

WASSERBILANZEN FÜR DIE TEILEINZUGSGEBIETE UND DIE STAATSGEBIETE IM DONAURAUM

DOMOKOS Miklos und Jenő SASS

Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI) Budapest, Ungarn
H-1453, Pf. 27.

Die gewässerkundlichen Institutionen der acht Donaustaaten¹⁾ arbeiten seit 1972 - angeregt nicht zuletzt durch die Rhein-Monographie [8] - an der Erstellung einer Hydrologischen Monographie des Donaubeckens, bestehend aus drei Kapiteln: I. Physische Geographie, II. Hydrologisches Regime, III. Wasserbilanz. Die interne (vollständige) Version der Monographie wird in zwei Sprachen: auf Deutsch²⁾ und Russisch erscheinen.

1. Einleitung

Im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit hat das ungarische Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI) die Ausarbeitung eines Entwurfs für Kapitel III übernommen. Dessen Anlagen, die Isolinienkarten der drei Wasserbilanz-Elemente, gilt es auf der Basis der von den anderen Institutionen erhaltenen Materialien, abschließend zu bearbeiten und drucken zu lassen. Der nachstehende Beitrag berichtet über zugrunde gelegte Methoden und erzielte Ergebnisse. Die Ausführungen können derzeit jedoch lediglich als Vorschläge der Verfasser, noch nicht als offizieller Standpunkt der erwähnten Arbeitsgemeinschaft betrachtet werden.

Die vorliegende Bearbeitung des Donaubeckens (Abb.1) beschränkt sich auf die einfachste Variante der Wasserbilanz, nämlich der langjährigen Mittelwerte der grundlegenden drei Bilanzelemente. Die Entwicklung dieser Elemente bleibt also ebenso ausgespart wie deren Aufteilung in weitere Komponenten (z.B. den Niederschlag in Regen und Schnee, die Verdunstung in Boden-, See- und Pflanzenverdunstung, den Abfluß in Direkt- und Basisabfluß). Auch bleiben zeitliche und wahrscheinlichkeitstheoretische Verteilungen außer acht. Hinsichtlich genetischer Fragen - sowohl was die Beschreibung der hydrologischen Prozesse als auch die Methoden der Datensammlung betrifft - wird auf Kapitel I der Monographie verwiesen, hinsichtlich der erwähnten Verteilungen der für die Wasserwirtschaft und Wasserbau wichtigsten Bilanzelemente, des Abflusses, auf Kapitel II.

2. Erstellung der Isolinienkarten für die Wasserbilanz-Elemente

Die Trägerkarte im Maßstab 1:2 Mio., die der Isoliniendarstellung der gebietlichen Verteilung der auf die Periode 1931/70 bezogenen Mittelwerte zugrunde liegt, basiert auf einer Verkleinerung der 1972 herausgegebenen Wandkarte der Donaukommission (M. 1:1 Mio.). Auf dieser Karte findet man die wichtigsten Flüsse des Donaubeckens (darunter den Streifen der Donau selbst überproportional breit eingezeichnet), die abgrenzende Hauptwasser-

1) Die zusammenarbeitenden Institutionen sind (in hydrographischer Reihenfolge der Staaten): Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, München; Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der TU Wien; Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft (VUVH), Bratislava; Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI), Budapest; Institut für Wasserwirtschaft "Jaroslav Cerni", Beograd; Bundesanstalt für Hydrometeorologie, Beograd; Institut für Meteorologie und Hydrologie, Bucuresti; Institut für Meteorologie und Hydrologie, Sofia; Ukrainisches Regionales Wissenschaftliches Forschungsinstitut des GOSKOMGIDROMET, Kijew. An der Arbeit nehmen die Institutionen der Länder CS, H, BG und SU seit 1972 im Rahmen der Arbeitsgruppe für Wissenschaftliche Hydrologie bei der Donaukommission teil, die Koordination liegt bei der VUVH, Bratislava. Die Länder D, A, YU und R beteiligen sich seit 1975 über ihre Nationalkomitees für das IHP; ihre Mitarbeit wird von einem technischen Sekretariat in Beograd koordiniert.

2) Die deutsche Ausgabe wird z.Z. in München bearbeitet und soll noch 1986 gedruckt werden. Auch eine repräsentative (gekürzte), viersprachige Version ist vorgesehen, die in Bratislava bearbeitet wird und mit Unterstützung der UNESCO erscheinen soll.

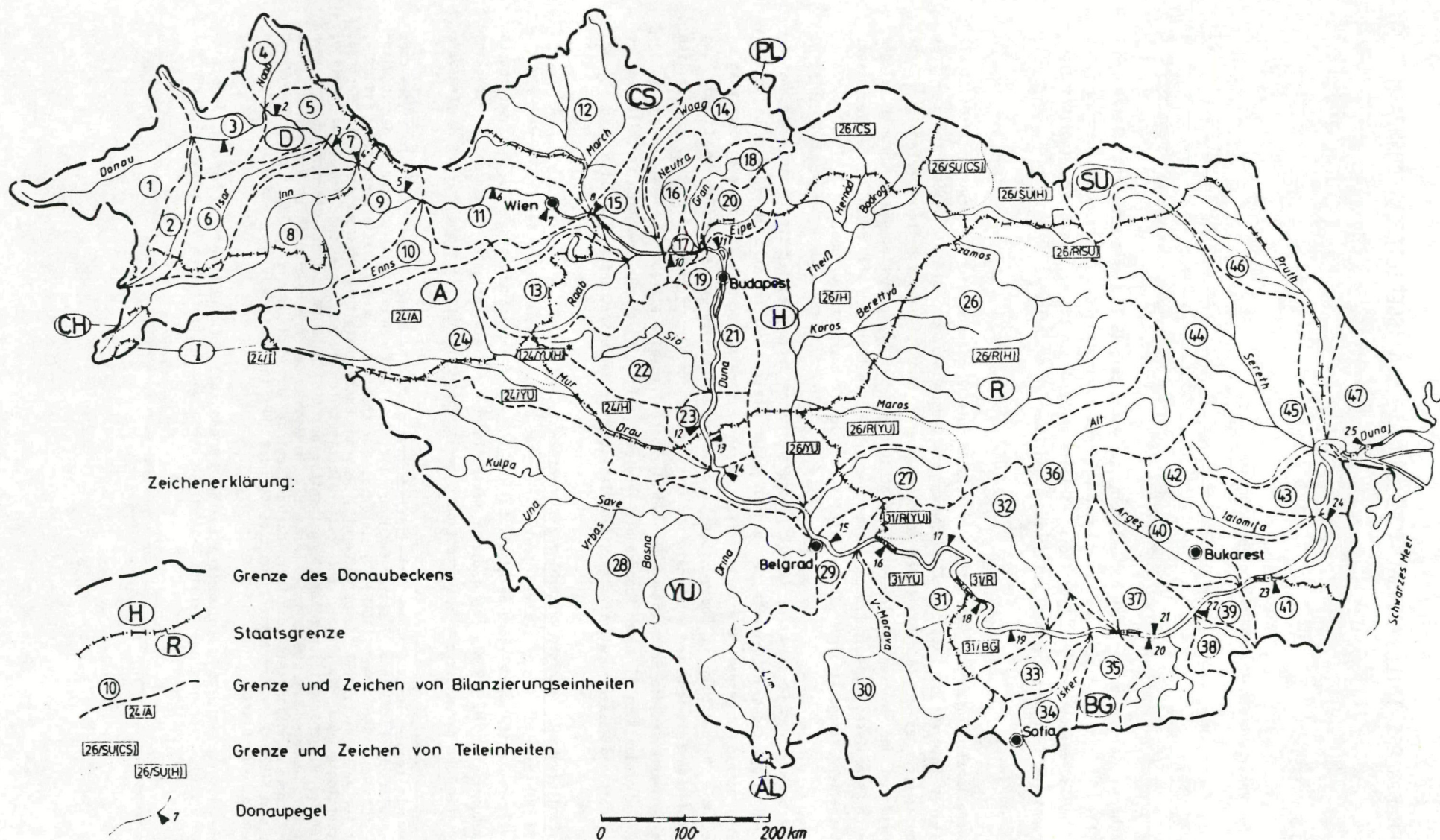


Abb.1.: Übersichtskarte des Donaubeckens mit den Bilanzierungs-Einheiten

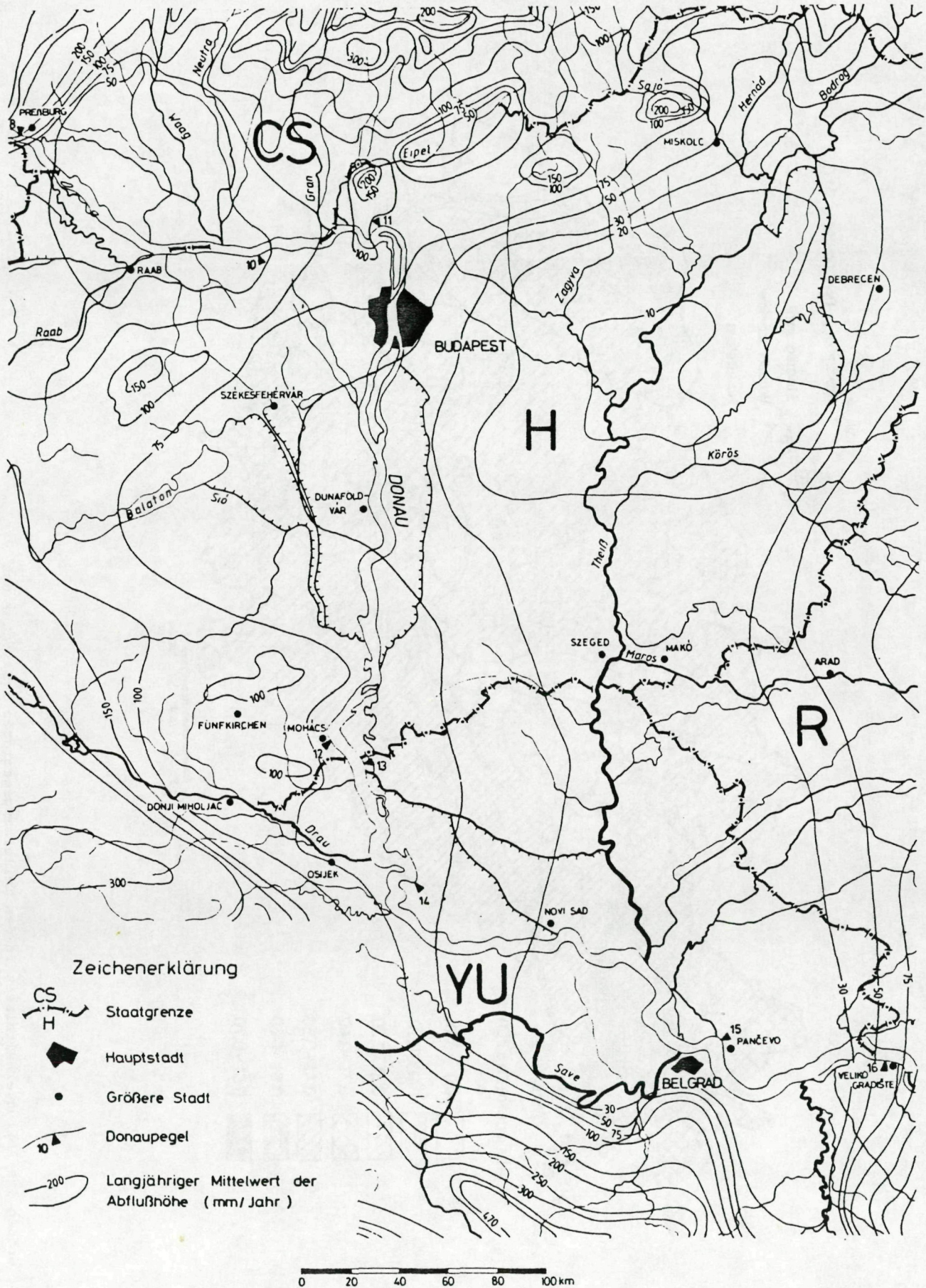


Abb.2.: Isolinienkarte der mittleren jährlichen Abflußhöhen (Ausschnitt)

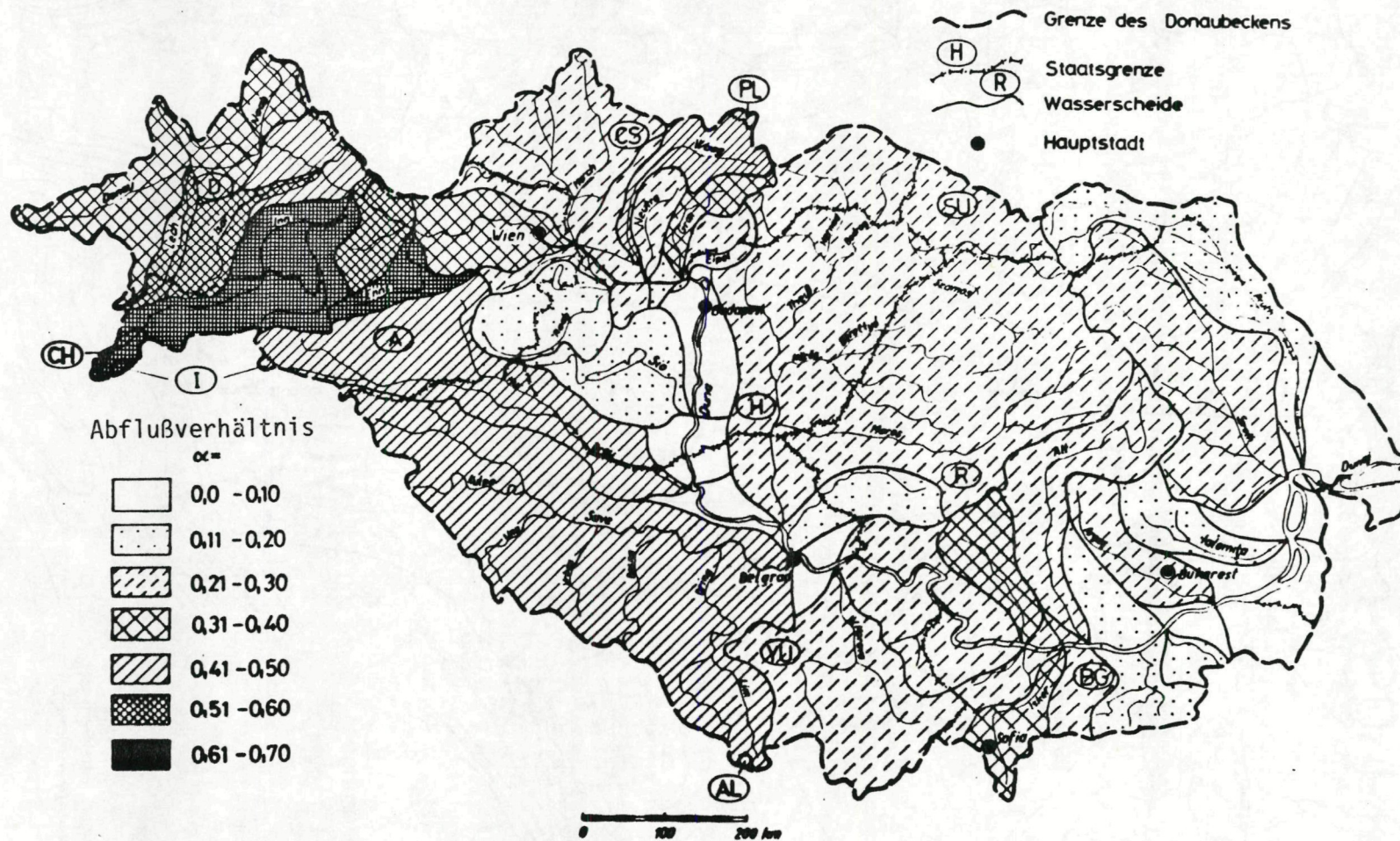


Abb.3.: Größen des Abflußverhältnisses in den Teileinzugsgebieten des Donauraums

scheide, die Staatsgrenzen, und neben den bedeutenderen Städten die in der Monographie behandelten Pegelstationen. Titel und Zeichenerklärungen der Karten sind viersprachig abgefaßt: außer in den Arbeitssprachen der Arbeitsgruppe für Wissenschaftliche Hydrologie bei der Donaukommission (Deutsch, Russisch) sind sie auch englisch und französisch beschriftet worden, damit die Karten zugleich als Anlagen der viersprachigen repräsentativen Ausgabe der Monographie verwendet werden können.

Die Isolinienkarten für die drei Wasserbilanz-Elemente wurden nach einer zuvor zwischen den 8 Donauanliegerstaaten abgestimmten Methodik konstruiert. Dazu hat jeder Staat für seinen Anteil am Donaugebiet mit einem ersten Entwurf Arbeitskarten i.M. 1:1 Mio. beigetragen, für den jeweils die folgenden Unterlagen herangezogen wurden:

- die in den Niederschlags-, Verdunstungs- und Abflußnetzwerken während der Periode 1931/70 erhobenen Daten,
- die in den verschiedenen Staaten üblichen empirischen Verdunstungsformeln,
- aus früheren Zeiten vorliegende hydrologische (Isolinien-) Karten [1], [4,5], [10, 11] sowie
- topographische und verschiedene thematische Karten (geologische Karten, Vegetationskartierungen usw.).

Die Niederschlagsdaten wurden vor ihrer Verwendung auf das Bodenniveau umgerechnet.

Die für die Territorien der einzelnen Donauanliegerstaaten voneinander unabhängig gezeichneten Isolinien waren entlang der Staatsgrenzen abzustimmen bzw. anzupassen, wozu Expertensitzungen und bilaterale Besprechungen dienten.

Die drei endgültigen Isolinienkarten (M. 1:2 Mio.) wurden 1984 in Budapest in Auflagen von je 2000 Exemplaren gedruckt [2]. Einen exemplarischen Ausschnitt zeigt Abb.2.

3. Festlegung der Bilanzierungsgebiete

Die Wasserbilanzen sollten auf der Basis der vereinheitlichten Isolinienkarten sowohl nach Flußgebieten als auch nach den auf das Donaubecken entfallenden Anteilen an den jeweiligen Staaten aufgestellt werden.

3.1 Flußgebiete

Die als Bilanzierungs-Einheiten zu betrachtenden Flußgebiete (Teileinzugsgebiete) wurden nach den folgenden Gesichtspunkten ausgewiesen:

a) Als selbständige Einheiten wurden zunächst die Einzugsgebiete der bedeutenderen Zubringer der Donau (Lech, Naab, Isar usw.) abgegrenzt, wobei diese unabhängig von ihrer Größe nicht weiter unterteilt wurden; dies auch nicht z.B. im Falle der Save, der Drau und der Theiß.

b) Die andere Gruppe der Gebietseinheiten stellt die "unmittelbaren" Einzugsgebiete der zwischen den Mündungen von jeweils zwei unter (a) ausgewählten Nebenflüssen liegenden Donaustrecken dar. Als Beispiele seien das sich zwischen der Quelle und der Lech-Mündung erstreckende Gebiet oder das zwischen den Mündungen von Lech und Naab gelegene "Zwischengebiet" genannt.

Letztendlich wurden 47 Teileinzugsgebiete des Donaubeckens ausgewiesen: diese Bilanzierungs-Einheiten sind in Abb.1 dargestellt. Ihre laufende Numerierung erfolgte nach strenger hydrographischer Ordnung. Die laufenden Nummern und Benennungen der 47 Flußgebiete sind in den ersten fünf Spalten der Tab.1 zu finden.

Alle drei Bilanzelemente werden in $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ angegeben, also als eine auf das jeweilige Bilanzierungsgebiet unter Voraussetzung einer gleichmäßigen gebietsweisen Verteilung bezogenen Wassersäule pro Jahr.

In der vereinfachten Wasserbilanz nach Gl. (1) wird nicht allein auf eine Aufteilung der Bilanzelemente in ihre Komponenten verzichtet, sondern es werden klar ersichtlich zahlreiche Einflußgrößen vernachlässigt [9]. Davon seien, als die wichtigsten genannt:

- (a) die Veränderung des Feuchtezustandes der Teileinzugsgebiete
- (b) diejenigen Wassermengen, welche einerseits in tiefere Schichten versickern sowie andererseits als Quellen oder infolge Grundwasserförderung aus der Tiefe an die Oberfläche gelangen
- (c) die Verdunstungsverluste während der Passage des Teilgebietes.

Tabelle 1: Langjährige Wasserbilanzen der einzelnen Teileinzugsgebiete des Donaugebietes (1931-70)

Bilanzierungs-Gebietseinheit (Abb. 1):				Fläche A _E [km²]	Gebietsmittelwert			Bilanz- fehler d _i [%]	Abfluß- verhältnis d _i [-]
Lfd. Nr. i	Einzugsgebiet des Flusses	von	bis		des Nieder- schlags P _i	der Ver- dunstung E _i	des Ab- flusses R _i		
					[mm · a ⁻¹]				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Donau	Quelle	Lech	15 654	914	539	370	+ 0,55	0,40
2	Lech	Quelle	Mündung	4 398	1206	536	651	+ 1,58	0,54
3	Donau	Lech	Naab	7 614	748	518	231	- 0,13	0,31
4	Naab	Quelle	Mündung	5 645	767	490	288	- 1,56	0,37
5	Donau	Naab	Isar	6 203	850	509	348	- 0,82	0,41
6	Isar	Quelle	Mündung	8 369	1174	536	614	+ 2,04	0,52
7	Donau	Isar	Inn	3 741	947	502	415	+ 2,85	0,44
8	Inn	Quelle	Mündung	26 976	1315	436	868	+ 0,84	0,66
9	Donau	Inn	Enns	7 614	1148	512	677	- 0,68	0,59
10	Enns	Quelle	Mündung	5 940	1483	483	1016	- 1,08	0,68
11	Donau	Enns	March	14 112	829	537	299	- 0,84	0,36
12	March	Quelle	Mündung	27 633	640	483	141	+ 2,50	0,22
13	Raab	Quelle	Mündung	14 702	738	592	130	+ 2,17	0,18
14	Waag	Quelle	Mündung	9 714	906	534	415	- 4,75	0,46
15	Donau	March	Neutra	10 567	677	542	141	- 0,89	0,21
16	Neutra	Quelle	Mündung	5 415	694	549	157	- 1,73	0,23
17	Donau	Neutra	Gran	1 444	576	516	63	- 0,52	0,11
18	Gran	Quelle	Mündung	5 251	809	514	290	+ 0,62	0,36
19	Donau	Gran	Eipel	131	588	525	81	- 3,06	0,14
20	Eipel	Quelle	Mündung	4 594	661	531	139	- 1,36	0,21
21	Donau	Eipel	Sió	10 469	586	534	53	- 0,17	0,09
22	Sió	Quelle	Mündung	15 129	663	572	81	+ 1,51	0,12
23	Donau	Sió	Drau	7 023	644	565	62	+ 2,64	0,10
24	Drau	Quelle	Mündung	41 810	998	575	435	- 1,20	0,44
25	Donau	Drau	Theiß	5 382	689	594	59	+ 5,22	0,09
26	Theiß	Quelle	Mündung	158 182	744	560	177	+ 0,94	0,24
27	Donau	Theiß	Save	10 666	764	582	136	+ 6,02	0,18
28	Save	Quelle	Mündung	94 778	1091	634	514	- 5,22	0,47
29	Donau	Save	Morava	4 332	689	644	51	- 0,87	0,07
30	Morava	Quelle	Mündung	38 233	746	540	216	- 1,34	0,29
31	Donau	Morava	Jiul	27 239	746	571	162	+ 1,74	0,22
32	Jiul	Quelle	Mündung	10 731	831	576	278	- 2,77	0,33
33	Donau	Jiul	Isker	6 498	658	494	135	+ 4,41	0,21
34	Isker	Quelle	Mündung	7 811	725	455	230	+ 5,52	0,32
35	Donau	Isker	Alt	6 826	690	489	192	+ 1,30	0,28
36	Alt	Quelle	Mündung	24 810	873	592	234	+ 5,38	0,27
37	Donau	Alt	R. Lom	17 984	676	520	130	+ 3,85	0,19
38	R. Lom	Quelle	Mündung	3 380	599	512	66	+ 3,51	0,11
39	Donau	R. Lom	Arges	3 938	573	500	25	+ 8,38	0,04
40	Arges	Quelle	Mündung	11 814	800	577	190	+ 4,13	0,24
41	Donau	Arges	Ialomita	16 573	537	479	20	+ 7,08	0,04
42	Ialomita	Quelle	Mündung	10 305	738	556	146	+ 4,88	0,20
43	Donau	Ialomita	Sereth	6 925	508	438	25	+ 8,86	0,05
44	Sereth	Quelle	Mündung	45 420	757	550	157	+ 6,61	0,21
45	Donau	Sereth	Pruth	1 116	462	411	8	+ 9,31	0,02
46	Pruth	Quelle	Mündung	28 945	606	470	96	+ 6,60	0,16
47	Donau	Pruth	Mündung	14 964	420	412	7	+ 0,24	0,02
1-47	Donau	Quelle	Mündung	817 000	816	547	264	+ 0,60	0,32

3.2 Staatliche Teilgebiete

Bei der Bilanzierung nach Staatsgebieten sind als Haupteinheiten die auf den Donauraum entfallenden Teilgebiete von insgesamt 12 Staaten zu verstehen (Abb.1); 8 von diesen - mit Gebietsanteilen über 5 % am Donaugebiet - werden als Donauanliegerstaaten bezeichnet. Die 12 Staaten sind mit entsprechenden -dem internationalen Kraftwagenverkehr entlehnten- Symbolen in den Spalten 2 und 3 der Tab.3 aufgeführt.

In Abhängigkeit der jeweiligen Lageverhältnisse von Flußgebiets- zu Staatsgrenzen sowie sekundären Wasserscheiden ergeben sich Teileinheiten, die bei den Detailrechnungen der Bilanzierung verwendet, hier aber nicht weiter behandelt werden. Einige nicht selbstredende Symbole solcher Teileinheiten sind auch in Abb.1 enthalten. So bezeichnet z.B. 26/SU (CS) denjenigen Teil des in der Sowjetunion gelegenen Teilgebietes des 26. (Theiß-) Einzugsgebiets, dessen Oberflächenwasser von der Sowjetunion in das Gebiet der Tschechoslowakei abfließt.

3.3 Ermittlung der Flächengrößen

Bei der Bestimmung der Flächengrößen obiger natürlicher und politischer Bilanzierungs-Einheiten und Teileinheiten wurde von den Werten ausgegangen, die sich aus der Planimetrierung der Karten im Maßstab 1 : 2 000 000 ergaben.

Diese wurden dann derart korrigiert, daß

- die Summe sowohl der 47 Flußgebietsflächen als auch der 12 Staatsgebietsanteile die international bekannte Fläche des Donaubeckens ($A_D = 817\,000\text{ km}^2$) ergaben;
- die Flächen der (fast) vollständig im Donaubecken liegenden drei Staaten (A,H,R) mit ihren offiziellen Werten [4] übereinstimmen.

Die notwendige Korrektur der über Planimetrierung erhaltenen "Roh"-Werte betrug für Österreich -0,5%, für Ungarn - 4,2%, für Rumänien - 2,6 %, für die übrigen 9 Staatsgebiete + 2,7 % und für das ganze Donaugebiet im Durchschnitt + 2,5%.

Die somit erhaltenen korrigierten Flächenwerte A_{Ei} bzw. A_{jD} sind in Spalte 5 der Tab.1 bzw. in Spalte 5 der Tab. 3 zu finden.

4. Langjährige Wasserbilanzen

4.1 Grundgleichung

Die Wasserbilanz wurde für jede Bilanzierungs-Einheit (Flußgebiet oder Teil eines Staatsgebietes) in folgender Form aufgestellt:

$$P = E + R \text{ (mm.a}^{-1}\text{)}$$

(1)

wobei die der englischsprachigen Nomenklatur folgende Symbole bedeuten:

P - der auf das Teileinzugsgebiet gefallene Niederschlag (= precipitation)

E - die auf das Teileinzugsgebiet entfallende Verdunstung (=evaporation)

R - der Abfluß vom Teileinzugsgebiet, d.h. der Ausfluß aus dem Bilanzgebiet minus dem Zufluß aus flüßaufwärts gelegenen Nachbargebieten (=runoff).

Tab.2 Nach hydrographischer Ordnung integrierte hydrologische Kennzahlen (auf der Basis der Tab.1)
mit einem Vergleich der langjährigen Abflüßmengen.

Sym- bol $n = \Sigma i$	Bezeichnung (ober- oder unterhalb der Mündung des Flusses ...)	Donauquerschnitte n					Donaupegel k			Abfluß		Abwei- chung Δk
		Einzugs- gebiet $A_n = \sum_{i=1}^n A_{Ei}$ [km ²]	Gebietl. Mittel des Nieder- schlags P_n [mm · a ⁻¹]	Mittlere Abfluß- höhe R_n [mm · a ⁻¹]	Mittlerer Abfluß- beiwert α_n [-]	Abfluß Q_n [m ³ · s ⁻¹]	Sym- bol k	Pegel- name	Einzugs- gebiet A_{Ek} [km ²]	be- rechnet mit Gl. (9) Q_k [m ³ · s ⁻¹]	beobachtet, nach Kap. II der Mono- graphie Q_k^* [m ³ · s ⁻¹]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	o. Lech	15654	914	37	0,40	184						
2	u. Lech	20052	978	458	0,44	291						
3	o. Naab	27666	915	376	0,41	331	1	Ingolstadt	21268	300	307	- 3,26
4	u. Naab	33311	890	361	0,41	383						
5	o. Isar	39514	883	359	0,41	451	2	Regensburg	36415	417	435	- 4,14
6	u. Isar	47883	934	404	0,43	614						
7	o. Inn	51624	935	405	0,43	663	3	Holkirchen	48139	617	643	- 4,04
8	u. Inn	78600	1066	456	0,53	1405						
9	o. Enns	86214	1073	574	0,53	1568	4	Achleiten	78600	1405		
10	u. Enns	92154	1099	602	0,55	1759	5	Linz	81480	1467	1509	- 2,78
11	o. March	106266	1063	562	0,53	1893	6	Krems	97658	1811	1863	- 2,79
12	u. March	133899	976	475	0,49	2017	7	Wien	103034	1862	1942	- 4,12
13	o. Waag	148601	952	441	0,46	2078						
14	u. Waag	158315	950	439	0,46	2206	8	Preßburg	133899	2017	1986	+ 1,56
15	o. Neutra	168882	933	421	0,45	2253						
16	u. Neutra	174297	925	412	0,45	2280						
17	o. Gran	175714	922	410	0,44	2283	10	Dunaalmás	174809	2281	2314	- 1,43
18	u. Gran	180992	919	406	0,44	2331						
19	o. Eipel	181123	919	406	0,44	2332						
20	u. Eipel	185717	912	399	0,44	2352						
21	o. Sió	196186	895	381	0,43	2370	11	Nagymaros	186037	2353	2378	- 1,05
22	u. Sió	211315	878	359	0,41	2409						
23	o. Drau	218338	871	350	0,40	2423	12	Mohács	213363	2413	2389	+ 1,00
24	u. Drau	260148	891	363	0,41	3000	13	Bezdán	214579	2416	2479	- 2,54
25	o. Theiß	265530	887	357	0,40	3010						
26	u. Theiß	421712	834	290	0,35	3898	14	Bogojevo	260948	3001	3060	- 1,93
27	o. Save	434378	832	286	0,34	3944						
28	u. Save	529156	878	327	0,37	5489						
29	o. V. Morava	533488	877	325	0,37	5496	15	Pančevo	529476	5490	5490	± 0,00
30	u. V. Morava	571721	868	318	0,37	5758						
31	o. Jiuł	598960	863	311	0,36	5898	16	Gradište	576969	5785	5750	+ 0,61
32	u. Jiuł	609691	862	310	0,36	5993	17	Orsova	579401	5797	5700	+ 1,70
33	o. Isker	616189	860	308	0,36	6021	18	Novo Selo	584809	5825	5842	- 0,29
34	u. Isker	624000	858	308	0,36	6078	19	Lom	596048	5883	5766	+ 2,03
35	o. Alt	630826	856	306	0,36	6120						
36	u. Alt	655636	857	303	0,35	6304	20	Svistov	658228	6315	6168	+ 2,38
37	o. R. Lom	673620	852	299	0,35	6378	21	Zimnicea	658228	6315	6150	+ 2,68
38	u. R. Lom	677000	851	298	0,35	6385						
39	o. Argeş	680938	849	296	0,35	6388	22	Ruse	677000	6385	6264	+ 1,93
40	u. Argeş	692752	848	294	0,35	6459						
41	o. Ialomiţa	709325	841	288	0,34	6470	23	Silistra	697328	6462	6300	+ 2,57
42	u. Ialomiţa	719630	840	286	0,34	6518	24	Vodu Oii	719630	6518	6220	+ 4,79
43	o. Sereth	726555	836	283	0,34	6523						
44	u. Sereth	771975	832	276	0,33	6749						
45	o. Pruth	773091	831	276	0,33	6750						
46	u. Pruth	802036	823	269	0,33	6838	25	Ceatal Izmail	808180	6839	6550	+ 4,41
47	Mündung ins Schwarze Meer	817000	816	264	0,32	6841						

Erfahrungsgemäß kann die unter (a) angezeigte Vernachlässigung bei einer genügend langen Untersuchungsperiode geduldet werden. Von den - wahrscheinlich auch an sich nicht sehr bedeutenden - vertikal ab- und aufwärts strömenden Wassermengen (b) kann bei genügend großen Untersuchungsgebieten angenommen werden, daß sie sich gegenseitig ausgleichen. Hinsichtlich Punkt (c) kann schließlich vereinbart werden, daß der Verdunstungsverlust der "Transit"-Wassermenge formell als eine additive Komponente der Eigenverdunstung des jeweiligen Teileinzugsgebietes behandelt wird.

4.2 Ermittlung der Gebietsmittelwerte der Bilanzelemente

Für jede der in Abschn. 3 ausgewiesenen Gebietseinheiten wurde der in $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ausgedrückte Gebietsmittelwert für 1931/70 der Niederschlagshöhe P, der Verdunstungshöhe (Evapotranspiration) E und der Abflußhöhe R über zweifache Planimetrierung der entsprechenden Isolinienkarten (z.B. Abb.2) und anschließende Mittelung beider Werte bestimmt. Die als Ergebnisse erhaltenen Werte P, E und R sind für die 47 Teileinzugsgebiete in den Spalten 8,9 und 10 der Tab. 3 zu finden.

4.3 Fehlerbetrachtung

Setzt man nun die somit für jede Bilanzierungs-Einheit ermittelten Größen P_i , E_i und R_i (bzw. P_j , E_j und R_j) in die das durchschnittliche Gleichgewicht des Wasserhaushalts - mit den erwähnten Vernachlässigungen - ausdrückende Formel (1), erhält man bei vollständigem Gleichgewicht eine Gleichung, im entgegengesetzten Falle eine Ungleichung. Die Differenz der beiden Seiten der Formel (1) wird als "Schlußfehler" der Wasserbilanz bezeichnet. Dessen auf den Niederschlag P als das i.a. am genauesten beobachtete Glied der Formel bezogener prozentualer Wert beträgt für das i-te Teileinzugsgebiet.

$$d_i = \frac{P_i - (E_i + R_i)}{P_i} \cdot 100 (\%) \quad (2)$$

Die aufgrund der Formel (2) je Gebietsanteil ermittelten Werte des Bilanz-Schlußfehlers d_i bzw. d_j sind in Spalte 9 der Tab.1 bzw. in Spalte 11 der Tab. 3 zu finden.

Bei den Bilanzen für Teileinzugsgebiete ergab sich der größte absolute Schlußfehler mit + 9,31 % für das Gebiet Nr. 45 (unmittelbares Einzugsgebiet der Donaustrücke zwischen Sereth und Pruth). Das arithmetische Mittel der für die Teileinzugsgebiete erhaltenen Schlußfehler beträgt

$$\bar{d}_i = + 1,75 \% \quad (3)$$

und das Mittel ihrer absoluten Werte:

$$|\bar{d}_i| = 2,98 \% \quad (4)$$

Im Hinblick auf die für die Anteile der jeweiligen Staatsgebiete aufgestellten Bilanzen zeigt Tab.3, daß die absoluten Fehler bei jedem Staatsgebiet unter der sehr günstigen Grenze von 5 % bleiben, mit Ausnahme der auf das Donaugebiet entfallenden äußerst geringen Gebietsanteile Italiens ($d = - 7,4\%$) und Polens ($d = +6,5\%$), wo eine planimetrische Ermittlung der Wasserbilanz-Elemente auf der Basis von Karten i.M. 1:2Mio, von vornherein äußerst unsicher ist. Das einfache ungewogene arithmetische Mittel der Schlußfehler d aller 12 Staatsgebiete beträgt

$$\bar{d}_j = 0,96 \% \quad (5)$$

und das arithmetische Mittel ihrer absoluten Werte ist

$$|\bar{d}_j| = 3,07 \% \quad (6)$$

Obige Mittelwerte können im Vergleich zu den bekannten Unsicherheiten der hydrographischen und hydrometeorologischen Beobachtungen und Berechnungen auch bei vieljährigen Durchschnittswerten als günstig betrachtet werden. Der erwähnte über 9 prozentige maximale Schlußfehler - wie auch einige weitere Fehler größer als 3 % - sind schon wesentlich ungünstiger. Da es jedoch im Rahmen der internationalen Zusammenarbeit keine weiteren Möglichkeiten gibt, die bereits gedruckten Isolinienkarten der Wasserbilanz-Elemente (Abschn. 2) weiter zu korrigieren und von neuem abzustimmen, muß man sich mit dem dargelegten Ergebnis und dem Hinweis begnügen, daß die festgestellten bedeutenderen Bilanzfehler bei der praktischen Verwendung der Isolinienkarten berücksichtigt werden müssen.

Tab.3.: Langjährige Wasserbilanzen für die staatlichen Gebietsanteile am Einzugsgebiet der Donau
mit wasserwirtschaftlichen Kennzahlen

Lfd. Nr. j	Staaten						Langjähriges Mittel												
	Symbol	Name	Flächengröße		A ₀ -Anteil		Gebietswerte			Bilanz- fehler	Abfluß- ver- hältnis	„eigenes“ Oberflächen- wasserangebot		„Transit“- Wasserangebot		Verhältnis zwischen „eigenem“ und „Tran- sit“- Wasser- angebot			
			insge- samt [3]	Anteil am Donau- gebiet	am Staats- gebiet	am Donau- gebiet	Nieder- schlag	Ver- dunstung	Abfluß			Abfluß	Anteil am Wasser- angebot des Donau- gebiets γ _j	insge- samt	nicht- zurück- kehrend				
			A _j	A ₀			P _j	E _j	R _j			d _j	α _j	Q _j			Q _{j, aus}	Q _{j, aus}	λ _j
			[km ²]		[%]		[mm · a ⁻¹]					[%]	[-]	[m ³ · s ⁻¹]	[%]		[m ³ · s ⁻¹]		%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
1	D	Bundesrep. Deutschl.	248687	59634	23,98	7,30	962	528	415	+ 1,98	0,43	785	11,48	867	867	90,54			
2	I	Italien	301278	471	0,16	0,06	1425	391	1139	- 7,37	0,80	17	0,25	17	17	100,00			
3	CH	Schweiz	41293	1819	4,41	0,22	1136	358	768	+ 0,88	0,68	44	0,64	51	51	86,27			
4	A	Österreich	83855	80731	96,27	9,88	1098	508	600	- 0,91	0,55	1536	22,45	2460	2392	64,21			
5	PL	Polen	312683	270	0,09	0,03	959	525	372	+ 6,46	0,39	3	0,04	3	3	100,00			
6	CS	Tschechoslowakei	127896	73040	57,11	8,94	719	513	215	- 1,25	0,30	498	7,28	1547	1531	32,53			
7	H	Ungarn	93036	93036	100,00	11,39	609	539	60	+ 1,64	0,10	176	2,57	3525	3525	4,99			
8	AL	Albanien	28748	101	0,35	0,01	1875	494	1292	+ 4,75	0,69	4	0,06	4	4	100,00			
9	YU	Jugoslawien	255804	183210	71,62	22,42	928	606	351	- 3,12	0,38	2039	29,81	6074	5851	34,85			
10	BG	Bulgarien	110912	48178	43,44	5,90	661	487	152	+ 3,33	0,23	232	3,39	3157	3149	7,37			
11	R	Rumänien	237500	232249	97,79	28,43	752	557	160	+ 4,65	0,21	1177	17,21	7270	6765	17,40			
12	SU	Sowjetunion	22402200	44267	0,20	5,42	748	509	235	+ 0,53	0,31	330	4,82	3773	3458	9,54			
1-12	gesamtes Einzugsgebiet der Donau			817000 = A ₀		100,00	816 = P ₀	547 = E ₀	264 = R ₀	+ 0,60 = d ₀	0,32 = α ₀	6841 = Q ₀	100,00						

Der Schlußfehler der Wasserbilanz der für das gesamte Donaugebiet berechneten Mittelwerte P, E und R ist übrigens sehr gering:

$$d_D = \frac{P_D - (E_D + R_D)}{P_D} \cdot 100 = \frac{816 - (547 + 264)}{816} \cdot 100 = 0.6 \% \quad (7)$$

5. Hydrologische Kennzahlen

5.1 Abflußverhältnis

Die Werte des langjährigen durchschnittlichen Abflußverhältnisses, des Quotienten aus Abfluß- und Niederschlagshöhe

$$\alpha = \frac{R}{P} \quad (-) \quad (8)$$

sind für die untersuchten Teileinzugsgebiete in Spalte 10 der Tab.1 und für die 12 Hoheitsgebietsteile in Spalte 12 der Tab. 3 wiedergegeben (vgl. Abb.3). Die α_1 -Werte der Teileinzugsgebiete veranschaulicht Abb.3. Abgesehen von den äußerst hohen α_j -Werten für Staaten, welche im Donaugebiet mit nur geringen Flächenanteilen vertreten sind, die ausschließlich auf Hochgebirgslandschaften entfallen (I: $\alpha = 0,80$; CH: $0,68$; AL: $0,69$), berechneten sich die für Staatsgebiete gültigen höchsten α_j -Mittelwerte - den orographischen Gegebenheiten entsprechend - für die auf das Donaugebiet anfallenden Anteile Österreichs ($0,55$) und der Bundesrepublik Deutschland ($0,43$). Den niedrigsten Abflußbeiwert ($0,10$) weist das zum großen Teil aus Tiefebene bestehende Staatsgebiet Ungarns auf.

5.2 Hydrologischer Längsschnitt der Donau

Um eine dem Längsschnitt entsprechende Darstellung [5,6,7], [9],[11] gewisser hydrologischer Kennwerte zu ermöglichen, wurden - unter Verwendung der entsprechenden Werte aus Tab. 1 - in den Spalten 3 bis 6 der Tab. 2 für jeden charakteristischen Donauquerschnitt n die Fläche A_n des zugehörigen Einzugsgebietes sowie die Gebietsmittelwerte P_n , R_n und d_n sowie der Gesamtabfluß Q_n berechnet. Die Zunahme der Einzugsgebietsfläche wird in Abb. 4, die Veränderung der erwähnten hydrologischen Kennzahlen im Längsschnitt (Abb.5) veranschaulicht.

5.3 Überprüfung der Abflußwerte

Eine Möglichkeit zur Kontrolle der in Spalte 7 von Tab. 2 enthaltenen, aus der Isolinienkarte abgeleiteten Abflüsse bietet ein Vergleich dieser Q_n -Werte mit den für die Donauegel in Kapitel II der Monographie aufgrund langjähriger Beobachtungen (1931/70) berechneten Abflüsse. (Letztlich ergibt sich hieraus eine Gelegenheit zur Überprüfung aller drei in Abschn. 1 besprochenen Isolinienkarten.) Der Vergleich erfolgt für die in Abb.1 angegebenen Donauegel $k=1,2,\dots,25$ in den Spalten 11 bis 13 der Tab.2. - Zunächst wird für jeden Pegel k der sich aus der Isolinienkarte der Abflußhöhe (Abb.2) ergebende Abfluß Q_k über lineare Interpolation zwischen den beiden benachbarten kennzeichnenden Donauquerschnitten mit Hilfe folgender Formel geschätzt:

$$Q_k = Q_{oh} + \frac{A_{Ek} - A_{E,oh}}{A_{E,uh} - A_{E,oh}} (Q_{uh} - Q_{oh}) \quad (m^3 \cdot s^{-1}) \quad (9)$$

wobei "oh" den oberhalb und "uh" den unterhalb benachbarten Querschnitt bezeichnet.

Die Abweichung zwischen diesem Wert Q_k und dem jeweiligen "beobachteten" Wert Q_k^* (Spalte 12) wird dem relativen Fehler

$$\Delta k = \frac{Q_k - Q_k^*}{Q_k^*} \cdot 100 \quad (\%) \quad (10)$$

charakterisiert (Spalte 13).

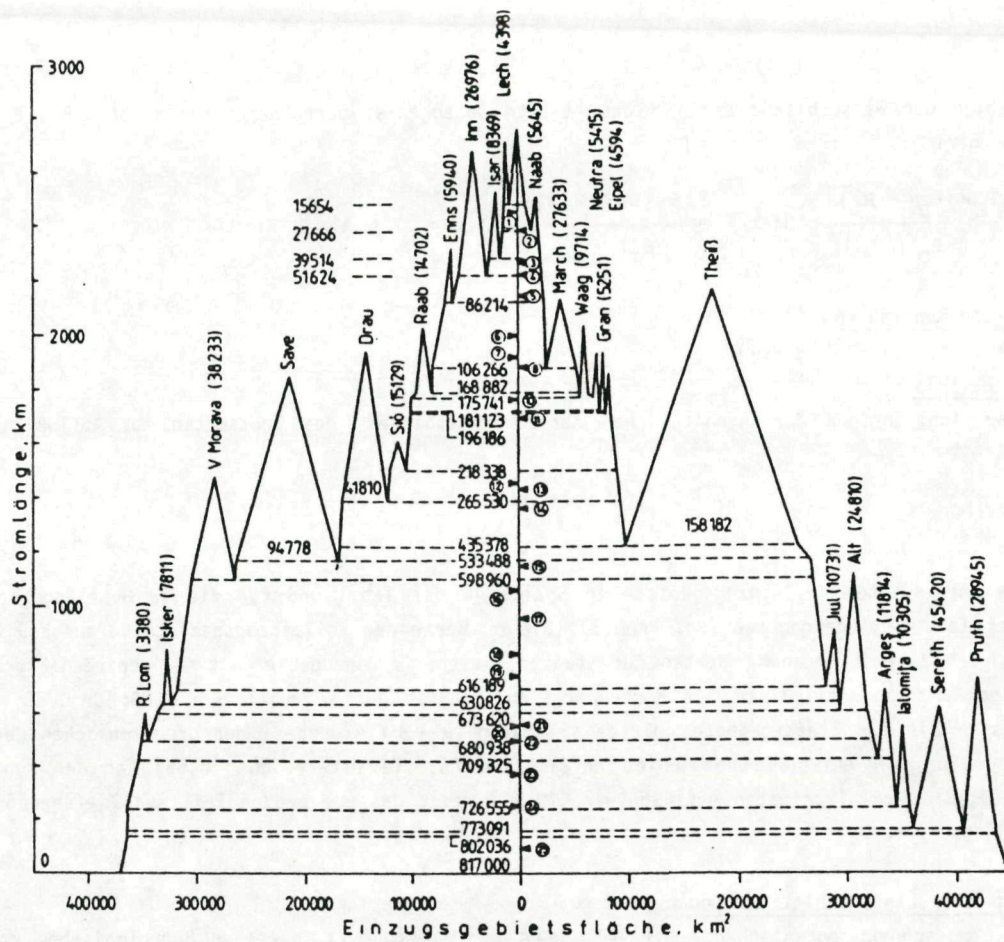


Abb. 4.: Schaubild der Zunahme des Einzugsgebietes der Donau, nach [5], [10]

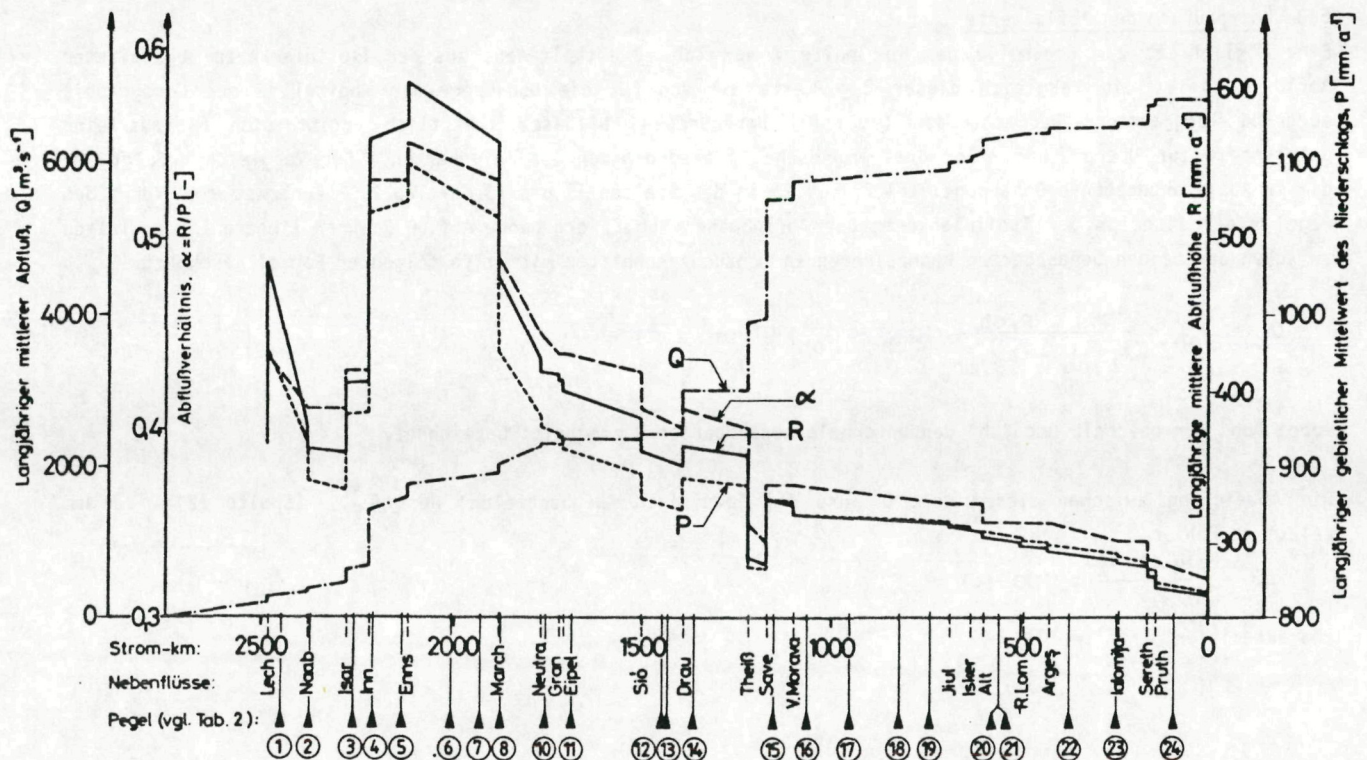


Abb. 5.: Längsschnitt einiger hydrologischer Kennzahlen im Donauegebiet

Aus Tab. 2 ist zu ersehen, daß die absoluten Größen der relativen Abweichungen Δk unter 5 % bleiben. Dieses Ergebnis kann - in Anbetracht der international angenommenen, bestenfalls + 5 Prozent betragenden Genauigkeit der Durchflußmessungen - wiederum als günstig bezeichnet werden; es spricht für die Zuverlässigkeit sowohl der Abfluß-Isolinienkarte des Donaubeckens (Abb.2) als auch für die in Abschn. 3 durchgeführten Wasserbilanz-Rechnungen.

Es ist jedoch interessant zu beobachten, daß die relativen Abweichungen Δk an der oberen Strecke der Donau überwiegend negativ sind, unterhalb des Pegels Pancevo ausschließlich positive Abweichungen auftreten. Darüber hinaus kann festgestellt werden, daß die mit ihren Vorzeichen betrachteten Abweichungen entlang der Donau von der Quelle bis zur Mündung tendenzmäßig monoton zunehmen, so daß die größten negativen Fehler in der Nähe des Quellgebiets, die größten Fehler aber an den Pegeln der Mündungsstrecke des Flusses auftreten.

6. Wasserwirtschaftliche Kennzahlen der staatlichen Teilgebiete

6.1 Oberflächenwasserdargebot aus den einzelnen Donauländern

Für die auf das Donaubecken entfallenden Gebietsanteile A_{jD} der einzelnen Staaten kann das "eigenbürtige"- d.h. in der j-ten Bilanzierungs-Einheit aus Niederschlag entstehende - Oberflächenwasserdargebot W_j über die Formel

$$W_j = 10^{-6} \cdot R_j \cdot A_{jD} \quad (\text{km}^3 \cdot \text{a}^{-1}) \quad (11)$$

bzw. als Abfluß über

$$Q_j = \frac{1}{31.536} R_j \cdot A_{jD} = \frac{1}{0.031536} W_j \quad (\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}) \quad (12)$$

berechnet werden. Die nach Gl. (12) berechneten Q_j -Werte sind in der Spalte 13 der Tab.3 zu finden.

6.2 Relativer Beitrag zum Gesamtwasserdargebot des Donaubeckens

Die Verhältniszahlen

$$\gamma_j = \frac{Q_j}{Q_D} \cdot 100 = \frac{Q_j}{6841} \cdot 100 \quad (\%) \quad (13)$$

welche den Anteil des nach Gl. (12) definierten eigenen territorialen Oberflächenwasserdargebots am gesamten Oberflächenwasserdargebot des Donaubeckens kennzeichnen, sind in der Spalte 14 der Tab. 3 enthalten.

Zum Abfluß Q_D der Donau an ihrer Mündung ins Schwarze Meer - oder mit anderen Worten: zum potentiellen Oberflächenwasserdargebot der gesamten Donau - trägt Jugoslawien mit 30 % am stärksten bei. Daneben sind von den 8 Staaten mit Flächenanteilen $A_{jD} / A_D > 5\%$ nur noch die Bundesrepublik Deutschland und Österreich von einem Index gekennzeichnet, der den Flächenanteil A_{jD} / A_D wesentlich übertrifft; Auch die größten Abflußhöhen R_j sind in den genannten 3 Staaten zu finden. Von den 8 Staaten trägt Ungarn ($\gamma = 0.6\%$) am geringsten zum Oberflächenwasserdargebot des Donaubeckens bei, obwohl Ungarns Staatsgebiet 11.4% der Fläche des Donaubeckens einnimmt. Das ist, wie bereits erwähnt, vor allem seinem Flachlandcharakter und dem damit einhergehenden äußerst geringen Abflußverhältnis zuzuschreiben.

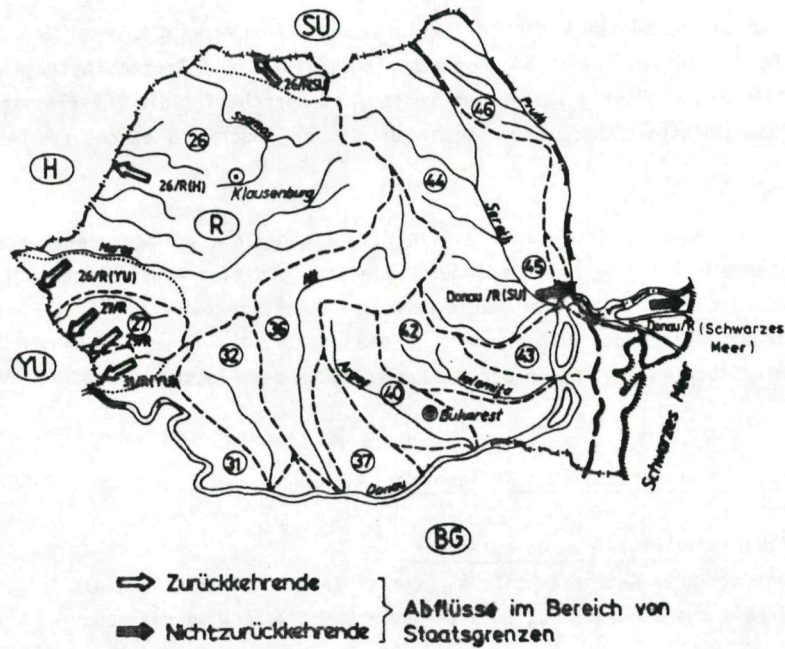


Abb.6: Zur Deutung "zurückkehrender" und "nicht zurückkehrender Abflüsse" am Beispiel Rumäniens

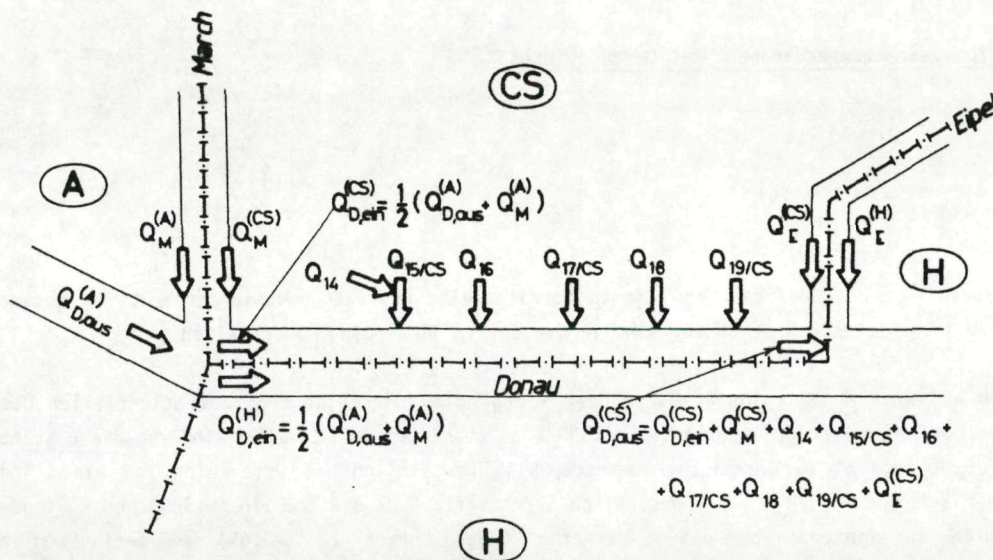


Abb.7: Grundschemata für die Aufteilung des Wasservorrats einer gemeinsamen Donaustrecke am Beispiel des Grenzabschnitts CS/H

6.3 Verhältnis des "eigenen" zum "Transit-Wasserdargebot"

Als wichtige Kennzahl für die Wasservorratsbewirtschaftung wurde schließlich in Spalte 17 der Tab.3 für jeden der 12 Staatsgebietsanteile die Verhältniszahl

$$\lambda_j = \frac{Q_j}{Q_{j,aus}^*} \cdot 100 (\%)$$

berechnet. Q_j ist das mit Gl. (12) bereits definierte "eigene" Oberflächenwasserdargebot (Spalte 13). Unter dem in Spalte 16 angegebenen $Q_{j,aus}^*$ hingegen ist der nicht mehr ins Herkunftsland zurückkehrende Anteil am Gesamtabfluß, der das j-te Staatsgebiet verläßt, $Q_{j,aus}$, (Sp. 15) zu verstehen (siehe das Beispiel Rumäniens in Abb.6).

Der Berechnung von Abflüssen entlang von Flußstrecken, die Staatsgrenzen bilden, mußten zwangsläufig willkürliche Arbeitshypothesen zugrunde gelegt werden. Das dabei befolgte Prinzip wird am Beispiel der Donau-Grenzstrecke (CS/H in Abb.7) erläutert.

Da der Anteil des grenzüberschreitenden "Transitdargebotes" flußwärts natürlicherweise immer mehr zunimmt, folgt die auf der Kennzahl λ_j basierende Reihenfolge der 8 Donauliegenderstaaten tendenzmäßig der hydrographischen Reihenfolge der Donaustaaten. Auffallende Ausnahme in dieser erwarteten Reihenfolge bilden zwei Länder: Jugoslawien und Ungarn (Abb.8). So befindet sich z.B. Ungarn, sowohl im Donaugebiet geographisch zentral gelegen, infolge seines Flachlandcharakters, seines äußerst geringen Abflußverhältnisses bzw. eigenen Oberflächenwasserdargebots (Abschn. 6.2) mit $\lambda_j = 5\%$ am Ende der nach der Kennzahl aufgestellten Reihenfolge.

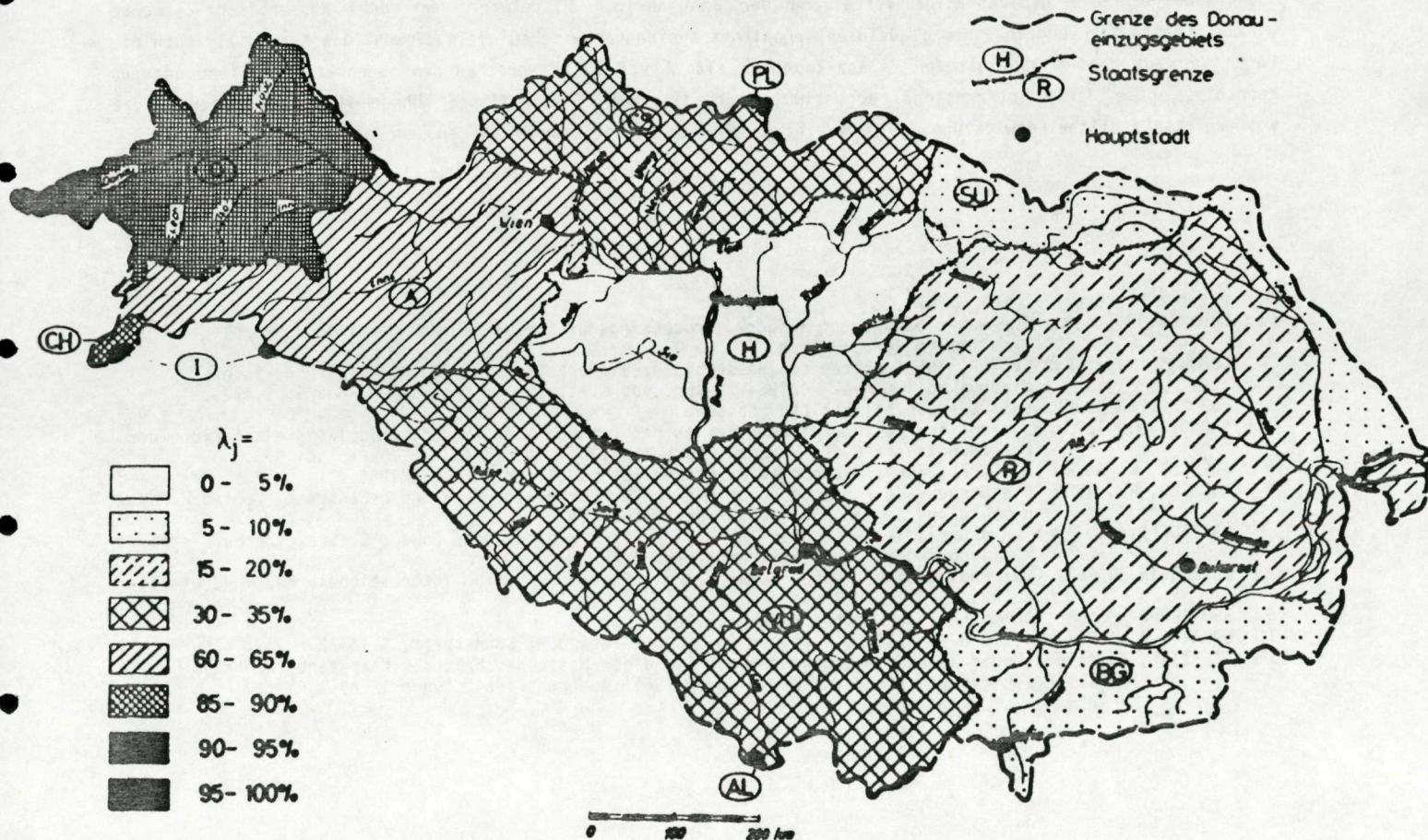


Abb.8.: Verhältnis des "eigenen" zum "Transit"-Wasserdargebot für die Gebietsanteile der Staaten am Donaugebiet

Zusammenfassung

Für die in internationaler Zusammenarbeit zu erstellende Hydrologische Monographie des Einzugsgebietes der Donau wurde vom ungarischen Forschungszentrum für Wasserwirtschaft (VITUKI) ein Vorschlag für das letzte zusammenfassende Kapitel "Wasserbilanz" ausgearbeitet. Die nach Gl. (1) das langjährige Gleichgewicht zwischen Niederschlag P sowie Verdunstung E plus Abfluß R ausdrückende, einfachste Form der Wasserbilanz wurde einerseits für 47 Teileinzugsgebiete (Tab.1), andererseits für die jeweiligen Gebietsanteile der insgesamt 12 im Einzugsgebiet der Donau befindlichen Staaten (Tab.3) aufgestellt. Für jede derartige Bilanzierungseinheit (Abb.1) wurden die Gebietsmittelwerte der drei Bilanz-Elemente (mm.a^{-1}) durch Planimetrierung der 1984 in Budapest gedruckten hydrologischen Isolinienkarten erhalten (Maßstab 1:2 Mio., vgl. Abb.2). Die Bilanzfehler nach Gl. (2) verbleiben, von wenigen Ausnahmen abgesehen, innerhalb der sehr günstigen Grenzen von + 5 %.

Als hydrologische Kennzahlen wurden die Abflußverhältnisse nach Gl. (3) für jede Gebietseinheit einzeln (Abb.3) sowie in Form von Längsschnitten für die gesamte Donau ermittelt. Der hydrologische Längsschnitt enthält außerdem die Gebietsmittelwerte des Niederschlags und des Abflusses des zu einem beliebigen Donauquerschnitts gehörenden Einzugsgebiets (Abb.5). Mit Hilfe des Längsschnitts konnten für die Donauegel die aus der Abflußhöhenkarte (Abb.2) abgeleiteten Abflüsse mit den aus Beobachtungsreihen berechneten Abflüssen verglichen werden, was zu einem befriedigenden Ergebnis führte (Tab.2).

Als wasserwirtschaftliche Kennzahl wurde für jeden der 12 staatlichen Gebietsanteile ermittelt: der territorialer "eigener" Oberflächenwasserzustrom Q_j nach Gl. (12), der relative Beitrag χ_j zum Gesamtwasserdargebot des Donaubeckens nach Gl. (13) sowie das Verhältnis χ_j des "eigenen" zum "Transit"-Wasserdargebot nach Gl. (14), vgl. Abb.8.

Abschließend kann festgestellt werden, daß die als Anlagen zur Donau-Monographie im voraus gedruckten Isolinienkarten die gebietsmäßige Verteilung der langjährigen Mittelwerte der drei Wasserbilanz-Elemente wirklichkeitsgetreu und in einem plausiblen Verhältnis zueinander widerspiegeln. Sowohl die Karten als auch die Daten der aus diesen abgeleiteten Bilanz-Tabellen (Tab.1 und 3) entsprechen dem gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse. Die darin international abgestimmten grundlegenden Informationen können für alle weiteren, die wasserwirtschaftliche Entwicklung des Donaeinzugsgebietes betreffenden Arbeiten, empfohlen werden.

L i t e r a t u r

- [1] DOMOKOS, M., 1983: The water balance of Hungary. Proceedings of the UNESCO-WMO-Meeting on Hydrological Problems in Europe. Bern.
- [2] DOMOKOS, M. u. K. STELCZER, 1985: Karten der Wasserbilanz-Elemente für das Donaubecken (ungarisch). Vízügyi Közlemények, 4/1984 (bespr. von K. Altmann in den DGM 29, H.5/6, S.177).
- [3] EUROPE YEAR BOOK, 1985: Europapublisher Ltd. London.
- [4] KARDOS, M., 1975: Wasserbilanz des ungarischen Teiles des Donaubeckens (ungarisch). Tätigkeitsbericht der Forschungsanstalt für Wasserwirtschaft VITUKI im Jahre 1972. Budapest 1975.
- [5] KRESSER, W. u. W. LASZLOFFY, 1964: Hydrologie du Danube. La Houille Blanche, 2/1964.
- [6] KRESSER, W., 1984: Die Donau - Verkehrsweg durch die Jahrhunderte. In: Fluß und Lebensraum. Verlag P. Parey, Hamburg und Berlin 1984. (DVWK-Schriften, 69).
- [7] LASZLOFFY, W., 1965: Hydrographie der Donau. In: R. Liepolt: Limnologie der Donau. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Stuttgart, Lfg. 1.
- [8] LE BASSIN DU RHIN (Das Rheingebiet). Monographie Hydrologique. Commission Internationale de l'Hydrologie du Rhin. 1977.
- [9] ROUTIER DU DANUBE. Commission du Danube, Budapest 1966.
- [10] UJVARI, J., 1967: Mittlere monatliche Abflüsse im Donaugebiet. DGM, Sonderheft, S.14-22.
- [11] SZESZTAY, K., 1964: Ungarns Bewässerungswasserbedarf und der Wasserhaushalt des Karpatenbeckens. Tätigkeitsbericht VITUKI im Jahre 1961. Budapest 1964. (ungarisch).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [63](#)

Autor(en)/Author(s): Domokos Miklos, Sass Jenő

Artikel/Article: [Wasserbilanz für die Teileinzugsgebiete und die Staatsgebiete im Donauraum 15-30](#)