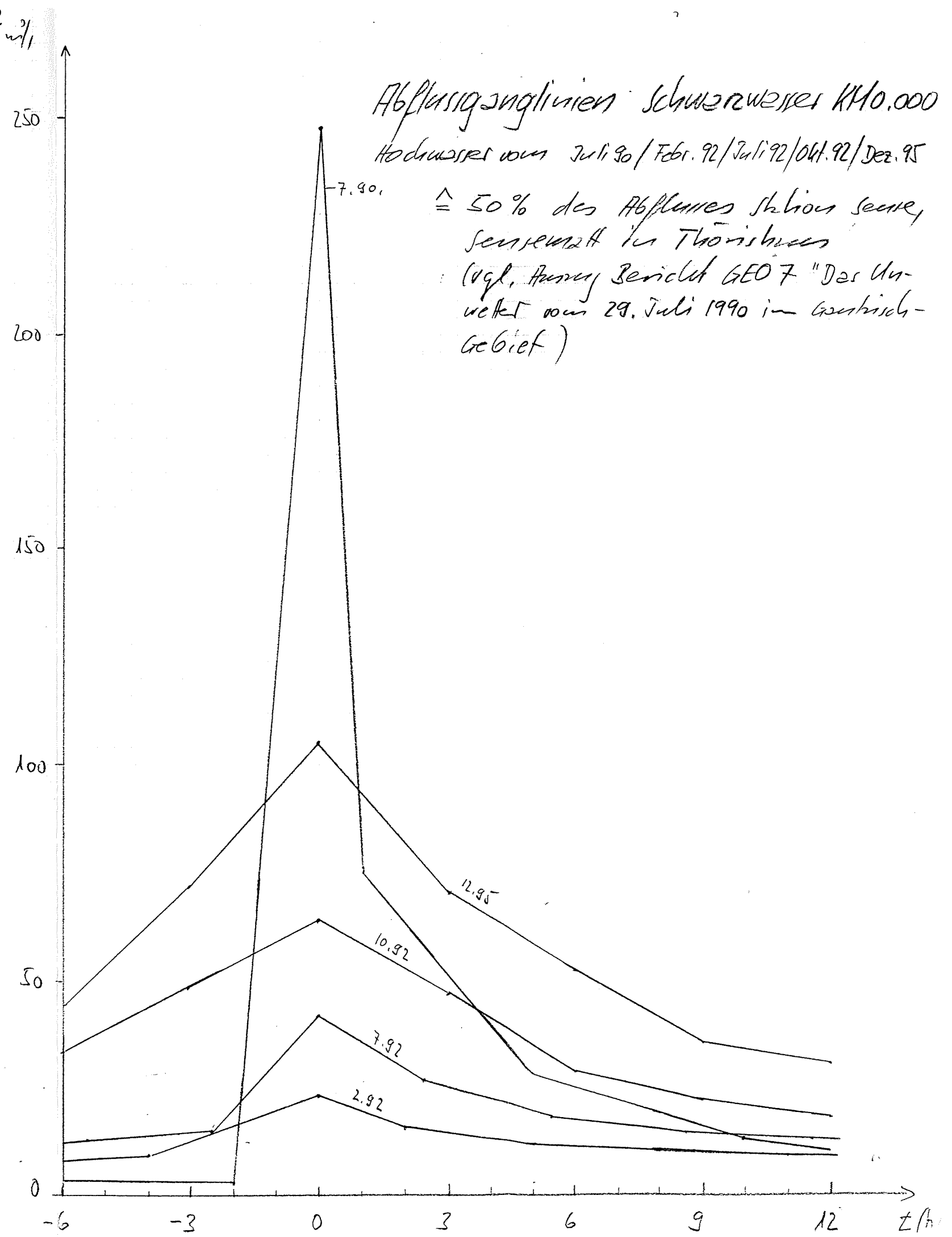
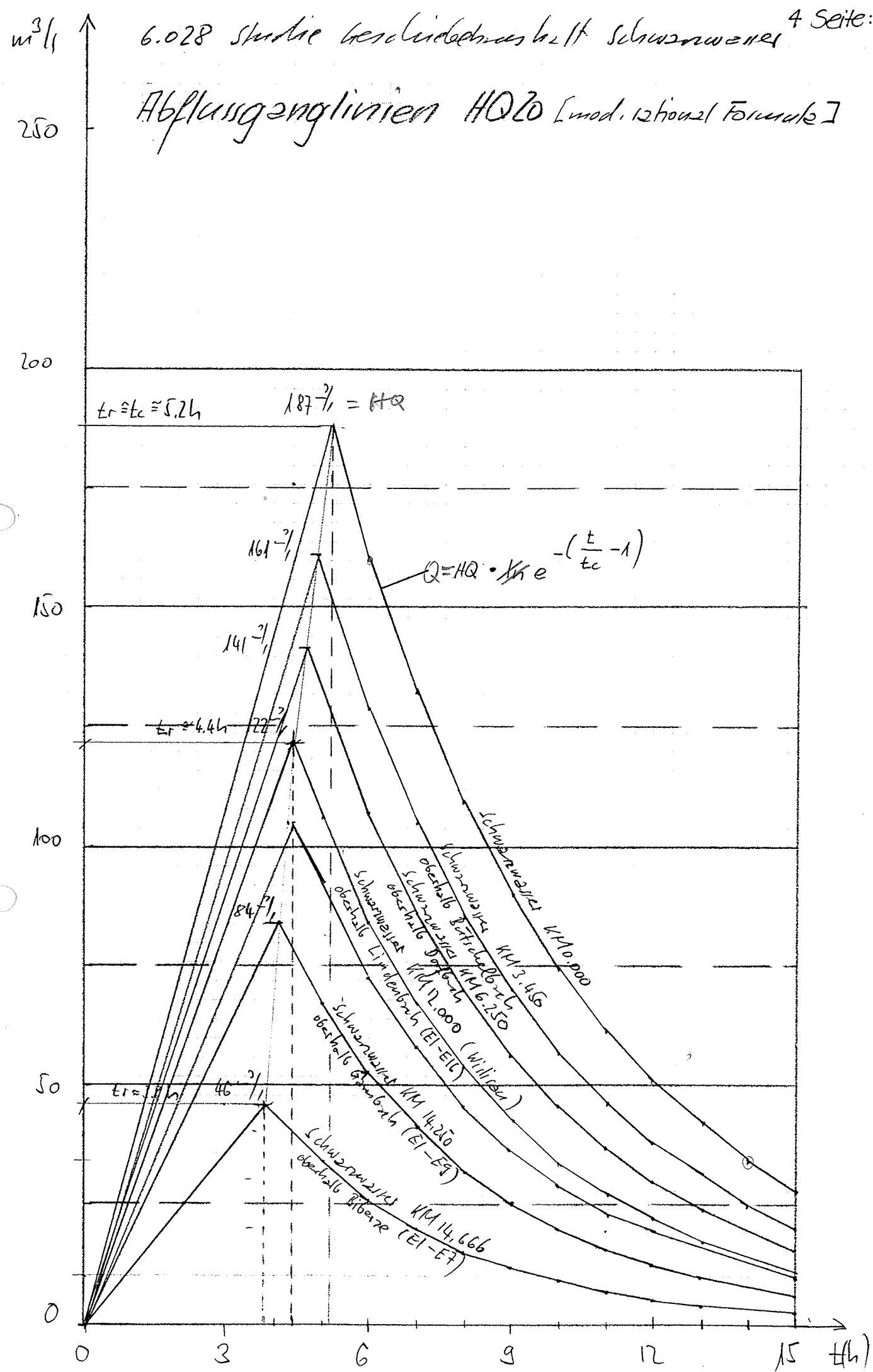


Verbauung des Schwarzwassers und seiner Zuflüsse, Projekt V/1992

Hochwassermengen HQ20 / HQ100
(mod. Rational Formula)

Einzugsgebiet	Etotal [km2]	Gerinnelänge [km]	Eeff [km2]	Nieder- schlagswert [mm/h]	HQ20 [m3/s]	Eeff [km2]	Nieder- schlagswert [mm/h]	HQ100 [m3/s]	Schwarzwasser unterhalb Zusammenfluss:
E1	7.65	26.68	4.03	14.30	16.0	4.84	18.13	24.4	
E1 - E2	14.88	55.67	8.85	13.63	33.6	10.62	16.20	47.8	Wissenbach
E1 - E3	15.16	56.28	8.96	13.63	33.9	10.75	16.13	48.2	
E1 - E6	20.94	74.72	12.13	13.33	45.0	14.55	15.73	63.7	Heubach
E1 - E7	21.57	75.90	12.33	13.33	45.7	14.80	15.73	64.7	
E1 - E8	42.44	141.90	24.09	12.60	84.4	28.91	15.00	120.5	Biberze
E1 - E9	42.78	142.72	24.24	12.60	84.9	29.08	15.00	121.3	
E1 - E13	53.58	174.09	29.98	12.33	102.6	35.97	14.73	147.4	Gambach
E1 - E14	55.53	178.67	30.82	12.30	105.4	36.99	14.70	151.2	
E1 - E15	71.41	207.52	36.18	12.10	121.7	43.41	14.50	175.0	Grünenbach
E1 - E16	71.73	208.59	36.38	12.10	122.4	43.65	14.50	176.0	Wislsau
E1 - E17	89.30	270.78	48.09	10.57	141.3	57.71	12.17	195.3	
E1 - E18	106.65	301.78	54.01	10.47	157.2	64.81	12.10	218.0	Dorfbach Schwarzenburg
E1 - E19	108.45	308.98	55.39	10.47	161.2	66.47	12.10	223.6	
E1 - E20	123.55	341.88	61.72	10.42	178.8	74.06	12.08	248.7	Bütschelbach
E1 - E21	131.00	357.50	64.74	10.37	186.6	77.69	12.08	260.9	Zusammenfluss Sense

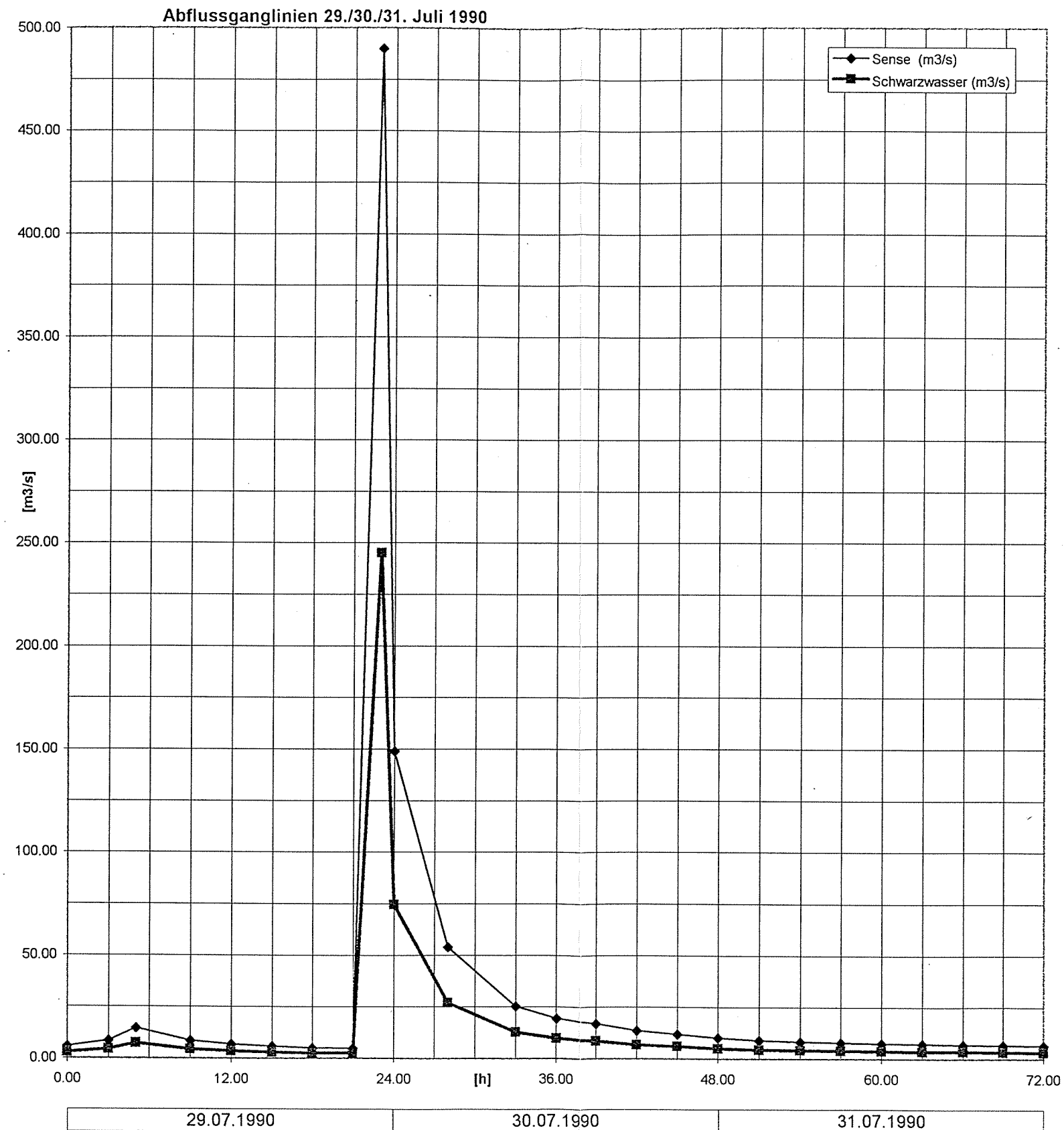


6.028 Studie Geschiebehaushalt Schwarzwasser

Messstation: Sense - Thörishaus, Sense matt

ABFLUSSGANGLINIEN 29./30./31. Juli 1990

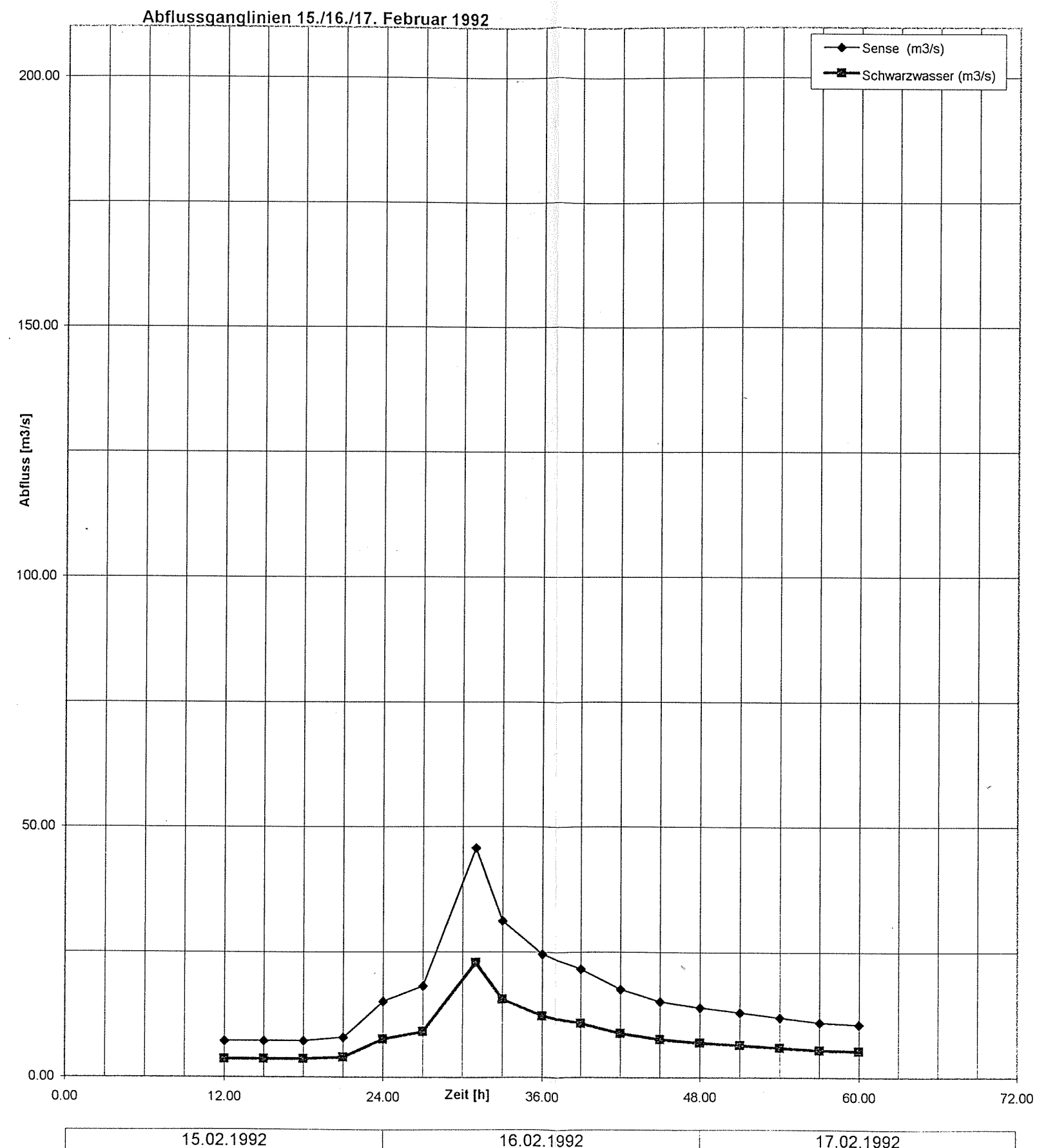
Zeit (h)	Sense (m ³ /s)	Schwarzwasser (m ³ /s)
0.00	5.81	2.91
3.00	8.64	4.32
5.00	14.60	7.30
9.00	8.64	4.32
12.00	6.98	3.49
15.00	5.81	2.91
18.00	5.11	2.56
21.00	4.88	2.44
23.00	490.00	245.00
24.00	149.00	74.50
28.00	53.90	26.95
33.00	25.30	12.65
36.00	19.50	9.75
39.00	17.00	8.50
42.00	13.50	6.75
45.00	12.00	6.00
48.00	10.20	5.10
51.00	8.98	4.49
54.00	8.30	4.15
57.00	7.95	3.98
60.00	7.61	3.81
63.00	7.27	3.64
66.00	6.98	3.49
69.00	6.69	3.35
72.00	6.39	3.20



Messstation: Sense - Thörishaus, Sensematt

ABFLUSSGANGLINIEN 15./16./17. Februar 1992

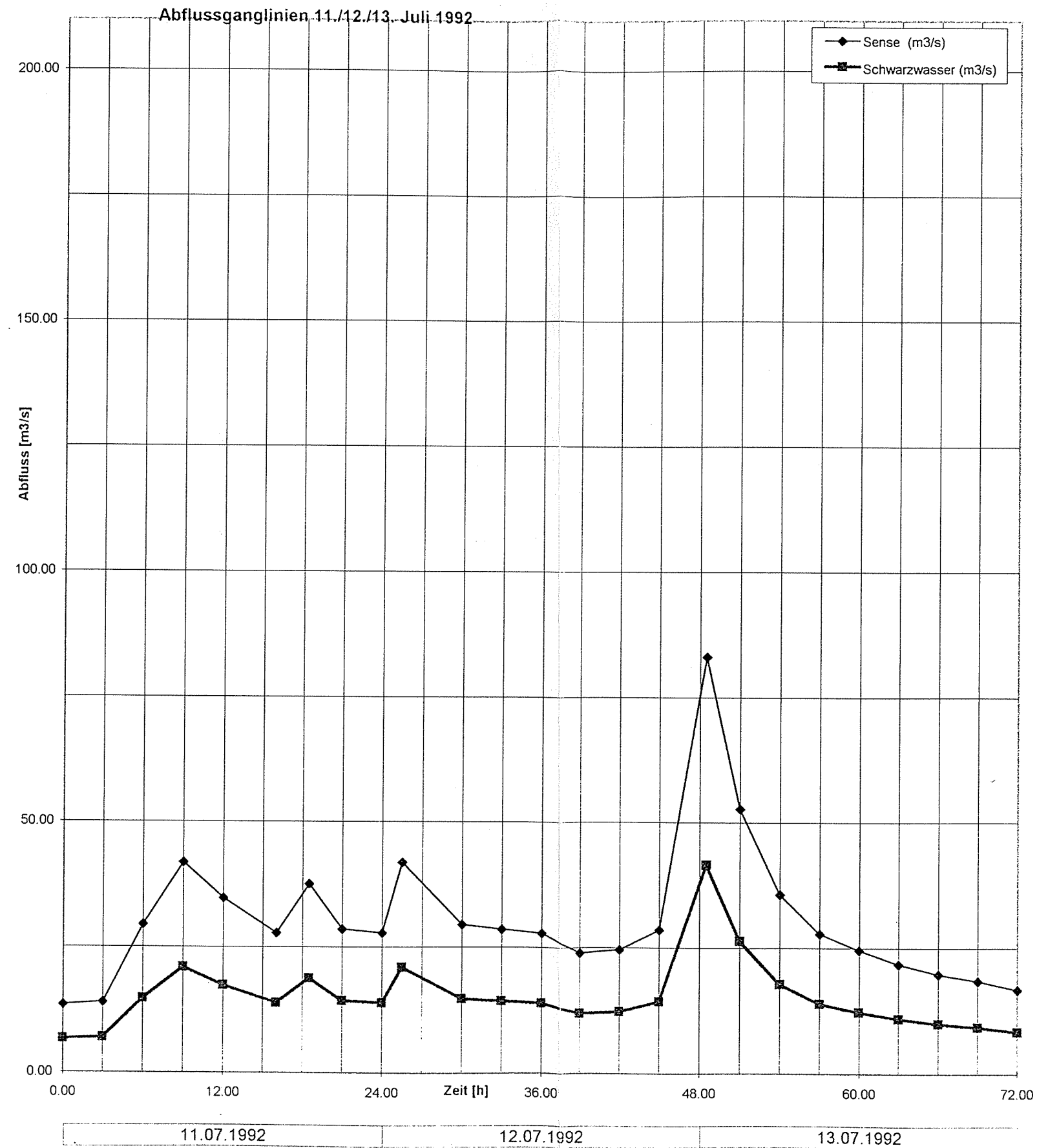
Zeit (h)	Sense (m3/s)	Schwarzwasser (m3/s)
0.00		
3.00		
6.00		
9.00		
12.00	7.27	3.64
15.00	7.27	3.64
18.00	7.27	3.64
21.00	7.95	3.98
24.00	15.20	7.60
27.00	18.20	9.10
31.00	45.80	22.90
33.00	31.20	15.60
36.00	24.60	12.30
39.00	21.60	10.80
42.00	17.60	8.80
45.00	15.20	7.60
48.00	14.00	7.00
51.00	13.00	6.50
54.00	12.00	6.00
57.00	11.00	5.50
60.00	10.60	5.30
63.00		
66.00		
69.00		
72.00		



Messstation: Sense - Thörishaus, Sense matt

ABFLUSSGANGLINIEN 11./12./13. Juli 1992

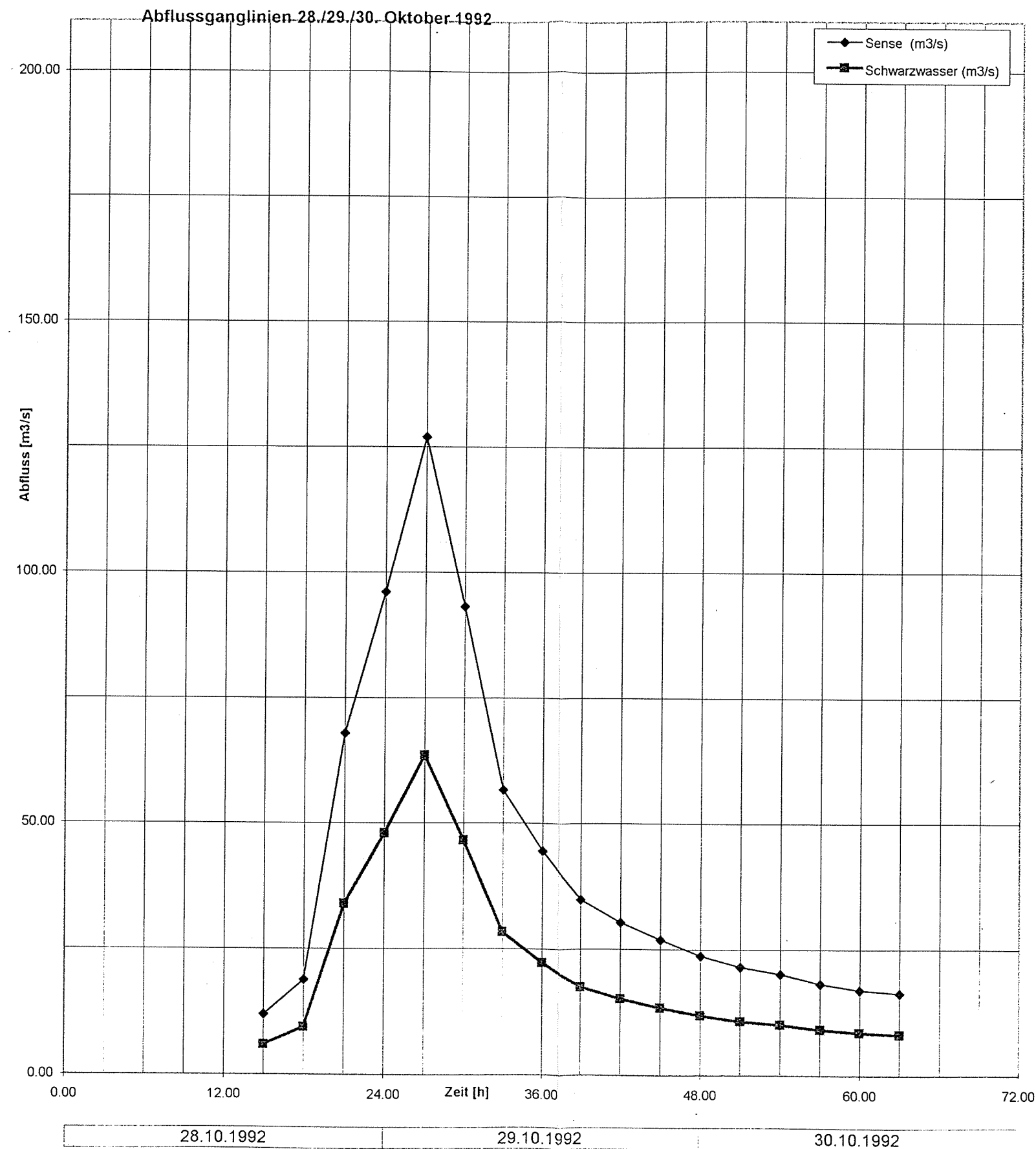
Zeit (h)	Sense (m3/s)	Schwarzwasser (m3/s)
0.00	13.50	6.75
3.00	14.00	7.00
6.00	29.50	14.75
9.00	41.90	20.95
12.00	34.80	17.40
16.00	27.80	13.90
18.50	37.60	18.80
21.00	28.60	14.30
24.00	27.80	13.90
25.50	41.90	20.95
30.00	29.50	14.75
33.00	28.60	14.30
36.00	27.80	13.90
39.00	23.90	11.95
42.00	24.60	12.30
45.00	28.60	14.30
48.50	83.10	41.55
51.00	52.80	26.40
54.00	35.70	17.85
57.00	27.80	13.90
60.00	24.60	12.30
63.00	21.80	10.90
66.00	19.80	9.90
69.00	18.50	9.25
72.00	16.70	8.35



Messstation: Sense - Thörishaus, Sense matt

ABFLUSSGANGLINIEN 28./29./30. Oktober 1992

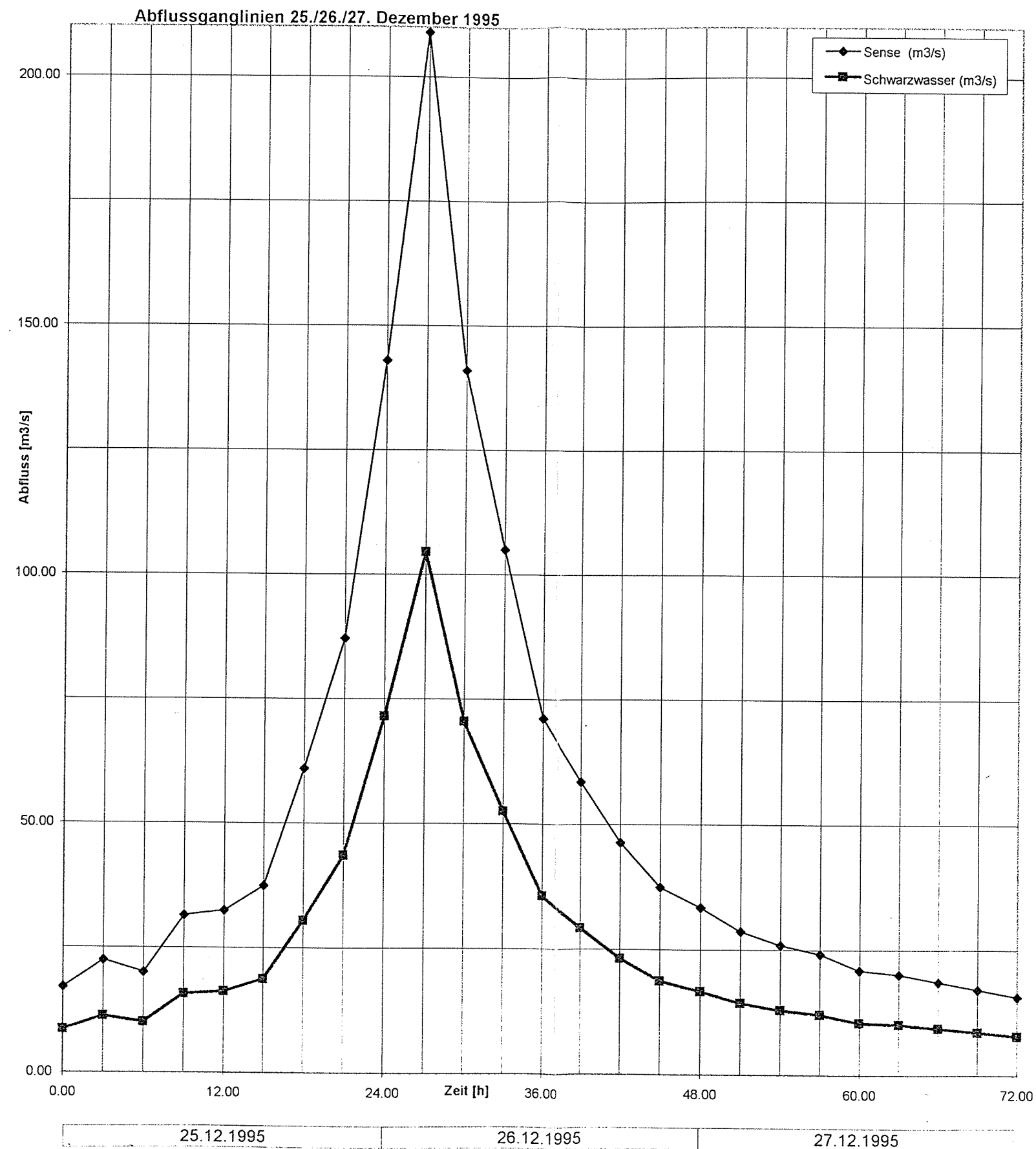
Zeit (h)	Sense (m3/s)	Schwarzwasser (m3/s)
0.00		
3.00		
6.00		
9.00		
12.00		
15.00	12.00	6.00
18.00	18.90	9.45
21.00	67.90	33.95
24.00	96.10	48.05
27.00	127.00	63.50
30.00	93.20	46.60
33.00	56.70	28.35
36.00	44.60	22.30
39.00	34.90	17.45
42.00	30.30	15.15
45.00	26.90	13.45
48.00	23.80	11.90
51.00	21.60	10.80
54.00	20.20	10.10
57.00	18.20	9.10
60.00	17.00	8.50
63.00	16.30	8.15
66.00		
69.00		
72.00		



Messstation: Sense - Thörishaus, Sensematt

ABFLUSSGANGLINIEN 25./26./27. Dezember 1995

Zeit (h)	Sense (m3/s)	Schwarzwasser (m3/s)
0.00	17.10	8.55
3.00	22.50	11.25
6.00	20.10	10.05
9.00	31.50	15.75
12.00	32.50	16.25
15.00	37.50	18.75
18.00	61.00	30.50
21.00	87.20	43.60
24.00	143.00	71.50
27.00	209.00	104.50
30.00	141.00	70.50
33.00	105.00	52.50
36.00	71.20	35.60
39.00	58.50	29.25
42.00	46.40	23.20
45.00	37.50	18.75
48.00	33.40	16.70
51.00	28.70	14.35
54.00	25.90	12.95
57.00	24.20	12.10
60.00	20.90	10.45
63.00	20.10	10.05
66.00	18.60	9.30
69.00	17.10	8.55
72.00	15.70	7.85



6.028 Studie Geschiebehauhalt
Schwarzwasser 25.3.96 Ho

Einzugsgebiete:

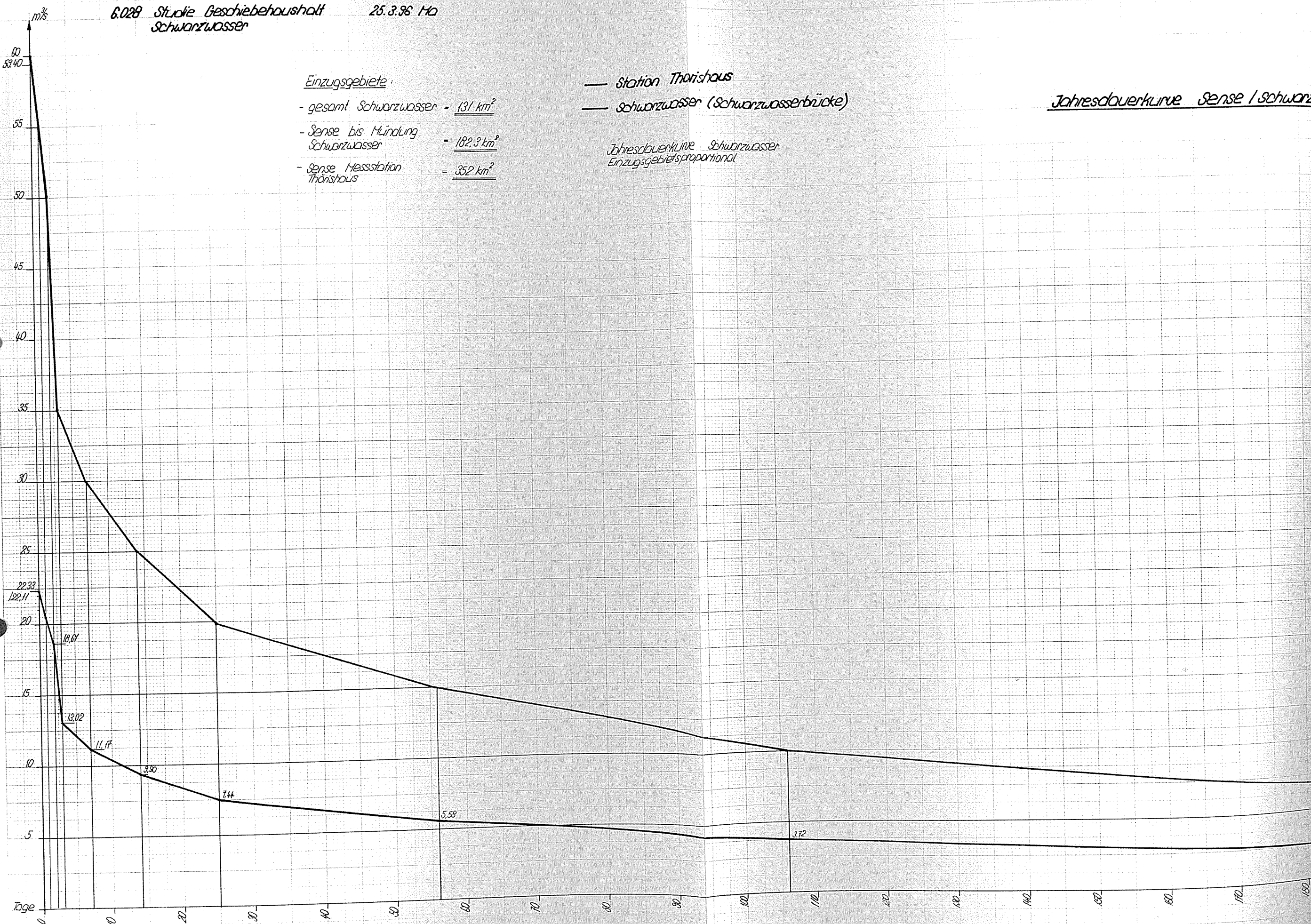
- gesamt Schwarzwasser = 131 km²
- Sense bis Mündung Schwarzwasser = 182,3 km²
- Sense Messstation Thonshaus = 352 km²

— Station Thonshaus

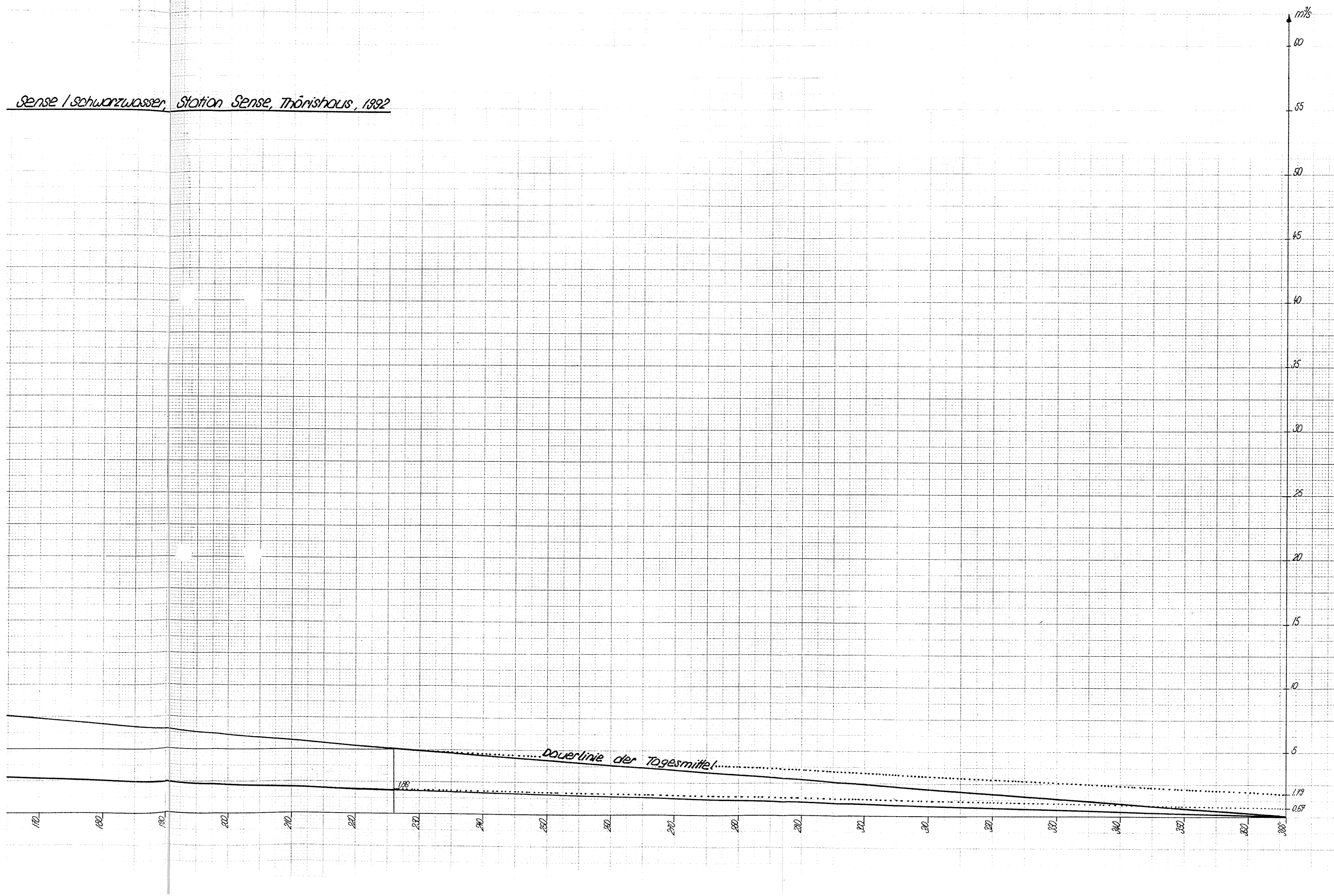
— Schwarzwasser (Schwarzwasserbrücke)

Jahresdauerkurve Schwarzwasser
Einzugsgebietsproportional

Jahresdauerkurve Sense / Schwarzwasser



Sense / Schwarzwasser, Station Sense, Thônishaus, 1392



Bundesamt für Wasserwirtschaft
3000 Bern

Tiefbauamt des Kantons Bern
3011 Bern

Das Unwetter vom 29. Juli 1990 im Gantrisch-Gebiet

Geo7



5. VERHÄLTNISSE IN DEN GERINNEN

Die extremen Niederschläge verursachten in den 5 grossen Bächen, die das Kerngebiet radial verlassen, teilweise grosse Hochwasser. Diese exportierten Hochwasser waren bis weit ausserhalb des Kerngebiets spürbar. Nach Auskunft von Anwohnern sind solche Hochwasser noch nie aufgetreten.

Als Grundlagen für die Rekonstruktion der Ereignisse in den Gerinnen dienten Interviews, morphologische Erkenntnisse aus der Luftbildinterpretation und aus Feldaufnahmen sowie Abflussmessungen.

Sense

Die Sense ist einer der wenigen Flüsse des schweizerischen Alpenvorlandes, der über eine längere Strecke vom Ursprung weg als relativ natürlich bezeichnet werden kann (ca. 30 km vom Gantrischseeli bis in die Sensematt bei Thörishaus). Bis in die Gegend von Thörishaus beschränken sich die wasserbaulichen Aktivitäten auf Uferschutzmassnahmen (Buhnen) und einige wenige Querwerke im Bereich von Sangernboden und bei Zollhaus, sowie auf Eingengungen bei Brücken.

Das Hochwasser in der Sense hat bis ca. 40 km (Laupen) ausserhalb der Kernregion grössere Schäden verursacht. Die flussmorphologischen Veränderungen entlang des Flusses sind jedoch sehr unterschiedlich. Sie variieren mit den grösserräumigen morphologischen Einheiten.



Abb. 23 Abflussprofil Gantrischseeli
k-Wert 15-20
F ca. 9 m²
J ca. 5-7 %

Die gerinnemorphologischen Veränderungen in der Sense setzen unmittelbar unterhalb des Gantrischseelis ein mit einer Tiefenerosion von 1-2 m. Ein Profil konnte etwa 30 m unterhalb des Auslaufwerkes (kleiner, wieder aufgebauter Damm mit Armcorohr) auf einer relativ kompakten Moräne gemessen werden (Abb. 23). Die Querschnittsfläche beträgt maximal 9 m^2 , davon dürften knapp 2 m^2 für Erosion abgezogen werden. Einen ähnlichen Querschnitt (ca. 9 m^2 Fliessquerschnitt) konnte auf der Höhe 1570 m gefunden werden. Damit ergibt sich ein Maximalabfluss von $25\text{-}40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bei einer Einzugsgebietsfläche von gut 2 km^2 ergibt dies einen spezifischen Abfluss von $12\text{-}20 \text{ m}^3/\text{s}$. Zieht man einen effektiven Niederschlag von 60 mm/h in Betracht, so ergibt sich ein spezifischer Abfluss von $16 \text{ m}^3/\text{s}$, was in guter Uebereinstimmung mit den geschätzten Werten ist.

Gemäss Beobachtungen von Einwohnern ist die Sense zwischen 18.15 und etwa 19 Uhr in Sangernboden angelaufen und hat schon zu Beginn sehr viel Holz und Feststoffe transportiert. Zwischen etwa 19.30 und 20.30 Uhr muss relativ gleichmässig fliessender, maximaler Abfluss geherrscht haben. Beim Einnachten (ca. 21.30 Uhr) ist das Wasser eher wieder zurückgegangen.

Ueber die Situation bei der Brücke Sangernboden bestehen zwei Amateur-Videofilme. Kopien dieser Videofilme ist beim Tiefbauamt des Kantons Bern und beim Bundesamt für Wasserwirtschaft vorhanden.

Die Videoaufnahmen bestätigen die oben gemachten Aussagen. Sie zeigen ausserdem kurz nach 20 Uhr nochmals eine deutliche Zunahme des Abflusses.

Unter der Steinbachbrücke und jener im Sangernboden liessen sich einigermaßen identische Abflussquerschnitte bestimmen: bei einer mittleren Abflusstiefe von 1.8 bis 2.5 m und einer Breite von 25 m ergibt sich eine Querschnittsfläche von 45 bis etwa 60 m^2 . Bei einer Fliessgeschwindigkeit von etwa 4 m/s (geschätzt aus Videoaufzeichnungen) ergibt sich ein Maximalabfluss von 180 bis $250 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Geschiebeanteil ist schwierig zu schätzen, dürfte aber etwa 10 % betragen haben.

Eine Schätzung des Abflusses aus dem Niederschlag ergibt bei untenstehenden Annahmen einen Abfluss im Sangernboden von etwa $220 \text{ m}^3/\text{s}$, was in guter Uebereinstimmung mit der Schätzung aus der Querschnittsfläche ist.

Annahmen: Intensiv berechnet: 9 km^2 , I_e : 60 mm/h : q : $13.8 \text{ m}^3/\text{skm}^2$
 Weniger stark berechnet: 16 km^2 , I_e : 20 mm/h : q : $5.6 \text{ m}^3/\text{skm}^2$
 I_e : Effektiver Niederschlag
 q : spezifischer Abfluss

Bei der Messstelle Thörishaus, Sense matt ist die Hochwasserwelle kurz vor 21 Uhr eingetroffen. Der Anstieg in Thörishaus erfolgte zuerst langsam vom Basisabfluss von $5 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $20 \text{ m}^3/\text{s}$ und dann innert weniger Minuten auf $490 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei einem Fliessweg von 25 km ergibt dies eine Fliessgeschwindigkeit von 3.5 m/s . Bereits 2 Stunden später fiel der Abfluss wieder auf $130 \text{ m}^3/\text{s}$ zurück (vgl. Abb. 24).

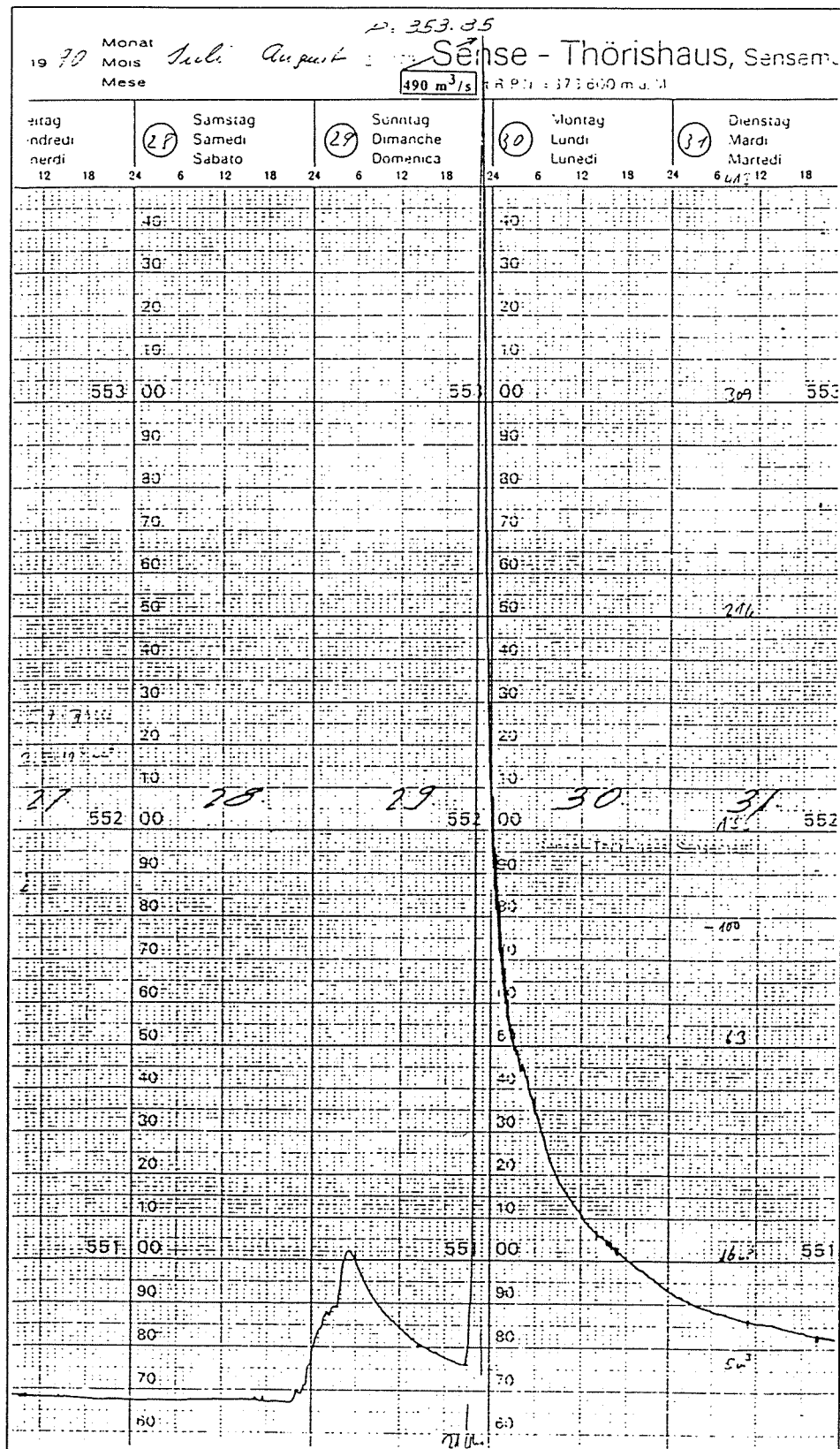


Abb. 24 Abflussganglinie in Thörishaus, Sensematt vom 29./30. Juli 1990

Zwischen den maximal $250 \text{ m}^3/\text{s}$ aus der kalten Sense und den $490 \text{ m}^3/\text{s}$ in Thörishaus ergibt sich eine Differenz von $240 \text{ m}^3/\text{s}$. Diese Hochwasserspitze muss primär aus dem Schwarzwasser stammen und auch etwa zeitgleich mit jener in der Sense zusammengefallen sein. Bei einer Fließdistanz von 21 km vom Sangernboden bis zur Mündung des Schwarzwassers ergibt sich eine Fließzeit von 1 h 40 min. D.h. die Mündung des Schwarzwassers müsste gegen 20.30 Uhr erreicht worden sein. Dies dürfte ungefähr mit der Hochwasserspitze des Schwarzwassers zusammenfallen (s. unten).

In der Saane bei Laupen wurde ein Spitzenabfluss von $505 \text{ m}^3/\text{s}$ gemessen. Das Sensehochwasser ist mit einem Anstieg in der Saane zusammengefallen. Der Abfluss in der Saane selber dürfte etwa $50 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen haben. Damit kann der Verlust der Sense (Ausuferung bei Laupen) auf mindestens $40 \text{ m}^3/\text{s}$ geschätzt werden.

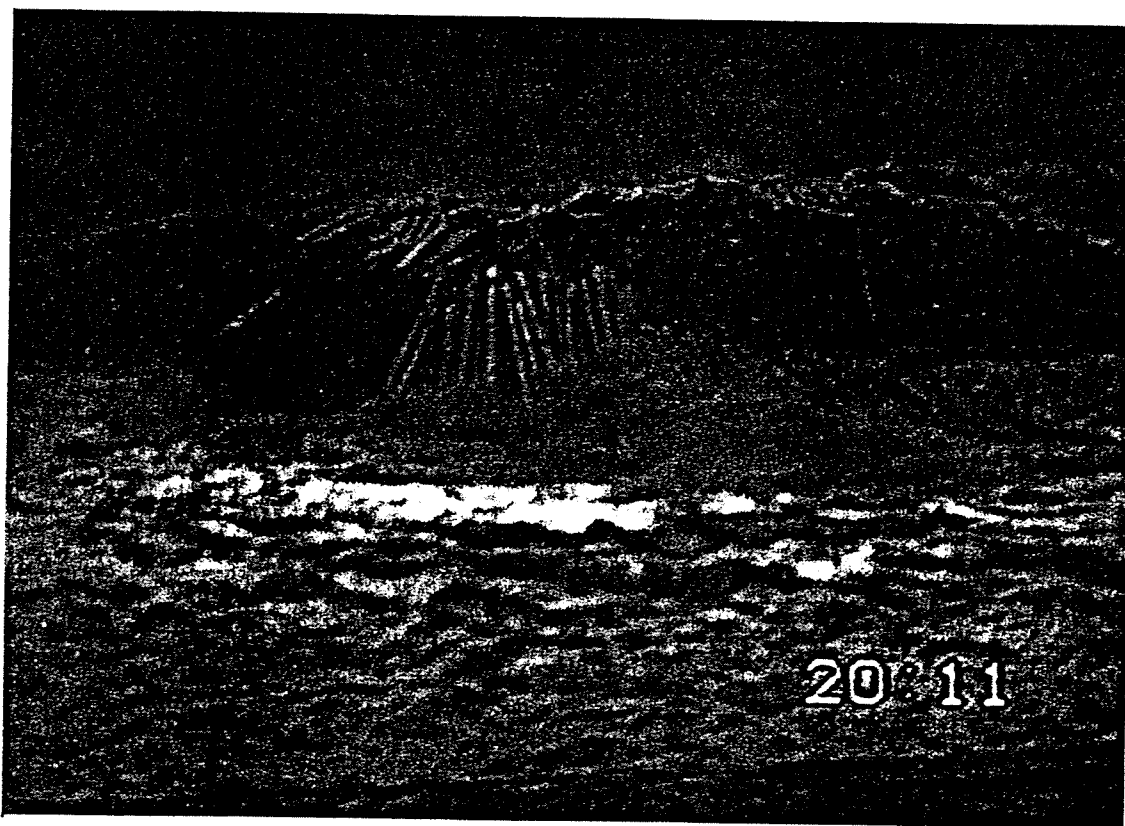


Abb. 25 Sangernboden (ca. 20.10 Uhr): Weggleitender Polter

Etwa gegen 20 Uhr wurde in Sangernboden durch sukzessive Seitenerosion des linken Ufers ein grosses Holzlager (Sturmholz) angegriffen. Innerhalb weniger Minuten ist der vorderste Polter mit 600 m³ Holz (ca. 1500 Stämme) in die Sense geglitten (Abb. 25). Teile dieses Rundholzteppichs wurden später bei Laupen um ca. 22.15 Uhr gesichtet. Ungefähr 50 m³ Holz konnten schlussendlich im Bielersee noch geborgen werden. Gegen 21 Uhr sind auch Teile des zweiten Polters abgeglitten und durch das Wasser wegtransportiert worden. Die restlichen Teile müssen im Laufe der Nacht in die Sense gestürzt sein. Gesamthaft sind ca. 1200 m³ weggerissen worden, davon konnten ungefähr 800 m³ unterhalb der Brücke wieder aus der stark aufgeweiteten Sense geborgen werden. Grössere Mengen wurden ausserdem zwischen der Sodbachbrücke und Ruchmüli abgelagert. Die oben erwähnten Videofilme zeigen das Weggleiten des ersten Polters.

Die gerinnemorphologischen Veränderungen in der Sense setzen unmittelbar unterhalb des Gantrischseelis mit einer Tiefenerosion von 1-2 m ein. Die Erosionstendenz setzt sich bis auf eine Höhe von 1350 m fort. Im Abschnitt bis zur Brücke gegen Walenhütten ist erstmals Umlagerungstendenz mit Auflandungen und einer markanten Verbreiterung erkennbar. Im Mündungsbereich des Sollergrabens hat die Sense bis zu vermutlich einem Meter in den anstehenden Flysch erodiert. Aus dem Sollergraben selber hat ein Murgang riesige Blöcke in der Sense abgelagert, die durch das Hochwasser nicht mehr weiter transportieren worden sind (vgl. Abb. 26). Die Blöcke stammen wahrscheinlich von einer grossen Bergsturzmasse, die sich vom Talkessel zwischen der Bürglen und dem Ochsen bis an den Gegenhang ausbreitet.

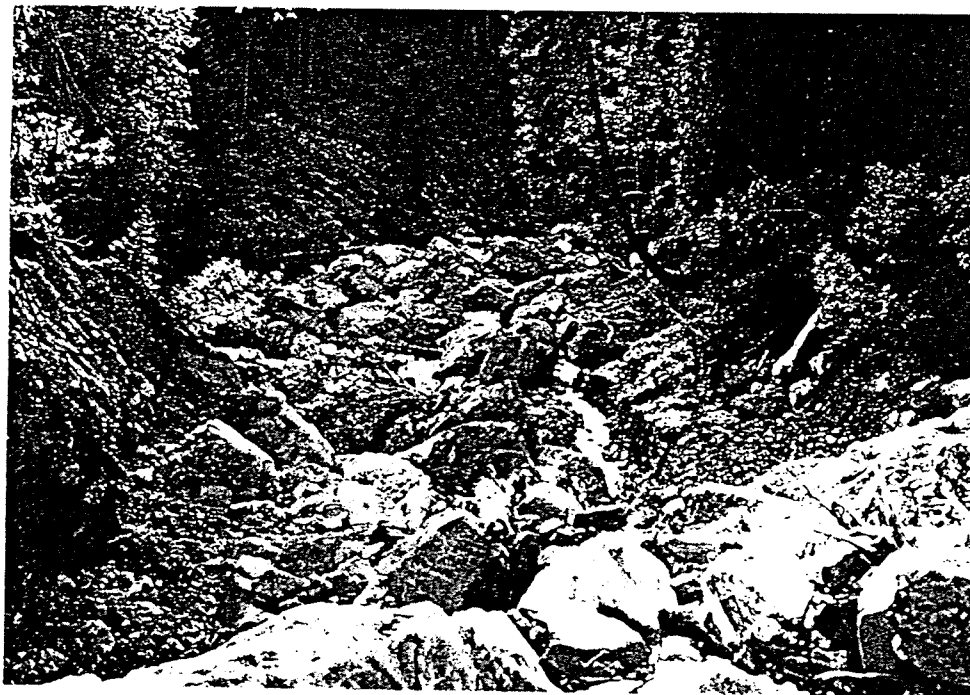


Abb. 26 Murgangablagerung im Mündungsbereich des Sollergrabens

Von der Mündung des Sollergrabens flussabwärts zeigt die Sense typische Merkmale eines stark geschiebeführenden Gebirgsflusses mit Formen der Geschiebeumlagerung: Auflandungen, Terrassenbildung durch die nachfolgende Erosion, Seitenerosion mit Anbrüchen, teilweise Tiefenerosion. In einigen Abschnitten erfolgte eine Verbreiterung der Sohle auf 50 bis etwa 75 Meter mit beachtlichen Auflandungen (z.B. unterhalb der Mündung des Marchgrabens > 2 m). In diesen Abschnitten war der Verlust an Wald (v.a. Auenwald) besonders aus-