

KfK 4519
März 1989

Untersuchung standortspezifischer Ausbreitungsbedingungen

J. Päsler-Sauer
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

Kernforschungszentrum Karlsruhe

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE
Institut für Neutronenphysik und Reaktortechnik

KfK 4519

Untersuchung standortspezifischer
Ausbreitungsbedingungen

J. Päsler-Sauer

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten wurden vom Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gefördert. Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben, sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter.

Untersuchung standortspezifischer Ausbreitungsbedingungen

Kurzfassung

Dieser Bericht enthält Untersuchungen zu atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen in der Umgebung von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Die Untersuchungen basieren auf meteorologischen Meßdaten der Kernkraftwerkstandorte (KFÜ-Aufzeichnungen) und benachbarter Stationen des Deutschen Wetterdienstes. Die Meßdaten liegen vor in Form mehrjähriger Reihen stündlicher Mittelwerte von Wind- und Temperaturgradienten, bzw. Diffusionskategorien. Die Auswertung der Daten zielt darauf ab, durch Windströmung und Schichtung charakterisierbare Typen von Ausbreitungssituationen zu bestimmen, und in Hinblick auf ihre Berechenbarkeit bei Notfällen zu bewerten. Orographische Einflüsse an den Standorten werden dabei berücksichtigt. Die jährlichen Häufigkeiten der Ausbreitungssituationen werden abgeschätzt, es werden Aussagen zur Erkennbarkeit der Situationen aus Standortmeßdaten gemacht und es werden geeignete Ausbreitungsmodelle angegeben.

Analysis of Site-specific Dispersion Conditions

Abstract

This report presents an analysis of atmospheric dispersion conditions in the environs of nuclear power stations in the Federal Republic of Germany. The analysis is based on meteorological data measured on the power station sites (KFÜ = nuclear reactor remote control records) and by neighbouring stations operated by the German Weather Service. The data are series of hourly mean values of wind and temperature gradient or stability class over the period of one or more years. The aim of the data analysis is to find types of dispersion conditions characterized by the flow field and stratification, and to assess the feasibility of calculating these quantities in the case of an emergency. Influences of terrain structures in the environs of the site are considered. The annual frequencies of types of dispersion situations are assessed, the capability to recognize the dispersion situation from meteorological data measured on the site and the applicability of dispersion models are discussed.

Inhalt

1.	Einleitung	1
2.	Verwendetes Datenmaterial	2
2.1	Meteorologische Datenreihen der Kernkraftwerke	2
2.1.1	Standorte Philippsburg (KKP) und Neckarwestheim (GKN)	2
2.1.2	Standorte Grafenrheinfeld (KKG), Gundremmingen (KRB) und Isar-Ohu (KKI)	4
2.2	Datenreihen von Stationen des Deutschen Wetterdienstes	5
3.	Bestimmung der Diffusionskategorie	7
3.1	Standort Philippsburg (KKP)	7
	a) Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit	7
	b) Strahlungsbilanz und Windgeschwindigkeit	9
3.2	Standort Neckarwestheim (GKN)	11
	a) Temperaturgradient-Methode	11
	b) Strahlungsbilanz-Methode	12
	c) Diffusionskategorie aus den Datenreihen des DWD; Stuttgart Flugwetterwarte	13
3.3	Standorte Grafenrheinfeld (KKG), Gundremmingen (KRB) und Isar-Ohu (KKI)	14
4.	Windrichtungsscherungen am Standort Philippsburg (KKP)	18
4.1	Prüfung der Justierung	18
4.2	Richtungsscherung bei stabilen Lagen	20
4.3	Richtungsscherung bei nicht-stabilen Lagen	27
4.4	Häufigkeiten von Ausbreitungsbedingungen am Standort KKP	28
5.	Windrichtungshäufigkeiten und -Korrelationen in der oberrheinischen Tiefebene	29
5.1	Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung in Karlsruhe, Philippsburg und Mannheim	30
5.1.1	Nicht-stabile Lagen	31
5.1.2	Stabile Lagen	33
5.2	Windrichtungs-Korrelationen	33
5.3	Strömungen im Rheintal und Höhenanströmung	37
6.	Zusammenfassung und Folgerungen für die Ausbreitungsberechnung am Standort KKP	42
7.	Häufigkeiten und Korrelationen der Windrichtungen am Standort Neckarwestheim (GKN) und an den Stationen Stuttgart Wetteramt und Flugwetterwarte	46
7.1	Korrelationen der Windrichtung in verschiedenen Höhen	46
7.2	Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Diffusionskategorie Standort GKN	46
7.2.1	Station Stuttgart Wetteramt	51
7.2.2	Station Stuttgart Wetteramt	51
7.2.3	Station Stuttgart Flugwetterwarte	51
7.3	Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort GKN	51

8.	Standort Grafenrheinfeld	54
8.1	DWD-Stationen Würzburg und Nürnberg	55
8.2	Windrichtungsspektren am Standort KKG	56
8.3	Kanalisierungseffekte durch das Maintal	56
8.4	Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort KKG	59
8.5	Ausbreitungsberechnung am Standort KKG	59
9.	Standort Gundremmingen	61
9.1	Windrichtungsspektren am Standort KRB und an den Stationen Leipheim und Laupheim	62
9.2	Windrichtungskorrelationen	64
9.3	Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort KRB	65
9.4	Schlußfolgerungen für die Ausbreitungsberechnung am Standort KRB	67
10.	Standort KKI	68
10.1	Windrichtungsdaten vom Standort KKI und der Stationen München und Erding	69
10.2	Windrichtungsspektren am Standort KKI, an den Stationen München und Erding	70
10.3	Korrelationen zwischen den Windrichtungen an den Stationen München, Erding und dem Standort KKI	72
10.4	Häufigkeiten bestimmter Ausbreitungssituationen	74
10.5	Schlußfolgerungen für die Ausbreitungsberechnung	74
11.	Zusammenfassung	76
	Literatur	80
	Danksagung	81

Verzeichnis von Abkürzungen

DWD	Deutscher Wetterdienst
KFÜ	Kernreaktor-Fernüberwachung
LfU	Landesanstalt(amt) für Umweltschutz
KKP	Kernkraftwerk Philippsburg
GKN	Gemeinschaftskernkraftwerk Neckar
KKG	Kernkraftwerk Grafenrheinfeld
KRB	Kernkraftwerk Gundremmingen
KKI	Kernkraftwerk Isar
MA	Mannheim
KA	Karlsruhe
S	Stuttgart
Wü	Würzburg
N(ü)	Nürnberg
AUG	Augsburg
M(ü)	München
Er	Erding
Fl.	Flugwetterwarte
TG	Temperaturgradient
SB	Strahlungsbilanz
$\sigma()$	Windrichtungsfluktuation
K/M	Klug/Manier
Tur	Turner
ABCDEFG	Stabilitätsklassen, Diffusionskategorien
DCBA	neutrale und labile Fälle, zusammengefaßt
EF	stabile Fälle, zusammengefaßt
θ , WR	Windrichtung
u	Windgeschwindigkeit
geo.W.	geostrophischer Wind
N,E,S,W	Himmelsrichtungen Nord, Ost, Süd, West.

1. Einleitung

Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland sind mit meteorologischen Meßsystemen ausgestattet, die zur Bestimmung der Ausbreitungsbedingungen in der Atmosphäre dienen. Die Meßgrößen sind Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen in verschiedenen Höhen, sowie Lufttemperaturen (Meteorologischer Mast), oder Profile des Windvektors und die Vertikalkomponente der turbulenten Luftbewegung (Doppler-SODAR). Zusätzlich werden die (thermische) Strahlungsbilanz und die Niederschlagsintensität gemessen (KTA 1508).

Bei der Diskussion der Berechnungsmöglichkeiten der atmosphärischen Ausbreitung radioaktiver Stoffe bei unfallbedingten Freisetzungen stellen sich im Zusammenhang mit der Forderung nach optimalen Notfallschutzmaßnahmen folgende Fragen:

- Wie repräsentativ sind die am Standort (Freisetzungsort) gemessenen meteorologischen Größen für die Ausbreitungsbedingungen in der Umgebung des Standortes? Wie ist die Abhängigkeit der Repräsentativität von den Ausbreitungsbedingungen und von orographischen Strukturen?
- Wie häufig treten bestimmte Ausbreitungssituationen in der Umgebung eines Standortes auf?
Einteilung nach Windrichtungen, Diffusions-Kategorien (Stabilität), homogenen und inhomogenen Windfeldern (vertikal, bzw. horizontal inhomogen), Höhenströmung.
- Welche Rechenmodelle sind für die Anwendung bei den verschiedenen Ausbreitungssituationen geeignet?

Zur Beantwortung dieser Fragen werden in dieser Arbeit die Ergebnisse von Wind- und Diffusionskategorie-Datenauswertungen vorgestellt. Es werden 5 Kernkraftwerksstandorte in Baden-Württemberg und Bayern (Philippsburg (KKP), Neckarwestheim (GKN), Grafenrheinfeld (KKG), Gundremmingen (KRB), Isar-Ohu (KKI)) und jeweils zwei oder drei benachbarte Windmeßstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) untersucht. Die verwendeten Daten sind aufgezeichnete Zeitreihen von stündlichen Werten der Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Diffusionskategorie, bzw. von Strahlungsbilanz und Temperaturgradient. Die meteorologischen Daten der Kernkraftwerke wurden aus Kernreaktor-Fernüberwachungssystem-(KFÜ-) Aufzeichnungen der Landesanstalten für Umweltschutz Karlsruhe und München gewonnen, die Datenreihen der DWD-Meßstationen wurden vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Die Auswertung dieser Daten erfolgt durch die Unter-

suchung der Korrelation zwischen KKW-Winddaten und DWD-Winddaten unter Vorgabe verschiedener Bedingungen, wie Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeit, Anströmungsrichtung. Zusätzlich wird beim Kernkraftwerk Philippsburg (KKP) eine Analyse von Windrichtungsscherungen ermöglicht.

Bezüglich der Frage nach Rechenmodellen, die für verschiedene Ausbreitungssituationen geeignet sind, sei z.B. auch auf /GRS 87/, /PAE 86/ verwiesen.

2. Verwendetes Datenmaterial

2.1 Meteorologische Datenreihen der Kernkraftwerke

Aufgezeichnete Zeitreihen meteorologischer Meßdaten der Kernkraftwerke sind bei den Länderzentralen der Kernreaktor-Fernüberwachungssysteme (KFÜ) archiviert. Es handelt sich um stündliche Aufzeichnungen der Einstundenmittelwerte von Windrichtung und Windgeschwindigkeit (in mindestens einer Höhe), von Daten zur Bestimmung der Diffusionskategorie (Temperaturdifferenzen, Strahlungsbilanz, Windrichtungsfuktuationen), sowie Niederschlagsraten. Die Zeitreihen dieser Daten sind zusammen mit Jahr, Monat, Tag und Stunde auf Magnetbändern abgespeichert.

2.1.1 Standorte Philippsburg (KKP) und Neckarwestheim (GKN)

Die KFÜ-Zentralen von Baden-Württemberg befinden sich in Stuttgart (Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten) und in Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz). Nach der Freigabe durch das Umweltministerium und die Betreiber der Kernkraftwerke konnten die Daten von der LfU in Karlsruhe bezogen werden. Die Datenreihen überdecken den Zeitraum von Februar 1985 bis Juni 1987 (29 Monate). Da die Daten bei der LfU monatsweise und für die verschiedenen Meßgrößen nur auf getrennten Dateien erhältlich waren, mußten die KKP- und GKN-Zeitserien aus je ca. 300 Einzeldateien zusammengesetzt werden; dies geschah mit der freundlichen Unterstützung durch die LfU. Danach mußten die erstellten Magnetbänder für die Weiterverarbeitung auf der Rechenanlage des KfK umcodiert werden. Das Ergebnis sind Dateien, in denen zeilenweise der gesamte Satz der verfügbaren stündlichen Meßinformation enthalten ist.

Beispiele von Datenzeilen (archivierte meteorologische Daten KFÜ):

a) KKP:

NIEDRA, STRABI, TD1, TD2, TEMP15, WIG115, WIG15, WIG40, WIR115, WIR15, WIR40.

(Niederschlagsrate, Strahlungsbilanz, Temperaturdifferenz 115 m - 40 m, Temperaturdiff. 115 m - 15 m, Temperatur 15 m, Windgeschwindigkeiten in 115 m, 15 m, 40 m über Grund, Windrichtungen in 115 m, 15 m, 40 m ü.G.)

b) GKN:

NIEDRA, STRABI, TEM150, TEM2, TEM34, TEM52, WIG150, WIG58, WIR150, WIR58.

(Niederschlagsrate, Strahlungsbilanz, Temperatur 150 m, 2 m, 34 m, 52 m, Windgeschwindigkeit 150 m, 58 m, Windrichtung 150 m, 58 m)

Zur Bestimmung der Diffusionskategorie wurden Temperaturdifferenzen und Windgeschwindigkeiten und zum Vergleich auch die Strahlungsbilanz verwendet (unterstrichene Größen). Bei der eigentlichen Datenauswertung wurden jeweils vorausgewertete Einjahres-Dateien mit zeilenweise stündlichen Daten in der folgenden Form benutzt:

a) KKP:

HH, TAG, JAHR, NIEDRA, TEMP15, U30, DKAT, WG 115 m, 15 m, 40 m, WR 115 m, 15 m, 40 m

(Stunde, Tag, Jahr, Niederschlagsrate, T15m, Windgeschwindigkeit 30m, Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeit 115m, 15 m, 40 m, Windrichtung 115m, 15m, 40 m)

b) GKN:

HH, TGRAD, JAHR, T2, T34, DKAT, UKG, WG 150 m, WG 58 m, WR 150 m, 58 m.

(Stunde, Temperaturgradient, Jahr, T 2m, T 34m, Diffusionskategorie, Windgeschwindigkeit zur Kategorienbestimmung, Windgeschwindigkeit 150m, 58m, Windrichtung 150m, 58m)

Die Positionen der Meßgeräte bei KKP und GKN haben Einfluß auf die Qualität der Meßdaten:

a) KKP:

Anemometer, Windfahnen und Temperaturmeßgeräte befinden sich auf einem 115 m hohen Mast in verschiedenen Höhen, hauptsächlich in 15 m, 40 m und 115 m über Grund (Abb. 3). Aus dieser Anordnung der Geräte ergeben sich keine Probleme.

b) GKN:

Hier existiert kein spezieller meteorologischer Meßmast; Temperatur und Windvektor werden auf einem Strommast (52 m, 58 m ü.G.), bzw. am Kamin (150 m ü.G.) gemessen (Abb. 2). Nicht alle Instrumente sind gut angeordnet, so daß z.B. die Bestimmung des Temperaturgradienten und die Messung der 150 m-Windrichtung nicht mit der erforderlichen Genauigkeit erfolgen kann.

2.1.2 Standorte Grafenrheinfeld (KKG), Gundremmingen (KRB) und Isar-Ohu (KKI)

Die stündlichen meteorologischen Daten der bayerischen Kernkraftwerke wurden von der KFÜ-Zentrale im Landesamt für Umweltschutz in München zur Verfügung gestellt. Die Datenreihen von allen drei Standorten überdecken den Zeitraum vom 1.1.1984 bis 31.12.1986; sie wurden vom LfU München geordnet nach Standorten und Jahren in Form von 9 Dateien auf Magnetband übergeben.

Beispiel einer Datenzeile:

KKW, JAHR, MONAT, TAG, HH, WIR, DKAT (SB, TG, WF), WIG, NIEDRA (Kennnummer des KKW, Jahr, Monat, Tag, Stunde, Windrichtung, Diffusionskategorie aus: (Strahlungsbilanz, Temperaturgradient, Windrichtungsfluktuation), Windgeschwindigkeit, Niederschlagsrate).

Die Meßdaten Strahlungsbilanz, Temperaturgradient und Windrichtungsfluktuation stehen nicht direkt zur Verfügung, es liegen nur daraus abgeleitete Diffusionskategoriedaten vor.

Angabe der Diffusionskategorie:

D.-Kategorie bestimmt aus:	KKG	KRB	KKI
Strahlungsbilanz	x	x	x
Temperaturgradient	x	x	—
Windrichtungsfluktuation	x	x	x

Die Windmeßdaten Richtung und Geschwindigkeit stammen aus Messungen am Kamin; die Meßhöhen betragen 164 m ü. Grund (KKG), 174 m ü. Grund (KRB) und 130 m ü. Grund (KKI). Daten des 10 m - Windes sind in diesen KFÜ-Aufzeichnungen nicht enthalten.

2.2 Datenreihen von Stationen des Deutschen Wetterdienstes

Zu den 5 KKW-Standorten wurden 11 DWD-Meßstationen ausgesucht, die in Entfernungen von 20 - 70 km in der Umgebung der Standorte liegen und stündliche Werte des Bodenwindes (Richtung und Stärke), sowie z.T. auch synoptisch bestimmte Stundenwerte der Diffusionskategorie liefern. Die Zuordnung der DWD-Stationen zu den KKW-Standorten zeigt Tab. 1:

KKW	DWD-Stationen	Diff.- Kat.	Zeitraum
KKP	Mannheim	ja	2.85 - 12.86
	Karlsruhe	ja	"
GKN	Stuttgart Wetteramt	-	"
	Stuttgart Flugwetterwarte	ja	"
KKG	Würzburg	-	1.84 - 12.86
	Nürnberg Flugwetterwarte	ja	"
KRB	Leipheim	-	"
	Laupheim	-	"
	Augsburg	ja	"
KKI	München Flugwetterwarte	ja	"
	Erding	-	"

Tab. 1: KKW-Standorte und DWD-Stationen

Abb. 1 zeigt die geographische Lage der Standorte und DWD-Stationen.

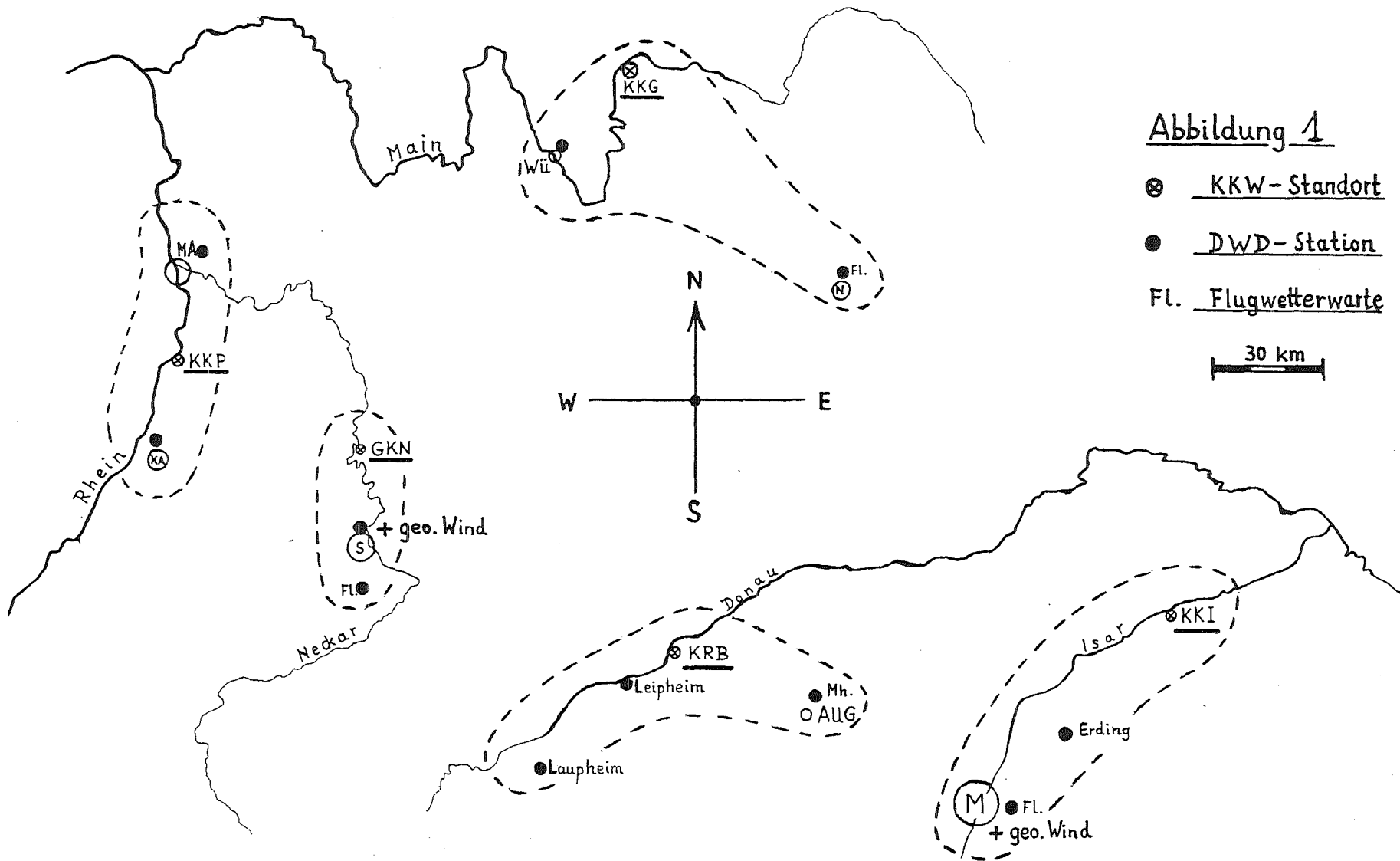


Abbildung 1

- ⊗ KKW-Standort
- DWD-Station
- FL. Flugwetterwarte

30 km

Um zusätzlich die Richtung der Anströmung in größeren Höhen zu kennen, wurden Datenreihen des geostrophischen Windes vom Deutschen Wetterdienst verwendet. Es handelt sich dabei um Meßdaten von Radiosondenaufstiegen, die im 6-Std.-Takt vorliegen. Alle Daten der Jahre 1985 und 1986 der Stationen Stuttgart und München mit dem geostrophischen Wind des 850 hPa-Niveaus (entsprechend ca. 1500 m Höhe) wurden verwendet.

Bei den stündlichen Winddaten des DWD handelt es sich um echte Stundenmittelwerte; nur wenn innerhalb einer Stunde eine bleibende Windänderung auftritt, wird nicht stundengemittelt, sondern das Mittel des länger herrschenden Windes angegeben.

3. Bestimmung der Diffusionskategorie

Die Diffusionskategorie als Maßzahl für den vertikalen turbulenten Austausch in der Grenzschicht beschreibt nicht nur den diffusiven Stofftransport, sondern auch den Grad der Kopplung zwischen höheren und bodennahen Windströmungen. Eine grobe Unterscheidung wird durch die Feststellung stabiler und nicht-stabiler Fälle erzielt. Orographische Einflüsse auf das Strömungsfeld hängen stark von der Schichtungsstabilität ab.

Die Stundenmittelwerte der Diffusionskategorie (PASQUILL) wurden aus den meteorologischen Daten der KKW-Standorte bestimmt.

3.1 Standort Philippsburg (KKP)

Es wurden zwei Methoden zur Bestimmung der Diffusionskategorie verwendet:

a) Bestimmung aus Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit, b) aus Strahlungsbilanz und Windgeschwindigkeit.

zu a):

Es wurde ein Karlsruher Kategorisierungsschema verwendet /NES 80/; benötigte Eingabegrößen sind der Temperaturgradient zwischen 30 und 100 m und der Wind in 40 m Höhe (Tab. 2). Da in der Umgebung des Meßmastes KKP keine Bewaldung wie beim Kernforschungszentrum Karlsruhe existiert, wurde eine Nullpunktsverschiebung von -10 m angenommen; beim KKP ist also mit dem Wind in 30 m Höhe zu rechnen.

Dieser wurde aus dem 15 m- und dem 40 m-Wind interpoliert:

$$u(30 \text{ m}) = 1/3 (2 \cdot u(40 \text{ m}) + 1 \cdot u(15 \text{ m}));$$

diese Formel ist eine gute Näherung für eine stabilitätsabhängige Interpolation mit Potenzprofilansatz (relat. Abweich. $\leq 5\%$).

Der Temperaturgradient wurde aus dem Mittel der Temperaturdifferenzen zwischen 15 m und 115 m, bzw. 40 m und 115 m konstruiert:

$$TG [K/100 m] = 1/2 (\Delta T_{115-15} + \Delta T_{115-40}) \cdot 100/87.5$$

\bar{u}_{40} (m/s)	TG (K/100 m)
0,0 - 0,9	A $\leq - 1,13 < B \leq - 1,03 < C \leq - 0,91 < D \leq - 0,37 < E \leq + 0,78 < F$
1,0 - 1,9	A $\leq - 1,18 < B \leq - 1,05 < C \leq - 0,91 < D \leq - 0,22 < E \leq + 1,12 < F$
2,0 - 2,9	A $\leq - 1,39 < B \leq - 1,18 < C \leq - 0,97 < D \leq - 0,16 < E \leq + 1,25 < F$
3,0 - 3,9	A $\leq - 1,61 < B \leq - 1,33 < C \leq - 1,00 < D \leq - 0,10 < E \leq + 1,32 < F$
4,0 - 4,9	A $\leq - 1,82 < B \leq - 1,48 < C \leq - 1,04 < D \leq - 0,04 < E \leq + 1,39 < F$
5,0 - 5,9	B $\leq - 1,62 < C \leq - 1,08 < D \leq + 0,02 < E \leq + 1,46 < F$
6,0 - 6,9	B $\leq - 1,77 < C \leq - 1,16 < D \leq + 0,08 < E$
7,0 - 7,9	C $\leq - 1,25 < D$
8,0 - 9,9	C $\leq - 1,40 < D$
$\geq 10,0$	D

Tabelle 2 : Einteilung des Temperaturgradienten zwischen 30 und 100 m Höhe in Ausbreitungskategorien in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in 40 m Höhe

Mit diesen Definitionen für u (30 m) und TG erhält man folgende Kategorienhäufigkeiten:

<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F	
%	2.5	5	16	44	17.5	15	(1985)
	1.4	4.1	17.2	49	16.7	11.5	(1986)

Der Vergleich mit den entsprechenden Häufigkeiten am Kernforschungszentrum Karlsruhe /NES 80/, sowie der Vergleich mit Kategorienhäufigkeiten des DWD der Stationen Karlsruhe und Mannheim (1985) zeigen folgende Übereinstimmung:

<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F	
Kernfor- schungs- zentrum	2.7	6.8	15.1	39.1	19.6	16.7	%
<u>DWD, Turner</u>	A	B	C	D	E	F	
Karlsruhe	1.0	9.7	16.6	42.3	17.9	10.7	%
Mannheim	1.2	11.0	15.9	39.1	20.1	11.0	%
<u>DWD, Klug/Marnier</u>							
Karlsruhe	4.6	8.0	13.1	33.0	21.7	17.9	%
Mannheim	4.8	8.6	14.9	29.5	21.1	19.6	%

zu b):

Zur Bestimmung der Diffusionskategorie aus der Strahlungsbilanz und der Windgeschwindigkeit wurde ebenfalls ein Karlsruher Schema /NES 80/ verwendet:

\bar{u}_{40} (m/s)	SB (mW/cm ²)
0,0 - 0,9	A > 21,4 \geq B > 12,5 \geq C > 6,0 \geq D > - 0,2 \geq E > - 0,9 \geq F
1,0 - 1,9	A > 21,4 \geq B > 12,6 \geq C > 6,0 \geq D > - 0,4 \geq E > - 1,3 \geq F
2,0 - 2,9	A > 30,1 \geq B > 16,2 \geq C > 6,0 \geq D > - 0,6 \geq E > - 2,1 \geq F
3,0 - 3,9	A > 40,0 \geq B > 23,2 \geq C > 6,3 \geq D > - 1,2 \geq E > - 3,4 \geq F
4,0 - 4,9	A > 49,5 \geq B > 30,5 \geq C > 6,7 \geq D > - 2,8 \geq E > - 5,5 \geq F
5,0 - 5,9	B > 37,6 \geq C > 8,4 \geq D > - 5,5 \geq E
6,0 - 6,9	B > 45,0 \geq C > 10,8 \geq D
7,0 - 7,9	C > 15,0 \geq D
8,0 - 9,9	C > 24,0 \geq D
\geq 10,0	D

Tabelle 3 : Einteilung der Strahlungsbilanz in Ausbreitungskategorien in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit in 40 m Höhe

Wie in a) wurde statt u_{40} die Windgeschwindigkeit u (30m) mit derselben Definition wie bei a) verwendet. Das Ergebnis für 1985 ist:

<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F
%	8.8	8.5	14.9	43.3	9.3	15.2

Es fällt die relativ große Häufigkeit der Kategorien 'A' und 'B' auf, wobei 'A' sogar noch häufiger als 'B' auftritt. Die "stabilen" Kategorien 'E' und 'F' kommen zu selten vor; auch sollte Kategorie 'E' häufiger auftreten als 'F'; das Gegenteil ist der Fall.

Woher stammen diese Fehler? Es gibt mehrere Ursachen dafür.

Eine Ursache liegt im Prinzip des Meßverfahrens: Die lokale Strahlungsbilanz kann sehr plötzliche Schwankungen beim Wechsel zwischen Bewölkung und Sonnenschein aufweisen; in der daraus abgeleiteten Diffusionskategorie würde sich dieser Wechsel als Sprung von Kategorie D nach A zeigen. Die tatsächliche atmosphärische Schichtung stellt sich relativ träge im räumlichen und zeitlichen Mittel ein und würde zum Beispiel mit der Diffusionskategorie 'C' richtig beschrieben. Ähnlich verhält es sich bei der nächtlichen Ausstrahlung vom Boden. Kategorie 'A' und 'F' treten daher scheinbar überhäufig auf, wenn sie aus der Strahlungsbilanz bestimmt werden.

Ein weiteres Problem liegt in den sehr unterschiedlichen Signalhöhen tagsüber und nachts. Während am Tage zwischen 0 und + 50 mW/cm² auftreten können, sind es nachts nur 0 bis etwa -6 mW/cm². Das führt dazu, daß der Bereich neutraler bis stabiler Schichtung schlechter aufgelöst wird und häufig Kategorie 'D' mit Kategorie 'E' verwechselt wird. Je nach Verschiebung des Nullpunktes erhält man dann zu häufig Kategorie 'D' und zu selten Kategorie 'E', oder umgekehrt. Bei der vorliegenden Auswertung ist Kategorie 'D' zu häufig.

Bei den folgenden Auswertungen der meteorologischen Daten wurde daher nicht die Strahlungsbilanz-Methode, sondern die Temperaturgradient-Methode oder synoptische Verfahren zur Bestimmung der Diffusionskategorie verwendet.

3.2 Standort Neckarwestheim (GKN)

Auch hier wurden versuchsweise beide Kategorienbestimmungsmethoden, beruhend auf Temperaturgradient und Strahlungsbilanz, verwendet.

Die Ergebnisse erwiesen sich jedoch als nicht sehr zuverlässig, sodaß auf die Zeitreihen von Diffusionskategorien der DWD-Station Stuttgart Flugwetterwarte zurückgegriffen wurde.

a) Temperaturgradient-Methode

Die Auswahl geeigneter Temperatur-Meßorte in den KFÜ-Daten von GKN ist problematisch, da wegen der Lage im Steinbruch zwei verschiedene Grundniveaus mit einem Höhenunterschied von ca. 30 m existieren und die Meßgeräte an verschiedenen Orten aufgestellt sind (Abb. 2).

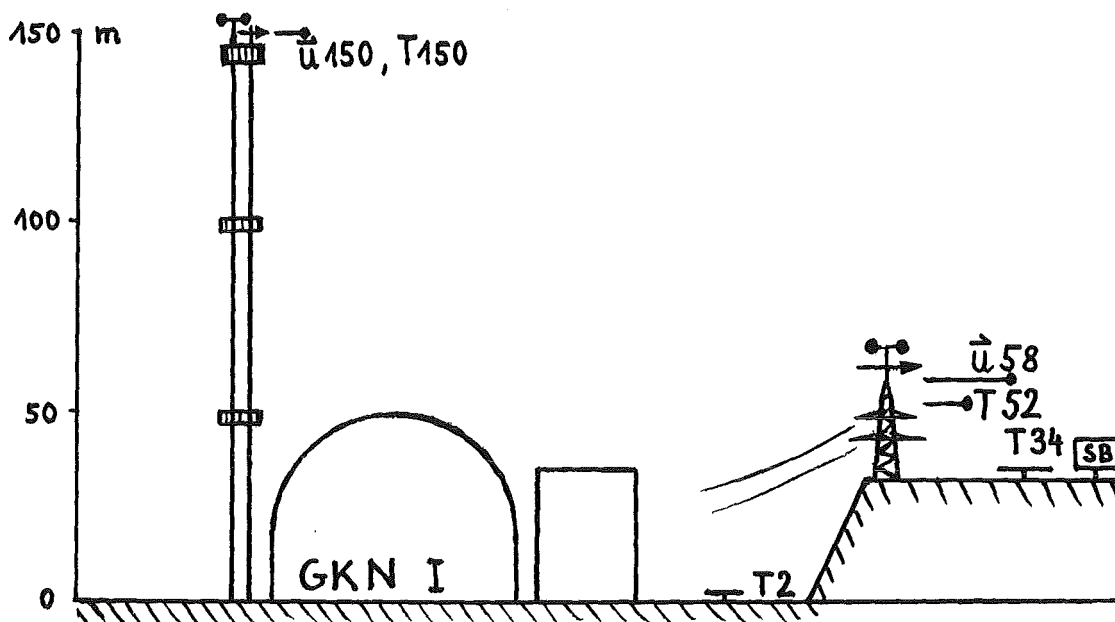


Abb. 2: Meteorologische Instrumentierung beim GKN

Als am besten geeignet erwiesen sich die Temperaturen TEM34 (2 m über dem oberen Grundniveau) und TEM52 (auf benachbartem Strommast). TEM2 (in 2 m über dem unteren Grundniveau) liefert untypische Werte wegen der Nähe der Steinbruchwand und der Gebäude, TEM150 (auf dem Kamin) zusammen mit TEM52 sind zu weit vom Boden entfernt, um bei stabilen und instabilen Lagen noch einen entsprechend ausgeprägten Gradienten liefern zu können.

Bei der Verwendung der Temperaturdifferenz TEM52 - TEM34 (d.h. T (20 m) - T (2 m) bezogen auf das obere Niveau) mußte allerdings ein empirischer Korrekturfaktor eingeführt werden, der die Bodennähe der unteren Temperaturmessung abschwächend kompensiert. Mit folgendem Ansatz für die Gradienten-Berechnung wurde das beste Ergebnis erzielt:

$$TG [K/100 m] = [(T (20 m) - T (2 m)) \cdot 100 m / 18 m - 1] \cdot 0.3$$

Die Windgeschwindigkeit UKG wurde aus WIG58 (= u (26 m) über oberem Niveau) und WIG150 (am Kamin, 118 m über oberem Niveau) zusammengesetzt:

$$UKG = u (30 m) = u (26 m) + 0.2 \cdot (u (118 m) - u (26 m))$$

Damit ergaben sich folgende Diffusionskategorien-Häufigkeiten (1985 und 1986):

<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F
%	3.1	3.5	5.7	36.9	28.2	12.6
<u>Turner</u>						
<u>DWD</u>	A	B	C	D	E + F	G
ST. Flugwetter- warte	1.1	11.0	15.5	38.0	19.8	13.4

Diese Häufigkeitsverteilung ist verzerrt, die Probleme mit den Temperaturdaten und der Bestimmung der Gradienten zeigen sich hier. Kategorie 'A' ist viel zu häufig, 'D' zu selten; die stabilen Fälle 'E' und 'F' könnten mit der Realität übereinstimmen (Vergleich mit DWD Stuttgart Flugwetterwarte).

b) Strahlungsbilanz-Methode

Dasselbe Verfahren wie bei KKP (3.1 b) zusammen mit $u (30 m) = UKG$ wurde benutzt. Die resultierende Verteilung der Diffusionskategorien (1985) ist:

<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F
%	1.0	4.9	11.9	47.6	12.8	21.8

Auch diese Verteilung entspricht nicht den tatsächlichen Häufigkeiten; neutrale Fälle 'D' sind zu häufig, labile Fälle 'A' sind zu selten vertreten, und die sehr stabilen Fälle 'F' treten wie beim KKP häufiger auf als die mäßig stabilen Fälle 'E'.

c) Diffusionskategorie aus den Datenreihen des DWD; Stuttgart Flugwetterwarte

Aus den Zeitreihen von Klug/Manier- und Turner-Diffusionskategorien lassen sich entsprechende Häufigkeitsverteilungen aufstellen. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden sowohl Klug/Manier- als auch Turner-Kategorien nach folgendem Schema in Pasquill-Kategorien übersetzt:

	instabil			neutral	stabil	
<u>Klug/Manier</u>	6	5	4	3	2	1
<u>Pasquill</u>	A	B	C	D	E	F
<u>Turner</u>	A	B	C	D	E + F	G

proz. Häufigkeitsverteilungen (1985 u. 1986) Stuttgart Flugwetterwarte:

<u>Pasquill:</u>	A	B	C	D	E	F	
<u>Klug/Manier</u>	4.9	7.9	13.5	29.1	20.8	22.4	%
<u>Turner</u>	1.1	11.0	15.6	38.0	9.8	13.0	%

Bei der Klug/Manier-Verteilung fällt die geringe Häufigkeit neutraler Fälle 'D' auf, während 'E' und 'F' verstärkt auftreten. Bei der Turner-Verteilung gibt es diese Verzerrung nicht, wohingegen die Kategorie 'A' zu selten auftritt und offenbar als 'B' gezählt wird.

Da es bei den Untersuchungen im Folgenden im Wesentlichen auf eine gute Trennung zwischen stabilen (E, F) und nicht-stabilen (D, C, B, A) Fällen ankommt, wurde die Turner-Kategorisierung vorgezogen und ausschließlich verwendet.

		G K N - P A S Q U I L L						
		A	B	C	D	E	F	Summe
D W D T U R N E R	A	0.7	-	-	0.3	-	-	1.0
	B	6.6	0.7	0.8	2.5	0.5	0.1	11.2
	C	3.5	1.3	1.7	5.1	3.3	0.9	15.8
	D	2.3	1.5	3.2	22.0	8.0	1.2	38.2
	E	-	-	-	5.0	10.7	4.3	20.0
	F	-	-	-	2.0	5.7	6.1	13.8
Summe		13.1	3.5	5.7	36.9	28.2	12.6	100.0

Tabelle 4: Korrelationsmatrix der Diffusionskategorien vom Standort GKN (PASQUILL) und der DWD-Station Stuttgart Flugwetterwarte (TURNER).

Für die Jahre 1985 und '86 wurde die Korrelationsmatrix aus den gleichzeitigen Stundenwerten unterschiedlich ermittelter Diffusionskategorien bestimmt. Am Standort GKN wurde die Diffusionskategorie aus Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit bestimmt, an der Stuttgarter Flugwetterwarte wurde sie nach Turner bestimmt ; (Tab. 4).

Trotz der Schwächen in der Bestimmung des Temperaturgradienten bei GKN und der Entfernung der Standorte (Neckarwestheim und Stuttgart-Echterdingen) ist eine deutliche Korrelation zu erkennen, besonders bei den neutralen und stabilen Kategorien.

3.3 Standorte Grafenrheinfeld (KKG), Gundremmingen (KRB), und Isar-Ohu (KKI)

Die meteorologischen Datensätze des bayerischen KFÜ enthalten schon berechnete Diffusionskategorien basierend auf der Strahlungsbilanz (SB)-, der Temperaturgradienten (TG)- und der Windrichtungsschwankungs (σ_{θ})-Methode.

Bei der Sichtung der Daten von 1985 und 1986 stellte sich heraus, daß sowohl die SB- als auch die σ_θ -Methode fragwürdige bis falsche Kategorienhäufigkeiten ergaben:

KKW	Jahr	Diffusionskategorien:					
		A	B	C	D	E	F
<u>KKG:</u>							
SB:	{ 85	7.4	6.4	11.7	<u>27.1</u>	15.9	<u>31.4</u>
	{ 86	<u>12.5</u>	8.0	19.9	41.4	<u>8.4</u>	<u>9.8</u>
σ_θ :	{ 85	<u>8.0</u>	6.3	8.2	<u>23.7</u>	<u>25.7</u>	<u>22.7</u>
	{ 86	<u>8.1</u>	5.7	7.5	<u>23.3</u>	<u>25.7</u>	<u>22.2</u>
TG:	{ 85	3.1	5.2	11.6	36.7	21.7	21.5
	{ 86	6.3	7.9	14.5	37.9	18.2	15.2
<hr/>							
<u>KRB:</u>							
SB:	{ 85	3.5	4.3	12.1	36.3	21.3	22.6
	{ 86	5.1	7.2	<u>30.1</u>	46.1	<u>9.2</u>	<u>2.4</u>
σ_θ :	{ 85	<u>7.7</u>	5.9	9.6	<u>22.6</u>	<u>23.2</u>	<u>27.2</u>
	{ 86	<u>8.3</u>	6.9	9.5	<u>23.6</u>	<u>21.9</u>	<u>26.6</u>
TG:	{ 85	0.7	2.5	11.0	46.8	18.3	20.2
	{ 86	1.1	3.1	12.0	48.1	17.1	18.7
<hr/>							
<u>KKI:</u>							
SB:	{ 85	<u>9.3</u>	5.0	7.8	<u>9.8</u>	<u>3.3</u>	<u>64.8</u>
	{ 86	<u>13.5</u>	5.5	8.1	<u>15.4</u>	<u>5.8</u>	<u>51.8</u>
σ_θ :	{ 85	0.7	2.6	6.4	<u>26.0</u>	<u>29.3</u>	<u>23.6</u>
	{ 86	0.1	1.3	<u>2.2</u>	<u>13.5</u>	<u>28.3</u>	<u>42.3</u>

Tab.5: Häufigkeiten von Diffusionskategorien % bei verschiedenen Bestimmungsverfahren (Strahlungsbilanz, Windrichtungsschwankung, Temperaturgradient) aus KFÜ-Daten der KKW KKG, KRB und KKI

Die auffälligsten Fehler in den Häufigkeiten der Kategorien sind unterstrichen.
Zum Vergleich sind die Klug/Manier- und Turner-Kategorien-Häufigkeiten der
DWD-Stationen Nürnberg, Augsburg und München für 1985 und '86 angegeben:

			A	B	C	D	E	F	
Nürnberg Flug-Ww. (KKG)	K/M)	1985	4.1	7.6	12.8	28.4	23.3	21.9	%
		1986	4.3	8.3	13.3	29.5	23.4	20.0	%
	Tur)	1985	0.9	8.9	14.6	41.1	21.6	11.1	%
		1986	1.0	9.2	13.8	43.3	21.1	10.2	%
Augsburg (KRB)	K/M)	1985	4.8	7.0	12.7	32.8	21.2	17.9	%
		1986	4.9	8.5	11.4	33.2	20.2	18.5	%
	Tur)	1985	1.5	8.8	12.8	45.1	18.1	10.1	%
		1986	1.6	9.1	13.5	44.9	17.1	10.6	%
München Flug-Ww. (KKI)	K/M)	1985	5.3	7.1	13.0	32.4	19.8	19.5	%
		1986	5.1	7.6	12.9	33.4	20.2	18.8	%
	Tur)	1985	1.1	9.8	14.4	42.6	18.5	10.6	%
		1986	0.9	10.0	13.5	44.1	19.4	10.1	%

Tab. 6: Diffusionskategorienhäufigkeiten an den Meßstationen Nürnberg, Augsburg und München.

Die Bestimmung der Diffusionskategorie mit der Strahlungsbilanzmethode (SB) führte 1985 beim KKG zu einer zu geringen Häufigkeit von neutralen Situationen (D) und einer viel zu großen Häufigkeit von stabilen Fällen (F). 1986 hingegen traten zu viele A-Situationen und zu wenige E- und F-Fälle auf. Beim KRB zeigt sich 1986 ein ähnlicher Effekt: zu viele Fälle mit Kategorie C und zu wenige Fälle mit Kategorie E und F. Beim KKI sind die Fehler am deutlichsten zu sehen. Hier wurden zu viele A-Fälle bestimmt, dagegen viel zu wenige D- und E-Fälle und übermäßig viele F-Fälle.

Die möglichen Ursachen für die auftretenden Fehler wurden in Kap. 3.1.b erwähnt.

Die Bestimmung der Diffusionskategorie aus Windrichtungsfluktuationen (σ_θ) führt ebenfalls zu Abweichungen gegenüber den wahren Kategorienhäufigkeiten. Beim KKG ergeben sich zu viele A-Fälle, mehr E- als D-Fälle; und etwa gleichviele D- und F-Fälle. Ähnliches zeigt sich beim KRB: Zu viele A-Fälle, zu wenige D-Fälle, zu viele E- und F-Fälle. Beim KKI ergeben sich zu wenige Fälle mit

nahe-neutraler Schichtung, C und D, und zu viele Fälle mit stabiler Schichtung, E und F.

Eine Erklärungsmöglichkeit für die auftretenden Fehler wäre die Benutzung nicht gut angepaßter Kurven für die Kategorien-Windrichtungsschwankungs-Beziehung.

Die besten Häufigkeitsverteilungen der Diffusionskategorien ergeben sich aus der Auswertung der Temperaturgradienten (KKG und KRB). Sie korrelieren gut mit den Turner-Kategorien der benachbarten DWD-Stationen.

Daher wird auch hier, wie im Falle von GKN (Kap. 3.2 c), die Turner-Kategorisierung des DWD der Stationen Nürnberg Flugwetterwarte, Augsburg und München Flugwetterwarte verwendet.

Die Korrelationsmatrix aus stündlichen Kategorienwerten bestimmt aus Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit beim KRB (Gundremmingen) und den DWD-Daten der Station Augsburg zeigt eine recht gute Korrelation (1985 und 1986), wenn man bedenkt, daß selbst unter optimalen Meßbedingungen an einem Standort niemals 100%ige Korrelationen zu erhalten sind /NES 80/ (Tabelle 7).

		KRB - Temp.Grad./Windgeschw.						
		A	B	C	D	E	F	Summe
D W D T U R N E R	A	0.2	0.5	0.6	0.3	-	-	1.6
	B	0.5	1.5	3.2	2.3	1.0	0.8	9.3
	C	0.1	0.5	3.8	5.2	2.1	1.9	13.6
	D	0.1	0.4	4.0	34.1	5.6	2.4	46.6
	E	-	-	-	4.6	7.0	6.6	18.2
	F	-	-	-	0.5	2.2	8.0	10.7
Summe		0.9	2.9	11.6	47.0	17.9	19.7	100.0

Tabelle 7: Korrelationsmatrix der Diffusionskategorien vom Standort KRB (PASQUILL) und der DWD-Station Augsburg (TURNER).

4. Windrichtungsscherungen am Standort Philippsburg (KKP)

Die Instrumentierung des meteorologischen Masts vom KKP und die entsprechenden Aufzeichnungen in den KFÜ-Dateien gestatten die Untersuchung der Winddrehung an diesem Standort zwischen 15 m und 115 m über Grund.

Solche Untersuchungen wurden für verschiedene Bereiche von Diffusionskategorien und Windgeschwindigkeiten mit den stündlichen Mittelwerten der Windrichtungen in 15 m, 40 m und 115 m ü.G. des Jahres 1985 (Februar bis Dezember) durchgeführt. Im Folgenden werden die Ergebnisse gezeigt.

4.1 Prüfung der Justierung

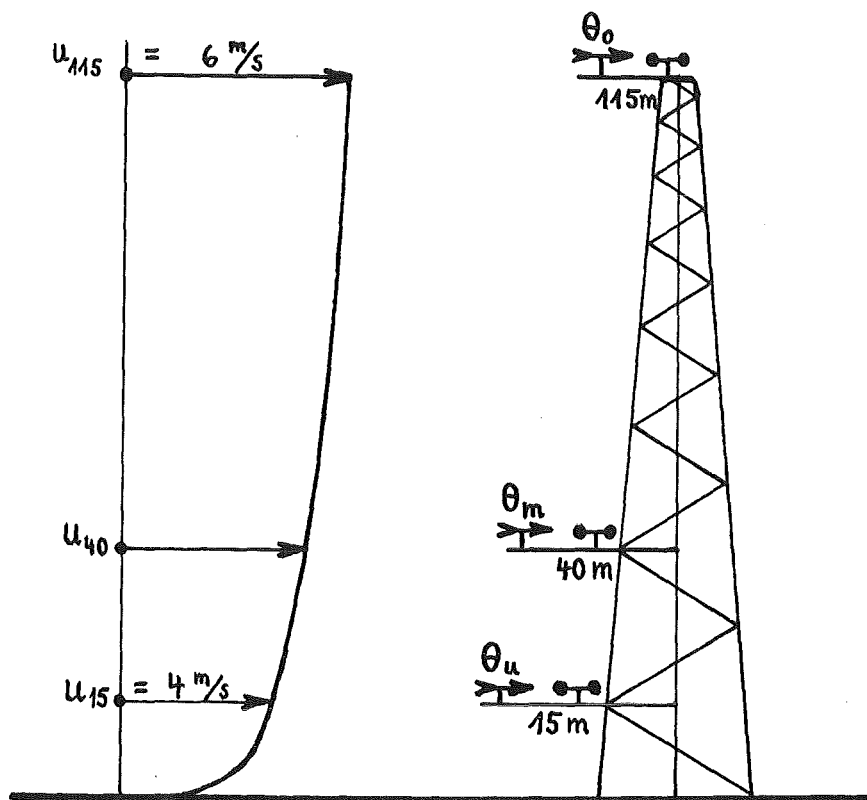


Abb. 3: Meßmast KKP, Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten in 15 m, 40 m, 115 m ü.G.

Zur Überprüfung der relativen Justierung der verschiedenen Windfahnen wurden deren Windrichtungsmeßwerte in den Fällen mit guter vertikaler Durchmischung der unteren Grenzschicht und nicht zu geringen Windgeschwindig-

keiten miteinander verglichen. Als geeignete Fälle wurden z.B. Situationen mit nicht-stabilen Schichtungen und Windgeschwindigkeiten $u(15\text{ m}) \geq 4\text{ m/s}$ ausgewählt; es sind dann hauptsächlich die Diffusionskategorien (Pasquill) D und C vertreten. In Abb. 4a und b sind die stündlichen Windrichtungsmittelwerte der Jahre 1985 und 1986 in den Höhen 15 m ("unten") und 115 m ("oben") in den genannten Fällen gegeneinander aufgetragen.

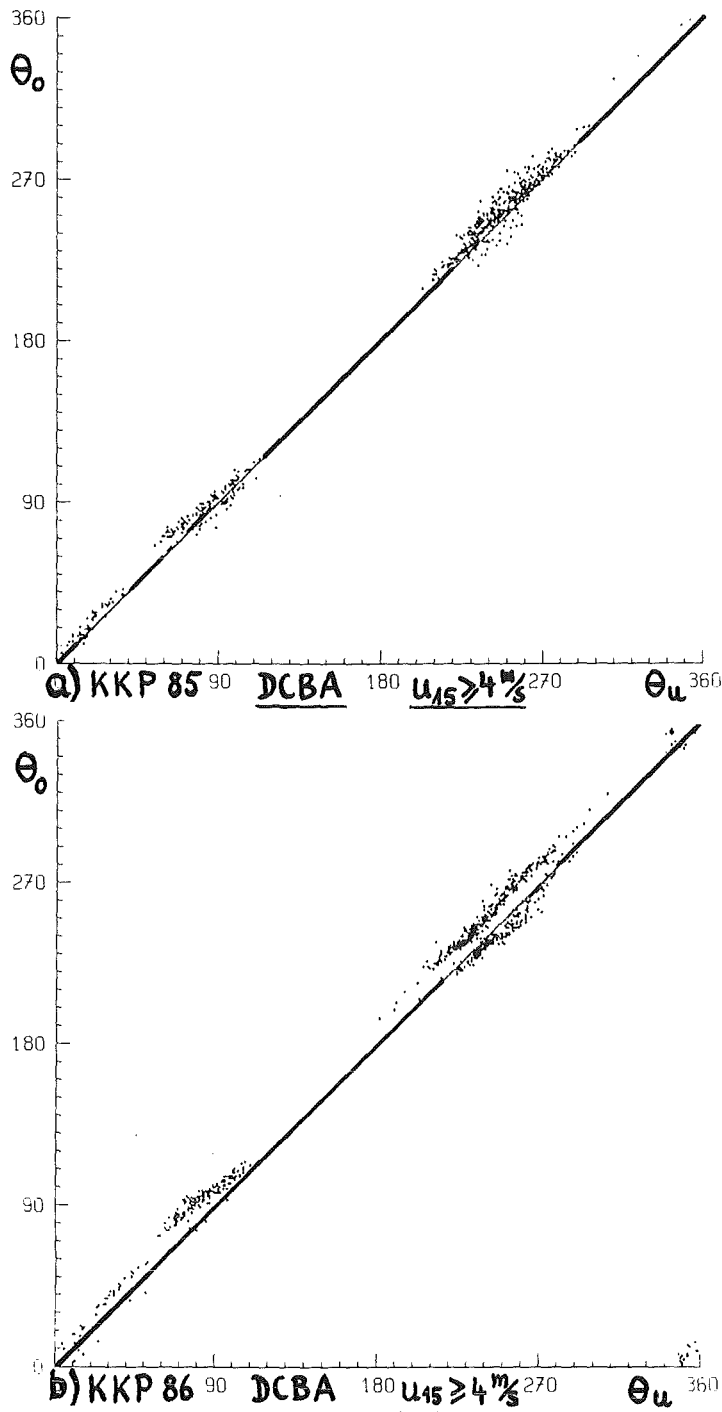


Abb. 4: Windrichtungskorrelationen θ_u und θ_o zur Überprüfung der Justierung der Windfahnen.

Die Daten von 1985 zeigen sehr gute Korrelation; die Windrichtung Θ_0 in 115 m Höhe hat sehr ähnliche Werte wie Θ_u in 15 m Höhe:

$$\Theta_0 = \Theta_u + 3^\circ (\pm \sigma \approx \pm 5^\circ)$$

Während des Jahres 1986 hat es offenbar zeitweilig eine Fehljustierung (oder eine Nullpunktverschiebung) zwischen den Windfahnen oder der Meßelektronik gegeben; es treten sowohl gehäuft Abweichungen um $+10^\circ$ als auch um -5° zwischen der oberen und der unteren gemessenen Windrichtung auf (Abb. 4b). Solche Fehler zeigen sich auch im Vergleich mit der mittleren Windfahne in 40 m Höhe.

Zur Bestimmung der echten Windrichtungsscherungen wurden daher nur die Daten von 1985 verwendet.

4.2 Richtungsscherung bei stabilen Lagen

In ca. 32.5 % aller Stunden von Februar bis Dezember 1985 wurden am Standort KKP mit der TG/u₃₀-Methode (Kap. 3.1 a) die Pasquill-Kategorien 'E' und 'F' festgestellt. Die DWD-Stationen Mannheim bzw. Karlsruhe hatten im selben Zeitraum 31.1 % bzw. 28.6 % stabile Lagen nach Turner und 40.7 % bzw. 39.6 % stabile Lagen nach Klug/Manier.

In Abb. 5 sind die stündlichen Windrichtungsmeßdaten in 115 m und 15 m Höhe, Θ_0 und Θ_u , für die nach der TG/u₃₀-Methode bestimmten Fälle mit stabiler Schichtung gegeneinander aufgetragen. Man erkennt deutliche Häufungen von Punkten (stündlichen Windrichtungswertepaaren (Θ_u, Θ_0)) im gestrichelt markierten Bereich, in dem gilt:

$$\Theta_0 \approx \Theta_u + 30^\circ (\pm 30^\circ).$$

Daneben gibt es Bereiche mit breit gestreuten Punkten, die verschiedensten Winkeldifferenzen $\Theta_0 - \Theta_u$ entsprechen. Es war zu prüfen, unter welchen Bedingungen diese Wertepaare realen Windströmungen mit Richtungsscherungen entsprechen.

Zwei Effekte, die die Qualität der hier verwendeten Windrichtungsmeßdaten beeinträchtigen, müssen dabei berücksichtigt werden: 1. die Mittelwertbildung über eine Stunde; 2. zu geringe Windgeschwindigkeit (die Windfahne wird nicht mehr in die Strömung gedreht).

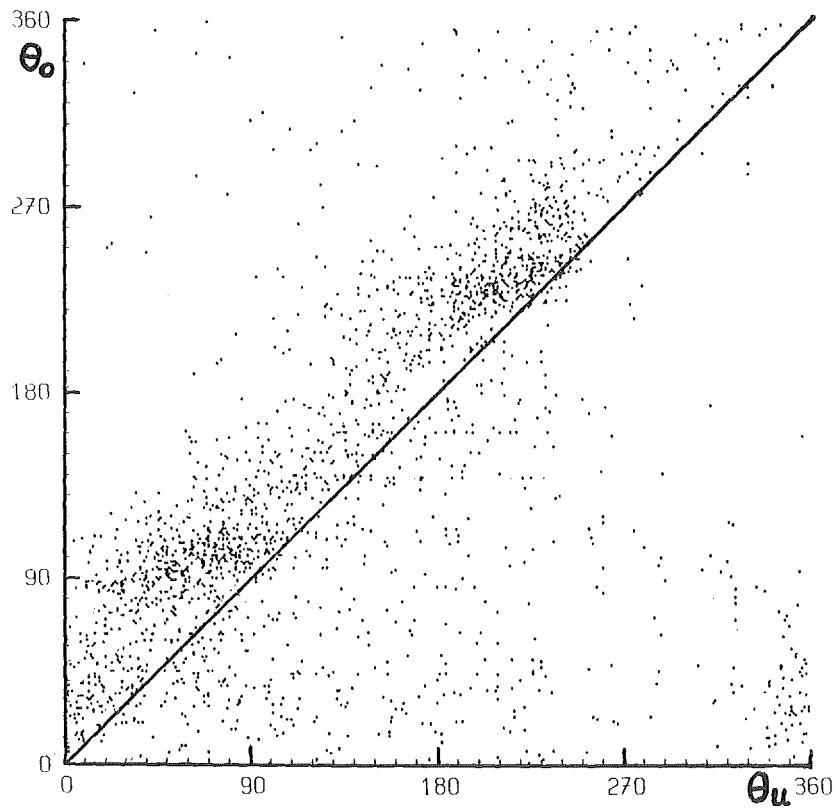


Abb. 5: Korrelation der Windrichtungen in 15 m (θ_u) und 115 m Höhe (θ_0) bei stabilen Schichtungen; KKP85

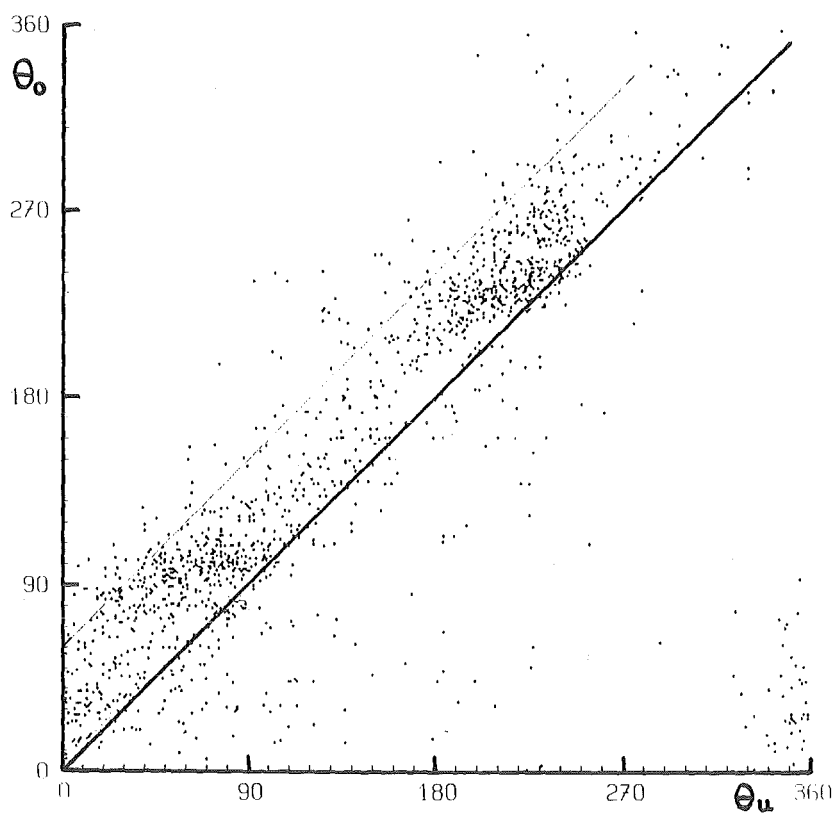


Abb. 6: Wie Abb. 5, jedoch ohne die Fälle mit $u_{15} < 0.5$ m/s.

Bei Windgeschwindigkeiten über 1 m/s in 15m ü. G. ist der Einfluß beider Effekte gering, da die Windfahnen in den verschiedenen Meßhöhen auf Windrichtungsänderungen meist gleichzeitig reagieren und die wahre Windrichtung anzeigen.

Bei geringen Windgeschwindigkeiten, die besonders häufig auf dem unteren Meßniveau bei stabilen Schichtungen auftreten, ist die Strömung öfter nicht ausreichend, um die Windfahne abzulenken. Der Stundenmittelwert kann dadurch stark streuende Werte annehmen, besonders bei Schwachwindlagen mit wechselnden Windrichtungen in Bodennähe. Unter solchen Bedingungen ist es möglich, daß der gemessene Scherungswinkel zwischen der unteren Windfahne Θ_u auf 15m und den höherliegenden Fahnen Θ_m und Θ_0 auf 40m und 115 m ebenfalls breit gestreute Werte annimmt. Dadurch werden große Windrichtungsscherungen vorgetäuscht, die von den ebenfalls möglichen echten Scherungen unterschieden werden sollen.

Die Minimalgeschwindigkeit für eine Windrichtungsmessung liegt je nach Gerätetyp und Wartungszustand bei 0.2 bis 0.5 m/s. Betrachtet man also nur Fälle (Wertepaare (Θ_u, Θ_0)), bei denen höhere Windgeschwindigkeiten geherrscht haben, so sind mit großer Wahrscheinlichkeit alle Fälle ausgeschlossen, bei denen aus dem genannten Grund fehlerhaft anzeigende Windfahnen aufgetreten sind. Abbildung 6 zeigt das Ergebnis der Beschränkung auf Windgeschwindigkeiten $u_{15} \geq 0.5$ m/s. Die Anzahl der verbleibenden Fälle beträgt 70% der Fälle mit stabiler Schichtung, die Anzahl der Fälle mit großen Scherungswinkeln $\Delta\Theta = \Theta_0 - \Theta_u \leq 90^\circ$ wird durch die Beschränkung um einen Faktor 5 verringert. Berücksichtigt man nur Windgeschwindigkeiten $u_{15} > 1$ m/s, so verbleiben noch etwa 40% der ursprünglichen Fälle; Großwinkelscherungen sind nicht mehr vorhanden. Es gibt dann praktisch nur noch Scherungen zwischen -20° und $+60^\circ$:

$$\Theta_u + 60^\circ \geq \Theta_0 \geq \Theta_u - 20^\circ.$$

Überprüft man weiterhin, wie die Windrichtungsanzeigen Θ_m auf 40m ü.G. mit den Θ_0 und Θ_u korreliert sind, so zeigt sich, daß zwischen 40m und 115m ü.G. (Θ_m und Θ_0) nur sehr wenige Großwinkelscherungen auftreten. In Abbildung 7 sind Θ_m und Θ_0 gegeneinander aufgetragen.

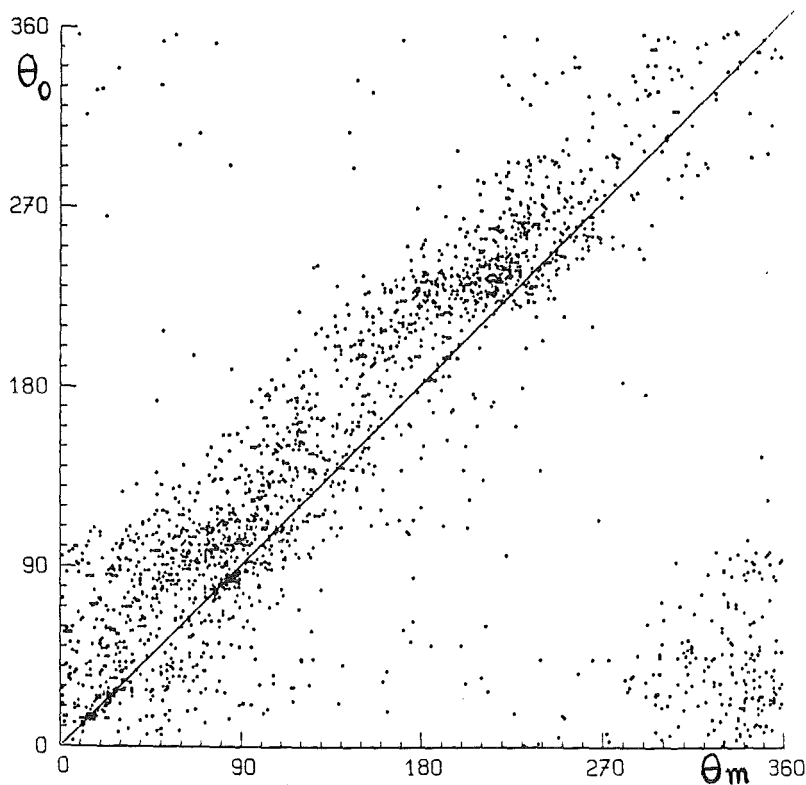


Abb. 7: Korrelation der Windrichtungen Θ_m und Θ_0 in 40m und 115m ü.G. (ohne Beschränkung der Windgeschwindigkeiten).

Zusammengefaßt folgt aus den Beobachtungen, daß die beobachteten Großwinkelscherungen fast ausschließlich zwischen 15m und 40m ü.G. und bei Windgeschwindigkeiten u_{15} unter 1 m/s auftreten. Am häufigsten kommen sie bei sehr stabilen Schichtungen (Diffusionskategorie F) vor.

Zur quantitativen Abtrennung "unechter" Windrichtungsscherungen wurden alle Fälle mit Windgeschwindigkeiten $u_{15} < 0.2$ m/s verworfen. Das sind 16% der Fälle mit stabilen Schichtungen. Die Fälle mit Großwinkelscherungen, die ca. 20% der "stabilen" Fälle ausmachen, werden durch die obige Beschränkung um 50% reduziert. Es verbleiben also nur noch etwa 10% aller Fälle mit stabiler Schichtung; sie haben Scherungswinkel zwischen $> 60^\circ$ und $< -20^\circ$.

Da diese Fälle zum Geschwindigkeitsbereich $U_{15} < 1$ m/s gehören, gibt es bei ihnen neben echten, für die atmosphärische Ausbreitung relevanten Windscherungen, auch Fälle mit sehr instationären, bodennahen Schwachwindströmungen. Auch diese können versehen mit der 1-Stunden-Mittelung Windscherungsmeßdaten liefern, die keinen Aufschluß über tatsächliche Transportrichtungen geben.

Somit liegt der Anteil der Fälle mit großen Windrichtungsscherungen zwischen 15m und 115m ü.G. sicher unter 10% der Fälle mit stabilen Schichtungen und damit insgesamt unter 3% aller 1-Stunden-Situationen von 1985. Eine genauere Analyse dieser echten, für die Ausbreitung relevanten Großwinkelscherungen ist im Rahmen dieser statistischen Auswertung nicht möglich.

Nach dieser Auswertung können Häufigkeitsverteilungen des Scherungswinkels $\Delta\theta$ angegeben werden (Abb. 8):

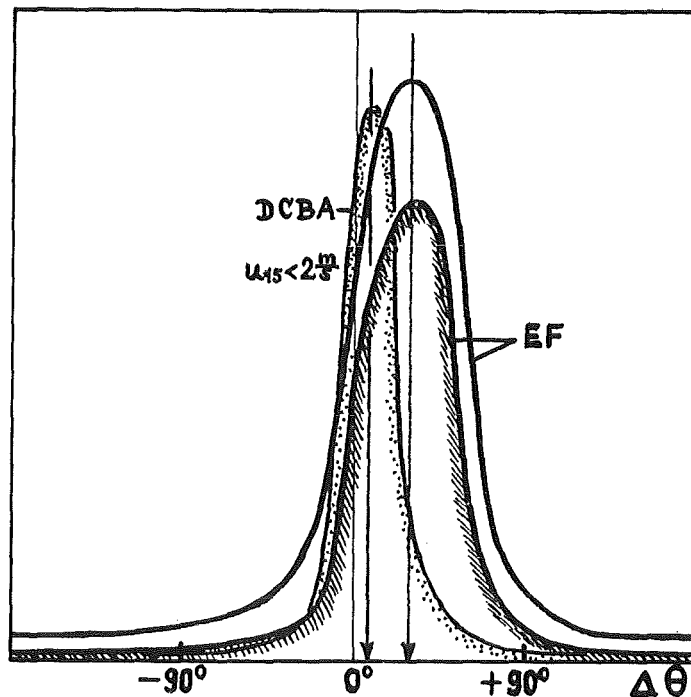


Abb. 8: Häufigkeitsverteilungen des Scherungswinkels $\Delta\theta$ bei stabilen Schichtungen am Standort KKP (1985); obere Kurve EF: alle Ereignisse, untere Kurve EF: Windscherungsfälle ohne die Fälle mit sehr kleiner Windgeschwindigkeit $u_{15} < 0,2 \text{ m/s}$; Kurve DCBA: entsprechende Verteilung bei nicht-stabilen Schichtungen und $u_{15} < 2 \text{ m/s}$

Die obere Kurve in Abb. 8 entspricht der Häufigkeitsverteilung des Scherungswinkels während aller Stundenintervalle mit stabilen Schichtungen von Februar 1985 bis Dezember 1985 (2289 Stunden, ohne Ausfälle); die untere Kurve enthält dieselben Daten wie die obere abzüglich derjenigen, die durch die Windgeschwindigkeitsbedingung herausfallen. Bei ihr ist der Anteil der Fälle mit falschen Meßergebnissen für die Richtungsscherung stark reduziert.

Das Maximum der Verteilungen liegt bei $+30^\circ$; in 76 % der Fälle liegt der Scherungswinkel zwischen 0° und $+60^\circ$. Dieser Befund stimmt mit dem Phänomen der Winddrehung in der Grenzschicht (EKMAN - Spirale) überein. Bei stabilen Schichtungen liegt die Obergrenze der atmosphärischen Grenzschicht in 200 - 400 m Höhe. Die bodennahe Grenzschicht (PRANDTL - Schicht) erstreckt sich dann bis ca. 20 - 40 m Höhe; in ihr treten nur Windgeschwindigkeitsscherungen, aber keine Richtungsscherungen auf. Daher sind zwischen 15 m und 40 m über Grund keine nennenswerten Winddrehungen zu erwarten. Über der PRANDTL - Schicht liegt die EKMAN - Schicht, in der in der Regel Windrichtungsdrehungen auftreten. Die theoretisch maximale Winddrehung (von der bodennahen Richtung bis zur Richtung des geostrophischen Windes) beträgt $+45^\circ$ (Rechtsdrehung). Der relativ große Wert des mittleren $\Delta\Theta$ von $+30^\circ$ in nur 115 m Höhe kann allein durch die EKMAN - Spirale nicht erklärt werden. Hier hat die orographische Struktur des Oberrheintals wesentlichen Einfluß. Die häufigen Nordost- und Südwest-Winde im Rheintal bei Philippsburg (Kap. 5.1) sind durch den entsprechenden Verlauf des Rheintals eine Folge seiner kanalisierenden Wirkung. Die häufigsten Richtungen der Höhenanströmung sind Ost und West (Abb. 15); im Rheintal bei Karlsruhe wird daraus Nordost und Südwest. Die EKMAN - Drehung wird also mit gleichem Vorzeichen von der orographisch bedingten Drehung überlagert, wodurch die großen Werte von $\Delta\Theta$ erklärt werden können.

In den Abbildungen 9 a,b,c sind einige typische gefundene Windrichtungsscherungen mit Hilfe von Windvektorpfeilen am Standort Philippsburg und an der Station Karlsruhe skizziert. Es handelt sich um Fälle mit stabiler Schichtung und westlicher, bzw. östlicher Höhenströmung. In Abb. 9a kommt die Anströmung aus West; am Meßmast des KKP wird in 115 m ü.Gr. Westwind gemessen, mehr in Bodennähe, d.h. in 40 m und 15 m Höhe, herrscht SW-Wind, der auch an der Station Karlsruhe in 15 m Höhe auftritt. Zwischen Karlsruhe und Philippsburg folgt die bodennahe Strömung also dem Verlauf des Rheintals, während schon in 115 m Höhe die westliche Richtung der Anströmung sichtbar wird. Ähnliche Phänomene treten bei östlichen Anströmungen auf. Hier gibt es einerseits die

Möglichkeit, daß die bodennahe Strömung mit östlichen Richtungen aus dem Kraichgau einfließt, um dann bei Philippsburg und Karlsruhe als NE-Strömung zu erscheinen. Andererseits gibt es die Möglichkeit, daß von Mannheim her nördliche Strömung bis Philippsburg fließt, um erst bei Karlsruhe nordöstlich zu werden (siehe auch Kap. 5.1). Beide Fälle sind in den Abbildungen 9 b und c skizziert. Im ersten Fall mißt man in 115 m Höhe Ostwind, im zweiten Fall NE-Wind. Die zugehörige Nordströmung im Rheintal nördlich von Philippsburg tritt auch bevorzugt bei NE-Anströmung auf.

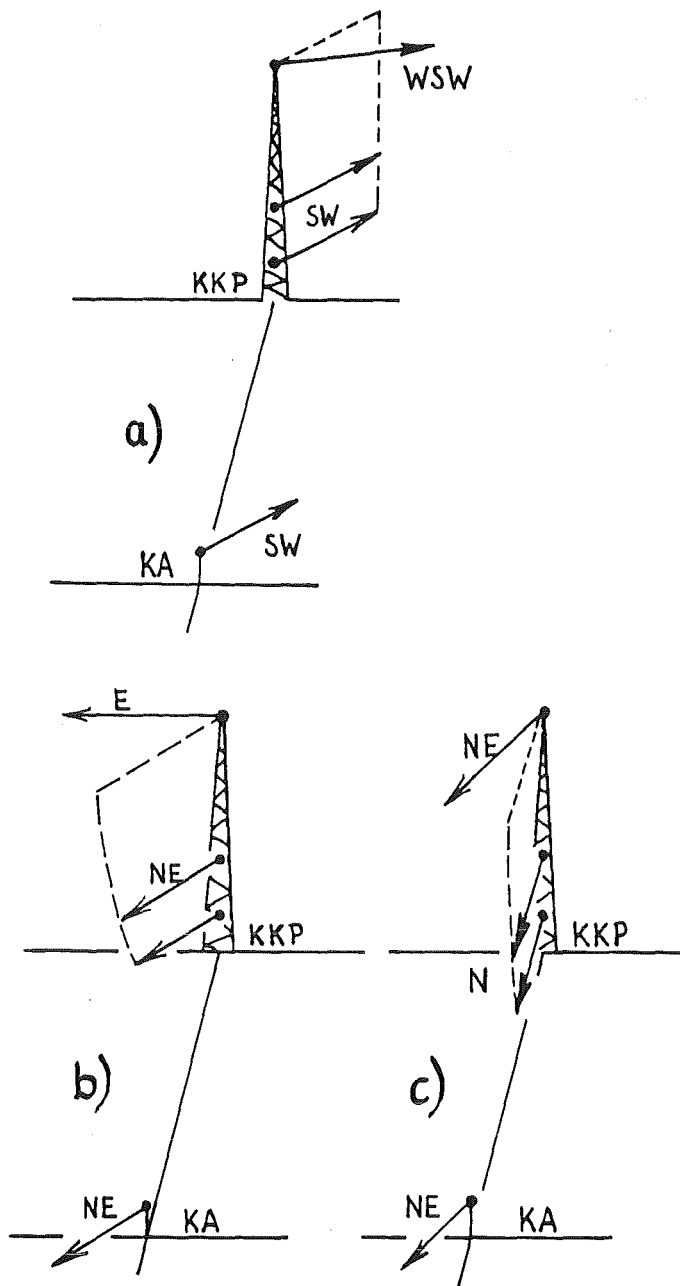


Abb. 9: Beispiele für Windrichtungsscherungen in der Umgebung des KKP

4.3 Richtungsscherung bei nicht-stabilen Lagen

Um den Einfluß der Schichtung auf Windrichtungsscherungen deutlich zu machen, wurden neben den Fällen mit stabiler Schichtung auch solche mit nicht-stabilen Diffusionskategorien ('D, C, B, A') untersucht. Um sonst möglichst vergleichbare Verhältnisse zu haben, wurden nur solche Fälle verwendet, bei denen die Windgeschwindigkeit u_{15} unter 2 m/s lag; bei 93 % der Fälle mit stabiler Schichtung lag die Windgeschwindigkeit ebenfalls unter 2 m/s. Wie Abb. 10 zeigt, häufen sich die Ereignisse in einem Band parallel zur 45°-Achse mit der Obergrenze $\Theta_0 = \Theta_u + 40^\circ$ und der Untergrenze $\Theta_0 = \Theta_u - 20^\circ$.

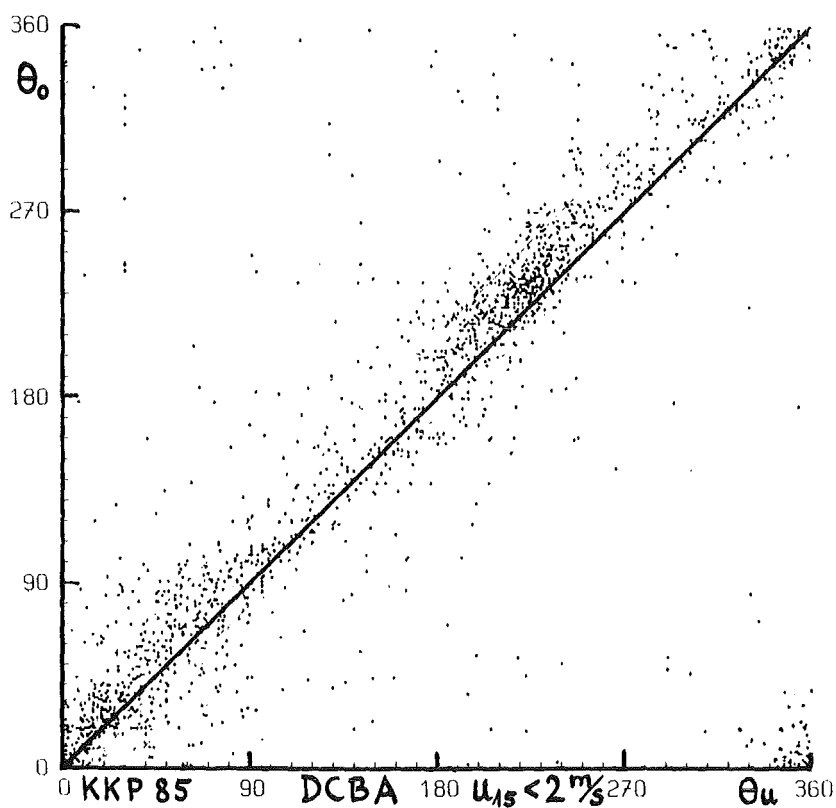


Abb. 10: Korrelation zwischen unterer und oberer Windrichtung bei nicht-stabilen Schichtungen und kleinen Windgeschwindigkeiten $u_{15} < 2$ m/s

Außerhalb des Bandes liegen Punkte, die breit verteilten, größeren Winkeldifferenzen $\Delta\Theta$ entsprechen. Nahezu alle diese Punkte außerhalb $\Theta_0 = \Theta_u \pm 60^\circ$ verschwinden, wenn man die Fälle mit sehr geringen Windgeschwindigkeiten $u_{15} < 0.5$ m/s nicht mitberücksichtigt; es handelt sich also (wie bei den stabilen Fällen (Kap. 4.2)) wahrscheinlich ebenfalls um "unechte" Windrichtungsmeßergebnisse.

Die Häufung der Punkteverteilung in der Umgebung der 45° - Achse in Abb. 10 weist darauf hin, daß die beiden Ursachen für die Richtungsscherung bei den stabilen Lagen (EKMAN- und orographische Drehung) nicht oder nur schwach vorhanden sind. Ein geringer Einfluß des Kanalisierungseffektes zeigt sich möglicherweise bei den häufigen SW- und NE-Winden. Die Schwerpunkte der zugehörigen Punktwolken liegen leicht über der 45° - Linie; d.h., "SW-Wind" tendiert in 15 m Höhe leicht nach Süd und in 115 m Höhe leicht nach West. Entsprechendes gilt für NE-Winde. Die Punktverteilung zwischen den SW- und NE-Häufungen liegt symmetrisch zur 45° - Achse.

Die großen Windrichtungsscherungen zwischen 15 m und 115 m Höhe treten gehäuft also nur bei stabilen atmosphärischen Schichtungen auf; sowohl die EKMAN-Drehung als auch der Führungseffekt durch das Rheintal wirken sich unter diesen Bedingungen am stärksten aus.

4.4 Häufigkeiten von Ausbreitungsbedingungen am Standort KKP

Im Jahr 1985, Februar bis Dezember, wurden folgende Häufigkeiten von stündlichen Ausbreitungssituationen gefunden:

Stabile Schichtungen (Pasquill E und F):

32.5 %

dabei	30.2 %	$u_{15} < 2.0 \text{ m/s}$	
	11.0 %	$u_{15} < 0.5 \text{ m/s}$	Schwachwind
	4.3 %	$u_{40} < 0.5 \text{ m/s}$	Schwachwind

Windrichtungsscherung $\Delta\theta$ e [-20°, +20°] : ca. 30 % der stab. Fälle

Windrichtungsscherung $\Delta\theta$ e [+20°, +90°] : ca. 62 % der stab. Fälle

Windrichtungsscherung $\Delta\theta$ e [-20°, -90°] : ca. 4 % der stab. Fälle

Neutrale und instabile Schichtungen (Pasquill D, C, B und A):

67.5 %

dabei	30 %	$u_{15} < 2 \text{ m/s}$	
	2.9 %	$u_{15} < 0.5 \text{ m/s}$	Schwachwind

Windrichtungsscherung	$\Delta\theta \in [-20^\circ, +40^\circ]$	$u_{15} < 2 \text{ m/s}$	ca. 45%	} der nicht- stabilen Fälle
	$\Delta\theta \in [-10^\circ, +20^\circ]$	$u_{15} \geq 2 \text{ m/s}$	ca. 55%	

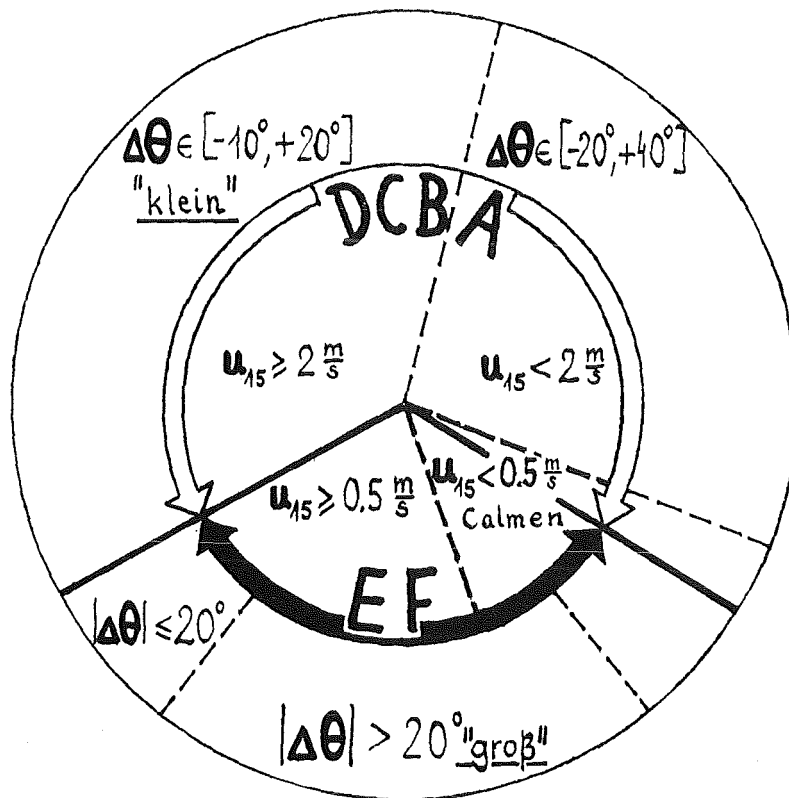


Abb. 11: Häufigkeiten von Windgeschwindigkeiten und Windscherungen bei verschiedenen Schichtungen am Standort KKP

5. Windrichtungshäufigkeiten und -korrelationen in der Oberrheinischen Tiefebene

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse vorgestellt, die aus den Windmeßdaten der DWD-Stationen Mannheim und Karlsruhe und den Daten des Kernkraftwerks Philippsburg von 1985 und 1986 gewonnen wurden. Zusätzlich wurden entsprechende ganzjährige Daten des geostrophischen Windes bei 850 hPa entsprechend ca. 1500 m Höhe von den Radiosondenaufstiegen des Wetteramts Stuttgart verwendet. Die Ergebnisse sind Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen an den einzelnen Stationen in Abhängigkeit von der Diffusionskate-

gorie, Korrelationen zwischen den Windrichtungen der Stationen Karlsruhe, KKP und Mannheim, sowie Korrelationen zwischen der Windrichtung dieser Stationen und der Richtung des geostrophischen Windes. Mit Hilfe der Windrichtungskorrelationen wurden Abschätzungen bezüglich einiger typischer Strömungsformen im Oberrheintal vorgenommen.

5.1 Häufigkeitsverteilungen der Windrichtung in Karlsruhe, Mannheim, Philippsburg

Die Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen an den DWD-Stationen Mannheim und Karlsruhe und am Standort KKP (Lage in Abb. 12) sind

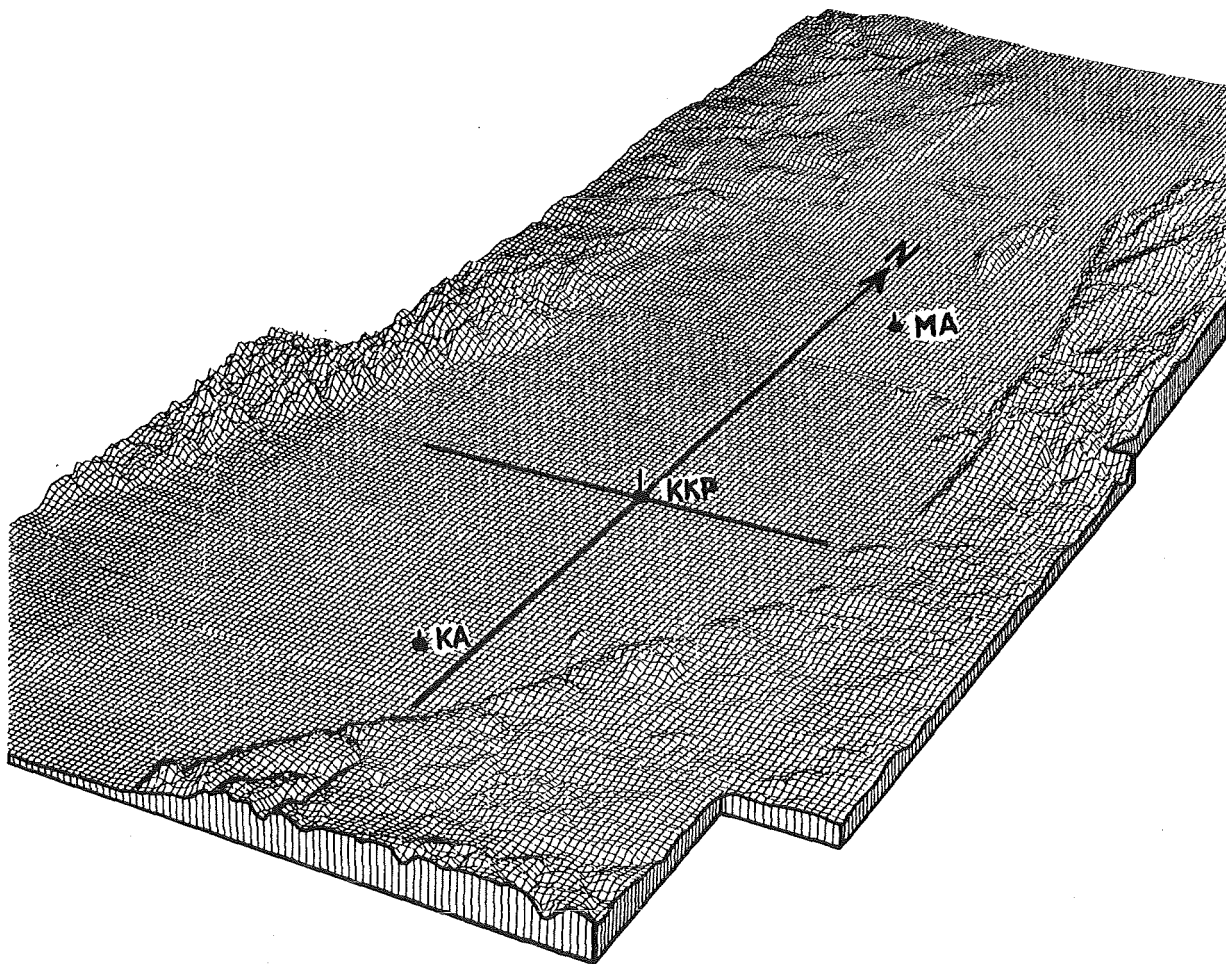


Abb. 12: Lage des Standorts KKP und der Stationen Karlsruhe und Mannheim in der Oberrheinischen Tiefebene

in den Abbildungen 13 a, b und c für den Anteil der Stunden der Jahre 1985 und '86 mit nicht-stabilen atmosphärischen Schichtungen (Pasquill: D, C, B, A) dargestellt; die entsprechenden Verteilungen unter der Bedingung stabiler Schichtung (Pasquill: E, F) werden in den Abbildungen 13 d, e und f gegeben. Die Stabilität der Schichtung wurde für alle drei Stationen aus der jeweiligen Diffusionskategorie am Standort KKP (s. Kap.3.1) bestimmt.

5.1.1 Nicht-stabile Lagen

Karlsruhe:

An der Station Karlsruhe (Abb. 13 c) wurden am häufigsten SW-Winde registriert (Maximum bei 230°). Die Halbwertsbreite der Verteilung der SW-Winde beträgt $\pm 17^\circ$. Die zweithäufigste Windrichtung liegt bei 45° (SE-Winde). Die Halbwertsbreite dieser Verteilung beträgt $\pm 30^\circ$.

KKP:

Eine ähnliche Häufigkeitsverteilung wurde beim Standort KKP (Abb. 13 b) erhalten. Auch hier gibt es am häufigsten SW-Winde (Maximum bei 230°); die Halbwertsbreite des SW-Peaks beträgt ebenfalls $\pm 17^\circ$. Die Richtungsverteilung der NE-Winde ist gespalten; es gibt eine kleine Verteilung um NNE (Maximum bei 20°) und eine größere um ENE (Maximum bei 80°).

Mannheim:

Die Station Mannheim zeigt zwei breite Häufungen in der Windrichtungsverteilung, die gegenüber denen der Station Karlsruhe versetzt sind: Die größere Häufung erstreckt sich von Süd bis West, das Maximum liegt bei S bis SSW. Die kleinere Häufung ist ebenfalls breit (HWB = ca. $\pm 40^\circ$); ihr Maximum liegt bei Nord (Abb. 13 a).

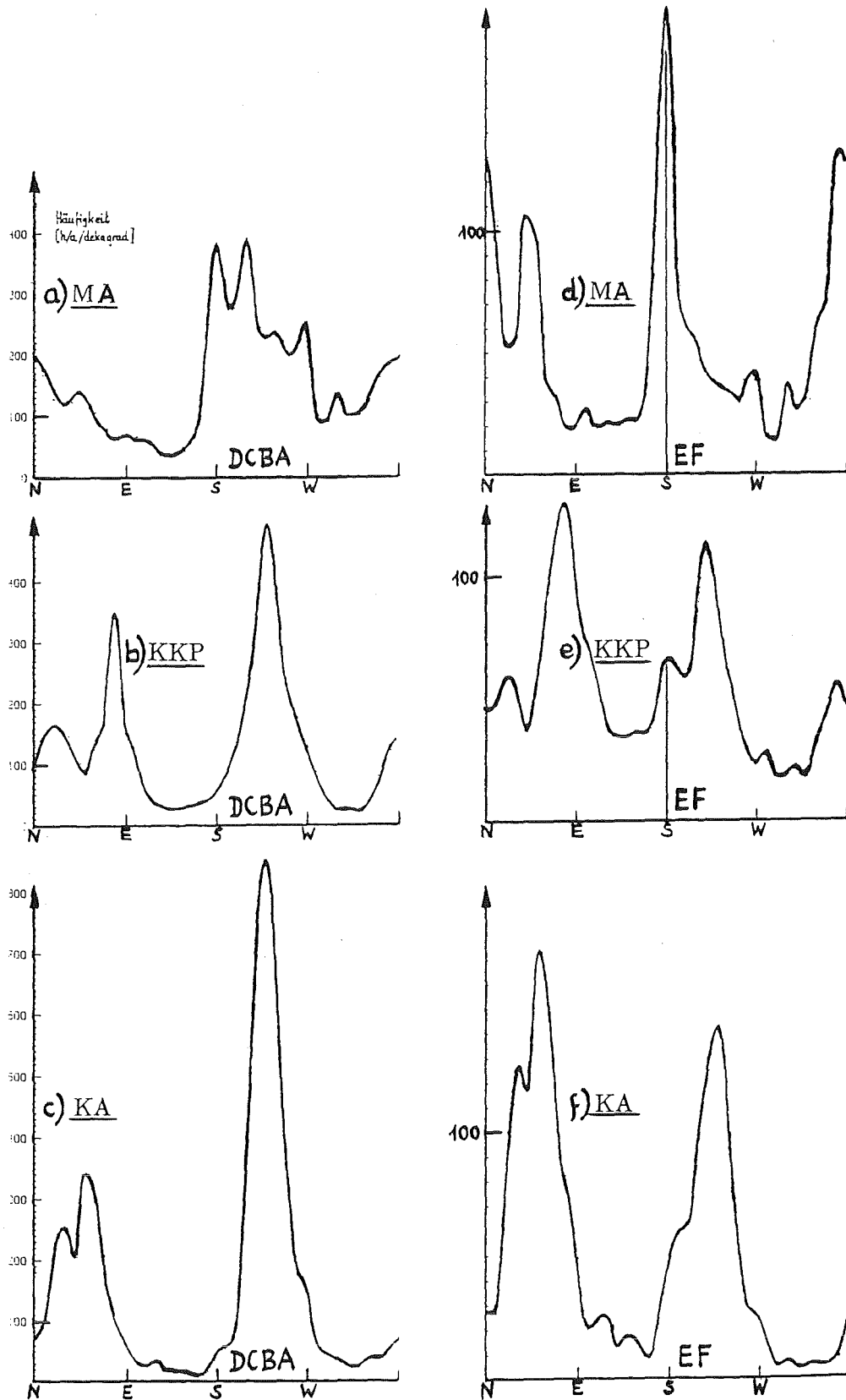


Abb. 13: Windrichtungsspektren der Stationen Mannheim und Karlsruhe und vom Standort Philippsburg bei nicht-stabilen und stabilen Diffusionskategorien

KKP-Meßhöhe: 40m ü.G.

5.1.2 Stabile Lagen

Karlsruhe:

Die Verteilung (Abb. 13 f) zeigt zwei ausgeprägte Häufungen, die bei SW und NE (220° und 50°) liegen; die HWB sind $\pm 25^\circ$ und $\pm 35^\circ$.

KKP:

Die Verteilung (Abb. 13 e) zeigt zwei Hauptmaxima bei Ost- und SW-Wind. Die Nebenmaxima bei Süd und Nord stimmen in der Lage mit den entsprechenden Maxima bei der Station Mannheim überein.

Mannheim:

In der Richtungsverteilung (Abb. 13 d) gibt es zwei ausgeprägte Häufungen (HWB = $\pm 12^\circ$) bei Nord und Süd (0° und 180°); eine weitere kleine Häufung findet sich bei NE (40°).

Zusammenfassend wird festgestellt:

Bei nicht-stabilen Schichtungen ähneln sich die Windrichtungsspektren von Karlsruhe und Philippsburg mit ihrer SW-NE-Struktur. Das ist ein Indiz dafür, daß beide Stationen der gleichen Strömung im Rheintal ausgesetzt sind. An der Station Mannheim kommen mehr südliche und nördliche Komponenten hinzu, die bei stabilen Schichtungen die wesentlichen Windrichtungen darstellen.

Bei stabilen Schichtungen sind Anteile von nord-südlichen Strömungsrichtungen auch im Spektrum von Philippsburg zu erkennen. Am Standort KKP treten also nicht nur die gleichen Winde wie bei Karlsruhe auf. Genauere Bilder der auftretenden Strömungen wurden durch die Untersuchung der Windrichtungskorrelationen erhalten.

5.2 Windrichtungs-Korrelationen

Um typische Formen des bodennahen Windströmungsfeldes in der Umgebung des Standortes KKP abschätzen zu können, wurden die Korrelationen zwischen den Windrichtungen der Meßstationen Karlsruhe, Mannheim und Philippsburg untersucht. Dazu wurden alle Stundenmittelwerte der Windrichtungen der drei Meßstationen zu jeweils gleichen Stunden des Jahres 1985 paarweise graphisch

gegeneinander aufgetragen (Abb. 14 a, b, c, d). Es wurde wieder zwischen stabilen und nicht-stabilen Schichtungen unterschieden.

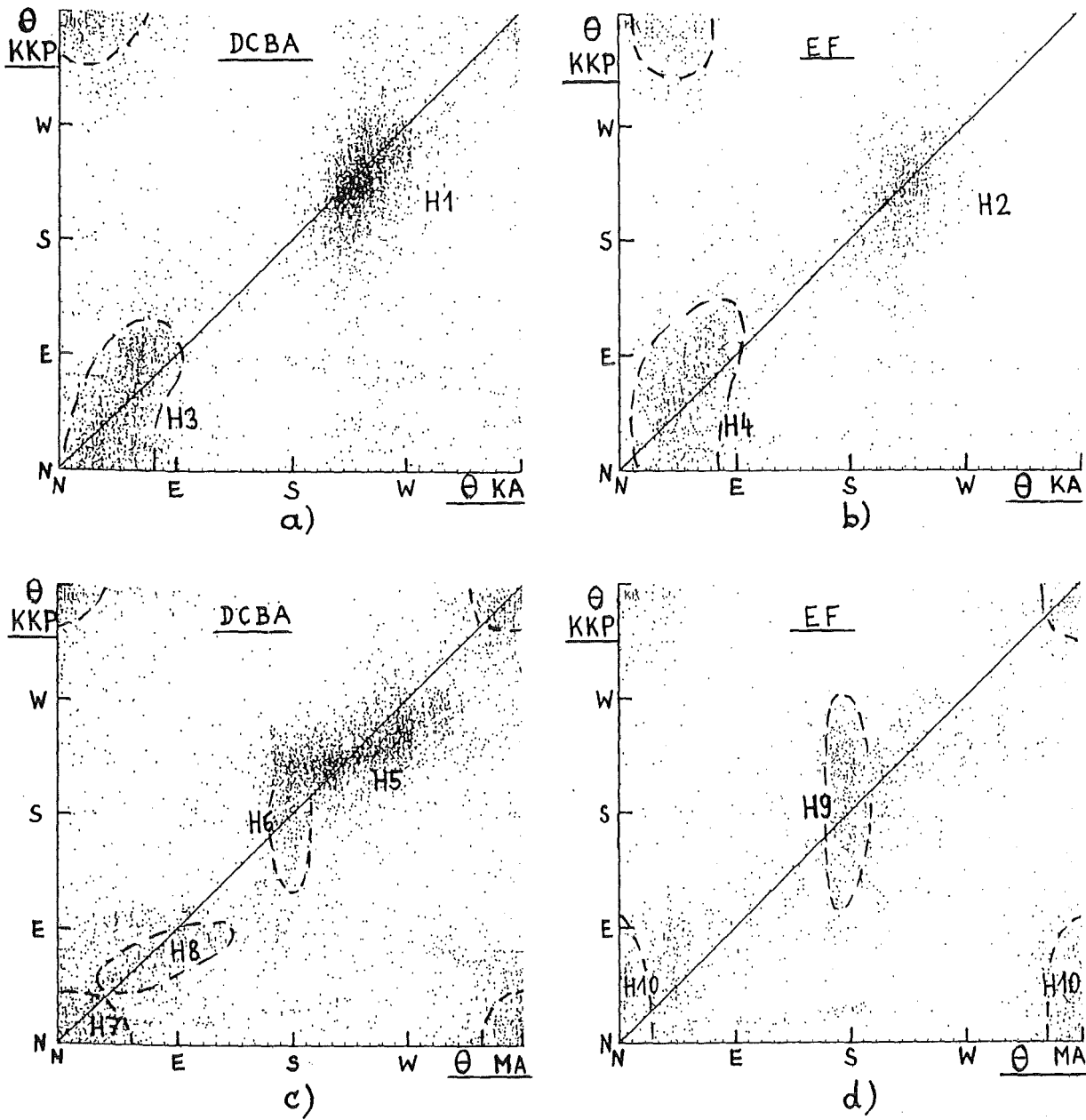
In den Originaldaten liegen die Windrichtungsangaben des DWD gerundet in Dekagrad vor, während die entsprechenden Daten der KKW-Standorte in Grad angegeben werden. Um bei den graphischen Korrelationsabbildungen eine symmetrische Darstellung zu erzielen und um mit den dort erscheinenden Punktdichten den tatsächlichen Ereignishäufigkeiten zu entsprechen, wurden die Dekagrad-Daten vor dem Erstellen eines Plots künstlich in Grad-Daten umgewandelt. Dazu wurden Zufallszahlen benutzt:

$$\text{Windrichtung } \Theta' [\text{Grad}] = \Theta [\text{Dekagrad}] \cdot 10 - 50 + Z \cdot 100$$

Z sind gleichverteilte Zufallszahlen aus dem Intervall $[0,1]$. Die Statistik und abgeleitete Aussagen werden durch diese Datenmodifizierung nicht verfälscht.

Interpretation der Abbildungen 14:

- Die gehäuft an der Station Karlsruhe auftretenden SW-Winde finden sich bei nicht-stabilen und stabilen Bedingungen ebenfalls am Standort KKP; die Häufungen H1 und H2 in Abb. 14 a und b zeigen diese Korrelation.
- Bei NE-Winden an der Station Karlsruhe herrschen am Standort KKP im Mittel ebenfalls NE-Winde, jedoch ist deren Richtungsverteilung breiter; sie erstreckt sich von NW bis SE. Die Häufungen H3 und H4 in Abb. 14 a und b machen dies sichtbar. Größere Unterschiede als zwischen den Windrichtungen der Station Karlsruhe und denen des Standortes KKP treten im Vergleich mit den Windrichtungen an der Station Mannheim auf.
- Die Fälle mit SW-Wind an der Station Karlsruhe und am KKP bei nicht-stabilen Lagen (H1) treten bei der Station Mannheim mit Windrichtungen von Süd bis West auf (gestreckte "Wolke" H5 in Abb. 14 c).
- Süd-Winde an der Station Mannheim sind mit SE- bis SW-Winden am KKP korreliert (H6), bei stabilen Lagen wird bei nahezu allen SW-Wind-Fällen am KKP an der Station Mannheim Süd-Wind gemessen (H9).
- Nord-Winde an der Station Mannheim sind mit NW- bis NE-Winden am KKP unter nicht-stabilen Bedingungen korreliert (H7); NE-Winde in Mannheim entsprechen NE-Winden am KKP (H8).
- Bei stabiler Schichtung und Nord-Wind an der Station Mannheim können NW- bis Ost-Winde am KKP herrschen (H10).



KKP-Meßhöhe: 40m ü.G.

Abb. 14: Korrelationen zwischen den Windrichtungen an den Stationen Karlsruhe und Mannheim und am Standort KKP bei verschiedenen Schichtungen

Die folgende Tabelle (Tab. 8) gibt genaueren Aufschluß über die 1985 beobachteten Windrichtungskorrelationen zwischen den Stationen Karlsruhe und Mannheim und dem meteorologischen Mast des KKP:

	KA	KKP 40m ü.G.	MA	Geostr. Wind	Häufigkeit %
A	1 SW	SW	S - W	W - NW	37.0
	2 N - NE	NNW - NE	NNW - NNE	E	14.7
B	3 NE	NE - ESE	NE - SE	E	10.0
	4 SW u.E	ESE - S	S	SW ?	3.7
C	5 WSW u.NNE	W - NNW	W - NW	NW ?	4.7
	6 SW	SW	S	W	10.2
E	7 NNE - ENE	NNW - NE	NW - ENE	E	7.3
	8 NNE - E	NE - ESE	N - E	E	6.2

Tabelle 8: Häufigkeiten beobachteter korrelierter Windrichtungsbereiche an den Stationen Karlsruhe, Philippsburg und Mannheim und der geostrophischen Windrichtung (Sonde Stuttgart) bei nicht-stabilen (ABCD), bzw. stabilen (EF) atmosphärischen Schichtungen.

Zu diesen Korrelationen und deren beobachteten Häufigkeiten im Jahr 1985 muß etwas bezüglich ihrer Übertragbarkeit auf längere Zeiträume bemerkt werden. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den durch die korrelierten Darstellungen herausgearbeiteten Strukturen, die verschiedenen Windströmungsmustern entsprechen, und den Häufigkeiten, mit denen bestimmte Strukturen auftreten. Die gefundenen Strukturen sind auf längere Zeiträume übertragbar, da sie deterministisch aus der Orographie, der Schichtung der Atmosphäre und der Anströmung hervorgehen. Ähnliche Anströmungen und Schichtungen wiederholen sich häufig. Die Häufigkeiten, mit der bestimmte Strömungsstrukturen auftreten, hängen jedoch von den Häufigkeiten der zugehörigen großräumigen Wetterlagen ab, bei denen deutliche Schwankungen von Jahr zu Jahr auftreten können. Daher sind die Prozentangaben in Tab. 8 nur als relativ grobe Hinweise auf die längerfristigen mittleren Häufigkeitswerte zu verstehen.

5.3 Strömungen im Rheintal und Höhenanströmung

Die gefundenen Windrichtungskorrelationen an den Stationen Karlsruhe, Mannheim und am Standort Philippsburg lassen sich als das Resultat von typischen Boden-Windströmungsfeldern im Rheintal interpretieren. Diese Interpretation der Meßdaten wird im Folgenden vorgestellt und befindet sich in Übereinstimmung mit Strömungsmodellrechenergebnissen, die die Bodenwindfelder im Rheintal unter verschiedenen Höhenanströmungsrichtungen darstellen. Die Form dieser Felder wird durch die Anströmung in größerer Höhe, die orographische Struktur des Rheintals und der Randgebirge und durch die Stärke des vertikalen Austausches in der Grenzschicht bestimmt.

Ein bekanntes Phänomen ist die Kanalisierung von Windströmungen durch das Rheintal. Die häufigste Richtung ($\approx 50\%$) des geostrophischen Windes über Südwestdeutschland ist West ($260^\circ \pm 30^\circ$); Abbildung 15 zeigt das Windrichtungsspektrum des geostrophischen Windes der Jahre 1985 und 86 (Radiosonde Stuttgart). Dabei gibt es im Rheintal bei Karlsruhe, Philippsburg, Mannheim in 80% dieser Fälle nicht-stabile Schichtungen (D, C, B, A) und in 20% stabile Schichtungen (E, F). In nahezu 90% der nicht-stabilen Fälle tritt dann im Rheintal in der Region Karlsruhe-Philippsburg-Mannheim die Windrichtungskombination 1 in Tabelle 8 auf: Bei Karlsruhe und Philippsburg herrschen südwestliche und bei Mannheim südliche Windrichtungen. Die Strömung folgt dem gekrümmten

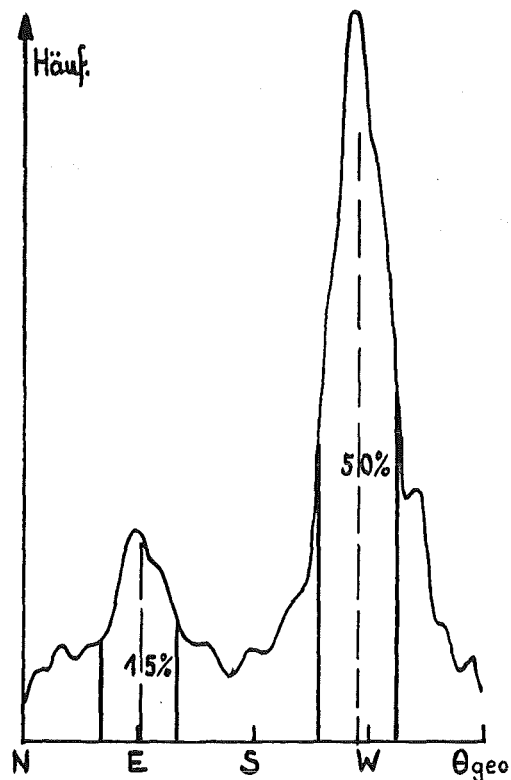


Abb. 15: Spektrum der geostrophischen Windrichtungen über Stuttgart (850 hPa), 1985 und 1986.

Verlauf des Rheintals. Dreht die Anströmung auf NW, so behalten Karlsruhe und Philippsburg die südwestliche Windrichtung bei, jedoch an der Station Mannheim stellt sich Westwind ein. Die westliche Begrenzung des Rheintales, die Haardt, erreicht auf der Höhe der Station Mannheim ihr nördliches Ende und westliche Strömungen können ohne Störung ins Rheintal einfließen. Dieser Effekt tritt nur bei nicht zu geringen Windgeschwindigkeiten auf, z.B., wenn u_{15} in Philippsburg über 2 m/s beträgt. In Abb. 16 a und b sind die beiden Strömungsformen skizziert; dazu sind innerhalb eines Radius von 20 km um das KKW Philippsburg Ausbreitungsfahnen eingezeichnet. Aus dem Vergleich der beiden Abbildungen geht hervor, daß eine gemessene SW-Windrichtung am Standort KKP zu verschiedenen Fahnen führen kann; bei SW- und W-Anströmung biegt sich die Fahne in Richtung Mannheim, bei NW-Anströmung wird sie in Richtung Kraichgau gelenkt. Zur Bestimmung der richtigen Trajektorien muß in diesen Fällen neben dem Windvektor am Standort der weitere Verlauf der Strömung bestimmt werden - z.B., mit einem massenkonsistenten Windfeldmodell oder einem nicht-hydrostatischen Grenzschichtmodell.

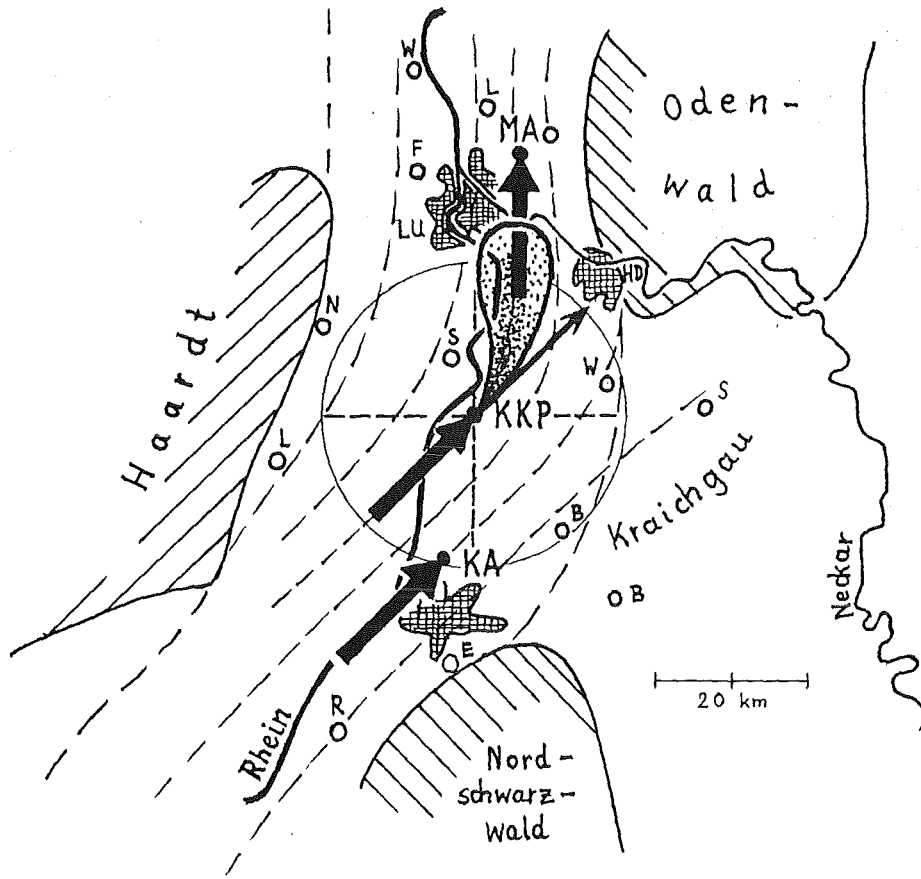


Abb. 16a

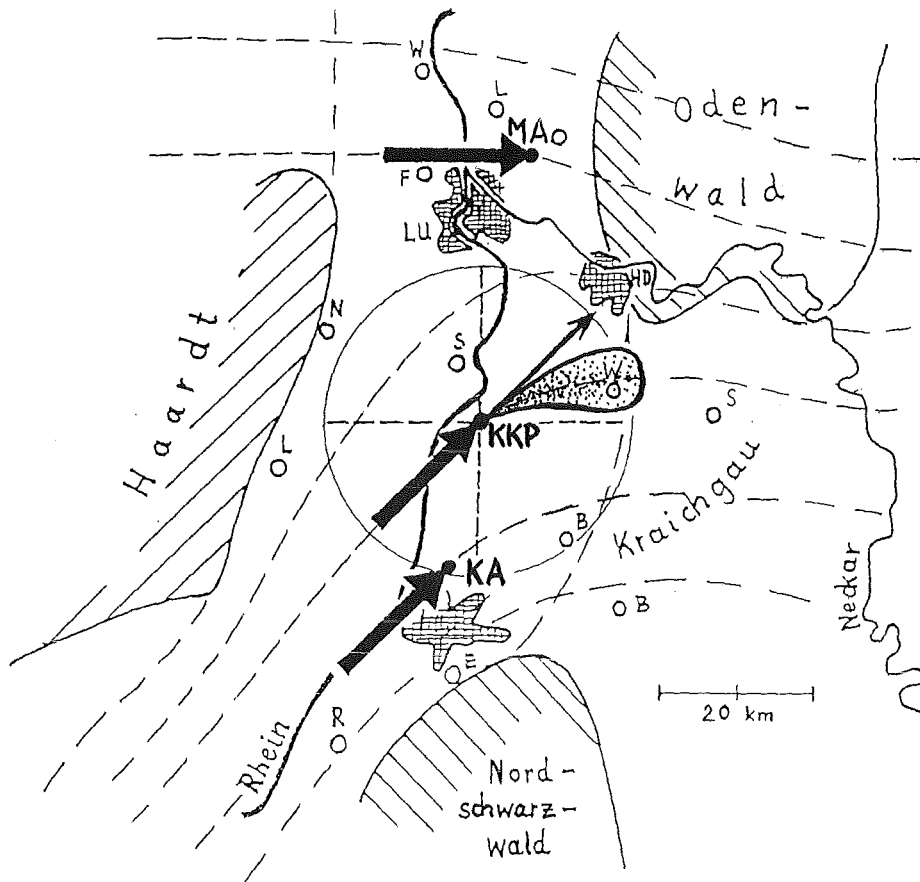


Abb. 16b

Bei Westanströmung und stabiler Schichtung ist die Situation eindeutig (Kombination 6 in Tabelle 8); die südwestliche Strömung bei Karlsruhe und Philippsburg geht in eine südliche Strömung bei Mannheim über. Die Kanalisierung ist deutlich ausgeprägt. Eine Ausbreitung würde entsprechend wie in Abb. 16a aussehen.

Die Häufigkeit von Ost-Anströmungen ($90^\circ \pm 30^\circ$) über Südwestdeutschland beträgt ca. 15%. Der Anteil von Fällen mit stabilen Schichtungen im Rheintal beträgt 40%, mit nicht-stabilen Schichtungen 60%. Wie bei den Situationen mit West-Anströmung gibt es auch hier Kanalisierungseffekte im Rheintal. Die Kombinationen 2 und 7 in Tabelle 8 zeigen das. Eine vom Standort Philippsburg gestartete Trajektorie verläuft dann ungefähr in südwestlicher Richtung und ist weniger gekrümmt als im Falle der West-Anströmung, weil sich die Windrichtungen von Philippsburg und Karlsruhe häufig ähnlicher sind als die von Philippsburg und Mannheim. Abbildung 17a zeigt eine entsprechende Ausbreitungssituation.

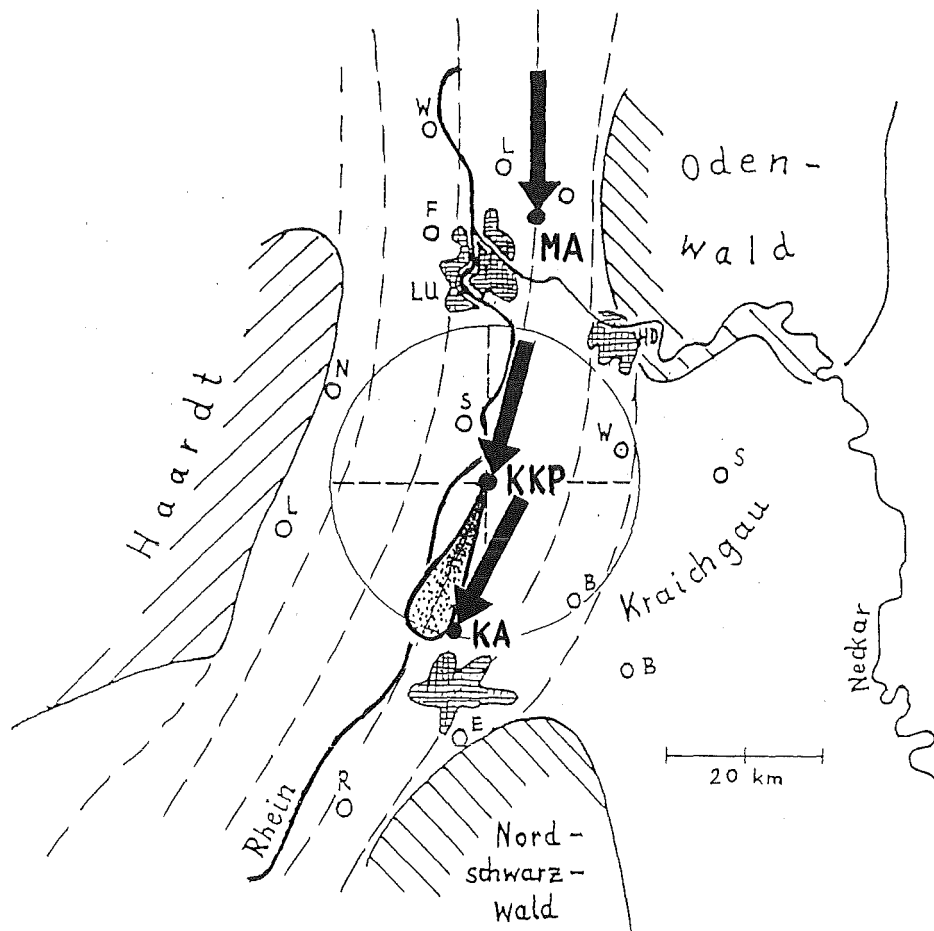


Abb. 17a

Es kommen aber auch Fälle mit Ost- bis Südost-Anströmung vor, bei denen am Standort Philippsburg östliche Windrichtungen gemessen werden (in ca. 16% der Fälle, Kombinationen 3 und 8 in Tab. 8). Die Strömung kommt offenbar aus dem Kraichgau und wird dann im Rheintal in südwestliche Richtungen gelenkt (Abbildungen 17b und c). Auch in diesen Fällen liegt kein geradliniger Ausbreitungsvorgang vor. Einfache Gauß-Fahnen-Modelle könnten als Näherung höchstens bis etwa 5 km Quelldistanz verwendet werden.

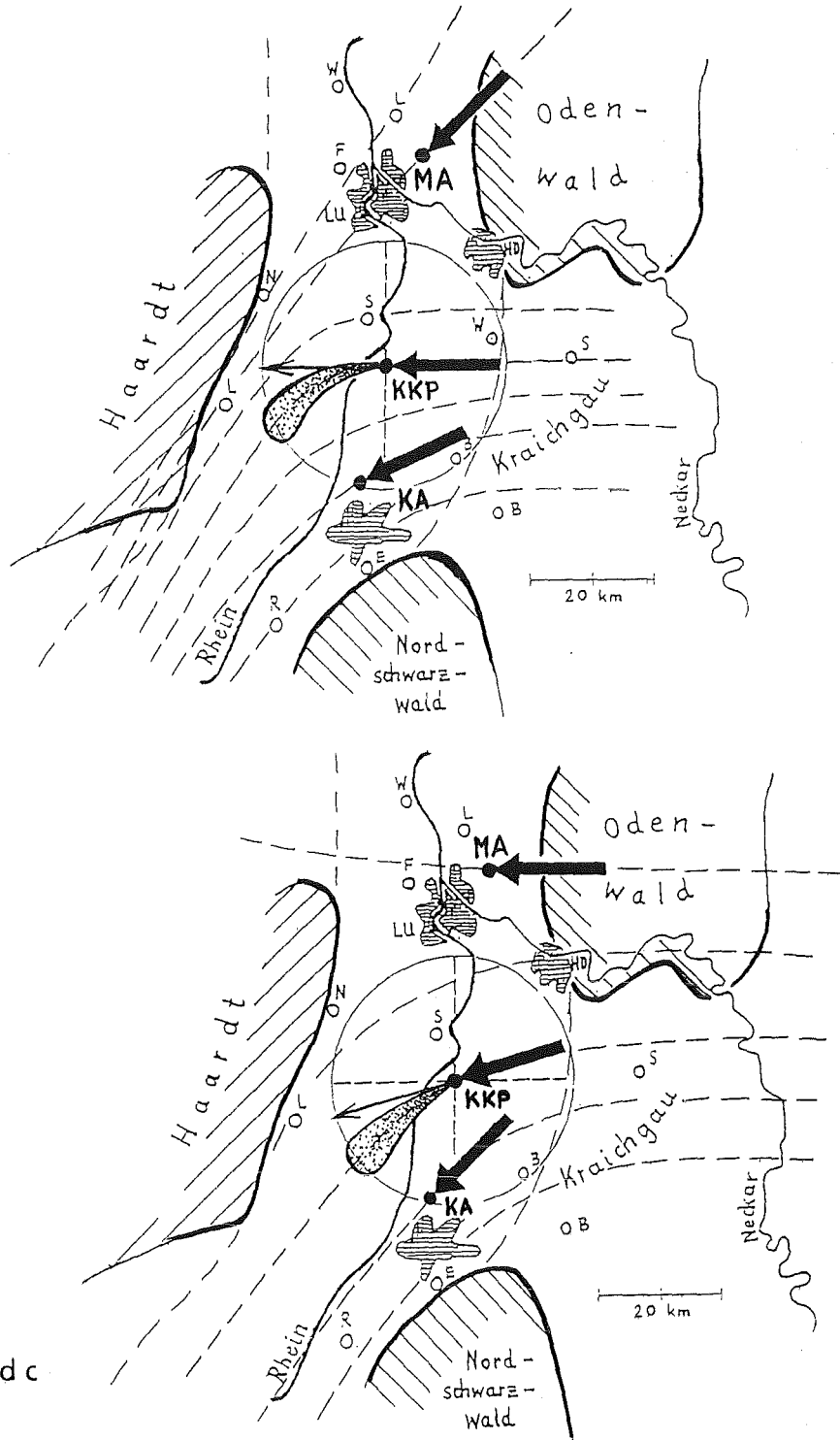


Abb. 17b und c

6. Zusammenfassung und Folgerungen für die Ausbreitungsberechnung am Standort KKP

Aus den Ergebnissen für die Häufigkeiten der verschiedenen Ausbreitungsbedingungen im Rheintal bei Philippsburg, die in den vorhergehenden Kapiteln dargestellt wurden, können zusammenfassend einige Ausbreitungsmerkmale abgeleitet werden. Sie sind in Tabelle 9 zusammen mit ihren Häufigkeiten angegeben. Die Werte für die Fälle mit geradliniger Ausbreitung, bzw. gekrümmten Trajektorien sind aus den Häufigkeiten der verschiedenen Strömungsformen (Tab. 8) abgeschätzt.

Aus der Tabelle 9 und Abbildung 18 geht hervor, daß es am Standort Philippsburg einen beträchtlichen Anteil ($> 40\%$) von Fällen mit relativ einfachen Ausbreitungsbedingungen innerhalb eines $r = 20$ km-Kreises gibt. Die Trajektorien sind nahezu geradlinig (Krümmungsradius > 40 km) und Windrichtungsscherungen zwischen 15m und 115 m über Grund sind klein (d.h. $\Delta\theta < 20^\circ$). In all diesen Fällen wäre eine Ausbreitungsberechnung mit einfachen Modellen (Gauß-Fahnen Modell) und den meteorologischen Meßdaten am Standort möglich. Das Problem ist nur, diese Fälle als solche zu erkennen, d.h., die Fälle mit geradlinigen Trajektorien von denen mit gekrümmten (Abb. 16a und b) zu unterscheiden. Nur mittels der Standortmeßdaten ist dies kaum möglich. Die mindestens benötigte Zusatzinformation wären Winddaten von Mannheim und Karlsruhe und der geostrophische Wind. Optimal zur Diagnose des herrschenden Strömungsfeldes wäre ein Strömungs-Rechenmodell, das alle meteorologischen und orographischen Bedingungen berücksichtigt. Nach einer solchen Diagnose könnte dann leicht entschieden werden, ob die Ausbreitung nur mit komplexen Modellen oder auch mit einfachen Modellen berechnet werden kann.

Gekrümmte Trajektorien (Krümmungsradius < 20 km) kommen am Standort Philippsburg ungefähr ebenso häufig vor wie geradlinige Trajektorien. Während letztere hauptsächlich bei nicht-stabilen Bedingungen auftreten, bilden sich die gekrümmten Trajektorien zu ca. 50% bei stabilen Schichtungen. In dieser Untergruppe von Fällen befindet sich auch der Hauptanteil von Fällen mit ausgeprägten Windrichtungsscherungen mit Winkeln über 20° .

Zur Bestimmung des Verlaufs der gekrümmten Trajektorien werden neben den Windmeßdaten am Standort auf jeden Fall weitere meteorologische Daten gebraucht; die Winddaten von den Stationen Karlsruhe und Mannheim und die

Merkmal	Bedingungen (Standort KKP)	Häufigkeit %	
geradlinige Ausbreitung im Bereich $r < 20\text{km}$	nicht-stabil (DCBA)		
	und SW - Wind	20	
	und NE - Wind	18	
	stabil (EF) und N-NE - Wind	4	
		Summe	42
gekrümmte Trajektorien (Krümmungs- radius $< 20\text{km}$)	nicht-stabil (DCBA)		
	und SW - Wind	17	
	und NE-SE - Wind	7	
	stabil (EF)		
	und SW - Wind	10	
	und N-NE - Wind	3	
und NE-SE - Wind	6		
		Summe	43
Calmen: $u(15\text{m}), \text{ bzw. } u(10\text{m}) < 0.5\text{m/s}$		1985	1986
	KKP: DCBA	3.0	1.8
	EF	11.0	7.7
	KA : DCBA	2.5	1.3
	EF	6.4	3.1
	MA : DCBA	2.5	2.0
EF	5.0	4.0	
Windrichtungs- scherungen > 20	stabil (EF)	22	
	nicht-stabil (DCBA)	3	
treten fast nur in Begleitung von gekrümmten Trajektorien auf		Summe	25

Tab.9: Häufigkeiten von Ausbreitungsformen in der Umgebung des Standorts KKP.

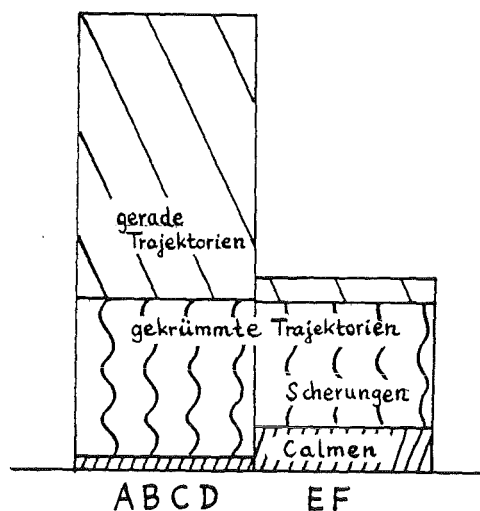


Abb. 18: Häufigkeiten von Ausbreitungsformen wie in Tab. 9

Höhenanströmung könnten geeignet interpoliert werden und es könnte unter Einbeziehung der orographischen Randbedingungen ein massenkonsistentes Windfeld berechnet werden. Ob die Qualität eines solchen Ergebnisses auch noch bei stark höhenabhängigen Richtungsscherungen ausreicht, ist fraglich. Da zur Analyse der vorliegenden Strömungssituationen ohnehin ein komplexes Grenzschicht-Strömungsmodell empfohlen wird, sollte das Ergebnis dieses Modells dann auch zur Ausbreitungsberechnung benutzt werden. Solange solche Modelle noch nicht routinemäßig für Ausbreitungsberechnungen bei atmosphärischen Freisetzungen zur Verfügung stehen, müssen massenkonsistente Interpolationsverfahren angewendet werden.

Problematisch, auch für komplexe Strömungsmodelle, sind Schwachwindlagen. Die Windrichtungsmeßdaten sind oft nicht brauchbar und die Strömungsfelder können von kleinräumigen Phänomenen abhängen, die in den Rechenmodellen nicht erfaßt sind und bei stärkerer Strömung keine Rolle spielen.

Für die Jahre 1985 und 86 wurden in Karlsruhe, Philippsburg und Mannheim 6.6%, 11.8% und 6.8% Schwachwindfälle registriert. Als solche wurden definiert, bei denen die Windgeschwindigkeiten der Stationen Karlsruhe und Mannheim unter 0.5 m/s lagen, und u_{15} beim KKP unter 0.5 m/s lag. Zeitlich koinzidente Calmen sind weniger häufig; zwischen Karlsruhe und Philippsburg sind es 4.5% und zwischen Karlsruhe und Mannheim 1.2%. Der größere Teil der Calmen tritt also räumlich und zeitlich versetzt auf. Weiterhin zeigt sich, daß die Calmen hauptsächlich in Bodennähe auftreten, die Häufigkeit für $u_{115} < 0.5$ m/s (Mast KKP) ist nur ca. 1%. Der größte Anteil von Fällen mit niedrigen bodennahen Windgeschwindigkeiten tritt bei stabilen Schichtungen auf; in 50-100 m Höhe herrscht dann häufig kein Schwachwind (Windprofil!). Schwachwindfälle bei nicht-stabilen Lagen sind seltener, hier ca. 2%. Nicht bodennahe Ausbreitungsvorgänge könnten also in den meisten Fällen berechnet werden. Sobald jedoch die bodennahen Strömungen wesentlich werden, können auch komplexe Strömungsmodelle in Verbindung mit Lagrange-Partikelmodellen versagen.

Es wird deutlich, daß die Ausbreitungssituationen im Rheintal in der Umgebung des Standorts Philippsburg nicht so sind wie bei einem Standort in der norddeutschen Tiefebene, obwohl das KKP in einem ebenen Gelände mit einem Radius von 20 km liegt. Es gibt zwar eine bedeutende Anzahl von geradlinigen Ausbreitungssituationen unterhalb $r = 20$ km, jedoch gibt es ebenso viele Fälle mit gekrümmten Trajektorien aufgrund des Orographieeinflusses. Mit Hilfe der mete-

orologischen Daten des Standortes KKP allein sind die verschiedenen Ausbreitungssituationen nicht immer zu unterscheiden. Die nötige Kenntnis kann nur aus weiteren meteorologischen Daten und Modellrechnungen bezogen werden.

7. Häufigkeiten und Korrelationen der Windrichtungen am Standort Neckarwestheim (GKN) und an den Stationen Stuttgart Wetteramt und Flugwetterwarte

7.1 Korrelation der Windrichtung in verschiedenen Höhen

Höhenabhängige Windrichtungskorrelationen zur Bestimmung der Häufigkeit von Windrichtungsscherungen konnten für den Standort GKN nicht ausgewertet werden, weil die obere Windmessung WR150 in 150m ü.G. Einflüsse durch die Nähe des Kamins aufweist. In Abbildung 19 ist die Windrichtung WR150 gegen die (ungestörte) Windrichtung in 58m ü.G. bei Windgeschwindigkeiten $u(58m) > 2 \text{ m/s}$ aufgetragen; die systematischen Richtungsabweichungen sind deutlich als Abweichungen von der 45°-Linie zu erkennen.

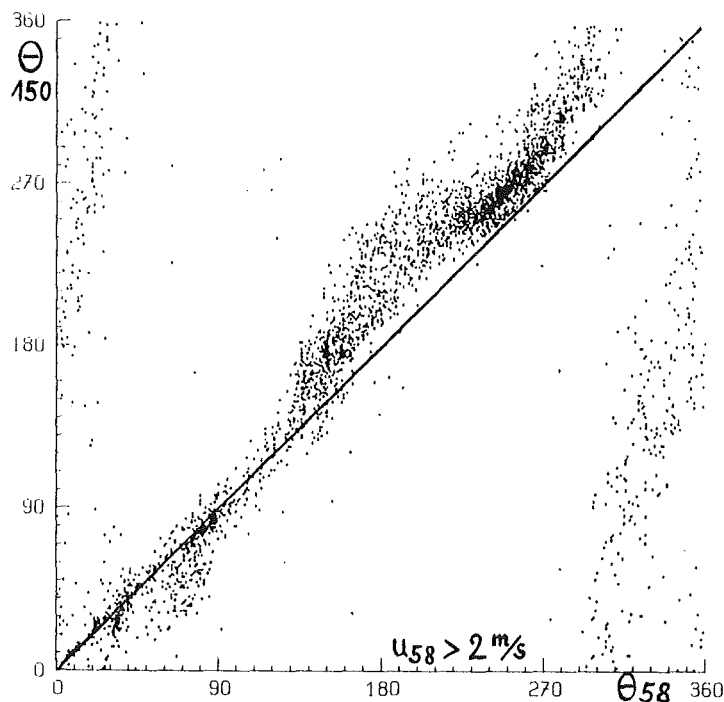


Abb. 19: Korrelation zwischen den Windrichtungsmeßwerten aus 58 m und 150 m ü. Grund am Standort GKN

7.2 Häufigkeitsverteilungen der Windrichtungen in Abhängigkeit von der Diffusionskategorie

7.2.1 Standort GKN

In Abbildung 20a sind die Häufigkeitsverteilungen der Stundenmittelwerte der Windrichtung in 58 m ü.G. (s. Abb.2) aus den Jahren 1985 und '86 wiederge-

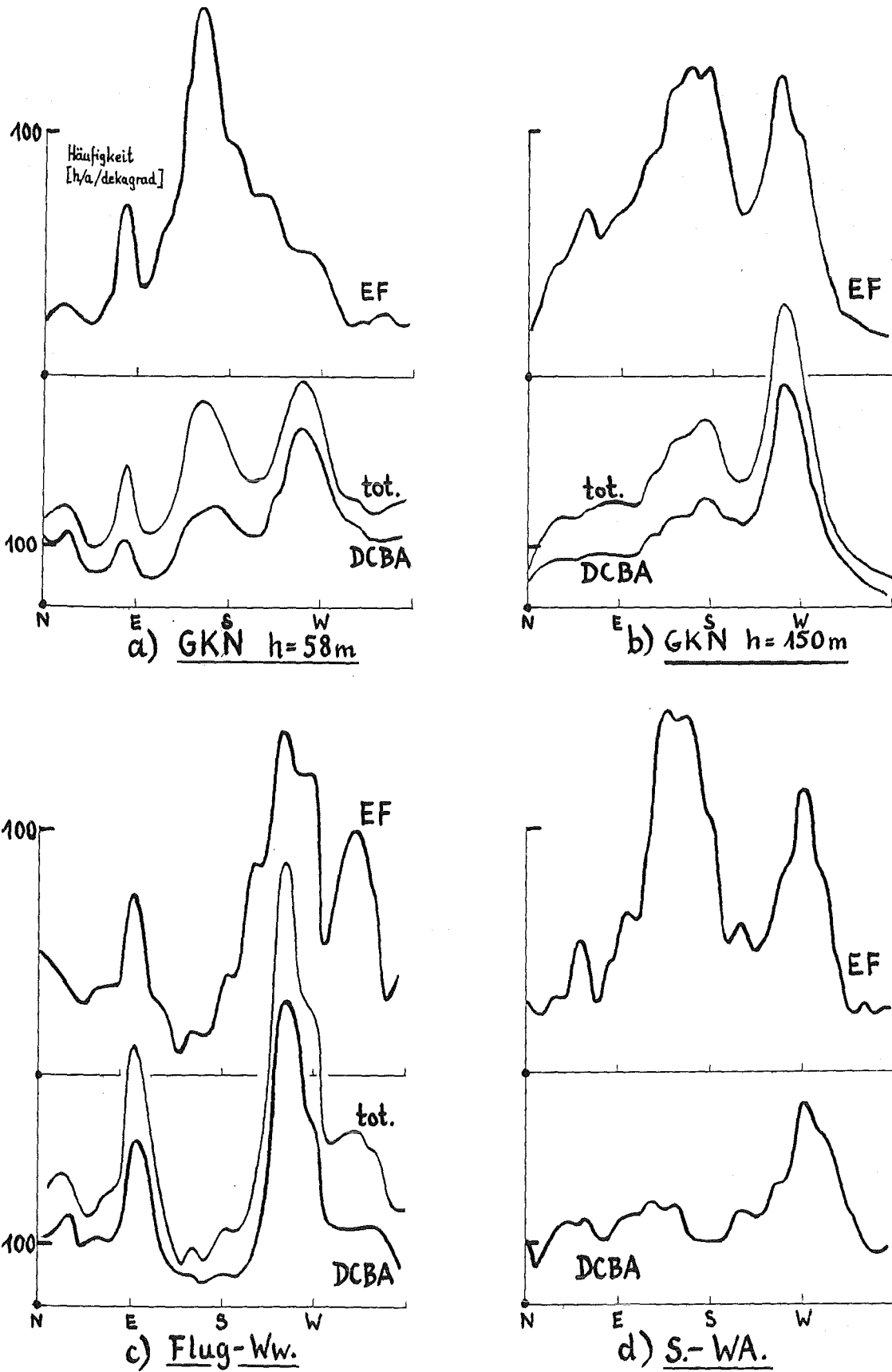


Abb. 20: Windrichtungsspektren in Abhängigkeit von der Stabilität der Schichtung: EF = stabil, DCBA = nicht-stabil, tot. = alle Fälle; a) GKN $h = 58$ m, b) GKN $h = 150$ m, c) Stuttgart-Flugwetterwarte, d) Stuttgart-Wetteramt.

geben. Die drei Kurven entsprechen unterschiedlichen atmosphärischen Schichtungen: die obere Kurve zeigt die Verteilung bei stabiler Schichtung (Kategorien E und F), die untere Kurve entspricht den nicht-stabilen Fällen (Kategorien D, C, B und A), die mittlere Kurve zeigt die gesamte Verteilung. Dabei wurden die an der Flugwetterwarte Stuttgart registrierten Turner-Diffusionskategorien verwendet.

Drei deutliche Richtungshäufigkeiten sind zu erkennen: um WSW, um SSE und um Ost. Bei nicht-stabilen Schichtungen (DCBA) ist die WSW-Häufung am ausgeprägtesten; diese Winde sind mit den häufigen geostrophischen Westwinden korreliert. Bei mehr südwestlicher Anströmung tritt am Standort GKN die SSE-Strömung auf, die mit dem groben Verlauf des Neckartals zwischen Stuttgart und Neckarwestheim übereinstimmt (Abb. 21). Bei stabiler Schichtung (EF) dominiert die SSE-Strömung sogar.

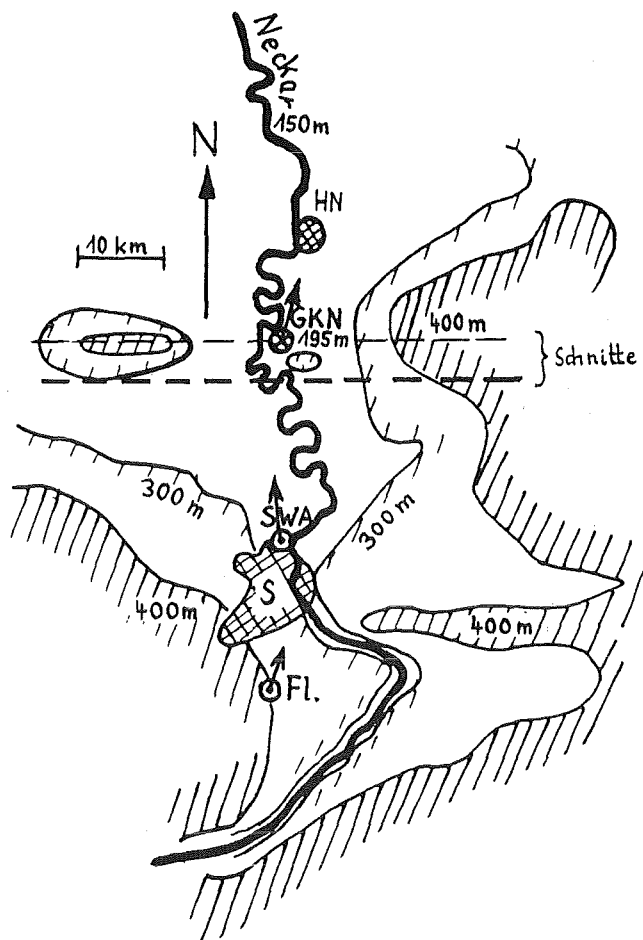


Abb. 21: Standort GKN im Neckartal

Trotz des Einflusses des Kamins wurden auch die Windrichtungsmeßdaten aus der Höhe 150m ü.G. ausgewertet; der Einfluß sollte sich in Form einer leichten Verzerrung der Verteilung, jedoch nicht in einer völligen Strukturänderung auswirken. Tatsächlich findet man die Häufungen bei den Daten der Höhe 58 m (Abb. 20a) wieder bei den Daten der Höhe 150 m (Abb. 20b). Bei den nicht-stabilen Lagen (DCBA) sind die WSW-Richtungen am häufigsten; eine leichte Häufung ist auch bei den SSE-Richtungen vorhanden. Bei stabilen Schichtungen (E,F) sind die Fälle mit SSE-Wind im Verhältnis zu den Fällen mit WSW-Wind sogar häufiger. Die WSW-Wind-Komponente bei stabilen Lagen wird in 58m Höhe stark unterdrückt, während sie in 150 m Höhe gehäuft nachweisbar ist.

Ein Erklärungsversuch für diese Beobachtungen wird im Folgenden gegeben. Durch den Verlauf des Neckartals von Stuttgart bis Heilbronn (Neckar in ca. 150 m Meereshöhe) und das westlich liegende Bergland (Schurwald, Löwensteiner Berge) mit Höhen über 500 m wird die bei westlicher Höhenanströmung ohne orographischen Einfluß zu erwartende bodennahe SW-Strömung in einem Teil der Fälle in die beobachtete SSE-Strömung umgelenkt.

Zur Orientierung sind in Abb. 22 in West-Ost-Richtung verlaufende Schnitte der Standortumgebung dargestellt.

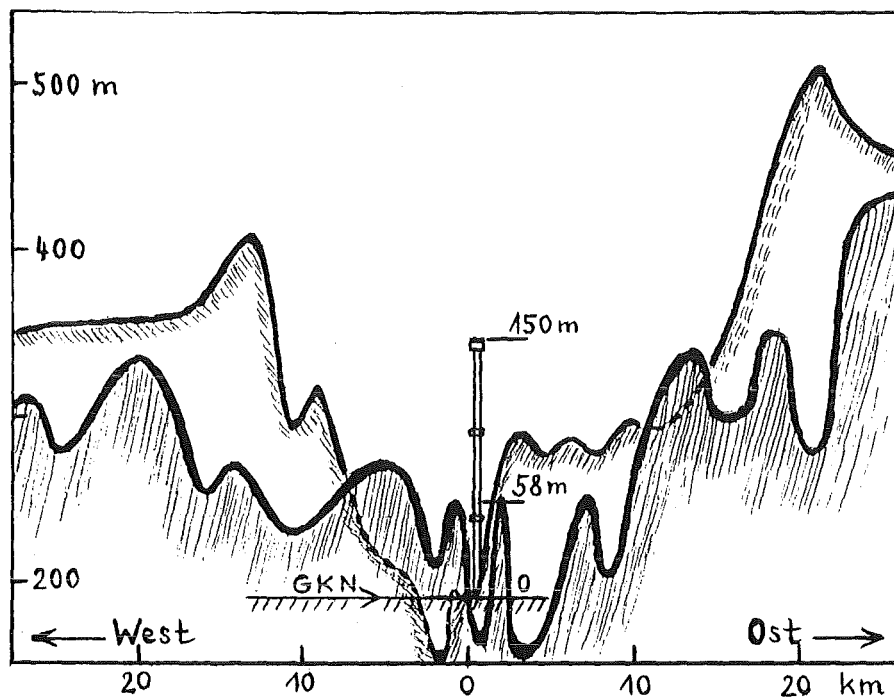


Abb. 22: West-Ost-Schnitte durch das Neckartal in der Umgebung von GKN (stark überhöht)

Bei nicht-stabilen Schichtungen (D, C, B, A) hängt die Häufigkeit, mit der diese Umlenkung stattfindet, deutlich von der gemessenen Windgeschwindigkeit u_{58} in 58 m ü.G. ab. Im Bereich von 3-5 m/s treten SSE-Winde und WSW-Winde etwa gleich häufig auf. Mit ansteigenden Windgeschwindigkeiten nimmt der Anteil von SSE-Winden ab; im Bereich von 7-9 m/s beträgt er nur noch etwa 1/3 des Anteils der WSW-Winde (Abb. 23c). Noch stärker ist dieser Effekt bei der Windrichtung in 150 m ü.G. ausgeprägt (Abb. 23d).

Bei stabilen Schichtungen (E, F) und im Windgeschwindigkeitsintervall $u_{58} = 3-7$ m/s ist die Häufung der Windrichtungsverteilung um die SSE-Richtungen ca. 4 mal so groß wie um die WSW-Richtungen; das gilt für die Daten aus 58 m Höhe. In 150 m Höhe beträgt der Faktor immer noch ungefähr 2 (Abb. 23 a, b).

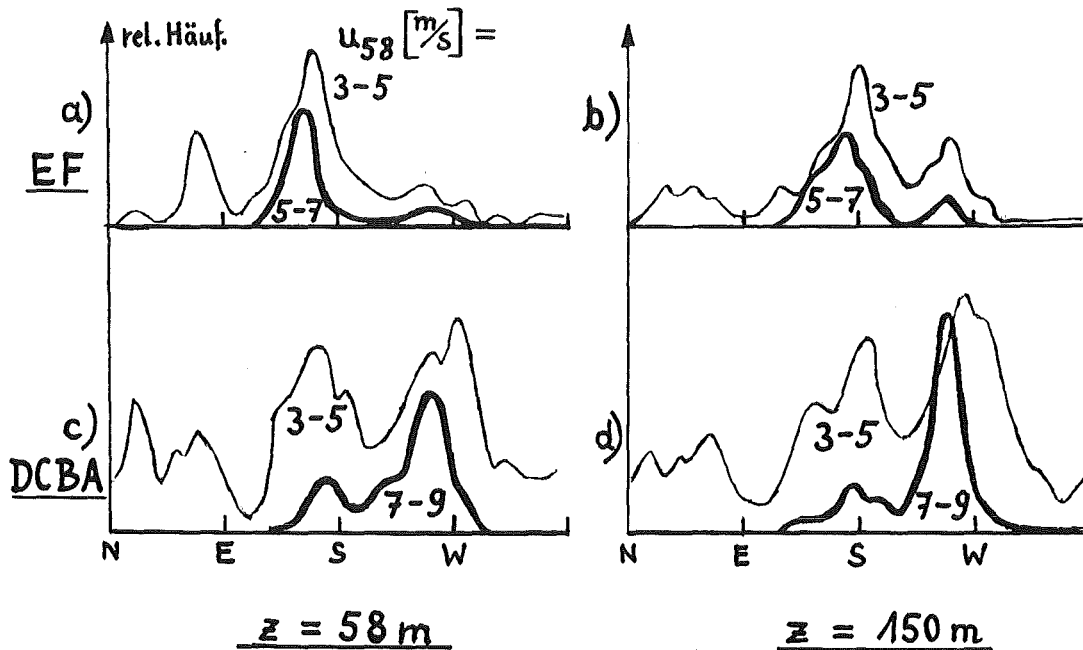


Abb. 23: Windrichtungsspektren aus 58 m und 150 m Höhe für verschiedene u_{58} -Bereiche

Die gefundenen Geschwindigkeits-, Höhen- und Schichtungs-Abhängigkeiten der Windrichtungsspektren zwischen SE und W stützen die Vermutung einer teilweisen Kanalisierung der Strömung im Neckartal bei westlichen Höhenströmungen. Unter der Bedingung stabiler Schichtung sind auch Windrichtungsscherungen zu erwarten: die Windrichtungen in 150 m Höhe sollten bei größeren Winkeln liegen als in 58 m Höhe, d.h. sie sollten mehr in Südrichtung liegen im

Vergleich mit der SSE-Richtung in 58 m Höhe. Ein entsprechender Unterschied in der Lage der Maxima in Abb. 23 c und d ist tatsächlich vorhanden; es ist jedoch möglich, daß dies auf den Einfluß des Kamins auf die obere Windmessung zurückzuführen ist.

7.2.2 Station Stuttgart Wetteramt

Auch an der Station Wetteramt Stuttgart tritt fast ausschließlich bei stabilen Bedingungen ein ausgeprägtes Maximum der Häufigkeit bei SSE-Windrichtungen auf (Abb. 20 d, EF). Es ist allerdings die Frage, ob es sich hier um die Auswirkung lokaler Strömungen oder um einen Zusammenhang mit der entsprechenden Windrichtung am Standort GKN im Sinne der obigen Erklärung handelt. Auffällig ist immerhin die Ähnlichkeit zwischen den Verteilungen 20b und 20d.

7.2.3 Station Stuttgart Flugwetterwarte

An der Station Stuttgart Flugwetterwarte herrschen offenbar andere Bedingungen; der SSE-Wind tritt hier nicht auf. Am häufigsten gibt es SW-Winde und Ost-Winde bei stabilen und nicht-stabilen Schichtungen. Dazu tritt eine NW-Komponente bei stabilen Schichtungen auf. Die Repräsentativität der gemessenen Winde an der Flugwetterwarte ist gering in Bezug auf den Standort GKN.

7.3 Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort GKN

In den Jahren 1985 und 1986 wurden an der Flugwetterwarte Stuttgart in 2/3 aller (Stunden-) Fälle nicht-stabile Schichtungen (Pasquill-Kategorien D, C, B und A) registriert, in 1/3 der Fälle stabile Schichtungen (E und F) (s. Kap. 3.2). Für die Zuordnung von Windrichtungen und Schichtungen am Standort GKN wurde die Gültigkeit dieser Kategorienbestimmung für GKN angenommen. Abb. 24 zeigt dann die Häufigkeiten der in den vorhergehenden Abschnitten erwähnten Windrichtungsbereiche.

Am häufigsten traten Windrichtungen um WSW auf, nämlich in ca. 40% der Fälle mit nicht-stabilen Schichtungen und in ca. 23% der Fälle mit stabilen Schichtungen. Dabei wurden alle Fälle gezählt, die im Winkelbereich von $250^\circ \pm 45^\circ$ liegen (Abb. 20 a). Diese Fälle korrelieren stark mit westlichen Höhenströmungen (Abb.

25). Da Anströmungen aus West über ebenem Gelände und bei stationären Bedingungen südwestliche Bodenwinde bewirken, ist es umgekehrt naheliegend, daß die WSW-Winde wenig von den lokalen orographischen Gegebenheiten des Standorts GKN beeinflusst werden und zu geradlinigen Trajektorien in der Umgebung des Standorts führen.

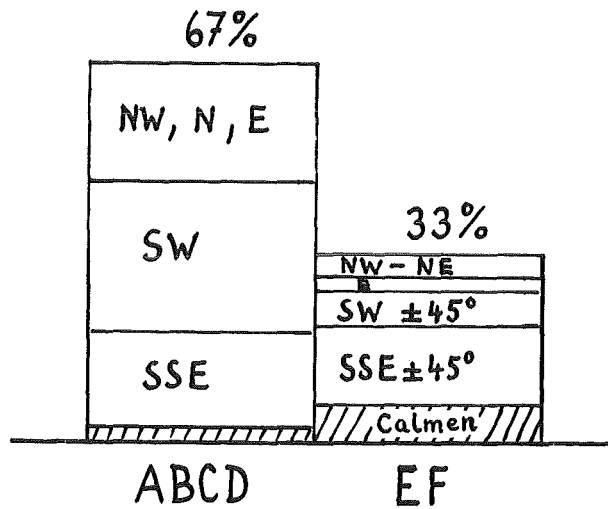


Abb. 24: Häufigkeiten von Windrichtungen, Schichtungen und Calmen am Standort GKN

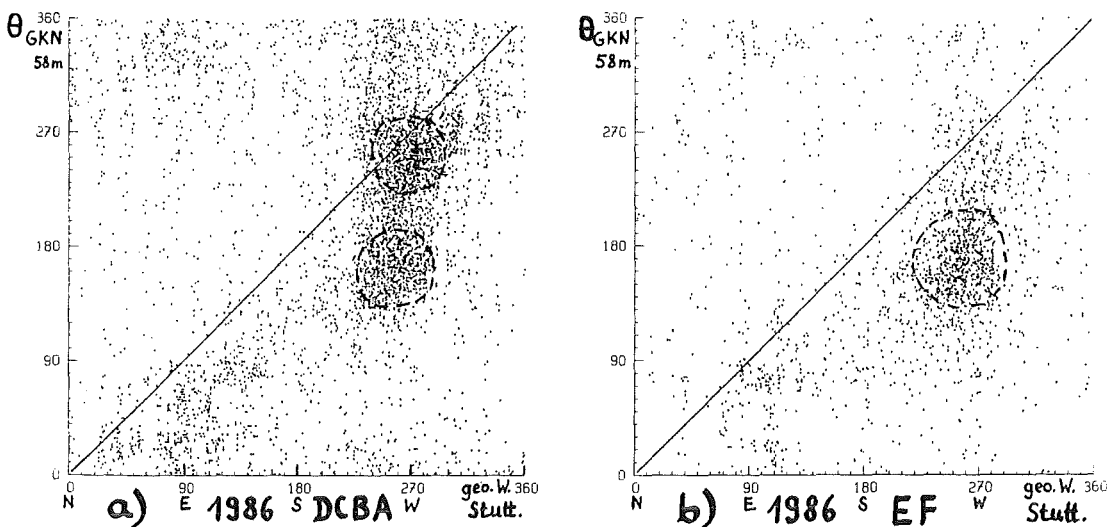


Abb. 25: Korrelation zwischen geostrophischer Windrichtung und Standortwindrichtung in 58 m ü.G.; a) nicht-stabile Schichtungen; b) stabile Schichtungen 1986.

Die Fälle, bei denen sich die orographische Struktur auf die Form der bodennahen Strömung auswirkt, sind diejenigen mit SSE Windrichtung am Standort. Sie stellen die zweithäufigste Gruppe von Windrichtungen dar und traten in 25% der nicht-stabil geschichteten Fälle und in 52% der stabil geschichteten Fälle auf. Auch sie sind stark korreliert mit westlichen geostrophischen Windrichtungen (Abb. 25). Gemäß den Ausführungen von Kap. 7.2.1 wird angenommen, daß in Höhen oberhalb der Windmeßgeräte eine SW-Strömung herrscht, d.h., eine ausgeprägte Richtungsscherung von SSE auf SW vorliegt. Wie stark der Einfluß dieser Scherung auf die Ausbreitung in der Umgebung des KKW-Standortes sein kann, ist nicht direkt zu ermessen. Es ist denkbar, daß sich nach einer Freisetzung in Gebäudehöhe, z.B. 30 m über Grund, eine relativ gerade Trajektorie in Richtung NNW ausbildet. Möglich wäre aber auch, daß die Trajektorie bald nach Osten abgelenkt würde, weil westliche Winde aus dem Kraichgau die Leitwirkung durch das Neckartal aufheben. Welche Transportwege tatsächlich eingeschlagen würden, könnte nur durch genauere Vermessungen oder Berechnungen der Strömungsfelder entschieden werden.

Bei Windgeschwindigkeiten u_{58} unter 5 m/s traten bei stabilen als auch bei nicht-stabilen Lagen nordöstliche Winde auf. Unter stabilen Bedingungen liegt die Richtungsverteilung in 58 m Höhe deutlich gehäuft bei ENE (ca. 10% der stabilen Fälle), während unter nicht-stabilen Bedingungen eine breitere Verteilung in diesem Winkelbereich vorliegt. Die ENE-Strömung unter stabilen Bedingungen tritt in 150 m Höhe nur als breit verteilte NE-Strömung in Erscheinung. Auch bei dieser Strömung ist nicht sicher, welchen Verlauf eine vom Standort ausgehende Trajektorie haben würde.

Schwachwindlagen traten in den Jahren 1985 und 1986 in ca. 20% der stabilgeschichteten Fälle und in ca. 4% der nicht-stabil geschichteten Fälle auf. Als Schwachwind wurden die Fälle gezählt, bei denen das Stundenmittel von u_{58} unter 0.5 m/s lag. Bezogen auf die Gesamtzeit gab es also ca. 11% Schwachwindsituationen. Die meßtechnisch bedingten Ausfälle wurden dabei nicht mitgezählt.

8. Standort Grafenrheinfeld

Das Kernkraftwerk Grafenrheinfeld (KKG) liegt im Maintal ca. 5 km südwestlich von Schweinfurt auf 204 m Seehöhe. In der Umgebung bis 10 km Radius bleibt das Gelände unter 300 m, bis 20 km Radius gibt es Erhebungen bis 400 m im Nordosten und im Südosten. In östlicher Richtung des Standorts verläuft das Maintal ungefähr nach Osten, in südlicher Richtung mainabwärts nach Süden. Abbildung 26b zeigt das Höhenprofil des Maintals in der Umgebung des Standorts.

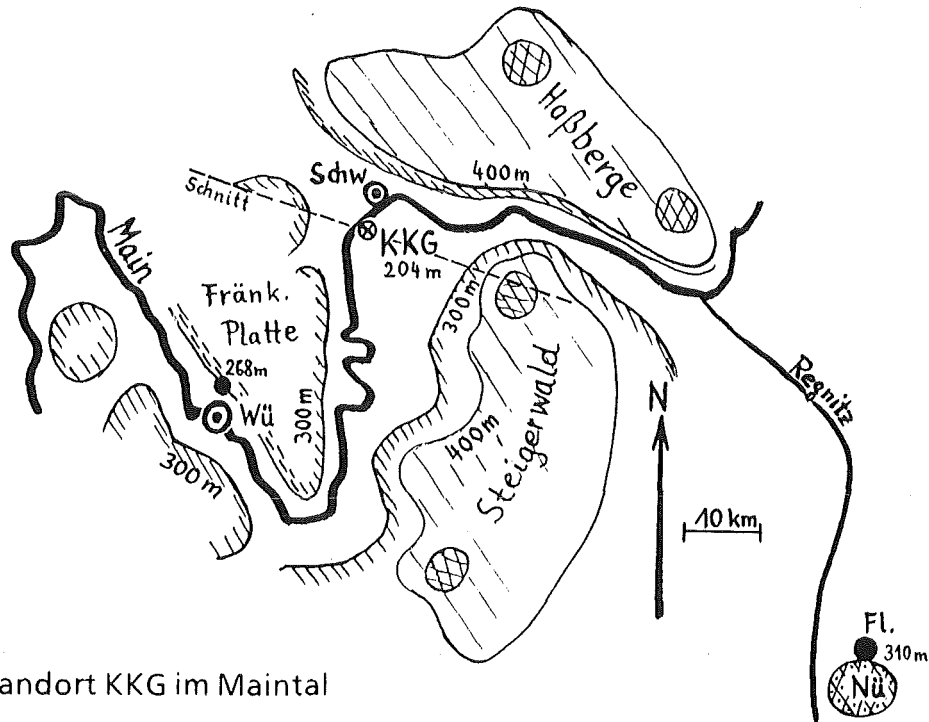


Abb. 26a: Standort KKG im Maintal

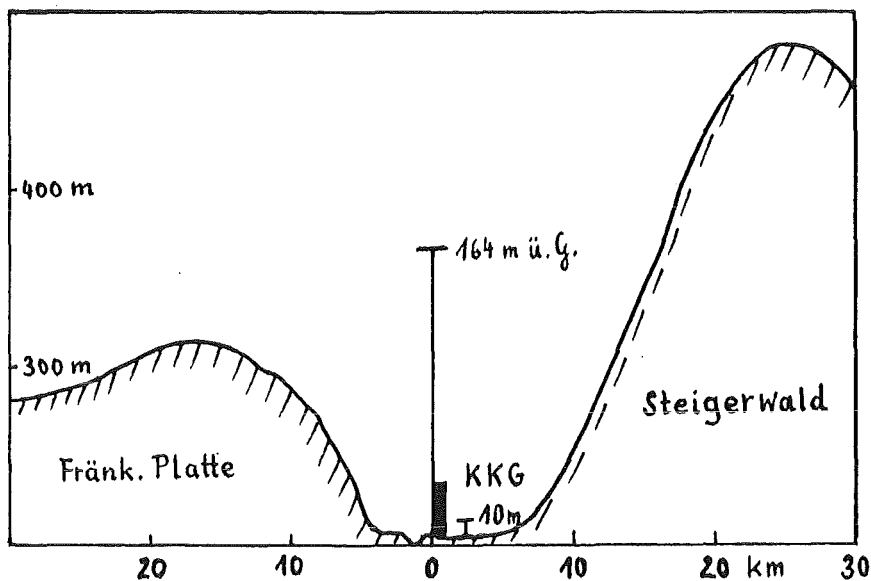


Abb. 26b: Maintalprofil am Standort. Schnitt von NW nach SE.

Die Windmeßstationen des DWD, die für die Untersuchung des Standorts KKG mitverwendet wurden, sind die Station Würzburg und die Flugwetterwarte Nürnberg; von dort stammen auch die Daten zur Bestimmung der Diffusionskategorie.

8.1 DWD-Stationen Würzburg und Nürnberg

Die Entfernungen der Station Würzburg, bzw. der Flugwetterwarte Nürnberg vom Standort KKG betragen ca. 30, bzw. 90 km. Bei neutralen Schichtungen und genügend hohen Windgeschwindigkeiten sind die Windrichtungen beider Stationen noch deutlich mit der am Standort gemessenen korreliert. Bei stabilen Schichtungen und geringeren Windgeschwindigkeiten zeigen sich erhebliche lokale Einflüsse bei den beiden DWD-Stationen, so daß die Repräsentativität der Meßdaten für den Standort nicht gegeben ist. Die Korrelationsdarstellungen in den Abbildungen 27a, b, c und d machen das sichtbar.

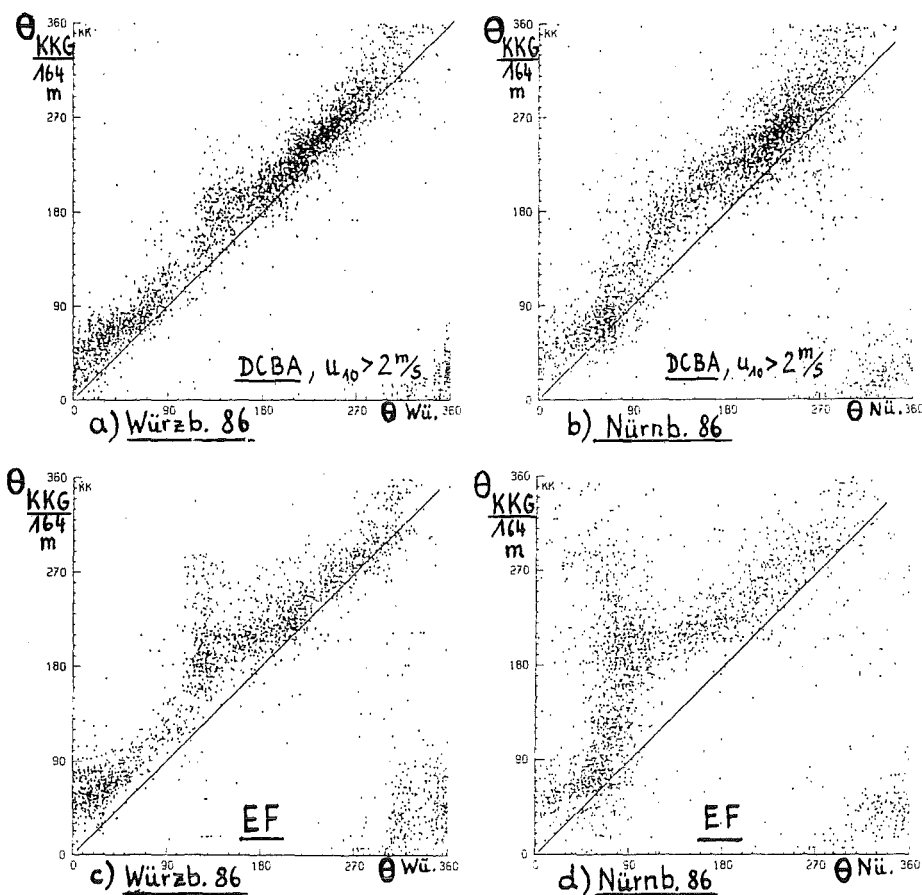


Abb. 27a-d: Windrichtungskorrelationen zwischen KKG und Würzburg, bzw. Nürnberg.

Auch der Vergleich der Windrichtungsspektren ergibt erhebliche Unterschiede zwischen dem Standort KKG (Abb. 28a und b) und den Stationen Nürnberg und Würzburg (c und d). Die klaren Strukturen der Standortspektren finden sich in den Spektren der Stationen Würzburg und Nürnberg nicht wieder. In Abb. 28d fällt vor allem die starke Überhöhung des Ostwindpeaks, insbesondere bei stabilen Schichtungen auf. Wie in Abb. 27c zu erkennen ist, gibt es keine Korrelation zwischen den Ostwinden in Nürnberg und der Windrichtung am Standort. Es handelt sich um einen rein lokalen Effekt.

Wegen der geringen Repräsentativität der Stationsmeßdaten für die Windströmungen in der Umgebung des Standorts war es nicht möglich, aus ihnen diesbezügliche Aufschlüsse zu erhalten.

8.2 Windrichtungsspektren am Standort KKG

Das Winrichtungsspektrum in Abb. 28b stammt aus Messungen in 10m über Grund /DWD 83/ und wurde hier wiedergegeben. Es zeigt zwei breite Häufungen um NE, bzw. um WSW. Die entsprechenden Spektren der Winddaten von 1984, 1985 und 1986 aus 164 m ü. Grund sind ähnlich geformt. Bei stabilen und nicht-stabilen Schichtungen gibt es ein Häufigkeitsmaximum bei ENE-Windrichtungen (Abb. 28 a). Eine weitere Häufung liegt bei SW-Richtungen, wobei unter stabilen Bedingungen (EF) eine Verschiebung zu südlichen Richtungen und bei nicht-stabilen Bedingungen (DCBA) eine Verschiebung zu westlichen Richtungen zu erkennen ist.

8.3 Kanalisationseffekte durch das Maintal

Der direkte Nachweis von Kanalisationseffekten durch ein langgestrecktes Tal erfordert die Messung der Windströmungen in verschiedenen Höhen innerhalb und außerhalb des Tals bei verschiedenen Anströmungen und Schichtungen. Daten aus solchen Messungen lagen nicht vor. Es wurde daher versucht, nur aus den Meßdaten in 164 m Höhe, aus dem geostrophischen Wind, dem Windrichtungsspektrum aus Bodennähe und der orographischen Struktur des Maintals in der Umgebung des Standorts Aussagen bezüglich der Kanalisation zu erhalten.

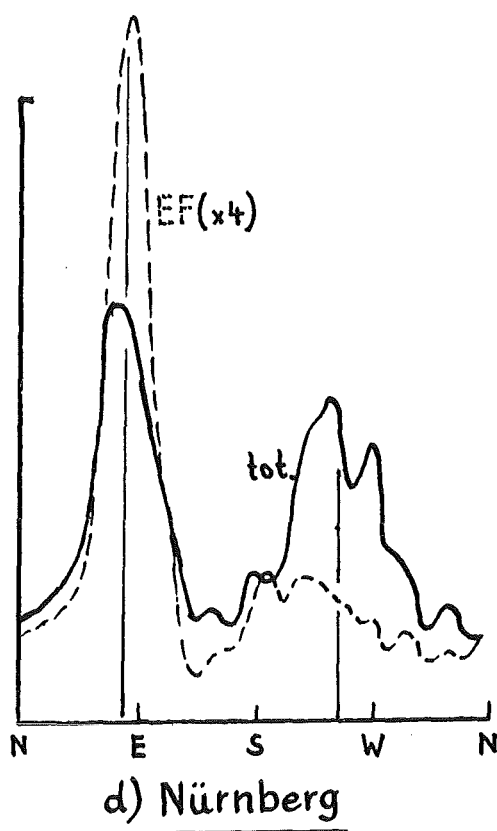
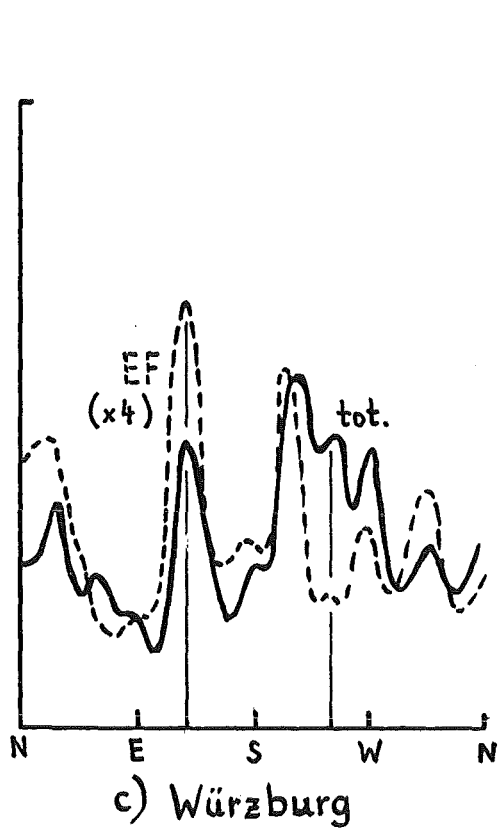
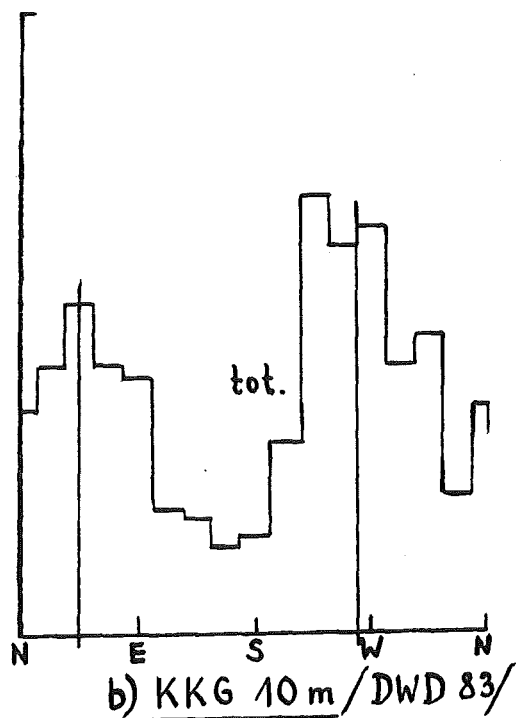
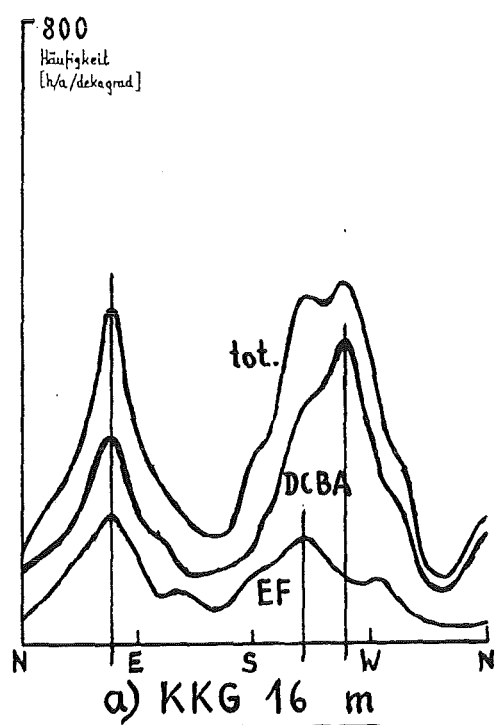


Abb. 28: Windrichtungsspektren. a) Standort KKG 164 m ü.G., b) KKG 10 m ü.G., c) DWD-Station Würzburg, d) DWD-Flugwetterwarte Nürnberg.

Bei östlichen Winden liegt das Häufigkeitsmaximum der Windrichtungen am Standort in Bodennähe bei 45° (NE); in 164 m ü. Grund liegt das entsprechende Maximum bei 70° (ENE). Diese Windrichtungsscherung kann durch die Leitwirkung des flußaufwärts in östlicher Richtung verlaufenden Maintals verursacht werden. Die seitlichen Begrenzungen des Tals sind dort ca. 350 m hoch und werden von der Meßhöhe am Standort (368 m) kaum überragt. Die dadurch geführten östlichen Strömungen erreichen den Standort mit gleicher Richtung in der Meßhöhe, während sie in Bodennähe die Tendenz haben, in den südlichen, abwärts verlaufenden Teil des Maintals einzumünden, also auf NE zu drehen. Die Korrelationsdarstellungen von geostrophischer und Standortwindrichtung zeigen in Übereinstimmung mit dieser Interpretation eine Häufung des Standortwindes bei $70^\circ \pm 20^\circ$, während die geostrophische Windrichtung von NE bis SSE variiert (Abb. 29).

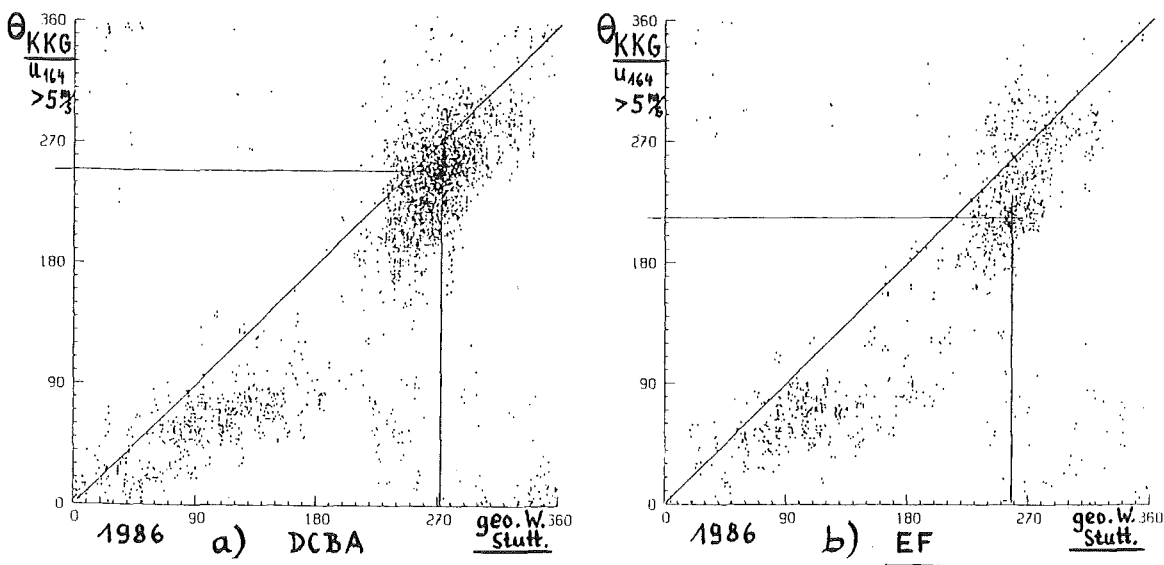


Abb. 29: Korrelation der Standortwindrichtung mit der geostrophischen Windrichtung bei $u(164 \text{ m}) > 5 \text{ m/s}$

Ein weiteres Indiz für Kanalisierungseffekte bei westlicher Anströmung und bei stabilen Schichtungen ist die bereits erwähnte mehr südliche Lage des Windrichtungsmaximums bei stabilen Schichtungen. Während bei nicht-stabilen Schichtungen die westliche Strömung den Standort über die Fränkische Platte (ca. 275 m hoch) erreicht, könnte bei stabilen Schichtungen eine bodennahe südliche Strömung dem südlich gelegenen Teil des Maintals folgen und am oberen Rand des Tals auch noch südliche Verschiebungen des Windrichtungsmaximums bewirken. Quantitative Aussagen sind aus diesen Überlegungen nicht abzuleiten.

8.4 Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort KKG

Im untersuchten Zeitraum von 1984 bis 86 traten in 31% der Stunden stabile Schichtungen an der Flugwetterwarte Nürnberg auf. Ein ähnlicher Wert kann für die Umgebung des Standorts KKG angenommen werden.

Unter diesen Bedingungen können in Bodennähe im Maintal geführte Strömungen auftreten. Zum Beispiel ist es denkbar, daß südliche Strömungen auf den Standort zufließen und dann dem Knick des Maintals folgend nach Nordosten und schließlich nach Osten umgelenkt werden. Das könnte innerhalb 10 km Entfernung vom Standort geschehen. Die Strömung in 300 m ü. Grund verlief dabei in SW-Richtung und ungefähr geradlinig. Der ähnliche Vorgang könnte sich in umgekehrter Richtung abspielen, wenn östliche Anströmung herrscht. In diesem Fall würden sich jedoch keine gekrümmten Strömungen einstellen, sondern geradlinige, mainabwärts gerichtete Nord-Strömungen (siehe /DWD 83/). Wenn solche geführten Strömungen in dieser Form aufträten, so würden sie sich nur in einem Bruchteil der Fälle mit stabilen Schichtungen einstellen, so daß man auf vielleicht 10% Anteil insgesamt gelangt.

Mit Windrichtungsscherungen zwischen Bodennähe und Höhen weiter über dem Tal ist generell bei Fällen mit stabiler Schichtung zu rechnen, wenn die Anströmung nicht in Talrichtung verläuft.

In ca. 50% aller Fälle gibt es nicht-stabile Schichtungen mit Bodenwindgeschwindigkeiten über 2 m/s entsprechend den Diffusionskategorien D und C. In diesen Fällen ist mit der Überströmung der orographischen Strukturen zu rechnen und es treten homogene Windfelder mit WSW- bzw. NE-Richtung auf.

Schwachwindsituationen an diesem Standort sind nach den Angaben in /DWD 83/ sehr selten; $u_{10} < 0.5$ m/s tritt demnach in nur 0.16% der Fälle auf.

8.5 Ausbreitungsberechnung am Standort KKG

In den meisten Fällen können Gauß-Fahnen-Modelle für die Ausbreitungsberechnung verwendet werden. Geradlinige Trajektorien treten in über 50% aller Fälle auf. Die Bedingungen dafür sind aus den meteorologischen Meßdaten am Standort zu erkennen. In den Fällen stabiler Schichtung und niedriger Wind-

geschwindigkeit sind inhomogene Strömungen mit gekrümmten Trajektorien und Scherungen möglich, deren Auftreten und deren Form nicht allein aus den meteorologischen Standortmeßdaten ermittelt werden kann. Wie bereits in zurückliegenden Kapiteln beschrieben, kann dann mit zusätzlichen Meßdaten und Strömungsmodellen, und anschließend mit numerischen Ausbreitungsmodellen vorgegangen werden.

9. Standort Gundremmingen

Das Kernkraftwerk Gundremmingen (KRB) liegt im Donautal, das im Nordwesten von der Schwäbischen Alb und im Südosten von der Süddeutschen Hochebene, die zu den Alpen hin ansteigt, begrenzt wird.

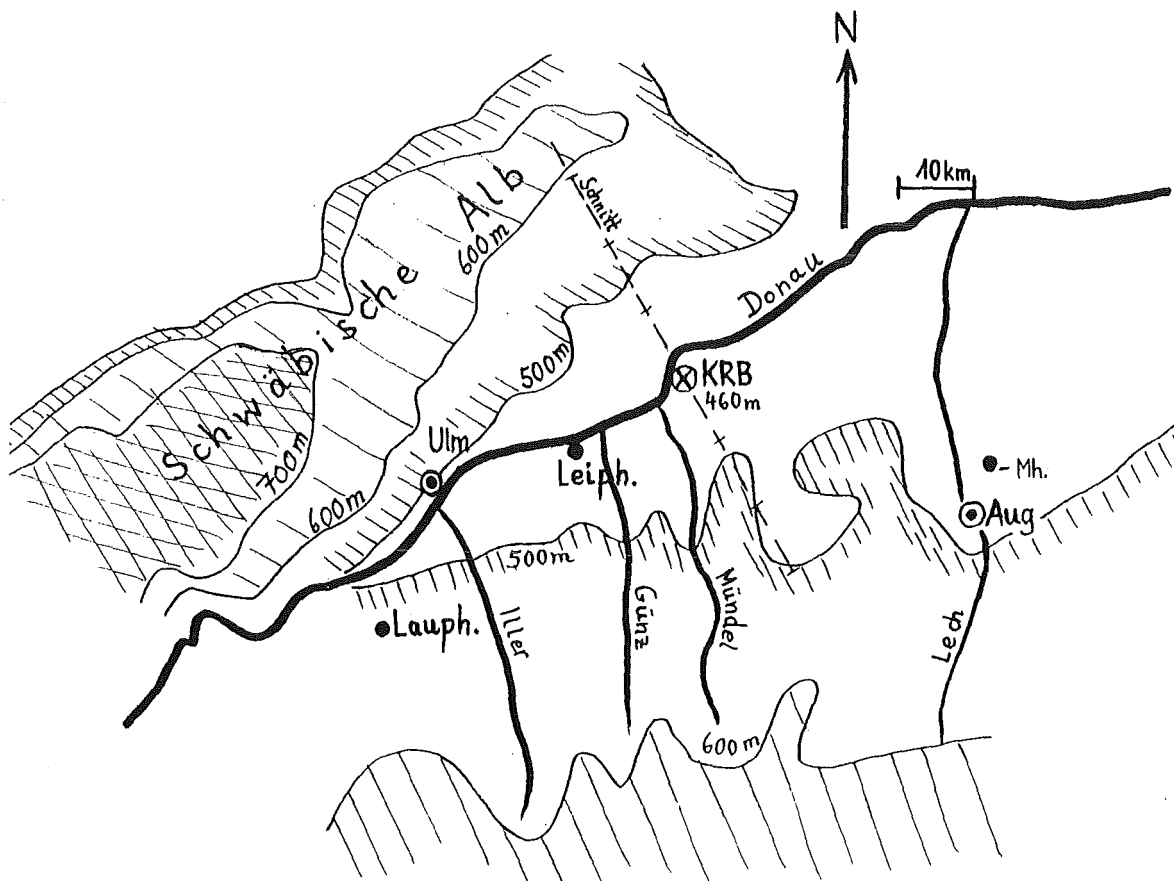


Abb. 30: Standort KRB im Donautal, Meßstationen des DWD

Die ausgewerteten Windmeßdaten vom Standort stammen aus einer Höhe von 174 m ü. Grund. Die zusätzlich benutzten Meßstationen des DWD in der weiteren Umgebung des Standorts sind Leipheim (im Donautal), Laupheim und Augsburg-Mühlhausen (nur für die Bestimmung der Diffusionskategorien). Weiterhin wurde ein in Bodennähe aufgenommenes Windrichtungsspektrum des Standorts KRB verwendet /DWD 83/. Für den geostrophischen Wind wurden die Meßdaten der Radiosonde Stuttgart benutzt.

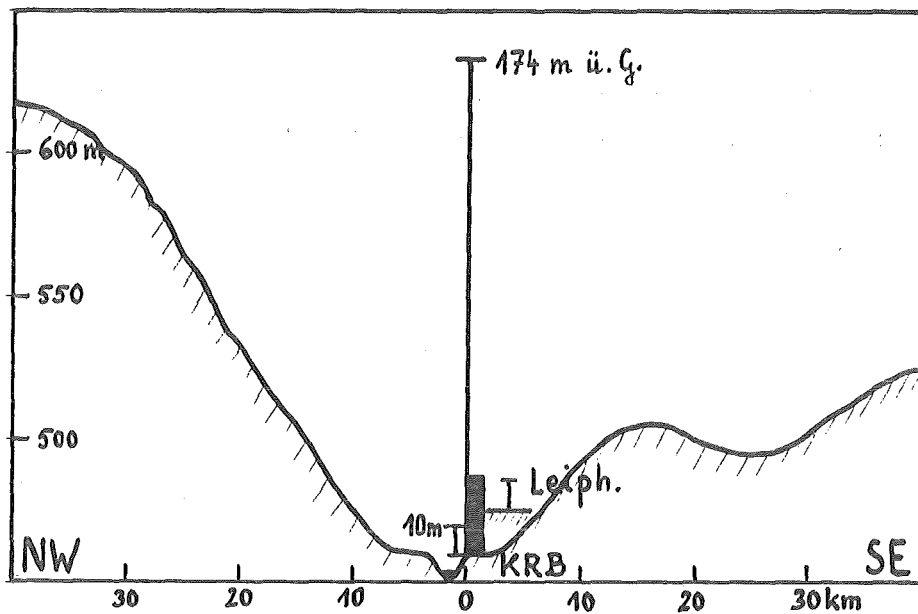


Abb. 31: Lage des KRB im Donautal

9.1 Windspektren am Standort KRB und an den Stationen Leipzig und Laupheim

Die Abbildungen 32 a, b, c und d zeigen Windrichtungsspektren vom Standort KRB aus 174 m ü. Grund aus den Jahren 1984, 85 und 86 (a), bodennah aus 10 m Höhe (b) und die entsprechenden Spektren der Stationen Leipzig und Laupheim (c und d). Allen Spektren gemeinsam ist die ausgeprägte NE-SW-Struktur. Sie folgt aus der E-W-Struktur der geostrophischen Anströmung (Abb. 15) und der geographischen Lage zwischen Schwäbischer Alb und Alpen. Das Donautal in der weiteren Umgebung des Standortes verläuft ungefähr in der Richtung 240° - 60° . Die zweite Hauptwindrichtung am Standort in Bodennähe liegt bei 65° , die erste Hauptwindrichtung bei 240° . In 174 m ü. Grund liegen die entsprechenden Windrichtungen bei ca. 80° und 235° , wobei bei stabilen Schichtungen und östlichen Winden eine leichte Verschiebung zu kleineren Winkeln (76°) und bei nicht-stabilen Schichtungen zu größeren Winkeln (84°) auftritt. Bei westlichen Winden fehlt dieser Unterschied (Abb. 32 a).

Der Ostwindpeak im Spektrum der Station Leipzig ist weiter nach NNE verschoben, insbesondere bei stabilen Schichtungen. Aus Abb. 32c ist zu entnehmen, daß es sich um eine Überlagerung von zwei Häufigkeitsmaxima

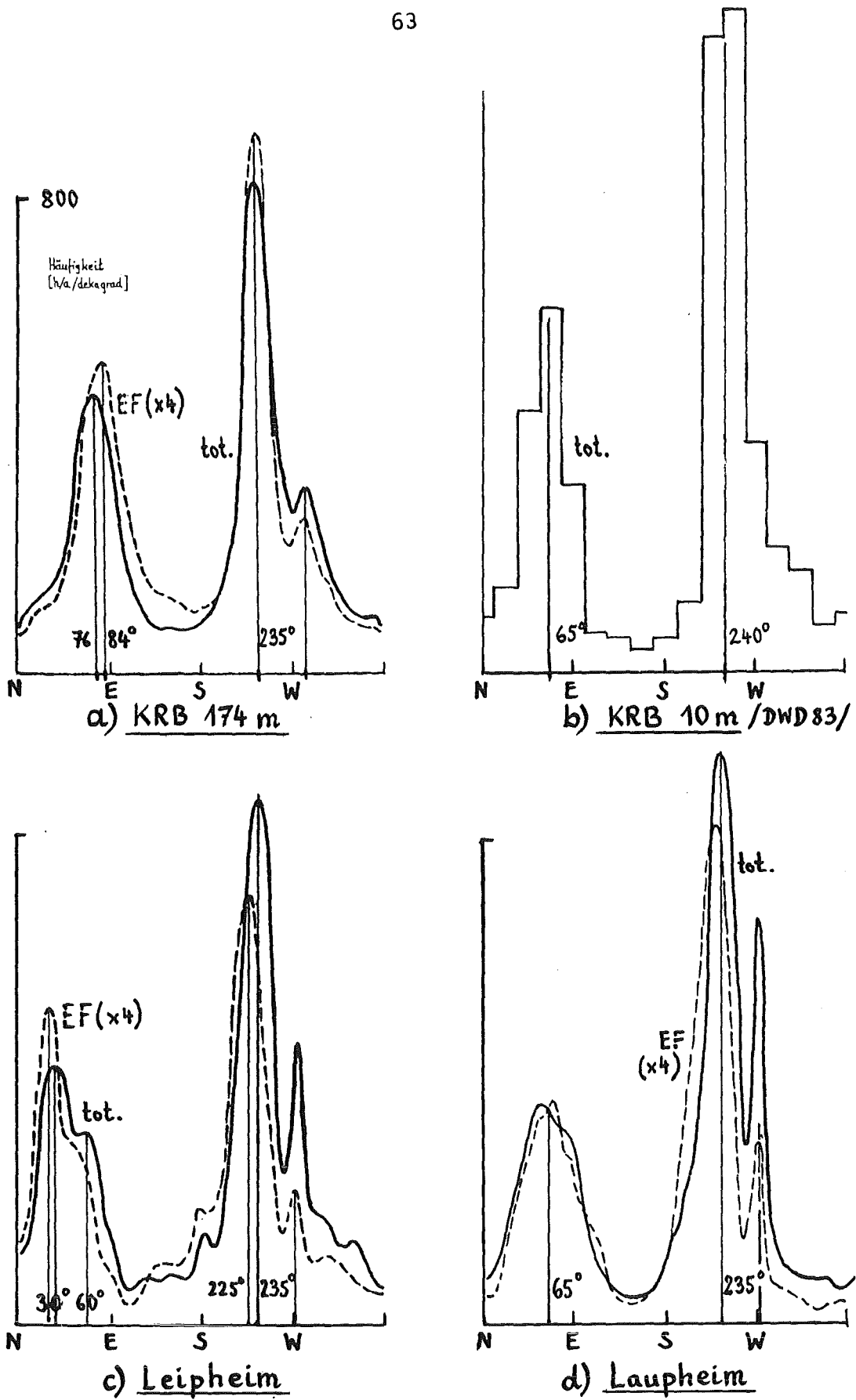


Abb. 32: Windrichtungsspektren am Standort KRB, a) aus 174 m ü.G., b) aus 10 m ü.G., c) von der Station Leipheim, d) Laupheim.

handelt: eines liegt bei 60° , ein weiteres bei 30° . Das 60° -Maximum entspricht wieder der bevorzugten NE-Strömung im Donautal, während dem 30° -Maximum vermutlich eine andere, lokale Ursache zugrunde liegt. Der schmale Westwind-peak, der in Abb. 32a, c und d zu erkennen ist, und vermutlich in 32b nur wegen geringerer Winkelauflösung nicht erscheint, konnte hier nicht erklärt werden. Es ist unwahrscheinlich, daß es sich um eine statistische Schwankung handelt; schließlich handelt es sich bei den abgebildeten Spektren um unabhängige 3-Jahres-Mittelwerte.

9.2 Windrichtungskorrelationen

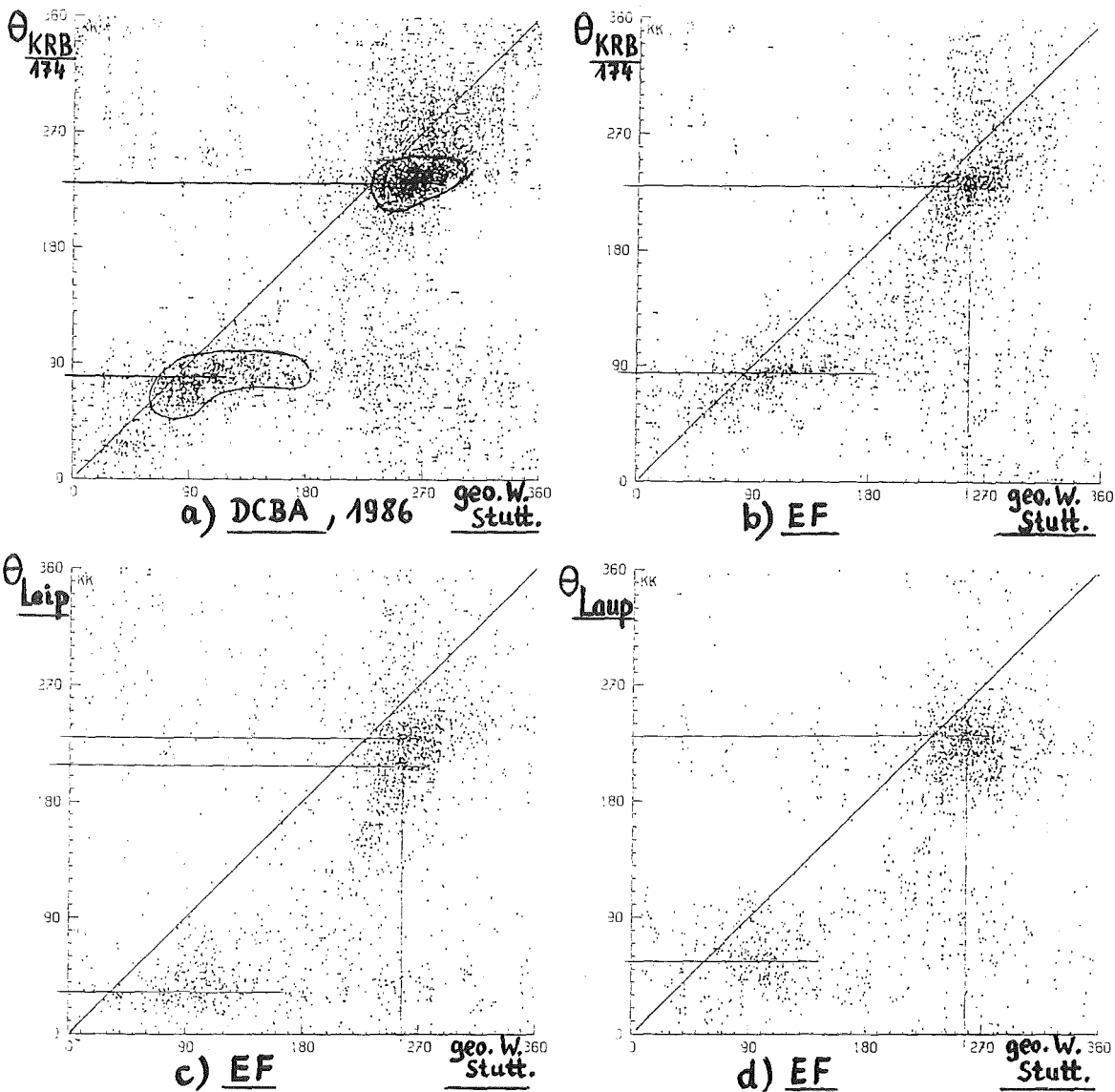


Abb. 33: Korrelationen zwischen der geostrophischen Windrichtung und der Windrichtung von KRB (a, b), von Leipheim (c) und von Laupheim (d)

Sowohl bei nicht-stabilen als auch bei stabilen Schichtungen sind Kanalisierungseffekte des Donautals auch noch in 174 m ü.G. zu erkennen. Geostrophische Windrichtungen von NE bis SE werden am Standort KRB auf einen viel engeren Windrichtungsbereich um ENE "zusammengedrückt". Bei westlichen Anströmungen (SW bis WNW) wird der Kernbereich ebenfalls auf Richtungen um SW eingeeengt (Abb. 33a und b).

Geostrophische NE- bis S-Winde führen am Standort KRB in 174 m ü. Grund zu Ostwind, wenn dort stabile Schichtung herrscht (Abb. 33b). In Bodennähe tritt bei Leipheim dann NNE-Wind und bei Laupheim NE-Wind auf (Abb. 33c und d). Es ist anzunehmen, daß am Standort KRB dann ebenfalls NE-Wind weht. Daraus läßt sich eine Windrichtungsscherung am Standort zwischen 174m und 10m Höhe von im Mittel $+ 25^\circ$ unter den genannten Bedingungen abschätzen.

9.3 Häufigkeiten von Ausbreitungssituationen am Standort KRB

Stabile Schichtungen (Turner, E, F, G) wurden in den Jahren 1984, 85 und 86 in 27% der Zeit festgestellt, nicht-stabile Schichtungen in den verbleibenden 73%. Dies gilt für die Station Augsburg-Mühlhausen und in guter Näherung auch für die Umgebung des Standortes. Sowohl bei stabilen, als auch bei instabilen Schichtungen lag die in 174 m ü. Grund gemessene Windrichtung in ca. 50% aller Fälle in Richtung einer der beiden Hauptwindrichtungen, nämlich bei $80^\circ \pm 15^\circ$, bzw. bei $235^\circ \pm 15^\circ$. Deutlich nicht-talparallele Winde über dem Tal traten insgesamt zu ca. 26% auf: NW- bis NNE-Winde (14%), SE- bis SSW-Winde (12%).

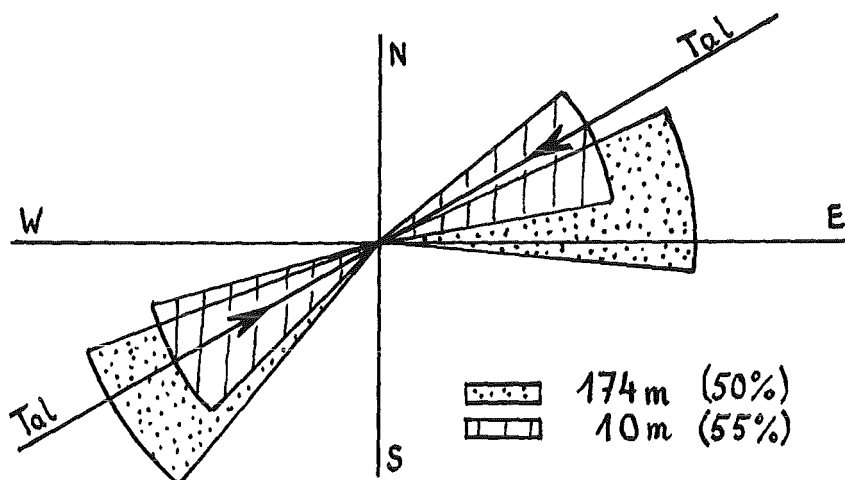


Abb. 34: Winkelbereiche der Windrichtungen relativ zur Talrichtung

In Bodennähe lag die Windrichtung in ca. 55% aller Fälle ungefähr talparallel, d.h. sie stimmte innerhalb eines Bereichs von $\pm 15^\circ$ mit der Talrichtung überein. Die nicht-talparallelen Windrichtungen traten im Tal in Bodennähe zu ca. 16% auf: NW- bis NNE-Winde (10%), SE- bis SSW-Winde (6%). Die angegebenen Winkelbereiche der Windrichtungen relativ zum Talverlauf sind in Abb. 34 skizziert.

Die geringere Anzahl von nicht-talparallelen Windrichtungen in Bodennähe (16% gegenüber 26% in 174 m ü. Grund) kann durch Windrichtungsscherungen erklärt werden: in 10% der Fälle stellen sich in Bodennähe talparallele Windrichtungen ein. Dies sollte insbesondere bei stabilen Schichtungen (also geringer Kopplung zwischen Boden- und Höhenwind) auftreten. Tatsächlich treten 7% aller Fälle als stabile Schichtungen bei den nicht-talparallelen Windrichtungen auf. Das Auftreten dieser Windrichtungsscherungen wird auch durch das Ergebnis der Korrelation zwischen den Windrichtungen an der Station Leipheim (~ 10 km südwestlich vom Standort im Donautal gelegen) und am Standort in 174 m ü. Grund sichtbar (Abb. 35a und b).

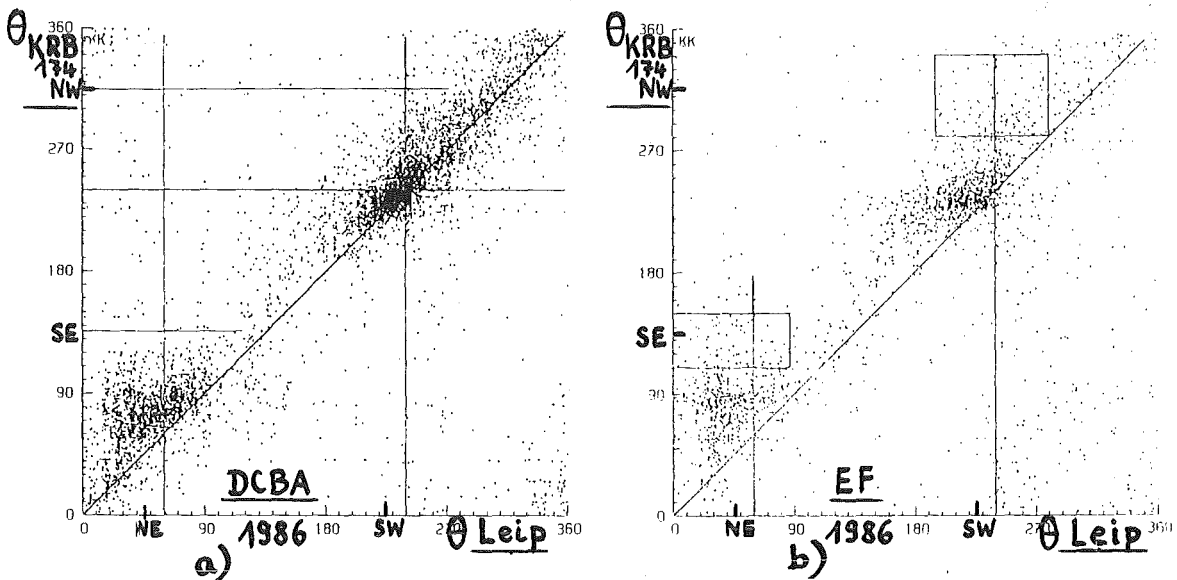


Abb. 35: Korrelation der Windrichtungen von Leipheim und KRB.

Bei stabilen Lagen und NE-Winden im Tal bei Leipheim gibt es beim KRB in 174 m Höhe relativ mehr talüberquerende SE-Strömungen als bei nicht stabilen Lagen. Weniger deutlich gilt das auch für die umgekehrten Windrichtungen SW und NW.

Direkte Hinweise auf das Auftreten gekrümmter Stromlinien in der 20km-Umgebung des Standorts KRB sind aus den Auswertungen der Windrichtungskorrelationen der Stationen Laupheim und Leipheim und KRB nicht zu erhalten. Zum einen, weil sich in den meisten Fällen offenbar geradlinige Stromlinien entlang der Talrichtung einstellen, zum anderen, weil sowohl bei Laupheim als auch bei Leipheim lokale Seitenströmungen (z.B. aus südlichen Nebentälern des Donautals) die Repräsentativität der Daten dieser Stationen bei stabilen Lagen einschränken.

9.4 Schlußfolgerungen für die Ausbreitungsberechnung am Standort KRB

Aus den Ergebnissen der vorigen Abschnitte folgt, daß in einer großen Anzahl von Fällen einfache Ausbreitungsbedingungen vorliegen. Die Abschätzung ergibt, daß in bis zu 70% aller Fälle Gauß-Fahnen Modelle mit am Standort gemessenen meteorologischen Eingabedaten sinnvoll angewendet werden können.

Nur in Fällen mit relativ niedrigen Windgeschwindigkeiten $u_{10} < 1.5$ m/s und bei stabilen Schichtungen treten wesentliche Windrichtungsscherungen und möglicherweise auch Abweichungen von der geradlinigen Ausbreitung auf. Diese komplizierteren Bedingungen treten in grob 20% der Fälle auf. Sehr niedrige Windgeschwindigkeiten $u_{10} < 0.5$ m/s traten 1986 mit 6% Anteil auf: 4% bei stabilen Schichtungen, 2% bei nicht-stabilen Schichtungen. Zur Diagnose komplizierterer Ausbreitungsbedingungen, insbesondere dann, wenn gekrümmte Trajektorien vermutet werden, reichen die Standortmeßdaten allein nicht aus; wie schon in den vorherigen Kapiteln bemerkt, sind weitere Meßdaten und Strömungsmodellrechnungen erforderlich. Erst nach der Diagnose und Strömungsberechnung kann ein geeignetes Ausbreitungsmodell verwendet werden.

10. Standort KKI

Das Kernkraftwerk ISAR liegt im ca. 8 km breiten Isartal auf einer Meereshöhe von 383 m. Das Tal ist in eine leicht gewellte Ebene mit ca. 450 m Höhe eingeschnitten. Die Windmeßgeräte, deren Daten hier ausgewertet wurden, befinden sich am Kamin des KKI in einer Höhe von 130m; die Windmeßdaten stammen somit aus einer Höhe von 513m, d.h. ca. 60 m über dem Niveau der Ebene (Abb. 36):

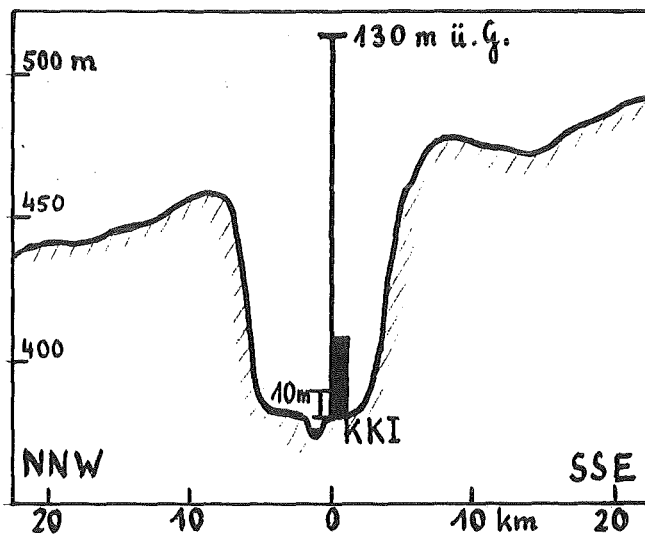


Abb. 36: Schnitt durch das Isartal in NNW-SSE-Richtung.

Leiteffekte für die Windströmungen in Talrichtung sind zu erwarten. Die beiden Meßstationen des DWD, die die Vergleichsdaten für die stündlichen Windvektoren lieferten, sind die Flugwetterwarte München und die Station Erding (Abb. 37):

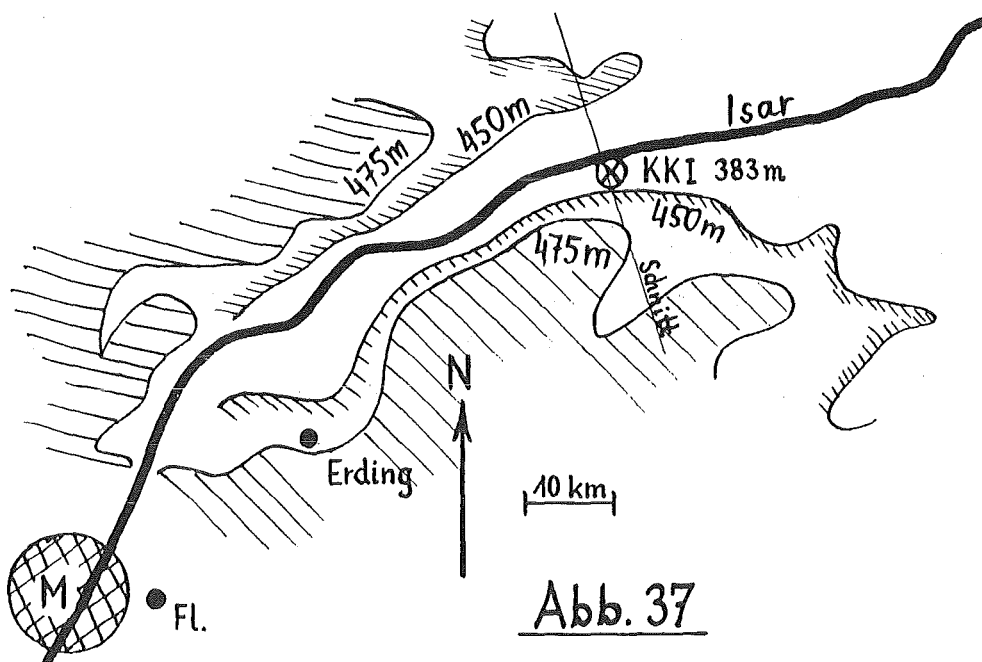


Abb. 37

10.1 Windrichtungsdaten vom Standort KKI und der Stationen München und Erding

Die aus den KFÜ-Aufzeichnungen des KKI erhaltenen Windrichtungsspektren liefern zunächst keine eindeutigen Ergebnisse. Die Spektren von 1984 und 1986 sind systematisch gegeneinander verschoben, während ihre Formen sowohl für stabile, als auch für nicht-stabile Schichtungen sehr ähnlich sind. Das Spektrum des Jahres 1985 liegt zwischen den beiden Spektren von 1984 und 1986 und die beiden Richtungshäufungen sind flacher und breiter (Abb. 38). Der Vergleich mit Windrichtungsdaten der Stationen München und Erding bei höheren Windgeschwindigkeiten $u_{10} \geq 5$ m/s und somit relativ homogenen Strömungsfeldern ergibt, daß die KKI-Windrichtungsmeßwerte von 1986 offenbar um ca. 28° zu kleineren Winkeln verschoben sind, während dies bei den Daten von 1984 nicht der Fall ist. Es wird daher angenommen, daß im Jahr 1985 eine nicht näher bekannte Änderung des Nullpunkts oder der Justierung bei der Windrichtungsmessung am KKI stattgefunden hat. Bei der weiteren Auswertung wurden die Daten von 1984, bzw. korrigierte Daten von 1986 benutzt.

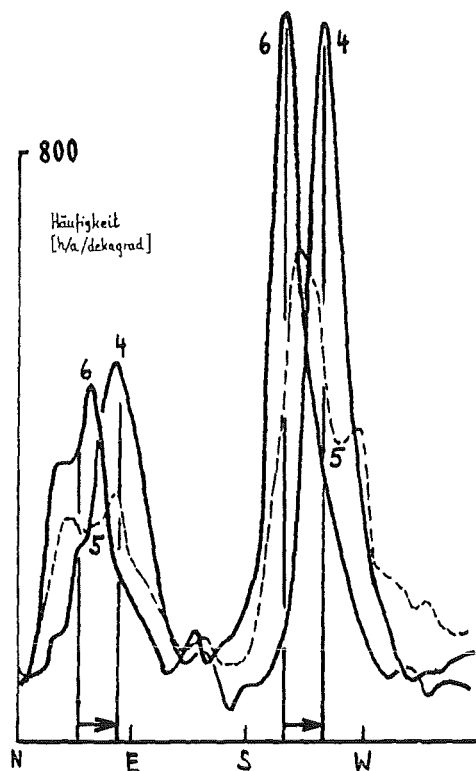


Abb. 38: Verschobene Windrichtungsspektren aus den KKI-Meßdaten von 1984, 1985, 1986

10.2 Windrichtungsspektren am Standort KKI, an den Stationen München und Erding

Die Windrichtungsspektren an allen drei Orten zeigen zwei ausgeprägte Häufungen bei westlichen und östlichen Richtungen, wie sie auch beim Spektrum der Richtungen des geostrophischen Windes (Sonde München, Abb. 39) auftreten.

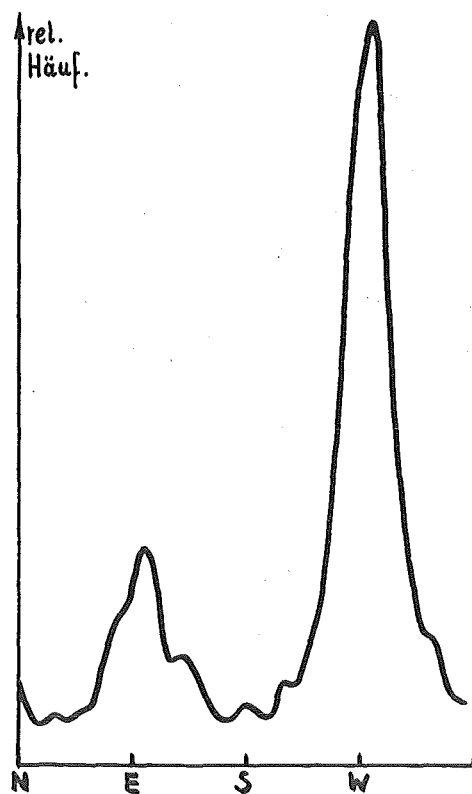


Abb. 39: Spektrum der geostrophischen Windrichtungen; Sonde München 1985 und 1986.

Die Nähe des Alpennordrandes bewirkt eine West-Ost-Ausrichtung der Strömungen in tieferen Schichten, so daß die Häufigkeitsmaxima nicht wie im unbeeinflussten Fall bei SW und NE, sondern bei WSW und ENE (München, Abb. 40 c), bzw. ESE (Erding, Abb. 40 d) liegen. Das Isartal verläuft in der weiteren Umgebung des Standortes KKI ebenfalls in WSW-ENE-Richtung ($245^\circ - 65^\circ$). Das führt dazu, daß die dort am häufigsten auftretenden Windrichtungen mit der bevorzugten Führungsrichtung des Tales nahezu übereinstimmen. Die Leitwirkung des Tales überhöht daher das Windrichtungsspektrum am Standort gegenüber den Spektren außerhalb des Tals gelegener Stationen erheblich.

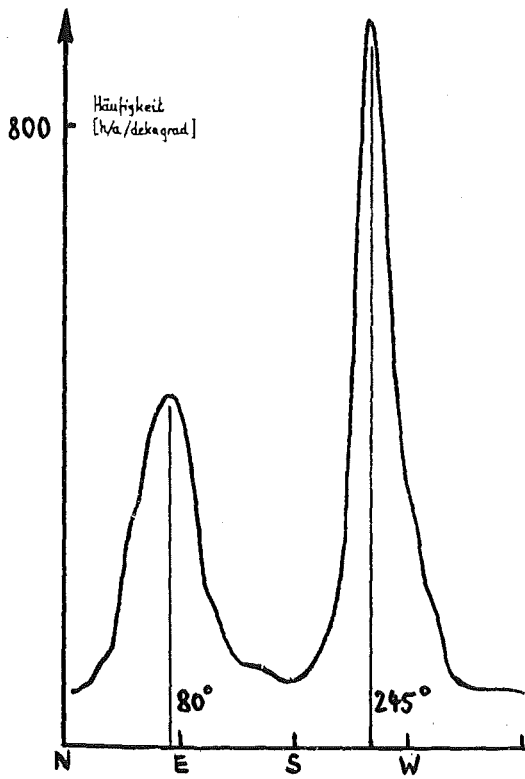
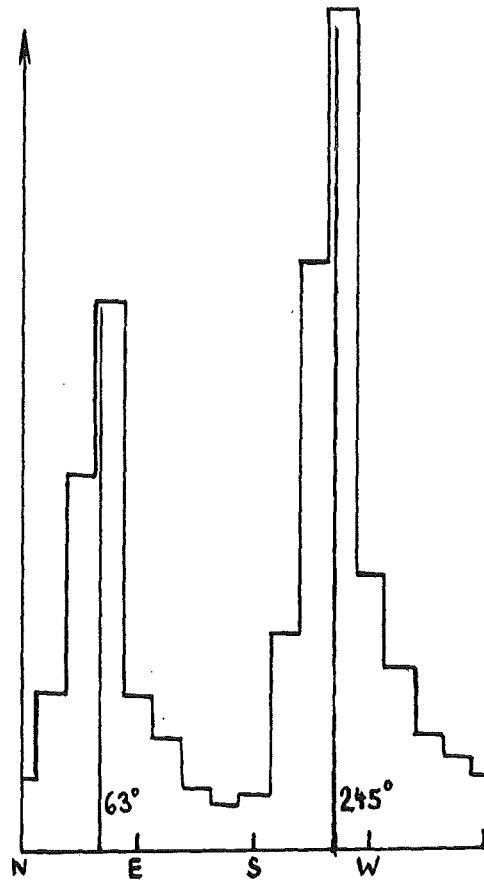
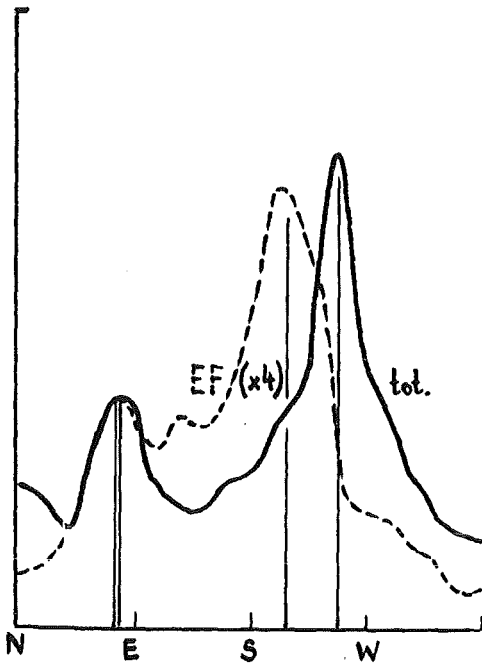
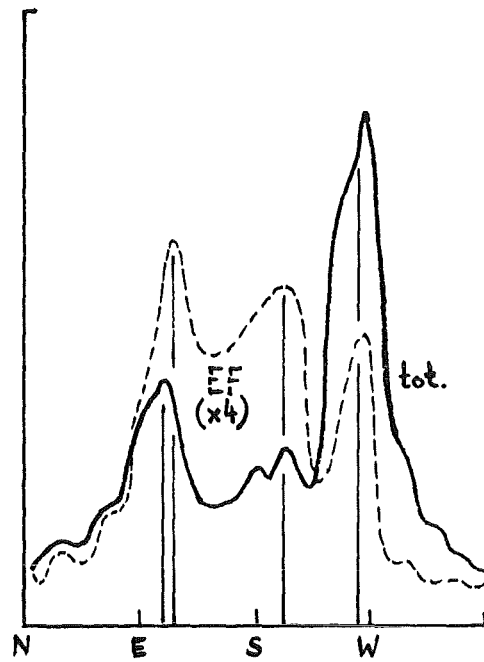
a) KKI 130 mb) KKI 10 m / DWD 83/c) Münchend) Erding

Abb. 40: Windrichtungsspektren KKI, München und Erding 1984, 1985, 1986

In Bodennähe treten fast nur noch ENE-Winde (Häufigkeitsmaximum bei 63°) und WSW-Winde (Maximum bei 250°) auf. Das Windrichtungsspektrum ist aus DWD-Bericht /DWD 83/ entnommen und ist in Abb. 40b gezeigt. Auch in der oberen Meßhöhe (130m) ist die Kanalisierung durch das Isartal noch wirksam; das Windrichtungsspektrum in Abb. 40a zeigt ebenfalls noch deutlich ausgeprägtere Maxima als die Spektren von München und Erding.

Der Vergleich der Spektren aus 10m und 130m Höhe (Abb. 40b und a) zeigt, daß bei Ostströmungen Windrichtungsscherungen auftreten; die obere Windrichtung ist im Mittel um etwa $+ 20^\circ$ gegen die untere gedreht. Eine Abhängigkeit von der Schichtungsstabilität konnte nicht erkannt werden. Bei Westströmungen ist die Richtungsscherung zwischen 10m und 130m Höhe im Mittel 0° , vermutlich deshalb, weil die Hauptströmungsrichtung ohnehin genau der Talrichtung entspricht.

10.3 Korrelationen zwischen den Windrichtungen an den Stationen München, Erding und dem Standort KKI

Die Abbildungen 41 a, b, c, d zeigen die Korrelation der stündlichen Stundenmittelwerte der Windrichtungen des Standortes KKI und der Stationen München und Erding bei nicht-stabilen und stabilen Schichtungen aus den Jahren 1984 und 1986. Bei den Fällen mit nicht-stabiler Schichtung (Abb. 41a,b) ist die starke Korrelation der östlichen und westlichen Windrichtungen von München und Erding mit KKI zu erkennen; auch eine Kanalisierung von SW-Winden von München und Erding im Isartal bei 240° wird sichtbar. Die Darstellungen der Korrelation bei stabilen Fällen zeigen die Kanalisierung noch deutlicher: Süd- bis West-Winde in München und Erding häufen sich im Isartal um Richtungen von 250° und NE- bis SE-Winde häufen sich im Isartal bei Richtungen um 90° . In Fällen, bei denen die Windrichtung bei München und Erding senkrecht zur Isartalrichtung weist, insbesondere bei SSE-Winden, gibt es bei stabilen Schichtungen ein breites Band von möglichen Windrichtungen über dem Isartal (obere Windmessung 130m). Windrichtungen von 70° bis 270° sind möglich. In Bodennähe herrschen vermutlich häufig Windrichtungen, die mehr in Talrichtung liegen. Hier sind also große Richtungsscherungen zu erwarten und zum Teil auch komplizierte Strömungen, da die transversale Talanströmung mit der im Tal geführten Strömung konkurriert.

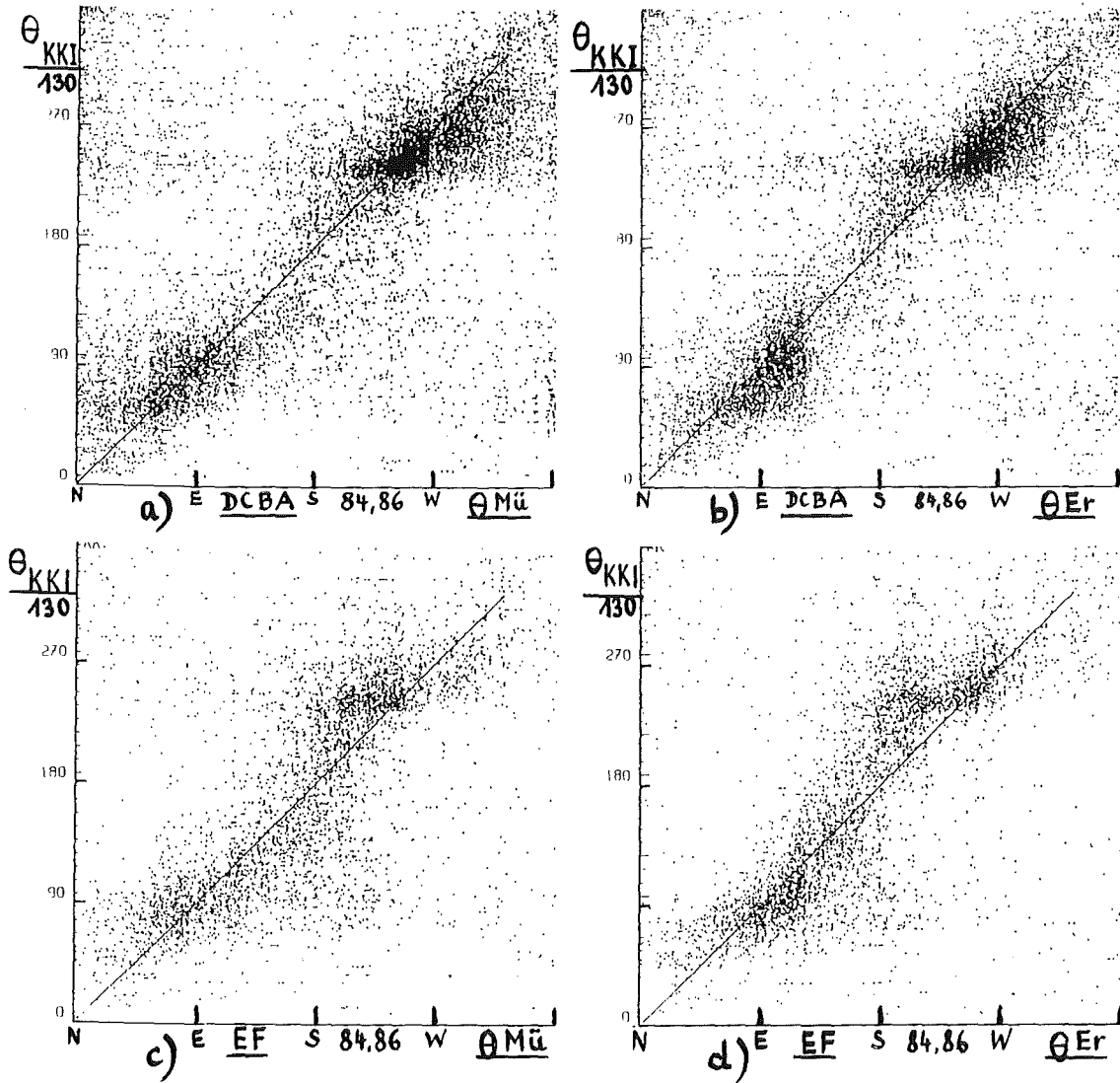


Abb. 41: Windrichtungskorrelationen zwischen KKI und München, KKI und Erding

10.4 Häufigkeiten bestimmter Ausbreitungssituationen

Stabile Schichtungen (Turner-Diffusionskategorien E, F, G) traten in den Jahren 1984 und 1986 in 27% aller Stunden an der Station München auf; entsprechend lagen in 73% der Fälle nicht-stabile Schichtungen vor. Es wurde angenommen, daß diese Werte auch für die Umgebung des Standorts KKI zutreffen.

In ca. 60% aller Fälle lag die Windrichtung in der Richtung des Isartals, sowohl in 10m als auch in 130 m über Grund. Diese Zahl wurde aus den relativen Flächenanteilen des Ostpeaks und des Westpeaks in den Abbildungen 40 a und b erhalten. Dabei wurde eine Peakbreite von $\pm 22.5^\circ$ angesetzt.

Im Ostpeak sind zu 35% Fälle mit stabilen Schichtungen enthalten, im Westpeak zu 19%. Passend dazu treten Fälle mit Windrichtungsscherungen bei talparalleler Ostströmung auf.

Die Fälle mit transversaler Talanströmung treten bei stabilen Schichtungen und geostrophischem Westwind auf. An den Stationen München und Erding wehen dann SE- bis SW-Winde. In den Fällen von SW-Wind tritt Kanalisierung (250°-Peak) auf, in den Fällen von S bis SE-Wind über der Ebene, in die das Isartal eingeschnitten ist, wurden im Isartal in 130 m über Grund Windrichtungen von 110° bis 220° gemessen. Dies ist der Zwischenbereich zwischen Ost- und West-Kanalisierung. Es wird vermutet, daß in Bodennähe mehr östliche, bzw. westliche Richtungen auftreten, was gleichbedeutend mit starken Scherungen ist. Diese Fälle sind auch möglicherweise mit dreidimensional gekrümmten Trajektorien korreliert. In ca. 25% der Fälle mit stabiler Schichtung treten diese Situationen auf. Bei nicht-stabil geschichteten Strömungen treten keine starken Windrichtungsscherungen zwischen Boden und 130 m Höhe auf.

10.5 Schlußfolgerungen für die Ausbreitungsberechnung

In den Fällen mit ausgeprägter Kanalisierung im Isartal (ca. 60%) werden geradlinige Trajektorien ausgehend vom Standort KKI eine gute Beschreibung für die atmosphärischen Transportwege sein. Der orographische Einfluß des Tales wirkt sich hier also eher vereinfachend aus. Nur in ca. 10% aller Fälle werden kompliziertere Trajektorien erwartet. Schwachwindsituationen mit

$u_{10} < 0.5$ m/s traten bei München in ca. 6% der Zeit auf, zu 13.5% bei stabilen Lagen, zu 3.7% bei nicht-stabilen Lagen. Am Standort KKI wurden in 10 m ü.G. dagegen nur in 0.28% der Zeit Calmen registriert /DWD 83/.

Zu den jeweils anwendbaren Rechenmodellen gelten die gleichen Aussagen wie in den vorherigen Kapiteln.

11. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, atmosphärische Ausbreitungsbedingungen an einigen Kernkraftwerksstandorten in der Bundesrepublik unter folgenden Fragestellungen zu untersuchen:

- Wie eindeutig können herrschende Ausbreitungsbedingungen durch die am Standort gemessenen meteorologischen Daten bestimmt werden ?
- Welche Übereinstimmung oder Abweichung zeigen die Meßdaten benachbarter meteorologischer Stationen und unter welchen Bedingungen können sie die Standortmeßdaten ergänzen bzw. ersetzen ?
- Welche standortspezifischen, wiederkehrenden Muster und Häufigkeitsverteilungen von Ausbreitungsbedingungen gibt es ?

Die Frage nach der Bestimmbarkeit der Ausbreitungssituationen aus meteorologischen Standortmeßdaten hängt eng zusammen mit der räumlichen Repräsentativität dieser Meßdaten. Für die direkte, nahe Umgebung des Standorts wird die Situation in der Regel gut beschrieben durch die Windmessungen in verschiedenen Höhen und die Messung der Stabilität der Schichtung. Ausnahmen traten auf bei der Bestimmung der Diffusionskategorie aus der Strahlungsbilanz (Kap. 3.1.b, 3.2.b, 3.3) und aus der Windrichtungsfuktuation (Kap. 3.3). Weiterhin können ungünstig positionierte Windfahnen auch die lokale Windmessung beeinträchtigen (Kap. 7.1).

Sollen Windmeßdaten des Standorts auch für Ausbreitungsrechnungen in 10 km oder 20 km Entfernung vom Standort verwendet werden, so erhebt sich die Frage, unter welchen Bedingungen die Daten noch repräsentativ sind für die Ausbreitung in diesem Entfernungsbereich. Die Auswertung der Winddaten vom Kernkraftwerk Philippsburg und der Wetterstationen Karlsruhe und Mannheim (Kap. 5 und 6) zeigt, daß es ungefähr gleichviele Situationen mit geradlinigen und gekrümmten Trajektorien gibt. Bei stabilen Schichtungen sind gekrümmte Trajektorien und Windrichtungsscherungen die Regel. Die Windmeßdaten der Wetterstationen Karlsruhe und Mannheim sind in solchen Fällen nützliche

Zusatzinformationen. Allerdings sind diese meist nur unter Verwendung von Windströmungsmodellen nutzbar.

Die Bestimmung der Ausbreitungssituation für die Umgebung des Standorts Neckarwestheim ist bei Verwendung der in dieser Untersuchung benutzten Instrumentierung oft nicht eindeutig (Kap. 7). Die zusätzlich zur Verfügung stehenden Winddaten der Stationen Stuttgart-Wetteramt und Flughafen sind nur eingeschränkt zur Bestimmung des Windströmungsfeldes in der weiteren Umgebung des Standorts geeignet. Der zukünftige Einsatz einer SODAR-Anlage am Standort Neckarwestheim dürfte für die Bestimmung der standortnahen Ausbreitungsbedingungen eine wesentliche Verbesserung darstellen.

Am Standort Grafenrheinfeld wurden etwa 50% der Wettersituationen als einfach im Sinne der atmosphärischen Ausbreitung abgeschätzt (Kap. 8.5). In diesen Fällen stimmt auch die Windrichtungsanzeige an der Station Würzburg sehr häufig mit derjenigen am Standort überein. Bei stabilen Schichtungen und Situationen mit geringen Windgeschwindigkeiten wird das Windströmungsfeld in der Umgebung des Standortes orographisch beeinflusst, so daß die Annahme geradliniger Ausbreitung falsch sein kann. Die Winddaten der zusätzlichen Wetterstationen Würzburg und Nürnberg können dann nahezu keinen Beitrag mehr zur Bestimmung des inhomogenen Windfeldes liefern, da diese Stationen zu weit entfernt liegen und unkorrelierte, lokale Strömungen anzeigen. Wird die Kenntnis der Strömungsfelder benötigt, müssen Strömungsmodellrechnungen unter Berücksichtigung der Orographie durchgeführt werden.

Für den Standort Gundremmingen ergibt die Auswertung, daß sehr häufig, in ca. 70% aller Fälle, einfache Situationen mit geradliniger Ausbreitung vorliegen (Kap. 9.4). Der Grund dafür liegt in der geographischen Lage des Donautals zwischen Schwäbischer Alb und den Alpen und in seiner Ausrichtung von SW nach NE, die die ohnehin häufigen Windrichtungen der Region noch weiter bei diesen talparallelen Richtungen anhäuft. In der Mehrzahl der Fälle ist also die Kenntnis der Standort-Windmeßdaten für die Berechnung der Ausbreitung in der Umgebung hinreichend. Die Windrichtungen an den Stationen Leipheim und Laupheim stimmen bei nicht-stabilen Schichtungen gut mit der Windrichtung am Standort überein. Bei stabilen Schichtungen geht diese Übereinstimmung verloren. In der Auswertung ergeben sich Hinweise auf Windrichtungsscherungen. Über die Form der dann herrschenden Strömungsfelder konnte keine Vorstellung gewonnen werden.

Ähnlich wie sich am Standort Gundremmingen die Leiteffekte des Donautals (bzw. der Schwäbischen Alb und des Alpennordrandes) auswirken, zeigen sich am Standort Isar entsprechende Leiteffekte des Isartals. Aus der Auswertung (Kap. 10) folgt, daß sich in etwa 60% aller Fälle ungefähr talparallele Winde einstellen, die geradlinige Ausbreitung bewirken. Bei E- und SW-Winden und nicht-stabilen Schichtungen stimmen die Windrichtungen an den Stationen München-Flughafen und Erding häufig mit der Windrichtung am Standort überein. Als Zusatzstationen zur Bestimmung des Strömungsfeldes sind die Stationen nicht geeignet, da sie nicht genügend im Einflußbereich des Isartals in Standortnähe liegen. Kompliziertere Strömungen sind zu erwarten, wenn das Isartal aus südlichen oder nördlichen Richtungen angeströmt wird; es können sich stationäre Zirkulationen und Windrichtungsscherungen einstellen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Standorte KKP, GKN, KKG, KRB und KKI liegen alle in Flußtälern mit mehr oder weniger stark ausgeprägten orographischen Einflüssen auf die Luftströmungen. Es hat sich gezeigt, daß in ca. 50-70% der (Stunden-) Fälle in der Umgebung der Standorte relativ einfache Ausbreitungsbedingungen herrschen, die mit der Annahme geradliniger atmosphärischer Ausbreitung vereinbar sind. Dabei ist zu beachten, daß die Untersuchung unter der Annahme stationärer meteorologischer Bedingungen gemacht wurde; d.h., die angegebenen Prozentzahlen sind um den Anteil der instationären Situationen zu verringern.

Bei Kernkraftwerks-Standorten, die in weiträumig ebener Umgebung liegen und sich nicht im Einflußbereich von Land-See-Zirkulationen befinden, wird vermutet, daß im Durchschnitt ein noch höherer Anteil mit relativ einfachen Ausbreitungssituationen vorkommt als bei den untersuchten Standorten. Inhomogene Strömungsfelder über ebenem, topographisch einheitlichem Gelände treten nur bei stabilen Schichtungen (Scherung), bei stark konvektiven Lagen, bei Schwachwindlagen, bzw. bei meteorologisch dynamischen Vorgängen (z.B. Frontdurchzug, Gewitter) auf. Solche Bedingungen treten insgesamt in ca. 30% der Zeit auf.

Bei den Untersuchungen hat es sich gezeigt, daß es innerhalb der statistischen Verteilung von Wetterereignissen gehäuft auftretende, wiederkehrende Muster von Windströmungen und Stabilität gibt (Kap. 5.2, 3). Im einfachsten Fall sind das Häufungen im Windrichtungsspektrum einer Station, kompliziertere Fälle

sind z.B. korrelierte Häufungen bei verschiedenen Stationen bei bestimmten Windgeschwindigkeiten, Stabilitäten, etc. Daraus läßt sich die Möglichkeit ableiten, innerhalb gewisser Schwankungsbreiten aus einem Satz gemessener meteorologischer Standortparameter auf die Ausbreitungssituation zu schließen. Das zugehörige Strömungsfeld könnte mit einem geeigneten Modell vorberechnet werden.

Literatur

- DWD 83 Übertragbarkeit von temporären Windmessungen auf längere Zeiträume. Bericht des Deutschen Wetterdiensts, Teil II, Offenbach a.m. 1983
- GRS 87 R. Martens, K. Maßmeyer, W. Pfeffer, G. Haider, G. Morlock: "Bestandsaufnahme und Bewertung der derzeit genutzten Atmosphärischen Ausbreitungsmodelle", Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) mbH, GRS-A-1300, Mai 1987
- NES 80 Nester, K.:
Statistisch äquivalente Verfahren zur Bestimmung von Ausbreitungskategorien. Tagungsberichte des Seminars über "Radioaktive Ableitungen und ihre Ausbreitung in der Atmosphäre nach einem hypothetischen Reaktorunfall" Risø, 22.-25. April 1980, Vol. I, S. 203
- PAE 86 J. Päsler-Sauer: "Comparative Calculations and Validation Studies with Atmospheric Dispersion Models", Kernforschungszentrum Karlsruhe, KfK-Bericht 4164, Nov. 1986

Danksagung

Für die Freigabe und die Beschaffung der KFÜ-Aufzeichnungen der meteorologischen Datenreihen von den Kernkraftwerksstandorten Philippsburg und Neckarwestheim danke ich den Betreibern der Kernkraftwerke und Herrn Dr. Czerwinski von der Landesanstalt für Umweltschutz in Karlsruhe. Weiterhin danke ich den Herren Dr. Eder und Müller vom Landesamt für Umweltschutz in München für das Übersenden der entsprechenden bayerischen KFÜ-Daten.

Den Damen und Herren des Deutschen Wetterdienstes, die für die Bereitstellung der Windmeßdatenreihen gesorgt haben, sei ebenfalls an dieser Stelle gedankt.