

Ökologische Bauproduktenbewertung (Teilaspekte):
Ökotoxikologische Parameterwahl, Einfluß der
organischen Anteile in der Bodenmatrix auf die
Eluate sowie Frachtmodelle zur Eluierbarkeit

T 2856

T 2856

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 3-8167-5486-4

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>

**„Ökologische Bauproduktenbewertung
(Teilaspekte):
Ökotoxikologische Parameterwahl,
Einfluß der organischen Anteile in der
Bodenmatrix auf die Eluate sowie
Frachtmodelle zur Eluierbarkeit“**

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 Frau Dr. Pawel betreut.
- Das Forschungsvorhaben wurde von einer vom DIBt eingesetzten Betreuergruppe begleitet. Dem Betreuergremium wurden am 3. September 1998 im IWS die vorläufigen Ergebnisse zum Forschungsvorhaben vorgelegt. Die Namen der Betreuer sind im Anhang 3 aufgeführt.
- Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde am IWS ein Kolloquium zum Thema „Ökotoxikologische Testmethoden“ durchgeführt. Dieses Kolloquium fand kombiniert mit der Sitzung der Betreuergruppe ebenfalls am 3. September 1998 im IWS statt. Die Namen der Vortragenden und der Gäste sind ebenfalls im Anhang 3 aufgeführt. Die Ergebnisse zu dem Treffen der Betreuer und Experten wurden in einem Ergebnisprotokoll (1.10.98) dem DIBt vorgelegt.
- Die Versuche zur Eluatgewinnung sowie der Algen-, Daphnien-, Pseudomonas putida- und Fisch-Tests sowie die Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit wurden im Hygiene-Institut des Ruhrgebiets in Gelsenkirchen (Leitung Dr. Schößner) 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 Nitrifikationshemmung wurde im BioteCon, Niederlassung Potsdam durch Frau Bruns 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	1
2 Biotests	3
2.1 Auswahl der Biotests	3
2.2 Versuchseinrichtung zur Eluatgewinnung	5
2.3 Die untersuchten Produkte	6
2.4 Darstellung der Ergebnisse	7
2.5 Zusammenfassung der Testergebnisse und Vorschlag zur Auswahl von relevanten Tests	13
3 Bewertungsansätze für die Menge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe	15
4 Anwendung der Ergebnisse	18
5 Literatur	19

Anhang 1: Versuchsergebnisse

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

Anhang 3: Liste der Betreuer des Projektes
Vortragende und Gäste des Kolloquiums zum Thema
„Ökotoxikologische Testmethoden“

1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Seit Mitte 1996 arbeitet am Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) die Projektgruppe „Boden- und Grundwassergefährdung durch Baustoffe - Analyse, Bewertung“, zum Thema ökologische Bauproduktenbewertung. Im Rahmen der Arbeit dieser Projektgruppe (das IWS arbeitet darin mit) kristallisierten sich einige Probleme heraus, deren Bearbeitung das vorliegende Forschungsprojekt zum Inhalt hat.

Seit 1992 werden aufgrund eines in Zusammenarbeit mit dem damaligen Bundesgesundheitsamt, dem Umweltbundesamt, der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), dem Hygiene-Institut Gelsenkirchen, dem IWS und dem DIBt entstandenen ökologischen Prüfprogramms Produkte zur Rohrsanierung vom DIBt hinsichtlich ihrer ökologischen Eignung im Rahmen der bauaufsichtlichen Zulassung beurteilt [1].

Da dieses ursprünglich für Produkte zur Rohrsanierung entwickelte Prüfprogramm auch in das durch die DIBt-Projektgruppe „Ökologische Bauproduktenbewertung“ zu entwickelnde Merkblatt zum Thema „Bewertung der Boden- und Grundwassergefährdung“ [2] in verallgemeinerter Form einfließen soll, sollen in dem vorliegenden Forschungsvorhaben die folgenden 3 Teilaspekte näher beleuchtet werden:

- Überprüfung der anzuwendenden Biotests zur Untersuchung und ökologischen Bewertung relevanter Eluate aus Bauprodukten
- Einfluß des organischen Gehaltes des Bodens, in den ein Bauprodukt eingebracht werden soll, auf ökologisch relevante Eluate daraus
- Übertragung von Ergebnissen zur Elution von organischen Inhaltsstoffen auf reale Verhältnisse, d.h. Entwicklung von Bewertungsmaßstäben dafür

Es war ursprünglich geplant, daß die Überprüfung der anzuwendenden Biotests nur „theoretisch“ geschehen sollte, d.h. durch Bewertung und Auswahl von bereits vorliegenden Testergebnissen (Literaturstudien). Im Laufe der Arbeit, auch der Mitarbeit in der DIBt-Projektgruppe „Ökologische Bauproduktenbewertung“ stellte sich jedoch heraus, daß zwar die Palette der Tests „theoretisch“ erfaßt, bewertet und ausgewählt werden könnte, jedoch die Frage ihrer Relevanz für eine ökologische Bauproduktenbewertung, die auf relevanten Eluaten aus den Bauprodukten beruht, ohne Experimente nicht beantwortet werden kann.

Da für die Behandlung des 2. Teilaspektes, dem Einfluß der Bodenzusammensetzung auf die Inhaltsstoffe der Eluate Versuche vorgesehen waren, wurden die für diesen Teil des Projektes vorgesehenen Mittel für das Thema „experimentelle Überprüfung der Palette der Biotests“ verwendet.

Auf die Behandlung des 2. Teilaspekts - es waren ursprünglich das Einbringen von 2 repräsentativen Produkten zur Bodenverfestigung in Böden mit unterschiedlichen organischen Anteilen vorgesehen - mußte deswegen also vollständig verzichtet werden. Es stellte sich zu dem im übrigen im Laufe der Diskussionen dieses Teilaspektes deutlich heraus, daß diese Einflüsse von untergeordneter Bedeutung für die Entwicklung eines einen weiten Produktenbereich umfassenden Merkblattes zur ökologischen Bauproduktenbewertung sind.

Die Probleme, die in diesem Teilaspekt angesprochen werden, resultieren aus den Erfahrungen mit dem großflächigen Einsatz von Weichgelen zur Baugrubenabdichtung in Berlin. Beim Einsatz von Produkten auf der Basis von anorganisch gehärteten Wassergläsern stellt sich heraus, daß der mit dem Einsatz dieser Produkte verbundene pH-Wertanstieg in der näheren Umgebung der Baumaßnahme, die Mobilisierung von Huminstoffen und Schwermetallen (falls vorhanden) zur Folge hat. Dabei handelt es sich also um Sekundäreffekte, die durch die eingesetzten Produkte ausgelöst werden. Diese können nur durch zusätzliche experimentelle Untersuchungen, die den Rahmen des üblich notwendigen Prüfprogramms für Bauprodukte überschreiten, erfaßt und in Einzelfallentscheidungen beurteilt werden.

Auf der Basis der bisherigen Erfahrungen mit Produkten zur Rohrsanierung und den experimentellen Ergebnissen aus dem vorliegenden Forschungsvorhaben sowie dem parallel im IWS laufenden DIBt-Forschungsvorhaben zum Vergleich der Elution von Produkten zur Rohrsanierung mittels Säulen und der sog. Bochumer Versuchseinrichtung [3] sollen in dem 3. Teilaspekt bzw. jetzt 2. Teilaspekt Aussagen zur Bewertung der Menge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe gemacht werden.

Das vorliegende Forschungsvorhaben wurde von einer vom DIBt vorgeschlagenen Betreuergruppe begleitet. Um im weiteren das Fachwissen von Toxikologen in die Arbeit zu integrieren, wurde eine Gruppe von Toxikologen zu einem Gedankenaustausch und Vorträgen ins IWS eingeladen.

Die vorläufigen Versuchsergebnisse zu den Biotests wurden am 3. September dem Betreuergremium vorgestellt. Gleichzeitig wurden die Toxikologen zu einem Fachgespräch gebeten. Diese Sitzung wurde gegenüber dem DIBt protokolliert (Datum: 01.10.1998) und

bildet die Grundlage für den vorliegenden Forschungsbericht. Die Gruppe der Betreuer und Vortragenden ist im Anhang 3 aufgeführt.

2 Biotests

Zur Beurteilung von Bauprodukten hinsichtlich ihrer Boden- und Grundwassergefährdung werden nach dem Konzept des DIBt [1, 2] die zu beurteilenden Bauprodukte mit praxisrelevanten Methoden eluiert und die Eluate hinsichtlich ökologisch relevanter Parameter untersucht und diese Ergebnisse bewertet.

Da die ausschließliche Erfassung und Bewertung von stofflichen sowie physikalisch-chemischen Parameter eine umfassende Bewertung der Auswirkungen der Produkte auf das Ökosystem Boden nicht erlaubt, werden die Eluate mit ihren Inhaltsstoffen und damit eventuellen Schadstoffen nach dem DIBt-Konzept auch mittels Biotests (Wirkungsparameter) untersucht. Über die Biotests (diese Wirkungsparameter sind Summenparameter) werden auch synergetische Wirkungen des Stoffeintrages (Zusammenwirken der eluierten Einzelstoffe) erfaßt.

Es ist sicherlich im Gegensatz zur analytischen Erfassung gewisser Stoffe bzw. der Messung von physikalisch-chemischen Eigenschaften viel schwieriger, einen repräsentativen ökologischen Parametersatz festzulegen. Im übrigen ist die Interpretation von biologischen Versuchsergebnissen im allgemeinen nicht so schlüssig wie die Bewertung eines analytisch-chemischen bzw. physikalischen Meßwertes.

2.1 Auswahl der Biotests

Zur ökologischen Bewertung von Produkten zur Rohrsanierung wurden bisher praxisrelevante Eluate der Produkte im Hinblick auf ihre Bakterientoxizität und die aerobe biologische Abbaubarkeit der Inhaltsstoffe untersucht.

Es kamen folgende Bakterien zur Anwendung:

Leuchtbakterien, Testkriterium: Lumineszenz

Klärschlamm Bakterien, Testkriterium: Atmungshemmung

Pseudomonas aeruginosa (*Ps. aeruginosa*) und *Escherichia coli* (*E. coli*), Testkriterium: Koloniezahlbildung.

Die über die Messung der Koloniezahlen von *Ps. aeruginosa* und *E. coli* erfaßte Wachstumshemmung bzw. -förderung durch Inhaltsstoffe der Eluate zeigte bisher in keinem Falle relevante Abweichungen von einer unbelasteten Kontrollösung und soll deshalb als Entscheidungskriterium zur ökologischen Bewertung ausgeschieden werden [4].

Da für den Boden und das Grundwasser keine verbindlichen Anforderungen, erfaßt über Biotests, existieren, wurden als Grundidee für eine relevante Palette von Biotests zur ökologischen Bauproduktbewertung in Erweiterung der oben bereits zitierten Tests aquatische Tests aller Trophieebenen berücksichtigt. Dabei wird davon ausgegangen, daß das Schadstoffpotential gegenüber dem Grundwasser durch aquatische Tests mit den wäßrigen Eluaten der Bauprodukte erfaßt werden kann.

In dem vorliegenden Forschungsvorhaben wurden mit den folgenden Organismen Tests durchgeführt:

Ebene der Produzenten:	Grünalgen
Ebene der Primärkonsumenten:	Daphnien und Protozoen
Ebene der Sekundärkonsumenten:	Fische
Ebene der Destruenten:	<i>Pseudomonas putida</i> , Leuchtbakterien, Nitrifikanten und Klärschlamm Bakterien

Im weiteren wurde zur Erfassung eines allfälligen mutagenen Potentials der Inhaltsstoffe der Eluate die Auslösung von Punktmutationen (nach Ames) untersucht.

Ergänzend zu den Biotests wurde auch das wichtige Beurteilungskriterium der biologischen, aeroben Abbaubarkeit miterfaßt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden die Eluate routinemäßig auch bezüglich ihres pH-Wertes und der elektrischen Leitfähigkeit untersucht.

Als stoffliche Parameter wurde allein (es handelt sich um die Bewertung von organischen Inhaltsstoffen) der TOC-Gehalt in den den Eluaten verfolgt.

2.2 Versuchseinrichtung zur Eluatgewinnung

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 ihrer Mitte injiziert. Unmittelbar darauf wird die Säule mit Trinkwasser beaufschlagt. Der Wasserdurchfluß erfolgt von unten nach oben und der Volumenstrom ist 4 l/h. Dieser Volumenstrom entspricht bei einem angenommenen Porenvolumen des Sandes von 35% einer Fließgeschwindigkeit 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 [5].

Die Biotests und der biologische Abbau wurden mit ausgewählten Fraktionen der Elution durchgeführt. Als Kriterium dafür diente der TOC-Gehalt der einzelnen Fraktionen. Aus den Fraktionen mit den höchsten TOC-Gehalten in der Anfangsphase des Versuches wurde zur Untersuchung eine Mischfraktion gebildet, sie wird mit Max (für Maximum der org. Auswaschungen) bezeichnet. Gegen Ende des Versuches klingen die TOC-Gehalte stark ab und es wird jeweils eine Fraktion untersucht. Sie wird mit Abk (für Abklingphase der org. Auswaschungen) bezeichnet.

Der zeitliche Ablauf der Beprobung und die entsprechenden Nummern für die einzelnen Fraktionen sind für die jeweiligen Produkte und Versuche in den Ergebnistabellen (siehe Anhang 1, Tabellen 1.1 bis 1.8) festgehalten.

Der Beprobungsplan für die Biotests und den biologischen Abbau ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: die untersuchten Fraktionen

Versuchsbezeichnung	Fraktion	TOC in mg/l*
Acrylharz 1, 1. Versuch, Max ¹⁾	10 - 13	857,5
Acrylharz 1, 1. Versuch, Abk ²⁾	30	5,8
Acrylharz 1, 2. Versuch, Max	8 - 11	930
Acrylharz 1, 2. Versuch, Abk	30	3,1
Acrylharz 2, langsam, Max	10 - 13	1537,5
Acrylharz 2, langsam, Abk	30	1,6
Acrylharz 2, schnell, Max	11 - 14	210
Acrylharz 2, schnell, Abk	30	3,1
Acrylharz 3, 1. Versuch, Max	11 - 15	1342
Acrylharz 3, 1. Versuch, Abk	29	2,0
Acrylharz 3, 2. Versuch, Max	8 - 12	728
Acrylharz 3, 2. Versuch, Abk	29	3,4
Polyurethan 1, 1. Versuch, Max	9 - 14	5,66
Polyurethan 1, 1. Versuch, Abk	29	1,3
Polyurethan 2, 2. Versuch, Max	9 14	13,33
Polyurethan 2, 2. Versuch, Abk	29	1,4

* Die Ergebnisse aus dem Anhang 1, Tabellen 1.1 bis 1.8 werden hier zwecks weiterer Verwendung im Text schon aufgeführt. Für Mischfraktionen werden die Meßwerte für die einzelnen Fraktionen arithmetisch gemittelt.

1) Max Maximumphase

2) Abk Abklingphase

2.3 Die untersuchten Produkte

Zur „Überprüfung“ der Biotest-Palette kamen die im folgenden kurz beschriebenen Kunststoff-Systeme, die zur Abdichtung bei Wassereinbrüchen, zur Rohrsanierung und zur Lockergesteinsverfestigung eingesetzt werden, zur Anwendung.

Acrylharz-System 1, bezeichnet als Acrylharz 1. Diese Rezeptur wurde in zwei identischen Versuchen eluiert, sie heißen 1. und 2. Versuch.

Acrylharz-System 2, bezeichnet als Acrylharz 2. Hierbei handelt es sich um eine Modifikation von Acrylharz 1. Die Versuche mit diesem Produkt wurden nicht exakt wiederholt, sondern es kam eine langsamer und eine schneller aushärtende Variante zum Einsatz, bezeichnet mit Acrylharz 2 langsam und Acrylharz 2 schnell.

Acrylharz-System 3, bezeichnet als Acrylharz 3. Dieses System wurde wiederum in 2 identischen Versuchen eluiert, sie heißen 1. und 2. Versuch.

Polyurethansystem, bezeichnet als Polyurethan. Dieses System wurde ebenfalls in 2 identischen Versuchen eluiert, sie heißen 1. Versuch und 2. Versuch.

2.4 Darstellung der Ergebnisse

In den Tabellen 1.9 bis 1.18 und den Abbildungen 1.1 bis 1.34 im Anhang 1 sind alle Ergebnisse zu den Biotests und dem biologischen Abbau für alle untersuchten Produkte zusammengestellt. Die einzelnen Testverfahren sind im Anhang 2 kurz beschrieben.

Im folgenden sollen die Ergebnisse, nach Testverfahren geordnet beschrieben und diskutiert werden.

Grünalgen-Test

Die Ergebnisse sind für alle untersuchten Produkte im Anhang 1 Tabelle 1.9 zusammengefaßt.

Zusammenfassend kann - im Gegensatz zu allen anderen Biotests - gesagt werden, daß alle Eluate in ihrer TOC-Maximumphase (in der Tabelle abgekürzt durch Max) das Wachstum der Algen z.T. sogar sehr stark hemmen. Die Eluate, gewonnen in der Abklingphase (in der Tabelle abgekürzt durch Abk), d.h. am Ende des Versuches sind in ihrer Wirkung alle untoxisch. Im Folgenden sollen die Toxizitätsmessungen über Verdünnungsreihen modellhaft für alle Toxizitätsmessungen am Beispiel der Algen-Toxizität ausführlich besprochen werden.

In der Tabelle spiegelt sich dieser Sachverhalt in der Art wieder, daß in den Maximumphasen z.T. sehr viele Verdünnungsschritte durchlaufen werden müssen, um die aus toxischer Sicht unkritische Hemmung von 20% zu unterschreiten. Beispielhaft erläutert für das Acrylharzprodukt 2, die langsame Variante: Zwischen dem Verdünnungsfaktor 10 und 25 wird die 20%-Hemmung unterschritten. Durch Interpolation kann ein Verdünnungsfaktor von 13 berechnet werden, d.h. auf 12 Teile Verdünnungswasser kommen 1 Teil Testeluat in Originalkonzentration. Im Gegensatz dazu hat das unverdünnte Eluat der Abklingphase keine hemmende Wirkung.

Die Tatsache, daß die Eluate der Abklingphasen allesamt untoxisch sind, spiegeln auch die Meßergebnisse der TOC-Gehalte wieder. Im Falle der sehr stark toxisch wirkenden Eluate von Acrylharz 3 im 1. Versuch sind die entsprechenden TOC-Gehalte (siehe Anhang 1, Tabelle 1.5 oder einfacher Tabelle 1) in der

Maximumphase	1342 mg/l	und in der
Abklingphase	2 mg/l	

Da der G_A -Wert (geringste Verdünnungsstufe, bei der eine Hemmung von 20% unterschritten ist) für die Maximumphase zwischen 1000 und 2000 liegt, und durch Interpolation auf 1400 errechnet wurde, würde erst eine Verdünnung von 1342 mg/l auf das 1400-fache eine TOC-Konzentration ergeben, nämlich 0,96 mg/l, die eine Hemmung von weniger als 20% auslösen würde. Daß bereits eine Konzentration von 2 mg/l in der Abklingphase eine 0%-Hemmung hervorruft, ist darauf zurückzuführen, daß zum einen Biotests nicht so streng reproduzierbar sind und daß evtl. auch die stoffliche Zusammensetzung der Eluate in der Maximumphase unterschiedlich ist zu derjenigen in der Abklingphase. Von der Tendenz her ist die Abnahme der Hemmwirkung verständlich.

Daphnien-Test

Die Ergebnisse sind im Anhang 1, Tab. 1.10 wiedergegeben. Auf der Ebene der Primärkonsumenten wurden u.a. die Auswirkungen der Inhaltsstoffe der Eluate auf Daphnien untersucht. Von der Tendenz her sind die toxischen Auswirkungen vergleichbar mit denjenigen auf die Grünalgen.

Alle Eluate der Abklingphasen in ihrer Originalkonzentration (unverdünnt) haben für alle untersuchten Produkte keine toxischen Wirkungen mehr zur Folge, d.h. von den 10 eingesetzten Daphnien sind entweder alle bzw. zumindest 9 nach dem Test noch schwimmfähig. Die Eluate der Maximumphasen lösen in ihren Originalkonzentrationen z.T. sehr stark toxische Wirkungen aus. Als Beispiel werden durch das Originaleluat von Acrylharz 1 alle 10 eingesetzten Daphnien schwimmunfähig. In diesem Falle wird erst ein 17fach verdünntes Eluat (1 Teil Originaleluat auf 16 Teile Verdünnungswasser), entsprechend der Verdünnungsstufe $G_D = 17$ die unkritische Schwimmunfähigkeit von höchstens einer Daphnie unterschreiten. Die Ergebnisse zeigen jedoch auch deutlich, daß die Ergebnisse des Daphnien-Tests nur in relativ weitgesteckten Grenzen reproduzierbar sind. Im Falle von Acrylharz 1 sind z.B. in der Maximumphase vom 1. Versuch bei einer Verdünnungsstufe von 11 (1 Teil Originaleluat, 10 Teile Verdünnungswasser, hier mit Verdünnungsfaktor 1 : 10 erfaßt) noch 6 Daphnien schwimmunfähig. Im 2. Versuch können (identische Injektions- und

Elutionsverhältnisse) bei dieser Konzentration bereits keine toxischen Wirkungen mehr festgestellt werden.

Von der Tendenz her kann jedoch festgehalten werden, daß bis auf wenige Ausnahmen bereits bei einer Verdünnungsstufe von $G_D = 2$ die Toxizitätsschwelle von maximal einer schwimmunfähigen Daphnie unterschritten wird.

Beim Daphnien-Test wird auch deutlich, daß die Acrylharzprodukte, beruhend auf den viel höheren TOC-Gehalten in der Maximumphase (siehe Tabelle 1) stärkere Wirkungen zeigen als das Polyurethanprodukt, bei dem in allen Elutionsphasen keine toxische Wirkung festgestellt werden kann.

Protozoen-Test

Die Ergebnisse sind im Anhang 1, Abb. 1.1 bis 1.3 zusammengestellt.

Bei der Anlieferung der Eluate aus Gelsenkirchen, wo die Eluate gewonnen wurden, gingen bei dem Acrylharz 1 leider die Maximumphase des 1. Versuches und beim Acrylharz 2 die Abklingphase der langsamen Variante auf dem Transport kaputt und konnten nicht getestet werden.

Es wurden 2 aquatische (*Tetrahymena*) und 2 terrestrische (*Colpoda*) Protozoen untersucht. Auch bei diesen Testorganismen - sie stehen auch stellvertretend für Primärkonsumenten - werden bei allen vier eingesetzten Arten analoge Ergebnisse wie bei den Daphnien erhalten. Bei diesem Test wurden nur die Originaleluate untersucht und keine Verdünnungsreihen der Eluate analysiert.

Die Originaleluate zeigen in den Maximumphasen (Acrylharz 1, 2. Versuch, Max; Acrylharz 2, langsam, Max; Acrylharz 2, schnell, Max; Acrylharz 3, 1. Versuch, Max und Acrylharz 3, 2. Versuch, Max) eindeutig eine starke Hemmung der Vermehrungsfähigkeit (d.h. viel stärker als 20%). Die Ergebnisse sind jeweils für die untersuchten Protozoenarten unterschiedlich, im Extremfall werden alle Protozoen in ihrer Vermehrungsfähigkeit zu 100% gehemmt.

Im Falle der Polyurethane wird die Vermehrungsfähigkeit aller vier getesteten Protozoenarten im 1. Versuch nicht gehemmt (Hemmung < 20%). Die beobachtete leichte Hemmung in der Maximumphase des 2. Versuches (Wiederholung des 1. Versuchs unter identischen Injektionsbedingungen) könnte auf dem erhöhten TOC-Gehalt (1. Versuch 5,66 mg/l und 2. Versuch 13,33 mg/l) beruhen. Dies würde bedeuten, daß eine 2-fache Verdünnung ($G_P = 2$; 1 Teil Originaleluat auf 1 Teil Verdünnungswasser) bereits eine Unterschreitung der

Toxizitätsschwelle von 20% zur Folge hätte. Da jedoch auch das Eluat der Abklingphase im 2. Versuch eine vergleichbare leichte Hemmung der Vermehrung aufweist wie in der Maximumphase, obschon die TOC-Gehalte des 1. Versuches und des 2. Versuches praktisch gleich sind (1. Versuch 1,3 mg/l; 2. Versuch 1,4 mg/l), könnte diese nicht zu erwartende Toxizität darauf beruhen, daß die Zusammensetzung der Inhaltsstoffe des Eluates im 1. Versuch unterschiedlich ist zu derjenigen im 2. Eluat, zum anderen könnte das Ergebnis auch die bei Biotests größere Spannweite der „Untersuchungsergebnisse“ widerspiegeln.

Wie bei den Daphnien wird auch bei dem Einsatz von Protozoen deutlich, daß die Eluate der Acrylharze wesentlich toxischer wirken als diejenigen des Polyurethans.

Fisch-Test

Die Ergebnisse sind im Anhang 1, Tabelle 1.11 wiedergegeben.

Fische - sie gehören zu den Sekundärkonsumenten - wurden als höchstentwickelte Testorganismen im Rahmen dieses Vorhabens untersucht.

Einzig die Eluate der Maximumphasen der Acrylharze 1 und 3 weisen eindeutig toxische Wirkungen auf, d.h. es überleben alle 3 Fische erst nach einer 2-fachen Verdünnung. Im Falle von Acrylharz 3 tritt dieser Sachverhalt nur in einem der beiden Parallelversuchen auf. Im Parallelversuch kann keine toxische Wirkung nachgewiesen werden.

Alle Originaleluate der anderen Produkte weisen keine Toxizität auf.

Leuchtbakterien-Test

Die Ergebnisse sind in Anhang 1, Tabellen 1.12 bis 1.17 und den Abbildungen 1.4 bis 1.9 dargestellt.

Auch in diesem Falle gingen die Eluate der Maximumphase von Acrylharz 1 im 1. Versuch und der Abklingphase von Acrylharz 2 in der langsamen Variante auf dem Transport kaputt und konnten deswegen nicht untersucht werden.

Für die Testorganismen der Destruenten (bauen tote organische Reste ab) wurden u.a. Leuchtbakterien untersucht. Bei der Wachstumshemmung konnte bei keinem Produkt, weder in den Maximumphasen, noch in den Abklingphasen toxische Wirkungen (d.h. Hemmungen über 20%) festgestellt werden.

Bezüglich der Lumineszenz zeigten sämtliche Eluate (Maximumphase und Abklingphase) der Polyurethane keine Hemmwirkung an, d.h. alle Werte für die Lumineszenzhemmung

waren kleiner als 20%. Auch bei den Acrylharzprodukten wirken alle untersuchten Eluate der Abklingphasen nicht hemmend. Die Maximumphasen sind in ihrer lumineszenzhemmenden Wirkung sehr unterschiedlich. Beim Acrylharz 3 wirkt nur das Eluat des 1. Versuches leicht hemmend (2-fach verdünnt 28,7%) und dasjenige des 2. Versuches (Parallelversuch) zeigt nach 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 im Falle des Acrylharz 3 die konzentrierteste Lösung (das Originaleluat) mit 800 ml Originaleluat auf 1 l Lösung (die 200 ml sind Nährlösung) nicht gemessen wurde, muß aus Vorsorgegründen die Verdünnungsstufe für die Eluate der Maximumphase im 2. Versuch und der Abklingphasen mit 2 angegeben werden. Die Maximumphasen der Acrylharze 1 und 2 sind bezogen auf ihre unverdünnten Originaleluate toxisch.

Das Eluat von Acrylharz 2 in seiner langsamen Variante zeigt sogar erst nach einer 12-fachen Verdünnung ($G_L = 12$) eine unkritische Hemmung von unter 20%. Dieses Ergebnis spiegelt auch die Tatsache wieder, daß die Maximumphase der langsamen Variante der Rezeptur den höchsten TOC-Gehalt (von den Acrylharzen 1 und 2) von 1537,5 mg/l hat.

Ames-Test

Im Ames-Test werden weder in den Maximumphasen, noch in den Abklingphasen der Säuleneluat mutagene Potentiale festgestellt [6].

Nitrifikationshemmung

Die Ergebnisse sind im Anhang 1 in den Abbildungen 1.10 bis 1.12 dargestellt.

Auch in diesem Falle gingen die Eluate der Maximumphase von Acrylharz 1 im 1. Versuch und der Abklingphase von Acrylharz 2 in der langsamen Variante auf dem Transport kaputt und konnten deswegen nicht untersucht werden.

Die Nitrifikanten (Bakterien, die Ammoniumstickstoff zu Nitrat reduzieren) - auch sie zählen zu den Destruenten -, deren Wirksamkeit durch die Abnahme des Ammoniumstickstoffs erfaßt wird, reagieren bei Zugabe sämtlicher Eluate vergleichbar wie die Zugabe der Referenzlösung d.h. es kann keine wesentliche Hemmung der Nitrifikation nachgewiesen werden.

TTC-Test

Die Ergebnisse zu den TTC-Tests sind im Anhang 1 in den Abbildungen 1.13 bis 1.28 dargestellt.

In der Darstellung der Ergebnisse wird die Verdünnungsreihe durch Angabe der eingesetzten Menge Originaleluat in ml bezogen auf 10 ml Gesamtlösung angegeben. Die Ergebnisse der TTC-Tests sind relativ schwer auswert- und interpretierbar. Ganz allgemein kann gesagt werden, daß bei hohen Konzentrationen, d.h. niedrigen Verdünnungsstufen im Falle der Acrylharze die organischen Inhaltsstoffe der Eluate hemmend auf die Atmung der Klärschlambakterien wirken und im Falle des Polyurethans leicht fördernd. Die fördernde Wirkung ist unabhängig vom TOC-Gehalt, der Eluate festzustellen. Die hemmende Wirkung in den Eluaten von Acrylharz 1 wird nur in den jeweiligen Maximumphasen festgestellt, die Abklingphasen mit ihren relativ geringen TOC-Gehalten wirken weder hemmend noch fördernd. Im Falle der Acrylharze 2 wirken auch die Eluate der jeweiligen Abklingphasen mit ihren relativ geringen TOC-Gehalten leicht hemmend.

Pseudomonas-Test

Die Ergebnisse zur Hemmung der Zellvermehrung von *Pseudomonas putida* sind im Anhang 1 in der Tabelle 1.18 festgehalten.

Die Bakterien *Pseudomonas putida*, ebenfalls zu den Destruenten zählend, wirken bis auf die Ausnahmen der beiden Maximumphasen von Acrylharz 3 fördernd auf das Wachstum dieser Bakterien, d.h. die organischen Inhaltsstoffe der Eluate dienen den Bakterien als Futterquelle. Z. T. erst bei sehr hohen Verdünnungsstufen nimmt die fördernde Wirkung ab. Zur Bewertung der ökotoxischen Wirkungen trägt dieser Test wegen seiner fehlenden Trennschärfe und undifferenzierten Aussage wenig bei.

Biologischer Abbau

Die Ergebnisse dazu sind im Anhang 1 in den Abbildungen 1.29 bis 1.34 wiedergegeben. Alle untersuchten Eluate, d.h. ihre Inhaltsstoffe sind als leicht abbaubar einzustufen. 10 Tage nach Beginn des biologischen Abbaus (10% muß abgebaut sein) hat der Sauerstoffverbrauch den für die leichte Abbaubarkeit erforderlichen Anteil von 60% des theoretischen bzw. gemessenen Bedarfs überschritten. Wegen der geringen TOC-Gehalte in allen Abklingphasen der Acrylharzeluaten und den Maximum- und Abklingphasen der Polyurethaneluate - zu einem aussagekräftigen Abbautest ist im allgemeinen mindestens ein

TOC-Gehalt von 50 mg/l erforderlich - konnte mit diesen Eluaten kein Abbautest durchgeführt werden.

2.5 Zusammenfassung der Testergebnisse und Vorschlag zur Auswahl von relevanten Tests

Im folgenden soll versucht werden, in tabellarischer Form die Testergebnisse zusammenzufassen und daraus Schlüsse für deren Verwendbarkeit zu ziehen. Die Autoren sind sich bewußt, daß eine Auswahl von Biotests und die Bewertung der Ergebnisse aus den Biotests aufgrund der nicht so strengen Reproduzierbarkeit und der sehr schmalen Palette von organischen Produkten, die in diesem Forschungsvorhaben untersucht wurden, sehr schwierig ist. Aber da sich doch zumindest einige allgemeine Tendenzen herauskristallisieren, soll ein Vorschlag gewagt werden.

Tabelle 2: Bewertung der angewandten Test-Verfahren

Testmethode	Aussagefähigkeit	Beurteilung / Begründung
Grünalgen-Test	sehr sensible Wirkung	Test sollte wegen seiner Wirksamkeit bezüglich aller geprüften Produkte angewandt werden. Der Test betrifft als einziger einen Produzenten; der Test ist genormt.
Daphnien-Test	wirksam, aussagekräftig	Test sollte angewandt werden, Reproduzierbarkeit nicht besonders hoch. Die Daphnien sind „höhere“ Organismen und Vertreter der Primärkonsumenten, Test ist genormt.
Protozoen-Test	wirksam, aussagekräftig, rel. stark differenzierend	Test sollte aufgrund seiner Wirkung angewandt werden. Während des Tests werden mehrere Generationen von Testorganismen durchlaufen (Langzeitwirkung), es existiert eine Testvorschrift.
Fisch-Test	wirksam nur in hohen Konzentrationen und bei einem Produkt	Test sollte nur bei gewissen Rezepturen, wo Fischgifigkeiten zu erwarten sind, angewandt werden.
Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung	wirksam nur in hohen Konzentrationen und bei einem Produkt	Test sollte angewandt werden, Testorganismen sind Vertreter der Destruenten, der Test ist genormt.
Leuchtbakterien-Wachstumshemmung	nicht wirksam	Test sollte trotz seiner Unwirksamkeit in Kombination mit dem Lumineszenz-Test angewandt werden.
Ames/umu-Test	zeigte in keinem Eluat Wirksamkeit	Test sollte nur bei Verdacht auf mutagenes Potential gemacht werden. Die Tests können alternativ angewendet werden. Für den Ames-Test existiert eine Vorschrift, der umu-Test ist genormt.
Nitrifikations-Test	nicht wirksam	Keine Differenzierung möglich, Test verworfen.
TTC-Test	wirksam, aber sehr undifferenziertes Erscheinungsbild	Keine Differenzierung möglich, Test verworfen.
Pseudomonas-Test	wirksam, aber bis auf eine Ausnahme nur fördernd wirkend	Keine Differenzierung möglich, Test verworfen.
Biologischer Abbau	aussagekräftig	Test sollte als wichtiges Kriterium gemacht werden.

3 Bewertungsansätze für die Menge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe

Im Folgenden sollen die experimentellen Ergebnisse aus den Säulenversuchen, d.h. die über diese Versuche gewonnenen Mengen an eluierbaren organischen Inhaltsstoffen im Hinblick auf ihre ökologische Relevanz, bewertet werden. Dabei stellt sich die grundlegende Frage, wie die experimentellen Ergebnisse aus den Säulenversuchen auf reale Bauvorhaben zu übertragen sind.

Alle Ansätze, die eluierbaren Mengen aus dem Injektionskörper aus dem Säulenversuch - die Geometrie und die Maße des Injektionskörpers sind bekannt - über das Volumen bzw. die Oberfläche hochzurechnen, scheitern daran, daß für die Übertragungsfunktion eine experimentelle Basis fehlt. Außer der Menge des Injektionsmaterials und dessen Volumen und Oberfläche ist als weitere sehr wichtige Einflußgröße die Fließgeschwindigkeit des eluierenden Wassers zu berücksichtigen. Im Idealfall müßten also TOC-Messungen für verschiedene Mengen an injiziertem Produkt und für verschiedene Fließgeschwindigkeiten des eluierenden Wasser vorliegen, um eine Übertragungsfunktion festzulegen.

In Anbetracht dieser Situation soll durch die vergleichende Auswertung der Ergebnisse aus dem einzig vorliegenden und auswertbaren Versuchspaar eine Festlegung eines Bewertungsmaßstabes auf der Basis des Säulenversuches vorgenommen werden.

Es wurde im Rahmen des vorliegenden Projektes eine Polyurethan-Rezeptur in die Säule injiziert und in einem Vergleichsversuch dieselbe Rezeptur im Rahmen eines anderen DIBt-Projektes des IWS in der sog. Bochumer Versuchseinrichtung (BV) injiziert. Diese Versuche unterscheiden sich im wesentlichen im Maßstab, in der injizierten Menge (Säule: 1 l; BV: 20 l) und in der Fließgeschwindigkeit des eluierenden Wassers (Säule: ca. 5 m pro Tag; BV: ca. 0,8 m pro Tag). In der sog. Bochumer Versuchseinrichtung wird das Produkt in einen mit Sand gefüllten, wasserdurchströmten Metallzylinder von 1,2 m Höhe und 1 m Durchmesser injiziert. Zum Vergleich wurden in der Tabelle 2 auch die Ergebnisse zur Injektion des Acrylharzsystems zur Rohrsanierung aufgeführt.

Der Vergleich der beiden Versuche bezüglich der TOC-Gehalte in den Eluaten soll zur Findung eines Maßstabes für die Bewertung dienen. Dies soll in den folgenden drei Schritten geschehen:

1. Es werden die Gesamtmenge der eluierbaren organischen Inhaltsstoffe (als TOC ausgedrückt) durch Aufsummieren der Teilmengen aus den einzelnen Eluatn berechnet.
2. Da diese eluierten Stoffe - es sind die nicht ausreagierten bzw. auspolymerisierten wasserlöslichen Ausgangsstoffe - über einen relativ kurzen Zeitraum einmalig abgegeben werden, wird eine zeitliche Mittelung dieser Menge über den untersuchten Elutionszeitraum vorgenommen.
3. Der auf 1 Liter (Säulenversuch) injiziertes Produkt bezogene zeitliche Mittelwert des TOC-Gehaltes aus dem Säulenversuch und der BV wird verglichen und ein Maß für deren Verhältnis festgelegt. Als Bezugswert wird für den BV-Versuch ein TOC-Gehalt von 2 mg/l, der etwa dem TOC-Gehalt des umströmenden Wassers entspricht, festgelegt.

Am Beispiel der Polyurethan-Rezeptur im Säulen-Versuch (siehe Anhang 1, Tab. 1.1 und 1.2) sollen die Einzelschritte des Verfahrens dargestellt werden.

1. Schritt

Da im Falle der Säulenelution des Polyurethans der Ausgangswert des TOC für das durchströmende Wasser bereits nach 24 Stunden (1. Versuch 1,3 mg/l; 2. Versuch 1,5 mg/l) erreicht ist, wird als TOC-Gesamtmenge nur die in diesem Zeitraum eluierte Menge berechnet. Für die ersten 25 Liter (kontinuierliche Beprobung von 9.00 Uhr bis 15.00 Uhr, also während 6 Stunden) können die Einzelmengen aus den 25 Litern aufsummiert werden. Für die Zeit von 15.00 Uhr bis zum nächsten Tag um 9.00 Uhr, also während insgesamt 18 Stunden wird angenommen, daß der TOC-Wert von anfänglich 2,9 mg/l (Messung im 25. Liter) linear auf 1,3 mg/l (Messung am nächsten Tag um 9.00 Uhr) absinkt und also im Durchschnitt 2,1 mg/l an TOC eluiert werden. Die insgesamt eluierte TOC-Menge ist dann also als Elutionsdauer x Volumenstrom x durchschnittlicher Gehalt, zu berechnen. Im Beispiel: $18 \text{ h} \times 4 \text{ l/h} \times 2,1 \text{ mg/l} = 152,2 \text{ mg}$.

Im Falle der Versuche aus der Bochumer Versuchseinrichtung (BV) (Ergebnisse dargestellt in [3]) wurden jeweils die TOC-Mengen solange aufsummiert (auch hier soll linear interpoliert werden zwischen den „TOC-Meßpunkten“), bis der TOC-Gehalt im Eluat einen Wert von $\leq 2 \text{ mg/l}$ erreicht hat.

Zum Vergleich sind auch die TOC-Mengen für das Acrylharz-System 3 aus dem Säulenversuch aufgelistet (siehe Anhang 1, Tabellen 1.5 und 1.6). In diesem Falle wurden - weil der TOC-Gehalt erst nach 168 Stunden (7 Tagen) auf den Ausgangsgehalt des eluierenden

Wassers abgeklungen war (im 1. Versuch auf 2 mg/l und im 2. Versuch auf 3,4 mg/l), die TOC-Gesamtmenge für 168 Stunden berechnet. Der Anteil der TOC-Menge während der ersten 24 Stunden der Elution entspricht im Falle von Acrylharz 3 immerhin etwa 80% der Gesamtmenge des TOC.

Tabelle 3: Eluierte TOC-Mengen im Vergleich

	Versuch					
	Polyurethan Säule		Polyurethan BV		Acrylharz 3 Säule	
	1. Versuch	2. Versuch	1. Versuch	2. Versuch	1. Versuch	2. Versuch
Summe TOC in mg	232,8	496,8	1245,6	1661,4	26776,3	22168,8
Menge inj. Material in l	1	1	20	20	1	1
Menge TOC pro l inj. Material in mg	232,8	496,8	62,3	83,1	26776,3	22168,8
Menge Eluat in l	97	97	194	454	676	675
Elutionsdauer in h	24	24	34	48	164	164
TOC pro l Eluat und pro l inj. Material	2,4	5,1	0,3	0,2	39,6	32,8

2. Schritt

Im unteren Teil der obigen Tabelle sind in den Zeilen 3 der Mittelwert an TOC pro Liter injizierte Masse und in der 6. Zeile der über die Elutionszeit gemittelte TOC-Gehalt berechnet.

3. Schritt

Da im Säulenversuch mit einer Wasserfließgeschwindigkeit von etwa 5 m/Tag das injizierte Produkt nur wenig Zeit zum Ausreagieren hat und sich wegen des laufend neu zugeführten Wassers kein Konzentrationsgleichgewicht einstellen kann, ist die Menge der eluierbaren organischen Anteile unrealistisch hoch. Es handelt sich um einen „worst case“. Dies spiegelt sich auch in der Tatsache wieder, daß die pro Liter injiziertes Produkt be-

stimmte TOC-Menge im Falle der Bochumer Versuchseinrichtung mit einer Fließgeschwindigkeit von etwa 0,75 m/Tag wesentlich geringer ist (siehe Zeil 3 in Tabelle 2).

Geht man nun davon aus, daß eine TOC-Belastung von 2 mg/l bezogen auf 1 l injiziertes Produkt im Falle der Bochumer Versuchseinrichtung aus ökologischen Gründen akzeptabel ist, und daß der entsprechende TOC-Gehalt im Säulenversuch maximal fünfmal größer sein darf, so würden im Säulenversuch 10 mg/l pro Liter injiziertes Material akzeptiert werden können.

Von einer etwas anderen Seite betrachtet würde dies bedeuten, daß bei einem akzeptablen TOC-Gehalt von 10 mg/l nach einer Elutionsdauer von 24 Stunden und einer Eluatmenge von 97 l im Säulenversuch etwa 1.000 mg TOC aus 1 l Injektionsgut eluiert werden. Unter der Annahme, daß 1 l Injektionsgut etwa 1 kg entspricht, würde diese Menge TOC 1‰ (1 Promille) des Injektionsgutes entsprechen. Es wäre sicherlich unrealistisch, zu erwarten, daß weniger als 1‰ der Stoffe des Injektionsmittels in der Praxis nicht zur Reaktion kämen und also potentiell im eluierenden Wasser auftreten könnten.

Folgt man diesen Überlegungen, so wäre nur die Polyurethan-Rezeptur aus ökologischen Gründen akzeptabel und alle drei in der vorliegenden Arbeit erfaßten Acrylharz-Systeme würden nicht akzeptiert werden können.

Da bei größeren Injektionsmengen auch die eluierbare Menge „proportional“ steigt - wie, konnte in der vorliegenden Arbeit nicht geklärt werden - müssen die ökologischen Risiken nach dem heutigen Stand der Erkenntnis bei größeren Injektionsmengen (z.B. ab 0,5 Tonnen) über eine Einzelfallentscheidung beurteilt werden.

4 Anwendung der Ergebnisse

Da die Bearbeiter des vorliegenden Forschungsvorhabens durch ihre Mitarbeit in die Projektgruppe „Boden- und Grundwassergefährdung durch Baustoffe - Analyse, Bewertung“ am DIBt eingebunden waren, konnten die Ergebnisse aus diesem Forschungsvorhaben in das dort erarbeitete „Merkblatt zur Bewertung der Boden- und Grundwassergefährdung durch Bauprodukte“ [2] einfließen.

5 Literatur

- [1] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt):
Anforderungen an die Umweltverträglichkeit von Produkten zur Abwasserrohr-
sanierung, 1992
- [2] DIBt: Merkblatt zur Bewertung der Boden- und Grundwassergefährdung durch
Bauprodukte, letzter Stand 12.11.1998
- [3] Grunder, H. Th.; Lühr, P.-P. im Auftrag des DIBt:
Vergleichende Versuche zur Eluatgewinnung für die ökologische Beurteilung von
Rohrmuffensanierungsprodukten, Schlußbericht Dezember 1998
- [4] Filip, Z. (Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene,
Außenstelle Langen): Schriftliche Stellungnahme vom 17.1.1997
- [5] Schößner, H.: Injektionen in den Baugrund-Anforderungen und Prüfungen aus
wasserhygienischer Sicht, Wasser und Boden 46, S. 62-64, 1994
- [6] Kalnowski, G.: Untersuchungsberichte zu den Ames-Tests,
Fachgebiet Hygiene der Technischen Universität Berlin, 1988

Anhang 1

Versuchsergebnisse

Darstellung der Ergebnisse, 1. Teil: Versuchsverlauf

Tabellen 1.1 bis 1.8

	Seite
Tab. 1.1: Versuchsverlauf, Acrylharz 1, 1. Versuch	4
Tab. 1.2: Versuchsverlauf, Acrylharz 1, 2. Versuch	5
Tab. 1.3: Versuchsverlauf, Acrylharz 2, langsam	6
Tab. 1.4: Versuchsverlauf, Acrylharz 2, schnell	7
Tab. 1.5: Versuchsverlauf, Acrylharz 3, 1. Versuch	8
Tab. 1.6: Versuchsverlauf, Acrylharz 3, 2. Versuch	9
Tab. 1.7: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch	10
Tab. 1.8: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch	11

Darstellung der Ergebnisse, 2. Teil: Biotests und Bestimmung der biologischen Abbaubarkeit

Tabellen 1.9 bis 1.18 und Abb. 1.1 bis 1.34

	Seite
Tab. 1.9: Grünalgentoxizität, Acrylharz 1, 2, 3 und Polyurethan	12
Tab. 1.10: Daphnientoxizität, Acrylharz 1, 2, 3 und Polyurethan	13
Tab. 1.11: Fischtoxizität, Acrylharz 1, 2, 3 und Polyurethan	13
Abb. 1.1: Protozoen-Test, Acrylharz 1 und 2	14
Abb. 1.2: Protozoen-Test, Acrylharz 3, 1. und 2. Versuch	15
Abb. 1.3: Protozoen-Test, Polyurethan, 1. und 2. Versuch	16
Tab. 1.12: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz 1 und 2	17
Abb. 1.4: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz 1 und 2	17
Tab. 1.13: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz 1 und 2	18
Abb. 1.5: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz 1 und 2	18
Tab. 1.14: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz 3	19
Abb. 1.6: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz 3	19
Tab. 1.15: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz 3	20
Abb. 1.7: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz 3	20
Tab. 1.16: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan	21
Abb. 1.8: Leuchtbakterien-Lumineszenzhemmung, Polyurethan	21
Tab. 1.17: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan	22
Abb. 1.9: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Polyurethan	22
Abb. 1.10: Nitrifikationshemmung, Acrylharz 1 und 2	23
Abb. 1.11: Nitrifikationshemmung, Acrylharz 3, 1. und 2. Versuch	24
Abb. 1.12: Nitrifikationshemmung, Polyurethan, 1. und 2. Versuch	25
Abb. 1.13: TTC-Test, Acrylharz 1, 1. Versuch, Maximumphase	26
Abb. 1.14: TTC-Test, Acrylharz 1, 1. Versuch, Abklingphase	27
Abb. 1.15: TTC-Test, Acrylharz 1, 2. Versuch, Maximumphase	28
Abb. 1.16: TTC-Test, Acrylharz 1, 2. Versuch, Abklingphase	29
Abb. 1.17: TTC-Test, Acrylharz 2, langsame Variante, Maximumphase	30
Abb. 1.18: TTC-Test, Acrylharz 2, langsame Variante, Abklingphase	31
Abb. 1.19: TTC-Test, Acrylharz 2, schnelle Variante, Maximumphase	32
Abb. 1.20: TTC-Test, Acrylharz 2, schnelle Variante, Abklingphase	33

Abb. 1.21: TTC-Test, Acrylharz 3, 1. Versuch, Maximumphase	34
Abb. 1.22: TTC-Test, Acrylharz 3, 1. Versuch, Abklingphase	35
Abb. 1.23: TTC-Test, Acrylharz 3, 2. Versuch, Maximumphase	36
Abb. 1.24: TTC-Test, Acrylharz 3, 2. Versuch, Abklingphase	37
Abb. 1.25: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Maximumphase	38
Abb. 1.26: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Abklingphase	39
Abb. 1.27: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Maximumphase	40
Abb. 1.28: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Abklingphase	41
Tab. 1.18: Pseudomonas-Zellvermehrungstest, Acrylharz 1, 2, 3 und Polyurethan	42
Abb. 1.29: Biologischer Abbau, Acrylharz 1, 1. Versuch, Maximumphase	43
Abb. 1.30: Biologischer Abbau, Acrylharz 1, 2. Versuch, Maximumphase	44
Abb. 1.31: Biol. Abbau, Acrylharz 2, langsame Variante, Maximumphase	45
Abb. 1.32: Biol. Abbau, Acrylharz 2, schnelle Variante, Maximumphase	46
Abb. 1.33: Biol. Abbau, Acrylharz 3, 1. Versuch, Maximumphase	47
Abb. 1.34: Biol. Abbau, Acrylharz 3, 2. Versuch, Maximumphase	48

Tabelle 1.1: Versuchsverlauf, Acrylharz 1, 1. Versuch

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	06.05.98	7,9	410	1,2
1	06.05.98/09:46	7,9	412	1,2
2	06.05.98/09:47	8,0	412	1,3
3	06.05.98/10:02	8,0	413	1,5
4	06.05.98/10:17	8,0	412	1,3
5	06.05.98/10:33	8,0	412	2,0
6	06.05.98/10:48	8,0	412	1,5
7	06.05.98/11:03	8,0	414	4,1
8	06.05.98/11:16	7,9	415	48
9	06.05.98/11:30	7,8	428	260
10	06.05.98/11:43	7,7	473	740
11	06.05.98/11:58	7,7	499	1050
12	06.05.98/12:12	7,8	519	900
13	06.05.98/12:26	7,9	506	740
14	06.05.98/12:40	8,1	475	360
15	06.05.98/12:55	8,2	458	150
16	06.05.98/13:11	8,2	451	89
17	06.05.98/13:26	8,2	446	56
18	06.05.98/13:46	8,1	443	41
19	06.05.98/13:58	7,9	441	27
20	06.05.98/14:10	8,1	440	22
21	06.05.98/14:20	8,1	438	15
22	06.05.98/14:36	8,1	438	14
23	06.05.98/14:52	7,3	438	14
24	06.05.98/15:08	7,2	438	11
25	06.05.98/15:21	7,4	438	8,0
Vergleichswasser	07.05.98	7,9	413	1,1
26	07.05.98	7,9	425	7,0
Vergleichswasser	08.05.98	8,0	418	1,1
27	08.05.98	8,0	426	5,6
Vergleichswasser	09.05.98	8,0	423	1,1
28	09.05.98	8,0	426	3,6
Vergleichswasser	11.05.98	8,0	420	1,1
29	11.05.98	7,9	423	3,5
Vergleichswasser	13.05.98	7,9	428	1,1
30	13.05.98	7,9	428	5,8
Vergleichswasser	20.05.98	8,0	469	1,2
31	20.05.98	7,9	466	2,4

Tabelle 1.2: Versuchsverlauf, Acrylharz 1, 2. Versuch

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	06.05.98	8,0	413	1,0
1	06.05.98/10:09	7,9	410	1,1
2	06.05.98/10:10	7,9	409	1,2
3	06.05.98/10:26	8,0	411	1,3
4	06.05.98/10:42	7,9	412	1,3
5	06.05.98/10:54	8,0	412	3,3
6	06.05.98/11:06	8,0	412	29
7	06.05.98/11:21	7,8	426	280
8	06.05.98/11:37	7,7	487	810
9	06.05.98/11:53	7,8	512	1050
10	06.05.98/12:08	8,0	526	1150
11	06.05.98/12:25	8,1	505	710
12	06.05.98/12:42	8,2	466	250
13	06.05.98/12:54	8,2	456	90
14	06.05.98/13:08	8,2	450	60
15	06.05.98/13:23	8,1	445	28
16	06.05.98/13:40	8,1	445	24
17	06.05.98/13:50	8,1	443	18
18	06.05.98/14:04	7,2	441	14
19	06.05.98/14:17	7,3	441	15
20	06.05.98/14:27	7,3	437	13
21	06.05.98/14:40	7,4	441	12
22	06.05.98/14:53	7,5	440	12
23	06.05.98/15:08	7,5	437	11
24	06.05.98/15:25	7,5	436	11
25	06.05.98/15:46	7,7	435	11
Vergleichswasser	07.05.98	7,9	413	1,1
26	07.05.98	7,9	422	4,8
Vergleichswasser	08.05.98	8,0	418	1,1
27	08.05.98	7,9	423	3,9
Vergleichswasser	09.05.98	8,0	423	1,1
28	09.05.98	7,9	426	2,6
Vergleichswasser	11.05.98	8,0	420	1,1
29	11.05.98	8,0	421	2,4
Vergleichswasser	13.05.98	7,9	428	1,1
30	13.05.98	7,8	425	3,1
Vergleichswasser	20.05.98	8,0	469	1,2
31	20.05.98	7,8	469	2,5

Tabelle 1.3: Versuchsverlauf, Acrylharz 2, langsam

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	06.05.98	8,0	412	1,4
1	06.05.98/11:14	8,0	411	1,4
2	06.05.98/11:15	8,0	411	1,3
3	06.05.98/11:20	8,0	410	1,2
4	06.05.98/11:40	8,0	411	1,3
5	06.05.98/11:56	8,0	411	1,4
6	06.05.98/12:08	8,0	414	1,5
7	06.05.98/12:18	8,0	451	8,3
8	06.05.98/12:32	7,9	716	200
9	06.05.98/12:47	7,7	1683	730
10	06.05.98/13:02	7,6	3100	1600
11	06.05.98/13:15	7,7	3540	1800
12	06.05.98/13:30	7,8	3090	1550
13	06.05.98/13:45	7,9	2320	1200
14	06.05.98/14:02	8,0	1810	740
15	06.05.98/14:18	8,1	1380	610
16	06.05.98/14:35	8,1	1012	360
17	06.05.98/14:55	8,2	812	200
18	06.05.98/15:08	7,4	688	145
19	06.05.98/15:26	7,5	611	90
20	06.05.98/15:43	7,5	565	48
21	06.05.98/15:58	7,5	535	34
22	06.05.98/16:17	7,5	513	30
23	06.05.98/16:32	7,5	496	28
24	06.05.98/16:48	7,7	482	25
25	06.05.98/17:04	7,5	477	24
Vergleichswasser	07.05.98	7,9	413	1,1
26	07.05.98	7,8	430	5
Vergleichswasser	08.05.98	8,0	418	1,1
27	08.05.98	7,9	425	2,9
Vergleichswasser	09.05.98	8,0	423	1,1
28	09.05.98	7,6	429	2,6
Vergleichswasser	11.05.98	8,0	420	1,1
29	11.05.98	7,9	425	2,7
Vergleichswasser	13.05.98	7,9	428	1,1
30	13.05.98	7,9	426	1,6
Vergleichswasser	20.05.98	8,0	469	1,2
31	20.05.98	8,0	467	1,9

Tabelle 1.4: Versuchsverlauf, Acrylharz 2, schnell

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	TOC mg/l
Vergleichswasser	06.05.98	8,0	412	1,2
1	06.05.98/11:27	7,9	413	1,4
2	06.05.98/11:29	7,9	412	1,1
3	06.05.98/11:44	7,9	412	1,3
4	06.05.98/11:59	8,0	413	1,2
5	06.05.98/12:15	8,0	411	1,2
6	06.05.98/12:32	8,0	411	1,2
7	06.05.98/12:48	7,9	421	1,5
8	06.05.98/12:59	7,8	479	16
9	06.05.98/13:15	7,6	600	72
10	06.05.98/13:33	7,9	740	240
11	06.05.98/13:47	7,8	839	200
12	06.05.98/14:00	7,8	904	260
13	06.05.98/14:10	7,8	835	200
14	06.05.98/14:30	7,8	844	180
15	06.05.98/14:33	7,3	752	130
16	06.05.98/14:47	7,4	630	100
17	06.05.98/15:00	7,4	582	54
18	06.05.98/15:15	7,4	547	38
19	06.05.98/15:31	7,3	528	39
20	06.05.98/15:47	7,2	518	38
21	06.05.98/16:12	7,3	505	33
22	06.05.98/16:23	7,3	497	31
23	06.05.98/16:33	7,3	489	26
24	06.05.98/16:49	7,3	486	26
25	06.05.98/17:08	7,4	480	24
Vergleichswasser	07.05.98	7,9	413	1,1
26	07.05.98	7,6	472	9,8
Vergleichswasser	08.05.98	8,0	418	1,1
27	08.05.98	7,8	453	8,4
Vergleichswasser	09.05.98	8,0	423	1,1
28	09.05.98	7,9	444	6,1
Vergleichswasser	11.05.98	8,0	420	1,1
29	11.05.98	7,7	485	10
Vergleichswasser	13.05.98	7,9	428	1,1
30	13.05.98	7,8	451	3,1
Vergleichswasser	20.05.98	8,0	469	1,2
31	20.05.98	8,0	470	2

Tabelle 1.5: Versuchsverlauf, Acrylharz 3, 1. Versuch

Fraktion	Stunden nach Versuchsbeginn	pH-Wert	elektr. Leitfähigkeit $\mu\text{S}/\text{cm}$	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

Tabelle 1.6: Versuchsverlauf, Acrylharz 3, 2. Versuch

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

Tabelle 1.7: Versuchsverlauf, Polyurethan, 1. Versuch

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

Tabelle 1.8: Versuchsverlauf, Polyurethan, 2. Versuch

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

Tab. 1.9: Grünalgentoxizität

Verdünnungsfaktor	Hemmwirkung in %																			
	Acrylharz 1					Acrylharz 2					Acrylharz 3					Polyurethan				
	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)			langsame Variante		schnelle Variante			1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)			1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)		
	Max	Abk	Max	Abk	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	
1	99	0	81	0	0	62	0	76	0	97	0	>90	0	38	0	52	0			
2	84	0	70	0	0	59	0	71	0	97	0	>90	0	20	0	26	0			
10	42		0		42		0			95	0	>90	0	0		0				
25	<20				4					95		90								
50										95		90								
75										94		87								
100										80		76								
250										58		54								
500										54		42								
1.000										33		8								
2.000										0		-4								
G-Werte	(17)*	1	(4)	1	(13)	1	(5)	1	(1400)	1	(800)	1	(3)	1	(3)	1	(3)	1	1	

* Werte in Klammern durch Interpolation gewonnen

Tab. 1.10: Daphnientoxizität

Verdünnungsfaktor	Anzahl der schwimmfähigen Daphnien von 10, die Messungen wurden jeweils wiederholt													
	Acrylharz 1			Acrylharz 2			Acrylharz 3			Polyurethan				
	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)	langsame Variante		schnelle Variante	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)		
	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk		
Original	10; 10	0; 0	9; 9	0; 1	5; 2	0; 1	1; 0	0; 0	6; 6	0; 0	0; 0	0; 0	1; 1	0; 0
1 : 1	10; 10		3; 3		2; 1				0; 0	0; 0	0; 0		1; 0	
1 : 10	6; 6		0; 0		0; 0				0; 0	0; 0	0; 0		0; 0	
1 : 20	0; 0		0; 0											
G-Werte	(17)*	1	(10)	1	(10)	1	1	1	2	1	1	1	1	1

* Werte in Klammern durch Interpolation gewonnen

Tab. 1.11: Fischtoxizität

Gf-Wert, d.h. Verdünnungsstufe des Testansatzes, wo alle Fische überleben											
Acrylharz 1			Acrylharz 2			Acrylharz 3			Polyurethan		
1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)	langsame Variante		schnelle Variante	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)	1. Versuch		2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)
Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk	Max	Abk
2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1

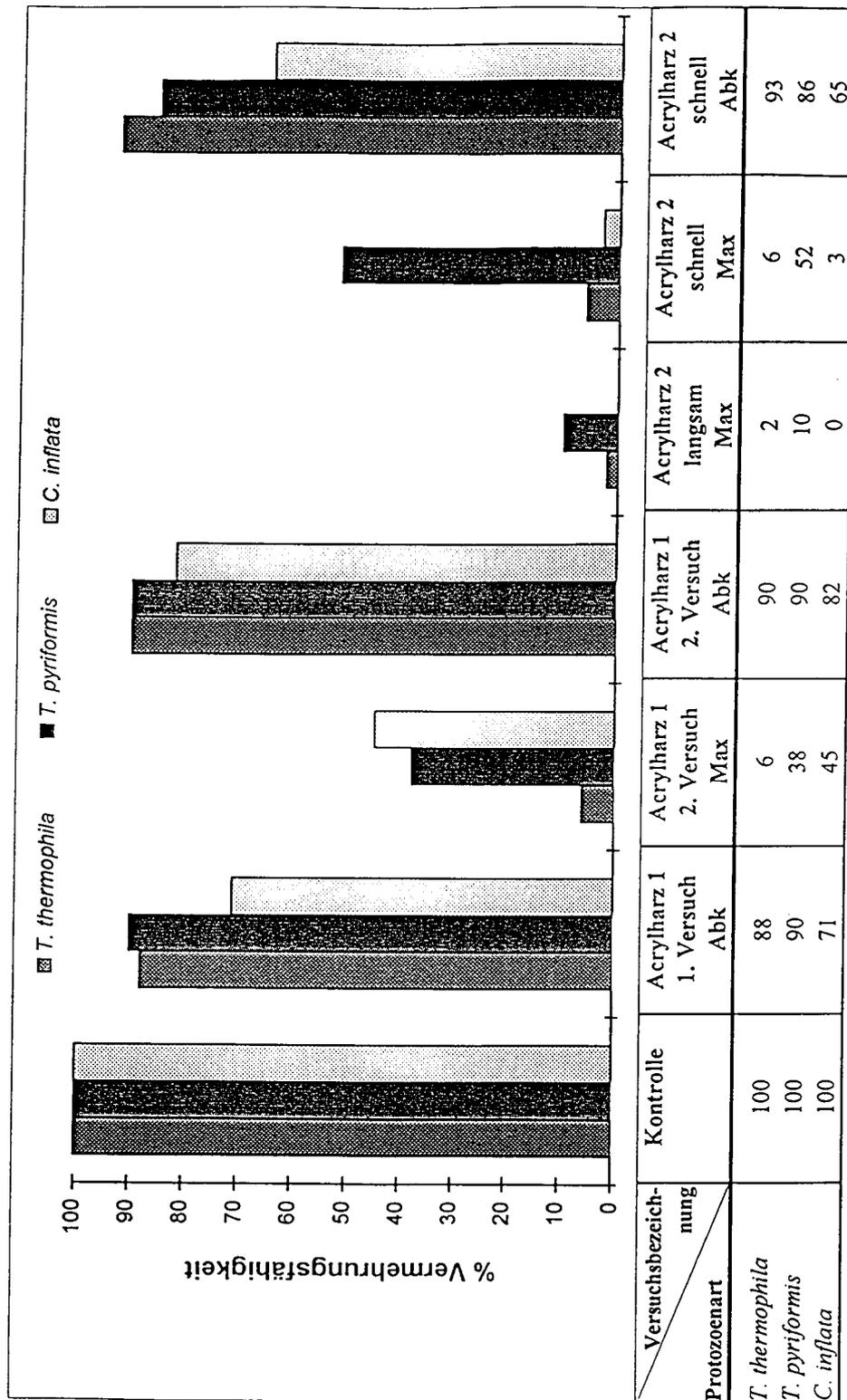


Abb. 1.1: Protozoen-Test, Acrylharz 1 und 2

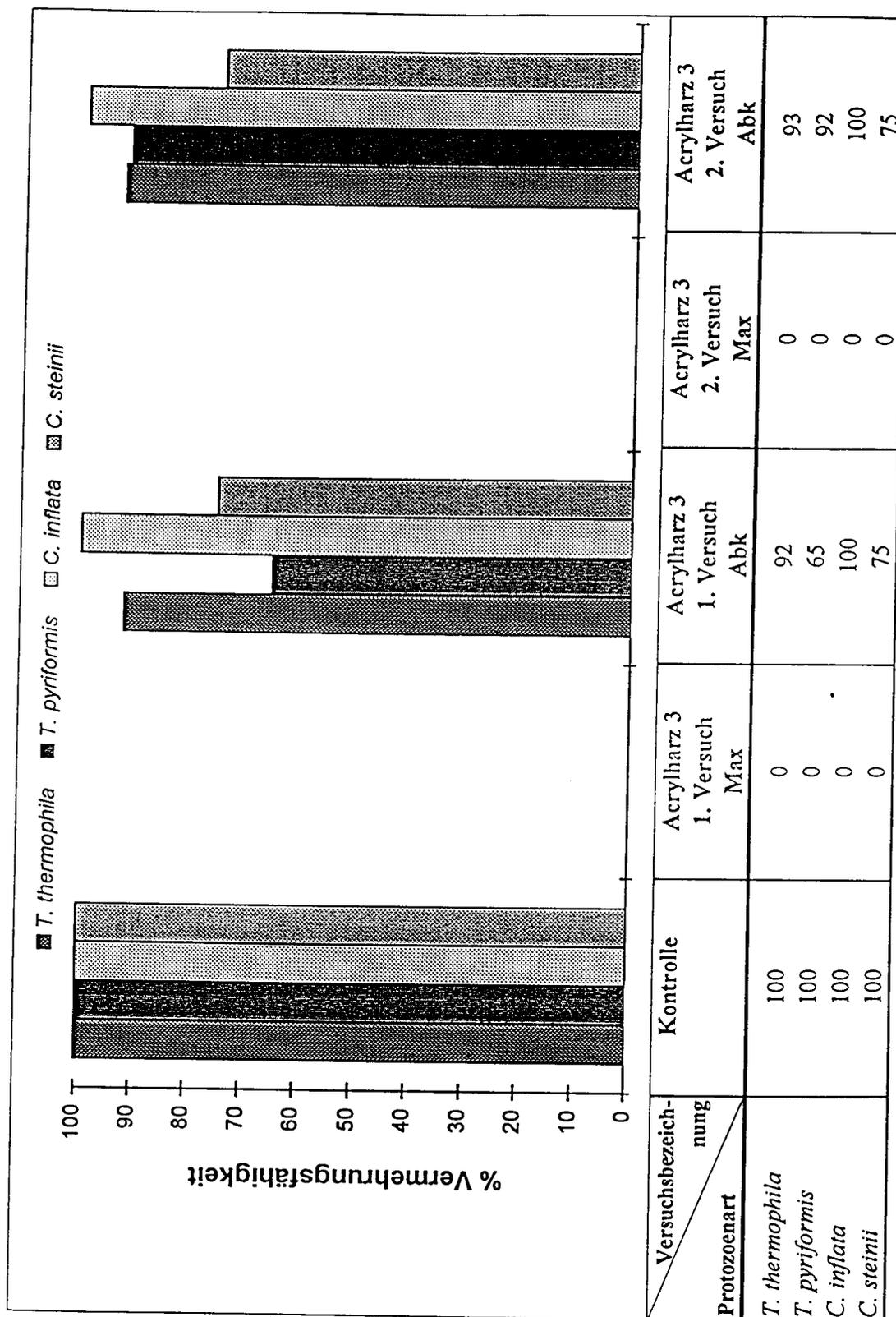


Abb. 1.2: Protozoen-Test, Acrylharz 3, 1. und 2. Versuch

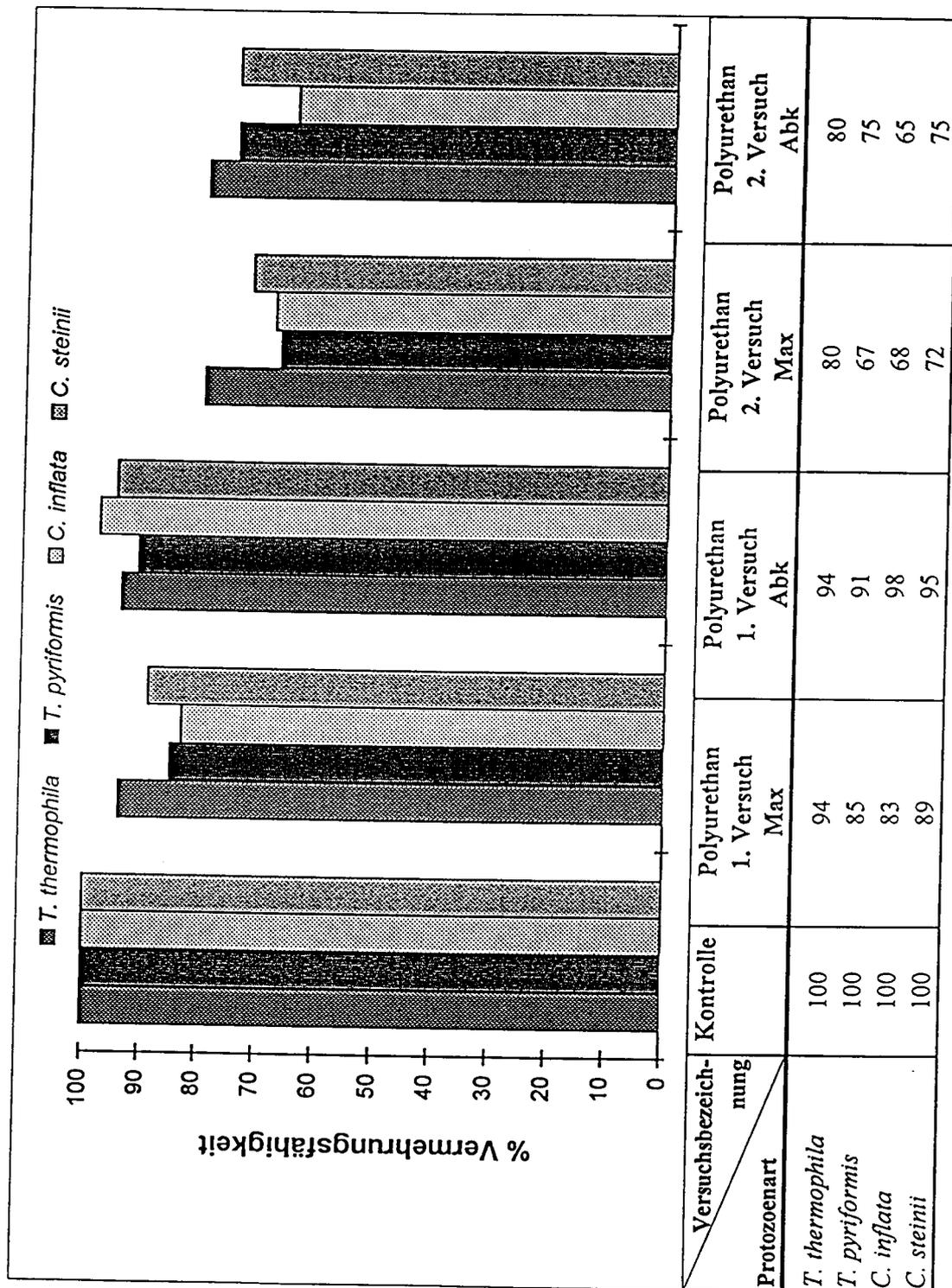


Abb. 1.3: Protozoen-Test, Polyurethan, 1. und 2. Versuch

Tabelle 1.12: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung
Acrylharz 1 und 2

Konzentration ml/l	Lumineszenzhemmung					
	Acrylharz 1 1. V. Abk	Acrylharz 1 2. V. Max	Acrylharz 1 2. V. Abk	Acrylharz 2 langs. Max	Acrylharz 2 schnell, Max	Acrylharz 2 schnell, Abk
83,33	8,24%	0,95%	4,55%	18,69%	9,60%	1,10%
125,00	10,02%	0,74%	3,66%	25,84%	10,15%	1,50%
166,67	7,62%	0,54%	3,84%	29,17%	12,38%	1,70%
250,00	9,04%	3,60%	3,60%	35,58%	13,76%	0,73%
333,33	11,66%	5,69%	4,82%	42,11%	17,49%	1,83%
500,00	13,35%	17,33%	9,54%	50,84%	26,44%	6,43%
800,00	19,30%	28,30%	12,86%	57,80%	38,80%	10,30%
EC ₂₀	n.e.	670	n.e.	80	318	n.e.
EC ₅₀	n.e.	n.e.	n.e.	518	n.e.	n.e.
G _L	1	2	1	12	3	1

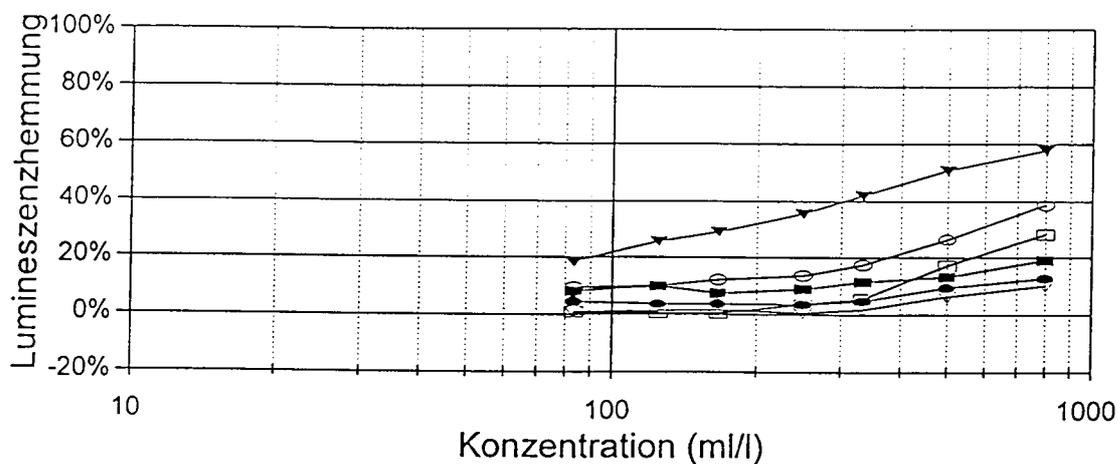


Abb. 1.4: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung, Acrylharz 1 und 2

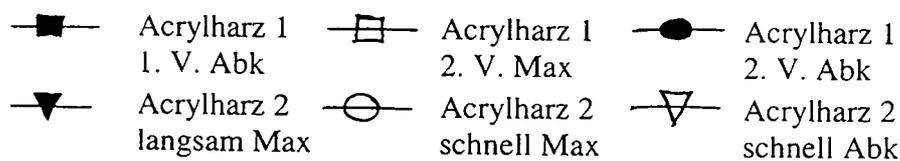


Tabelle 1.13: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung
Acrylharz 1 und 2

Konzentration ml/l	Wachstumshemmung					
	Acrylharz 1 1. V. Abk	Acrylharz 1 2. V. Max	Acrylharz 1 2. V. Abk	Acrylharz 2 langs. Max	Acrylharz 2 schnell, Max	Acrylharz 2 schnell, Abk
15,60	-2,58%	3,25%	-0,68%	2,35%	-1,38%	-4,23%
31,25	-1,06%	11,49%	2,68%	2,47%	-0,34%	-2,56%
62,50	-1,60%	10,14%	5,75%	-5,67%	-2,93%	-4,28%
125,00	2,01%	12,16%	7,04%	-2,42%	-7,42%	0,12%
250,00	-5,01%	5,56%	6,03%	0,22%	-3,38%	1,81%
500,00	-1,86%	4,88%	6,92%	14,75%	-7,08%	0,19%
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 _{LW}	2 (1)	2 (1)	2 (1)	2	2 (1)	2 (1)

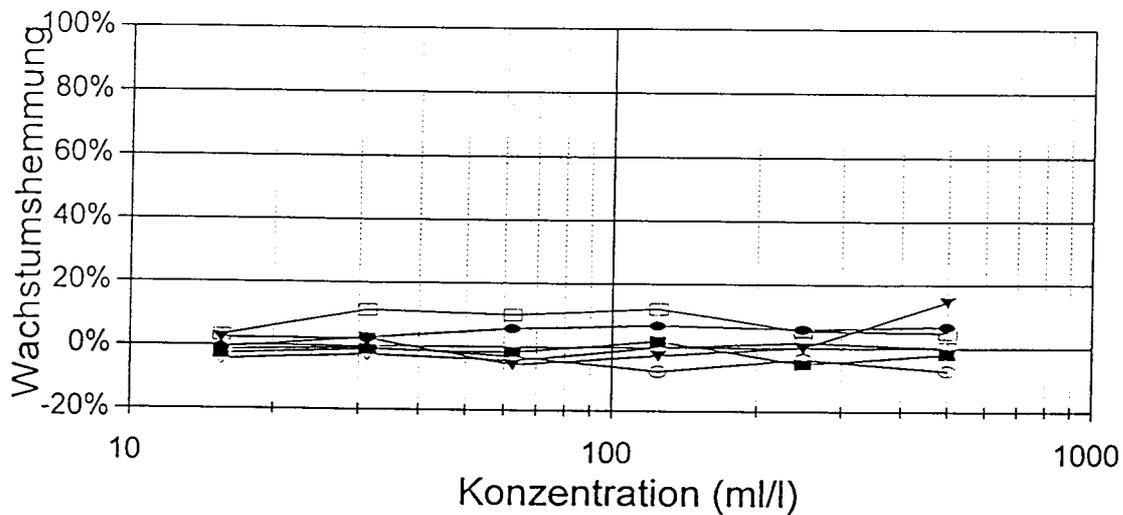


Abb. 1.5: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung, Acrylharz 1 und 2

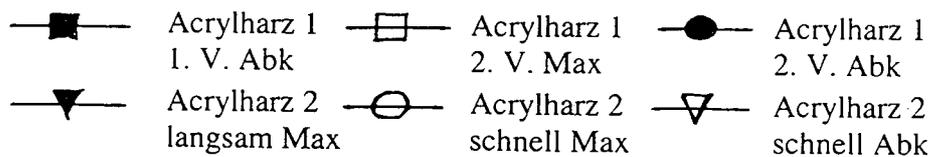


Tabelle 1.14: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung
Acrylharz 3

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)

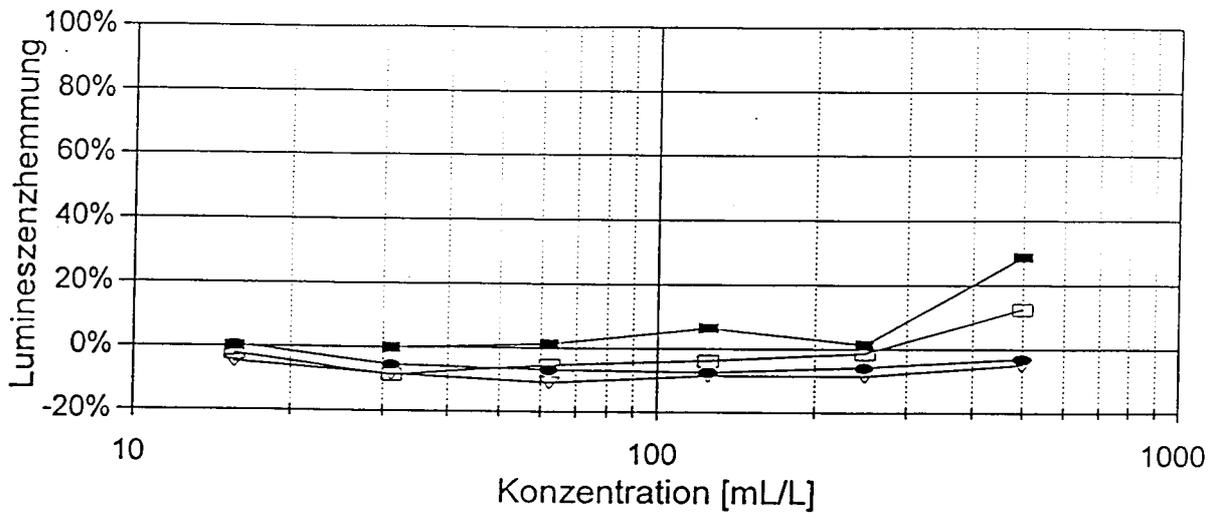


Abb. 1.6: Leuchtakterien Lumineszenzhemmung, Acrylharz 3

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

Tabelle 1.15: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung
Acrylharz 3

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)

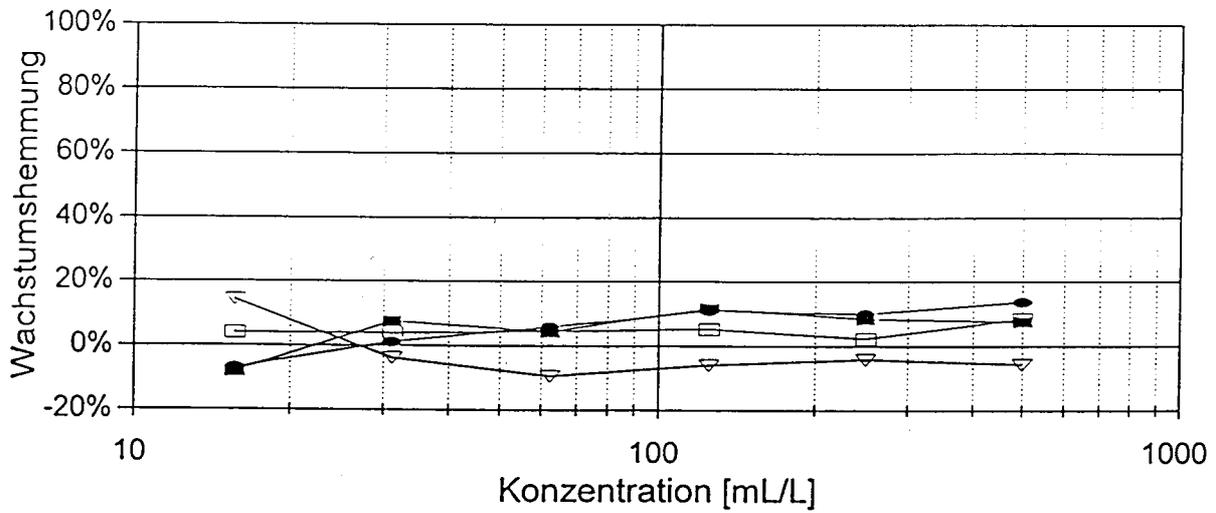


Abb. 1.7: Leuchtbakterien Wachstumshemmung, Acrylharz 3

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

Tabelle 1.16: Leuchtakterien-Lumineszenzhemmung
Polyurethan

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

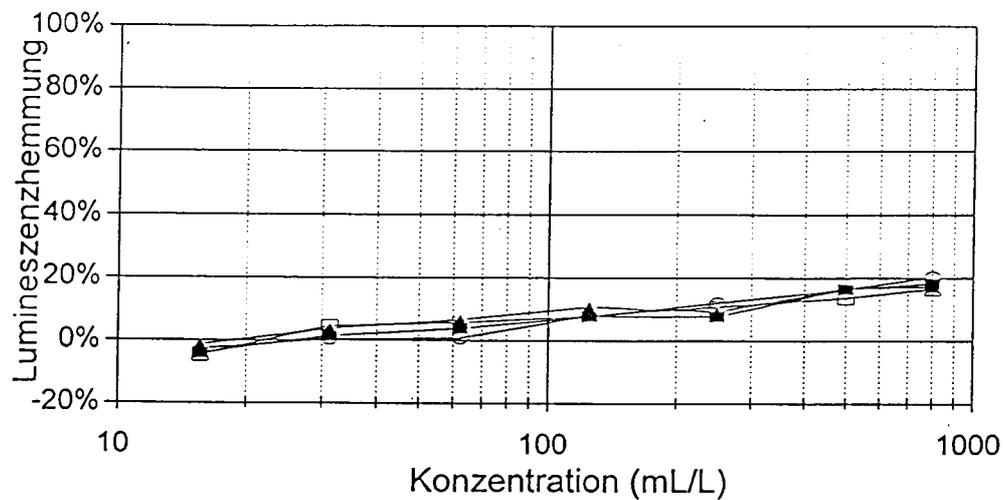


Abb. 1.8: Leuchtakterien Lumineszenzhemmung, Polyurethan

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

Tabelle 1.17: Leuchtbakterien-Wachstumshemmung
Polyurethan

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

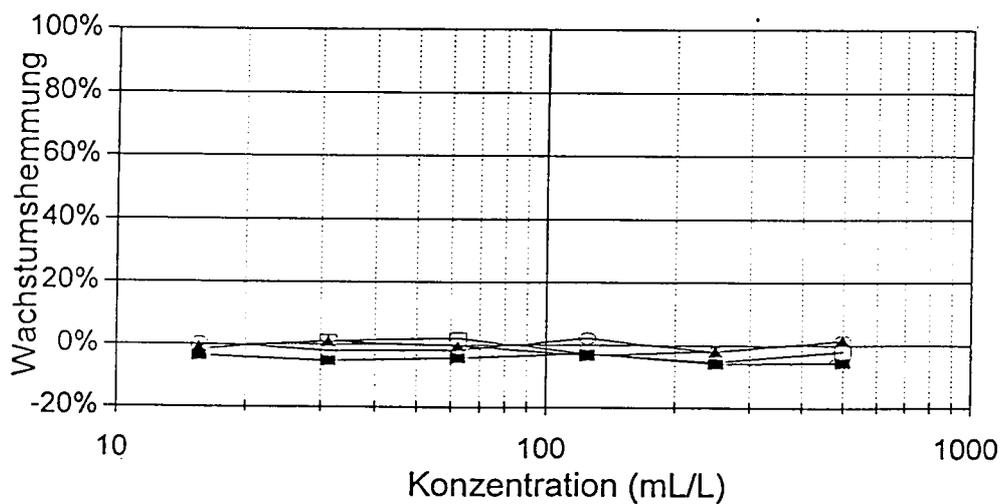


Abb. 1.9: Leuchtbakterien Wachstumshemmung

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

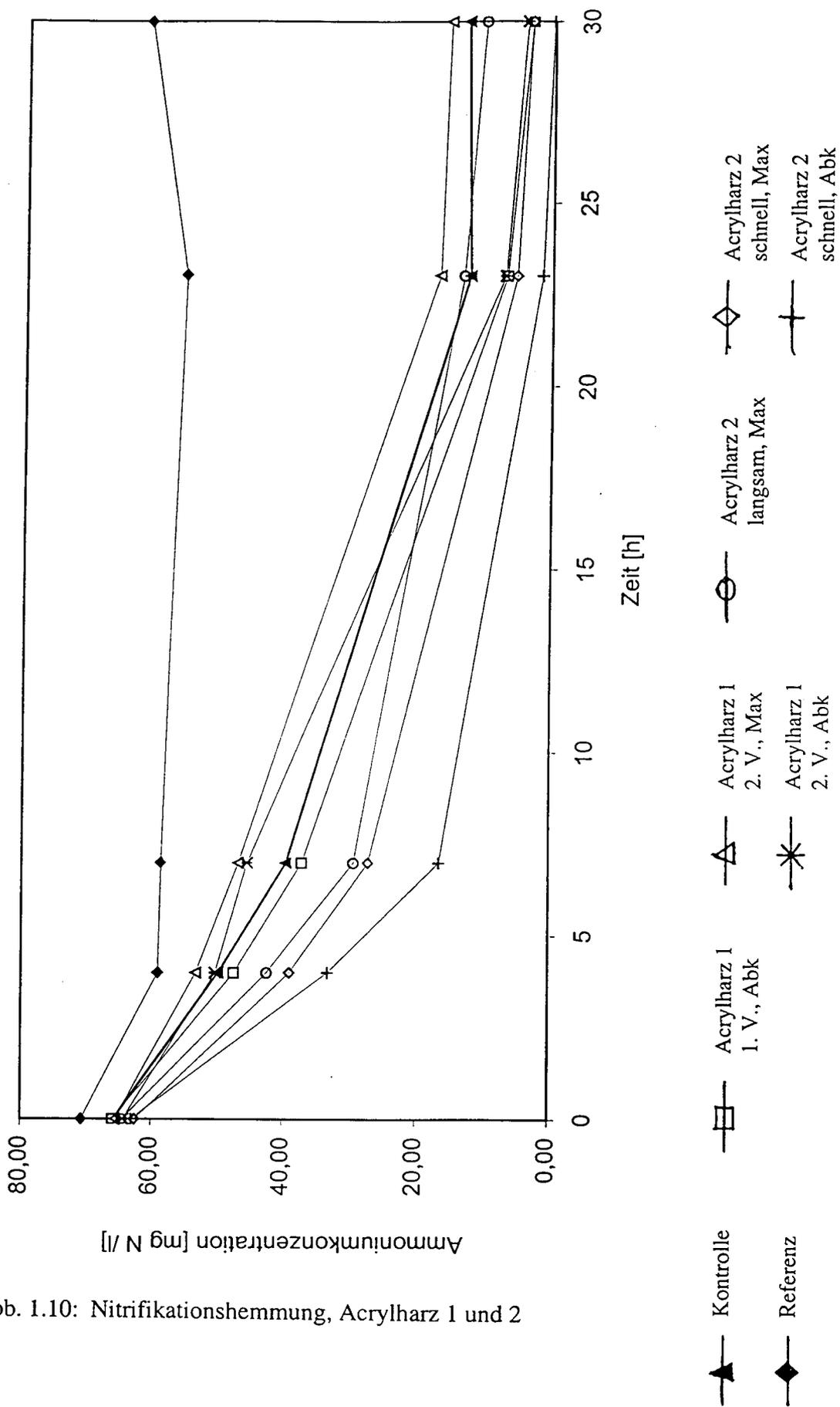


Abb. 1.10: Nitrifikationshemmung, Acrylharz 1 und 2

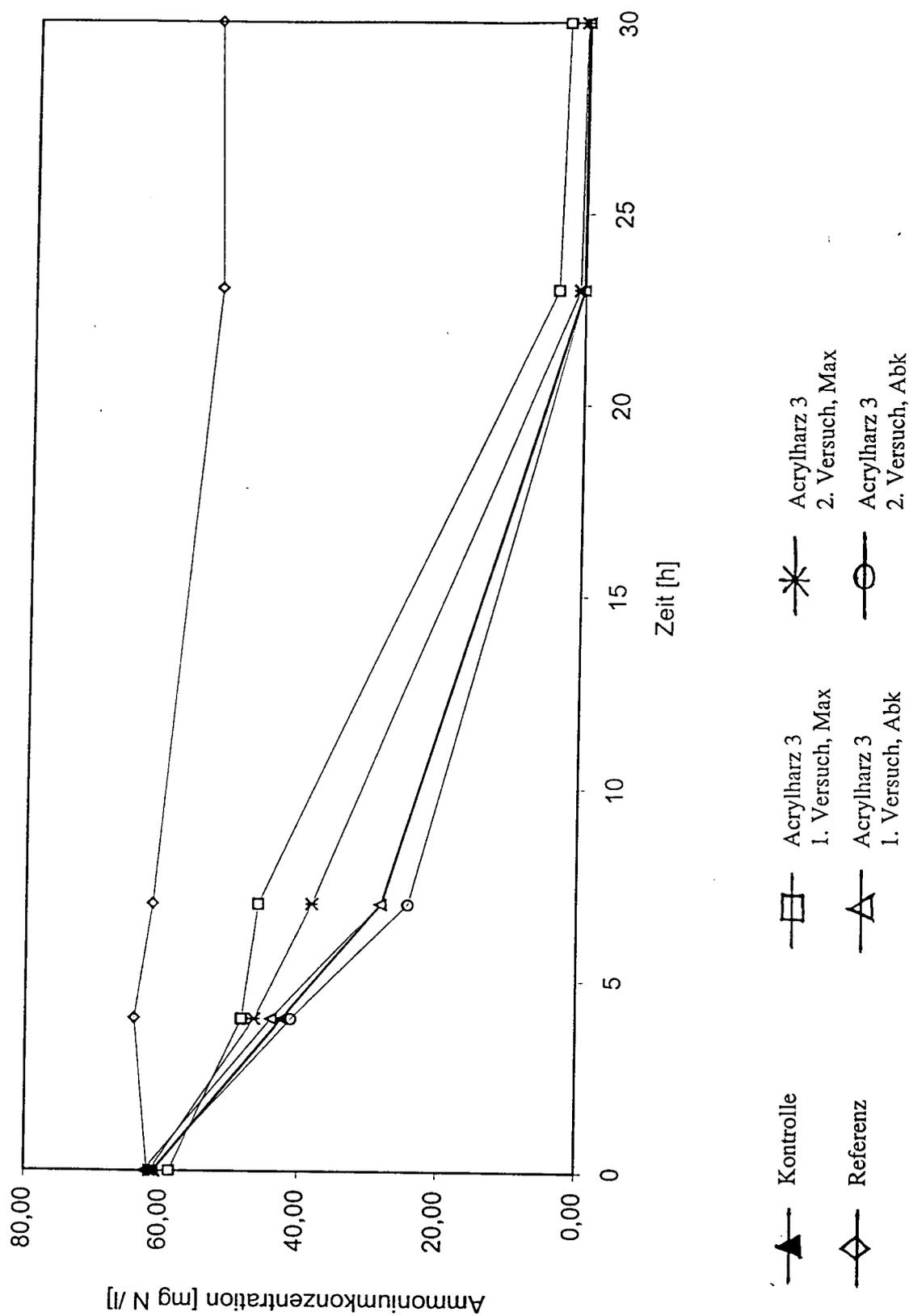


Abb. 1.11: Nitrifikationshemmung, Acrylharz 3, 1. und 2. Versuch

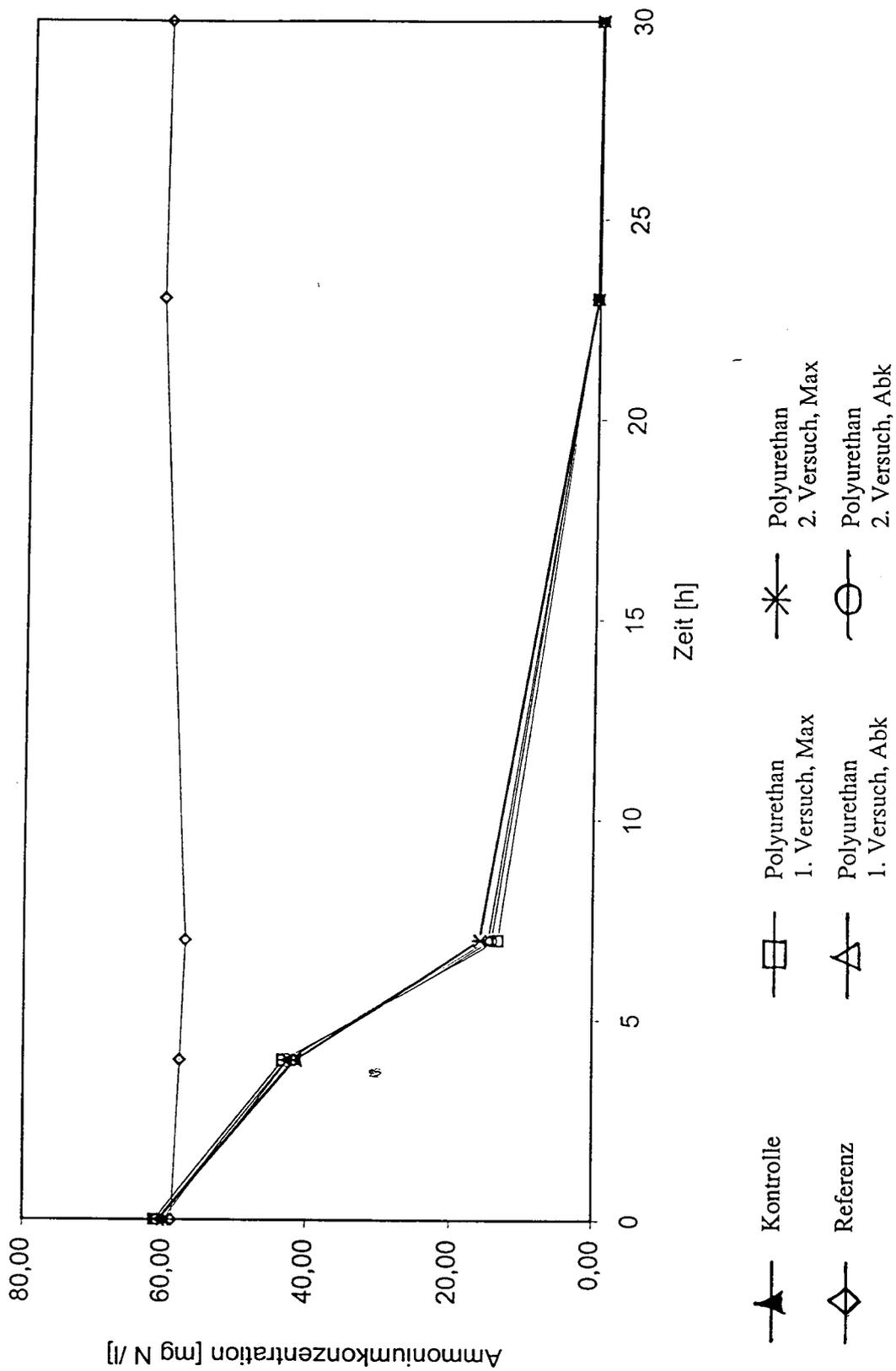


Abb. 1.12: Nitrifikationshemmung, Polyurethan, 1. und 2. Versuch

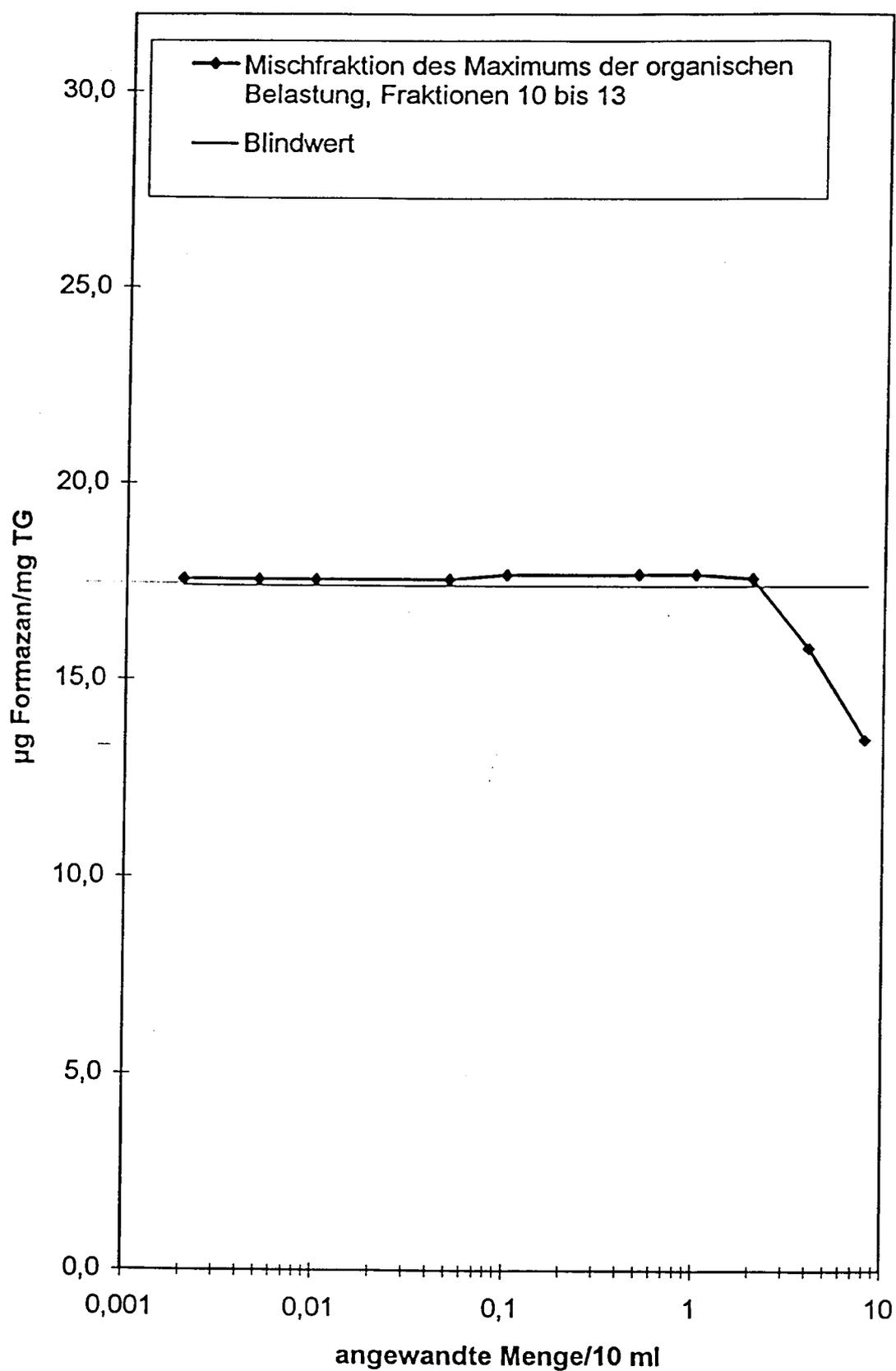


Abb. 1.13: TTC-Test, Acrylharz 1; 1. Versuch, Maximumphase

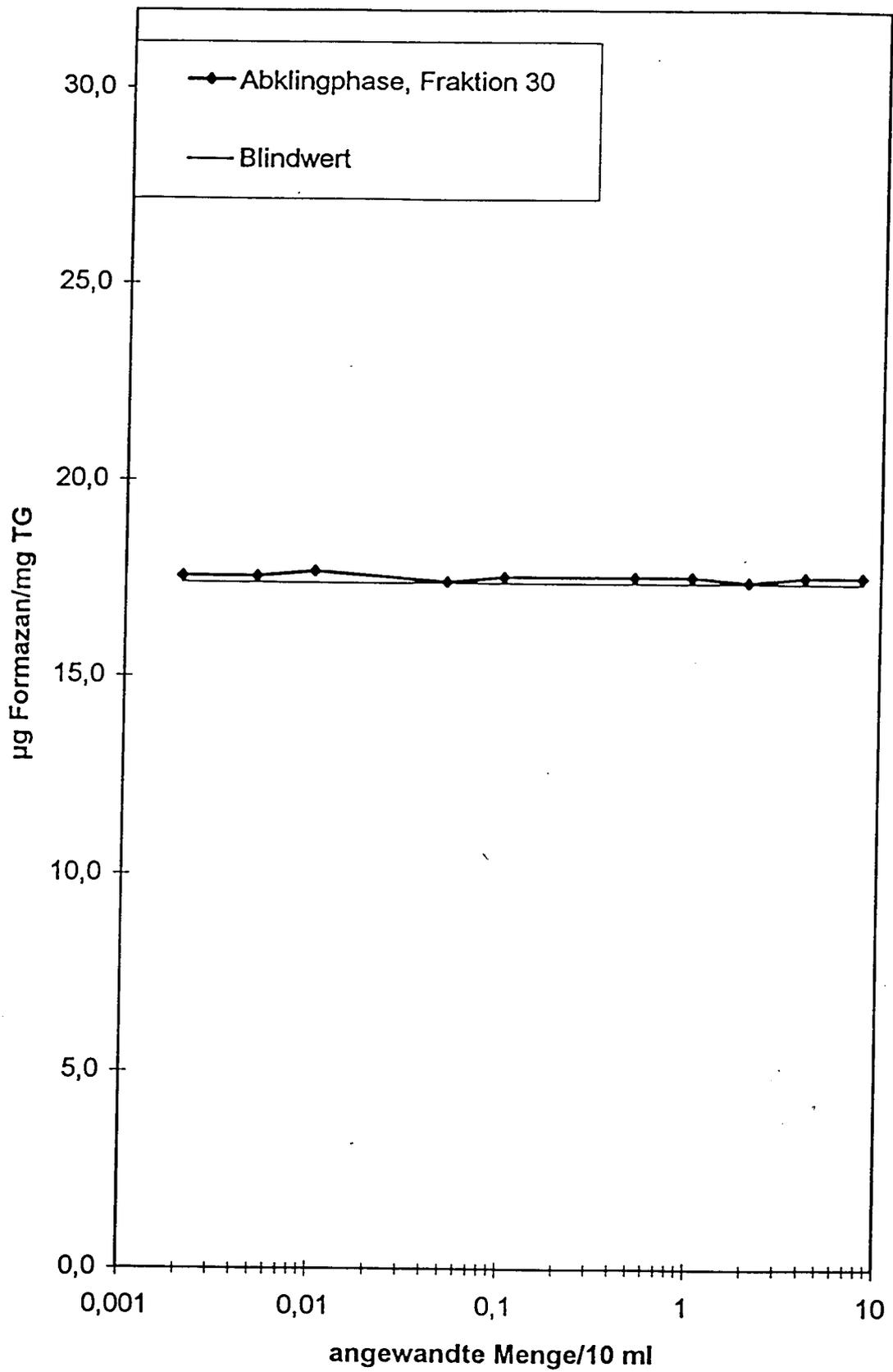


Abb. 1.14: TTC-Test, Acrylharz 1, 1. Versuch, Abklingphase

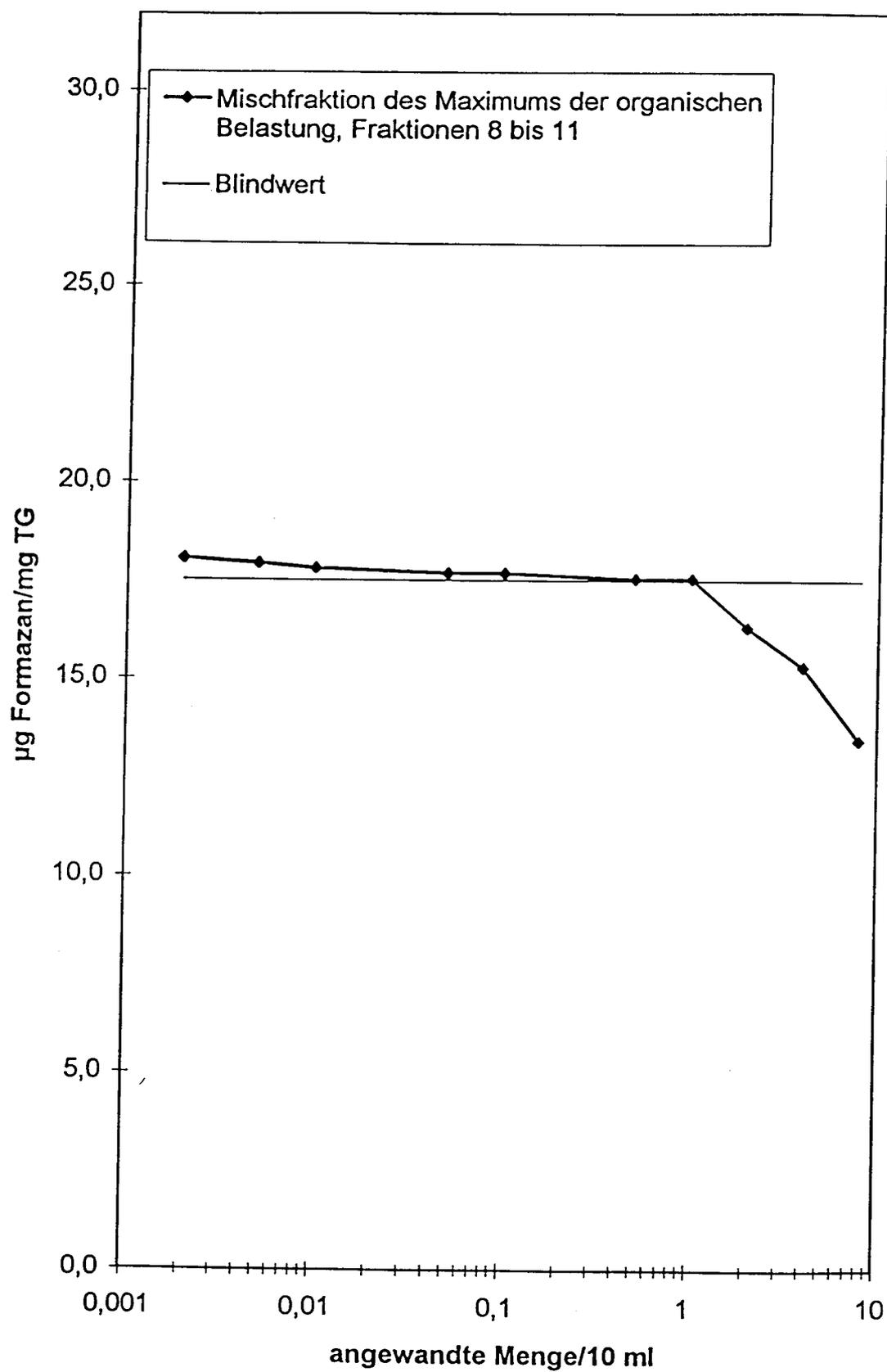


Abb. 1.15: TTC-Test, Acrylharz 1, 2. Versuch, Maximumphase

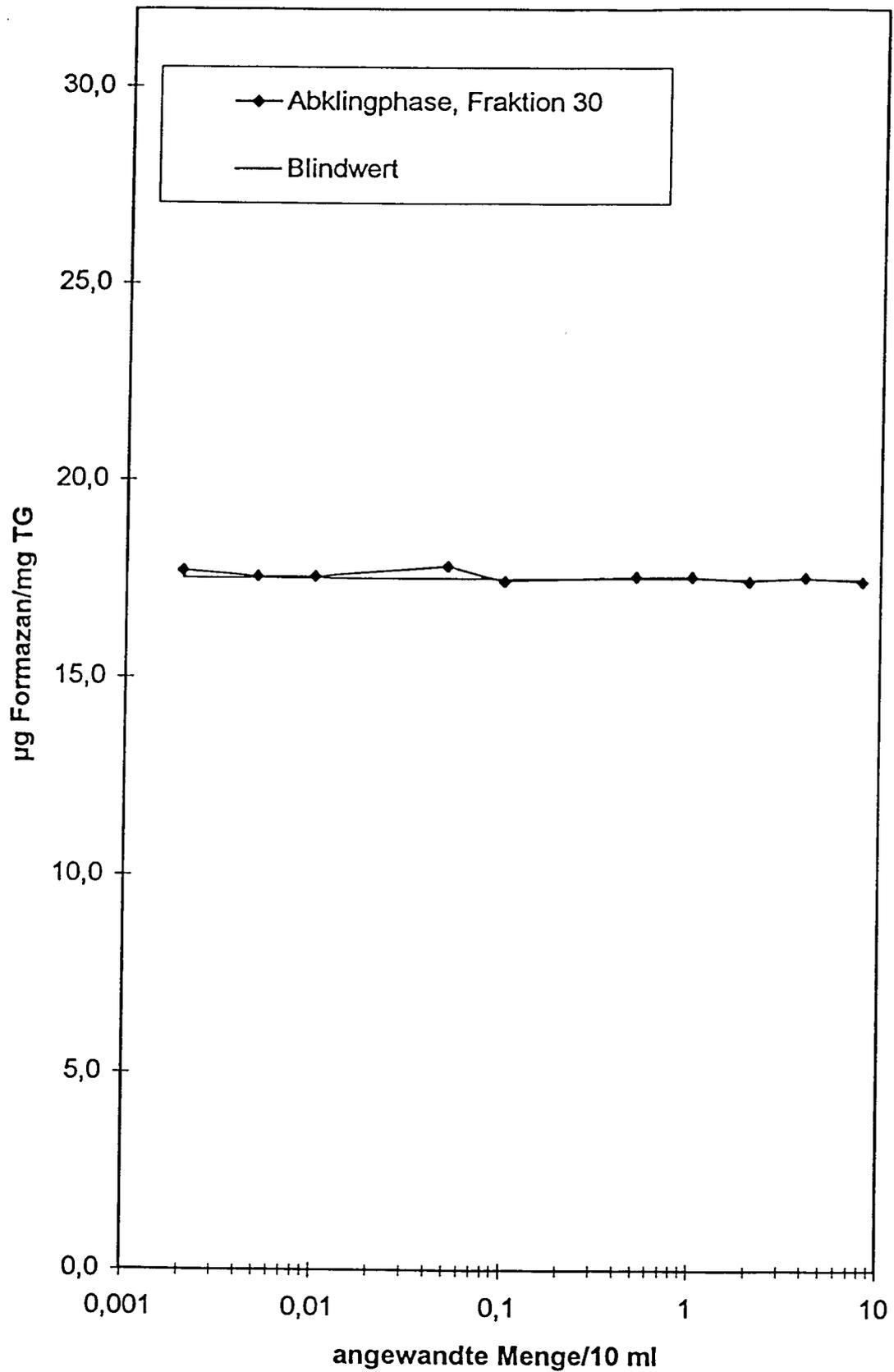


Abb. 1.16: TTC-Test, Acrylharz 1, 2. Versuch, Abklingphase

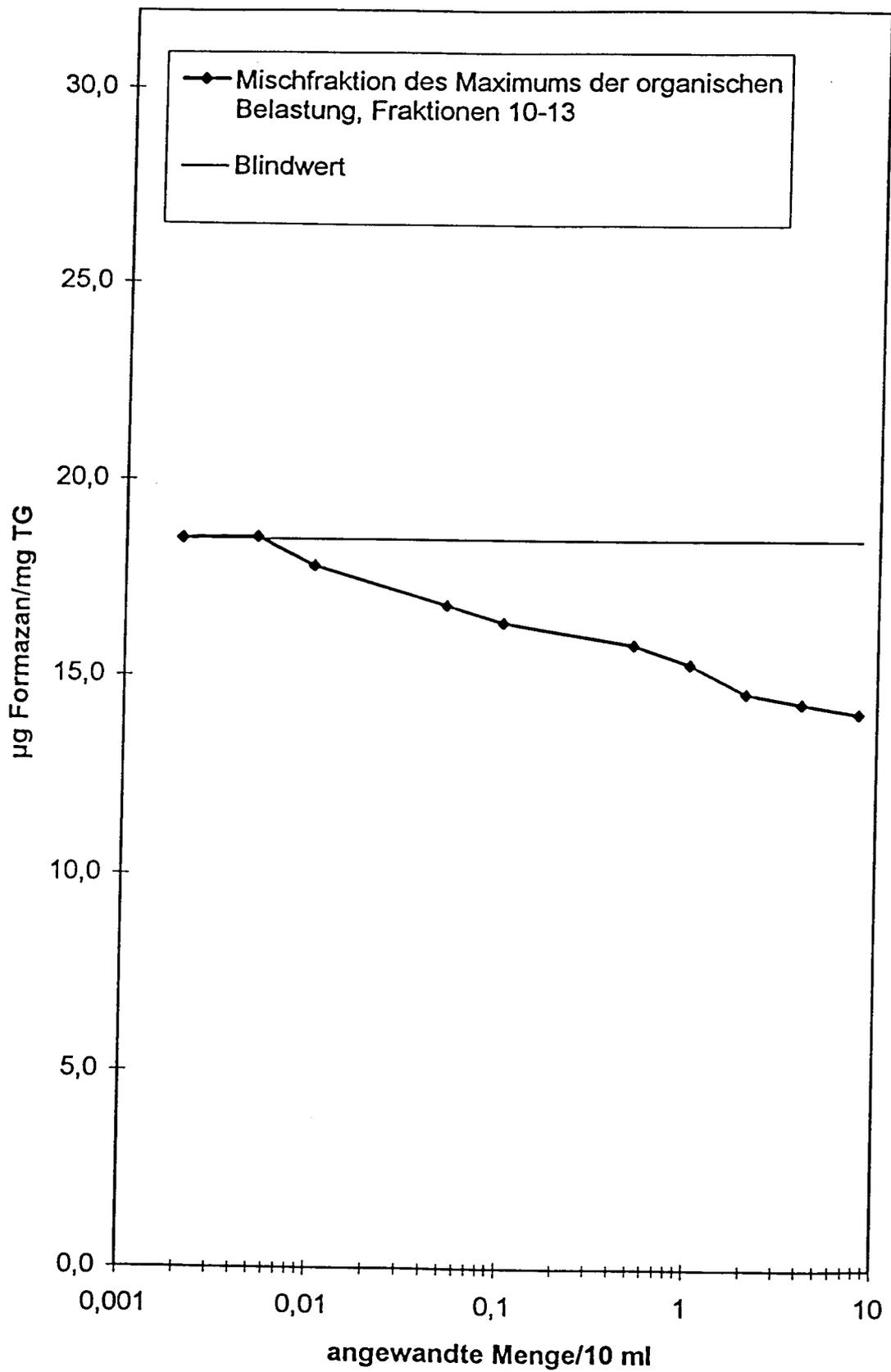


Abb. 1.17: TTC-Test, Acrylharz 2, langsame Variante, Maximumphase

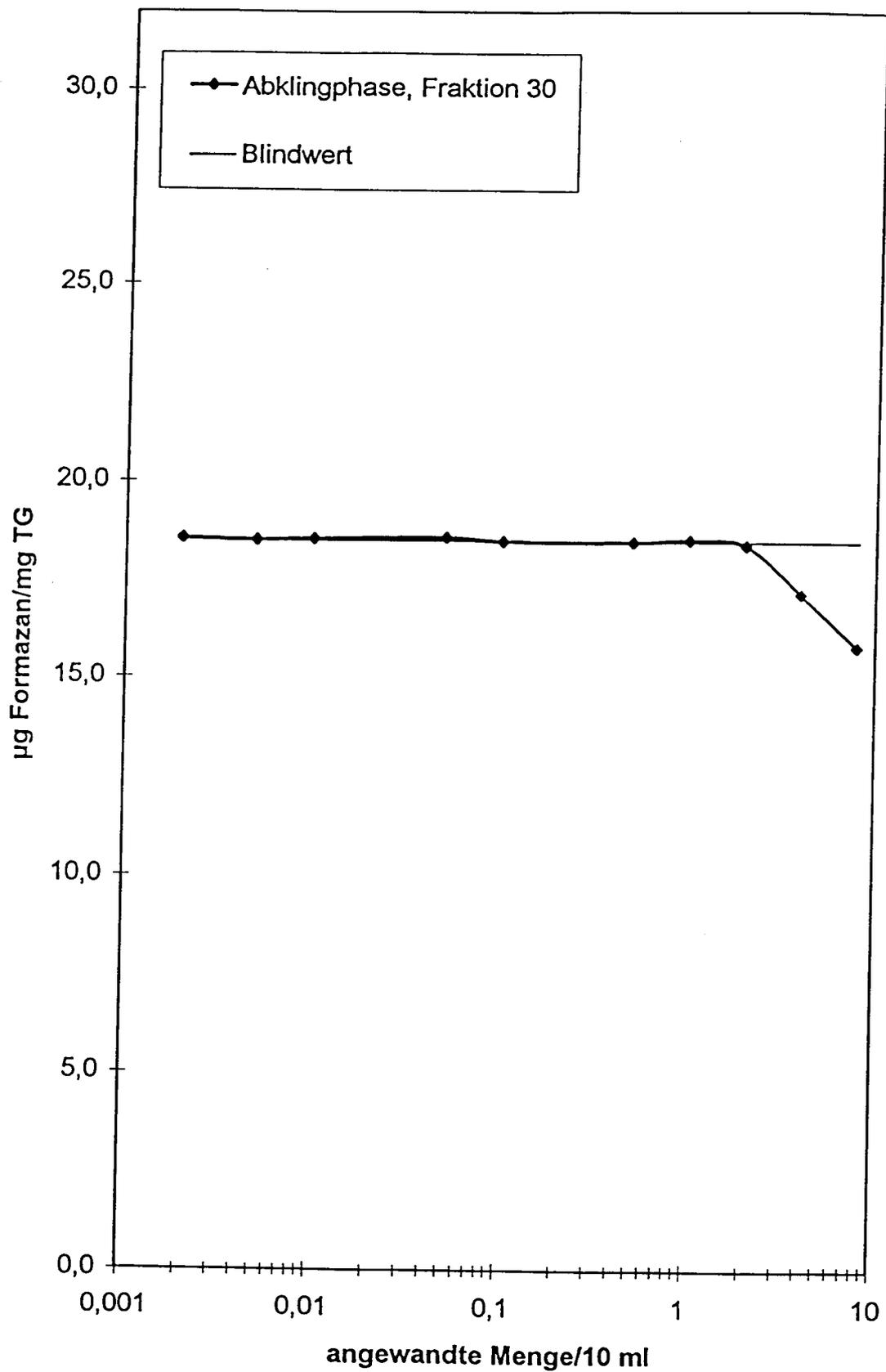


Abb. 1.18: TTC-Test, Acrylharz 2, langsame Variante, Abklingphase

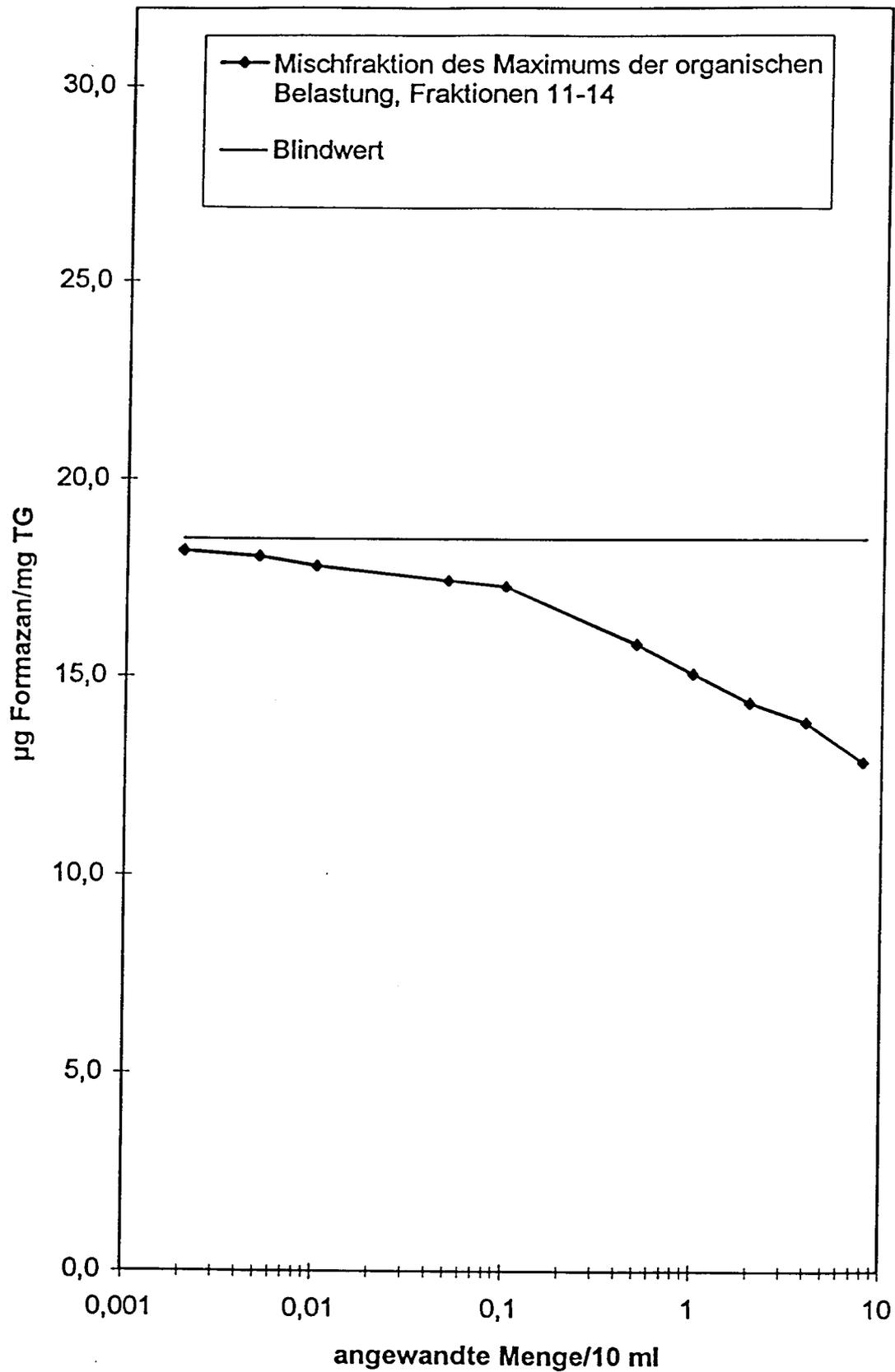


Abb. 1.19: TTC-Test, Acrylharz 2, schnelle Variante, Maximumphase

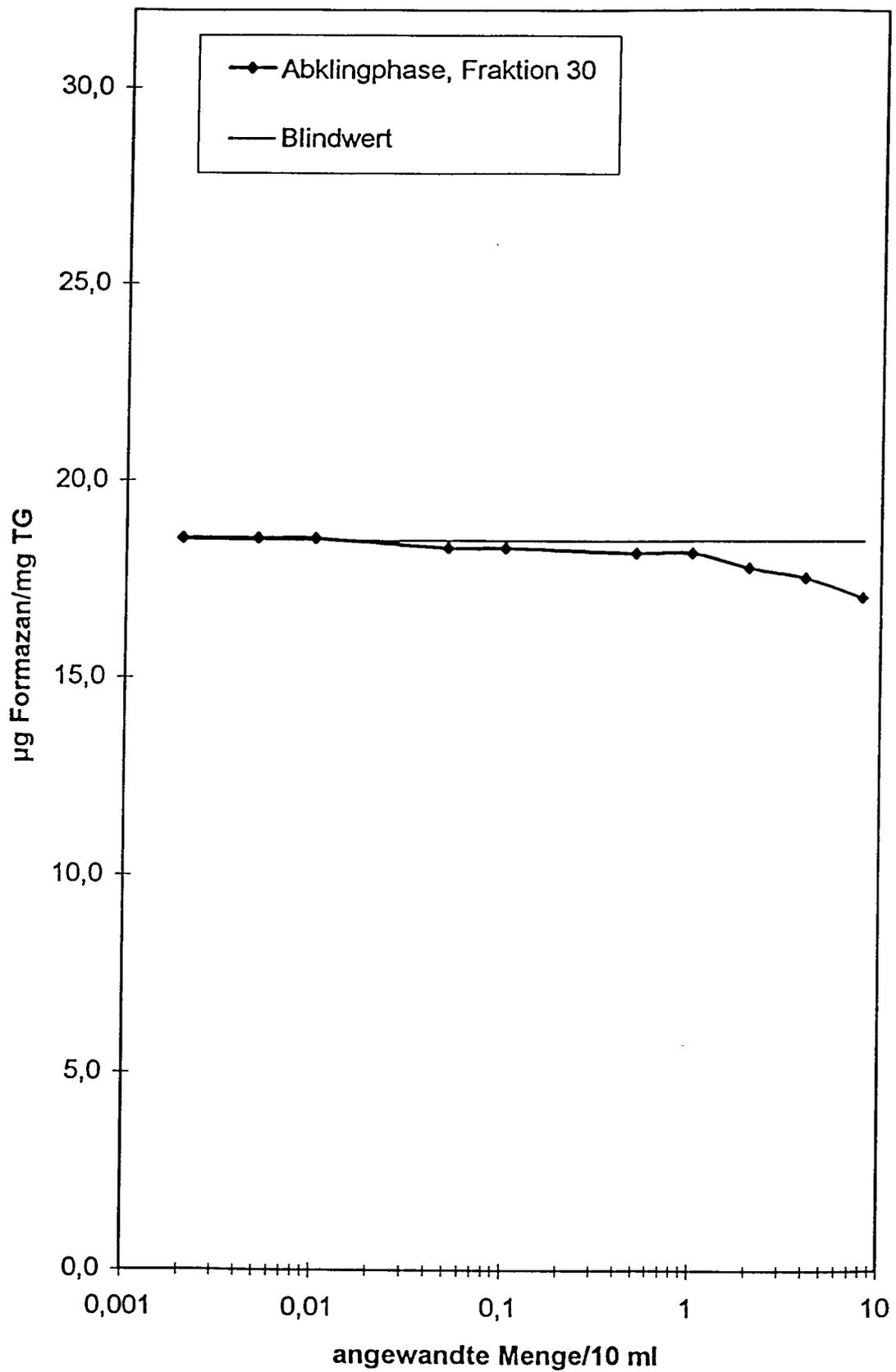


Abb. 1.20: TTC-Test, Acrylharz 2, schnelle Variante, Abklingphase

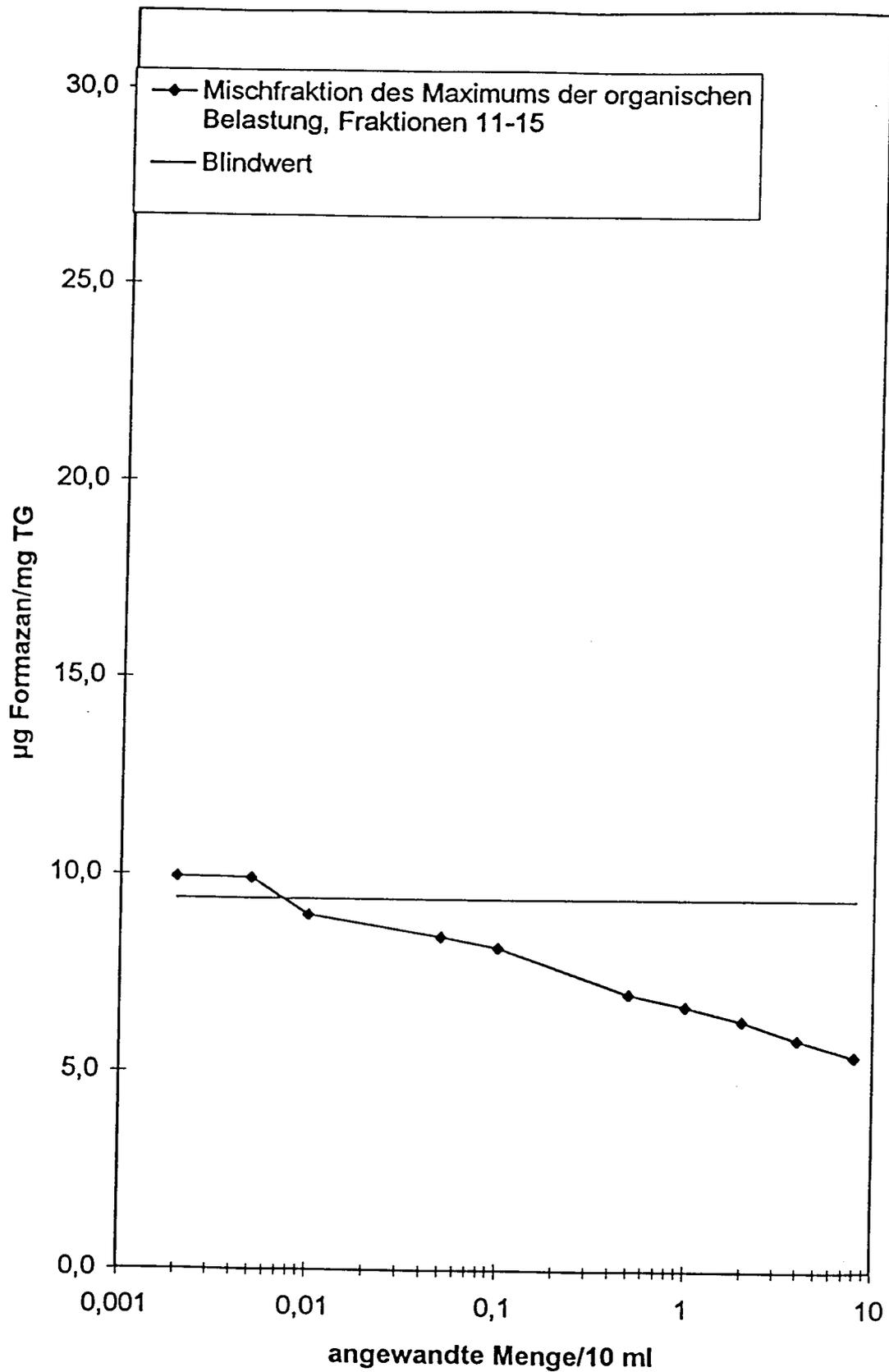


Abb. 1.21: TTC-Test, Acrylharz 3, 1. Versuch, Maximumphase

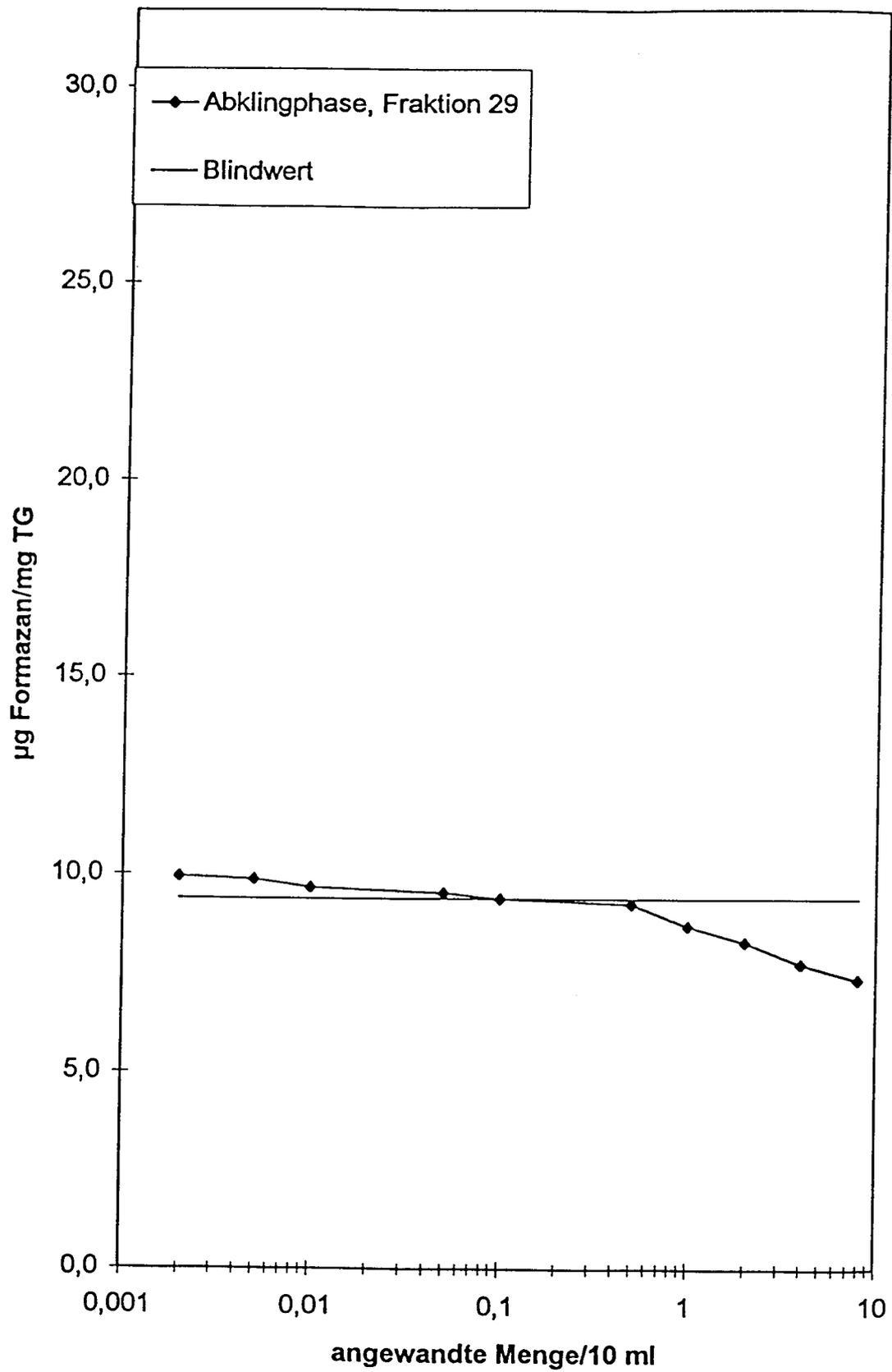


Abb. 1.22: TTC-Test, Acrylharz 3, 1. Versuch, Abklingphase

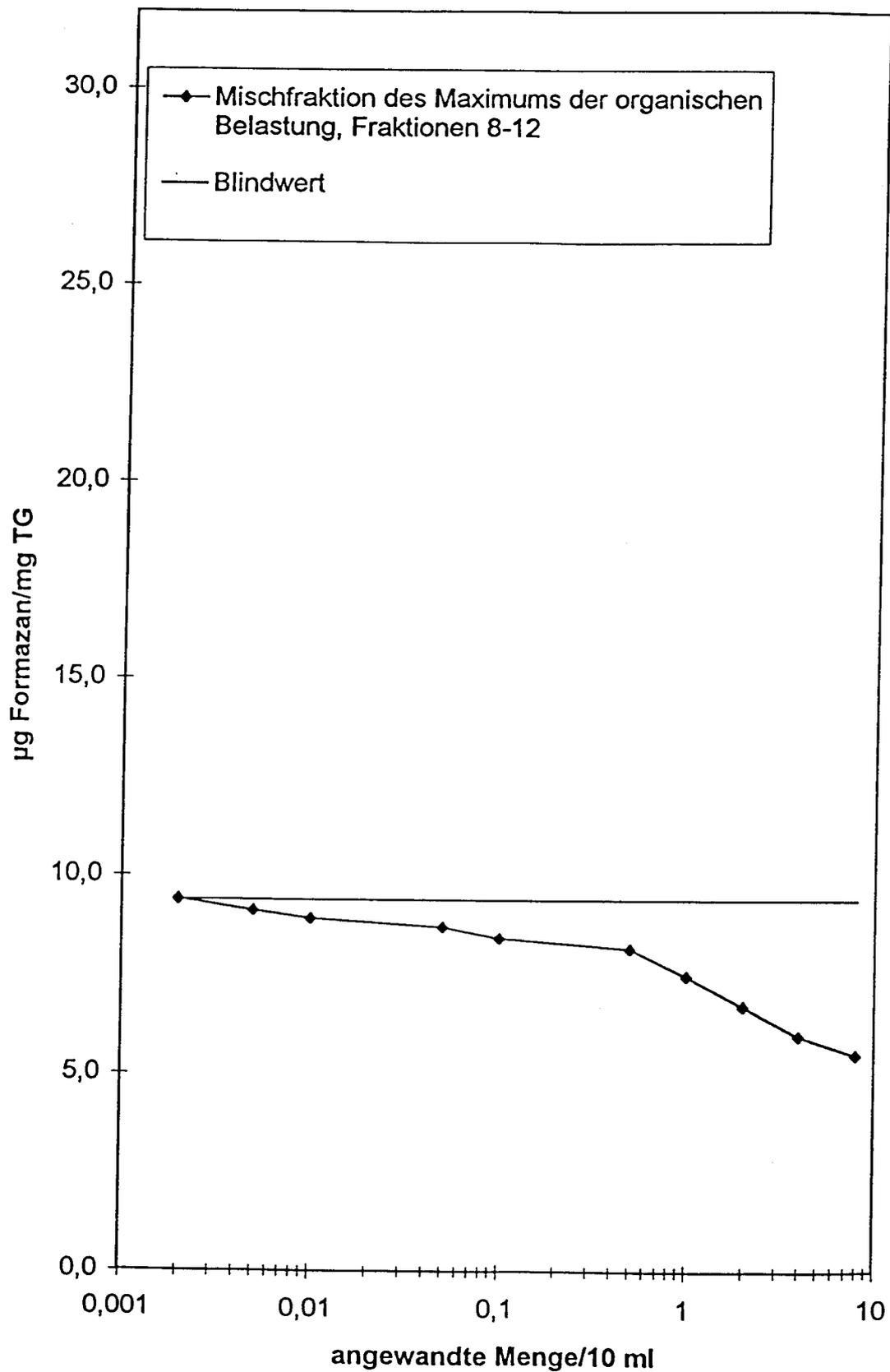


Abb. 1.23: TTC-Test, Acrylharz 3, 2. Versuch, Maximumphase

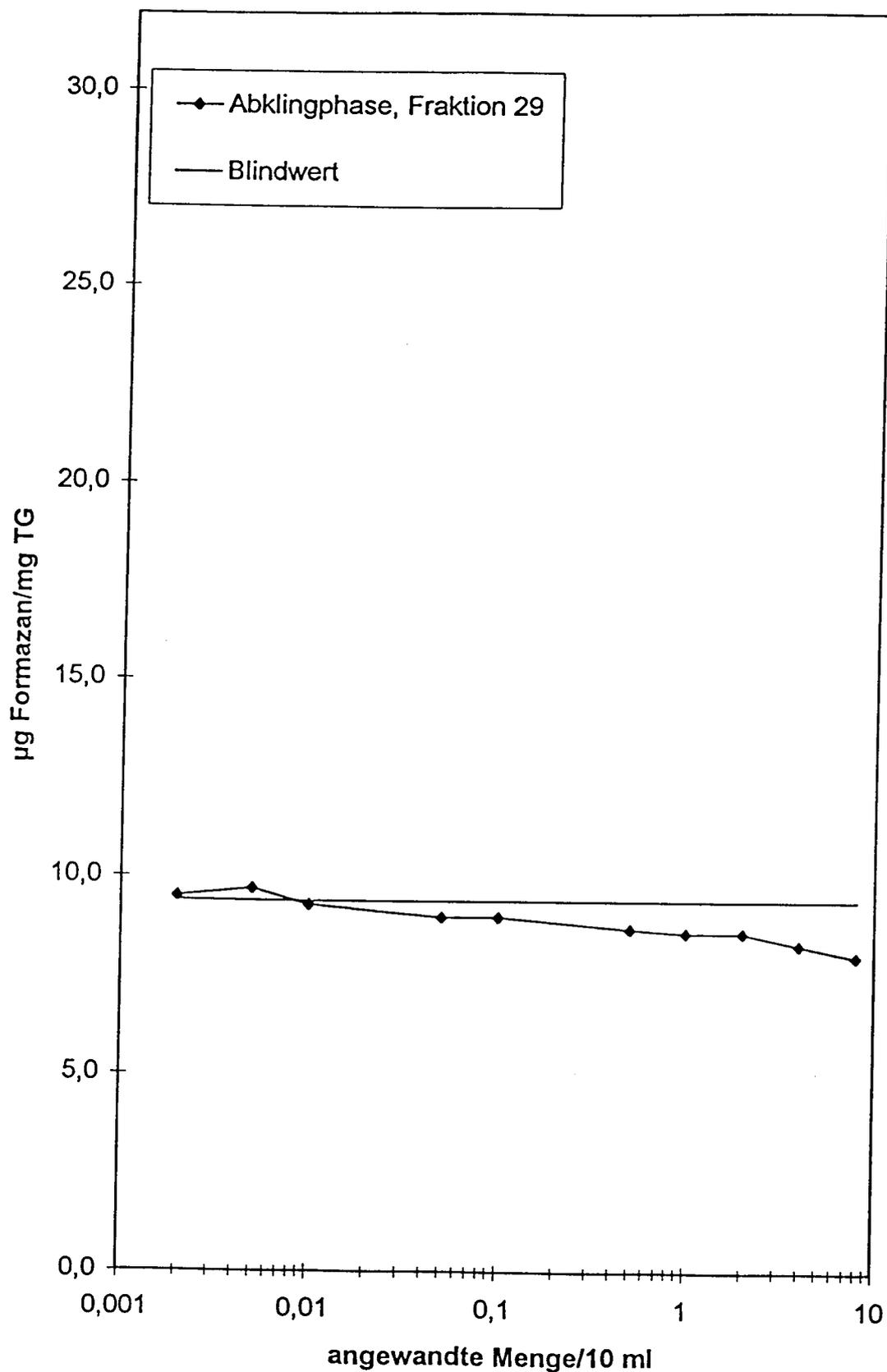


Abb. 1.24: TTC-Test, Acrylharz 3, 2. Versuch, Abklingphase

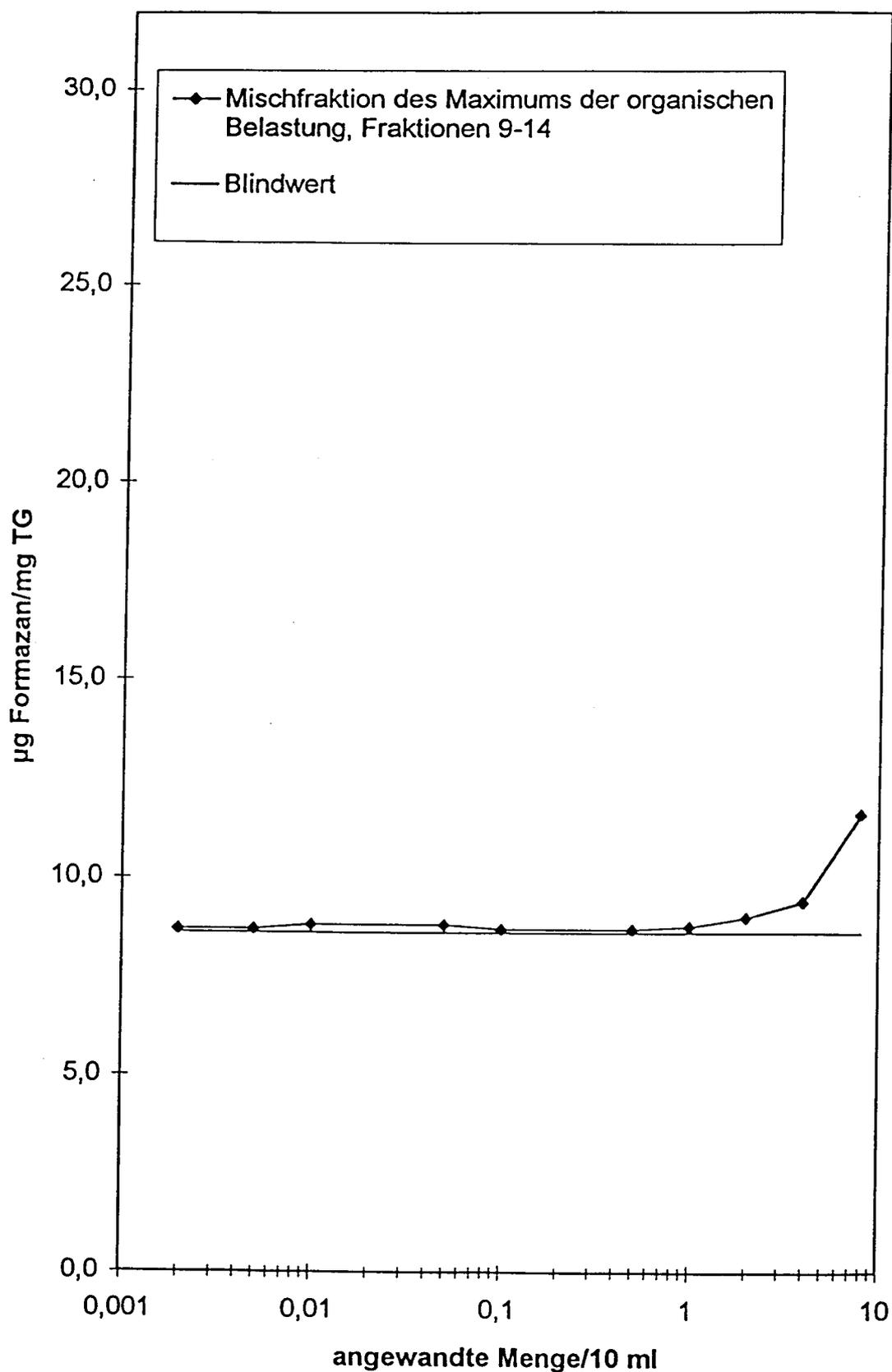


Abb. 1.25: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Maximumphase

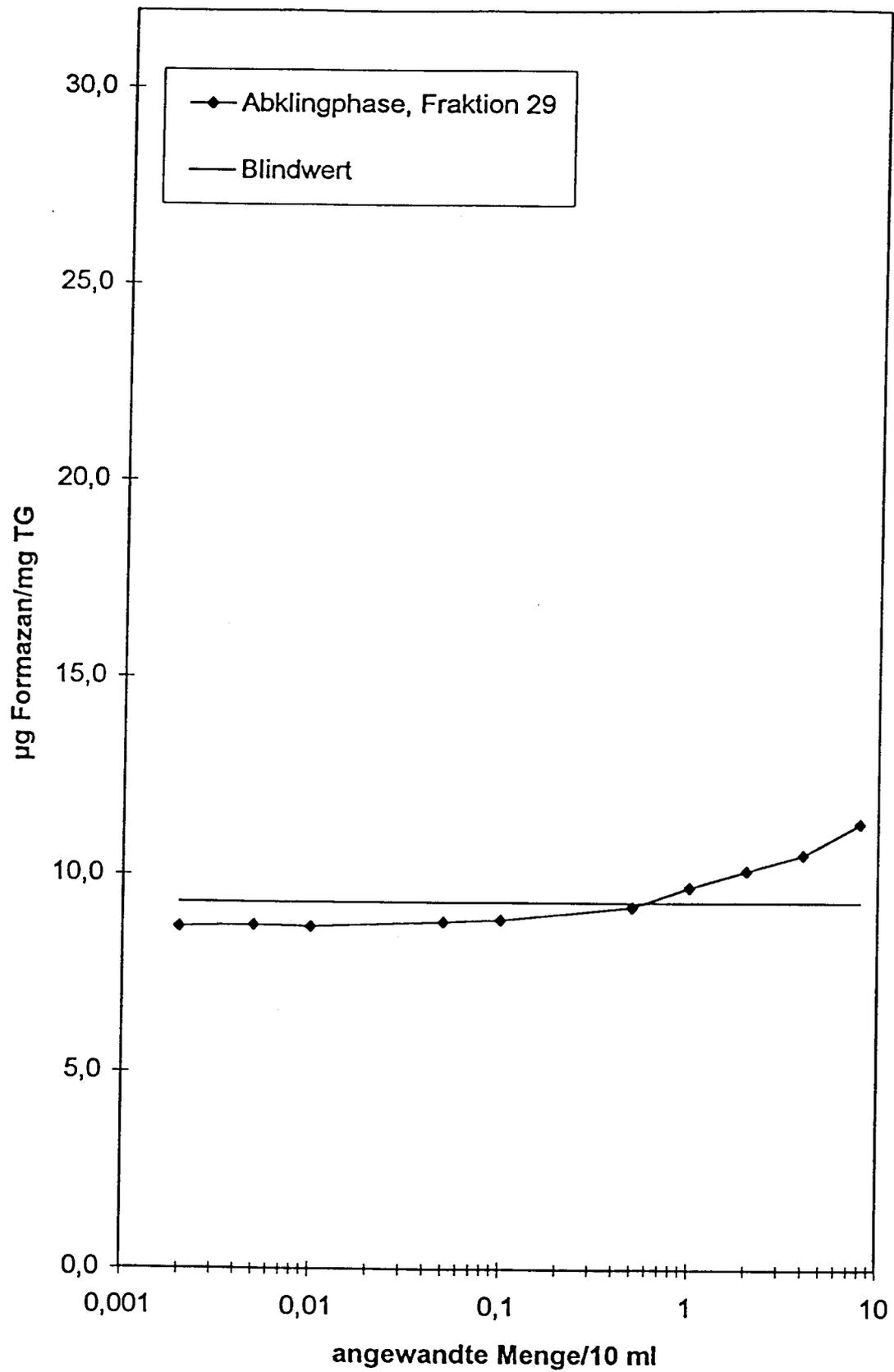


Abb. 1.26: TTC-Test, Polyurethan, 1. Versuch, Abklingphase

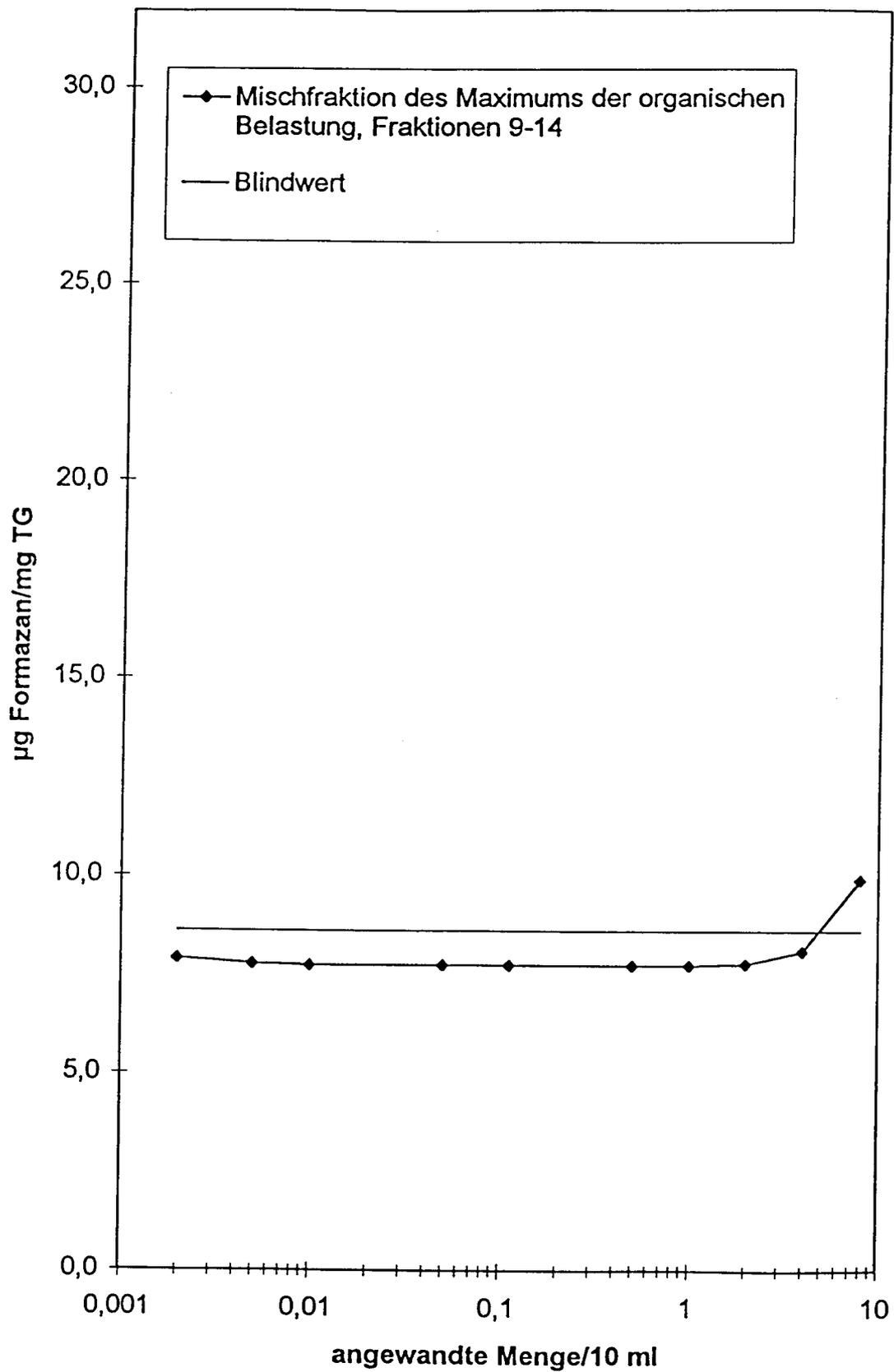


Abb. 1.27: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Maximumphase

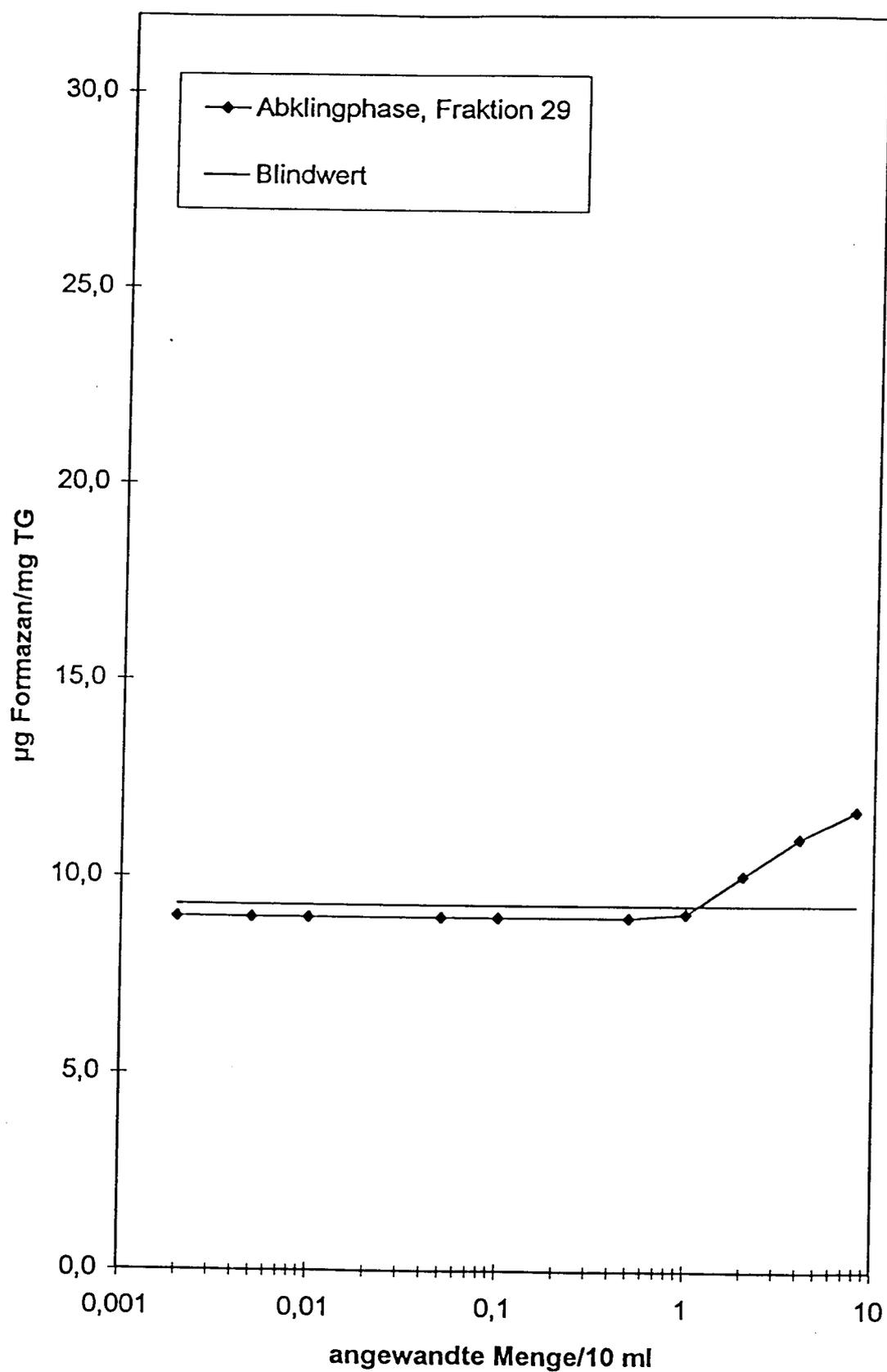


Abb. 1.28: TTC-Test, Polyurethan, 2. Versuch, Abklingphase

Tab. 1.18: Pseudomonas-Zellvermehrungstest

Verdünnungsfaktor	Hemmwirkung in %																							
	Acrylharz 1						Acrylharz 2						Acrylharz 3						Polyurethan					
	1. Versuch			2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)			langsame Variante			schnelle Variante			1. Versuch			2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)			1. Versuch			2. Versuch (Wdhlg. 1. V.)		
	Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk		Max	Abk	
1,25	-72	-75	0	-75		0	-89	-97	-100		53	-103	40	-111		-110	-68	-33	-71					
2,5	-67	-58	-6	-31		-3	-83	-83	-86		53	-94	40	-103		-100	-11	-48	-48					
5	-56	-52	-3	-28		0	-75	-75	-67		43	-89	37	-78		-48	-5	-24	-33					
10	-50	-44	0	-22		-3	-64	-67	-56		43	-78	37	-67		-20	-5	-24	-29					
20	-44	-31	-3	-11		-3	-53	-56	-47		33	-67	17	-56		-20		-24	-5					
100	-22	-25	-6	-6		0	-44	-50	-36		0	-50	0	-44		-20		-24	0					
200	-17	-8	-3	-3		-3	-39	-36	-25			-44		-28				-24						
1.000	-6	-3	-3	-3		-3	-25	-28	-22			-33		-11										
2.000	-3	-3	0	0		0	-19	-22	-8			-17		-3										

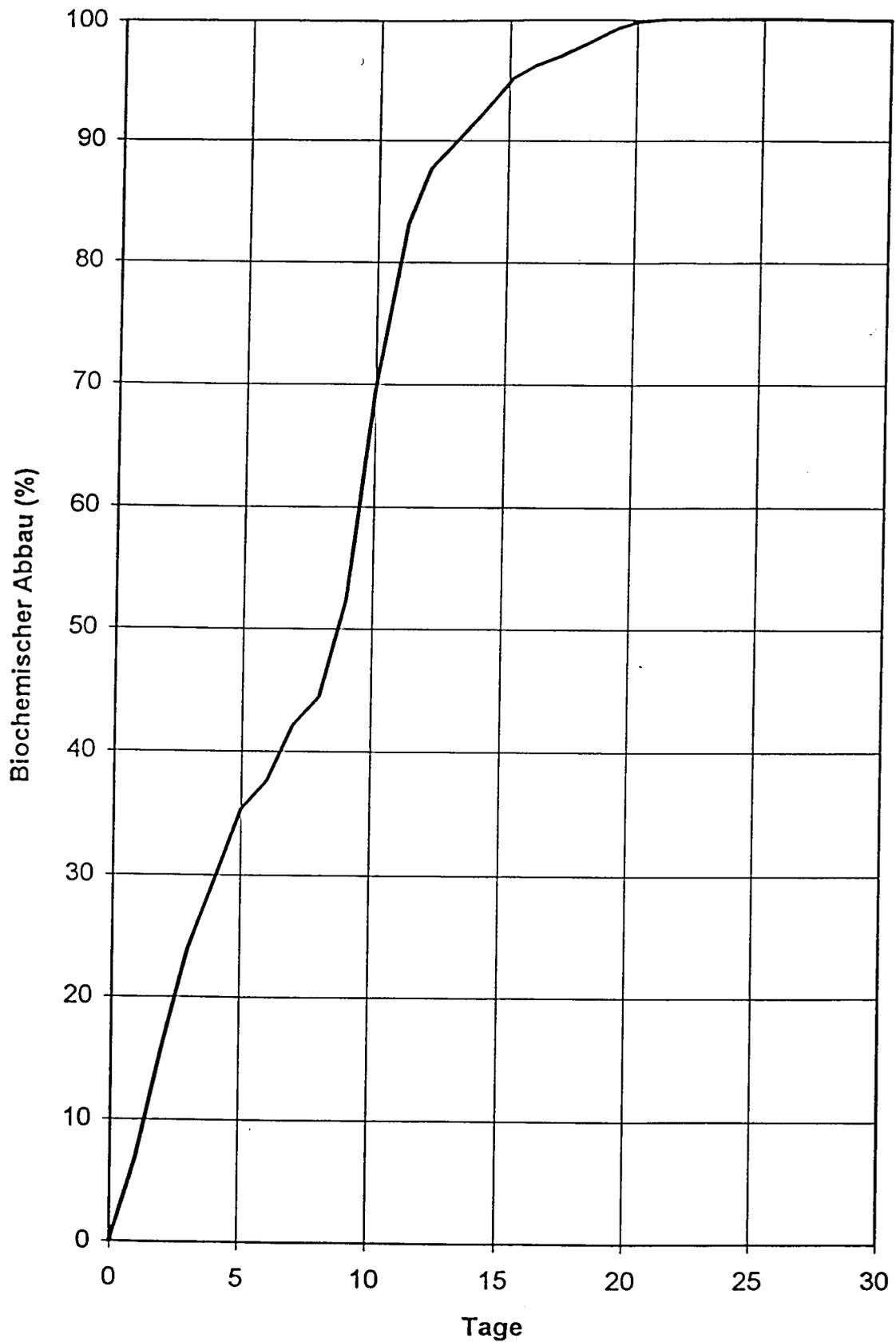


Abb. 1.29: Biologischer Abbau, Acrylharz 1, 1. Versuch, Maximumphase

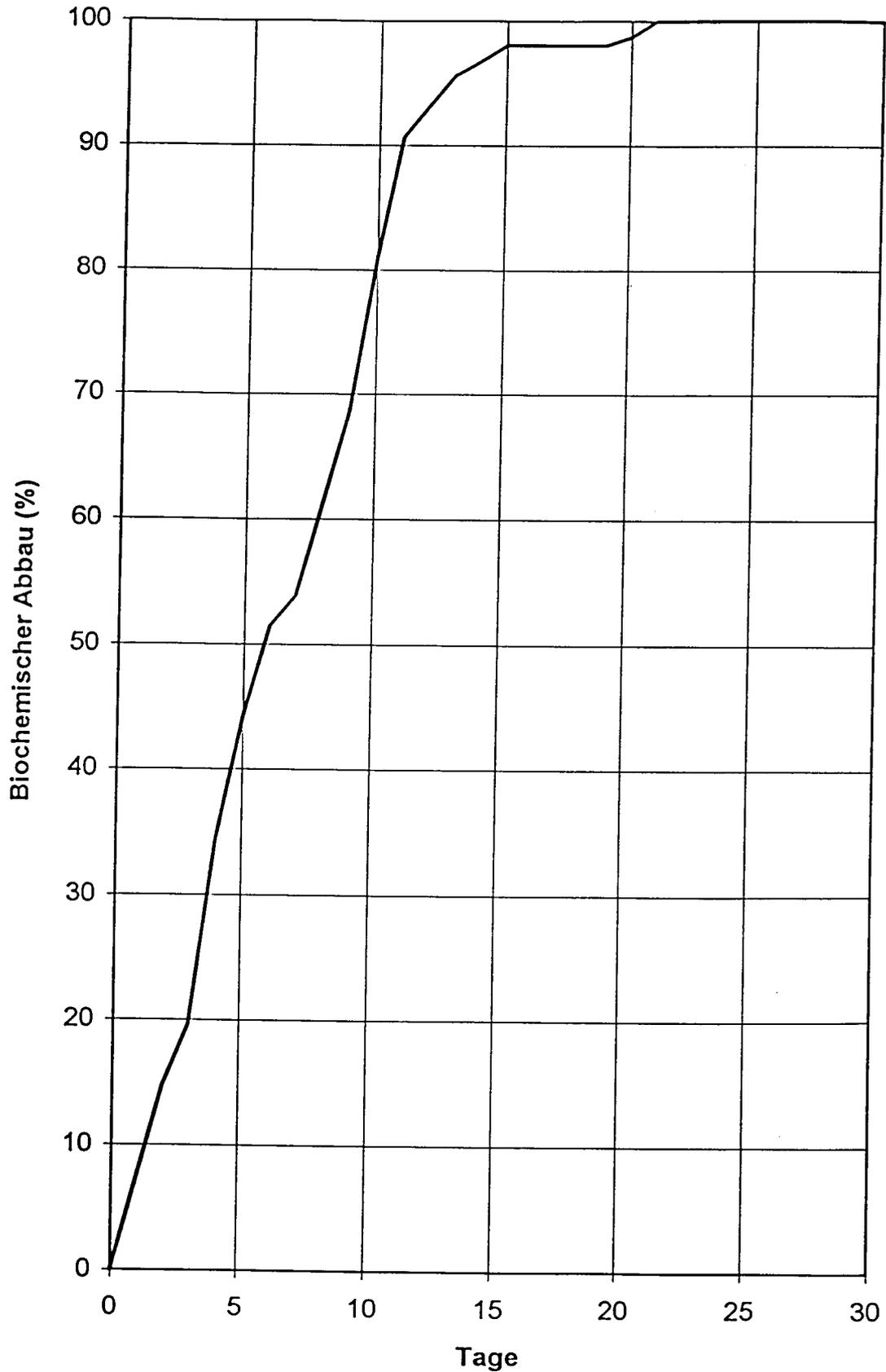


Abb. 1.30: Biologischer Abbau, Acrylharz 1, 2. Versuch, Maximumphase

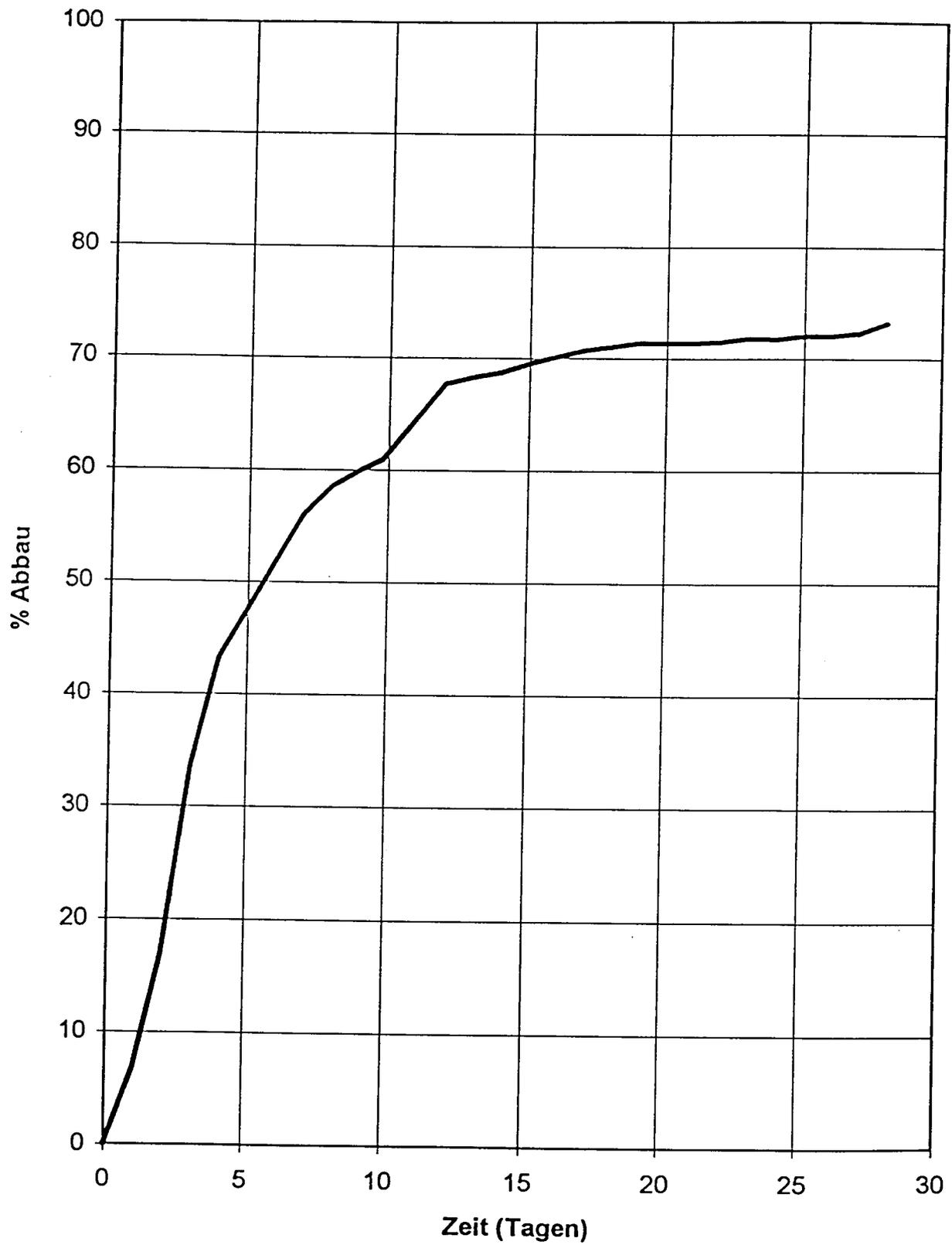


Abb. 1.31: Biologischer Abbau, Acrylharz 2, langsame Variante, Maximumphase

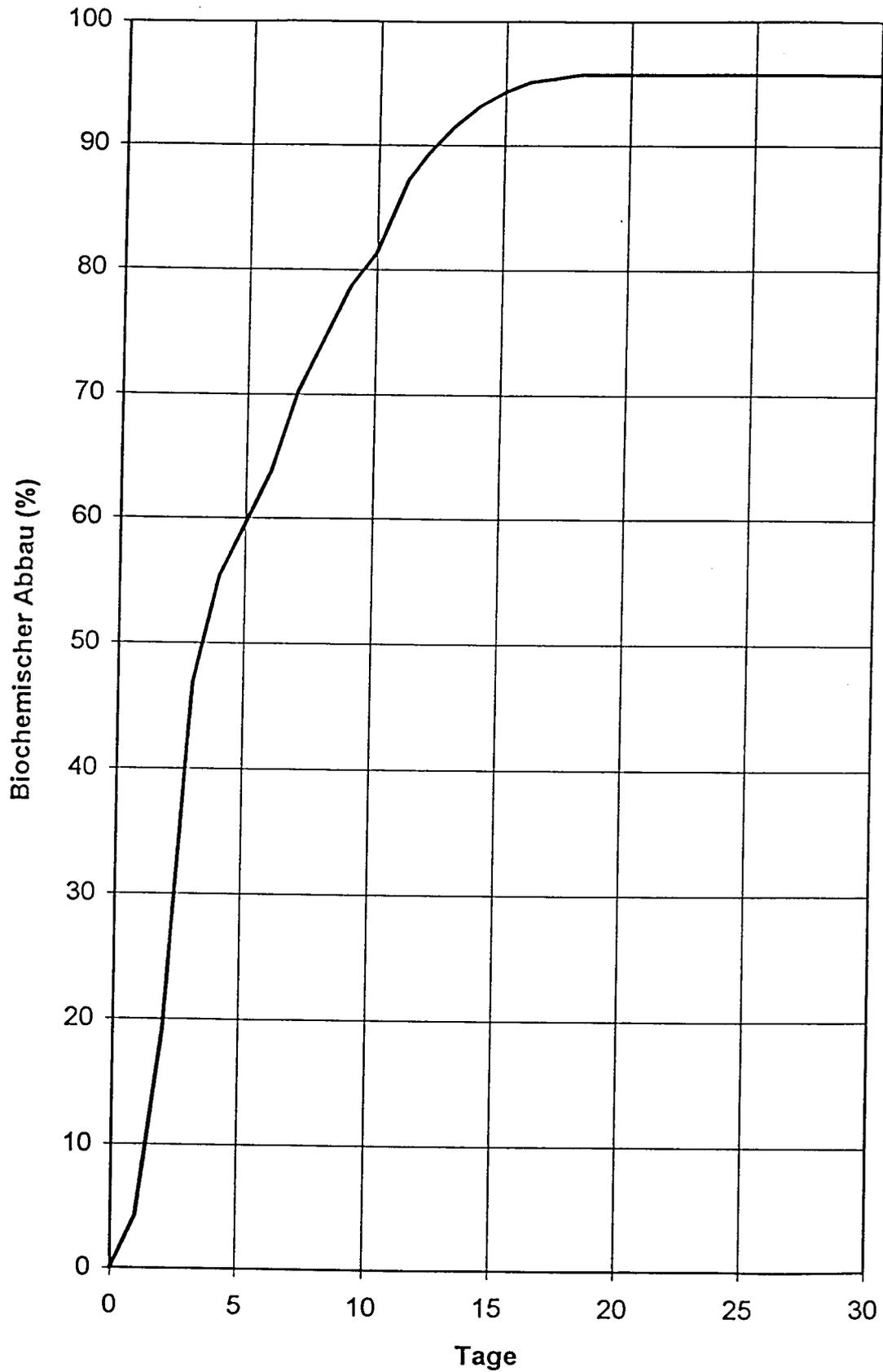


Abb. 1.32: Biologischer Abbau, Acrylharz 2, schnelle Variante

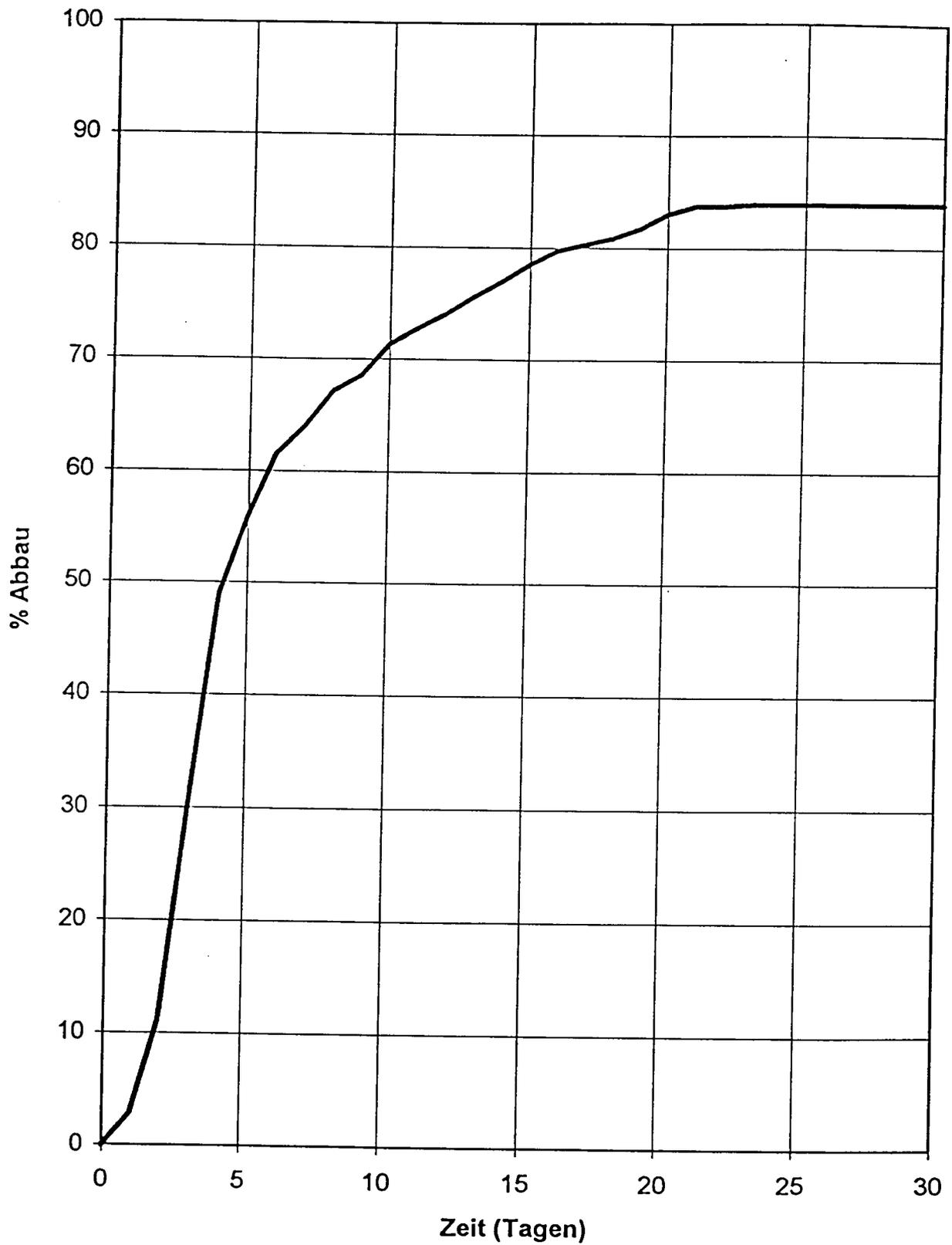


Abb. 1.33: Biologischer Abbau, Acrylharz 3, 1. Versuch, Maximumphase

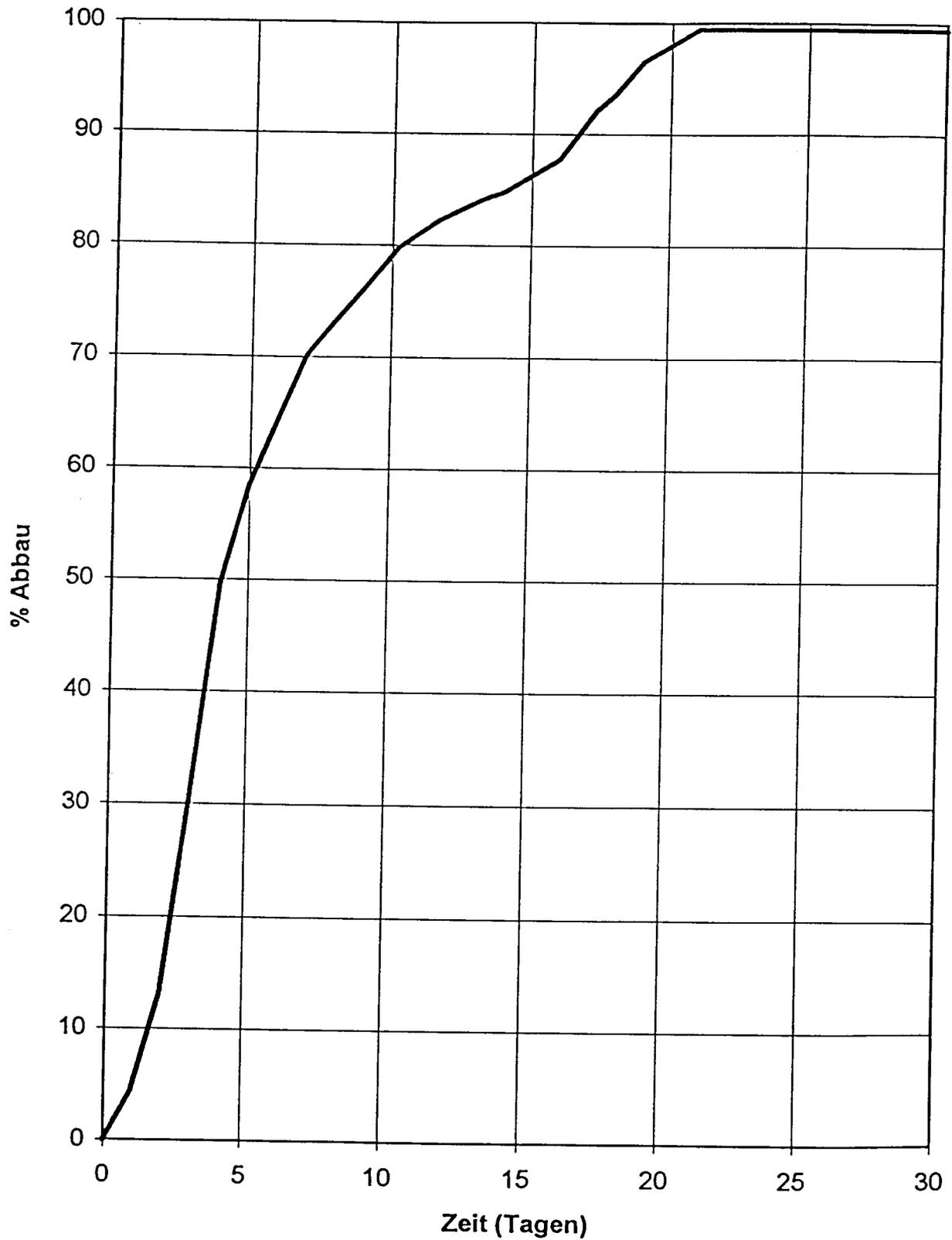


Abb. 1.34: Biologischer Abbau, Acrylharz 3, 2. Versuch

Anhang 2
Zusammenstellung und z.T. Kurzbeschreibung der Testmethoden

Tabelle 2.1: Zusammenstellung der wichtigsten Testmethoden

Parameter	Analyseverfahren
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
Pseudomonas-Test	EN ISO 10712
Nitrifikationshemmung	ISO 9509 (in Anlehnung)
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.

Pseudomonas-Test (EN ISO 10712)

Pseudomonas putida Wachstumshemmtest (Pseudomonas-Zellvermehrungshemtest)

Die Bestimmung der Wachstumshemmung von *Pseudomonas putida* aus dem Vergleich der Zellvermehrung unter dem Einfluß unterschiedlicher Verdünnungen des Testguts mit dem Zellwachstum einer unter gleichen Bedingungen erhaltenen Kultur, jedoch ohne Testgut. Die Bestimmung der Zellkonzentration wird durch Messung der durch sie hervorgerufenen Trübung nach einer Einwirkungsdauer von $16 \text{ h} \pm 1 \text{ h}$ durchgeführt.

Nitrifikationshemmung (Anlehnung an ISO 9509)

Die Bestimmung der Nitrifikationshemmung wird unter Berücksichtigung der Vorgaben der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) in Anlehnung an ISO 9509 durchgeführt. Das Verfahren dient zur Bestimmung der Kurzzeit-Hemmwirkung von Stoffen auf nitrifizierende Bakterien im Belebtschlamm. Die Hemmwirkung wird gemäß EMPA über eine Untersuchungsdauer von 30 Stunden mit mehreren Probenahmezeitpunkten verfolgt und in einer Abbaukurve dokumentiert. Nach ISO 9509 wäre nur ein Probenahmezeitpunkt nach 4 Stunden vorgesehen, was zur Beurteilung von Eluaten jedoch nicht geeignet ist.

Zu Beginn der Untersuchung wird in den Testansätzen ca. 60 mg/l Ammonium-Stickstoff vorgelegt, welcher von den im Belebtschlamm enthaltenen Nitrifikanten (Bakterien) zu Nitrit und Nitrat oxidiert wird. Bei Abwesenheit störender Faktoren erfolgt der Umsatz mit einer bestimmten Rate, die im Kontrollansatz ermittelt wird. Parallel dazu wird ein Referenzansatz mitgeführt, der als Inhibitor Allylthioharnstoff enthält. Hier werden die Nitrifikanten vollständig gehemmt. Die Testansätze mit den zu untersuchenden Proben liegen je nach Toxizität dazwischen.

Die Nitrifikationsrate des Belebtschlammes im Kontrollansatz sollte nach einer Inkubationszeit von vier Stunden 2 bis 6 mg Stickstoff je g suspendierter Feststoffe und Stunde betragen.

Die Testansätze sowie der Kontroll- und Referenzansatz werden für 30 Stunden bei 20 - 25 °C belüftet und die Abnahme der Ammoniumkonzentration zu den verschiedenen Probenahmezeitpunkten bestimmt.

Zu den Zeitpunkten 0 h, 4 h, 7 h, 23 h und 30 h wurde jeweils 5 ml Probe entnommen, zur Abtrennung von Partikeln und Bakterien filtriert und aus den klaren Filtraten erfolgte die Bestimmung der Ammoniumkonzentration nach DIN 38406-E5-2.

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.

Anhang 3
Liste der Betreuer des Projektes
Vortragende und Gäste des Kolloquiums zum Thema
„Ökotoxikologische Testmethoden“

Betreuer des Projektes

Frau Dr. Pawel, DIBt, Berlin

Herr Böhme, SenSUT, Berlin; (als Stellvertreter für Herrn Jedlitschka, Bayer. Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, München),

Herr Dr. Dorner, Lehrstuhl für Baustoffe und Kunststoffe an der TU München
(als Stellvertreter für Prof. Schießl)

Herr Jungnickel, Landesgewerbeamt Bayern (LGA), Nürnberg

Herr Prof. Dr. Linden, Fachhochschule Kiel

Herr Prof. Dr. Müller-Wegener, Umweltbundesamt (UBA) Berlin

Vortragende

Herr Prof. Dr. Hansen, Institut für Ökotoxikologie, Technische Universität Berlin

Herr Dr. Kalnowski, Fachgebiet Hygiene, Technische Universität Berlin

Frau Dr. Schwarz, Abt. Ökologie und Umweltanalytik der BASF, Ludwigshafen

Herr Dr. Tuschewitzki, Hygiene-Institut Gelsenkirchen

Gäste

Herr Dr. Dizer, Institut für Ökotoxikologie, TU Berlin

Herr Misch, DIBt, Berlin

Frau Wittekindt, Institut für Ökotoxikologie, TU Berlin