Verfügung.

Bei zukünftigen Meßkampagnen ist der Einsatz eines mobilen Sodar am Startplatz oder in der Nähe der Tetroontrajektorien wünschenswert.

Wir bedanken uns bei

Frau Dr. Tangermann-Dlugi vom Meteorologischen Institut der Universität Karlsruhe für die Berechnung von Trajektorien mit ihrem 2D-Strömungsmodell,

den Herren Dr. Uhlig vom Amt für Wehrgeophysik, Traben-Trarbach und Thomas vom Luftwaffen-Unterstützungsgruppenkommando Süd, Karlsruhe für die Bereitstellung des Radar MBVR-120,

der Bedienungsmannschaft des MBVR-120 aus Neuhausen o. E.,

Herrn Dr. Ahrens von der Landesanstalt für Umweltschutz für die Bereitstellung von Windwerten an ausgewählten Stationen und für Durchführung sowie Auswertung der Struktursondenaufstiege,

den Herren Schweizer und Heinle vom Badenwerk für Mastdaten von Freistett bzw. vom Kernkraftwerk Philippsburg.

8. Literaturverzeichnis

- /EK81/ Eidgenössische Kommission Meteorologie des schweizerischen Gebietes:
Möglichkeiten regionaler Klimaveränderungen durch menschliche Einwirkungen.
Schlußbericht über das Projekt CLIMOD (1981)
- /FI83/ Fiedler, F.:
Einige Charakteristika der Strömung im Oberrheingraben.
Wiss. Berichte des Meteorologischen Inst. d. Uni Karlsruhe Nr. 4, S. 113 bis 123 (1983)
- /GR82/ Gross, G., Kraus, C., Wippermann, F.:
Die numerische Simulation nächtlicher Kaltluftabflüsse.
Eine Untersuchung der Sensitivität des Modells FITNAH für extrem schwache Strömungen,
Bonnenberg + Drescher, Aldenhoven.
Bericht zum "Abwärmeprojekt Oberrhein" des Umweltbundesamtes, Nr. 25 (1982)
- /HE80/ Heffter, J. L.:
Air Resources Laboratories Atmospheric Transport and Dispersion Model (ARL-ATAD).
Report ERTLM-ARL-81. NOAA, Air Resources Lab. (1980)
- /HO83/ Holleuffer-Kypke, R. von, Hübschmann, W., Süß, F., Thomas, P.:
MIS-Meteorologisches Informationssystem des Kernforschungszentrums Karlsruhe,
wird in Kerntechnik veröffentlicht (1984)
- /HÜ80/ Hübschmann, W., Nester, K., Thomas, P.:
Auswertung der Ausbreitungsversuche, im Jahresbericht 1979 der Hauptabteilung Sicherheit,
KfK 2939, S. 182-184 (1980)
- /JU83/ Jurksch, G.:
Erfahrungen mit Schwebeballonnmessungen im Bereich des Kaiserstuhles.
Wiss. Bericht des Met. Inst. der Universität Karlsruhe Nr. 4, herausgegeben von F. Fiedler und K. Höschele (1983)

/MA75/ Manier, G.:

Vergleich zwischen Ausbreitungsklassen und Temperaturgradienten.

Meteorol. Rdsch 28, S. 6-11 (1975)

/NE80/ Nester, K.:

Statistisch äquivalente Verfahren zur Bestimmung von Ausbreitungskategorien,

Seminar on Radioactive Releases and their Dispersion in the Atmosphere following a Hypothetical Reactor Accident, Risø (1980)

/NE83/ Nester, K., Thomas, P.:

Ausbreitungsexperimente,

im Jahresbericht 1982 der Hauptabteilung Sicherheit, KfK 3535, S. 254 (1983)

/SC62/ Scolnic, M.:

Introduction to Radar Systems,

Verlag Mc Graw-Hill (1962)

/SL68/ Slade, D. H. (Editor):

Meteorology and Atomic Energy,

TID-24190 (1968)

/TA80/ Tangermann-Dlugi, G.:

Mesoskalige Modellentwicklungen und erste Ergebnisse,

Mitteilungen Deutsche Meteorologische Gesellschaft E. V. Heft 1/80 (1980)

/TH80/ Thomas, P., Vogt, S.:

Tetroonflüge,

in Jahresbericht 1979 der Hauptabteilung Sicherheit,

KfK 2939, S. 184-187 (1980)

/TH81/ Thomas, P., Vogt, S.:

Tetroonflüge,

in Jahresbericht 1981 der Hauptabteilung Sicherheit,

KfK 3272, S. 247-251 (1981)

/V082/ Vogt, S., Thomas, P.:

Investigation of Meso-scale Atmospheric Transport by Means
of Radar Tracked Tetroons During PUKK.

Contr. to Atm. Physics, Vol. 55, No. 4, pp. 409-416 (1982)

/V083/ Vogt, S., Thomas, P.:

Analysis of Tetroon Flights Performed During the PUKK Meso-
Scale Experiment,

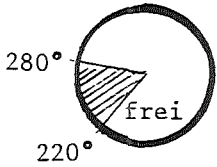
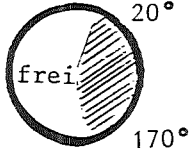
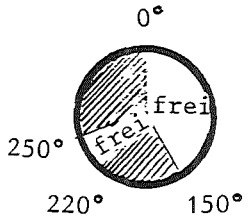
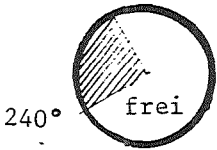
14th Int. Techn. Meeting on Air Pollution Modeling and its
Application. Copenhagen, 27-30 Sept. (1983)

	Radar	Transponder
Antennendurchmesser	2 m	
Dimension		15x8x8 cm ³
Gewicht	3 t	450 g
Antennengewinn	39 dB	5 dB
Polarisation	linear, vertikal	
Frequenz	9375 MHz	9212 MHz
Peakleistung	75 kW	180 mW
Pulswiederholffrequenz	250 Hz	250/1000 Hz*
Pulslänge	0,5/2,0 µs	0,5/1,0 µs*
Scanfrequenz	30 MHz	
Reichweite		>50 km
Betriebsdauer		>5 h

Tab. 1: Technische Daten des Radar MBVR-120 und der Transponder (*umstellbar)

Nr.	Frequenz (MHz)	Verzögerung		Gewicht (g)
		Zeit (μ s)	Länge (m)	
1	9 182	7,6	1 140	442
2	9 190	7,4	1 110	480
3	9 224	7,6	1 140	465
4	9 175	7,5	1 125	420
5	9 190	7,2	1 080	

Tab. 2: Technische Daten der Mustertransponder

Standort	geograph. Lage	Höhe über NN	freie Sicht (nicht schraffiert)	Untergrund des Stand- platzes	Genehmigung einholen bei	Bemerkungen
Sportplatz bei Friedrichstal	49° 6' 00" n.B. 8° 29' 6" ö.L.	110 m		geschotterter Parkplatz	Bürgermeister- amt Stutensee Tel.07249/216	Standplatz ist gegen- über der Umgebung nicht erhöht
Eisenhut bei Bruchsal	49° 8' 18' n.B. 8° 37' 47' ö.L.	214 m		geteierter Feldweg	Bürgermeister- amt Ubstadt Tel.07251/6475	ideal bei östlichen Winden
Schecken- bronner Hof (Obergrombach- Heidelsheim)	49° 5' 32" n.B. 8° 35' 58" ö.L.	244 m		geteierter Feldweg	Eichelberg Kaserne Tel.07251/ 12051 App. 500	Militärisches Übungsgelände grenzt an, oft Fall- schirm- springer- übungen
Galgenberg bei Minfeld	49° 5' 3" n.B. 8° 8' 30" ö.L.	161 m		unbefestigt, im Herbst ab- geerntetes Feld	Bürgermeister- amt Minfeld Tel.07275/1249	bei guter Sicht ist KfK-Meßmast sichtbar unter Azimut von 89°

Tab. 3: Beschreibung der Standorte für Radar und Tetroonstarts.

Datum	Startzeit MEZ	Tetroon Nr.	Radarstandorte (s.Tab.3)	mittlere Geschw. in m/s	mittlere Flughöhe in m	mittlere Flugrichtung in Grad	letzte beobachtete Position		Tetroon ausgerüstet mit
							s in km	t in h:min	
25.04.1978	14:00	BR7801	Sportplatz	2,4	700	214	12	1:56	Reflektor
25.04.1978	19:50	BR7802	Eisenhut	3,9	350	223	24	1:59	"
26.04.1978	10:00	BR7803	"	3,6	400	247	10	0:49	"
26.04.1978	12:10	BR7804	"	5,2	750	248	11	0:37	"
27.04.1978	9:40	BR7805	Scheckenbronner Hof	4,3	650	144	29	1:54	"
27.04.1978	14:10	BR7806	"	4,1	600	121	16	1:14	"
08.10.1980	14:30	MI8001	Galgenberg	8,6	250	60	25	0:49	Reflektor
08.10.1980	16:10	MI8002	"	13,6	1000	61	45	0:57	"
08.10.1980	17:30	MI8003	"	14,8	1000	71	41	0:47	"
08.10.1980	18:35	MI8004	"	12,2	400	55	17	0:24	"
08.10.1980	19:30	MI8005	"	12,7	850	54	49	1:06	"
12.05.1982	10:10	BR8201	Eisenhut	3,7	1100	269	55	4:20	Transponder
12.05.1982	15:00	BR8202	"	5,5	300	246	63	3:19	"
13.05.1982	9:05	BR8203	"	7,0	350	261	54	2:12	"
13.05.1982	13:00	BR8204	"	6,3	300	233	83	3:45	"
13.05.1982	17:00	BR8205	"	5,2	300	261	52	2:50	"
17.05.1982	9:25	BR8206	Galgenberg	6,4	300	44	62	2:45	"
17.05.1982	12:55	BR8207	"	5,7	400	34	42	2:05	"
17.05.1982	15:40	BR8208	"	4,7	550	53	54	2:50	"

Tab. 4: Zusammenfassung der Flugdaten

BR7801

		HOEHIE (M)	14. 0	14. 10	14. 20	14. 30	14. 40	14. 50	15. 0	15. 10	15. 20	15. 30	15. 40	15. 50	16. 0	16. 10
WINDRICHTUNG (GRAD)		40	28	117	64	82	69	110	86	81	10	43	85	94	63	338
		60	41	348	61	80	73	115	84	81	9	38	78	82	55	326
		100	20	19	60	67	79	106	83	74	23	55	72	81	46	333
		160	1	36	67	80	78	92	82	70	38	67	74	66	52	339
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)		40	1,5	2,3	2,2	2,1	2,2	1,8	2,5	2,3	2,4	1,7	1,8	1,9	2,0	1,8
		60	1,6	2,4	2,5	2,1	2,3	2,0	2,7	2,5	2,6	1,6	2,1	2,1	1,9	2,2
		100	1,8	2,9	2,7	2,0	2,5	2,3	2,9	2,9	2,7	1,9	2,1	2,5	2,1	2,3
		160	2,1	3,4	2,3	2,0	2,9	2,3	2,9	2,8	2,3	1,9	2,1	2,6	2,2	2,1
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	****	****	22,7	20,0	21,8	22,3	23,1	24,3	24,7	23,8	23,8	25,2	26,0	25,8
	HORIZONTAL	40	****	24,1	22,8	22,4	20,8	****	21,7	19,9	18,3	19,5	18,3	15,7	****	****
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	16,7	20,3	19,4	17,4	18,6	20,4	18,4	18,0	18,0	16,6	16,6	16,8	16,7	16,0
	HORIZONTAL	100	****	****	****	18,4	17,5	18,6	16,9	14,8	13,8	17,5	14,7	12,7	15,2	14,5
	VERTIKAL	160	17,6	17,4	15,6	16,3	19,3	19,0	16,2	15,7	14,1	13,5	13,9	13,3	13,5	14,2
	HORIZONTAL	160	****	****	****	****	13,6	15,7	16,4	15,0	15,5	17,3	14,3	****	****	****
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)		100	****	****	****	28,0	32,0	19,5	16,9	30,5	29,2	19,7	18,6	39,4	30,4	19,1
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		-0,9	-1,6	-1,1	-1,1	-1,0	-1,1	-1,0	-1,3	-1,0	-0,9	-1,0	-1,0	-1,2	-1,1
STRAHLUNGSBILANZ (MH/CM**2)			31,4	26,0	25,1	26,7	25,9	18,2	24,6	20,2	10,1	8,7	7,4	16,5	9,8	7,3
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION		A				A			A			A			A
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION		****				B			B			B			B
	TEMPERATURGRADIENT		B				C			C			C			B
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBACHTUNG		A				A			A			B			B

BR7802

		HOEHIE (M)	20. 0	20. 10	20. 20	20. 30	20. 40	20. 50	21. 0	21. 10	21. 20	21. 30	21. 40	21. 50
WINDRICHTUNG (GRAD)		40	25	85	79	89	89	120	123	107	103	83	86	104
		60	14	63	38	48	59	96	111	103	90	80	85	100
		100	4	28	6	17	30	60	94	94	87	84	82	91
		160	357	16	1	9	34	48	76	86	76	80	76	77
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)		40	2,0	2,5	2,0	1,5	1,6	3,0	3,9	3,0	2,9	2,4	2,5	2,7
		60	2,9	2,6	2,0	1,9	1,7	2,6	4,4	4,6	4,4	4,1	4,1	4,0
		100	4,2	3,1	2,8	2,6	2,2	2,6	3,9	5,3	5,4	5,5	5,0	4,3
		160	5,9	4,5	4,3	3,3	2,3	3,0	4,0	5,5	5,7	5,7	5,6	5,3
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	13,8	13,3	12,7	12,2	11,6	11,8	11,0	9,9	9,6	9,0	9,5	9,8
	HORIZONTAL	40	12,9	****	****	****	8,4	7,5	5,2	4,9	5,6	5,2	6,7	5,7
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	6,5	6,3	5,8	5,6	5,2	4,8	4,5	4,3	3,8	3,8	3,7	3,7
	HORIZONTAL	100	7,9	9,0	7,7	9,2	8,5	7,4	6,6	4,4	4,1	3,4	3,4	3,6
	VERTIKAL	160	3,3	3,0	2,8	2,7	2,3	1,8	1,7	2,5	2,8	2,5	2,2	2,0
	HORIZONTAL	160	****	5,0	3,4	4,8	3,9	3,0	3,0	2,8	3,0	2,9	2,3	2,4
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)		100	33,2	17,5	22,4	25,1	5,2	14,9	8,4	4,7	4,4	5,8	4,6	5,3
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		0,7	2,0	2,8	2,3	1,8	3,3	3,7	3,4	3,1	3,1	3,3	2,7
STRAHLUNGSBILANZ (MH/CM**2)			-1,7	-1,8	-2,1	-2,1	-2,0	-2,2	-2,2	-2,2	-1,9	-1,5	-1,4	-1,5
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION		D				D			D			D	
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION		****			****			E				E	
	TEMPERATURGRADIENT		F			F			F				F	
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBACHTUNG		D			D			E				E	

BR7803

BR7804

		HOEHIE (M)	10. 0	10. 10	10. 20	10. 30	10. 40	10. 50	11. 0	12. 0	12. 10	12. 20	12. 30	12. 40	12. 50
WINDRICHTUNG (GRAD)		40	68	49	41	40	67	62	71	55	63	45	47	39	60
		60	65	47	40	40	61	61	61	56	61	46	43	39	55
		100	58	46	41	45	55	60	58	59	61	48	45	45	56
		160	58	48	42	55	51	59	50	62	64	57	51	54	59
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)		40	2,6	2,6	2,6	3,1	2,4	2,7	2,9	2,8	2,9	2,9	4,2	3,8	3,5
		60	2,9	3,0	2,9	3,4	2,7	3,0	3,0	3,1	3,2	3,2	4,7	4,1	3,7
		100	3,1	3,3	2,7	3,2	3,0	3,5	3,2	3,4	3,6	3,7	4,9	4,2	4,0
		160	3,2	3,1	2,4	2,8	3,3	3,2	3,3	3,7	3,7	3,8	5,1	4,1	4,2
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	19,4	19,6	20,5	19,6	20,6	21,8	22,6	23,2	24,4	24,5	22,8	21,8	22,3
	HORIZONTAL	40	14,6	14,8	15,7	12,6	13,3	13,1	14,7	14,4	15,9	17,3	15,0	12,4	13,8
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	9,0	8,9	9,3	9,0	9,3	9,4	10,1	10,9	11,3	11,5	10,7	10,4	10,9
	HORIZONTAL	100	9,2	9,1	9,1	8,1	7,7	7,7	8,9	8,4	9,2	10,7	9,3	8,7	9,5
	VERTIKAL	160	8,2	8,4	9,0	8,1	7,8	7,9	9,6	9,7	10,8	12,0	9,9	9,2	9,5
	HORIZONTAL	160	****	****	****	****	****	****	10,7	8,4	9,0	9,7	8,2	8,1	10,0
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)		100	15,8	9,1	8,7	7,4	10,4	11,4	19,0	12,9	26,5	12,7	6,8	11,4	16,7
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		-1,6	-1,3	-1,3	-1,0	-1,2	-1,4	-1,2	-1,3	-1,2	-1,6	-1,3	-1,2	-1,5
STRAHLUNGSBILANZ (MH/CM**2)			31,5	32,9	33,4	34,1	34,8	35,5	36,3	40,1	39,9	38,7	38,3	38,8	38,1
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION		C				C			B			B		
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION		D				D			C			D		
	TEMPERATURGRADIENT		A				B			B			C		
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBACHTUNG		B				B			B			B		

Tab. 5: Meteorologische Daten des KfK am 25./26.04.1978

BR7805

		HOEHE (M)	9.40	9.50	10.0	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	11.0	11.10	11.20	11.30	11.40
WINDRICHTUNG (GRAD)	40	221	213	210	200	222	215	220	215	212	209	237	227	222	
	60	224	216	208	196	223	221	219	213	214	215	231	222	220	
	100	225	218	208	203	218	222	224	212	214	218	229	213	218	
	160	227	227	214	215	215	230	227	217	217	223	231	218	214	
	200	234	230	226	225	216	233	228	220	217	228	234	224	220	
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)	40	1.9	2.5	2.6	2.8	2.3	2.3	2.3	2.1	2.1	1.8	2.2	2.0	2.1	
	60	2.1	2.7	2.9	2.8	2.4	2.7	2.4	2.2	2.1	2.3	2.2	2.2	2.2	
	100	2.0	2.7	2.9	3.1	2.7	2.9	2.5	2.5	2.3	2.0	2.3	2.4	2.2	
	160	2.3	2.5	2.9	2.9	2.8	2.5	2.3	2.4	2.4	2.0	2.3	2.5	2.3	
	200	2.5	2.5	2.9	3.1	2.8	2.3	2.1	2.3	2.4	2.2	2.4	2.4	2.4	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	40	19.3	20.2	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****	****
	HORIZONTAL	100	14.6	17.9	15.2	13.4	15.0	16.9	18.1	16.4	15.5	16.7	27.3	23.7	22.8
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	10.7	10.3	9.5	9.3	9.4	10.0	10.8	10.9	11.9	12.4	12.6	12.1	13.1
	HORIZONTAL	160	12.8	13.7	11.6	9.3	9.2	9.7	9.8	8.5	10.7	12.2	12.9	13.2	13.8
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	160	11.2	12.1	10.7	8.3	8.3	10.2	11.9	11.5	12.5	13.8	13.9	12.3	12.1
	HORIZONTAL	160	10.0	11.8	10.3	9.3	8.9	11.2	11.6	10.5	10.9	10.3	10.9	9.7	10.7
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)	100	23.6	14.9	9.4	6.7	18.5	10.3	11.9	13.5	18.0	14.5	14.4	19.1	19.4	
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100	-1.1	-1.1	-1.1	-1.1	-1.3	-1.6	-1.2	-1.2	-1.1	-1.3	****	****	-1.2	
STRAHLUNGSBILANZ (MW/CM**2)		18.3	17.4	16.2	18.6	29.5	30.0	16.0	19.1	20.0	15.7	12.8	13.7	18.6	
AUSBREITUNGS- KATEGORIE BESTIMMT NACH ...	VERTIKALFLUKTUATION		C			C			B			B			
	HORIZONTALFLUKTUATION		C			D			C			C			
	TEMPERATURGRADIENT		C			B			C			B			
	SYNOPTISCHE BEOBACHTUNG		C			C			C			C			

BR7806

		HOEHE (M)	14.0	14.10	14.20	14.30	14.40	14.50	15.0	15.10	15.20
WINDRICHTUNG (GRAD)	40	265	219	261	253	245	247	243	267	247	
	60	261	221	259	250	242	243	244	271	245	
	100	249	220	253	254	251	243	240	261	247	
	160	249	235	248	251	250	251	242	264	239	
	200	253	243	248	254	255	244	247	261	243	
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)	40	3.1	2.4	3.4	2.6	2.1	2.5	3.1	1.6	3.5	
	60	3.2	2.6	3.6	2.8	2.2	2.5	3.2	1.7	3.8	
	100	3.1	3.0	3.5	2.6	2.3	2.7	3.0	2.0	3.7	
	160	3.3	3.0	3.6	2.8	2.5	2.5	3.0	2.2	3.7	
	200	3.5	3.5	3.7	3.1	2.6	2.7	3.2	2.3	4.0	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	40	****	****	****	****	****	15.7	18.1	19.0	20.0
	HORIZONTAL	100	19.7	20.2	20.2	19.5	19.4	18.9	18.9	17.0	17.6
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	160	14.9	15.2	14.8	15.3	15.0	14.4	15.0	14.3	13.7
	HORIZONTAL	160	20.7	20.4	19.8	16.3	16.6	21.6	21.5	20.4	17.4
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)	100	28.7	24.9	11.8	23.7	30.7	17.5	22.7	18.9	15.9	
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100	-1.6	-1.0	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-1.1	-1.2	-1.1	
STRAHLUNGSBILANZ (MW/CM**2)		34.1	35.9	36.4	31.5	22.3	20.5	20.9	19.3	13.1	
AUSBREITUNGS- KATEGORIE BESTIMMT NACH ...	VERTIKALFLUKTUATION		A			A			A		
	HORIZONTALFLUKTUATION		B			B			C		
	TEMPERATURGRADIENT		B			C			C		
	SYNOPTISCHE BEOBACHTUNG		A			B			B		

Tab. 6: Meteorologische Daten des KfK am 27.04.1978

MI8001

MI8002

		HOEHE (M)	14.30	14.40	14.50	15.0	15.10	15.20	15.30	16.10	16.20	16.30	16.40	16.50	17.0	17.10
WINDRICHTUNG (GRAD)	40	244	245	236	235	240	248	237	217	222	223	219	222	226	216	
	60	243	242	235	236	240	244	236	216	219	218	218	223	222	214	
	100	240	239	235	238	239	241	232	216	213	215	217	224	222	213	
	160	241	242	238	240	239	242	236	218	218	217	221	224	222	214	
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)	40	6.8	5.7	4.6	5.4	6.3	5.4	6.1	4.3	3.9	4.0	5.1	4.8	4.4	4.4	
	60	7.9	6.5	5.6	6.6	7.2	6.2	7.2	5.3	4.9	5.0	6.4	5.6	5.4	5.5	
	100	9.1	7.7	6.7	8.1	8.4	7.1	8.4	6.8	6.2	6.2	8.0	7.2	6.8	7.0	
	160	10.0	9.3	7.8	9.1	9.3	8.3	9.9	7.8	7.1	7.7	9.7	9.1	8.1	8.6	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	11.6	11.4	10.8	10.9	11.4	11.1	11.2	10.3	10.9	10.9	11.3	11.3	11.3	11.4
	HORIZONTAL	40	15.1	14.7	15.0	15.8	15.2	15.2	15.1	13.5	14.7	14.8	15.4	15.5	14.6	14.7
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	7.5	7.4	7.1	6.4	6.1	6.6	6.8	6.0	5.9	6.0	5.8	5.7	6.2	5.8
	HORIZONTAL	100	10.6	10.1	9.7	9.8	8.9	9.3	9.9	8.8	8.7	9.1	9.0	8.8	8.8	8.4
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	160	6.1	5.7	5.4	5.1	4.7	5.7	5.9	4.6	4.3	4.3	4.0	3.8	3.9	3.6
	HORIZONTAL	160	7.2	6.3	5.8	5.8	5.1	5.6	6.9	5.6	5.7	5.3	5.0	4.7	4.4	4.0
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-1.1	-1.1	-1.0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.5	-0.7	-0.5
STRAHLUNGSBILANZ (MW/CM**2)			11.4	4.9	6.1	15.6	15.0	13.1	10.5	3.1	0.0	0.1	0.6	1.8	-3.4	-3.1
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION									D		D			D	
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION									D		D			D	
NACH ...	TEMPERATURGRADIENT									D		D			D	
	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG									D		D			D	

MI8003

MI8004

		HOEHE (M)	17.30	17.40	17.50	18.0	18.10	18.20	18.30	18.40	18.50	19.0
WINDRICHTUNG (GRAD)	40	206	208	197	190	189	204	211	213	206	216	
	60	203	204	192	185	188	199	208	211	203	213	
	100	205	201	194	189	193	200	208	210	206	211	
	160	208	203	199	198	202	208	212	215	211	214	
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)	40	6.1	5.1	4.2	3.4	3.4	3.6	3.9	4.1	4.4	4.8	
	60	7.6	6.6	5.4	4.3	4.6	5.0	5.4	5.4	5.5	5.7	
	100	9.6	8.2	7.3	6.3	6.8	7.2	7.5	7.8	7.7	7.8	
	160	10.7	9.8	8.8	9.4	9.3	9.5	9.8	9.9	9.6	9.9	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	12.0	12.2	12.0	12.2	11.3	11.0	10.4	9.7	9.7	9.9
	HORIZONTAL	40	16.1	16.7	17.0	16.5	15.8	15.8	14.5	13.3	13.1	14.3
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	5.9	5.9	6.3	6.3	6.0	5.3	4.8	4.6	4.7	5.1
	HORIZONTAL	100	8.8	9.0	9.6	9.3	9.2	8.5	7.6	7.1	7.0	7.4
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	160	3.9	4.1	4.5	4.4	4.0	3.5	3.1	2.9	3.2	3.2
	HORIZONTAL	160	4.9	5.2	5.5	5.3	5.1	4.4	3.8	3.5	3.9	4.3
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		-0.5	-0.7	-0.5	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.2	-0.1	-0.1
STRAHLUNGSBILANZ (MW/CM**2)			-5.4	-4.1	-6.4	-6.4	-6.0	-6.0	-5.7	-4.3	-4.8	-6.3
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION									D		
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION									D		E
NACH ...	TEMPERATURGRADIENT									D		E
	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG									D		D

MI8005

		HOEHE (M)	19.40	19.50	20.0	20.10	20.20	20.30	20.40	20.50
WINDRICHTUNG (GRAD)	40	223	222	227	230	230	226	226	226	219
	60	220	221	223	228	224	226	222	222	220
	100	216	217	220	223	222	223	222	222	218
	160	216	219	221	221	221	222	221	219	219
WINDGESCHWINDIGKEIT (M/S)	40	5.7	4.5	4.9	4.7	4.7	4.8	4.8	5.2	
	60	7.1	6.1	6.3	6.0	6.1	6.0	6.4	6.7	
	100	9.4	7.9	8.3	8.2	7.9	8.3	8.5	8.6	
	160	11.9	9.9	10.5	10.7	10.8	10.5	11.1	10.7	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	10.2	10.2	9.8	9.5	9.6	9.5	10.0	10.4
	HORIZONTAL	40	13.3	13.3	13.7	13.4	13.1	13.3	13.8	14.6
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	4.9	4.8	5.1	5.5	5.6	5.9	6.0	5.8
	HORIZONTAL	100	7.5	7.5	8.0	8.1	8.0	8.3	8.5	8.4
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	160	3.0	3.2	3.5	3.6	3.6	3.9	4.0	3.9
	HORIZONTAL	160	3.9	4.2	4.9	4.4	4.5	4.5	4.6	4.6
TEMPERATURGRADIENT (K/100M)	30/100		-0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1
STRAHLUNGSBILANZ (MW/CM**2)			-1.2	-2.2	-4.3	-5.1	-4.7	-3.9	-4.7	-5.2
AUSBREITUNGS- KATEGORIE	VERTIKALFLUKTUATION									D
BESTIMMT	HORIZONTALFLUKTUATION									D
NACH ...	TEMPERATURGRADIENT									E
	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG									D

Tab. 7: Meteorologische Daten des KfK am 08.10.1980

Aufstieg Nr.	Datum	Uhrzeit MEZ	Dauer des Aufstiegs in min	Gipfelhöhe in m	passend zu Tetroonflug
1	11.05.1982	10:30	13	1050	
2	12.05.1982	9:31	33	3700	
3	12.05.1982	10:38	35	3600	BR8201
4	12.05.1982	13:23	13	2000	BR8201
5	12.05.1982	14:22	23	2800	BR8202
6	12.05.1982	14:58	67	7000	BR8202
7	13.05.1982	9:31	41	3850	BR8203
8	13.05.1982	10:35	40	3800	BR8203
9	13.05.1982	13:44	48	4500	BR8204
10	13.05.1982	15:37	32	4000	BR8204
11	17.05.1982	10:00	29	2790	BR8206
12	17.05.1982	12:10	30	2400	BR8207
13	17.05.1982	13:40	21	1230	BR8207
14	17.05.1982	15:00	35	3000	BR8208

Tab. 8: Radiosondenaufstiege der LfU während der Meßkampagne im Mai 1982

BR8201

		HOEHE (M)	10,10	10,20	10,30	10,40	10,50	11,0	11,10	11,20	11,30	11,40	11,50	12,0	12,10	12,20	
WINDRICHTUNG	(GRAD)	40	50	51	55	56	48	58	60	51	46	63	51	65	81	95	86
		60	49	49	55	55	46	57	57	50	43	60	48	59	77	79	79
		100	55	54	60	54	52	60	55	54	49	60	55	61	75	75	79
		160	60	60	62	57	59	63	58	60	57	59	66	60	78	74	74
		200	68	67	69	64	65	70	64	65	63	64	74	63	84	77	
WINDGESCHWINDIGKEIT	(M/S)	40	5,4	5,1	4,6	4,3	4,5	4,2	4,1	4,2	4,8	4,6	4,7	3,7	4,5	4,3	4,3
		60	6,0	5,6	5,0	5,0	5,5	4,9	4,5	4,9	5,3	5,0	4,8	4,3	4,9	4,8	4,8
		100	6,3	6,0	5,6	5,6	5,9	5,4	5,0	5,5	5,5	5,1	5,3	4,6	5,3	5,2	5,2
		160	6,3	6,0	5,8	5,9	5,9	5,4	5,1	5,7	5,6	5,4	5,7	4,9	5,6	5,7	5,7
		200	6,7	6,5	6,1	6,4	6,3	5,7	5,4	6,0	5,9	5,9	2,1	5,2	5,8	6,0	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	10,6	10,0	10,2	10,1	10,6	10,8	11,4	11,3	10,3	10,4	11,0	12,7	12,8	13,4	
	HORIZONTAL	40	13,5	13,1	14,5	13,9	13,6	14,5	14,5	14,6	13,7	13,9	13,5	15,1	17,0	19,0	
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	7,5	8,1	9,8	9,3	8,0	7,5	8,4	8,7	8,3	9,0	9,3	10,2	10,6	11,6	
	HORIZONTAL	100	7,3	7,5	8,6	8,0	7,3	6,8	7,5	7,8	7,2	7,9	8,6	9,4	11,6	12,3	
	VERTIKAL	160	6,8	7,0	8,5	8,5	7,4	6,9	7,8	8,7	8,7	9,4	9,8	9,8	10,7	12,0	
	HORIZONTAL	160	6,8	6,5	6,8	6,7	6,8	6,2	6,9	7,4	6,9	7,2	7,9	7,8	9,5	9,9	
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE	(GRAD)	100	8,2	8,6	11,7	10,2	5,9	9,6	12,9	5,8	8,9	10,9	13,7	19,9	20,3	21,8	
TEMPERATURGRADIENT	(K/100M)	30/100	-1,4	-1,4	-1,5	-1,4	-1,5	-1,7	-1,5	-1,7	-1,4	-1,6	-1,6	-1,7	-1,6	-1,9	
STRAHLUNGSBILANZ	(MH/CM**2)		35,0	36,6	32,2	35,0	38,3	42,4	41,0	41,5	40,0	39,9	49,2	49,6	48,7	48,9	
AUSBREITUNGS-	VERTIKALFLUKTUATION																
KATEGORIE	HORIZONTALFLUKTUATION																
BESTIMMT	TEMPERATURGRADIENT																
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG																

BR8201

		HOEHE (M)	12,30	12,40	12,50	13,0	13,10	13,20	13,30	13,40	13,50	14,0	14,10	14,20	14,30	
WINDRICHTUNG	(GRAD)	40	78	52	61	84	73	71	79	62	61	70	92	76	61	60
		60	73	47	62	80	68	70	75	60	60	67	84	79	60	60
		100	69	50	64	78	70	76	74	63	67	70	81	75	60	60
		160	70	53	67	73	77	74	76	66	72	71	78	77	61	61
		200	75	60	74	76	84	77	79	70	79	75	79	78	66	
WINDGESCHWINDIGKEIT	(M/S)	40	4,4	4,9	4,8	5,0	5,4	5,3	4,7	4,7	4,1	4,5	4,5	4,1	4,6	4,6
		60	5,0	5,7	5,4	5,4	5,6	5,8	5,0	5,3	4,6	4,8	4,9	4,4	5,2	
		100	5,4	6,0	5,9	5,7	5,8	5,9	5,3	6,0	5,2	5,3	5,2	5,2	5,6	
		160	5,9	6,2	6,4	5,9	6,0	6,6	5,9	6,0	5,9	5,8	5,8	5,7	6,0	
		200	6,3	6,6	6,9	6,1	6,3	7,1	6,0	6,5	6,1	6,3	6,2	6,0	6,4	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	13,1	13,0	12,0	12,0	12,4	12,3	12,3	13,0	13,1	13,7	13,1	14,3	15,1	
	HORIZONTAL	40	19,0	17,2	16,3	17,2	17,0	16,6	18,3	18,4	18,7	19,0	19,9	19,7	18,9	
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	11,5	10,2	8,7	9,9	10,9	11,6	12,2	12,6	12,3	12,4	12,4	12,9	13,5	
	HORIZONTAL	100	12,8	11,6	10,3	10,3	10,8	10,4	12,2	13,4	12,8	12,6	14,3	14,0	13,2	
	VERTIKAL	160	11,8	10,1	9,0	9,9	11,2	11,8	12,3	12,0	12,2	12,9	13,4	13,9	14,3	
	HORIZONTAL	160	10,3	9,3	8,8	8,9	9,9	9,4	11,2	11,3	10,7	10,5	12,4	12,6	11,6	
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE	(GRAD)	100	18,9	6,8	14,3	13,3	15,1	22,8	25,9	16,0	22,1	24,8	15,0	17,9	14,7	
TEMPERATURGRADIENT	(K/100M)	30/100	-1,8	-1,7	-1,6	-1,7	-1,4	-1,6	-1,4	-1,6	-1,5	-1,7	-1,0	-2,0	-1,6	
STRAHLUNGSBILANZ	(MH/CM**2)		47,3	46,8	49,1	49,1	48,7	46,3	44,6	41,3	40,4	44,5	42,2	42,0	41,1	
AUSBREITUNGS-	VERTIKALFLUKTUATION															
KATEGORIE	HORIZONTALFLUKTUATION															
BESTIMMT	TEMPERATURGRADIENT															
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG															

BR8202

		HOEHE (M)	15,10	15,20	15,30	15,40	15,50	16,0	16,10	16,20	16,30	16,40	16,50	17,0	17,10	17,20	17,30	17,40	17,50	18,0	
WINDRICHTUNG	(GRAD)	40	83	47	76	76	70	78	89	76	94	56	62	73	74	60	65	67	63	48	48
		60	75	46	71	73	69	74	81	66	55	59	61	68	70	59	61	66	62	46	46
		100	78	52	74	75	70	74	77	65	60	64	68	69	70	65	60	67	64	47	47
		160	75	57	76	84	72	79	77	76	66	72	66	70	76	67	61	69	61	53	53
		200	81	64	83	90	77	84	82	85	77	79	71	76	80	72	60	66	64	58	
WINDGESCHWINDIGKEIT	(M/S)	40	4,3	4,3	3,8	3,9	3,6	4,2	3,9	2,8	3,3	3,5	3,7	4,0	4,3	3,9	3,0	3,1	3,2	4,1	4,1
		60	4,8	4,7	4,1	4,4	3,9	4,4	4,1	3,1	3,8	4,0	4,0	4,5	4,6	4,3	3,2	3,5	3,4	4,6	4,6
		100	5,0	4,9	4,4	4,9	4,3	4,6	4,9	3,6	4,2	4,4	4,4	4,8	4,9	4,4	3,5	4,1	3,7	4,9	4,9
		160	5,0	5,3	5,1	5,2	4,6	4,9	4,9	3,9	4,8	4,8	4,7	5,2	5,3	4,6	4,2	4,6	3,9	5,0	5,0
		200	5,2	5,5	5,7	5,6	5,1	5,2	5,3	4,3	5,1	5,1	4,8	5,5	5,6	5,0	4,5	4,9	4,3	5,3	
STREUUNG DER WINDRICHTUNGS-FLUKTUATION	VERTIKAL	40	13,6	12,2	11,4	11,2	12,5	12,3	13,2	13,0	14,1	14,1	12,8	12,4	12,3	12,2	12,2	12,3	12,3	11,2	11,2
	HORIZONTAL	40	18,8	17,4	18,1	17,1	19,0	19,5	18,7	17,8	19,0	19,2	20,3	18,7	17,9	17,0	17,4	19,5	18,8	16,3	16,3
VEKTORFAHNE (GRAD)	VERTIKAL	100	14,7	13,1	12,5	12,7	12,7	12,3	12,4	12,3	13,0	12,2	12,1	11,5	10,5	11,2	11,4	13,4	13,7	11,4	11,4
	HORIZONTAL	100	12,5	11,3	12,4	12,0	12,3	12,6	11,6	11,0	12,3	11,8	12,5	11,2	10,2	10,0	10,4	12,2	12,4	10,5	10,5
	VERTIKAL	160	13,7	12,5	13,4	13,7	13,8	14,4	13,1	12,4	11,7	12,5	12,0	10,6	9,7	9,5	9,9	11,8	11,6	9,8	9,8
	HORIZONTAL	160	10,2	9,8	9,5	9,6	10,3	11,6	11,2	10,6	10,6	10,3	11,0	9,9	9,2	8,3	9,5	9,8	9,6	8,3	8,3
STREUUNG DER HORIZONTALEN WINDRICHTUNGSFLUKTUATION LAMBRECHTFAHNE	(GRAD)	100	19,8	8,2	24,3	20,1	18,1	17,3	12,9	15,9	15,5	16,8	16,4	10,0	11,8	15,7	14,0	15,4	17,2	6,9	6,9
TEMPERATURGRADIENT	(K/100M)	30/100	-1,5	-1,5	-1,5	-1,3	-1,6	-1,4	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6	-1,5	-1,3	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,2	-1,1	-1,1
STRAHLUNGSBILANZ	(MH/CM**2)		36,2	34,3	32,0	30,6	28,7	27,1	24,5	22,3	21,4	19,2	17,2	15,1	13,3	11,3	9,6	8,2	6,6	7,1	7,1
AUSBREITUNGS-	VERTIKALFLUKTUATION																				
KATEGORIE	HORIZONTALFLUKTUATION																				
BESTIMMT	TEMPERATURGRADIENT																				
NACH ...	SYNOPTISCHE BEOBSACHTUNG																				

Tab. 9: Meteorologische Daten des KfK am 12.05.1982

BR203

Table with columns for height (m), wind direction (grad), wind speed (m/s), and various meteorological parameters for station BR203.

BR204

Table with columns for height (m), wind direction (grad), wind speed (m/s), and various meteorological parameters for station BR204.

BR205

Table with columns for height (m), wind direction (grad), wind speed (m/s), and various meteorological parameters for station BR205.

Tab. 10: Meteorologische Daten des KfK am 13.05.1982

BR8206

Table with columns for wind direction, wind speed, and various atmospheric parameters (e.g., fluctuation, temperature gradient) across different heights (40, 60, 100, 160, 200m).

BR8207

Table with columns for wind direction, wind speed, and various atmospheric parameters (e.g., fluctuation, temperature gradient) across different heights (12.50, 13.0, 13.10, 13.20, 13.30, 13.40, 13.50, 14.0, 14.10, 14.20, 14.30, 14.40, 14.50, 15.0).

BR8208

Table with columns for wind direction, wind speed, and various atmospheric parameters (e.g., fluctuation, temperature gradient) across different heights (15.40, 15.50, 16.0, 16.10, 16.20, 16.30, 16.40, 16.50, 17.0, 17.10, 17.20, 17.30, 17.40, 17.50, 18.0, 18.10, 18.20, 18.30).

Tab. 11: Meteorologische Daten des KfK am 17.05.1982

Schrägentfernung s in km	Höhenkorrektur in m		
	Erdkrümmung $h_E = \frac{s^2}{2R}$	Brechung + Erdkrümmung $h_{B,E} = \frac{3s^2}{8R}$	Brechung $h_B = h_E - h_{B,E} = \frac{s^2}{8R}$
5	2	1,5	0,5
10	8	6	2
20	31	23	8
30	71	53	18
50	196	147	49
70	384	288	96
90	636	477	159

Tab. 12: Höhenkorrektur bei Berücksichtigung von Erdkrümmung und Brechung

Tetroon	Ausbreitungskategorie am KfK	Δt ¹⁾ in h:min	ausgewertete Flugstecke in km	Mittelwert + Standardabweichung der Richtung				Tracerexperimente ⁴⁾ (Sammelzeit 30 min)	
				Windrichtung in 200 m Höhe ²⁾	Tetroon ³⁾	σ_o	p	σ_o	p
BR7805, BR7806	B	4:30	28	229±18	313±17	0,170	1,027	0,415	0,903
BR8201, BR8202	B	4:50	60	72±8	78±16	0,012	1,289		
BR8203÷BR8205	B	7:55	64	75±10	72±16	0,305	0,971		
BR8206÷BR8208	C	5:45	55	220±7	224±10	0,002	1,411	0,232	0,903
MI8001÷MI8005	D	5:00	44	225±11	241±7	2,78	0,689	0,208	0,903

Tab. 13: Zur Bestimmung des horizontalen Ausbreitungsparameters $\sigma_y = \sigma_o x^p$ (x und σ_y in m)

- 1) Δt ist die Zeit zwischen Start des ersten und letzten Tetroon einer Serie
- 2) Mittelwert über Δt
- 3) Mittelwert errechnet aus mittleren Flugrichtungen der Tetroons einer Serie
- 4) aus /HÜ80/

Tetroon	mittlere Flughöhe in m	Ausbrei- tungs- kategorie	mittlere Geschwindigkeit \bar{v} in m/s		\bar{v}_M / \bar{v}_T	mittlere Richtung \bar{d} in Grad		$\bar{d}_T - \bar{d}_M$
			Tetroon	Mast 200 m		Tetroon	Mast 200 m	
BR7801	700	A	2,4	2,5	1,05	34,0	73,0	-39
BR7802	350	D	3,9	4,4	1,13	43,1	57,4	-14,3
BR7803	400	C	3,6	3,2	0,89	67,1	55,6	+11,5
BR7804	750	B	5,2	4,5	0,87	67,5	62,5	+5,0
BR7805	650	C	4,3	2,5	0,58	323,6	225,8	+97,8
BR7806	600	A	4,1	3,0	0,73	300,7	250,3	+50,4
MI8001	250	D	8,6	9,8	1,14	240,3	244,5	-4,2
MI8002	1000	D	13,6	9,2	0,68	241,2	225,3	+15,9
MI8003	1000	D	14,8	10,4	0,70	250,6	209,4	+41,2
MI8004	400	D	12,2	11,1	0,91	235,4	219,7	+15,7
MI8005	850	D	12,7	12,4	0,98	234,4	223,3	+11,1
BR8201	1100	C/B	3,7	6,2	1,67	89,3	71,6	+17,7
BR8202	300	B	5,5	5,1	0,93	66,3	73,7	-7,4
BR8203	350	B	7,0	4,4	0,63	81,3	64,5	+16,8
BR8204	300	B	6,3	5,7	0,90	53,4	75,3	-21,9
BR8205	300	B/C	5,2	5,5	1,06	81,0	85,0	-4,0
BR8206	300	C	6,4	6,2	0,97	224,4	224,4	+0,0
BR8207	400	B	5,7	4,7	0,82	213,7	217,0	-3,3
BR8208	550	C	4,7	5,0	1,06	232,9	221,8	+11,1

Tab. 14: Vergleich der Tetroontrajektorien mit aus Mastdaten errechneten Trajektorien

LAGE DER STATION				
STATIONSNAME	WINKEL IN GRAD	R IN KM	X IN KM	Y IN KM
KL.-FELDBERG x	2.0	121.5	4.24	121.43
F.-FLUGHAFEN x	6.5	102.0	11.55	101.34
DARMSTADT x	11.5	87.4	17.42	85.65
THOLEY x	294.6	108.0	-28.20	44.96
SAAR3-FLUGH x	278.5	95.3	-94.25	14.09
NEUSTADT x	325.0	36.5	-20.94	29.90
KARLSRUHE x	216.0	7.3	-4.29	-5.91
MANNHEIM x	8.5	45.0	6.65	44.51
KKP o	2.5	18.0	0.79	17.93
S.-STADT x	117.5	63.7	56.50	-29.41
S.-FLUGHAFEN x	129.5	71.8	55.40	-45.67
OEHRINGEN x	81.0	79.6	78.62	12.45
KFK o	-	0.0	0.0	0.0
RASTATT Δ	221.5	30.0	-19.98	-22.47
HEILBRONN Δ	85.0	58.0	57.78	5.06
KEHL Δ	219.0	72.6	-45.69	-56.42
FREISTETT o	220.0	58.6	-37.67	-44.89
FREUDENSTADT x	181.5	70.8	-1.85	-70.78
KLIPPENECK x	168.5	111.8	22.29	-109.56
STUETTEN x	114.0	115.4	105.42	-46.94
FELDBERG-SCH x	194.5	138.0	-34.55	-133.60

x DWD-Synop-Stationen
o Meßmasten
Δ automat. Bodenstationen der LfU

Tab. 15: Meßstationen im Programm WINDFELD
(Koordinatenursprung im KfK)

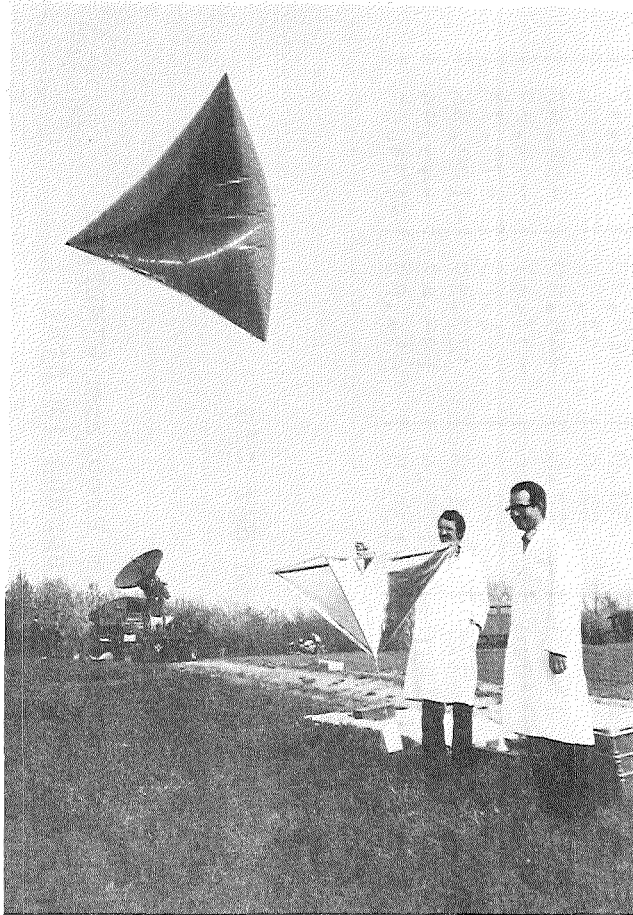


Abb. 1: Tetroon mit Reflektor und Mobilem Ballon Verfolgungs Radar MBVR-120 im Hintergrund

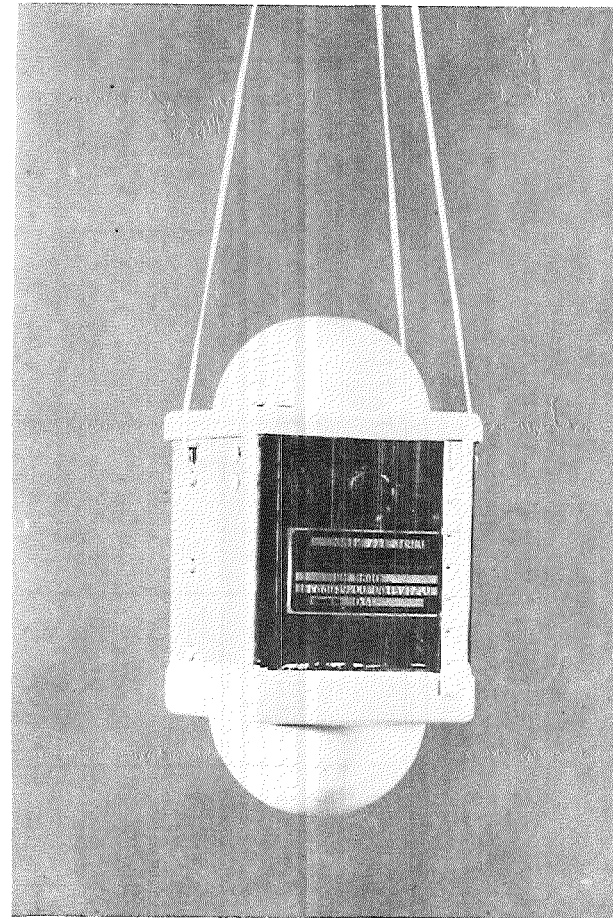


Abb. 2: Transponder

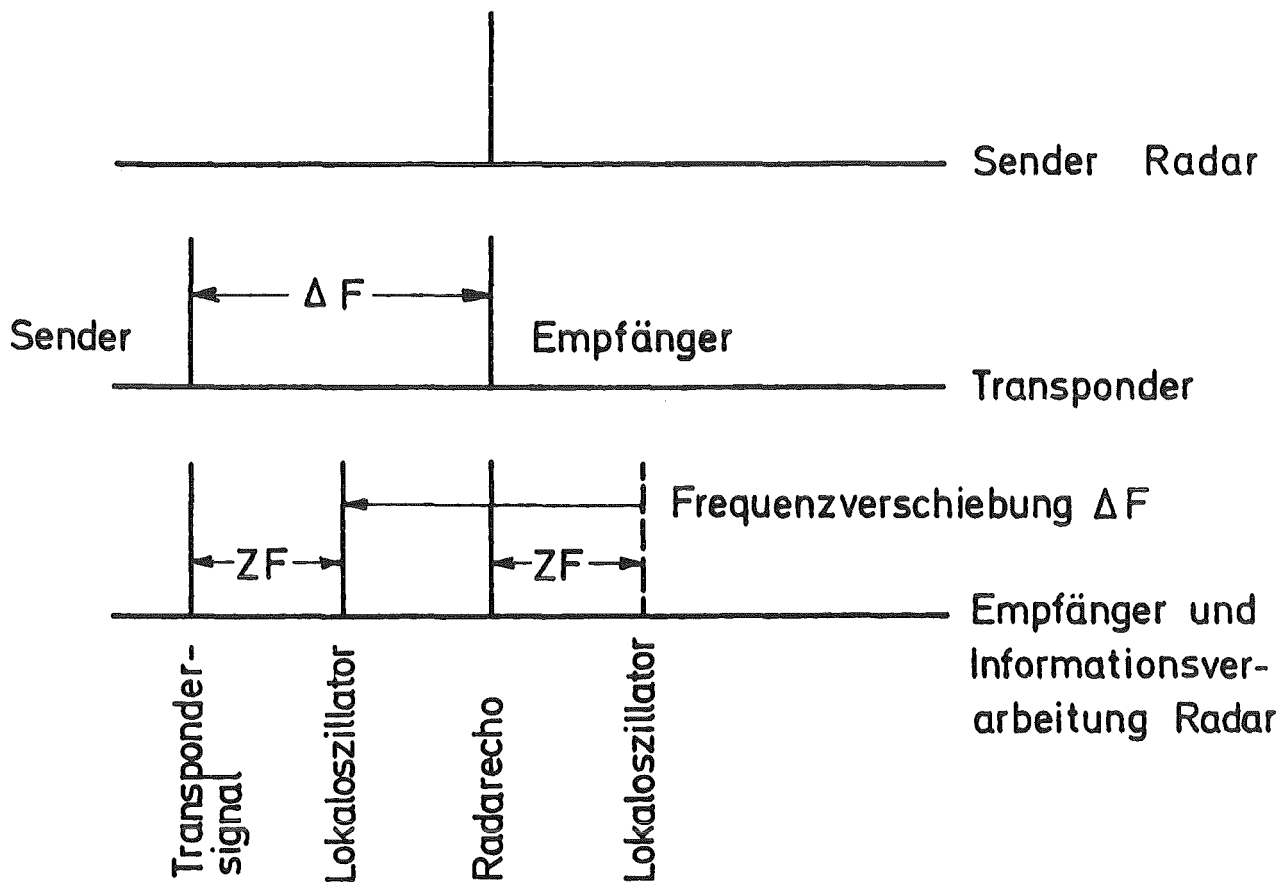


Abb. 3: Frequenzen beim System Radar - Transponder

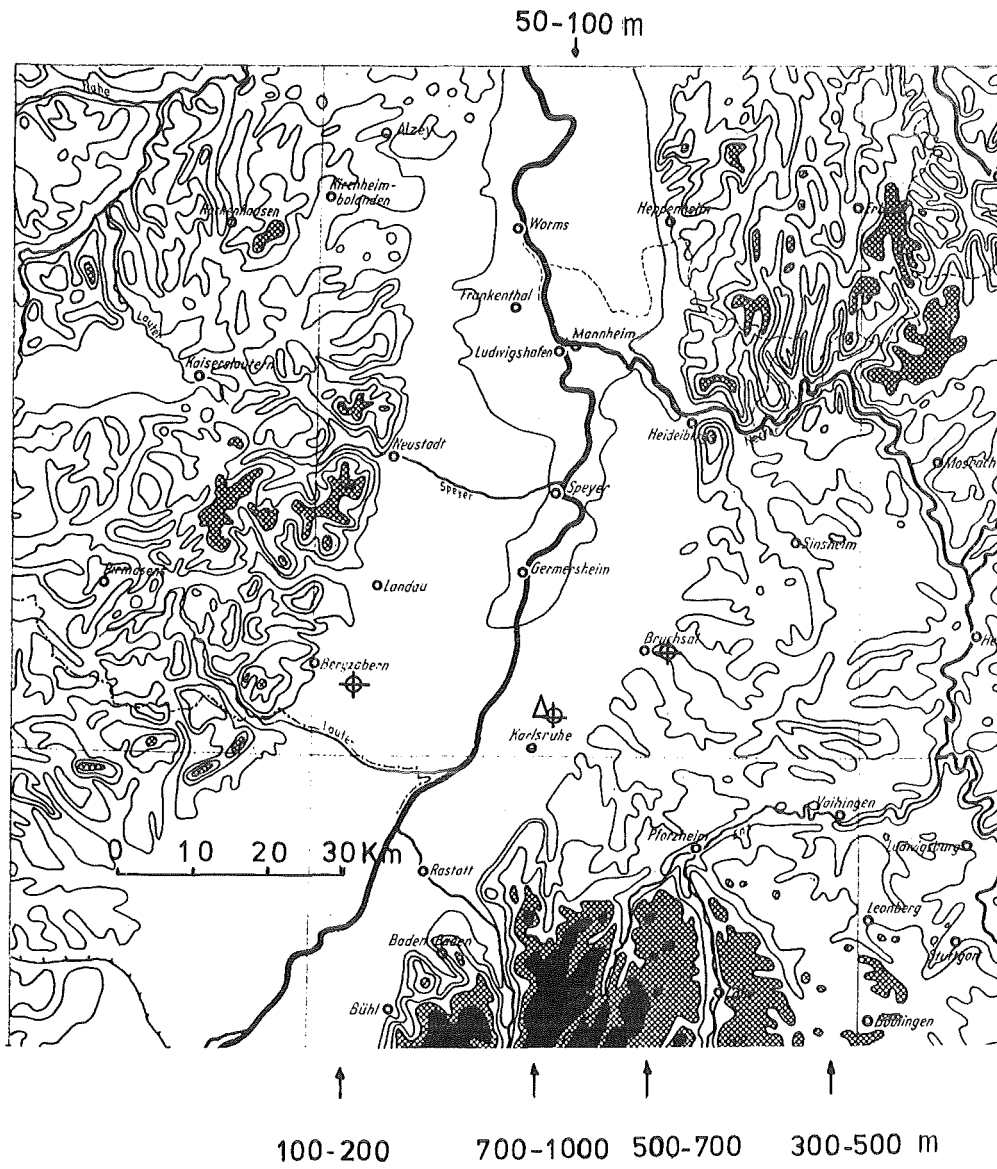


Abb. 4: Lageplan des Experimentierfeldes im Oberrheintal

- ◆ Startplätze der Tetroons
- △ Kernforschungszentrum

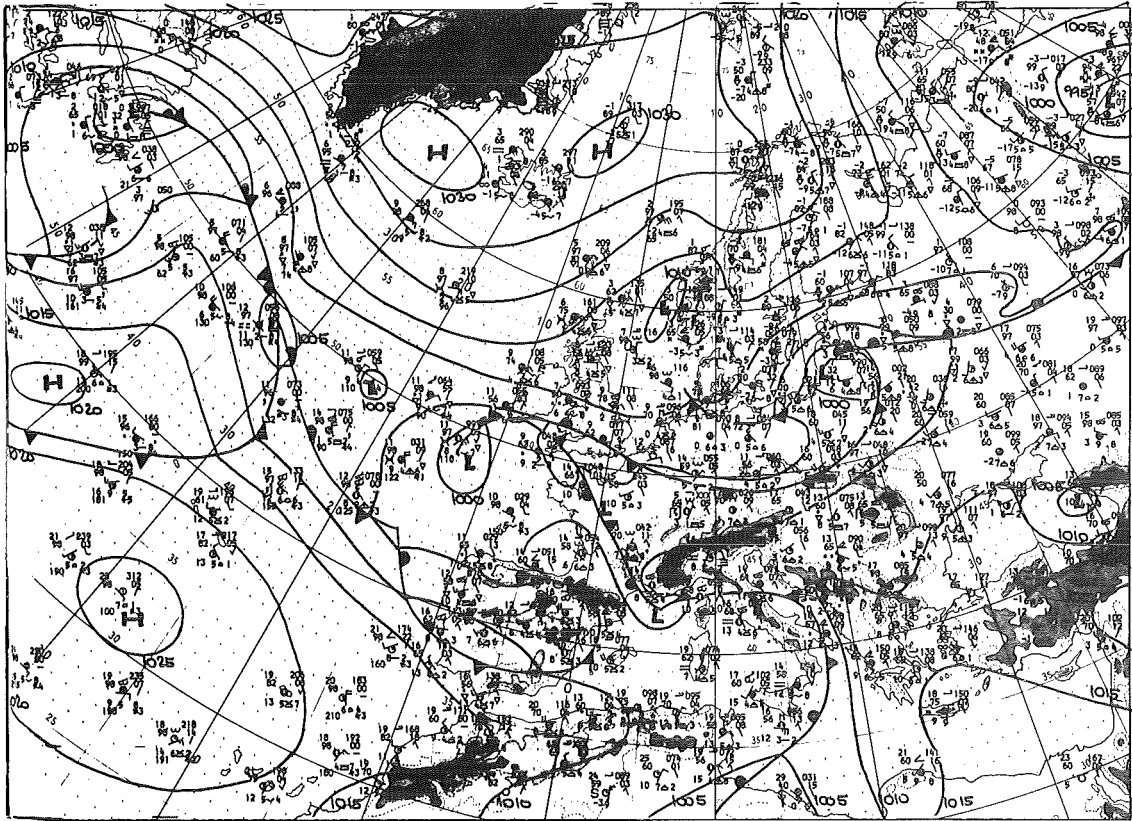


Abb. 5a: Bodenwetterkarte vom 25.4.1978 (13:00 MEZ)

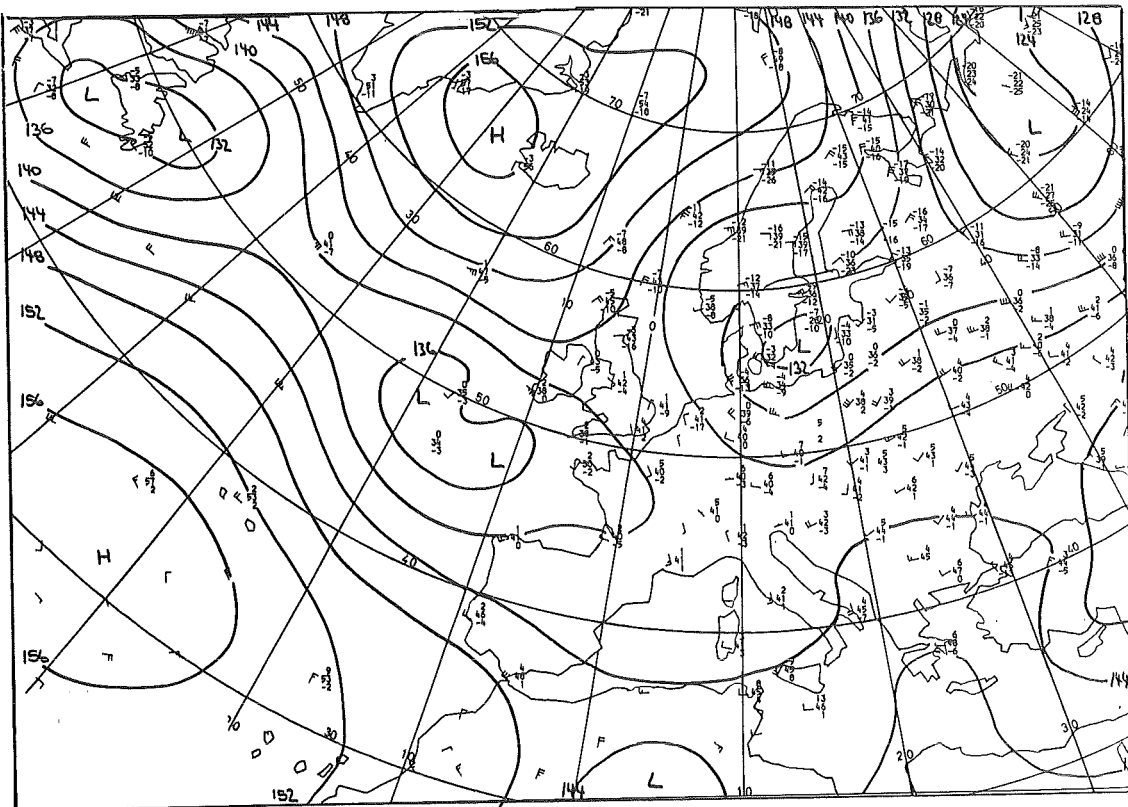


Abb. 5b: Lage der 850 mb-Fläche am 25.4.1978 (01:00 MEZ)

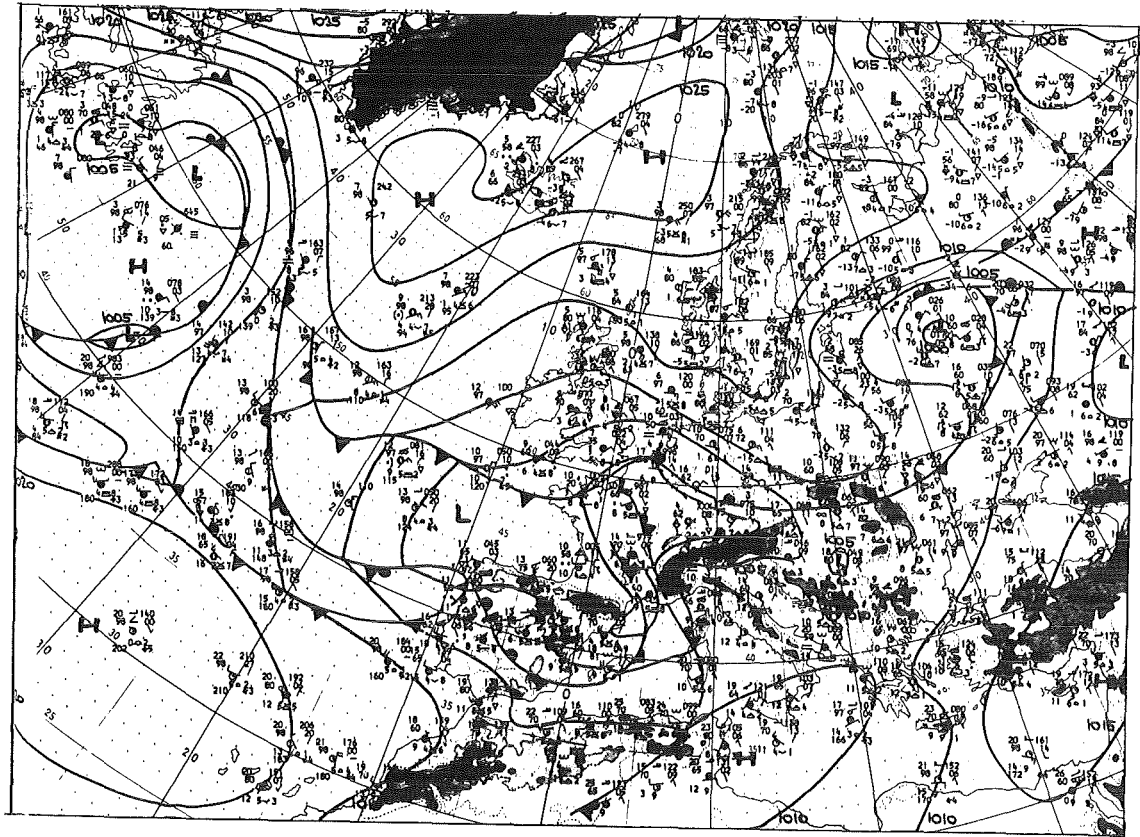


Abb. 6a: Bodenwetterkarte vom 26.4.1978 (13:00 MEZ)

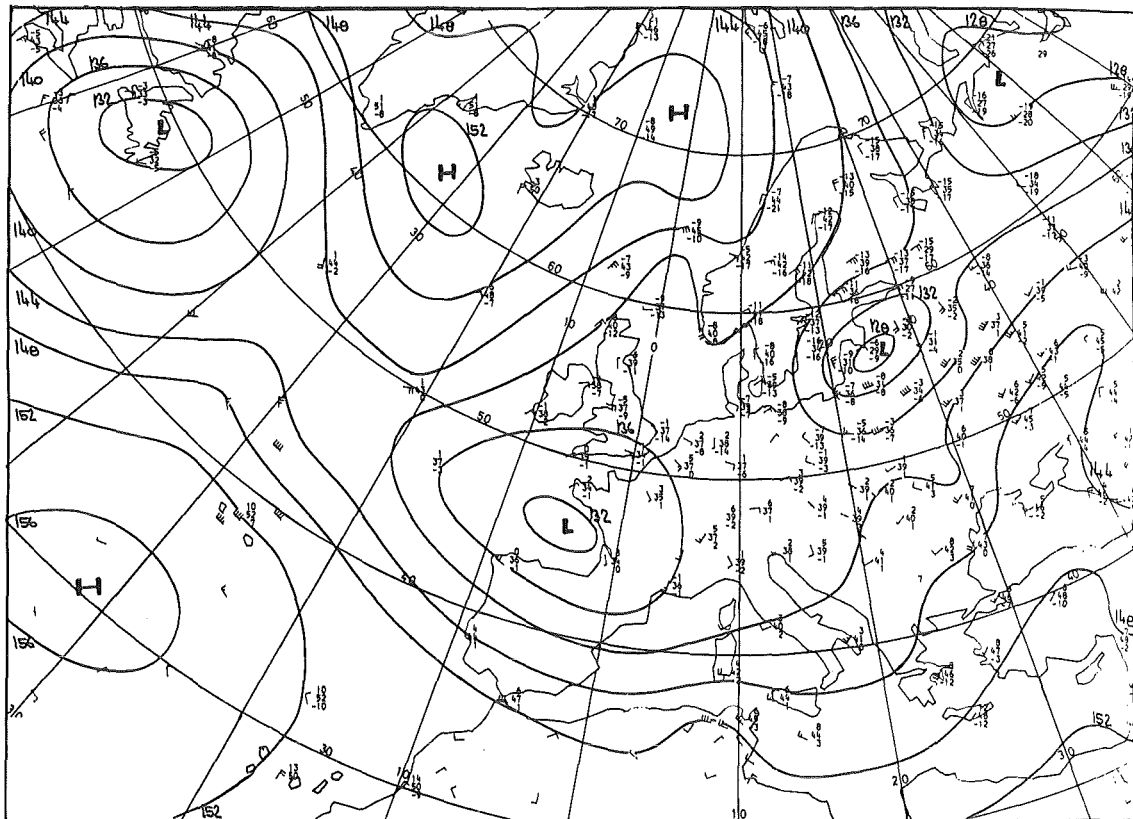


Abb. 6b: Lage der 850 mb-Fläche am 26.4.1978 (01:00 MEZ)

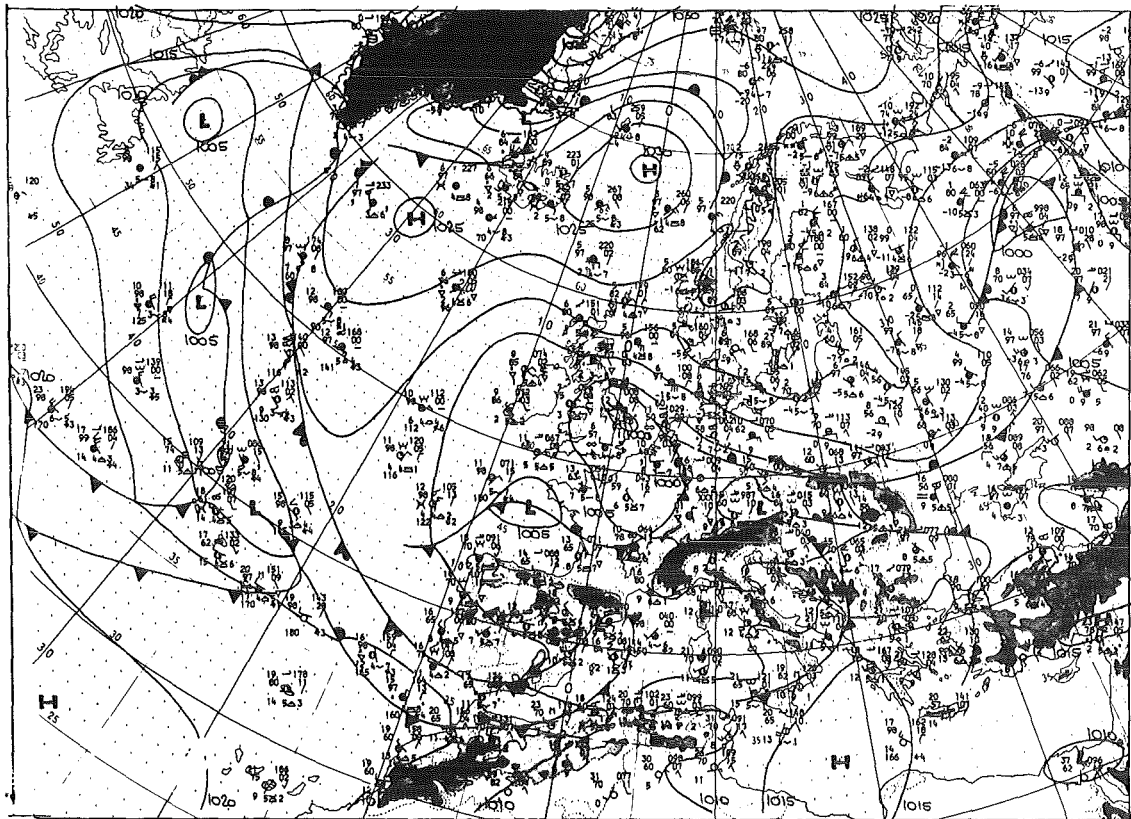


Abb. 7a: Bodenwetterkarte vom 27.4.1978 (13:00 MEZ)

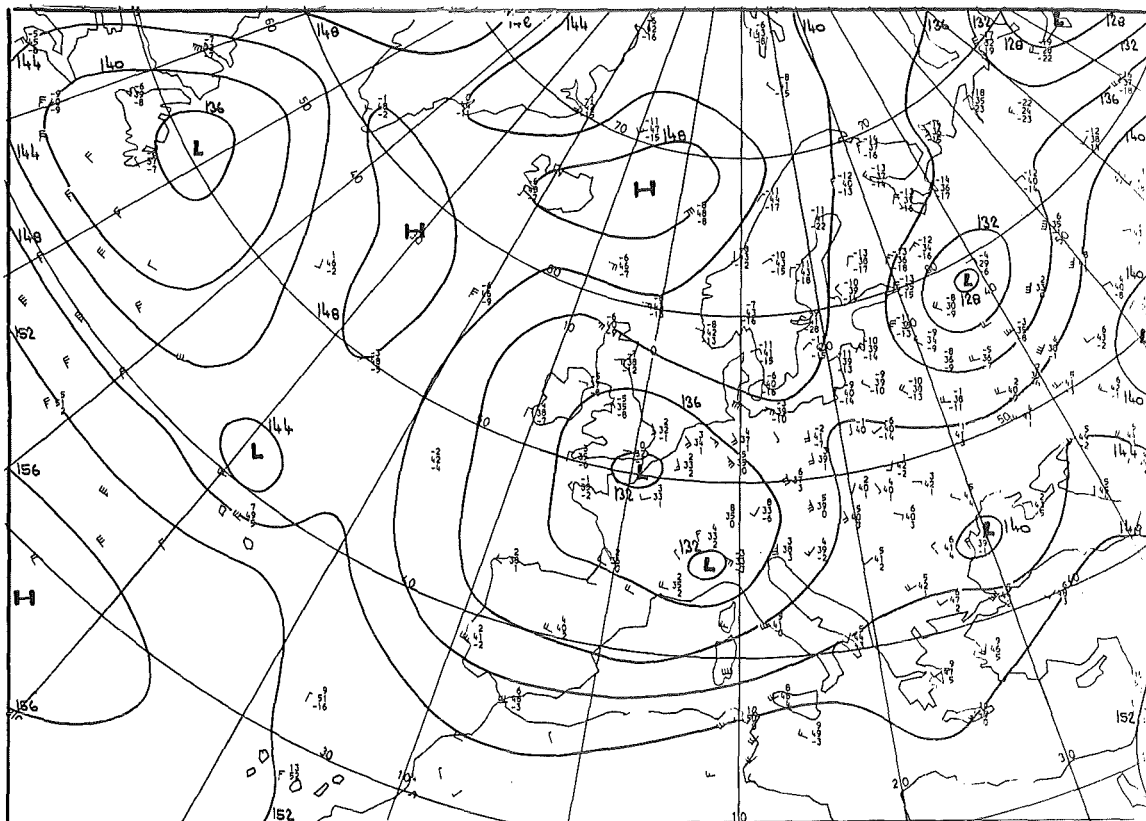


Abb. 7b: Lage der 850 mb-Fläche am 27.4.1978 (01:00 MEZ)

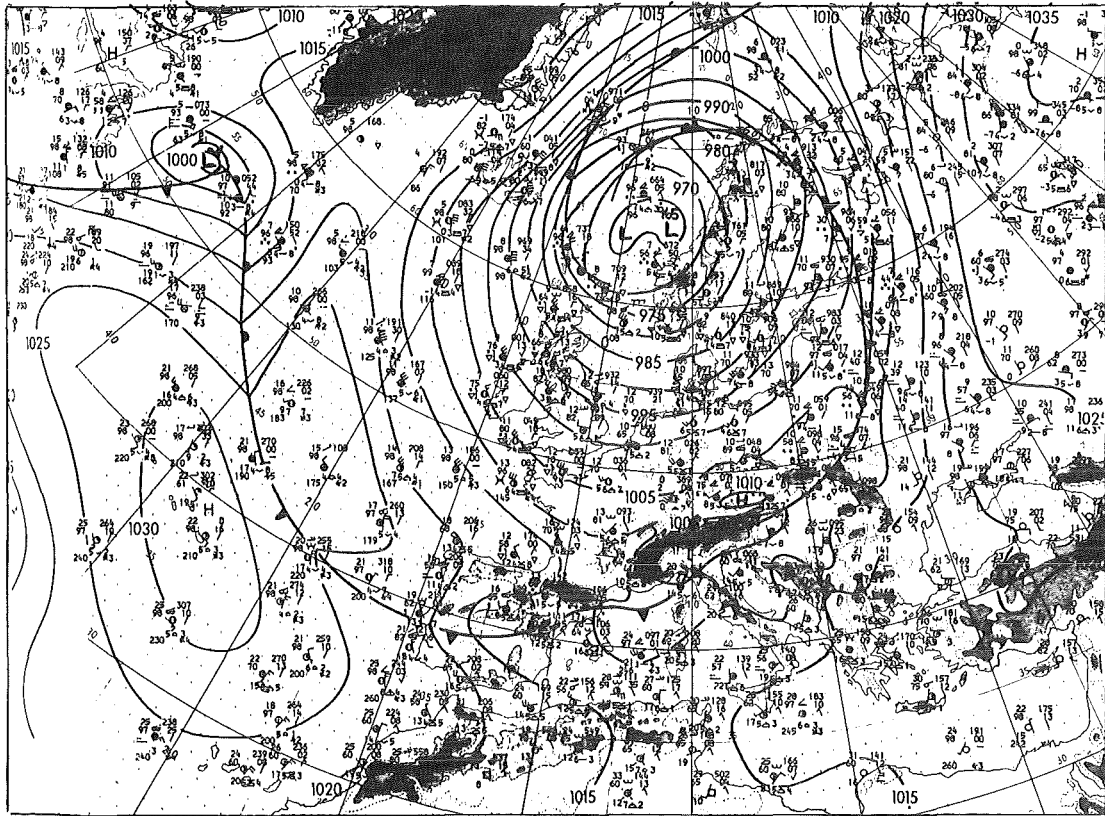


Abb. 8a: Bodenwetterkarte vom 8.10.1980 (13:00 MEZ)

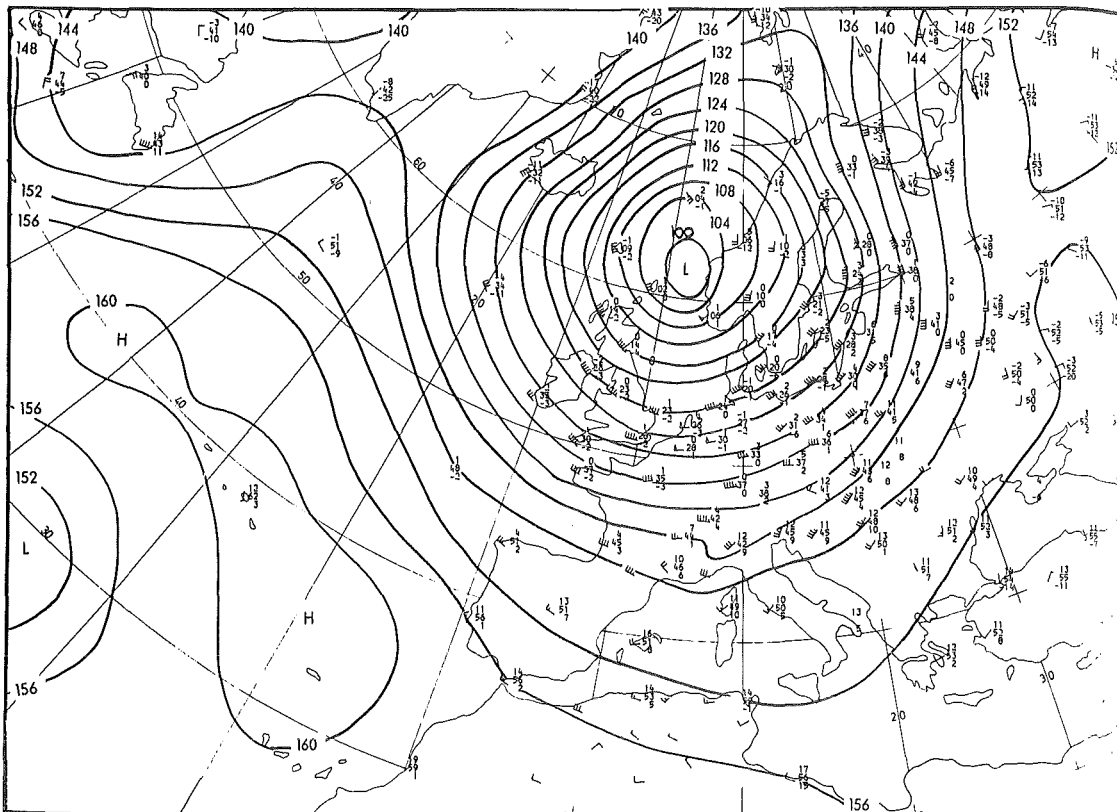


Abb. 8b: Lage der 850 mb-Fläche am 8.10.1980 (01:00 MEZ)

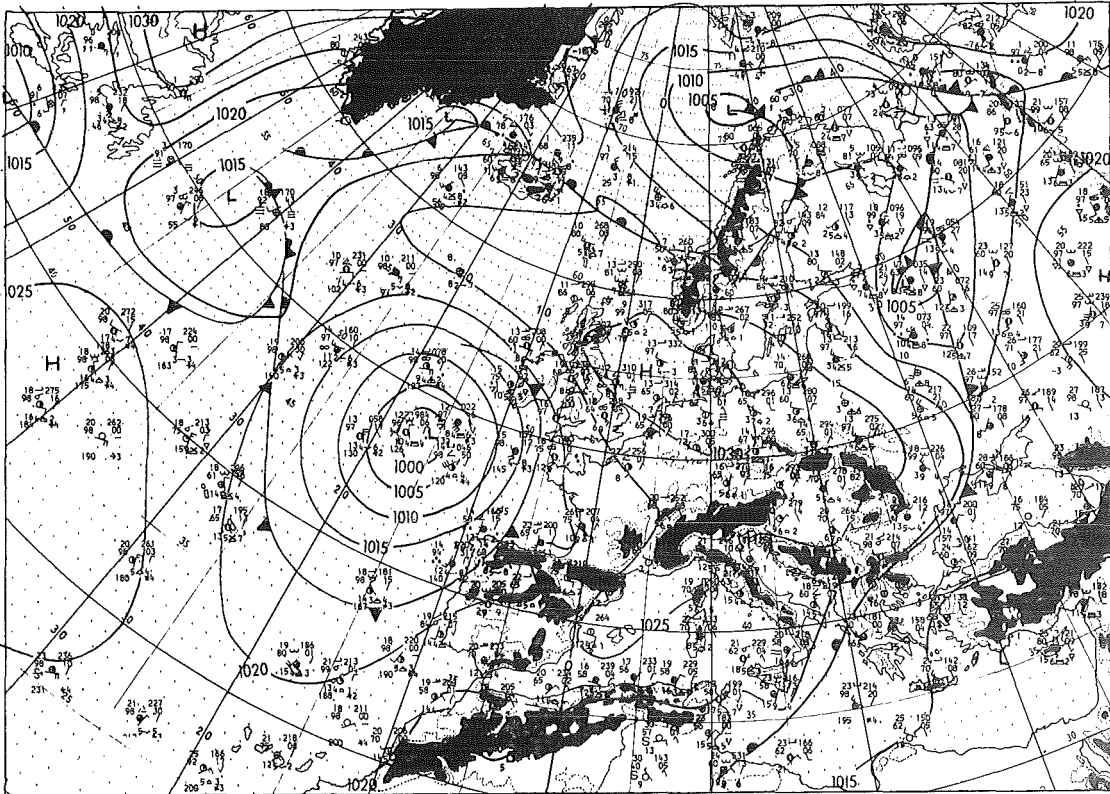


Abb. 9a: Bodenwetterkarte vom 12.5.1982 (13:00 MEZ)

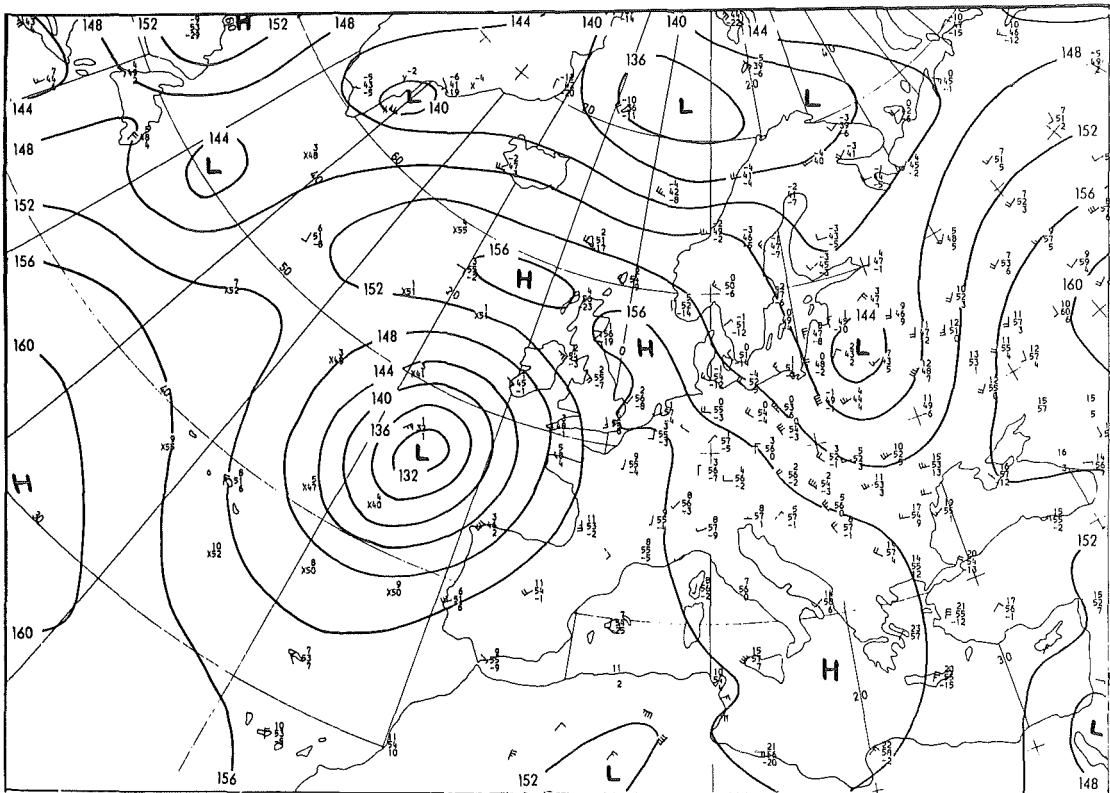


Abb. 9b: Lage der 850 mb-Fläche am 12.5.1982 (01:00 MEZ)

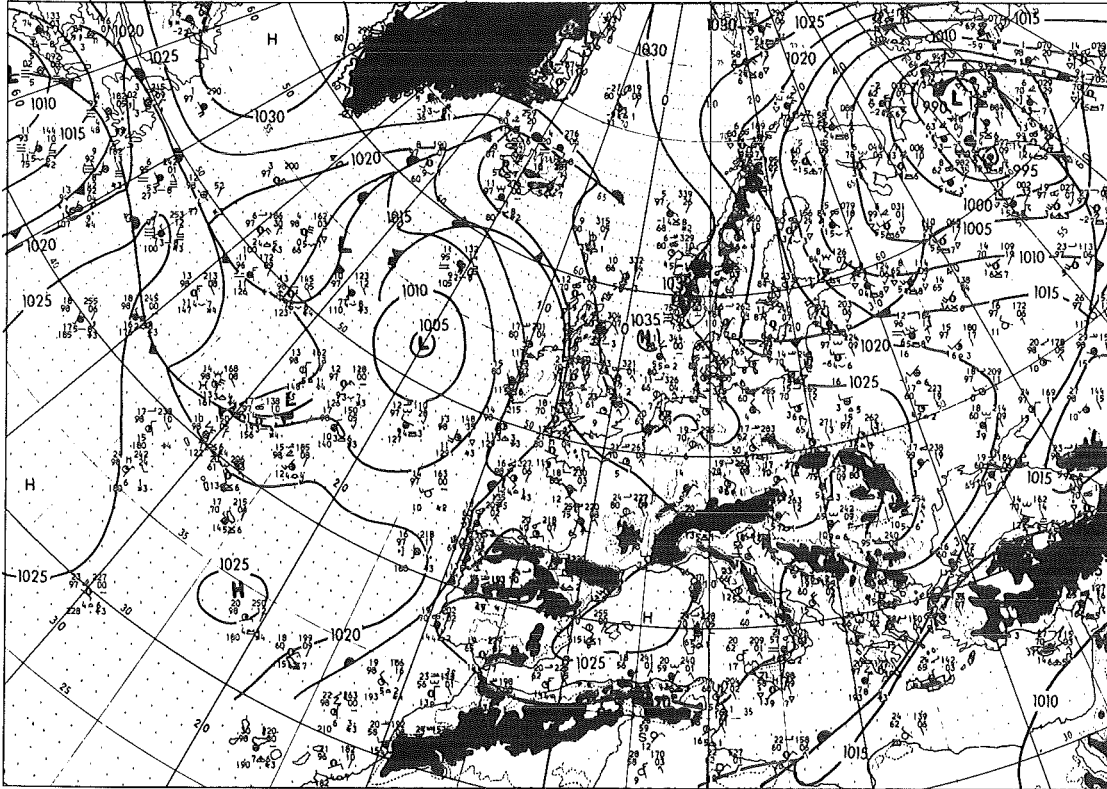


Abb. 10a: Bodenwetterkarte vom 13.5.1982 (13:00 MEZ)

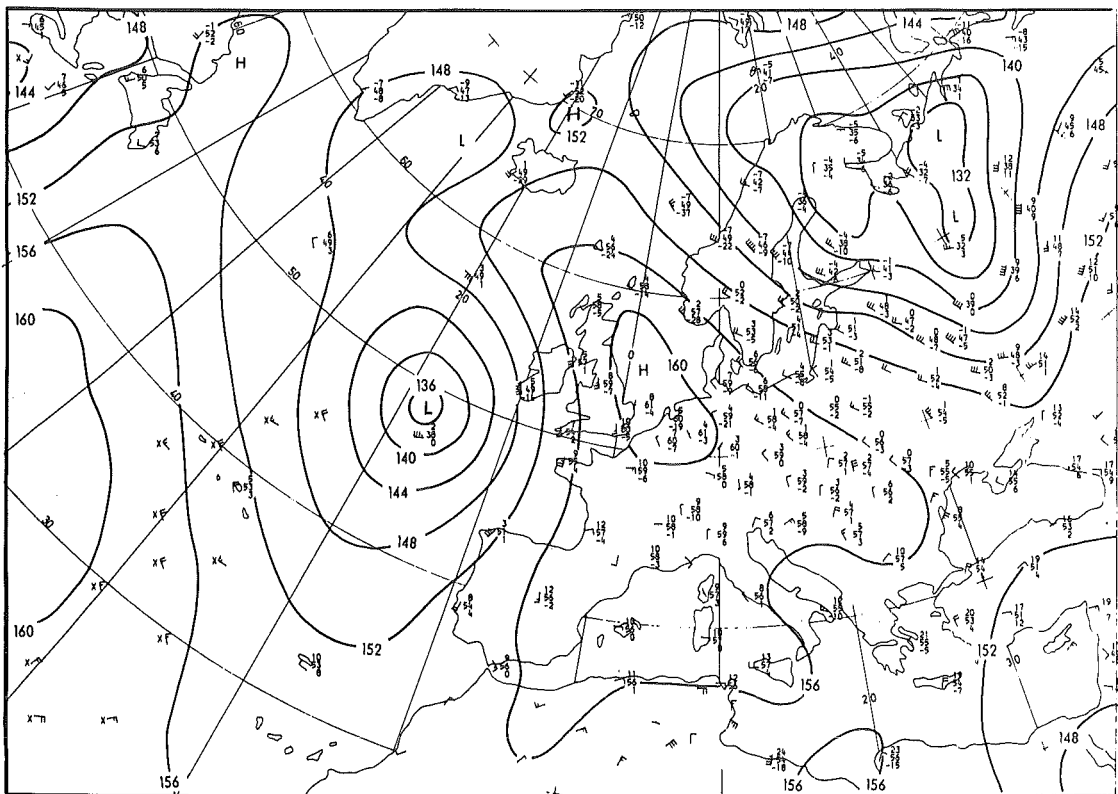


Abb. 10b: Lage der 850 mb-Fläche am 13.5.1982 (01:00 MEZ)

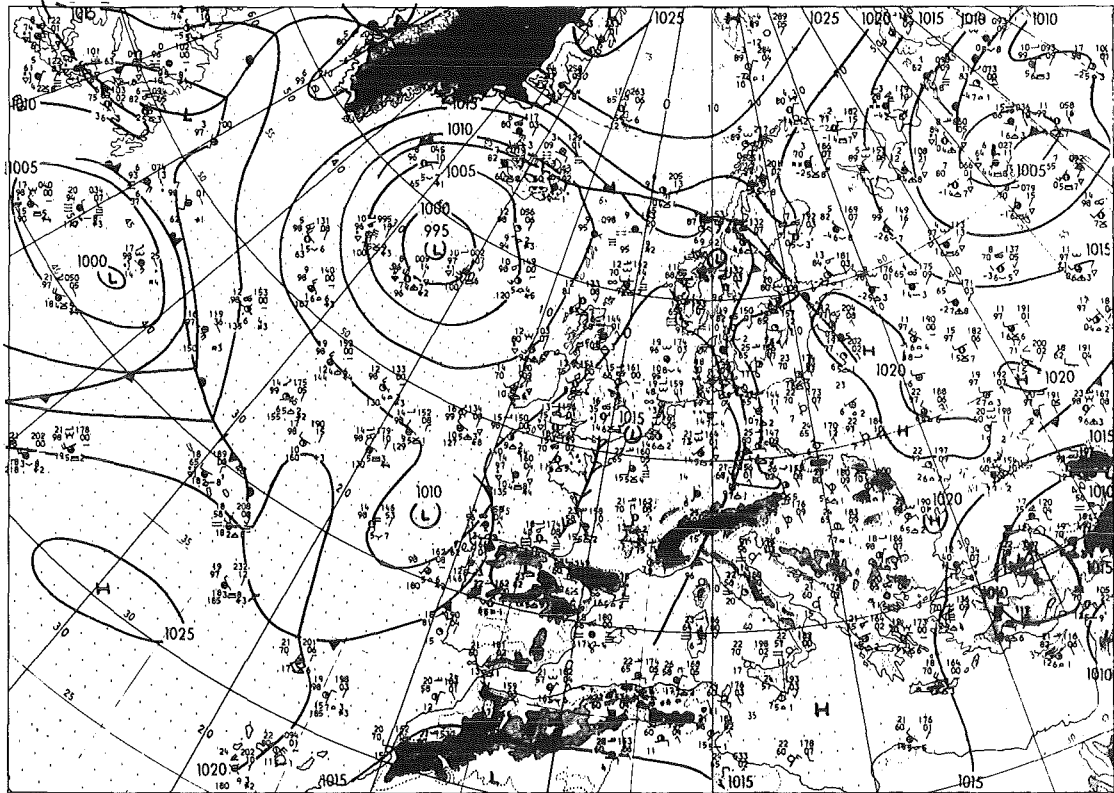


Abb. 11a: Bodenwetterkarte vom 17.5.1982 (13:00 MEZ)

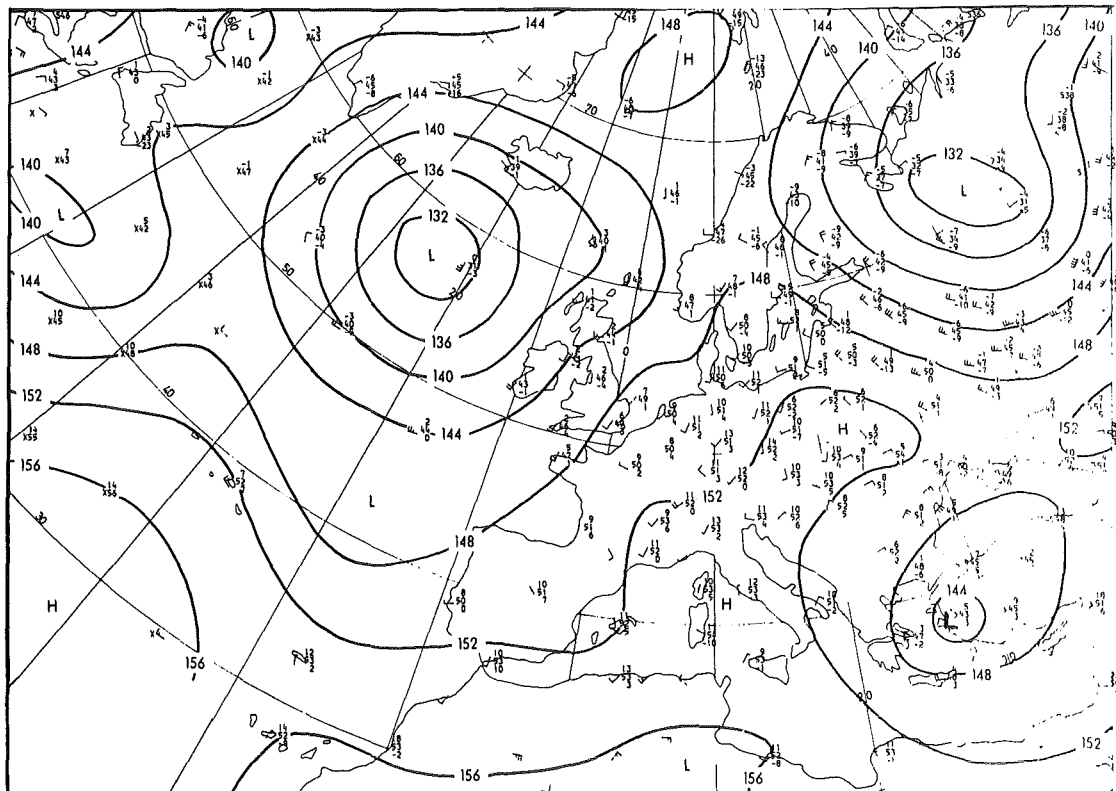


Abb. 11b: Lage der 850 mb-Fläche am 17.5.1982 (01:00 MEZ)

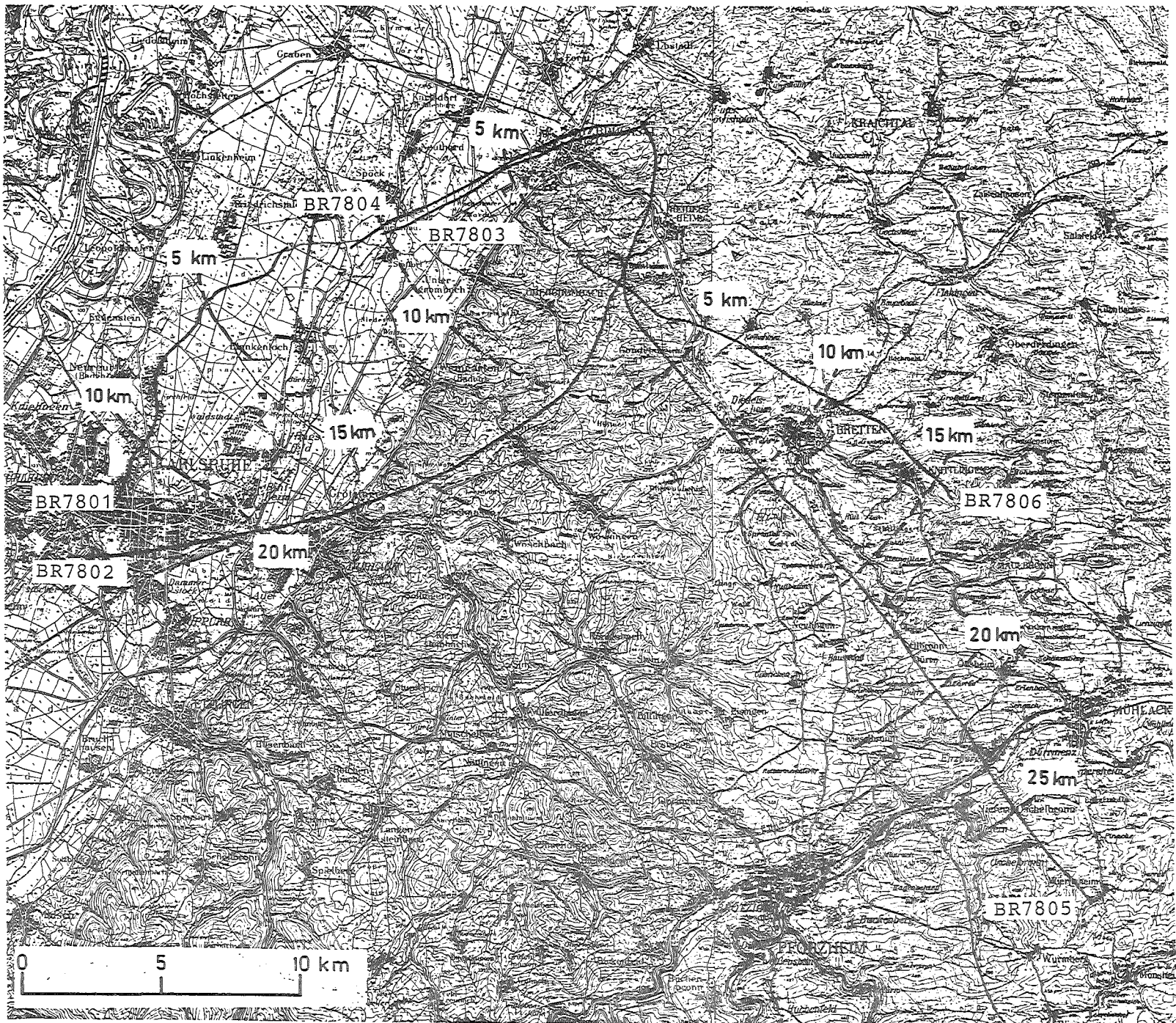


Abb. 12: Projektion der Trajektorien auf den Erdboden im April 1978

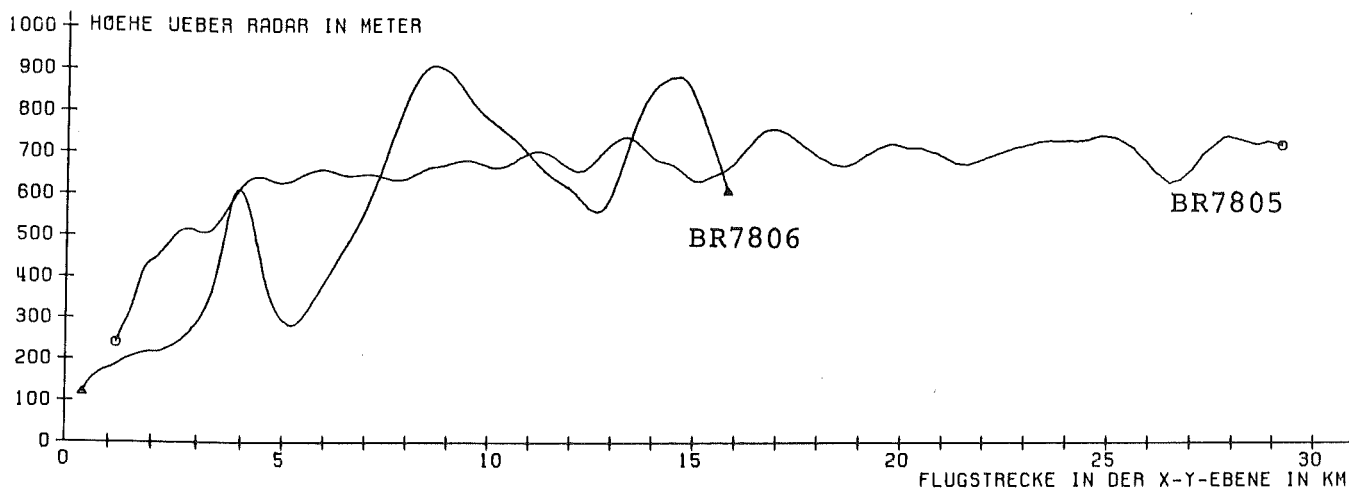
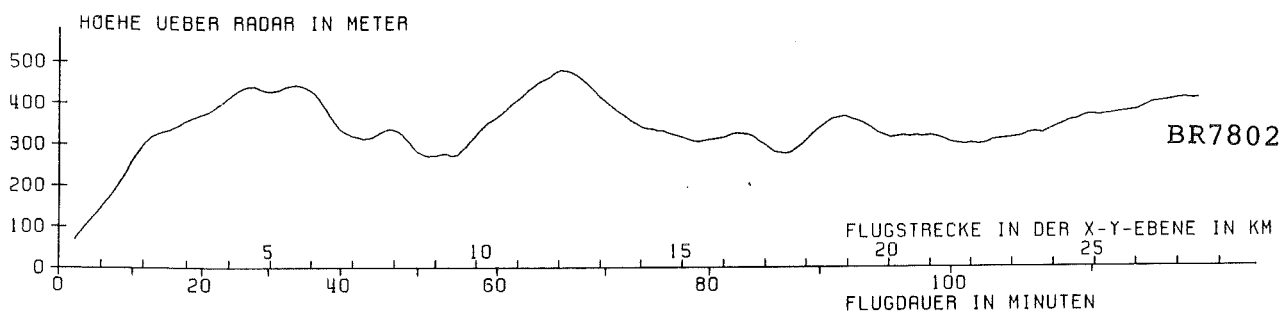
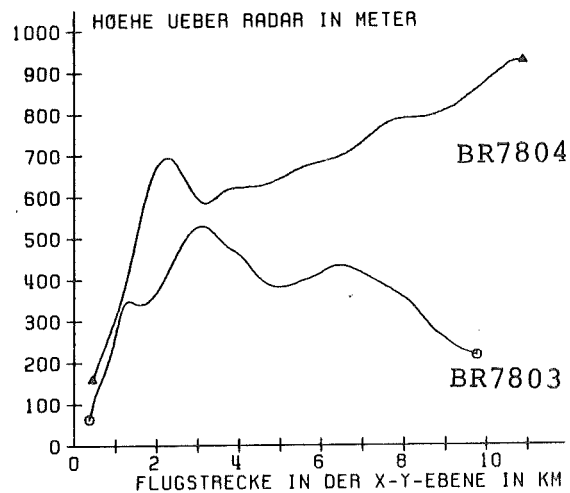
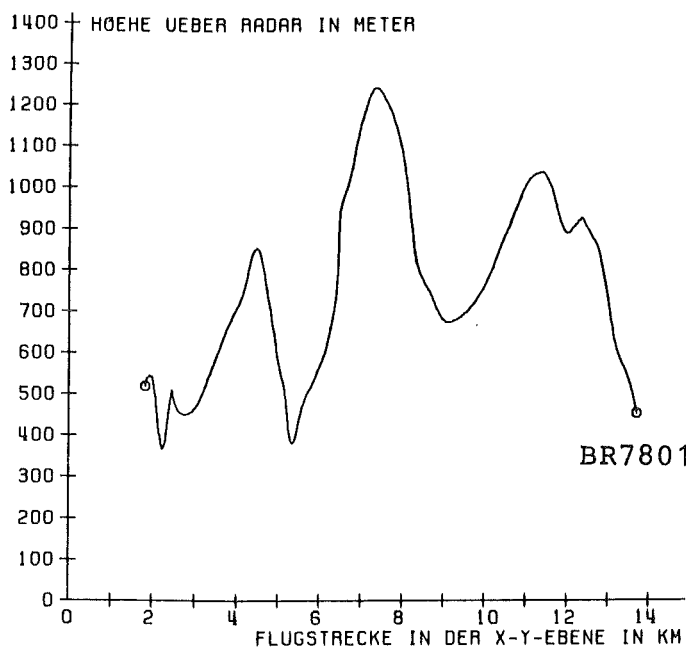


Abb. 13: Vertikalprofile im April 1978

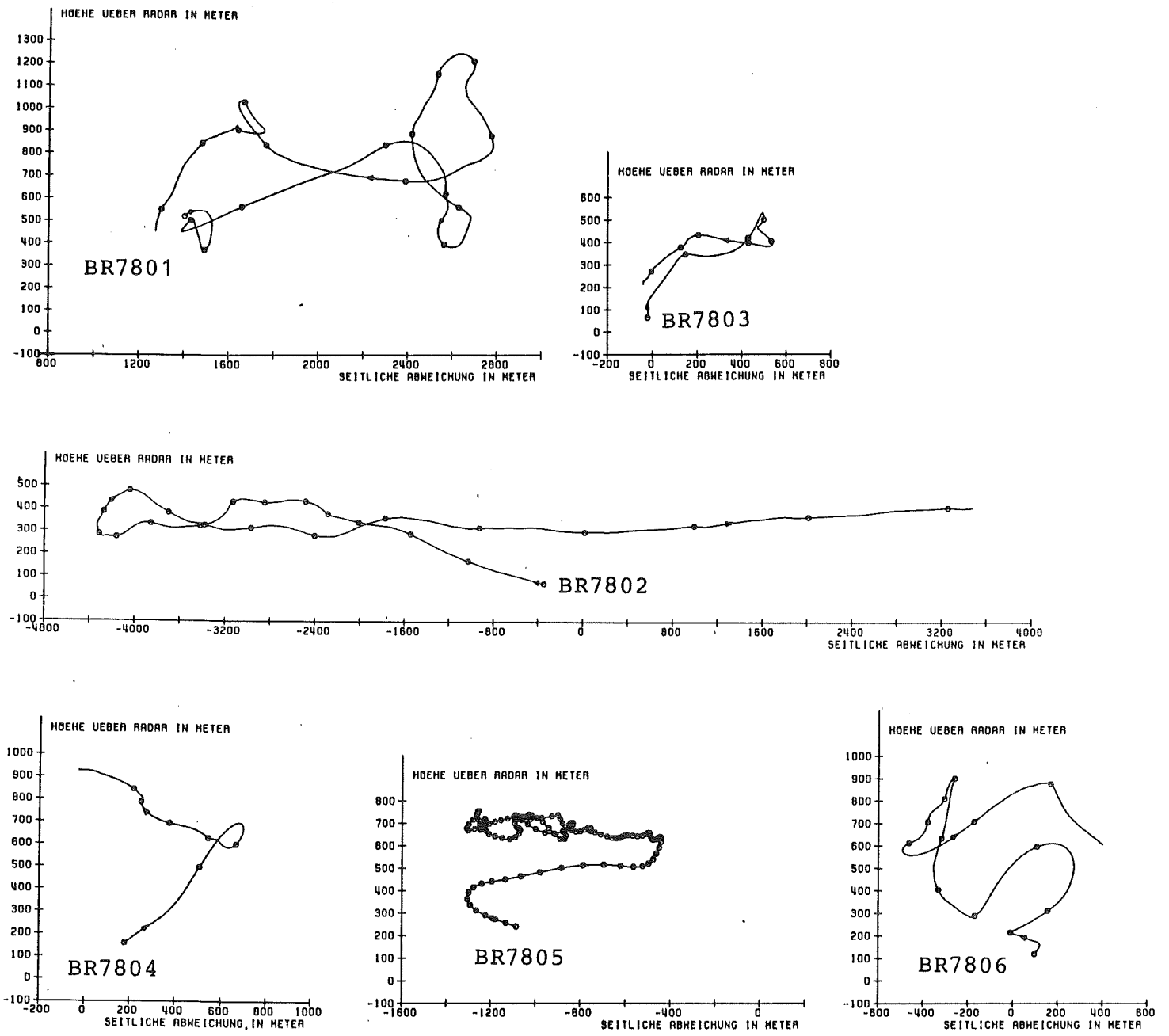


Abb. 14: Höhenprofil in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung von der mittleren Flugbahn. Flüge im April 1978



Abb. 15: Projektion der Trajektorien auf den Erdboden am 8.10.1980

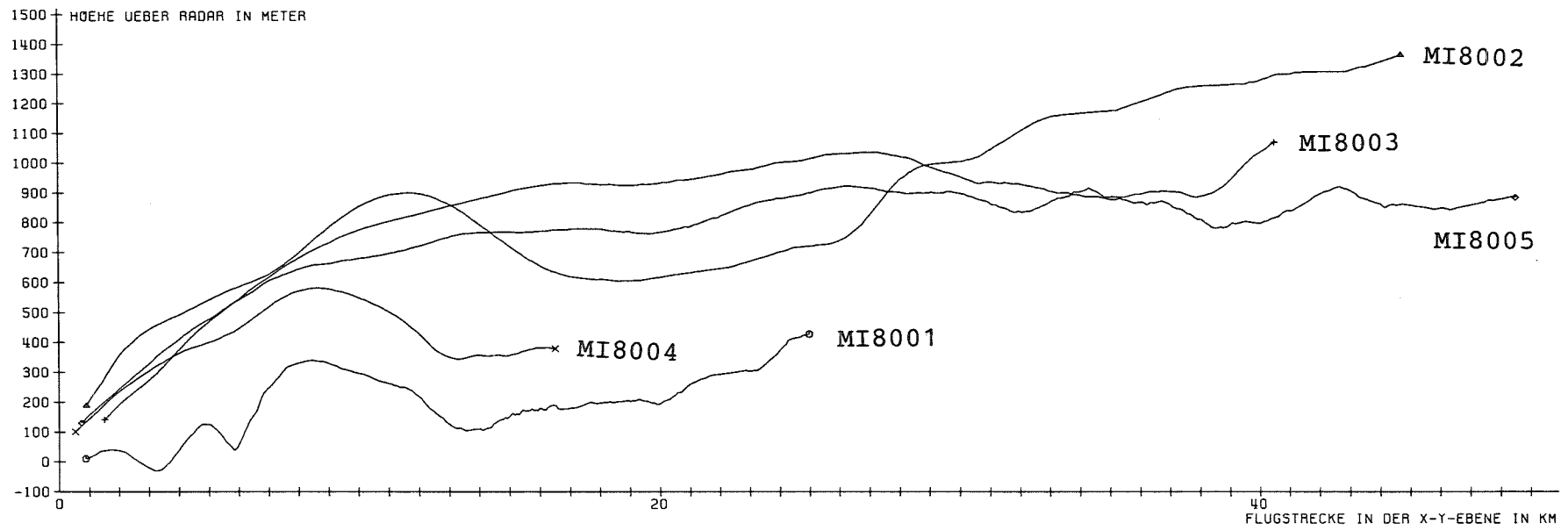


Abb. 16: Vertikalprofile am 8.10.1980

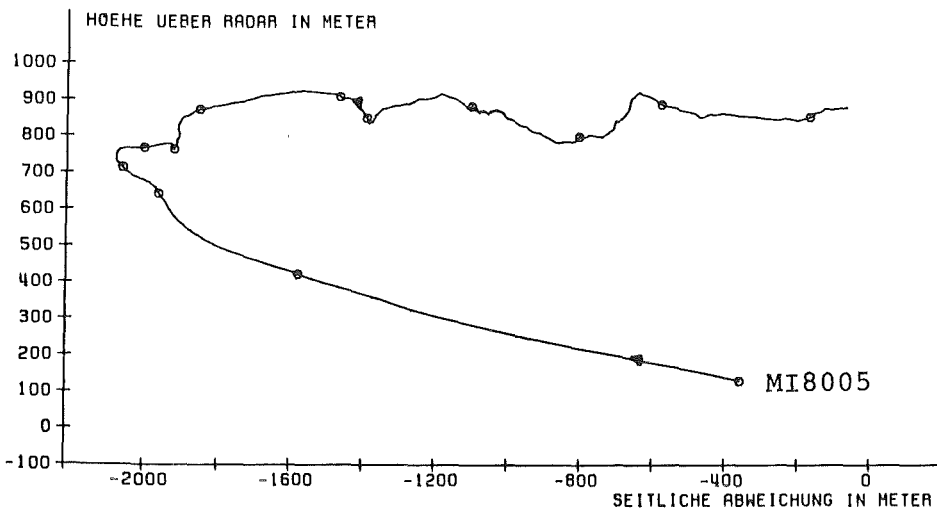
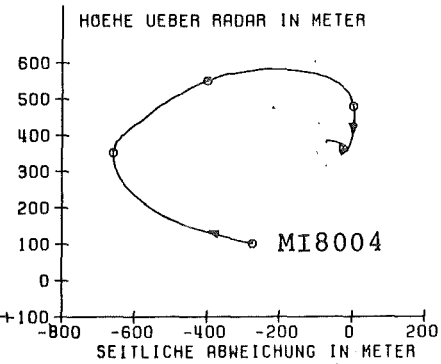
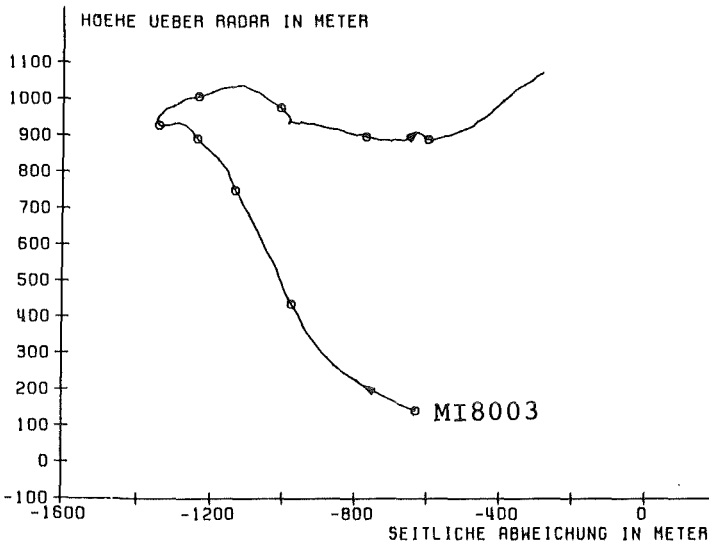
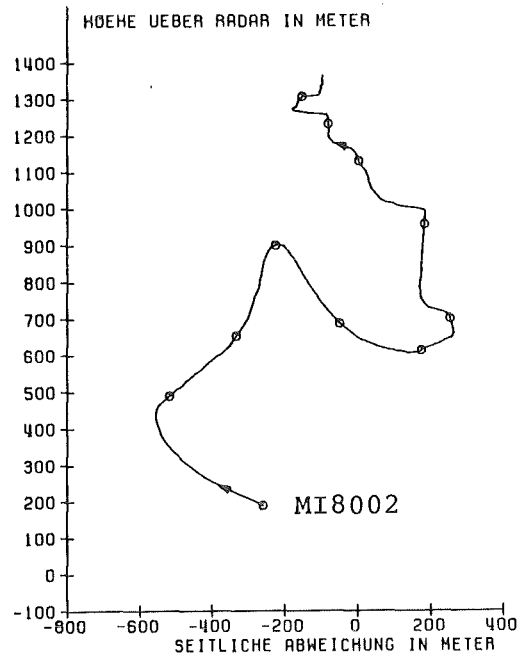
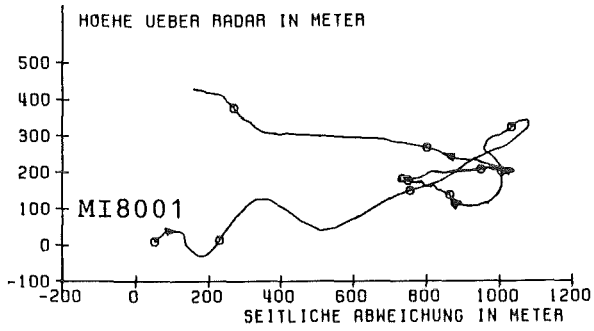


Abb. 17: Höhenprofil in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung von der mittleren Flugbahn. Flüge am 8.10.1980

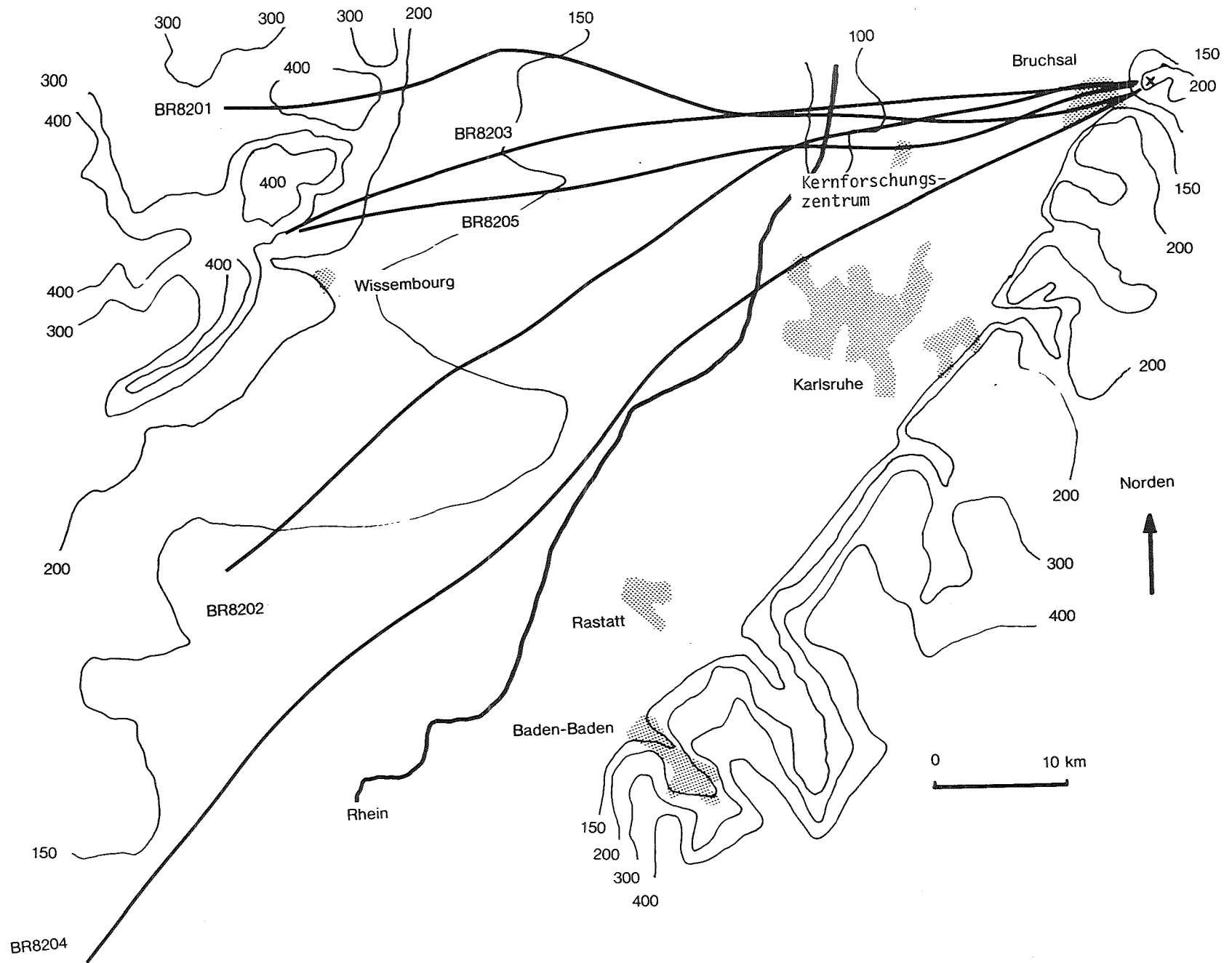


Abb. 18: Projektion der Trajektorien auf den Erdboden am 12. und 13.5.1982

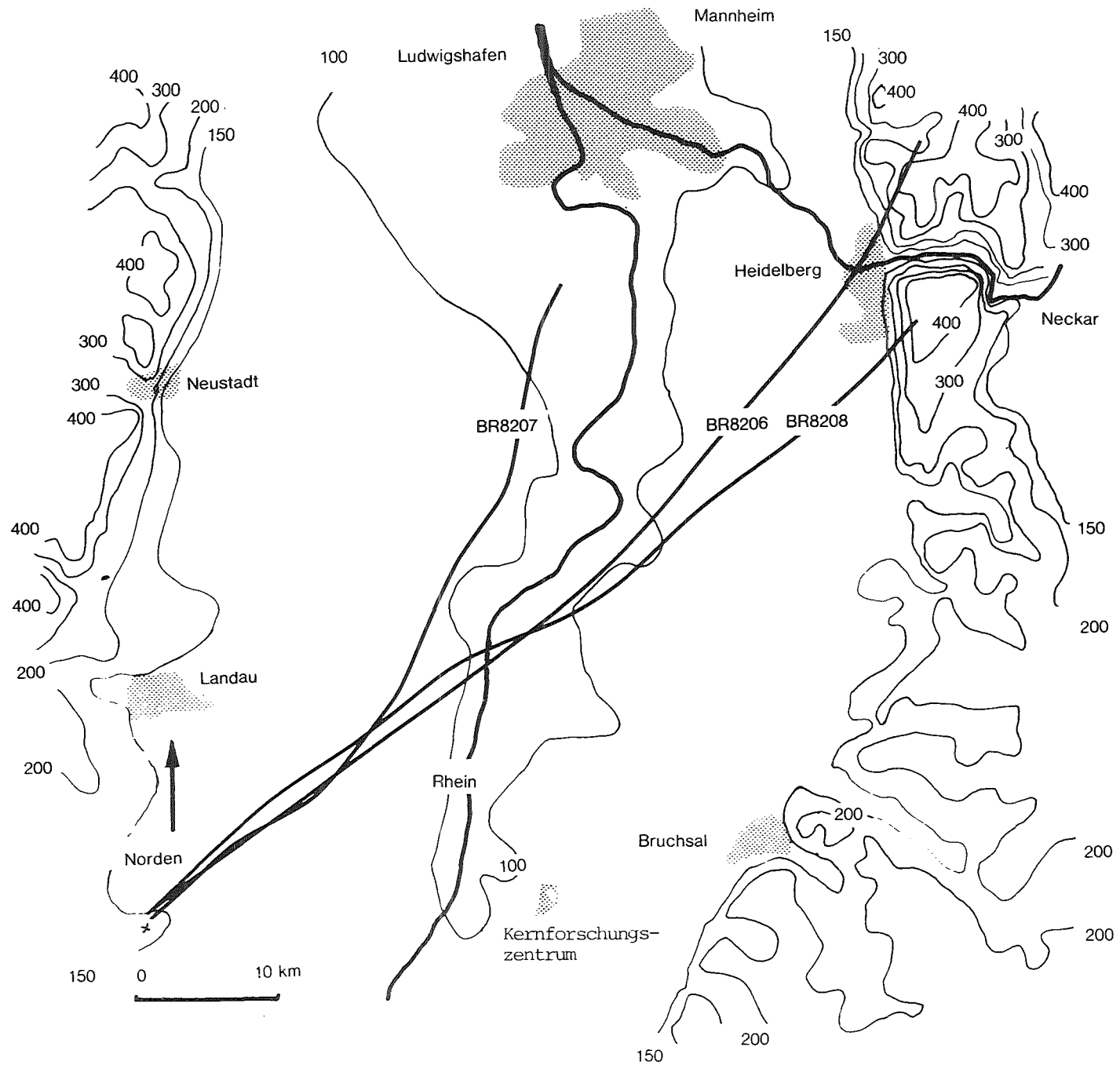


Abb. 19: Projektion der Trajektorien auf den Erdboden am 17.5.1982

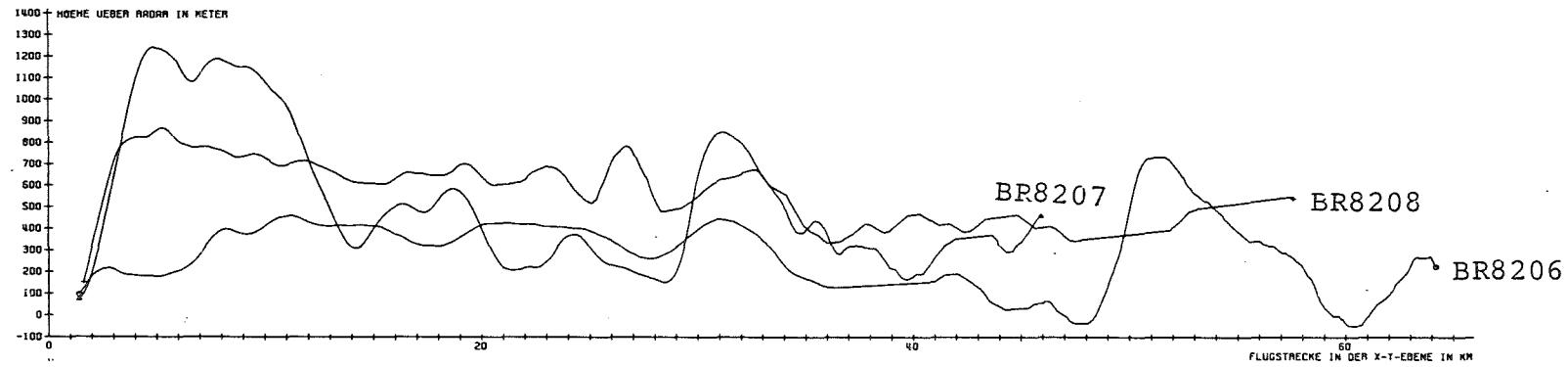
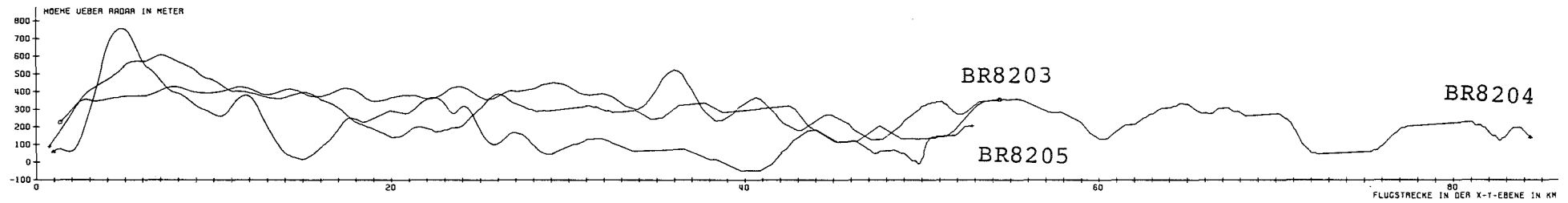
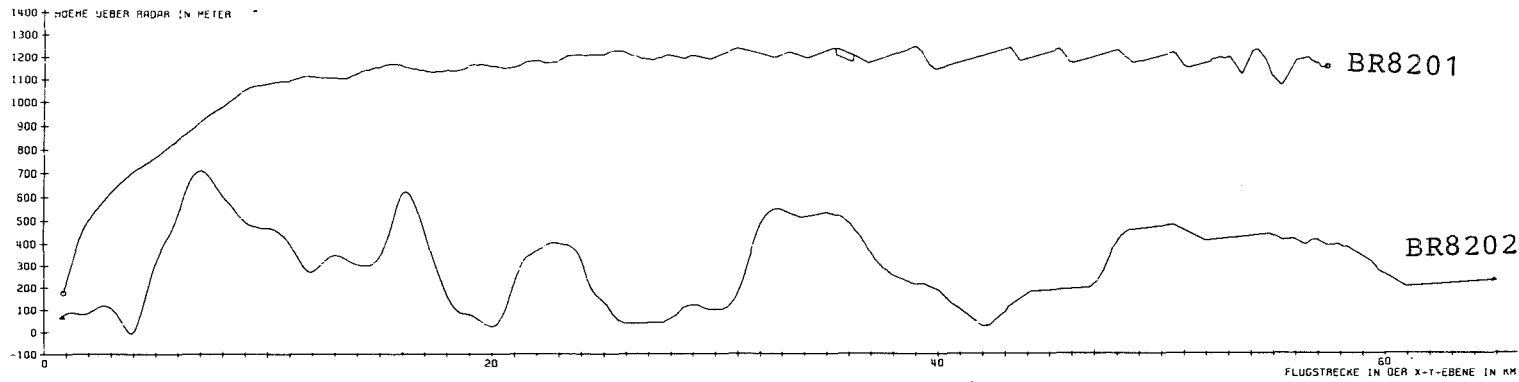


Abb. 20: Vertikalprofile im Mai 1982

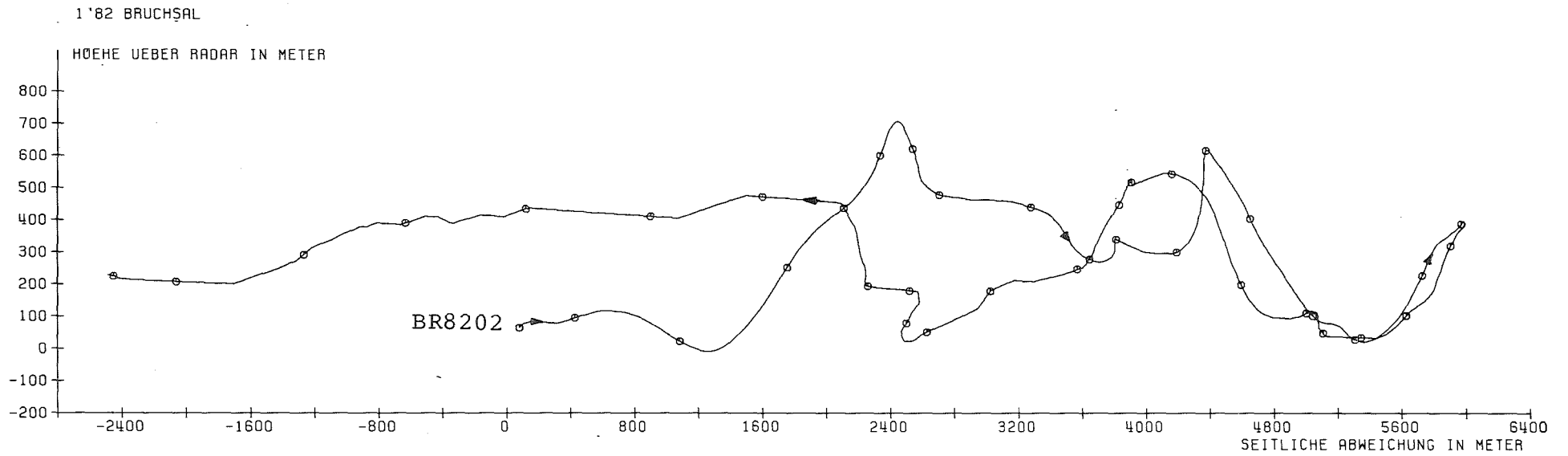
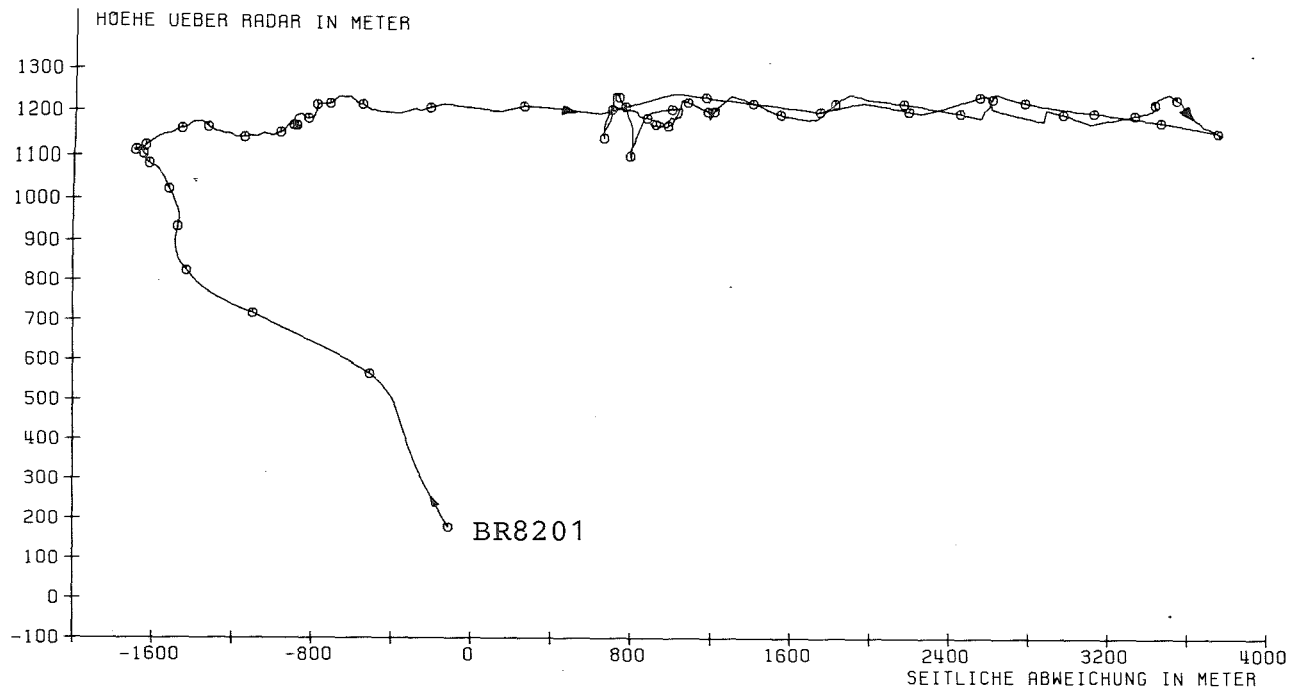


Abb. 21: Höhenprofil in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung von der mittleren Flugbahn.
Flüge am 12.5.1982

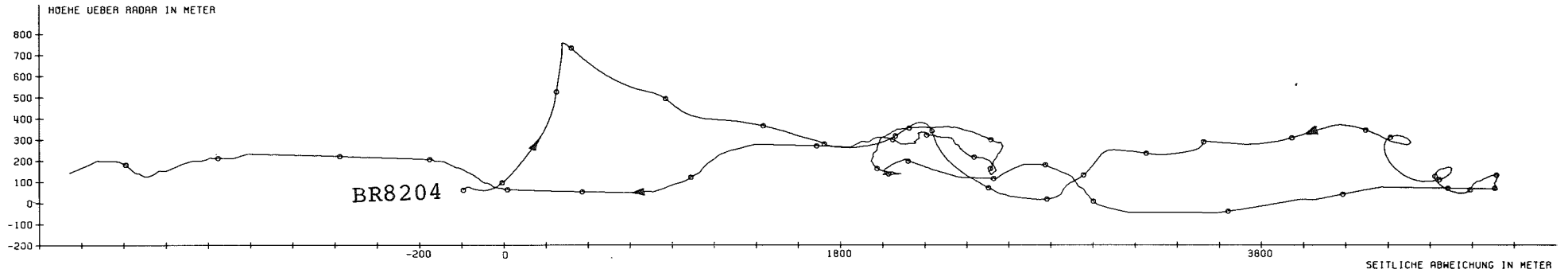
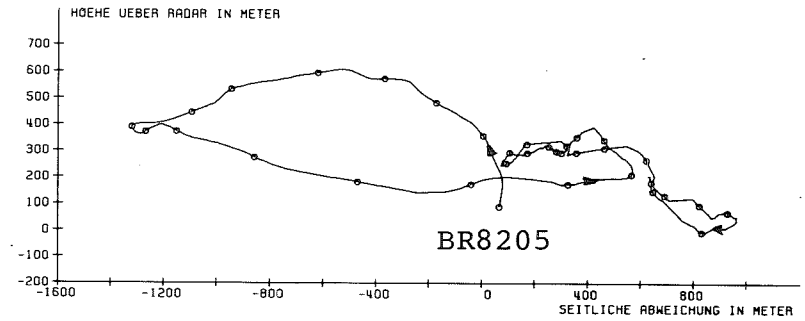
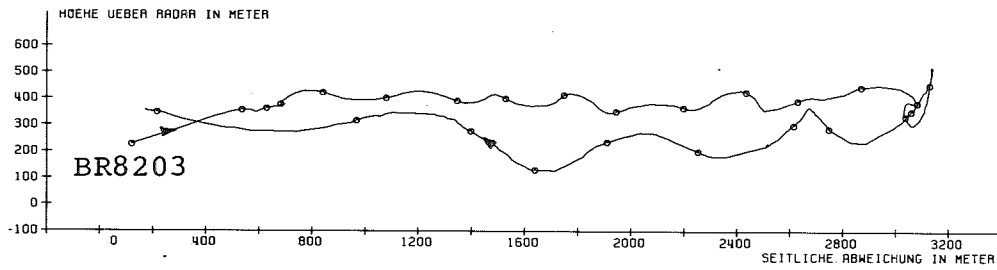


Abb. 22: Höhenprofil in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung von der mittleren Flugbahn.
Flüge am 13.5.1982

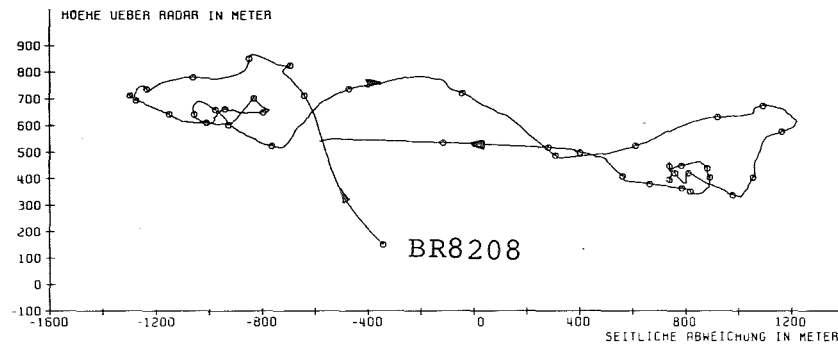
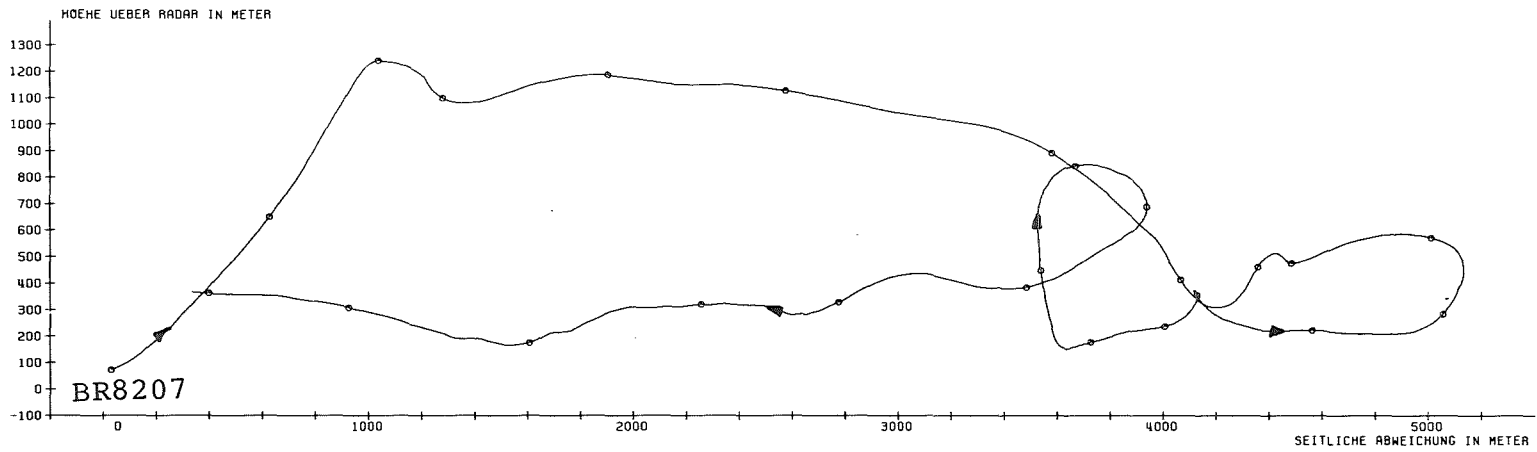
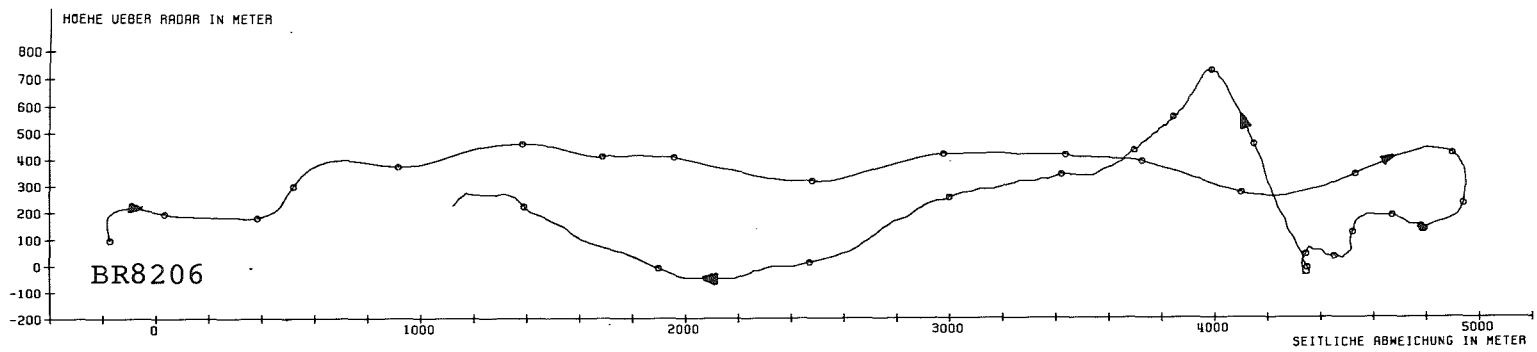


Abb. 23: Höhenprofil in Abhängigkeit der seitlichen Abweichung von der mittleren Flugbahn.
Flüge am 17.5.1982

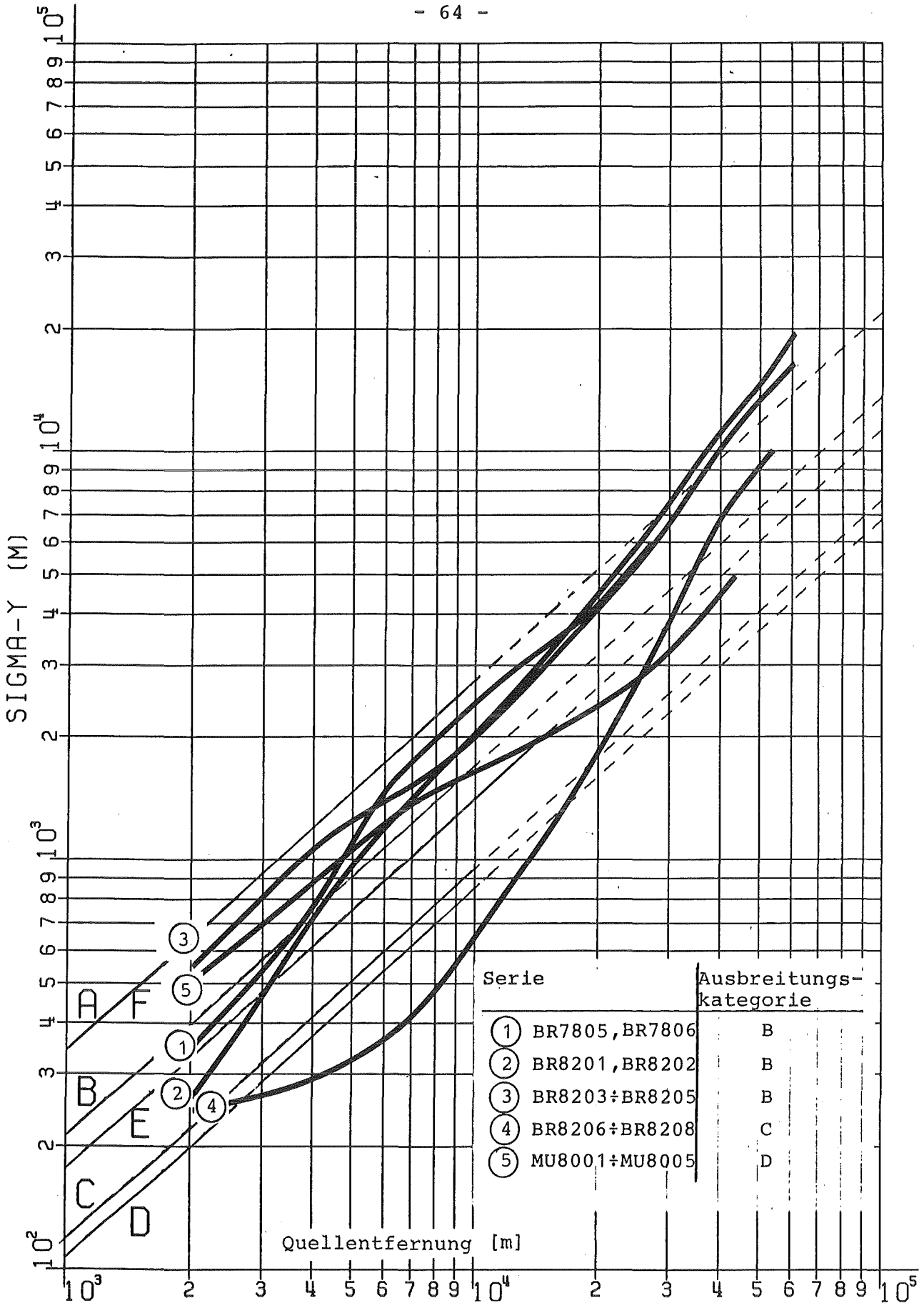


Abb. 24: Horizontaler Ausbreitungsparameter σ_y

- Tetraonflüge
- Tracerexperimente
- Tracerexperimente extrapoliert

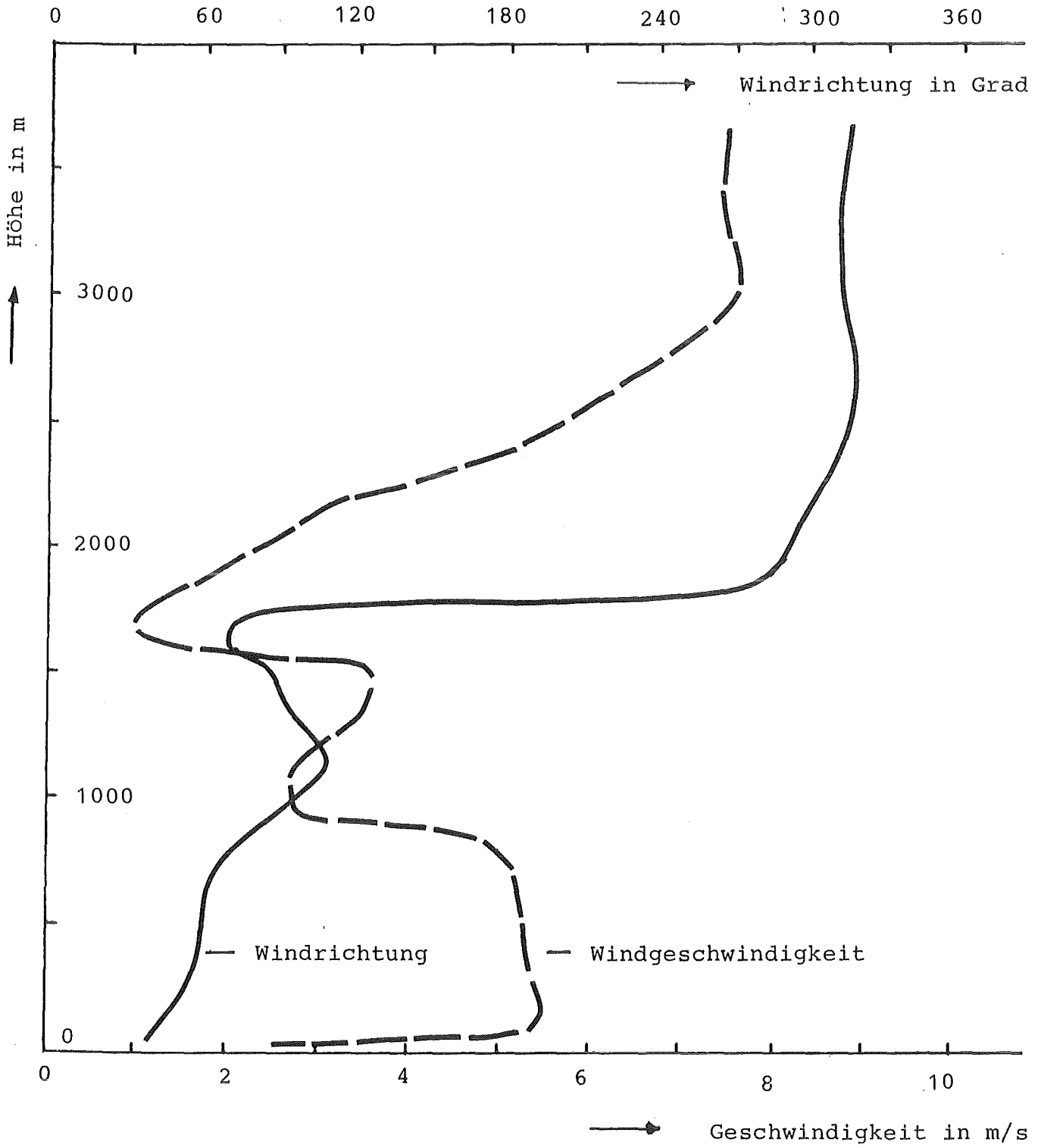


Abb. 25: Radiosondenaufstieg am 12.5.1981, 9:31 MEZ
(geglättete Werte)

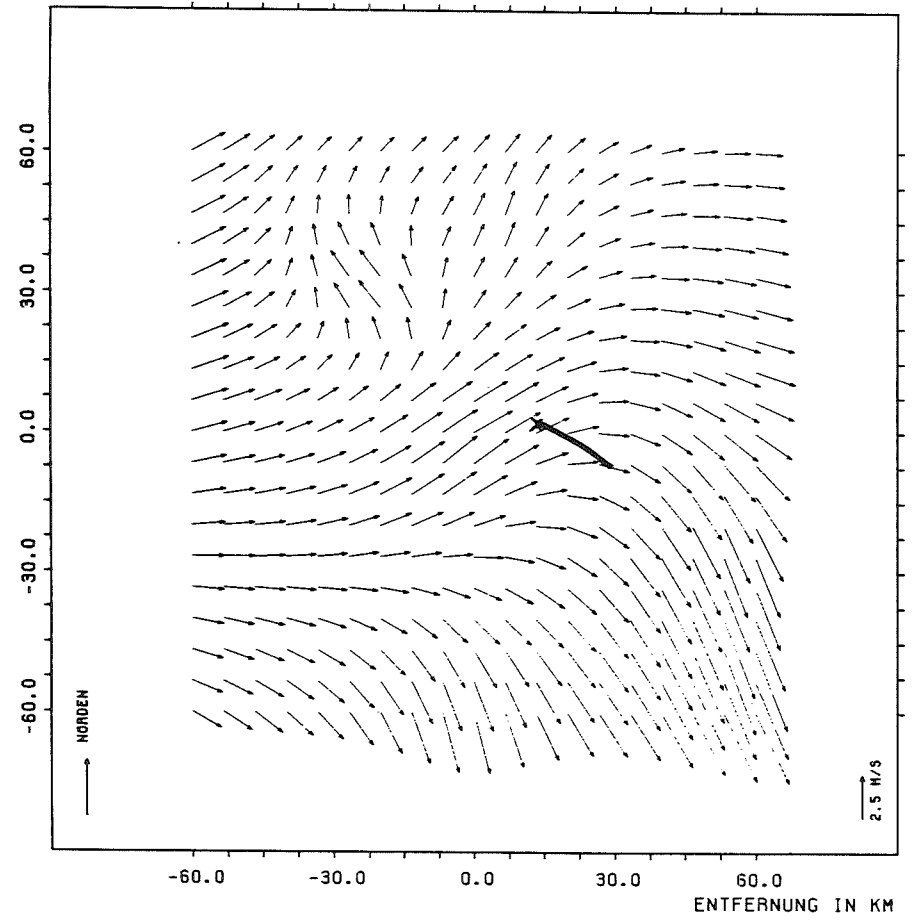
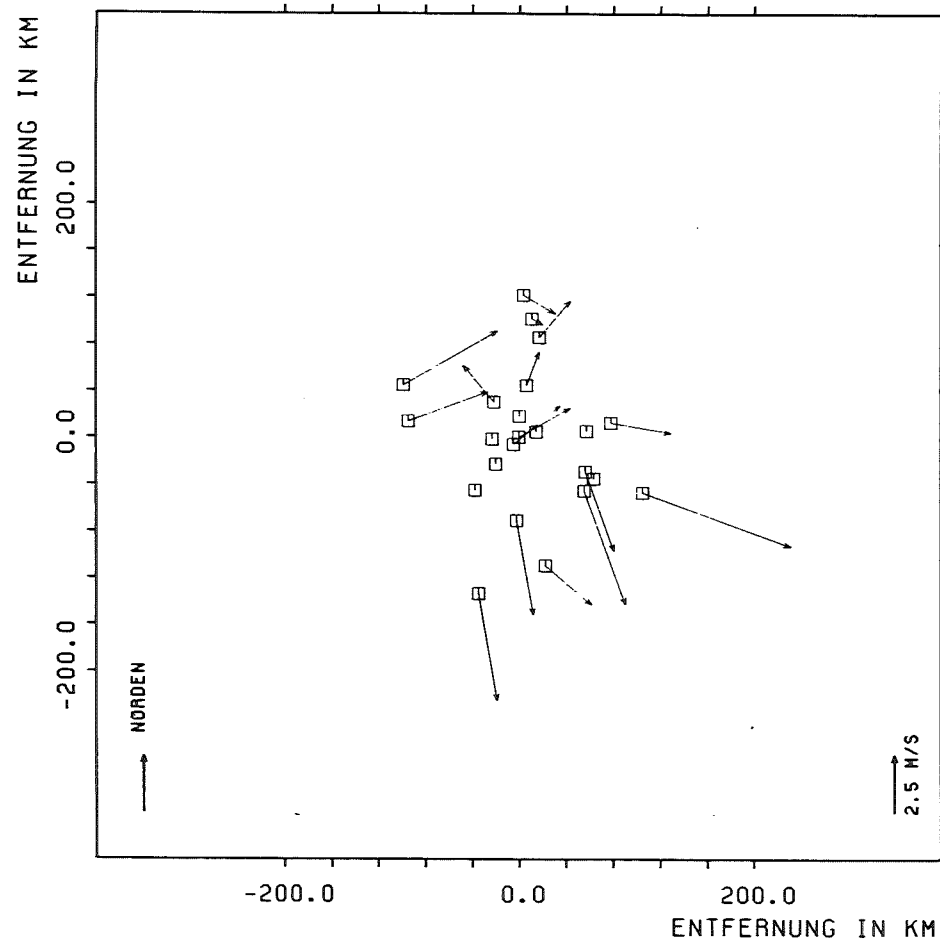


Abb. 26: Gemessene Winddaten und daraus konstruiertes Windfeld, 27.4.1978, 13:00 MEZ
 — BR7806 (Start 14:00 MEZ)

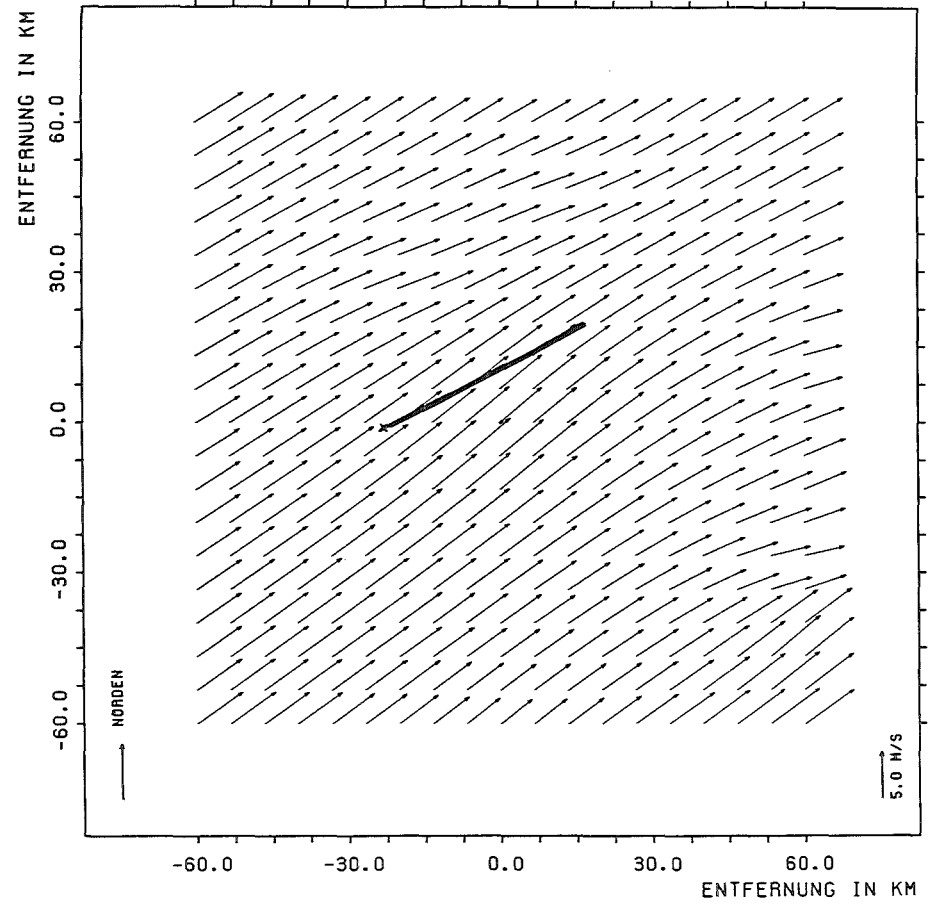
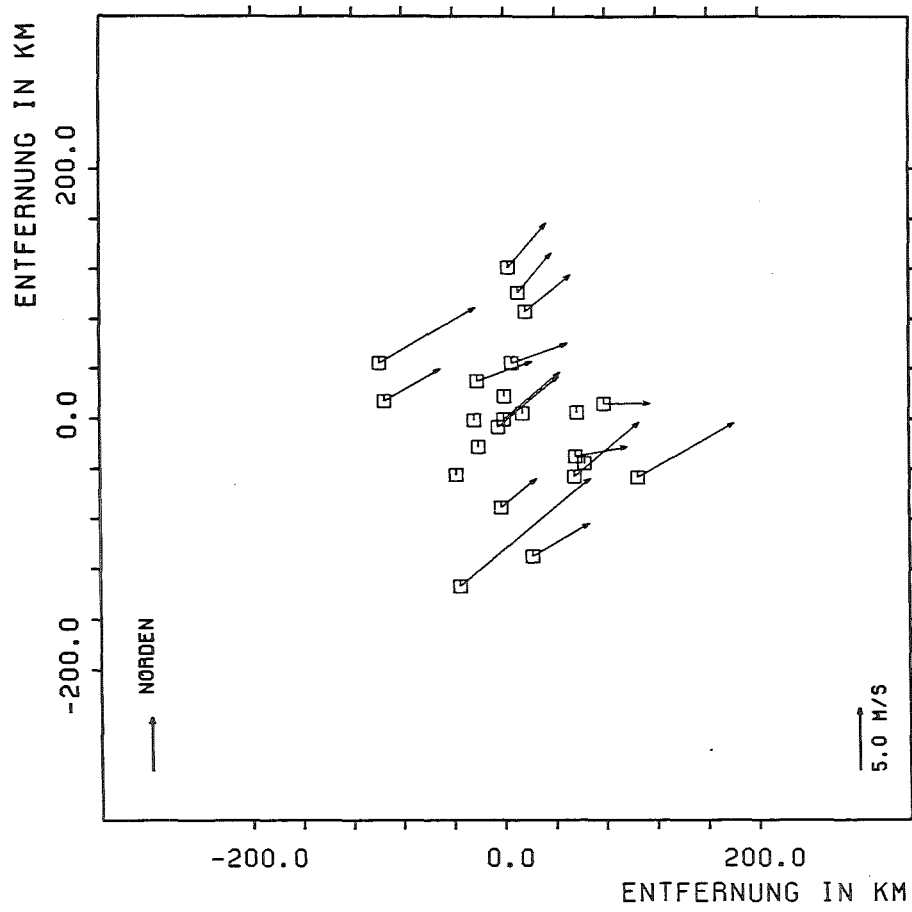


Abb. 27: Gemessene Winddaten und daraus konstruiertes Windfeld, 8.10.1980, 16:00 MEZ
 — MI8002 (Start 16:10 MEZ)

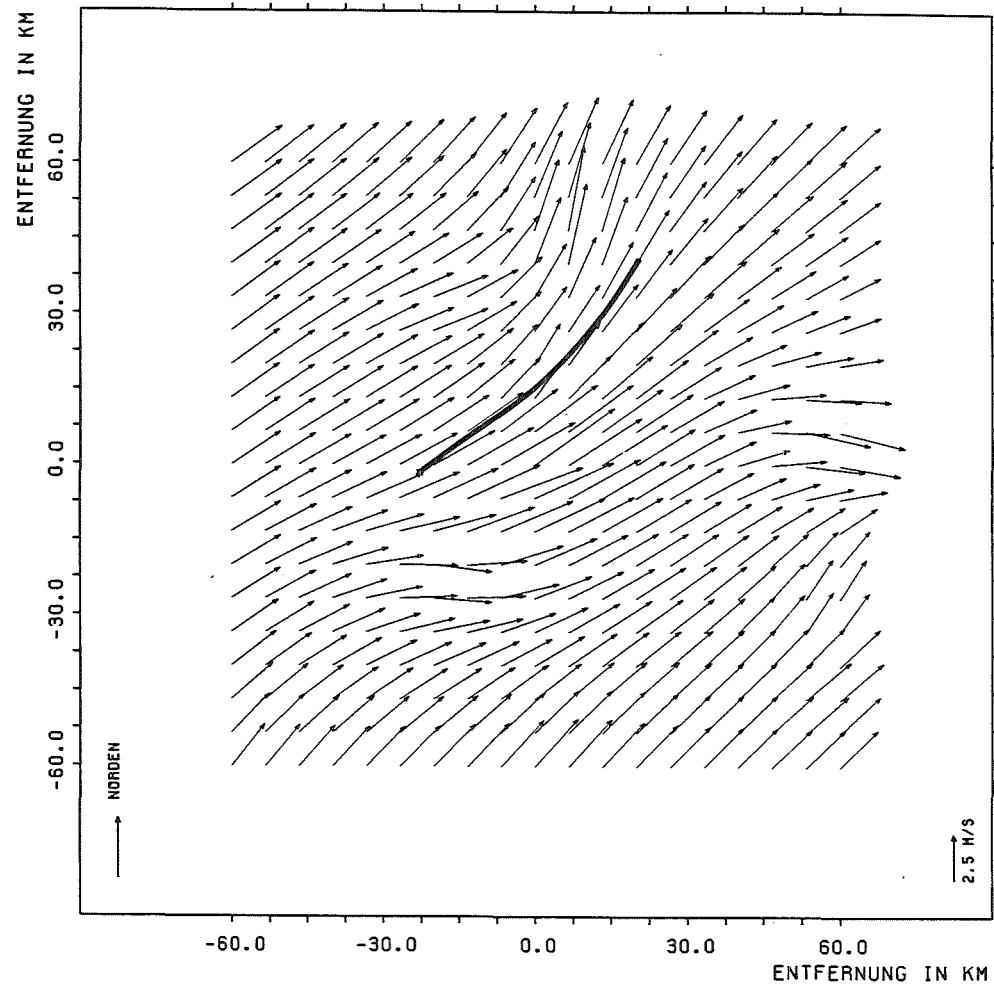
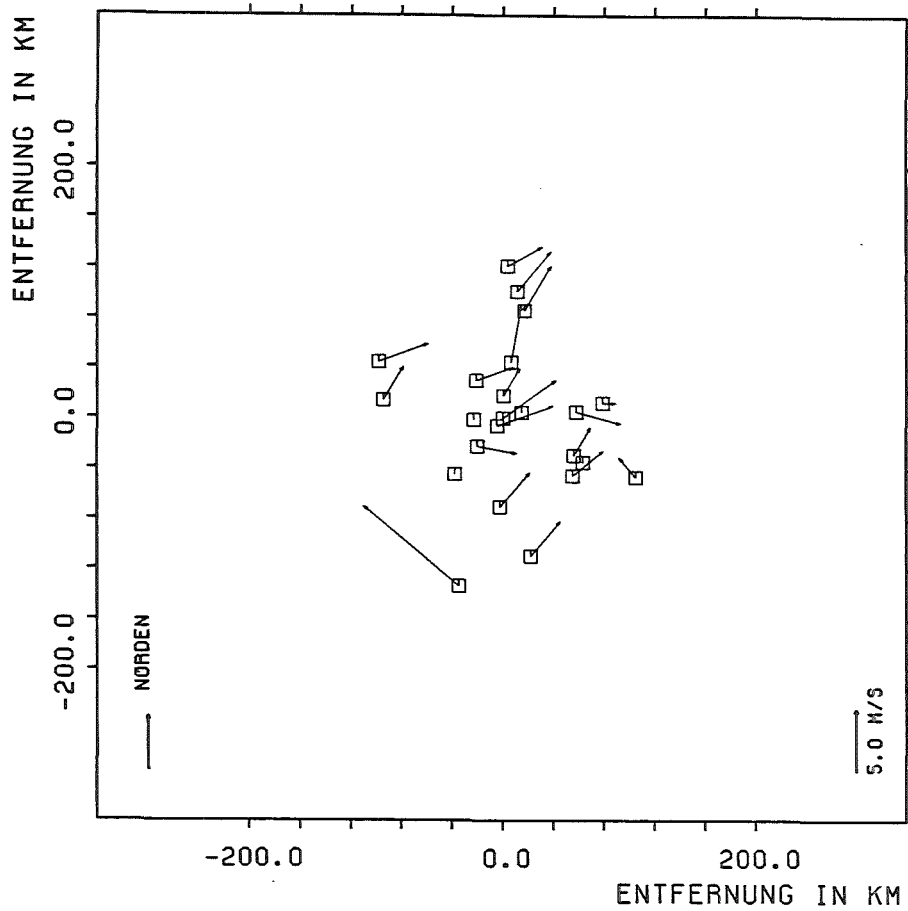


Abb. 28: Gemessene Winddaten und daraus konstruiertes Windfeld, 17.5.1982, 10:00 MEZ

— BR8206 (Start 10:25 MEZ)

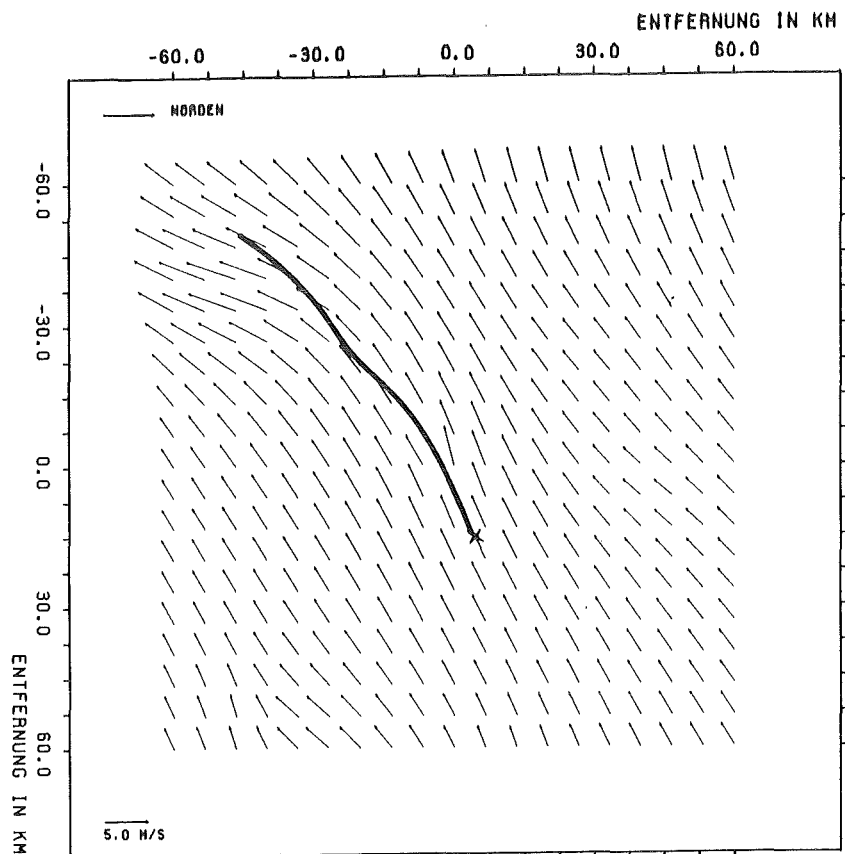
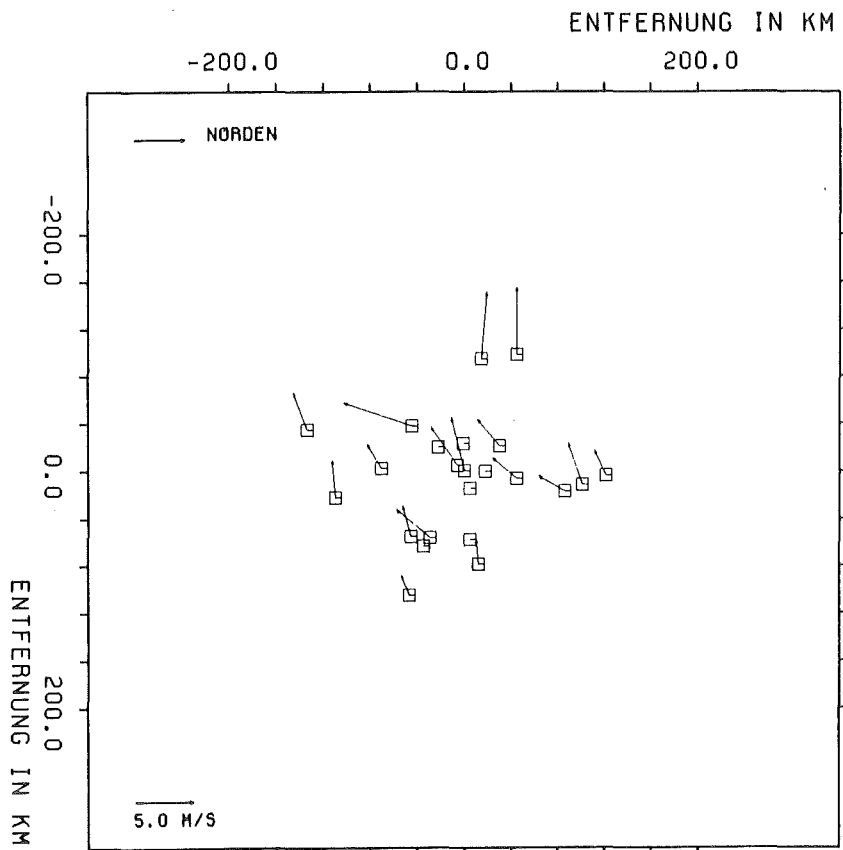


Abb. 29: Gemessene Winddaten und daraus konstruiertes Windfeld, 13.5.1982 14:30 MEZ
 — BR8204 (Start 13:00 MEZ)

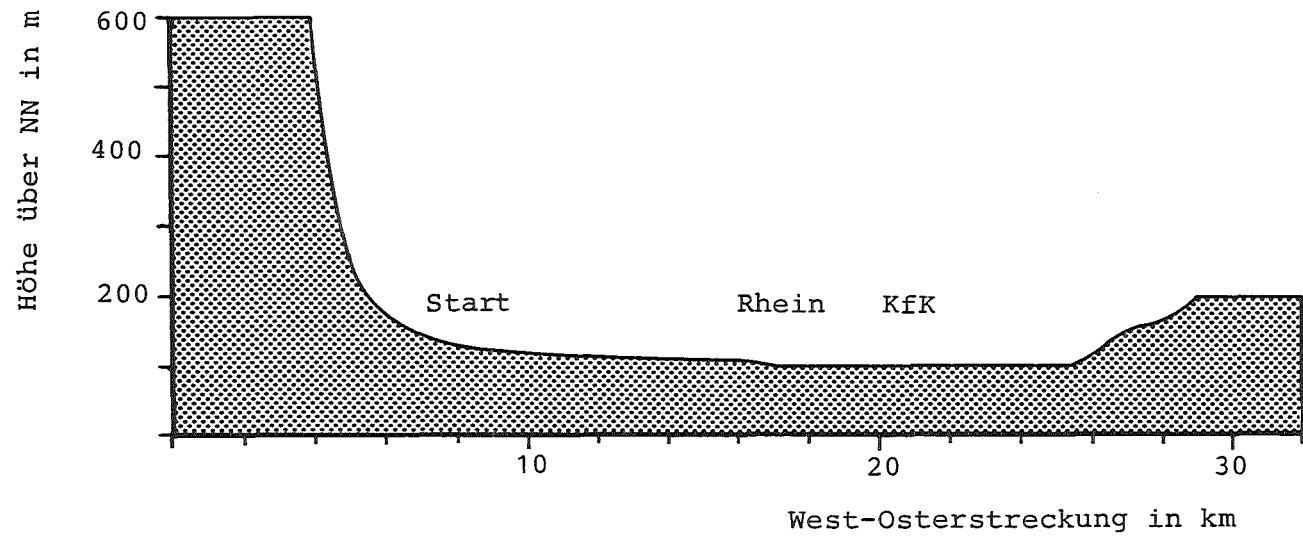


Abb. 30: Geglättete Rheintalorographie für 2D-Modell

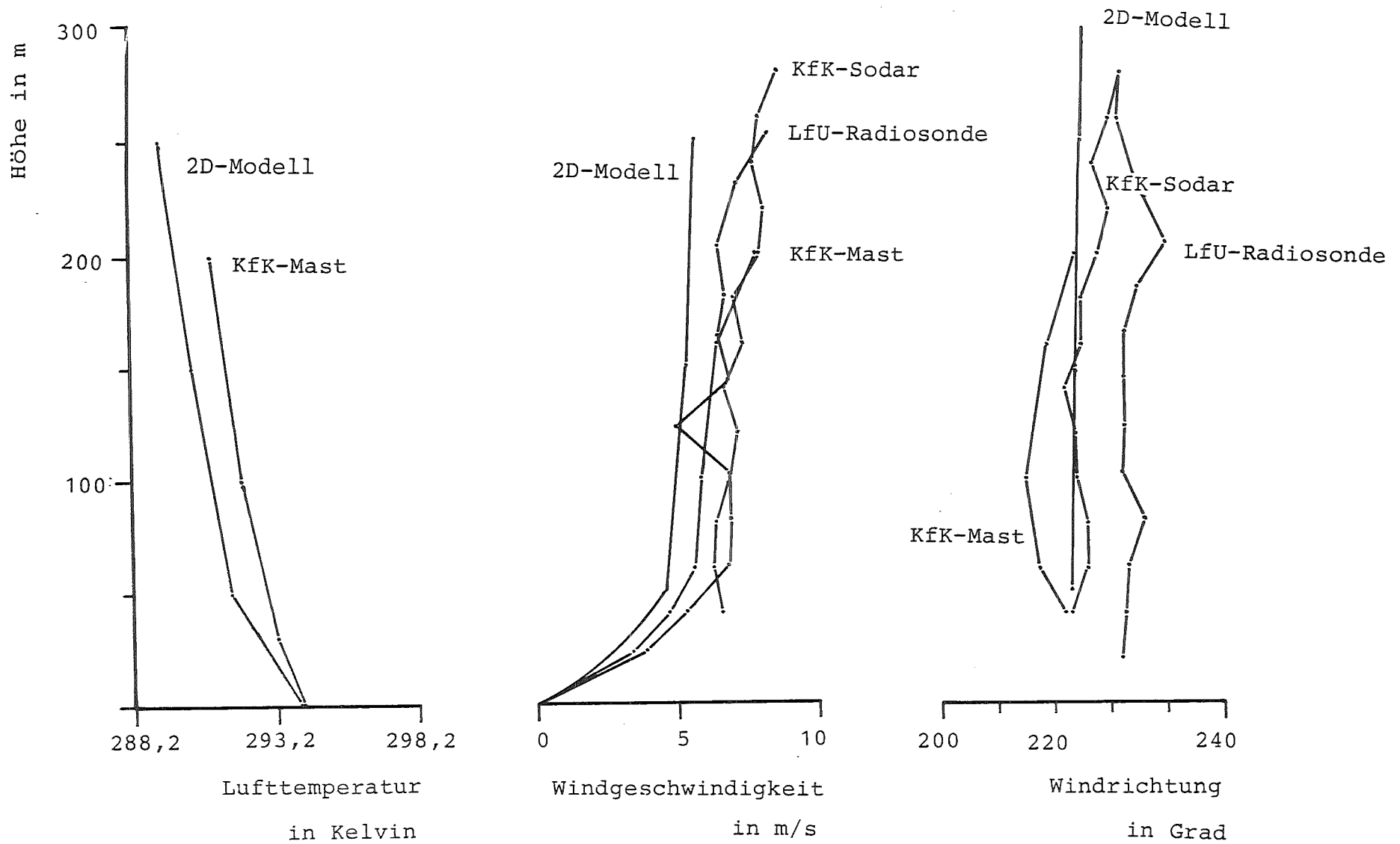


Abb. 31: Berechnete und gemessene Vertikalprofile der Temperatur, Windgeschwindigkeit und Windrichtung am 17.5.1982.

KfK-Mast und KfK-Sodar: 10:00 ÷ 10:30 MEZ

Start der LfU-Sonde: 10:00 MEZ

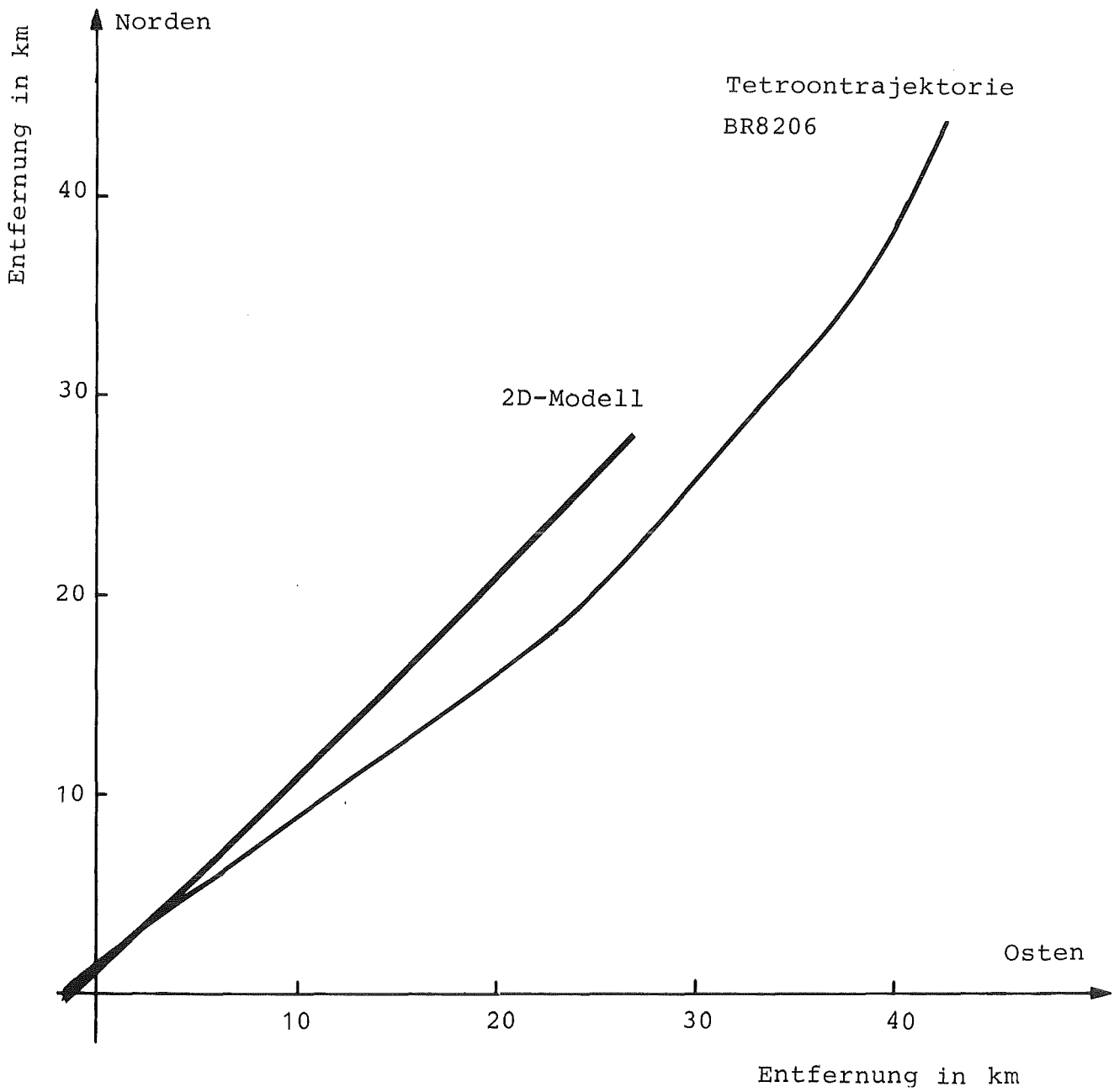


Abb. 32: Berechnete sowie gemessene Tetroontrajektorie vom 17.5.1981 (Länge der 2D-Modelltrajektorie ist bedingt durch die gewählte Rheintalorographie, siehe Abb. 30)