

*kar*

# Steuerung eines Mischwassernetzes zur Verbesserung der Gewässergüte und zur Vermeidung der Betriebskosten

Teil 3.3: Erarbeitung von Kriterien zur Steuerung nach Güteaspekten

Erste Erfahrungen mit dem BSB<sub>M3</sub> - Meßgerät zur Kennzeichnung  
der qualitativen Systemzustände des Mischsystems

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. A. Durchschlag  
Dr.-Ing. A. Khelil

Juni 1989



1

Vertical text or markings along the left edge of the page, possibly bleed-through from the reverse side.

Steuerung eines Mischwassernetzes zur Verbesserung der Gewässergüte  
und zur Vermeidung der Betriebskosten

Teil 3.3: Erarbeitung von Kriterien zur Steuerung nach Güteaspekten

Erste Erfahrungen mit dem BSB<sub>M3</sub>-Meßgerät zur Kennzeichnung der  
qualitativen Systemzustände des Mischsystems

Sachbearbeiter: Dr.-Ing. A. Durchschlag  
Dr.-Ing. A. Khelil

Hannover, den 19.06.1989

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	3
2. Allgemeines zum BSB	3
3. Installation und Betrieb des BSB <sub>M3</sub> - Meßgerätes	4
4. Prinzipielle Grundlage der kontinuierlichen BSB <sub>M3</sub> - Messung	7
5. Vergleich zwischen den Stichprobenmessungen (BSB <sub>5</sub> ) und der kontinuierlichen BSB <sub>M3</sub> - Messung	9
6. Auswertung der kontinuierlichen BSB <sub>M3</sub> - Messungen	12
6.1 Schmutzwasserabfluß	12
6.2 Mischwasserabfluß	15
7. Überprüfung des Informationsgehaltes von BSB <sub>M3</sub> - Messungen zur Steuerung nach Güteaspekten	35
8. Eignung des BSB <sub>M3</sub> - Meßwertes als Indikator zur Verunreinigung des Mischwasserabflusses	35
9. Zusammenfassung und Ausblick	36

### 1. Einleitung

Die Steuerung des Mischwasserabflusses mit dem Ziel der Minimierung von Überstau, der Minimierung von Entlastungsmengen sowie der Minimierung von Pumpkosten nach Kriterien aus der Analyse des Niederschlag- Abflußverhaltens, basieren auf quantitative Kenngrößen des Systemzustandes. Sind qualitative Systemzustände des Mischsystems bekannt, so lassen sich Kriterien zur Steuerung des Mischwasserabflusses nach Güteaspekten erarbeiten. Qualitative Aussagen über den Systemzustand verändern die Entscheidungsgrundlagen zur Steuerung. Der Entlastungszeitraum und die Entlastungsmenge während eines Mischwasserereignisses, die nach quantitativen Entscheidungsgrundlagen festgelegt werden, brauchen nicht mit dem Entlastungszeitraum und der Entlastungsmenge, die nach qualitativen Entscheidungsgrundlagen getroffen werden, übereinstimmen, wenn als Zielvorgabe, die gesamte Entlastungsgfracht während des Mischwasserereignisses zu reduzieren, vorgegeben wird. Dieses setzt voraus, daß der qualitative Systemzustand bekannt ist. Dafür ist es erforderlich ein kontinuierlich messendes Gerät einzusetzen. Im Rahmen des BMFT-Vorhabens wurde ein BSB<sub>M3</sub>-Meßgerät zur Ermittlung der biologisch abbaubaren Stoffe angeschafft. Erste Erfahrungen mit diesem Meßgerät wurden auf der Kläranlage Bremen-Seehausen gemacht.

### 2. Allgemeines zum BSB

Der biologische Sauerstoffbedarf BSB charakterisiert über die Summenaktivität des Sauerstoffverbrauchs die organische Verschmutzung eines Wassers. Im Sinne der analytischen Chemie ist der BSB nicht als Konzentration, sondern als indirektes Maß für eine Konzentration anzusehen. Er resultiert aus der Wirkung eines Nährstoffangebotes auf eine Mikrobielle Lebensgemeinschaft und beschreibt die Wirkung der organischen Substanz auf ein biologisches System. Der BSB ist deshalb besonders geeignet zur Beurteilung des O<sub>2</sub>- Haushaltes eines Vorfluters oder des erforderlichen O<sub>2</sub>- Angebotes in einer biologischen Kläranlage.

Als biochemischer Sauerstoffbedarf wird die O<sub>2</sub>- Menge bezeichnet, die für eine gegebene Menge organischer Substanz von den Bakterien beim Stoffwechsel unter konventionell festgelegten Bedingungen verbraucht wird ( 20° C, angeimpftes Verdünnungswasser, 5 Tage Reaktionszeit). Der BSB liefert keine Aussage über die Gesamtmenge der organischen Substanz, sondern einen quantitativen Hinweis über den Sauerstoffbedarf. Dabei hängt die Größenordnung von der Struktur der organischen Substanz und der Beeinflussung von Hemmstoffen ab.

Die Bemessung biologischer Abwasseranlagen und die Kontrolle der Reinigungsleistung erfolgte früher auf der Grundlage des BSB<sub>5</sub>- Analysen. Auch heute noch wird der BSB zur Bewertung der Schmutz- bzw. Mischwasserbelastung verwendet. Allerdings wird der BSB im Zuge des Vorfluterschutzes und durch Entwicklung neuer Analysemethoden immer mehr durch Analyse von Einzelparametern ersetzt.

### 3. Installation und Betrieb des Meßgerätes

Das BSB<sub>M3</sub>-Meßgerät wurde auf der Kläranlage installiert, um erste Erfahrungen gewinnen zu können. Zwei Meßeinheiten wurden durchgeführt:

#### 1. Meßeinheit

Im Ablauf der Vorklärung: vom 16.07.87 bis 3.01.88

#### 2. Meßeinheit

Im Zulauf der Vorklärung: vom 28.07.88 bis 11.03.89

Die Wartung des Meßgerätes wurde nach der Arbeitseinweisung von der Firma SIEPMANN und TEUTSCHER vom Personal der Kläranlage durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, daß ein täglicher Wartungsaufwand von etwa 1 Stunde anfällt. In der ersten Meßeinheit wurde nur der ungeeichte Standardwert des BSB<sub>M3</sub> gemessen. In der zweiten Meßeinheit wurde der BSB<sub>M3</sub> auf den BSB<sub>5</sub> geeicht. Am 14.12.1988 sowie am 22.12.88 wurde der Eichwert L<sub>K</sub> bestimmt. In der 51. Woche wurde ein neuer L<sub>K</sub>-Wert eingestellt. In Bild 1 und 2 sind die Betriebszeiten des Meßgerätes während der Meßeinheiten aufgetragen.

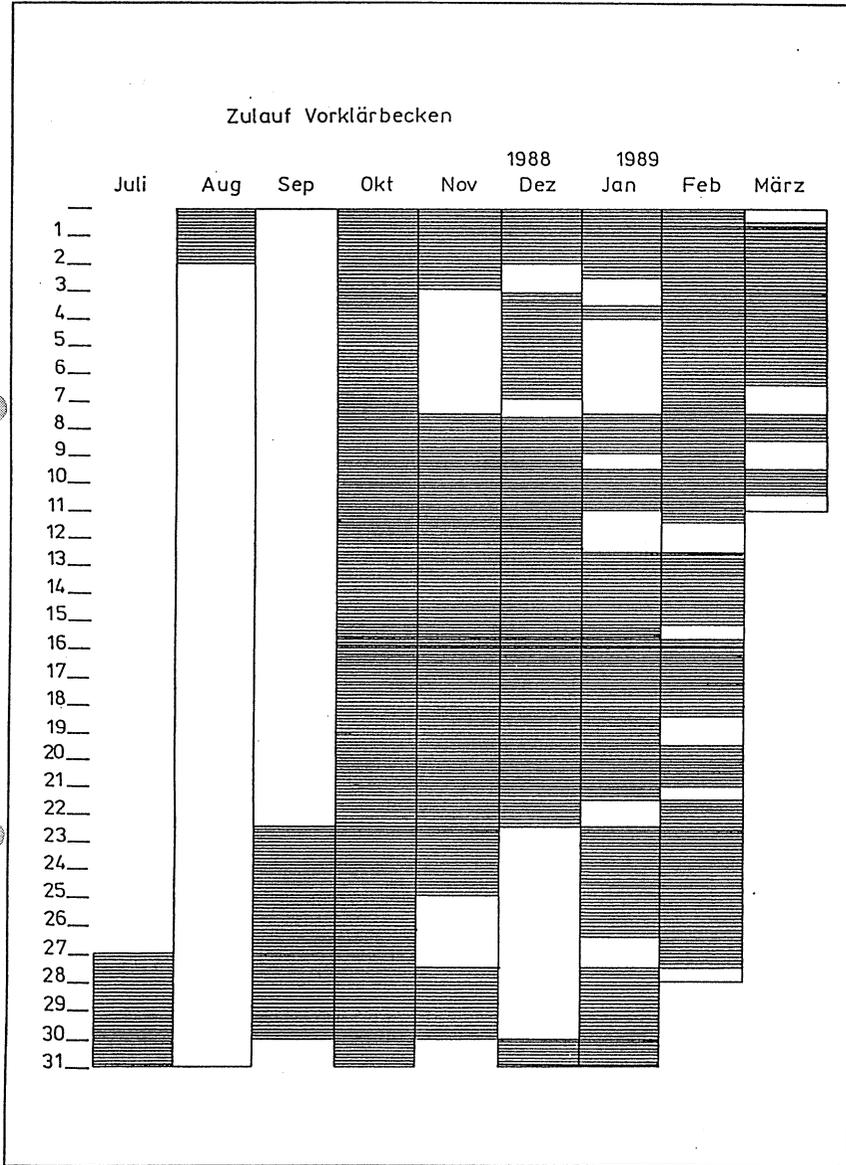


Bild 1: Betriebszeit des Meßgerätes in der 1. Meßeinheit

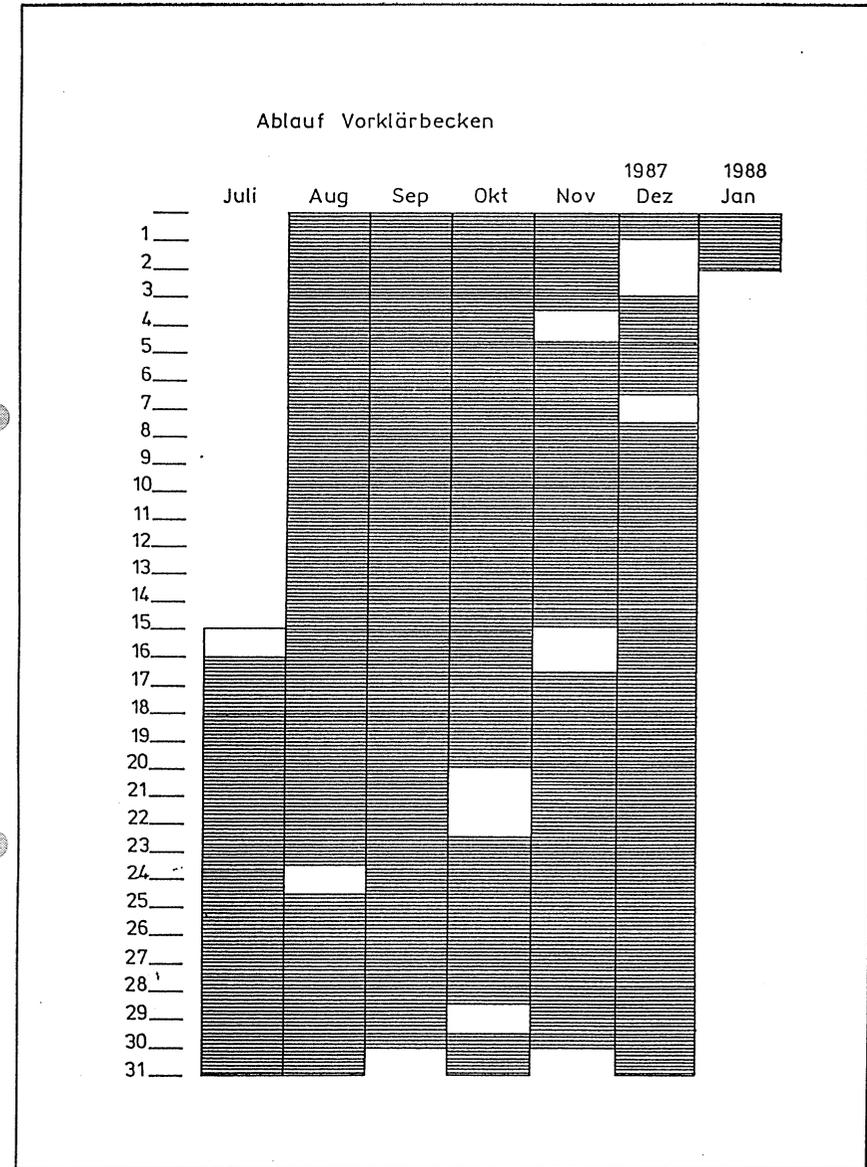


Bild 2: Betriebszeit des Meßgerätes in der 2. Meßeinheit

#### 4. Prinzipielle Grundlage der kontinuierlichen BSB<sub>M3</sub>- Messung

Bei der kontinuierlichen BSB<sub>M3</sub>- Messung durchläuft ein Probenstrom des zu untersuchenden Abwassers einen Bioreaktor. Der Probenstrom wird mit Leitungswasser verdünnt, so daß sich im Reaktor eine konstante Substratumsetzung einstellt. Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch kontrolliert und geregelt. Das Mischungsverhältnis von Abwasser und Verdünnungswasser dient zur Ermittlung der Nährstoffkonzentration des Abwassers, also zur BSB- Bestimmung.

Als theoretische Grundlage dienen die Reaktionsgleichungen nach MICHAELIS und MENTEN. Mißt man die Geschwindigkeit einer enzymatischen Reaktion und trägt diese gegen die Substratkonzentration auf, so ergibt sich die in Bild 3 dargestellte Abhängigkeit der Reaktionsgeschwindigkeit einer Enzymreaktion von der Substratreaktion. Die Substratreaktion bei halbmaximaler Reaktionsgeschwindigkeit wurde als Maß für die Enzymaktivität definiert.

$$V = V_{\max} \frac{S_0}{K_m + S_0}$$

- V : Reaktionsgeschwindigkeit
- V<sub>max</sub>: maximale Reaktionsgeschwindigkeit
- S<sub>0</sub> : Substratkonzentration
- K<sub>m</sub> : Michaelis-Konstante

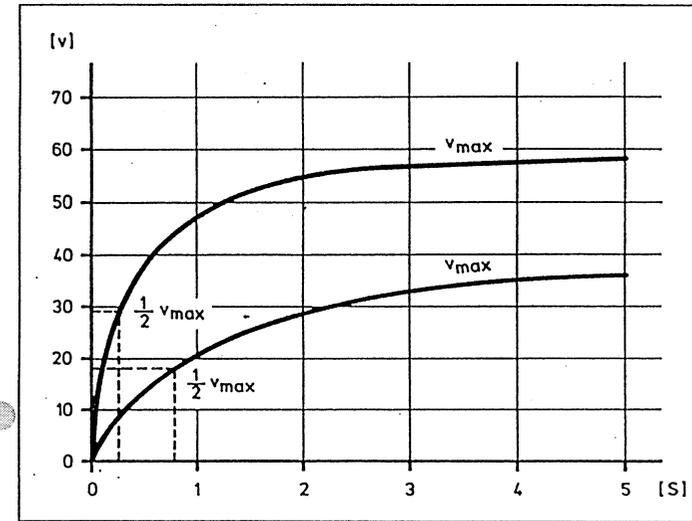


Bild 3: Michaelis-Menten-Beziehung

Bei kleinen Substratkonzentrationen sind die Reaktionsgeschwindigkeit diesen etwa proportional. Diese Abhängigkeit wird bei der kontinuierlichen BSB- Messung ausgenutzt. Die Nährstoffzufuhr bewirkt in diesem Bereich eine nahezu proportionale Sauerstoffzehrung. Das zu untersuchende Abwasser wird mit Leitungswasser verdünnt, so daß der Bioreaktor konstant mit einer bestimmten BSB<sub>5</sub>-Konzentration versorgt wird.

Die Einhaltung dieses Nährstoffniveaus wird über den gemessenen Sauerstoffverbrauch geregelt. Die Oxydation im Bioreaktor bewirkt die Regelung der Nährstoffzufuhr. Über das Mischungsverhältnis wird der BSB<sub>M3</sub> bestimmt.

5. Vergleich zwischen den Stichprobenmessungen (BSB<sub>5</sub>) und der kontinuierlichen BSB<sub>M3</sub>- Messung

Ein direkter Vergleich zwischen BSB<sub>5</sub>- und BSB<sub>M3</sub>- ist nicht möglich, da die Wechselwirkung zwischen Substrat und Biozönose bei einer kontinuierlichen Beschickung mit einer abgeschlossenen Organismen Population (BSB<sub>5</sub>- Probenflasche) nicht identisch ist. Der BSB<sub>M3</sub>- kann nicht den BSB<sub>5</sub> exakt wiedergeben. Mit dem BSB<sub>M3</sub>- Meßwert werden relative Aussagen über Konzentrationsniveaus getroffen, so daß kontinuierliche Aussagen über die biologische Abbaubarkeit möglich werden. Der BSB<sub>5</sub>- beschreibt nur den biologischen Abbau zu einem Zeitpunkt einer bestimmten Biozönose.

Nach Adaption der Biomasse an das Abwasser kann der BSB<sub>M3</sub> auf den BSB<sub>5</sub> durch Eichung des L<sub>K</sub>- Wertes angepaßt werden. Die BSB- Konzentration im Bioreaktor (L<sub>K</sub>- Wert) ist solange zu eichen, bis der BSB<sub>M3</sub> mit dem BSB<sub>5</sub> übereinstimmt.

Die Angleichung des BSB<sub>M3</sub> an den BSB<sub>5</sub> (Laboruntersuchungen der Kläranlage Seehausen) erfolgte am 14.12.1988. Das Meßgerät war im Zulauf der Vorklärung stationiert. Der L<sub>K</sub>- Wert wurde an zwei Verhältnismessungen (BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>) geeicht. In Bild 2 ist der Zusammenhang zwischen BSB<sub>M3</sub> und BSB<sub>5</sub> dargestellt. Die BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>- Relation beträgt 2,6:1. Durch herabsetzen des L<sub>K</sub>- Wertes von 5,0 auf 1,85 konnte die BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>- Relation verbessert werden. Die BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>- Relationen wurden an drei weiteren Eichmessungen überprüft.

Eichmessung vom 14.12.88 L <sub>K</sub> = 5,0 BSB <sub>M3</sub> /BSB <sub>5</sub> = 2,6:1,0	BSB <sub>5,gem</sub> = 352 mg/l und = 192 mg/l
Eichmessung vom 22.12.88 L <sub>K</sub> = 1,85 BSB <sub>M3</sub> /BSB <sub>5</sub> = 1,08:1,0	BSB <sub>5,gem</sub> = 324 mg/l
Eichmessung vom 09.01.89 L <sub>K</sub> = 1,85 BSB <sub>M3</sub> /BSB <sub>5</sub> = 1,16:1,0	BSB <sub>5,gem</sub> = 285 mg/l
Eichmessung vom 02.03.89 L <sub>K</sub> = 1,85 BSB <sub>M3</sub> /BSB <sub>5</sub> = 0,75:1,0	BSB <sub>5,gem</sub> = 223 mg/l

Tabelle 1: BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>- Relation

Die Auswertungen sind grafisch in Tabelle 1 aufgetragen. Der BSB<sub>M3</sub>- Meßwert bildet die Abbauleistung des BSB<sub>5</sub> nach Eichung des L<sub>K</sub>- Wertes hinreichend genau nach. Der BSB<sub>M3</sub>/BSB<sub>5</sub>- Reaktionswert schwankt zwischen 0,75 und 1,08, wobei eine eventuelle Ungenauigkeit der Laborwerte zu berücksichtigen ist. Erfahrungsbedingt liegen die Abweichungen der Laborwerte zwischen 10% und 15% (Schöneborn, KA 4,1988). Eine absolute Wiedergabegenauigkeit des BSB<sub>M3</sub> ist durch den BSB<sub>5</sub> nicht gegeben.

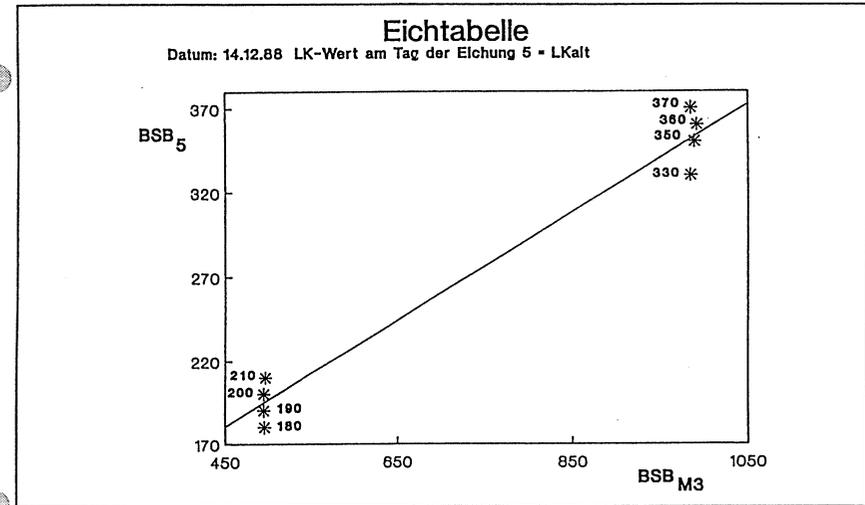


Bild 4: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB<sub>M3</sub> vom 14.12.88, L<sub>K</sub> = 5,0

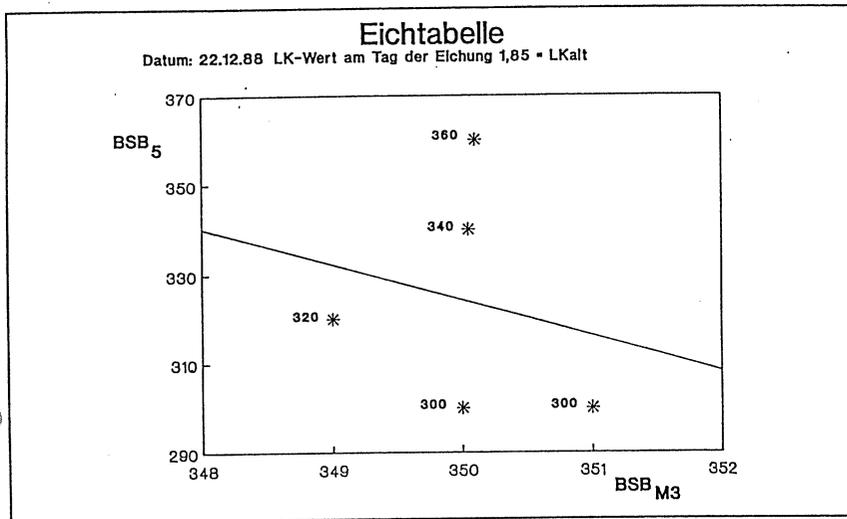


Bild 5: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB<sub>M3</sub> vom 22.12.88, L<sub>K</sub> = 1,85

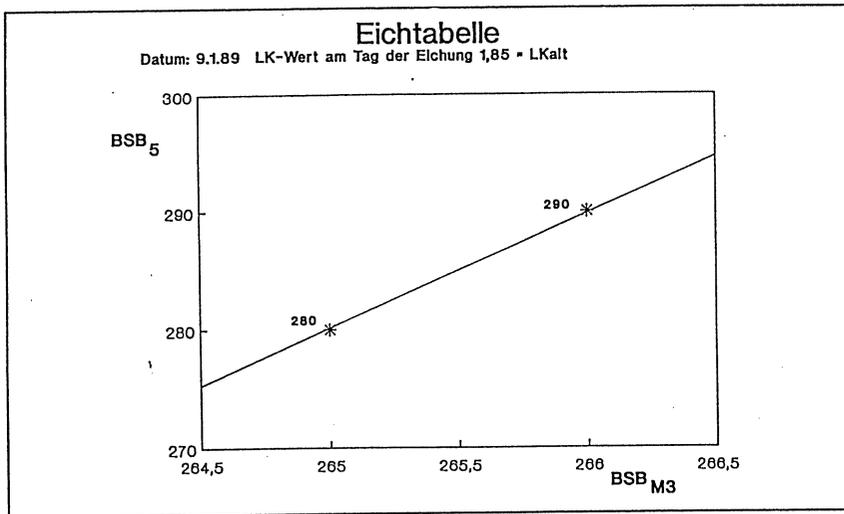


Bild 6: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB<sub>M3</sub> vom 09.01.89, L<sub>K</sub> = 1,85

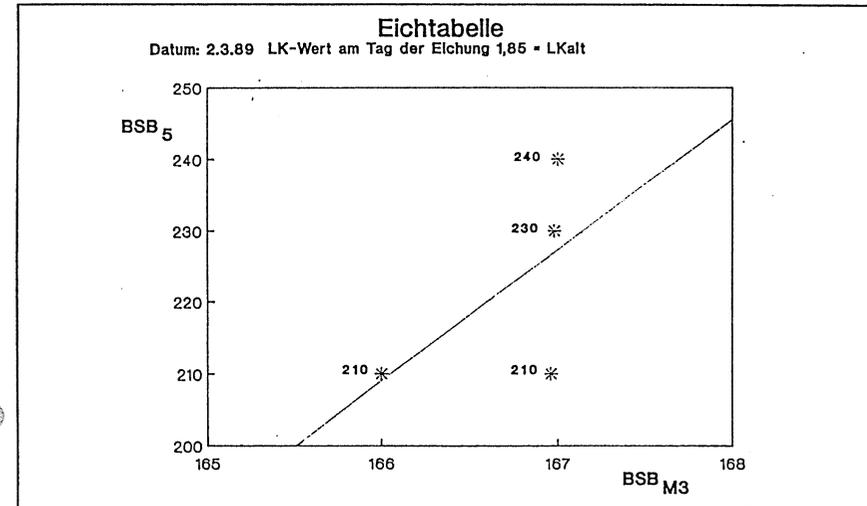


Bild 7: Vergleichende Untersuchung zwischen BSB<sub>5</sub> und BSB<sub>M3</sub> vom 02.03.89, L<sub>K</sub> = 1,85

6. Auswertung der kontinuierlichen BSB<sub>M3</sub>-Messungen

6. 1 Schmutzwasserabfluß

Die BSB<sub>M3</sub>-Konzentrationen schwanken im Zulauf der Vorklärung erheblich.

L<sub>K</sub> = 5 (n. geeicht): 30 mg BSB<sub>M3</sub>/l bis 2320 mg BSB<sub>M3</sub>/l

L<sub>K</sub> = 1.85 (geeicht): 40 mg BSB<sub>M3</sub>/l bis 1200 mg BSB<sub>M3</sub>/l

Tageszeitliche Schwankungen der BSB<sub>M3</sub>-Konzentrationen traten nicht auf. Beim Trockenwetterabfluß konnte ein tageszeitlicher Verlauf festgestellt werden (→ exemplarische Beispiele in Bild 8 u. 9).

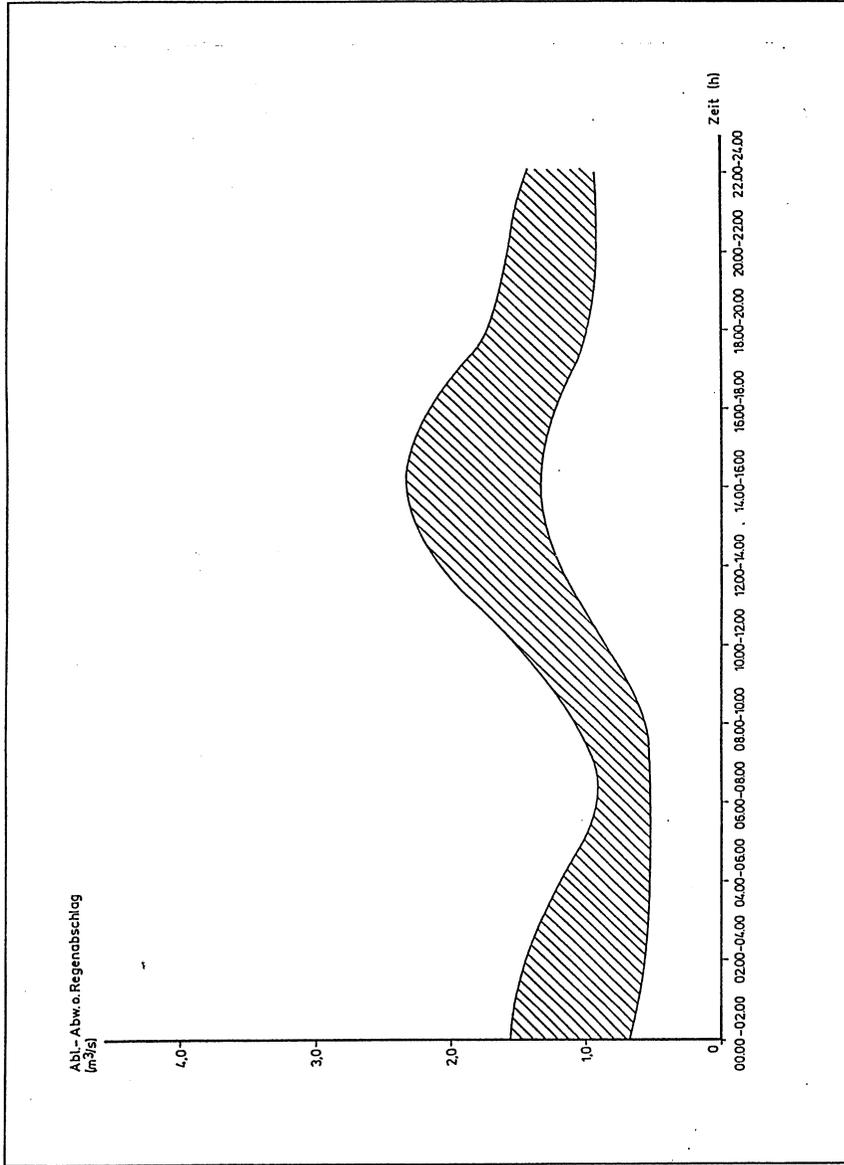


Bild 8: Schwankungen des Trockenwetterabflusses

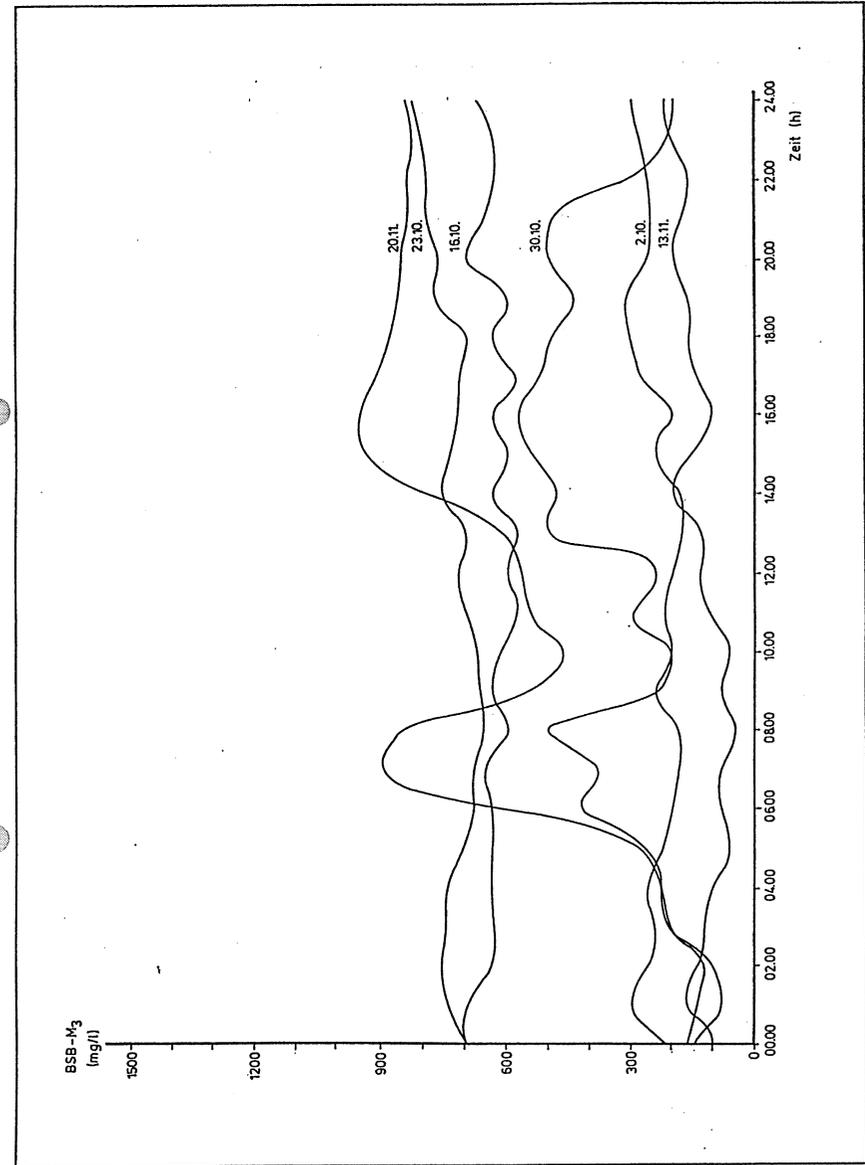


Bild 9: Schwankungen der BSB<sub>M3</sub>-Konzentrationen

### 6.2 Mischwasserabfluß

Die gemessenen BSB<sub>M3</sub>-Konzentrationen schwanken im Zulauf zur Vorklärung erheblich.

L<sub>K</sub> = 5 (n. geeicht): 30 mg BSB<sub>M3</sub>/l bis 2400 mg BSB<sub>M3</sub>/l  
L<sub>K</sub> = 1.85 (geeicht): 40 mg BSB<sub>M3</sub>/l bis 1200 mg BSB<sub>M3</sub>/l

Insgesamt konnten 41 Regenereignisse auf der Kläranlage erfaßt werden, mit einer Abflußspitze von 2.8 m<sup>3</sup>/s, die dem Bemessungszufluß der Kläranlage entsprechen. Da die Konzentrationen sowie Abflüsse nicht digitalisiert auf Datenträger vorlagen, konnte das Datenmaterial nur gesichtet werden. Die Mischwasserereignisse wurden nach Gruppen unterschieden. Bei der Einteilung wurde der Konzentrationsverlauf zu Beginn und während des Mischwasserereignisses betrachtet.

- Gruppe I  
Konzentration steigt  
Anzahl der Mischwasserzustände: 21
- Gruppe II  
Konzentration fällt  
Anzahl der Mischwassererezzustände: 23
- Gruppe III  
Konzentration bleibt gleich  
Anzahl der Mischwasserzustände: 20

Aufgrund der rasch wechselnden Mischwasserkonzentrationen während der Mischwasserabflüsse ist eine Steuerung des Mischwasserabflusses nach qualitativen Gesichtspunkten sinnvoll.

In den Bildern 10 bis 28 sind einige Mischwasserereignisse grafisch aufgetragen. Die Kläranlagenzuflüsse, die BSB<sub>M3</sub>-Frachttintensitäten (Frachtraten) und die BSB<sub>M3</sub>-Konzentrationen sind exemplarisch für abflußrelevante Ereignisse dargestellt. Der Kläranlagenzufluß wurde kontinuierlich auf der Kläranlage gemessen.

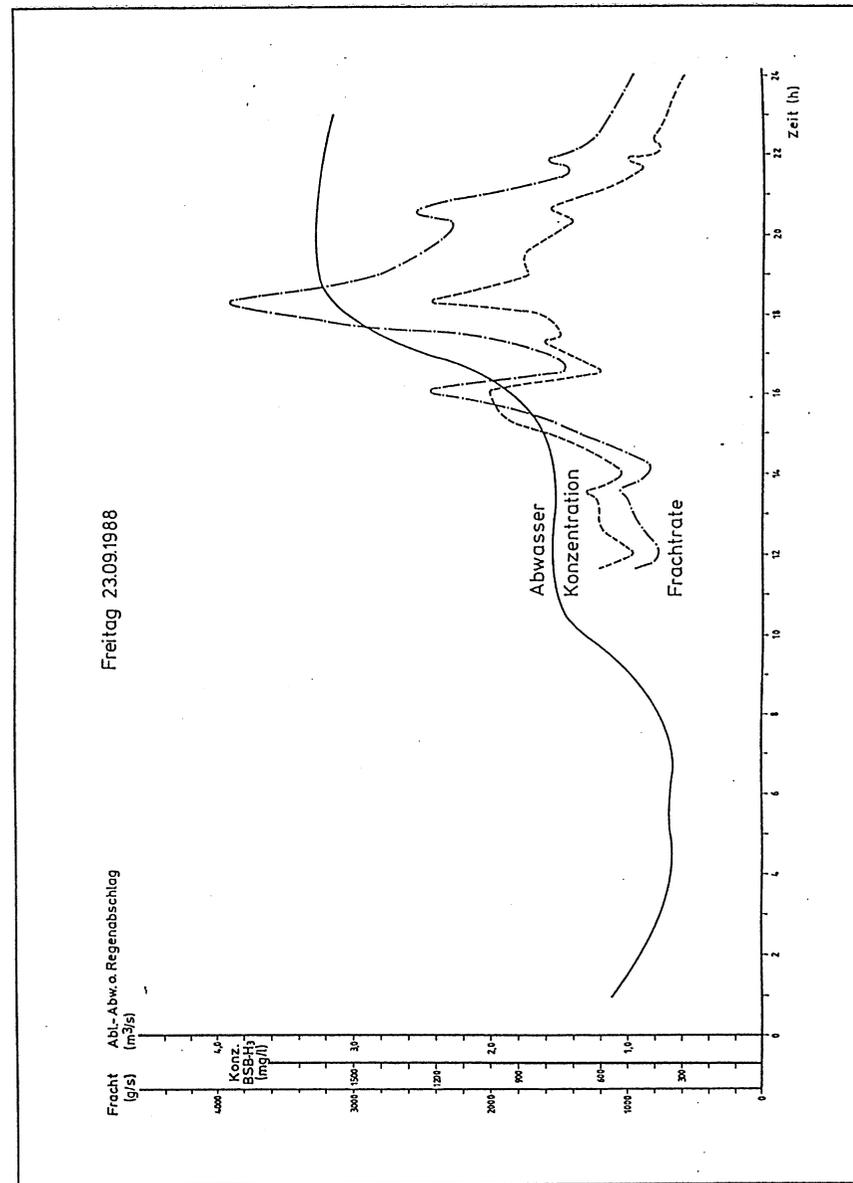


Bild 10: Mischwasserereignis 23.09.1988

Bild 11: Mischwasserereignis 24.09.1988

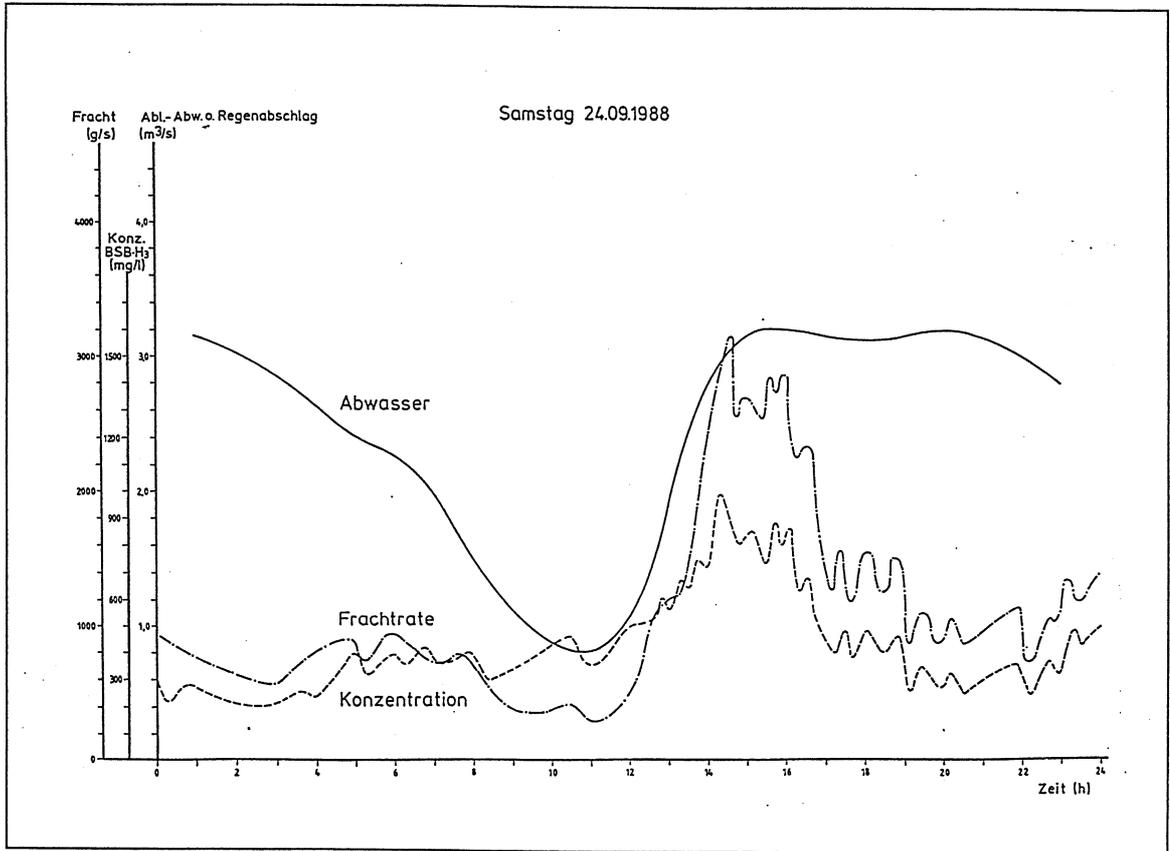


Bild 12: Mischwasserereignis 6.10.1988

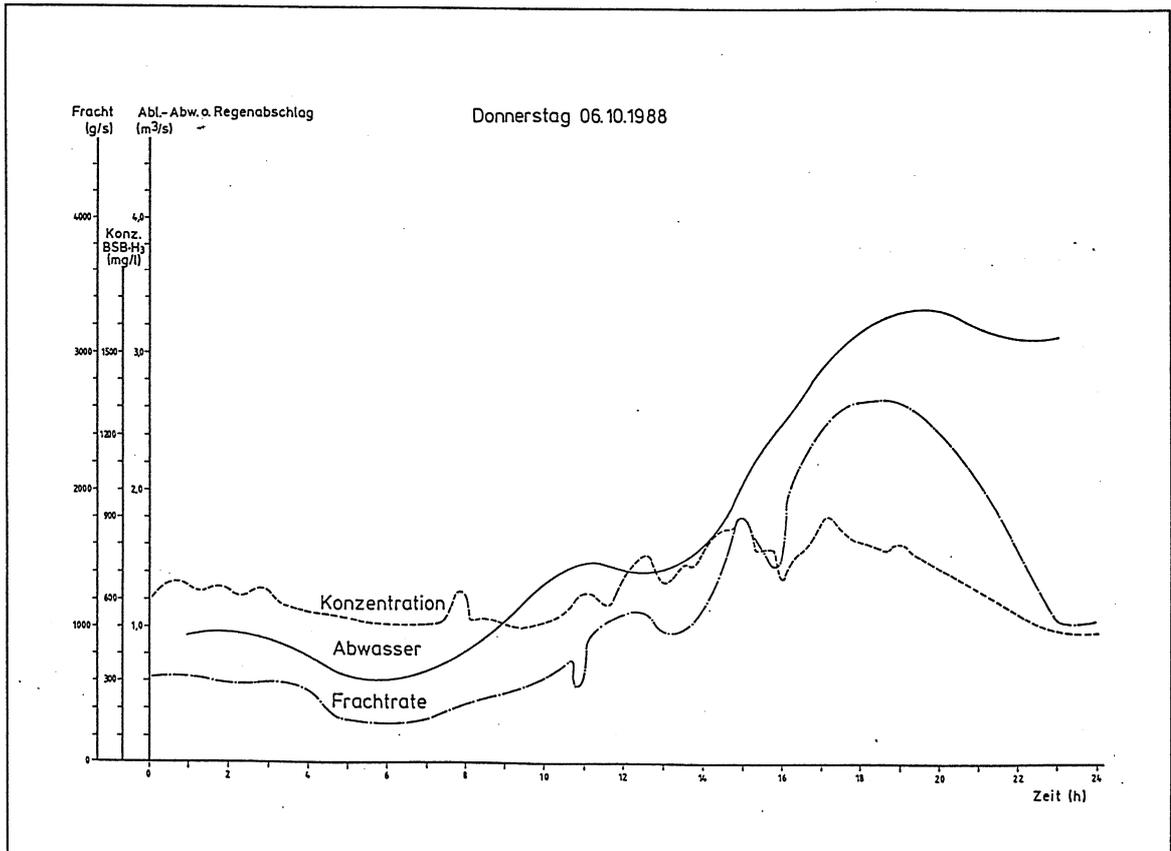


Bild 13: Mischwasserereignis 8.10.1988

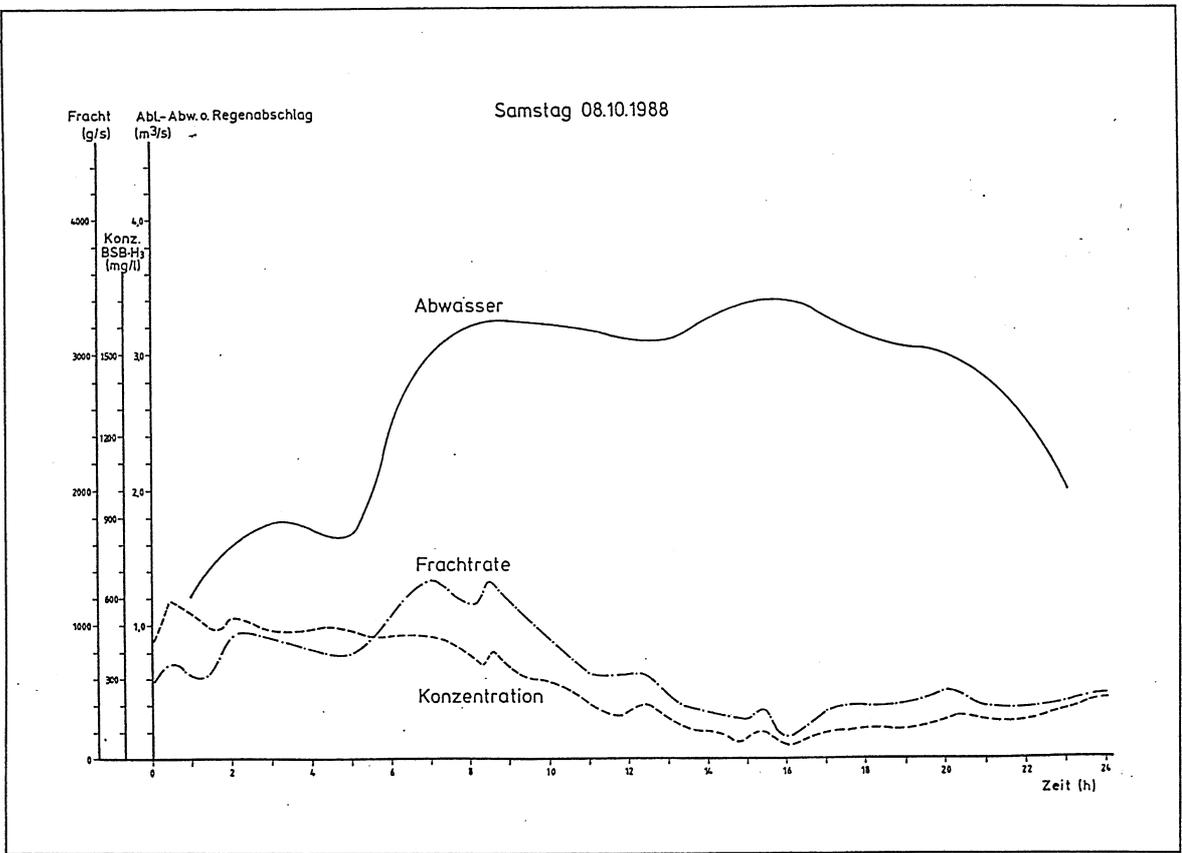


Bild 14: Mischwasserereignis 9.10.1988

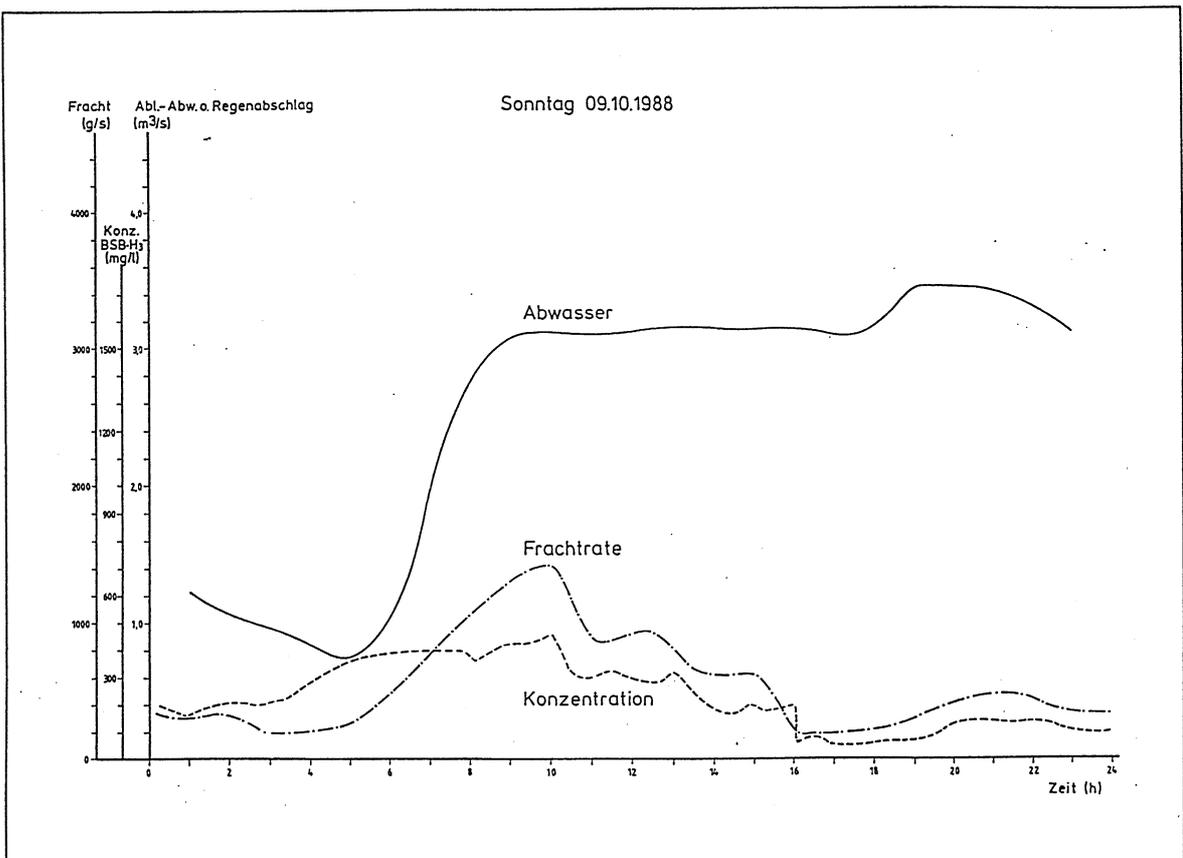


Bild 15: Mischwasserereignis 10.10.1988

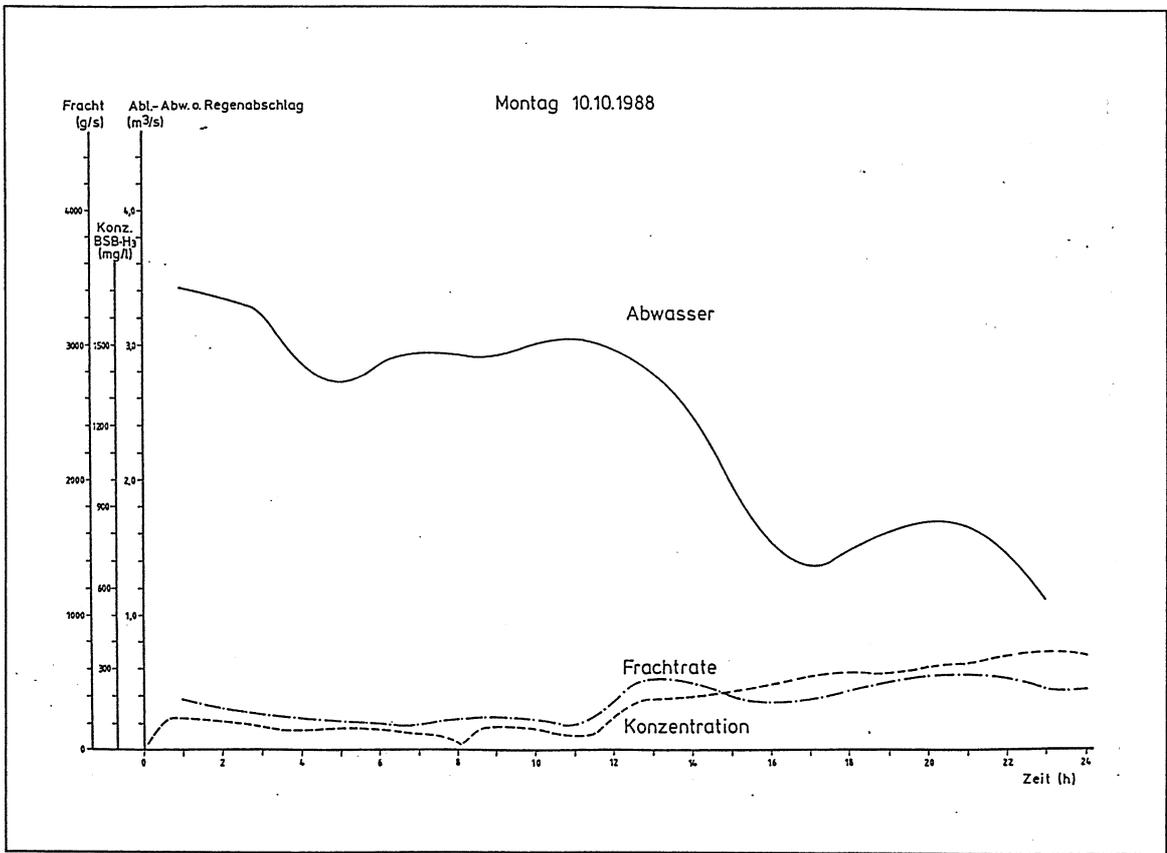


Bild 16: Mischwasserereignis 12.10.1988

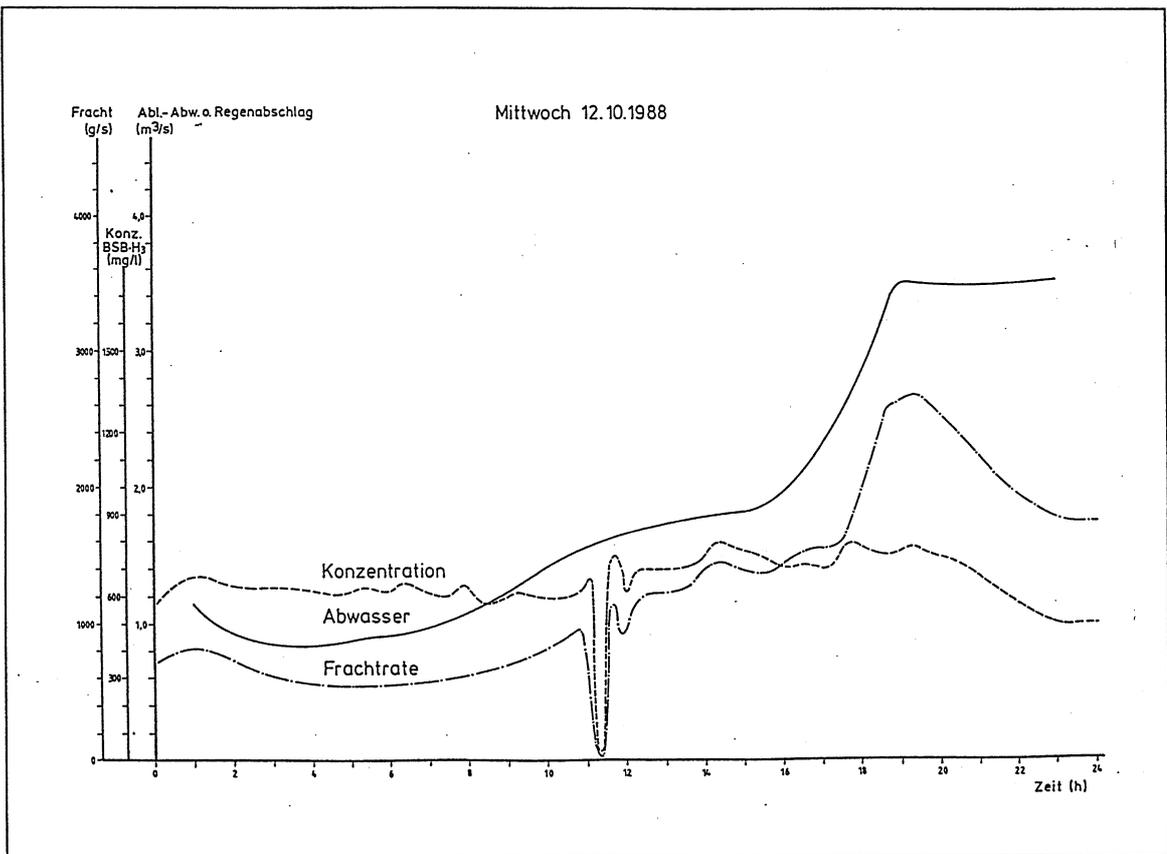


Bild 17: Mischwasserereignis 13.10.1988

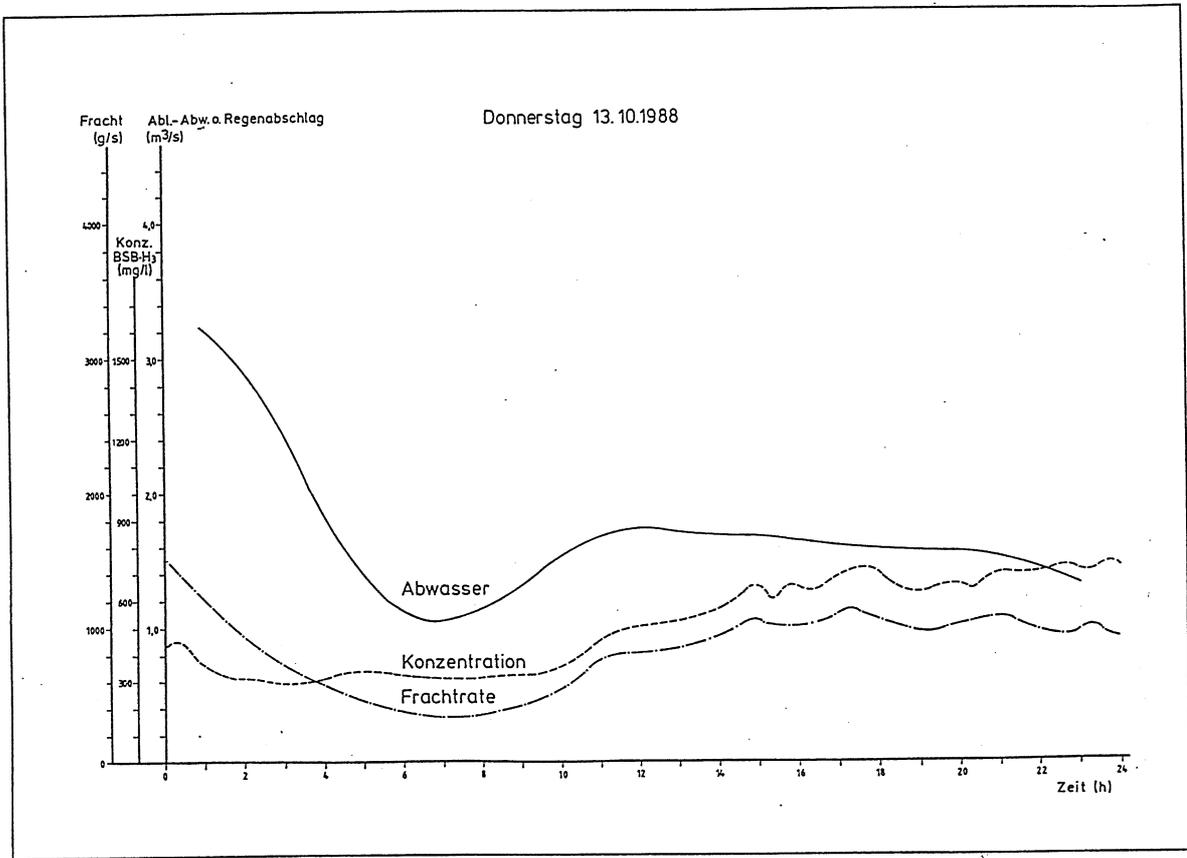


Bild 18: Mischwasserereignis 23.11.1988

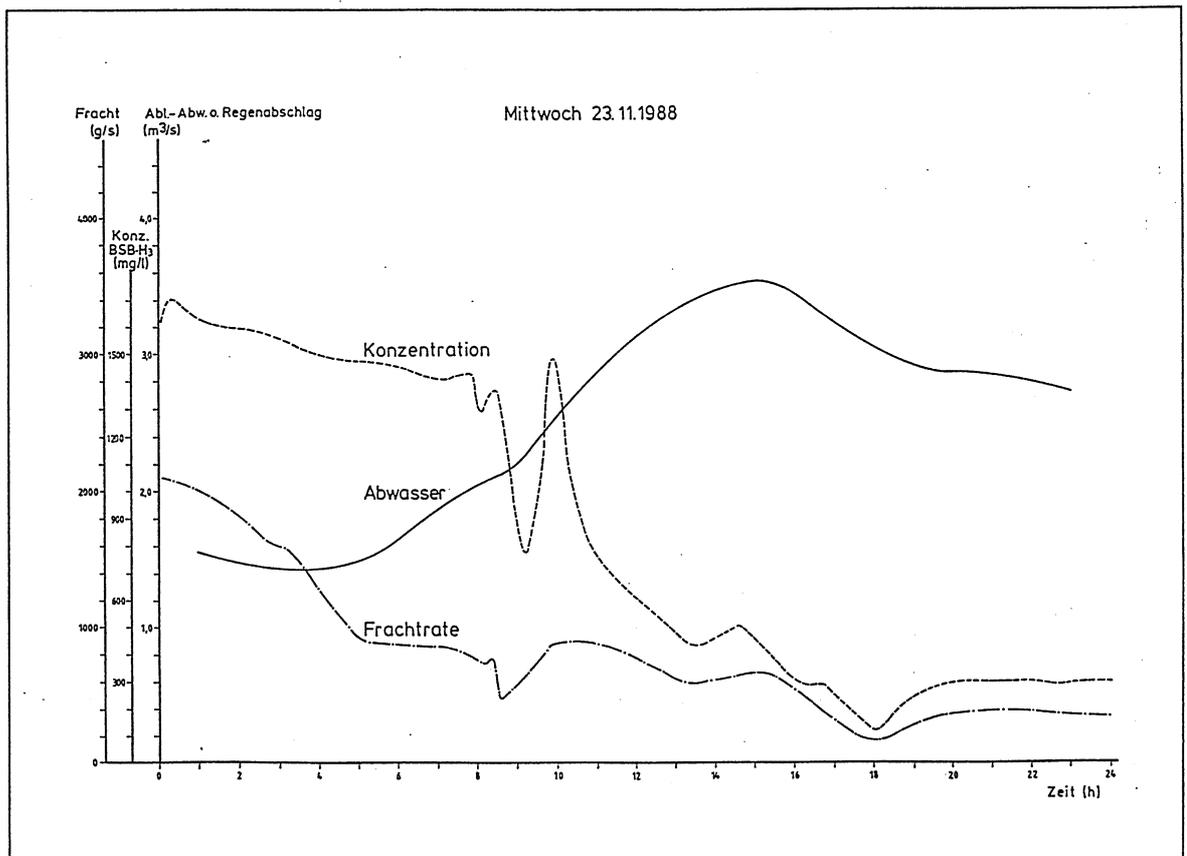


Bild 19: Mischwasserereignis 28.11.1988

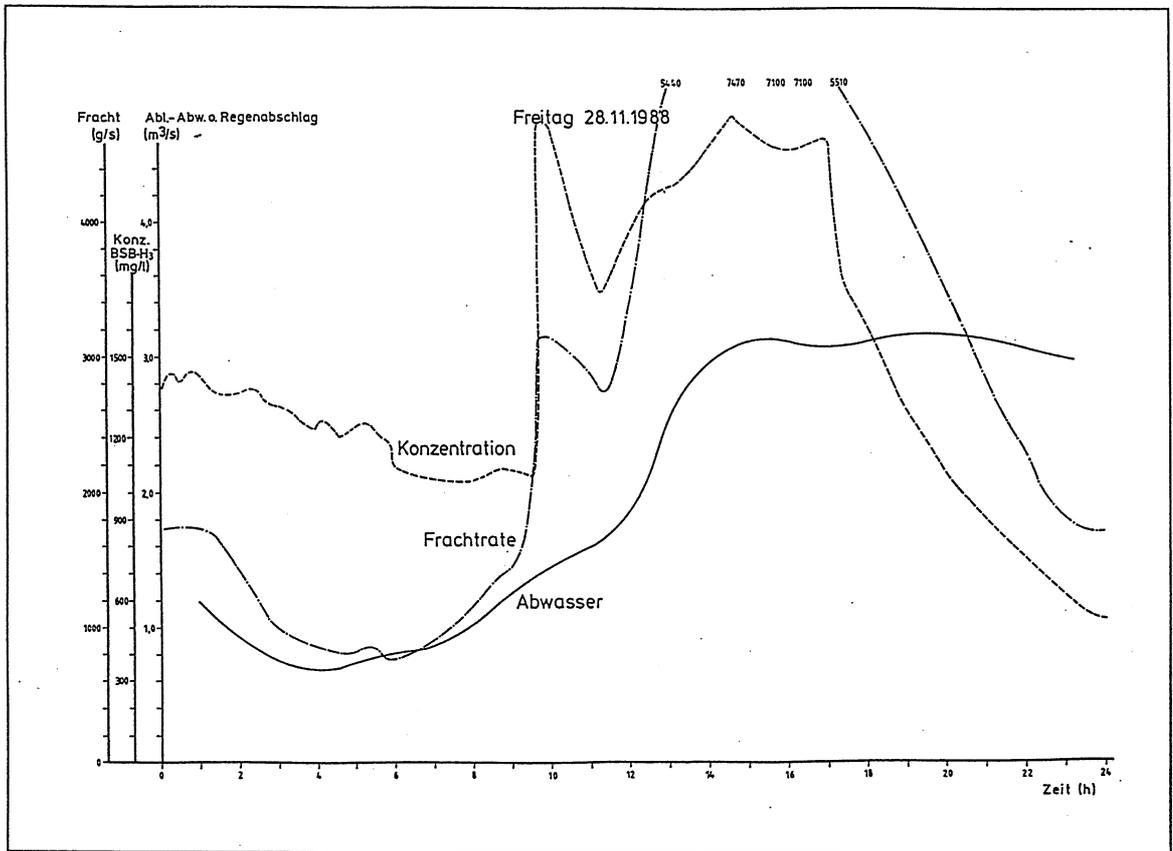


Bild 20: Mischwasserereignis 4.12.1988

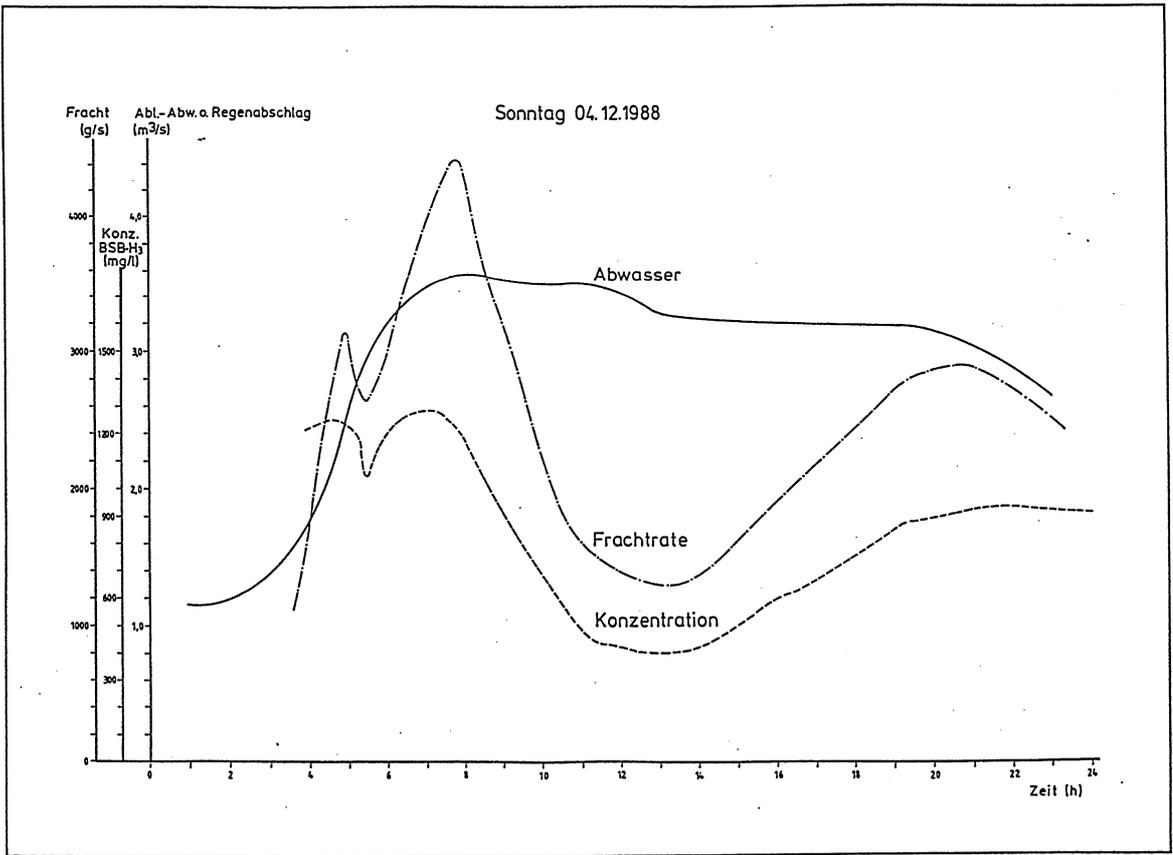


Bild 21: Mischwasserereignis 5.12.1988

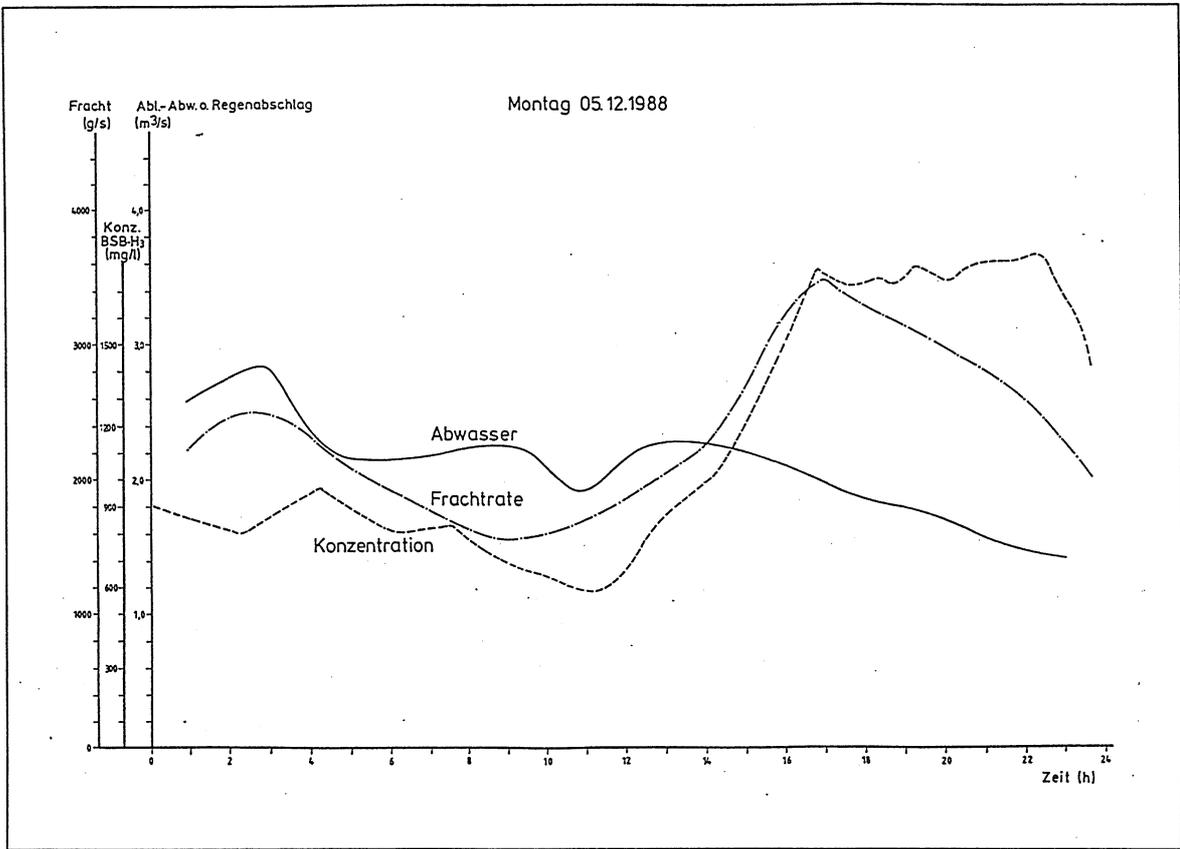


Bild 22: Mischwasserereignis 6.12.1988

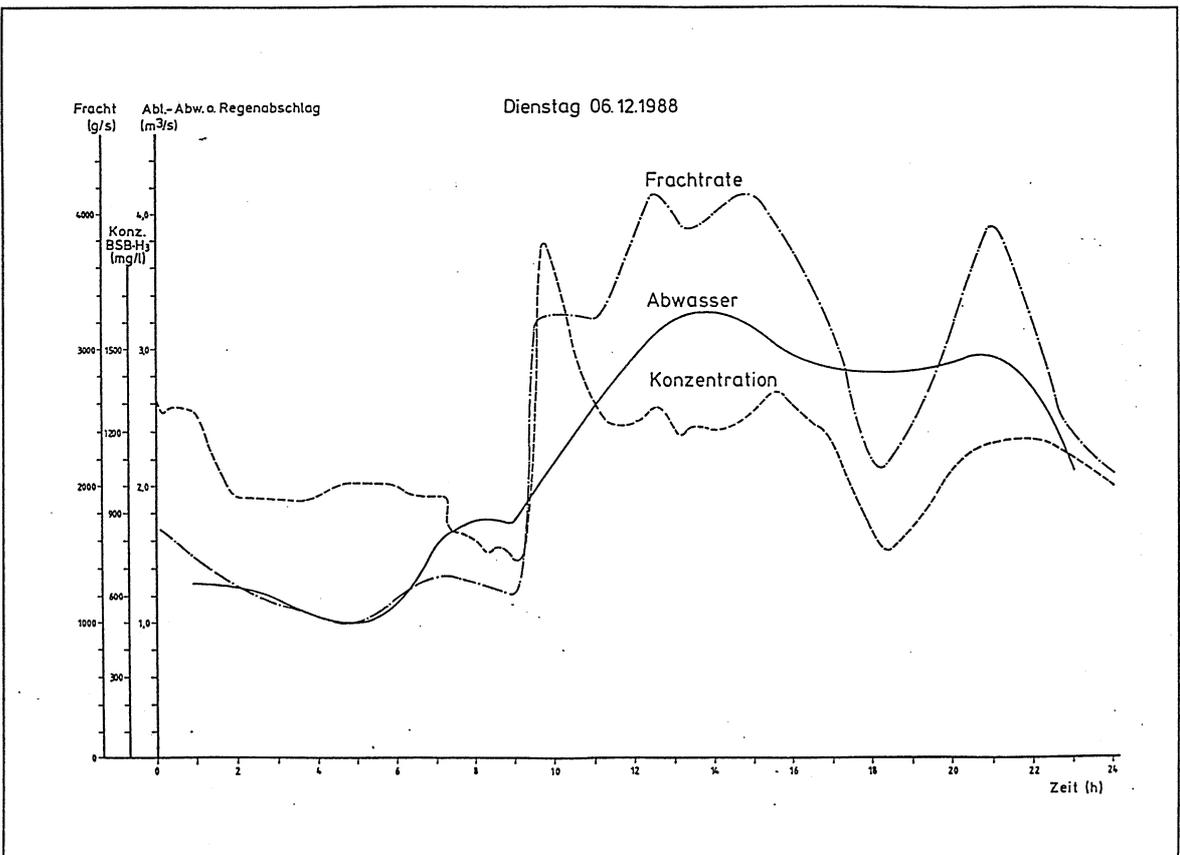


Bild 23: Mischwasserereignis 9.12.1988

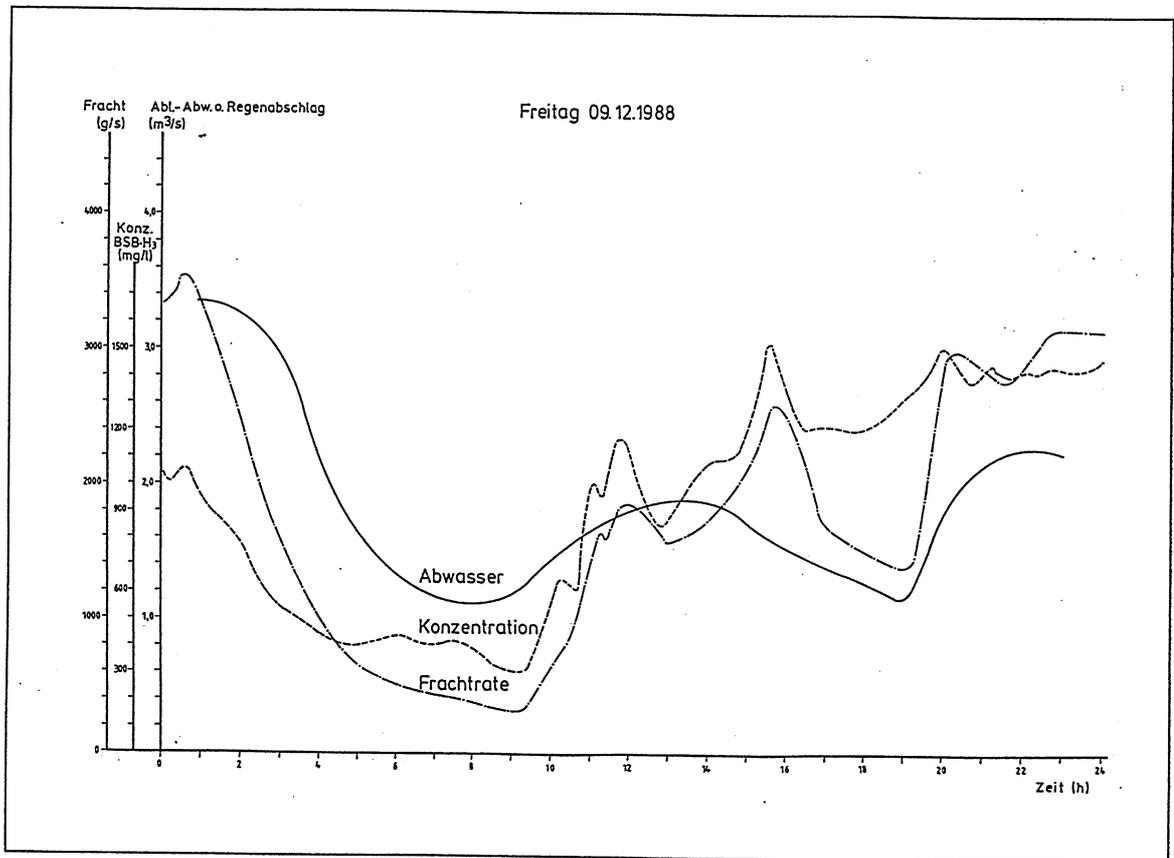


Bild 24: Mischwasserereignis 10.12.1988

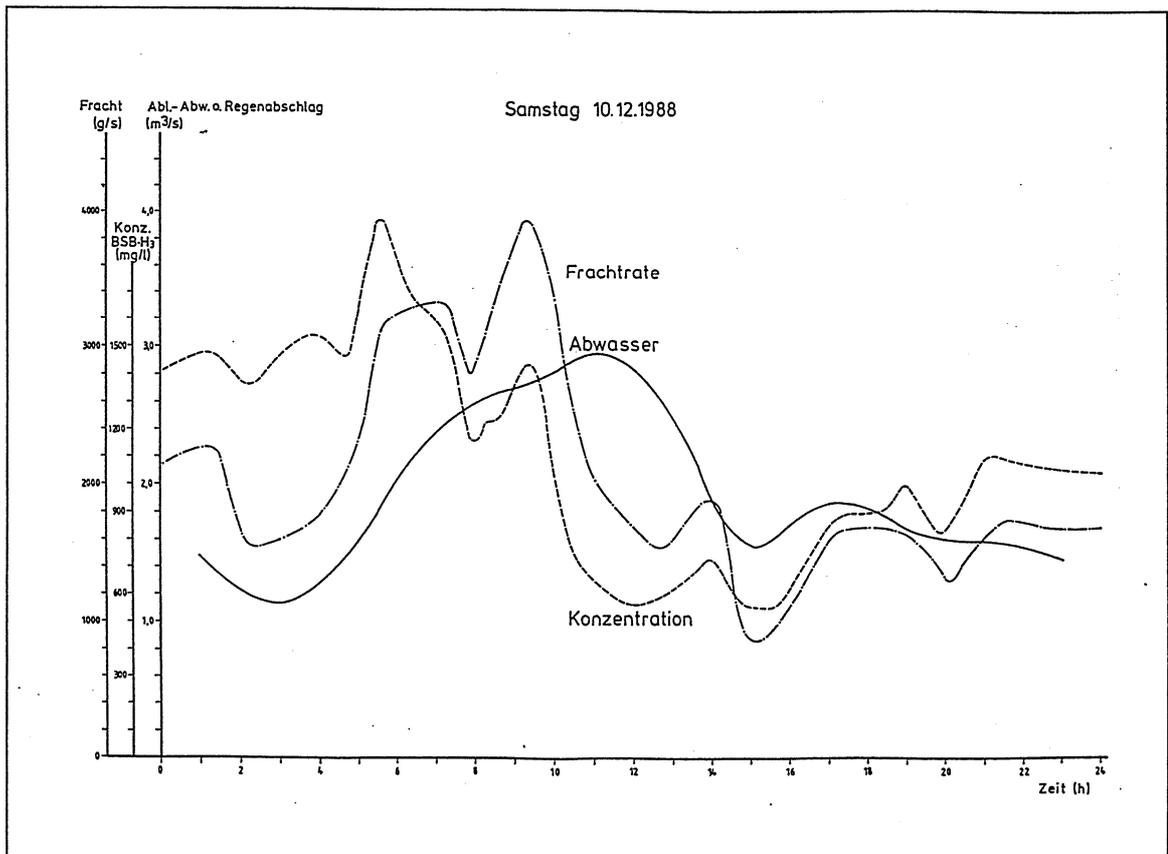


Bild 25: Mischwasserereignis 18.12.1988

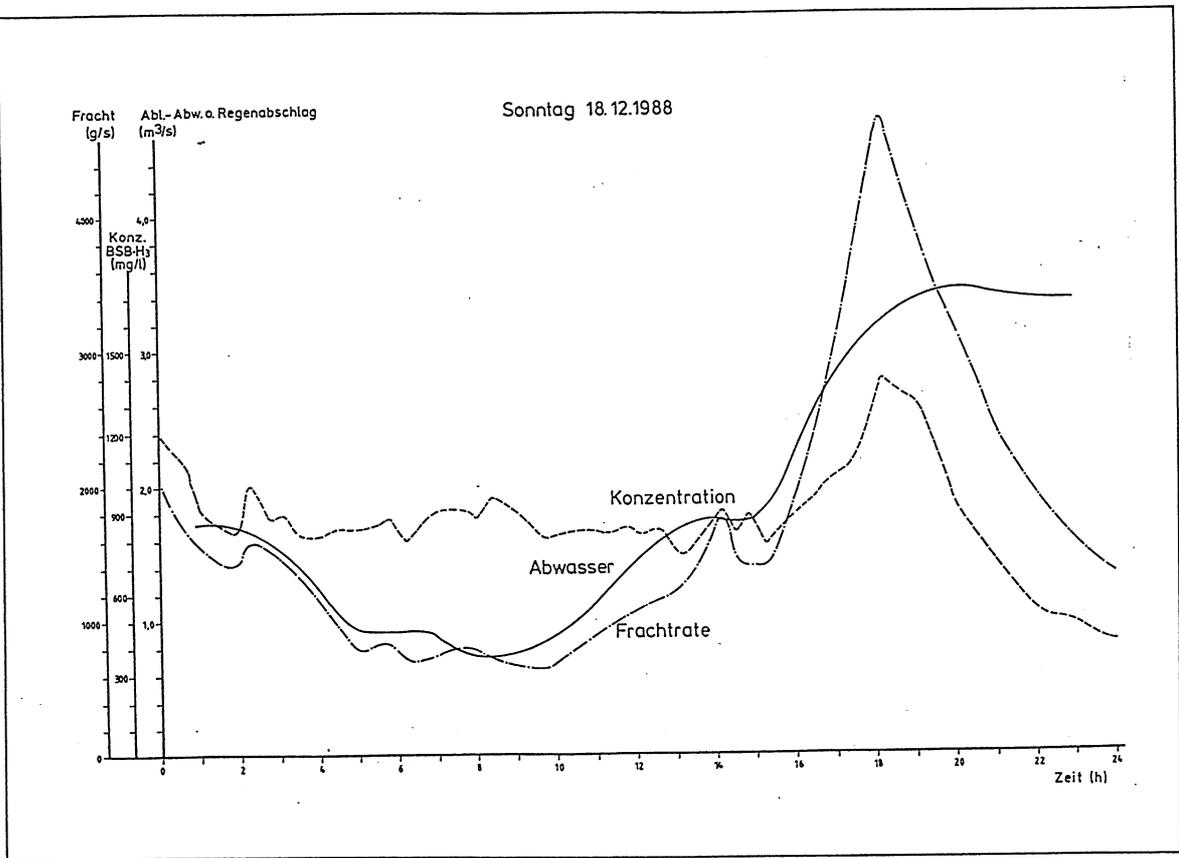


Bild 26: Mischwasserereignis 19.12.1988

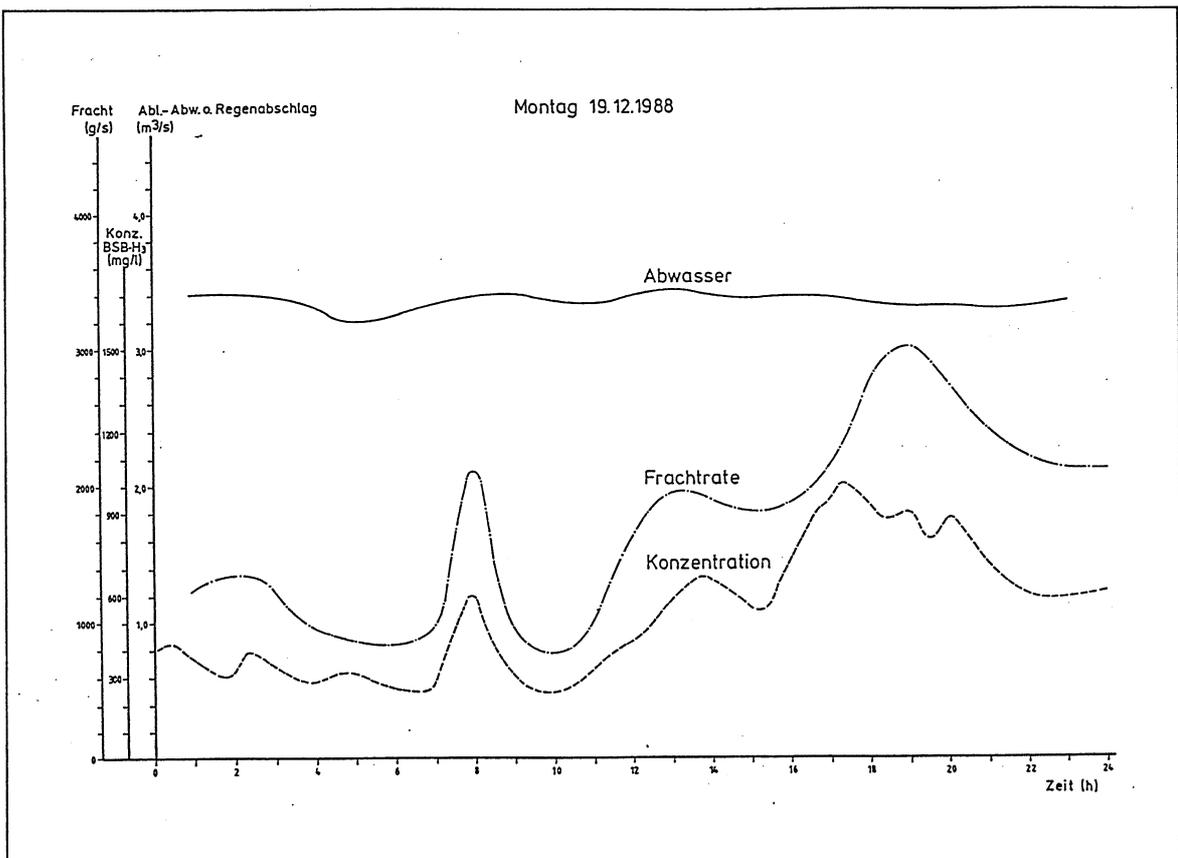


Bild 27: Mischwasserereignis 20.12.1988

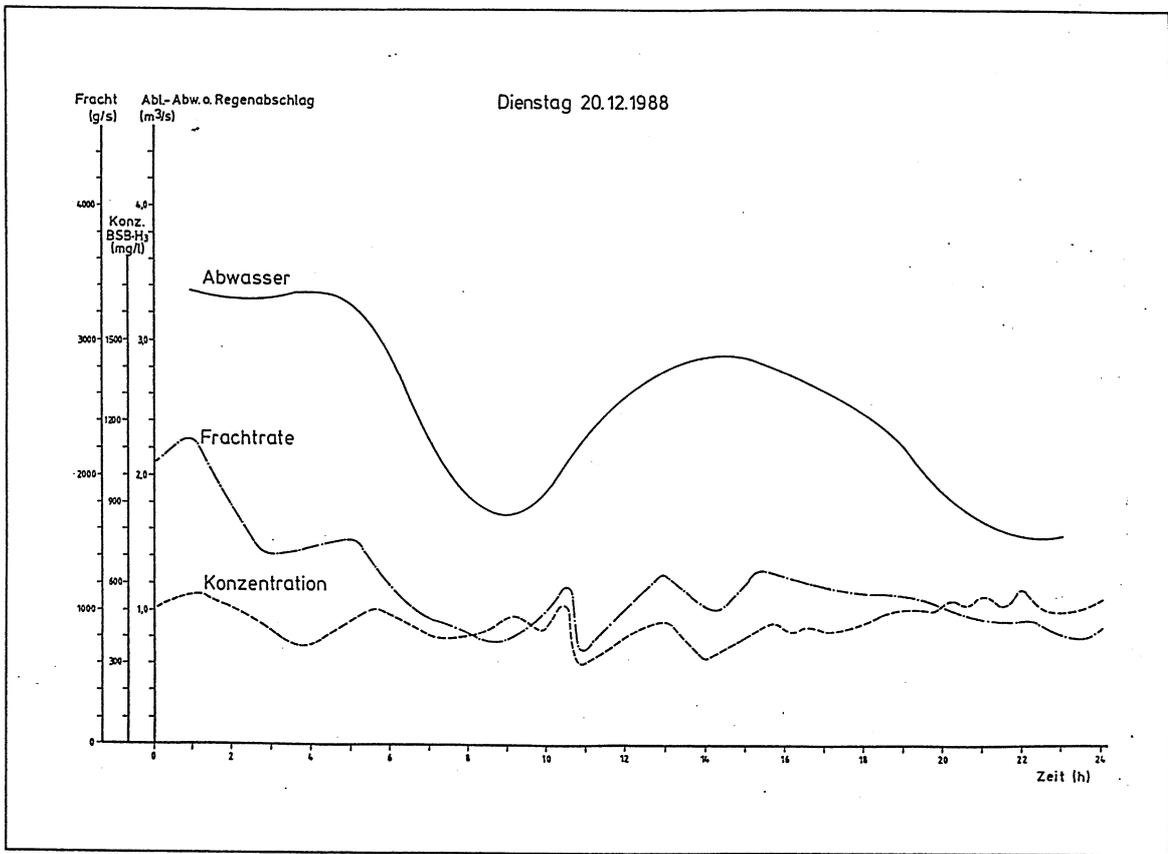
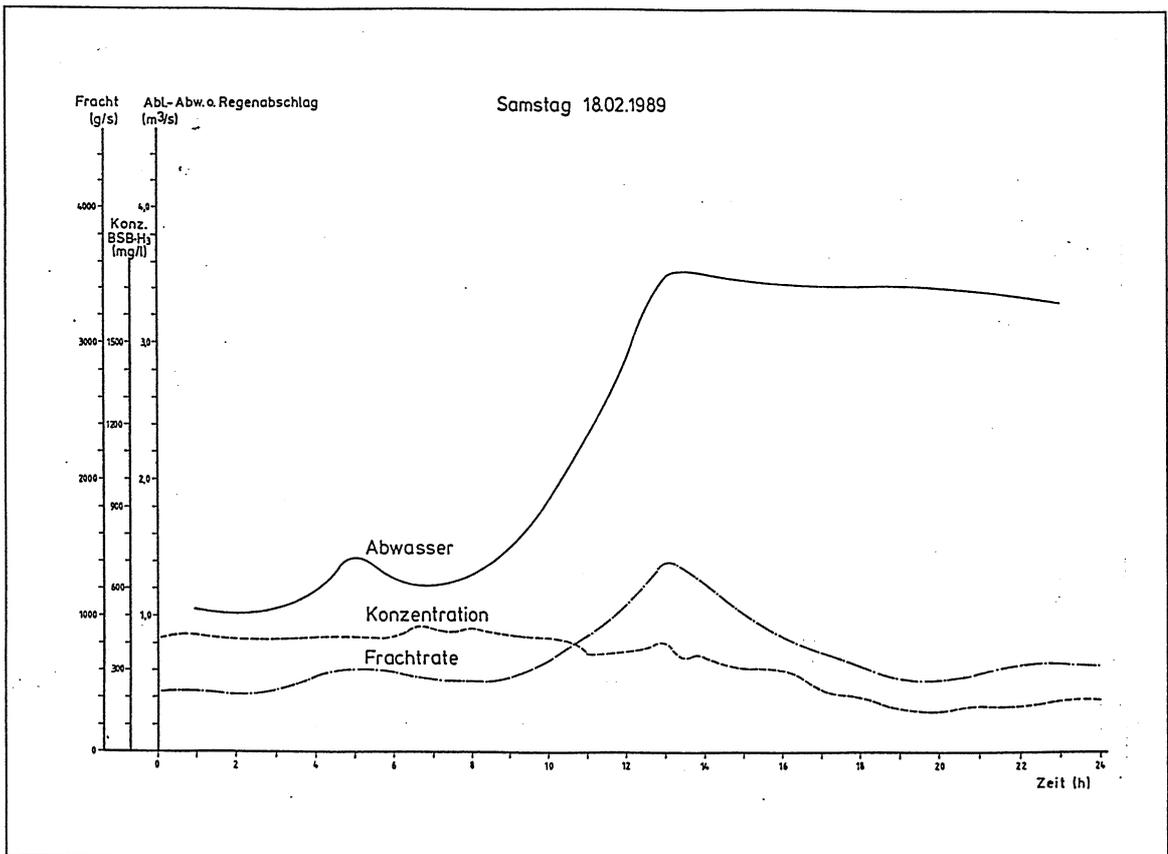


Bild 28: Mischwasserereignis 18.02.1988



### 7. Überprüfung des Informationsgehaltes von BSB<sub>M3</sub>-Messungen zur Steuerung nach Güteaspekten

Überträgt man die gemessenen BSB<sub>M3</sub>-Messungen in den Zulauf der Entlastungsanlage des Hauptpumpwerkes, so lassen sich aufgrund der qualitativen Informationen zusätzliche Regeln zur Abflußsteuerung berücksichtigen. Folgende Steuereingriffe wären möglich gewesen:

*in den Vorfluter*

1.) Entleerung  $V$  der Becken während des Mischwasserereignisses (d.h. die Zulaufkonzentration steigt (z.B. Bild 11,17,26).

2.) Direktes Abschlagen der Wassermengen, ohne Beschickung der Speicherbecken (Zulaufkonzentration ist geringer als die Konzentration im Speicherbecken) (z.B. Bild 11,13,14,15,18,19,20,25).

3.) Indirekter Abschlag unter Ausnutzung der Absetzwirkung des Speicherbeckens (Konzentration im Klärüberlauf geringer als im Zulauf) (z.B. Bild 11,20,26).

4.) Minimierung des Drosselabflusses zur Kläranlage, um einen höheren Wirkungsgrad auf der Kläranlage zu erzielen (wenn die zusätzliche Abauffracht der Kläranlage größer als die Entlastungsfracht ist) (z.B. Bild 13,14,15,18).

5.) Veränderung der Füll-, Speicher- und Entleerungsprozesse während des Mischwasserabflusses mit dem Ziel der Minimierung von Schmutzfrachten in den Vorfluter oder des Kläranlagenablaufs.

### 8. Eignung des BSB<sub>M3</sub>- Meßwertes als Indikator zur Verunreinigung des Mischwasserabflusses

Der BSB<sub>M3</sub>-Meßwert zeigt das dynamische Verhalten der biologischen Abbaufähigkeit der Abwasserinhaltsstoffe an. Dafür ist es nicht erforderlich den BSB<sub>M3</sub>-Meßwert auf den BSB<sub>5</sub>-Meßwert zu eichen. Werden allerdings die Mischwasserkonzentrationen mit den Ablaufkonzentrationen der Kläranlage verglichen, ist der BSB<sub>M3</sub>-Meßwert zu

eichen, da der BSB im Kläranlagenablauf nach der Verdünnungsmethode mit einer Reaktionszeit von 5 Tagen analysiert wird.

Der BSB ist ein biologischer Summenparameter der Abwasseranalytik. Chemische Stoffe werden nicht erfaßt. Allerdings beträgt der Korrelationskoeffizient zwischen BSB und CSB zwischen  $r = 0,92$  bis  $0,94$  (siehe Meßergebnisse an der Entlastungsanlage BREMEN-HORN).

Toxische Einflüsse sind nicht erfaßbar. Ebenso bleiben die Konzentrationen anderer Inhaltsstoffe z.B. Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe unbekannt.

### 9. Zusammenfassung und Ausblick

Das BSB<sub>M3</sub>- Meßgerät hat sich auf der Kläranlage bewährt. Die sprunghafte Änderung von Misch- und Trockenwetterkonzentrationen läßt sich nur mit einer kontinuierlichen Messung nachweisen. Der Wartungsaufwand des Meßgerätes ist erheblich. Er beträgt 1 Stunde am Tag. Im Zulauf der Vorklärung gab es bei der kontinuierlichen Probenentnahme aufgrund einer erhöhten Verstopfungsgefahr verursacht durch Feststoffteilchen Probleme.

Zeigen sich ähnliche Konzentrationsschwankungen im Zulauf der Entlastungsanlage des Hauptpumpwerks, so ist eine Steuerung des Mischwasserabflusses nach Güteaspekten sinnvoll.