Erkennung und Parametrisierung geometrischer Strukturen von ERTS/LANDSAT Bildern

Autor(en): **Good, W. / Langham, E.J.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **156 (1976)**

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-90718

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

2. W. Good und E.J. Langham (Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos; Glaciology Division, Water Resources Branche, Inland Waters Directorate, Ottawa, Canada): Erkennung und Parametrisierung geometrischer Strukturen von ERTS/LANDSAT Bildern

1. Einleitung

Die heute zur Verfügung stehenden Mittel und Daten der Fernerkundung gestatten Fragestellungen der angewandten Erdwissenschaften aufzugreifen, die bis anhin kaum lösbar schienen.

So können Verteilungen von Wasser, Wald, Schnee, Eis, Kulturland und Siedlungsgebieten und deren Formen untersucht werden. 1) Die vorliegende Arbeit benützt digitales Bildmaterial von LANDSAT (der Name ERTS, Earth Resources Technology Satellite, wurde am 13.1.1976 in LANDSAT abgeändert) und eine Methode der numerischen Mustererkennung zur Diskriminierung zwischen Gebieten mit und ohne Wasser. Wasserflächen werden nach geometrischen Kriterien parametrisiert. Ein Satz charakteristischer Parameter beschreibt jedes einzelne Bild (Subframe). Mit Hilfe der Faktor-, Cluster- und Diskriminationsanalyse werden Bilder mit ähnlichen Parametern aufgesucht (numerische Klassifizierung) und die wichtigsten Klassenmerkmale ermittelt.

2. LANDSAT Daten

2.1 Technische Angaben von LANDSAT 11 2)
Flughöhe 905 km
Umlauf Sonnensynchron
Zeit zwischen 2 Bildern 18 Tage
Fläche pro Bild 100 x 100 (naut. Seemeilen)^2
Auflösung ca. 100 m

2.2 Spektralbereiche
2.2.1 Return Beam Vidicon camera System (RBV)

Band 1	0.475 – 0.575	micrometer (μm)
Band 2	0.580 – 0.680	micrometer
Band 3	0.698 – 0.830	micrometer

2.2.2 Multispectral scanner (MSS)

Band 4	0.50 – 0.60	micrometer (μm)
Band 5	0.60 – 0.70	micrometer
Band 6	0.70 – 0.80	micrometer
Band 7	0.80 – 1.10	micrometer

2.3 Optimale Diskrimination
Für jedes Problem gibt es eine oder mehrere Wellenlängen, die eine gute Unterscheidung erlauben:

Band 4 hat die grösste Eindringtiefe in Wasser und lässt dessen Trübung messen. Zudem weist dieser Wellenbereich die beste Rückstrahlung von trockenem und nassem Schnee auf.

Band 5 erlaubt eine gute Identifizierung von Strassen sowie von Vegetationstypen.
Band 6 gute Diskrimination Wasser/Land, geeignet zur morphologischen Untersuchung von Flussläufen.
Band 7 geringste Eindringtiefe in Wasser, deshalb optimale Diskriminierung Land/Wasser. Starke Rückstrahlung von trockenem, geringere von nassem Schnee.

3. Formerkennung (Pattern recognition)

3.1 Merkmalsdefinition

Jeder Messpunkt besteht aus 3 RBV und 4 MSS Werten. Das Intensitätsintervall I_{min} (0) $\leq I \leq I_{max}$ (6) im Spektralband 7 entspricht dem verwendeten Merkmal. Dem primären Merkmal I (Intensität) kann somit ein sekundäres Merkmal M (Wasser) zugeordnet werden.

3.2 Homogene Rasterpunkte

Homogene Rasterpunkte haben in ihrer nächsten Umgebung 4 Nachbarpunkte, die sich bezüglich Merkmalwert um weniger als einen vorgegebenen Betrag ($\Delta I \leqslant \epsilon$) unterscheiden.

3.3 Gebiet und Rand

Das Innere eines Gebietes ist eine zusammenhängende Menge von homogenen Punkten. Der Rand ist eine Kette der dieser Menge am nächsten gelegenen, nicht homogenen Punkte.

3.4 Abschnitt

Das Formerkennungsprogramm M3STER.FTN 3) kann in seiner jetzigen Version ca. 10'000 Punkte im Kernspeicher haben. Die Verarbeitung eines Bildes mit mehr Rasterpunkten (z.B. 600 x 600) hat deshalb abschnittsweise zu erfolgen. Mit der minimalen Zeilenzahl von 3 (eine obere und untere Ueberlappungszeile, 1 Arbeitszeile) könnte eine Zeile demzufolge ca. 3'300 Punkte aufweisen.

3.5 Operationeller Aufbau des Randes

Das Bild der homogenen Gebiete wird ein erstes Mal zeilenweise abgetastet und der erste, nicht homogene Punkt bestimmt (erster Randpunkt). Vom letzten inneren, homogenen Punkt werden im Bereich der 8 nächsten Nachbarn weitere Randpunkte ermittelt. Nach Durchlaufen einer Zeile kommt die folgende an die Reihe.

4. Parametrisierung der berandeten Gebiete

Nun wird das Bild der homogenen, berandeten Gebiete zeilenweise abgetastet und beim Durchlaufen des Randes der Schwerpunktsvektor
$\bar{S} = \iint (x_1, x_2)\, dx_1\, dx_2$ und der zweidimensionale Trägheitstensor
$\theta_{ik} = \iint (\delta_{ik} (x_1{}^2 + x_2{}^2) - x_i x_k)\, dx_1\, dx_2$ gebildet.

GRUPPENZUGEHOERIGKEIT UND AUSWAHL DER BENUETZTEN PARAMETER

GRUPPE 1	2	3	4	5	6	7		
	●						1	PUNKTDICHTE
	●						2	MITTLERER GEBIETSDURCHMESSER
						●	3	MITTLERE FREIE WEGLAENGE
●			○				4	MITTLERER KONKAVER RADIUS DER BERANDUNGSKURVE
○			●	•			5	MITTLERER KONVEXER RADIUS DER BERANDUNGSKURVE
						●	6	MITTLERER WINKEL ZWISCHEN LABORKOORDINATENSYSTEM UND HAUPTACHSENSYSTEM DES TRAEGHEITSTENSORS
	●						7	VARIANZ
●							8	VERHAELTNIS DER HAUPTACHSEN DES TRAEGHEITSTENSORS
	○	●					9	VARIANZ
●		○					10	MITTLERE ELLIPTIZITAET
	○	•	●	●			11	VARIANZ
			○	●	•		12	MITTLERE GEBIETSELAECHE
		●	•		○		13	VARIANZ
			○	●			14	MITTLERE BERANDUNGSLAENGE
		●					15	VARIANZ
						●	16	MITTLERE INTENSITAET DER GEBIETE
		○	●				17	VARIANZ
		●					18	RELATIVE VARIANZ DER GEBIETSINTENSITAET
	●	○					19	VARIANZ
			○	●			20	MITTLERE KONVEXITAET DER GEBIETE
			○	●			21	VARIANZ

SLF
ZNo 4-1385

Tabelle 1 Gruppenzugehörigkeit und Auswahl der benützten Parameter.

Beim Uebergang vom Rand- zum Abschnitt- und Gebietskoordinatensystem sind verschiedene Koordinatentransformationen auszuführen.

Weitere Parameter werden direkt oder mit Hilfe der ersten beiden bestimmt. Für jedes verarbeitete Bild (Individuum j) entsteht so ein Satz von 32 Grössen x_{jk} (k = 1, ...32). Die nicht koordinatenfreien Parameter und diejenigen, die in irgend einer Form die Gebietszahl enthalten, wurden zugunsten der formbeschreibenden Parameter eliminiert. Die verbleibenden 21 Parameter (siehe Tab. 1) sind teilweise linear abhängig; Punktdichte P, mittlerer Gebietsdurchmesser D und freie Weglänge A z.B. sind offensichtlich miteinander korreliert. Die 21 Basisvektoren des Zustandsvektors X_j, des Individuums j, sind die Erwartungswerte $\hat{x}_k$ der p Parameter x_{jk}

(j = 1, ...N). Sie sind weder orthogonal noch normiert, weshalb Abstände in einem p-dimensionalen Vektorraum keine einfachen Funktionen der Komponenten des Zustandsvektors sind.

5. Mathematische Behandlung

5.1 Wahl eines optimalen Koordinatensystems

Es liegt nahe, den Abstand zwischen 2 Endpunkten der Ortsvektoren (Zustandsvektoren) X_i, X_k zu betrachten. Dieser sollte ein Mass für den Unterschied der beiden Individuen darstellen. Die allgemeine Abstandsformel

$$d^2 (q_i, q_k) = \sum_{i,k} m_{ik}\, dq_i\, dq_k$$

und die zusätzliche Bedingung der Dreiecksungleichung definieren einen metrischen Tensor $M = m_{ik}$. Für den Spezialfall eines cartesischen Koordinatensystems wird M = I (Einheitstensor, $m_{ik} = \delta_{ik}$).

5.2 Faktoranalyse

Es kann gezeigt werden 4), 5), dass eine Lösung des Eigenwertproblems

$$u^{-1}\, P^T P\, u = \Lambda$$

existiert und diese ein optimales, orthonormiertes Koordinatensystem liefert, das die folgenden Eigenschaften aufweist:

- u_i sind die Eigenvektoren zu den Eigenwerten λ_i
- Die Komponenten von u_i sind Linearkombinationen der Erwartungswerte $\hat{x}_k$ der Parameter x_{jk}.
- Die Elemente der Matrix P sind:

$$P_{jk} = \frac{x_{jk} - \bar{x}_k}{\delta_{x_k}}$$

- $P^T P$ ist die Korrelationsmatrix.
- Der erste Eigenvektor ist so gewählt, dass die Quadratsumme der darauf projizierten Zustandsvektoren der Individuen maximal ist (maximale Dispersion).
- Durch verschiedene Skalierung der Achsen (Faktoren) können unterschiedliche Abstandsverhältnisse sichtbar gemacht werden.
- Individuen und Parameter lassen sich in diesen Koordinatensystemen darstellen.

6. Formerkennung II

6.1 Clusteranalyse

Nun wird versucht, mit einem Abstandskriterium die Frage zu beantworten, ob sich eine "natürliche" Häufung von Individuen in wenige Gruppen

(Clusters) anbietet. Dieses Abstandskriterium, d^2 ist die Quadratsumme der Abstände der Gruppenindividuen zum Gruppenschwerpunkt

$$d_G^2 = \sum_{j=1}^{N_G} \Delta^2 (P_j, P_s)$$

Die beste (natürliche) Gruppenbildung ist dann erreicht wenn die Zielfunktion Z minimal wird (6).

$$Z = \Sigma\, d_G^2 = \min.$$

Z hängt nicht nur von der Zahl der Cluster, sondern auch von der Anfangspartition, das heisst von der ursprünglichen Zuweisung der Individuen in die einzelnen Cluster ab. Durch iterativen Einsatz des Clusteralgorithmus KMEANS 6) bezüglich Anfangspartitionen und Clusterzahl wurde versucht, diesem Umstand Rechnung zu tragen. Die Anfangspartitionen werden durch einen Zufallszahlengenerator bestimmt und von den relativen Minima von Z wird nur das kleinste abgespeichert (Minimalkonfiguration). Es zeigt sich, dass bestimmte Individuen praktisch unabhängig von Clusterzahl und Anfangspartition immer wieder zusammengruppiert werden. Diese stabilen Individuen bilden natürliche Gruppen (Strong pattern), K, GN, GS, ... LN in Tabelle 2.

Eine weitere Möglichkeit die Gruppenzuweisung zu überprüfen, wurde durch verschiedene Normierung der orthogonalen Achsen benutzt. In den definitiven, natürlichen Gruppen wurde der Durchschnitt der Individuen aus obigen Verfahren belassen.

$$I_{ij} = I_{ik}(B_1) \cap I_{i\ell}(B_2) \cap \ldots.$$

I_{ij} Individuen der definitiven, natürlichen Gruppe i

I_{ik} (B_1) Individuen der natürlichen Gruppe i mit den Bedingungen B_1

6.2 Diskriminationsanalyse

Die definitiven, natürlichen Gruppen, ohne lose gebundene Individuen, weisen geringe Parameterstreuungen auf. Für jede Gruppe wurde eine Diskriminationsfunktion F_i und die Koeffizienten c_{ik} für die k Parameter bestimmt 4), 7).

Auf diese Weise lassen sich die übrigen Individuen in eine der definitiven Gruppen zuweisen (1, 2, ... 7 der Tabelle 2) und der Verwandtschaftsgrad zu den andern Gruppen wird ersichtlich.

6.3 Klassierung neuer Individuen

Die Koordinaten des Zustandsvektors des zu klassierenden Individuums werden zentriert und gewichtet

$$X_i \rightarrow P_i \left(\frac{x_{i1} - \bar{x}_1}{\delta_{x_1}}, \frac{x_{i2} - \bar{x}_2}{\delta_{x_2}}, \ldots\ldots\right)$$

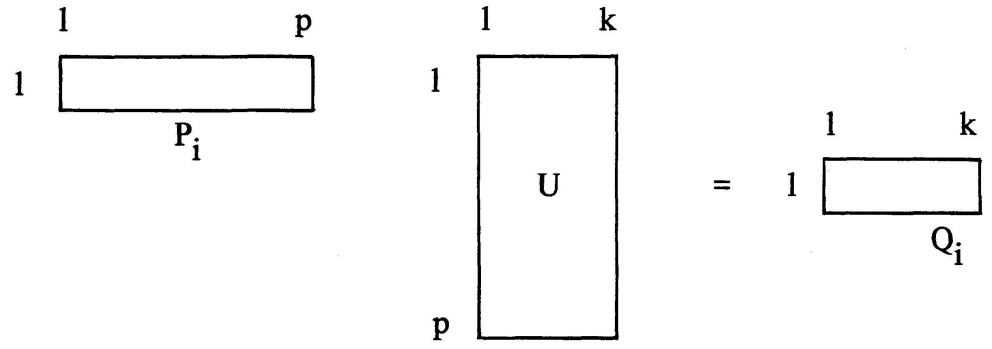
Der transformierte Zustandsvektor P_i wird auf die bestehenden Eigenvektoren projiziert.

IDENTIFICATION	SUBFRAME	SUBFRAME (600 × 600 PIXEL) 1	2	3	4	5	TAPE #	FRAME	GROUPS
PICTURE CENTRE: 24-13 / 67 N, 72 W DATE, CLOUDINESS: 29-07-74, 10% "KOUKDJUAK"	1	/	/	1	/	/	5147	1736-15482	1K
	2	/	2	K	/	/			
	3	/	K	K	2	/	5155		
	4	/	1	K	7,1	2,7			
PICTURE CENTRE: 20-22 / 54 N, 76 W DATE, CLOUDINESS: 25-07-74, 0% "GRDE RIVIERE"	1	GN	2	2	GN	GN	5149	1732-15292	2GN
	2	/	2	2	2,3	GN			
	3	GN	GN	GS	/	2,3	5150		3GS
	4	3	GS	GS	GS	2			
PICTURE CENTRE: 19-24 / 51 N, 76 W DATE, CLOUDINESS: 11-08-74, 1% "RUPERT RIVER"	1	R1	R1	R1	R1	R3	5156	1749-15235	4R1
	2	6	R3	R3	R2	R2			5R2
	3	R1	/	2,3	2,3	2,3	5148		6R3
	4	R2	R2	4	3	/			
14-27 / 47 N, 71 W 24-07-73, 30% "LAURENTIDES"	1	LN	LN	LN	LN	7,2	4443	1366-15052	7LN
	2	LN	LN	LN	LN	7,2			

SLF 4
ZNo.3-0486

"STABLE } INDIVIDUALS" { (K)
"ATTRIBUTED } INDIVIDUALS" { (I)

Tabelle 2 Frame- und Subframeinformationen und Gruppeneinteilung.



Gemäss 6.2 wird mit den vorher bestimmten Funktionen und Koeffizienten das Individuum (Q_i) in eine der definitiven, natürlichen Gruppen zugewiesen.

7. Numerische Berechnungen

Die nachstehende Tabelle gibt Auskunft über die benutzten Programme und Subroutinen und die ausgeführten Berechnungen. Die Kosten für 1 Bild (Subframe 600 x 600 Bildpunkte) gemäss der folgenden Zusammenstellung betragen ca. SFr. 300.–.

Name	Maschine	Bibliothek	Berechnung
TAPRED	CDC 6000	SLF	Extraktion von Kanal und Bild
M3STER	CDC 6000	SLF	Formerkennung + Parametrisierung
M. FAC	PDP 11/45	SLF	
Subr.: CORRE		IBM/dec 8), 9)	
EIGEN		IBM/dec	
TRACE		IBM/dec	Faktoranalyse
LOAD		IBM/dec	
FACT		SLF	
MCLUST	PDP 11/45	SLF	Clusteranalyse
Subr.: KMEANS		SLF 6)	
MDISCR	PDP 11/45	SLF	
Subr.: DMATX		IBM/dec	
MINV		IBM/dec	Diskriminationsanalyse
DISCR		IBM/dec	
MGRPFL	PDP 11/45	SLF	Zuweisung neuer Individuen

Tabelle 3 Zusammenstellung der numerischen Berechnungen.

8. Diskussion der Resultate

8.1 Geographische Angaben

In der vorliegenden Arbeit wurden vier Gegenden aus Kanada so ausgesucht, dass möglichst verschiedene Seentypen miteinander verglichen werden konnten.

Jedes Gesamtgebiet (frame) wurde in 20 Bilder (Subframes) unterteilt. Die nicht verarbeiteten Bilder sind auf der Tab. 2 durchgestrichen. In derselben Tabelle sind auch Angaben über Bildzentrum, Aufnahmedatum und -Bedingungen zu finden.

8.1.1 Koukdjuak River

Der Koukdjuak River verbindet das Foxe Basin mit dem Nettling Lake auf Baffin Island. Die Great Plain of the Koukdjuak ist gekennzeichnet durch eine grosse Anzahl zum Teil kreisrunder Seen (Abb. 1).

8.1.2 Grande Rivière

Dieses Flusssystem besitzt sein Einzugsgebiet östlich des Ueberganges der James Bay in die Hudson Bay und ist sehr fein gegliedert (Abb. 2).

8.1.3 Rupert River

Der Rupert River mündet in die James Bay an ihrem Südende ein. Verglichen mit 8.1.2 ist dieses Flussnetz weitmaschig und nur sehr grob gegliedert.

8.1.4 Laurentides

Dieses Gebiet liegt zwischen dem oberen Ende des St. Lawrence Trichters und dem Lake St. Jean am Saguenay River (Abb. 3).

8.2 Natürliche Gruppen

Die natürlichen Gruppen sind aus den stabilen und den zugewiesenen Individuen oder Bilder zusammengesetzt (Tab. 2).

Interessant ist die Feststellung, dass z.B. die Bilder Koukdjuak (2,2) und Koukdjuak (3,4) mehr gemein haben mit den ca. 2'000 km südlicher gelegenen Individuen Grande Rivière (1,1) und Grande Rivière (1,2) als mit ihren nächsten Nachbarn.

8.3 Orientierung der Seen

Von den berechneten Parametern sei einer etwas näher erläutert:
Der Parameter Nr. 6 (Tab. 1) ist der mittlere Winkel zwischen der längeren Hauptachse des Trägheitstensors und der X_1 Richtung des Laborkoordinatensystems. Die Dichtefunktionen sind in Abb. 4 und die Summenkurven in Abb. 5 dargestellt. Da die Flugbahn von LANDSAT nicht genau N-S verläuft – sie schneidet die Längenkreise in der Bildmitte von Koukdjuak unter 26°, von Laurentides unter 16° – sind diese Werte von den Zahlen beider Darstellungen zu subtrahieren, um den Winkel zur W-E-Richtung zu erhalten:

Mit Ausnahme der Seen des Gebietes Laurentides, weichen alle anderen, zum Teil erheblich, von einer Zufallsverteilung – entsprechend der Diagonale in Abb. 5 – ab. Das scharfe Maximum zwischen 10 und 20° bildet sich bei der Gruppe R 1 zurück, es erscheint ein Nebenmaximum bei 40°, das für R 2 zum Hauptmaximum wird (Abb. 4).

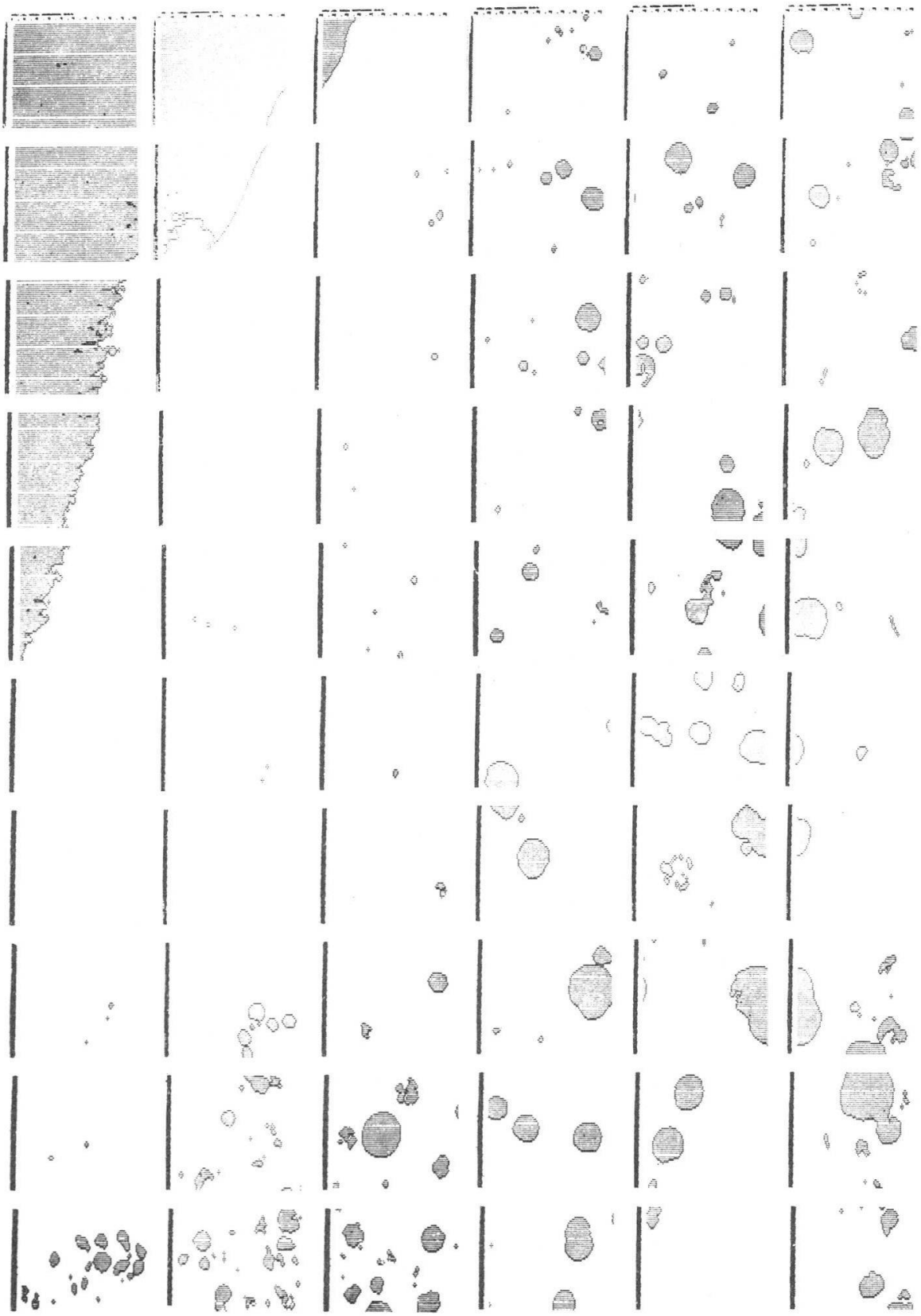


Abb. 1 Repräsentatives Individuum der Gruppe Koukdjuak ($_1$K).

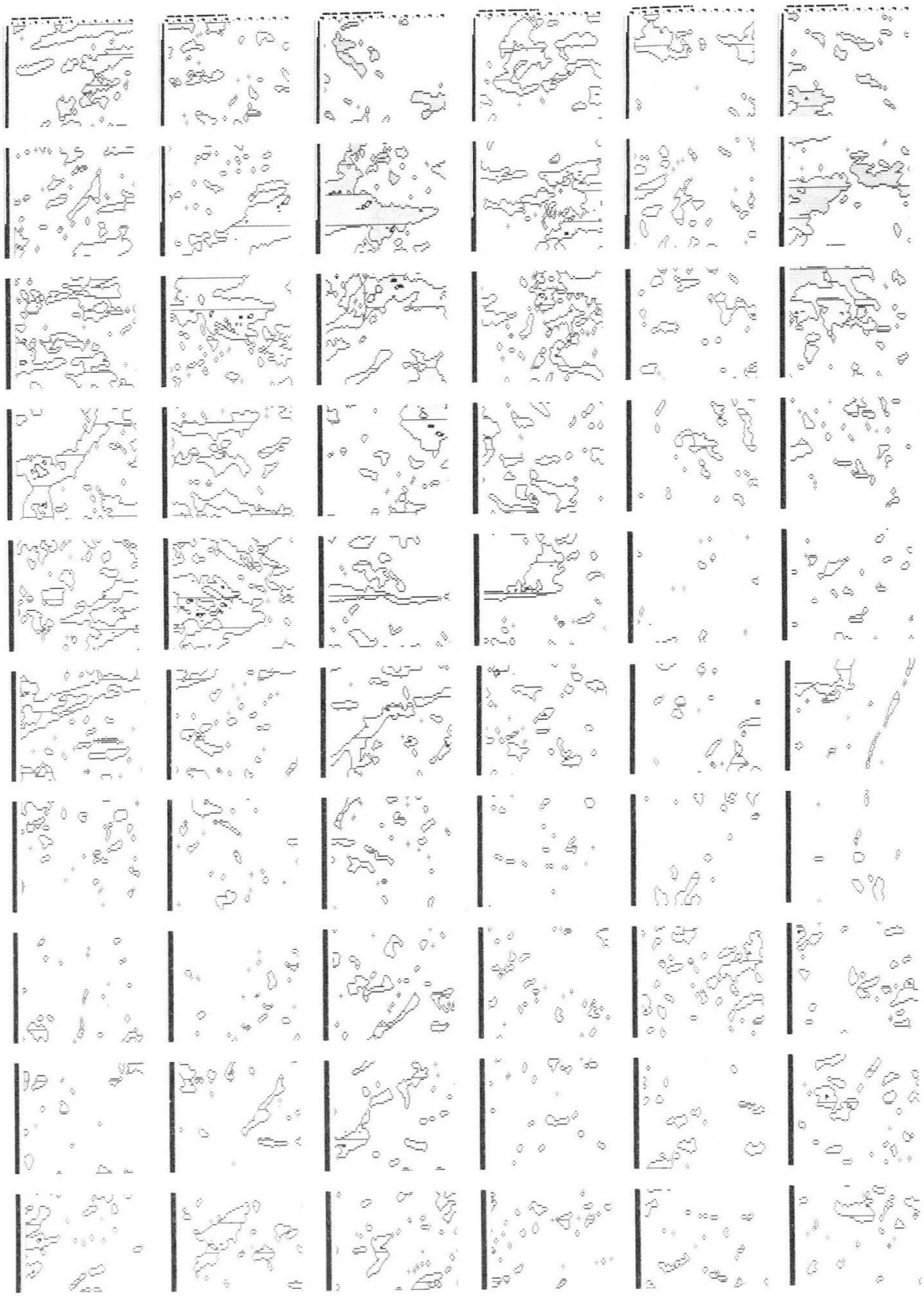


Abb. 2 Repräsentatives Individuum der Gruppe Grande Rivière Nord ($_2$GN).

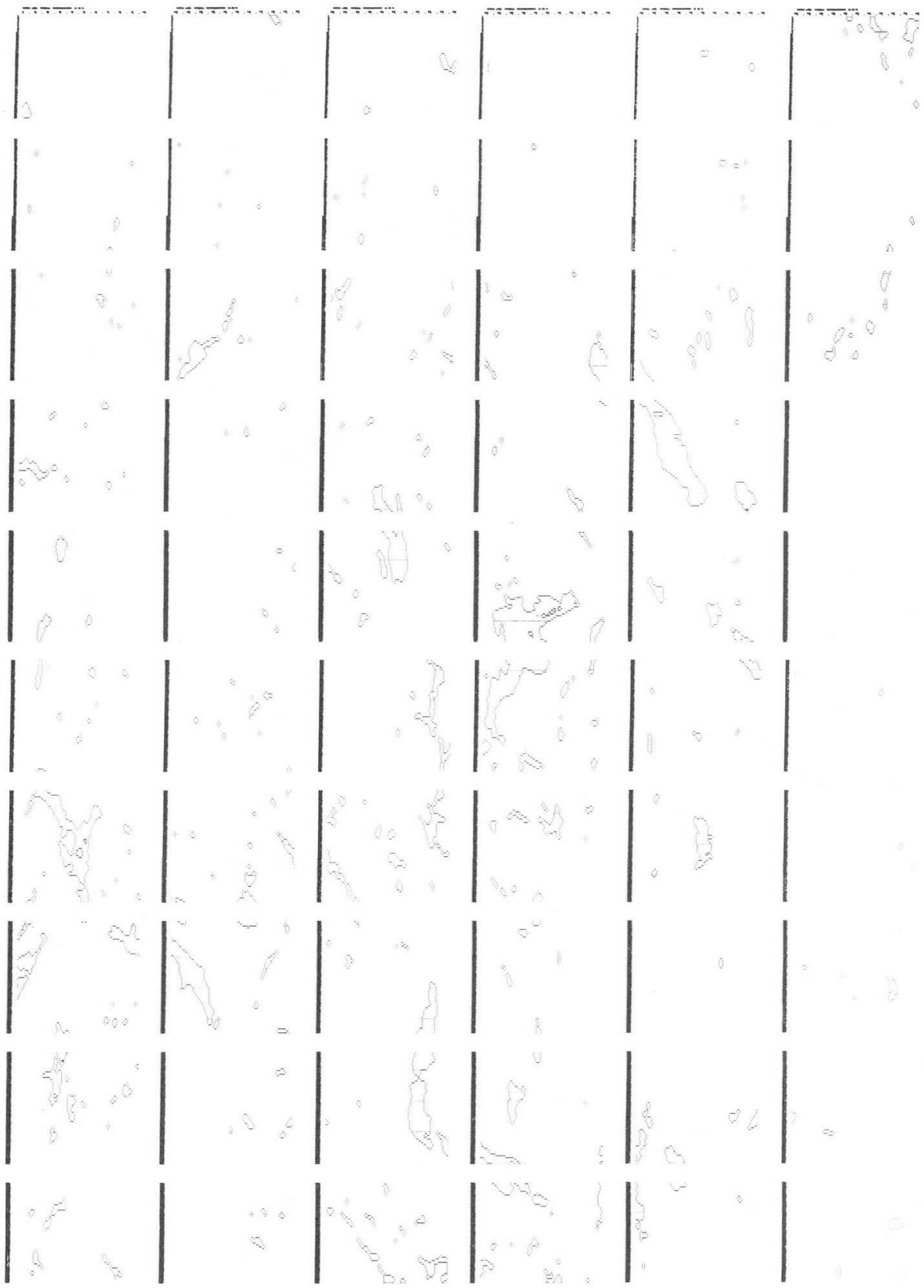


Abb. 3 Repräsentatives Individuum der Gruppe Laurentides ($_7$LN).

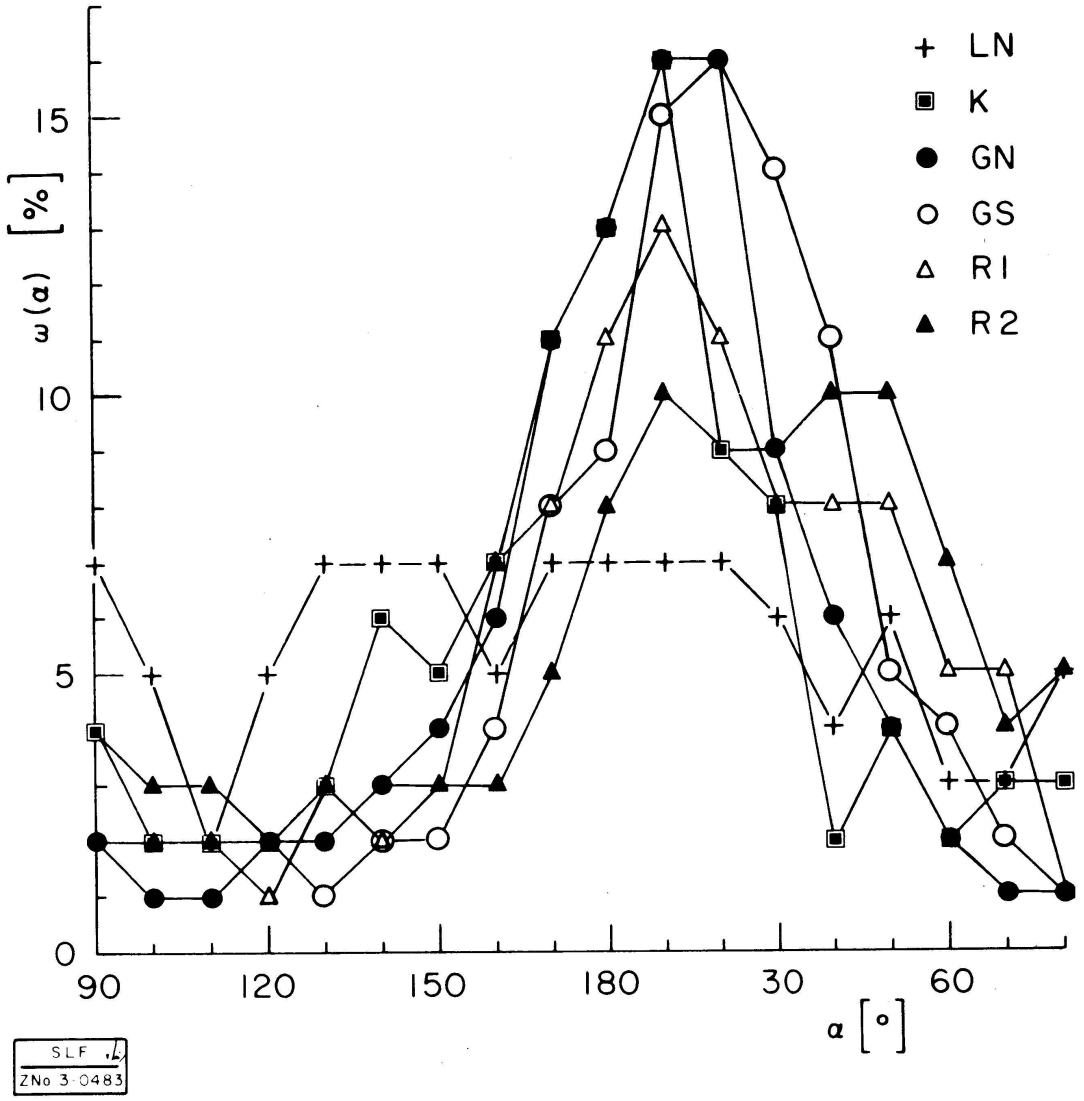


Abb. 4 Ausrichtung der Gebiete. α = ∡ (Trägheitsmoment I_1, Scanrichtung).

8.4 Gruppeneinteilung in der Faktordarstellung

In Abb. 3 ist die erste Hauptebene (F_1, F_2) mit den 38 stabilen Individuen und den Schwerpunkten der natürlichen Gruppen dargestellt. Die wichtigsten Komponenten des Faktors F_1, die Parameter Berandungslänge c, die Varianz von c und die Gebietsfläche a, sind negativ korreliert. Also liegen Individuen, deren Gebiete gleichmässig klein sind und eine einfache Berandung aufweisen, im ersten oder vierten Quadranten (Koukdjuak, Abb. 1 und Laurentides, Abb. 3).

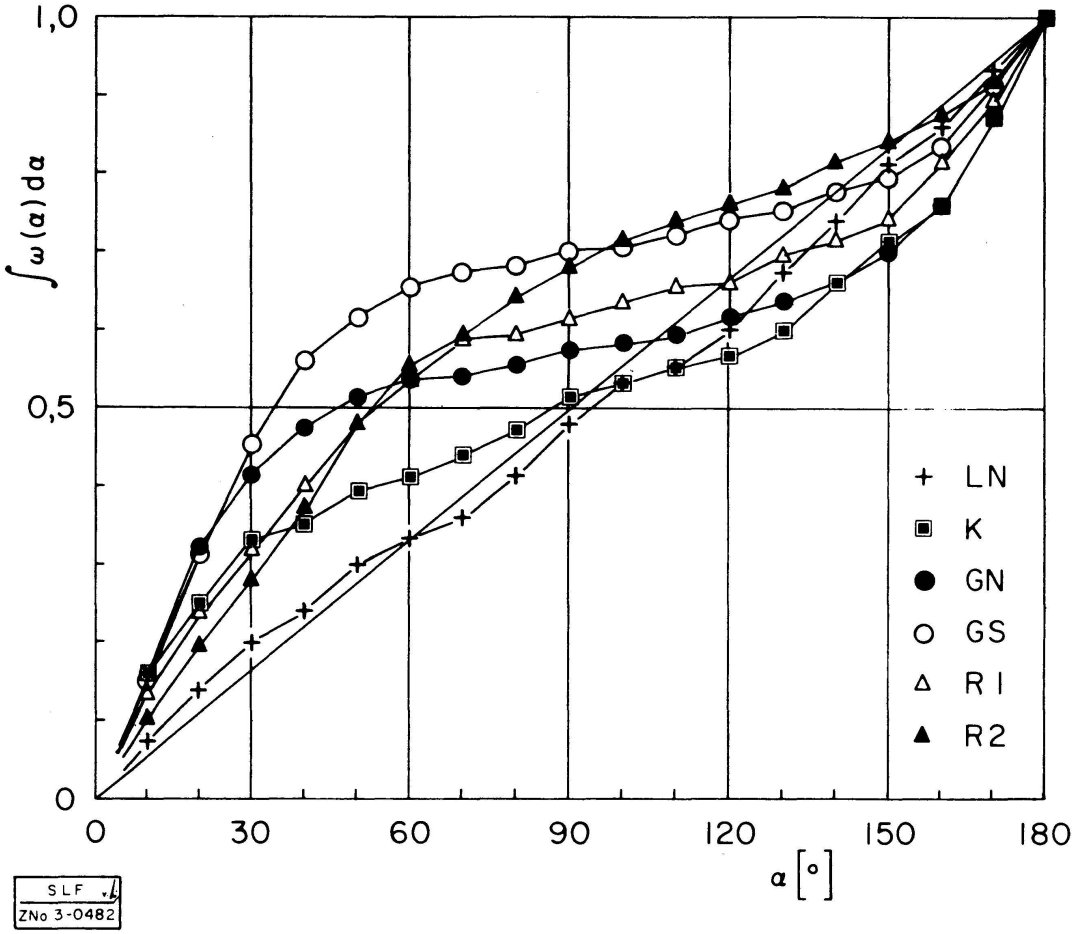


Abb. 5 Abweichung der Ausrichtung der Gebiete von einer Zufallsverteilung.

Die Achse F_2 ist positiv mit der freien Weglänge A korreliert. Die Individuen der Gruppe Grande Rivière Nord, mit der sehr grossen Anzahl Seen und den kleinen Abständen zwischen ihnen, und ihr Schwerpunkt, sind deshalb in der unteren Halbebene anzutreffen.

In ähnlicher Weise lassen sich in den anderen Hauptebenen interessante Zusammenhänge aufzeigen. Die Berechnungen wurden mit 6 Faktoren durchgeführt, was einer Beschränkung auf 80% der totalen Information entspricht.

8.5 Parameter und Gruppen

Nicht nur die weniger eindeutig zu den einzelnen Gruppen gehörenden Individuen lassen sich mittels Diskriminations-Funktionen und Koeffizienten zuweisen, auch die Parameter gehören zu gewissen Gruppen und charakterisieren diese. Tab. 1 gibt die Beeinflussung der Gruppen durch die 21 Parameter und ihrer Grösse (● > 0 > •). So charakterisiert die Punktdichte beispielsweise vor allem die Gruppe 2 (GN).

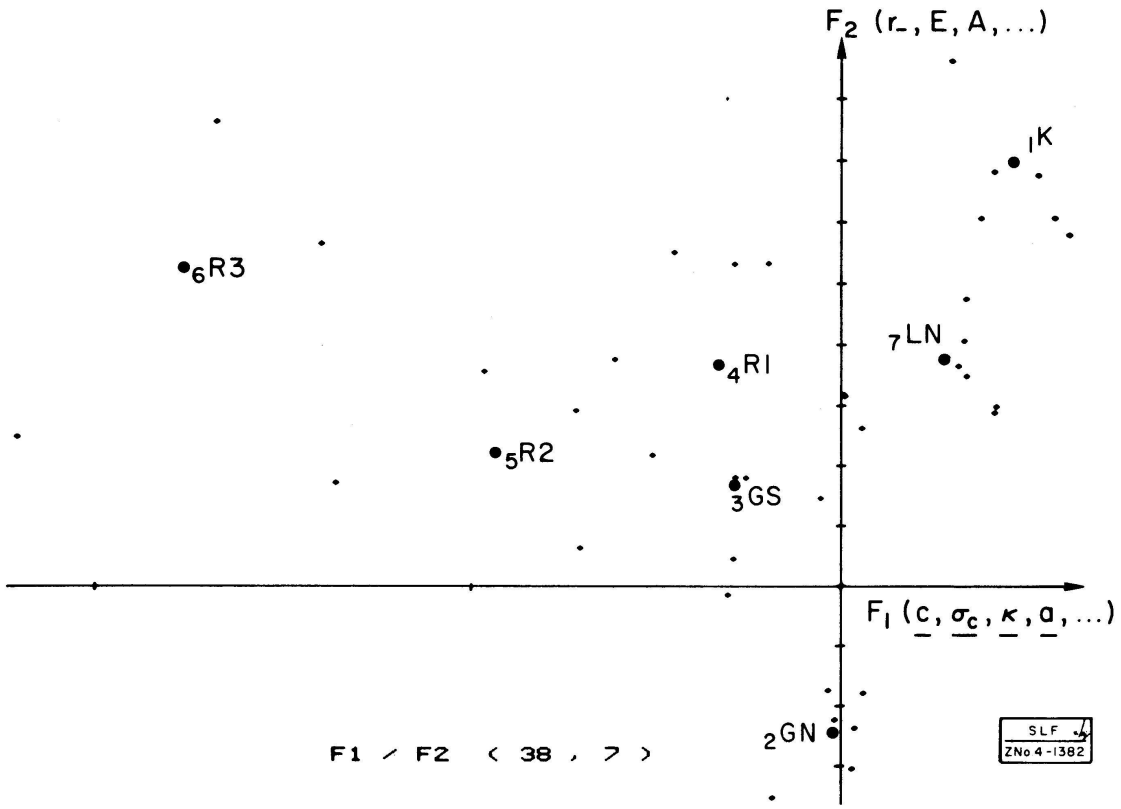


Abb. 6 Stabile Individuen und natürliche Gruppen in der ersten Hauptebene.

9. Ausblick

Die hier skizzierte und am Beispiel von LANDSAT-Daten erläuterte Methode der Erkennung, Parametrisierung und Darstellung relevanter Strukturinformation scheint allgemein anwendbar zu sein.

Sie wurde beispielsweise schon eingesetzt um Gefüge- (Schnee) Schnitte zu charakterisieren und diese mit mechanischen Messwerten zu verknüpfen. 10)

Der beschriebene Analysegang will keine endgültigen Resultate vorweisen. Vielmehr sollen diese Angaben dem Interpretator (Geograph, Geomorphologe, Hydrologe, ...) die Beantwortung seiner spezifischen Fragestellungen erleichtern.

Wir danken dem Canadian Centre for Remote Sensing, Ottawa für die Ueberlassung der Datenbänder und der LANDSAT-Informationen, sowie dem Rechenzentrum der ETH, Zürich für die zur Verfügung gestellte Rechenzeit.

Literaturangaben

1) Fürbringer W. und Haydn R. 1974. Zur Frage der Orientierung nordalaskischer Seen mit Hilfe des Satellitenbildes. Polarforschung, **44**, p. 47 - 53.
Gfeller R.E. 1975. Untersuchungen zur automatisierten Schneeflächenbestimmung mit Multispektralaufnahmen des Erderkundungssatelliten ERTS-1. Dissertation, Universität Zürich.
Lee D.R. und Sallee G.T. 1970. A Method of Measuring Shape. The Geographical Review, **60**, 4, p. 555 - 563.
Seidel K. 1976. Digitale Bildverarbeitung. Technischer Bericht, Photographisches Institut der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.
2) 1975. General LANDSAT Information Kit. Canadian Centre for Remote Sensing, Ottawa, Ontario, Canada.
3) Crettol R. und Good W. 1974. MSTER- Ein Programm zur Bestimmung von strukturellen Parametern mittels Computer - kompatibeln Abbildungen von Schneedünnschnitten. Interner Bericht No. 536. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos.
4) Cooley W.W. und Lohnes P.R. 1971. Multivariate Data Analysis. John Wiley & Sons, Inc. New York.
5) Lebart L. und Fenelon J.P. 1973. Statistique et Informatique Appliquées. 2ème édition, Dunod, Paris.
6) Späth H. 1975. Cluster-Analyse-Algorithmen. R. Oldenbourg Verlag, München.
7) Romeder J.-M. 1973. Méthodes et Programmes d'Analyse Discriminante. Dunod, Paris.
8) 1970. IBM System/360 Scientific Subroutine Package. Version III. 5th edition. IBM Corporation, Technical Publications Departement, New York.
9) 1973. dec-11-SSP Reference Manual. Digital Equipment Corp., Maynard, Mass.
10) Good W. 1976. Multivariate Data Analysis to Describe Intra- and Inter-Granular Relations in Thin Sections. Proceedings of the Fourth International Congress for Stereology, NBS, Gaithersburg, Maryland, September 1975, p. 75 - 78.

3. W. Kuhn und J. Quiby (Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt, Zürich): Dynamischer Beitrag zur Niederschlagsprognose in der Schweiz

Die numerischen Prognosen, die wir von den Wetterdiensten der BRD und der USA zweimal täglich erhalten, beruhen auf physikalischen Simulationsmodellen der Atmosphäre, deren Differentialgleichungen nach der Methode der finiten Differenzen in Gittern mit etwa 350 km horizontaler Maschenweite gelöst werden. Prognostiziert wird in erster Linie die Höhe von Standard-Isobarenflächen über der ganzen Nordhemisphäre, und zwar auf 24, 48 und 72 Stunden, teils auch auf 5-6 Tage im voraus. Entsprechend der Maschenweite können mit einem solchen Verfahren Tief- und Hochdruckgebiete und Wellen des Druckfeldes mit charakteristischen horizontalen Abmessungen von 1'000 km und mehr erfasst werden, während kleinere Gebilde verfälscht oder gar nicht wiedergegeben werden. Die Vorhersage des Wetters in der Schweiz auf Grund der grossräumigen Prognosenkarten bleibt Aufgabe der Meteorologen.