

**Vergleichende Versuche zur Eluatgewinnung
für die ökologische Beurteilung von Rohr-
muffensanierungsprodukten**

T 2848

T 2848

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1999, ISBN 3-8167-5477-5

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

**Vergleichende Versuche
zur Eluatgewinnung für die ökologische
Beurteilung von
Rohrmuffensanierungsprodukten**

Auftraggeber:
Deutsches Institut für Bautechnik

Bearbeitung:
Dr. H. Th. Grunder
Prof. Dr.-Ing. H.-P. Lühr

Institut für wassergefährdende Stoffe an der Technischen Universität Berlin (IWS)

Dezember 1998

- Das Forschungsvorhaben wurde seitens des DIBt von Herrn Misch betreut.
- Die Säulenversuche zur Eluatgewinnung, die Algen-, Daphnien- und Fisch-Tests sowie die Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit wurden im Hygiene-Institut des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen durchgeführt (Leitung Dr. Schößner).
- Die Versuche zur Gewinnung der Eluate in der Bochumer Versuchseinrichtung wurden von Prof. Dr.-Ing Stein & Partner GmbH Bochum unter der Leitung von Frau Borchardt, Herrn Oettinghaus und Herrn Lutze durchgeführt.
- Die Leuchtbakterien-Tests sowie der Ames-Test wurden am Fachbereich 6, im Fachgebiet Hygiene der Technischen Universität Berlin ausgeführt (Leitung Dr. Kalnowski).
- Die Protozoen-Tests wurden im Fachbereich Biologie, am Institut für Biochemie und Molekularbiologie der Freien Universität Berlin unter der Leitung von Dr. Pauli durchgeführt.
- Die Autoren möchten allen denen, die zu den Ergebnissen des vorliegenden Forschungsvorhabens beigetragen haben, ganz herzlich danken.
Ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeitern des Hygiene-Instituts Gelsenkirchen, die unter der Leitung von Dr. Schößner mit ihren Erfahrungen, ihrem Wissen und ihrem unermüdlichen Einsatz wesentlich zu den Ergebnissen beigetragen haben.

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung	2
2	Beschreibung der eingesetzten Versuchseinrichtungen zur Eluatgewinnung	3
2.1	Säulenversuche	3
2.2	Bochumer Versuchseinrichtung	4
2.2.1	Variante Rohrsanierung	5
2.2.1.1	Versuchsaufbau	5
2.2.1.2	Versuchsdurchführung	7
2.2.2	Variante Lockergesteinsverfestigung	7
2.2.2.1	Versuchsaufbau	9
2.2.2.2	Versuchsdurchführung	10
3	Auswahl der Testmethoden für die Eluate und Beschreibung der damit gewonnenen Ergebnisse	13
3.1	Auswahl der Untersuchungsparameter	13
3.2	Ergebnisse der beiden Elutionsverfahren	14
3.2.1	Acrylharz	14
3.2.1.1	Physikalisch-chemische und chemische Parameter	14
3.2.1.2	Biotests und biologische Abbaubarkeit	17
3.2.2	Polyurethan	20
3.2.2.1	Physikalisch-chemische und chemische Parameter	20
3.2.2.2	Biotests und biologische Abbaubarkeit	21
4	Vergleichende Betrachtung der beiden Versuchseinrichtungen zur Eluatgewinnung und der Ergebnisse aus den Eluatuntersuchungen sowie Schlußfolgerungen daraus	25
4.1	Vergleich des TOC-Verlaufes	25
4.2	Vergleich der Ergebnisse aus den Biotests und der biologischen Abbaubarkeit	27
4.3	Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	27
5	Literatur	30

Anhang 1: Versuchsergebnisse

Anhang 2: Zusammenstellung und z.T. Kurzbeschreibung der Testmethoden

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Im Rahmen der bauaufsichtlichen Zulassung von Abdichtungsmitteln zur Abwasserrohrsanierung seitens des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) werden seit 1992 zur ökologischen Bewertung der eingesetzten Produkte die Eluate, die mit Hilfe der sog. Bochumer Versuchseinrichtung gewonnen werden, herangezogen [1, 2].

Diese Versuchseinrichtung ist relativ teuer und die Versuchsdurchführung aufwendig.

Um den experimentellen Aufwand sowie die damit verbundenen Kosten zu minimieren, und der Bewertung einen Versuch zugrunde zu legen, der von jedem dafür qualifizierten Labor mit einer leicht modifizierten Standardeinrichtung durchgeführt werden kann, sollen im Vergleich zur Bochumer Versuchseinrichtung Säulenversuche zur Eluatgewinnung durchgeführt werden.

Sollte sich dabei herausstellen, daß auch die Ergebnisse der zum Vergleich herangezogenen Eluate aus den Säulenversuchen eine vergleichbare Bewertung ermöglichen, so sollten diese Säulenversuche zumindest als Alternative zur Grundlage der bauaufsichtlichen Zulassung herangezogen werden können.

Der Vergleich soll mit zwei verschiedenen repräsentativen Produkten durchgeführt werden. Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse der Versuchseinrichtung zu dokumentieren, soll der Versuch jeweils unter identischen Versuchsbedingungen wiederholt werden.

Um den Anwendungsbereich der beiden Versuchseinrichtungen zu erfassen, soll das eine Produkt zur Abdichtung von defekten Rohren zur Anwendung kommen und das andere Produkt zur Lockergesteinsverfestigung eingesetzt werden.

2 Beschreibung der eingesetzten Versuchseinrichtungen zur Eluatgewinnung

Im folgenden sollen die beiden zu vergleichenden Versuchseinrichtungen dargestellt werden.

2.1 Säulenversuche

Eine Kunststoffsäule (Durchmesser 28 cm, Höhe 50 cm) wird mit gewaschenem Sand (Normsand nach DIN-EN 196-1, ein Gemisch aus drei Sanden der Korngrößen 0,08 - 2 mm) gefüllt. Der Sand wird mit Trinkwasser, das dann auch zur Umströmung dient, gesättigt. Über eine Injektionseinrichtung wird 1 Liter des zu untersuchenden Produktes auf halber Höhe der Säule in ihre Mitte injiziert. Unmittelbar darauf wird die Säule mit Trinkwasser beaufschlagt. Der Wasserdurchfluß erfolgt von unten nach oben. Der Volumenstrom beträgt 4 l/h. Dieser Volumenstrom entspricht bei einem angenommenen Porenvolumen des Sandes von 35% einer Fließgeschwindigkeit des Wassers von etwa 5 m/Tag.

Das die Säule durchströmende und den entstehenden Injektionskörper umströmende Wasser wird fraktionsweise am oberen Säulenauslauf aufgefangen und analysiert. Die auf diese Weise aufgefangenen wäßrigen Lösungen sind die Eluate des Säulenversuches. Diese Versuche wurden für die beiden Produkte - eines zur Rohrsanierung (Acrylharz) und eines zur Lockergesteinsverfestigung (Polyurethan) - in analoger Weise durchgeführt [3].

Der Beprobungsplan für die Eluate zur Messung der physikalisch-chemischen und chemischen Parameter sowie die ausgewählten Eluate für die Biotests und den biologischen Abbau sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Beprobungsplan für die Säulenversuche (die Tabelle bezieht sich auf die Tabellen 1.1, 1.2 für Acrylharz und 1.10 u. 1.11 für Polyurethan im Anhang 1)

Die Proben wurden bis zum 25. Liter (literweise) kontinuierlich aufgefangen. Anschließend wurden - bezogen auf die 1. Probe - nach 24h (1 Tag), 48h (2 Tage), 72h (3 Tage), 96h (4 Tage) und 168h (7 Tage) je eine 1-Liter-Probe genommen.		
Versuchsbezeichnung	Fraktion für Biotests und biologischen Abbau	TOC in mg/l*
Acrylharz, 1. Versuch, Maximumphase	Mischung aus 11-15	1342,0
Acrylharz, 1. Versuch, Abklingphase	29	2,0
Acrylharz, 2. Versuch, Maximumphase	Mischung aus 8-12	728,0
Acrylharz, 2. Versuch, Abklingphase	29	3,4
Polyurethan, 1. Versuch, Maximumphase	Mischung aus 9-14	5,66
Polyurethan, 1. Versuch, Abklingphase	29	1,3
Polyurethan, 2. Versuch, Maximumphase	Mischung aus 9-14	13,33
Polyurethan, 2. Versuch, Abklingphase	29	1,4

* Die Ergebnisse aus dem Anhang 1, Tabellen 1.1, 1.2, 1.10 und 1.11 werden hier zwecks weiterer Verwendung im Text schon aufgeführt. Für Mischfraktionen werden die Meßwerte für die einzelnen Fraktionen arithmetisch gemittelt.

2.2 Bochumer Versuchseinrichtung

Die Bochumer Versuchseinrichtung wurde in zwei Varianten - vom Produkteinsatz abhängig - benutzt. Das Produkt, das zur Rohrsanierung eingesetzt werden soll (ein Acrylharzsystem), wurde durch Injektion mit Hilfe eines Originalpackers zur Abdichtung eines in Sand eingebauten undichten Abwasserrohrs eingebracht. Das Produkt, das zur Lockergesteinsverfestigung eingesetzt werden soll (ein Polyurethansystem), wurde über Lanzen direkt in den Sand injiziert [4].

Im Rahmen der DIBt-Prüfungen für Produkte zur Rohrsanierung wurden die folgenden Zeitpunkte für die Probenentnahme festgelegt: Nach 0 Stunden, 6h, 11h, 13h, 19h, 23h, 28h, 46h, 52h, 73h, 145h und 241h, insgesamt 12 Proben.

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurden die Probenintervalle zwecks besserer Erfassung des TOC-Verlaufs etwas enger gestaffelt und es wurden 24 Proben aufgefangen und analysiert. Der jeweilige Beprobungsplan ist in der Tabelle 2 dargestellt.

Die für die Biotests und den biologischen Abbau ausgewählten Eluate sind in Tabelle 3 aufgeführt.

2.2.1 Variante Rohrsanierung

2.2.1.1 Versuchsaufbau

Die Versuchseinrichtung wurde unter Berücksichtigung nachfolgender Anforderungen konstruiert [2].

- Möglichkeit des Einbaues einer geschädigten Rohrverbindung einschließlich des sie umgebenden Sandes,
- Schaffung einer realen (praxisgerechten) Bettung (definierter Bodeneinbau),
- Möglichkeiten zur Simulation einer Grundwasserströmung,
- kontinuierliche Frischwasserzuführung für die Durchströmung des eingebauten Sandes,
- Sicherstellung des Kontaktes des noch nicht ausreagierten Harzes mit dem Durchströmungswasser,
- freie Ausbreitungsmöglichkeit des Harzes in den die Rohrverbindung umgebenden Boden (keine Behinderung durch die Behälterwandung).

Da die in der Praxis eingesetzten Packersysteme in der Regel eine Länge von mindestens 50 cm aufweisen, wurde die Länge des Behälters auf 1,20 m festgelegt. Der Behälter kann diagonal durchströmt werden (Grundwassersimulation). Als Durchströmungswasser dient Leitungswasser. Als Regelmechanismen wurden Nadelventile zur Steuerung der Strömungsgeschwindigkeit installiert. Zur Vermeidung des Leerlaufens des Behälters bei geringen Wasserzuflüssen wurde die Durchströmung von unten nach oben vorgenommen. Die Wasserprobenentnahme (Eluate) erfolgte unmittelbar nach dem Austritt des Durchströmungswassers aus dem Behälter. Um im Hinblick auf die Durchströmung des das Rohr umgebenden Sandes keine Toträume zu schaffen, in denen sich migrierte Stoffe sammeln könnten, ohne aus dem Behälter transportiert und erfaßt zu werden, wurde die Zylinderform mit einem Durchmesser $d = 1,0$ m gewählt (siehe Abb. 1).

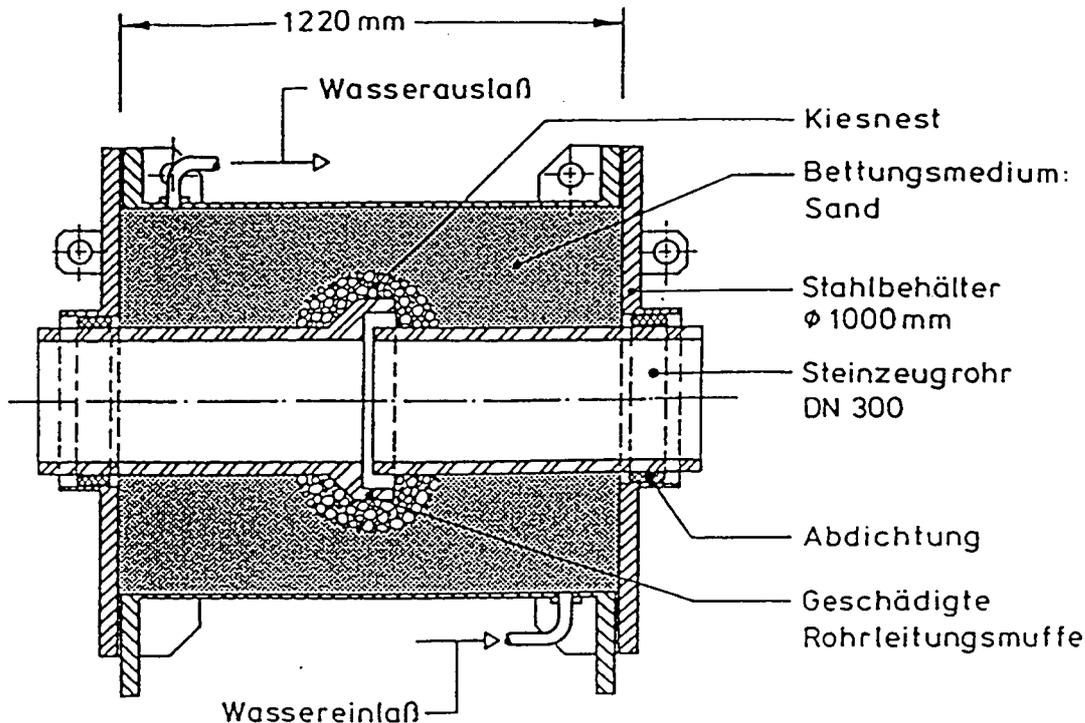


Abb. 1: Querschnitt durch die Versuchseinrichtung

Der quantitative Stoffeintrag in das Grundwasser ist von den nachfolgend aufgeführten Faktoren abhängig:

- Rohrwerkstoff,
- Sieblinie des anstehenden Bodens,
- Schadensart und -ausmaß,
- Fließgeschwindigkeit des den Boden durchströmenden Wassers.

Als Rohrwerkstoff wurde Steinzeug gewählt, da hierdurch sichergestellt wird, daß für das austretende Material im Hinblick auf eine mögliche Haftung an der Rohraußenwand keine Bedingungen vorherrschen, die einen reduzierten Stoffeintrag in das umgebende Erdreich bewirken könnten.

In den Versuchsbehälter wurde in Längsrichtung ein Steinzeugrohr der Nennweite DN 300 mit definiertem Muffenspalt (Schaden) eingebaut. Der Behälter wurde mit gewaschenem Sand mit der Sieblinie 0,2-2,0 mm (Sand mit dem Handelsnamen „Siligran“ der Westdeutschen Quarzwerke, Dorsten) eingebaut, da bei dieser Körnung eine besonders hohe Stoffmigration in das Durchströmungswasser zu erwarten ist. Zusätzlich wurde im Bereich der Rohrverbindung ein entsprechend den Filterregeln abgestimmter zweistufiger Grob-

sand-Kies-Gürtel vorgesehen, um zu verhindern, daß es bei der Wasserbefüllung des Versuchsbehälters zu einem schlagartigen Eindringen größerer Feinsandmengen durch die geschädigte Rohrverbindung in das Rohrinne kommt und sich somit unkontrollierte Hohlräume in dem das Rohr umgebenden Sand einstellen. Ebenso werden durch diesen Grobsandgürtel durch eine Undichtigkeit hervorgerufene Auswaschungen simuliert.

Der Volumenstrom des Durchströmungswassers wurde auf 150 ml/min festgelegt. Da die Porenzahl des eingebauten Sandes $n = 0,35 (\pm 5\%)$ beträgt, ergibt sich daraus eine durchschnittliche Durchströmungsgeschwindigkeit von 0,896 m/Tag.

2.2.1.2 Versuchsdurchführung

Nachdem die beiden Versuchsbehälter entsprechend Kapitel 2.2.1.1 präpariert waren, wurden diese bis Unterkante Rohrsohle mit Wasser befüllt. Anschließend wurde der Injektionspacker in die Steinzeugrohre eingesetzt und das Produkt in den Bereich der undichten Rohrverbindungen injiziert.

Je Versuchseinrichtung - es wurden 2 Parallelversuche durchgeführt - wurden 49,5 l Injektionsmittel eingebracht. Die Injektionsdauer betrug etwa 20 Minuten.

Unmittelbar nach der erfolgten Injektion wurden die Versuchsbehälter weiter mit Wasser befüllt. Nachdem nach ca. 1. Stunde an der oberen Behälteröffnung ein Wasseraustritt zu beobachten war, wurde die erste Beprobung, d.h. die Entnahme von Durchströmungswasser in eine 5 l-Glasflasche, durchgeführt. Nunmehr wurde der festgelegte Volumenstrom von 150 ml/min genau eingestellt. Die Beprobungsintervalle sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

2.2.2 Variante Lockergesteinsverfestigung

Die für die Anwendung im Bereich des Leitungsbaus verfolgten Ziele der Injektion von außen sind das den defekten Leitungsbereich umgebende Lockergestein zu verfestigen und/oder abzudichten und somit diesem die verlorengegangenen Funktionen dieses Kanalabschnittes zuzuweisen bzw. vorhandene Hohlräume zu verfüllen. Ein sehr neuer Anwendungszweck der Injektion von außen ist die Durchführung von Lagekorrekturen.

Die zu injizierenden Bereiche werden durch Bohrungen, Einpreßbläzen o.ä. von der Oberfläche aus zugänglich gemacht und mit einem geeigneten Injektionsmittel unter Druck verpreßt.

Haupteinsatzgebiet sind nicht begehbare Kanäle unter zugänglichen Flächen. Als Injektionsmittel kommen in Abhängigkeit von der Hohlraumstruktur vornehmlich Zementmörtel, -pasten bzw. -suspensionen zum Einsatz.

Während der Injektionsarbeiten ist der Kanal von innen mit einer Kanalfernsehkamera zu beobachten und gegen eindringendes Injektionsmittel zu schützen, z.B. durch einen Packer.

Die Auswahl der Injektionsverfahren und die Durchführung der Injektion sind u.a. abhängig von den jeweiligen geologischen und hydrogeologischen Verhältnissen, dem Zustand und der Tiefenlage des Kanals sowie vom Injektionszweck. So kann die Möglichkeit einer Vorinjektion, z.B. bei stark durchlässigen Schichten bzw. zur Lagesicherung des betreffenden Kanalabschnittes, aber auch die einer Nachverpressung wesentlich sein.

Hinsichtlich der Injektionstechnik haben sich in der Praxis eine Vielzahl von Verfahren durchgesetzt. Für den vorliegenden Anwendungsfall kommen vornehmlich die Injektion mit der Rammlanze oder mit Manschettenrohren zum Einsatz.

Als einfachstes Verfahren werden ein Rohr oder eine Rammlanze bis zum tiefsten zu injizierenden Horizont in den Boden getrieben oder gespült und das Injektionsmittel durch das Rohr bzw. die Rammlanze unter gleichzeitigem, abschnittweisem Hochziehen derselben (ca. 20 bis 30 cm) verpreßt (Injektion von unten nach oben).

Exemplarisch wurde ein Injektionsverfahren gewählt, bei dem das Injektionsmittel durch ein eingerammtes Rohr injiziert wurde.

Bei dem Produkt handelt es sich um ein einkomponentiges Polyurethanharz, welches in Verbindung mit Wasser in Abhängigkeit der jeweiligen Randbedingungen bis zum 35-fachen seines Ursprungsvolumens aufschäumt.

Im vorliegenden Anwendungsfall - der Injektion in nassem Sand - sind laut Herstellerangaben betonähnliche Festigkeiten des Injektionskörpers zu erzielen.

Die Injektion durch das eingerammte Rohr erfolgte mittels einer, durch einen Elektromotor angetriebene, Verpresseinrichtung („CT-ET 1“), welche einen maximalen Betriebsdruck von 200 bar und eine maximale Fördermenge von 4 l/min ermöglicht.

2.2.2.1 Versuchsaufbau

Abweichend von dem im Abschnitt 2.2.1.1 für die Rohrsanierung beschriebenen Versuchsaufbau wurde für die Variante der Lockergesteinsverfestigung der in Abb. 2 dargestellte Aufbau gewählt.

Da im vorliegenden Fall ein Verfahren zur Lockergesteinsverfestigung zu prüfen war, wurden keine Rohrabschnitte eingebaut. Die Behälter wurden - senkrecht stehend - ausschließlich mit dem definierten Sand gefüllt.

Die für den Einbau der Rohrabschnitte vorgesehenen Öffnungen in den Behälterdeckeln wurden durch entsprechende Platten verschlossen, lediglich im oberen Deckel verblieb eine Bohrung mit einem Durchmesser von 30 mm zum Einrammen der Injektionslanze.

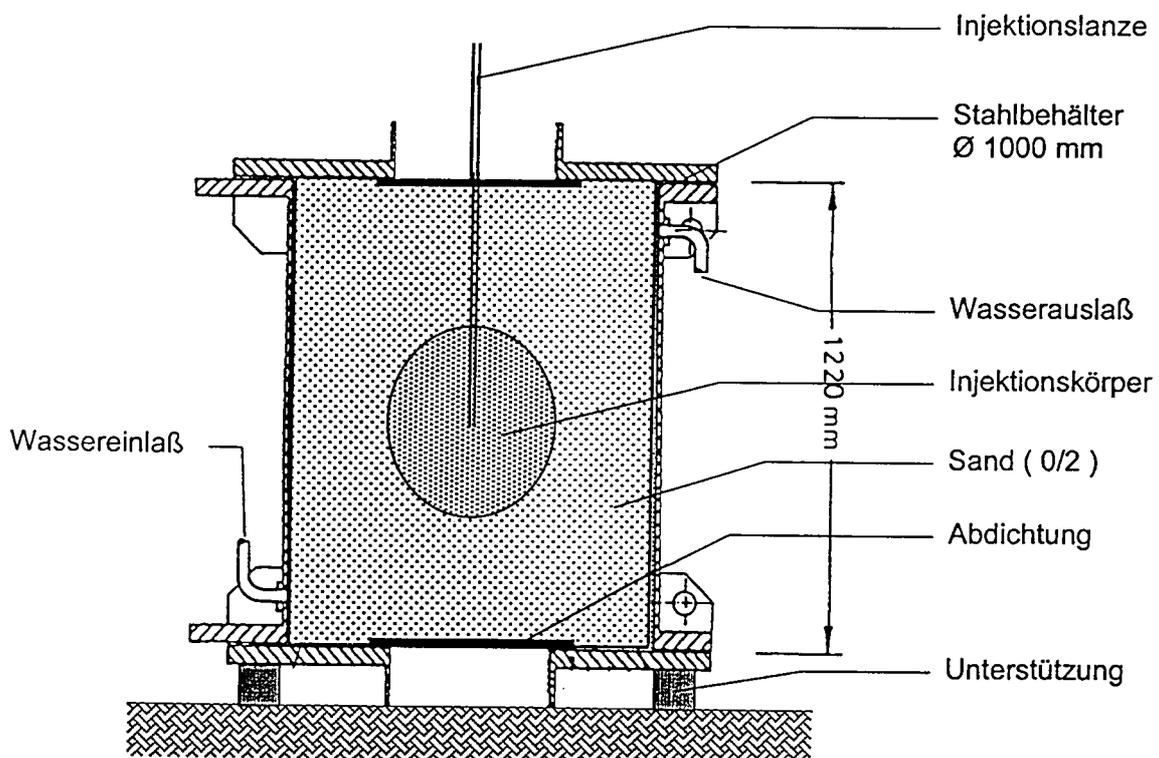


Abb. 2: Querschnitt durch die Versuchseinrichtung

Die diagonale Durchströmung der Behälter von unten nach oben erfolgte analog zu dem im Kapitel 2.2.1.1 beschriebenen Versuch.

2.2.2.2 Versuchsdurchführung

Nachdem die Versuchsbehälter entsprechend Kapitel 2.2.2.1 vorbereitet waren, wurden sie bis zur Oberkante mit Wasser gefüllt.

Anschließend wurde die Injektionslanze bis zur halben Höhe des Behälters eingerammt und der Injektionsvorgang gestartet. Die Injektionsgeschwindigkeit betrug etwa 2,0 l/min, je Behälter wurden 20 l Injektionsmittel eingebracht.

Unmittelbar nach der Beendigung der Injektion wurde die Umströmung der Probekörper mit der zuvor eingestellten von 150 ml/min gestartet.

Sobald der erste Wasseraustritt zu verzeichnen war, wurde die erste Probeflasche gefüllt.

Die Beprobungsintervalle sind in der Tabelle 2 aufgeführt.

Es wurden zwei Parallelversuche durchgeführt.

Tabelle 2: Beprobungsplan Bochumer Versuchseinrichtung
(diese Tabelle bezieht sich auf die Tabellen 1.3, 1.4 für Acrylharz sowie 1.12 und 1.13 für Polyurethan im Anhang 1)

Acrylharz 1. und 2. Versuch																								
Eluat-Nr.	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24
Elutionsdauer in Stunden	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19	20	21	22	23	24	25	26	28	46	52	73	145	241
Polyurethan 1. Versuch																								
Eluat-Nr.	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	1/16	1/17	1/18	1/19	1/20	1/21	1/22	1/23	1/24
Elutionsdauer in Stunden	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	34	42	48	72	96	120	144	168	192	216	240
Polyurethan 2. Versuch																								
Eluat-Nr.	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6	2/7	2/8	2/9	2/10	2/11	2/12	2/13	2/14	2/15	2/16	2/17	2/18	2/19	2/20	2/21	2/22	2/23	2/24
Elutionsdauer in Stunden	0	2	6	10	16	18	20	24	34	42	48	58	66	72	80	96	104	120	128	144	168	192	216	240

Tabelle 3: Ausgewählte Fraktionen aus der Bochumer Versuchseinrichtung für die Biotests und den biologischen Abbau

Versuchsbezeichnung	Fraktion für Biotests und biologischen Abbau	TOC in mg/l*
Acrylharz, 1. Vers., Anfangsphase	1/1	130
Acrylharz, 1. Vers., Maximumphase	Mischung aus 1/21 und 1/22	172,5
Acrylharz, 1. Vers., Abklingphase	1/24	36
Acrylharz, 2. Vers., Anfangsphase	2/1	230
Acrylharz, 2. Vers., Maximumphase	Mischung aus 2/21 und 2/22	74
Acrylharz, 2. Vers., Abklingphase	2/24	37
Polyurethan, 1. Vers., Maximumphase	Mischung aus 1/1, 1/2, 1/3 u. 1/4	7,125
Polyurethan, 1. Vers., Abklingphase	1/24	1,6
Polyurethan, 2. Vers., Maximumphase	Mischung aus 2/1, 2/2 und 2/3	6,26
Polyurethan, 2. Vers., Abklingphase	2/24	2,2

* Die Ergebnisse aus dem Anhang 1, Tabellen 1.3, 1.4, 1.12 und 1.13 werden hier zwecks weiterer Verwendung im Text schon aufgeführt. Für Mischfraktionen werden die Meßwerte für die einzelnen Fraktionen arithmetisch gemittelt.

3 Auswahl der Testmethoden für die Eluate und Beschreibung der damit gewonnenen Ergebnisse

3.1 Auswahl der Untersuchungsparameter

Die über die Säulenversuche und die Bochumer Versuchseinrichtung gewonnenen Eluate wurden nach gewissen, für die ökologische Bewertung der Produkte relevanten Parameter untersucht.

Für organische Produkte zur Rohrabdichtung werden vom DIBt die Messung der folgenden Parameter verlangt und zur ökologischen Bewertung herangezogen.

- physikalisch-chemische Parameter : pH-Wert
- chemische bzw stoffliche Parameter : TOC-Gehalt, evtl. Konzentrationen von Einzelstoffen
- Biotests : Leuchtbakterien-Lumineszenz-Test
Beeinflussung der Koloniezahlbildung für die Bakterien *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa*
Hemmung der Dehydrogenaseaktivität (sog. TTC-Test)
Gegebenenfalls Ames-Test
- Abbaubarkeit : Untersuchung auf leichte aerobe biologische Abbaubarkeit

Im übrigen wurden die Eluate ergänzend auch in bezug auf ihre physikalischen Parameter Färbung, Trübung, Neigung zur Schaumbildung, ihren Geruch und die elektrische Leitfähigkeit untersucht.

Da die langjährige Erfahrung aus der Bewertung von Produkten zur Rohrabdichtung zeigte, daß keine Beeinflussung der Koloniezahlen der für Trinkwasser wichtigen Bakterien *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa* durch die Inhaltsstoffe der Eluate festzustellen war, wurde auf diese Tests verzichtet [5].

Der Ames-Test war für das vorliegende Forschungsvorhaben nicht vorgesehen. Er wurde jedoch für die Eluate aus den Säulenversuchen trotzdem ergänzend durchgeführt.

Da andererseits im Zusammenhang mit einem anderen Projekt des IWS im Auftrage des DIBt [6] die Palette der Biotests zur ökologischen Bewertung von Eluaten aus Bauprodukten auf ihre Anwendbarkeit und Aussagekraft untersucht wurde, werden auch die daraus gewonnenen Ergebnisse (die Tests wurden nur auf die Säulenversuche angewandt) einbezogen. Dabei handelt es sich um die folgenden Biotests: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Algen-Test, Daphnien-Test, Fisch-Test und Protozoen-Test.

Die wichtigsten Test-Methoden sind im Anhang 2 kurz beschrieben.

3.2 Ergebnisse der beiden Elutionsverfahren

3.2.1 Acrylharz

3.2.1.1 *Physikalisch-chemische und chemische Parameter*

Der Versuchsverlauf der beiden Elutionsverfahren ist im Anhang 1 in den Tabellen 1.1 bis 1.4 und den Abbildungen 1.1 bis 1.7 dargestellt.

Bezüglich der Parameter **Färbung, Trübung, Geruch sowie Neigung zur Schaumbildung** werden innerhalb des Versuchszeitraumes **im Säulenversuch und der Bochumer Versuchseinrichtung** keine zu Besorgnis Anlaß gebende Auffälligkeiten beobachtet. Parallel zu den gemessenen TOC-Gehalten in den Eluaten verschieben sich auch die diesen Sachverhalt widerspiegelnden Eigenschaften, vor allem der Geruch. Es wird während des gesamten Versuchsverlaufes eine z.T. deutliche Neigung zur Schaumbildung festgestellt.

Der **pH-Wert im Säulenversuch** beträgt praktisch während der ganzen Elution 8 und ist damit fast identisch mit dem jeweiligen pH-Wert des umströmenden Wassers (pH-Wert 7,8). In der **Bochumer Versuchseinrichtung** steigt der pH-Wert in beiden Versuchen kontinuierlich von 5,9 im 1. Versuch bzw. 5,3 im Parallelversuch auf 7,5 bzw. 7,6. Da ein solcher Anstieg des pH-Wertes bei mehreren, chemisch sehr verschiedenen Rezepturen, die in den letzten Jahren untersucht wurden, festzustellen ist, muß davon ausgegangen werden, daß dieser pH-Effekt von der Auswaschung des eingesetzten Sandes herrührt und nicht als

Folge der Injektionsmittel. Der pH-Wert strebt dem pH-Wert des umströmenden Wassers, nämlich 8 zu.

Die **elektrische Leitfähigkeit** als Maß für den Neutralsalzgehalt der Prüfwasserfraktionen steigt im **Säulenversuch** parallel zum TOC-Verlauf von 502 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf 2390 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nach 2 Stunden Elutionsdauer und sinkt dann bereits nach einem Tag wieder auf den Wert des umströmenden Wassers. Im Parallelversuch ist der Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit vergleichbar, der Maximalwert beträgt hier nach 1 Stunde Elution jedoch nur 1574 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (entsprechend dem ebenfalls erniedrigten TOC-Gehalt).

Die elektrische Leitfähigkeit verläuft auch in der **Bochumer Versuchseinrichtung** annähernd parallel zu den TOC-Gehalten. Die Erhöhungen gegenüber dem umströmenden Wasser (ca. 318 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ist jedoch entsprechend den viel geringeren TOC-Gehalten auch viel geringer.

Der **TOC-Verlauf** im **Säulenversuch** ist von der Art des Verlaufes in beiden Versuchen vergleichbar. Nach ca. 2 Stunden Elutionsdauer (im 13. Liter Eluat) wird beim 1. Versuch die maximale Menge an organischen Inhaltsstoffen im Eluat festgestellt. Im identisch durchgeführten Parallelversuch tritt die höchste Menge an organischen Inhaltsstoffen im Eluat, bereits nach ca. einer Stunde (im 10. Liter Eluat) auf. Bereits nach einem Tag Elutionsdauer nimmt der TOC-Gehalt in beiden Versuchen sehr stark ab und nähert sich nach 8 Tagen dem TOC-Ausgangsgehalt des umströmenden Wassers.

Die maximalen Gehalte an TOC (1. Versuch 1620 mg/l und im 2. Versuch 830 mg/l) unterscheiden sich ca. um einen Faktor zwei und sind beide sehr hoch. Die die beiden Versuche unter den gleichen Randbedingungen durchgeführt wurden - es muß jedoch betont werden, daß die Fließgeschwindigkeit für das eluierende Wasser sich erst nach einigen Stunden auf identische 4 l/h einstellen läßt - müssen die Ergebnisse und ihre Streuungen als versuchstypisch angesehen werden.

Der **TOC-Verlauf**, gewonnen in der **Bochumer Versuchseinrichtung** (siehe u.a. Anhang 1, Abb. 1.7) wird in beiden Parallelversuchen mit zunehmender Elutionsdauer auch durch einen Anstieg, ein Maximum und ein Abklingen charakterisiert.

Das bereits in der ersten Fraktion auftretende TOC-Maximum (im ersten Versuch 175 mg/l und im 2. Versuch 230 mg/l) könnte auf einem Saugeffekt beruhen. Durch das Druckgefälle zwischen der Austrittsstelle des durchströmenden Wassers oben am Versuchsbehälter und dem Auffanggefäß für das Eluat am Boden wird die Strömungsgeschwindigkeit kurzzeitig wesentlich erhöht. Dadurch treten Teile des wasserlöslichen nichtauspolymerisierten

Produktes viel früher als es der Fließgeschwindigkeit des durchströmenden Wassers entsprechen würde, im Eluat auf. Das der Fließgeschwindigkeit des Wassers entsprechende Maximum der Auswaschungen tritt voraussichtlich nach etwa 60 Stunden auf. Nach 52 Stunden (Proben 1/21 bzw. 2/21) werden TOC-Gehalte von 170 mg/l bzw. 70 mg/l und nach 73 h (Proben 1/22 bzw. 2/22) 175 mg/l bzw. 78 mg/l gemessen. Aus dem Kurvenverlauf kann man mit großer Wahrscheinlichkeit nur schließen, daß das Maximum zwischen den Proben 21 und 23 liegt. Über seine Größe kann man keine Aussagen machen.

Eine genauere Erfassung der Maximumphase der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe würde viel enger gestaffelte Beprobungsintervalle erforderlich machen. Da jedoch der Zeitpunkt des Auftretens des Maximums sehr stark vom Produkt abhängig ist, würde eine fast kontinuierliche Beprobung notwendig sein. Dies ist wegen den vielen Probenahmen und den damit verbundenen Analysen sehr aufwendig und kostspielig.

Die Eluate der Bochumer Versuchseinrichtung wurden zusätzlich auf ihre Monomerengehalte an Acrylaten untersucht. Es handelt sich nach Information des Produktherstellers um 3 Monomere (hier mit A, B und C bezeichnet).

Tabelle 4: Monomeren- und TOC-Gehalt in den Eluaten der Bochumer Versuchseinrichtung in mg/l

Versuch Untersuchte Fraktion	1. Versuch			2. Versuch		
	A, B, C	A + B + C	TOC	A, B, C	A + B + C	TOC
1	A 160 B 50 C 29	239	130	A 430 B 1300 C 75	1805	230
Maximumphase 21 + 22	A 280 B 910 C 36	1226	172,5	A 110 B 400 C 13	523	74
24	A 17 B 120 C < 1	138	36	A 27 B 150 C 1	178	37

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß sich der gemessene TOC-Gehalt z.T. in Form der Monomeren A, B und C belegen läßt. Eine direkte Korrelation zwischen den Gehalten an Monomeren und TOC ist nicht möglich. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch, daß der TOC-

Gehalt - es handelt sich um einen Summenparameter - auf jeweils verschiedenen Gehalten an Monomeren mit einem jeweils stoffspezifischen Toxizitätspotential beruht.

Über die Biotests und den biologischen Abbau wird die Wirkung der jeweiligen Mischung aus organischen Inhaltsstoffen (also auch ihr eventuelles synergetisches Zusammenwirken) erfaßt. Diese jeweiligen Zusammensetzungen der Monomeren sind bei der Elution in Parallelversuchen sicherlich nur annähernd reproduzierbar.

3.2.1.2 Biotests und biologische Abbaubarkeit

In der Tabelle 5 sind die Testergebnisse zusammengefaßt. Es handelt sich dabei um eine qualitative Darstellung in Worten. Die zahlenmäßigen Ergebnisse sind in den Tabellen 1.5 bis 1.9 und in den Abbildungen 1.8 bis 1.24 im Anhang 1 dargestellt. Im oberen Teil der Tabelle werden die Ergebnisse aufgeführt, die in den DIBt-Anforderungen für Produkte zur Abwasserrohrsanierung erforderlich sind und im unteren Teil die Ergebnisse aus den Säulenversuchen des DIBt-Forschungsvorhabens zu Biotests (siehe auch Hinweis in Kapitel 3.1, zweitletzter Abschnitt).

Die quantitativen Testergebnisse aus den Säulenversuchen und der Bochumer Versuchseinrichtung lassen sich für die Biotests nicht direkt miteinander vergleichen, vor allem deshalb nicht, weil die Konzentrationen der organischen Inhaltsstoffe sich in den Maximumphasen (bzw. dem 1. Eluat im Bochumer-Versuch) sehr stark unterscheiden (Säulenversuche: 1620 mg/l bzw. 930 mg/l und im Bochumer Versuch 175 mg/l bzw. 78 mg/l).

Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung

Die quantitativen Ergebnissen sind im Anhang 1 in den Tabellen 1.5 bis 1.8 und in den Abbildungen 1.15 bis 1.18 zusammengestellt.

Die Eluate der Abklingphasen aus dem Säulenversuch und aus der Bochumer Versuchseinrichtung wirken nicht toxisch bezogen auf die Lumineszenz der Leuchtakterien, d.h. die jeweiligen Hemmungen liegen unter 20%. Die Maximumphasen (bzw. die 1. Eluate aus der Bochumer Versuchseinrichtung) haben alle eine toxische Wirkung. Diese ist sehr unterschiedlich. Im Säulenversuch wirkt nur das Eluat des 1. Versuches leicht hemmend (2-fach verdünnt 28,77%) und dasjenige des 2. Versuches (Parallelversuch) zeigt bereits in einer 2-fachen Verdünnung nur noch eine Hemmung von 4,9%. Dieser unterschiedliche Effekt könnte darauf beruhen, daß der TOC-Gehalt in der Maximumphase des 1. Versuches mit 1342 mg/l fast doppelt so groß ist wie derjenige des 2. Versuches mit 728 mg/l. Weil

jedoch die konzentrierteste Lösung mit 800 ml Originaleluat auf 1 l Lösung (die 200 ml sind Nährlösung) fälschlicherweise nicht gemessen wurde, muß aus Vorsorgegründen die Verdünnungsstufe für die Eluate der Maximumphase im 2. Versuch und der Abklingphase mit 2 angegeben werden. Die Eluate der Maximumphasen aus der Bochumer Versuchseinrichtung wirken trotz der z.T. wesentlich geringeren TOC-Gehalte gleich toxisch wie die Eluate aus den Säulenversuchen (die Maxima der Säuleneluate sind 1342 bzw. 728 mg/l und die der Bochumer Versuchseinrichtung 172,5 bzw. 74 mg/l). Die Verdünnungsstufen, d.h. die G_L -Werte sind in beiden Fällen 3. Noch wesentlich toxischer sind die ersten Fraktionen (G_L -Werte 16 bzw. 12).

Die entsprechenden TOC-Gehalte sind im 1. Versuch 130 mg/l und im 2. Versuch 230 mg/l. Diese Hemmwirkung ist evtl. durch eine andere Zusammensetzung der organischen Inhaltsstoffe der Eluate zu erklären (siehe Tabelle 4).

TTC-Test

Die quantitativen Ergebnisse zum TTC-Test sind in den Abbildungen 1.8 bis 1.14 im Anhang 1 dargestellt.

In der Darstellung der Ergebnisse wird zur Konzentrationsangabe der gemessenen Verdünnungsreihe die eingesetzte Menge Originaleluat in ml bezogen auf 10 ml Gesamtlösung angegeben.

Die Ergebnisse des TTC-Tests sind relativ schwer auswert- und interpretierbar. Alle Eluate, die der Maximumphasen (bzw. in der Bochumer Versuchseinrichtung auch die ersten Fraktionen) und der Abklingphasen, wirken hemmend. Da diese Hemmungen nicht mit den TOC-Gehalten korreliert werden können, sind keine schlüssigen Folgerungen für eine Bewertung der Ergebnisse möglich.

Tabelle 5: qualitative Beurteilung der Ergebnisse aus den Biotests und dem biologischen Abbau für Acrylharz

Versuch	Säulenversuch						Bochumer Versuchseinrichtung						
	1. Versuch			2. Versuch			1. Versuch			2. Versuch			
	Max	Abk	Abk	Max	Abk	Abk	1. Eluat	Max	Abk	1. Eluat	Max	Abk	
Bio-Test													
Leuchtbakterien-Lumineszenz	ja	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	ja!	ja	nein	ja	ja!	nein	nein
TTC	ja	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	ja	(ja)	ja	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Ames	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.	neg.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
biol. Abbau	leicht	n.e.	n.e.	leicht	n.e.	n.e.	leicht	leicht	leicht	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Algen	ja!	nein	nein	ja!	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Fisch	ja	nein	nein	nein	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Daphnien	ja	nein	nein	nein	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Protozoen	ja	nein	nein	ja	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Leuchtbakterien-Wachstum	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein

Erläuterungen zu den Bewertungen:

Toxizität: ja! entspricht einer starken toxischen Wirkung; ja entspricht einer toxischen Wirkung;

(ja) entspricht einer sehr geringen toxischen Wirkung, nein entspricht dem Befund, daß keine toxische Wirkung vorliegt.

Ames-Test: neg. heißt, daß kein mutagenes Potential feststellbar ist.

n.e.: nicht ermittelt

Ames-Test

Im Ames-Test werden weder in den Maximumphasen noch in den Abklingphasen der Säuleneluatate mutagene Potentiale festgestellt [7]. In der Eluaten der Bochumer Versuchseinrichtung wird auf die Durchführung dieser Tests verzichtet.

Biologischer Abbau

Die Ergebnisse sind in den Abb. 1.20 bis 1.24 im Anhang 1 dargestellt.

Die organischen Inhaltsstoffe der Eluate in der Maximumphasen werden leicht abgebaut. Die biologische Abbaubarkeit der Inhaltsstoffe der Eluate der Abklingphase können wegen der zu geringen TOC-Gehalte gar nicht untersucht werden.

Algen-Test, Fisch- Test, Daphnien-Test, Protozoen-Test und Leuchtbakterien-Wachstumshemm-Test

Die Ergebnisse sind in den Tab. 1.9 und der Abb. 1.19 im Anhang 1 dargestellt.

Auch hier werden in den Eluaten der Maximumphasen (mit erhöhtem TOC-Gehalt) im Gegensatz zu den Eluaten der Abklingphasen toxische Wirkungen festgestellt. Am empfindlichsten reagieren die Algen und die Protozoen. Erst bei sehr hohen Verdünnungen der Eluate (1:2000 bzw. 1:1000) werden Hemmwirkungen unter 20% erreicht. Die Leuchtbakterien werden in ihrem Wachstum auch von den Eluaten der Maximumphasen nicht gehemmt.

3.2.2 Polyurethan

Im Vergleich zu dem Acrylharzsystem sind alle Effekte in den Eluaten des Polyurethansystems viel weniger ausgeprägt. Dies ist eine Folge von dem viel geringeren TOC-Gehalt in den Eluaten.

3.2.2.1 Physikalisch-chemische und chemische Parameter

Der Versuchsverlauf der beiden Elutionsverfahren ist im Anhang 1 in den Tabellen 1.10 bis 1.13 und den Abbildungen 1.25 bis 1.31 im Anhang 1 dargestellt.

Bezüglich der Parameter **Färbung, Trübung, Geruch** sowie **Neigung zur Schaumbildung** werden innerhalb des Versuchszeitraumes im **Säulenversuch** und der **Bochumer Versuchseinrichtung** nur sehr geringe Auswirkungen festgestellt. Beruhend auf den Auswaschungen an organischen Stoffen wird z.T. ein organischer Geruch festgestellt.

Der **pH-Wert** im **Säulenversuch** sinkt während der ersten Stunden der Elution von 8 auf 5,6 und nähert sich dann im Verlauf der weiteren Elution wieder dem pH-Wert des Vergleichswassers.

In der **Bochumer Versuchseinrichtung** sinkt der **pH-Wert** von 5,9 (1. Versuch) bzw. 5,8 (2. Versuch) auf 4,9 bzw. 5,1 und steigt dann bis zum Versuchsende (nach 10 Tagen) auf 6,6 (1. Versuch) bzw. 6,7 (2. Versuch). Auch hier ist wie im Falle des Acrylharzes ein Anstieg des pH-Wertes unabhängig von der organischen Belastung der Eluate festzustellen, was evtl. auf eine Auslaugung des Sandes zurückzuführen wäre. Die **elektrische Leitfähigkeit** steigt im **Säulenversuch** parallel zum TOC-Gehalt geringfügig von 465 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (1. Versuch) bzw. 464 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (2. Versuch) auf 788 $\mu\text{S}/\text{cm}$ bis 820 $\mu\text{S}/\text{cm}$ und sinkt dann wieder auf den Ausgangswert des umströmenden Leitungswassers. In den Eluaten der **Bochumer Versuchseinrichtung** kann nur festgestellt werden, daß in den ersten Stunden der Elution, wo auch das TOC-Maximum festgestellt wird, die Leitfähigkeit leicht erhöht ist (431 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im 1. Versuch und 537 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im 2. Versuch). In beiden Versuchen sinkt dann die Leitfähigkeit im Laufe der Elution auf ca. 325 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Der **TOC-Verlauf** im **Säulenversuch** ist von der Art des Verlaufes in beiden Versuchen vergleichbar. Nach ca. 3 Stunden wird im 1. Versuch das Maximum an organischen Inhaltstoffen festgestellt, im 1. Versuch im 12. Liter 7,3 mg/l und im 2. Versuch im 14. Liter 15 mg/l. Bereits nach einem Tag sinken die TOC-Gehalte annähernd auf den TOC-Gehalt des umströmenden Wassers ab.

Die Eluate, die den Biotests unterworfen wurden, wurden auch auf ihren Gehalt an aromatischen Aminen untersucht. Alle Eluate enthalten weniger als 15 $\mu\text{g}/\text{l}$ (Nachweisgrenze der angewandten Methode) an aromatischen Aminen.

Der **TOC-Verlauf** in der **Bochumer Versuchseinrichtung** zeigt in den beiden Parallelversuchen einen sehr ähnlichen Verlauf. Bereits in dem 2. Eluat (d.h. 2 Stunden nachdem das Wasser zum ersten Mal austritt) wird der maximale TOC-Gehalt der Eluatreihe festgestellt, nämlich 10 mg/l im 1. Versuch und 9,1 mg/l im 2. Versuch. Ebenfalls im jeweiligen 1. Eluat ist bereits eine gegenüber dem Umströmungswasser erhöhte TOC-Gehalt festzustellen. Anschließend klingt der TOC-Gehalt auf den Gehalt des Durchströmungswassers ab.

3.2.2.2 Biotests und biologische Abbaubarkeit

In der Tabelle 6 sind die Testergebnisse zusammengefaßt. Es handelt sich dabei um eine qualitative Darstellung in Worten. Die zahlenmäßigen Ergebnisse sind in den Tabellen

1.14 bis 1.18 und Abbildungen 1.32 bis 1.44 im Anhang 1 dargestellt. Im oberen Teil der Tabelle werden die Ergebnisse aufgeführt, die in den DIBt-Anforderungen für Produkte zur Abwasserrohrsanierung erforderlich sind und im unteren Teil die Ergebnisse aus den Säulenversuchen des DIBt-Forschungsvorhabens zu Biotests (siehe auch Kap. 3.1, zweitletzter Abschnitt).

Die zahlenmäßigen Testergebnisse des Säulenversuches und der Bochumer Versuchseinrichtung lassen sich für die Biotests wegen der vergleichbaren TOC-Konzentrationen in den Eluaten vergleichen. Da diese aber sehr gering sind (im 2. Säulenversuch wird ein maximaler TOC-Gehalt von 15 mg/l gefunden), sind auch die Auswirkungen auf die Testorganismen geringfügig.

Leuchtbakterien Lumineszenzhemmung

Die Ergebnisse sind in Tab. 1.14 und 1.16 und den Abb. 1.40 und 1.42 im Anhang 1 dargestellt.

Bis auf den Grenzfall der Hemmung von 20,31% (siehe Tabelle 1.14 im Anhang 1) - alle Hemmungen unter 20% werden als „nicht-toxisch“ eingestuft - im Eluat der Maximumphase des 1. Säulenversuches können keine Hemmungen festgestellt werden.

TTC-Test

Die Ergebnisse sind in den Abb. 1.32 bis 1.39 im Anhang 1 dargestellt.

Die geringen Mengen an organischen Inhaltstoffen wirken z.T. atmungsfördernd auf die Klärschlambakterien (siehe Abb. 1.32 bis 1.35 im Anhang 1).

Ames-Test

In den Säuleneluaten können keine mutagenen Potentiale nachgewiesen werden [7]. In den Eluaten der Bochumer Versuchseinrichtung wird auf die Anwendung des Ames-Tests verzichtet.

Biologischer Abbau

Es konnte wegen des geringen TOC-Gehaltes kein biologischer Abbau-Test durchgeführt werden.

Tabelle 6: qualitative Beurteilung der Ergebnisse aus den Biotests und dem biologischen Abbau für Polyurethan

Versuch	Säulenversuch				Bochumer Versuchseinrichtung				
	1. Versuch		2. Versuch		1. Versuch		2. Versuch		
	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	
Bio-Test									
Leuchtbakterien- Lumineszenz	(ja)	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein
TTC	nein!	nein!	nein!	nein!	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)	(ja)
Ames	neg.	neg.	neg.	neg.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
biol. Abbau	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Algen	ja	nein	ja	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Fisch	nein	nein	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Daphnien	nein	nein	nein	nein	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Protozoen	nein	nein	(ja)	(ja)	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
Leuchtbakterien- Wachstum	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein	nein

Erläuterungen zu den Bewertungen:

- Toxizität: ja entspricht einer toxischen Wirkung; (ja) entspricht einer sehr geringen toxischen Wirkung;
nein entspricht dem Befund, daß keine toxische Wirkung vorliegt, nein! entspricht einer Förderung der Atmungsaktivität
- Ames-Test: neg. heißt, daß kein mutagenes Potential feststellbar ist
n.e.: nicht ermittelt

Algen-Test, Fisch-Test, Daphnien-Test, Protozoen-Test und Leuchtakterien-Wachstumshemm-Test

Die Ergebnisse sind in der Tab. 1.18 und der Abb. 1.44 im Anhang 1 dargestellt.

Auch diese Wirk-Tests zeigen wegen der geringen TOC-Gehalte nur geringe Effekte.

Wie im Falle der Acrylharze sind die Algen wieder die empfindlichsten Test-Organismen.

Doch wird auch bei diesen im Gegensatz zu den Acrylharzen bereits nach geringer Verdünnung keine Hemmung des Wachstums mehr festgestellt.

Bei den Protozoen wird im Gegensatz zum 1. Versuch im 2. Versuch eine geringfügige Hemmung des Wachstums im Eluat der Maximumphase und der Abklingphase festgestellt.

Die Fische, die Daphnien und die Leuchtakterien werden nicht getötet bzw. bleiben schwimmfähig und wachsen ungehemmt weiter.

4 Vergleichende Betrachtung der beiden Versuchseinrichtungen zur Eluatgewinnung und der Ergebnisse aus den Eluatuntersuchungen sowie Schlußfolgerungen daraus

Im Kapitel 3 wurden die Ergebnisse der Untersuchungen der Eluate, die durch Säulenversuche bzw. die Bochumer Versuchseinrichtung gewonnenen wurden, beschrieben. Im Folgenden sollen die Ergebnisse verglichen werden.

4.1 Vergleich des TOC-Verlaufes

Der zeitliche Verlauf der Elution von organischen Inhaltsstoffen aus den frisch in Sand injizierten Produkten ist im Falle der **Säulenversuche** klar erkennbar.

Mit einer gewissen zeitlichen Verzögerung (die eluierbaren organischen Inhaltsstoffe müssen den Weg von der Injektionsstelle in der Mitte des Zylinders bis zur Austrittsöffnung für das eluierende Wasser zurücklegen) treten die Stoffe im Eluat auf.

Innerhalb von ungefähr 6 Stunden ist das Maximum der „Auswaschungen“ überschritten und nach 7 Tagen Elutionsdauer wird wieder der TOC-Gehalt des zur Elution verwendeten Trinkwassers erreicht.

Im Falle der **Bochumer Versuchseinrichtung** sind die Ergebnisse viel weniger übersichtlich. Es muß hier auch unterschieden werden zwischen den Varianten Rohrsanierung und Lockergesteinsverfestigung.

Bei dem zur Rohrsanierung eingesetzten Acrylharzsystem tritt - sicherlich u.a. hervorgerufen durch die in Kapitel 3.2.1.1 beschriebene Saugwirkung und die anfänglich erhöhte Fließgeschwindigkeit - bereits im 1. Eluat ein Maximum an eluierbaren organischen Inhaltsstoffen auf. Mit einer Verzögerung von 2 Tagen wird ein erneuter Anstieg der TOC-Gehalte festgestellt. Das Maximum ist wegen der weit auseinander liegenden Beprobungsintervalle nicht annähernd genau auszumachen. Es muß im Bereich zwischen einer Elutionsdauer von 52 Stunden (2 Tage und 4 Stunden) sowie 145 Stunden (6 Tage und 1 Stunde) liegen. Der Kurvenverlauf (siehe Abb. 1.7 im Anhang 1) läßt vermuten, daß das Maximum für den TOC-Gehalt in einem Eluat, das in der Zeit zwischen 52 h und 73 h Elutionsdauer aufgefangen würde, auftritt.

Die Diskussion des TOC-Kurvenverlaufes im Falle der Bochumer Versuchseinrichtung (auf den TOC-Gehalten und den über ihre Größe ausgewählten Eluatens für die Biotests und dem biologischen Abbau beruht die ökologische Bewertung des Produktes) zeigt deutlich, daß die Beprobung viel enger sein müßte und diese sich wegen der produktabhängigen schwierigen Voraussage, wann das Maximum kommen könnte, über einen längeren Zeitraum erstrecken müßte. Dies jedoch würde den Aufwand und damit die Kosten für den Versuch wesentlich erhöhen.

Bei dem zur Lockergesteinsverfestigung eingesetzten Polyurethansystem ist der TOC-Verlauf in den Eluatens der Bochumer Versuchseinrichtung besser interpretierbar. In den ersten Fraktionen (innerhalb der ersten Stunden) werden die höchsten TOC-Werte gemessen. Diese klingen rasch ab und in beiden Versuchen ist nach 2 Tagen der TOC-Gehalt des umströmenden Wassers wieder erreicht.

Bei dieser Rezeptur und einer direkten Injektion über Lanzen in den Sand wird also der TOC-Verlauf mit dieser weitmaschigen Beprobung genügend genau erfaßt. Diese Verhältnisse lassen sich jedoch nicht auf andere Produkte, bei denen z.T. höhere TOC-Gehalte zu erwarten wären, übertragen.

Die Bochumer Versuchseinrichtung ist in bezug auf die realen Verhältnisse als realitätsnaher als der Säulenversuch einzustufen. Betrachtet man nur die über die beiden Versuchseinrichtungen gemessenen maximalen TOC-Gehalte, so fällt auf, daß trotz der 50-fach größeren Menge an injiziertem Produkt im Falle der Variante Rohrsanierung mit Acrylat das TOC-Maximum in der Bochumer Versuchseinrichtung bis zu 18-fach geringer ist. Auch im Falle des Polyurethansystems, wo die in die Bochumer Versuchseinrichtung injizierte Menge 20-fach größer ist als im entsprechenden Säulenversuch sind die TOC-Gehalte in den Eluatens trotzdem von vergleichbarer Größe.

Dieser Vergleich läßt also den Schluß zu, daß in Wirklichkeit - stellvertretend durch die Bochumer Versuchseinrichtung simuliert - bezogen auf die Menge des eingesetzten Produktes wesentlich weniger Material eluiert wird kann als daß es die Säulenversuche vermuten lassen. Diese Schlußfolgerung ist jedoch im Falle der Acrylharze mit der Unsicherheit verbunden, daß sich im Falle der Bochumer Versuchseinrichtung die Elution der organischen Stoffe über einen langen Zeitraum und in dem vorliegenden Versuch ungenau erfaßt erstreckt. Für diesen Fall wäre also als Maß für die Menge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe nicht das jeweilige Maximum des TOC, sondern viel eher die über einen längeren Zeitraum aufsummierte TOC-Menge (Integral) zu bewerten.

4.2 Vergleich der Ergebnisse aus den Biotests und der biologischen Abbaubarkeit

Bezüglich der Biotests und der biologischen Abbaubarkeit kann festgestellt werden (siehe Tab. 5 und 6), daß von der Tendenz her die Inhaltsstoffe der Eluate aus den Säulenversuchen und der Bochumer Versuchseinrichtung vergleichbare Wirkungen zeigen. Da jedoch die wirkliche Maximumphase im Bochumer Versuch mit den Acrylharzen nicht eindeutig erfaßt werden konnte (siehe vorangehende Diskussion des Verlaufes), kann in diesem Fall nicht eindeutig davon ausgegangen werden, daß die Maximumphase getestet wurde.

Die Leuchtbakterien werden in ihrer Lumineszenz in den Maximumphasen der Acrylharz-Eluate des Säulenversuches und der Bochumer Versuchseinrichtung z.T. stark gehemmt (Ausdruck einer toxischen Wirkung). Die Hemmwirkung im Falle des Polyurethansystems ist wegen der geringen TOC-Gehalte im Eluat auch sehr gering, d.h. diese Eluate sind praktisch untoxisch. Die z.T. auch bei geringerem TOC-Gehalt als bei den Säuleneluatens trotz dem stärkere Hemmwirkung der Inhaltsstoffe bei den Bochumer Eluatens, könnte auf eine jeweils andere Zusammensetzung bezüglich der drei Monomeren des Acrylharzsystems, die an der Polymerisation beteiligt sind, zurückzuführen sein. In den Abklingphasen ist die Hemmwirkung in beiden Eluattypen den verringerten TOC-Gehalten entsprechend auch geringer bzw. die Eluate haben keine toxische Wirkung mehr.

Die Atmungshemmung im Falle der Klärschlamm Bakterien (TTC-Test) ist ebenfalls in beiden Eluattypen des Acrylharzsystems gleichlaufend. Im Falle der Polyurethane wird eine negative Hemmung festgestellt, d.h. eine Förderung der Atmung.

Die eluierbaren organischen Inhaltsstoffe sind im Falle der Acrylharze in beiden Eluattypen (Säulenversuch und Bochumer Versuchseinrichtung) alle leicht abbaubar.

Im Falle des Polyurethans konnte wegen der zu geringen TOC-Gehalte (< 20 mg/l) kein Abbau-Test durchgeführt werden.

4.3 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Beide Versuchseinrichtungen liefern Ergebnisse, die als Basis für eine vergleichbare Beurteilung der Produkte dienen können. Es wird jedoch deutlich, daß eine eindeutige Erfassung des Maximums der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe und damit ihrer toxischen Wirkung im Falle des Acrylharzsystems in den Eluatens der Bochumer Versuchseinrichtung

nur bei einem viel engermaschigen Beprobungsablauf möglich wäre. Die Basis für die Bewertung der beiden Elutionsverfahren ist mit zwei Rezepturen sehr schmal, insbesondere auch deshalb, weil die 2. Rezeptur - das Polyurethansystem - nur sehr geringe TOC-Gehalte in den Eluaten zur Folge hatte und somit keine charakteristischen Effekte beobachtet werden konnten. In der folgenden Tabelle werden die wesentlichen Eigenschaften und Unterschiede der beiden Elutionsverfahren dargestellt.

Tab. 7: die beiden Elutionsverfahren im Vergleich

Elutionsverfahren Produkt	Säule	Bochumer Versuchseinrichtung (BV)
Acrylharz	<ul style="list-style-type: none"> • einfach • reproduzierbar • TOC-Verlauf eindeutig • TOC-Gehalte im Vergleich zu BV höher • Toxizität und biol. Abbau vergleichbar mit BV 	<ul style="list-style-type: none"> • realistische Rohrsanierung • relativ aufwendig • reproduzierbar • TOC-Verlauf wird zu wenig genau erfaßt • TOC-Gehalte im Vergleich zu Säule geringer • Toxizität und biol. Abbau vergleichbar mit Säule
Polyurethan	<ul style="list-style-type: none"> • einfach • reproduzierbar • TOC-Verlauf eindeutig • TOC-Gehalte im Vergleich zu BV höher • Toxizität und biol. Abbau vergleichbar mit BV 	<ul style="list-style-type: none"> • relativ aufwendig • reproduzierbar • TOC-Verlauf wegen der kleinen TOC-Gehalte nicht kritisch • TOC-Gehalte im Vergleich zu Säule geringer • Toxizität und biol. Abbau vergleichbar mit Säule

Säulenelution

Die Elution über eine Säule hat den wichtigen Vorteil der Einfachheit der Versuchseinrichtung und damit der geringeren Kosten. Der TOC-Verlauf ist mit einem vertretbaren Untersuchungsumfang zu erfassen.

Bochumer Versuchseinrichtung

Die Elution über die Bochumer Versuchseinrichtung hat im Falle der Anwendung auf Produkte zur Rohrsanierung den Vorteil des realistischen Produkteinsatzes. Dieser Vorteil ist jedoch gekoppelt an die Aufwendigkeit und damit die erhöhten Kosten dieses Verfahrens. Der Beprobungsumfang müßte zur erforderlichen besseren Erfassung des TOC-Verlaufes vergrößert werden.

Vergleich

Aus dem Vergleich der Elutionsmethoden kann gefolgert werden, daß ganz speziell unter der Berücksichtigung der Anwendungstechnik der Produkte (dies gilt für den Fall der Rohrsanierung) die Bochumer Versuchseinrichtung Vorteile hat. Diese werden aber vom Säulenversuch durch seine einfachere Handhabung und die kontinuierlichere Erfassung der Eluate kompensiert.

Es wäre also sinnvoll, den Säulenversuch zumindest als gleichwertig neben der Bochumer Versuchseinrichtung zur ökologischen Bewertung von flüssigen Produkten mit engem Grundwasserkontakt heranzuziehen.

5 Literatur

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Produkten zur Abwasserrohrsanierung, 1992
- [2] Stein, D.; Lühr, H.-P.; von Gersum, F.; Grunder, H. Th.:
„Entwicklung und Erprobung umweltfreundlicher Injektionsmittel und -verfahren zur Behandlung örtlich begrenzter Schäden und Undichtigkeiten in Kanalisaitonen unter Berücksichtigung des Gewässerschutzes“, Forschungsbericht 92-10204504, Umweltbundesamt, Juni 1992; UBA-Texte Nr. 54/92
- [3] Schößner, H.: Injektionen in den Baugrund-Anforderungen und Prüfungen aus wasserhygienischer Sicht, Wasser und Boden 46, S. 62-64, 1994
- [4] Oettinghaus, H.: Untersuchungsbericht zur Eluatgewinnung in der Bochumer Versuchseinrichtung,
Prof. Dr.-Ing. Stein & Partner GmbH, Bochum, Dezember 1998
- [5] Filip, Z. (Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Außenstelle Langen): Schriftliche Stellungnahme vom 17.1.1997
- [6] Grunder, H. Th.; Lühr, H.-P. im Auftrag des DIBt:
Ökologische Bauproduktenbewertung (Teilaspekte): Ökotoxikologische Parameterwahl, Einfluß der organischen Anteile in der Bodenmatrix auf die Eluate sowie Frachtmodelle zur Eluierbarkeit, Schlußbericht Dezember 1998
- [7] Kalnowski, G.: Untersuchungsberichte zu den Ames-Tests, Fachgebiet Hygiene der Technischen Universität Berlin, 1998

Anhang 1

Versuchsergebnisse

Darstellung der Ergebnisse, 1. Teil (Acrylharz)

Tabellen 1.1 bis 1.9 und Abb. 1.1 bis 1.24

	Seite
Tab. 1.1: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule	3 + 4
Abb. 1.1: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Anfangsphase	5
Abb. 1.2: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Gesamtverlauf	6
Tab. 1.2: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule	7 + 8
Abb. 1.3: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Anfangsphase	9
Abb. 1.4: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Gesamtverlauf	10
Tab. 1.3: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum	11 + 12
Abb. 1.5: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, fraktionsbezogen	13
Tab. 1.4: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Bochum	14 + 15
Abb. 1.6: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Bochum, fraktionsbezogen	16
Abb. 1.7: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. + 2. Versuch, Bochum, zeitabhängig	17
Abb. 1.8: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Maximumphase	18
Abb. 1.9: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Abklingphase	19
Abb. 1.10: TTC-Test, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Maximumphase	20
Abb. 1.11: TTC-Test, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Abklingphase	21
Abb. 1.12: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Fraktion 1	22
Abb. 1.13: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase	23
Abb. 1.14: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Abklingphase	24
Tab. 1.5: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Säule	25
Abb. 1.15: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Säule	25
Tab. 1.6: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Säule	26
Abb. 1.16: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Säule	26
Tab. 1.7: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Bochum	27
Abb. 1.17: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Bochum	27
Tab. 1.8: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Bochum	28
Abb. 1.18: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Bochum	28
Tab. 1.9: Grünalgen-, Daphnien- und Fisch-Test, Acrylharz, Säule	29
Abb. 1.19: Protozoen-Test, Acrylharz, Säule	30
Abb. 1.20: Biol. Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Maximumphase	31
Abb. 1.21: Biol. Abbau, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Maximumphase	32
Abb. 1.22: Biol. Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Fraktion 1	33
Abb. 1.23: Biol. Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase	34
Abb. 1.24: Biol. Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase	35

Darstellung der Ergebnisse, 2. Teil (Polyurethan)

Tabellen 1.10 bis 1.18 und Abb. 1.25 bis 1.42

	Seite
Tab. 1.10: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule	36 + 37
Abb. 1.25: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule, Anfangsphase	38
Abb. 1.26: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule, Gesamtverlauf	39
Tab. 1.11: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule	40 + 41
Abb. 1.27: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule, Anfangsphase	42
Abb. 1.28: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule, Gesamtverlauf	43
Tab. 1.12: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum	44 + 45
Abb. 1.29: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Vers., Bochum, fraktionsbezogen	46
Tab. 1.13: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum	47 + 48
Abb. 1.30: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Vers., Bochum, fraktionsbezogen	49
Abb. 1.31: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. + 2. Vers., Bochum, zeitbezogen	50
Abb. 1.32: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Säule Maximumphase	51
Abb. 1.33: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Säule Abklingphasephase	52
Abb. 1.34: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Säule Maximumphase	53
Abb. 1.35: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Säule Abklingphasephase	54
Abb. 1.36: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase	55
Abb. 1.37: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum, Abklingphase	56
Abb. 1.38: TTC-Test, Polyurethan, Bochum, Maximumphase	57
Abb. 1.39: TTC-Test, Polyurethan, Bochum, Abklingphase	58
Tab. 1.14: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Säule	59
Abb. 1.40: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Säule	59
Tab. 1.15: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Säule	60
Abb. 1.41: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Säule	60
Tab. 1.16: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Bochum	61
Abb. 1.42: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Bochum	61
Tab.: 1.17: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Bochum	62
Abb. 1.43: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Bochum	62
Tab. 1.18: Grünalgen-, Daphnien- und Fisch-Test, Polyurethan, Säule	63
Abb. 1.44: Protozoen-Test, Polyurethan, Säule	64

Tabelle 1.1: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
Vergleichswasser	30.06.98	farblos	klar	ohne	keine
1	30.06.98/11:15	gelblich	trübe	sandig	keine
2	30.06.98/11:16	gelblich	trübe	sandig	keine
3	30.06.98/11:27	farblos	klar	ohne	keine
4	30.06.98/11:37	farblos	klar	ohne	keine
5	30.06.98/11:53	farblos	klar	ohne	keine
6	30.06.98/12:05	farblos	klar	schwach organisch	keine
7	30.06.98/12:17	farblos	klar	schwach organisch	keine
8	30.06.98/12:29	farblos	klar	schwach organisch	keine
9	30.06.98/12:42	farblos	klar	organisch	schwach
10	30.06.98/12:57	farblos	klar	organisch	schwach
11	30.06.98/13:12	farblos	klar	organisch	schwach
12	30.06.98/13:19	farblos	klar	organisch	deutlich
13	30.06.98/13:29	farblos	klar	organisch	deutlich
14	30.06.98/13:46	farblos	klar	organisch	deutlich
15	30.06.98/14:06	farblos	klar	organisch	deutlich
16	30.06.98/14:17	farblos	klar	organisch	deutlich
17	30.06.98/14:28	farblos	klar	organisch	stark
18	30.06.98/14:40	farblos	klar	organisch	stark
19	30.06.98/14:56	farblos	klar	organisch	stark
20	30.06.98/15:13	farblos	klar	organisch	stark
21	30.06.98/15:30	farblos	klar	organisch	stark
22	30.06.98/15:46	farblos	klar	organisch	stark
23	30.06.98/15:59	farblos	klar	organisch	stark
24	30.06.98/16:15	farblos	klar	organisch	stark
25	30.06.98/16:30	farblos	klar	organisch	stark
Vergleichswasser	01.07.98	farblos	klar	ohne	keine
26	01.07.98	weißlich	trübe	schwach organisch	schwach
Vergleichswasser	02.07.98	farblos	klar	ohne	keine
27	02.07.98	farblos	trübe	schwach organisch	schwach
Vergleichswasser	04.07.98	farblos	klar	ohne	keine
28	04.07.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
Vergleichswasser	07.07.98	farblos	klar	ohne	keine
29	07.07.98	farblos	klar	ohne	keine

Tabelle 1.1: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule
(Fortsetzung)

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	30.06.98	7,9	502	1,9
1	30.06.98/11:15	7,9	502	2,2
2	30.06.98/11:16	7,9	502	2,0
3	30.06.98/11:27	7,8	502	1,9
4	30.06.98/11:37	8,0	502	1,7
5	30.06.98/11:53	8,0	502	1,8
6	30.06.98/12:05	8,0	500	1,6
7	30.06.98/12:17	8,0	502	2,1
8	30.06.98/12:29	8,0	545	32
9	30.06.98/12:42	7,9	977	350
10	30.06.98/12:57	7,7	1838	870
11	30.06.98/13:12	7,6	2210	1340
12	30.06.98/13:19	7,6	2390	1440
13	30.06.98/13:29	7,7	2350	1620
14	30.06.98/13:46	7,7	2100	1360
15	30.06.98/14:06	7,7	1940	950
16	30.06.98/14:17	7,7	1804	970
17	30.06.98/14:28	7,8	1594	840
18	30.06.98/14:40	7,7	1317	730
19	30.06.98/14:56	7,8	1128	920
20	30.06.98/15:13	7,8	1014	410
21	30.06.98/15:30	7,8	956	330
22	30.06.98/15:46	7,9	918	300
23	30.06.98/15:59	7,9	870	220
24	30.06.98/16:15	7,9	831	200
25	30.06.98/16:30	7,9	818	210
Vergleichswasser	01.07.98	8,0	500	1,2
26	01.07.98	8,0	535	24
Vergleichswasser	02.07.98	7,9	500	1,2
27	02.07.98	8,0	510	19
Vergleichswasser	04.07.98	7,9	507	1,2
28	04.07.98	7,9	511	3,0
Vergleichswasser	07.07.98	8,0	515	1,2
29	07.07.98	8,0	515	2,0

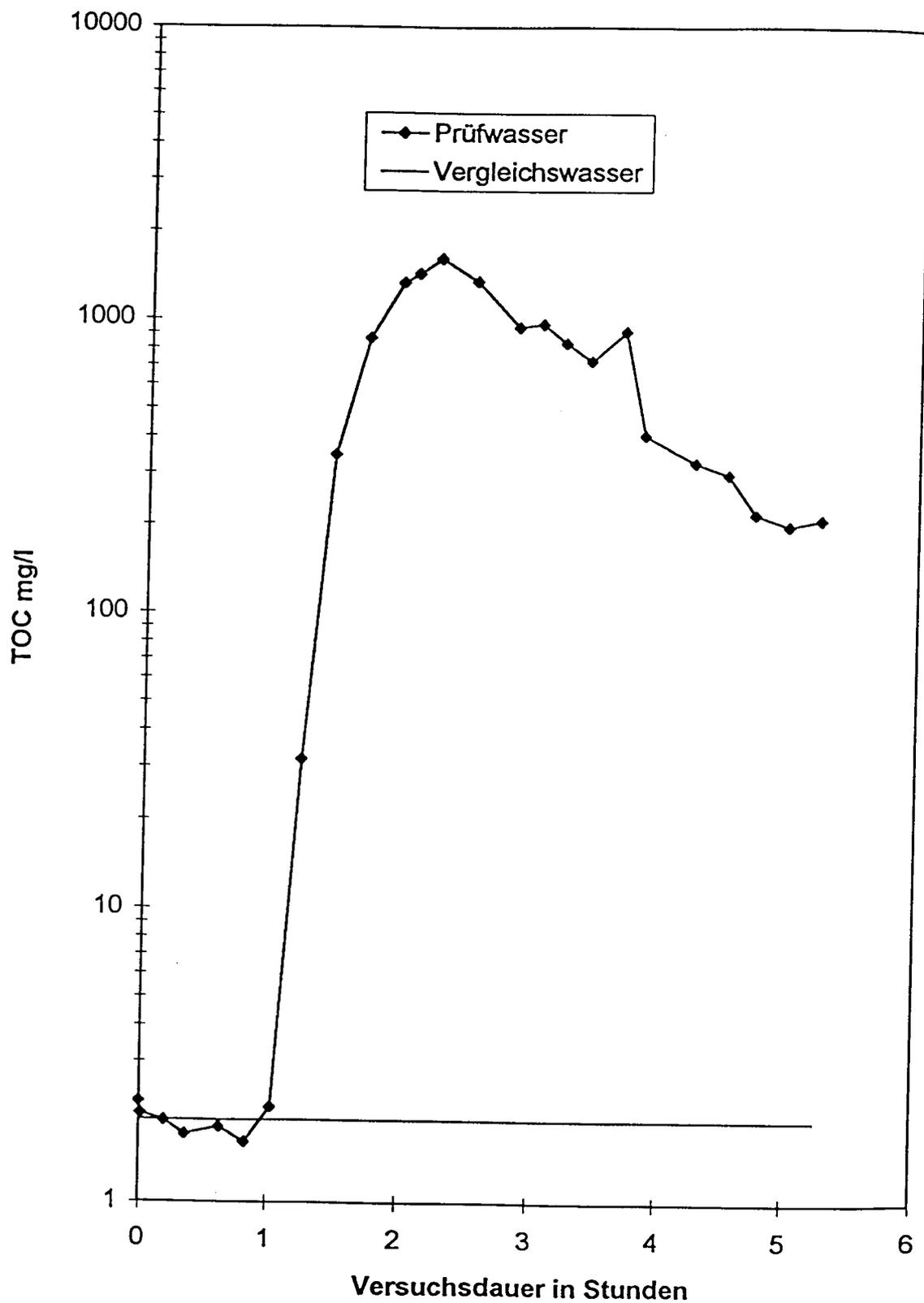


Abb. 1.1: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule während der ersten 6 Stunden (Anfangsphase)

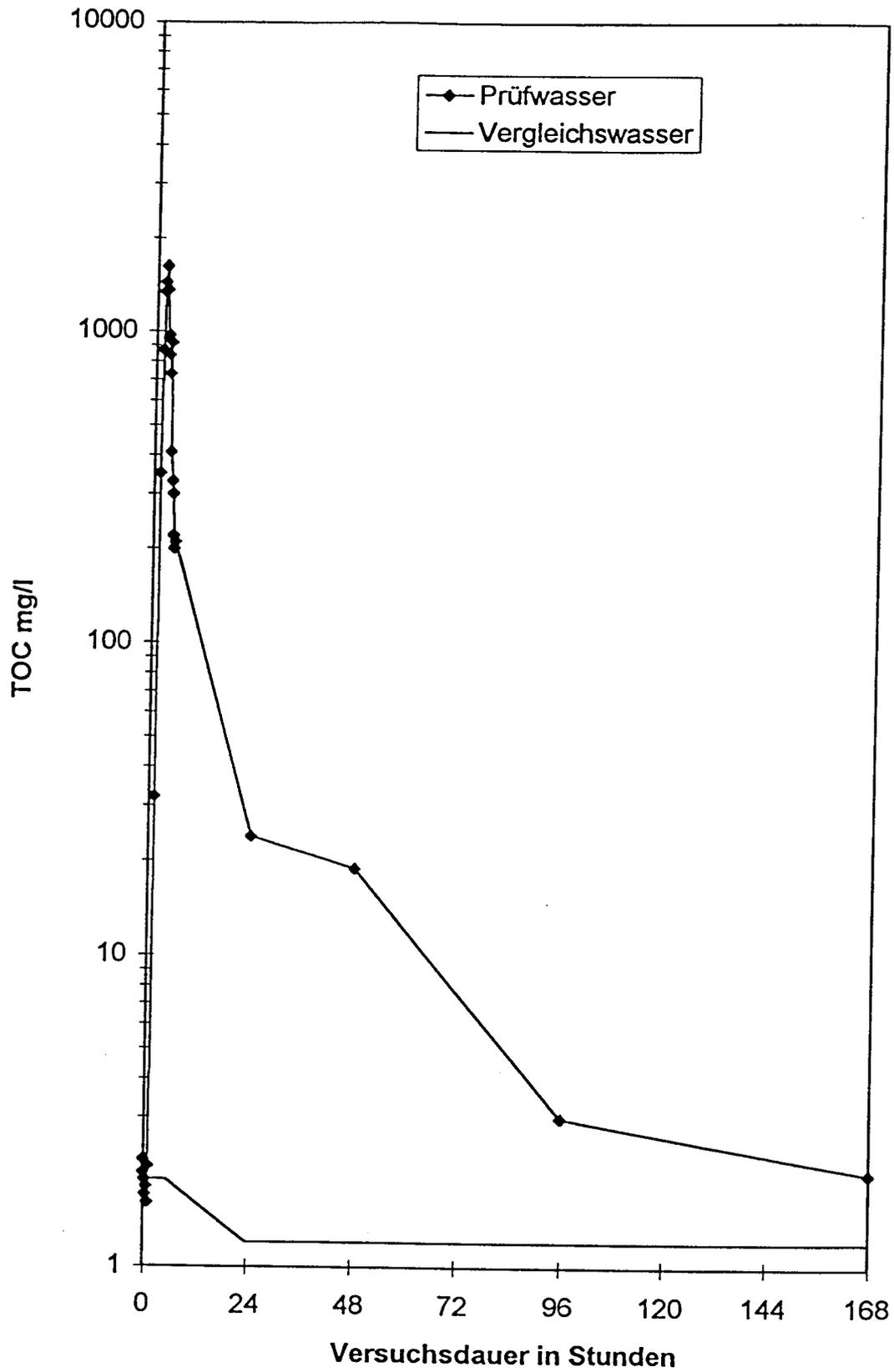


Abb. 1.2: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Säule
Gesamtverlauf

Tabelle 1.2: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
Vergleichswasser	30.06.98	farblos	klar	ohne	keine
1	30.06.98/11:19	gelblich	trübe	sandig	keine
2	30.06.98/11:23	gelblich	trübe	sandig	keine
3	30.06.98/11:38	farblos	klar	ohne	keine
4	30.06.98/11:52	farblos	klar	ohne	keine
5	30.06.98/12:05	farblos	klar	organisch	sehr schwach
6	30.06.98/12:19	farblos	klar	organisch	sehr schwach
7	30.06.98/12:34	farblos	klar	organisch	schwach
8	30.06.98/12:53	farblos	klar	organisch	schwach
9	30.06.98/13:12	farblos	klar	organisch	schwach
10	30.06.98/12:26	farblos	klar	organisch	stark
11	30.06.98/13:40	farblos	klar	organisch	stark
12	30.06.98/13:55	farblos	klar	organisch	stark
13	30.06.98/14:12	farblos	klar	organisch	stark
14	30.06.98/14:24	farblos	klar	organisch	stark
15	30.06.98/14:34	farblos	klar	organisch	stark
16	30.06.98/14:45	farblos	klar	organisch	stark
17	30.06.98/15:02	farblos	klar	organisch	stark
18	30.06.98/15:18	farblos	klar	organisch	stark
19	30.06.98/15:27	farblos	klar	organisch	stark
20	30.06.98/15:43	farblos	klar	organisch	stark
21	30.06.98/15:58	farblos	klar	organisch	stark
22	30.06.98/16:13	farblos	klar	organisch	stark
23	30.06.98/16:28	farblos	klar	organisch	stark
24	30.06.98/16:43	farblos	klar	organisch	stark
25	30.06.98/17:00	farblos	klar	organisch	stark
Vergleichswasser	01.07.98	farblos	klar	ohne	keine
26	01.07.98	weißlich	trübe	schwach organisch	schwach
Vergleichswasser	02.07.98	farblos	klar	ohne	keine
27	02.07.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
Vergleichswasser	04.07.98	farblos	klar	ohne	keine
28	04.07.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
Vergleichswasser	07.07.98	farblos	klar	ohne	keine
29	07.07.98	farblos	klar	ohne	keine

Tabelle 1.2: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule
(Fortsetzung)

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	30.06.98	8,0	501	1,2
1	30.06.98/11:19	8,0	501	1,3
2	30.06.98/11:23	8,1	502	1,4
3	30.06.98/11:38	8,1	501	1,3
4	30.06.98/11:52	8,1	505	3,5
5	30.06.98/12:05	8,0	623	75
6	30.06.98/12:19	7,9	957	325
7	30.06.98/12:34	7,8	1242	520
8	30.06.98/12:53	7,8	1329	590
9	30.06.98/13:12	7,7	1484	760
10	30.06.98/12:26	7,7	1574	830
11	30.06.98/13:40	7,8	1470	780
12	30.06.98/13:55	7,8	1335	680
13	30.06.98/14:12	7,8	1268	600
14	30.06.98/14:24	7,8	1221	540
15	30.06.98/14:34	7,8	1174	460
16	30.06.98/14:45	7,8	1105	410
17	30.06.98/15:02	7,8	1070	440
18	30.06.98/15:18	7,8	1032	360
19	30.06.98/15:27	7,9	966	300
20	30.06.98/15:43	7,8	945	320
21	30.06.98/15:58	7,8	906	270
22	30.06.98/16:13	7,9	874	245
23	30.06.98/16:28	7,9	848	225
24	30.06.98/16:43	7,8	821	195
25	30.06.98/17:00	7,9	798	210
Vergleichswasser	01.07.98	8,0	500	1,2
26	01.07.98	8,0	530	34
Vergleichswasser	02.07.98	7,9	500	1,2
27	02.07.98	8,0	508	5,7
Vergleichswasser	04.07.98	7,9	507	1,2
28	04.07.98	7,8	520	4,4
Vergleichswasser	07.07.98	8,0	515	1,2
29	07.07.98	7,9	518	3,4

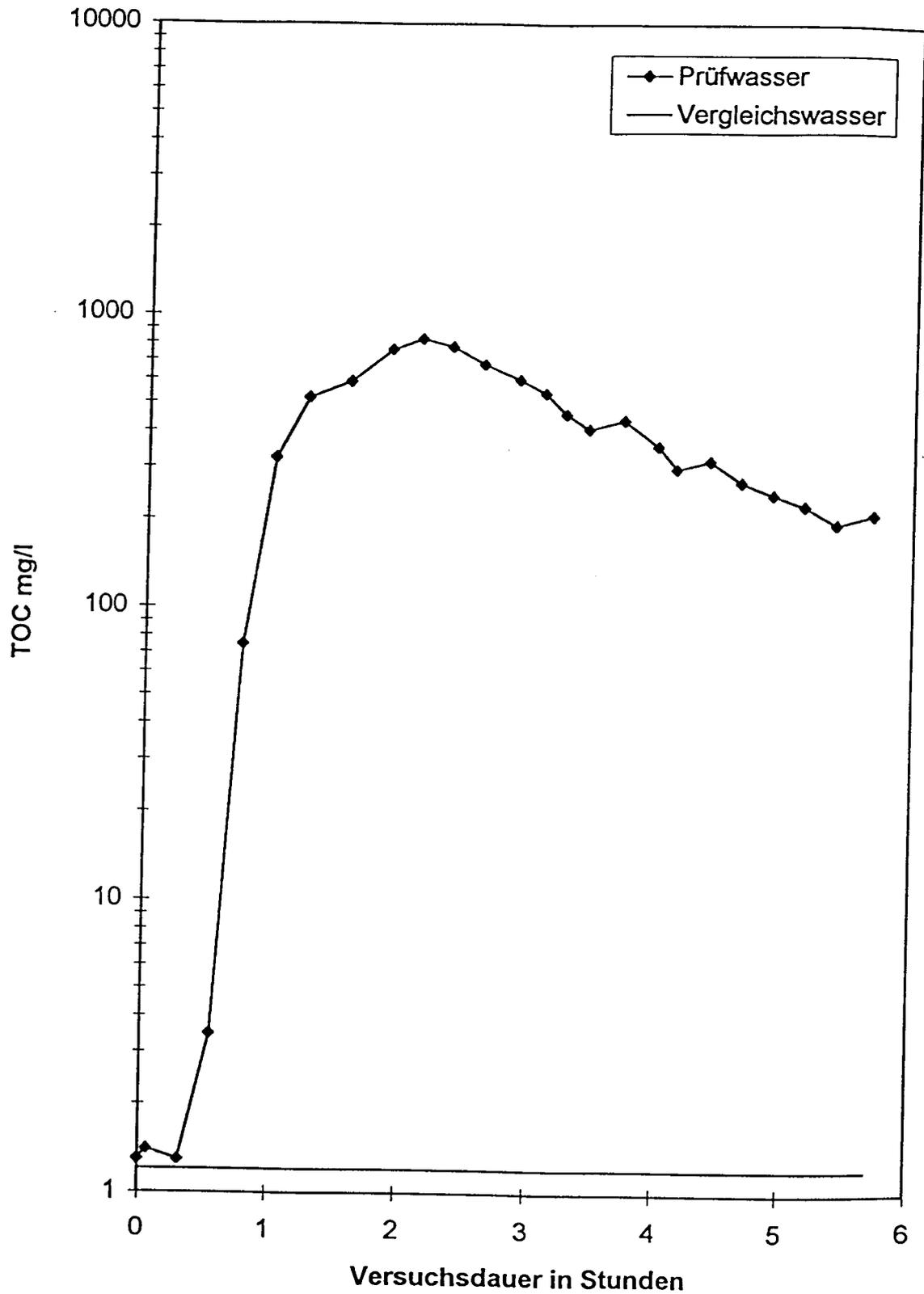


Abb. 1.3: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule während der ersten 6 Stunden (Anfangsphase)

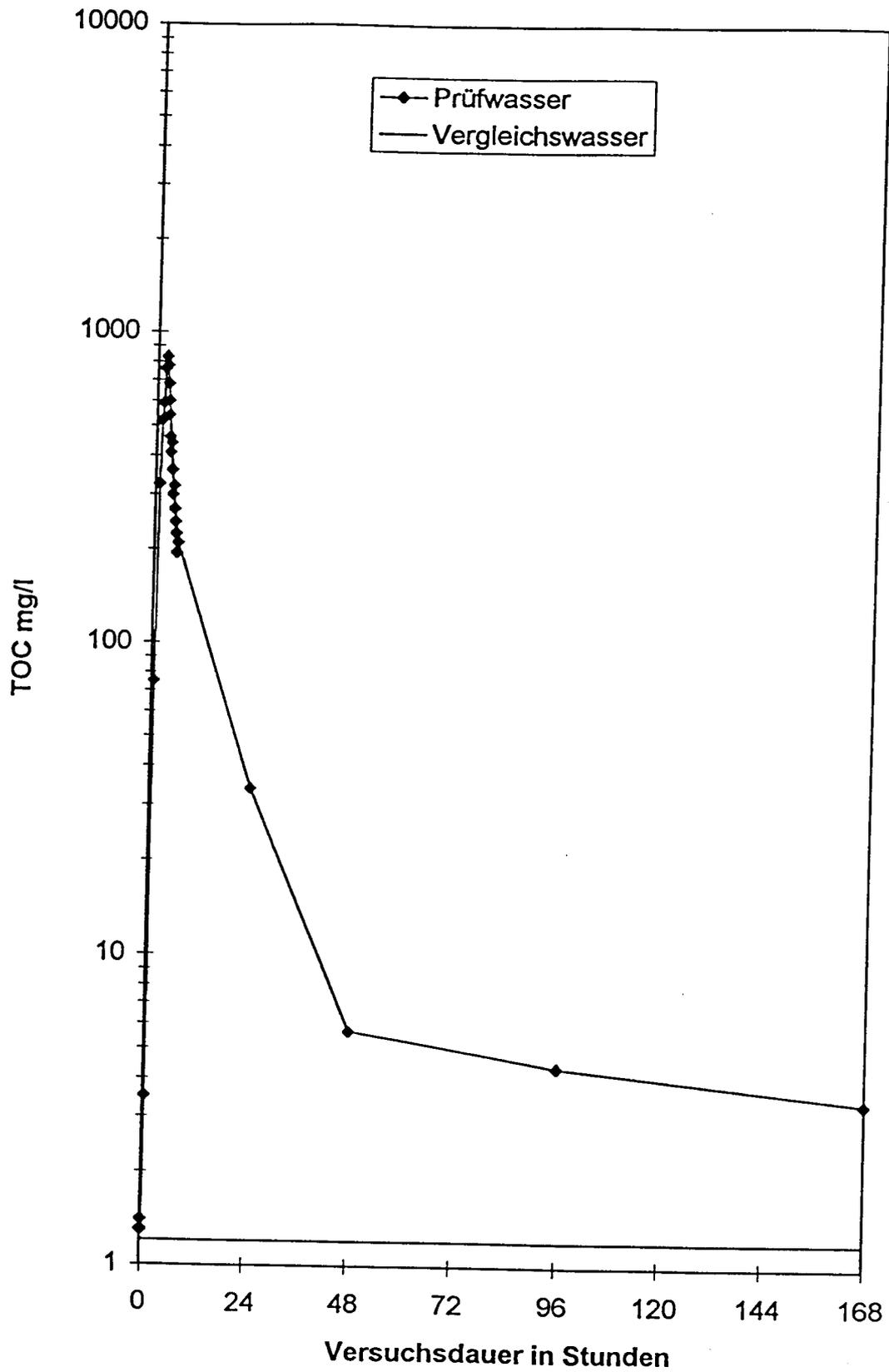


Abb. 1.4: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Säule
Gesamtverlauf

Tabelle 1.3: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum

Fraktion	Probeneingang	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
1/1	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/2	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/3	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/4	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/5	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/6	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/7	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/8	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/9	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/10	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/11	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/12	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/13	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/14	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/15	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/16	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/17	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/18	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/19	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/20	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
1/21	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/22	14.09.98	schwach gelblich	klar	stark organisch	deutlich
1/23	17.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
1/24	17.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich

Tabelle 1.3: Versuchsverlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum
(Fortsetzung)

Fraktion	Probeneingang	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
1/1	14.09.98	5,9	862	130
1/2	14.09.98	6,3	653	25
1/3	14.09.98	6,2	698	36
1/4	14.09.98	6,8	536	14
1/5	14.09.98	6,6	538	14
1/6	14.09.98	6,6	534	13
1/7	14.09.98	6,6	534	18
1/8	14.09.98	6,7	533	17
1/9	14.09.98	6,8	532	19
1/10	14.09.98	6,7	541	20
1/11	14.09.98	6,7	542	21
1/12	14.09.98	6,8	536	22
1/13	14.09.98	6,9	542	23
1/14	14.09.98	6,9	545	26
1/15	14.09.98	6,8	553	28
1/16	14.09.98	6,9	548	27
1/17	14.09.98	6,9	546	29
1/18	14.09.98	6,9	551	30
1/19	14.09.98	6,9	551	32
1/20	14.09.98	6,9	578	56
1/21	14.09.98	6,6	745	170
1/22	14.09.98	7,2	773	175
1/23	17.09.98	7,4	632	64
1/24	17.09.98	7,5	595	36

Die TOC-Gehalte der Fraktionen 1/1, 1/2, 1/3, 1/6, 1/14, 1/19, 1/20, 1/21, 1/22, 1/23 und 1/24 sind in Abbildung 1.7 in ihrer Zeitabhängigkeit dargestellt.

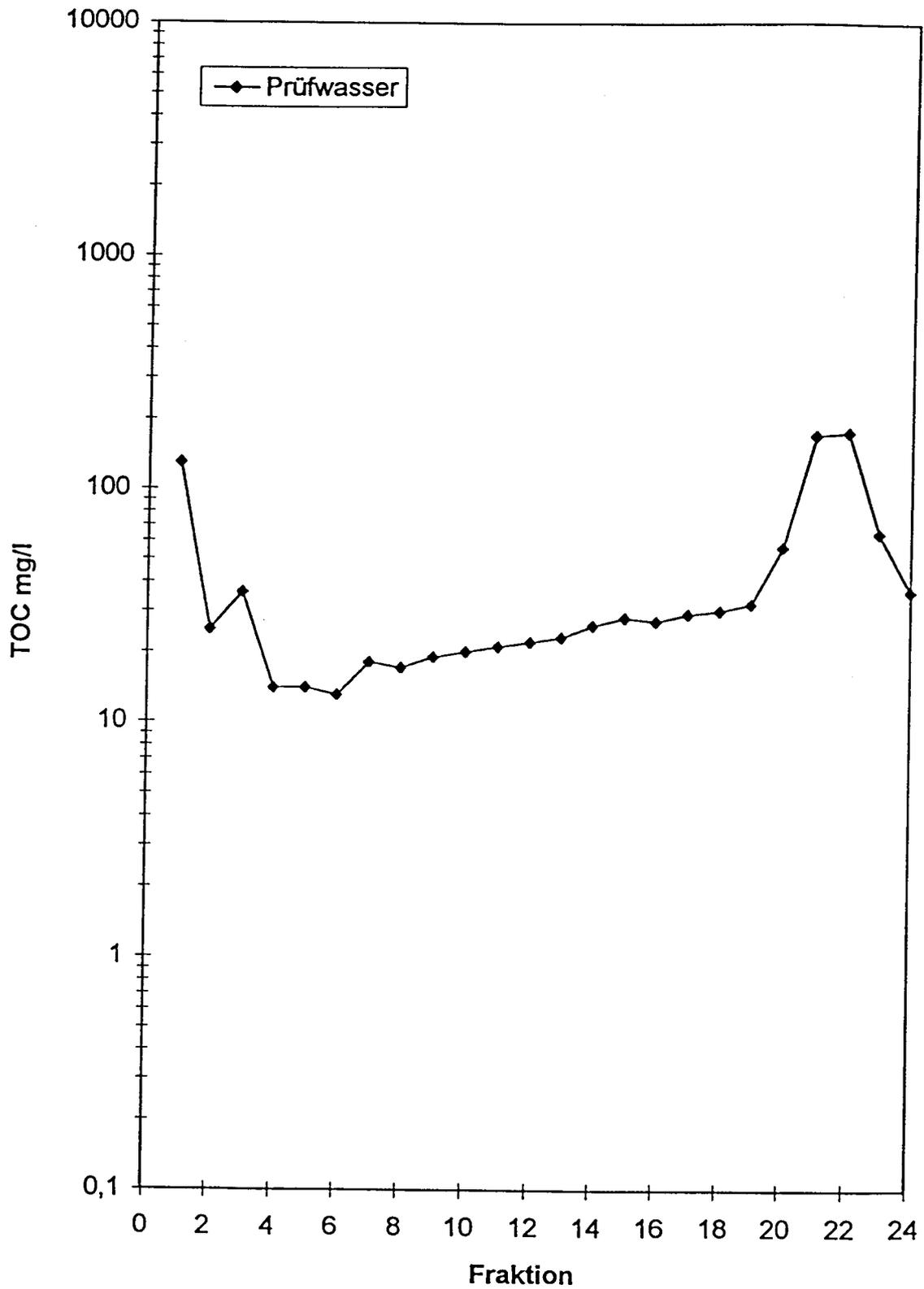


Abb. 1.5: TOC-Verlauf, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum
(bezogen auf die Fraktionen)

Tabelle 1.4: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Bochum

Fraktion	Probeneingang	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
2/1	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
2/2	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
2/3	14.09.98	farblos	klar	stark organisch	deutlich
2/4	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/5	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/6	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
2/7	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
2/8	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/9	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
2/10	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
2/11	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach
2/12	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/13	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/14	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/15	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/16	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/17	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/18	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/19	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/20	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/21	14.09.98	farblos	klar	schwach organisch	deutlich
2/22	14.09.98	schwach gelblich	klar	schwach organisch	deutlich
2/23	17.09.98	schwach gelblich	klar	schwach organisch	schwach
2/24	17.09.98	farblos	klar	schwach organisch	schwach

Tabelle 1.4: Versuchsverlauf, Acrylharz, 2. Versuch Bochum
(Fortsetzung)

Fraktion	Probeneingang	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	TOC mg/l
2/1	14.09.98	5,3	1064	230
2/2	14.09.98	6,0	659	52
2/3	14.09.98	6,3	663	42
2/4	14.09.98	6,1	609	19
2/5	14.09.98	6,2	501	19
2/6	14.09.98	6,3	503	14
2/7	14.09.98	6,4	487	14
2/8	14.09.98	6,6	488	15
2/9	14.09.98	6,7	495	16
2/10	14.09.98	6,8	505	17
2/11	14.09.98	6,6	498	16
2/12	14.09.98	6,7	509	17
2/13	14.09.98	6,7	514	18
2/14	14.09.98	6,7	514	20
2/15	14.09.98	6,7	521	20
2/16	14.09.98	6,7	519	22
2/17	14.09.98	6,8	522	21
2/18	14.09.98	7,0	524	25
2/19	14.09.98	6,8	526	33
2/20	14.09.98	6,8	581	61
2/21	14.09.98	6,8	605	70
2/22	14.09.98	7,1	630	78
2/23	17.09.98	7,5	619	54
2/24	17.09.98	7,6	596	37

Die TOC-Gehalte der Fraktionen 2/1, 2/2, 2/3, 2/6, 2/14, 2/19, 2/20, 2/21, 2/22, 2/23 und 2/24 sind in Abbildung 1.7 in ihrer Zeitabhängigkeit dargestellt.

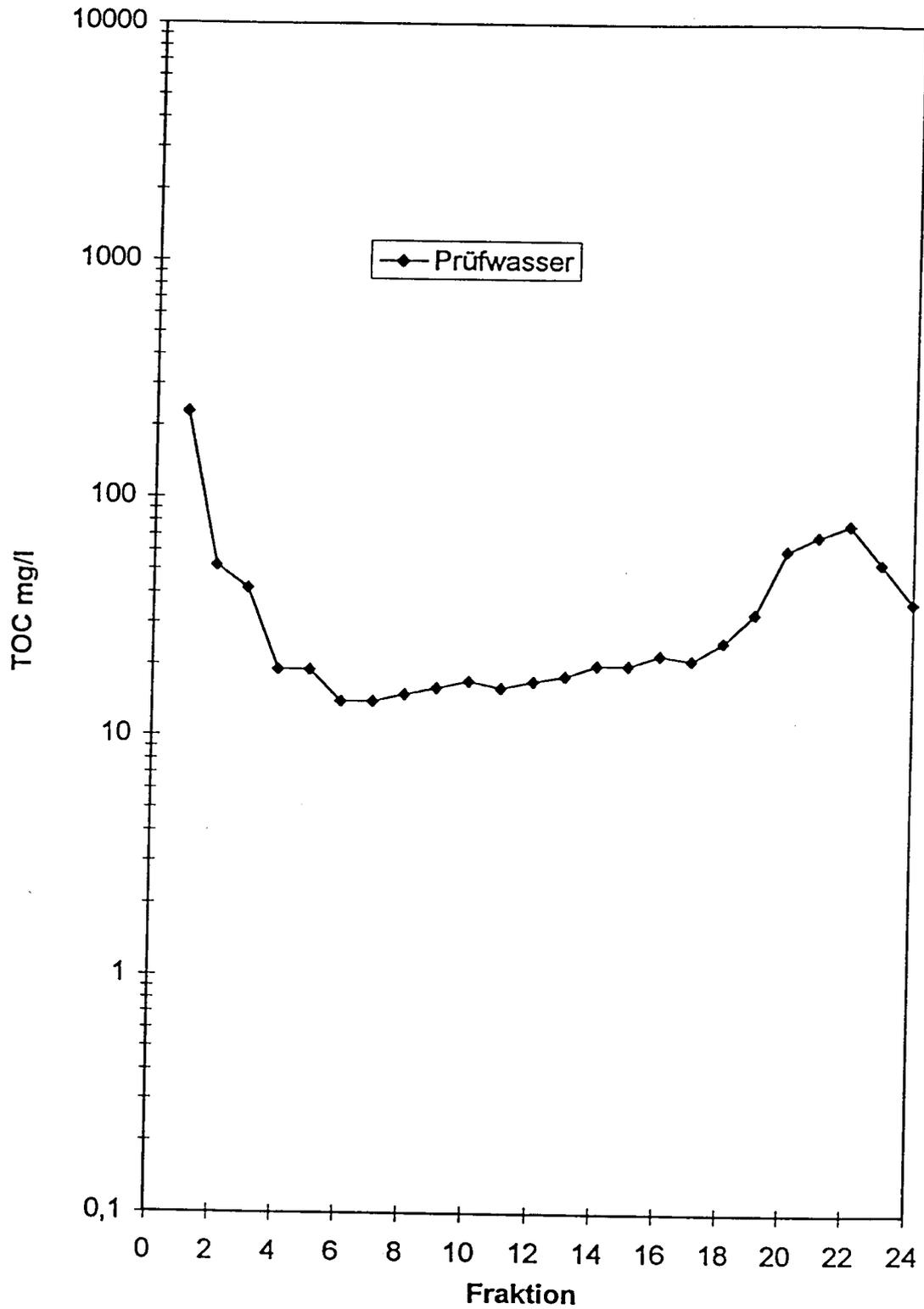


Abb. 1.6: TOC-Verlauf, Acrylharz, 2. Versuch, Bochum
(bezogen auf die Fraktionen)

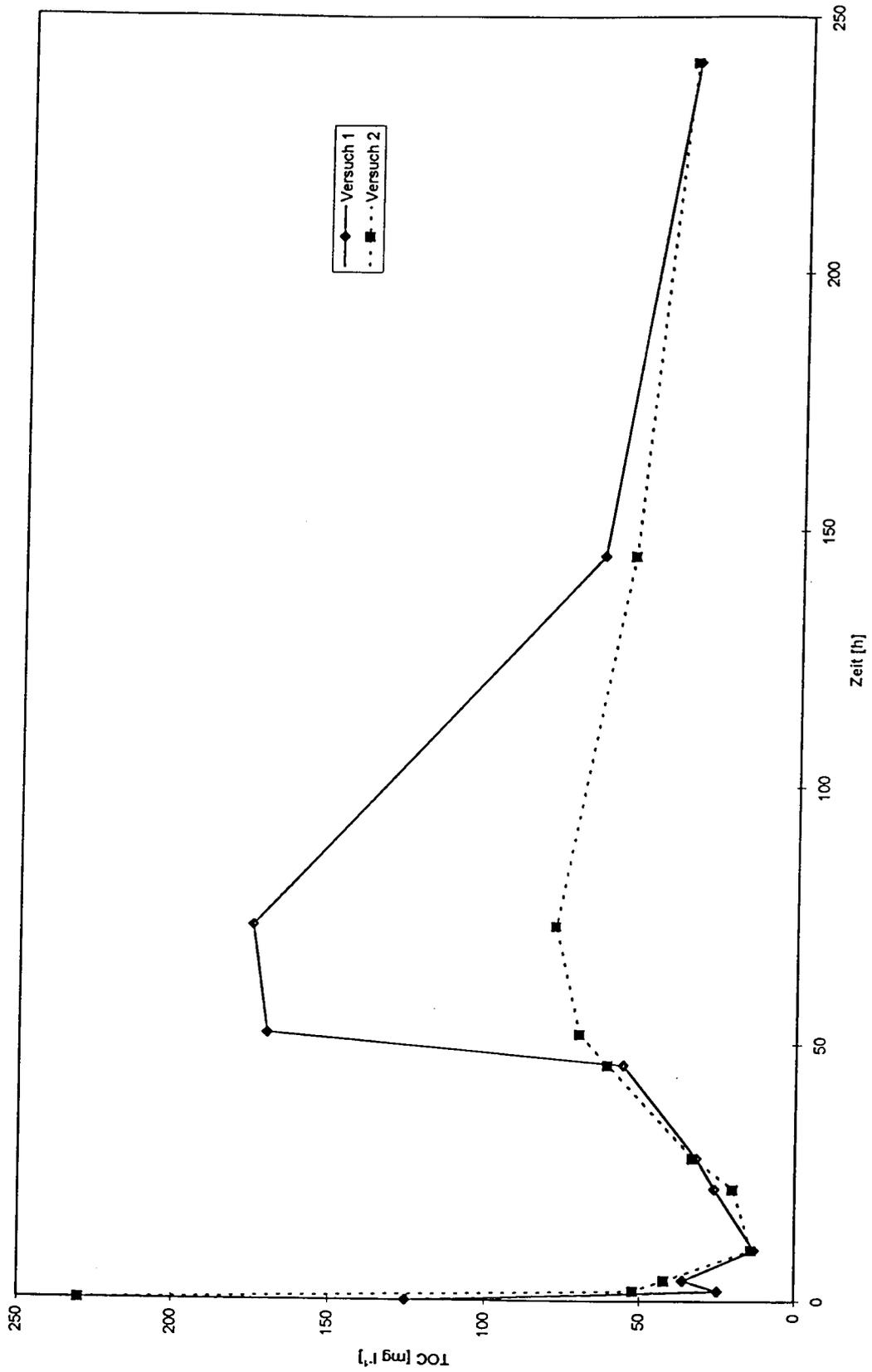


Abb. 1.7: TOC-Verlauf Acrylharz, 1. und 2. Versuch, Bochum
(dargestellt in Abhängigkeit von der Elutionsdauer)

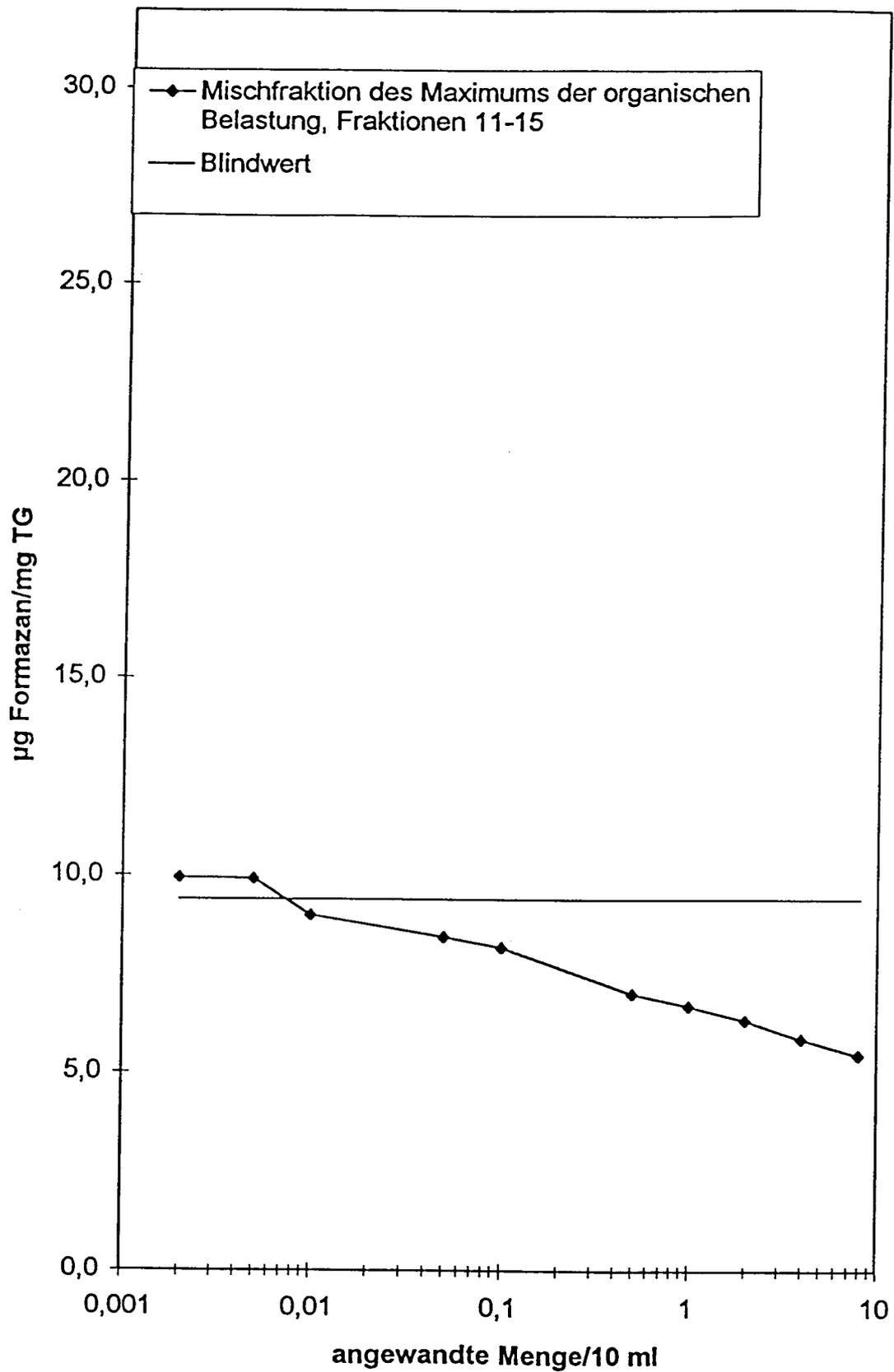


Abb. 1.8: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Maximumphase

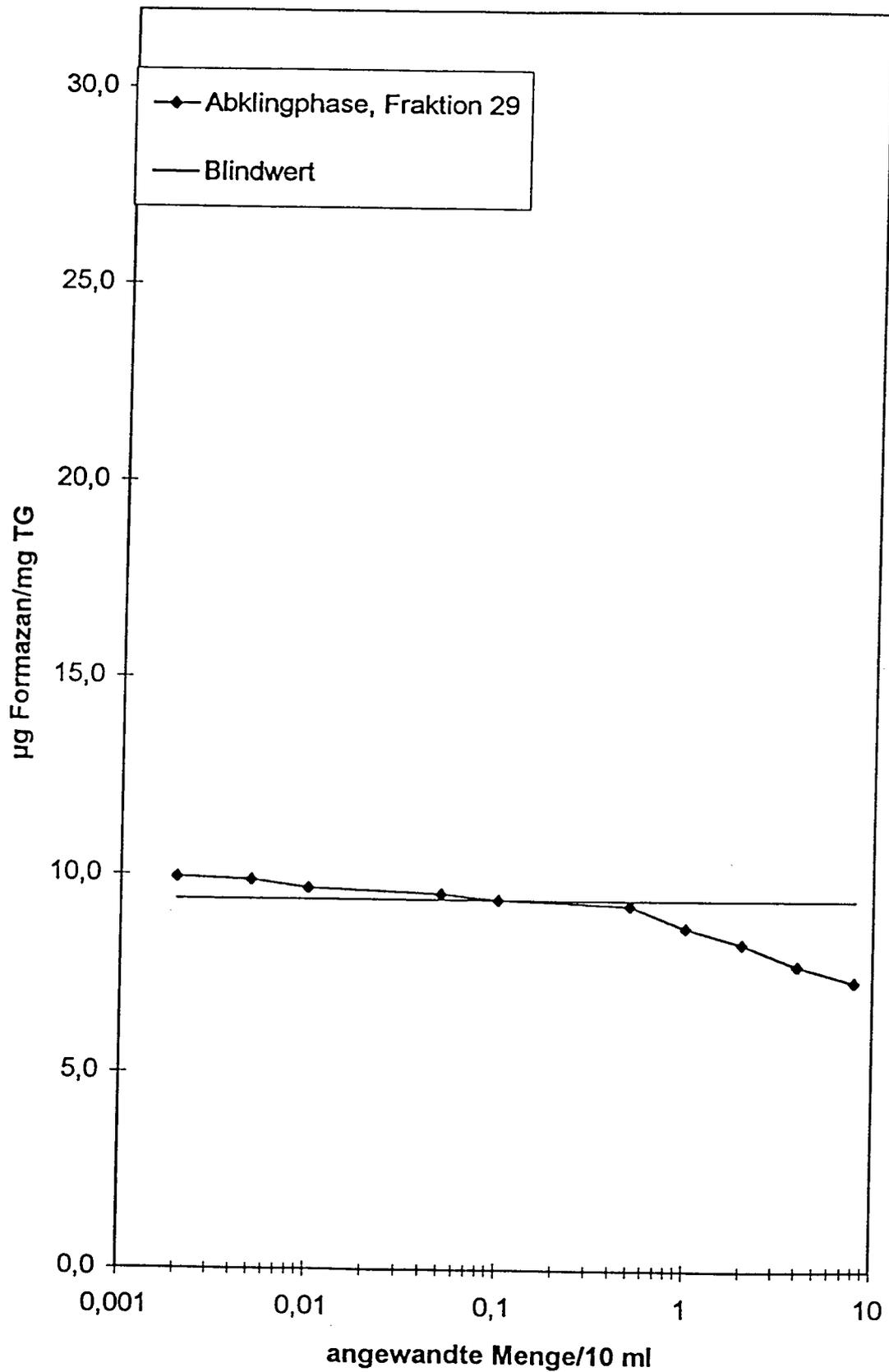


Abb. 1.9: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Säule, Abklingphase

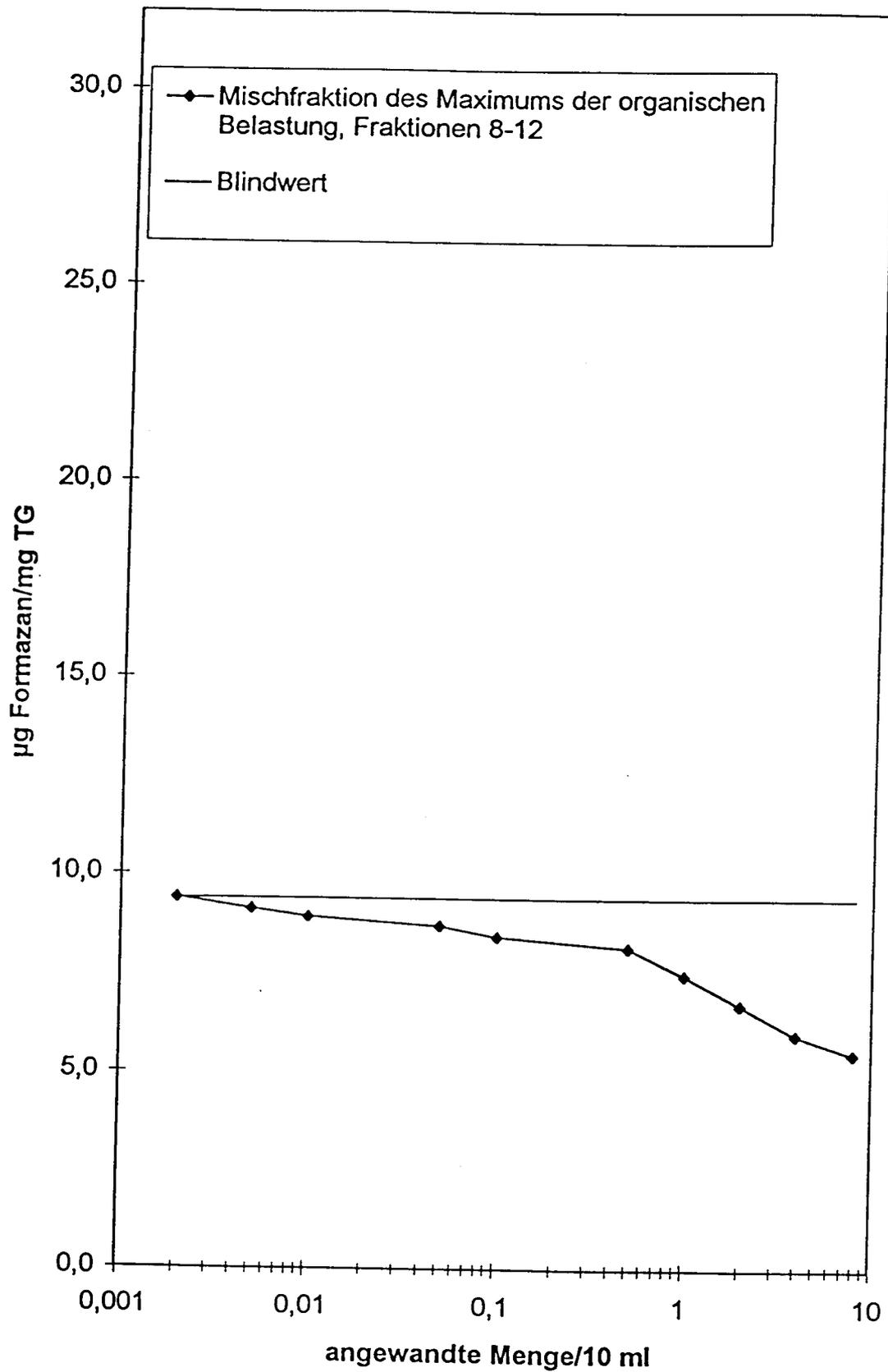


Abb. 1.10: TTC-Test, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Maximumphase

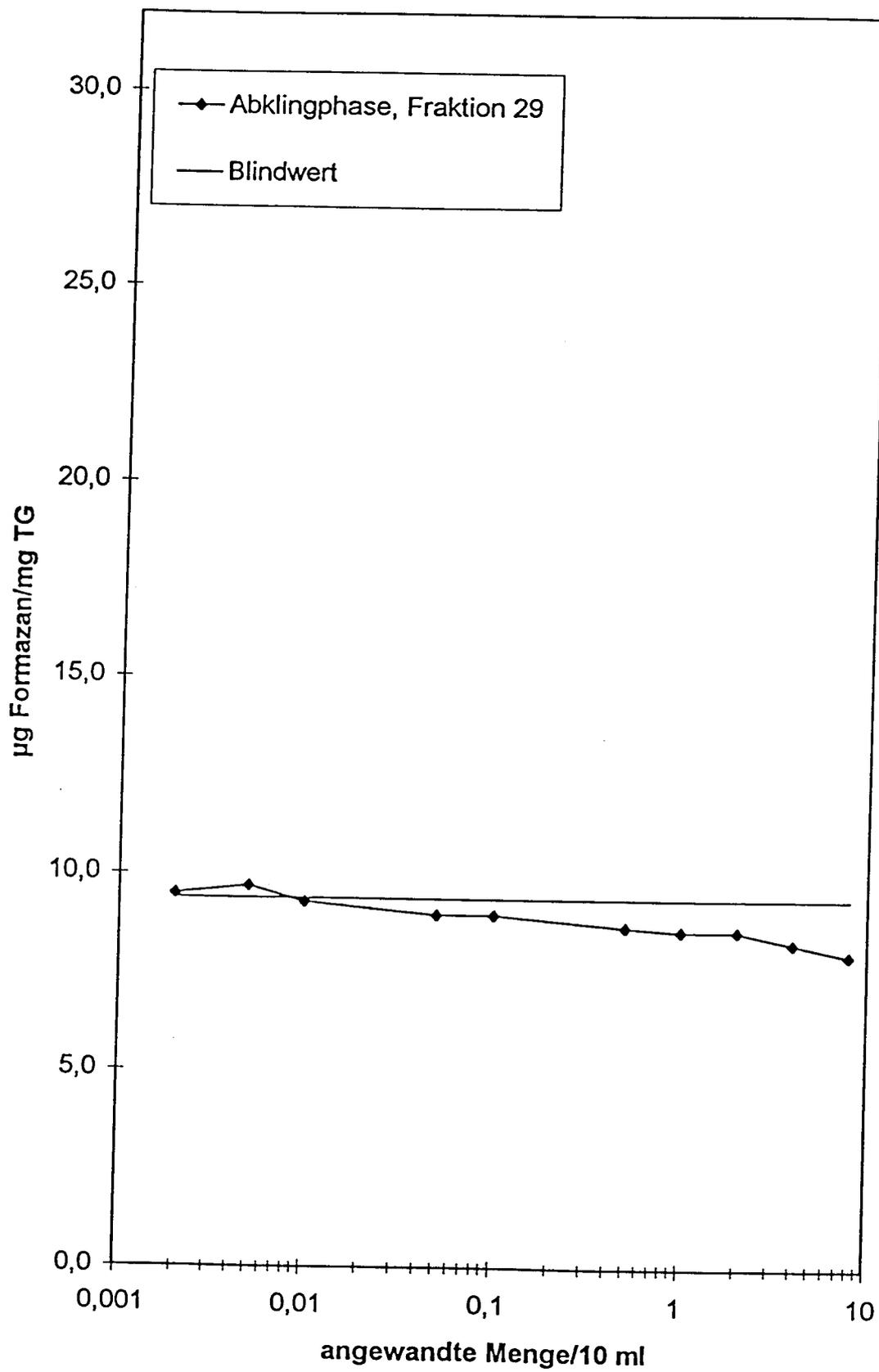


Abb. 1.11: TTC-Test, Acrylharz, 2. Versuch, Säule, Abklingphase

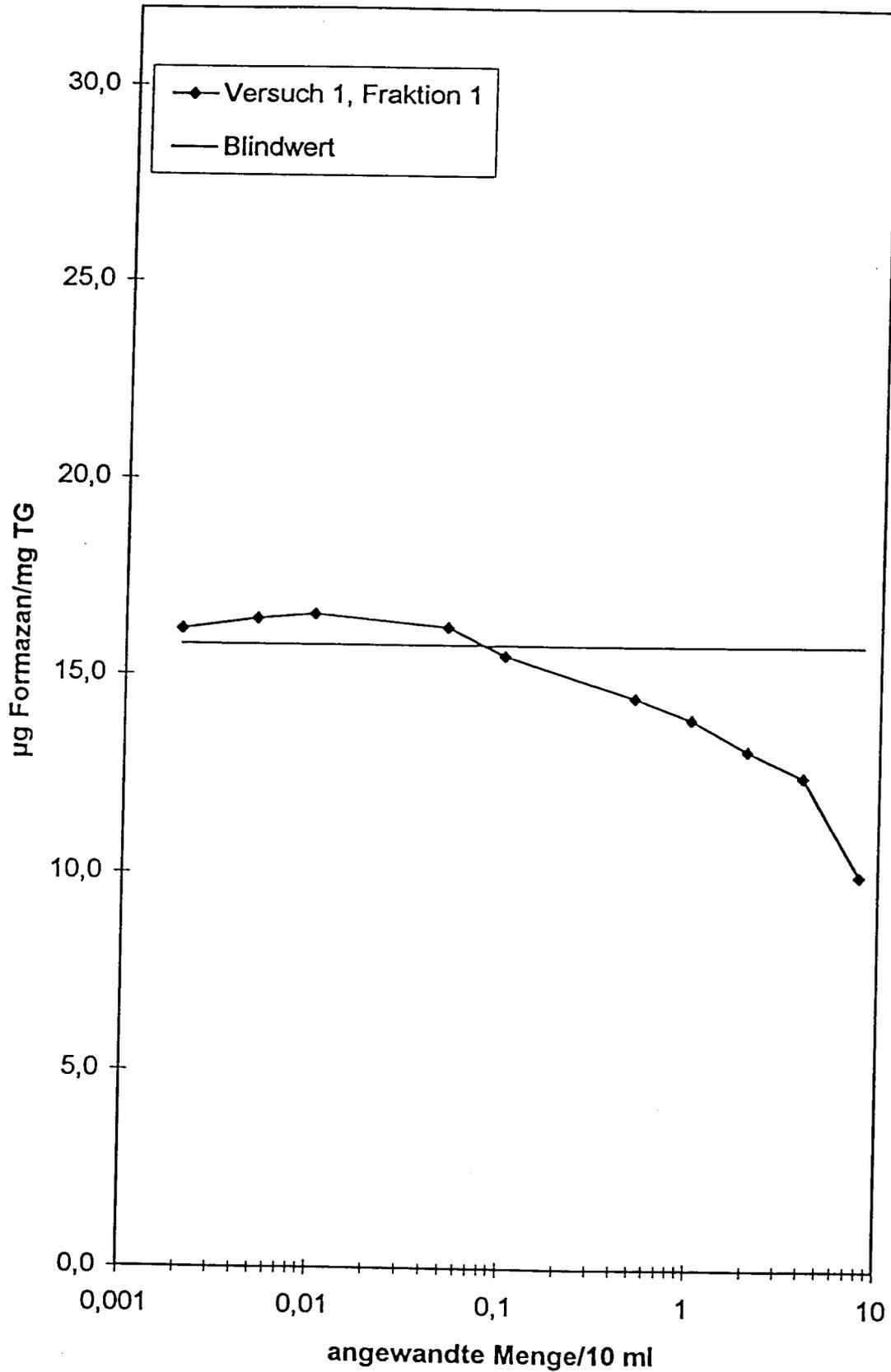


Abb. 1.12: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Fraktion I

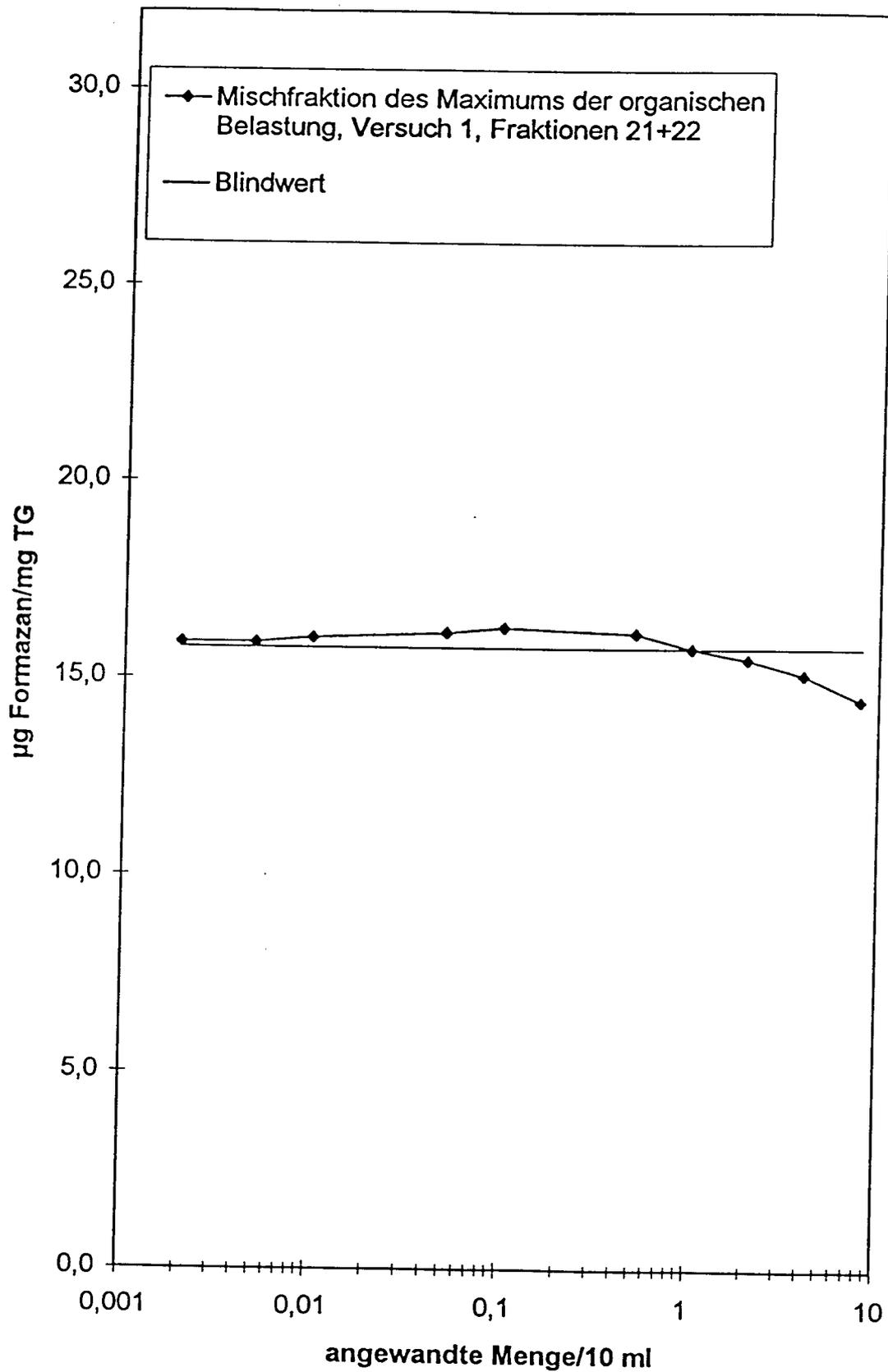


Abb. 1.13: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase

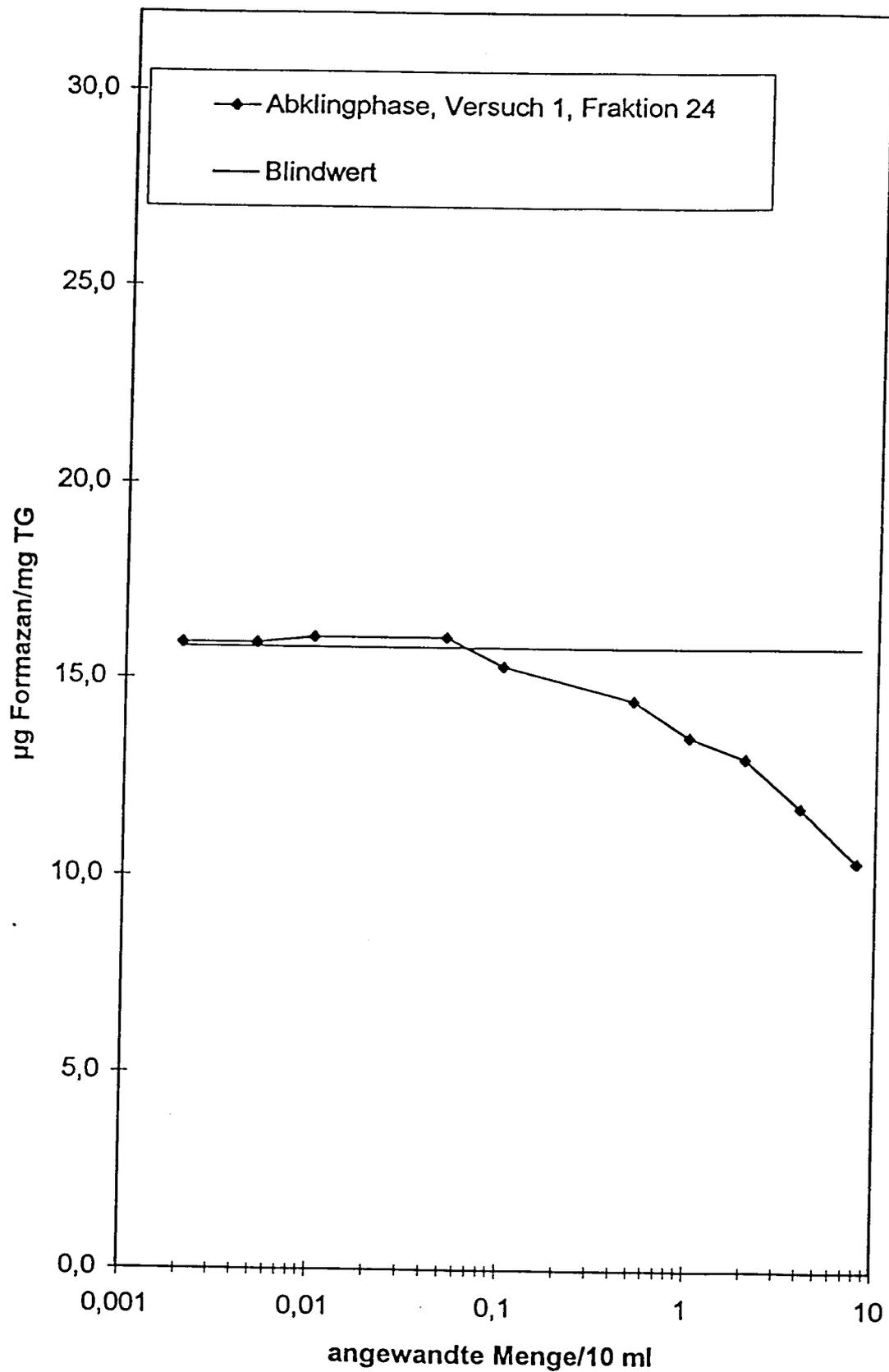


Abb. 1.14: TTC-Test, Acrylharz, 1. Versuch, Bochum, Abklingphase

Tabelle 1.5: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung,
Acrylharz , Säule

Konzentration ml/l	Lumineszenzhemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
15,63	0,18%	0,68%	-4,61%	-2,10%
31,25	0,03%	-5,42%	-8,32%	-8,58%
62,50	1,26%	-6,85%	-10,71%	-5,25%
125,00	6,52%	-7,38%	-8,45%	-3,68%
250,00	1,45%	-5,75%	8,46%	-1,27%
500,00	28,77%	-2,93%	4,90%	12,52%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _L	4	2 (1)	2 (1)	2 (1)

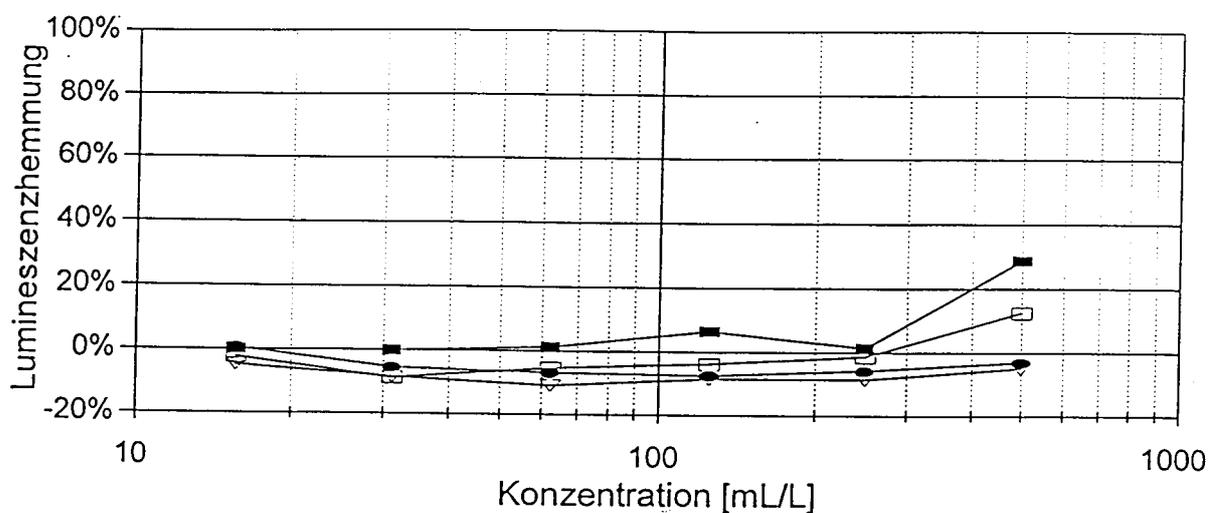


Abb. 1.15: Leuchtakterien Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Säule

1. V. Max
 1. V. Abk
 2. V. Max
 2. V. Abk

Tabelle 1.6: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Säule

Konzentration ml/l	Wachstumshemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
15,63	-7,97%	-6,83%	14,32%	4,12%
31,25	7,61%	1,30%	-3,74%	3,85%
62,50	4,52%	6,07%	-9,38%	4,45%
125,00	11,77%	11,03%	-5,82%	5,33%
250,00	8,55%	10,03%	4,07%	2,51%
500,00	7,74%	13,79%	5,55%	8,55%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _{LW}	2(1)	2(1)	2(1)	2(1)

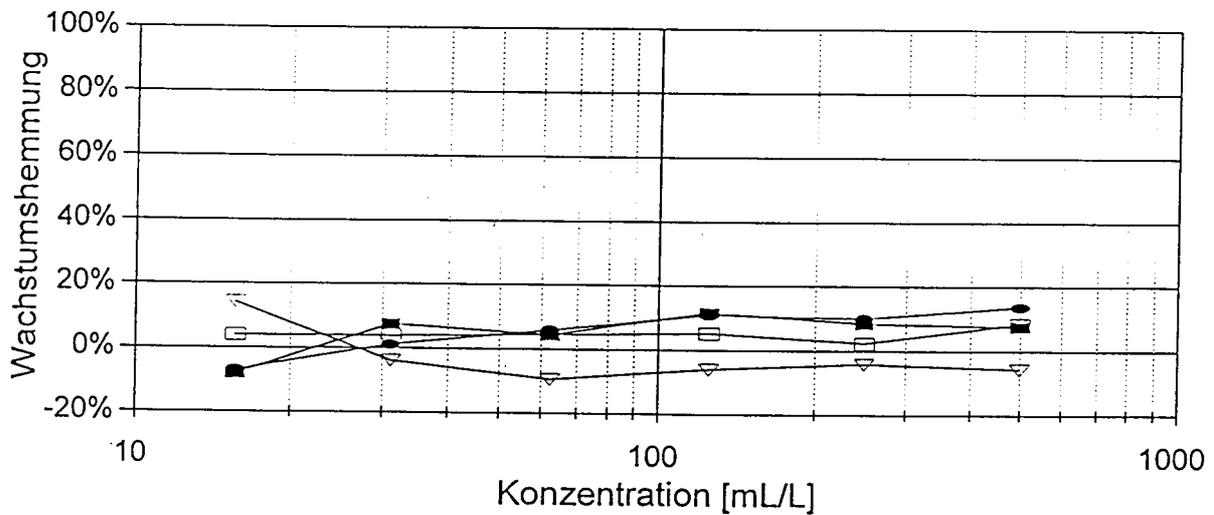


Abb. 1.16: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Säule

1. V. Max
 1. V. Abk
 2. V. Max
 2. V. Abk

Tabelle 1.7: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Bochum

Konzentration ml/l	Lumineszenzhemmung					
	Fraktion 1, 1. Versuch	1. V. Max	1. V. Abk	Fraktion 1, 2. Versuch	2. V. Max	2. V. Abk
62,50	15,03%	-0,36%	1,85%	13,00%	2,45%	5,17%
83,33	27,66%	1,08%	3,04%	18,03%	2,21%	4,88%
125,00	35,12%	2,93%	4,23%	38,00%	3,08%	6,98%
166,66	44,58%	3,65%	5,02%	48,53%	5,54%	6,27%
250,00	51,21%	9,81%	5,95%	55,09%	13,15%	4,50%
333,33	57,22%	17,06%	6,93%	61,00%	18,31%	8,14%
500,00	59,50%	28,36%	9,30%	63,38%	25,07%	13,32%
800,00	63,80%	32,20%	11,72%	68,70%	26,60%	16,60%
EC ₂₀	n.e.	430,73 ml/l	n.e.	69,96 ml/l	456,98 ml/l	n.e.
EC ₅₀	288,85 ml/l	n.e.	n.e.	261,10 ml/l	n.e.	n.e.
G _L	16	3	1	12	3	1

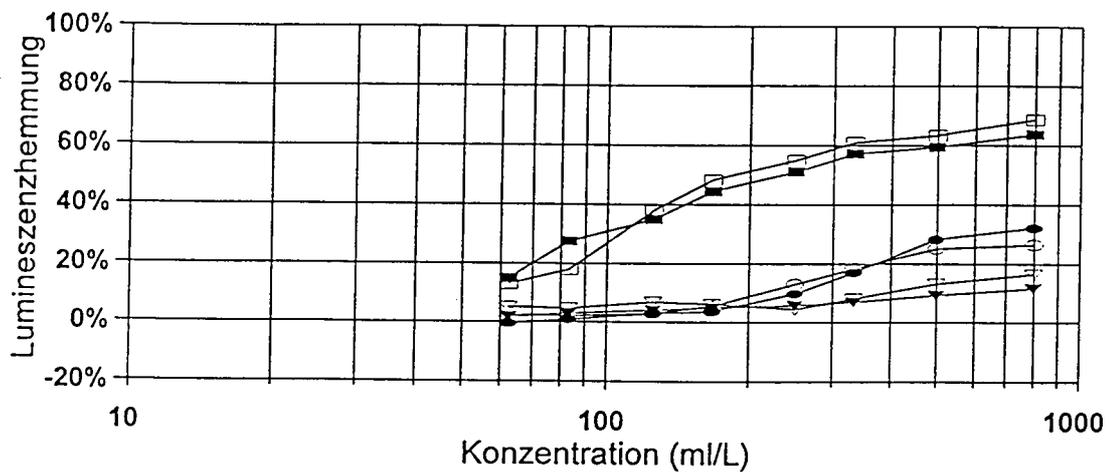


Abb. 1.17: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz, Bochum

■ Fraktion 1, 1. V. ● 1. V. Max ▼ 1. V. Abk □ Fraktion 1, 2. V. ○ 2. V. Max ▽ 2. V. Abk

Tabelle 1.8: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung,
Acrylharz, Bochum

Konzentration ml/l	Wachstumshemmung					
	Fraktion 1, 1. Versuch	1. V. Max	1. V. Abk	Fraktion 1, 2. Versuch	2. V. Max	2. V. Abk
83,33	5,72%	-3,19%	-11,81%	8,37%	2,46%	-0,87%
125,00	5,55%	1,76%	-14,08%	3,71%	-5,41%	-2,15%
166,66	4,57%	-4,91%	-10,60%	-2,16%	-5,90%	-2,31%
250,00	12,04%	-1,15%	-12,74%	5,67%	-5,02%	-4,86%
333,33	11,53%	0,89%	-7,53%	2,92%	-7,91%	2,29%
500,00	15,80%	4,27%	-4,00%	12,09%	-2,73%	-3,23%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _{LV}	2 (1)	1	1	1	1	1

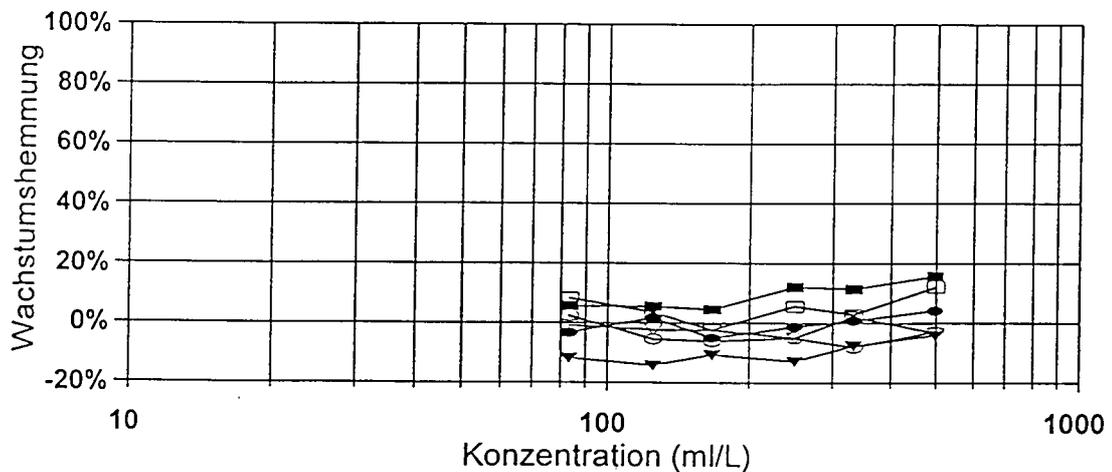


Abb. I.18: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz, Bochum

Fraktion 1, 1. V.

 1. V. Max

 1. V. Abk

 Fraktion 1, 2. V.

 2. V. Max

 2. V. Abk

Tab. 1.9: Grünalgen-Test, Daphnien-Test und Fisch-Test für Acrylharz, Säule

Verdünnungsfaktor	Algen-Test				Daphnien-Test *				Fisch-Test			
	Hemmwirkung in %				Anzahl der schwimmfähigen Daphnien von insgesamt 10				alle 3 Fische überleben			
	1. Versuch		2. Versuch		1. Versuch		2. Versuch		1. Versuch		2. Versuch	
	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk
Original	97	0	>90	0	6; 6	0; 0	0; 0	0; 0	nein	ja	ja	ja
1 : 2	97	0	>90	0	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0	ja			
1 : 10	95		>90	0	0; 0	0; 0	0; 0	0; 0				
1 : 20	n.b.		n.b.									
1 : 25	95		90									
1 : 50	95		90									
1 : 75	94		87									
1 : 100	80		76									
1 : 250	58		54									
1 : 500	54		42									
1 : 1000	33		8									
1 : 2000	0		-4									
G-Werte	(1400) ¹	1	(800) ¹	1	(2) ¹	1	1	1	2	1	1	1

* Der Versuch wurde jeweils wiederholt, dargestellt als X; X
n.b. nicht bestimmt
1 Werte in Klammer durch Interpolation gewonnen

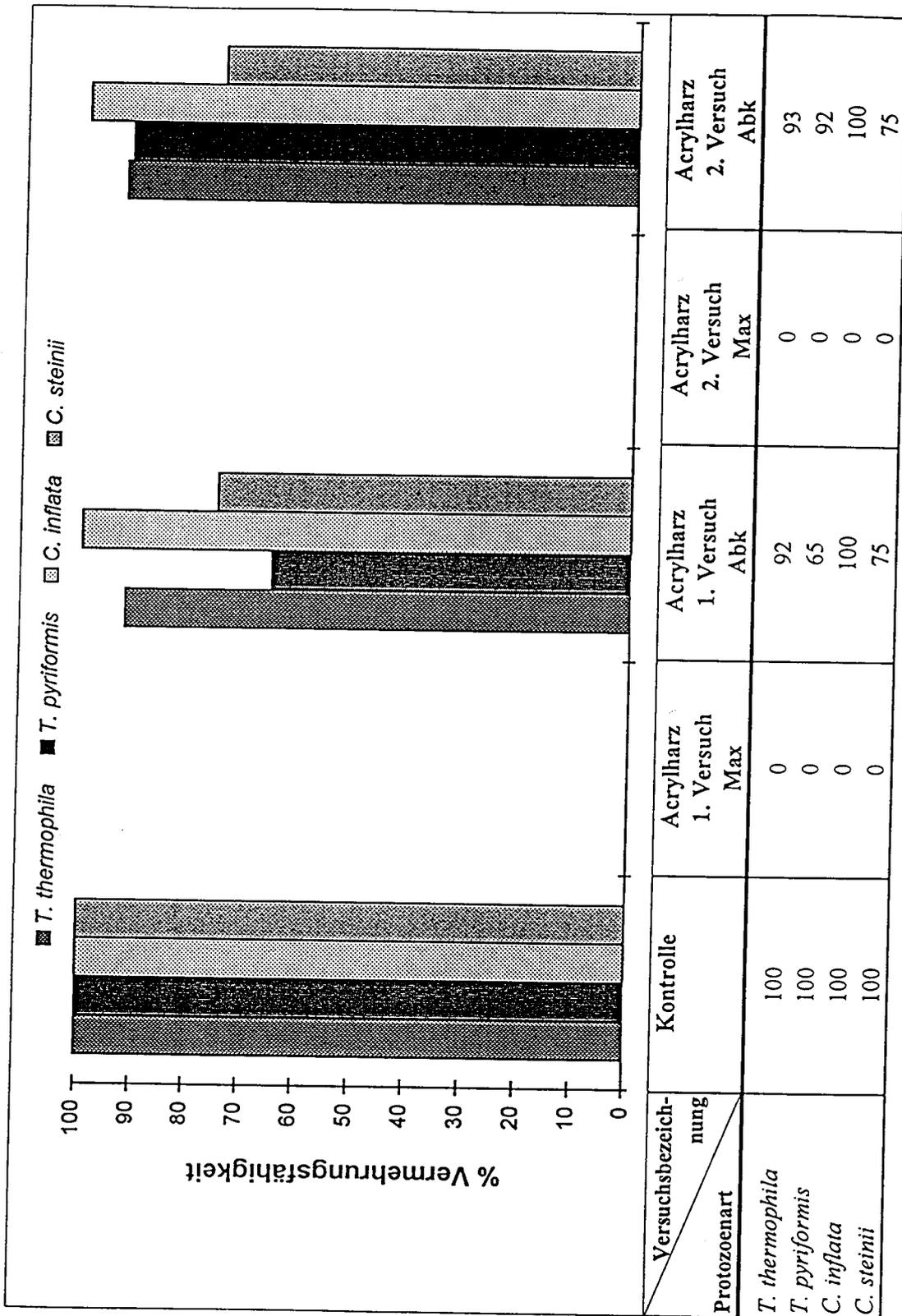


Abb. 1.19: Protozoen-Test, Acrylharz, Säule

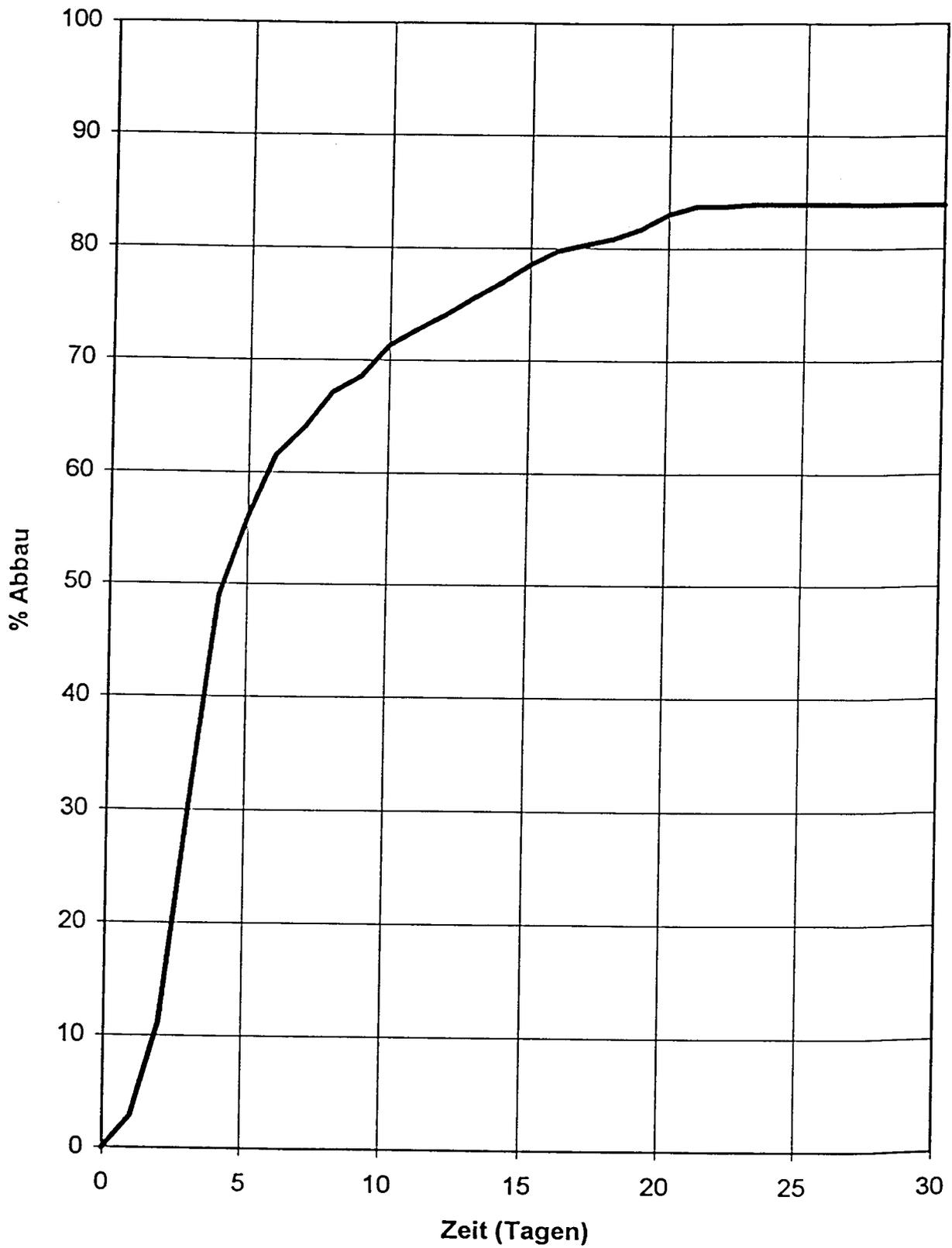


Abb. 1.20: Biologischer Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Maximumphase, Säule

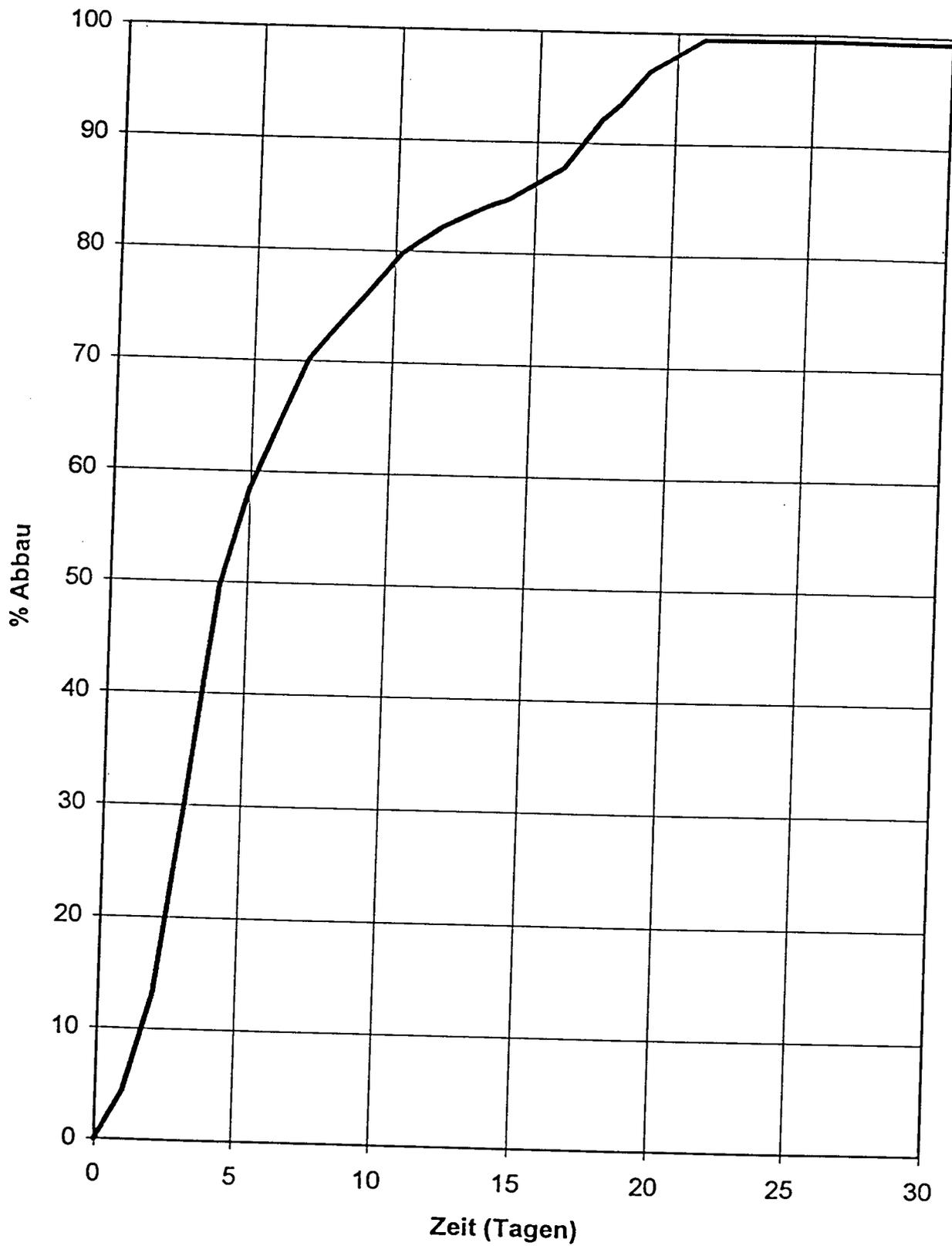


Abb. 1.21: Biologischer Abbau, Acrylharz, 2. Versuch, Maximumphase, Säule

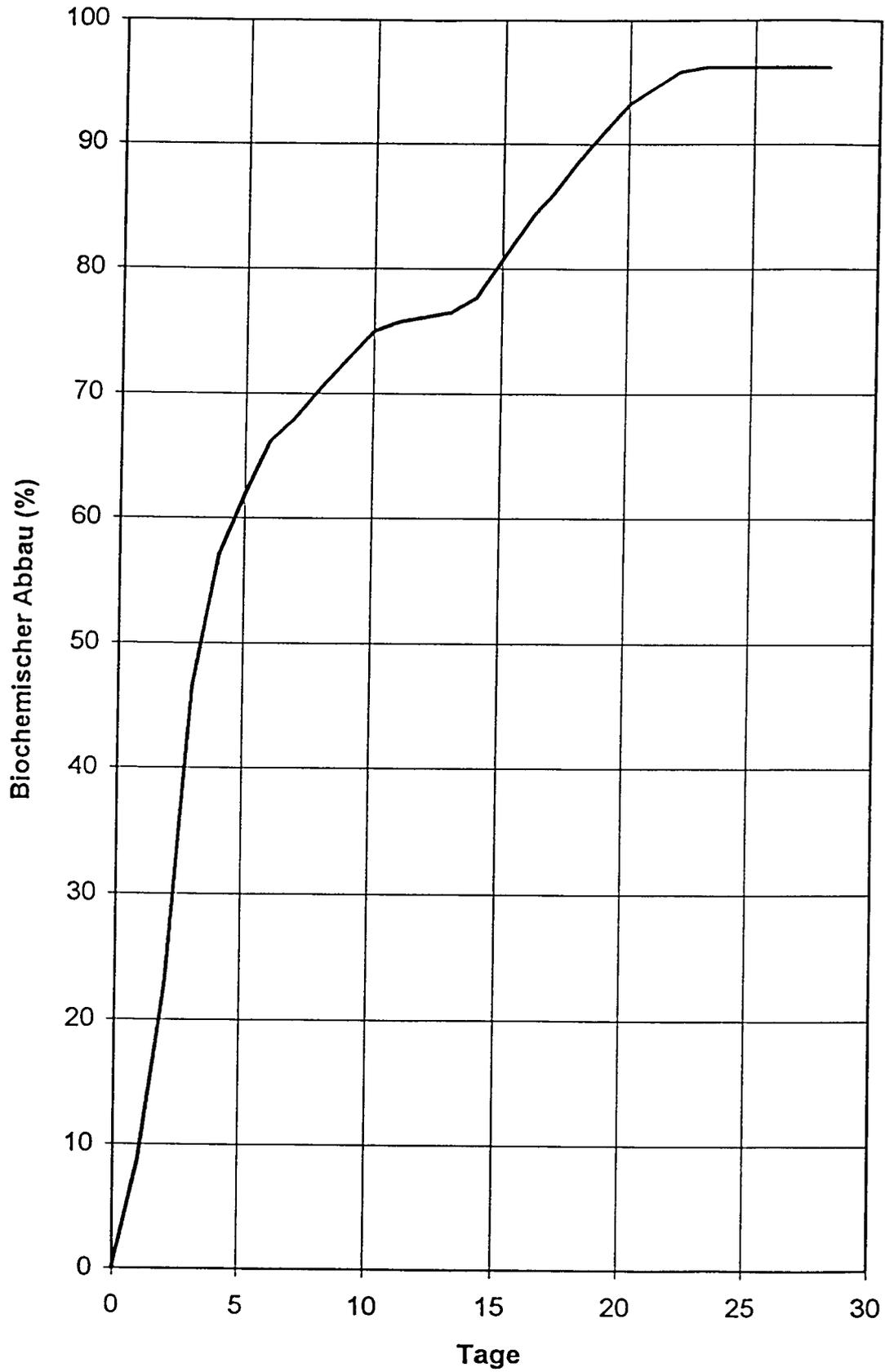


Abb. 1.22: Biologischer Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, 1. Fraktion, Bochum

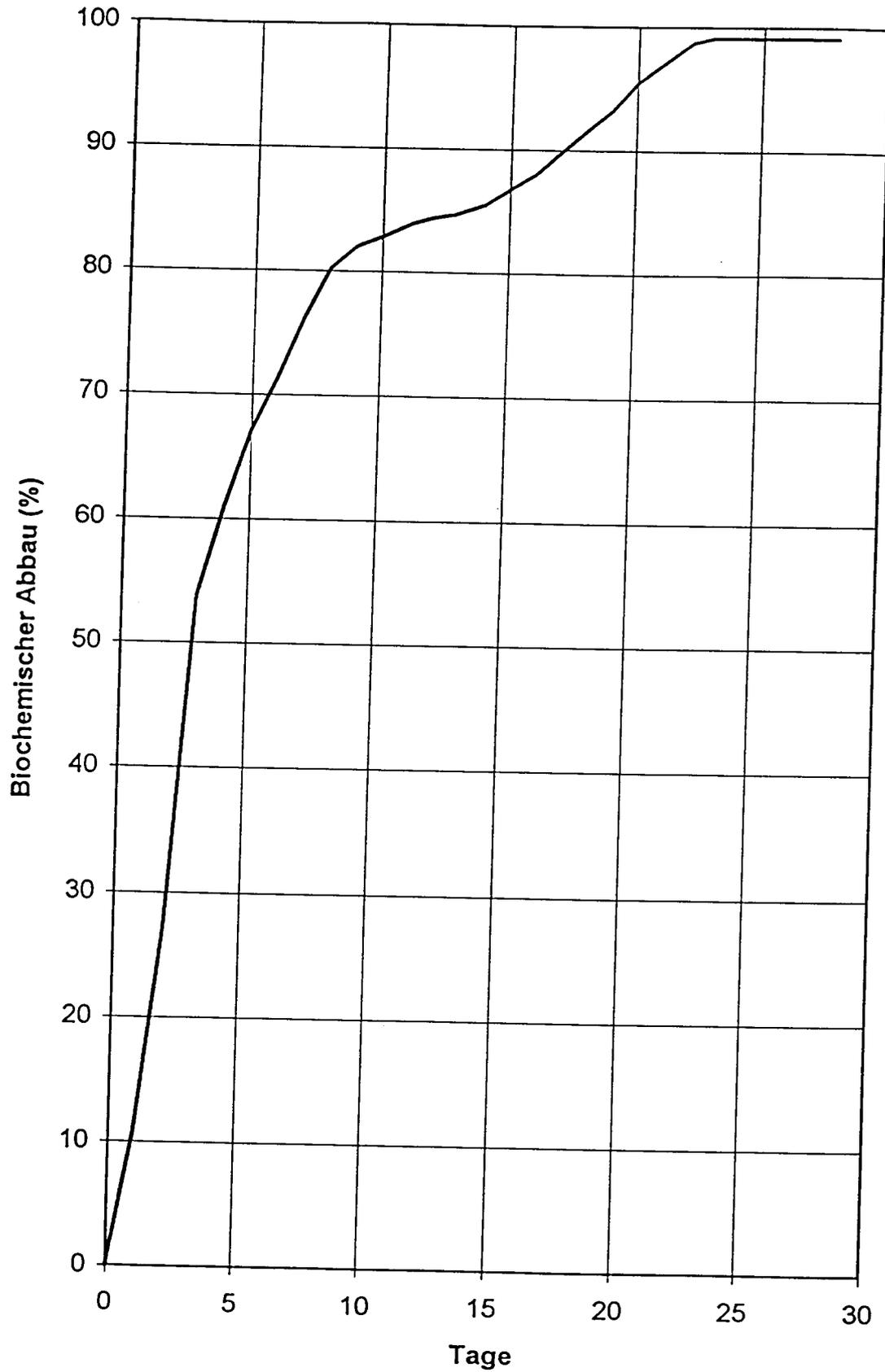


Abb. 1.23: Biologischer Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Maximumphase, Bochum

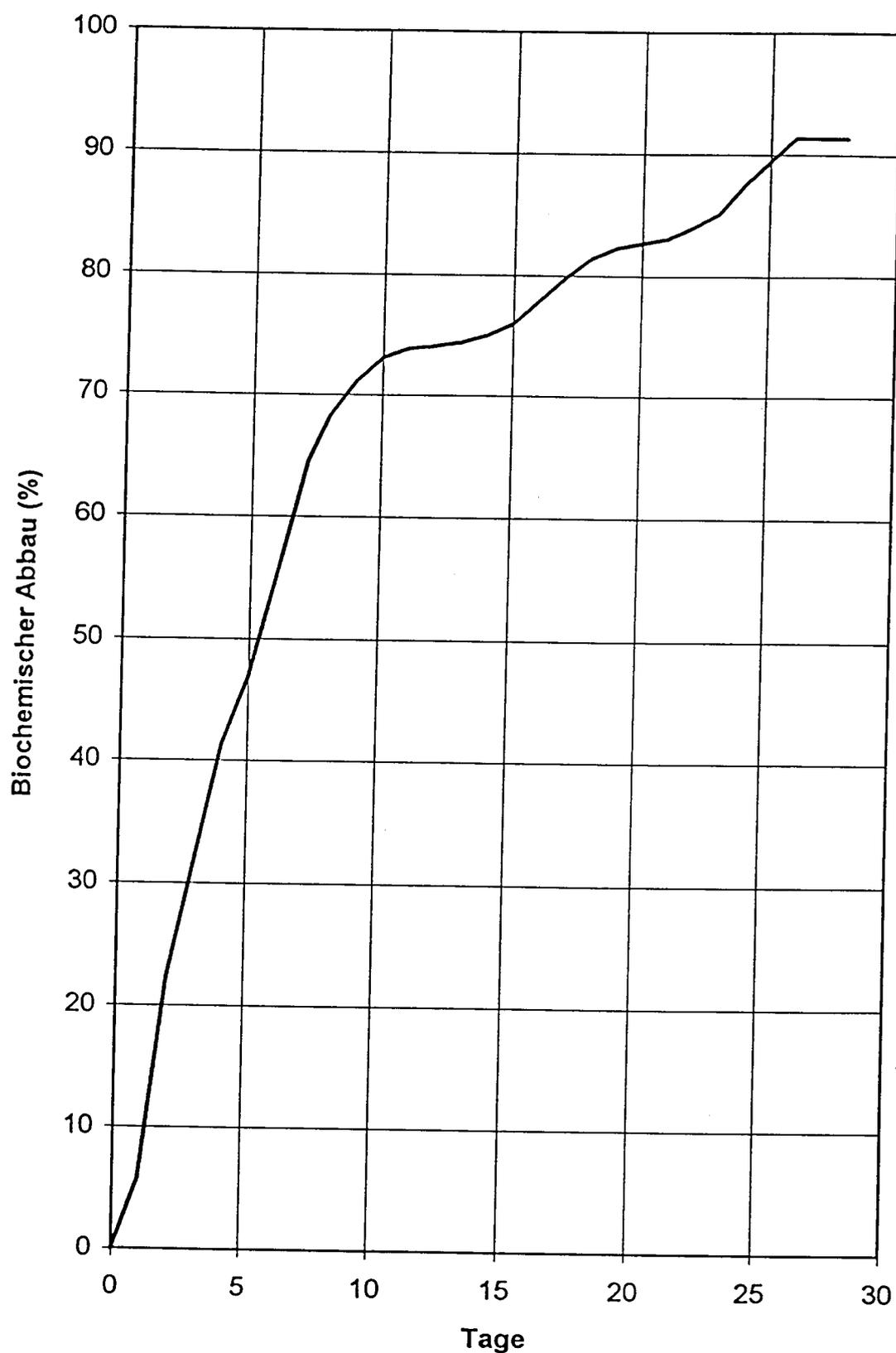


Abb. 1.24: Biologischer Abbau, Acrylharz, 1. Versuch, Abklingphase, Bochum

Tabelle 1.10: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
Vergleichswasser	03.08.98	farblos	klar	ohne	keine
1	03.08.98/09:05	farblos	klar	ohne	keine
2	03.08.98/09:12	farblos	klar	ohne	keine
3	03.08.98/09:28	farblos	klar	ohne	keine
4	03.08.98/09:42	farblos	klar	ohne	keine
5	03.08.98/09:59	farblos	klar	ohne	keine
6	03.08.98/10:17	farblos	klar	ohne	keine
7	03.08.98/10:32	farblos	klar	ohne	keine
8	03.08.98/10:48	farblos	klar	organisch	keine
9	03.08.98/11:05	farblos	klar	organisch	schwach
10	03.08.98/11:19	farblos	klar	organisch	schwach
11	03.08.98/11:38	farblos	klar	organisch	schwach
12	03.08.98/11:53	farblos	klar	organisch	schwach
13	03.08.98/12:05	farblos	klar	organisch	schwach
14	03.08.98/12:21	farblos	klar	organisch	schwach
15	03.08.98/12:37	farblos	klar	organisch	schwach
16	03.08.98/12:50	farblos	klar	organisch	schwach
17	03.08.98/13:02	farblos	klar	organisch	schwach
18	03.08.98/13:20	farblos	klar	organisch	schwach
19	03.08.98/13:34	farblos	klar	organisch	schwach
20	03.08.98/13:49	farblos	klar	organisch	schwach
21	03.08.98/14:02	farblos	klar	organisch	schwach
22	03.08.98/14:16	farblos	klar	organisch	schwach
23	03.08.98/14:32	farblos	klar	organisch	schwach
24	03.08.98/14:48	farblos	klar	organisch	schwach
25	03.08.98/15:05	farblos	klar	organisch	schwach
Vergleichswasser	04.08.98	farblos	klar	ohne	keine
26	04.08.98	weißlich	klar	organisch	keine
Vergleichswasser	05.08.98	farblos	klar	ohne	keine
27	05.08.98	farblos	klar	organisch	keine
Vergleichswasser	07.08.98	farblos	klar	ohne	keine
28	07.08.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
Vergleichswasser	10.08.98	farblos	klar	ohne	keine
29	10.08.98	farblos	klar	schwach organisch	keine

Tabelle 1.10: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule
(Fortsetzung)

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	03.08.98	8,0	465	1,8
1	03.08.98/09:05	8,0	465	1,3
2	03.08.98/09:12	8,0	465	1,2
3	03.08.98/09:28	8,0	464	1,1
4	03.08.98/09:42	8,0	465	1,3
5	03.08.98/09:59	6,7	472	1,1
6	03.08.98/10:17	6,3	513	1,0
7	03.08.98/10:32	6,0	549	1,1
8	03.08.98/10:48	6,0	606	1,4
9	03.08.98/11:05	6,0	686	2,5
10	03.08.98/11:19	6,0	752	4,5
11	03.08.98/11:38	6,0	788	6,5
12	03.08.98/11:53	6,0	773	7,3
13	03.08.98/12:05	6,0	754	7,1
14	03.08.98/12:21	6,0	706	6,1
15	03.08.98/12:37	5,8	672	5,5
16	03.08.98/12:50	5,9	633	4,3
17	03.08.98/13:02	5,8	615	4,0
18	03.08.98/13:20	5,8	587	3,4
19	03.08.98/13:34	5,7	570	3,2
20	03.08.98/13:49	5,7	557	2,9
21	03.08.98/14:02	5,7	553	3,0
22	03.08.98/14:16	5,7	556	2,9
23	03.08.98/14:32	5,7	553	2,9
24	03.08.98/14:48	5,7	549	3,1
25	03.08.98/15:05	5,6	543	2,9
Vergleichswasser	04.08.98	7,9	474	1,2
26	04.08.98	6,6	466	1,3
Vergleichswasser	05.08.98	7,9	476	1,0
27	05.08.98	7,3	476	1,2
Vergleichswasser	07.08.98	7,9	481	1,2
28	07.08.98	7,4	479	1,7
Vergleichswasser	10.08.98	7,8	491	1,2
29	10.08.98	7,5	488	1,3

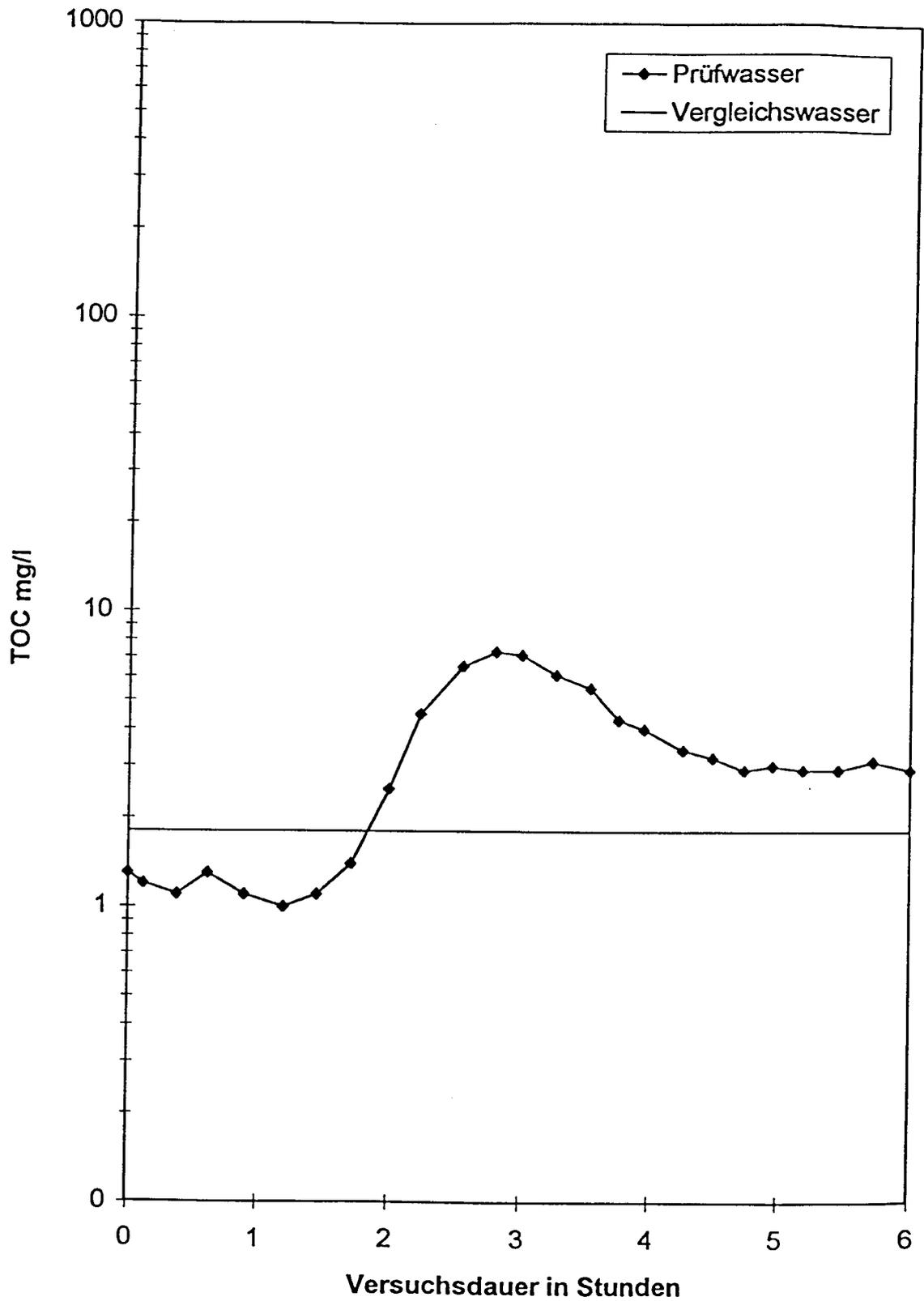


Abb. 1.25: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule während der ersten 6 Stunden (Anfangsphase)

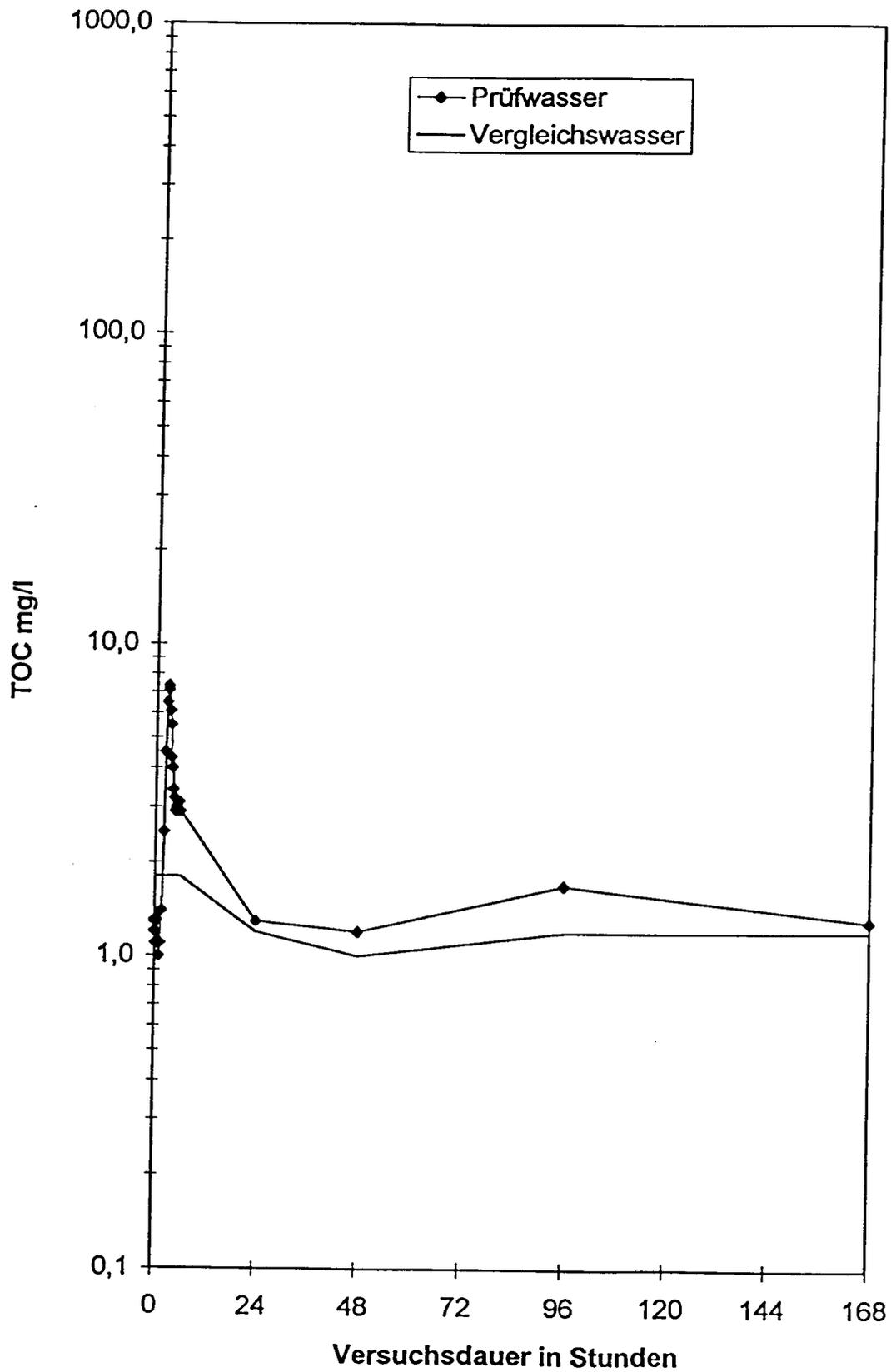


Abb. 1.26: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Säule, Gesamtverlauf

Tabelle 1.11: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
Vergleichswasser	03.08.98	farblos	klar	ohne	keine
1	03.08.98/08:52	farblos	klar	ohne	keine
2	03.08.98/09:00	farblos	klar	ohne	keine
3	03.08.98/09:12	farblos	klar	ohne	keine
4	03.08.98/09:27	farblos	klar	ohne	keine
5	03.08.98/09:41	farblos	klar	ohne	keine
6	03.08.98/09:59	farblos	klar	ohne	keine
7	03.08.98/10:16	farblos	klar	ohne	keine
8	03.08.98/10:32	farblos	klar	organisch	keine
9	03.08.98/10:46	farblos	klar	organisch	schwach
10	03.08.98/11:02	farblos	klar	organisch	schwach
11	03.08.98/11:18	farblos	klar	organisch	schwach
12	03.08.98/11:38	farblos	klar	organisch	schwach
13	03.08.98/11:53	farblos	klar	organisch	schwach
14	03.08.98/12:08	farblos	klar	organisch	schwach
15	03.08.98/12:21	farblos	klar	organisch	schwach
16	03.08.98/12:37	farblos	klar	organisch	schwach
17	03.08.98/12:50	farblos	klar	organisch	schwach
18	03.08.98/13:03	farblos	klar	organisch	schwach
19	03.08.98/13:18	farblos	klar	organisch	schwach
20	03.08.98/13:34	farblos	klar	organisch	schwach
21	03.08.98/13:55	farblos	klar	organisch	schwach
22	03.08.98/14:08	farblos	klar	organisch	schwach
23	03.08.98/14:25	farblos	klar	organisch	schwach
24	03.08.98/14:42	farblos	klar	organisch	schwach
25	03.08.98/14:55	farblos	klar	organisch	schwach
Vergleichswasser	04.08.98	farblos	klar	ohne	keine
26	04.08.98	weißlich	klar	organisch	keine
Vergleichswasser	05.08.98	farblos	klar	ohne	keine
27	05.08.98	farblos	klar	organisch	keine
Vergleichswasser	07.08.98	farblos	klar	ohne	keine
28	07.08.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
Vergleichswasser	10.08.98	farblos	klar	ohne	keine
29	10.08.98	farblos	klar	schwach organisch	keine

Tabelle 1.11: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule
(Fortsetzung)

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	03.08.98	8,0	461	1,7
1	03.08.98/08:52	8,0	464	1,3
2	03.08.98/09:00	8,0	465	1,2
3	03.08.98/09:12	8,0	464	1,3
4	03.08.98/09:27	8,0	464	1,1
5	03.08.98/09:41	8,0	464	1,2
6	03.08.98/09:59	7,9	466	1,1
7	03.08.98/10:16	6,4	544	1,5
8	03.08.98/10:32	6,4	603	3,0
9	03.08.98/10:46	6,2	753	13
10	03.08.98/11:02	6,1	851	13
11	03.08.98/11:18	6,0	820	13
12	03.08.98/11:38	6,0	806	12
13	03.08.98/11:53	5,9	745	14
14	03.08.98/12:08	5,9	700	15
15	03.08.98/12:21	5,8	676	12
16	03.08.98/12:37	5,8	647	11
17	03.08.98/12:50	5,8	619	9,0
18	03.08.98/13:03	5,7	609	9,7
19	03.08.98/13:18	5,7	604	9,9
20	03.08.98/13:34	5,7	598	9,8
21	03.08.98/13:55	5,8	590	10
22	03.08.98/14:08	5,7	586	8,5
23	03.08.98/14:25	5,7	581	8,8
24	03.08.98/14:42	5,7	568	7,1
25	03.08.98/14:55	5,7	561	6,9
Vergleichswasser	04.08.98	7,9	474	1,2
26	04.08.98	6,7	472	1,5
Vergleichswasser	05.08.98	7,9	476	1,0
27	05.08.98	7,5	475	1,5
Vergleichswasser	07.08.98	7,9	481	1,2
28	07.08.98	7,4	478	1,4
Vergleichswasser	10.08.98	7,8	491	1,2
29	10.08.98	7,3	488	1,4

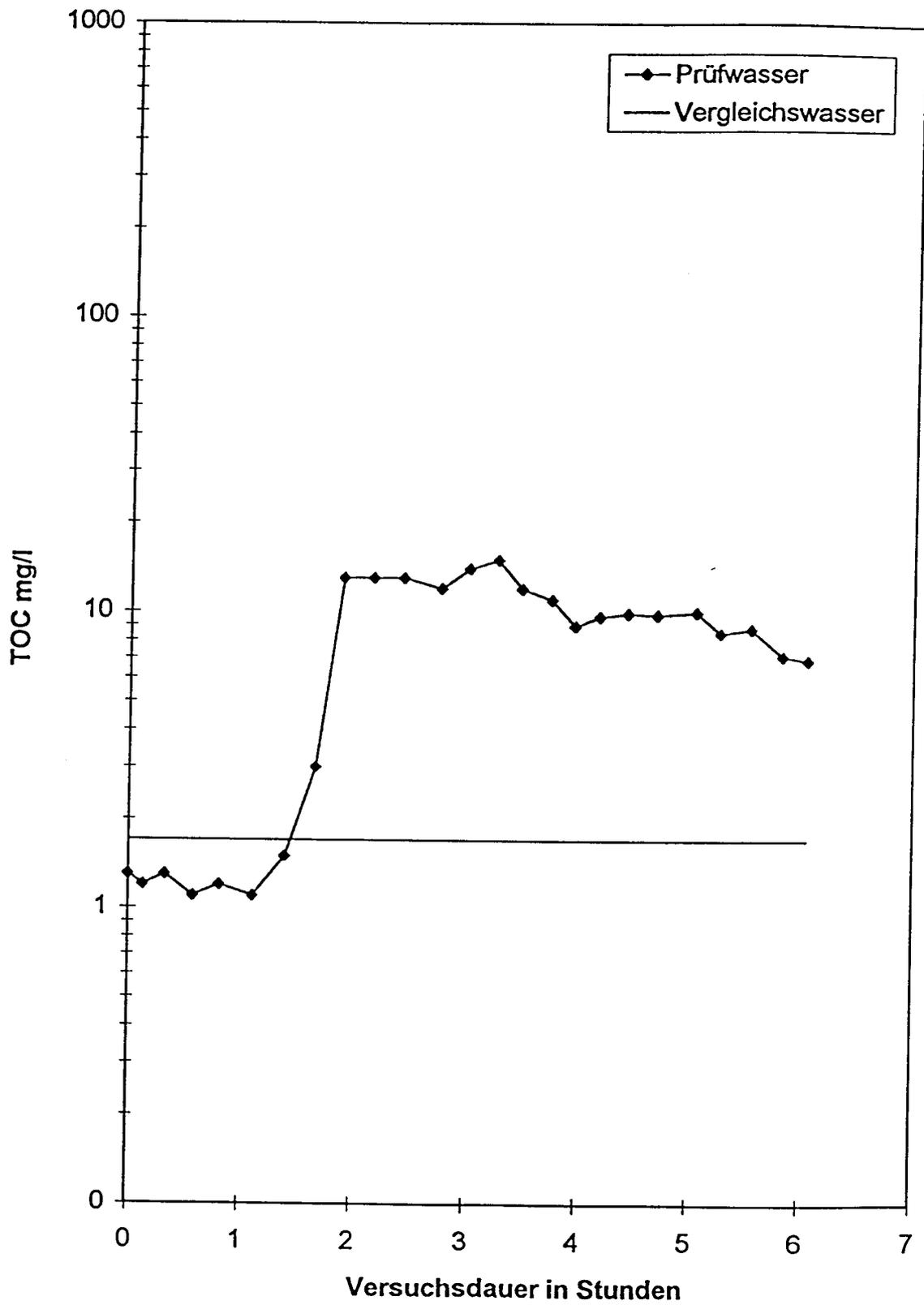


Abb. 1.27: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule während der ersten 6 Stunden (Anfangsphase)

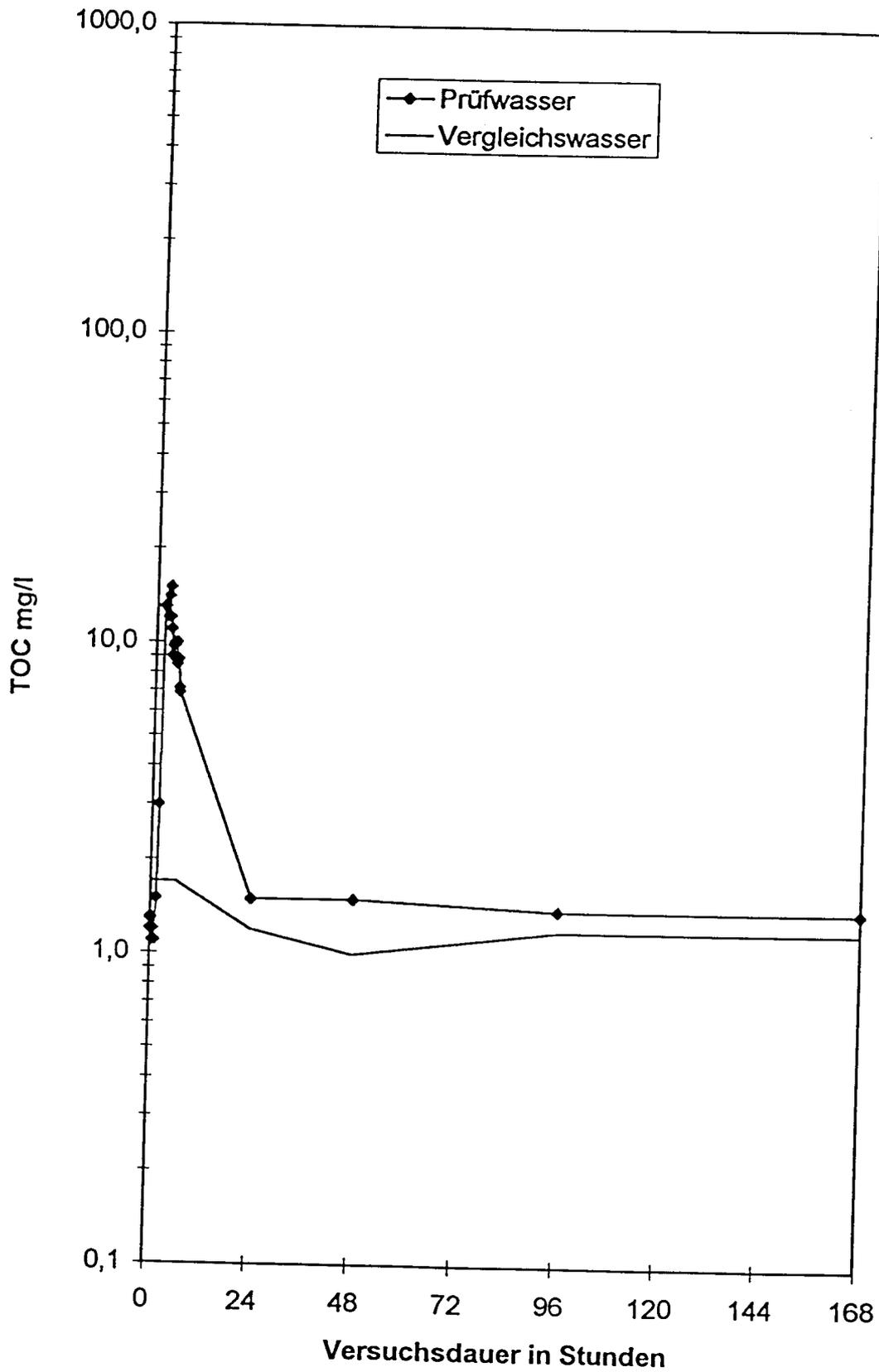


Abb. 1.28: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Säule, Gesamtverlauf

Tabelle 1.12: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum

Fraktion	Probeneingang	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
1/1	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
1/2	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/3	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/4	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
1/5	06.11.98	farblos	klar	organisch	keine
1/6	06.11.98	farblos	klar	organisch	sehr schwach
1/7	06.11.98	farblos	klar	ohne	sehr schwach
1/8	06.11.98	farblos	klar	ohne	sehr schwach
1/9	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	sehr schwach
1/10	06.11.98	farblos	klar	ohne	sehr schwach
1/11	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
1/12	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/13	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/14	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/15	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/16	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/17	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
1/18	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
1/19	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
1/20	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/21	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/22	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
1/23	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
1/24	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine

Die TOC-Gehalte sind in Abbildung 1.31 in ihrer Zeitabhängigkeit dargestellt.

Tabelle 1.12: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum
(Fortsetzung)

Fraktion	Probeneingang	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	TOC mg/l
1/1	06.11.98	5,9	431	5,7
1/2	06.11.98	4,9	425	10
1/3	06.11.98	4,7	419	7,4
1/4	06.11.98	4,8	413	5,4
1/5	06.11.98	4,8	408	4,4
1/6	06.11.98	4,9	383	4,0
1/7	06.11.98	5,0	383	4,6
1/8	06.11.98	4,9	349	4,4
1/9	06.11.98	5,0	327	3,6
1/10	06.11.98	4,9	327	3,4
1/11	06.11.98	4,9	320	3,0
1/12	06.11.98	4,9	318	2,8
1/13	06.11.98	4,9	315	2,1
1/14	06.11.98	5,1	305	2,0
1/15	06.11.98	5,2	298	3,5
1/16	06.11.98	5,7	313	1,8
1/17	06.11.98	5,9	322	2,0
1/18	06.11.98	6,2	316	2,0
1/19	06.11.98	6,3	302	2,1
1/20	06.11.98	6,6	330	1,7
1/21	06.11.98	6,6	331	1,8
1/22	06.11.98	6,6	324	1,8
1/23	06.11.98	6,5	330	1,7
1/24	06.11.98	6,6	326	1,6

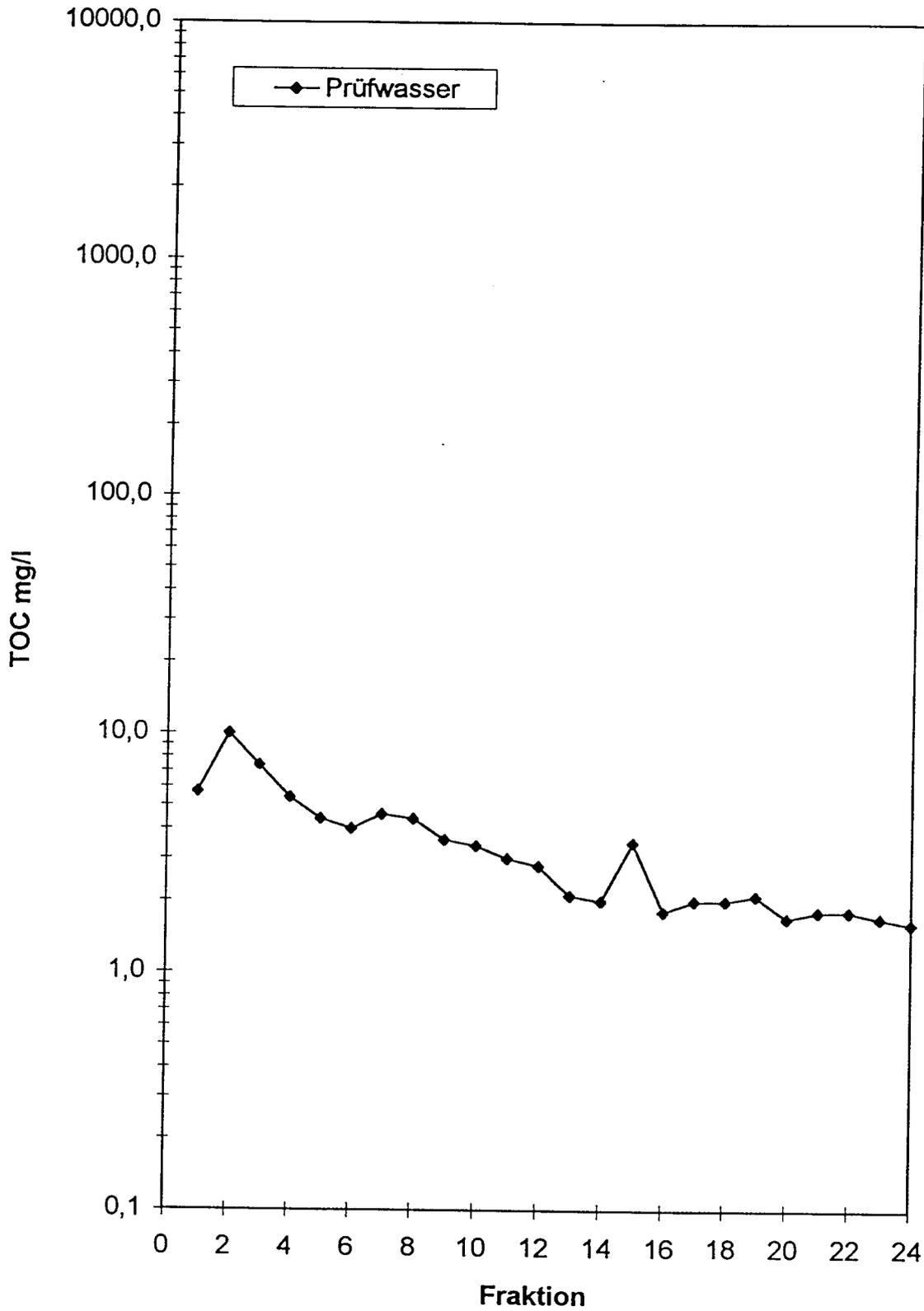


Abb. 1.29: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum
(bezogen auf die Fraktion)

Tabelle 1.13: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum

Fraktion	Probeneingang	Färbung	Trübung	Geruch	Neigung z. Schaumbildung
2/1	06.11.98	farblos	schwach trübe	organisch	keine
2/2	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
2/3	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
2/4	06.11.98	farblos	klar	schwach organisch	keine
2/5	06.11.98	farblos	klar	ohne	schwach
2/6	06.11.98	farblos	klar	ohne	schwach
2/7	06.11.98	farblos	klar	ohne	schwach
2/8	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/9	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/10	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/11	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/12	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/13	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
2/14	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
2/15	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	keine
2/16	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/17	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/18	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/19	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/20	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/21	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/22	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine
2/23	06.11.98	schwach gelblich	klar	ohne	schwach
2/24	06.11.98	farblos	klar	ohne	keine

Die TOC-Gehalte sind in Abbildung 1.31 in ihrer Zeitabhängigkeit dargestellt.

Tabelle 1.13: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum
(Fortsetzung)

Fraktion	Probeneingang	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S/cm}$	TOC mg/l
2/1	06.11.98	5,8	537	6,4
2/2	06.11.98	5,7	494	9,1
2/3	06.11.98	5,2	474	3,3
2/4	06.11.98	5,2	420	3,1
2/5	06.11.98	5,1	371	4,8
2/6	06.11.98	5,1	363	4,6
2/7	06.11.98	5,2	352	4,4
2/8	06.11.98	5,3	334	2,8
2/9	06.11.98	5,2	305	3,1
2/10	06.11.98	5,2	300	2,4
2/11	06.11.98	5,5	304	1,5
2/12	06.11.98	5,6	308	1,8
2/13	06.11.98	5,7	312	1,4
2/14	06.11.98	5,9	320	1,6
2/15	06.11.98	6,0	315	1,6
2/16	06.11.98	6,3	316	1,5
2/17	06.11.98	6,4	303	1,6
2/18	06.11.98	6,4	303	1,7
2/19	06.11.98	6,3	304	1,7
2/20	06.11.98	6,5	310	1,6
2/21	06.11.98	6,3	325	1,7
2/22	06.11.98	6,5	320	1,7
2/23	06.11.98	6,6	323	2,2
2/24	06.11.98	6,7	323	2,2

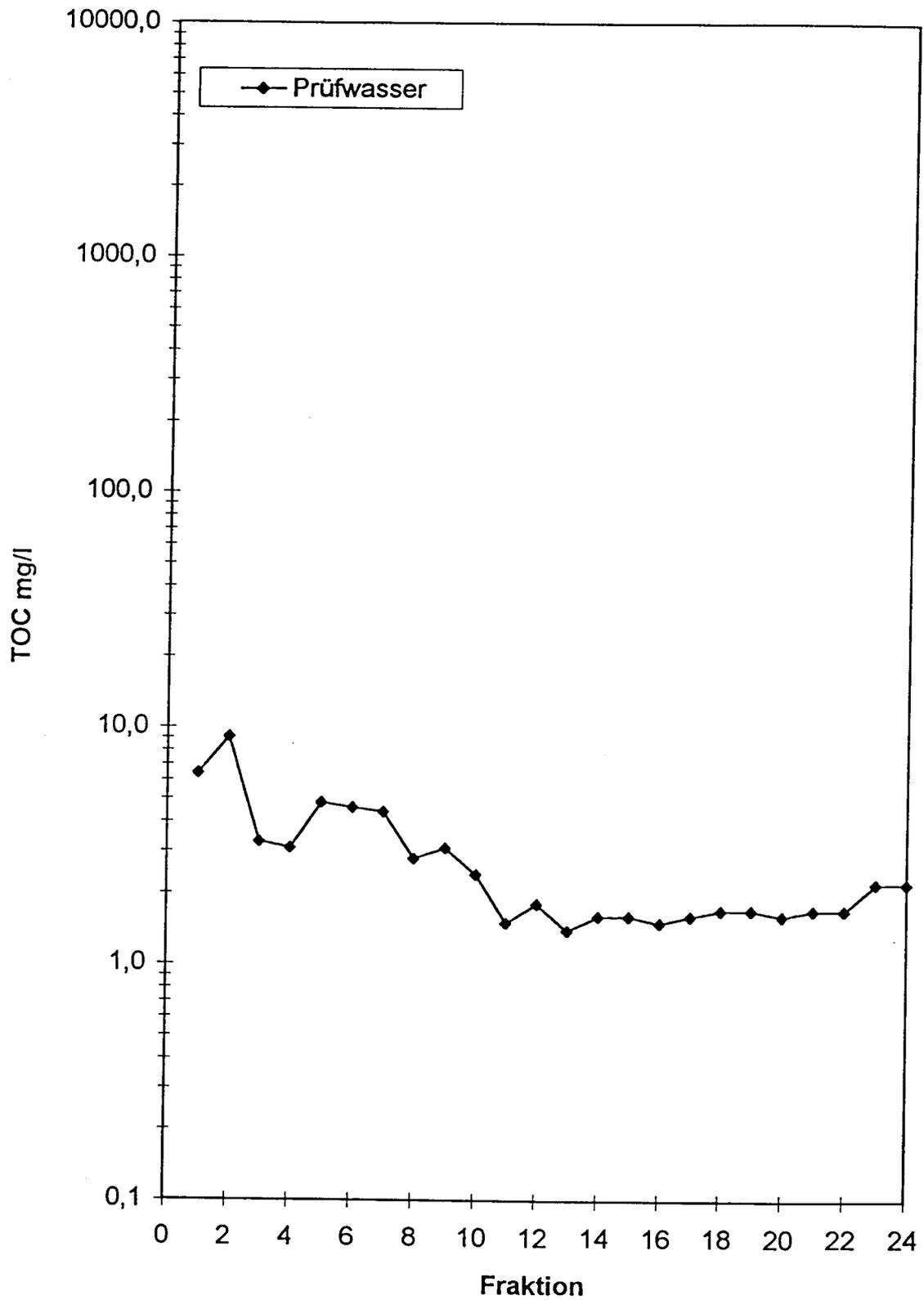


Abb. 1.30: TOC-Verlauf, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum
(bezogen auf die Fraktion)

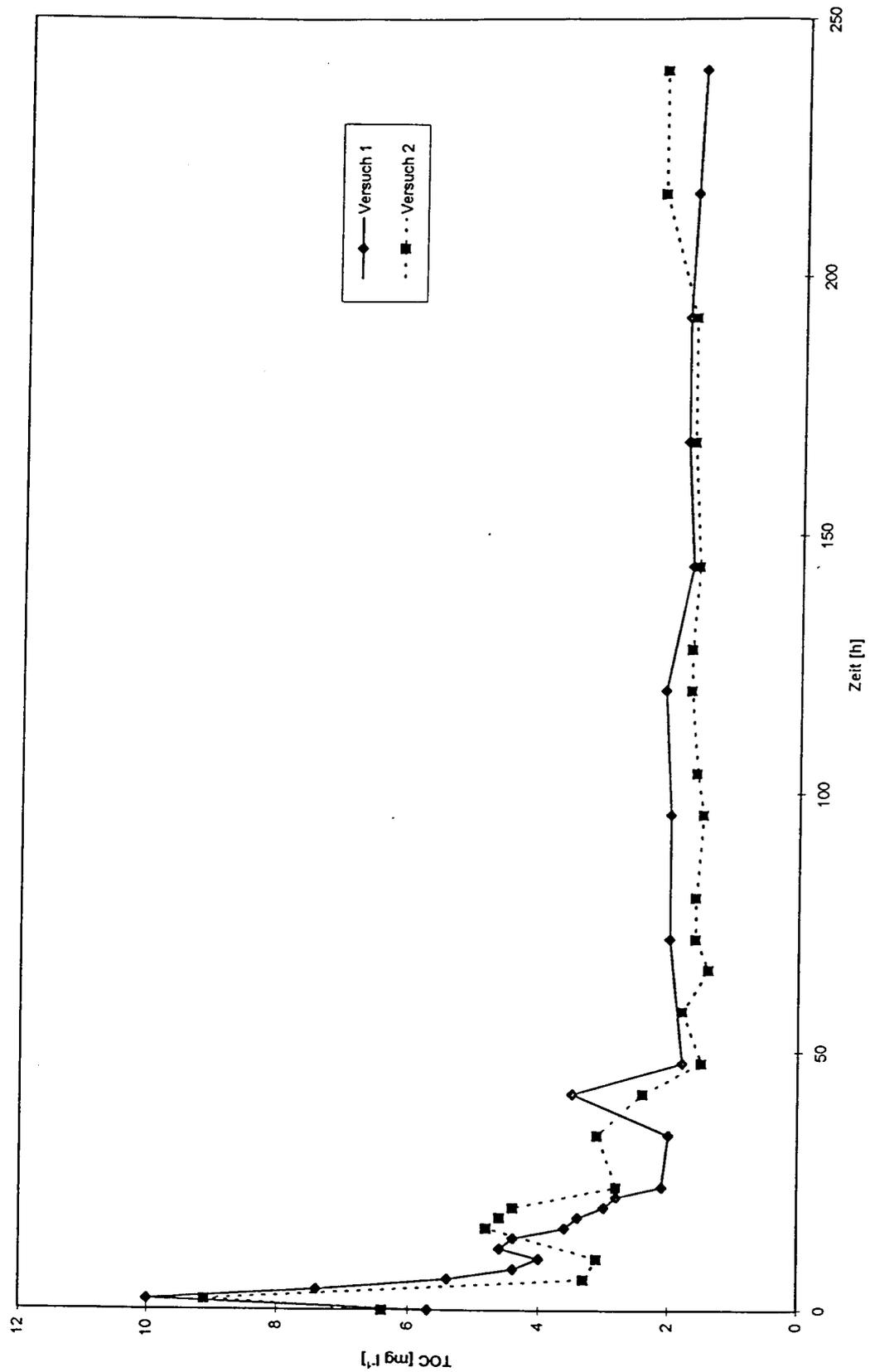


Abb. 1.31: TOC-Verlauf, Polyurethan, 1. und 2. Versuch, Bochum
(dargestellt in Abhängigkeit von der Elutionsdauer)

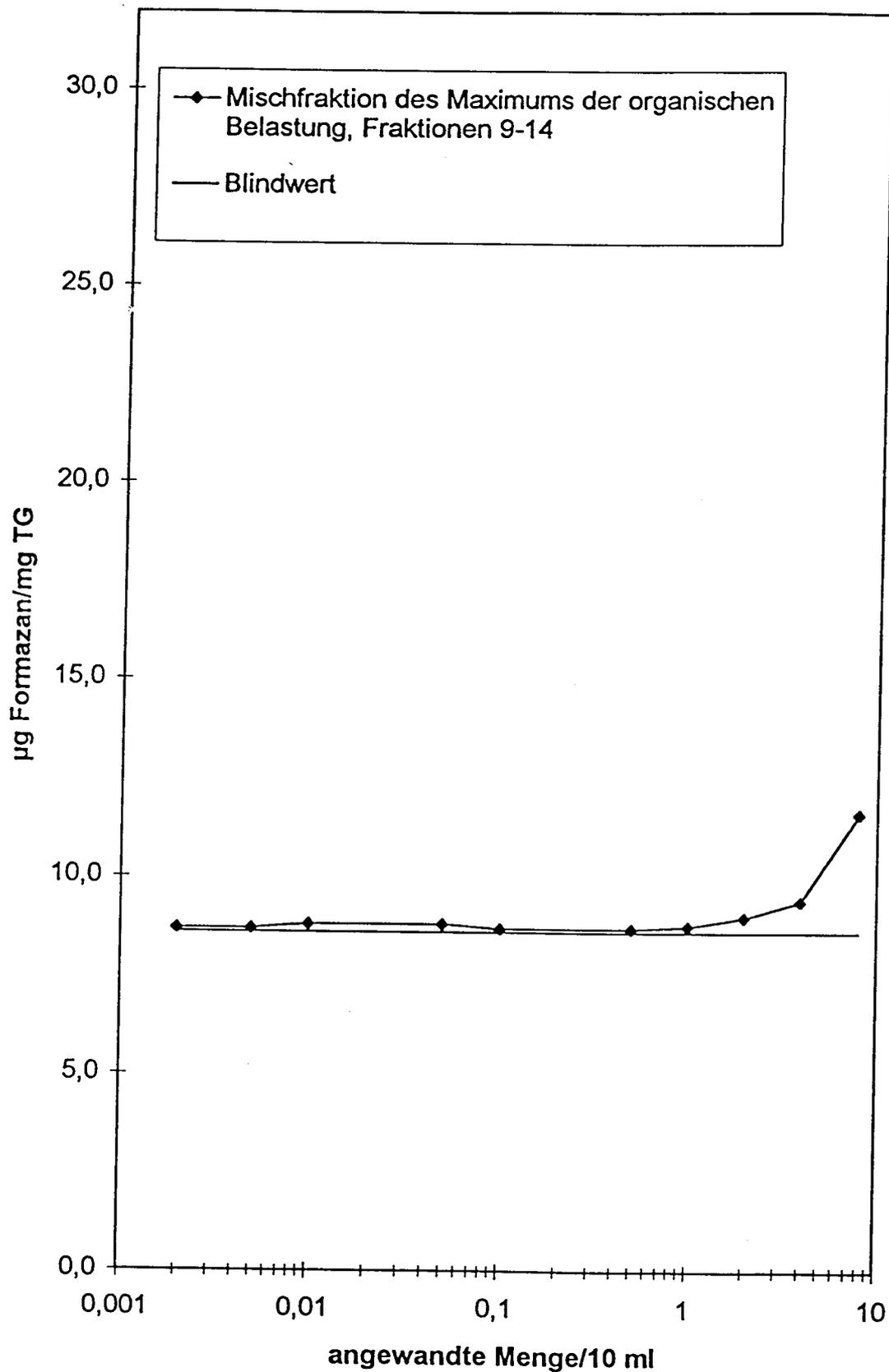


Abb. 1.32: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Säule, Maximumphase

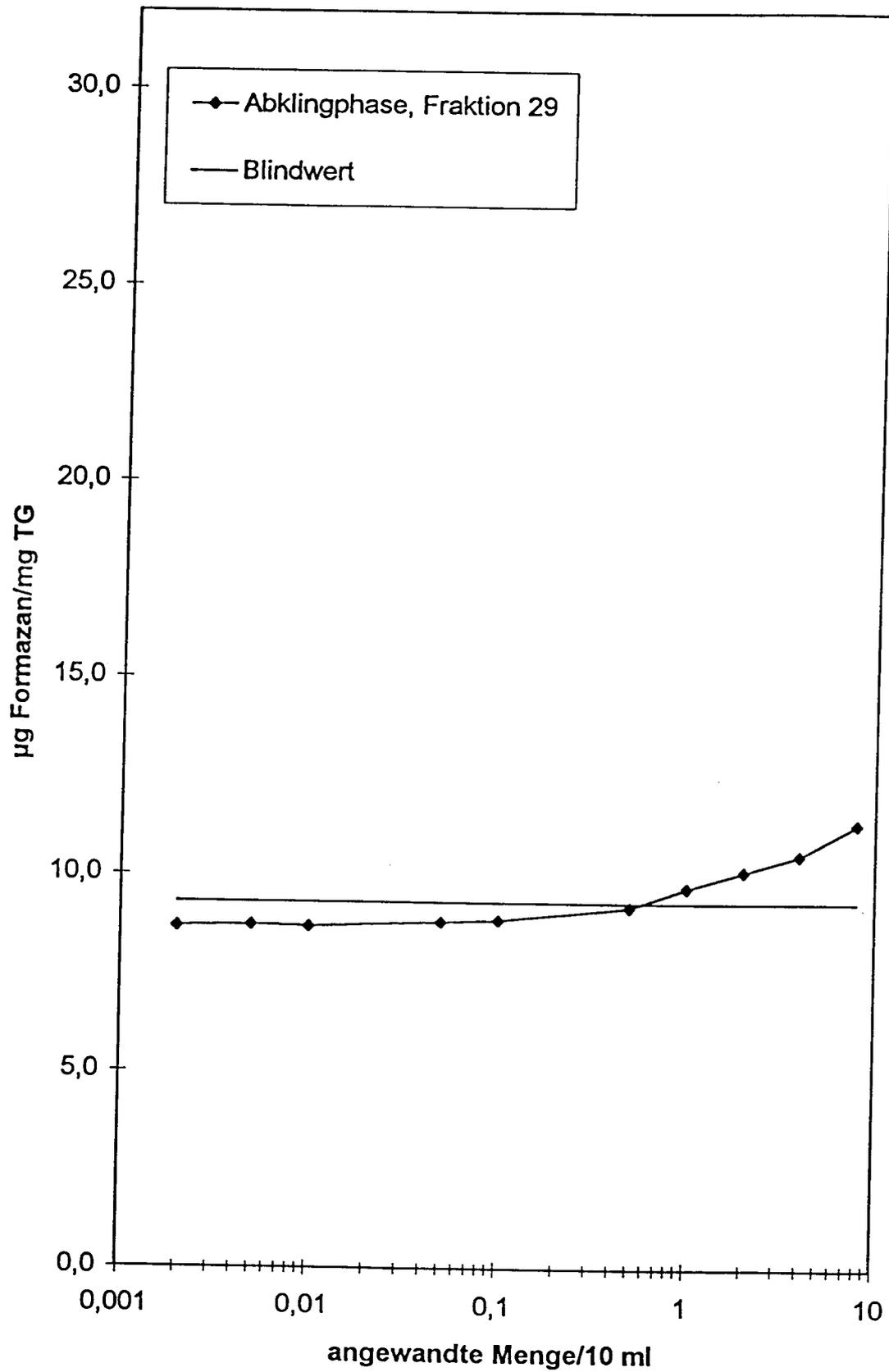


Abb. 1.33: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Säule, Abklingphase

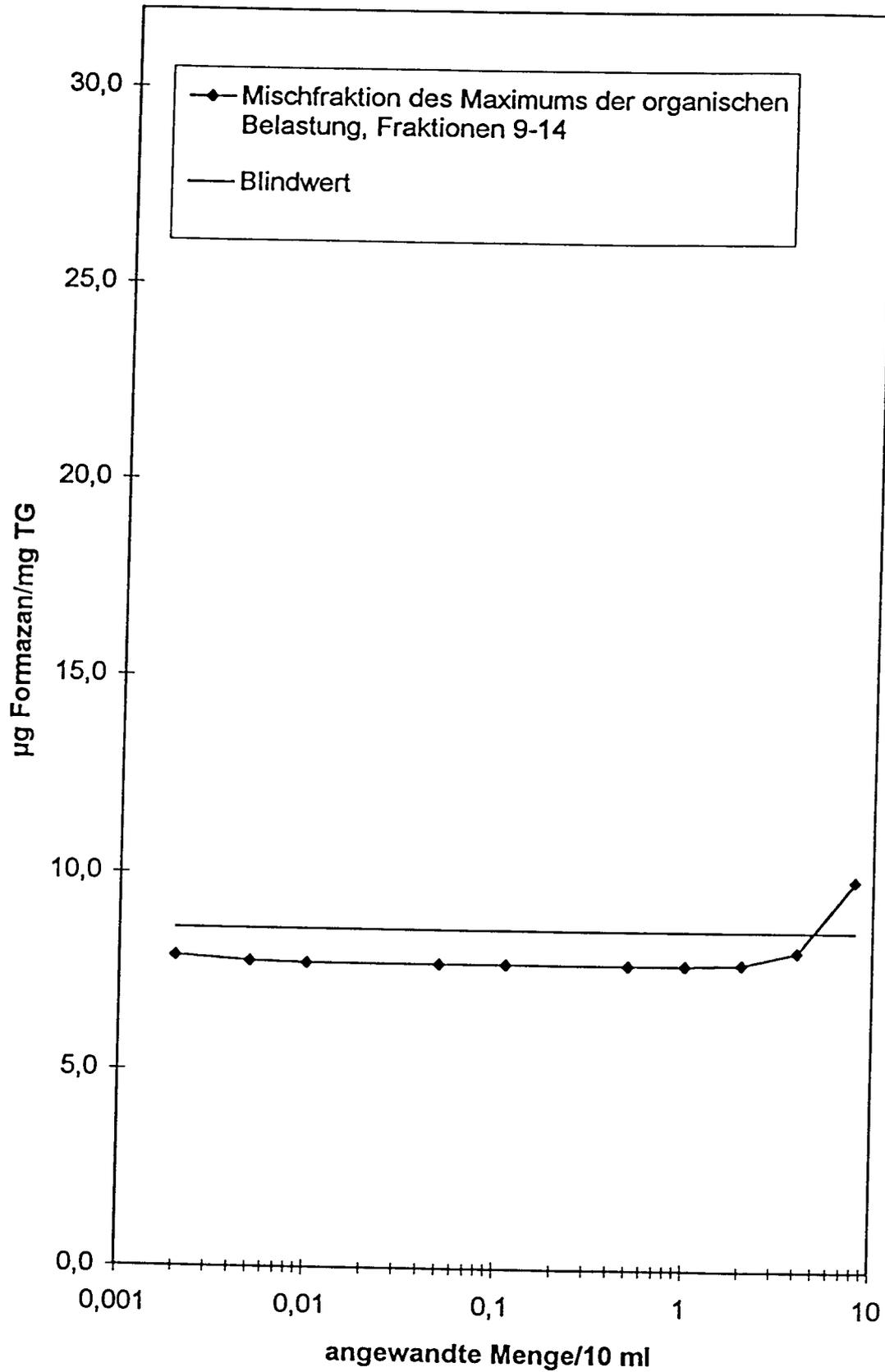


Abb. 1.34: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Säule, Maximumphase

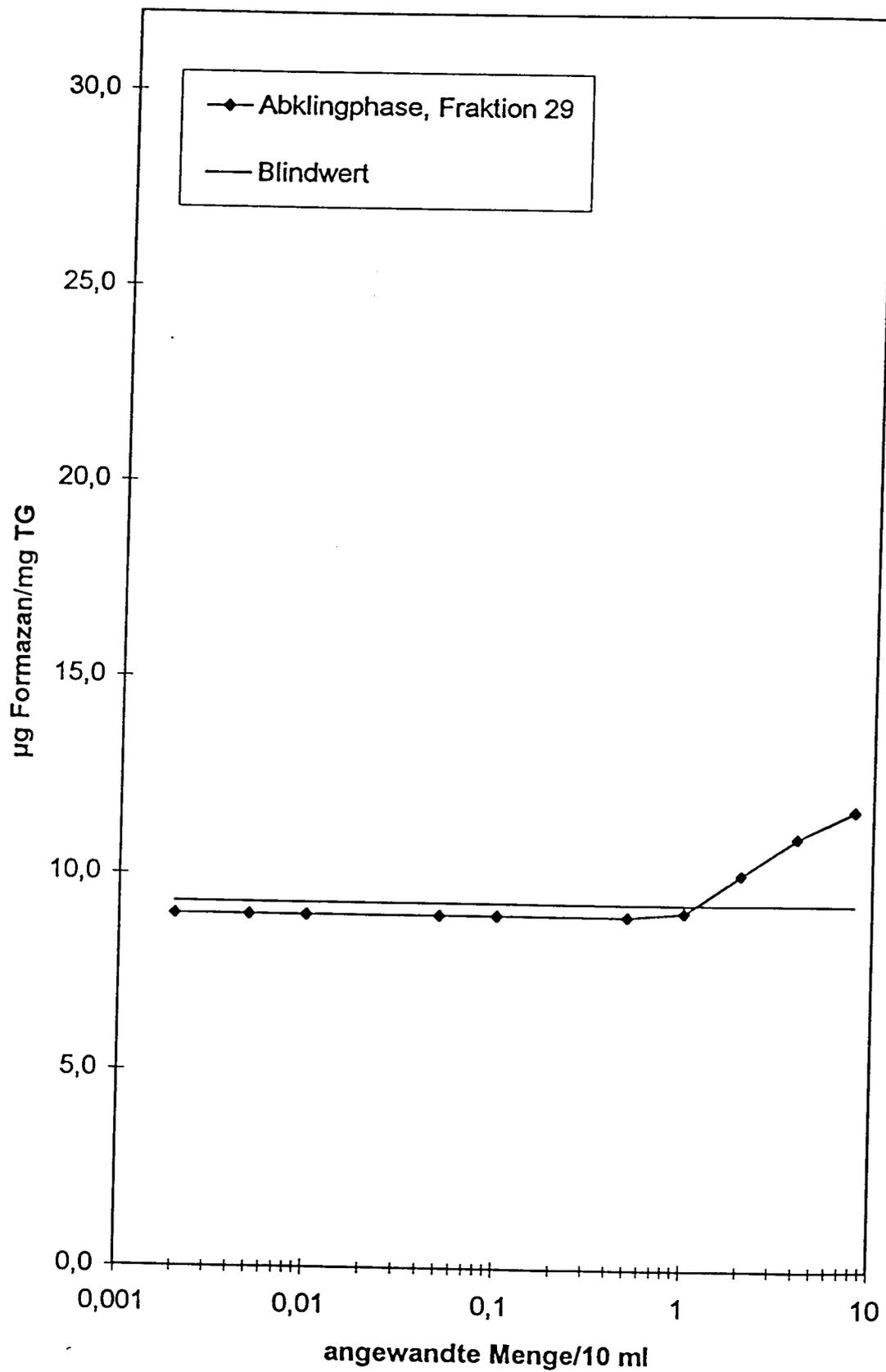


Abb. 1.35: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Säule, Abklingphase

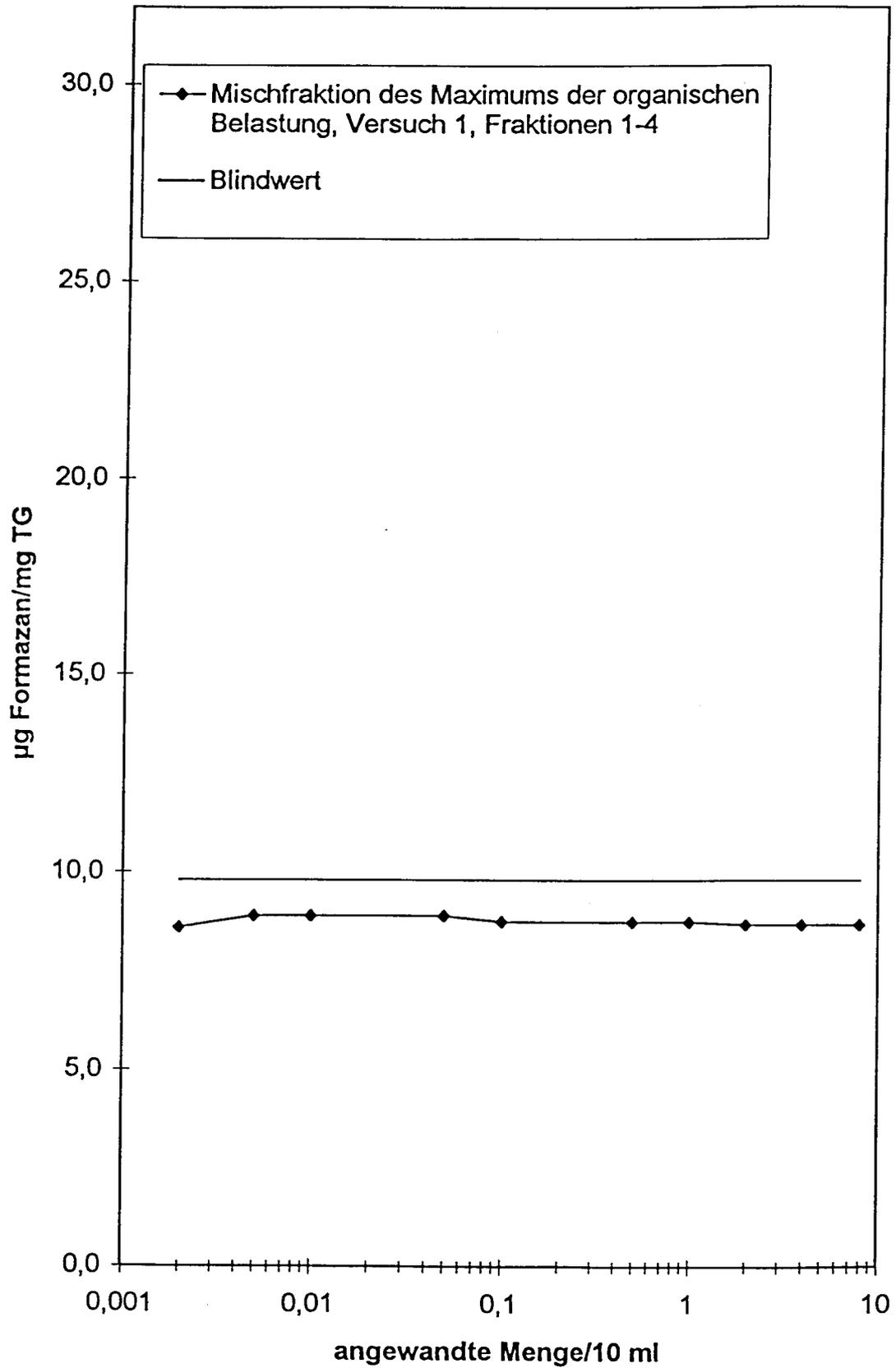


Abb. 1.36: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum, Maximumphase

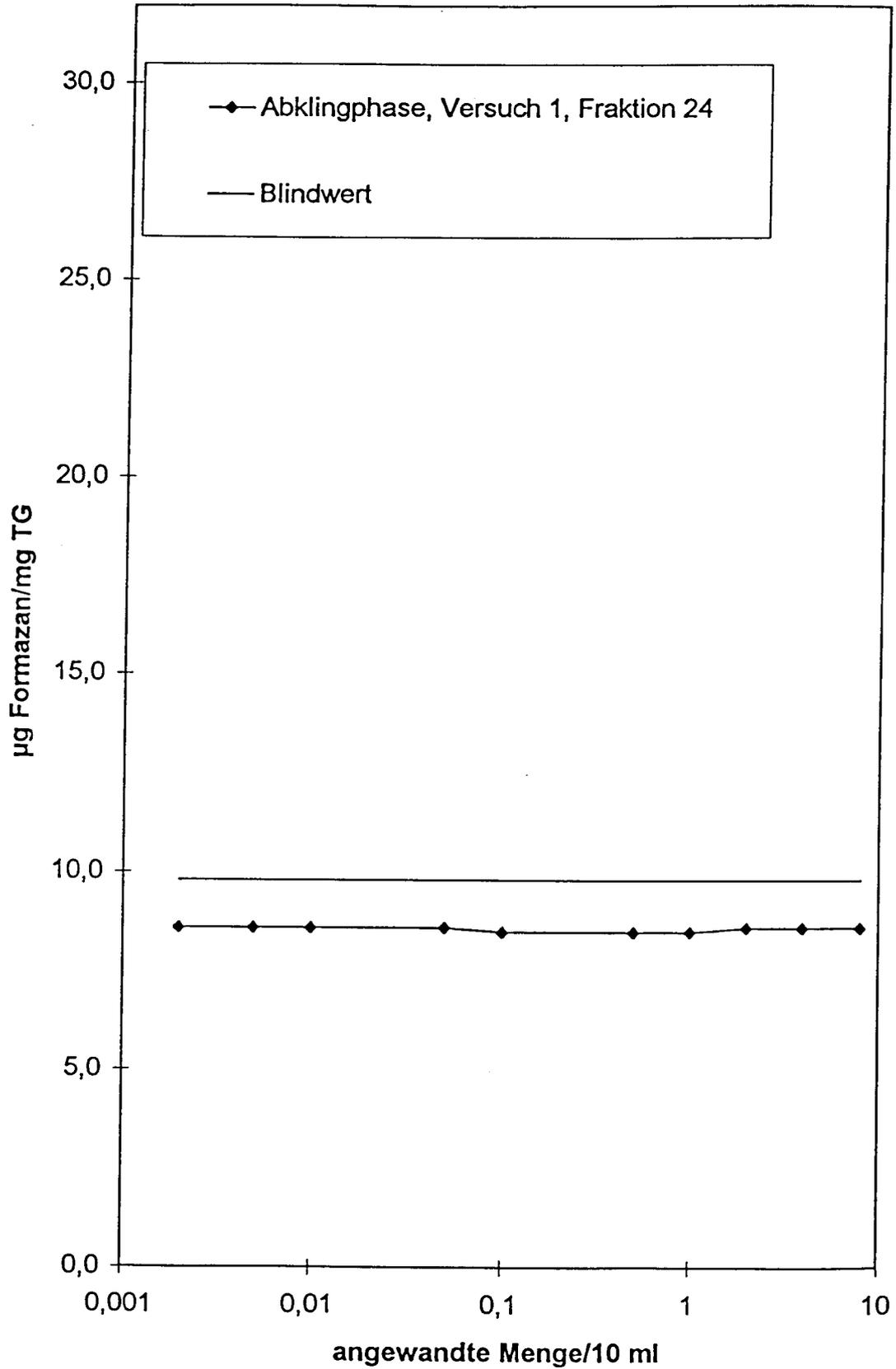


Abb. 1.37: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Bochum, Abklingphase

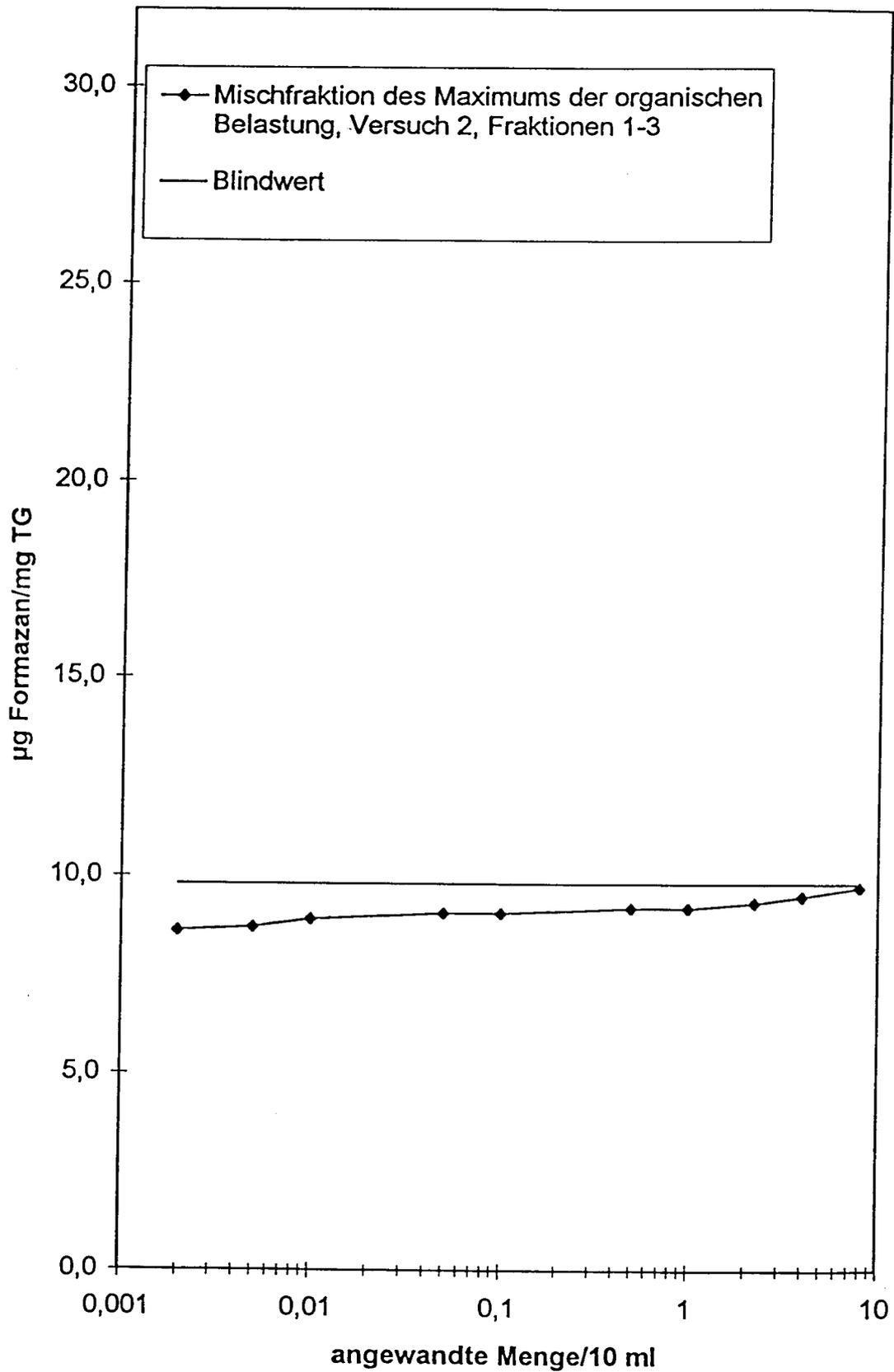


Abb. 1.38: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum, Maximumphase

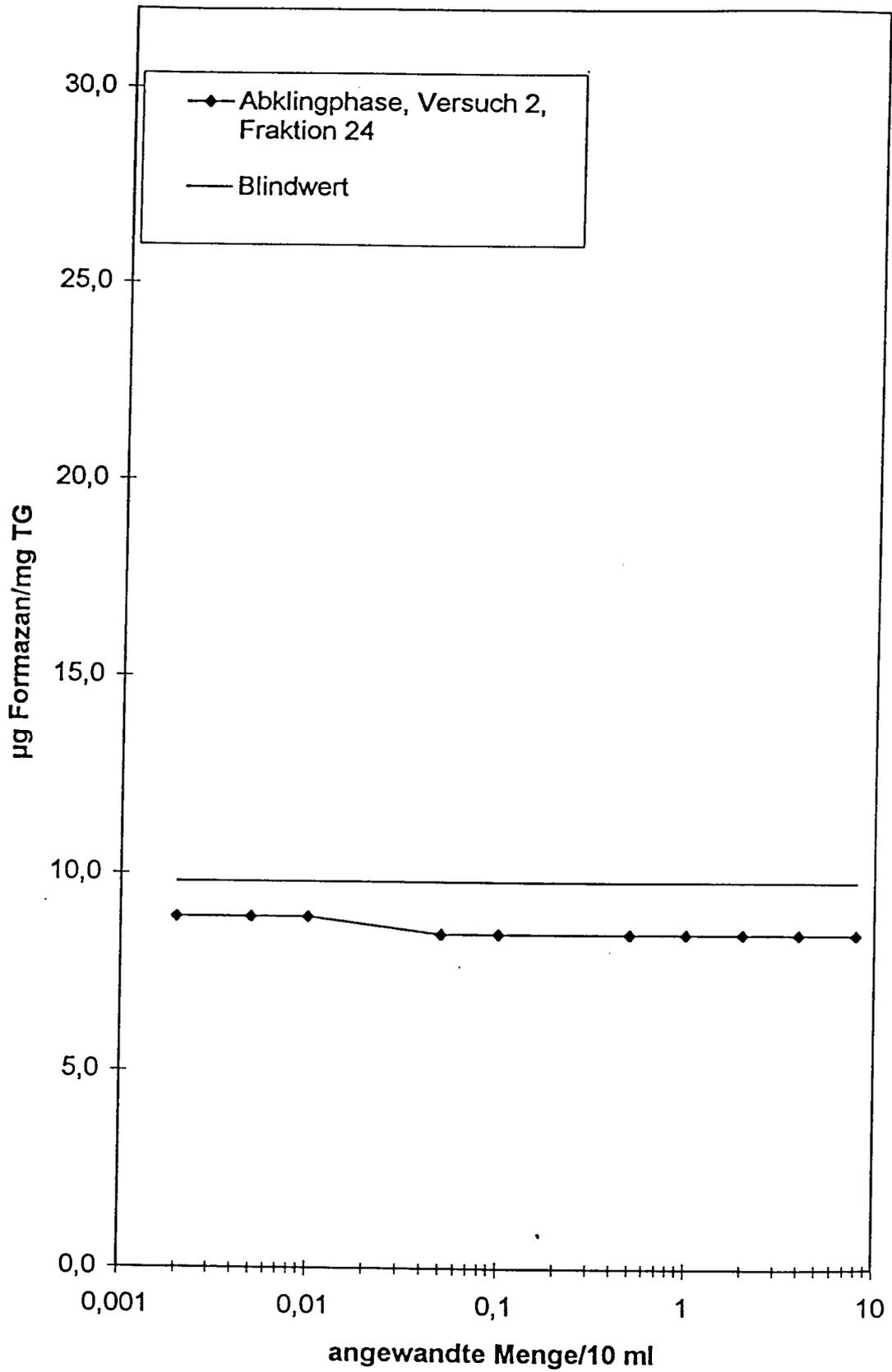


Abb. 1.39: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Bochum, Abklingphase

Tabelle 1.14: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Säule

Konzentration ml/l	Lumineszenzhemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
15,63	-2,70%	-4,06%	-4,72%	-1,38%
31,25	0,51%	1,39%	4,80%	3,82%
62,50	0,82%	3,96%	5,79%	6,75%
125,00	8,01%	7,79%	8,05%	10,85%
250,00	12,16%	16,42%	10,92%	9,26%
500,00	16,59%	16,42%	13,72%	16,65%
800,00	20,31%	18,26	16,55%	17,28%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _L	(2)	1	1	1

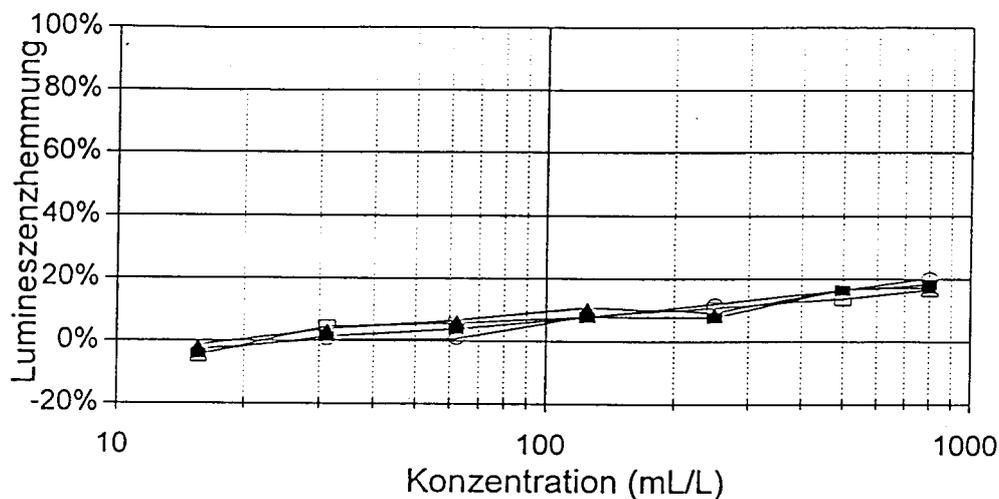


Abb. 1.40: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Säule


 1. V. Max 1. V. Abk 2. V. Max 2. V. Abk

Tabelle 1.15: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Säule

Konzentration ml/l	Wachstumshemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
15,60	-0,54%	-3,60%	-1,50%	-4,23%
31,25	-1,98%	-5,19%	1,36%	-2,56%
62,50	-1,61%	-4,17%	2,20%	-4,28%
125,00	2,22%	-2,72%	-2,81%	0,12%
250,00	-2,12%	-5,90%	-5,26%	1,81%
500,00	1,50%	-5,50%	-1,92%	0,19%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _{LW}	1	1	1	1

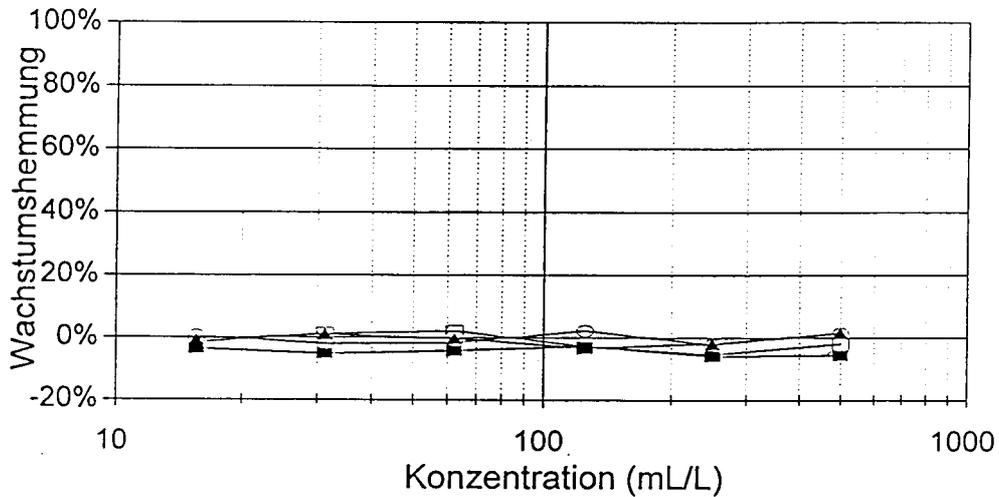


Abb. 1.41: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan Säule

○ 1. V. Max
 ■ 1. V. Abk
 □ 2. V. Max
 ▲ 2. V. Abk

Tabelle 1.16: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Bochum

Konzentration ml/l	Lumineszenzhemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
83,33	-4,13%	0,91%	-1,83%	1,43%
125,00	-6,49%	-1,03%	4,13%	-5,41%
166,66	-1,01%	1,18%	7,11%	-1,32%
250,00	-5,06%	-3,43%	1,31%	-4,88%
333,33	-4,62%	-6,05%	4,20%	-3,75%
500,00	-2,43%	-4,78%	1,35%	2,60%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _L	2 (1)	2 (1)	2 (1)	2 (1)

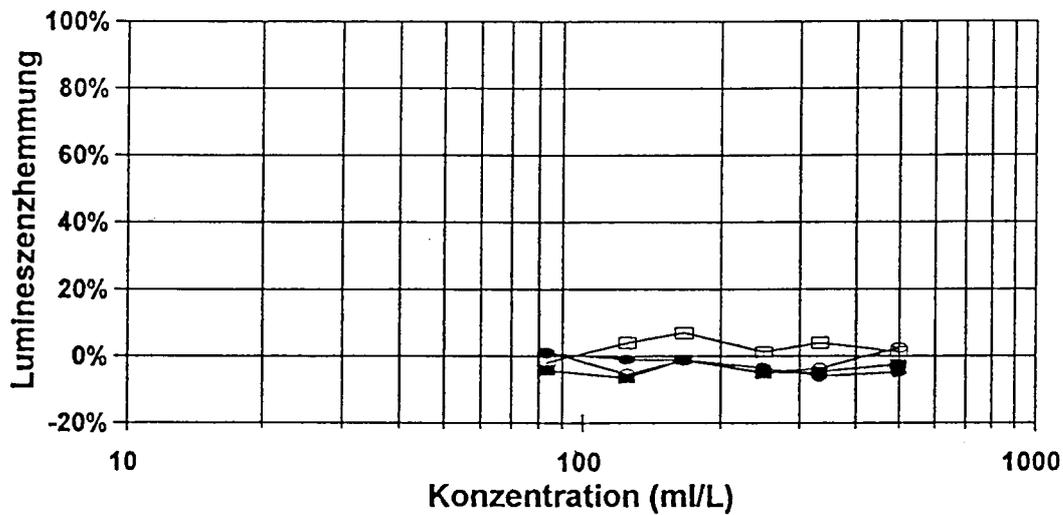


Abb. 1.42: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan, Bochum

1. V. Max
 1. V. Abk
 2. V. Max
 2. V. Abk

Tabelle 1.17: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Bochum

Konzentration ml/l	Wachstumshemmung			
	1. V. Max	1. V. Abk	2. V. Max	2. V. Abk
83,33	0,17%	-4,24%	-0,95%	-5,96%
125,00	0,88%	3,31%	-0,70%	0,27%
166,66	0,08%	4,63%	-0,67%	-2,76%
250,00	-1,75%	1,57%	-2,08%	-3,40%
333,33	-5,26%	0,85%	-2,78%	-7,47%
500,00	-5,84%	-7,89%	-5,79%	-11,22%
EC ₂₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	n.e.
G _{LW}	2 (1)	2 (1)	2 (1)	2 (1)

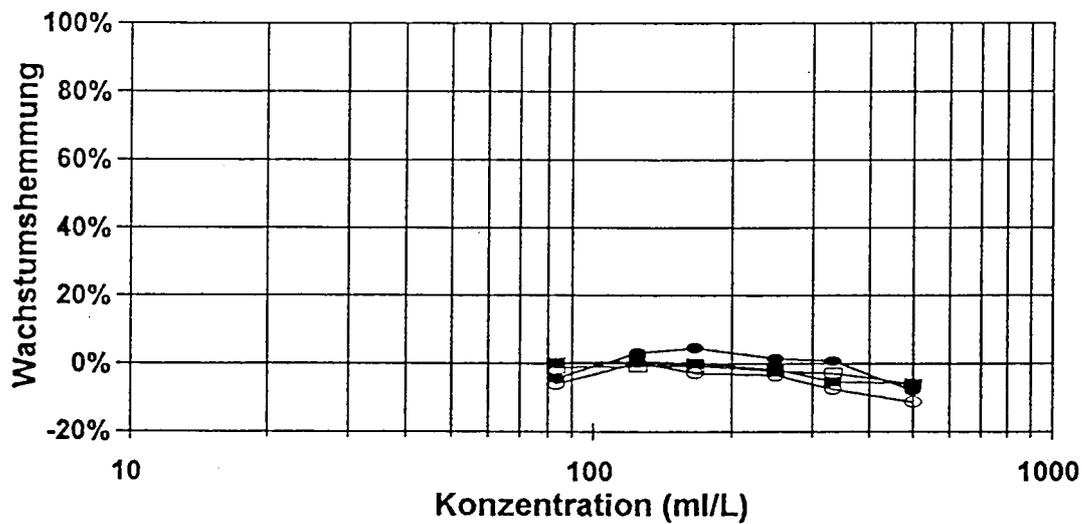


Abb. 1.43: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan, Bochum

1. V. Max
 1. V. Abk
 2. V. Max
 2. V. Abk

Tab. 1.18: Grünalgen-Test, Daphnien-Test und Fisch-Test für Polyurethan, Säule

Verdünnungsfaktor	Algen-Test Hemmwirkung in %				Daphnien-Test * Anzahl der schwimmfähigen Daphnien von insgesamt 10				Fisch-Test alle 3 Fische überleben			
	1. Versuch		2. Versuch		1. Versuch		2. Versuch		1. Versuch		2. Versuch	
	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk
Original	38	0	52	0	0; 0	0; 0	1; 1	0; 0	ja	ja	ja	ja
1 : 2	20	0	26	0			1; 0					
1 : 10	0		0				0; 0					
G-Werte	(3) ¹	1	(3) ¹	1	1	1	1	1	1	1	1	1

* Der Versuch wurde jeweils wiederholt, dargestellt als X; X
1 Werte in Klammer durch Interpolation gewonnen

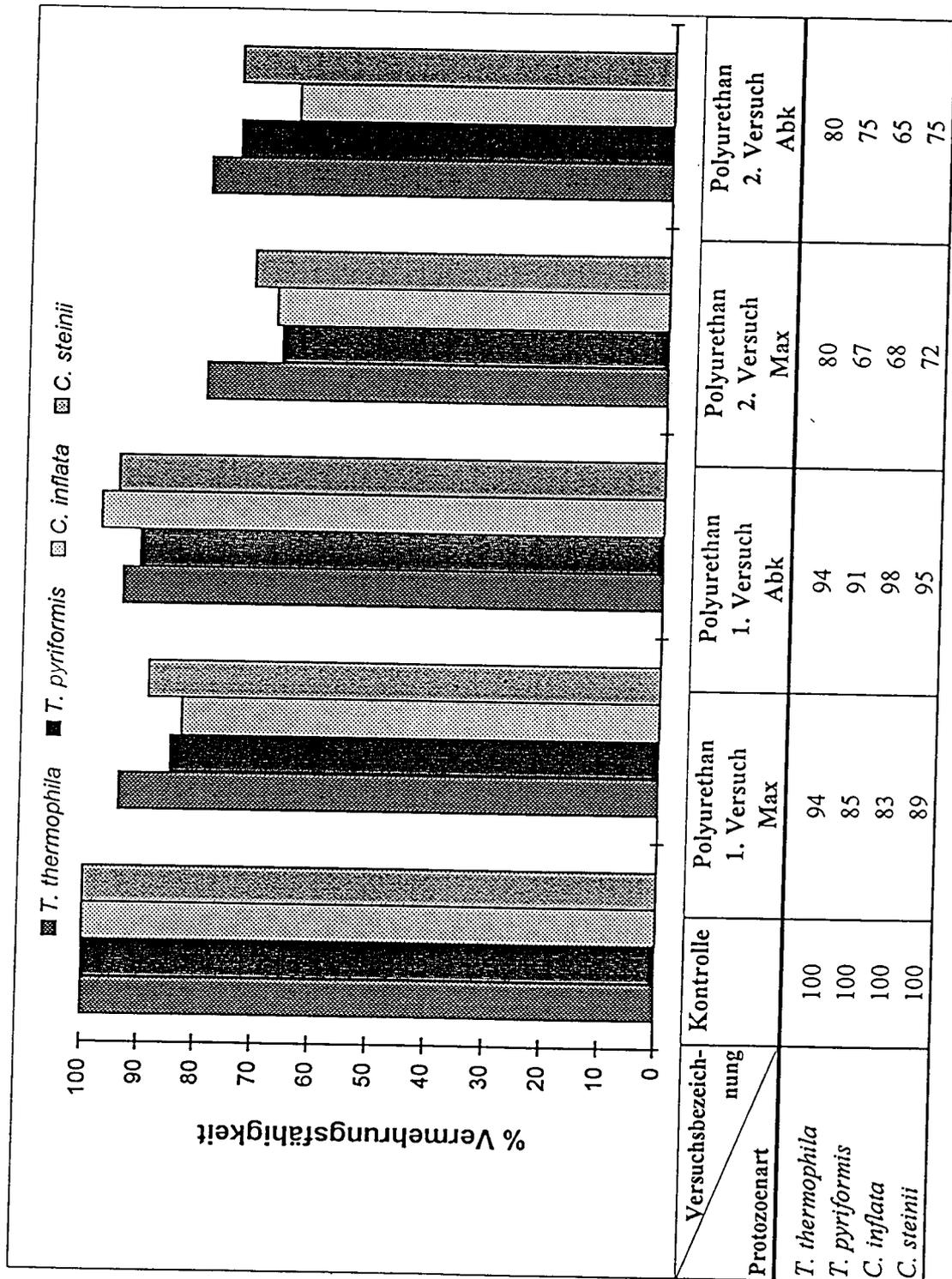


Abb. 1.44: Protozoen-Test
Polyurethan, Säule

Anhang 2
Zusammenstellung und z.T. Kurzbeschreibung der Testmethoden

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der wichtigsten Testmethoden

Parameter	Analyseverfahren
Farbe	DIN 38404-C 1-2
Trübung	DIN 38404-C 2
Geruch	
Neigung zur Schaumbildung	
pH-Wert	DIN 38 404-C 5
elektrische Leitfähigkeit	DIN EN 27888
TOC	DIN 38409 H 3-1
TTC-Test	DEV-L 3
Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung	DIN 38 412 L 341
Leuchtbakterien-Wachstumshemmung	DIN 38 412 L 37
Algen-Test	DIN 38 412-L 33
Daphnien-Test	DIN 38 412 L 30 bzw. ISO 6341
Fisch-Test	DIN 38 412 L 31
Protozoen-Test	Pauli
Biologischer aerober Abbau	DIN EN 29 408 bzw. ISO 9408 bzw. OECD-Guideline 301 F
Ames-Test	Maron et al.
umu-Test	DIN 38 415-T 3

Kurzbeschreibung ausgewählter Testmethoden

TTC-Test (DEV-L 3)

Bestimmung der Toxizität von Abwässern und Abwasserinhaltsstoffen nach der Dehydrogenasenaktivität mittels 2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC):

Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser, Abwasser- und Schlammuntersuchung, Einheitsverfahren L 3, VCH Weinheim 1995

Die Aktivität von Dehydrogenasen (Enzyme zur Wasserstoffübertragung) erlischt mit dem Tod der Zelle. Ihr Nachweis kann zur Bestimmung toxischer Effekte von Wasserinhaltsstoffen herangezogen werden. Das Verfahren erlaubt - bei erhöhter Dehydrogenaseaktivität - Rückschlüsse auf die biochemische Abbaubarkeit. 2,3,5-Triphenyltetrazoliumchlorid

(TTC), eine farblose in Wasser lösliche Substanz, wird durch Dehydrogenasen zum roten, wasserunlöslichen Formazan reduziert. Dieses kann durch Äthanol quantitativ aus den Zellen extrahiert und photometrisch bestimmt werden.

Zu 1 ml abgesetzten Belebtschlammes werden 8 ml unterschiedlicher Konzentrationen der zu prüfenden Lösung (bzw. unterschiedliche Mengen der Ausgangslösung) und 1 ml TTC-Lösung gegeben. Dieser Versuchsansatz wird im Dunkeln 3 Stunden inkubiert. Das gebildete Formazan wird extrahiert und quantitativ bestimmt. Durch den Vergleich mit einer gleichbehandelten Kontrolle (Wasser statt Prüflösung) läßt sich das Ausmaß der Förderung oder Hemmung der Dehydrogenaseaktivität ermitteln.

In den Ergebnistabellen werden für jede untersuchte Probe die jeweils im Versuchsansatz eingesetzte Menge der Probe in ml angegeben. Aus der im Versuchsansatz gemessenen Konzentration an gebildetem Formazan (in μg Formazan/mg Schlamm-trockenmasse) läßt sich im Vergleich mit einer Kontrolllösung die prozentuale Hemmung bzw. Förderung der Dehydrogenaseaktivität berechnen.

Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung (DIN 38412-L 341)

Bestimmung der Hemmwirkung von Abwasser auf die Lichtemission von *Photobacterium phosphoreum*.

Hierbei werden Testbakterien (*Photobacterium phosphoreum*) mit unterschiedlichen Mengen der zu testenden Probe über ein festgelegtes Zeitintervall inkubiert. Als Meßgröße dient die durch den Testorganismus hervorgerufene Biolumineszenz. Sie wird mit der einer Kontrollprobe (Nullwert) verglichen.

Die Testbakterien wurden selbst gezüchtet und die Messungen mit einem Lumistox®-Meßgerät (Fa. Dr. Lange) durchgeführt. Als Ergebnis wird die kleinste Verdünnungsstufe angegeben, bei der im Test die Lichtemission um weniger als 20% gehemmt wurde (G_L -Wert).

Testgut in Teile	1	1	1	1	1	1	1	1	usw.
Verdünnungswasser in Teile	0	1	2	3	5	7	11	15	usw.
Verdünnungsstufe G_L	1	2	3	4	6	8	12	16	usw.

Leuchtbakterien-Wachstumshemmung (DIN 38 412-L 37)

Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserinhaltsstoffen auf Bakterien (*Photo Bacterium phosphoreum* - Zellvermehrungshemmtest)

Für den Test wurden Mikrotitrationsplatten und ein Inkubationsreader (340 ATTC, Fa. SLT) benutzt. Das Wachstum wurde über 20 Stunden bei einer Inkubationstemperatur von 20 °C durch Messung der Trübung (414 nm) in Intervallen von 20 min verfolgt. Die Auswertung erfolgte anhand der Trübungswerte nach 7 h Inkubation; die Hemmung wurde durch Vergleich mit Kontrollansätzen ohne Probenanteil berechnet.

Als Ergebnis wird die kleinste Verdünnungsstufe angegeben, bei der im Test die Wachstumshemmung um weniger als 20% gehemmt wurde (G_{LW} -Wert).

Anmerkung: Die Bezeichnung der Norm ist insofern irreführend, als es sich bei dem Testorganismus nicht um *P. phosphoreum*, sondern um *Vibrio fischeri* handelt.

Algen-Test (DIN 38 412-L 33)

Bestimmung der nicht giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Grünalgen (Scenedesmus Chlorophyll-Fluoreszenztest) über Verdünnungsstufen

Aus dem Vergleich der Zellvermehrung unter den Versuchsbedingungen mit und ohne Einwirkung des Testguts ergibt sich die Hemmwirkung. Sie ist ein Maß für die Toxizität des Testguts gegenüber dem Testorganismus.

Nach 72stündiger Exposition der Testalgen in den Mischungen wird die Verdünnungsstufe der nicht giftigen Mischung bestimmt, und zwar durch Vergleich der Algenbiomasseproduktion der Testalgen unter Einwirkung des Testguts mit der Produktion in einer Mischung, die kein Testgut enthält.

Als Maß für die Algenbiomasse gilt die in-vivo bei Licht mit einer Wellenlänge von $\lambda = 685$ nm gemessene Chlorophyll-Fluoreszenz nach Anregung mit Licht im Wellenlängenbereich von 400 nm bis 500 nm (Maxima bei 435 nm und 485 nm).

Für einzelne Verdünnungsstufen werden die Hemmwirkungen gegenüber dem Kontrollansatz berechnet. Als Ergebnis gilt der kleinste Wert der Verdünnungsstufe G_A , bei dem unter den Bedingungen dieses Verfahrens eine Hemmwirkung der Biomassenproduktion $< 20\%$ gemessen wird.

Daphnien-Test (DIN 38412-L 30 bzw. ISO 6341)

Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Daphnien über Verdünnungsstufen.

Daphnien können durch gewisse Inhaltsstoffe der Eluate geschädigt werden. Als Schädigung gilt der Verlust der Schwimmfähigkeit, da die Feststellung des Todes mit einfachen Mitteln nicht möglich ist.

In einer Verdünnungsreihe werden die zu prüfenden Eluate, abgestuft nach ganzzahligen Volumenverhältnissen, mit Verdünnungswasser vermischt. Nach 24stündiger Exposition der Testorganismen in den Mischungen wird die Verdünnung der nicht akut giftigen Mischung bestimmt. Als Ergebnis gilt der kleinste Wert für die Verdünnungsstufe G (G_D -Wert) des Testansatzes, bei dem mindestens 9 Daphnien ihre Schwimmfähigkeit behalten haben. Es werden jeweils 10 Daphnien eingesetzt.

Fisch-Test (DIN 38412-L 31)

Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Fischen über Verdünnungsstufen.

Die Fische können durch Inhaltsstoffe der Eluate geschädigt werden, z.B. durch Verkleben und Verschleimen der Kiemenblättchen bzw. durch Aufquellen und Zerstörung des respiratorischen Epithels. Neben der unmittelbaren Wirkung auf die Kiemen ist in vielen Fällen eine Aufnahme von Schadstoffen über die Kiemen, die Haut oder den Verdauungstrakt möglich, ehe es zu Vergiftungen kommt.

In einer Verdünnungsreihe wird Abwasser, abgestuft nach ganzzahligen Volumenverhältnissen, mit Verdünnungswasser vermischt. Nach 48stündiger Exposition der Testorganismen in den Mischungen wird die Verdünnungsstufe der nicht akut giftigen Mischung bestimmt.

Es werden 3 Goldorfen zum Versuch eingesetzt. Als Ergebnis gilt der kleinste Wert für die Verdünnungsstufe G (G_F -Wert) des Testansatzes, bei dem alle Fische überleben. Diese Verdünnungsstufe ist als Testergebnis anzugeben.

Protozoen-Test

Der Toxizitätstest mit Protozoen wurde nach einer von Dr. Pauli am Institut für Biochemie & Molekularbiologie der Freien Universität Berlin entwickelten Methode durchgeführt.

Als Testparameter dient das Wachstum der Organismen und die damit verbundene Aufnahme von Nährsubstrat über eine gewisse Zeit. Bei ungehemmter Vermehrung wird das Substrat vollständig verbraucht und die Lösung wird optisch klar. Wird dagegen die Proliferationsfähigkeit durch Schadstoffe unterbunden, behält die Testlösung ihre ursprüngliche Trübung bei. Die Meßgröße für den Testparameter ist die optische Dichte bzw. das Zellwachstum. In den untersuchten Eluaten wurden zwei aquatische und zwei terrestrische Protozoenarten eingesetzt. Es wurde nur die Auswirkung auf das unverdünnte Originaleluat untersucht. Über eine Verdünnungsreihe könnte wie im Falle der Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung eine nicht akute Wirkung (Hemmung kleiner als 20%) bestimmt werden.

Aerober biologischer Abbau

(DIN EN 29 408 bzw. ISO 9408 bzw. OECD-Guideline 301 F)

Bestimmung der vollständigen aeroben biologischen Abbaubarkeit organischer Stoffe in einem wäßrigen Medium über die Bestimmung des Sauerstoffbedarfs in einem geschlossenen Respirometer.

Unter dem vollständigen biologischen Abbau versteht man den Abbaugrad, der erreicht wird, wenn eine Testsubstanz vollständig von Mikroorganismen abgebaut wird, wobei Kohlenstoffdioxid, Wasser, Mineralsalze und neue Biomasse als Abbauprodukte entstehen.

Der organische Stoff ist die einzige Kohlenstoff- und Energiequelle im Medium. Die Konzentration der Testsubstanz beträgt üblicherweise 100 mg/l, wobei jedoch ihr theoretischer Sauerstoffbedarf (ThSB) mindestens 100 mg/l betragen muß.

Das beimpfte Medium wird in einem geschlossenen Gefäß gerührt. Der Sauerstoffverbrauch wird entweder durch eine Messung der Sauerstoffmenge bestimmt, die erforderlich ist, um ein konstantes Gasvolumen in der Respirometerzelle aufrechtzuerhalten, oder über die Messung der Veränderung des Volumens oder des Drucks (oder beider Werte) in der Respirometerzelle.

Das gebildete Kohlenstoffdioxid wird durch eine geeignete Absorbersubstanz im Prüfgefäß gebunden.

Der Abbau wird über eine Dauer von 28 Tagen oder, falls erforderlich, länger, automatisch oder manuell über den Sauerstoffverbrauch bestimmt. Die Menge an Sauerstoff, die durch die organische Substanz verbraucht wird, wird nach Korrektur mit dem Blindwert in % des theoretischen Sauerstoffbedarfs (ThSB), der aus der chemischen Formel berechnet wird, oder in % des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) bestimmt.

Die Inhaltsstoffe der Eluate gelten als leicht biologisch abbaubar, wenn in einer 28tägigen Bioabbaubarkeitsmessung 60% des theoretischen Maximums (ThSB) bzw. des bestimmten Sauerstoffbedarfs (CSB) als Sauerstoffverbrauch gemessen wird. Dieser Wert der Bioabbaubarkeit muß innerhalb von 10 Tagen nach dem Beginn des Abbauprozesses (Zeitpunkt zu dem 10% des Stoffes abgebaut sind) erreicht werden.

Ames-Test

Für die Erkennung von Punktmutationen, d.h. kleinsten mikroskopisch nicht sichtbaren Veränderungen im molekularen Aufbau der DNA wird das Wachstum gewisser Bakterien untersucht. Die Methode ist von Maron und Ames beschrieben worden (Maron A. D. Ames, B. N.: Revised methods for the Salmonella mutagenicity test, Mutation research 113, S. 173-215, 1983).

Die Mutagenität wurde im Ames-Test mit den Stämmen *Salmonella typhimurium* TA 98 (Indikator für Rasterschub-Mutation) und TA 100 (Indikator für Basenpaarsubstitutions-Mutation) sowohl ohne als auch mit metabolischer Aktivierung durch S9-Rattenleberhomogenat untersucht. Es wurde die Variante des Fluktuationstestes auf Mikrotiterplatten nach Hubbard et al. durchgeführt (Hubbard, S. A., Green, M.H.L., Gatehouse, D., Bridges, J. W.: The fluctuation test in bacteria. In: Kilbey, B. J. et al. (eds): Handbook of mutagenicity test procedures. Amsterdam, 1984, pp. 141-160).

Die Eluate wurden direkt ohne Lösungsvermittler eingesetzt, die Auswertung erfolgte nach 72 Stunden Inkubation durch Auszählung der Testansätze mit Revertanten. Als Positivkontrollen wurden Kontrollansätze mit Benzo-a-pyren (BaP, mit S9) und 4-Nitrochinolin-N-oxid (4-NQO, ohne S9) mitgeführt.