

Zur Berechnung des Volumens von unregelmäßigen Gewässerkörpern

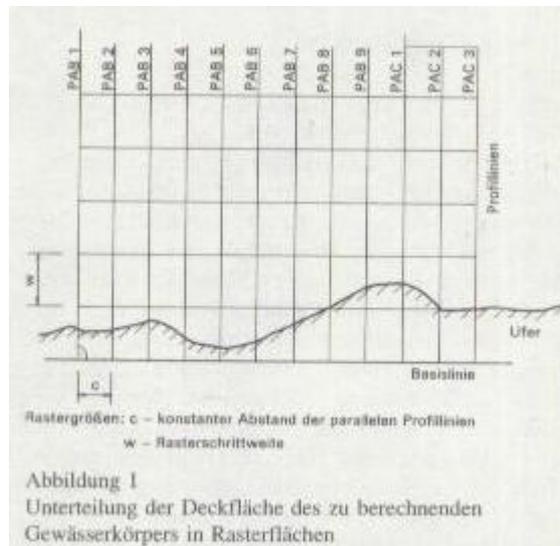
Vorbemerkungen

Aus der sich ständig verbessernden Ausstattung mit der *Mikrorechentechnik* (PC 1715, A 5120, A 7100, A 7150) in Einrichtungen der Geographie, der Landschafts- und Territorialforschung sowie -planung erwächst ein Problem hinsichtlich der verfügbaren bzw. nutzbaren Software. Analog zur Anwendung mathematischer Methoden kann man die *Software* aufgrund der damit lösbaren Problemstellungen hinsichtlich der Breite ihres Anwendungsbereiches untergliedern in interdisziplinäre Software, Software für die Geowissenschaften und Software speziell für die Geographie. Da programmierende Geographen noch nicht in ausreichendem Maße zur Verfügung stehen, sollten sich die wenigen vor allem der letzteren Gruppe zuwenden. Die Programme zur Lösung ganz konkreter geographischer Aufgaben werden kaum außerhalb der geographischen Einrichtung geschrieben, es sei denn als Honorarauftrag. Die Software aus den ersten beiden Gruppen hingegen kann auf kommerziellem Wege beschafft werden. Sie ist zumeist so aufbereitet, daß auch ein nicht mit entsprechenden EDV-Kenntnissen ausgestatteter Geograph sie relativ schnell nutzen kann.

Bei der Erstellung eines Programms zur Lösung der geographischen Aufgabenstellung muß man aber auch berücksichtigen, daß ein Programm erst dann effektiv ist, wenn es häufiger genutzt wird. Eine gewisse *Übertragbarkeit* der methodischen Lösung auf analoge inhaltliche Aufgabenstellungen sollte deshalb gegeben sein. Hier gilt es einen sinnvollen Kompromiß zwischen einmaliger Nutzung und der Universalität eines Programms zu finden. Das nachfolgend vorgestellte Programm "VOLUMEN" zur Berechnung von *unregelmäßig geformten Gewässerkörpern* ist ein durchaus geeignetes Beispiel.

Die Volumenberechnung für Ausschnitte der Erdoberfläche ist eine bereits sehr alte und immer wieder aktuelle Aufgabenstellung bzw. Anforderung an Geographen. Vor genau 100 Jahren hat bereits PENCK (1890) auf die verschiedensten mathematischen Lösungsansätze von der Pyramiden- und Kegelstumpfmethode über die Prismenvarianten bis zu den von ihm genutzten Murrayschen Zylinder hingewiesen.

Das *fachspezifisch-geographische Problem* besteht jedoch nicht in der konkreten Formel zur Volumenberechnung, sondern in der "oft nicht recht zum Bewußtsein kommenden Voraussetzung ..., daß das zu berechnende Volumen ein geometrisch regelmäßiger Körper sei, was ja mit der Landoberfläche nie der Fall ist" (PENCK 1890, S. 155). Damit besteht die eigentliche Problemlösung in der aus den fachlichen Voraussetzungen abgeleiteten inhaltlichen Lösung zur Approximation des Reliefs durch Prismen als geometrisch-regelmäßige Körper, einschließlich des (linearen) Interpolationsansatzes. Die auch historisch belegte Häufigkeit dieser Aufgabenstellung fordert dabei eine *programmatische Umsetzung* und damit den *Einsatz moderner Rechentechnik* geradezu heraus.



Im Jahre 1987 erhielt der Verfasser die *Aufgabe*, ein Programm zu erstellen, das die Berechnung der Volumina von Gewässerkörpern und die Bestimmung von Differenzen der Volumina eines Gewässerabschnittes bei zwei verschiedenen Zeitschnitten auf der Basis von äquidistanten und parallelen Profillinien ermöglicht. Diese Aufgabenstellung war mit einer gewissen Universalitätsforderung verknüpft. So sollte das Einsatzgebiet dieses Programmes das Spektrum von kleinen Gewässerabschnitten wie Teilen von Boddengewässern bis hin zu Gewässern von der Größe der Ostsee ausschöpfen. Bei den kleineren Wasserkörpern kann damit eine indirekte Beantwortung der Frage nach der Wirksamkeit von Sandaufspülungen im Küstenschutz durch die Berechnung der Wasservolumenzunahme für einen entsprechenden Gewässerabschnitt ermöglicht werden, da sich das Volumen des zwischen zwei Zeitschnitten abgetragenen Sandes dem Betrage nach genähert als Differenz der jeweiligen Wasservolumina ergibt. Für die Ostsee hingegen soll durch dieses Programm eine computer-gestützte Berechnung von isostatisch gesteuerten Wasserkörpervoluminaänderungen beim postglazialen eustatischen Meeresspiegelanstieg gewährleistet werden (vgl. AURADA 1988).

Beide Fragestellungen bedingen notwendigerweise eine *Vergleichsfähigkeit*, die jeweils deckungsgleiche Abschnitte erfordert, denn die Frage nach Differenzen der Volumina von Gewässerteilen ist nur über kongruenten Flächenstücken sinnvoll. Die Beantwortung der zweiten Fragestellung erfordert auf Grund der Datenmenge unbedingt eine Aufteilung der Ostsee. Diese Zerlegungen der Ostseefläche zu verschiedenen Zeitschnitten müßten folglich jeweils deckungsgleich sein. Eine weitere Forderung bestand darin, bei kleinen Wasserkörpern die Ausführbarkeit der Berechnungen auf der Grundlage von äquidistanten parallelen Profillinien zu ermöglichen (eine computergestützte Vergleichsmöglichkeit von Seekarten durch quadratische Regression stellen z.B. ALLENBERG und WITTMANN 1988 vor). Das *Programmsystem "VOLUMEN"* genügt diesen Anforderungen.

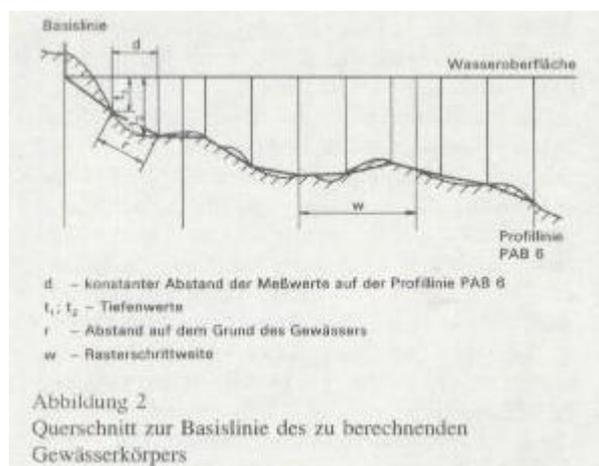
Ermittlung einer dreidimensionalen Bezugsbasis auf kartographischer Grundlage

Da zur Lösung der Aufgabenstellung eine Kartengrundlage unbedingt notwendig ist, ergibt sich neben der Frage nach der Wahl des Koordinatensystems die Frage nach der *günstigsten Kartenprojektion*. Da das Programm vorwiegend für Meeresgewässer eingesetzt werden soll und für dieses Anwendungsgebiet die Seekarten die am leichtesten zugängliche Kartengrundlage liefern, die auch für die zu untersuchenden Boddengewässer und die gesamte Ostsee flächendeckend vorliegen, erscheint die Mercatorprojektion für diesen Anwendungsbereich am günstigsten. Diese Projektion kann aber nicht ohne *Entzerrung* genutzt werden, weil die vermessenen Profillinien auf der Karte allgemein nicht als Geraden dargestellt werden und die Entfernung zwischen den Meßpunkten verzerrt wird. Auf Grund der manuellen Datenerfassung empfiehlt es sich, die Längen und Richtungen der Profillinien bei der Eingabe der Daten entsprechend den am Rand der Seekarte angegebenen Verzerrungsmaßstäben zu entzerren, so daß die eingegebenen Daten als verzerrungsfrei angesehen werden können. So ist auch eine Übertragungsmöglichkeit auf benachbarte Gebiete gewährleistet, und es können ohne größere Probleme meßverfahrensbedingte Fehlerquellen ausgeglichen werden.

Für die weitere Betrachtung wird sich auf ein ebenes Koordinatensystem gestützt, das sich auf der Bildebene der Wasseroberfläche befindet. In dieses Koordinatensystem sind die Bilder der Projektionen der Profillinien auf die Wasseroberfläche eingetragen. Diese werden mit Profilbasislinien bezeichnet. Es werden dann Punkten dieser Linien Tiefenwerte zugeordnet. Das geschieht für alle Profilbasislinien, die parallel sein sollen, was für ihre Bilder natürlich nur näherungsweise zutreffen kann. Die Punkte in der Systemebene sind also Stützstellen einer über bzw. unter dieser Ebene liegenden Oberfläche. Die Aufgabe besteht nun darin, das Volumen zwischen dieser Oberfläche und der Koordinatensystemebene zu bestimmen. Hierzu definiert man ein *neues Koordinatensystem*, das aus dem alten und der hinzugekommenen Tiefenachse besteht und somit *dreidimensional* wird. Es besteht damit aus den beiden Achsen in der Bildebene, in der sich die Profilbasislinien befinden, und der dritten Achse in Tiefenrichtung.

Es sei noch eine kurze Bemerkung zum Abstand der Meßpunkte gestattet. Da es sich in der Praxis zu einem großen Teil um kontinuierliche Profillinien in Form von Echogrammen handelt, die manuell diskretisiert werden müssen, sollte man den Abstand der Punkte auf der Profilbasislinie, denen Tiefenwerte zugeordnet werden, konstant wählen. Andernfalls müßte zu jedem Tiefenwert noch der Abstand dieses Punktes der Profilbasislinie vom benachbarten gespeichert werden, was den Speicherplatzbedarf für jede Profillinie bei einer rechentechnischen Lösung nahezu verdoppeln würde. Es kann aber der Abstand der Meßpunkte für jede Profilbasislinie jeweils variiert werden, um eine möglichst gute Anpassung an das tatsächliche Profil zu gewährleisten. Aus diesen Gründen werden in den weiteren Betrachtungen die Abstände dieser Meßpunkte für jede Profilbasislinie jeweils als konstant, aber im allgemeinen verschieden von denen auf anderen Linien, angesehen.

Um Vergleiche zwischen den Volumina der Wasserkörper zu verschiedenen Zeitpunkten zu gewährleisten, wird die Koordinatenebene, die der Bildebene der Wasseroberfläche entspricht, in *Raster* eingeteilt. Nur wenn die Raster zu den verschiedenen Zeitschnitten deckungsgleich sind, lassen sich sinnvolle Berechnungen der Änderungen der Volumina über den einander entsprechenden Rasterflächen ausführen. Als Rasterlinien bieten sich hier auf jeden Fall die als parallel und äquidistant vorausgesetzten Profillinien an. Die anderen dazu senkrechten Rasterlinien könnte man variieren, müßte sie aber für zu vergleichende Zeitschnitte deckungsgleich wählen.



Herleitung der inhaltlichen Lösungsschritte zur Volumenberechnung

In dem Koordinatensystem soll nun das Volumen zwischen dieser Oberfläche und der Bildebene der Wasseroberfläche ermittelt werden. Da von dieser Fläche aber nur einige diskrete Punkte bekannt sind, muß sie approximiert werden. Diese läßt sich zwar bei einer Verringerung des Abstandes der Profillinien und einer Erhöhung der Meßdichte auf ihnen theoretisch beliebig gut annähern, ist jedoch in der Praxis nur durch Näherungsflächen darstellbar. Als Aufgaben stehen also eine *Oberflächeninterpolation* und eine anschließende Integration über der erhaltenen Fläche an.

Um eine solche Interpolation durchführen zu können, benötigt man genauere Kenntnisse über das Meßnetz. Wenn man, wie im vorliegenden Fall, nur die Tiefenwerte kennt und keine Informationen über die Abstiegsrichtungen zwischen den Profilen hat, läßt sich relativ wenig über die Güte einer Anpassung sagen. Es wäre auch in diesem Fall natürlich prinzipiell möglich, z. B. über Thiessen-Polygone zu einer Triangulation zu gelangen und durch polynomiales Glätten eine glatte Fläche zu erhalten. Aber auf Grund der Genauigkeitsanforderungen der vorgesehenen Anwender von einem Zehntel und der verfahrensbedingten Meßfehler bei den Profilmessungen sowie der tatsächlich vorhandenen Kenntnisse, die sich ja nur auf die Tiefenwerte beschränken, ist der damit verbundene Rechenaufwand nicht zu rechtfertigen. Aus diesen Gründen wird die Fläche linear interpoliert. Die *Integration* erfolgt dann zweckmäßigerweise nach der Trapezregel. Den Genauigkeitsanforderungen kann bereits damit entsprochen werden, und der Rechenaufwand ist vertretbar.

Die Profillinien und folglich auch ihre Profilbasislinien sind äquidistant und parallel. Deshalb läßt sich eine Basislinie in der Bildebene der Wasseroberfläche, die auch als Basisebene bezeichnet wird, finden, auf der sie alle senkrecht stehen. Mit dieser Basislinie kann dann ein *Raster* aufgebaut werden, dessen Größe durch den konstanten Abstand der parallelen Profillinien bzw. -basislinien c und die frei wählbare Rasterschrittweite w bestimmt ist (vgl. Abb. 1). Durch die Bestimmung des Flächeninhaltes der Querschnittsfläche, die von einer Profillinie und ihrer zugehörigen Profilbasislinie bestimmt wird (Abb. 2), und die anschließende Interpolation zwischen diesen Querschnittsflächen erhält man genähert das Volumen des Wasserkörpers.

Mathematische Schrittfolge zur Berechnung des Volumens

Folgende *Größen* können also als bekannt vorausgesetzt werden:

- der Abstand der Profillinien c ,
- der Rasterschrittweite w , die vom Nutzer selbst definiert wurde,
- der für jede Profillinie jeweils konstante Abstand der Punkte der Profilbasislinien, denen Tiefenwerte zugeordnet werden,
- die Tiefenwerte t_i für jede Profillinie (der Abstand d und die Tiefenwerte t_i können für jede Profillinie verschieden sein).

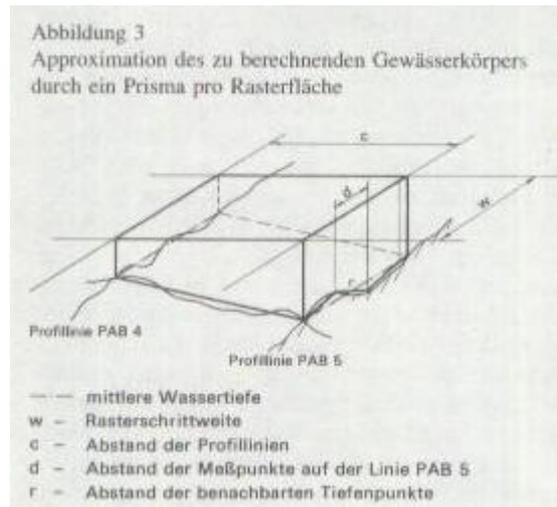
Auf einer nicht notwendig am Ufer befindlichen Basislinie stehen senkrecht die äquidistanten parallelen Profilbasislinien (vgl. Abb.1). Dabei wird das Raster durch die Größen c und w definiert. Nun werden entlang jeder Profilbasislinie für jeden Rasterabschnitt die Flächeninhalte der Flächen zwischen der Profil- und Profilbasislinie bestimmt (vgl. Abb. 2). Diese *Flächeninhaltsberechnung* erfolgt durch eine lineare Interpolation, d. h. das Integral wird näherungsweise mit Hilfe der *Trapezregel* berechnet. Dazu wird die Fläche eines Rasterabschnittes näherungsweise in solche Trapezflächen zerlegt, die jeweils durch die entsprechenden Strecken mit den Längen des konstanten Abstandes d , den entsprechenden Tiefenwerten t_i und t_{i+1} und dem Abstand r der zugeordneten Profilpunkte auf dem Grund des Gewässers begrenzt werden. Der Flächeninhalt eines solchen Trapezes ergibt sich dann nach der Formel:

$$A_i = (t_i + t_{i+1}) \cdot \frac{d}{2}$$

Den *Näherungswert* für den Flächeninhalt A_k des Rasterabschnittes erhält man durch die Summation der zugehörigen Trapezflächen. Gibt es Überschneidungen, d. h. liegt der nächste Rasterpunkt zwischen zwei Meßpunkten (vgl. Abb. 2) oder ist der Abstand der Meßpunkte d auf der Profilbasislinie größer als die Rasterschrittweite w , dann wird der Tiefenwert am Rastereckpunkt linear interpoliert. So erhält man einen Näherungswert für den Inhalt der Querschnittsflächen eines Rasterabschnittes. Aus diesem Wert wird nun die mittlere Wassertiefe m_k für diesen Abschnitt berechnet, indem der erhaltene Flächeninhaltswert A_k durch die Rasterschrittweite w dividiert wird, d. h. man erhält einen Tiefenwert m_k , der dem Betrage nach der einen Seitenlänge des der Querschnittsfläche inhaltsgleichen Rechtecks mit der anderen Seitenlänge w entspricht. Daraus ergibt sich sofort die Notwendigkeit, Gewässerabschnitten oberhalb der Wasseroberfläche den Tiefenwert 0 zuzuordnen. Nun werden die Inhalte aller Querschnittsflächen der Rasterabschnitte für jede Profillinie berechnet, woraus dann analog die jeweiligen mittleren Wassertiefen m_j bestimmt werden.

Danach wird das *Volumen zu jedem Rasterfeld* ermittelt. Dazu werden die Querschnittsflächen der Rasterabschnitte auf den Profilbasislinien durch die jeweils flächengleichen Rechtecke, die durch die entsprechenden Seitenlängen m_k und w bestimmt werden, ersetzt. Da beide zu betrachtenden mittleren Wassertiefen im allgemeinen verschieden sind, besitzen die Rechtecke auch unterschiedliche Flächeninhalte. Die Abbildung 3 zeigt ein solches Rasterfeld, bei dem die beschriebene

Prozedur vorgenommen wurde. Hier sind auch noch einige der in Abbildung 2 verwendeten Größen für eine der beiden Flächen eingetragen worden, um den Zusammenhang zu verdeutlichen.



Zwischen diesen beiden Linien der mittleren Wassertiefe interpoliert man bei den benachbarten Profilen dann linear und erhält somit ein Prisma mit einer Trapezgrundfläche. Die Länge der Seiten dieses Trapezes wird durch den Abstand der Profilinien, die beiden mittleren Wassertiefen m_j und m_{j+1} und die Länge der Interpolationsstrecke bestimmt. Das Volumen V dieses Prismas, das einen Näherungswert für das Wasservolumen zu einem solchen Rasterfeld liefert, wird bestimmt nach der Formel:

$$V = (m_j + m_{j+1}) \cdot c \cdot \frac{w}{2}$$

Aus der Summe der Volumina über den Rasterfeldern ergibt sich das *Gesamtvolumen* des Gewässers. Zur Bestimmung der Rauminhaltsveränderungen des Wasserkörpers über einem Gebiet zwischen zwei Zeitschnitten muß noch die *Volumendifferenz* ermittelt werden. Man subtrahiert dazu einfach die entsprechenden Rastervolumina voneinander. Die Gesamtdifferenz der beiden Volumina ergibt sich dann als Summe dieser Einzeldifferenzen. Sind die Raster zwar deckungsgleich, stimmen aber die Profillängen nicht überein, kann natürlich die Gesamtvolumendifferenz von der Differenz der beiden Gesamtvolumina abweichen.

Rechentechnische Realisierung des Programmsystems "VOLUMEN"

Zur rechentechnischen Realisierung dieser mathematischen Schrittfolge wurde das *Programmsystem "VOLUMEN"* entwickelt. Dieses System, das in BASIC geschrieben wurde, läuft auf den Rechnern PC 1715, A 5120, A 7100, A 7150 und dem Schneider-PC 1512. Eine überarbeitete PASCAL-Variante soll folgen.

Das Programmsystem "VOLUMEN" besteht aus sechs Teilen mit einem Gesamtumfang von 60 Kilobyte, die alle über Menüs verbunden sind, welche die Teile, die nicht benötigt werden, nur bei Bedarf in den Hauptspeicher holen, um Speicherplatz zu sparen. Mit einer solchen Aufteilung in relativ autarke Teilprogramme ist dieses System universell einsetzbar, können doch bestimmte Teile des Systems bei Bedarf für andere Zwecke genutzt oder auch durch modernere ersetzt werden. Durch den Menübetrieb ist das Programm sehr nutzerfreundlich und ermöglicht im Dialog mit dem Anwender ein schnelles und komplikationsloses Arbeiten. Einen Überblick über die Beziehungen zwischen den Teilprogrammen vermittelt der Datenflußplan (vgl. Abb. 4).

Die Teilprogramme realisieren die jeweiligen Verarbeitungsschritte bei der Lösung der Aufgabenstellung, und die Dateien verkörpern die Verarbeitungsstufen im Sinne von MARGRAF (1983). Zur eigentlichen Lösung dieses Problems sind, neben dem Grundprogramm und dem relativ selbständigen Unterprogramm "JAHRDIF" zur Bestimmung der Differenz der Zeitschnitte, das Eingabeprogramm "EINGABEL", das Volumenberechnungsprogramm "RECHNU" und das Programm zur Bestimmung der Volumendifferenzen "VOLDIF" notwendig.

Diese Programme erstellen und benötigen *Dateien*. Die Profildateien (PRF) werden vom Eingabeprogramm erstellt und verkörpern eine Diskretisierung der Profilinien. Aus diesen Dateien errechnet das Teilprogramm "RECHNU" Volumendateien, die die Rastervolumina und das Gesamtvolumen zum Inhalt haben. Aus zwei solchen Volumendateien (VOL) kann bei Deckungsgleichheit der Raster mit "VOLDIF" eine Volumendifferenzdatei erstellt werden, die die zeitliche Differenz als Dateikennzeichen erhält. Alle diese Dateien beinhalten in ihrem Namen die Gebietsbezeichnung und den jeweiligen Zeitschnitt. Sie bleiben erhalten und können natürlich auch für völlig andere Zwecke verwendet werden, d. h. die Digitalisierung der Profile braucht also nur einmal zu erfolgen. Mit dem Teilprogramm "DRU" kann die tabellarische Ausgabe

über den Drucker oder bzw. und den Bildschirm erfolgen. Es können Gebiete mit bis zu 2000 Rasterfelder pro Linie verarbeitet werden.

Der Nutzer ist auch in der Lage, innerhalb des Systems Dateien umzubenennen oder zu löschen, denn zur Realisierung dieser Wünsche wurde das Teilprogramm "DAT" konzipiert. Alle notwendigen Hinweise werden dem Anwender an den entsprechenden Stellen in den Programmen gegeben, aber im Notfall können in der Kurzdokumentation "DOK" Informationen eingeholt werden. Für die Nutzung dieses Programmsystems sind weder größere Kenntnisse der Rechentechnik noch der Programmiersprache BASIC notwendig.

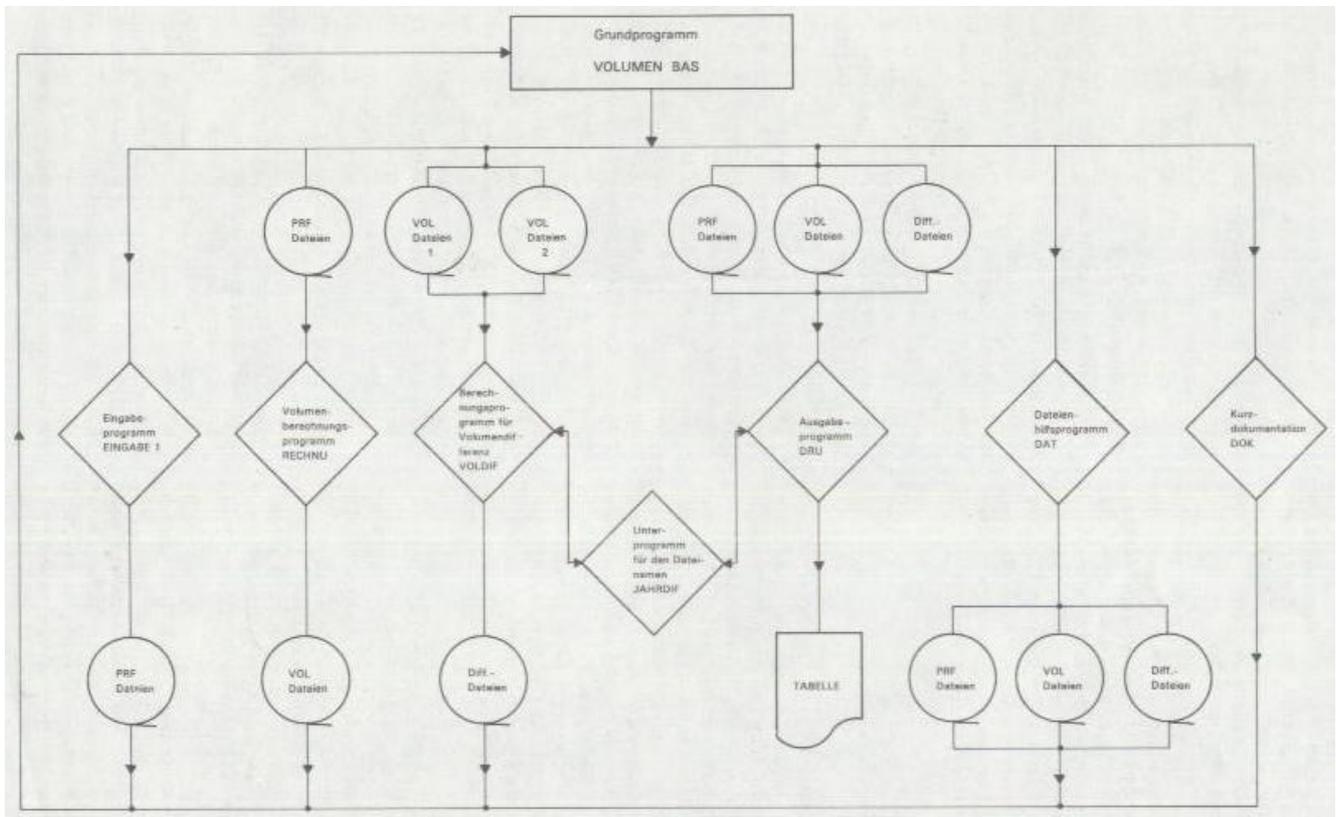


Abbildung 4: Datenflußplan des Programmsystems "VOLUMEN"

Anwendungsbeispiel aus dem Nutzungsspektrum des Programmsystems "VOLUMEN"

Der Nutzen des Programmsystems "VOLUMEN" soll an einem kleinen Anwendungsbeispiel erläutert werden. Natürlich kann ein praktisches Beispiel aus dem Ostseeraum aus Platzgründen hier nur auszugsweise vorgestellt werden: Der Strand von Lubmin am Greifswalder Bodden ging in den letzten Jahren um mehrere Meter zurück. Um ihn zu erhalten, erfolgen im Rahmen der Küstenschutzmaßnahmen Strandaufspülungen. Deshalb ist die *Frage nach der Wirksamkeit dieser künstlichen Strandernährung* von besonderem Interesse. Man möchte also wissen, wieviel Sand in bestimmten Zeiträumen abgetragen wird. Darum werden seit 1988 regelmäßig äquidistante und parallele Profile eingemessen, die mit einer Basislinie am Ufer einen rechten Winkel einschließen. Diese Messungen werden nach jedem Hochwasser, das die Höhe von 50 cm übersteigt, durchgeführt. Die Tabelle 1 zeigt die auf NN bezogenen Höhenangaben der Profile in Meter. Der Abstand der betrachteten fünf Profile beträgt jeweils 50 m, der Meßwerte auf den Profilen je 3 m und die Gesamtlänge jedes Profils 45 m. Es wird also in diesem Fall eine Fläche von 9000 m² betrachtet.

Nun stellt sich somit die Frage nach den Änderungen des Sandvolumens. Für eine Anwendung des Programmsystems "VOLUMEN" muß diese Fragestellung jedoch abgeändert werden, da jetzt nach der Wasservolumenzunahme gefragt wird, die aber der Sandvolumenzunahme dem Betrage nach gleich sein dürfte. Es handelt sich in diesem Fall um Profile, die sich zum Teil oberhalb des Wasserspiegels befinden, und es ist zweckmäßig, eine solche Bezugsebene zu wählen, die parallel zu ihm und über ihm liegt. Im konkreten Falle wurde die Basisebene auf dem Niveau 3 m NN verwendet.

Die Tiefen- bzw. Höhenwerte wurden bei der Eingabe entsprechend abgeändert. Aus diesen Werten wurden mit dem Programmsystem die Gesamtvolumina des so entstandenen Wasser-Luft-Körpers über dem Profil bei beiden angegebenen Zeitschnitten errechnet. Daraus wurde dann die Gesamtvolumendifferenz von 559,4 m³ für dieses Gebiet errechnet. Diese Differenz entspricht dem Volumen des abgetragenen Sandes. Im angeführten Beispiel wurden aus Platzgründen nur zwei Zeitschnitte betrachtet. In der Praxis dauern die Untersuchungen am Strand von Lubmin aber noch an.

Diese auszugsweise vorgestellte Anwendungsmöglichkeit des Programmsystems "VOLUMEN" gibt sicher schon einen kleinen Einblick in das breite Nutzungsspektrum dieses Verfahrens.

Höhenprofile am 1.10.1988					Höhenprofile am 6.1.1989				
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1,87	2,05	1,95	2,14	2,01	2,25	2,20	2,01	2,16	1,99
1,76	2,01	1,74	1,88	1,78	1,99	2,07	1,78	1,87	1,75
1,59	1,89	1,53	1,61	1,51	1,82	1,92	1,57	1,67	1,55
1,43	1,58	1,32	1,30	1,30	1,59	1,54	1,48	1,47	1,46
1,31	1,36	1,28	1,14	1,15	1,45	1,44	1,44	1,26	1,19
1,28	1,17	1,25	1,05	1,06	1,28	1,23	1,37	1,13	1,14
1,16	1,09	1,09	1,02	0,97	1,17	1,14	1,23	1,10	1,06
1,05	1,02	0,96	0,92	0,88	1,01	1,06	1,04	0,93	0,99
0,91	0,89	0,85	0,87	0,77	0,83	0,82	0,81	0,76	0,79
0,78	0,83	0,73	0,75	0,67	0,68	0,68	0,62	0,64	0,65
0,71	0,69	0,65	0,65	0,59	0,63	0,68	0,57	0,60	0,57
0,59	0,61	0,57	0,56	0,53	0,35	0,66	0,59	0,47	0,66
0,54	0,53	0,50	0,43	0,45	0,16	0,33	0,60	-0,05	0,51
0,56	0,63	0,53	0,40	0,33	-0,02	-0,10	0,63	-0,14	0,15
0,43	0,43	0,51	0,52	0,36	0,02	-0,18	0,37	-0,21	-0,16
0,18	0,18	0,26	0,42	0,53	-0,02	-0,23	-0,01	-0,26	-0,23

Tabelle 1

Höhenangaben (in m) der zu zwei unterschiedlichen Jahreszeiten aufgenommenen fünf Profillinien (Abstand der Linien = 50 m., Abstand der Meßpunkte auf den Linien = 3 m, Länge der Linien = 45 m) am Strand von Lubmin am Greifswalder Bodden

Literatur

- ALLENBERG B., und J. WITTMANN: Möglichkeiten des computergestützten Vergleichs von Seekarten durch quadratische Regression. Diplomarbeit, Universität Greifswald 1988
- AURADA, K. D.: Raum-Zeit-Phänomene im Ostseeraum. In: Peterm. Geogr. Mitt., 132 (1988) 1, S. 1-14
- BALSER, L.: Einführung in die Kartenlehre (Kartennetze). 2. Aufl. Mathematisch-Physikalische Bibliothek. Leipzig 1951
- BRENSING, A.: Das Verebnen der Kugeloberfläche für Gradnetzentwürfe - Ein Leitfaden für den Unterricht. Leipzig 1892
- KAPPLER, O.: Erstellung eines Programms zur Berechnung der Volumina und zur Bestimmung von Volumendifferenzen von Gewässerkörpern. Belegarbeit, Universität Greifswald 1987
- MARGRAF, O.: Geographische Strukturanalyse unter dem methodischen Gesichtspunkt einer sukzessiven Abarbeitung von Datenmatrizen. In: Peterm. Geogr. Mitt., 127 (1983) 3, S. 153-159
- PENCK, A.: Die Volumenberechnung von Höhen und Tiefen der Erdoberfläche. In: Peterm. Mitt., 36 (1890) 6, S. 154-156
- Programmiersprache BASIC für PC 1715. In: edv aspekte, 5 (1986)
- SAKATOV, P. S.: Lehrbuch der höheren Geodäsie. Berlin 1957

OLAF KAPPLER

Erschienen in: Geographische Berichte, 134
Heft 1/1990, Seite 53 ... 60
VEB Hermann Haack Gotha