

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 80 (1988)
Heft: 1-2

Artikel: Seegrundvermessungen im Lago Maggiore : das Wachstum des Maggia- und Ticino/Verzasca-Deltas von 1890 bis 1986
Autor: Lambert, André
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940691>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Seegrundvermessungen im Lago Maggiore: Das Wachstum des Maggia- und Ticino/Verzasca-Deltas von 1890 bis 1986

André Lambert

Zusammenfassung

Im Winter 1984/85 wurde das Maggia-Delta und im Sommer 1986 das Ticino/Verzasca-Delta im Lago Maggiore neu vermessen, um das Wachstum dieser Schuttfächer seit den letzten Aufnahmen (1952 bzw. 1932) zu kartieren und das Ablagerungsvolumen abzuschätzen. Aus diesen Daten ergab sich für den Teilbereich Maggia (1952–1984) ein mittlerer jährlicher Eintrag von 325 000 m³ oder pro km² Einzugsgebiet 351 m³. Ticino und Verzasca schütteten gemeinsam von 1932 bis 1986 im Jahresmittel rund 300 000 m³ in den See, pro km² Einzugsgebiet 152 m³. Der Vergleich mit früheren Aufnahmen (seit 1890) deutet auf ein beschleunigtes Wachstum des Maggia-Deltas hin, während dasjenige des Ticino und der Verzasca eher eine Verzögerung erfahren hat. Neben den hydrologischen Faktoren waren auch Eingriffe im Einzugsgebiet (Baggerungen, Kraftwerkbau, Verbauungen) für diese Entwicklung mitbestimmend. Mehrjährige Aufzeichnungen (seit 1926) des Geländeknicks am Übergang vom oberflächennahen Deltagebiet der Maggia zur steileren Vorschüttung lassen vermuten, dass frontale Teile des Ablagerungskegels sporadisch abgleiten können.

Sommario: Rilievi batimetrici nel Lago Maggiore: crescita del delta della Maggia e del delta del Ticino e della Verzasca 1890–1986

Durante l'inverno 1984/85 sono stati eseguiti i nuovi rilievi del delta della Maggia, e nell'estate 1986 quelli del Ticino e della Verzasca, nell'intento di determinarne la crescita per rispetto agli ultimi rilievi batimetrici effettuati nel 1952, rispettivamente nel 1932, e di valutarne le cubature. Dai dati ricavati si è potuto stabilire che il delta della Maggia (1952–1984) è aumentato in media di 325 000 m³ all'anno, ciò che equivale ad un accrescimento, per km² del bacino imbrifero, di 351 m³/anno. Dal canto loro il Ticino e la Verzasca, hanno versato collettivamente nel lago, fra il 1932 e il 1986, circa 300 000 m³ in media all'anno o, 152 m³/anno e km² di bacino imbrifero. Un confronto fra i rilievi precedenti (dal 1890), ci rivela che, per quanto riguarda il delta della Maggia, vi è stata un'accelerazione di crescita, mentre per quelli del Ticino e della Verzasca è piuttosto il contrario che si è verificato. A prescindere dai fattori idrologici, a tale sviluppo hanno condeterminato anche gli interventi dell'uomo, quali: dragaggi, opere di genio fluviale, costruzioni di centrali idroelettriche ecc.

Da misure effettuate sull'arco di molti anni (dal 1926) del punto d'intersezione fra la parte pianeggiante e quella inclinata del delta della Maggia, lasciano supporre che sporadicamente si producano dei franamenti di parti del materiale frontale del cono.

Einführung

«Die Delta- und Seegrundaufnahmen geben uns die sichersten langjährigen Mittelwerte für die gesamte Feststoffführung eines Flusses.» So umrissen die Verfasser einer Studie des Eidgenössischen Amtes für Wasserwirtschaft im Jahre 1939 den Zweck der Deltavermessung, rückblickend auf die

Ergebnisse langjähriger Messreihen in verschiedenen Seen. Bekanntestes Beispiel war und ist wohl heute noch das Rheindelta im Bodensee, das seit der Korrektur von 1900 («Fussacher Durchstich») etwa alle 10 Jahre neu vermessen wird. Daraus lassen sich die Entwicklungsphasen des Deltas und damit der Abtrag im Einzugsgebiet des Alpenrheins rekonstruieren [Jäckli, 1958]. Das Rheindelta wächst jährlich um 2 bis 3 Mio m³.

Bis in die 50er Jahre war die Abteilung Landeshydrographie (heute als Landeshydrologie und -geologie dem BUS zugeteilt) im Eidg. Amt für Wasserwirtschaft bestrebt, die wichtigsten schweizerischen Flussdeltas in möglichst regelmässigen zeitlichen Intervallen zu vermessen. Dann folgte eine Verlagerung der Prioritäten – wohl nicht zuletzt, weil inzwischen auch die grösseren Wasserkraftprojekte realisiert waren –, welche die Aktivitäten des Dienstes auf diesem Gebiet stark einschränkte. Dadurch wurde die regelmässige Aufzeichnung des Wachstums wichtiger Deltas lange unterbrochen. Angesichts der zum Teil auf über hundert Jahre zurückgehenden, mit grossem Aufwand erhobenen Daten der ersten Seegrundvermessungen war diese Zäsur nicht länger zu verantworten, zumal mit den neuen Methoden der Seevermessung der Arbeitsaufwand unvergleichlich geringer ist.

Mit einem Forschungsprojekt zur Neuvermessung des Linthdeltas im Walensee (nach 38 Jahren) machte die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich einen ersten Schritt zur Wiederaufnahme dieser aufschlussreichen Messserien [Lambert, 1980]. Inzwischen ist mit der Diskussion um das Wald- und Bodensterben auch die Erosionsproblematik in der Öffentlichkeit wieder vermehrt in den Vordergrund getreten. In diesem Zusammenhang gilt es, zuverlässige Vergleichsgrundlagen bezüglich des Gebietsabtrags und des Feststofftransports zu erarbeiten, was mit Hilfe wiederholter Deltavermessungen für weite Teile der Schweiz mit vergleichsweise geringem Aufwand möglich ist.

Mit der Zuteilung des Bereichs Flussbau an das Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) auf den 1. Januar 1979 hat die Frage der Deltabildung für das Amt wieder an Bedeutung gewonnen. Gestützt auf die Erfahrungen der VAW bei der Vermessung des Linthdeltas gelangten VAW und BWW zur Überzeugung, dass eine Neuaufnahme des Maggia- und Ticino/Verzasca-Deltas im Lago Maggiore nach den Hochwasserkatastrophen von 1978 und 1983 auch aus flussbaulicher Sicht angezeigt wäre. In kurzer Zeit konnte das BWW – mit Beteiligung des Kantons Tessin – die finanziellen Mittel bereitstellen, um in einer ersten Phase die Vermessung des Teilbereichs Maggia in Auftrag zu geben. Damit sollte auch eine zusätzliche Grundlage für das Ausbauprojekt «Maggia» zur Verfügung gestellt werden. Die Vermessungsarbeiten konnten bereits im Winter 1984/85 abgeschlossen werden. 1986 erfolgte dann die Neuaufnahme des oberen Seeteils mit den Deltas des Ticino und der Verzasca. Der vorliegende Artikel fasst die Ergebnisse sowohl der bisherigen als auch der neuesten Seegrundaufnahmen im oberen Lago Maggiore zusammen und versucht die Entwicklung des Deltas anhand der ermittelten Wachstumsraten nachzuzeichnen, um daraus den Feststofftransport und die Erosion im Einzugsgebiet abzuschätzen.

1. Bisherige Seegrundaufnahmen

Die klassische Morphologie des Maggia-Schuttfächers hat ihn längst zum Musterbeispiel des Deltas werden lassen. Immer wieder taucht auch die Frage auf, wie lange man noch zu warten habe, bis der vordringende Schuttkegel das gegenüberliegende Ufer erreicht haben wird!



Bild 1. Das Maggiadelta im Jahre 1853 mit zwei Mündungsarmen in Richtung Locarno und Ascona, welche im Zuge der Maggia-Korrektion (1891 bis 1899) in einem geradlinigen Kanal zusammengefasst wurden.

Dies hatte eine Konzentration der Ablagerungen vor der neuen, bis heute aktiven Mündung zur Folge.

Reproduktion des Original-Messtisch-Blatts 1:50 000, aufgenommen von H. Siegfried 1853/54 (Archiv Nr. 457 des Bundesamtes für Landestopographie).



Bild 2. Die Mündung der Maggia im Jahre 1977 (Ausschnitt aus der Landeskarte der Schweiz, 1:50 000). Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes für Landestopographie vom 21. Dezember 1987.

Der Siegfried-Atlas (1853/54) zeigt zwar noch keine Tiefenlinien, dokumentiert aber zwei Mündungsarme in Richtung Ascona und Locarno (Bild 1). Diese Verzweigung wurde im Rahmen der Maggia-Korrektion von 1891 bis 1899 abgedämmt, so dass der Fluss bis heute nur noch an einer Stelle in den See mündet (Bild 2). Nur einmal, während des Hochwassers vom 25. August 1900, wurde der alte Mündungsarm in Richtung Ascona nach einem Dammbbruch vorübergehend reaktiviert.

Im Jahr 1890 war vom eidgenössischen topographischen

Dienst als Grundlage für die geplante Korrektion auch eine Tiefenkarte für den gesamten schweizerischen Anteil des Lago Maggiore erstellt worden, die auf insgesamt 1884 Lotungspunkten beruht. Damit war auch der subaquatische Teil des Maggia-Deltas erstmals bathymetrisch erfasst, mit durchschnittlich 26 Punkten/km² allerdings nur sehr grob. 36 Jahre später erfolgte im Januar/Februar 1926 die erste Tiefenvermessung, mit der zielgerichtet eine Abschätzung des Deltawachstums vorgenommen werden sollte. Zur Verwendung kam die von der Eidg. Landeshydrographie entwickelte «Methode der Deltavermessung» [Collet und

Tabelle 1. Zusammenstellung der wichtigsten Daten der bisherigen Deltavermessungen im Lago Maggiore.

Delta	Einzugs- gebiet [km ²]	Aufnahme- Jahr	Zeitraum [Jahre]	Durchschn. Punktdichte [Pkt./km ²]	Ablagerungs- volumen [m ³]	Ablagerung pro Jahr		Abtrag des Einzugsgebietes [mm/Jahr]
						Total [m ³]	pro km ² Ein- zugsgebiet [m ³]	
Maggia	926	1890	36	26	19'840'000	567'000	612	0,6
		1926	6	330	1'002'000	167'000	180	0,2
		1932	20	508	4'900'000	243'000	262	0,3
		1952	32	720	10'400'000	325'000	351	0,4
		1984		1276				
Ticino + Verzasca	1971	1890	41	26	24'935'000	608'000	308	0,3
		1932 1986	54	508 574	16'100'000	300'000	152	0,2
Maggia + Ticino + Verzasca	2897	1890	41	26	45'777'000	1'116'500	388	0,4
		1932	52/54	508	31'300'000	591'000	204	0,2
		1984/86		910				

Stumpf, 1916]: Jedes aufzunehmende Profil wurde mit einem Draht, der von einem Ufer zum anderen gespannt und an Schwimmkörpern aufgehängt war, markiert (Bild 3). Auf diesem Profil wurde in regelmässigen Abständen oder bei Bedarf die Tiefe mit einem Lotgewicht bestimmt; die Distanz zum Ufer konnte mit Hilfe der Markierungen auf dem Draht abgelesen werden. Die durchschnittliche Punktdichte von 330/km² gewährleistete die Konstruktion eines bathymetrischen Plans von erstaunlichem Detailreichtum [Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, 1926].

Nach sechs Jahren beschloss das Eidgenössische Amt für Wasserwirtschaft (EAW) eine Neuvermessung des *gesamten* oberen Seebeckens, also der Ablagerungszonen der *Maggia*, des *Ticino* (und der *Verzasca*). Die Aufnahme erfolgte im wesentlichen nach der gleichen Methode [Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, 1939], wobei man auf 17 km² insgesamt über 9000 Lotungen ausführte, was einer mittleren Punktdichte von 508/km² entspricht.

Obwohl im erwähnten Bericht des EAW eine Neuaufnahme dieses Gebietes nach 20 Jahren in Aussicht gestellt wurde, beschränkte man sich im Jahr 1952 wiederum auf den Teilbereich des Maggia-Deltas. Inzwischen war die Aufnahmemethode verfeinert worden, indem man das Messboot mit drei Ankerseilen fixierte und seine Position durch Vorwärtseinschnitt von zwei Theodolitstationen aus bestimmte

[Walser, 1952]. Dadurch wurden Fehler infolge Abdrift des Bootes während der Lotung weitgehend eliminiert und eine optimale Messgenauigkeit erreicht. Auf dieser Grundlage (Punktdichte: 720/km²) liess sich ein detaillierter Kurvenplan mit einer bisher nicht erreichten Präzision erstellen.

2. Die Neuaufnahmen

Aus den einleitend erwähnten Gründen kam die gemäss 20-Jahr-Rhythmus für 1972 vorgesehene Aufnahme nicht zustande. Die Hochwasserkatastrophen von 1978 und 1983 gaben dann letztlich den Anstoss, dass die VAW und das Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW) eine Neuaufnahme beschlossen und das Ingenieurbüro Pfeiffer (Winterthur) mit dieser Arbeit beauftragten.

Grundsätzlich war die Vermessung des gleichen Perimeters wie 1932, das heisst der gesamte obere Seeteil mit den Deltas der Maggia, des Ticino und der Verzasca in einem Arbeitsgang vorgesehen. Aus Finanzierungsgründen musste das Projekt jedoch in zwei Schritten realisiert werden: zunächst das Maggia-Delta (1984/85), dann das Ticino/Verzasca-Delta (1986).

Erstmals wurde der Seegrund nicht mehr durch das Abloten einzelner Punkte vermessen, sondern mit Hilfe der Ultraschall-Echolotung in kontinuierlichen Profilen. Zur Anwendung gelangte das System «Combigraph» (Firma Dr. Fahrentholz, Kiel), ein Vermessungsecholot (100/15 kHz) mit integrierter Distanzmessung (Infrarot-Laser). Das Schiff fährt auf vorgegebenen Achsen und wird von einer landseitigen Theodolitstation aus über Funk auf Kurs gehalten. Die Tiefenmessung wird mit Hilfe eines Drahtlotes geeicht, indem man den Aufzeichnungsmassstab des Echolotes bestimmt. Für Routinekontrollen wurden an verschiedenen Positionen Eichbojen versetzt, um jederzeit beim Vorbeifahren den Aufzeichnungsmassstab zu verifizieren. Die Originalechogramme und alle Planunterlagen sind bei der Landeshydrologie und -geologie (Bern) archiviert.

Maggia-Delta (1984/85)

Für die Neuaufnahme wurden die Profilachsen der Aufnahmen von 1926 und 1932 verwendet, wobei jeweils im halben Abstand eine zusätzliche Messfahrt erfolgte, was einer Verdoppelung der Profilanzahl gleichkommt.

Da bei Hochwasser erfahrungsgemäss auch ein Teil des über dem Seespiegel liegenden Mündungsgebietes überflutet werden kann (siehe auch Bild 8), wurde im Hinblick auf



Bild 3. Vermessung des Maggia-Deltas im Januar 1926: Die Lotungen erfolgten längs Profilen, die man mit einem Draht markierte, der von einem Ufer zum anderen gespannt und zusätzlich an Büchsen (als Schwimmkörper) aufgehängt war. Aufnahme: Eidg. Amt für Wasserwirtschaft

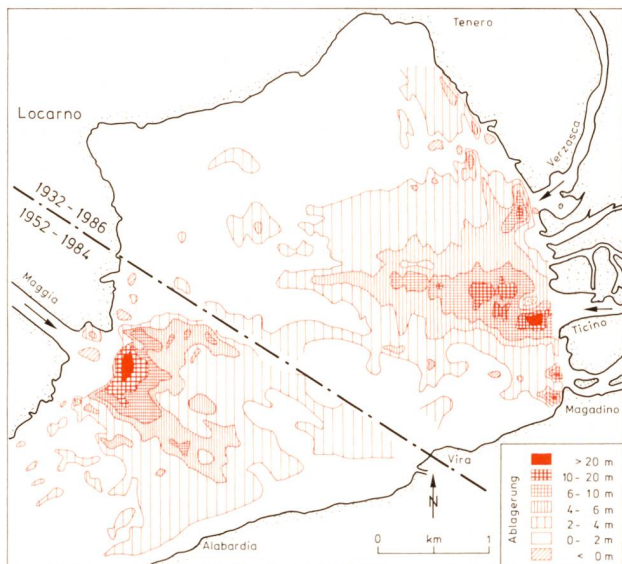


Bild 4. Verteilung der Ablagerungshöhen im Maggia-Delta von 1952 bis 1984 sowie im Delta des Ticino und der Verzasca von 1932 bis 1986.

eine allfällige Vergleichsaufnahme (zum Beispiel nach einer weiteren Überschwemmung) ein Areal von rund 140 ha tachymetrisch vermessen. Diese Aufnahme wurde mit den Daten der Seevermessung in einem gemeinsamen digitalen Terrainmodell vereinigt, auf dessen Grundlage mit Hilfe einer Dreiecksvermaschung die rechnerische Interpolation und automatische Aufzeichnung der Niveaulinien erfolgte. Das digitale Geländemodell beruht auf 4609 Punkten, was einer durchschnittlichen Punktdichte von 1246/km² entspricht. Da mit dem Ultraschall-Echolot die Tiefe praktisch kontinuierlich erfasst wird, stehen aber – zumindest entlang den Aufnahmeprofilen – beliebig viele Punkte zur Verfügung.

Ticino/Verzasca-Delta (1986)

Gegenüber der Aufnahme von 1932, wo für dieses Teilareal Profile von einem zentralen Punkt in der Seemitte aus radial gemessen wurden [Eidg. Amt für Wasserwirtschaft, 1939], konnte für die Neuaufnahme praktisch das ganze Gebiet von drei Landstationen aus fächerförmig vermessen werden. Einige zusätzliche Profile parallel zur Deltafront sollten allfällige Längsstrukturen im Delta aufzeigen. Die der Auswertung zugrundeliegenden Profile wurden aus den Echogrammen digitalisiert und zu einem Geländemodell mit insgesamt 2285 Punkten verarbeitet (575 Punkte/km²).

3. Ermittlung des Deltawachstums

Zweck der Neuvermessung war die Berechnung des Auflandungsvolumens seit der vorhergehenden Aufnahme sowie die kartographische Darstellung der Sedimentationszonen, um ihre räumliche Verteilung zu illustrieren (Bild 4). Grundlage für beide Arbeiten waren die digitalen Geländemodelle der «neuen» und der «alten» Aufnahmen, wobei die Punkte des letzteren aus den vorhandenen Unterlagen (Profile, Kurvenpläne) interpoliert werden mussten. Das Ablagerungsvolumen wurde in senkrechte Prismen aufgeteilt, welche durch die Dreiecksvermaschung der Punkte beider Terrainmodelle und ihre vertikalen Verbindungslinien bestimmt waren.

Maggia-Delta

Von der Aufnahme 1952 liegt zwar ein ausgezeichnete Kurvenplan gedruckt vor (ohne Begleittext), aber man unterliess es offenbar, die Angaben bezüglich der einzelnen Lotungspunkte zu archivieren. Deshalb wurde der Kurven-

plan von 1952 (1:5000) entlang den Spuren der neu aufgenommenen Profile digitalisiert und das von den beiden Terrainmodellen eingeschlossene Volumen berechnet. Daraus ergab sich die im Zeitraum von 1952 bis 1984 (innerhalb einer Fläche von 3,72 km²) abgelagerte Sedimentkubatur von 10,4 Mio m³ (Tabelle 1) oder ein Jahresmittelwert von 325000 m³. Aus der räumlichen Verteilung der Ablagerungen (Bild 4) geht hervor, dass sich die grössten Ablagerungshöhen unmittelbar vor der Mündung und in der geradlinigen Fortsetzung des Mündungskanals befinden. Lateral nehmen die Sedimentmächtigkeiten rasch ab; über grosse Flächen variiert der vertikale Zuwachs zwischen 0 und 2 m.

Ein bemerkenswerter Befund ergab sich aus dem zeitlich variablen Verlauf der Bruchkante, die den fast ebenen, oberflächennahen Teil der Deltaschüttung («topset») von der zum See abfallenden Halde («foreset») trennt (Bild 5): Die Linien von 1926 und 1984 liegen maximal etwa 150 m weit voneinander entfernt, was einem mittleren jährlichen Vormarsch von lediglich 2,5 m entspricht. Noch überraschender ist jedoch, dass z. B. die Linie von 1952 grossenteils weiter seewärts verlief als jene von 1980 oder dass diejenige von 1978 – nach dem grossen Hochwasser – nicht weiter vorgestossen war als 1952!

Auch wenn gewisse Detailkonturen dieser Bruchkante auf die Baggertätigkeit im Mündungsgebiet zurückzuführen sind, bleibt doch die Tatsache, dass sich diese markante Struktur innerhalb eines schmalen Bandes von rund 200 m Breite vor- und rückwärts verschoben hat. Dies steht im Gegensatz zur Erwartung, dass das Delta eines Flusses vom Charakter der Maggia, wenn auch nicht regelmässig so doch stetig, vorrücken sollte.

Als Ursache dieses Verhaltens vermuten wir das sporadische Abgleiten frontaler Teile des Deltas infolge Überschreitung der Scherfestigkeit. Eine genaue Abklärung des Sachverhalts würde eine gründliche Untersuchung der bodenmechanischen Eigenschaften der Deltaschüttung erfordern, namentlich was die Schichtung und Scherfestigkeit des Materials betrifft. Solche Untersuchungen sind vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik (IGB) der ETHZ

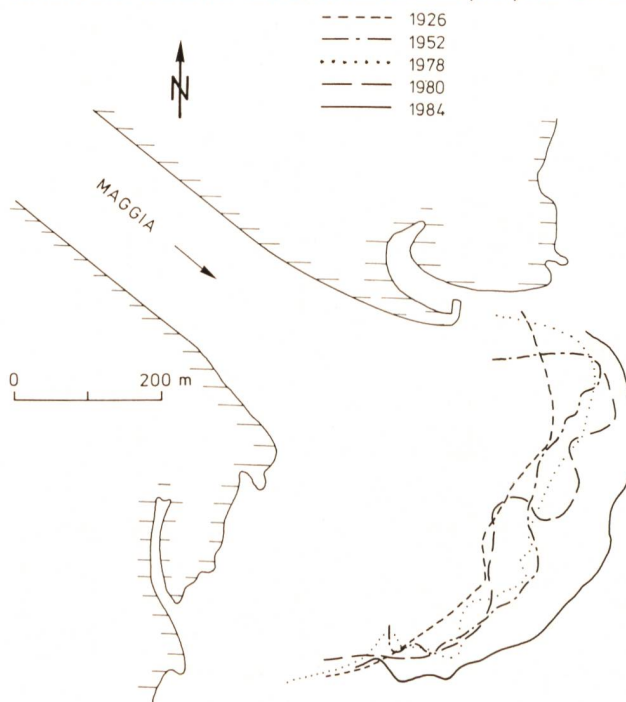


Bild 5. Lageveränderung (seit 1926) der Geländebruchkante am Übergang von der oberflächennahen, fast ebenen Deckschüttung zur steilen Halde der Vorschüttung des Maggia-Deltas.

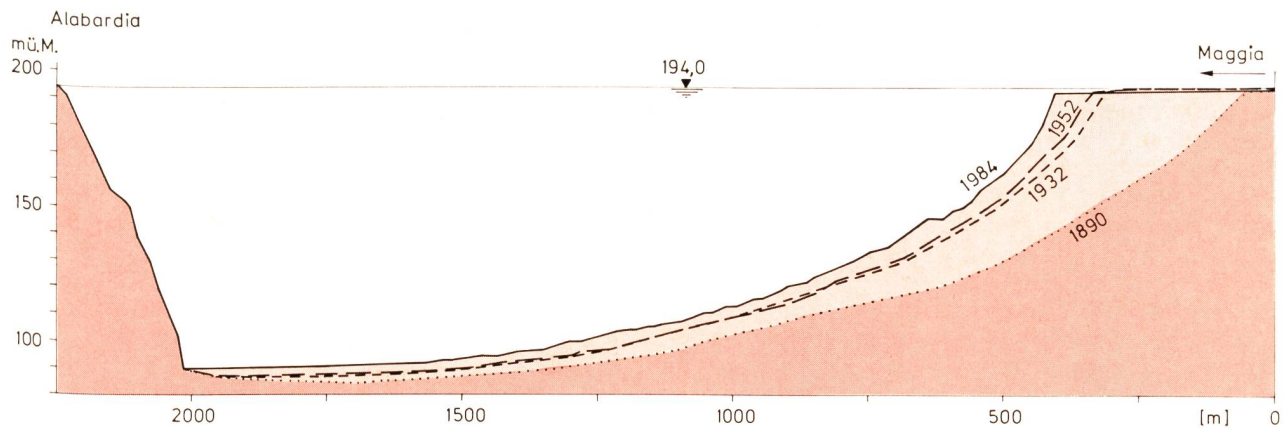


Bild 6. Entwicklung des Maggia-Deltas seit 1890, dargestellt an einem Längsprofil in der geradlinigen Fortsetzung des Mündungskanals.

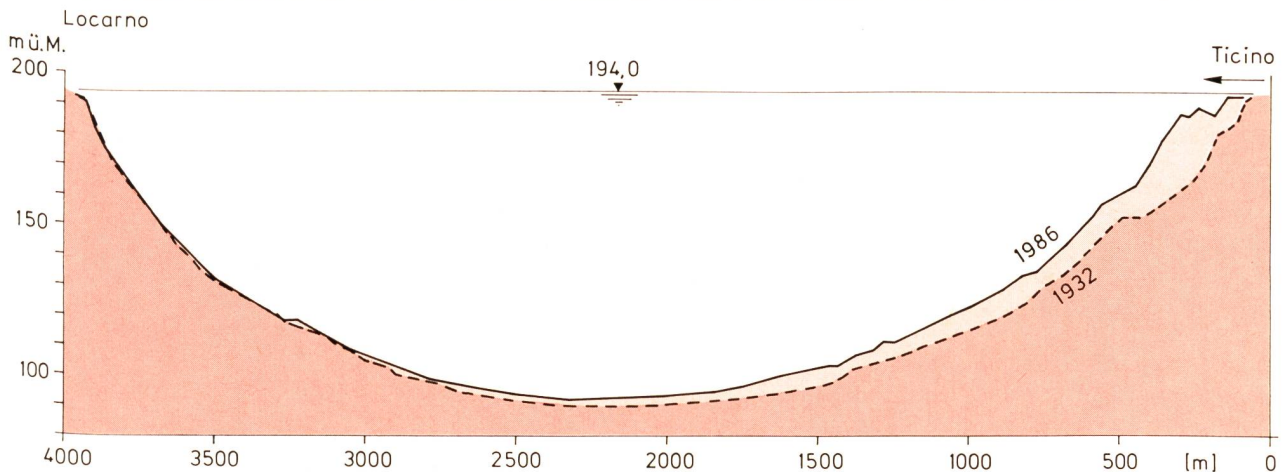


Bild 7. Entwicklung des Ticino-Deltas seit 1932, dargestellt an einem Längsprofil im Seequerschnitt Ticino-Mündung-Locarno (Lido).

verschiedentlich an vergleichbaren Deltas durchgeführt worden, meist im Zusammenhang mit Fragen der Uferstabilität beim Kiesabbau unter Wasser. Diese Studien zeigten, dass das Grenzgleichgewicht (Gleitsicherheit = 1) bei Unterwasserböschungen im Bereich von 2:3 liegt, wobei allfällige Instabilitätszonen z.B. entlang von Schichten mit geringeren Scherfestigkeiten (Feinsand, organisches Material usw.) die Gleitsicherheit erheblich herabsetzen können [R. Wullmann, IGB, mündl. Mitt.].

Wie aus Bild 6 ersichtlich, ist die Böschung des Maggia-Deltas mit zunehmendem Wachstum immer steiler geworden; die Neigung beträgt heute an der Front etwa 1:2 (1890 noch 1:5), also im Bereich des bei vergleichbaren Deltas abgeschätzten Grenzgleichgewichts. Es erscheint deshalb plausibel, dass sporadische Feststoffschübe im Delta Hangbewegungen und Geländebrüche auslösen können. Als erster Schritt zur Prüfung dieser Hypothese ist vorgesehen, den Verlauf der Bruchkante häufiger zu vermessen, namentlich nach grösseren Hochwasserereignissen, da die stossweise Ablagerung von Feststoffmaterial auf unkonsolidierte Deltaablagerungen als auslösendes Moment subaquatischer Hangbewegungen im Vordergrund steht.

Ticino/Verzasca-Delta

Als Vergleichsgrundlage für die Bestimmung des Sedimentationsvolumens im gemeinsamen Ablagerungsraum der beiden Zuflüsse am Nordostende des Sees stand die Aufnahme von 1932 zur Verfügung. Durch Digitalisieren der bei der Landeshydrologie und -geologie (LHG) archivierten Originalhöhenkurvenpläne (1:5000) entlang den Profilsuren der Neuaufnahme entstand ein digitales Modell der 1932er Topographie. Aus dem Vergleich der beiden Mo-

delle (1932 und 1986) ergab sich also das Ablagerungsvolumen für einen Zeitraum von 54 Jahren: 16,1 Mio m³ (Tabelle 1) oder ein Jahresmittelwert von knapp 300 000 m³. Die räumliche Verteilung der Sedimentation (Bild 4) zeigt, dass die mächtigsten Ablagerungen vor den Mündungen des Ticino und der Verzasca zu finden sind. Wie beim Maggia-Delta ist die laterale Verbreitung gering; es wächst eher zungenförmig nach Westen, das heisst in der Fortsetzung des Einmündungskanals des Ticino. Eine merkwürdige Zone reduzierter Sedimentation befindet sich unmittelbar rechts der Ticino-Einmündung. Eine Erklärung dafür konnte nicht gefunden werden; es ist aber denkbar, dass auch hier ein Teil der Deltafront abgeglitten ist oder dass bei einem starken Hochwasser die oberflächennahen Teile des Deltas wegerodiert wurden. Bild 7 zeigt die Deltaentwicklung anhand eines Längsprofils; auffallend ist die im Vergleich zum Maggia-Delta (Bild 6) weniger steile Böschung.

4. Das Deltawachstum seit 1890 als Mass für den Feststofftransport aus den Einzugsgebieten von Maggia, Ticino und Verzasca

Die Intensität, mit der ein bestimmtes Einzugsgebiet abgetragen wird, ist in erster Linie abhängig von den natürlichen Gegebenheiten (geologischer Aufbau, Verwitterung, Niederschlag und Abfluss, Vegetations- und Bodenverhältnisse usw.), aber auch von den Eingriffen des Menschen in dieses System (land- und forstwirtschaftliche Nutzung, Wasserwirtschaft und Gewässerverbau, Rohstoffgewinnung, Hangstabilisierung usw.). Wo der Vorfluter des Einzugsgebietes ein stehendes Gewässer ist, bestimmen diese

Faktoren letztlich auch das Wachstum des entsprechenden Deltas im See.

H. Jäckli [1958] hat erstmals versucht, aus allen damals vorhandenen Daten über Deltavermessungen in der Schweiz eine zusammenfassende Übersicht über den Abtrag der entsprechenden Einzugsgebiete zu erarbeiten. Bezüglich des Maggia- und Ticino/Verzasca-Deltas konnte er sich auf die Vermessungen von 1890 bis 1952 stützen. Im folgenden sollen die bisherigen Kenntnisse kurz rekapituliert und durch die neuen Daten ergänzt werden.

Die verschiedenen Seegrundaufnahmen im oberen Teil des Lago Maggiore seit 1890 erlauben zwar keine lückenlose Rekonstruktion des Wachstums der Schuttfächer der Hauptzuflüsse Maggia, Ticino und Verzasca, aber doch eine Unterteilung in einzelne Phasen (Tabelle 1).

Maggia-Delta

Zweck der ersten Aufnahme von 1890 war die Ergänzung der damaligen topographischen Karte mit Höhenlinien des Seegrunds, nicht die Erarbeitung einer Grundlage für die spätere Bestimmung des Deltawachstums. Angesichts der geringen Lotungsdichte darf deshalb das erste Differenzvolumen, welches aufgrund der Seegrundvermessung von 1926 bestimmt wurde, höchstens als Grössenordnung gewertet werden: es betrug fast 20 Millionen m³ oder im Mittel über eine halbe Million m³ pro Jahr. Auch wenn diese Zahlen mit einem grossen Fehler behaftet sein können, deuten sie doch auf einen intensiven Sedimenteintrag, den sowohl die Hochwasserereignisse von 1900, 1922 und 1926 als auch der verstärkte Sedimenttransport im Gerinne der Maggia nach der Korrektur von 1891 bis 1899 mitbestimmt haben.

Die Aufnahme von 1926 (mit einer Lotungsdichte von 330 Punkten/km²) war die erste vermessungstechnisch hinreichende Basis für die Bestimmung von Seegrundveränderungen. Als sechs Jahre später (1932) das gesamte obere Seebecken (mit durchschnittlich 508 Punkten/km²) neu ausgelotet wurde, konnte im Teilbereich Maggia-Delta durch Vergleich mit den 1926er Profilen ein zuverlässiges Differenzvolumen bestimmt werden (knapp über 1 Mio m³ oder 167 000 m³/Jahr). Diese vergleichsweise geringe Eintragsrate mag darauf zurückzuführen sein, dass während des kurzen Vergleichszeitraums nur ein grösseres Hochwasser (1927) zu verzeichnen war.

Nach 20 Jahren erfolgte die nächste Vermessung, wobei die Lotungsdichte im Vergleich zur 1932er Aufnahme noch einmal um etwa 50 % auf 720 Punkte pro km² erhöht wurde. Die in diesem Zeitraum (1932–1952) abgelagerte Sedimentfracht betrug 4,9 Mio m³ oder im Jahresmittel 243 000 m³ (das heisst etwa 45 % mehr als in der vorhergehenden, nur 6 Jahre umfassenden Vergleichsperiode). Mit dem Zeitraum von 20 Jahren konnte ein klimatisch eher repräsentatives Intervall abgedeckt werden, einschliesslich der Hochwasserereignisse von 1935, 1948 und 1951.

Aufgrund der neuesten Aufnahme von 1984 ergab sich seit 1952 ein Volumenzuwachs von 10,4 Mio m³ oder 325 000 m³/Jahr¹, das heisst gegenüber der vorhergehenden Periode eine Erhöhung des Jahresmittelwertes um etwa ½. Dies mag auf den ersten Blick überraschen, hätte man doch nach dem Bau der grossen Kraftwerke, die mit ihren Speicherbecken und den zugehörigen Bachfassun-

gen die Erosion eher dämpfen, erwarten können, dass zumindest keine Intensivierung des Abtrags eintreten würde.

Wahrscheinlich haben die teilweise katastrophalen Hochwasserereignisse der Jahre 1975, 1978 und 1983 zu diesem grösseren Sedimenteintrag entscheidend beigetragen (Bild 8).

Bildet man den Mittelwert aus den durchschnittlichen Jahreseinträgen der Perioden 1926–1932 und 1952–1984/85, dann stellt sich heraus, dass dieser mit 246 000 m³ nur um 3000 m³ über dem Jahresmittel der intermediären Vergleichsperiode (1932–1952) liegt. Daraus erwächst die Annahme, dass diese zuletzt genannte Periode den Feststofftransport unter mittleren meteorologischen Bedingungen charakterisiert, während der vorhergehende unterdurchschnittliche Jahreseintrag eine Periode ohne ausserordentliche Ereignisse, die jüngste dagegen einen hochwasserintensiven Zeitraum repräsentiert.

Ticino/Verzasca-Delta

Für diesen Teilbereich liegen nur drei Seegrundaufnahmen (1890, 1932 und 1986), das heisst zwei Vergleichsperioden, vor. Von 1890 bis 1932 schütteten die beiden Flüsse insgesamt fast 25 Mio m³ in den See, also ein mittlerer Jahreseintrag von etwa 600 000 m³. Wie im Maggia-Delta können diese Werte zwar angesichts der geringen Lotungsdichte der 1890er Aufnahme nur als Grössenordnung betrachtet werden, sie deuten aber zumindest im Vergleich zu späteren Jahren einen intensiveren Sedimenteintrag an. Dies könnte ebenfalls auf die Korrektionsarbeiten (in der Magadino-Ebene) zurückzuführen sein, die dem Ticino zu einer höheren Transportkapazität verhalfen. Zudem kam die Verbauungsaktivität in den Wildbachgebieten erst allmählich zum Tragen. Der *jährliche spezifische Eintrag* (pro km² Einzugsgebiet) mit 308 m³/km² ist jedoch verglichen mit dem Maggia-Delta (knapp 396 m³/km² für dieselbe Periode) deutlich geringer und weist damit auf die schwächere Erosionsintensität im Ticino/Verzasca-Einzugsgebiet hin, wie sie auch die neuesten Messungen bestätigen haben.

Aufgrund der detaillierteren Vermessungsgrundlagen von 1932 und 1986 konnte eine Gesamtfracht von 16 Mio m³ bestimmt werden, was eine mittlere jährliche Kubatur von rund 300 000 m³ ergibt². Dies entspricht ungefähr der Hälfte des Vergleichswertes von 1890–1932 und dokumentiert generell eine Verzögerung der Abtragstätigkeit im Einzugsgebiet. Zweifellos haben verschiedene bauliche Eingriffe im Einzugsgebiet ihren Beitrag zur Verminderung des Feststoffeintrags geleistet. Dazu gehören die Stauseen (Isola, 1961; Luzzzone, 1963) und insbesondere der Stauraum Vogorno, der seit dem Bau der Staumauer Contra (1965) praktisch die gesamte Feststofffracht aus dem Einzugsgebiet der Verzasca zurückhält. Dies bedeutet für das feststoffaktive Einzugsgebiet der Flüsse Ticino und Verzasca eine Flächeneinbusse von rund 12%. Die intensiven Baggerungen im gesamten Ticino-System haben – namentlich in den 60er und 70er Jahren – ebenfalls massgeblich zu diesem Rückgang des Feststoffeintrags beigetragen [C. Lichtenhahn, mündl. Mitt.].

In absoluten Zahlen ist der mittlere jährliche Eintrag (etwa 300 000 m³) annähernd so gross wie derjenige im Maggia-Delta für den – um ein Jahr kürzeren – Zeitraum (1932–1984). In bezug auf den Abtrag im Einzugsgebiet müssen wiederum die *spezifischen jährlichen Ablagerungsraten* (pro km² Einzugsgebiet) für den Vergleich herangezogen werden. Nimmt man für das Maggia-Delta das Jahresmittel

¹ In dieser Zahl fehlt der Anteil, der im Lauf der 32 Jahre zur Kiesgewinnung aus dem Mündungsgebiet gebaggert worden ist. Nach groben Annahmen des Amtes für Umweltschutz des Kantons Tessin belaufen sich diese Kubaturen auf 20 000 bis 30 000 m³ pro Jahr, für die Vergleichsperiode also insgesamt ½ bis 1 Mio m³.

² Gemäss den zuständigen Behörden betragen die jährlichen Baggerkubaturen in diesem Gebiet lediglich einige tausend m³ pro Jahr; zudem ist die Baggertätigkeit seit einigen Jahren eingestellt (Schutzzone).

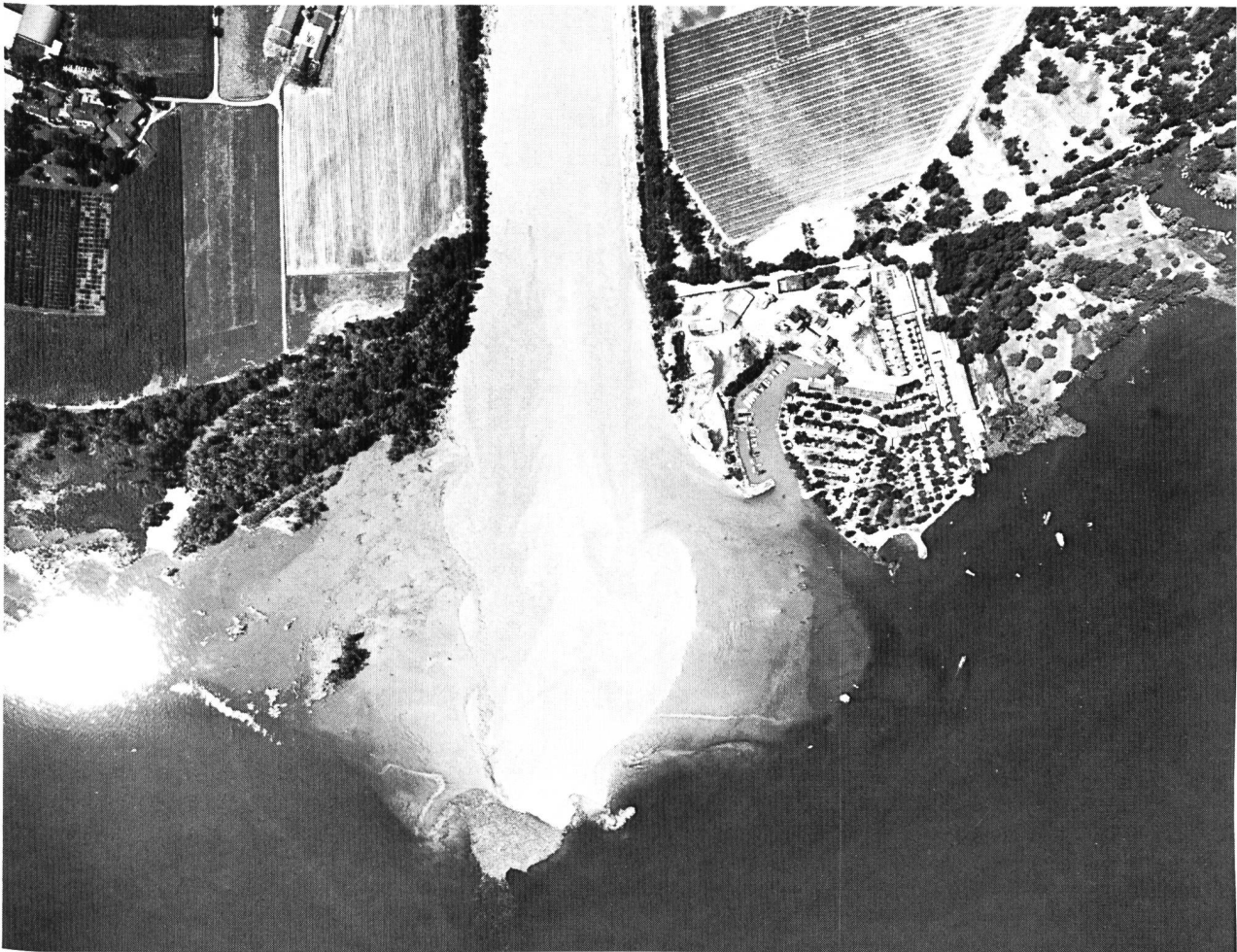


Bild 8. Flugaufnahme der Maggia-Mündung am 11. August 1978, also vier Tage nach dem Katastrophenhochwasser vom 7. August 1978. Am Abtauchpunkt des Flusswassers in den See sammelt sich Treibholz. Auf den Feldern erkennt man Spuren der Überschwemmung.

Aufnahme: Swissair Photo & Vermessungen AG

aus den Vergleichsperioden 1932–1952 und 1952–1984 ($306 \text{ m}^3/\text{km}^2$) und vergleicht es mit dem Wert für Ticino/Verzasca (1932–1986) von $152 \text{ m}^3/\text{km}^2$, dann wird ersichtlich, dass die Maggia im langjährigen Mittel pro km^2 Einzugsgebiet rund doppelt soviel Feststoffmaterial in den See geschüttet hat.

In der letzten Kolonne der Tabelle 1 ist der Abtrag der Einzugsgebiete in mm/Jahr angegeben, wie er sich aus den Ablagerungen in den Deltas ergibt, das heisst beschränkt auf die eingetragenen Feststoffe, ohne Berücksichtigung der gelösten Fracht. Auch in diesen Zahlen zeigt sich die im Vergleich zum Einzugsgebiet von Ticino und Verzasca höhere (und offenbar zunehmende) Abtragsleistung der Maggia.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die Neuaufnahmen der Deltas im oberen Teil des Lago Maggiore haben einmal mehr bestätigt, dass trotz allen möglichen Fehlerquellen die Deltavermessung zu aufschlussreichen Erkenntnissen in bezug auf das Verhalten der Flüsse und die Erosion ihrer Einzugsgebiete führen kann. Das Volumen des Maggia-Deltas hat erwartungsgemäss schneller zugenommen als dasjenige des Ticino-Deltas; aber bedeutungsvoller ist die Erkenntnis, dass das Maggia-Delta seit etwa einem halben Jahrhundert beschleunigt wächst, während das Ticino-Delta eher eine Verzögerung zu verzeichnen hat. Die Ursachen dieses Ver-

haltens sind nicht restlos klar. Immerhin scheint festzustehen, dass der Ausbau der Kraftwerke im Einzugsgebiet der Maggia keine massgebende Abnahme des Feststofftransports mit sich brachte. Dies mag auf den ersten Blick überraschen, halten doch Stauräume meist einen grossen Teil der Feststofffracht zurück. Allerdings kontrollieren die Speicherräume des Maggia-Systems nur einige hochgelegene Regionen und damit einen kleinen Teil des Einzugsgebiets (ca. 10%). Auch die modifizierten Abflussbedingungen unterhalb der zahlreichen Bachfassungen haben offensichtlich keine grundlegende Veränderung des Geschiebehaushalts verursacht, weil die für den Geschiebetransport massgebenden Hochwasser durch die Ableitung nicht wesentlich beeinflusst werden.

Der generell geringere Feststofftransport im Ticino ist zum Teil bedingt durch das kleinere mittlere Gefälle. Hinzu kommt, dass infolge der geologisch unterschiedlich aufgebauten Einzugsgebiete das Verhältnis Schwebstoff/Geschiebe im Ticino grösser ist als in der Maggia. Deshalb trägt der Ticino wesentlich grössere Schwebstoffmengen in den See ein, die sich ausserhalb des Deltas, zum Teil auch auf dem Maggia-Delta oder noch weiter seeabwärts ablagern können. Dies erklärt jedoch das in den letzten Jahrzehnten offenbar verlangsamte Wachstum nicht. Zwei weitere Ursachen sind der Bau der Staumauer Contra, welche praktisch das gesamte Einzugsgebiet der Verzasca kontrolliert, sowie die intensive (aber schwer bezifferbare) Kiesnutzung im gesamten Einzugsgebiet des Ticino.

Mit den Neuaufnahmen von 1984–1986 ist die Grundlage geschaffen worden, um zu gegebener Zeit das Wachstum der grossen Deltas im oberen Lago Maggiore neu zu erfassen und mit der bisherigen Entwicklung zu vergleichen. Dies ist eine wesentliche Voraussetzung, um Veränderungen des Feststofftransports in den Einzugsgebieten erkennen und grössenordnungsmässig quantifizieren zu können. Aufgrund dieser Daten lassen sich dann Erosionsszenarien, wie sie z.B. im Zusammenhang mit den fortschreitenden Waldschäden ausgearbeitet werden, auf realitätsnaher Basis aufbauen und verifizieren.

Literatur

Collet, L. W. und Stumpf, W. (1916): 1. Le charriage des alluvions dans certains cours d'eau de la Suisse, 2. Methode der Deltavermessungen der Abteilung für Wasserwirtschaft. Ann. d. Schweiz. Landeshydrographie, Band II.

Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft (1926): Il Delta della Maggia nel Lago Maggiore. Mitt. Nr. 21.

Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft (1939): Deltaaufnahmen. Mitt. Nr. 34.

Jäckli, H. (1958): Der rezente Abtrag der Alpen im Spiegel der Vorland-sedimentation. «Eclogae geol. Helv.» 51/2, 354–365.

Lambert, A. (1980): Das Delta der Linth im Walensee – ein Vergleich der Seegrundaufnahmen von 1931 und 1979. «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 72. Jahrg., 243–246.

Walser, E. (1952): Nouvelle méthode pour les levés des deltas. «Bull. Tech. Suisse Romande» No 12, 4–8.

Adresse des Verfassers: Dr. André Lambert, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, VAW, an der ETHZ, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich.

Le projet Garantie depuis trois ans au Palais fédéral

Voilà aujourd'hui 23 janvier 1988, trois ans que le rapport sur le projet Garantie 1985 a été remis aux autorités fédérales. Le Conseil fédéral a d'abord prolongé les délais d'appréciation imposés à ses experts. Les rapports d'expertise sont maintenant disponibles depuis plus d'un an et le Conseil fédéral pensait faire connaître sa décision à la fin de 1987; mais jusqu'à présent, il ne s'est pas prononcé et l'on ne sait pas encore s'il considère la garantie d'un stockage final sûr comme étant offerte, et si oui, et dans quelle mesure. La Cédra (Société coopérative nationale pour l'entreposage de déchets radioactifs) déplore ce nouveau retard. Cette décision manquant encore, le travail de la Coopérative, prioritaire du point de vue de la protection de l'environnement, subit les suites fâcheuses de malentendus.

Après six années de recherches, la Cédra a présenté le 23 janvier 1985, dans les délais, les rapports relatifs au projet Garantie. Ils sont le résultat d'un programme de travail représentant plus de mille hommes-années. Les autorités fédérales compétentes ont jugé le projet et fait appel à leur tour à différents experts suisses et étrangers. La condition que les autorités ont posée au projet, et qui consiste à offrir la garantie «de l'élimination sûre et à long terme ainsi que de l'entreposage définitif des déchets radioactifs», a été concrétisée en 1981 dans la définition du Groupe de travail de Confédération pour la gestion des déchets nucléaires (Agneb). L'Agneb n'attend pas du projet Garantie qu'il réponde à toutes les questions, puisqu'il doit être élaboré longtemps avant la réalisation d'un dépôt final. Il s'agit plutôt de montrer au Conseil fédéral des solutions possibles se basant sur un projet ayant trait à un site modèle dans une

région donnée. La désignation de sites définitifs n'est pas exigée; elle fait partie des questions dont la réponse ne sera possible qu'après de longues années de recherches.

Garantie offerte pour les déchets de faible activité

Ainsi que le montre la Cédra en citant des passages des rapports d'experts, l'expertise du projet est certes sévère mais absolument positive. Concernant le stockage final des déchets de faible activité provenant de l'exploitation et du démantèlement des centrales nucléaires ainsi que de la médecine, de la technique et de la recherche, les experts de la Confédération considèrent que la preuve de la sûreté a été fournie. La Commission fédérale pour la sécurité des installations nucléaires (CSN) recommande expressément de procéder en priorité aux travaux de réalisation d'un tel dépôt final. La Cédra en a tenu compte dans son calendrier.

Pas de doute quant à la sûreté du stockage final

En perspective aussi du stockage final des déchets de forte activité, la Division principale pour la sécurité des installations nucléaires (DSN) auprès de l'Office fédéral pour l'énergie pense «qu'aucun argument susceptible de faire échouer en principe la preuve de la sûreté n'est apparu». Seule la question du site est essentiellement restée sans réponse. Les résultats des forages ont certes révélé les propriétés du granite qui sont déterminantes pour la sûreté des dépôts finals, mais l'extension latérale de formations granitiques appropriées est encore incertaine. Les experts relativisent toutefois les exigences géologiques posées à un site de stockage: la DSN aussi a conclu que des mesures techniques appropriées de confinement dans le dépôt final suffiraient en soi à respecter les objectifs de sûreté «pendant au moins quelques 10 000 années...», même sur un site défavorable qui jouerait un rôle minime en matière de rétention».

Assez de temps pour la recherche de site

La CSN quant à elle qualifie la preuve de la sûreté d'un bloc de granite suffisamment grand pour accueillir le dépôt final de «question secondaire», à laquelle on ne pourra répondre «qu'après d'autres sondages et de manière vraiment concluante que pendant la construction du dépôt». La Cédra souligne que la désignation d'un site concret n'est pas possible et nécessaire avant la fin de ce millénaire. En effet, avant de pouvoir être stockés de manière définitive, les déchets de forte activité doivent être entreposés dans des dépôts intermédiaires jusque vers l'an 2020, pour permettre à leur dégagement de chaleur de décroître. La Cédra dispose donc d'assez de temps et entend l'utiliser en procédant à de minutieuses analyses scientifiques du socle cristallin de granite et de gneiss ainsi que des sédiments qui le recouvrent.

Grande marge d'appréciation politique

Les conclusions des rapports d'experts permettent, comme tout travail scientifique, une grande marge d'appréciation. La question de site encore en suspens est notamment devenue la pierre d'achoppement de la critique du projet, même si la désignation d'un site déterminé n'a pas été exigée jusqu'à présent. La Cédra espère que le Conseil fédéral mettra bientôt un terme à cette controverse et transposera les résultats positifs des rapports d'expertise en une décision politiquement nette. (Cédra, 22 janvier 1988)