Internationales Symposion
INTERPRAEVENT 1984 — VILLACH
Tagungspublikation, Band 2, Seite 343—353

Bodenabtrag und -ablagerungen in Griechenland am Beispiel des Gebirgslandes und der Ebene von Thessaloniki

Denudation and Sedimentation in Greece as an Example from the Mountains and the Plain of Salonica

Dimitrios Kotoulas, Thessaloniki

Zusammenfassung

Die Ebene von Thessaloniki/Griechenland mit ihrer Gesamtfläche von 1.200 km^2 entstand durch Ablagerungen der Flüsse Aliakmon, Axios und Loudias, deren Volumen im Verlaufe von 2.500 Jahren 41.000.000.000 m^3 erreichten. Auf Grund der obigen Grösse sowie anderer Beobachtungen wurde weiter geschätzt, dass der mittlere Bodenabtrag des griechischen Raumes (Gesamtfläche: 131.990 km^2) 647,2 m^3/km^2/Jahr oder 0,65 mm/Jahr beträgt. Dies entspricht einer griechischen Insel mit einer Ausdehnung von 35 km^2 und einer Tiefe von 2,5 m.

Summary

The creation of the plain of Salonica is caused by the sedimentation of the rivers Aliakmon, Axios and Loudias, which during 2500 years have carried 41.000.000.000 m^3 sediments and have created a surface of 1.200 km^2. It is also calculated that the denudation of Greece (surface: 131.990 km^2) comes up to 647,2 m^3/km^2/year or to 0,65 mm/year. This quantity is adequate to a Greek island with 35 km^2 surface and depth of 2,5 m.

1 Problemstellung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem Entwicklungsvorgang der Ebene und der Bucht von Thessaloniki in Nordgriechenland durch Flussablagerungen sowie mit der Schätzung des mittleren

Bodenabtrags im griechischen Raum. Es handelt sich um die ersten Ergebnisse eines grossen Forschungsprojektes des Instituts für Gebirgswasserbau der Aristoteles Universität Thessaloniki, mit dem die Bestimmung des Bodenabtrags und der -ablagerung in verschiedenen Gebieten Griechenlands angestrebt wird.

2 Untersuchungsgebiet und -methode

Die Ebene von Thessaloniki (in Nordgriechenland) erstreckt sich westlich der gleichnamigen Stadt (Abb. 1) und umfasst eine Gesamtfläche von 1.200 km^2. Sie wird von den Flüssen Axios, dessen Einzugsgebiet (23.747 km^2) zu 94 % in Südjugoslawien liegt, Aliakmon (7.312 km^2), Loudias (2.356 km^2) und Gallikos (930 km^2) durchflossen. Die Entwicklung der Ebene wird von den Ablagerungen der ersten drei Wasserströme massgebend bestimmt. Der kleine Fluss Gallikos sowie einige Wildbäche zweiter Ordnung, die am rechten Rand der Ebene fliessen, können mit ihrer beschränkten Feststofführung keine nennenswerte Wirkung ausüben.

Abb. 2 zeigt die Veränderungen der Bucht und der Ebene von Thessaloniki ab dem Jahr 500 v.Chr. bis 1925 (Evmorphopoulos, 1961). Hieraus ist zu ersehen, dass sich schon im Jahre 500 n.Chr. vor der Hafenstadt Pella - Hauptstadt Alexander's des Grossen - ein grosser See, umgeben von Sümpfen, gebildet hatte. Ausserdem lief im Jahre 1925 der Hafen von Thessaloniki Gefahr, durch die sich schnell vorschiebenden Ablagerungen des Axios-Flusses bis zur gegenüberliegenden Landspitze Mikro Emvolo abgeschlossen zu werden.

In den Jahren 1928 - 1934 wurden in dieser Ebene bedeutende Meliorationsarbeiten von der amerikanischen Gesellschaft "The Foundation Company (1929) durchgeführt, von welchen die wichtigsten sind (Abb. 2):

- Ableitung der Axios-Mündung ins Meer weg von der erwähnten Landspitze,
- Errichtung eines grossen Kanals zwischen Axios und Aliakmon zur Ableitung der Wasserführung aller Loudias-Zubringer in den Aliakmon,
- Regulierung des Aliakmon-Laufes im Flachland und
- Entwässerung des Seen- und Sumpfgebietes nach Vertiefung und Kanalisierung des Loudias-Laufes im Flachland.

Somit wurde die Ebene von einem Überschwemmungs- und Verheerungsgebiet in eine der fruchtbarsten Regionen Griechenlands umgewandelt. Da aber keine Massnahmen zur Bekämpfung der beträchtlichen Feststofführung der obigen Wasserströme ergriffen wurden, verlandeten allmählich die regulierten Flussbetten, was zu neuen Überflutungen und Katastrophen führte.

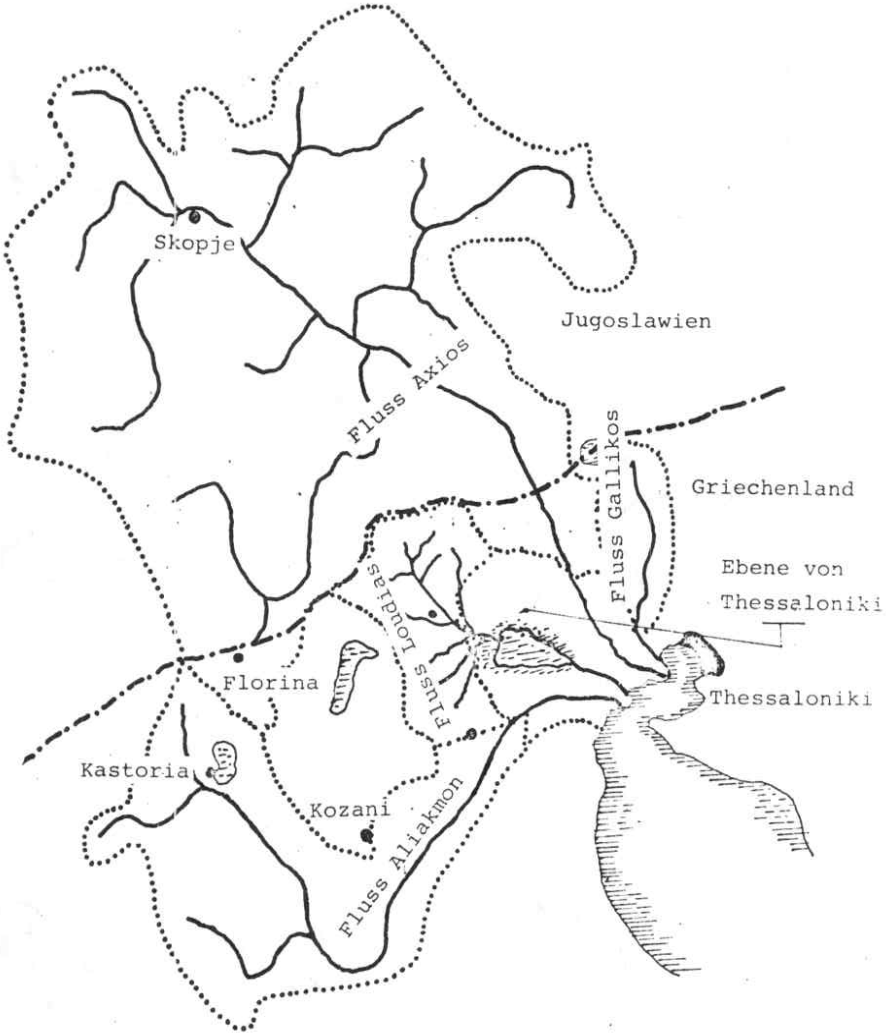

Abb. 1 Die Ebene von Thessaloniki und die Einzugsgebiete der Flüsse Axios, Aliakmon, Loudias und Gallikos vor der Durchführung der Meliorationsarbeiten in den Jahren 1928-1934

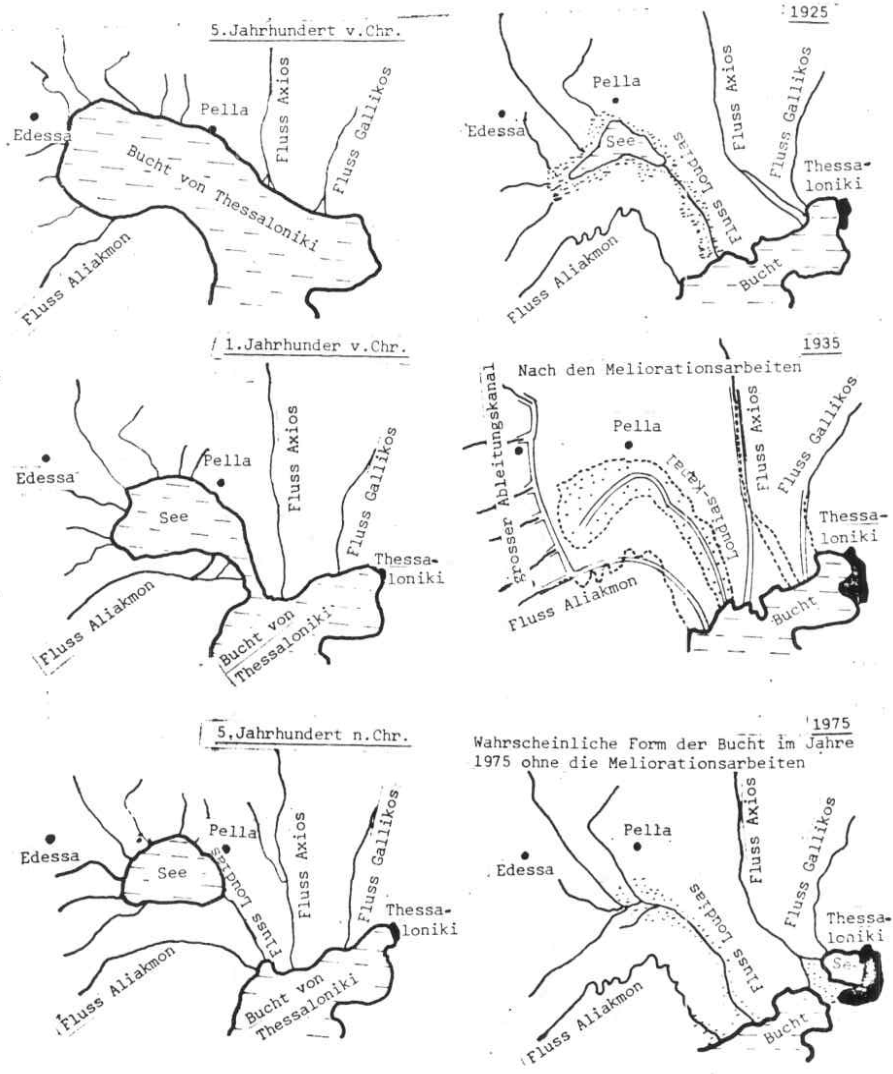

Abb. 2 Veränderungen der Bucht und der Ebene von Thessaloniki ab dem Jahr 500 v.Chr. (nach Evmorphopoulos 1961, ergänzt von Kotoulas)

Die vorliegende Untersuchung stützt sich auf Messungen der entstandenen Ablagerungen der Flüsse Axios, Aliakmon, Loudias und Gallikos sowie der Loudias-Zubringer (Almopäos, Edessäos, Arapitsa, Skrop und Tripotamos) nach der Durchführung der Meliorationsarbeiten.

Jedes Ablagerungsvolumen wurde mittels Profilvergleichen von Flussbetten und Ablagerungsplätzen zu verschiedenen Zeitabschnitten bestimmt. Dazu wurden auch Angaben aus dem Projekt der Foundation Company (1929), den Veröffentlichungen von Evmorphopoulos (1961), Kotoulas (1969, 1972, 1975, 1980 a, b), Margaropoulos (1963), Settas (1963), Soulis (1947) sowie aus den Archiven verschiedener zuständiger griechischer Dienststellen benutzt.

3 Untersuchungsergebnisse

3.1 Die Ablagerungen der Flüsse Axios und Aliakmon

Das Volumen der Gesamtablagerungen an den Deltas der Flüsse Axios und Aliakmon erreichte in den letzten 102 Jahren 1.445.000.000 m^3; die mittlere jährliche Ablagerung beträgt also 14.260.000 m^3. Der Axios lagert ungefähr anderthalbmal mehr Feststoffe ab als der Aliakmon. Ausserdem liefert der wildbachartige Fluss Gallikos weitere 160.000 m^3/Jahr Sedimente am rechten Rand der Ebene, die aber für ihre Entwicklung nicht von Bedeutung sein können. Die Ablagerungen in der Bucht von Thessaloniki sind also wie folgt verteilt:

- Aliakmon 5.600.000 m^3/Jahr
- Axios 8.400.000 m^3/Jahr
- Gallikos 160.000 m^3/Jahr

Vor den Meliorationsarbeiten erfolgten die Ablagerungen des Loudias im Raum des ehemaligen Sees und der Sümpfe (Abb. 2); sie gestalteten demzufolge das Innere der Ebene und hatten auf den Fortgang der Verlandungsentwicklung der beiden grossen Flüsse im Meer keinen Einfluss. Nach diesen Arbeiten werden sie vom grossen Kanal übernommen und in den Aliakmon abgeleitet.

Die Ablagerungen in den regulierten Flussbetten der Ebene erreichen beim Axios 736.000 m^3/Jahr, beim Aliakmon 620.000 m^3/Jahr und beim Gallikos nur 40.000 m^3/Jahr. Von denjenigen des Aliakmon stammen aber 130.000 m^3/Jahr aus der Feststoffführung des erwähnten grossen Ableitungskanals, der die Wasser- und Festoffmenge der fünf Loudias-Zubringer in den Aliakmon ableitet. Dadurch verringern sich die tatsächlichen Ablagerungen dieses Flusses auf 490.000 m^3/Jahr. Zu den obigen Grössen müssen auch die Ablagerungen hinzugerechnet werden, die sich an den Mündungen kleiner Wasserströme mit den Hauptflussrinnen im Flachland bilden. Demzufolge erreicht das Gesamtvolumen der mittleren

jährlichen Ablagerungen in den regulierten Flussläufen im Flachland nachstehende Werte:

- Aliakmon 615.000 m^3/Jahr
- Axios 910.000 m^3/Jahr
- Gallikos 40.000 m^3/Jahr

Ein bedeutender Anteil des grobkörnigen Feststoffes aus dem oberen Flussgebiet wird im Innern jeden Einzugsgebietes, z.B. in Schwemmkegeln, flachen Bettabschnitten, usw. abgelagert und erreicht somit das Flachland nicht. Deshalb ist er in den obigen Angaben nicht mit eingerechnet. Es konnte aber festgestellt werden, dass die mittleren Ablagerungen im Gebirgsraum des Aliakmon sich auf 2.000.000 m^3/Jahr belaufen und somit ungefähr 1/3 derjenigen im Flachland entsprechen, während diejenigen vom Gallikos 50.000 m^3/Jahr betragen. Die Ablagerungen im Gebirgsraum des Axios konnten nicht untersucht werden, weil sich sein Einzugsgebiet ausserhalb Griechenlands befindet.

3.2 Die Ablagerungen im grossen Ableitungskanal

Tabelle 1 zeigt die Gebirgs- und Flachlandablagerungen der Loudias- bzw. Kanalzubringer. Hierzu wird auch für jeden Zubringer der entsprechende Feststoffanteil von den 130.000 m^3/Jahr hinzugerechnet, welchen der Ableitungskanal in den Aliakmon ergiesst.

Tabelle 2

Mittlere jährliche Flach- und Gebirgsland-Ablagerungen der Loudias- bzw. Ableitungskanal-Zubringer

Wasserstrom	Flussbettablagerungen m^3/Jahr	Ablagerungsprozent %	Ablagerungsanteil der 130.000 m^3/Jahr m^3/Jahr	Flachlandablagerung m^3/Jahr	Gebirgslandablagerung m^3/Jahr	Gesamtablagerung m^3/Jahr
Almopäos	240.000	57	74.100	314.000	306.000	620.000
Edessäos	75.000	18	23.400	98.500	49.000	147.500
Arapitsa	45.000	11	14.300	59.300	25.000	84.300
Skrop	22.000	5	6.500	28.500	14.000	42.500
Tripotamos	38.000	9	11.700	49.700	25.000	74.700
Gesamt	420.000	100	130.000	550.000	419.000	969.000

Bezeichnend ist, dass in einer Ebene, die sich mitten im Einzugsgebiet des Zubringers Almopäos ausdehnt, seine dreizehn geschiebeführenden Wildbäche grosse Mengen grobkörnigen Feststoffmaterials ablagern, die dann nicht mehr ins Flachland hinuntertransportiert werden können. Beweis für diese intensive Geschiebeführung der Wildbäche ist folgendes: während der Überschwemmung am 18.-19.11.1979 schüttete der Wildbach Poroi innerhalb von wenigen Stunden mit insgesamt 80.000 m^3 Feststoffen vier neuerstellte Bachsperren von 6 m Höhe zu, lagerte die doppelte Geschiebemenge im Bereich seines Schwemmkegels ab und verursachte grosse Verheerungen in den umliegenden Gebieten. Aus diesem Grund sind die Ablagerungen im Gebirgsraum des Almopäos besonders stark, während sie bei den übrigen Zubringern des Ableitungskanals ungefähr die Hälfte ihrer Flachlandablagerungen ausmachen.

3.3 Sonstige Ablagerungen in der Ebene von Thessaloniki

Nach dem Bau des grossen Ableitungskanals münden nur noch sehr wenige Wildbäche des Hügellandes in den Loudias. Ihre Ablagerungen sind kaum grösser als 20.000 m^3/Jahr. Drei weitere Wildbäche des Hügellandes lagern um 18.000 m^3/Jahr in einem anderen kleinen Ableitungskanal, der sich in den Axios ergiesst, ab.

Bemerkenswert für die Erosionstätigkeit der Wildbäche des Hügellandes in der Ebene von Thessaloniki ist folgendes: während der Verbauungsarbeiten im Tallauf des Wildbaches Kryoneri (Einzugsgebiet: 32 km^2, max. Meereshöhe 472 ü.NN), der sich in das alte Flussbett des Aliakmon ergoss, kamen verschiedene Hausgeräte und Münzen aus der Zeit des mazedonischen Königs Philipp - Vater Alexander's des Grossen - zum Vorschein. Es wurde somit folgendes festgestellt: dieser Wildbach, ausser dem Feststoffmaterial, das er im Laufe von 2.300 Jahren ins Flussbett seines Vorfluters lieferte, bildete gleichzeitig dort eine 2,50 m dicke Ablagerungsschicht, was einem Abtrag von 112,5 m^3/Jahr/km^2 bzw. 0,11 mm/Jahr entspricht.

3.4 Gesamtablagerungen im Bergland und der Ebene von Thessaloniki

Tabelle 2 gibt die Gesamtablagerungen im Gebirgs- und Flachland von Thessaloniki an. Hieraus ist zu ersehen, dass in der Ebene die Ablagerungen beider grossen Flüsse (Axios, Aliakmon) vorherrschen und die geringen der Kanal-Zubringer mit grossem Abstand folgen. Alle diese Wasserströme versorgen die Ebene mit Ablagerungsmaterial. Die übrigen kleinen Wasserströme weisen äusserst geringe Ablagerungen auf und können deswegen keinen bedeutenden Einfluss auf den Entwicklungsvorgang der Ebene und der Bucht von Thessaloniki ausüben.

Tabelle 2

Ablagerungen im Gebirgs- und Flachland von Thessaloniki

Wasserstrom	Grösse des Einzugsgebietes (km^2)	mittlere jährliche Flachlandablagerungen				mittl. jährl. Gebirgslandablagerung (m^3/Jahr)	mittl. jährl. Gesamtablagerung (m^3/Jahr)	spez. Gesamtablagerung (m^3/km^2/Jahr)	Bodenabtrag in Einzugsgebieten (mm/Jahr)
		in den Deltas (m^3/Jahr)	in den Flussbetten (m^3/Jahr)	in Deltas und Flussbett3n (m3/Jahr)	spez. Ablagerung (m^3/km^2/Jahr)				
Fluss Axios	23.747	8.400.000	910.000	9.310.000	392	-	-	-	-
Fluss Aliakmon	7.312	5.600.000	615.000	6.215.000	850	2.000.000	8.215.000	1.123	1,12
Ableit.-Kanal									
-Fl.Almopäos	1.050	-	314.000	314.000	300	306.000	620.000	590	0,59
-Fl.Edessäos	316	-	98.500	98.500	311	49.000	147.500	466	0,47
-Wb.Arapitsa	294	-	59.300	59.300	202	25.000	84.300	287	0,28
-Wb.Skrop	108	-	28.500	28.500	264	14.000	42.500	394	0,39
-Wb.Tripotamos	217	-	49.700	49.700	229	25.000	74.700	344	0,34
-sonst.Ströme	258	-	48.000	48.000	186	20.000	68.000	263	0,26
Fluss Loudias									
-versch.Wildb.	422	-	20.000	20.000	47	5.000	25.000	59	0,06
Übr.Wildbäche									
-Axios-Kanal	246	-	28.000	28.000	114	12.000	40.000	163	0,16
-versch.Wildb.	65	-	13.000	13.000	200	5.000	18.000	277	0,28
Fluss Gallikos	930	160.000	40.000	200.000	215	50.000	250.000	269	0,30
Gesamt	34.965	14.160.000	2.224.000	16.384.000	-	2.511.000	9.585.000	-	-

4 Folgerungen

4.1 Die Flussablagerungen und die Bucht von Thessaloniki

Die durchschnittliche jährliche Flussablagerung in der Ebene von Thessaloniki beträgt 16.384.000 m^3. Angenommen, dass in den vergangenen 2.500 Jahren ab dem Jahr 500 v.Chr. bis heute keine bedeutende Veränderung im Gebirgsland von Thessaloniki, insbesondere in klimatischer Hinsicht, eingetreten ist, so erreicht das gesamte Feststoffmaterial, das von Axios, Aliakmon, Loudias und Gallikos in diesem Zeitraum abgelagert worden ist, folgendes Volumen:

$$16.384.000\ m^3/\text{Jahr} \times 2.500\ \text{Jahre} = 40.960.000.000\ m^3$$

Die Ebene hat heute bei einer Gesamtausdehnung von 1.200 km^2 eine durchschnittliche Meereshöhe von 7 m ü.NN. Anhand von durchgeführten Bohrungen und anderen geologischen Untersuchungen ist anzunehmen, dass die mittlere Meerestiefe des Gebietes der Ebene vor seiner Verlandung 28 m betrug. Die durchschnittliche Stärke der Ebene beträgt also insgesamt 35 m. Somit kann das Volumen der tatsächlichen Gesamtablagerungen im Raum der Ebene wie folgt berechnet werden:

$$1.200.000.000\ m^2 \times 35\ m = 42.000.000.000\ m^3$$

was mit dem Ergebnis der obigen Rechnung übereinstimmt. Demzufolge reichten die Ablagerungen der drei Flüsse aus, im Verlaufe von 2.500 Jahren die alte Meeresbucht in die Ebene von Thessaloniki mit ihrer heutigen Ausdehnung umzubilden.

Die sehr beschränkten Ablagerungen des Loudias im Verhältnis zu denen des Axios und des Aliakmon zeigen, dass die Feststoffführung dieses kleinen Wasserstroms nicht ausreichen kann, den Meeresraum zwischen den Verlandungen beider grossen Flüsse genügend aufzufüllen, was die Entstehung eines Sees und Sumpfgebietes im Zentrum der Ebene (Abb. 2) erklärt.

4.2 Die Ablagerungen in den Flussbetten und deren Folgen

Die bedeutenden mittleren jährlichen Ablagerungen (2.224.000 m^3/Jahr) in den regulierten Flussläufen der Ebene von Thessaloniki verursachen Verlandungen in ihren Fluss- und Bachbetten und führten somit zu neuen Überschwemmungen und Verheerungen der umliegenden Gebiete.

Eindrucksvoll ist der hohe Wert der spez. Ablagerung des Aliakmon, was auf den wildbachartigen Charakter dieses Flusses deutet.

4.3 Der Gesamtabtrag

Die Berechnung des Gesamtabtrages ergibt sich aus der Summe der Ablagerungen in dem flachen und gebirgigen Teil jeden Einzugsgebietes. Aus Tabelle 2 ist zu ersehen, dass alle Einzugsgebiete einen intensiven Abtrag aufweisen, wenn in Betracht gezogen wird, dass die Abtragungswerte für entsprechende Flusseinzugsgebiete im mitteleuropäischen Raum in der Regel zwischen 0,03 und 0,40 mm schwanken (Kronfellner-Kraus, 1975). Der Bodenabtrag im Aliakmon-Einzugsgebiet ist allerdings besonders hoch und nähert sich demjenigen der grossen Wildbacheinzugsgebiete.

4.4 Versuch einer Schätzung des mittleren Bodenabtrags im griechischen Raum

Anhand anderer Untersuchungen (Kotoulas, 1969, 1972, 1975, 1980 a, b, Margaropoulos, 1963) kann für die Einzugsgebiete des Aliakmon, des Gallikos, der Zubringer des Ableitungskanals und der übrigen kleinen Wildbäche in der Ebene von Thessaloniki angenommen werden, dass sie in ihrer Gesamtheit ungefähr einen Durchschnittszustand im griechischen Raum in Hinblick auf die Erosionskapazität und den Bodenabtrag ausdrücken. Die Berechnung des mittleren Abtrags in diesem Gebiet - unter Berücksichtigung auch der Grösse der Teileinzugsgebiete - ergab 863 m^3/km^2/Jahr. Weil aber Griechenland zu 75 % Hügel-, Berg-, Gebirgs- und Alpines Land ist und nur 25 % seiner Gesamtfläche von 131.990 km^2 aus kleinen Hügeln und Ebenen bestehen (Kotoulas, 1972, 1980 a), so ist der mittlere jährliche Bodenabtrag des griechischen Raumes wie folgt zu berechnen:

$$863\ m^3/km^2/Jahr \times 0,75 = 647,2\ m^3/km^2/Jahr$$

oder 0,65 mm. Es werden also von Griechenland jedes Jahr abgetragen und in die Ebenen transportiert:

$$131.990\ km^2 \times 647,2\ m^3/km^2/Jahr \quad 86.000.000\ m^3$$

was einer griechischen Insel mit einer Fläche von 35 km^2 und Tiefe von 2,5 m entspricht!

Literatur

Evmorphopoulos L. (1961) Die Veränderungen der Bucht von Thessaloniki. Zeitschr. Technika Chronika, Seite 205-208, 1961. (Griechisch)

Foundation Company (1929) Bericht über die Bauten des Ableitungskanals westlich und südwestlich des Beckens von Giannitsa. Thessaloniki Selbstverlag 1929. (Griechisch)

Kotoulas D. (1969) Die Wildbäche Nordgriechenlands. Jahrbuch der Land- u. Forstwirtsch. Fakultät der Universität Thessaloniki, 1969. (Griechisch mit deutscher Zusammenfassung)

Kotoulas D. (1972) Die Wildbäche Süddeutschlands und Griechenlands, Teil 1. Bericht Nr. 25 der Versuchsanstalt f. Wasserbau der T.U. München, 1972.

Kotoulas D. (1975) Die Wildbäche des Vermion-Pieria-Gebirges. Inst. f. Waldbau u. Wildbachverbauung der Aristoteles Universität Thessaloniki: Selbstverlag, 1975 (Griechisch mit deutscher Zusammenfassung)

Kotoulas D. (1980 a) Die Wildbachverbauung in Griechenland. Allg. Forstzeit. Jhg. 91, Folge 2, Seite 30-33.

Kotoulas D. (1980 b) Das Überschwemmungsproblem in Griechenland unter dem Prisma der Überschwemmungskatastrophen in Zentralmazedonien am 18.-19.11.1979. Mitt. Nr. 4 des Inst. f. Gebirgswasserbau der Aristoteles Universität Thessaloniki: Selbstverlag 1980 (Griechisch)

Kronfellner-Kraus G. (1975) Zur Geschiebebilanzierung. Interprävent Seite 49-50, 1975

Margaropoulos P. (1963) Die Wassererosion und das Wildbachphänomen. Athen: Selbstverlang 1963 (Griechisch)

Settas N. (1963) Die grossen Meliorationsarbeiten in Mazedonien. Athen: Selbstverlag 1961 (Griechisch)

Soulis B. (1947) Die grossen Meliorationsarbeiten in Mazedonien. Drama: Selbstverlag 1947

Adresse des Autors:

Prof. DDr. habil. Dimitrios Kotoulas
Institut f. Gebirgswasserbau
Aristoteles Universität
Thessaloniki/Griechenland