

Bemessung des Volumens eines wasserwirtschaftlichen Speichers am Fluss Mesta in Bulgarien



I. KURZFASSUNG	5
II. AUFGABENSTELLUNG	8
II.1 ZIEL DER AUFGABE DER DIPLOMARBEIT	8
II.2 ZWECK DES SPEICHERS	8
II.3 BEMESSUNGSDÜRCHFÜHRUNG	8
II.4 ERGEBNISSE	8
III. GEGEBENE DATEN	10
III.1 EINZUGSGEBIET	10
III.2 DATENSAMMLUNG	12
III.2.1 HAUPTDATEN DER HYDROMETRISCHEN MESSSTATIONEN	12
III.3 MESSSTATION MOMINA KULA	15
III.3.1 HAUPTDATEN DER HYDROLOGISCHEN MESSSTATION	15
III.4 ZUFLUßDATEN	15
III.4.1 PROZENTUELLE MONATLICHE VERTEILUNG	17
III.4.2 STATISTISCHE KENNWERTE	19
IV. BEMESSUNGSVERFAHREN	20
IV.1 WASSERWIRTSCHAFT UND WASSERBEWIRTSCHAFTUNG	20
IV.1.1 WASSERWIRTSCHAFT	20
IV.1.2 WASSERBEWIRTSCHAFTUNG	21
IV.1.3 WASSERWIRTSCHAFTLICHE PLÄNE	21
IV.1.4 BEGRIFFE DER SPEICHERPLANUNG UND –BEWIRTSCHAFTUNG	22
IV.1.5 VERFAHREN DER SPEICHERWIRTSCHAFT	22
IV.1.5.1 Empirische Verfahren – auf der Basis von Beobachtungsreihen.	22
IV.1.5.2 Experimentelle Verfahren – auf wahrscheinlichkeitstheoretischen Grundlagen	23
IV.1.5.3 Mathematische Optimierungsverfahren	23
IV.1.5.4 Summen- und Summendifferenzen-Linien Verfahren – graphische, empirische Methode	23
IV.1.6 HYDROLOGIE	24
IV.1.6.1 Zufallsvariablen	24
IV.2 HYDROLOGISCHE UND WASSERWIRTSCHAFTLICHE BEMESSUNGSVERFAHREN FÜR DEN SPEICHER	25
IV.2.1 CHARAKTERISTISCHE KURVEN	25
IV.2.1.1 Beckeninhaltslinie	25
IV.2.1.2 Stauflächenlinie	25
IV.2.1.2.1 Hochwasser	25
IV.2.1.2.2 Durchgang des Hochwassers in dem Reservoir:	25
IV.2.2 CHARAKTERISTISCHE HYDROLOGISCHE KURVEN	26
IV.2.2.1 Ganglinie der monatlichen Durchflüsse	26
IV.2.2.2 Wiederholungslinie	26
IV.2.2.3 Dauerlinie	26
IV.2.2.4 Summenlinie der Wasservolumen	27
IV.2.2.5 Geradelinie des gleichmäßigen Abflusses	27
IV.2.2.6 Generelle Darstellung der charakteristischen hydrologischen Kurven	27
IV.2.3 ZUFLUß	28
IV.2.3.1 Durchschnittliche monatliche Zuflußdaten	28



IV.2.3.2	Wahrscheinlichkeit	28
IV.2.3.2.1	Definition	28
IV.2.3.2.2	Arten von Wahrscheinlichkeiten	29
IV.2.3.2.3	Empirische Wahrscheinlichkeit	29
IV.2.3.3	Statistische Kennwerte	30
IV.2.3.3.1	Verfahren zur Bestimmung der statistischen Kennwerte:	31
IV.2.4	ABFLUß	33
IV.2.4.1	Abflußvolumen	33
IV.2.4.2	Abflußkomponente	34
IV.2.5	AUSGLEICH ZWISCHEN ZU- UND ABFLUß	35
IV.2.6	BESTIMMUNG DER WASSERVOLUMEN DES SPEICHEERS	35
IV.2.6.1	Bestimmung der erforderlichen Speicherinhalt ΔI	35
IV.2.6.2	Bestimmung der Mindestinhalt des Speichers für die ganze betrachtete Periode I_{erf} .	35
IV.2.6.3	Totraum	35
IV.2.6.4	Nutzraum	35
IV.2.6.5	Gesamtraum	35
IV.2.7	DAMMKENNGRÖßEN	36
V. BERECHNUNGEN		38
V.1 KURZBESCHREIBUNG DER PHYSIKALISCHEN BEDINGUNGEN DES EINZUGSGEBIETES		38
V.2 SCHUTZGEBIETE		39
V.3 AUSWIRKUNGEN AUF DEN ABFLUß		41
V.4 HYDROLOGISCHE UND WASSERWIRTSCHAFTLICHE UNTERSUCHUNGEN DES SPEICHERS		43
V.4.1	CHARAKTERISTISCHE KURVEN	43
V.4.1.1	Beckeninhaltslinie	43
V.4.1.2	Stauflächenlinie	43
V.4.2	CHARAKTERISTISCHE HYDROLOGISCHE KURVEN	44
V.4.2.1	Wiederholungslinie	44
V.4.2.2	Dauerlinie	45
V.4.3	ZUFLUß	47
V.4.3.1	Durchschnittliche monatliche Zuflußdaten Q_{ij} (m^3 / s):	47
V.4.3.2	Wahrscheinlichkeit	47
V.4.3.3	Statistische Kennwerte	48
V.4.4	ABFLUß	49
V.4.4.1	Abflußvolumen	49
V.4.4.2	Abflußkomponenten	50
V.4.5	AUSGLEICH ZWISCHEN ZU- UND ABFLUß GEM. DER BILANZGLEICHUNG	51
V.4.6	BESTIMMUNG DER WASSERVOLUMEN DES SPEICHERS	52
V.4.6.1	Bestimmung der erforderlichen Speicherinhalt ΔI	52
V.4.6.2	Bestimmung der Mindestinhalt des Speichers für die ganze betrachtete Periode I_{erf} .	53
V.4.6.3	Ermittlung des Nutzraumes V_{NR}	54
V.4.6.4	Ermittlung des Totraumes V_{TR}	54
V.4.6.5	Ermittlung der Gesamttraum V_{GR}	55
V.4.7	KOTEN/ DAMM	56
V.4.7.1	Oberwasserspiegel \downarrow OWS	56
V.4.7.2	Bruttofallhöhe	56
V.4.8	ENERGIEGEWINNUNG	56
V.4.8.1	Energiegewinnung W	56
V.4.8.2	Ermittlung der Ausbauleistung des Wasserkraftwerkes	57



VI. ERGEBNISSE	59
VI.1 III. FALL P = 75 %	59
VII. SCHLUßFOLGERUNGEN	60
VIII. ANHÄNGE	61
IX. LITERATUR UND QUELLEN	63



I. Kurzfassung

Der Fluss Mesta ist Teil des Westägäischenmeer-Einzugsgebiet in Betracht auf Bulgarien. Er entspringt im Bergmassiv Rila in Bulgarien im Norden und fließt dann bis zum Ägäischen Meer im Süden. Mesta ist einer der wasserreichsten Flüsse Bulgariens und das erlaubt uns den Fluss für Energiegewinnung zu verwenden. Um das Wasser nutzen zu können werden Speicher vorgesehen, die mit deren Kraftwerken die mechanische Energie des Wassers in potentielle Energie umwandeln. Bei der Konstruierung eines Speichers ist es wichtig das Wasservolumen zu bestimmen. Dabei sind unterschiedliche Faktoren betrachtet wie z.B. Lage, Energiebedarf, Wasserdargebot. Um die Gegebenheiten und die Faktoren zu untersuchen kommen die Methoden und Verfahren der Hydrologie und Ingenieurhydrologie zur Hilfe.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Bemessung eines wasserwirtschaftlichen Speichers am Fluss Mesta in Bulgarien. Die Aufgabe besteht darin bei bekannten Zuflüssen die Größe des nutzbaren Speichervolumens zu finden, um eine Regelabgabe, die gegebenenfalls zwischen den minimalen und maximalen Grenzen der Abgabe schwanken kann, mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu gewährleisten.

Speicher dienen zum Ausgleich zwischen dem natürlichen Wasserdargebot und erforderliche Wasserbedarf des Menschen. Die Ermittlung der Bemessungsgrößen und die Aufstellung von Betriebsplänen für Talsperren erfordern umfangreiche hydrologische und wasserwirtschaftliche Untersuchungen. Die wasserwirtschaftliche Aufgaben, die ein Speicher übernehmen soll, wirken sich auf die bauliche Konzeption der Stauanlage aus. Einteilung der Speicher erfolgt nach der wasserwirtschaftlichen Aufgaben, nach den Zulaufs- und Abgabenregelungen oder nach der Art des Speicherbeckens. Man unterscheidet auch Ein- und Mehrzweckspeicher in Betracht auf seinen Zweck. So wird hier ein Einzweckspeicher gewählt, der zur Wasserkrafterzeugung verwendet wird. Im Hinblick auf den Zeitraum, über welchen der Abflussausgleich erzielt werden soll, ist der betrachtete Speicher als Jahresspeicher zum langfristigen Wasserausgleich gewählt. Um diesen langfristigen Ausgleich nachzuweisen sind langjährige Zeitreihen als Monatsmittelwerte zur Bildung einer fortlaufenden Wasserbilanz verwendet. Die Untersuchungen sollen sich in der Regel einen möglichst langen Beobachtungszeitraum von mindestens 25÷30 Jahren, der außergewöhnlich wasserreiche und wasserarme Jahre einschließt, erstrecken. Hier ist eine Periode von 74 Jahren – von 1937 bis 2010, untersucht.

Die Nachweise für den Nutzraum sind auf der Grundlage der Speichergleichung vorgenommen:

$$\Sigma Q_{ZF} = \Sigma Q_{AF}$$

Für den Wasserwirtschaftsplan sind die Beziehungen zwischen Zufluß, Abfluß und Speicherinhalt in ihrer zeitlichen Aufeinanderfolge zusammengestellt. Das erfolgt nach dem Summenlinienverfahren, wobei die einzelnen Glieder der Wasserbilanz über die Zeit fortlaufend summiert sind. So werden die Zu- und Abgabesummenlinien grafisch aufgezeichnet. Da, wo die Zuflußsumme über der Abgabesumme liegt, haben wir Überschuß und umgekehrt – wenn die Abgabesumme der Zuflußsumme übersteigt – Defizit. Die Summe der Beträge aufeinanderfolgender Überschüße und Defizite bestimmt die Größe des Nutzraumes der Talsperre.

Aus der Grafik werden dann die Füllungs- und Entleerungsperioden bestimmt. Die Füllungsphase beginnt dort, wo der Anstieg der Zuflußsummenlinie stärker ist als der der Abflußsummenlinie. Sie endet sobald die Neigung der Zuflußsummenlinie schwächer ist als die



der Abgabensummenlinie. Am Ende jeder Füllungsphase weist der Speicherinhalt dem größten Füllungsstand während dieser Füllungsperiode auf. Er entspricht der Ordinatendifferenz zwischen Zufluß- und Abgabensummenlinie zu diesem Zeitpunkt.

Wenn das nutzbare Wasservolumen ermittelt ist, dann ist von der Beckeninhaltslinie die Dammhöhe des Speicher leicht abzulesen.

- ❖ **Auf der folgenden Abbildung ist eine generelle Plan der Durchführung der Bemessung dargestellt.**

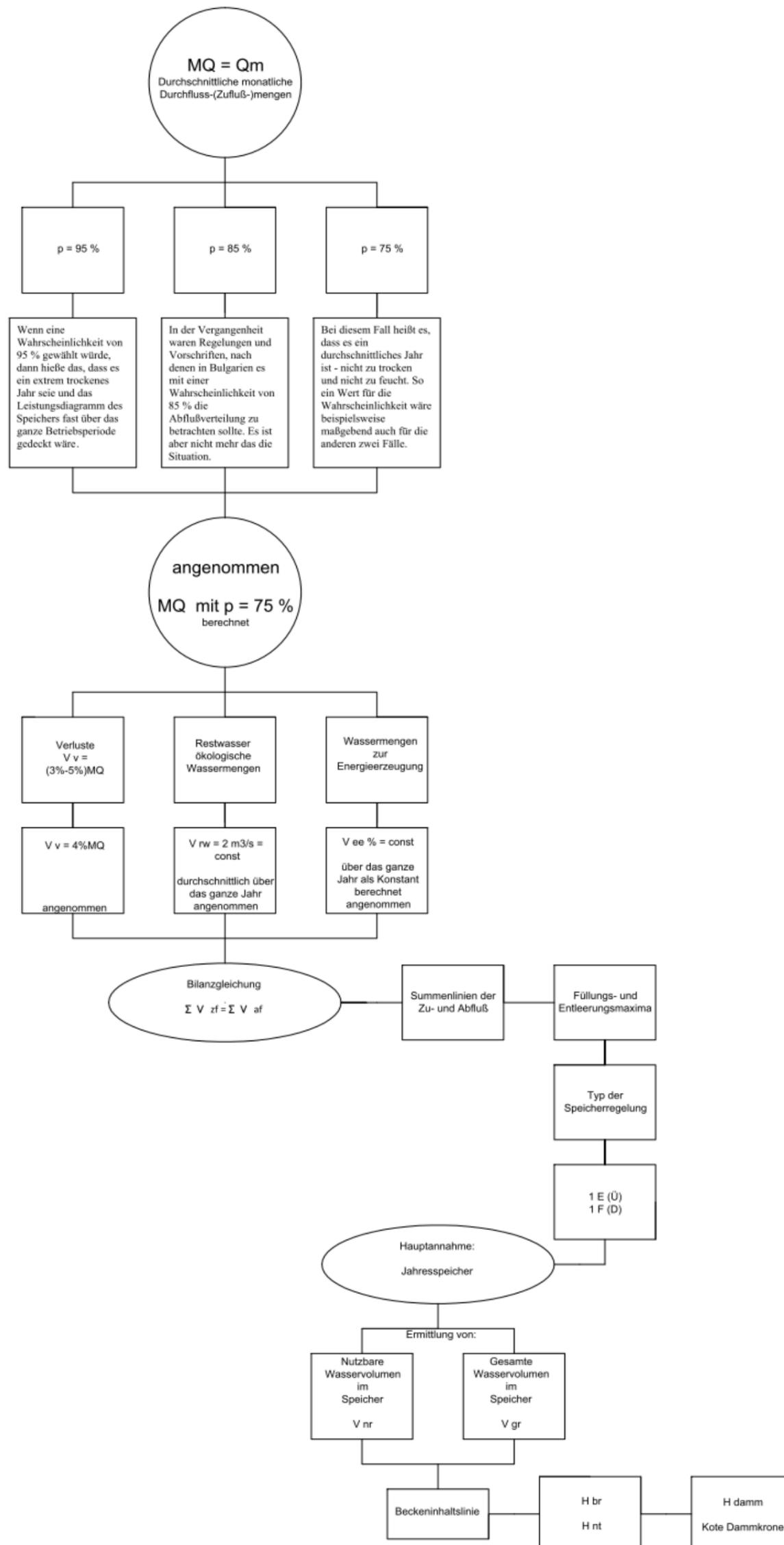


Abb. I-1 Generelle Durchführung der Bemessung



II. Aufgabenstellung

II.1 Ziel der Aufgabe der Diplomarbeit

- die Bemessung des Volumens eines wasserwirtschaftlichen Speichers am Fluss Mesta in Bulgarien.

II.2 Zweck des Speichers

- Der Speicher ist zur energiewirtschaftliche Nutzung vorgesehen/ Der Speicher wird zur Energieerzeugung verwendet werden.

II.3 Bemessungsdurchführung

- Die Untersuchungen werden mit der Hilfe von hydrologischen Berechnungen und wasserwirtschaftliche Untersuchungen durchgeführt

II.4 Ergebnisse

- Als Ergebnis der durchgeführten Berechnungen wird das Volumen, auch Gesamtraum genannt, des betrachteten Speichers ermittelt $\rightarrow V_{GR} = ?$
- Daraus ergibt sich die Höhe des Dammkörpers $\rightarrow H_{Damm} = ?$
- Und folglich die Kote der Dammkrone $\rightarrow \downarrow \text{Dammkrone}$

- ❖ Wobei die letzten zwei Ergebnisse weiter im wasserbaulichen Teil der Diplomarbeit verwendet werden.



A.

Theoretischer Teil

III. Gegebene Daten

III.1 Einzugsgebiet

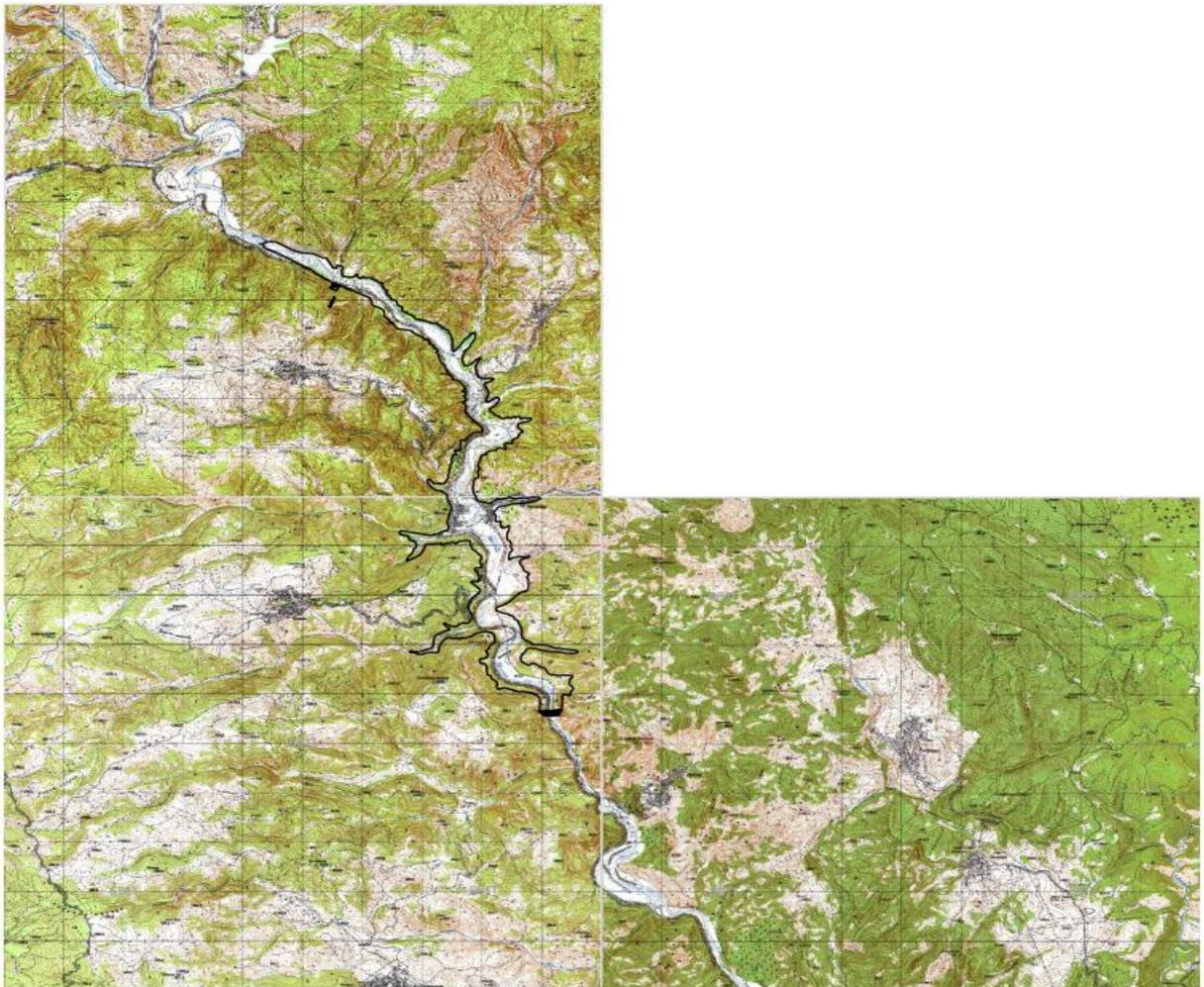


Abb. III-1

❖ Die Beckeninhaltslinie für den Speicher

Tabelle III-1

V [m ³ ·10 ⁶]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	173	235	250
H [m]	610	623,5	634	640	644,5	648	651,5	655	658	662	663,8	667	669	672	674	676	680	690	692

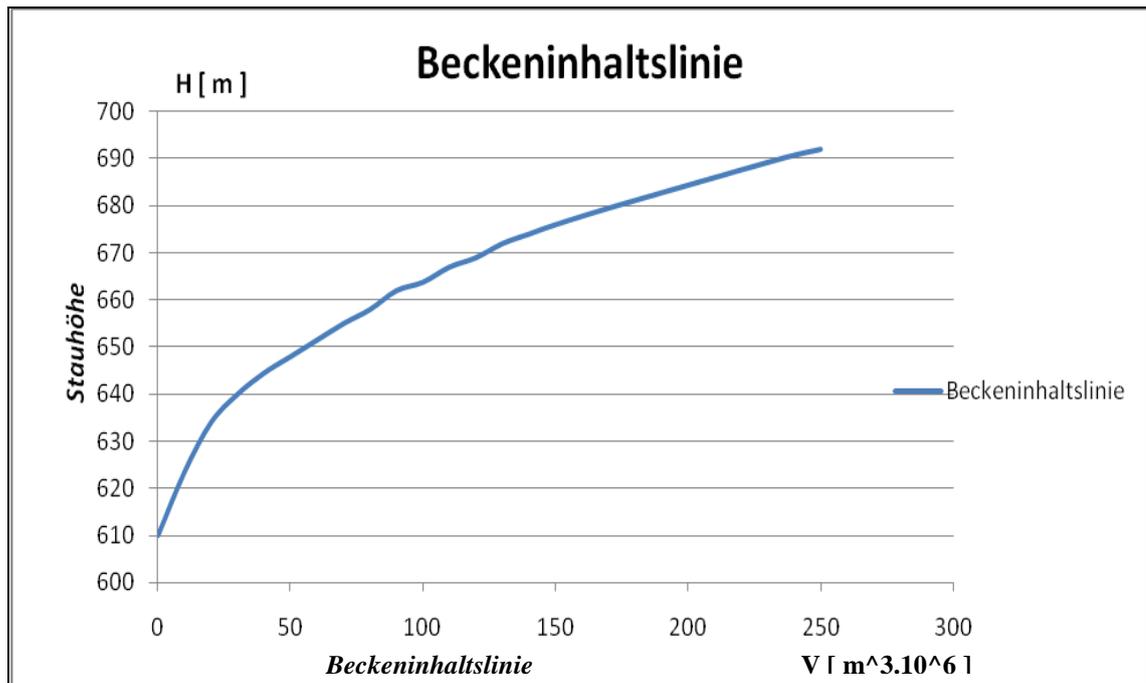


Abb. III-2

❖ Stauflächenlinie

Tabelle III-2

F [10 ³ ·m ²]	250	500	750	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
H [m]	610	616	622	627,5	636	643,5	650	657	662	667,5	674	678	683	686

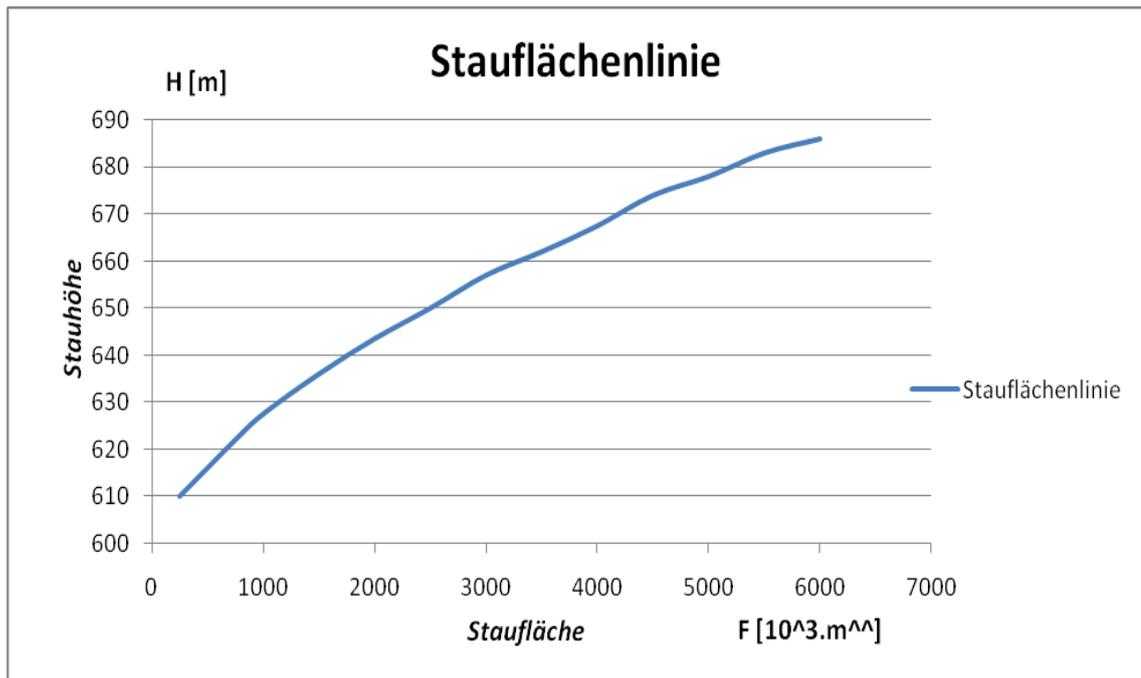


Abb. III-3

III.2 Datensammlung

- Die hydrologische Daten sind anhand Überwachungen an hydrometrische Messstationen an dem Fluß Mesta abgelesen worden;
- Hydrometrische Messstationen:

III.2.1 Hauptdaten der hydrometrischen Messstationen

$A [km^2]$ – Querschnittsfläche,
 $H_{\text{mitt}} [m]$ – Höhe
 $I_r [‰]$ – Neigung des Flusses
 $I_b [‰]$ – Neigung des Einzugsgebietes

Tabelle III-3

Nr/Alt	Periode	Lage	Einzugs- gebiet A	Durchschnitt- liche Höhe über dem meeres- spiegel H_{av}	Neigung des Einzugs- gebiet I_b	Neigung des Flusses I_r	Fluss Netz- dichte	“0” Stufe des Sensors
-	Von - Bis	Fluss Querschnitt	Km ²	m	‰	‰	Km ⁻¹	m
52010/ 205	01.11.1949 – 01.04.1996	Leeveshtitza River – At Leeve Mountain House	13.2	1952	299	127.1	1.9	1387.89
52100/ 210	01.12.1950 – to date	Votrachka River – Belitza Village, Fermata Site	33.48	1826	-	-	-	1194.50
52150/ 211	10.04.1953 – to date	Bela River – Razlog Town, Garloto Site	35.8	1900	-	-	-	1244.10
52200/ 456	01.09.1968 – to date	Bachevska River – Bachevo Village	30.0	1609	-	-	-	1005.73



Nr/Alt	Periode	Lage	Einzugs- gebiet A	Durchschnitt- liche Höhe über dem meeres- spiegel H _{av}	Neigung des Einzugs- gebiet I _b	Neigung des Flusses I _r	Fluss Netz- dichte	“0” Stufe des Sensors
-	Von - Bis	Fluss Querschnitt	Km ²	m	‰	‰	Km ⁻¹	m
52250/ 212	01.08.1953 – to date	Demyanitza River – Bansko Town	35.7	2195	-	-	-	1236.11
52330/ 206	01.09.1949 – 01.04.1996	Cherna Mesta River (Sofan) – Sofan Mountain House	33.26	1944	254	82.1	1.94	95.97IIX
52360/ 460	20.11.1972 – to date	Belishka River – Belitza Town	63.00	1958	354	81.6	0.97	882.71
52400/ 457	01.10.1968 – to date	Iztok River – Banya Village	361.0	1425	-	-	-	752.14
52420/ 228	22.10.1954 – to date	ZlataritztaRiver – Eleshnitza Village	91.2	1300	-	-	-	853.45
52500/ 214	04.12.1951 – to date	Breznishka River – Breznitza Village	39.48	1597	346	120	-	778.09
52510/ 259	01.11.1952 – to date	Kanina River – Beslet Mountin House	49.9	1550	245	56.7	-	1251.43
52520/ 448	01.09.1959 – Closed down in 1996	Kanina River – Kovachevitza Village	187.0	1470	-	-	-	877.52
52530/ 216	01.09.1939 – to date	Kanina River – Ognyanovo Village	231.0	1400	267	35.8	1.36	584.47
52580/ 229	01.10.1954 – Closed down in 1996	Bisritza River – Satovcha Village	82.4	1370	-	-	-	912.38
52650/ 459	01.09.1971 – to date	Byala Mesta River – Cherna Mesta Station	85.00	1952	-	-	-	969.27
52700/ 207	01.06.1948 – to date	Mesta River – Yakoruda Town	261.8	1712	298	62.5	1.78	921.45
52800/ 215	22.07.1927 – to date	Mesta River – Momini Kuli Site	1511.0	1422	297	22.8	1.46	586.07
52850/ 230	01.01.1954 – to date	Mesta River – Hadzhidimovo Town	2260.0	1310	-	-	-	463.14
		Fluss Mesta– Grenze	2767.0	1318	271	14.7		

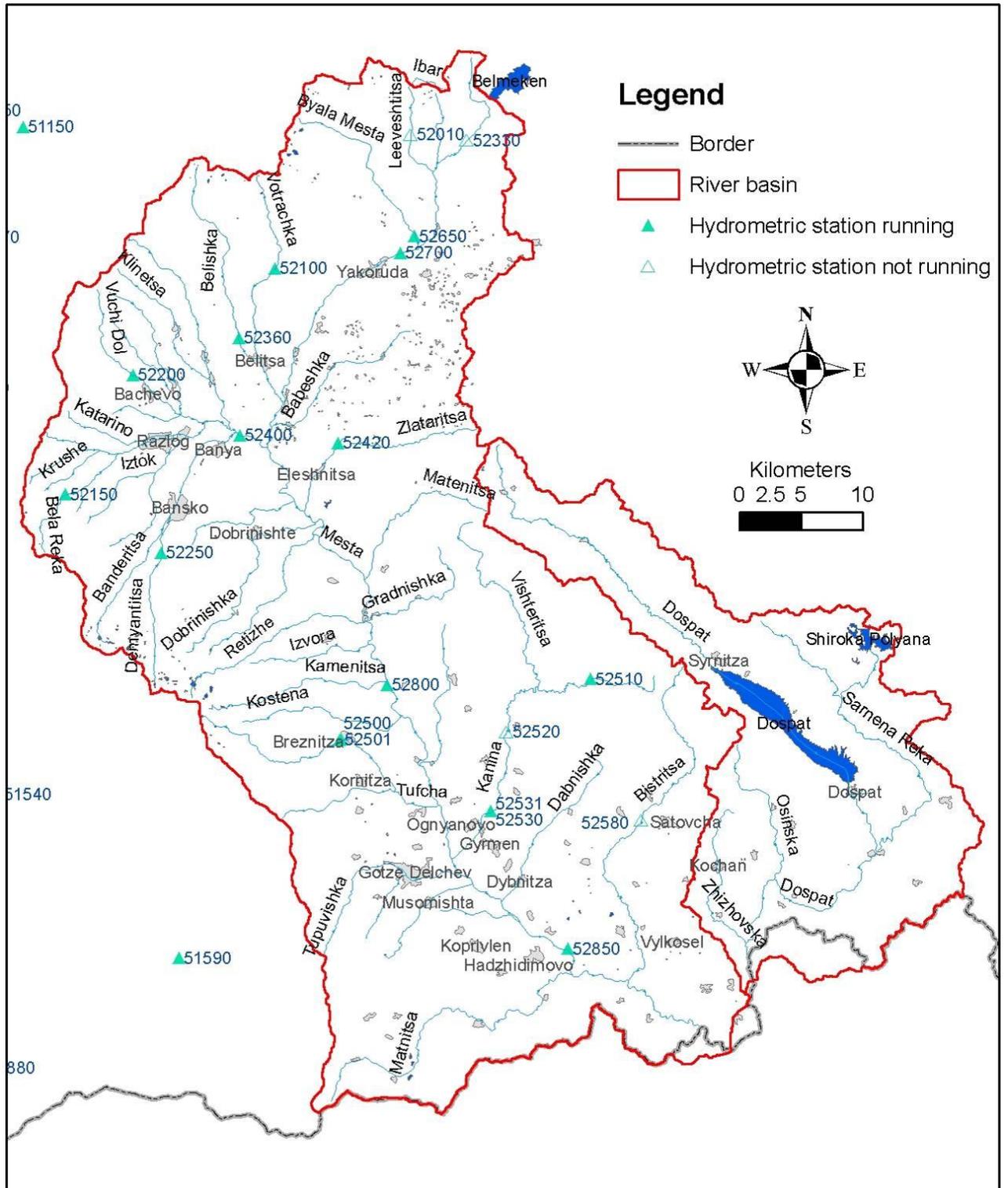


Abb. III-4



III.3 Messstation Momina kula

- In der Diplomarbeit sind die Daten für die Messstation Momina kula mit der Nummer 52800/215 verwendet. An dieser Pegelstelle sind Messungen seit dem Jahr 1927 gesammelt und also mit der längsten Überwachungsperiode. D.h., dass die Daten regelmäßig berichtet wurden und man kann durchschnittlich realistische Ergebnisse für den Abfluß ermitteln.

III.3.1 Hauptdaten der hydrologischen Messstation

- $A = 1389.66 \text{ km}^2$
- $H_{\text{mitt}} = 825 \text{ m}$
- $I_r = 22.8 \text{ ‰}$
- $I_b = 297 \text{ ‰}$

III.4 Zuflußdaten

- Es stehen hydrologische Daten für den Zufluß als durchschnittliche monatliche Daten ($Q_{ij \cdot n \text{ } ij}$) für die Periode 1937 – 2010 zur Verfügung:

Tabelle III-4

№	Jahr	$Q_{ij} \text{ [m}^3/\text{s]}$												$Q_{i, \text{mitt}} \text{ [m}^3/\text{s]}$
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	1937	11.6	20.8	31.6	27.1	55.5	28.9	22.3	7.99	11.2	11	34.3	47.4	25.844
2	1938	16.7	18.3	20.4	31.2	53.2	39.6	14.7	8.65	6.35	8.57	14.2	26.4	21.528
3	1939	15.3	9.21	18.2	38.2	44.2	26.9	17.6	8.08	5.84	13	14.4	16.6	19.015
4	1940	10.3	17	25.1	43.1	51.1	59.2	25.2	12	7.99	9.81	16.6	19.4	24.724
5	1941	26.3	39.6	21.7	42.3	49.2	45.8	21	6.9	9.58	11	15.8	12.6	24.985
6	1942	14.7	27.1	39.5	45.6	62.5	34.1	13.2	7.19	5.96	6.68	9.7	7.36	22.756
7	1943	8.72	8.12	11.7	19.6	29.9	25.7	9.28	6.83	5.88	7.01	15.6	13.2	13.467
8	1944	7.99	12.8	33.2	62.3	56.5	29.3	17.3	8.78	6.47	27.5	15.8	11.3	24.151
9	1945	11.8	9.5	15.7	22.8	29.4	11.6	4.53	2.16	7.08	9.21	25.4	18.2	13.950
10	1946	11.7	8	37.4	32.1	37.6	19	4.1	1.61	1.65	7.72	20.7	28.9	17.603
11	1947	8.08	26.1	47.4	26.5	22.3	20.8	14.3	5.4	5.74	8.03	10.1	58.8	21.143
12	1948	39	15.1	13.3	40	53.1	39.9	16.5	5.96	5.91	5.9	6.91	4.94	20.564
13	1949	7.01	4.91	15.5	17.7	21.1	13.7	7.41	15	7.63	6.82	26.2	11.9	12.927
14	1950	6.52	10.5	23.3	48.8	35.9	20.2	6.54	3.31	4.28	12.1	30.8	23.9	18.837
15	1951	22.3	37.2	52.8	53.1	63.8	44.4	25.7	7.08	6.35	11.1	17.1	9.05	29.092
16	1952	10.9	15.1	20.7	41.3	34.1	25.5	6.78	2.61	3.68	11.2	15	49.3	19.700
17	1953	33.1	22.6	13.9	30.8	48.9	60.5	23.4	6.45	5.58	13.7	13.1	6.71	23.186
18	1954	7.27	9.75	69.1	42.3	54.6	44	15.2	4.21	4.23	8.7	24.3	29.3	26.172
19	1955	35.3	23.1	32.9	30	59.7	29.3	21.1	10.6	10.8	27.2	19.7	20.2	26.729



20	1956	12.8	33.9	24.1	60.9	66.8	46	17.4	5.07	5.28	7.4	18.4	16.6	26.078
21	1957	9.18	15.1	13.7	18	46.1	60.5	27.8	9.18	21.2	23.6	15.3	18.9	23.189
22	1958	31.4	14.1	30.3	44.1	77.9	27.4	6.88	4.05	6.75	5.97	8.42	6.27	22.021
23	1959	9.77	6.58	16.6	20.5	51.1	42.8	24.9	9.6	12.4	12	26.5	20.7	21.183
24	1960	33.2	25.9	22	35.2	71.5	48.2	21.6	6.75	10.2	10.6	21.3	51.3	29.850
25	1961	19.3	11.2	17.9	28.5	53.5	37.8	10.6	3.74	3.96	5.74	20.6	14.1	18.944
26	1962	11.1	10.8	86.4	43.4	60.8	34.2	13.8	4.23	3.55	7.67	41.6	30.9	29.168
27	1963	50	60.4	40.3	50.9	73.7	68.4	24.3	7.88	6.62	9.7	11.4	19.8	35.072
28	1964	8.83	10.9	18.4	20.6	39.9	32.8	10.1	6.22	9.9	17.8	24.2	28.7	19.054
29	1965	30.3	13.9	34.7	37.8	63.7	50.6	14.7	5.86	4.3	4.85	5.88	11.1	23.192
30	1966	19.9	26	15.4	27.4	47.1	40.7	16.1	9.85	6.88	7.57	21.3	30.3	22.333
31	1967	14.8	13.4	23.5	32.8	55.2	39.4	22.1	8.5	6.75	6.17	6.28	10.5	19.986
32	1968	9.8	25.1	20.7	29.3	35.8	23.8	4.77	5.13	8.07	6.56	13.4	12.8	16.174
33	1969	20.2	32.2	36.6	39.3	78.2	30.3	10.4	5.56	5.7	4.86	6.16	25.5	24.570
34	1970	34.3	17.1	35.2	50.2	54.6	40.2	23.6	7.04	5.27	8.49	7.89	8.15	24.376
35	1971	19.1	11.1	36.9	41.3	58.7	29.1	12.3	6.22	10.3	8.23	8.5	10.3	21.077
36	1972	9.35	13.5	16	36.3	34.3	18.3	10.3	8.47	16.2	60	19.9	11.9	21.259
37	1973	9	19.2	24.4	48.2	63.7	20.9	8.77	5.35	8.69	7.39	6.7	11.2	19.431
38	1974	9.88	13.8	20.1	22.6	50.5	45.6	11.3	4.34	4.93	11.3	14.3	11.4	18.332
39	1975	9.67	7.54	15.8	25.8	36	35.4	23.2	14.6	8.01	12	12.6	11.3	17.700
40	1976	8.74	7.86	11.7	20.5	44.1	43.7	25.8	17.5	8.5	14.4	36.8	34.6	22.910
41	1977	18.6	29.1	22.4	25.7	30.6	29.2	10.5	5.12	6.45	7.13	9.23	9.37	16.838
42	1978	7.07	18.9	20.3	33.6	49.2	33	10.1	6.62	13.4	8.76	8.55	14.9	18.662
43	1979	18	22.8	15.8	31.9	37.2	28	9.1	13.7	9.52	11.5	28.9	16.3	20.154
44	1980	15.2	14.2	21.4	26.5	55.6	42	14.2	6.38	5.65	14.7	17	20.7	21.169
45	1981	11.4	15.8	54	34.4	33	23.6	9.35	7.8	6.91	8.65	9.29	23.1	19.827
46	1982	13.3	6.89	18.8	45.2	49.4	24.8	8.35	7.56	5.09	6.66	13.9	24.7	18.781
47	1983	11.2	16.6	14.4	37.5	25.2	39.9	20.5	7.5	7.52	6.98	8.37	13.2	17.339
48	1984	13.7	19.5	27.1	33.2	61.2	24.3	5.56	7.38	5.94	5.41	6.66	5.48	17.946
49	1985	16.7	11.7	18.9	24.8	40.6	16	4.79	3.85	4.76	4.75	22.3	11.7	15.069
50	1986	11.3	36.2	48.8	43.6	44.8	29.5	10.3	4.64	3.7	5.23	5.53	5.2	20.598
51	1987	9.1	17.5	17.8	42.8	35.8	31.4	9.49	4.05	3.88	7.54	11.7	12.2	16.884
52	1988	8	9.48	25.1	33.4	38	21.6	6.08	3.31	3.75	4.68	9.86	16.6	15.007
53	1989	7.04	8.06	17.1	17.4	18.9	20	11.2	5.99	5.99	19.8	11.9	8.68	12.694
54	1990	6.99	9.52	10.7	19	17.2	12	3.91	4.2	4.53	6.19	7.31	22	10.309
55	1991	7.82	10.9	20.1	20.7	36.9	37.1	16.8	7.59	5.71	8.66	13.1	9.57	16.262
56	1992	7.78	6.15	7.47	22.3	19.6	26.4	10.7	4.32	4.79	6.83	12.3	13.1	11.803
57	1993	6.66	6.35	17.7	22.1	28.2	13.2	2.64	2.17	3.37	4.74	6.08	11.6	10.426
58	1994	14.8	9.3	12.6	22.3	25.6	12.7	7.24	2.53	2.87	6.99	7.85	8.45	11.110
59	1995	12.6	13.1	12.3	17.7	37.1	19.5	12.3	8.62	10.8	6.9	9.39	20.5	15.089



60	1996	20.4	23.7	16.2	41.6	57.3	17.2	5.49	4.55	12.2	11	10.1	20.9	20.008
61	1997	17.5	8.23	10.3	22.1	45.3	23.2	5.98	7.11	4.36	8.99	9.51	15.2	14.875
62	1998	13	21.4	15.2	31.8	28.8	18.3	4.61	3.05	6.35	14.2	14.4	14	15.346
63	1999	10.5	11.4	27.4	37.4	48.7	21.7	11.3	7.49	7.33	7.23	12.5	19.8	18.606
64	2000	15.5	21	22.9	44.8	32.1	12.7	3.25	2.55	3.65	5.1	4.76	5.17	14.377
65	2001	7.58	7.54	11.7	21.4	27.8	10.4	5.59	5.81	5.93	5.18	5.57	9	10.301
66	2002	13.3	7.29	14.7	17.6	26.4	10.3	12.2	10.2	10.7	30.6	23.7	46	18.710
67	2003	30.6	17.2	14.1	27.9	61.9	23.2	8.61	8	7.71	13.7	15	16.9	20.447
68	2004	20.1	14.4	20.8	34.1	35.6	35.5	10.7	6.94	7.09	10.8	18.3	15.9	19.168
69	2005	13.9	26.2	40.4	35.4	58.2	30.5	14.9	18.9	9.71	13.7	8.74	31.6	25.210
70	2006	11.2	4.1	15.3	29.8	20.7	8.3	5.78	5.12	2.87	2.43	1	1.13	8.996
71	2007	3.12	2.43	4.19	5.88	15.6	7.81	3.07	7.18	4.99	4.13	11.5	5.67	6.316
72	2008	3.4	3.77	7.54	17.7	12.2	7.59	4.59	3.02	2.73	3.14	2.87	4.52	6.088
73	2009	10.4	3.21	4.57	12.7	21.4	7.69	6.81	3.13	2.53	3.49	4.04	7.91	7.358
74	2010	9.12	8.06	10.3	15.1	18.9	5.32	5.38	4.19	3.18	4.35	3.92	7.35	7.940
	Q_{durchschn.} [m3/s]	14.88	16.03	23.54	32.13	43.52	29.17	12.40	6.71	6.78	10.25	14.30	17.57	18.94

III.4.1 Prozentuelle monatliche Verteilung

Tabelle III-5

Jahr	Q _i durchschn.	P _{ij} [%]												ΣP _{ij}
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1937	25.84	3.81	6.17	10.38	8.61	18.23	9.18	7.33	2.63	3.57	3.62	10.89	15.57	100
1938	21.53	6.58	6.51	8.06	11.91	20.98	15.10	5.82	3.41	2.42	3.38	5.41	10.43	100
1939	19.02	6.82	3.72	8.14	16.52	19.76	11.63	7.86	3.61	2.52	5.78	6.21	7.43	100
1940	24.7	3.54	5.27	8.63	14.33	17.56	19.69	8.66	4.11	2.66	3.37	5.52	6.67	100
1941	24.98	8.93	12.15	7.36	13.92	16.73	15.07	7.13	2.35	3.15	3.73	5.21	4.27	100
1942	22.76	5.50	9.12	14.73	16.46	23.34	12.33	4.94	2.68	2.15	2.49	3.50	2.75	100
1943	13.47	5.50	4.63	7.35	11.93	18.88	15.69	5.85	4.31	3.59	4.42	9.51	8.34	100
1944	24.12	2.81	4.08	11.66	21.22	19.88	9.98	6.07	3.09	2.20	9.68	5.36	3.99	100
1945	13.95	7.16	5.22	9.57	13.42	17.92	6.81	2.76	1.32	4.17	5.61	14.97	11.08	100
1946	17.6	5.63	3.49	18.03	14.98	18.13	8.88	1.98	0.78	0.77	3.72	9.66	13.96	100
1947	21.14	3.25	9.47	19.04	10.30	8.95	8.07	5.74	2.17	2.23	3.23	3.92	23.64	100
1948	20.55	16.11	5.62	5.51	16.00	21.91	15.96	6.82	2.46	2.36	2.44	2.76	2.04	100
1949	12.93	4.61	2.91	10.16	11.26	13.88	8.69	4.87	9.84	4.85	4.48	16.63	7.82	100
1950	18.84	2.94	4.27	10.51	21.30	16.17	8.82	2.95	1.49	1.87	5.47	13.46	10.75	100
1951	29.09	6.50	9.82	15.40	15.00	18.63	12.55	7.51	2.07	1.79	3.25	4.84	2.64	100
1952	19.69	4.70	5.86	8.91	17.24	14.69	10.65	2.92	1.13	1.54	4.84	6.25	21.27	100
1953	23.19	12.13	7.48	5.08	10.92	17.91	21.46	8.55	2.36	1.98	5.01	4.65	2.46	100



1954	26.17	2.36	2.86	22.41	13.27	17.71	13.81	4.93	1.37	1.33	2.82	7.63	9.50	100
1955	26.28	11.20	6.63	10.46	9.22	18.96	9.02	6.71	3.36	3.31	8.65	6.05	6.43	100
1956	26.1	4.17	9.97	7.86	19.18	21.75	14.48	5.68	1.65	1.66	2.41	5.79	5.40	100
1957	23.19	3.36	4.98	5.01	6.37	16.89	21.43	10.16	3.36	7.50	8.63	5.41	6.91	100
1958	22.02	12.09	4.90	11.70	16.44	30.04	10.23	2.65	1.56	2.52	2.30	3.14	2.42	100
1959	21.18	3.92	2.38	6.64	7.94	20.48	16.61	10.00	3.85	4.80	4.79	10.28	8.32	100
1960	29.84	9.45	6.66	6.27	9.68	20.35	13.26	6.14	1.92	2.80	3.02	5.87	14.59	100
1961	18.94	8.65	4.55	8.03	12.34	24.00	16.42	4.77	1.68	1.72	2.57	8.94	6.33	100
1962	29.17	3.22	2.83	25.17	12.24	17.70	9.64	4.02	1.23	1.00	2.23	11.72	8.99	100
1963	35.07	12.10	13.21	9.75	11.92	17.85	16.03	5.88	1.91	1.55	2.35	2.66	4.79	100
1964	19.03	3.94	4.39	8.18	8.89	17.78	14.15	4.48	2.77	4.27	7.95	10.43	12.77	100
1965	23.19	11.08	4.59	12.69	13.39	23.33	17.95	5.38	2.15	1.52	1.78	2.08	4.06	100
1966	22.33	7.58	8.93	5.86	10.07	17.92	14.99	6.13	3.75	2.53	2.88	7.85	11.52	100
1967	19.99	6.31	5.14	9.96	13.51	23.46	16.19	9.39	3.61	2.78	2.62	2.58	4.45	100
1968	16.2	5.15	11.92	10.86	14.90	18.82	12.07	2.50	2.69	4.10	3.44	6.80	6.74	100
1969	24.57	6.98	10.05	12.67	13.14	27.03	10.14	3.61	1.92	1.91	1.68	2.06	8.82	100
1970	24.38	11.93	5.39	12.28	16.91	19.02	13.56	8.22	2.45	1.78	2.96	2.66	2.84	100
1971	21.08	7.71	4.04	14.88	16.10	23.66	11.35	4.95	2.51	4.02	3.32	3.31	4.16	100
1972	21.24	3.74	4.88	6.38	14.05	13.70	7.08	4.11	3.38	6.24	23.99	7.69	4.76	100
1973	19.43	3.93	7.57	10.65	20.37	27.83	8.86	3.83	2.34	3.68	3.23	2.83	4.89	100
1974	18.33	4.58	5.79	9.32	10.11	23.37	20.46	5.23	2.01	2.21	5.23	6.42	5.28	100
1975	17.7	4.64	3.27	7.60	11.96	17.27	16.42	11.12	6.98	3.72	5.74	5.86	5.43	100
1976	22.87	3.24	2.63	4.33	7.35	16.33	15.67	9.55	6.48	3.05	5.33	13.21	12.81	100
1977	16.84	9.37	13.26	11.30	12.54	15.43	14.24	5.30	2.58	3.15	3.60	4.51	4.73	100
1978	18.66	3.22	7.76	9.22	14.81	22.41	14.53	4.58	3.01	5.92	3.99	3.77	6.79	100
1979	20.15	7.59	8.67	6.65	13.01	15.66	11.42	3.83	5.78	3.88	4.83	11.77	6.88	100
1980	21.15	6.11	5.13	8.60	10.29	22.32	16.30	5.70	2.56	2.19	5.90	6.62	8.30	100
1981	19.83	4.87	6.11	23.15	14.27	14.15	9.80	4.01	3.34	2.86	3.71	3.85	9.89	100
1982	18.78	6.00	2.81	8.52	19.78	22.34	10.87	3.78	3.42	2.23	3.01	6.07	11.19	100
1983	17.34	5.48	7.34	7.03	17.79	12.32	18.91	10.04	3.67	3.56	3.42	3.97	6.47	100
1984	17.95	6.47	8.33	12.84	15.20	28.97	11.13	2.63	3.49	2.72	2.56	3.05	2.59	100
1985	15.07	9.41	5.94	10.63	13.51	22.87	8.75	2.70	2.17	2.60	2.68	12.19	6.57	100
1986	20.6	4.66	13.47	20.11	17.41	18.46	11.78	4.23	1.91	1.48	2.16	2.21	2.14	100
1987	16.88	4.58	7.94	8.96	20.85	18.03	15.29	4.77	2.04	1.89	3.79	5.72	6.16	100
1988	14.99	4.53	4.85	14.22	18.28	21.53	11.80	3.44	1.87	2.05	2.65	5.40	9.37	100
1989	12.69	4.71	4.87	11.45	11.27	12.61	12.98	7.46	4.01	3.88	13.27	7.69	5.81	100
1990	10.31	5.76	7.08	8.85	15.15	14.19	9.59	3.22	3.46	3.61	5.10	5.83	18.16	100
1991	16.26	4.08	5.15	10.49	10.47	19.29	18.77	8.75	3.96	2.89	4.52	6.62	5.00	100
1992	11.79	5.60	4.00	5.38	15.52	14.07	18.38	7.71	3.11	3.34	4.91	8.55	9.44	100
1993	10.43	5.43	4.67	14.40	17.45	22.97	10.38	2.15	1.77	2.66	3.86	4.79	9.47	100
1994	11.11	11.28	6.42	9.59	16.51	19.58	9.42	5.53	1.93	2.12	5.34	5.81	6.46	100



1995	15.09	7.08	6.67	6.95	9.64	20.90	10.60	6.95	4.85	5.86	3.88	5.11	11.52	100
1996	20.02	8.64	9.08	6.89	17.09	24.30	7.07	2.33	1.93	5.01	4.65	4.15	8.86	100
1997	14.88	10.01	4.24	5.90	12.22	25.88	12.80	3.41	4.06	2.41	5.13	5.25	8.67	100
1998	15.35	7.17	10.72	8.38	17.05	15.92	9.78	2.55	1.69	3.40	7.84	7.73	7.77	100
1999	18.61	4.78	4.72	12.48	16.54	22.22	9.57	5.16	3.42	3.24	3.30	5.52	9.05	100
2000	14.4	9.13	11.22	13.54	25.63	18.94	7.24	1.92	1.51	2.09	3.01	2.72	3.05	100
2001	10.3	6.25	5.62	9.61	17.04	22.91	8.30	4.61	4.79	4.73	4.27	4.44	7.42	100
2002	18.71	6.05	2.99	6.69	7.74	11.98	4.53	5.53	4.62	4.69	13.90	10.40	20.88	100
2003	20.45	12.72	6.46	5.85	11.20	25.69	9.33	3.58	3.32	3.10	5.68	6.04	7.02	100
2004	19.15	8.88	5.76	9.19	14.63	15.78	15.24	4.74	3.08	3.04	4.76	7.84	7.05	100
2005	25.21	4.69	7.97	13.61	11.55	19.61	9.95	5.00	6.35	3.17	4.61	2.85	10.63	100
2006	8.995	10.55	3.50	14.44	27.23	19.51	7.58	5.46	4.83	2.62	2.29	0.91	1.07	100
2007	6.316	4.20	2.95	5.63	7.65	21.00	10.16	4.13	9.65	6.49	5.55	14.95	7.62	100
2008	6.083	4.74	4.75	10.52	23.86	17.02	10.25	6.40	4.21	3.69	4.38	3.87	6.31	100
2009	7.358	11.99	3.35	5.28	14.15	24.67	8.59	7.86	3.61	2.83	4.03	4.51	9.13	100
2010	7.94	9.75	7.79	11.03	15.63	20.19	5.51	5.75	4.48	3.29	4.65	4.06	7.86	100

III.4.2 Statistische Kennwerte

- $S = 0.043$
- $\sigma = 8.175$
- $Q_{\text{mitt}} = 18.94 \text{ m}^3/\text{s}$
- $C_v = 0.304$



IV. Bemessungsverfahren

Die Aufgabe besteht darin das Gesamtvolumen des Speichers zu ermitteln. Zu diesem Zweck werden die Methoden der Hydrologie und der Ingenieurhydrologie verwendet. Zur Bestimmung des Volumens kommt die Bilanzgleichung des Zu- und Abflusses in Betracht und sie spielt eine wichtige Rolle bei der Lösung der gestellten Aufgabe.

Der gesamte verfügbare Speicherraum wird in Speicherlamellen eingeteilt, die durch Stau- bzw. Absenkeziele begrenzt sind. Die Speicherlamellen bezeichnen die verschiedenen Stauräume im Speicher – Totraum (V_{TR}), Nutzraum (V_{NR}), Gesamtraum (V_{GR}). Durch die Summierung der ersten zwei ergibt sich der Gesamtraum, der hier gesucht ist. Um diese Volumen zu ermitteln kommen die gegebenen durchschnittliche monatliche Durchflusswassermengen in Betracht, die in der Periode 1937 – 2010 gemessen worden sind. Diese Daten für den Zufluss werden mit einer Wahrscheinlichkeit umgerechnet, um die Sollabgaberegulation bereitzustellen. So ergeben sich die Abflusswassermengen. Wenn diese Daten bekannt sind, dann werden die Zu- und Abflusskomponenten der Bilanzgleichung berechnet und somit nachher der Speicherinhalt ermittelt und dargestellt, mithilfe dessen die Füllungs- und Entleerungsmaxima abgelesen werden. Folglich werden der Nutz- und Totraum ermittelt und somit auch der gesuchte Speichervolumen des Speichers.

- Für die Lösung der gestellten Aufgabe werden unterschiedliche Methoden der *Hydrologie* und spezifisch der
- *Wasserwirtschaft* und *Wasserbewirtschaftung* verwendet.

- ❖ Des Weiteren werden theoretische Bezeichnungen und Beschreibungen gegeben, die für die Lösung der Aufgabe in Betracht kommen.

IV.1 Wasserwirtschaft und Wasserbewirtschaftung

IV.1.1 Wasserwirtschaft

Die Wasserwirtschaft strebt einen Ausgleich zwischen dem räumlich und zeitlich sowie mengen- und beschaffenheitsmäßig außerordentlich differenzierten natürlichen Wasserdargebot und den vielfältigen Ansprüchen und Einflußnahmen der menschlichen Gesellschaften an. In diesem Sinne entstehen folgende Aufgaben zu lösen:

- Wasserbereitstellung
 - ➔ durch hydrologische Untersuchungen zur Erkundung und Ermittlung des natürlichen Wasserdargebotes
 - ➔ durch Maßnahmen für die Vorbereitung, die Planung, die Bemessung, den Bau und die Steuerung von Speichern, Stauhaltungen und Überleitungen
- Wasserversorgung
 - ➔ Durch bauliche und technisch-technologische Maßnahmen zur Gewinnung und Aufbereitung von Trink- und Brauchwasser
- Abwasserbehandlung
 - ➔ Durch bauliche, technische und technologische Maßnahmen zum Sammeln, Ableiten, Reinigen und Wiederverwerten kommunaler und industrieller Abwässer
- Gewässerschutz



- Durch rechtliche und technologische Maßnahmen zur Erhaltung der Selbstreinigungskraft der Gewässer und der Erhaltung oder Wiederherstellung regenerationsfähiger Gewässerökosystemen
- Bau und Unterhaltung von Fließgewässern bzw. Wasserstraßen durch Fluß- und Landbaumaßnahmen
- Schutz der Bevölkerung vor Schädigungen durch das Wasser
 - Durch bauliche oder organisatorische Maßnahmen zum Hochwasserschutz an den Flüssen oder an der Küste.

Wasserwirtschaftliche Maßnahmen erstrecken sich auf die gesicherte und nachhaltige Nutzung des natürlichen Wasserdargebots zur Wasserversorgung, Bewässerung, Wasserkrafterzeugung und Niedrigwasseraufhöhung. Aufgaben zur Schadensverhütung bestehen beim Hochwasserschutz oder bei der Überbrückung von Wasserklemmen in Trockenperioden. Eine weitere Aufgabe ist die Nutzung des Wassers als Transportmittel für die Schifffahrt. Die Größenordnung des Nutz- und Schutzbedürfnisses hängt von der Bevölkerungszahl und dem Entwicklungsstand ab, wobei in diesem Produkt die Ansprüche an den Lebensstandard und die Effizienz infolge technischer Entwicklung enthalten sind.

IV.1.2 Wasserbewirtschaftung

Werden bei der Betrachtung der Wasserwirtschaft die baulichen und technischen Aspekte und Maßnahmen herausgenommen, so ergibt sich als Teilgebiet der Wasserwirtschaft die *Wasserbewirtschaftung*. Aufgabe der Wasserbewirtschaftung ist es demnach, Methoden und Verfahren bereitzustellen, die ausweisen wie Veränderungen in wasserwirtschaftlichen Systemen vorzunehmen sind, um mit den in diesen Systemen vorhandenen, natürlichen Wasserressourcen den volkswirtschaftlich gerechtfertigten Wasserbedarf der Nutzer zu befriedigen und den erforderlichen Schutz vor schädigenden Auswirkungen des Wassers unter minimaler Inanspruchnahme gesellschaftlicher Mittel zu gewährleisten.

IV.1.3 Wasserwirtschaftliche Pläne

Wasserwirtschaftliche Speicher (z.B. Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Stauseen, Wehre) haben seit langer Zeit die Aufgabe, die natürlichen Schwankungen des Abflusses auszugleichen und damit zur Anpassung des Wasserdargebotes an den Wasserbedarf beizutragen. Solche Speicher erfüllen meist mehrere Zwecke, wie z.B. Trink- und Brauchwasserversorgung, Energiegewinnung, Hochwasserschutz, Niedrigwasseraufhöhung für die Schifffahrt, die landwirtschaftliche Bewässerung oder den Erhalt von Ökosystemen in und an Gewässern. Die Wahl der Sperrstelle, die Bestimmung der Ausbaugröße oder anderer Bemessungsgrößen sowie die Aufstellung von Bewirtschaftungs- und Betriebsplänen für solche Speicher verlangen neben entsprechende bautechnischen, geologischen, ökonomischen etc. Untersuchungen eingehende hydrologische und wasserwirtschaftliche Analysen. Stellt doch der Bau z.B. einer Talsperre einen großen Eingriff in die Landschaft, den Wasserhaushalt, das Schwebstoffregime, das ökologische Regime etc. des Gewässers dar. Andererseits kann es darum gehen, bestehende Speicher oder Speichersysteme den durchaus wechselnden Anforderungen (z.B. verringerte Anforderungen an die Trinkwasserbereitstellung oder erhöhte Forderungen an den Hochwasserschutz) durch die Veränderung der Bewirtschaftung ständig (optimal) anzupassen.



Dementsprechend war und ist man in der Hydrologie und Wasserbewirtschaftung bemüht, leistungsfähige Verfahren zur Planung, Bemessung, Bewirtschaftung und Optimierung von Speichern und Speichersystemen zu entwickeln.

IV.1.4 Begriffe der Speicherplanung und –bewirtschaftung

Talsperren sind durch Stauzielen und Stauräume charakterisiert. Dazu zählen auch die Stauflächenlinie $A = f(H)$ sowie die Speicher- oder Beckeninhaltslinie $S = f(h)$. Die Ermittlung der Staufläche erfolgt durch Planimetrieren ausgewählter Höhenlinien großmaßstäblicher Karten des Beckenraumes.

Je nach Problemstellung wird es bei der Speicherbewirtschaftung darauf ankommen, z.B. den Betriebsstauraum einer Talsperre, die verschiedenen Stauziele im Laufe des Jahres oder die verschiedenen Einstau- und Entleerungsvorgänge für einen Betriebsplan zu bestimmen.

Die einfachste Form der Speicherabgabe ist die konstante Sollabgabe Q_s . Als wasserwirtschaftliche Kenngröße insbesondere für einen Talsperrenstandort wird häufig die Beziehung zwischen Q_s und der dafür jeweils erforderlichen Speichernutzraumgröße SN angegeben. Sie wird mit Speicherwirkungslinie (SWL) $SL = f(Q_s)$ bezeichnet. Um verschiedene Speicherstellen vergleichen zu können, geht man zu bezogene Werten über und erhält:

- a) Speicherausgleichsgrad:

$$\alpha = \frac{Q_s}{MQ}$$

- b) Speicherausbaugrad:

$$\beta = \frac{SN}{SMQ}$$

Wobei

- Q_s [m^3/s] – angestrebte konstante Sollabgabe aus dem Speicher
- MQ [m^3/s] – langjähriges Abflußmittel an der Sperrstelle
- SN [Mio. m^3] – der zur Sicherung von Q_s erforderliche Speicherraum
- SMQ [hm^3] = $MQ \cdot 31.536 \cdot 10^6$ s (Sekunden des Jahres)
- α_{min} – minimaler Speicherausgleichsgrad (nur “Null“ wenn NNQ auch Null ist).

Je tiefer die Speicherwirkungslinie liegt, desto günstiger ist aus wasserwirtschaftlicher Sicht die Sperrstelle.

IV.1.5 Verfahren der Speicherwirtschaft

IV.1.5.1 Empirische Verfahren – auf der Basis von Beobachtungsreihen.

- Bei dieser Methode wird von möglichst langen (mindestens 25 Jahren), repräsentativen (Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserphasen enthaltende) Beobachtungsreihen (meist Monatsmittewerte) des Durchflusses ausgegangen. Dabei wird es angenommen, dass sich dieses Abflußgeschehen auch künftig, d.h. auch z.B. hinsichtlich des



Schwankungsverhaltens zwischen Höchst- und Niedrigstwerten gleichartig wiederholen wird.

- Dieses Verfahren ist vor allem für die Beantwortung des speicherwirtschaftlichen Fragestellung nach der Speichergröße und der Sollabgabe geeignet.

IV.1.5.2 Experimentelle Verfahren – auf wahrscheinlichkeitstheoretischen Grundlagen

- Mit Hilfe von Zufallsvariablen unter Einbeziehung der stochastischen Eigenschaften der beobachteten Zeitreihen (Mittelwerte, Standardabweichung, Auto- und Kreuzkorrelationen) werden künstliche Durchflußzeitreihen generiert. Durch die große Anzahl solcher Zufallsexperimente (z.B. mindestens 1000 für jeden Monat) können auch selten auftretende Durchflußsituationen in ihrer Wahrscheinlichkeit zugeordnet werden, die möglicherweise gar nicht in der vergleichsweise kurzen Beobachtungsreihen auftreten können.
- Dieses Verfahren ist besonders zur Beantwortung der Frage nach der Wahrscheinlichkeit auch für Speichersysteme geeignet.
- ❖ Diese beide Methoden sind als speicherwirtschaftliche Hauptverfahren bezeichnet.
- ❖ Daneben kommen noch andere in Betracht:

IV.1.5.3 Mathematische Optimierungsverfahren

- Sie erfordern klare Formulierungen von Zielfunktionen und Nebenbedingungen, deren Charakter (linear, nichtlinear, stochastisch, deterministisch etc) wiederum darüber entscheidet, welche entsprechende Optimierungsverfahren zur Anwendung kommen kann. /bei dieser Methode sind klare Formulierungen von Zielfunktionen und Nebenbedingungen, wobei deren Charakter wiederum entscheidet, welches Optimierungsverfahren verwendet werden kann/.
- Geeignet sowohl für Einzelspeicher als auch für Speichersysteme.

IV.1.5.4 Summen- und Summendifferenzen-Linien Verfahren – graphische, empirische Methode

- Als Voraussetzung kommt, dass sowohl die Zuflüsse als auch die gewünschte Abgaben als Zeitfunktionen bekannt sind. Dadurch wird es den kleinsten Nutzraum ermittelt, der erforderlich ist, um während des Betrachtungszeitraumes die geplanten Angaben nicht zu unterschreiten.
- Anstelle der Ganglinien der Zuflüsse und der Sollabgaben erfolgt eine fortschreitende Addition der Ordinaten der Ganglinien. Damit stellt sich die Summenlinie graphisch im rechtwinkligen Koordinatensystem als ansteigender Linienzug dar. Die Speicherrechnung ist:

$$Q_{ZF}(t) * \Delta t - Q_{AF}(t) * \Delta t = \Delta S$$

- Da die Summenlinie, die eigentlich interessierenden Schwankungen der Differenz $Q_Z(t) * \Delta t - Q_A(t) * \Delta t$ nur schelcht wiedergibt, hat es sich als günstig erwiesen, die Summendifferenzenlinie zu bilden:

$$\sum Q_{ZF}(t) * \Delta t - MQ \sum \Delta t$$



- Dazu wird die Summenlinie $\sum Q_z(t) \cdot \Delta t$ um einen Winkel β in die Horizontale gekippt. Der mittlere Durchfluß MQ bildet die Abszisse der Summendifferenzenlinie. Als Ordinaten ergeben sich die Summendifferenzen:

$$\left[\left(\sum Q_{ZF}(t) \cdot \Delta t \right) - \left(MQ \sum \Delta t \right) \right]$$

IV.1.6 Hydrologie

Wasser ist eine sich erneuernde natürliche Ressource und einer am meisten genutzte Naturstoff. Es übt fast in allen Lebensbereichen entscheidende Funktionen aus:

- Lebensmittel
- Bestandteil der Organismen
- Baustoff bei der Photosynthese der Pflanzen
- Transport- und Lösungsmittel
- Energieträger – Wasserkraft, Schäden bei Hochwasser
- Energieregler für den Wärmehaushalt der Erde
- Element der Landschaft.

Die *Hydrologie* wird zur Ermittlung der nutzbaren Wasserressourcen, Bestimmung von Vorhersage der hydrologischen Prozessen und hydrologischen Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen. Als Wasserressourcen sind die ober- und unterirdischen Gewässer eines Gebietes mit ihrem Wasserdargebot und ihren Naturpotentialen. Wasserdargebot bestimmt sich als Süßwasser, das in einem bestimmten Gebiet für eine bestimmte Zeitspanne in Form von Oberflächen- oder Grundwasser als Komponente des Wasserkreislaufes der Erde auftritt.

Von den vielen Wissenschaftsdisziplinen, die in die Wasserressourcen-Bewirtschaftung eingeschlossen sind, kann die Hydrologie als die Basiswissenschaft bezeichnet werden. Sie ist maßgebend beteiligt durch die Verwendung empirischer und kausaler hydrologischer Modelle für Planung, Bemessung, Bewirtschaftung, Steuerung und Schutz. Die Hydrologie beschäftigt sich mit der Beobachtung und Untersuchung vom Wasser, von seinen Eigenschaften und seinen Erscheinungsformen auf und unter der Erdoberfläche. Im Vordergrund steht der Abflußprozess in den Einzugsgebieten und in den Fließstrecken mit seinen Extremen – Hochwasser und Niedrigwasser, sowie ihren zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Ein Teil der Hydrologie ist die *Ingenieurhydrologie*. Sie konzentriert sich vor allem auf jene Prozeßmerkmale, deren Behandlung bei der Lösung der Ingenieuraufgaben zum Zweck der Bemessung, Bewirtschaftung und Steuerung wasserbaulicher und wasserwirtschaftlicher Anlagen sowie zum Zweck der Analyse und Prognose von Veränderungen und Eingriffen. Das Ziel der Ingenieurhydrologie ist die Lösung der obengenannten Aufgaben durch die Ermittlung notwendigen Kennrößen und charakteristischen Abläufe.

IV.1.6.1 Zufallsvariablen

Eine Zufallsvariable ist der Wert der nächsten Beobachtung bei der Messung einer hydrologischen Größe. Die Werte der hydrologischen Zufallsvariablen werden aus den hydrologischen Beobachtungen und Messungen ermittelt. Der Wert, der einer einzigen Beobachtung entspricht, ist ein Teil einer unendlichen Menge, die als Grundgesamtheit in der Statistik bekannt ist.



Wenn der Ablauf eines hydrologischen Prozesses bzw. die Ergebnisse von Beobachtungen als Folge von Zufallsvariablen aufgefasst werden, unterliegen alle Beobachtungen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung.

IV.2 Hydrologische und wasserwirtschaftliche Bemessungsverfahren für den Speicher

IV.2.1 Charakteristische Kurven

IV.2.1.1 Beckeninhaltslinie

- a) Diese Linie ist eine graphische Darstellung der Zusammenhang zwischen Speichervolumen und Wasserstand / Wasserspiegel des Reservoirs
- b) Z.B. wenn der Wasserstand bestimmt ist, dann steht die Möglichkeit zur Verfügung, das Volumen aus der Beckeninhaltslinie abzulesen, und auch umgekehrt
- c) Aus der Beckeninhaltslinie werden charakteristische Wasserspiegel für den Speicher abgelesen.

IV.2.1.2 Stauflächenlinie

- a) Diese grafische Darstellung dient zur Bestimmung der Transformation des Hochwassers bei seinem Durchgang in dem Reservoir
- b) Die Stauflächenlinie dient auch zur Ermittlung der maximalen Höhe/ Kote, bei der es ein Hochwasser entsteht.

IV.2.1.2.1 Hochwasser

- Das ist die plötzliche und rasche Anstieg der Wasserstände im Fluss aufgrund der starken Regenfälle und / oder Schneeschmelzen, die dann durch einen raschen Rückgang gefolgt sind.

IV.2.1.2.2 Durchgang des Hochwassers in dem Reservoir:

- a) Das führt zu einer Transformation des Hochwassers, die als Verringerung der Spitze und Erhöhung/ Verlängerung der Dauer ausgedrückt ist. Dieser Effekt der Transformation erscheint infolge des Unterschiedes in der Geometrie von dem Flußtal und dem Reservoir.
- b) Nach der Entlastung aus dem Reservoir bezeichnet man das Hochwasser als Dämpfung (transformiertes Hochwasser).
- c) Der Grad der Transformation hängt von dem Wasserstand in dem Reservoir vor dem Eintritt des Hochwassers
- d) Der schlimmste Fall – wenn der Wasserstand in dem Reservoir gleich den Überlaufkante ist und wenn der Hauptflußleitung/ Hauptauslaß geschlossen ist.



IV.2.2 Charakteristische hydrologische Kurven

IV.2.2.1 Ganglinie der monatlichen Durchflüsse

- Grafische Darstellung der Schwingungen der Wassermengen für die betrachtete Periode

$$Q = f(T)$$

wo

- T - Anzahl der Monate
- Diese Ganglinie wird auf Basis der monatlichen Durchflüsse aufgezeichnet. Auf der Abszisse sind die Monate, und auf der Ordinate – die entsprechenden Wassermengen dargestellt.

IV.2.2.2 Wiederholungslinie

- Zeigt die Anzahl der Monate, in denen eine vorgegebene Wassermenge zur Verfügung steht.
 - Wiederholung – es sind die Monate gezählt, in denen die Wassermengen jedes Intervalls zur Verfügung stehen. Dann sind diese Monate für alle Jahre summiert.
 - Die Werte der Wiederholungen sind in der Mitte des Intervalls gezeichnet und dann sind die Punkte verbunden → so wird diese Kurve erstellt.

IV.2.2.3 Dauerlinie

- Zeigt die Anzahl der Monate, in denen eine Wassermenge zur Verfügung stand, sowie die Anzahl der Monate, in denen diese Wassermenge überschritten wurde.
 - Die Werte der Dauer sind auf der unteren Grenze des Intervalls gezeichnet und dann sind die Punkte verbunden → so entsteht die Dauerlinie.
 - Dauer – durch Wiedersummierung der Wiederholung in absteigender Reihenfolge.
 - ❖ Die Wiederholungs- und Dauerlinie sind in der Regel für eine Periode von einem Jahr berechnet, d.h. Beobachtungen des Abflusses für jedes Jahr.
 - ❖ Für jedes Jahr ist die Anzahl der Monate, in denen eine Wassermenge zur Verfügung ist, und die Anzahl der Monate, in denen diese überschritten ist.
 - ❖ In der Regel wird nicht jede Wassermenge separat betrachtet, sondern werden Intervalle gewählt. Diese Intervalle dürfen auch verschieden sein (nicht immer gleich). Sie sind so gewählt, dass es eine glatte Linie bei Verbindung der Punkten bekommen ist. Die Intervalle beginnen von der maximalen und enden bei der minimalen Wassermengen.

IV.2.2.4 Summenlinie der Wasservolumen

- Zeigt die konsequente Erhöhung der Wassermengen, die durch einen gegebenen Punkt des Flusses für eine gewisse Zeit durchfloßen ist.
- Die betrachtete Periode wird in Dekaden zerteilt. Dann werden die durchschnittlichen Werte jeder Dekade bestimmt. Von diesen Daten sind die Dekadenvolumen berechnet. Die konsequente Summierung der Dekadenvolumen ergibt das Wasservolumen, das am Ende des Jahres durchfloßen ist.

IV.2.2.5 Geradelinie des gleichmäßigen Abflusses

- Die Gerade, die den Anfang und das Ende der Summenlinie verbindet.

IV.2.2.6 Generelle Darstellung der charakteristischen hydrologischen Kurven

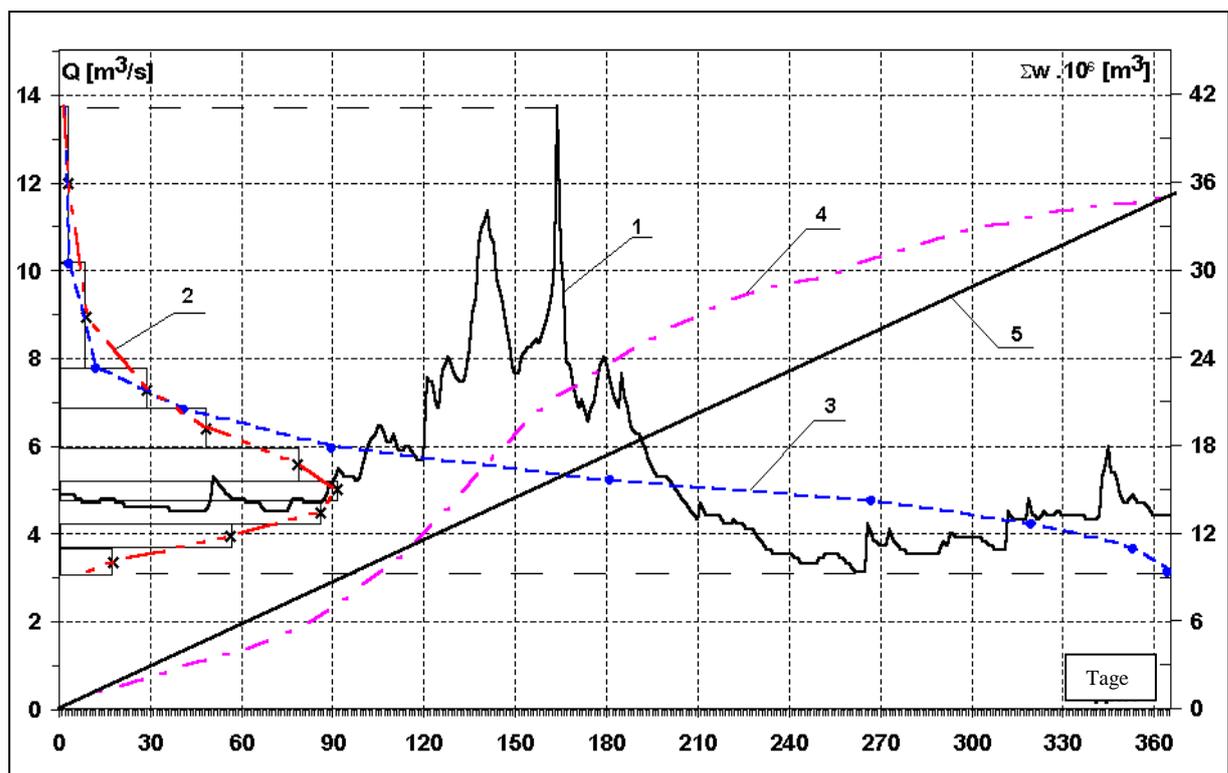


Abb. IV-1

Wobei:

- 1 – Ganglinie der täglichen (monatlichen) Durchflüsse
- 2 – Wiederholungslinie
- 3 – Dauerlinie
- 4 – Summenlinie der Wasservolumen
- 5 – Geradelinie des gleichmäßigen Abflusses

IV.2.3 Zufluß

a) Hydrologische Daten

- Die hydrologische Daten für den Zufluß sind vorgegeben als durchschnittliche monatliche Daten für die Periode 1937 – 2010.
- Für die weitere Berechnungen ist es notwendig diese mittlere monatliche Zuflußdaten mit einer Wahrscheinlichkeit abzurechnen, um die Speicherregelung zu bestimmen. Das hilft bei der Projektierung der gesamten Anlage, inklusive Dammkörper, Kraftwerk mit Maschinen usw. Somit kann man das Zuflußvolumen so berechnen, damit man den Leistungsbedarf mit möglichst wenige Verluste decken kann.
- Die Zuflußdaten sind weiter mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % umgerechnet.

IV.2.3.1 Durchschnittliche monatliche Zuflußdaten

IV.2.3.2 Wahrscheinlichkeit

IV.2.3.2.1 Definition

Verallgemeinernd ergibt sich die klassische Definition der Wahrscheinlichkeit als Quotient aus der Anzahl der dem Ereignis günstigen und der Anzahl der möglichen Fälle. Es sind zwei Arten von Wahrscheinlichkeiten zu unterscheiden in Bezug auf die Erreichung, Unter- oder Überschreitung eines bestimmten Ereignisses:

- Die *Unterschreitungswahrscheinlichkeit* gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der ein bestimmtes Ereignis x_i erreicht oder unterschritten wird:

$$P(x \leq x_i)$$

- Die *Überschreitungswahrscheinlichkeit* bezeichnet die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Ereignis x_i überschritten wird:

$$P(x > x_i)$$

Der an die Sollabgaben Ganglinie geknüpfte Wahrscheinlichkeitsbegriff weist darauf hin, dass "genügend lange" Zuflußfunktionen in die speicherwirtschaftlichen Untersuchungen einzubeziehen sind. Demzufolge wird es beispielsweise nicht ausreichend sein, die Größe des Speichernutzraumes allein aus der (mittleren) Ganglinie des Zuflusses und der (mittleren) Sollabgabenlinie eines Jahres abzuleiten. Sondern es ist die Aufgabe des wasserwirtschaftlichen Speichers, die Umverteilung des natürlichen, zufallsbehafteten Wasserdargebotes in Zeit und Raum in einen (meist) regelmäßigen Bedarf zu realisieren. Dies kann aber nur, wegen des stochastischen Charakters der Zuflüsse, z.B. der scheinbar unregelmäßigen Aufeinanderfolge von naßen oder trockenen Monaten oder Jahren, mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit (P) gewährleistet werden. Für den Nutzer eines wasserwirtschaftlichen Speichers ist es daher wichtig zu wissen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Sollabgabe bereitgestellt werden kann.

Ziel der Wahrscheinlichkeitsanalyse einer Beobachtungsreihe von Extremwerten ist es, eine mathematisch theoretische Dichte- bzw. Verteilungsfunktion zu finden, die sich der empirischen Häufigkeitsverteilung bzw. Summenhäufigkeit der Meßwerte möglichst gut anpaßt. Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher ein vorgegebener Extremwert erreicht und unterschritten wird, wird zweckmäßig mit der Verteilungsfunktion bestimmt. Die Dichtefunktion läßt zwar die Anordnung der Werte über den Definitionsbereich gut erkennen, ist aber unhandlich in der Anwendung.



Eingangsgrößen zur Berechnung einer Verteilungsfunktion sind ihre Parameter. Durch diese statistischen Maßzahlen wird der Informationsgehalt der Stichprobe verdichtet und so ausgedrückt, dass auf das Verhalten der Grundgesamtheit geschlossen werden kann.

IV.2.3.2.2 Arten von Wahrscheinlichkeiten

1. Nach der Häufigkeit → PH [%]
 - Sie ergibt sich als Anteil der Jahre, in denen die Sollabgabe geliefert wird, an der Gesamtzahl der Jahre des Betrachtungszeitraumes

$$PH = \frac{nS}{n} * 100 = \frac{n - nF}{n} * 100 [\%]$$

- nF – Anzahl der Fehljahre, in denen der Speicher seine Aufgaben nicht vollständig erfüllt hat.
2. Nach der Dauer → PD [%]
 - Sie ergibt sich nach der Dauer der sollgerechten Wasserabgabe (z.B. Gesamtzahl der Monate, in der die Speicherabgabe Q_a Q_s war), an der Dauer des gesamten betrachteten Zeitraumes (z.B. Gesamtzahl der Monate):

$$PD = \frac{NS}{N} * 100 = \frac{N - nF}{N} * 100 [\%]$$

- nF – Anzahl der Fehlmonate, in denen der Speicher seine Aufgaben nicht vollständig erfüllt hat.
3. Nach der Menge → PM [%]
 - Sie ergibt sich als Anteil der (geregelten) Wasserabgabe an der im Betrachtungszeitraum zu sichernden Sollabgabe:

$$PM = \frac{\sum_1^N Q_a * \Delta t}{\sum_1^N Q_s * \Delta t} * 100 [\%]$$

- ❖ **Am häufigsten wird in der Speicherwirtschaft mit der Wahrscheinlichkeit nach der Häufigkeit gearbeitet.**

IV.2.3.2.3 Empirische Wahrscheinlichkeit

IV.2.3.2.3.1 Szenarien

- ❖ **I. Fall → p = 95 %**
 - Wenn eine Wahrscheinlichkeit von 95 % gewählt würde, dann hieße das, dass es ein extrem trockenes Jahr sei und das Leistungsdiagramm des Speichers fast über das ganze Betriebsperiode gedeckt wäre
- ❖ **II. Fall → p = 85 %**
 - Es waren in der Vergangenheit Regelungen und Vorschriften erstellt, nach denen in Bulgarien es mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % die Abflußverteilung zu betrachten sollte. Da die Zeit sich verändert hatte, die Bedarfseigenschaften der Nutzer, sowie auch das Wetter und die Umwelt, wird das nicht mehr so berechnet.
- ❖ **III. Fall → p = 75 %**



- Bei diesem Fall heißt es, dass es ein durchschnittliches Jahr ist
 - Nicht zu trocken
 - Nicht zu feucht
- So ein Wert für die Wahrscheinlichkeit wäre beispielsweise maßgebend auch für die anderen zwei Fälle.

❖ **Deswegen kommt es als Annahme für die weitere Berechnungen in der Diplomarbeit, dass die Ergebnisse für den Zufluß mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % beispielsweise repräsentativ sind.**

IV.2.3.2.3.2 Angenommen

→ Fall III → $p = 75\%$

IV.2.3.3 Statistische Kennwerte

- Das sind Daten, die einerseits als Parameter eines theoretischen Verteilungsgesetzes verwendet werden, oder andererseits drücken sie einige wesentliche Merkmale der Verteilung der Zufallsvariablen aus.
 - Die statistischen Kennwerte werden benutzt, um drei wichtige gemeinsame Eigenschaften aller Werte einer Stichprobe zu beschreiben:
- a) \bar{Q} [m³ / s] – durchschnittlich-arithmetischer Wert (Mittel) der Reihe
- Zeigt den Wert, um welchen die Glieder der Reihe herumliegen (ein Intervall für die Reihenglieder)
 - Das arithmetische Mittel hat die Eigenschaft, dass die Summe der Abweichungen der einzelnen Werte vom Mittel gleich Null ist (Schwerpunkteigenschaft). Außerdem ist die Summe der Quadrate der Abstände aller Werte vom arithmetischen Mittel kleiner als der Abstand von irgendeinem anderen Wert (quadratische Minimumeigenschaft).
- b) *Varianz* – die wichtigste Maßzahl für die Dispersion der Werte als der mittlere quadratische Abstand der einzelnen Werte von ihrem arithmetischen Mittel:

$$Var(x) = s_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

- σ [m³ / s] – Standardabweichung
 - Zeigt die Größe (den Umfang) der Abweichungen der Glieder in Bezug auf den mittleren Wert, unabhängig von dem Vorzeichen.
 - Diese Standardabweichung hat dieselbe Dimension wie die Glieder und deshalb ist sie nicht sehr bequem beim Vergleichen von hydrologischen Charakteristiken verschiedener Flüsse zu benutzen. Deswegen kommt der nächste Parameter in Betracht:
- C_v [-] – Variationskoeffizient
 - Er ist der normierte Wert von σ



- Dimensionslose Verhalten von Standardabweichung und Mittel
 - Wird für Vergleiche von Abflussschwankungen in unterschiedlich großen Einzugsgebieten verwendet. Die Verwendung des Variationskoeffizienten für Vergleichszwecke setzt in der Regel die Verwendung arithmetischer Werte voraus.
- c) C_s [-] – Schiefkoeffizient (Kenngröße für die Asymmetrie)
- Er charakterisiert den Asymmetriegrad der Reihenverteilung
 - Bei Symmetrie $\rightarrow C_s = 0$

IV.2.3.3.1 Verfahren zur Bestimmung der statistischen Kennwerte:

- a) Momentenverfahren
- b) Maximum-Likelihood - Methode
- c) Method der “grundlegenden Koordinaten“ – der hier verwendet ist.

IV.2.3.3.1.1 Momentenmethode

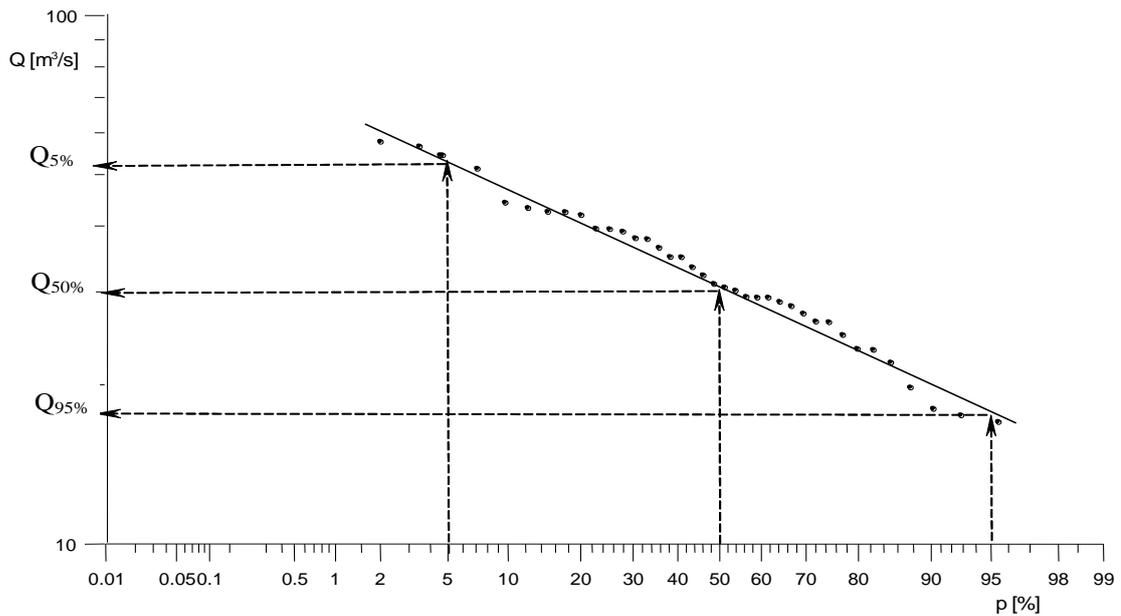
Eine wahrscheinlichkeitsgewichtete Methode , die bei Hochwasseruntersuchungen eingesetzt wird. Deswegen wird es hier nicht verwendet.

IV.2.3.3.1.2 Maximum-Likelihood-Methode

Eine rechner-gestützte Schätzung der Parameter ist mit dieser Methode möglich, wobei vorausgesetzt wird, dass der Typ der Verteilungsfunktion bereits vor Ermittlung der Parameter festliegt. Die Methode liefert für die Parameter dann diejenigen Werte, die für die gegebene Stichprobe die größte Wahrscheinlichkeit des Auftretens haben.

IV.2.3.3.1.3 Method der grundlegenden Koordinaten – Schritte

- Anforderung – das theoretische Verteilungsgesetz muss im voraus bekannt sein oder angenommen werden.
 - ❖ In diesem Fall – binomiale Verteilung
- a) Zuerst ist eine empirische Kurve der Wahrscheinlichkeiten gezeichnet und daraus werden 3 grundlegende Koordinaten des Durchflusses abgelesen – $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$, die zu den Wahrscheinlichkeiten $P = 5\%$, $P = 50\%$, $P = 95\%$ entsprechen.



- b) Dann mit diesen Koordinaten $Q_{5\%}$, $Q_{50\%}$, $Q_{95\%}$ wird der Schrägheitskoeffizient berechnet. Dieser ist funktionell mit der Asymmetriekoeffizient C_s verbunden:

$$S = \frac{Q_{5\%} + Q_{95\%} - 2Q_{50\%}}{Q_{5\%} - Q_{95\%}} = f(C_s)$$

- c) Mit den berechneten S – Wert geht man in Anhang 4 und liest dann den Wert für C_s , sowie die relevanten Ordinatenabweichungen $\Phi_{5\%}$, $\Phi_{50\%}$, $\Phi_{95\%}$

$$S - \text{Anhang} \rightarrow C_{s\text{ MBO}}, \Phi_{5\%}, \Phi_{50\%}, \Phi_{95\%}$$

- Falls notwendig, wird eine lineare Interpolation gemacht, um den Wert zu bestimmen.

- d) Jetzt können die andere statistische Kennwerte ermittelt werden:

$$\sigma = \frac{Q_{5\%} - Q_{95\%}}{\psi_{5\%} - \psi_{95\%}}; \quad Q_{av} = Q_{50\%} - \sigma\psi_{50\%}; \quad C_v = \frac{\sigma}{Q_{av}}$$

IV.2.3.3.1.4 Binomialverteilung des mittleren jährlichen Abfluß setzen:

- ❖ Wenn die statistische Kennwerte ermittelt sind, dann kommt es zur Berechnung der binomialen Verteilung des Abflusses. Dafür sind die Daten für die relative ordinatenabweichungen aus dem Anhang 4. Dann sind die Durchflussmengen ermittelt.

- $\Phi_{Pi} \rightarrow$ aus Anhang 4
- $Q_{Pi} = Q_{\text{durchschn.}} * (\Phi_{Pi} * C_v + 1)$
- Die Berechnungen sind tabellarisch durchgeführt:



IV.2.4 Abfluß

IV.2.4.1 Abflußvolumen

1. Jährliche Abflußvolumen

- a) Jährliche Abflußvolumen $\rightarrow V_{\text{Jahr}} = \sum_{k=1}^{12} V_{AF, \%}$
- b) Mittlere jährliche Abfluß $\rightarrow Q_{\text{durchschn}} = \frac{V_{\text{Jahr}}}{T_{\text{Jahr}}}$
- $T_{\text{Jahr}} = 365 \times 24 \times 3600$ [s]
- c) Spezifische Abflußvolumen [l/s km²] $\rightarrow q_{\text{durchschn.}} = \frac{k \cdot Q_{\text{durchschn.}}}{A}$
- $k = 1000$ – Dimensionsausgleichsbeiwert
- A – Fläche des Einzugsgebietes in [km²]
- d) Registrierte Abfluß:
- Das ist der Abfluß, der an der Messstation in Echtzeit gemessen oder beurteilt ist;
 - Er spiegelt die Bedingungen des Einzugsgebietes aus;
 - Er wird für hydrologische Modelle meist benutzt.

2. Mittlere jährliche Abfluß – Zeitreihen

- a) Ermittlung des mittleren jährlichen Abflusses für jedes Jahr der betrachteten Periode:

$$Q_{\text{durchschnitt.}} = \frac{\sum_{j=1}^{12} (\bar{Q}_{ij} \cdot n_j)}{\sum_{j=1}^{12} n_j}$$

Wo:

- N – betrachtete Periode (Anzahl der Jahren in der betrachteten Periode)
- $i = 1 \dots N$ – Jahre
- $j = 1 \dots 12$ – Monate
- n_j – Anzahl der Tagen im j -ten Monat
- $\Sigma = 365/366$ Tage
- $Q_{\text{durchschnitt.}} = MQ$ [m³ / s] – mittlere jährliche Abfluß für i -tes Jahr
- Q – durchschnittliche monatliche Durchfluß für j -ten Monat des i -ten Jahres

➔ Somit ist weiter die:

- b) Prozentuelle monatliche Verteilung des Abflusses für jedes Jahr berechnet

$$P_{ij} = \frac{\bar{Q}_{ij} \cdot n_j}{\sum_{j=1}^{12} (\bar{Q}_{ij} \cdot n_j)} \cdot 100 \quad (\%)$$

Wo



- P_{ij} – die prozentuelle monatliche Verteilung des Abflusses für den j – ten Monat des i – ten Jahres ist

➔ Und dann sind die:

- c) mittlere mehrjährige monatliche Verteilung des Abflusses ermittelt, entsprechend der berechneten prozentuellen monatlichen Verteilung:

$$P_j = \frac{\sum_{i=1}^N P_{ij}}{N} (\%); \quad Q_j = \frac{12 \sum_{i=1}^N Q_{i,j} \cdot P_j}{N \cdot 100} (m^3 / s)$$

IV.2.4.2 Abflußkomponente

$$\Rightarrow \sum V_{AF} = \sum V_V + \sum V_{RW} + \sum V_{LB} + \sum V_{EE},$$

1. Verluste

- $V_V =$ Verluste, wobei $Q_V = (3\% - 5\%) \cdot Q_{i,m} m^3 / s \Rightarrow Q_V = 4\% \cdot Q_{i,m}$ – angenommen

2. Restwasser

- $V_{RW} =$ Rest Wasser, wobei $Q_{RW} = 2 m^3 / s$

3. Landwirtschaftliche Bewässerung

- $V_{LB} =$ Landwirtschaftliche Bewässerung. In diesem Fall wird das Wasser in dem Speicher nur zur Energieerzeugung verwendet, d.h. dass es keine Landwirtschaftliche Bewässerung gibt und nicht als Wert bei der Berechnung betrachtet wird.

➔ $V_{LB} = 0$

4. Energieerzeugung

- $V_{EE} =$ Energieerzeugung;

➔ Einfachster Fall ➔ $Q_{EE} = \text{const}$ im Laufe des ganzen Jahres

$$Q_{EE} = \frac{\sum V_{EE}}{T_{Jahr}}$$



IV.2.5 Ausgleich zwischen Zu- und Abfluß

Es stehen die monatliche Mittelwerte des Zuflusses für jedes Jahr der betrachteten Periode Speichervolumen. Danach werden die entsprechende Abflusssmengen mit bestimmter Wahrscheinlichkeit ermittelt. Die Ergebnisse sind grafisch dargestellt.

IV.2.6 Bestimmung der Wasservolumen des Speichers

IV.2.6.1 Bestimmung der erforderlichen Speicherinhalt ΔI

$$\Delta I = V_{ZF}(t) - V_{AF}(t)$$

1. Als Ergebnis entsteht die Ganglinie des Speicherinhaltes:

IV.2.6.2 Bestimmung der Mindestinhalt des Speichers für die ganze betrachtete Periode I_{erf} .

$$I_{\text{erf}} = D_F + D_E$$

- D_F – Füllmaximum $\rightarrow D_F = V_{ZF} - V_{AF}$
- D_E – Entleerungsmaximum $\rightarrow D_E = V_{AF} - V_{ZF}$

IV.2.6.3 Totraum

- Der Totraum entspricht der Speicherlamelle zwischen der Einlaufsohle des Grundablasses und dem tiefsten Punkt im Stauraum. Der Totraum dient zur Aufnahme von Sedimenten und ist anhand kalkulatorischer Lebensdauer der Talsperre von 100 Jahren bemessen

IV.2.6.4 Nutzraum

- Der Nutzraum, oder auch Betriebsstauraum genannt, ist durch das gewöhnliche Stauziel, als Begrenzung zum Hochwasserschutzraum, und das gewöhnliche bzw. außergewöhnliche Absenksziel, das mit der Höhe eines Betriebsauslasses oft identisch ist, begrenzt.

IV.2.6.5 Gesamttraum

- Der Gesamttraum ist die Summe aller Wasservolumen, die im Rahmen des Speichers zu beurteilen sind.



IV.2.7 Dammkenngrößen

- Wenn die gesuchten Wasservolumen im Speicher ermittelt sind, werden auch die entsprechende Wasserstände und Höhen von der Beckeninhaltslinie abgelesen:

1. OWS

- Das ist das höchste Stauziel des Speichers

2. H_{BR}

- Bruttofallhöhe

❖ **Bemerkung:**

Die Berechnungen sind tabellarisch durchgeführt und angezeigt.



B. **Berechnungen**



V. Berechnungen

V.1 Kurzbeschreibung der physikalischen Bedingungen des Einzugsgebietes

1. Geographie und Standort

a) Einzugsgebiet des Flusses Messta:

- Der Fluss befindet sich in Südwesten Bulgariens
- Koordinatenabgränzung $\rightarrow 41^{\circ}25'$ und $42^{\circ}10'N$
 $\rightarrow 23^{\circ}20'$ und $24^{\circ}20'E$

b) Austrittsstelle:

- Quelle mit Kote $H = 2240$ m über Granchar See
- Koordinaten $\rightarrow 42^{\circ}07'10''N$
 $\rightarrow 23^{\circ}50'20''E$

c) Länge des Flusses bis zur Grenze mit Griechenland $\rightarrow L = 126$ km

d) Fläche der Einzugsgebietes $\rightarrow A = 2767$ km²

e) Kote Flussbett/ Höhe der Gewässersohle $\rightarrow H = 388$ m

f) Durchschnittliche Höhe des Einzugsgebietes an der Grenze mit Griechenland $\rightarrow 1318$ m

- Das ist die höchst gelegene Einzugsgebiet im Vergleich zu allen anderen Flusstälern in Bulgarien.

2. Das Einzugsgebiet

- Der Fluss entspringt aus den südlichen Hängen des Rila Gebirge, aus den östlichen Hängen des Pirin Gebirge, sowie aus den westlichen Hängen des Rhodopi Bergkette. Diese drei Berge sind jeweils durch Predelska Sattel (Rila und Pirin) und Avramovi Kolibi (Rila und Rhodopi) miteinander verbunden. Der Fluss verläuft durch das Razlog Tal, das die höchste Ebene in Bulgarien durch seine 850 m über dem Meeresspiegel liegt. Nach dem Verlassen Momina Klisura fließt der Fluss durch die östlichen Grenzen der gotze Delchev Plain – mit Fläche von rund 65 km² und 550 m über dem Meeresspiegel.



V.2 Schutzgebiete

Die Anforderung für die Erklärung von Schutzgebieten für die Erhaltung des natürlichen Erbes Europas ist in Artikel 3 der Richtlinie 92/ 43 / EWG (Habitat- Richtlinie) identifiziert. Schutzgebiete sind zwei Arten, je nach den Kriterien einer EU – Richtlinie:

- Habitat – Richtlinie;
- Vogelschutz – Richtlinie

Die Summe aller Schutzgebiete in der europäischen Union bildet das Pan – europäische ökologische Netzwerk „Natura 2000“

In den bulgarischen Rechtsvorschriften wird „Natura 2000“ als Teil des „nationalen ökologischen Netzes“ gesetzt, und ist unter dem Gesetz über Biodiversität errichtet.

Nach der Zweck und der Grund für ihre Bezeichnung sind die Schutzgebiete:

- a) Nach der Habitat – Richtlinie (92/43/ EWG) → sind zwei Arten von Zonen, die den geschützten Gebiete entsprechen:
 - Gemäß Artikel 6, Absatz 1, Ziffer 1 des Biodiversitätsgesetzes
⇒ Erhaltung der natürlichen Lebensraumtypen (Anhang 1 des BDG)
 - Gemäß Artikel 6, Absatz 2, Ziffer 2 des BDGes
⇒ für den Schutz der Lebensräume von Pflanzen und Tieren (ohne Geflügel) (Anhang 2 des BDGes)
- b) Nach der Vogele – Richtlinie (79/409/EWG) → sind auch zwei Arten von Zonen:
 - Gemäß Artikel 6, Absatz 1, Ziffer 3 des Biodiversitätsgesetzes
⇒ Schutz der Habitate der verschiedenen Arten von Vögeln (Anhang 2)
 - Gemäß Artikel 6, Absatz 1, Ziffer 4 des Biodiversitätsgesetzes
⇒ Schutz der Bereichen, in denen zum Zeitpunkt der Zucht, Mauser, Überwinterung oder Migration erhebliche Mengen von Geflügel, verschieden von den gennanten in Anhang 2, sammeln.

Gemäß den Beschluss der Versammlung im Ministerium für Umwelt und Wasserwirtschaft, die im Februar 2005 stattfand, wurde das Projekt“Bildung der nationalen ökologischen Netzwerkes Natura 2000 in Bulgarien“ , die von Green Balkans durchgeführt ist, um auf den Aufbau von Teil von Natura 2000 und der Habitat – Richtlinie zu konzentrieren.

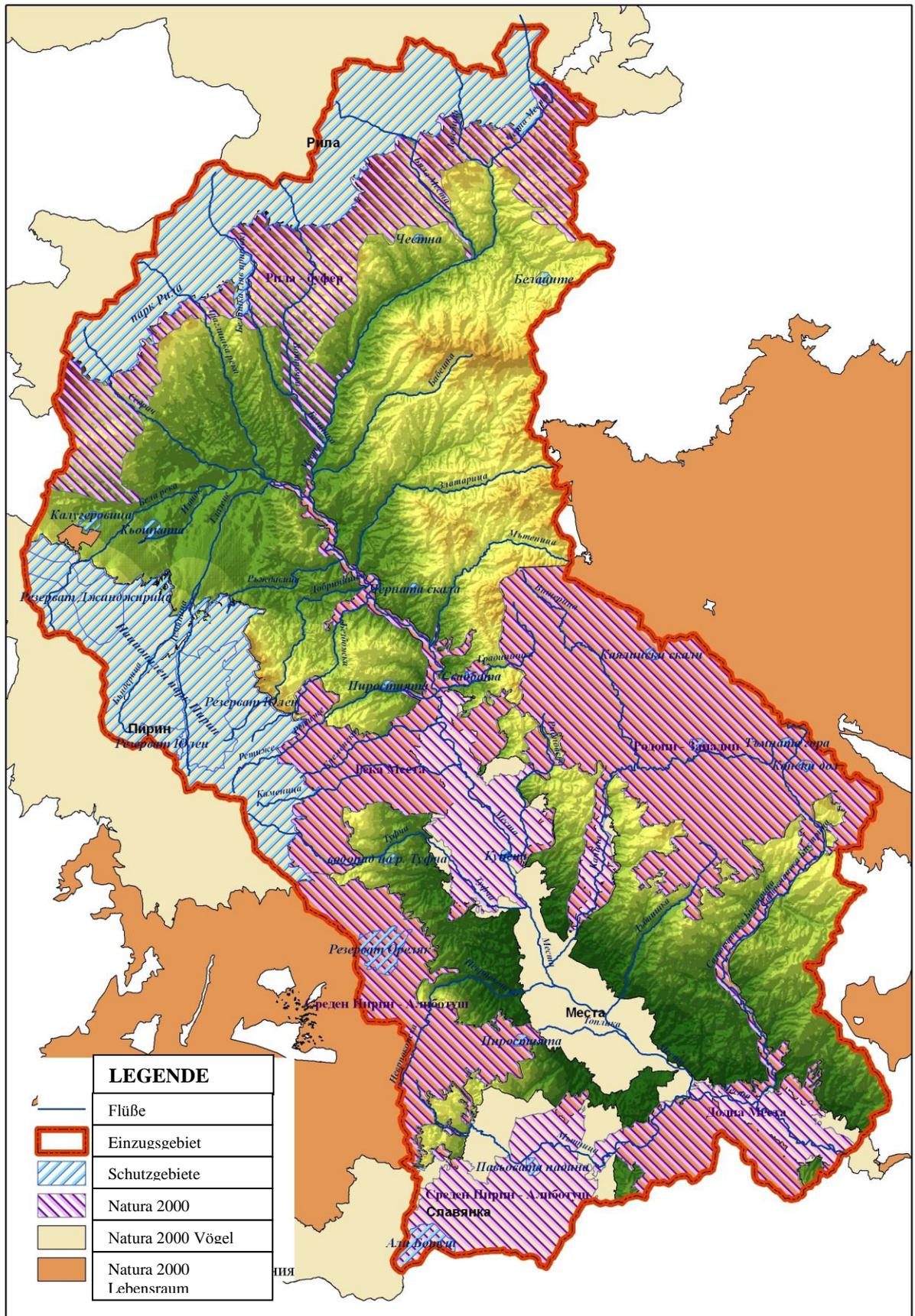


Abb. V-1

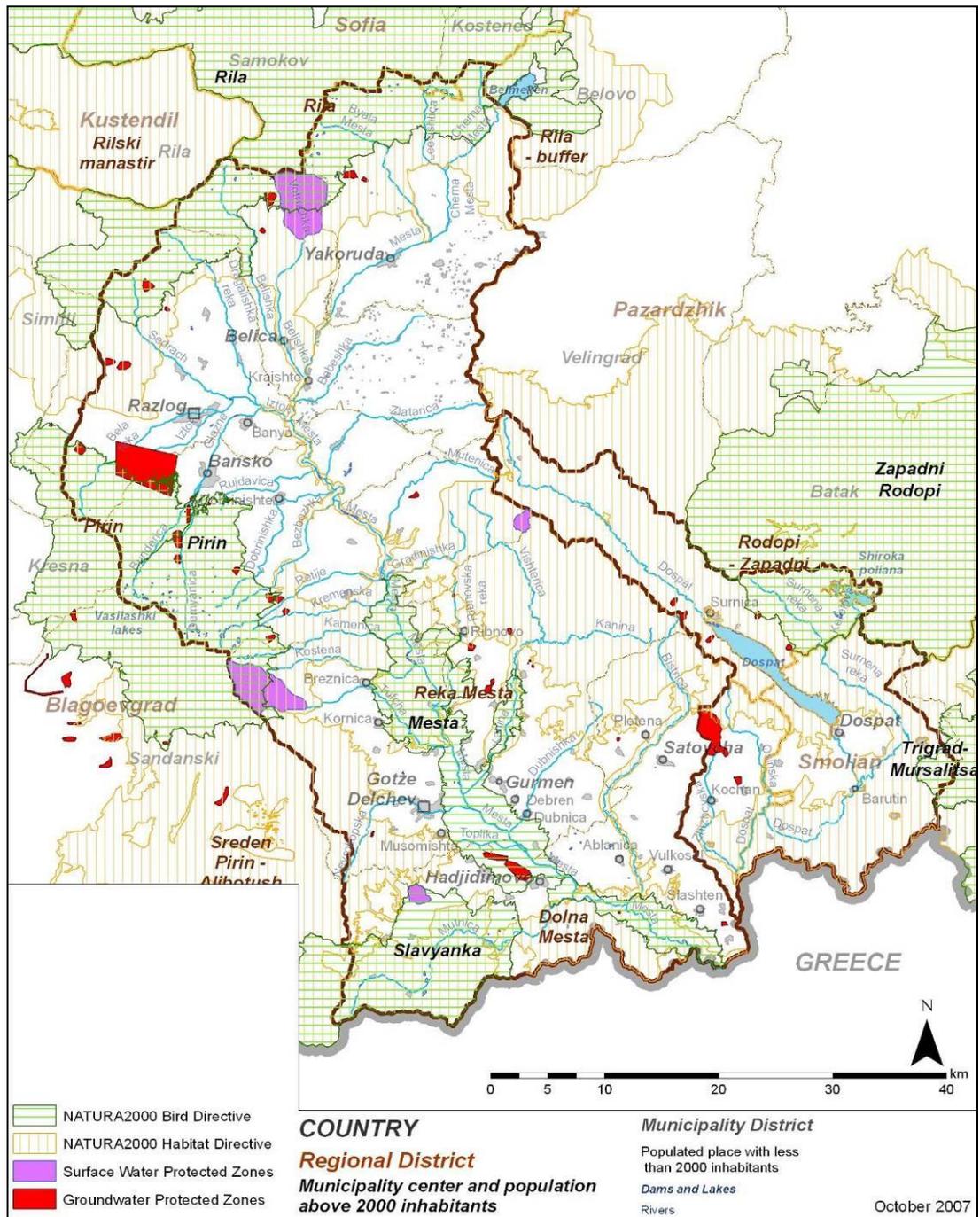


Abb. V-2

V.3 Auswirkungen auf den Abfluß

Der wichtigste Einfluss auf die natürlichen Abfluss der Mesta (und Dospat) River wird durch Wasserkraft Engineering, die mit Wasser übertragen aus dem Einzugsgebiet der Mesta River zu den Einzugsgebieten von Iskar und Maritza versorgt ausgeübt wird, wie folgt:

- „Granchar“ Ableitungskanal – ableitet Wasser in Richtung Iskar und Maritza. Stört den Abfluss von Mesta an die Stationen 206, 20, 459 und stromabwärts an 207, sowie an allen anderen Stationen (215, 230) und auch an Punkt Grenze. Die Gesamtfläche

des Einzugsgebietes, von dem das Wasser aufgenommen ist, beträgt 78.5 km². Die Verteilung der Einzugsgebiete der Wasseraufnahme Einrichtungen, und ihre durchschnittliche Höhen sind in Abbildung 4 und Tabelle 3 3 3 angegeben (siehe auch Abb. 4 12.);

- "Dzheferitsa" Ableitungskanal - Überleitung von Wasser aus dem Einzugsgebiet des Flusses Messta in Fluss Maritza, stört den natürlichen Fluss der Mesta zur Station in Yakoruda und alle untergeordnete in den Hauptfluss-Stationen (206,207,215, 230 und Grenze); Das Einzugsgebiet des Flusses Mesta, aus denen Wasser genommen wird beträgt 20.8 km² und ist auf einer durchschnittlichen Höhe von 2220 m;
- "Veshteritsa-Kanina" Kanal - führt die Übertragung von Flusseinzugsgebiet Dospat und von dort aus auf dem Fluss Mariza. Verstößt den Abfluss des Mesta nach dem Entladen von Fluss Kanina, nämlich an Stationen 215 und 230 (beim Dorg Hadzhi Dimovo) und auch an Punkt Grenze. Wasseraufnahme - Einzugsgebiet von Mesta, ist 148,52 km² auf einer durchschnittlichen Höhe Höhe 1680 m;
- "Bistrica" Ableitungskanal - führt die Übertragung zum Einzugsgebiet Dospat und von dort auf dem Fluss Mariza. Verstößt den Abfluss von Mesta nach dem Entladen des Fluss Bistritza, vor allem nach der Station bei Hadji Dimovo (230) und der Grenze zu Griechenland. Das Einzugsgebiet, aus dem Wasser weg genommen wird ist 46 km², mit einer durchschnittlichen Höhe von 1500 m.

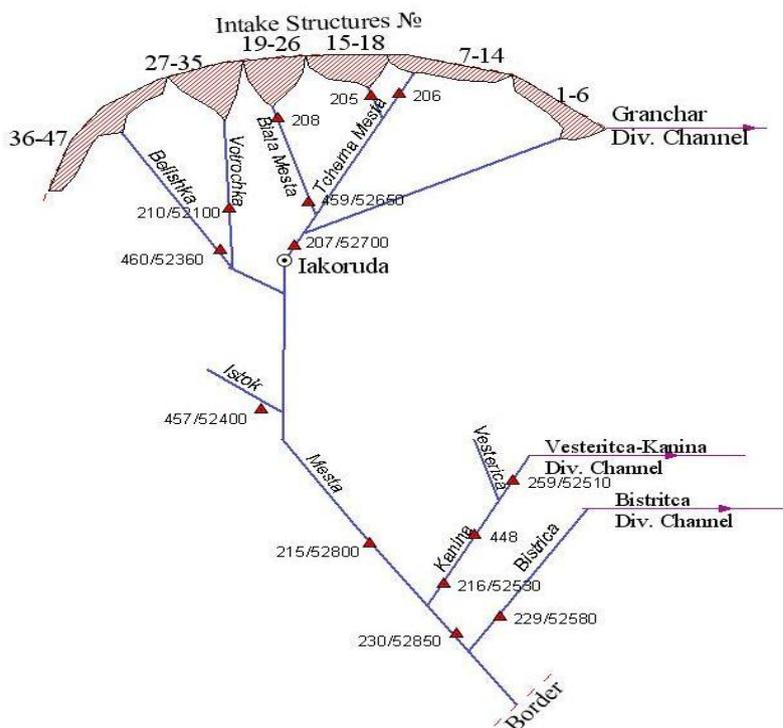


Abb. V-3 Lage der Einnahme Strukturen entlang Granchar Ableitung am Einzugsgebiet des Mesta

V.4 Hydrologische und Wasserwirtschaftliche Untersuchungen des Speichers

- ❖ Die durchschnittliche monatliche Daten für den Zufluß für die betrachtete Periode 1937 – 2010 stehen tabellarisch (Tabelle III-4) für hydrologisches Jahr zur Verfügung. Die Daten schließen auch die berechnete Zuflußvolumen ein.

Tabelle V-1

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
$Q_{ZF,m}$	[m ³ /s]	14,30	17,57	14,88	16,03	23,54	32,13	43,52	29,17	12,40	6,71	6,78	10,25
$V_{ZF,m}$	[m ³ ·10 ⁶]	37,02	45,49	38,52	41,50	60,95	83,18	112,67	75,52	32,10	17,37	17,55	26,54

- ❖ **Hauptannahme:**

- Kraftwerk arbeitet 6 Std. / Tag das ganze Jahr über.

- Da es keine Daten für den Bedarf zur Verfügung stehen, wird es angenommen, dass das Kraftwerk 6 Stunden am Tag laufen wird, um den unterschiedlichen Leistungsbedarf zu gewährleisten.

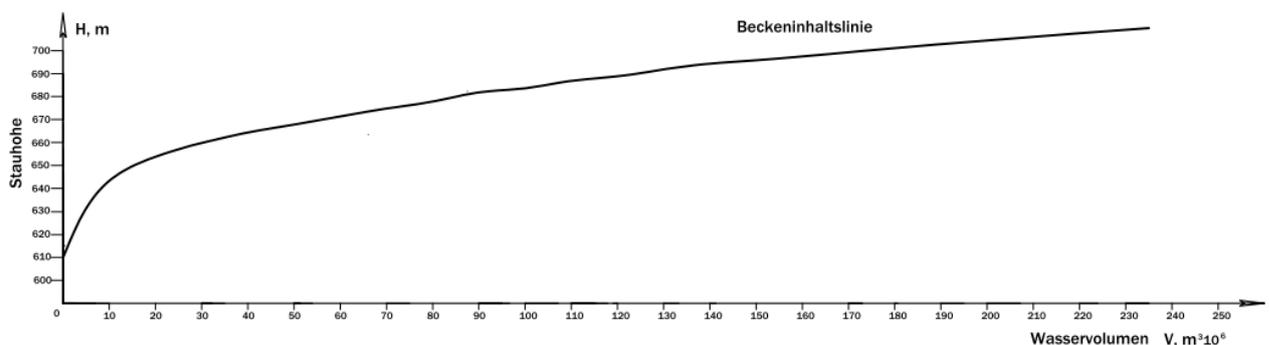
- ❖ **Bilanzgleichung**

$$\Sigma V_{ZF} = \Sigma V_{AF}$$

V.4.1 Charakteristische Kurven

V.4.1.1 Beckeninhaltslinie

- ❖ Gegeben → Tabelle III-1 → Abb. III-2



V.4.1.2 Staflächennlinie

- ❖ Gegeben → Tabelle III-2 → Abb. III-3

V.4.2 Charakteristische hydrologische Kurven

V.4.2.1 Wiederholungslinie

Tabelle V-2

Interval	Wiederholung
	Z (Monate)
86.43-80	1
79.99-75	2
74.99-70	2
69.99-65	3
64.99-60	13
59.99-55	10
54.99-50	15
49.99-45	21
44.99-40	27
39.99-35	36
34.99-30	42
29.99-25	60
24.99-20	85
19.99-15	98
14.99-10	157
9.99-1	315
Σ	887

Wiederholungslinie

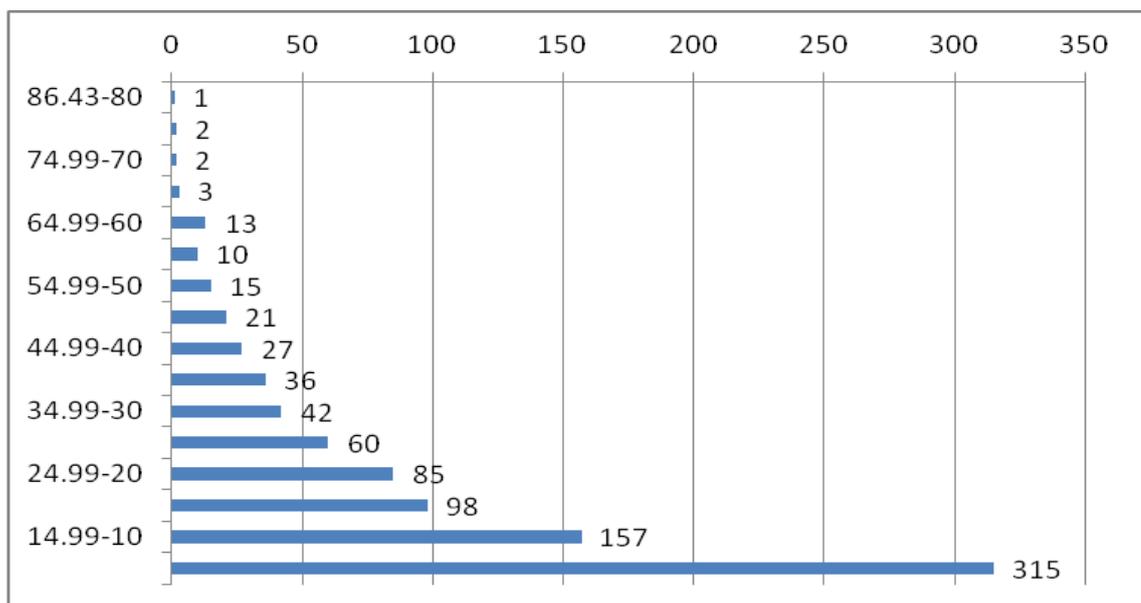


Abb. V-4

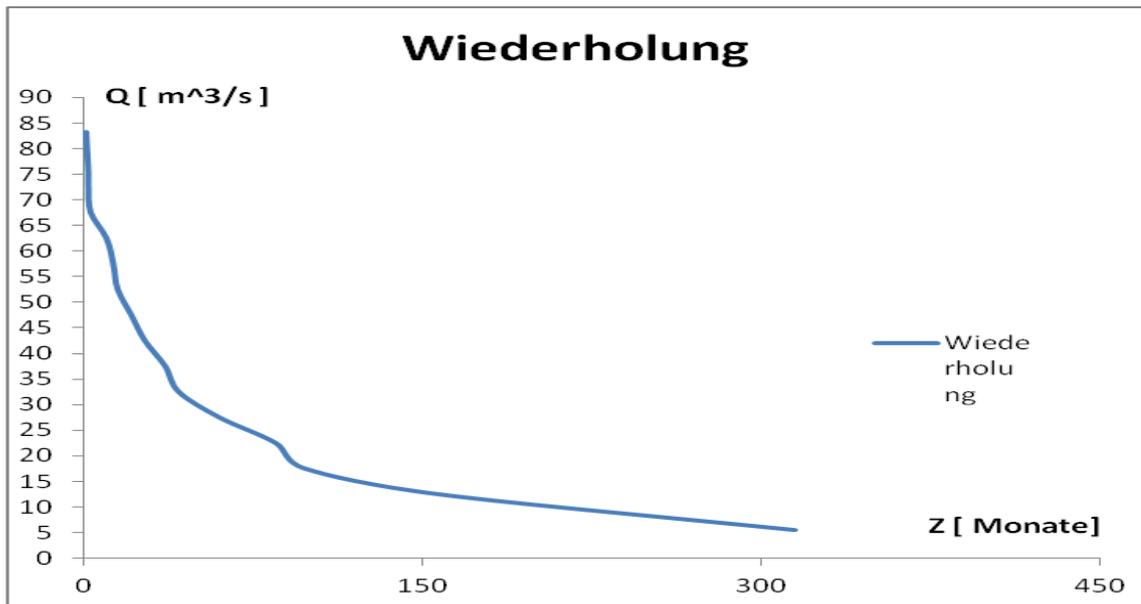


Abb. V-5

V.4.2.2 Dauerlinie

Tabelle V-3

Interval	Dauer
	T (Monate)
86.43-80	1
79.99-75	3
74.99-70	5
69.99-65	8
64.99-60	21
59.99-55	31
54.99-50	46
49.99-45	67
44.99-40	94
39.99-35	130
34.99-30	172
29.99-25	232
24.99-20	317
19.99-15	415
14.99-10	572
9.99-1	887
Σ	

Dauerlinie (Flow duration curve)

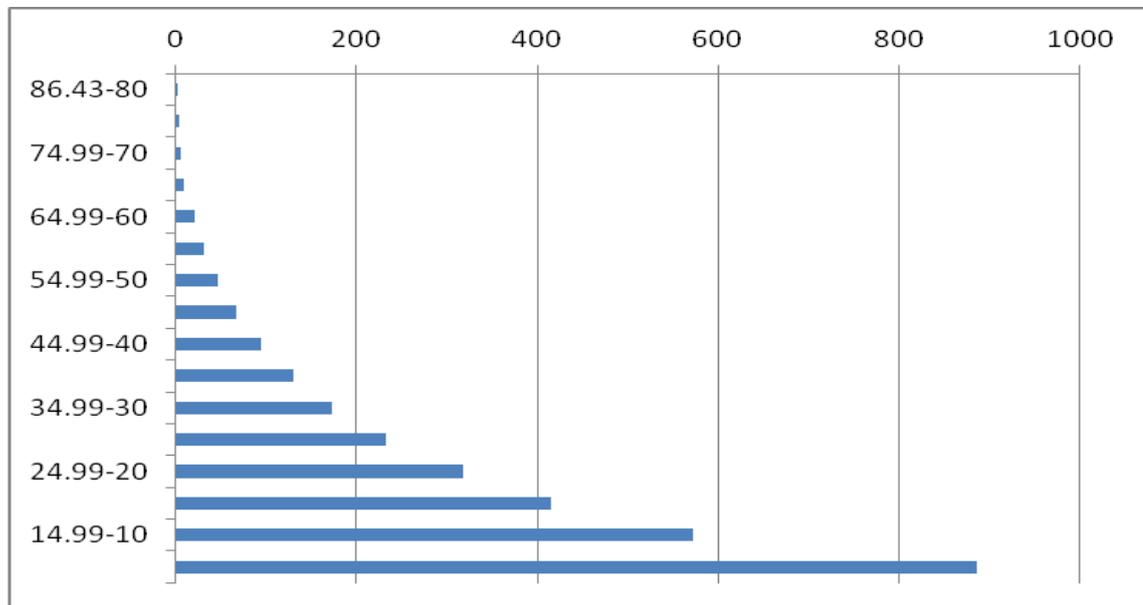


Abb. V-6

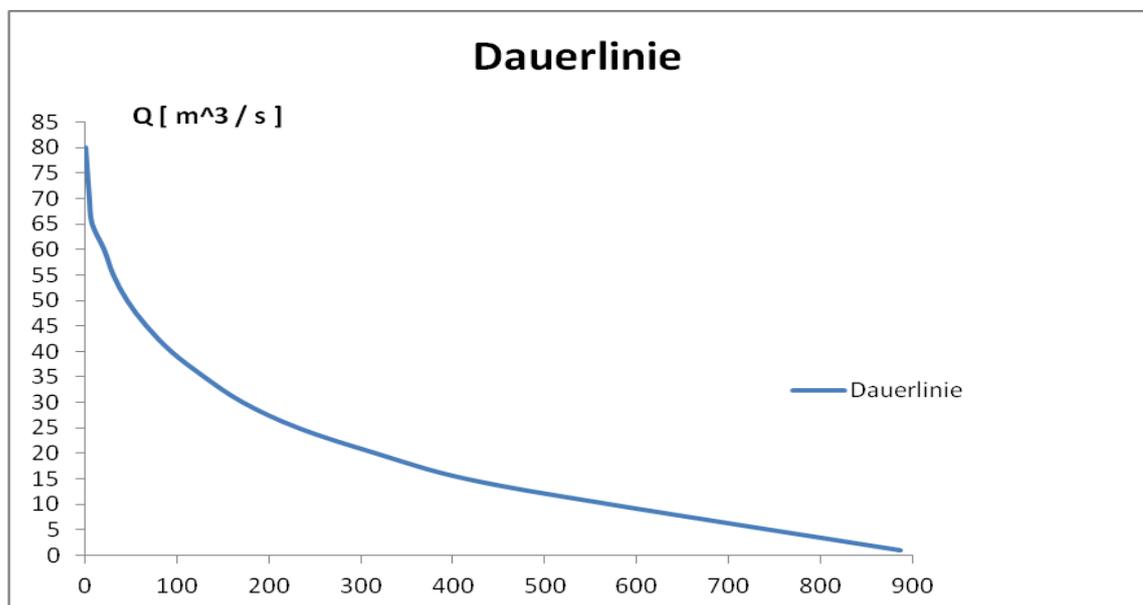


Abb. V-7

- ❖ Nach den Unterlagen von Prof. Blöschl “New Energy” ist es aus der Dauerlinie der mittleren monatlichen Durchflüsse die Ausbauleistung der Turbinen abzulesen. Die Periode liegt typisch zwischen 30 und 50 Tage der betrachteten Periode. In diesem Fall wird den 50-Tage-Wert angenommen und so ermittelt sich aus der Dauerlinie eine Turbinenleistung :

$$Q_A^D = 50 \text{ m}^3/\text{s}$$

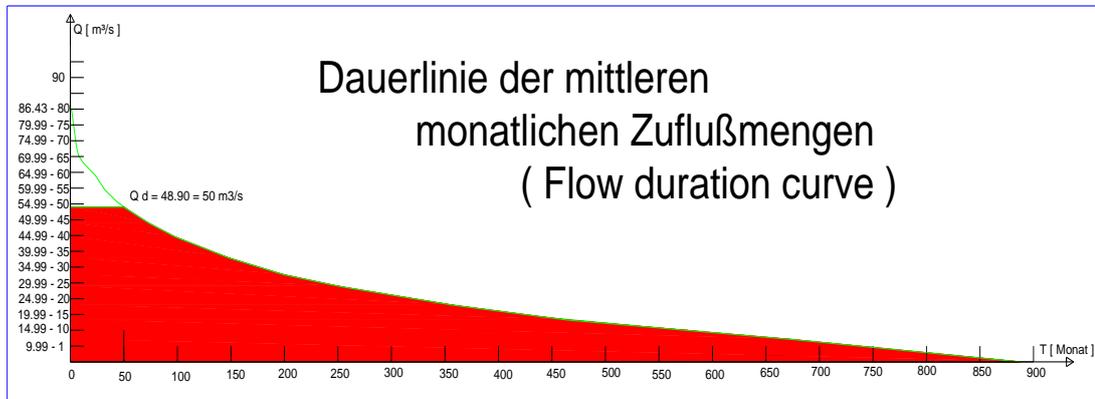


Abb. V-8

V.4.3 Zufluß

V.4.3.1 Durchschnittliche monatliche Zuflußdaten Q_{ij} (m^3/s) :

➤ Stehen zur Verfügung → Tabelle III-4

V.4.3.2 Wahrscheinlichkeit

3. Der Zufluß muss mit einer Unterschreitungswahrscheinlichkeit abgerechnet werden. Das ist notwendig, um die Speicherregelung zu bestimmen.
4. Es sind hier deswegen verschiedene Szenarien zu betrachten:

❖ **I. Fall** → $p = 95 \%$

- Wenn eine Wahrscheinlichkeit von 95 % gewählt würde, dann hieße das, dass es ein extrem trockenes Jahr sei und das Leistungsdiagramm des Speichers fast über die ganze Betriebsperiode abgedeckt wäre

❖ **II. Fall** → $p = 85 \%$

- Es waren in der Vergangenheit Regelungen und Vorschriften erstellt, nach denen in Bulgarien es mit einer Wahrscheinlichkeit von 85 % die Abflußverteilung zu betrachten sollte. Da die Zeit sich verändert hat, sowie auch das Wetter und die Umwelt, wird das nicht mehr so berechnet.

❖ **III. Fall** → $p = 75 \%$



- Bei diesem Fall heißt es, dass es ein durchschnittliches Jahr ist
- Nicht zu trocken
- Nicht zu feucht
- So ein Wert für die Wahrscheinlichkeit wäre beispielsweise maßgebend für die anderen zwei Fälle.

❖ **Deswegen kommt als Annahme in der Diplomarbeit, dass die Berechnungen für den Abfluß mit einer Wahrscheinlichkeit von 75 % des Durchflusses durchgeführt werden.**

→ Fall III → p = 75 % angenommen.

Tabelle V-4

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
$Q_{ZF,m}$	[m ³ /s]	14,30	17,57	14,88	16,03	23,54	32,13	43,52	29,17	12,40	6,71	6,78	10,25	
$V_{ZF,m}$	[m ³ ·10 ⁶]	37,02	45,49	38,52	41,50	60,95	83,18	112,67	75,52	32,10	17,37	17,55	26,54	
$Q_{ZF}^{75\%}$	[m ³ /s]	11,17	13,72	11,62	12,52	18,38	25,09	33,99	22,78	9,68	5,24	5,30	8,01	
$V_{ZF}^{75\%}$	[m ³ ·10 ⁶]	28,91	35,53	30,09	32,41	47,60	64,97	88,00	58,98	25,07	13,57	13,71	20,73	459,56
$\Sigma V_{ZF,75\%}$	[m ³ ·10 ⁶]	28,91	64,44	94,53	126,94	174,54	239,51	327,50	386,49	411,56	425,13	438,84	459,56	
V_V	[m ³ ·10 ⁶]	1,48	1,82	1,54	1,66	2,44	3,33	4,51	3,02	1,28	0,69	0,70	1,06	23,54
Q_{RW}	[m ³ /s]	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
V_{RW}	[m ³ ·10 ⁶]	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	57,02
Q_{EE}	[m ³ /s]	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	
V'_{EE}	[m ³ ·10 ⁶]	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	373,87
V_{AF}	[m ³ ·10 ⁶]	37,82	38,16	37,88	38,00	38,78	39,67	40,85	39,36	37,62	37,03	37,04	37,40	459,62
ΣV_{AF}	[m ³ ·10 ⁶]	37,82	75,98	113,86	151,86	190,64	230,31	271,15	310,51	348,14	385,17	422,21	459,62	
ΔI	[m ³ ·10 ⁶]	-8,91	-11,54	-19,33	-24,92	-16,10	9,20	56,35	75,97	63,42	39,96	16,62	-0,05	
V_{NR}	[m ³ ·10 ⁶]	16,01	13,38	5,59	0,00	8,82	34,12	81,27	100,89	88,34	64,87	41,54	24,87	
V_{TR}	[m ³ ·10 ⁶]	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	
V_{GR}	[m ³ ·10 ⁶]	54,01	51,38	43,59	38,00	46,82	72,12	119,27	138,89	126,34	102,87	79,54	62,87	
↓OWS	[m]	669,00	668,00	665,60	663,50	665,00	675,40	688,60	695,00	690,50	684,80	677,60	672,40	
↓UWS	[m]	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	
H_{brutto}	[m]	54,00	53,00	50,60	48,50	50,00	60,40	73,60	80,00	75,50	69,80	62,60	57,40	
H_{netto}	[m]	49,14	48,23	46,05	44,14	45,50	54,96	66,98	72,80	68,71	63,52	56,97	52,23	
W	[kWh·10 ⁶]	3,60	3,54	3,38	3,24	3,34	4,03	4,91	5,34	5,04	4,66	4,18	3,83	49,06
ΣW	[kWh·10 ⁶]	3,60	7,14	10,51	13,75	17,08	21,11	26,02	31,36	36,40	41,05	45,23	49,06	

V.4.3.3 Statistische Kennwerte

5. $C_v = 0.304$
6. $C_s = 2 \times C_v = 0.608$
7. $\Phi^{75\%} = -0.72$ → aus Tabelle VIII-1. Anhang 4
8. $K_p^{75\%} = 1 + \Phi^{75\%} \times C_v = 0.781$

→ So wird der Zuflußmodul und Zuflußvolumen für jeden Monat berechnet:

$$Q_{ZF}^{75\%} = K_p^{75\%} * Q_{ZF,m}$$

$$V_{ZF}^{75\%} = K_p^{75\%} * V_{ZF,m}$$



Tabelle V-4a

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
$Q_{ZF,m}$	[m ³ /s]	14,30	17,57	14,88	16,03	23,54	32,13	43,52	29,17	12,40	6,71	6,78	10,25	
$V_{ZF,m}$	[m ³ ·10 ⁶]	37,02	45,49	38,52	41,50	60,95	83,18	112,67	75,52	32,10	17,37	17,55	26,54	
$Q_{ZF}^{75\%}$	[m ³ /s]	11,17	13,72	11,62	12,52	18,38	25,09	33,99	22,78	9,68	5,24	5,30	8,01	
$V_{ZF}^{75\%}$	[m ³ ·10 ⁶]	28,91	35,53	30,09	32,41	47,60	64,97	88,00	58,98	25,07	13,57	13,71	20,73	459,56

→ Für die Bilanzgleichung braucht man die Summen des Zuflußvolumens

Tabelle V-4b

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
$Q_{ZF,m}$	[m ³ /s]	14,30	17,57	14,88	16,03	23,54	32,13	43,52	29,17	12,40	6,71	6,78	10,25	
$V_{ZF,m}$	[m ³ ·10 ⁶]	37,02	45,49	38,52	41,50	60,95	83,18	112,67	75,52	32,10	17,37	17,55	26,54	
$Q_{ZF}^{75\%}$	[m ³ /s]	11,17	13,72	11,62	12,52	18,38	25,09	33,99	22,78	9,68	5,24	5,30	8,01	
$V_{ZF}^{75\%}$	[m ³ ·10 ⁶]	28,91	35,53	30,09	32,41	47,60	64,97	88,00	58,98	25,07	13,57	13,71	20,73	459,56
$\Sigma V_{ZF,75\%}$	[m ³ ·10 ⁶]	28,91	64,44	94,53	126,94	174,54	239,51	327,50	386,49	411,56	425,13	438,84	459,56	

V.4.4 Abfluß

V.4.4.1 Abflußvolumen

1. Jährliche Abflußvolumen

- Die Ergebnisse sind in Tabelle V-4 durchgeführt und zu sehen:

$$\rightarrow \sum V_{Jahr} = \sum V_{AF,75\%} = 459.62 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

2. Binomiale Verteilung des Abflusses

Tabelle V-5

	P	$Q_{Pi} = Q_{\text{durchschn}} (\Phi_{Pi} C_V + 1)$	$Q_{Pi} = Q_{\text{durchschn}} (\Phi_{Pi} C_V + 1)$
	[%]	[m ³ / s]	[10 ⁶ m ³ / Jahr]
Trockene Jahren	0,1	43,27	1364,56
	0,5	38,84	1224,86
	1	36,78	1159,89
	2	34,59	1090,83
	5	31,43	991,18
	10	28,75	906,66
Durchschnittliche Jahren	20	25,65	808,90
	30	23,52	741,73
	50	20,18	636,40
	70	17,06	538,00
	80	15,28	481,87
	Feuchte Jahren	90	12,94
95		11,12	350,68
98		9,19	289,82
99		7,96	251,03
99,5		6,89	217,28
99,9		4,81	151,69



V.4.4.2 Abflußkomponenten

- Basierend auf die berechneten Zuflußdaten mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit werden folglich die Abflußkomponenten berechnet.

$$\sum V_{AF} = \sum V_V + \sum V_{RW} + \sum V_{LB} + \sum V_{EE}$$

5. Verluste

- $V_V =$ Verluste, wobei $Q_V = (3\% - 5\%) \cdot Q_{i,m} m^3 / s \Rightarrow Q_V = 4\% \cdot Q_{i,m} - \text{angenommen}$

6. Restwasser

- $V_{RW} =$ Rest Wasser, wobei $Q_{RW} = 2 m^3 / s$

7. Landwirtschaftliche Bewässerung

- $V_{LB} =$ Landwirtschaftliche Bewässerung. In diesem Fall wird das Wasser in dem Speicher nur zur Energieerzeugung verwendet, d.h. dass es keine Landwirtschaftliche Bewässerung gibt und nicht als Wert bei der Berechnung betrachtet wird.
→ $V_{LB} = 0$

8. Energieerzeugung

- $V_{EE} =$ Energieerzeugung;
→ Einfachster Fall → $Q_{EE} = \text{const}$ im Laufe des ganzen Jahres

$$Q_{EE} = \frac{\sum V_{EE}}{T_{Jahr}}$$

$$\sum V_{EE} = \sum V_{ZFI} - (\sum V_{RW} + \sum V_V) = 459.56 - (57.02 + 23.54)$$

$$\sum V_{EE} = 279.68 [Mio.m^3 / J] - \text{brauchbare Wasservolumen zur Energieerzeugung}$$

$$T_{Jahr} = n \cdot 24 \cdot 3600,$$

n- Anzahl der Tage → n = 365 Tage (12 Monate)

$$\Rightarrow T_{Jahr} = 365 \cdot 24 \cdot 3600 = 31536000s$$

$$\rightarrow Q_{EE} = \frac{379 \times 10^6}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 12.02 m^3 / s$$

- Für die Bilanzgleichung braucht man die Summen des Abflußvolumens:



Tabelle V-4c

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
V_V	$[m^3 \cdot 10^6]$	1,48	1,82	1,54	1,66	2,44	3,33	4,51	3,02	1,28	0,69	0,70	1,06	23,54
Q_{RW}	$[m^3/s]$	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
V_{RW}	$[m^3 \cdot 10^6]$	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	57,02
Q_{EE}	$[m^3/s]$	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	
V'_{EE}	$[m^3 \cdot 10^6]$	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	373,87
V_{AF}	$[m^3 \cdot 10^6]$	37,82	38,16	37,88	38,00	38,78	39,67	40,85	39,36	37,62	37,03	37,04	37,40	459,62
ΣV_{AF}	$[m^3 \cdot 10^6]$	37,82	75,98	113,86	151,86	190,64	230,31	271,15	310,51	348,14	385,17	422,21	459,62	

V.4.5 Ausgleich zwischen Zu- und Abfluß gem. der Bilanzgleichung

Tabelle V-4d

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
$Q_{ZF,m}$	$[m^3/s]$	14,30	17,57	14,88	16,03	23,54	32,13	43,52	29,17	12,40	6,71	6,78	10,25	
$V_{ZF,m}$	$[m^3 \cdot 10^6]$	37,02	45,49	38,52	41,50	60,95	83,18	112,67	75,52	32,10	17,37	17,55	26,54	
$Q_{ZF}^{75\%}$	$[m^3/s]$	11,17	13,72	11,62	12,52	18,38	25,09	33,99	22,78	9,68	5,24	5,30	8,01	
$V_{ZF}^{75\%}$	$[m^3 \cdot 10^6]$	28,91	35,53	30,09	32,41	47,60	64,97	88,00	58,98	25,07	13,57	13,71	20,73	459,56
$\Sigma V_{ZF,75\%}$	$[m^3 \cdot 10^6]$	28,91	64,44	94,53	126,94	174,54	239,51	327,50	386,49	411,56	425,13	438,84	459,56	
V_V	$[m^3 \cdot 10^6]$	1,48	1,82	1,54	1,66	2,44	3,33	4,51	3,02	1,28	0,69	0,70	1,06	23,54
Q_{RW}	$[m^3/s]$	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
V_{RW}	$[m^3 \cdot 10^6]$	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	5,18	57,02
Q_{EE}	$[m^3/s]$	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	12,02	
V'_{EE}	$[m^3 \cdot 10^6]$	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	31,16	373,87
V_{AF}	$[m^3 \cdot 10^6]$	37,82	38,16	37,88	38,00	38,78	39,67	40,85	39,36	37,62	37,03	37,04	37,40	459,62
ΣV_{AF}	$[m^3 \cdot 10^6]$	37,82	75,98	113,86	151,86	190,64	230,31	271,15	310,51	348,14	385,17	422,21	459,62	

- Annahme – stetige Wasserentnahme \rightarrow d.h. . dass die Wasserentnahme erfolgt über das ganze Jahr;
- Summenlinien der Zu- und Abfluß nach Tabelle V-4d

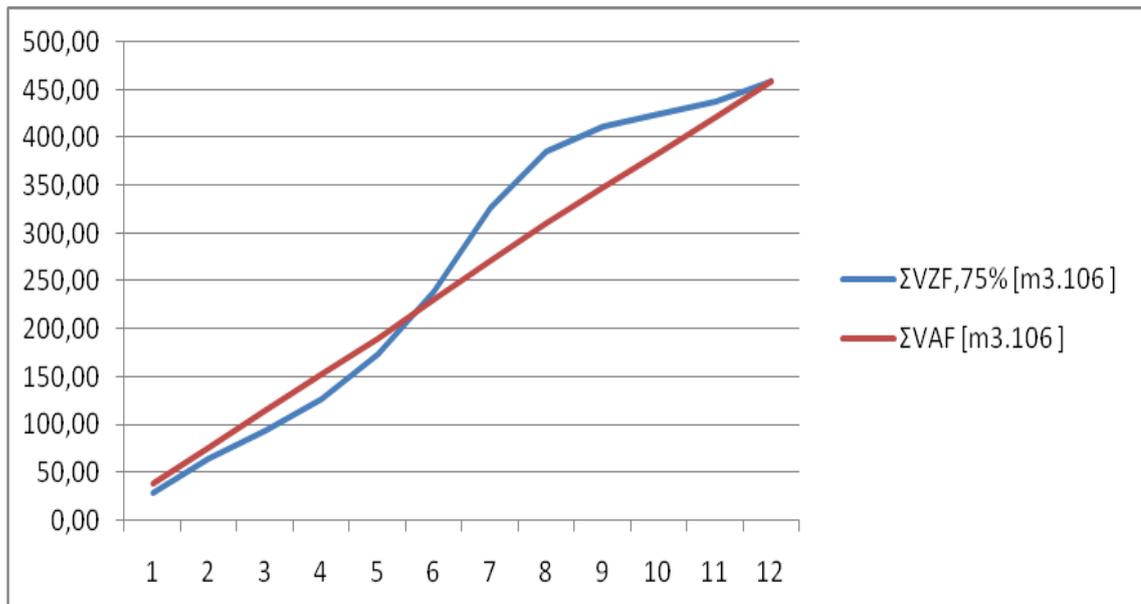


Abb. V-9

V.4.6 Bestimmung der Wasservolumen des Speichers

- ❖ Von der Bilanzgleichung und die Verhältnisse zwischen Zu- und Abfluß

Der gesamte Speicherraum ist in Speicherlamellen eingeteilt, die durch Stau- bzw. Absenckziele begrenzt sind:

- Totraum – entspricht der Speicherlamelle zwischen der Einlaufsohle des Grundablasses und dem tiefsten Punkt im Stauraum. Der Totraum dient zur Aufnahme von Sedimenten und ist anhand kalkulatorischer Lebensdauer der Talsperre von 100 Jahren bemessen.
- Nutzraum – auch Betriebsstauraum genannt – ist zwischen das gewöhnliche Stauziel, als Begrenzung zum Hochwasserschutzraum, und das gewöhnliche/ außergewöhnliche Absenckziel, das mit der Höhe eines Betriebsablasses oft identisch ist, begrenzt.
- Gesamtraum – repräsentiert die Summe aller notwendigen Stauräume im Speicher

V.4.6.1 Bestimmung der erforderlichen Speicherinhalt ΔI

$$\Delta I = V_{ZF}(t) - V_{AF}(t)$$

9. Erfolgt nach Tabelle V-4d

10. Als Ergebnis entsteht die Ganglinie des Speicherinhaltes:

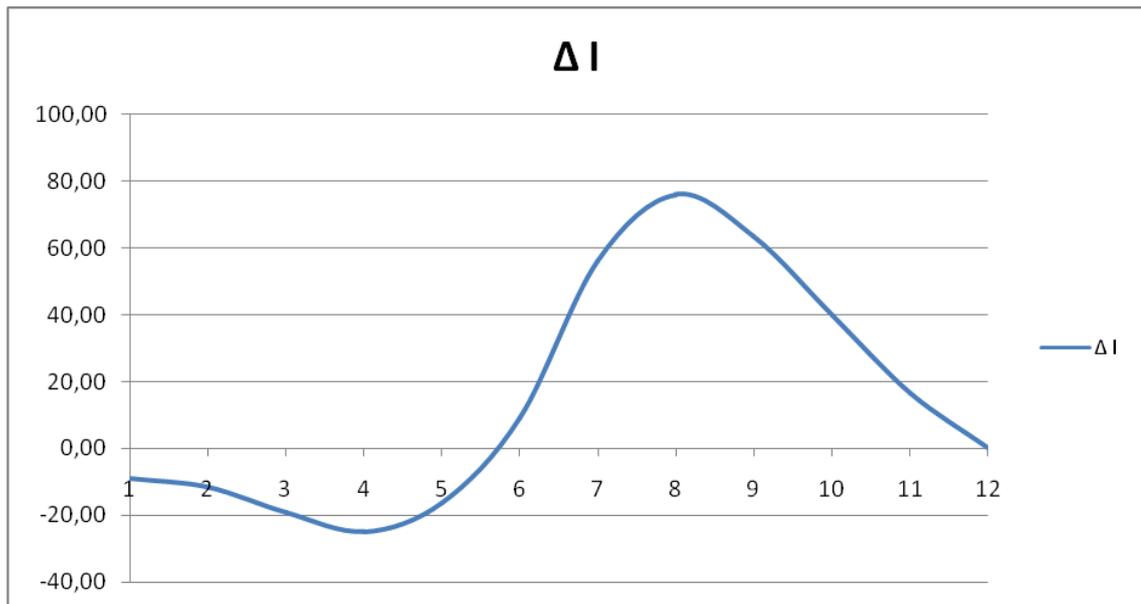


Abb. V-10

- Aus der Grafik der Summenlinien der Zu- und Abflußdaten folgt:
 - ➔ Der Speicher wird als Jahresspeicher betrachtet mit einem Entleerungs- und einem Füllungsmaximum

V.4.6.2 Bestimmung der Mindestinhalt des Speichers für die ganze betrachtete Periode I_{erf} .

$$I_{\text{erf}} = D_{\text{F}} + D_{\text{E}}$$

- D_{F} – Füllmaximum $\rightarrow D_{\text{F}} = V_{\text{ZF}} - V_{\text{AF}}$
- D_{E} – Entleerungsmaximum $\rightarrow D_{\text{E}} = V_{\text{AF}} - V_{\text{ZF}}$

Die Füll- und Entleerungsmaxima werden aus Abb. V-6 abgelesen:

$\Rightarrow D_{\text{F}} = 75.97 \text{ [m}^3 \cdot 10^6 \text{]}$. Die Füllung dauert von Februar bis Juni.

$\Rightarrow D_{\text{E}} = -24.92 \text{ [m}^3 \cdot 10^6 \text{]}$. Die Entleerung dauert von Juni bis Februar.

$$\Rightarrow I_{\text{erf}} = 75.97 + (-24.92) = 50.99 = 51 \text{ [m}^3 \cdot 10^6 \text{]}$$

- ❖ Dann gehen wir in die Beckeninhaltslinie (Abb. III-2) und lesen wir den zulässigen Wasserstand (Höhe):
 - ✓ Die Beckeninhaltslinie ist eine graphische Darstellung der Zusammenhang zwischen Speicherinhalt und Wasserstand.
 - ✓ Eine planimetrisch erstellte Seeflächenlinie ist zur Verfügung – diese zeigt die Beziehung zwischen Wasserspiegel und der zugehörigen Seefläche.
 - ✓ Durch Integration der Seeflächenlinie über die Höhe entsteht die Beckeninhaltslinie.
 - ✓ Zu jedem Wasserstand wird ein eindeutiger Speicherinhalt entsprechen und umgekehrt.



- ✓ Die Beckeninhaltslinie ist immer konkav – im Normalfall ist ein Flusstal mit zunehmender Höhe betrachtet.

⇒ \downarrow OWS = 668 m – abgelesen aus der Beckeninhaltslinie

⇒ $H_{BR} = 53 \text{ m} \rightarrow H_{NT} = 0.9 \cdot H_{BR} = 47.7 \text{ m}$

$$\Rightarrow Q_{erf} = \frac{I_{zul} \cdot 10^6}{n \cdot 24 \cdot 3600} = \frac{51 \cdot 10^6}{365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,62 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow P_{erf} = \rho \cdot g \cdot Q_{erf} \cdot H_{erf} = 1 \cdot 9.81 \cdot 1.62 \cdot 668 = 10616 \text{ W} = 10.60 \text{ kW}$$

V.4.6.3 Ermittlung des Nutzraumes V_{NR}

$$V_{NR}^{\max} = \left| -\Delta V^{\max} \right| + \left| +\Delta V^{\max} \right|$$

$$V_{NR,i} = \left| -\Delta V^{\max} \right| \pm \Delta V_i, \quad i = 1, 2, \dots, 12 - \text{Monate}$$

- ✓ Erfolgt nach Tabelle V-4d und Abb. V-10
- ✓ Die Ergebnisse sind in der Tabelle V-4e eingeführt.

Tabelle V-4e

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
ΔI	$[\text{m}^3 \cdot 10^6]$	-8,91	-11,54	-19,33	-24,92	-16,10	9,20	56,35	75,97	63,42	39,96	16,62	-0,05
V_{NR}	$[\text{m}^3 \cdot 10^6]$	16,01	13,38	5,59	0,00	8,82	34,12	81,27	100,89	88,34	64,87	41,54	24,87

V.4.6.4 Ermittlung des Totraumes V_{TR}

❖ Sedimentraum:

$$V_{Sed} = \frac{\sum_{i=1}^{12} V_{ZF} \cdot T_{BZ} \cdot \rho}{\gamma}$$

$$V_{Sed} = \frac{\sum_{i=1}^{12} V_{ZF} \cdot T_{BZ} \cdot \rho}{\gamma} = \frac{459.59 \cdot 100 \cdot 0.7}{1.3 \cdot 1000} = 24.75 \approx 25 \text{ [Mio.m}^3 / \text{s]} - \text{Totraumvolumen}$$

- ✓ $T_{BZ} = (80 \div 110)$ - in Jahren – Betriebsdauer der Stausee $\Rightarrow T_{BZ} = 100$ angenommen.
- ✓ $\rho = (0,6 \div 0,8), \text{ kg/m}^3$ - zugeführte Sedimente mit dem Wasser $\Rightarrow \rho = 0,7$ angenommen.
- ✓ $\gamma = (1,2 \div 1,4) \cdot 10^3, \text{ kg/m}^3$ - Volumengewicht der Sedimente $\Rightarrow \gamma = 1,3$ angenommen

❖ Ermittlung der Höhe des Sedimentraums:



- ✓ Die Kurve des Speichervolumens in Abhängigkeit zur Höhe des Wassers im Stausee ist vorgegeben. Für die berechnete Werte (entweder Volumen oder Höhe) wird (Höhe oder Volumen) entsprechend abgelesen. Es ist aus Abb. III-2 abgelesen

$$V_{\text{sedim}} = 25 \text{ Mio.m}^3 / \text{s} - H_{\text{Sed}} = 657 \text{ m}$$

- ❖ Ermittlung der Höhe des Totraumes:

$$H_{\text{TR}} = H_s + D_{\text{DSt}} + h_R - \text{Totraumhöhe}$$

- $D_{\text{DSt}} = (3,5 \div 4,5), \text{ m}$ - Stollendiameter $\Rightarrow D_{\text{DSt}} = 4,5$ ist angenommen.

$$- h_R = \max \left\{ \begin{array}{l} \check{h}_R = k_s \cdot (1 + \xi_{\text{El}}) \cdot \frac{v_{\text{st}}^2}{2 \cdot g} - \text{Reserve} \\ \check{h}_R = D_{\text{DST}} / 2 \end{array} \right.$$

$$\check{h}_R = 1,4 \cdot (1 + 0,295) \cdot \frac{3,2^2}{2 \cdot 9,81} = 0,823 \text{ m} - \text{Reserve gegen Lufteinsaugung}$$

$$* \xi_{\text{El}} = 0,295 - \text{Widerstandskoeffizient der Einlauf}$$

$$* k_s = (1,3 \div 1,5) - \text{Koeffizient}$$

$$\Rightarrow k_s = 1,4 \text{ ist angenommen.}$$

$$\check{h}_R = 4,5 / 2 = 2,25 \text{ m,}$$

$$\Rightarrow h_R = 2,25 \text{ m}$$

- $v_{\text{st}} = (3,0 \div 3,5), \text{ m/s}$ - Geschwindigkeit im Stollen $\Rightarrow v_{\text{st}} 3,2$ ist angenommen.

$$\rightarrow H_{\text{TR}} = 657 + 4,5 + 2,25 = 663,75 \approx 664 \text{ m}$$

\Rightarrow

$$V_{\text{TR}} = 38 \text{ Mio.m}^3 / \text{s} - \text{aus der Beckeninhaltslinie}$$

V.4.6.5 Ermittlung der Gesamttraum V_{GR}

$$V_{\text{GR}} = V_{\text{NR}} + V_{\text{TR}}$$

Tabelle V-4f

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
V_{NR}	$[\text{m}^3 \cdot 10^6]$	16,01	13,38	5,59	0,00	8,82	34,12	81,27	100,89	88,34	64,87	41,54	24,87
V_{TR}	$[\text{m}^3 \cdot 10^6]$	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00	38,00
V_{GR}	$[\text{m}^3 \cdot 10^6]$	54,01	51,38	43,59	38,00	46,82	72,12	119,27	138,89	126,34	102,87	79,54	62,87

$$\Rightarrow V_{\text{GR}} = V_{\text{max}} = 138,89 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$



V.4.7 Koten/ Damm

V.4.7.1 Oberwasserspiegel ↓OWS

- Das ist der Wasserstand, der aus der Beckeninhaltslinie abgelesen wird, und entspricht der Gesamtvolumen des Speichers
- Nach den berechneten Daten für das Gesamtvolumen des Speichers werden nach Abb. III-2 (Beckeninhaltslinie) die Wasserstände für den ↓OWS abgelesen (tabelarisch ausgeführt)

Tabelle V-4g

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
V_{GR}	[m ³ ·10 ⁶]	54,01	51,38	43,59	38,00	46,82	72,12	119,27	138,89	126,34	102,87	79,54	62,87
↓OWS	[m]	669,00	668,00	665,60	663,50	665,00	675,40	688,60	695,00	690,50	684,80	677,60	672,40
↓UWS	[m]	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00

- ❖ Der maximale Wert für das Gesamtvolumen entspricht der höchsten Stauziel des Speichers ⇒ H_{Damm}

$$V_{GR} = 138.89 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\Rightarrow \downarrow OWS = 695 \text{ m} \left. \vphantom{\downarrow OWS} \right\} \text{(aus der Beckeninhaltslinie abgelesen)}$$

$$\Rightarrow H_{Damm} = 80 \text{ m}$$

V.4.7.2 Bruttofallhöhe

- Von dem Verhalten zwischen ↓OWS und ↓UWS ist die Bruttofallhöhe H_{BR} berechnet:

$$H_{BR} = \downarrow OWS - \downarrow UWS$$

Und

$$H_{NT} = H_{NT} = H_{BR} - 0.09 \cdot H_{BR}$$

Tabelle V-4h

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
V_{GR}	[m ³ ·10 ⁶]	54,01	51,38	43,59	38,00	46,82	72,12	119,27	138,89	126,34	102,87	79,54	62,87
↓OWS	[m]	669,00	668,00	665,60	663,50	665,00	675,40	688,60	695,00	690,50	684,80	677,60	672,40
↓UWS	[m]	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00	615,00
H_{brutto}	[m]	54,00	53,00	50,60	48,50	50,00	60,40	73,60	80,00	75,50	69,80	62,60	57,40
H_{netto}	[m]	49,14	48,23	46,05	44,14	45,50	54,96	66,98	72,80	68,71	63,52	56,97	52,23

V.4.8 Energiegewinnung

V.4.8.1 Energiegewinnung W

$$W = \frac{V_{EE} * H_{NT}}{C} \text{ [kWh} * 10^6 \text{]}$$



- V_{EE} – nutzbare Wasservolumen zur Energieerzeugung (wurde in Tabelle V-5c berechnet)
- H_{NT} – die Nettofallhöhe (wurde in Tabelle V-4h berechnet)
- C – Energiekonstante $\rightarrow C = 425$

Tabelle V-4i

		XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
W	[kWh·10 ⁶]	3,60	3,54	3,38	3,24	3,34	4,03	4,91	5,34	5,04	4,66	4,18	3,83	49,06
ΣW	[kWh·10 ⁶]	3,60	7,14	10,51	13,75	17,08	21,11	26,02	31,36	36,40	41,05	45,23	49,06	

V.4.8.2 Ermittlung der Ausbauleistung des Wasserkraftwerkes

1. Gegeben:

- ❖ $T_A = 6 \text{ Std./Tag} = 2190 \text{ Std./Jahr}$
- ❖ $\Sigma W = 49.06 \text{ kWh} \cdot 10^6$

2. Gesucht:

- ❖ $Q_A = ?$ – Ausbaudurchfluss für das Wasserkraftwerk

$$W_A = m_1 \cdot T_A \cdot n_1 \cdot P_A + m_2 \cdot T_A \cdot n_2 \cdot P_A + \dots + m_6 \cdot T_A \cdot n_6 \cdot P_A$$

$$P_A = \frac{W_A}{T_A (n_1 \cdot m_1 + n_2 \cdot m_2 + \dots + n_6 \cdot m_6)}$$

$$P_A = \frac{49.06 \cdot 10^6}{2190 (1 \cdot 0.1 + 0.9 \cdot 0.15 + 0.8 \cdot 0.25 + 0.7 \cdot 0.2 + 0.6 \cdot 0.18 + 0.5 \cdot 0.12)}$$

$$P_A = 30150.51 \text{ kW}$$

$$P_A = 9.81 \cdot \eta_{KW} \cdot Q_A \cdot H_{NT}, \text{ wo } \eta_{KW} = 0.8$$

$$H_{NT} = \frac{2H_{NT}^{\min} + H_{NT}^{\max}}{3}$$

$$H_{NT} = \frac{2 \cdot 44.14 + 72.80}{3} = 53.69 \text{ m}$$

$$Q_A = \frac{P_A}{9.81 \cdot \eta_{KW} \cdot H_{NT}} = \frac{30150.51}{9.81 \cdot 0.8 \cdot 53.69} = 71.56 \approx 72 \text{ m}^3 / \text{s}$$

- ❖ **Alle berechnete Daten werden auf der Beckeninhaltslinie aufgezeichnet, um eine bessere visuelle Darstellung zu erfolgen (Abb. V-11).**

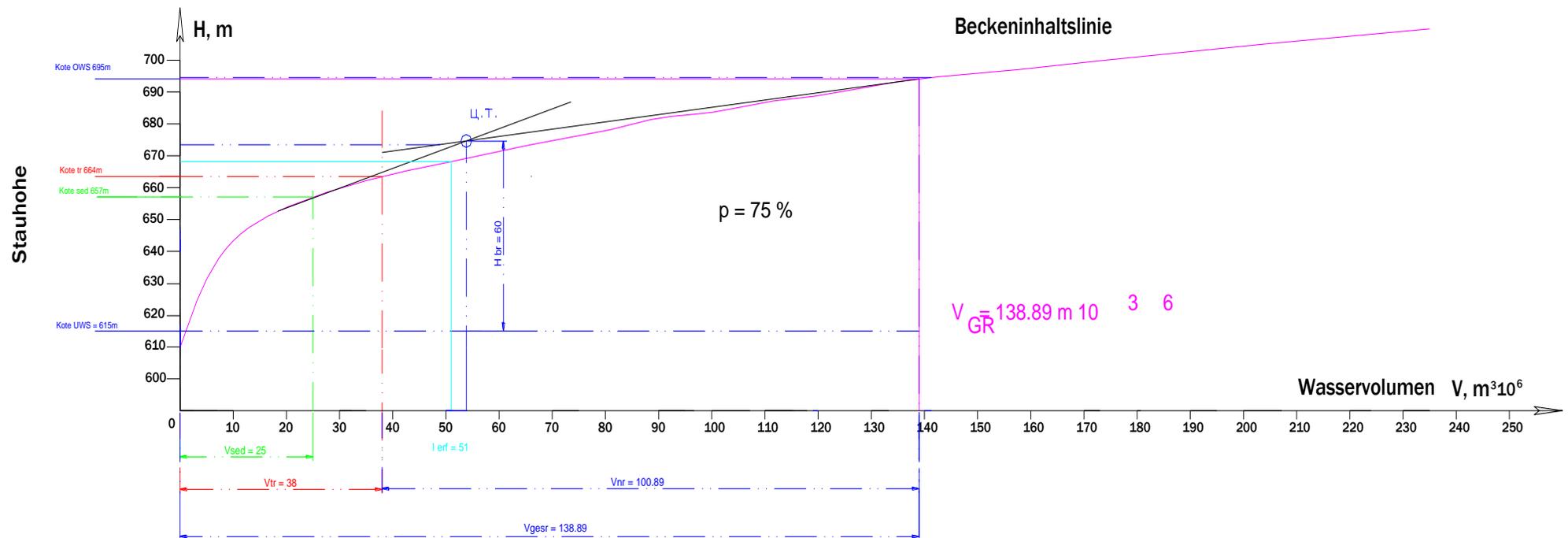


Abb. V-11



VI. Ergebnisse

- ❖ Nach den Berechnungen erfolgen folgende Ergebnisse infolge Zuflußdaten mit bestimmter Wahrscheinlichkeit

VI.1 III. Fall

$$p = 75 \%$$

$$V_{GR} = 138.89 \cdot 10^6$$

$$Q_A = 72 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\downarrow UWS = 615 \text{ m}$$

$$\downarrow OWS = 695 \text{ m}$$

$$H_{Damm} = 80 \text{ m}$$



VII. Schlußfolgerungen

Die gestellte Aufgabe war die Bemessung des Volumens eines wasserwirtschaftlichen Speichers am Fluss Mesta in Bulgarien, der zur Energiegewinnung und somit zur Gewährleistung der energiewirtschaftlichen Nutzung vorgesehen ist. Zur Verfügung stehen die Durchflussdaten für die Periode 1937 - 2010, die als durchschnittliche monatliche Zuflusswassermengen dargestellt sind. Zur Lösung der Aufgabe sind die Verfahren der Hydrologie und Ingenieurhydrologie verwendet und spezifisch die Methoden zur Wasserwirtschaft und Wasserbewirtschaftung. Um die Sollabgabenregelung des Speichers zu gewährleisten sind die Zuflusswassermengen mit einer Wahrscheinlichkeit umgerechnet. In diesem Fall wurde eine Wahrscheinlichkeit von 75 % abgenommen. Es könnten auch andere Szenarien betrachtet werden, wie z.B. mit Wahrscheinlichkeit von 85 % oder 95 %, die aber nicht komplett repräsentativ für die Betriebsperiode seien. Da bei einer Wahrscheinlichkeit von 95 % würde es gezeigt, dass das Leistungsdiagramm fast über die ganze betrachtete Periode gedeckt würde, weil so eine Wahrscheinlichkeit ein extrem trockenes Jahr betrachtet. Somit könnte es nicht gesehen werden, was es bei feuchte Jahren passieren würde. Fast dasselbe gilt auch bei einer Wahrscheinlichkeit von 85 %. Da der Fluss sich in Bulgarien befindet und die Speicherbewirtschaftung dann nach den bulgarischen Regelungen und Vorschriften zu realisieren ist, werden diese in Betracht genommen. Die Wasserbewirtschaftung in Bulgarien erfolgte in der Vergangenheit durch Berücksichtigung von einer Wahrscheinlichkeit von 85 %. Da aber die Bedingungen, die Bedarfseigenschaften der Nutzern, sowie Flusseigenschaften und Flussskanten sich mit der Zeit geändert haben, wurden auch die Regelungen und Normen verändert. Es wird für die Lösung der Bemessungsaufgabe zur Zeit in Bulgarien eine Wahrscheinlichkeit von 75 % angenommen. Sie hat sich als repräsentativ bei den hydrologischen Berechnungen durchgesetzt. Da solche Wahrscheinlichkeit ein durchschnittliches Jahr beschreibt – nicht extrem trocken oder extrem feucht. Danach sind die Berechnungen tabellarisch durchgeführt, wobei die Zu- und Abflusskomponenten für die Bilanzgleichung ermittelt wurden, welche als grundsätzlich in diesem Fall genommen sind. Von der Lösung der Bilanzgleichung ergaben sich die verschiedene Speicherräume. Diese Volumen wurden, dann auf der Beckeninhaltslinie dargestellt. Der gesuchte Gesamtvolumen des Speichers bezeichnet sich nach der Summierung aller Wasservolumen von der Absenke bis zur Dammkrone (höchster Stauziel). Jetzt können die anderen Werte, die für die weitere Schritte - die Konstruktion, notwendig sind, ermittelt werden.



VIII. Anhänge

1. Anhang 4 – C_s, C_v

Tabelle VIII-1

C _s	Wahrscheinlichkeit p _i [%]																					
	0.01	0.1	0.5	1	2	3	5	10	20	25	30	40	50	60	70	75	80	90	95	97	99	99.9
0.0	3.720	3.090	2.580	2.330	2.020	1.880	1.640	1.280	0.840	0.670	0.520	0.250	0.000	-0.250	-0.520	-0.670	-0.840	-1.280	-1.640	-1.880	-2.230	-3.090
0.1	3.940	3.230	2.670	2.400	2.110	1.920	1.670	1.290	0.840	0.660	0.510	0.240	-0.020	-0.270	-0.530	-0.680	-0.850	-1.270	-1.610	-1.840	-2.250	-2.950
0.2	4.160	3.380	2.760	2.470	2.160	1.960	1.700	1.300	0.830	0.650	0.500	0.220	-0.030	-0.280	-0.550	-0.690	-0.850	-1.260	-1.580	-1.790	-2.180	-2.810
0.3	4.380	3.520	2.860	2.540	2.210	2.000	1.720	1.310	0.820	0.640	0.480	0.200	-0.050	-0.300	-0.560	-0.700	-0.850	-1.240	-1.550	-1.750	-2.100	-2.670
0.4	4.610	3.660	2.950	2.610	2.260	2.040	1.750	1.320	0.820	0.630	0.470	0.190	-0.070	-0.310	-0.570	-0.710	-0.850	-1.230	-1.520	-1.700	-2.030	-2.540
0.5	4.830	3.810	3.040	2.680	2.310	2.080	1.770	1.320	0.810	0.620	0.460	0.170	-0.080	-0.330	-0.580	-0.710	-0.850	-1.220	-1.490	-1.660	-1.960	-2.400
0.6	5.050	3.960	3.130	2.750	2.350	2.120	1.800	1.330	0.800	0.610	0.440	0.160	-0.100	-0.340	-0.590	-0.720	-0.850	-1.200	-1.450	-1.610	-1.880	-2.270
0.7	5.280	4.100	3.220	2.820	2.400	2.150	1.820	1.330	0.790	0.590	0.430	0.140	-0.120	-0.360	-0.600	-0.720	-0.850	-1.180	-1.420	-1.570	-1.810	-2.140
0.8	5.500	4.240	3.310	2.890	2.450	2.180	1.840	1.340	0.780	0.580	0.410	0.120	-0.130	-0.370	-0.600	-0.730	-0.850	-1.170	-1.360	-1.520	-1.740	-2.020
0.9	5.730	4.380	3.400	2.960	2.500	2.220	1.860	1.340	0.770	0.570	0.400	0.110	-0.150	-0.380	-0.610	-0.730	-0.850	-1.150	-1.350	-1.470	-1.660	-1.900
1.0	5.960	4.530	3.490	3.020	2.540	2.250	1.880	1.340	0.760	0.550	0.380	0.090	-0.160	-0.390	-0.620	-0.730	-0.850	-1.130	-1.320	-1.420	-1.590	-1.790
1.1	6.180	4.670	3.580	3.090	2.580	2.280	1.890	1.340	0.740	0.540	0.360	0.080	-0.180	-0.410	-0.620	-0.740	-0.850	-1.100	-1.280	-1.380	-1.520	-1.680
1.2	6.410	4.810	3.660	3.150	2.620	2.310	1.920	1.340	0.730	0.520	0.350	0.070	-0.190	-0.420	-0.630	-0.740	-0.840	-1.080	-1.240	-1.330	-1.450	-1.580
1.3	6.640	4.950	3.740	3.210	2.670	2.310	1.940	1.340	0.720	0.510	0.330	0.040	-0.210	-0.430	-0.630	-0.740	-0.840	-1.060	-1.200	-1.280	-1.380	-1.480
1.4	6.870	5.090	3.830	3.270	2.710	2.370	1.950	1.340	0.710	0.490	0.310	0.020	-0.220	-0.440	-0.640	-0.730	-0.830	-1.040	-1.170	-1.230	-1.320	-1.390
1.5	7.090	5.280	3.910	3.330	2.740	2.390	1.960	1.330	0.690	0.470	0.300	0.000	-0.240	-0.450	-0.640	-0.730	-0.820	-1.020	-1.130	-1.190	-1.260	-1.310
1.6	7.310	5.370	3.990	3.390	2.780	2.420	1.970	1.330	0.680	0.460	0.280	-0.020	-0.250	-0.460	-0.640	-0.730	-0.810	-0.990	-1.100	-1.140	-1.200	-1.240
1.7	7.540	5.500	4.070	3.440	2.820	2.440	1.980	1.320	0.660	0.440	0.260	-0.030	-0.270	-0.470	-0.640	-0.720	-0.810	-0.970	-1.060	-1.100	-1.140	-1.170
1.8	7.760	5.640	4.150	3.500	2.850	2.460	1.990	1.320	0.640	0.420	0.240	-0.050	-0.280	-0.480	-0.640	-0.720	-0.800	-0.940	-1.020	-1.060	-1.090	-1.110
1.9	7.980	5.770	4.230	3.550	2.880	2.490	2.000	1.310	0.630	0.400	0.220	-0.070	-0.290	-0.480	-0.640	-0.720	-0.790	-0.920	-0.980	-1.010	-1.040	-1.050
2.0	8.210	5.910	4.300	3.600	2.910	2.510	2.000	1.300	0.610	0.390	0.200	-0.080	-0.310	-0.490	-0.640	-0.710	-0.780	-0.900	-0.950	-0.970	-0.990	-1.000
2.1	-	6.040	4.380	3.650	2.940	2.530	2.010	1.290	0.590	0.370	0.180	-0.100	-0.320	-0.500	-0.640	-0.700	-0.760	-0.866	-0.914	-0.930	-0.945	-0.953
2.2	-	6.140	4.460	3.680	2.950	2.540	2.010	1.270	0.570	0.350	0.160	-0.120	-0.330	-0.500	-0.640	-0.690	-0.750	-0.842	-0.872	-0.895	-0.905	-0.910
2.3	-	6.260	4.520	3.730	2.980	2.570	2.010	1.260	0.550	0.320	0.140	-0.130	-0.340	-0.500	-0.630	-0.680	-0.740	-0.815	-0.850	-0.860	-0.867	-0.870
2.4	-	6.370	4.590	3.780	3.020	2.600	2.000	1.250	0.520	0.290	0.120	-0.140	-0.350	-0.510	-0.620	-0.670	-0.720	-0.792	-0.820	-0.826	-0.830	-0.834
2.5	-	6.500	4.660	3.820	3.050	2.620	2.000	1.230	0.500	0.270	0.100	-0.160	-0.360	-0.510	-0.620	-0.660	-0.710	-0.768	-0.790	-0.795	-0.800	-0.800
2.6	-	6.540	4.720	3.860	3.080	2.630	2.000	1.210	0.480	0.250	0.085	-0.170	-0.370	-0.510	-0.610	-0.660	-0.700	-0.746	-0.764	-0.766	-0.770	-0.770
2.7	-	6.750	4.800	3.920	3.100	2.640	2.000	1.190	0.460	0.240	0.070	-0.180	-0.380	-0.510	-0.610	-0.650	-0.680	-0.724	-0.736	-0.739	-0.740	-0.740
2.8	-	6.860	4.860	3.960	3.120	2.650	2.000	1.180	0.440	0.220	0.057	-0.200	-0.390	-0.510	-0.600	-0.640	-0.670	-0.703	-0.711	-0.714	-0.715	-0.715
2.9	-	7.000	4.910	4.010	3.120	2.660	1.990	1.150	0.410	0.200	0.041	-0.210	-0.390	-0.510	-0.600	-0.630	-0.650	-0.681	-0.689	-0.690	-0.690	-0.690



3.0	-	7.100	4.950	4.050	3.140	2.660	1.970	1.130	0.390	0.190	0.027	-0.220	-0.400	-0.510	-0.590	-0.620	-0.640	-0.661	-0.665	-0.666	-0.666	-0.666
3.1	-	7.230	5.010	4.090	3.140	2.660	1.970	1.110	0.370	0.180	0.010	-0.230	-0.400	-0.510	-0.580	-0.600	-0.620	-0.641	-0.645	-0.646	-0.646	-0.646
3.2	-	7.350	5.080	4.110	3.140	2.660	1.960	1.090	0.350	0.150	-0.006	-0.250	-0.410	-0.510	-0.570	-0.590	-0.610	-0.621	-0.625	-0.625	-0.625	-0.625
3.3	-	7.440	5.140	4.150	3.140	2.660	1.950	1.080	0.330	0.130	-0.022	-0.260	-0.410	-0.500	-0.560	-0.580	-0.590	-0.605	-0.606	-0.606	-0.606	-0.606
3.4	-	7.540	5.190	4.180	3.150	2.660	1.940	1.060	0.310	0.110	-0.036	-0.270	-0.410	-0.500	-0.550	-0.570	-0.580	-0.586	-0.589	-0.589	-0.589	-0.589
3.5	-	7.640	5.250	4.210	3.160	2.660	1.930	1.040	0.290	0.085	-0.049	-0.280	-0.410	-0.500	-0.540	-0.550	-0.560	-0.570	-0.571	-0.571	-0.571	-0.571
3.6	-	7.720	5.300	4.240	3.170	2.660	1.930	1.030	0.280	0.064	-0.072	-0.280	-0.420	-0.490	-0.540	-0.540	-0.550	-0.555	-0.556	-0.556	-0.556	-0.556
3.7	-	7.860	5.350	4.260	3.180	2.660	1.900	1.010	0.260	0.048	-0.084	-0.290	-0.420	-0.480	-0.520	-0.530	-0.540	-0.541	-0.541	-0.541	-0.541	-0.541
3.8	-	7.970	5.400	4.290	3.180	2.650	1.900	1.000	0.240	0.032	-0.095	-0.300	-0.420	-0.480	-0.510	-0.520	-0.520	-0.526	-0.526	-0.526	-0.526	-0.526
3.9	-	8.080	5.450	4.320	3.200	2.650	1.900	0.980	0.210	0.020	-0.110	-0.300	-0.410	-0.470	-0.500	-0.510	-0.510	-0.513	-0.513	-0.513	-0.513	-0.513
4.0	-	8.170	5.500	4.340	3.200	2.650	1.900	0.960	0.210	0.010	-0.120	-0.310	-0.410	-0.460	-0.490	-0.490	-0.500	-0.500	-0.500	-0.500	-0.500	-0.500
4.1	-	8.290	5.550	4.360	3.220	2.650	1.890	0.950	0.200	0.000	-0.130	-0.310	-0.410	-0.460	-0.480	-0.484	-0.487	-0.487	-0.487	-0.487	-0.487	-0.487
4.2	-	8.380	5.600	4.390	3.240	2.640	1.880	0.930	0.190	-0.010	-0.130	-0.310	-0.410	-0.450	-0.470	-0.473	-0.475	-0.476	-0.476	-0.476	-0.476	-0.476
4.3	-	8.490	5.650	4.400	3.240	2.640	1.870	0.920	0.170	-0.021	-0.140	-0.320	-0.400	-0.440	-0.460	-0.462	-0.465	-0.465	-0.465	-0.465	-0.465	-0.465
4.4	-	8.600	5.690	4.420	3.250	2.630	1.860	0.910	0.150	-0.032	-0.150	-0.320	-0.400	-0.440	-0.451	-0.454	-0.455	-0.455	-0.455	-0.455	-0.455	-0.455
4.5	-	8.690	5.740	4.440	3.260	2.620	1.850	0.890	0.140	-0.042	-0.160	-0.320	-0.400	-0.430	-0.441	-0.444	-0.445	-0.445	-0.445	-0.445	-0.445	-0.445
4.6	-	8.790	5.790	4.460	3.270	2.620	1.840	0.870	0.130	-0.052	-0.170	-0.320	-0.400	-0.420	-0.432	-0.434	-0.435	-0.435	-0.435	-0.435	-0.435	-0.435
4.7	-	8.890	5.840	4.490	3.280	2.610	1.830	0.850	0.110	-0.064	-0.180	-0.320	-0.400	-0.420	-0.424	-0.425	-0.426	-0.426	-0.426	-0.426	-0.426	-0.426
4.8	-	8.960	5.890	4.500	3.290	2.600	1.810	0.820	0.100	-0.075	-0.190	-0.320	-0.390	-0.410	-0.416	-0.415	-0.416	-0.416	-0.416	-0.416	-0.416	-0.416
4.9	-	9.040	5.900	4.510	3.300	2.600	1.800	0.800	0.084	-0.087	-0.190	-0.330	-0.386	-0.401	-0.407	-0.408	-0.409	-0.409	-0.409	-0.409	-0.409	-0.409
5.0	-	9.120	5.940	4.540	3.320	2.600	1.780	0.780	0.068	-0.099	-0.200	-0.330	-0.380	-0.395	-0.399	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400	-0.400
5.1	-	9.200	5.980	4.570	3.320	2.600	1.760	0.760	0.051	-0.110	-0.210	-0.330	-0.376	-0.388	-0.391	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392	-0.392
5.2	-	9.270	6.020	4.590	3.330	2.600	1.740	0.730	0.035	-0.120	-0.210	-0.330	-0.370	-0.382	-0.384	-0.385	-0.385	-0.385	-0.385	-0.385	-0.385	-0.385



IX. Literatur und Quellen

1. Hinweise Ingenieurhydrologie für die praktische Ausbildung der Studenten der II. Und III. Kursausbildung bei der Fakultät für Wasserbau; Sofia, 2013; Doz. Dr. Ing. Stefan Modev, Doz. Dr. Ing. M. Petchinova, Doz. Dr. Ing. V. Bozhkov.
2. Hydrologie und Wasserwirtschaft Eine Einführung für Ingenieure, 6., neu bearbeitete Auflage; Ulrich Maniak
3. Grundlagen der Hydrologie, 2. Bearbeitete Auflage; Dyck, Siegfried; Peschke, Gert
4. Ministerium für Umwelt und Wasser, Basin Direktion „Region West“ (WABD), Bewirtschaftungsplan für das Einzugsgebiet im westlichen Region.
5. Ministerium für Umwelt und Wasser, „Region West“, „Integrierte Wasserwirtschaftsplan des Flusses Mesta (Phase II)“, Technischer Bericht TR8 Hydrologisches Model, August 2007