

Zeitreihenanalysen und Modellansätze am Beispiel von Wechselwirkungen zwischen Wind- und Strömungsfeld des Neusiedlersees

H. Dobesch

Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik, Hohe Warte 38, 1191 Wien

Kurzfassung: Auf Grund von gemessenen Zeitreihen der Wind- und Strömungsgeschwindigkeiten an mehreren Stationen im und rund um den Neusiedlersee wurde versucht, die Wechselwirkung zwischen Wind- und Strömungsfeldern mittels statistischer und konzeptioneller Ansätze und Modelle zu beschreiben. Dabei wurde sowohl das autoregressive Verhalten der Zeitreihen als auch ihre Wechselwirkungen in der Zeit- und Frequenzdomäne untersucht. Weiters sind auch Box-Jenkins Ansätze und multivariate Modelle erprobt worden. Es stellte sich heraus, daß neben der teilweisen Bestätigung einfacher Beziehungen zwischen Wind und Strömung, für den Neusiedlersee das bereits bekannte windinduzierte Strömungssystem periodenweise für bestimmte Windfeldkonfigurationen ableitbar ist, wobei allerdings die besondere geomorphologische Beschaffenheit (geringe Wassertiefe, Uferverlauf) wesentlich zu berücksichtigen waren. Eine Quantifizierung des Strömungsbildes für den gesamten Seebereich ist mittels der hier verwendeten Ansätze allerdings nicht möglich gewesen. Der Grund dafür ist in der geringen Anzahl und Anordnung der Strömungsmeßstationen zu suchen.

Abstract: Time-Series Analysis and Models as an Example of the Interactions between Wind- and Currents systems of Lake Neusiedl .

Time series of the vectors of wind and current at several stations in and around Lake Neusiedl are used to show the interactions between windfield and currents systems by means of statistical and conceptual models. Beside the autoregressive properties of these time series and their relations in the time and frequency domain, Box-Jenkins and multivariate approaches were investigated. It is shown, that the windinduced currents system which is already known, may be approximated fairly well for certain pattern of the windfield, but a quantification of the current system of the whole lake was not possible due to the few measuring sites and the complicate structure of the geomorphological properties of the lake.

1. Einleitung und Problemstellung

Im Rahmen des von der Arbeitsgemeinschaft Gesamtkonzept Neusiedlersee vorangetriebenen Projektes "Naturraumpotential Neusiedlersee" wurden im Teilprojekt "Erfassung des Nährstoffeintrages und der Strömungsgeschwindigkeit " an jeweils 3 Stellen im See während der Periode Juli - Oktober 1984 und 1985 Strömungsregistrierungen durchgeführt. Gleichzeitig ist auch ein Windmeßnetz betrieben worden. Der Zweck dieser Messungen war es, Zusammenhänge zwischen festem Nährstofftransport und den Strömungsverhältnissen aufzuzeigen. Eine erste diesbezügliche Arbeit ist von Maracek (1985) vorgelegt worden. Ein ausführlicher Bericht, auf dem die folgenden Ausführungen basieren, ist von Dobesch (1987) der Projektleitung vorgelegt worden.

Die klimatologischen Grundlagen, insbesondere das Windfeld, sind bereits sehr ausführlich belegt (Dobesch u.a. (1975), (1982) und (1983), Steinhauser (1970)). Eine Bearbeitung der Pegelschwankungen des Neusiedlersees ist in Hann (1975) zu finden.

Da eine Quantifizierung des Stofftransportes im Neusiedlersee bisher in noch nicht befriedigender Weise erfolgt ist, war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung, Zusammenhänge zwischen Wind- und Strömungsfeld mittels möglichst einfacher statistischer und physikalischer Beziehungen aufzuzeigen unter Verwendung der Meßreihen aus dem vorgenannten Projekt. Im einzelnen sollten Antworten auf folgende Fragen gefunden werden:

- Wie lange und wie stark muß der Wind wehen, um eine bestimmte Strömungskonfiguration hervorzurufen.
- Wie lange und bei welchen Windverhältnissen bleibt das sich einmal eingestellte Strömungssystem aufrecht.
- Welche Unterschiede im Strömungssystem bestehen zwischen Ost- und Westufer bei den beiden Hauptwindrichtungen des Seegebietes.
- Welche Pegelschwankungen sind bei den gegebenen Windverhältnissen zu erwarten.

2. Meßstationen und Daten

Eine Auflistung der Meßstationen ist in Tabelle 1 enthalten, die gemessenen Elemente in Tabelle 2, eine kartenmäßige Darstellung in der Abbildung 1. Von den drei im Jahre 1984 eingerichteten Stationen für die Registrierung des Strömungsvektors ist im Jahr 1985 Rust 2 nicht betrieben worden, dafür aber die Meßstellen Podersdorf und Purbach. Die Pegelregistrierungen stammen vom Amt der Burgenländischen Landesregierung und wurden nach Tabelle 1 an 6 Meßstellen aufgezeichnet.

Für die Strömungsmessungen kamen Geräte der Type RCM4 von Aanderaa Instruments, Norwegen, zum Einsatz, wobei auch eine Temperaturregistrierung angeschlossen war. Eine Beschreibung der Funktion dieser Geräte und die Auswertemodalität ist bei Maracek (1985) gegeben. Alle hier zur Verwendung kommenden Daten wurden händisch als Stundenwerte digitalisiert und in eine Datenbank eingegeben.

3. Methodik

Zur vereinfachten Schreibweise immer wiederkehrender Begriffe wurden folgende Abkürzungen eingeführt:

W, Ws	Wind, Strömungsvektor
FF, DD	Geschwindigkeit, Richtung für Wind

U-K, V-K	U- bzw. V-Komponente lt. Gl. (6) für Wind
FFs, DDs	Geschwindigkeit, Richtung für Strömung
Us-K, Vs-K	U- bzw. V- Komponente lt. Gl. (6) für Strömung
Us-K, Vs-K	U- bzw. V-Komponente lt. Gl. (6) für Strömung
t, δt ,	Zeit, Zeitschritt
f, ℓ	Frequenz, "lag" (=Zeitverschiebung)
P, δP , δPD	Pegelstand, Pegelstandänderung, -differenz
x(t), X(t)	Zeitreihe (ZR)
∇	Operator

3.1 Die Spektrale Varianzanalyse (SVA)

Dieses Verfahren ermöglicht es durch spektrale Aufspaltung der Zeitreihenvarianzen zeitliche Abläufe zwischen 2 oder mehreren ZR objektiv zu analysieren Jenkins u.a. (1968). Da diese Methode nur stationäre ZR sinnvoll interpretierbar macht, wurden auch Filteroperationen durchgeführt, die eine Transformation der Ausgangszeitreihe in eine quasi-stationäre bewerkstelligen. Seien nun in der Folge mit $x(t)$ die originale ZR und mit $z(t)$ die transformierte ZR benannt, so kann eine Filterung der Form

$$z(t) = \nabla^{D1} \nabla_s^{D2} x(t) \quad (1)$$

durchgeführt werden, wobei die Indizes $D1$ die Ordnung der Differenzbildung, s die Länge einer Periode (z.B. Tagesgang) und $D2$ die Ordnung der periodischen Differenzierung darstellen. Die Auswahl der Indizes wurde folgendermaßen getroffen: Elimination eines Trends $D1=1$ oder 2 (linear oder quadratisch), des Tagesganges $D2=0$ bzw. 1 mit dem Tagesperiodenanteil von $s=0$ bzw. $s=24$ (Stunden). Als Zeitschritt t ist das Stundenintervall gewählt worden. Diese erlaubt nach der Nyquistfrequenz $f=1/(2t)$ eine Auflösung von Periodenanteilen von 2 Stunden aufwärts. Folgende Notation wurde für die in der SVA herangezogenen Funktionen verwendet:

Autokovarianzfunktion: AK (l): $l=1,2,\dots,L$ Zeitverschiebung
 Kreuzkovarianzfunktion: KK(l)
 Phasenspektrum: PHA (f): Phasenverschiebung: PHA-V
 Kohärenzspektrum: KOH (f)

3.2. Uni- bzw. multivariate Modellansätze

Zur Herleitung möglicher Beziehungen zwischen den Komponenten von W und W_s wurden Varianten Uni- bzw. Multivariater Modellansätze (wie z.B. jene nach Box u. Jenkins (1970) zur Anwendung gebracht. Ein allgemeiner "Linearer Prozeß" zwischen n Eingangsgrößen x (IP=input) und m Ausgangsgrößen y (OP=output) folgendermaßen ("univariate transfer function model") angeschrieben werden:

$$Y(t) = \sum_{i=1}^L G(i) X(t-i) + A(t) \quad (2)$$

$X(t)$ bzw. $Y(t)$ sind in Gl. (2) Vektoren, sodaß für $Y(t) = [y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t)]$, $X(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]$ und $G(i) = g_{mn}(i)$ die "impulse response matrix" für $i=1, 2, \dots, L$ gilt.

Da die m $y(t)$ i.a. nicht allein durch das erste Glied der rechten Seite von Gl. (2) "vollständig erklärbar" sind, ist das Störglied $A(t)$ (Vektor mit den Komponenten $[a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t)]$) hinzugefügt, wobei die Bedingung erfüllt sein muß, daß die $A(t)$ unkorreliert mit den $X(t)$ sind.

Daraus lassen sich nun einige vereinfachende Modellansätze gewinnen: So hat man z.B. für eine OP und n IPs, sowie für eine feste Zeitverschiebung L bzw. L_j ($j=1, 2, \dots, n$) für die $n \times (t)$

$$y(t) = \Theta_0 + \sum_{i=1}^{R+D_1} \vartheta_i y(t-L-i+1) + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^{R_j+D_{1j}} \Theta_{ij} x_j(t-L_j-i+1) \quad (3)$$

wobei Gl. (3) auch als "autoregressives, multivariates" Modell anzusprechen ist. Θ_{ij} bedeutet hier die Parametermatrix der "Filterkoeffizienten" mit $m \times n$ Gliedern ($m=R_j+D_{1j}$), Θ_0 eine Konstante, ϑ_i die autoregressiven Parameter und R bzw. R_j die Anzahl der AR bzw. der Filterkoeffizienten entsprechend den $G(i)$ in Gl. (2).

Eine weitere Sonderform von Gl. (2) ist das sog. ARIMA (AR= "autoregressiv", MA="moving average", "integrated" =Zahl der Transformationen) Modell nach Box-Jenkins, in dem der autoregressive Anteil von $y(t)$ anstelle der $x(t)$ und die Reihe $a(t)$ anstelle von $A(t)$ in Gl. (2) gesetzt wurde:

$$y(t) = \Theta_0 + \sum_{i=1}^1 \vartheta_i y(t-i) + a(t) + \sum_{j=1}^k \Theta_j a(t-j) \quad (4)$$

(k = Anzahl der AR bzw. MA Parameter, $a(t)$ = ZR mit weißem Rauschen). Dies erlaubt aus der Erklärung des Verhaltens der ZR aus ihrer Vergangenheit eine "1-Schritt" Vorhersage (aus den Werten $y(t-i)$, $i=1, 2, \dots, k$).

Die Abschätzung der Ordnung der ZR, die Auskunft über die zu verwendende Anzahl von Parametern erfolgte mittels des sog. "AKAIKE' schen Informationskriteriums" nach Priesteley (1981)

$$AIF(i) = N \log \sigma^2 + 2i \quad (5)$$

In Gl. (5) bedeuten σ^2 die Varianz der Residuen, N die Anzahl der Fälle, sowie $i=1, 2, \dots, AR+MA+1$ (also die Anzahl der Modellparameter). Um dem vektoriellen Charakter des Windes und der Strömung Rechnung zu tragen, wurde eine Umrechnung in Polarkoordinaten vorgenommen. Damit erhält man die nördlichen

(positiven) bzw. südlichen (negativen) Anteile von W als U -Komponente, die westlichen (negativen) bzw. östlichen (positiven) als V -Komponente in der folgenden Form (für W s sinngemäß U s bzw. V s):

$$U = FF \cos(DD) \quad \text{und} \quad V = FF \sin(DD) \quad (6)$$

Dabei entspricht der Nordrichtung der Wert $DD = 360$ (bzw. 0) Grad. Die hier für die Strömung benutzte Richtungskonvention entspricht jener für die Windrichtung.

4. Ergebnisse

4.1. Allgemeine Überlegungen

Das Zusammenspiel zwischen Windfeld und den damit induzierten Strömungs- und Pegelverhältnissen ist sehr komplex. Es weist nicht nur eine starke räumliche Differenzierung auf Grund der besonderen Gegebenheiten des Neusiedlersees auf, sondern besitzt auch eine Zeitabhängigkeit in dem Sinne, daß bei sonst gleichen äußeren Bedingungen die Strömungskonfigurationen abhängig sind von dem Zeitpunkt ab dem eine Einwirkung angenommen wird. Es war daher das Ziel dieser Arbeit, an Hand der zeitlichen Abläufe der vorliegenden Meßreihen diese Komplexheit aufzuzeigen und statistisch Zusammenhänge zwischen den Einzelkomponenten und ihrer räumlich-zeitlichen Verteilung herzustellen.

4.2. "Gleichzeitigkeitsbetrachtungen" zum Wind- und Strömungsfeld

In der Folge sind die aus einer rein deskriptiven Betrachtung erhältlichen Beziehungen zwischen W und W s auszugsweise aus Dobesch (1987) dargestellt, wobei Elemente bzw. Meßstellen mit zu geringem Datenumfang außer Acht gelassen wurden.

4.2.1. Wind- und Strömungsfeld

FF / FF s: In Illmitz (Abb. 2 a) ist der deutlichste Zusammenhang feststellbar, gefolgt von Podersdorf und Rust; am Westufer wesentlich uneinheitlicher.

Einteilung in die vorherrschenden DD :

Besonders in Illmitz (Abb. 2 b, c) ausgeprägte Dominanz größerer FF s bei NW Winden gegenüber den SO Winden; Rust 2 ähnlich, jedoch mit geringeren FF s; sonst uneinheitlich.

U - K / U s- K : In Illmitz (Abb. 3 a,b) hyperbolische Abhängigkeit, die Dominanz der Einwirkung der nord-westlichen Winde ist hier besonders deutlich, während die Strömungsanteile bei südöstlichen Winden wenig ausgeprägt erscheinen; Podersdorf qualitativ ähnlich. In Rust 2 weniger ausgeprägte Verhältnisse, Rust 1 und Purbach nicht eindeutig interpretierbar.

U - K / V s- K bzw. V - K / U s- K :

U - K Anteile nur geringen Einfluß auf die V s- K ; Abhängigkeit der U s- K von V - K für die westlichen Richtungen am Ostufer deutlich, keine Ausbildung signifikanter östlicher Komponenten; am Westufer keine derartigen Zusammenhänge

FFs bzw. DDs der Stationen untereinander:

FFs: Ausgeprägtere Zusammenhänge in den FFs nur zwischen Illmitz und Podersdorf.

DDs: In Rust 1 fast ausschließlich N oder S Strömung, am Ostufer stärkere Richtungsstreuungen. Zusammenfassend kann festgehalten werden, daß die Windeinwirkung auf die östliche Seite des Neusiedlersees für die auftretenden Strömungskonfigurationen wichtiger ist, als die Wechselwirkungen zwischen Windfeld und Seeoberfläche in den übrigen Seegebieten und zwar unabhängig von der gerade herrschenden Windrichtung.

4.2.2. Richtungshäufigkeitsverteilungen

Wie Kopf (1966) und Jungwirth (1979) zeigten, induzieren nordwestliche Winde eine Strömungskonfiguration im Uhrzeigersinn, wobei die Stationen am westlichen Ufer durchaus bedeutende südliche Strömungskomponenten aufweisen können. Am Ostufer sind Strömungen aus nördlichen Richtungen dominierend (Abb. 4 a,b). An der Westseite des Sees sind dagegen Strömungen aus südlichen Richtungen vorherrschend (Abb. 4c). In Rust 2 sind ebenfalls die südlichen Strömungsanteile überwiegend, allerdings mit einer breiteren Richtungsstreuung und einer ausgeprägteren Nordkomponente als dies z.B. in Rust 1 der Fall ist. Dieses sehr differenzierte Strömungsbild ergibt sich trotz der Tatsache, daß die gleichzeitig auftretenden Windrichtungen an allen Stationen immer sehr einheitlich sind.

4.3. Aussagen, gewonnen aus der SVA

Wie unter Abschnitt 4.2. ist ausführlicher zu diesem Punkt in Dobesch (1987) berichtet.

4.3.1. Zur Andauer von "Wind-" und "Strömungsereignissen"

Da für die Ausbildung einer bestimmten Strömungskonfiguration neben der Intensität auch die Andauer des auslösenden Ereignisses wichtig ist, soll hier untersucht werden, wie lange ein einmal eingetretenes "Windereignis" (d.h. eine Periode in der eine bestimmte Charakteristik des Windfeldes, wie z.B. NW-Windlage über eine gewisse Zeitspanne aufrechterhalten werden "Erhaltungsneigung") signifikant andauert. Für Ws soll sinngemäß das gleiche gelten.

Als Maß für die Trägheit der Angleichung an die Umgebungsbedingungen ist ein Relaxationsparameter (die "Zeitkonstante" τ) herangezogen worden (vergl. Dobesch (1985)). Durch Bildung der Korrelationsfunktion AKK und der Annahme, daß das Abklingen der AKK nach dem Modell

$$\text{AKK}(i) = \exp(-i/\tau) \quad (7)$$

mit $i = 0,1,2,\dots$ der Zeitverschiebung vor sich geht, kann τ berechnet werden. Dabei ist Gl. (7) Lösung des autoregressiven Prozesses 1. Ordnung der Form $x(t) = g_1 x(t-1)$. Die berechneten Werte von τ sind in der Tabelle 3 zusammengefaßt. Man erkennt, daß an der Ostseite τ im Mittel um 1 - 7 Stunden höher als an der Westseite ist, d.h. daß die Winde im Osten stetiger in ihren Geschwindigkeitsverteilungen sind als jene des Westufers. Bei den Strömungen läßt sich ein ähnliches Bild zeichnen, wobei die τ des Ostufers

jene für den Wind noch übertreffen d.h., daß die Erhaltungsneigung einer sich einmal eingestellten Strömung größer als die des Windes ist. Im westlichen Seebereich liegen die τ für Wind und Strömung enger beisammen und sind insgesamt kleiner als im östlichen Teil, wo offensichtlich eher wechselnde Strömungsbedingungen anzutreffen sind.

Diese Befunde sind allerdings insofern einzuschränken, da nicht immer gleiche Datenumfänge für die oben getroffenen Aussagen zur Verfügung standen (vergl. letzte Spalte in Tabelle 3).

4.3.2. Das Windfeld

Die Windverteilung des Neusiedlerseegebietes ist gut belegt (Dobesch u.a. (1975,1983); Steinhauser (1970)), auf die spezifischen Einzelheiten des Windfeldes wird somit hier nicht näher eingegangen. Eine Beschreibung im Sinne der in diesem Abschnitt durchgeführten Betrachtungsweise ist in Dobesch (1987) gegeben.

4.3.3. Das Strömungsfeld

FFs: Die Beträge von W_s sind wesentlich uneinheitlicher als jene von W und die KK bleiben bei weitem geringer. Die $PHS-V$ - so überhaupt berechenbar - sind ebenfalls klein. U_s-K , V_s-K : Im Gegensatz zum Wind läßt sich hier keine Verfeinerung der Aussagen gegenüber FFs feststellen. Lediglich das Vorauseilen der Phasen für die östlichen Seestationen wird angedeutet.

Differenziert man die Reihen für die FFs laut Gl. (1) mit $D_1=1$ ($D_2=s=0$), so erhält man eine Beschleunigung. Wie zu erwarten, bleiben die KK und KOH gering, da durch die Differenzierung der Anteil von unabhängigen Restschwankungen in den ZR größer geworden ist. Illmitz liegt einheitlich mit bis zu einer $PHA-V$ $\pi/3$ vor allen übrigen Stationen, d.h., daß das Einsetzen eines Strömungsereignisses und die Entwicklung einer voll ausgeprägten Strömung hier früher einsetzt. Die Stationen am Ost-Ufer sind untereinander wieder ähnlicher und sprechen etwas früher auf ein Windereignis an als jene am Westufer. Die Aufspaltung in die Einzelkomponenten bringt zum Teil beträchtliche $PHA-V$ in den Einzelprozessen, das Gesamtbild ist aber recht uneinheitlich.

4.3.4. Strömungsfeld in Abhängigkeit vom Windfeld

FF / FFs (nicht differenzierte Werte; Tabelle 4, Fall I): Am Ostufer relativ hohe KK und auch Vorauseilen der gleichsinnigen Anteile eines "Windereignisses" vor jenen der Strömung (in Illmitz um einen ganzen Zeitschritt = 1 Stunde). Am Westufer ist es gerade umgekehrt: die KK sind niedriger und das "Strömungsereignis" scheint um ein bis zwei Zeiteinheiten vor dem "Windereignis" zu liegen d.h., daß hier das Strömungsereignis weniger eng an das Windfeld gekoppelt ist als am Ostufer und die Strömung sich beständiger zeigen kann als der Wind: so wird ein veränderliches Windfeld mit einem gleichmäßigeren Strömungsfeld kombiniert, was sich eben im Nachhinken der Anteile der KK abzeichnet.

KOH : nur für relativ kleine Frequenzen (d.h. längere Perioden zwischen 6 und 12 Stunden) signifikante Anteile aufzufinden.

PHA: durchwegs vorauseilend.

FF/(δFF)_t = Beschleunigung; Tabelle 4, Fall II): Signifikante Zusammenhänge nur an den Stationen am Ostufer und in Rust 2. Dabei sind FF-Anteile mit der Beschleunigung 1 bis 3 Stunden vor dem Beobachtungszeitpunkt positiv und ca. 2 Stunden nachher negativ korreliert (in Rust 2 liegen diese Zeitpunkte weiter auseinander).

Dies heißt, daß die stärkste Wechselwirkung zwischen FF und Beschleunigung beim Aufbau einer bestimmten Strömungskonfiguration eintritt, dann relativ schnell abfällt und nach 2 bis 4 Stunden (vom Eintritt an) sogar gegenläufiges Verhalten zeigt. Die KOH besitzen - soweit interpretierbar - ihr Maximum durchwegs bei niederen Frequenzen; die PHA-V sind vorauseilend.

Die Annahme, daß infolge der Lage der Maxima der KOH im langperiodischen Zeitbereich (hier die Tagesamplitude des Windes) eine Rolle spielt, ist nicht stichhältig, wie Spalte III in Tabelle 4 beweist: auch bei der Differenzierung der FF keine Veränderung in den KOH, ebenso nicht, wenn man eine saisonale Differenzierung (mit der Periode des Tagesganges) heranzieht.

Dies läßt den Schluß zu, daß die unmittelbaren Wechselwirkungen zwischen FF bzw. Beschleunigungen gegenüber den sich einmal eingestellten Konfigurationen zurücktreten, und sich das Strömungssystem erst längerfristig (also von 6 Stunden aufwärts) wieder auf eine von außen induzierte Veränderung einzustellen beginnt.

Eine Stützung dieser These lassen die Strömungskomponenten zu:

Die Us-K tritt gegenüber den Vs-K zurück; die N-S Anteile sind stark negativ mit der Windgeschwindigkeit korreliert, d.h. wiederum, daß bei ausgeprägten Windereignissen die Strömungskomponenten in Richtung Süd überwiegen, auch wenn z.B. südliche Winde wehen.

4.3.5. Pegelstandsänderungen in Abhängigkeit vom Windfeld

Da die Pegelstände einen starken negativen Trend aufweisen (was der natürlichen Wasserstandsabnahme während der Sommermonate entspricht), wurden die ZR des Pegels einer Differenzenfilterung mit $D1=1$ entsprechend Gl. (1) unterworfen, was einer Geschwindigkeit entsprach.

FF / δP : In Illmitz bestehen für alle Windereignisse zusammengenommen nur wenig deutliche Beziehungen (Tabelle 5); bei der Aufspaltung in NE bzw. SE Richtungen sind die δP wesentlich deutlicher mit dem Windereignis gekoppelt: Bei NW Winden sind die δP in der "Vergangenheit" (immer gesehen vom Augenblick $Lag=0$) positiv korreliert und in der "Zukunft" negativ mit einem jeweiligen Maximalwert von 2 Stunden vor bzw. nach dem Zeitpunkt $Lag=0$.

Bei SO Winden sind die Vorzeichen gerade umgekehrt und die maximale Korrelation um 4 Stunden in die "Zukunft" gerückt. Dies bedeutet, wie nicht anders zu erwarten, daß bei höheren FF aus NW sich größere positive δP einstellen, aus SO größere negative.

Für den Pegel A79 gilt ähnliches, jedoch sind die Zeitverschiebungen der Extreme in den KK gegenüber $Lag=0$ durchwegs positiv, d.h. bei sowohl gleichsinnigem (P und FF aus NW nimmt zu) als auch bei gegenläufigem (bei S0 Winden) Verlauf der beiden Prozesse, wobei die Verschiebungen im negativen Bereich bis zu 9 Stunden betragen können.

Die Aufspaltung in die Windrichtungssektoren NW und S0 zeigt dies deutlich, da sich sowohl bei den FF als auch bei den U- und V-K die Vorzeichen der KK zwischen NW und S0 Winden bzw. U- und V-K gerade umkehren.

Die KOH liegen durchwegs im langperiodischen Bereich, was durch den Tagesgang der FF erklärt werden könnte. Die PHA-V sind in den U-K und in den NW Richtungsanteilen nur bis zu 120 Grad verschoben, in den V-K und S0 Anteilen bis zu 360 Grad.

4.3.6. Pegelstandsdifferenzen (δPD) in Abhängigkeit von den Windverhältnissen

Um den Zusammenhang zwischen dem Windfeld und den δPD darzustellen, wurden die Differenzen zwischen den Pegeln Neusiedl und Illmitz einerseits und A79 andererseits stündlich berechnet. Aus Tabelle 6 ist zu ersehen, daß die maximalen KK immer 1 - 3 Stunden nach dem Windereignis einsetzen und durchwegs relativ hohe Werte erreichen, bei den südlichen Komponenten mit entgegengesetztem Vorzeichen, mit recht hohen PHA-V.

Die Beziehungen zwischen Windereignis und δPD sind - wahrscheinlich infolge der Orographie des Sees - zwischen Pegel Neusiedl und A 79 weniger gut ausgeprägt als zwischen den Pegeln Neusiedl und Illmitz. Die deutlichsten Ergebnisse bringen die Komponentendarstellungen mit KK bis 0,8 und Zeitverschiebungen um ca. 1 Stunde (für Illmitz) und ca. 3 Stunden (für A79). Die PHA-V bleiben in dem niederfrequenten Bereich gering (max. bis 90 Grad). Die KOH haben ihr Maximum bei Perioden von ca. 6 Stunden in den U-K und - infolge der Längserstreckung sehr viel uneinheitlicher - bis 5-8 Stunden in den V-K.

4.4. Modellansätze

Um zu prüfen, ob hinter den bisherigen Beschreibungen über die Schwankungsanteile und "Ähnlichkeiten" im Zeit- und Frequenzbereich auch brauchbare physikalische Beziehungen der beteiligten Element bestehen, soll der folgende Abschnitt dienen.

4.4.1. Physikalische Beziehungen zwischen Wind- und Strömungsgeschwindigkeit

Der Impulsaustausch zwischen Atmosphäre und Wasserkörper erfolgt in idealisierter Form mittels der vom Wind auf die Wasseroberfläche ausgeübten Schubspannung

$$T = \rho' u^{*2} \quad (8)$$

(ρ' die Luftdichte, u^* die Schubspannungsgeschwindigkeit des Windes u). Eine Parametrisierung des Impulsaustausches kann erzielt werden, wenn man die Schubspannung in der Form

$$T = \rho' C_d u^2 \quad (9)$$

mit u proportional setzt. C_d ist mit $1,3 \times 10^{-3}$ anzunehmen (Dobesch (1985)). In der einschlägigen Literatur (z.B. Defant (1961), Hutchinson (1957)) sind zahlreiche weitere Ansätze und Beziehungen - allerdings meist für die Bedingungen des Meeres - zwischen den hier angeführten Größen angegeben. So gewinnt Ekman (in Defant (1961) zitiert) aus dem Ansatz einer reinen Driftströmung eine Beziehung zwischen der Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche des Wasserkörpers U_0 (Dichte ρ) und T

$$U_0 = \pi T / (\sqrt{2 D f \rho}) \quad (10)$$

wobei D die "Tiefe des Reibungswiderstandes" und f den Coriolisparameter bedeutet ($= 1,01 \times 10^{-4}$ für unsere Breiten).

Ekman zeigte auch, daß entsprechend der Corioliskraft eine Ablenkung der Strömung nach rechts auf der Nordhalbkugel stattfindet ("Ekman Spirale"), jedoch hier für den Neusiedlersee infolge seiner relativ geringen Ausdehnung nicht berücksichtigt wurde. Eine Umformung von Gl. (10) gibt für

$$U_0 = T / \sqrt{A_m \rho f} \quad (10a)$$

mit A_m dem turbulenten Reibungskoeffizienten für den Thorade (in Defant, 1961; zitiert) näherungsweise $A_m \approx 1,03 u^3$ für $u < 6$ m/s nimmt.

Setzt man diesen Wert zusammen mit Gl. (9) in Gl. (10a) ein, so gewinnt man die Näherung $U_0 \approx 0,59 \sqrt{u}$, (U_0 in cm/s). Weiters erhält man mit Gl. (10a), Gl. (9) und $C_1 = \rho' C_d / \sqrt{A_m \rho f}$ die einfache Beziehung

$$U_0 = C_1 u^2 \quad (11)$$

Aus Tankversuchen leitete Keulegan und Van Dorn an einem künstlichen Teich (zitiert in Hutchinson) für laminare Strömung $C_1 = 57,8 \times 10^{-8} \rho D / \mu$ (μ dynamische Viskosität) ab. Wittig (zitiert in Hutchinson) fand

$$U_0 = C' \sqrt{u} \quad (11a)$$

mit $C' = 0,48$ also etwa dem oben genannten Wert von 0,59 entsprechend.

Um den durch die Schubspannung bedingten Aufstau des Wassers zu ermitteln, wurde der Ansatz nach Sverdrup (zitiert in Hutchinson) verwendet, der von der Modellannahme eines langgestreckten Sees, dessen Hauptachse in der Windrichtung liegt, ausgeht. Die Neigung der Wasserfläche unter Windeinwirkung berechnet sich danach mit

$$I = - C_2 T / (g \rho D) \quad (12)$$

(g Schwerebeschleunigung und $1 \leq C_2 \leq 1,5$). Es kann für flache Seen (nach Van Dorn, zitiert in Hutchinson) $C_2 = 1,1$ gesetzt werden.

An Hand der vorliegenden Daten ist T nach Gl. (9), damit u^* nach Gl. (8) und A_m nach Gl. (10 a) berechnet worden. Weiters wurde der Faktor C_1 in Gl. (11) abgeschätzt, ebenso wie die Neigung I nach Gl. (12). Die Ergebnisse sind in der folgenden Aufstellung enthalten und zwar nur hinsichtlich der hier interessierenden Größen C_1 , C_2 und I .

Wind		$C_1 \cdot 10^3$	C_2	Ill. 10^6^* (m/m)	I_2^{**} (m/m)
NW	> 5m/s	1,4±0,4	0,3±0,1	11,2±2,3	1,2±1,2
	< 5m/s	1,4±0,4	0,6±0,5	2,7±1,4	1,0±1,3
SE	> 5m/s	1,4±0,4	0,6±0,3	3,2±0,5	3,3±1,4
	< 5m/s	1,4±0,4	1,0±0,6	1,7±0,4	1,6±0,8

* berechnet nach Gl. (20)

** I_2 berechnet aus den δPD zwischen Neusiedl und Illmitz

Man erkennt sofort, daß C_1 mit C_d in Gl. (9) gleichgesetzt werden kann (für $u > 2\text{m/s}$). C_2 ergibt um ca. eine halbe Größenordnung geringere Werte als nach der Theorie gefordert, außer etwa bei leichten südöstlichen Winden. Dies läßt sich aus der zu geringen Größe des Reibungswiderstandes für den Neusiedlersee in Gl. (10) erklären, da für eine Anwendung dieser Gleichung ein $D > 10\text{ m}$ gefordert wird. Bei den I_2 fällt auf, daß nur bei stärkeren Nordwestwinden ($> 5\text{ m/s}$) diese Differenz zwischen Neusiedl und Illmitz bzw. Neusiedl und A 79 immer negativ ist, bei schwächeren Winden aus Nordwest ist dies nicht mehr der Fall, was offenbar mit Rückströmungsvorgängen zusammenhängt.

Die Differenzen bei südöstlichen Winden sind dagegen immer positiv. Durch Multiplikation der I (bzw. der I_2 Werte) mit der Distanz zwischen den Pegeln kann die aktuelle δPD gewonnen werden.

4.4.2. Numerische Modelle

4.4.2.1. Einfache Ausgleichsmodelle

Eine Serie von Beziehungen zwischen dem Strömungs- und Windfeld läßt sich aus den Darstellungen der Abbildungen 2 - 4 und deren Erweiterung zu einfachen Ausgleichsmodellen (nach der Methode der kleinsten Quadrate) der Form $y(t) = a + b \cdot x(t)$ mit $y(t) = f(\text{FFs})$ und $x(t) = f(\text{FF})$ finden (Tabelle 7). So kann z.B. der Wert von C_1 in Gl. (11) aus Modell 9 für Illmitz (mit $a = 0,046$) mit $b \int C_1 = 0,0011$ bestätigt werden. Ferner läßt Modell 4 erkennen, daß die Konstante in der Beziehung (11 a) (ursprünglich für Meeresgebiete abgeleitet) um ca. 1 Größenordnung kleiner am Neusiedlersee ausfällt. Aus Modell 1 kann eine brauchbare Schätzformel für die Beziehung zwischen FF und FFs beispielsweise für Illmitz mit $U_0 = 0,019 + 0,016u$ (Korrelationskoeffizient = 0,90) berechnet werden, wenn U_0 und u in m/s angegeben werden. Die Komponentendarstellung bringt nur mit Modell 8 (hyperbolische Beziehung) brauchbare Resultate.

4.4.2.2. Univariate Modelle

Die Ordnung der beteiligten ZR, berechnet nach dem Kriterium Gl. (5), ist in der Tabelle 8 neben den notwendigen Transformationen zusammengestellt. Während FF noch durch ein einfaches AR (1) Modell beschreibbar ist, muß es bei der Strömung mindestens ein ARMA (3,2) Ansatz sein. Die Komponentendarstellung erfordert infolge der Einbeziehung der Richtungsinformation eine höhere Anzahl von Parametern, insbesondere der MA-Anteile. Den ZR der δP schien am besten ein ARIMA-(3,1,1) Modell zu entsprechen, den δPD ein (1,0,0) oder (1,0,1) Modell. Die Ergebnisse nach Gl. (4) sind in der Tabelle 9 zusammengefaßt. Deutlich hervortretend sind die im Vergleich zu den V Komponenten größeren Restvarianzen (WNV) in den Us-K, ein Verhalten, das schon in vorangegangenen Abschnitten immer wieder aufgefallen ist. Bemerkenswert ist die geringe Restvarianz bei den δPD , was auf eine sehr gute Erfassung durch das Modell hinweist.

Da dieser Abschnitt nur das Verhalten der ZR unabhängig von den Umgebungsbedingungen zum Inhalt hat, soll im nächsten Abschnitt wieder das Schwergewicht auf die Verknüpfung verschiedener ZR gelegt werden.

4.4.2.3. Univariates Transfer Modell

In diesem Abschnitt sollen Prozesse der Form nach Gl. (2) mit einer Eingangsgröße und einer Ausgangsgröße eines dynamischen Systems behandelt werden. Dieses Modell scheint für eine numerische Bestimmung der FFs aus FF günstig zu sein. Denn setzt man in Vereinfachung von Gl. (2) für $FFs = y(t)$

$$y(t) = f_{AR}(y(t-i)) + F_{MA}(x(t-j)) + a(t-k) \quad (2a)$$

wobei die Indizes "AR" bzw. "MA" die Funktionen mit autoregressiven bzw. moving-average Anteilen bezeichnen sollen (mit $i=1,..L$; $j=0,..M$; $k=0,..N$) und $F(x)$ die "verursachende" Windfunktion, so läßt sich Gl. (7a) dahin interpretieren, daß sich die Strömungsgeschwindigkeit aus einem autoregressiven Anteil (der noch aus der "Vergangenheit" wirksam ist), einer Verursacherfunktion (dem Wind) und einem Zufallsanteil $a(t)$ zusammensetzt.

Die berechneten Koeffizienten und eine Güteabschätzung für die Verifizierung sind in Tabelle 10 festgehalten. Im Gegensatz zu den Werten aus Tabelle 9, wo nur der autoregressive und der Zufallsanteil an der Strömung Berücksichtigung fand, sind hier Verbesserungen hinsichtlich der Genauigkeit der "Erklärung" der Strömungsanteile (infolge der Einbeziehung der Verursacherwirkung) deutlich festzustellen (vergl. die beiden WNV Anteile der FFs), wenn auch der Rechenvorgang komplexer ist. Während bei Illmitz und Rust 2 für die AR- und MA-Anteile ein ARIMA (2,0,1) ausreicht, ist es bei Rust 1 ein (3,0,2) Modell. Auch liegt die mittlere Abweichung der tatsächlichen zu den berechneten FFs bei Rust 1 bereits im Bereich der mittleren FFs (was wieder auf die große Uneinheitlichkeit der Strömung am Meßpunkt Rust 1 deutet), sodaß eine Anwendung von Gl. (2 a) nur für Illmitz und Rust 2 als gelungen zu bezeichnen ist. Der größere Strömungsanteil bei Illmitz erklärt sich aus der gegenüber den anderen

Stationen relativ höheren FFs. In Tabelle 10 sind außerdem die PD zwischen Illmitz und Neusiedl bzw. A79 und Neusiedl aufgenommen mit einem ARIMA (2,0,1) Modell. Die konstant negativen Werte von \hat{x} (d.h. berechnete Werte > gemessene) können durch Einführung einer Konstanten (z.B. wie der MAC in Tabelle 9) minimiert werden.

4.4.2.4. Multivariate Modelle

In diesem Abschnitt wurden die Ansätze nach Gl. (3) näher untersucht. Die Kombination zwischen Eingangs- bzw. Ausgangsgrößen bietet sich für die einzelnen Meßpunkte die Komponente (U,V) des Windes bzw. der Strömung an (U_s, V_s). Damit läßt sich mit 2 Filterkoeffizienten (Zeitverschiebung Lag = 1) folgendes Schema entwickeln:

$$U_s(t) = a_{11} U(t) + a_{12} U(t-1) + b_{11} V(t) + b_{12} V(t-1) \quad (3a)$$

$$V_s(t) = a_{21} U(t) + a_{22} U(t-1) + b_{21} V(t) + b_{22} V(t-1)$$

Die Werte der Filterkoeffizienten sind in Tabelle 11 angeführt. An den errechneten Werten erkennt man, daß die Restvarianzen (WNV) für Illmitz wesentlich geringer sind als die von Rust 1 oder Rust 2. Für Rust 1 wären auf Grund der zum Teil sehr kleinen Filterkoeffizienten eine Reduzierung der Anzahl der beteiligten Parameter möglich, jedoch steigt auf diese Weise wieder die Restvarianz an.

4.5. Möglichkeiten der Erstellung eines konzeptionellen Modelles

In diesem Abschnitt sollen kurz Möglichkeiten diskutiert werden, welche auf Grund der vorangestellten Analysen und auf Grund bestimmter physikalischer Beziehungen für eine analytische Lösung des Strömungsproblems erfolgversprechend erscheinen.

Unter einem konzeptionellen Modell versteht man i.a. eine Systembeschreibung, in dem sowohl statistische als auch physikalische Beziehungen und Verfahren Eingang finden. Aus der einschlägigen Literatur lassen sich eine Vielfalt von Deutungsmöglichkeiten der hier besprochenen Modelle entnehmen. So entspricht dem AR (1) Modell nach Gl. (2 a), setzt man für $X(t) = Y(t)$, also $Y(t) - g_1 Y(t-1) = A(t)$ die stochastische Differenzialgleichung $dY(t)/dt + g_1 Y(t) = A(t)$. Mit $A(t) = 0$ und $g_1 = (1-g_1)/g_1$ ergibt sich eine Lösung als komplementäre Funktion in der Form $C g_1^t$ (was in Abschnitt 4.4.1. im Zusammenhang mit der Berechnung der Zeitkonstanten Verwendung fand). Zusammen mit der partikulären Lösung kann somit für ein AR Modell der Form von Gl. (2 a)

$$Y(t) = C g_1^t + \sum_{s=0}^{\infty} g_1^s A(t-s) \quad (2b)$$

angesetzt werden, was z.B. für die FF als AR(1) Prozeß anwendbar ist (vergl. Tabelle 9). Denn so kann die momentane FF zusammengesetzt gedacht werden aus einem charakteristischen zeitabhängigen Wert (der Zeitkonstante), also dem zeitlichen Abklingen eines einmaligen Geschwindigkeitsimpulses im betrachteten System und einem nachfolgenden neuerlichen Impuls, der mit dem vorangegangenen nicht in einem zeitlichen Zusammenhang steht ("forcing function").

Die Reihen der Beschleunigungen können als AR (2) Modell dargestellt werden und geben in der obigen Schreibweise

$$d^2 Y(t)/dt^2 + g_1' dY(t)/dt + g_2' Y(t) = A(t), \quad (13)$$

was formal der Differentialgleichung für das Pendel entspricht. Dabei stehen die g_i' mit den g_i -Koeffizienten in den Beziehungen

$$g_1' = -(g_1 + 2g_2)/(g_2 \cdot \delta t) \text{ und } g_2' = (1+g_1+g_2)/(g_2 \cdot \delta t),$$

wobei aus Gründen der Stationarität beim Grenzübergang $t \rightarrow 0$ auch $g_1 \rightarrow -2$ und $g_2 \rightarrow 1$ gelten muß. Auch hier können mehrere Lösungsansätze verfolgt werden, wobei der Fall mit $g_1' \neq 0$, $g_2' > 0$ und $A(t) \neq 0$ ("forcing function" = ZR des Windes) für das hier vorliegende Problem passend erscheint.

Bei der Lösung der sog. "Flachwassergleichungen" (Backhaus (1976), Duwe u.a. (1983) wo die Bewegungsgleichungen zur Berechnung der Transportvorgänge in flachen Wattgebieten unter der Annahme eines modifizierten Newton-Taylor Reibungsansatzes so in ein "Strömungsmodell" modifiziert werden, daß zur numerischen Lösung die Differentialgleichungssysteme in Differenzgleichungen umgewandelt werden, kann eine Vereinfachung in folgender Weise angebracht werden: Mit der Kenntnis des "ARIMA-Verhaltens" der beteiligten ZR können die zeitlichen Ableitungen der Transportkomponenten anstelle der aufwendigen Differenzenapproximationen mit Modellen nach Gl. (2a) oder (4) beschrieben werden. Bei den räumlichen Ableitungen wäre prinzipiell das gleiche möglich, jedoch ist im vorliegenden Fall die Meßpunktdistanz als zu groß und die Meßpunktdichte als zu gering einzuschätzen, gleichzeitig müßten gewisse Randbedingungen für die räumliche Orientierung des Strömungsverhaltens in Ufernähe angebracht werden.

Literatur

- Backhaus, J., 1976: Zur Hydrodynamik im Flachwassergebiet. Ein numerisches Modell. Deutsche Hydrogr. Zeitschrift, Heft 6, 29.
 Box, E.B., G.M.Jenkins, 1970: Time Series Analysis, Forecasting and Control. Holden Day, San Francisco
 Defant, A., 1961: Physical Oceanography. Vol. 1 Pergamon Press Oxford.
 Dobesch, H., F.Neuwirth, 1975: Kleinräumige Unterschiede des Windfeldes im Südteil des Neusiedlersees. Wetter und Leben 27.

- Dobesch, H., 1981: On the Evaluation of Time-Constants in stagnant Water Bodies. Arch.Met.Geoph.Biokl.,Ser.A,30.
- Dobesch, H., F. Neuwirth, 1982: Die Beiträge der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zum Internationalen Hydrologischen Programm 1975-1980. Wetter und Leben 34.
- Dobesch, H., F. Neuwirth, 1983: Das Klima des Raumes Neusiedlersee. In der Reihe Raumplanung Burgenland 1983/1.
- Dobesch, H., 1985: Zur Parametrisierung der potentiellen Verdunstung durch dimensionslose Kenngrößen. Arch.Met.Geoph.Biokl., Ser.A 33.
- Dobesch, H., 1987: Windinduzierte Strömungscharakteristiken und Pegelschwankungen des Neusiedlersees, dargestellt mittels multivariater Zeitreihenanalyse und Modellansätze. Forschungsbericht im Rahmen der Arbeitsgemeinschaft Neusiedlersee (unveröffentlicht).
- Duwe, K., C. Sterll, 1983: Dreidimensionale Modellierung der baroklinen Zirkulation in Seen und Tideästuarien mit Anwendung auf die Unterelbe und den Züricher See. In: 27. Seminar Seenströmungen. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, München.
- Hann, W., 1975: Seespiegelschwankungen des Neusiedlersees. Dissertation Universität Wien
- Hutchinson, E., 1957: A Treatise on Limnology. Vol. 1. J.Wiley & Sons, New York
- Jenkins,G.M., D. Watts, 1968: Spectral Analysis and its Applications. Holden Day, San Francisco
- Jungwirth, M., 1979: Currents. In: The Limnology of a shallow Lake in Central Europe, ed. Löffler, W.Junk Publ.
- Kopf, F., 1966: Strömungsmessungen im Neusiedlersee - österreichischer Teil (1966) (unveröffentlicht).
- Maracek, K., 1985: Untersuchung über strömungsbedingte interne Stoffverlagerungen im Neusiedlersee; Diplomarbeit, Inst. f. Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur
- Priestley, M.B., 1981: Spectral Analysis and Time Series. Academic Press, New York
- Steinhauser, F., 1970: Kleinlimatologische Untersuchungen der Windverhältnisse am Neusiedlersee
1. Teil: Die Windrichtungen, 2. Teil: Die Windstärken. Időjárás 74

Tabelle 1: Lage der Meßstationen im Neusiedlersee

a) Pegel		
	östlich von Greenwich	
A79	16°45'01''	47°40'54''
ILLMITZ	16°45'13''	47°46'13''
MÖRBISCH	16°41'59''	47°45'07''
BREITENBRUNN/See	16°46'14''	47°55'00''
BREITENBRUNN/Schilf	16°45'41''	47°55'23''
NEUSIEDL	16°50'22''	47°55'41''
b) Strömung		
1984		
RUST2	16°43'00''	47°47'01''
ILLMITZ	16°45'05''	47°46'44''
1985		
RUST1	16°42'13''	47°47'06''
ILLMITZ	16°45'05''	47°46'44''
PODERSDORF	16°50'02''	47°52'11''
PURBACH	16°44'41''	47°53'32''
c) Wind		
1984		
RUST	16°42'19''	47°48'15''
St. MARGARETHEN	16°38'30''	47°48'03''
ILLMITZ	16°45'13''	47°46'13''
1985		
RUST	16°42'19''	47°48'15''
ILLMITZ	16°45'13''	47°46'13''
PURBACH	16°44'44''	47°54'07''
PODERSDORF	16°49'48''	47°51'40''

Tabelle 2: Liste der Elemente und Meßzeiträume des verwendeten Datensatzes (tatsächlich vorhandene Daten in % der möglichen innerhalb des jeweiligen Meßzeitraumes)

Station	Element		1984	1985
ILLMITZ	Windgeschwindigkeit (1/10 m/sec) und -richtung (360 Grad)	Juli	71	100
		August	96	100
		September	100	100
	Strömungsgeschwindigkeit (1/10 cm/sec) und -richtung (360 Grad)	Juli	50	37
		August	39	63
		September	-	95
RUST	Windgeschwindigkeit (1/10 km/h) und -richtung (360 Grad)	Juli	62	100
		August	100	100
		September	100	100
RUST1	Strömungsgeschwindigkeit 1 (1/10 cm/s) und -richtung (360 Grad)	Juli	50	91
		August	98	39
		September	87	-
RUST2	Strömungsgeschwindigkeit (1/10 cm/s) und -richtung (360 Grad)	Juli	57	-
		August	69	-
RUST1	Strömungsgeschwindigkeit 2 (1/10 cm/s) und -richtung (360 Grad)	August	59	-
		September	25	-
PODERSDORF	Windgeschwindigkeit (1/10 km/h) und -richtung (360 Grad)	Juli	-	50
		August	-	77
		September	-	100
	Strömungsgeschwindigkeit (1/10 cm/s) und -richtung (360 Grad)	Juli	-	72
		August	-	15
		September	-	95
PURBACH	Windgeschwindigkeit (1/10 km/h) und -richtung (360 Grad)	Juli	-	50
		August	-	82
		September	-	52
	Strömungsgeschwindigkeit (1/10 cm/s) und -richtung (360 Grad)	August	-	8
		September	-	86
BREITENBRUNN	Schilf Pegel (cm)	Juli	99	99
		August	100	100
		September	100	98
BREITENBRUNN	Wasser Pegel (cm)	Juli	94	99
		August	100	100
		September	100	98
ILLMITZ	Pegel (cm)	Juli	96	99
		August	100	100
		September	100	98
NEUSIEDL	Pegel (cm)	Juli	96	99
		August	100	98
		September	100	92
MÖRBISCH	Pegel (cm)	Juli	96	99
		August	100	100
		September	100	98
A79	Pegel (cm)	Juli	-	100
		August	-	100
		September	100	100

Tabelle 3: Die Zeitkonstanten (in Stunden) für Wind- und Strömungsgeschwindigkeit
(letzte Spalte: vorhandene Daten in % der maximal möglichen)

Windgeschwindigkeit

Ort	Jahr	Monat	Zeitkonstante	%
ILLMITZ	1984	Juli	18,8	71
		August	12,9	96
		September	9,2	100
	1985	Juli	8,1	100
		August	20,6	100
		September	8,8	100
RUST1	1984	Juli	11,6	62
		August	12,8	100
		September	6,1	100
	1985	Juli	7,5	100
		August	17,2	100
		September	6,4	100
PODERSDORF	1985	Juli	8,7	50
		August	20,2	77
		September	9,2	100
PURBACH	1985	August	14,1	82
		September	6,3	52

Strömungsgeschwindigkeit

ILLMITZ	1984	Juli	18,3	50
		August	18,0	39
	1985	August	28,4	63
		September	10,2	93
RUST1	1984	Juli	11,5	50
		August	12,7	98
	1985	Juli	7,3	91
		August	8,4	39
RUST2	1984	Juli	7,7	57
		August	8,4	69
PODERSDORF	1985	Juli	13,2	72
PURBACH	1985	September	7,3	86

Tabelle 4: Kreuzkorrelationen (KK, 1. Zeile Maximalwert; 2. Zeile Verschiebung dieses Maximums gegen Lag=0 in Stunden), Kohärenz- (K) und Phasenspektren (PH in Grad, r=rückläufig, v=eilt voran) der Strömungsgeschwindigkeiten (ffs) in Abhängigkeit von den Windgeschwindigkeiten (ff) an einer Station (I=ungefilterte, II= mit D1=1 gefilterte ffs, III=mit D1=1 gefilterte ff und ffs)

ffs:	I			II			III		
	KK	K*	PH	KK	K**	PH	KK	K*	PH
ILLMITZ	0,90 +1	<0,17 6,0	0-90v	+0,20/-0,20 -1/+2	0,13 8,0	-	0,50 +1	<0,25 4,0	0-180v
RUST 2	0,70 0	<0,13 8,0	0-60v	+0,20/-0,20 -3/+2	0,08 12,0	-	0,25 0	<0,08 12,0	0
RUST 1	0,50 -1	<0,08 12,0	0-60v	- -	- -	- -	- -	- -	-
PODERSDORF	0,80 0	<0,17 6,0	0-120v	+0,20/-0,20 -1/+2	0,13 8,0	0-90v	0,50 -1	<0,21 4,8	0-60v
PURBACH	0,60 -2	- -	-	- -	- -	- -	- -	- -	-

Tabelle 5: Kreuzkorrelationen (KK, 1. Zeile Maximalwert; 2. Zeile Verschiebung dieses Maximums gegen Lag=0 in Stunden), Kohärenz- (K)* und Phasenspektren (PH in Grad, r=rückläufig, v=eilt voran) der Windgeschwindigkeiten mit den Pegelstandsänderungen (Pegel gegen Wind)

Pegel	Illmitz			Illmitz			A-79		
	KK	K	PH	KK	K	PH	KK	K	PH
Wind:									
ILLMITZ	0,10/-0,10 -2/+2	0,08 12,0	90-180r	NW:0,25/-0,20 -2/+2	0,08 12,0	90-120r	0,20/-0,20 +2/+7	0,13 8,0	-
				SE:-0,15/0,20 -2/+4	0,08 12,0	90-270r			
Pegel:									
		A79			A79				
ILLMITZ	NW:+0,25/-0,30 +1/+8	0,13 8,0	0-120r	U+0,35/-0,40 +2/+8	0,08 12,0	0-90r			
	SE:-0,35/+0,30 +1/+9	0,08 12,0	180-360r	V-0,25/+0,20 +1/+8	0,08 12,0	180-360r			
Pegel:		Rust							
RUST 1	0,35/-0,35 +3/+9	0,17 6,0	60-270r						

*Angabe der Frequenz (darunter die Periode) für Max(K)

Tabelle 6: Kreuzkorrelationen (KK, 1.Zeile Maximalwert; 2.Zeile Verschiebung dieses Maximums gegen Lag=0 in Stunden), Kohärenz- (K)* und Phasenspektren (PH in Grad, r=rückläufig, v=eilt voran) zwischen Windkomponenten und Pegelstandsdifferenzen (Windgeschwindigkeit=ff)

		Neusiedl/Illmitz			Neusiedl/A-79		
		KK	K	PH	KK	K	PH
ff	:	0,60	<0,21	0-60v	0,50	<0,08	0-90v
		+1	4,8		+3	12,0	
ff	NW:	0,45	<0,08	-	0,40	<0,08	-
		0	12,0		+2	12,0	
ff	SE:	-0,50	0,13**	180-270v	-0,40	0,13**	180-270v
		+1	8,0		+2	8,0	
	U:	0,80	<0,17	0-90v	0,80	<0,17	0-90v
		+1	6,0		+3	6,0	
	V:	-0,50	<0,21	-	-0,45	<0,13	-
		+2	4,8		+3	8,0	

* Angabe der Frequenz (darunter die Periode) bis zu der $K > /0,3/$

** Angabe der Frequenz (darunter die Periode) für Max (K)

Tabelle 7: Ergebnisse aus einfachen Ausgleichsmodellen der Form $y=a+bx$
a,b Konstanten, $y=U_0$ (Strömungsgeschwindigkeit in m/s), $x=f(u)$
(u= Windgeschwindigkeit in m/s), U,V bzw. U_s, V_s Komponentendarstellung,
Peg = Pegelstandsdifferenz, KK= Korrelationskoeffizient)

Modell 1: $x = u$

Modell 4: $x = Vu$

Modell 8: $x = u, y = U_0$

Modell 9: $x = u$

	Modell 1			Modell 4			Modell 8			Modell 9		
	a	b	KK	a	b	KK	a	b	KK	a	b	KK
x=u, y=U ₀ :												
ILLMITZ	0,019	0,016	0,90	-0,05	0,065	0,87	-	-	-	0,046	0,0011	0,85
RUST1	0,015	0,012	0,61	-0,03	0,038	0,53	-	-	-	0,025	0,0008	0,58
PODERSDORF	0,008	0,009	0,65	-0,02	0,052	0,64	-	-	-	0,028	0,0006	0,62
x=U, y=U _s :												
ILLMITZ	-	-	-	-	-	-	0,283	0,025	0,62	-	-	-
RUST1	-	-	-	-	-	-	0,072	0,007	0,58	-	-	-
x=V, y=V _s :												
ILLMITZ	0,03	0,008	0,71	-	-	-	0,242	0,018	0,47	0,036	0,0009	0,67
RUST1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
y = Peg (Illmitz - Neusiedl)												
x=U:	-1,373	0,112	0,72	-	-	-	-	-	-	-2,171	0,0016	0,59
x=V:	-1,319	-0,073	0,55	-	-	-	-	-	-	-1,091	0,015	0,51
y = Peg (A79 - Neusiedl)												
x=U:	-1,913	0,133	0,67	-	-	-	-51,11	0,057	0,68	-3,212	0,002	0,57
x=V:	-1,334	-0,152	0,50	-	-	-	-	-	-	-1,091	0,015	0,51

Tabelle 8: Ordnung der verwendeten Zeitreihen, berechnet nach dem Informationskriterium nach Gl. (4) (Parameter: AR = "autoregressiv"; MA = "moving average"; V = Differenzenbildung lt. Gl. (1), ff bzw. ffs und U, V bzw. Us, Vs Wind- bzw. Strömungsgeschwindigkeit und ihre Komponenten).

Element:		AR	MA	V
Wind	ff	1	0	0
		2	0	1 *
	U,V	3	2	0
		5	3	1 *
Strömung	ffs	3	0	0
		4	1	1 *
	Us,Vs	4	2	0
		6	2	1 *
Pegel	3	1	1	
Pegelstands- differenzen	1	0	0 (1)	

* für Vergleiche der Geschwindigkeitsänderungen herangezogen

Tabelle 9: ARIMA - Modelle nach Gl. (4) mit 95% Signifikanzschwelle für Wind (ff) - und Strömungsgeschwindigkeit (ffs) bzw. ihrer Komponenten am Beispiel Illmitz und Rust (Werte in () unsicher).
AR(i) "autoregressive", MA(i) "moving average" Werte,
MAC MA-Konstante, WNV "white noise variance"

ILLMITZ Element	Modell	Modell							
		AR	I	MA	MAC	AR(1)	AR(2)	MA(1)	WNV
ff*	1	0	0	0,48	0,89			1,8	
U	1	0	1	0,16	0,92		0,12	2,2	
V	1	0	1	-0,20	0,92		0,10	2,6	
ffs**	2	0	1	1,10	0,41	0,50	-0,48	7,3	
(Us	2	0	1	0,61	0,73	-0,21	+0,16	34,1)	
Vs	2	0	1	0,34	0,71	0,29	+0,25	8,3	
RUST1 Element	ff	1	0	0	1,10	0,80		3,1	
U	1	0	1	0,29	0,87		-0,70	3,0	
V	1	0	1	-0,44	0,87		0,12	3,4	
(ffs	2	0	1	1,18	0,73	-0,21	+0,17	4,3)	
(Us	2	0	1	0,28	-0,15	0,23	-0,46	0,2)	
(Vs	2	0	1	0,33	0,45	0,29	+0,22	0,4)	
RUST2 Element	ffs	2	0	1	1,05	0,69	0,21	0,11	1,8
(Us	2	0	1	-0,79	1,74	-0,76	0,98	30,4)	
Vs	2	0	1	0,31	0,58	-0,14	0,12	9,2	
Pegelstandsdifferenzen ***									
ILLMITZ - NEUSIEDL	1	0	0	-0,02	0,91			0,04	
A79 - NEUSIEDL	1	0	1	-0,03	0,92		-0,21	0,05	
* in m/s									
** in cm /s									
*** in cm									

Tabelle 10: Univariates Transfer-Modell für die Beziehungen zwischen Wind (ff) - und Strömungsgeschwindigkeit (ffs) bzw. Pegelstandsdifferenzen (P)
 AR(i) "autoregressive", MA(i) "moving average" Werte, WNV "white noise variance",
 x mittlere Differenz zwischen gemessenen und berechneten Werten, σ_x empirische Streuung von x.

	Modell										
	AR	I	MA	AR(1)	AR(2)	AR(3)	MA(1)	MA(2)	WNV	x	δx
ILLMITZ	2	0	1	1,26	-0,22		0,56		4,30	-2,84	4,10
RUST1*	3	0	2	1,52	-0,64	0,20	0,82	-0,12	3,54	-7,34	2,79
RUST2	2	0	1	1,49	-0,75		0,88		3,86	-2,32	3,74
P1**	2	0	1	1,31	-0,54		0,77		3,62	-2,12	4,11
P2***	2	0	1	1,40	-0,59		0,81		4,49	-2,94	4,90

* mit ff - ILLMITZ

** P1: Pegelstandsdifferenz ILLMITZ - NEUSIEDL

*** P2: " A79 - NEUSIEDL

Tabelle 11: Die Filterkoeffizienten des multivariaten Modells nach Gl.(3) (WNV: white noise variance) für 2 Eingangsgrößen (Komponenten der Windgeschwindigkeit (m/s)) und zwei Ausgangsgrößen (Komponenten der Strömungsgeschwindigkeit (cm/s))

	a11	a12	b11	b12	a21	a22	b21	b22	WNV
ILLMITZ	0,73	1,11	0,52	1,01	-0,91	-1,78	-0,43	-1,28	0,32
RUST1	0,031	-0,092	0,031	-0,022	-0,11	0,037	0,018	0,03	0,89
RUST2*	0,66	-0,72	0,47	-0,52	0,16	0,09	-0,17	-0,07	0,87

* mit Wind Illmitz

LAGEPLAN

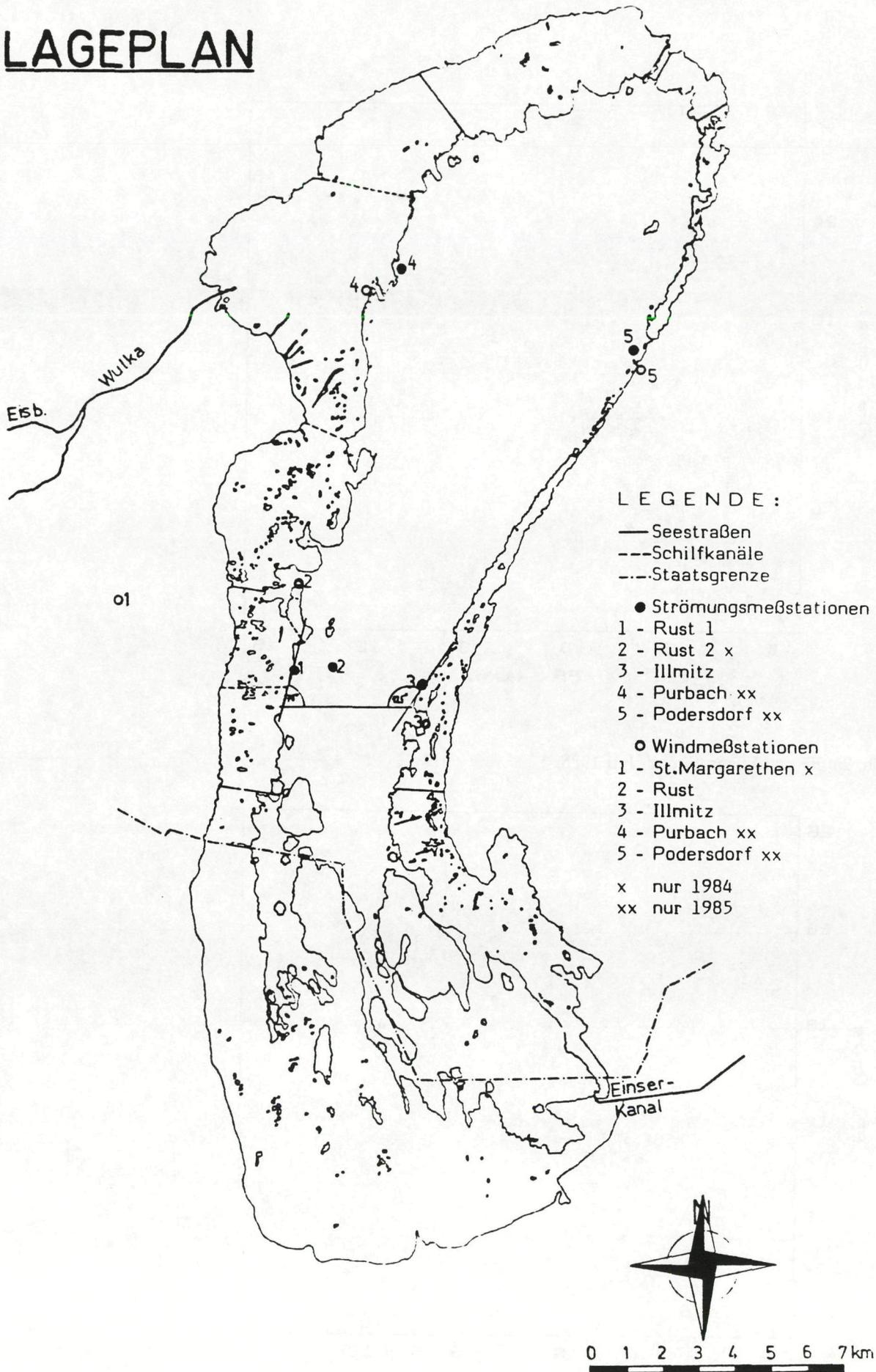


Abb. 1: Lage der Meßstationen im Neusiedler See-Gebiet

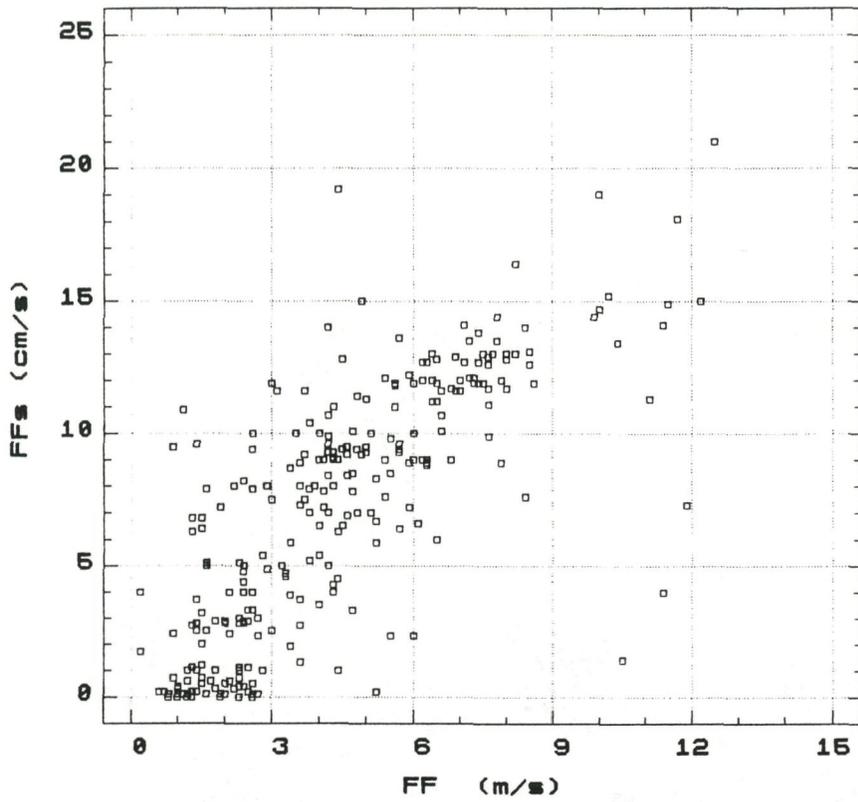


Abb. 2a: FF und FFs in Illmitz, Juli 1985

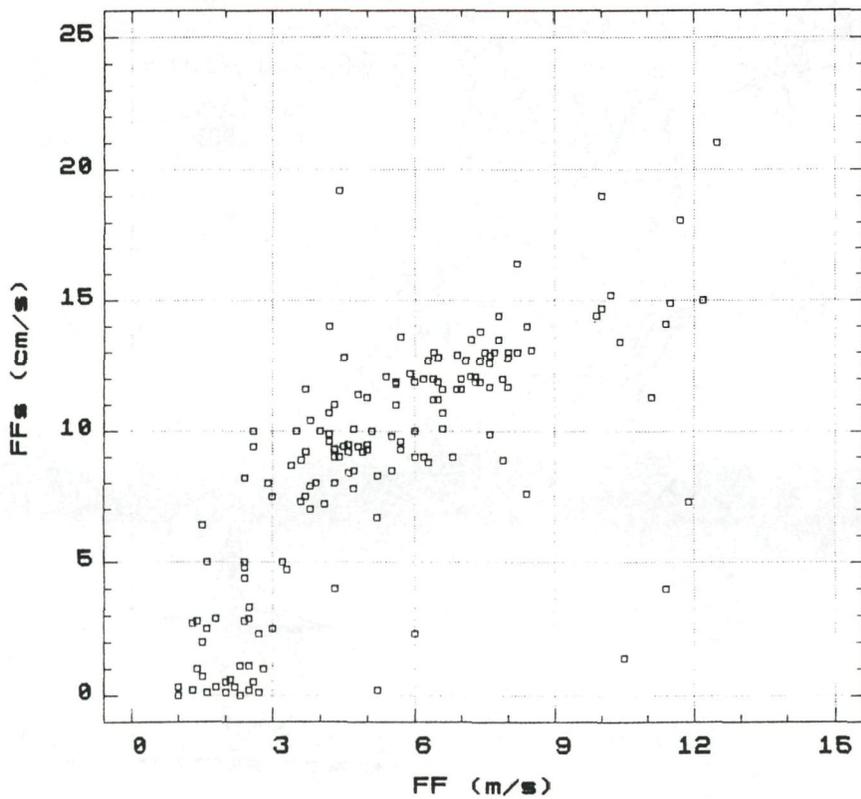


Abb. 2b: FF und FFs bei nordwestlichen Winden in Illmitz, Juli 1985

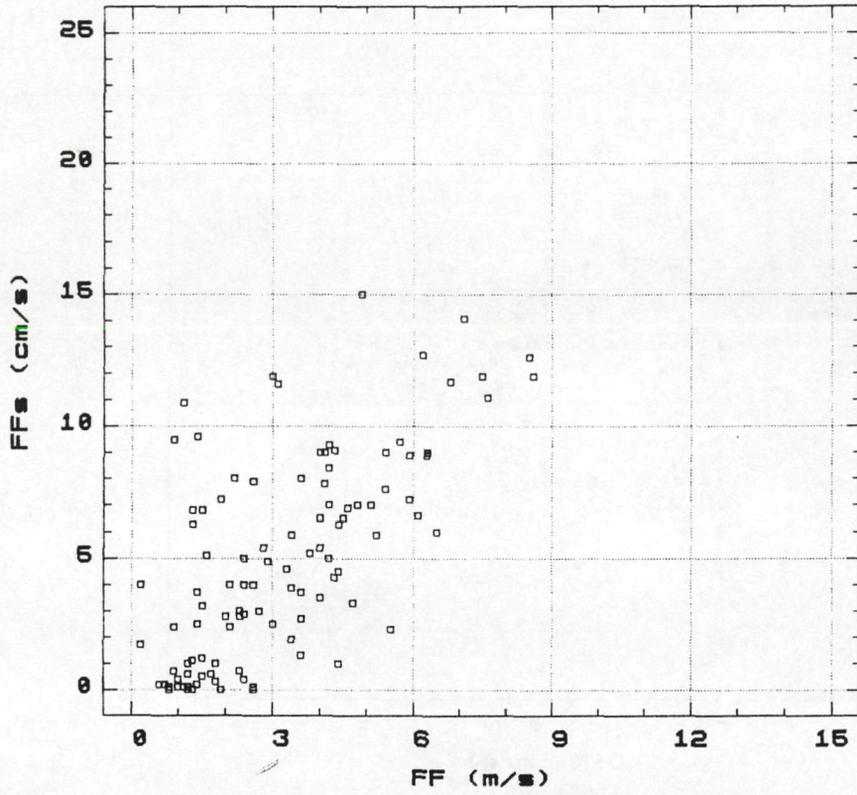


Abb. 2c: FF und FFs bei südöstlichen Winden in Illmitz, Juli 1985

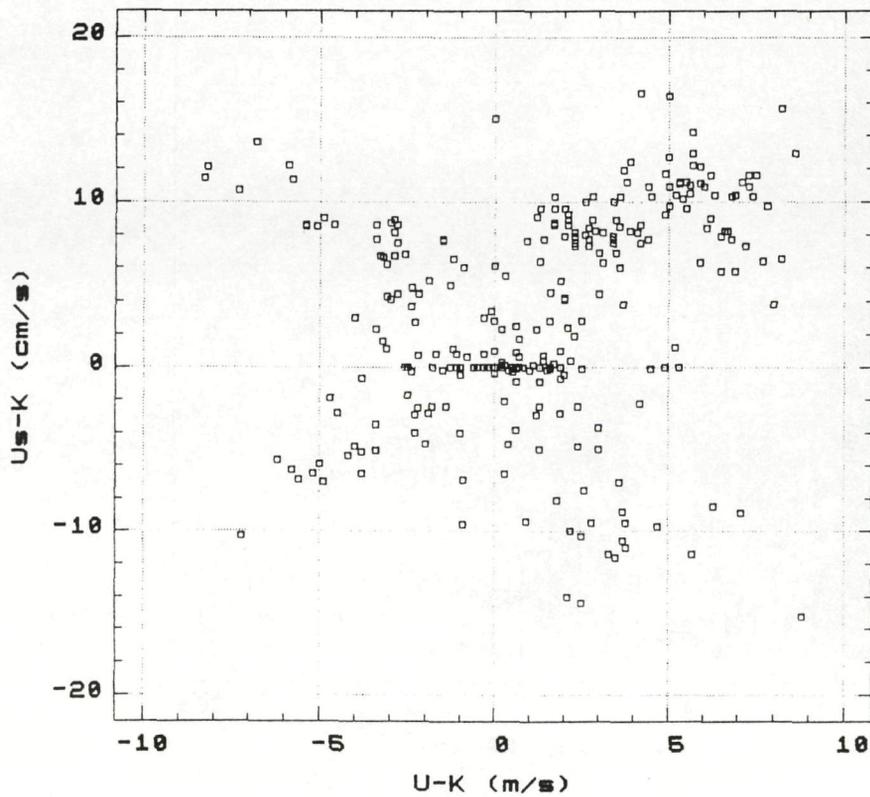


Abb. 3a: Die U und Us Komponenten für Illmitz, Juli 1985

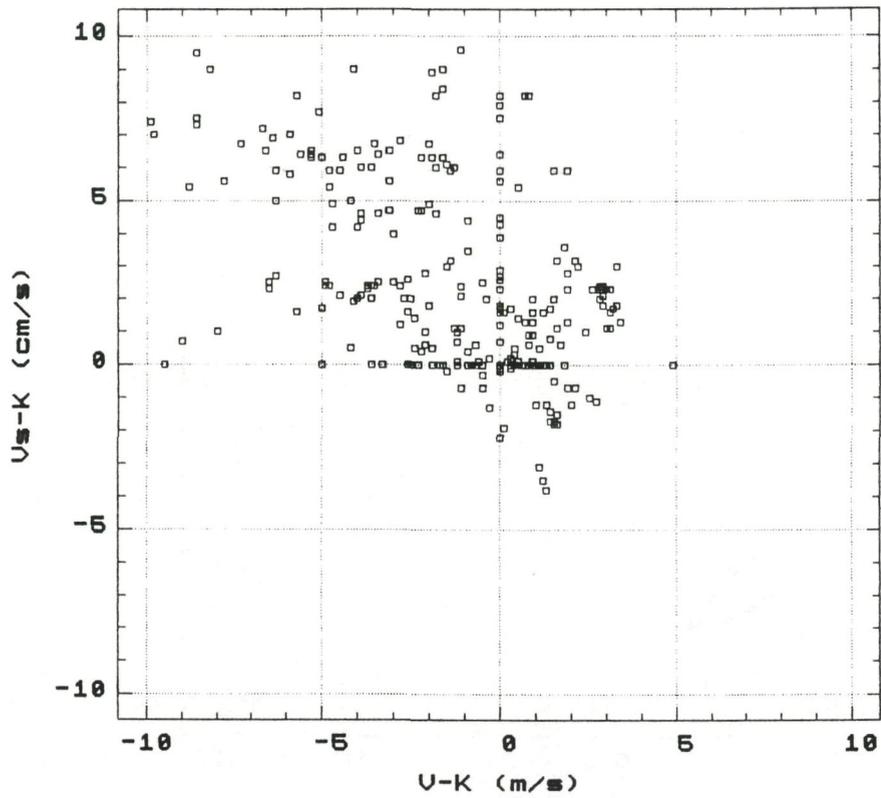


Abb. 3b: Die V und V_s Komponenten für Illmitz, Juli 1985

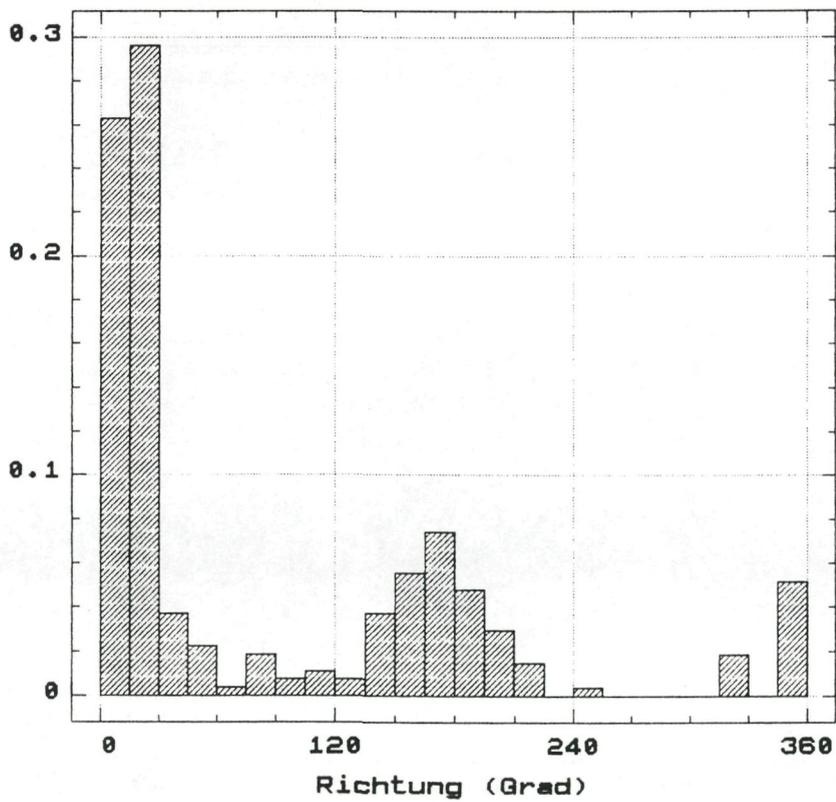


Abb. 4a: Relative Häufigkeiten der DDs in Illmitz, Juli 1985

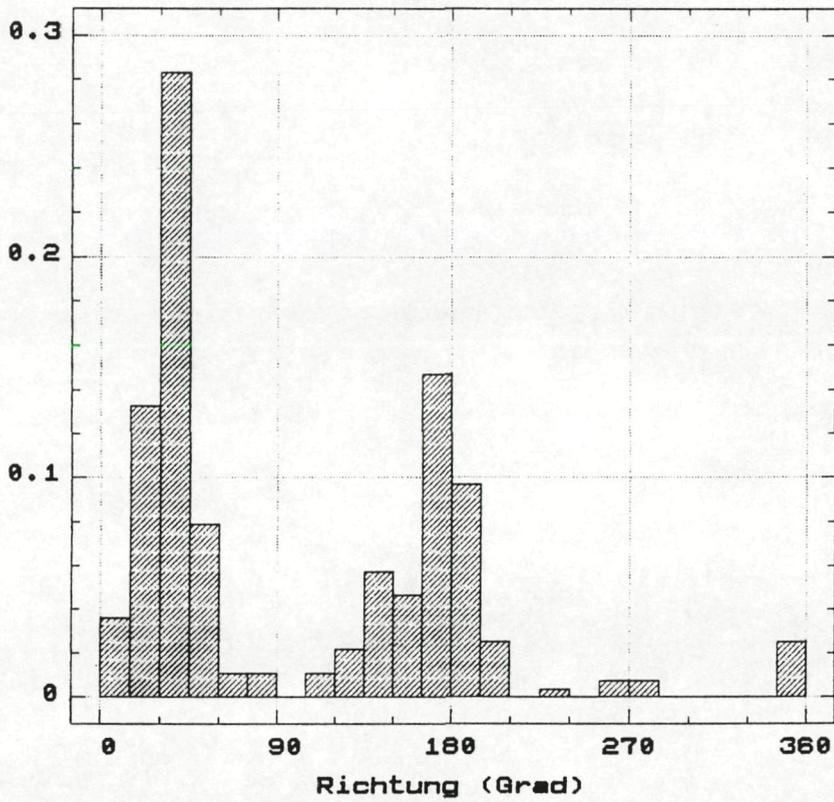


Abb. 4b: Relative Häufigkeiten der DDs in Podersdorf, Juli 1985

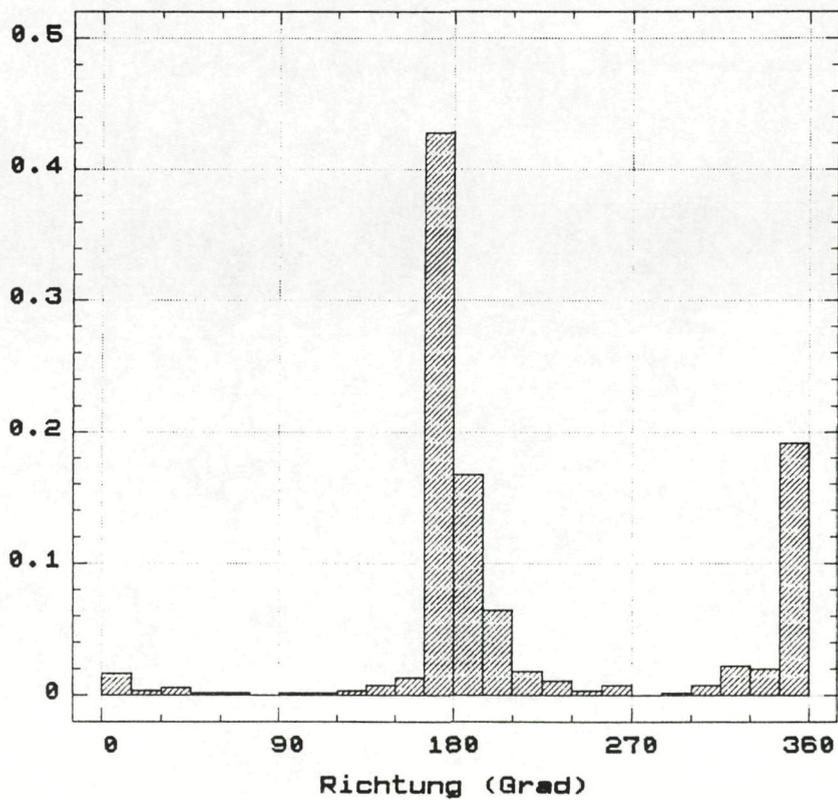


Abb. 4c: Relative Häufigkeiten der DDs in Rust, Juli 1985

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [BFB-Bericht \(Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz 1](#)

Jahr/Year: 1989

Band/Volume: [71](#)

Autor(en)/Author(s): Dobesch Hartwig

Artikel/Article: [Zeitreihenanalysen und Modellansätze am Beispiel von Wechselwirkungen zwischen Wind- und Strömungsfeld des Neusiedlersees 61-87](#)