



Diagramme zur Bestimmung der flächigen Ausbreitung von Breschenabflüssen

(Verfahren "Beffa")

BFE Hilfsmittel

Die letzte Fassung ersetzt die früheren Fassungen

Version	Abänderung	Datum
2.0	Im Zuge der Totalrevision der BWG Richtlinie 2002	26.6.2014



Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen und Annahmen	3
1.1. Ein- und zweidimensionale Flutwellenabflüsse	3
1.2. Grenzen des Verfahrens	3
2. Schritte des Beffa - Verfahrens	4
2.1. Schritt 1: Zusammenstellung der freien Parameter	4
2.2. Schritt 2: Berechnung von charakteristischen Grössen	5
2.3. Schritt 3: Korrekturen der charakteristischen Grössen für $Vol_0 < 4000$	5
2.4. Schritt 4: Ermittlung des spezifischen Abflusses q_x in der Strahlachse ($y = 0$)	6
2.5. Schritt 5: Ermittlung der Fliessgeschwindigkeit v_x in der Strahlachse ($y = 0$)	6
2.6. Schritt 6: Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung	9
2.7. Schritt 7: Ermittlung der Abflusshöhe und der Energiehöhe	9
3. Beispiel	12
3.1. Schritt 1: Zusammenstellung der freien Parameter	12
3.2. Schritt 2: Berechnung von charakteristischen Grössen	12
3.3. Schritt 3: Korrekturen der charakteristischen Grössen für $Vol_0 < 4000$	13
3.4. Schritt 4: Ermittlung des spezifischen Abflusses q_x in der Strahlachse ($y = 0$)	13
3.5. Schritt 5: Ermittlung der Fliessgeschwindigkeit v_x in der Strahlachse ($y = 0$)	13
3.6. Schritt 6: Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung	13
3.7. Schritt 7: Ermittlung der Abflusshöhe und der Energiehöhe	13
4. Programmierung des Verfahrens	14



1. Vorbemerkungen und Annahmen

1.1. Ein- und zweidimensionale Flutwellenabflüsse

Nach dem Bruch eines Absperrbauwerks fliesst das Stauraumvolumen als Flutwelle durch die Bresche ab. Weist das Abflussgebiet eine deutliche Talform auf, so erfolgt die Wellenausbreitung primär eindimensional. Die Abflussmengen, Abflusshöhen und Eintreffzeiten lassen sich dann mit Abschätzverfahren oder eindimensionaler Modellberechnungen bestimmen, z.B. nach dem Verfahren CTGREF ([CTGREF 1978], BFE-Hilfsmittel [BFE 2014b]).

Das hier vorgestellte Parameterverfahren erlaubt mit Hilfe von Diagrammen die rasche Abschätzung der Intensität der Überflutung an einem vorgegebenen Standort infolge des Bruchs einer kleineren Stauanlage, wenn die Flutwelle sich zweidimensional auf einer schiefen Ebene ausbreitet. Die dabei ermittelten Grössen betreffen die Abnahme von Abflusshöhe und Abflussintensität (Fließgeschwindigkeit, spezifischer Abfluss, Energiehöhe) in Funktion der Distanz von der Bresche, sowie die flächige Ausbreitung des Abflusstrahls für ebene und geneigte Flächen. Das Verfahren nimmt eine Rechteckbresche an.

1.2. Grenzen des Verfahrens

Das Parameterverfahren stellt unter folgenden Bedingungen eine zuverlässige Methode dar:

- Eine sachlich korrekte Schätzung der freien Parameter ist möglich.
- Es herrschen mittlere bis grosse Sohlengefälle (ab ca. 0.5%).
- Quergefälle und Variationen im Längsgefälle sind gering.

Bei kleinem Gefälle ist die Wellenausbreitung in Breschennähe primär radial, was die laterale Verteilung der Intensitäten beeinflusst. Die Anwendung des Verfahrens ist jedoch auch für Gefälle <0.5% zulässig, sofern:

- die Werte entlang der Strahlachse verwendet werden
- oder die Distanz von der Bresche genügend gross ist ($X > 20$).

Wie weit die verschiedenen Fehlereinflüsse die Genauigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen, ist schwierig zu bestimmen und hängt zudem von der Fragestellung ab. Weisen Sensitivitätsanalysen darauf hin, dass die Resultate nicht in der geforderten Genauigkeit bestimmt werden können, so ist der Einsatz eines Simulationsmodelles zu prüfen.

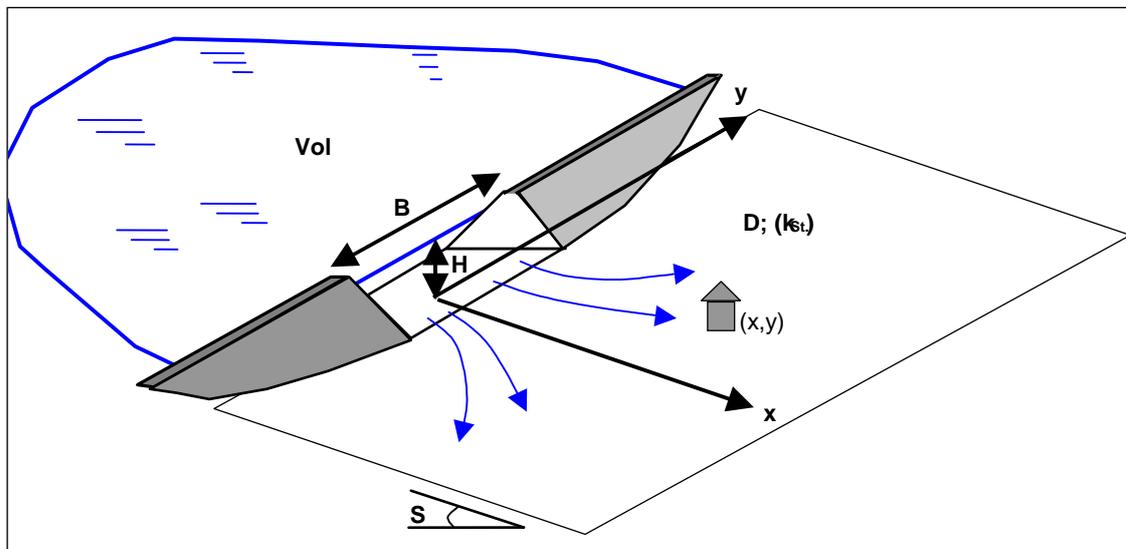


2. Schritte des Beffa - Verfahrens

2.1. Schritt 1: Zusammenstellung der freien Parameter

Folgende freie Parameter (vgl. Figur 1) sind in einem ersten Schritt zu ermitteln:

Parameter	Bezeichnung	Einheit	Bemerkung
Stauhöhe	H	m	
Breschenbreite	B	m	
Sohlengefälle	S	%	
mittlerer Korndurchmesser	D	m	allenfalls nach Tabelle 1 umgerechnet
Speichervolumen	Vol	m ³	
Distanz von der Sperre	x	m	interessierender Standort
laterale Distanz von der Strahlachse	y	m	interessierender Standort



Figur 1: Lage der Koordinatenachsen und massgebende Parameter

Für die Umrechnung eines Strickler-Reibungskoeffizienten K in den im Verfahren verwendeten mittleren Korndurchmesser D können die Werte in Tabelle 1 verwendet werden. Die Umrechnung erfolgt nach der Formel $D = \{21/K\}^6$.

K [m^{1/3}/s]	20	25	30	35	40	45
D [m]	1.34	0.35	0.12	0.05	0.02	0.01

Tabelle 1: Umrechnung von Strickler-K-Werten in mittlere Korndurchmesser D



2.2. Schritt 2: Berechnung von charakteristischen Grössen

Ausgehend von den im Schritt 1 ermittelten freien Parametern werden folgende charakteristische Grössen berechnet:

Charakteristische Grösse	Ausdruck	Einheit	Bemerkung
Dimensionsloses Speichervolumen Vol_0	$Vol_0 = \frac{Vol}{BH^2}$	-	
Längenskala L_0 bzw. L_q	$L_0 = L_q = \sqrt{BH}$	m	
Dimensionloser Breschenabstand X_0	$X_0 = x / L_0$	-	
Dimensionloser Breschenabstand X_q	$X_q = x / L_0$	-	für den spezifischen Abfluss; ist gleich X_0 für grosse Speichervolumina
Dimensionloser Breschenabstand X_v	$X_v = x / L_0$	-	für die Fließgeschwindigkeit; ist gleich X_0 für grosse Speichervolumina
Skala des spezifischen Abflusses Q	$Q = \frac{\sqrt{gB}}{3.13} H \left(\frac{H}{30D} \right)^n$	m ² /s	$n = \begin{cases} 0 & \text{für } X_q < 6 \\ 1/10 & \text{für } X_q \geq 6 \end{cases}$ Der Ausdruck $\sqrt{g} / 3.13$ nimmt für SI-Einheiten den Wert 1.0 an.
Skala der Fließgeschwindigkeit V	$V = \sqrt{gH} \left(\frac{H}{30D} \right)^n$	m/s	$n = \begin{cases} 1/10 & \text{für } X_q < 6 \\ 1/4 & \text{für } X_q \geq 6 \end{cases}$

2.3. Schritt 3: Korrekturen der charakteristischen Grössen für $Vol_0 < 4000$

Für Werte des dimensionslosen Speichervolumens Vol_0 kleiner als 4000 ist eine **Korrektur der dimensionlosen Breschenabstände X_q und X_v sowie der Längenskala L_q** notwendig, zur Berücksichtigung der beschränkten Speichergrösse. Für grössere Werte des dimensionslosen Speichervolumens ist hingegen ohne Korrektur mit Schritt 4 weiterzufahren.

Die dimensionlosen Breschenabstände X_q und X_v werden wie folgt korrigiert:

1. Berechnung von $X_{min,q} = k_q Vol_0^{1/3}$ mit dem Faktor k_q aus Tabelle 2

Sohlengefälle S	0.25%	2%	4%	8%	16%
k_q	2.5	2.5	3.0	4.0	5.0

Tabelle 2: Koeffizient k_q zur Ermittlung der Distanz $X_{min,q}$



2. Berechnung der modifizierten Längenskala L_q für den spezifischen Abfluss:

$$L_q = L_o \left(\frac{4000}{\min(\text{Vol}_o, 4000)} \right)^{-n} \left(\frac{X_o - X_{\min, q}}{X_{\min, q}} \right)^n \quad \text{mit } n = 1/5$$

3. Korrektur des dimensionlosen Breschenabstandes X_q

$$X_q = x / L_q$$

4. Berechnung von $X_{\min, v} = k_v \text{Vol}_o^{1/3}$ mit dem Faktor k_v aus Tabelle 3

Sohlengefälle S	0.25%	2%	4%	8%	16%
k_v	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0

Tabelle 3: Koeffizient k_v zur Ermittlung der Distanz $X_{\min, v}$

5. Berechnung der modifizierten Längenskala L_v für die Fließgeschwindigkeit:

$$L_v = L_o \left(\frac{4000}{\min(\text{Vol}_o, 4000)} \right)^{-n} \left(\frac{X_o - X_{\min, v}}{X_{\min, v}} \right)^n \quad \text{mit } n = 1/7$$

6. Korrektur des dimensionlosen Breschenabstandes X_v

$$X_v = x / L_v$$

2.4. Schritt 4: Ermittlung des spezifischen Abflusses q_x in der Strahlachse ($y = 0$)

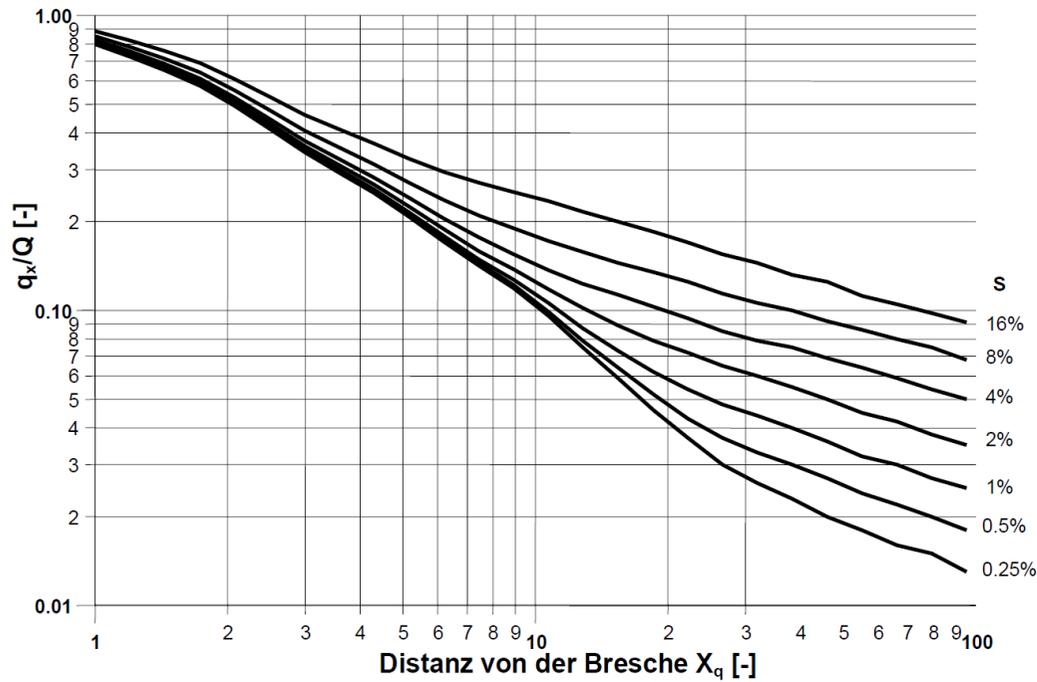
Mit Hilfe der Figur 2 (bzw. den Werten in Tabelle 4) wird der für den gesuchten Standort massgebende dimensionslose Wert des spezifischen Abflusses q_x / Q ermittelt, als Funktion des dimensionlosen Breschenabstandes X_q und des Sohlengefälles S. Im Breschenbereich gilt $q_x / Q \approx 1.0$.

Anschliessend wird mit Q der spezifische Abfluss q_x berechnet.

2.5. Schritt 5: Ermittlung der Fließgeschwindigkeit v_x in der Strahlachse ($y = 0$)

Mit Hilfe der Figur 3 (bzw. den Werten in Tabelle 5) wird der für den gesuchten Standort massgebende dimensionslose Wert der Fließgeschwindigkeit v_x / V ermittelt, als Funktion des dimensionlosen Breschenabstandes X_v und des Sohlengefälles S.

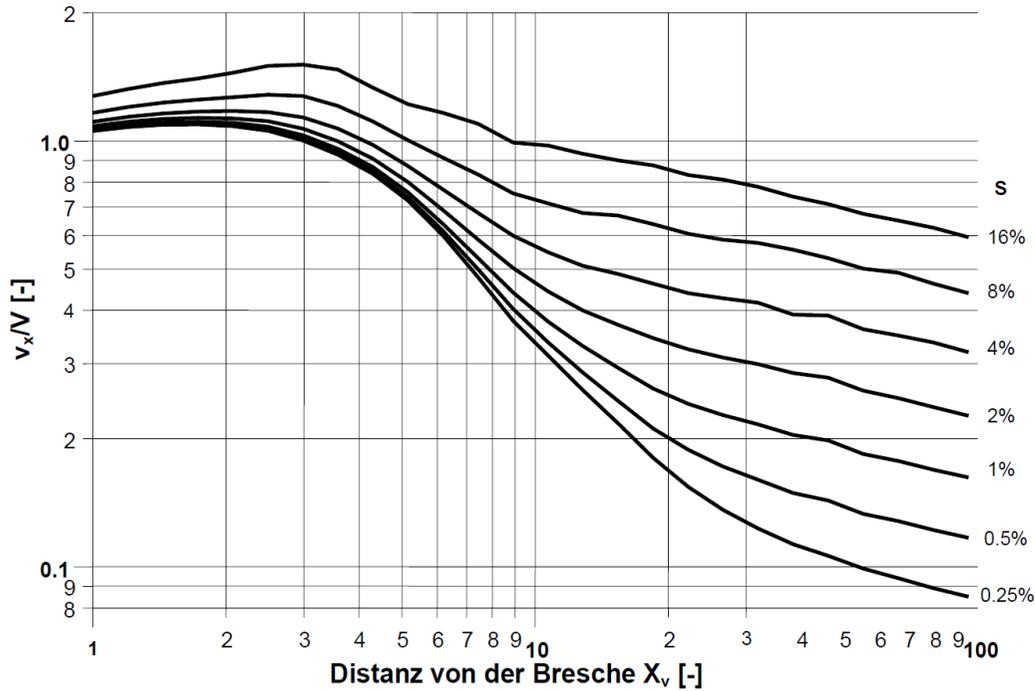
Anschliessend wird mit V die Fließgeschwindigkeit v_x berechnet.



Figur 2: Diagramm zur Ermittlung von q_x / Q

Tabelle 4: Werte für den dimensionslosen maximalen spezifischen Abfluss q_x / Q [-]

Distanz X_q	Gefälle S [%]						
	0.25	0.5	1	2	4	8	16
1.00	0.798	0.804	0.806	0.817	0.827	0.850	0.884
1.20	0.725	0.730	0.733	0.744	0.756	0.782	0.822
1.44	0.652	0.657	0.660	0.672	0.685	0.713	0.758
1.73	0.577	0.582	0.586	0.597	0.611	0.641	0.690
2.07	0.494	0.499	0.502	0.513	0.528	0.558	0.609
2.49	0.413	0.417	0.421	0.432	0.446	0.477	0.530
2.99	0.344	0.347	0.351	0.361	0.376	0.407	0.460
3.58	0.293	0.297	0.301	0.311	0.326	0.357	0.411
4.30	0.250	0.253	0.257	0.267	0.282	0.313	0.368
5.16	0.208	0.211	0.215	0.225	0.241	0.271	0.327
6.19	0.171	0.174	0.179	0.189	0.205	0.237	0.295
7.43	0.142	0.145	0.149	0.159	0.177	0.210	0.271
8.92	0.119	0.122	0.127	0.138	0.155	0.190	0.252
10.7	0.096	0.099	0.106	0.118	0.137	0.172	0.235
12.8	0.075	0.079	0.087	0.102	0.123	0.158	0.216
15.4	0.059	0.064	0.073	0.089	0.113	0.145	0.200
18.5	0.046	0.052	0.062	0.079	0.103	0.135	0.185
22.2	0.037	0.043	0.054	0.072	0.094	0.125	0.170
26.6	0.030	0.037	0.048	0.065	0.085	0.114	0.155
31.9	0.026	0.033	0.044	0.060	0.079	0.106	0.145
38.3	0.023	0.030	0.040	0.055	0.075	0.100	0.132
46.0	0.020	0.027	0.036	0.050	0.069	0.092	0.125
55.2	0.018	0.024	0.032	0.045	0.064	0.086	0.112
66.2	0.016	0.022	0.030	0.042	0.059	0.080	0.105
79.5	0.015	0.020	0.027	0.038	0.054	0.075	0.098
95.4	0.013	0.018	0.025	0.035	0.050	0.068	0.091
114.5	0.012	0.017	0.023	0.032	0.048	0.065	0.083



Figur 3: Diagramm zur Ermittlung von v_x / V

Tabelle 5: Werte für die dimensionslose maximale Fließgeschwindigkeit v_x / V [-]

Distanz X_v	Gefälle S [%]						
	0.25	0.5	1	2	4	8	16
1.00	1.055	1.060	1.067	1.083	1.109	1.164	1.274
1.20	1.078	1.084	1.091	1.109	1.139	1.201	1.324
1.44	1.091	1.098	1.106	1.126	1.160	1.230	1.367
1.73	1.093	1.100	1.110	1.133	1.172	1.250	1.401
2.07	1.083	1.091	1.103	1.129	1.175	1.267	1.445
2.49	1.056	1.066	1.080	1.112	1.168	1.283	1.500
2.99	1.002	1.013	1.030	1.068	1.135	1.274	1.510
3.58	0.928	0.940	0.958	0.998	1.069	1.208	1.470
4.30	0.836	0.849	0.868	0.908	0.978	1.110	1.333
5.16	0.724	0.737	0.757	0.800	0.872	1.003	1.219
6.19	0.599	0.614	0.638	0.687	0.768	0.913	1.163
7.43	0.478	0.499	0.530	0.586	0.677	0.834	1.096
8.92	0.378	0.403	0.440	0.503	0.599	0.753	0.991
10.7	0.313	0.336	0.376	0.443	0.547	0.713	0.975
12.8	0.260	0.286	0.330	0.400	0.509	0.677	0.933
15.4	0.217	0.245	0.293	0.370	0.487	0.668	0.900
18.5	0.180	0.211	0.262	0.344	0.462	0.637	0.876
22.2	0.154	0.188	0.241	0.324	0.439	0.605	0.831
26.6	0.136	0.172	0.227	0.310	0.427	0.586	0.811
31.9	0.123	0.160	0.216	0.299	0.417	0.576	0.780
38.3	0.113	0.149	0.204	0.285	0.391	0.555	0.740
46.0	0.106	0.143	0.198	0.278	0.389	0.530	0.710
55.2	0.099	0.133	0.184	0.259	0.361	0.501	0.674
66.2	0.094	0.128	0.177	0.249	0.349	0.490	0.650
79.5	0.089	0.122	0.169	0.237	0.336	0.462	0.625
95.4	0.085	0.117	0.162	0.226	0.319	0.439	0.594
114.5	0.082	0.113	0.156	0.218	0.319	0.420	0.580



2.6. Schritt 6: Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung

Die in den Schritten 4 und 5 ermittelten Werte des spezifischen Abflusses q_x und der Fließgeschwindigkeit v_x gelten entlang der x-Achse für $y = 0$ (siehe Achsendefinition in Figur 1).

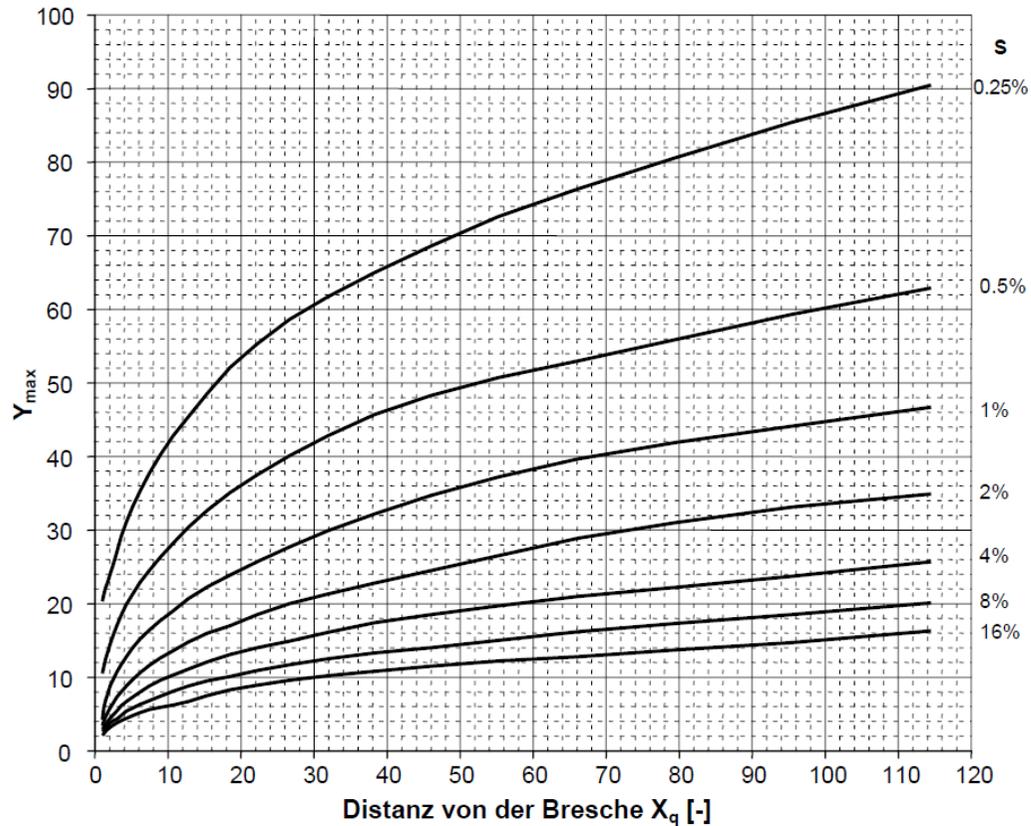
Zur Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung entlang der y-Achse werden die Werte für q_x und v_x wie folgt korrigiert:

1. Berechnung der dimensionslosen Distanz Y von der Strahlachse: $Y = y / L_q$
2. Ermittlung der lateralen Ausbreitung Y_{max} aus Figur 4 oder Tabelle 6, als Funktion von X_q und S
3. Ermittlung der Querprofilwerte c_q (für den spezifischen Abfluss) und c_v (für die Fließgeschwindigkeit) aus Figur 5 oder Tabelle 7, als Funktion der relativen lateralen Ausbreitung Y / Y_{max}
4. Berechnung des effektiven spezifischen Abflusses $q = q_x c_q$
5. Berechnung der effektiven Fließgeschwindigkeit $v = v_x c_v$

2.7. Schritt 7: Ermittlung der Abflusshöhe und der Energiehöhe

Die Abflusshöhe h am Standort (x,y) (siehe Figur 1) ergibt sich aus dem effektiven spezifischen Abfluss q und der effektiven Fließgeschwindigkeit v zu $h = q / v$.

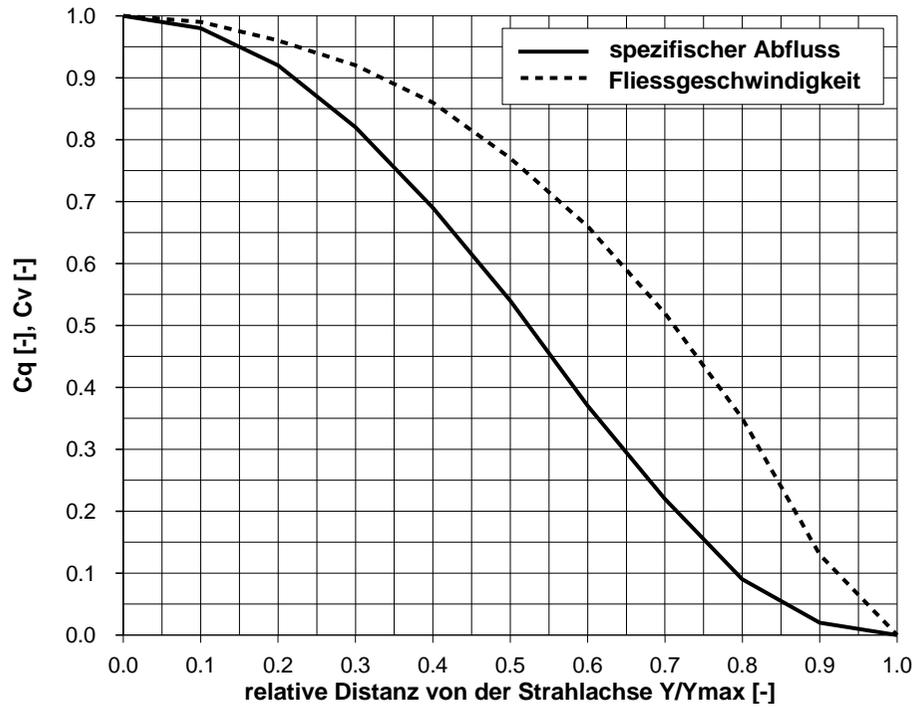
Soll zusätzlich die Energielinienhöhe am Standort (x,y) ermittelt werden, wird aus der Fließgeschwindigkeit v die Geschwindigkeitshöhe $H_v = v^2/2g$ ermittelt und zur Abflusshöhe h addiert. Die Kote der Energielinie ELA ergibt sich somit aus: $ELA = Z(\text{Talsole in } x) + h + H_v$.



Figur 4: Diagramm zur Ermittlung von Y_{max}

Tabelle 6: Werte für die laterale Ausbreitung Y_{max} [-]

Distanz X_q	Gefälle S [%]						
	0.25	0.5	1	2	4	8	16
1.00	20.3	10.5	4.2	3.4	2.9	2.6	2.1
1.20	21.2	11.4	5.8	4.0	3.2	2.8	2.3
1.44	22.1	12.4	6.8	4.6	3.5	3.1	2.6
1.73	22.9	13.4	7.7	5.2	4.0	3.4	2.9
2.07	24.0	14.5	8.8	5.8	4.4	3.8	3.2
2.49	25.3	15.7	9.7	6.5	4.9	4.1	3.5
2.99	27.0	17.0	10.7	7.3	5.4	4.3	3.8
3.58	29.1	18.4	11.7	8.0	6.1	4.8	4.1
4.30	31.1	19.9	12.8	8.8	6.7	5.4	4.4
5.16	33.2	21.3	14.0	9.7	7.3	5.8	4.8
6.19	35.3	22.9	15.2	10.6	8.0	6.3	5.2
7.43	37.7	24.5	16.4	11.6	8.8	6.8	5.6
8.92	40.2	26.3	17.7	12.6	9.6	7.4	5.9
10.7	42.8	28.2	19.0	13.6	10.3	8.1	6.2
12.8	45.4	30.4	20.7	14.8	11.1	8.8	6.7
15.4	48.6	32.7	22.3	16.0	12.1	9.5	7.5
18.5	52.1	35.1	23.9	17.0	13.1	10.1	8.3
22.2	55.3	37.5	25.7	18.5	14.0	10.9	8.9
26.6	58.6	40.1	27.7	20.0	14.9	11.7	9.6
31.9	61.7	42.8	29.9	21.3	16.1	12.5	10.2
38.3	65.0	45.7	32.2	22.8	17.4	13.3	10.8
46.0	68.6	48.3	34.7	24.5	18.5	14.0	11.5
55.2	72.6	50.7	37.2	26.5	19.7	15.0	12.2
66.2	76.4	53.0	39.7	28.9	21.0	16.2	12.8
79.5	80.6	55.9	41.9	31.0	22.2	17.3	13.7
95.4	85.4	59.3	44.1	33.1	23.7	18.5	14.7
114.5	90.5	62.9	46.7	34.9	25.7	20.1	16.3



Figur 5: Diagramm zur Ermittlung von c_q (durchgezogene Kurve) und c_v (gestrichelte Kurve)

Tabelle 7: Werte der charakteristischen Querprofile c_q und c_v

relative Distanz Y/Y_{max}	C_q (für den spezifischen Abfluss)	C_v (für die Fließgeschwindigkeit)
0.00	1.00	1.00
0.10	0.98	0.99
0.20	0.92	0.96
0.30	0.82	0.92
0.40	0.69	0.86
0.50	0.54	0.77
0.60	0.37	0.66
0.70	0.22	0.52
0.80	0.09	0.35
0.90	0.02	0.13
1.00	0.00	0.00



3. Beispiel

Die Anwendung des Parameterverfahrens wird nun anhand eines Beispiels gezeigt. Die frei gewählten Parameter des Testbeispiels sind:

- Stauhöhe $H = 4$ m
- Breschenbreite $B = 8$ m
- Korndurchmesser $D = 0.12$ m
- Sohlgefälle $S = 2\%$
- Speichervolumen $Vol = 10'000$ m³

Gesucht sind die Abflussintensitäten in 100 m Entfernung von der Bresche und 30 m Entfernung von der Strahlachse.

3.1. Schritt 1: Zusammenstellung der freien Parameter

Parameter	Wert	Einheit
Stauhöhe H	4	m
Breschenbreite B	8	m
Sohlgefälle S	2	%
mittlerer Korndurchmesser D	0.12	m
Speichervolumen Vol	10'000	m ³
Distanz von der Sperre x	100	m
laterale Distanz von der Strahlachse y	30	m

3.2. Schritt 2: Berechnung von charakteristischen Grössen

Charakteristische Grösse	Ausdruck
Dimensionsloses Speichervolumen Vol_0	$Vol_0 = \left(\frac{10'000}{8 \times 4^2}\right) = 78$
Längenskala L_0 bzw. L_Q	$L_0 = L_Q = \sqrt{8 \times 4} = 5.7$ m
Dimensionloser Breschenabstand X_0	$X_0 = 100 / 5.7 = 17.5$
Dimensionloser Breschenabstand X_q	$X_q = 100 / 5.7 = 17.5$
Dimensionloser Breschenabstand X_v	$X_v = 100 / 5.7 = 17.5$
Skala des spezifischen Abflusses Q	$Q = \sqrt{8} \times 4 \left(\frac{4}{30 \times 0.12}\right)^{1/10} = 11.4$ m ² /s
Skala der Fliessgeschwindigkeit V	$V = \sqrt{9.81} \times 4 \left(\frac{4}{30 \times 0.12}\right)^{1/4} = 6.4$ m/s



3.3. Schritt 3: Korrekturen der charakteristischen Grössen für $Vol_0 < 4000$

1. dimensionsloser Breschenabstand für den spezifischen Abfluss:

$$X_{\min,q} = 2.5 \times 78^{1/3} = 10.7 \quad (\text{mit } k_q = 2.5 \text{ aus Tabelle 2})$$

2. modifizierte Längenskala für den spez. Abfluss:

$$L_q = 5.7 \left(\frac{4000}{78} \right)^{-\left(\frac{17.5 - 10.7}{10.7} \right) \frac{1}{5}} = 5.7 \times 0.61 = 3.45 \text{ m}$$

3. Korrektur des dimensionlosen Breschenabstandes X_q : $X_q = 100 / 3.45 = 29$

4. dimensionsloser Breschenabstand für die Fliessgeschwindigkeit:

$$X_{\min,v} = 3.0 \times 78^{1/3} = 12.8 \quad (\text{mit } k = 3.0 \text{ aus Tabelle 3})$$

5. modifizierte Längenskala für die Fliessgeschwindigkeit:

$$L_v = 5.7 \left(\frac{4000}{78} \right)^{-\left(\frac{17.5 - 12.8}{12.8} \right) \frac{1}{7}} = 5.7 \times 0.81 = 4.65 \text{ m}$$

6. Korrektur des dimensionlosen Breschenabstandes X_v : $X_v = 100 / 4.65 = 22$

3.4. Schritt 4: Ermittlung des spezifischen Abflusses q_x in der Strahlachse ($y = 0$)

Dimensionsloser spezifischer Abfluss: q_x / Q ($X_q=29$; 2%) = 0.062 (aus Figur 2), und somit effektiver spezifischer Abfluss: $q_x = 0.062 \times 11.4 = 0.70 \text{ m}^2/\text{s}$

3.5. Schritt 5: Ermittlung der Fliessgeschwindigkeit v_x in der Strahlachse ($y = 0$)

Dimensionslose Fliessgeschwindigkeit: v_x / V ($X_v=22$; 2%) = 0.33 (aus Figur 3), und somit effektive Fliessgeschwindigkeit: $v_x = 0.33 \times 6.4 = 2.1 \text{ m/s}$

3.6. Schritt 6: Berücksichtigung der lateralen Ausbreitung

- dimensionslose Distanz von der Strahlachse $Y = 30 / 3.45 = 8.7$
(verwendet wird die dimensionslose Länge für den spez. Abfluss)
- laterale Ausbreitung aus Figur 4: $Y_{\max} (X_q=29; 2\%) = 20.5$
 $Y / Y_{\max} = 8.7 / 20.5 = 0.42$
- Querprofilwerte aus Figur 5: $c_q(Y / Y_{\max} = 0.42) = 0.66$; $c_v(Y / Y_{\max} = 0.42) = 0.84$
- effektiver spezifischer Abfluss: $q = 0.70 \times 0.66 = \mathbf{0.46 \text{ m}^2/\text{s}}$
- effektive Fliessgeschwindigkeit: $v = 2.1 \times 0.84 = \mathbf{1.76 \text{ m/s}}$

3.7. Schritt 7: Ermittlung der Abflusshöhe und der Energiehöhe

- Abflusshöhe: $h = 0.46 / 1.76 = 0.26 \text{ m}$
- Energiehöhe: $h_e = 0.26 + 1.76^2 / 19.6 = 0.42 \text{ m}$ (über Talsohle)



4. Programmierung des Verfahrens

Die obigen Ausführungen zeigen, dass die Anwendung des Verfahrens unter Zuhilfenahme eines Taschenrechners keine besonderen Schwierigkeiten bietet. Die Berücksichtigung des Speichervolumens erfordert allerdings relativ viele Zwischenschritte und es können sich leicht Fehler einschleichen. Aufwändig wird das Verfahren, wenn eine Standortsuche gefragt ist und allenfalls ein iteratives Vorgehen nötig wird.

Um die Anwendung zu erleichtern und Fehler möglichst auszuschliessen, ist das Parameterverfahren deshalb auch als Computerprogramm realisiert worden. Die empfohlene Durchführung von mehreren Berechnungsgängen mit veränderten Eingabeparametern im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wird damit ohne grossen Aufwand möglich. Auch die Standortsuche wird durch ein Computerprogramm wesentlich erleichtert. Das Computerprogramm kann auf der Homepage des BFE (www.bfe.admin.ch) kostenlos bezogen werden.

Quellen:

Beffa, C., 2000: Ein Parameterverfahren zur Bestimmung der flächigen Ausbreitung von Bremschenabflüssen ; «wasser, energie, luft – eau, énergie, air» 93. Jg., Heft 3/4, 2000

BFE, 2014b: Flutwellenberechnung nach CTGREF

CTGREF, 1978: Appréciation globale des difficultés et des risques entraînés par la construction des barrages, note technique No 5, Centre technique du génie rural des eaux et des forêts (CTGREF), juin 1978