

terracontrol GmbH
Hermann-Löns-Weg 32, 69118 Heidelberg

**„Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen durch
mineralische Zuschlagstoffe bei gleichzeitiger Gewinnung
von Sekundärrohstoffen für die Herstellung hochwärmedämmender
Leichthochlochziegel“**

Abschlußbericht über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Az 16285

von

Dr. Stefan Ketterer & Prof. Dr. Wolfgang Krcmar

Januar 2002

Danksagung

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Arbeiten wurden mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Kennzeichen Az 16285 gefördert.

Antragsteller und Kooperationspartner möchten hiermit ausdrücklich für die Bereitstellung der Mittel danken.

Bezugsadresse:

terracontrol GmbH
Hermann-Löns-Weg 32
69118 Heidelberg

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**UMWELT
STIFTUNG**

Az	16285	Referat	23	Fördersumme	234.151,00 DM
Antragstitel	Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen durch mineralische Zuschlagstoffe bei gleichzeitiger Gewinnung von Sekundärrohstoffen für die Herstellung hochwärmedämmender Leichthochlochziegel				
Stichworte	Abfall Recycling, Filtration, Bentonitsuspensionen				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
15 Monate	01.07.2000	30.09.2000			
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	<i>terracontrol</i> Gesellschaft für Reststoffwirtschaft und angewandte Umweltgeologie mbH			Tel	06221/895421
	Hermann-Löns-Weg 32			Fax	06221/895429
	69118 Heidelberg			Projektleitung	Dr. Stefan Ketterer
				Bearbeiter	Dr. Stefan Ketterer
Kooperationspartner	Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg Institut für Umwelt-Geochemie, 69115 Heidelberg Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg 90489 Nürnberg				

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

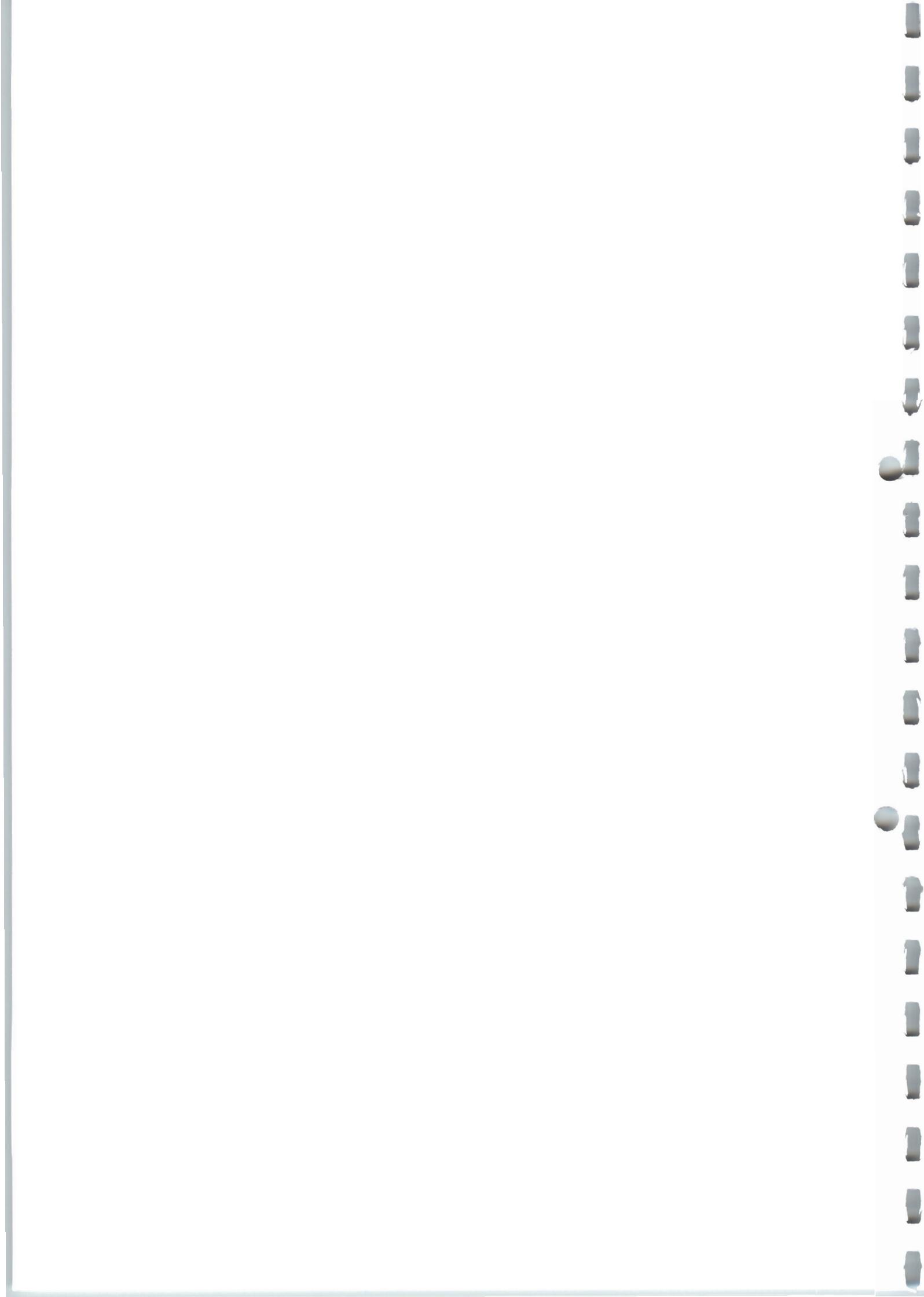
Gebrauchte Bentonitsuspensionen fallen u.a. im Spezialtiefbau an. Deren Entsorgung wirft aus ökologischer und ökonomischer Sicht Probleme auf. Ziel des Vorhabens ist die Erarbeitung der Grundlagen eines wirtschaftlichen und umweltgerechten Aufbereitungs- und Verwertungskonzepts. Das Konzept beruht auf der Entwässerung der Suspensionen mit Hilfe von mineralischen Zuschlagstoffen, welche sich als Filterhilfen eignen und als Abstoffe in anderen Industriezweigen anfallen können. Der aus Bentonit und Zuschlagstoffen bestehende Filterkuchen entspricht einem Ton-Sand-Gemisch und soll als Rohstoff bei der Herstellung hochwärmedämmender Leichthochlochziegel eingesetzt werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Im Rahmen vergleichender Laborversuchsreihen wurden 25 potentielle Filterhilfen auf ihre Eignung getestet. Die verwendeten Suspensionen kamen aus dem Bau von Schlitzwänden und Bohrpfählen sowie dem Tunnelbau. Die Versuche wurden in einem Baustofflabor der Fa. Bilfinger & Berger, die umweltrelevanten Analysen (Suspensionen, Filterhilfen, Filtrat) am Institut für Umwelt-Geochemie der Universität Heidelberg durchgeführt.

Mit ausgewählten Filterhilfen (gebrauchte Kieselgur, Perlitstaub, Bimswaschschlamm und Müllverbrennungsasche (MVA)) wurden anschließend im Technikumsmaßstab Entwässerungen mit Kammerfilterpressen praxisnah realisiert und optimiert. Gleichzeitig konnten ausreichende Mengen Filterkuchen für die keramtechnischen Untersuchungen an der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg gewonnen werden.

Hier wurden nach Vorversuchen zum generellen Einsatz von Bentoniten die Filterkuchen aus Bentonit und Zuschlagstoffen bis max. 40 Ma.% mit einem Ziegel-Rohnton vermengt. An insgesamt 1364 Formlingen (Labor-Ziegel und Wärmeleitplatten) erfolgte die Bestimmung der Trocken- und Brennschwindung, Rohdichte und Scherben-Rohdichte, Druckfestigkeit und Scherben-Wärmeleitfähigkeit.



Ergebnisse und Diskussion

Die Eignung als Filterhilfe hat sich in den Labortests bei einer Vielzahl der geprüften Stoffe bestätigt, z.B. Perlitstaub, gebrauchte Kieselgur oder Müllverbrennungsgasche (MVA). Auf dem Markt steht also eine Vielzahl potentieller Filterhilfen in Form mineralischer Abfallstoffe oder niedrigpreisiger (Sekundär)Rohstoffe zur Verfügung.

Die keramtechnischen Ergebnisse zeigen, dass alle Feststoffgemische in der Ziegelindustrie verwendet werden können. Die enthaltenen Filterhilfen weisen vergleichsweise niedrige Schüttgewichte auf. Dadurch werden schwerere Tonminerale in der Ziegelrohmasse substituiert und die Scherbenrohichte herabgesetzt. Die gleichzeitige Erniedrigung der Wärmeleitfähigkeit führt zu der gewünschten wärmedämmenden Wirkung.

Unter wärmetechnischen Gesichtspunkten und auch bezüglich der Druckfestigkeiten sind die Bentonit-Filterkuchen mit Perlitstaub, gebrauchter Kieselgur und Bimswaschschlamm besonders gut für die Ziegelherstellung geeignet.

Die mit Müllverbrennungsgasche hergestellten Probekörper erbrachten bei praktisch allen Tests die schlechtesten Ergebnisse. Wenn der wärmetechnische Effekt nicht im Vordergrund steht, kann die diese zumindest als Abmagerungsmittel eingesetzt werden. Der zugesetzte Massenanteil sollte jedoch niedrig sein, um eine zu starke Festigkeitsminderung zu verhindern.

Die umweltrelevanten Analysen der Filterhilfen erbrachten keine besonderen Auffälligkeiten. Nur die verwendete Müllverbrennungsgasche wies erhöhte Schwermetall- und Salzgehalte auf. Dies ist ein weiterer Grund, Müllverbrennungsgasche ggf. nur in geringen Massenanteilen zu verwenden.

Die gesetzten Arbeitsziele wurden fast vollständig und in der erwarteten Zeit erreicht. Allerdings ist wegen der Komplexität der Einflußgrößen zum gegenwärtigen Zeitpunkt keine seriöse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung möglich. Die Wirtschaftlichkeit hängt insbesondere vom Standort der Filterpresse und des Verwerfers (Ziegelei) sowie der regionalen Verfügbarkeit der Filterhilfen ab. Die Kostenvorteile, die sich über die Nutzung sekundärer Filterhilfen und die Vermeidung von Deponierungskosten ergeben, müssen gegen einen unter Umständen größeren logistischen Aufwand gerechnet werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Verwertungskonzept auf das jeweilige Bauvorhaben angepasst werden muß. Seine besondere Bedeutung dürfte in der Abwicklung großer Spezialtiefbau-Projekte, z.B. im Tunnelbau, liegen.

Das neue Konzept entspricht dem Prinzip der Abfallverwertung bzw. -vermeidung. Zusätzlich entfällt der Einsatz von Flockungsmitteln für die Filtration. Deponiekapazitäten werden geschont, wie auch die Rohstoff-Ressourcen für die Ziegelherstellung (Tonersatz).

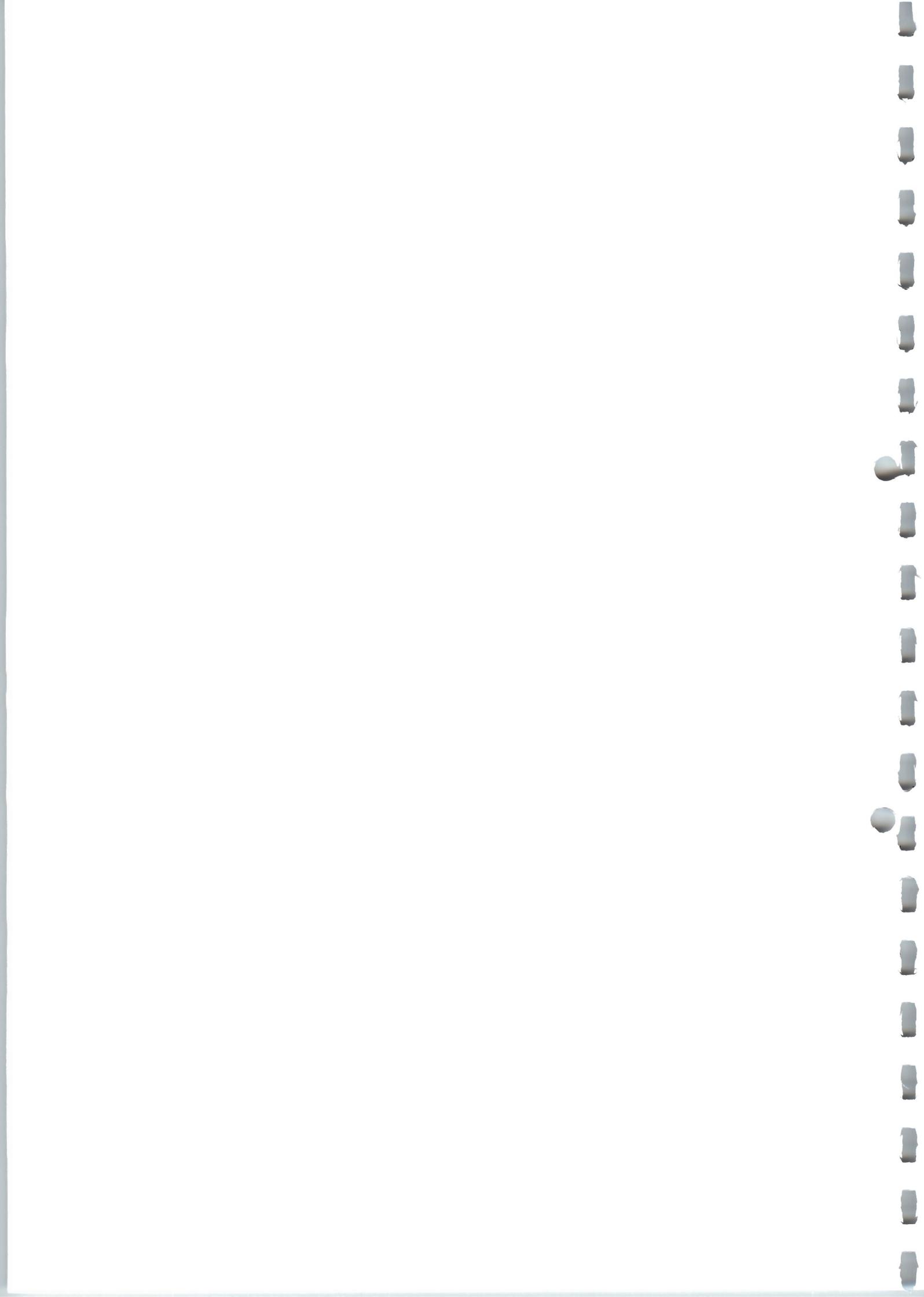
Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Es ist geplant, das Verwertungskonzept in folgender Form zu verbreiten:

- Direkte Informationen an Spezialtiefbau-Unternehmen (z.B. Auszüge aus dem Abschlußbericht, Veröffentlichungen)
- Veröffentlichung in Fachzeitschriften aus den Bereichen Abfallwirtschaft, Spezialtiefbau, Ziegelindustrie
- Vorträge, Seminare und Veranstaltungen der FH Nürnberg

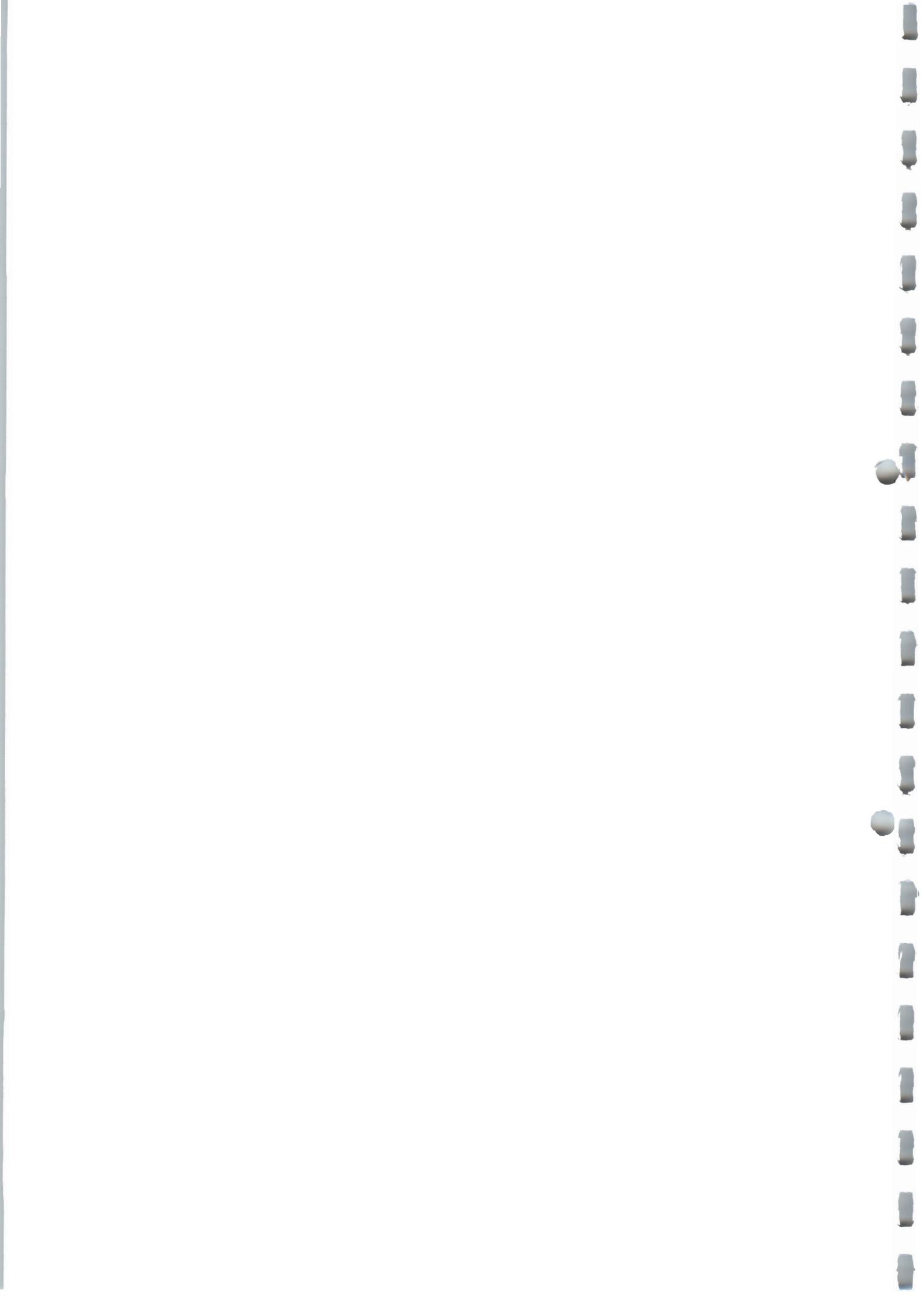
Fazit

Um das Verfahren im Markt besser platzieren zu können, wäre als nächster Schritt ein Großversuch im Rahmen eines großen Spezialtiefbau-Projektes sinnvoll. Neben den technischen und genehmigungsrechtlichen Aspekten sollte dabei die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens besonders betrachtet werden.



Inhalt

1	Einleitung	.....	1
2	Filtrationen	.....	2
2.1	Verwendete Suspensionen	.....	3
2.2	Verwendete Filterhilfen	.....	5
2.3	Laborversuche	.....	7
2.3.1	Verwendete Geräte	.....	7
2.3.2	Vorversuche zur Festlegung der Filtrationsbedingungen	.....	7
2.3.3	Angewandte Filtrationsmethode	.....	14
2.3.4	Ergebnisse der vergleichenden Filtrationsversuche	.....	15
2.4	Filtrationen im Technikumsmaßstab	.....	20
3	Chemisch-physikalische Untersuchungen	.....	23
4	Keramische Untersuchungen	.....	31
4.1	Einleitung	.....	31
4.2	Zielstellung bei der Durchführung der keramischen Untersuchungen	.....	32
4.3	Filterkuchen als Zuschlagstoff	.....	32
4.4	Verwendete Tonsorte	.....	33
4.5	Aufbereitung des Tones	.....	33
4.6	Mischen der Masse-Versätze	.....	35
4.7	Auswertung der experimentellen Ergebnisse	.....	39
4.7.1	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung	.....	39
4.7.2	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf Ziegel-Rohdichte, Scherben-Rohdichte und Druckfestigkeit	.....	45
4.7.2.1	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Ziegel-Rohdichte	.....	47
4.7.2.2	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Scherben-Rohdichte	.....	48
4.7.2.3	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Ziegel-Druckfestigkeit	.....	49
4.7.3	Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Scherben-Wärmeleitfähigkeit λ	.....	50
4.8	Diskussion der keramischen Ergebnisse	.....	51
4.9	Zusammenfassung der keramischen Ergebnisse	.....	53
5	Verwertungskonzept und Diskussion	.....	55
6	Fazit	.....	61
7	Zusammenfassung	.....	62
8	Literatur	.....	65



Anhang

1 Filtrationen: Laborversuche

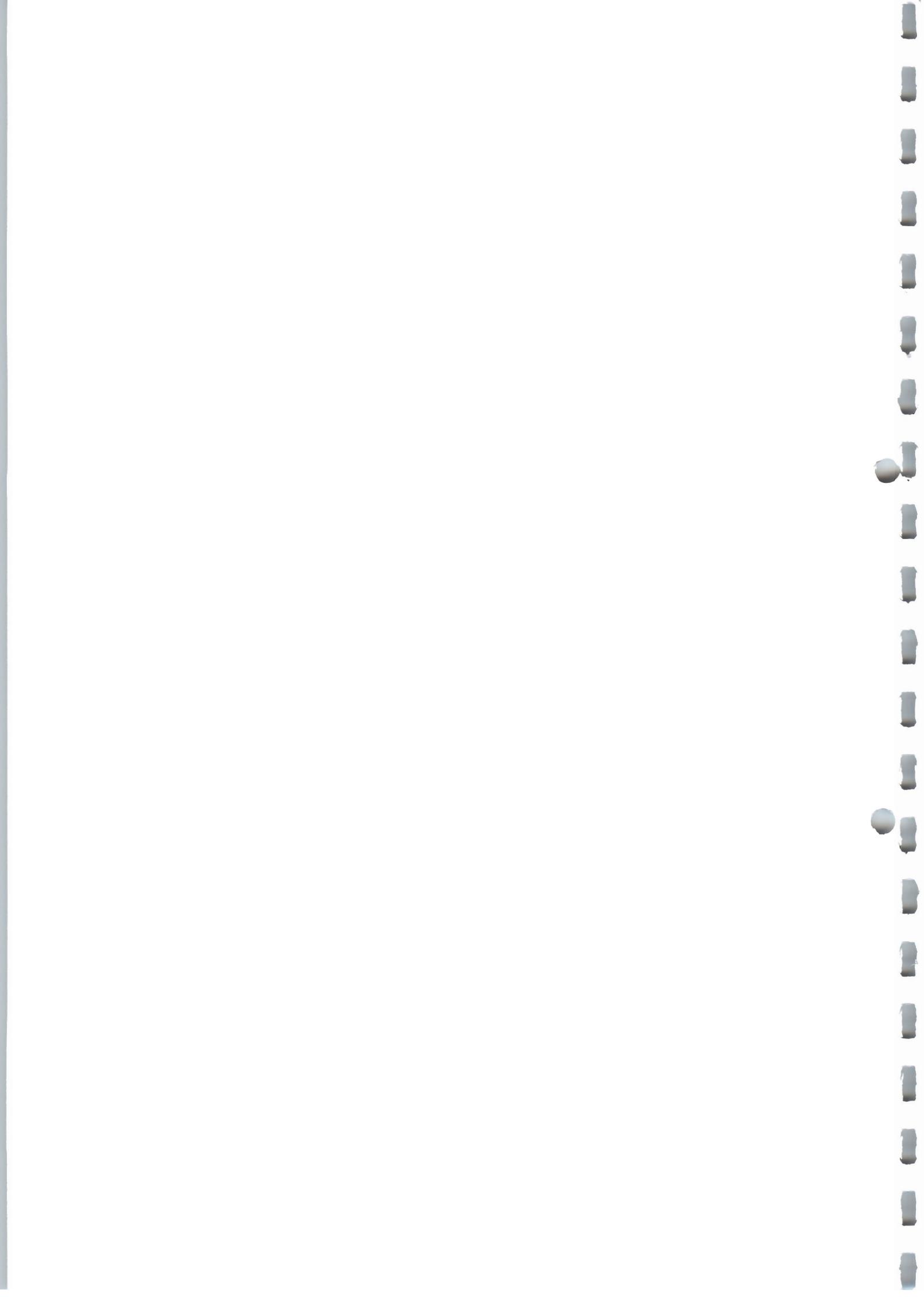
- 1.1 Aufbau von Filterschichten und Einmischung von Filterhilfen im Vergleich
- 1.2 Variation von Filtrationsdrücken
- 1.3 Filtrationswirkung in Abhängigkeit vom pH-Wert bei Zugabe von Essigsäure
- 1.4 Filtrationswirkung mit Flockungsmitteln
- 1.5 Optimierung Filterhilfsmengen
 - 1.5.1 Optimierung Filterhilfsmengen: Kieselgur
 - 1.5.2 Optimierung Filterhilfsmengen: Müllverbrennungssasche MVA
 - 1.5.3 Optimierung Filterhilfsmengen: Bimswaschschlamm
 - 1.5.4 Optimierung Filterhilfsmengen: Lava 2-5 mm
 - 1.5.5 Optimierung Filterhilfsmengen: Perlitstaub
- 1.6 Reihenuntersuchungen
 - 1.6.1 Tixoton-Suspension (Kehl) mit Filterhilfen, einzeln
 - 1.6.2 Tixoton-Suspension (Kehl) mit Filterhilfsmischungen
 - 1.6.3 Dywonit-Suspension mit Filterhilfen, einzeln, und NaCl
 - 1.6.4 Dywonit-Suspension mit Filterhilfsmischungen
 - 1.6.5 Tixoton-Suspension (Köln) mit einzelnen Filterhilfen und Filterhilfsmischungen
- 1.7 Technikumsversuche bei der Fa. Outokumpu Technology GmbH, Alsdorf (Photodokumentation)
- 1.8 Versuchsbericht Technikumsfiltrationen: Fa. Outokumpu Technology GmbH, Alsdorf

2 Chemisch-physikalische Untersuchungen

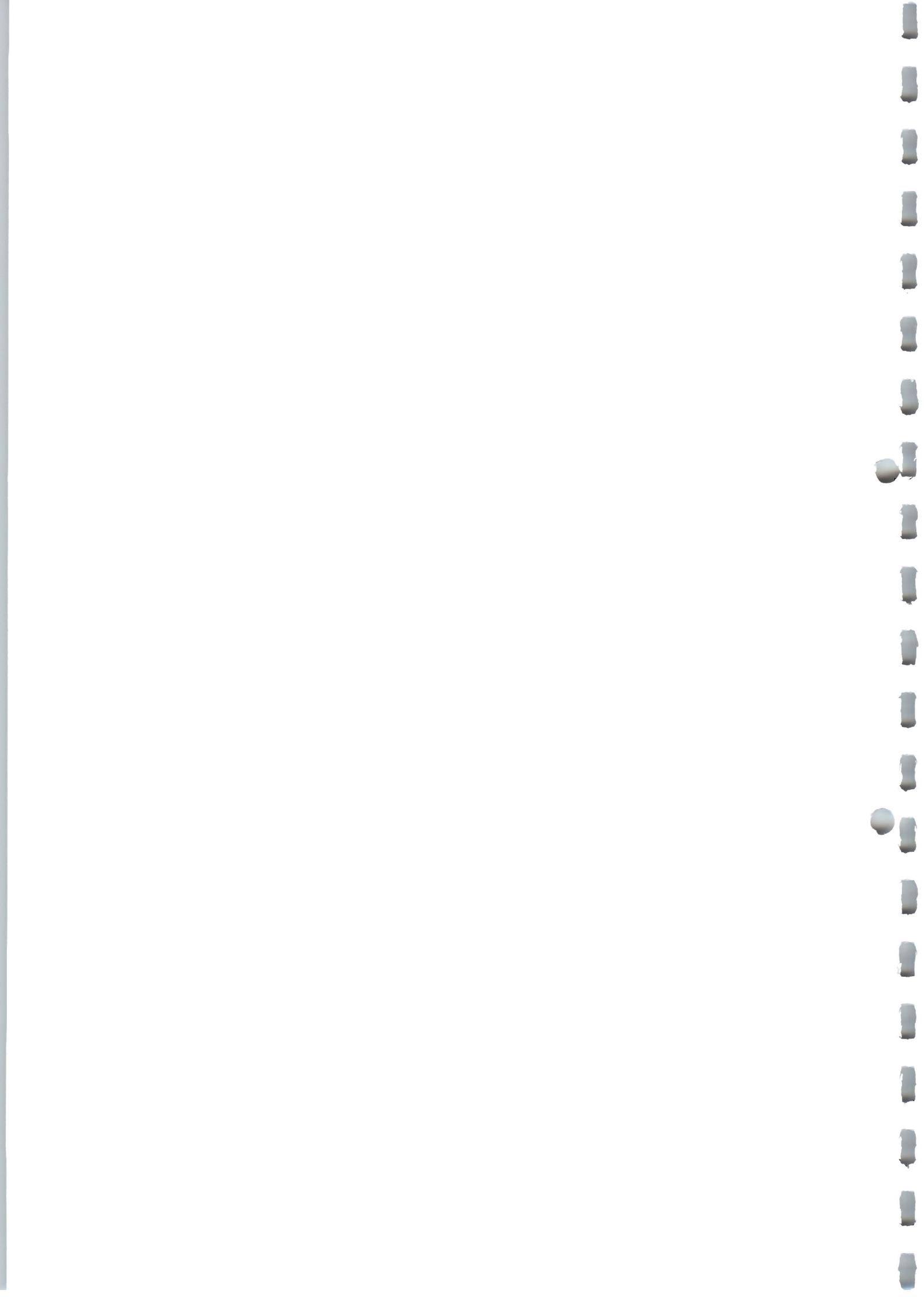
- 2.1 pH und Leitfähigkeit (EL):
Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filtrate aus Vorversuchen
- 2.2 pH, Leitfähigkeit (EL), Chlorid, Sulfat, Trübung:
Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filterkuchen sowie Filtrate aus Technikumsversuchen
- 2.3 Schwermetalle: Feststoffe
- 2.4 Schwermetalle:
Suspensionen, Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filterkuchen sowie Filtrate
- 2.5 Organische Parameter: Filterkuchen
- 2.6 Organische Parameter: Filtrate
- 2.7 Kohlenstoffanalysen: Feststoffe und Filtrate
- 2.8 Eluatuntersuchungen von gebrannten Ziegeln
- 2.9 Spezifische Oberfläche verschiedener Materialien

3 Keramische Untersuchungen

- 3.1 Filterkuchen AZT mit MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.
- 3.2 Filterkuchen AZT mit MVA/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.
- 3.3 Filterkuchen AZT mit Kieselgur/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.
- 3.4 Filterkuchen AZT mit Perlit/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.
- 3.5 Filterkuchen Elberg mit Perlit/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.



- 3.6 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).
- 3.7 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung als Zuschlagstoff).
- 3.8 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung)
- 3.9 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.10 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.11 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.12 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).
- 3.13 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT – Filterkuchen (MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung als Zuschlagstoff).
- 3.14 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT – Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.15 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT – Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.16 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.17 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg – Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.18 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).
- 3.19 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.20 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.21 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.22 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.
- 3.23 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.



1. Einleitung

Gebrauchte Bentonitsuspensionen fallen insbesondere im Spezialtiefbau (Schlitz- und Stützwände, Bohrpfähle), beim Tunnelvortrieb, bei Tiefbohrungen, im Deponiebau und bei der Altlastensicherung an. In der Praxis werden die Suspensionen direkt entsorgt oder mit dem Ziel entwässert, das Filtrat in die Kanalisation zu überführen und den Filterkuchen getrennt zu beseitigen.

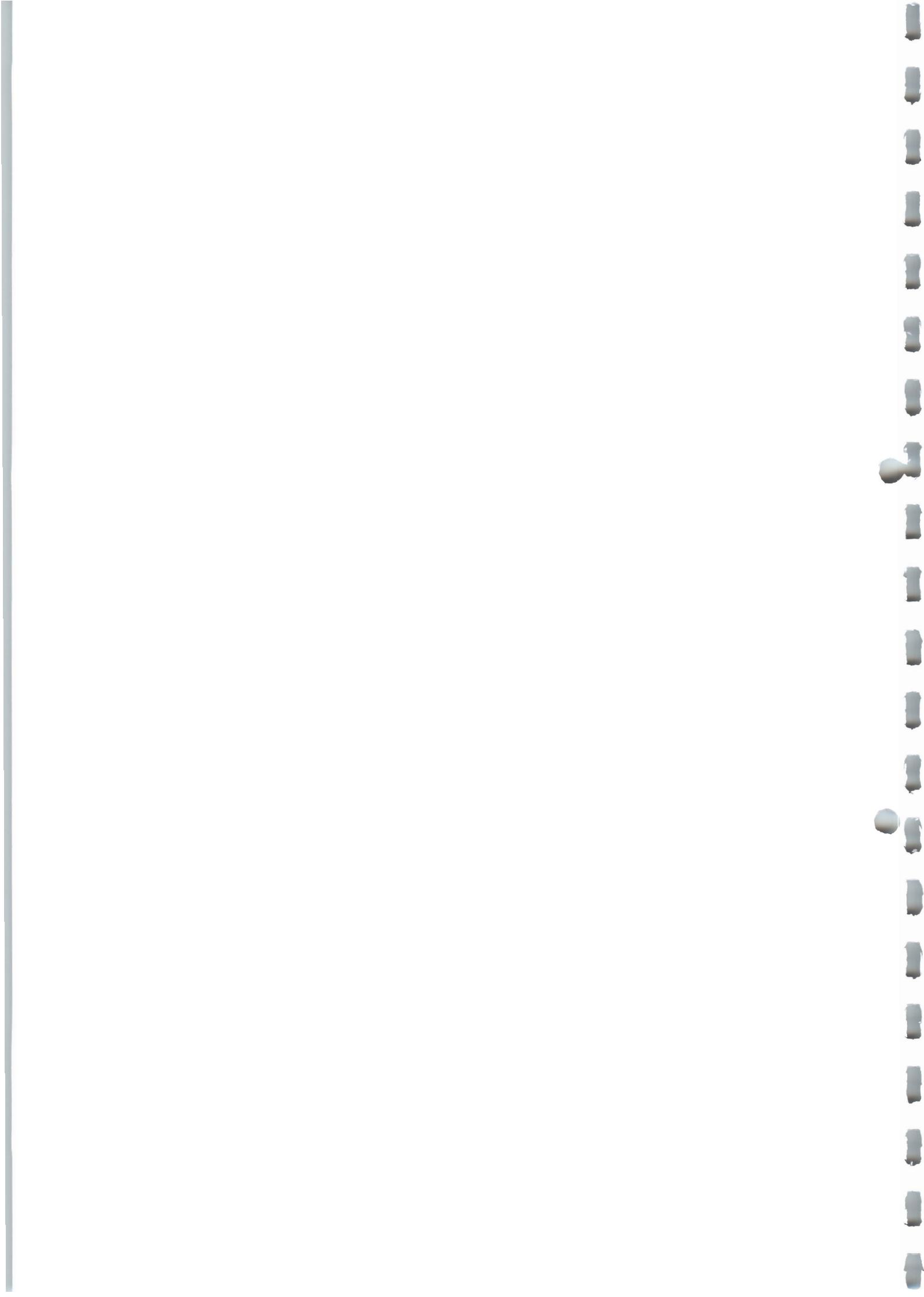
Die direkte Entsorgung (z.B. Ausbringung auf landwirtschaftliche Flächen, Deponierung bzw. Einleitung in Erdbecken, Verpressen vor Ort) ist vor dem Hintergrund des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und der Umsetzung des Bodenschutzgesetzes in Frage gestellt. Zudem entstehen bei den großen Anfallmengen von bis zu einigen 10.000 m³ pro Baustelle hohe Kosten für die Entsorgung und Logistik.

Die Wirksamkeit der Entwässerung, z.B. über Filterpressen, ist in vielen Praxisfällen aufgrund der spezifischen Eigenschaften des Bentonits unzureichend. Oft ist sie nur unter Zugabe von Flockungsmitteln möglich. Diese salzen das Filtrat allerdings unerwünscht auf bzw. finden sich im Filterkuchen wieder und stellen einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar. Der Filterkuchen wird in der Regel nicht verwertet, sondern beseitigt.

Das Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten und in diesem Bericht dargestellten F&E-Vorhabens ist die Verifizierung und Ausarbeitung einer wirtschaftlichen und umweltgerechten Aufbereitungs- und Verwertungsalternative für gebrauchte Bentonitsuspensionen.

Das Konzept beruht auf der effektiven Entwässerung der Suspensionen mit Hilfe von mineralischen Zuschlagsstoffen, welche sich als Filterhilfe bzw. Gerüstbildner eignen (z.B. Kieselgur, Perlit). Diese Zuschlagsstoffe, die ihrerseits als Abstoffe in anderen Industriezweigen anfallen können, eignen sich gleichzeitig zur Abmagerung der Feststoffphase. Die entstehenden Feststoffe (Filterkuchen) entsprechen weitestgehend Ton-Sand-Gemischen und sollen als Sekundärrohstoffe bei der Ziegelherstellung eingesetzt werden. Das Filtrat soll den Anforderungen zur Einleitung in die Kanalisation genügen.

Das F&E-Vorhaben wurde in der Zeit vom 01.07.2000 bis 30.09.2001 in zwei, teils parallel verlaufenden Programmen durchgeführt:



A) Filtrationsuntersuchungen

Labor- und Technikumsversuche zur Bestimmung geeigneter Filterhilfsmittel (Sekundärrohstoffe) und Festlegung von Filtrationsbedingungen; zusätzlich umweltrelevante Analysen von Filterhilfen, Filterkuchen und Filtraten.

B) Keramische Untersuchungen

Eignungsversuche mit Bentonit und den aus den Filtrationen erhaltenen Feststoffgemischen (Filterkuchen) als Zuschlagsstoffe zur Herstellung hochwärmedämmender Leichthochlochziegel.

Die Projektleitung oblag dem Antragsteller des F&E-Vorhabens, der Fa. *terracontrol* GmbH in Heidelberg.

Kooperationspartner waren:

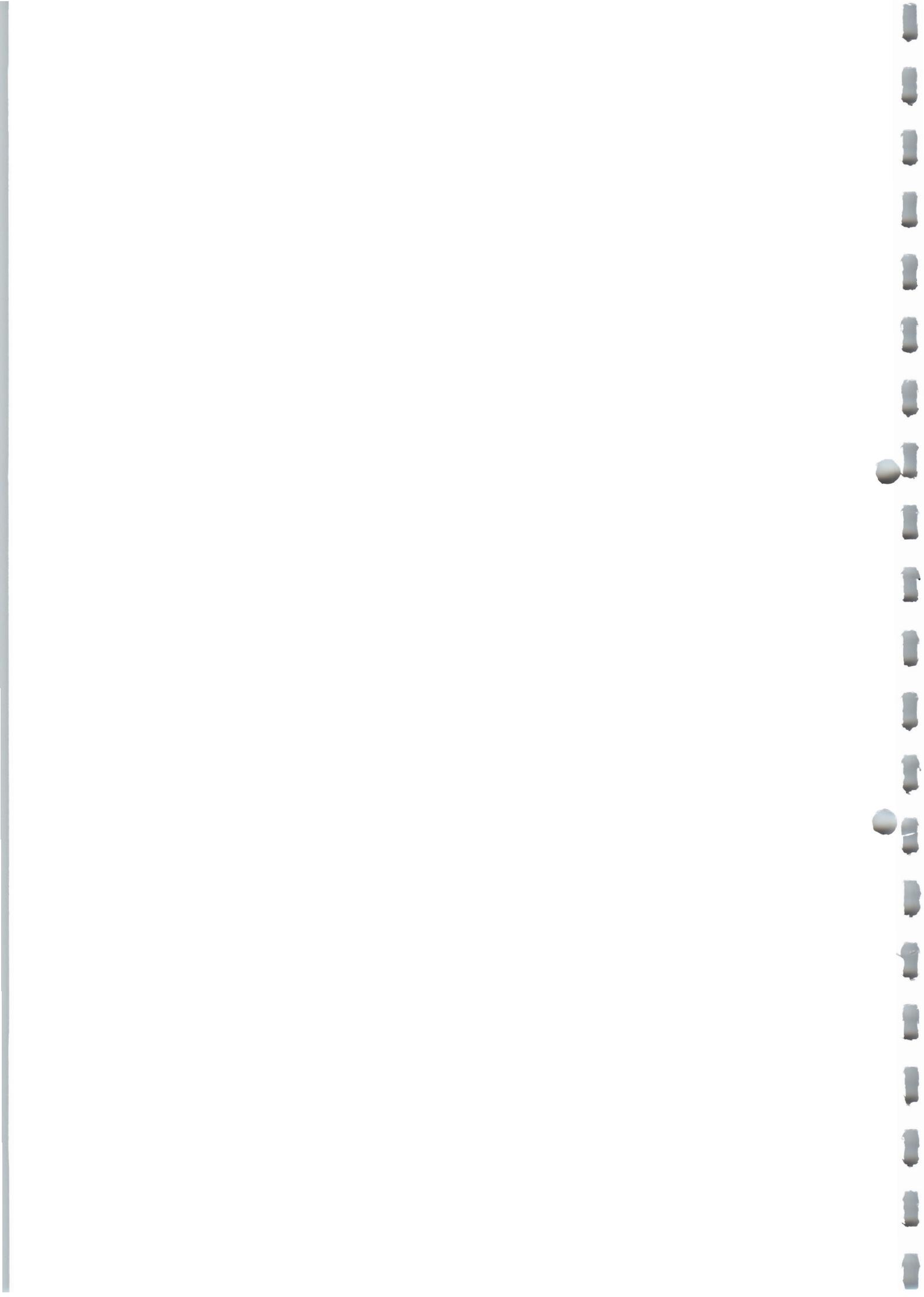
- Institut für Umwelt-Geochemie der Universität Heidelberg
Verantwortlicher Bearbeiter: Dr. A. Yahya
Aufgabengebiet: Chemisch-physikalische Analysen
- Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg (keramische Untersuchungen)
Verantwortlicher Bearbeiter: Prof. Dr. W. Krcmar
Aufgabengebiet: Keramische Untersuchungen

Die Filtrationsversuche im Labor und Technikum wurden als Subunternehmerleistungen extern vergeben.

2. Filtrationen

Es wurden sowohl Versuche im Labormaßstab, als auch größermaßstäbliche Filtrationen im Technikum durchgeführt.

Die Laborversuche dienten der Feststellung geeigneter Filterhilfen über Vergleichsreihen, aber auch der Untersuchung verschiedener Filtrationsbedingungen.



Die BILFINGER + BERGER BAU AG, Mannheim, wurde mit der Durchführung dieser Versuche beauftragt. Im Mannheimer Zentrallabor erfolgten die Untersuchungen unter Anleitung des Unterzeichners.

Die Technikumsversuche hatten zum Ziel, die Vorversuche unter realen Bedingungen zu verifizieren und die wesentlichen Filtrationsparameter in der Kammerfilterpresse zu bestimmen. Daneben sollten ausreichende Probenmengen für die keramischen Untersuchungen (Feststoff) und Umweltanalytik (Feststoff/Filtrat) gewonnen werden. Diese Versuche kamen bei der Firma OUTOKUMPU TECHNOLOGY GmbH, ehemals Fa. Hoesch, in Alsdorf zur Ausführung.

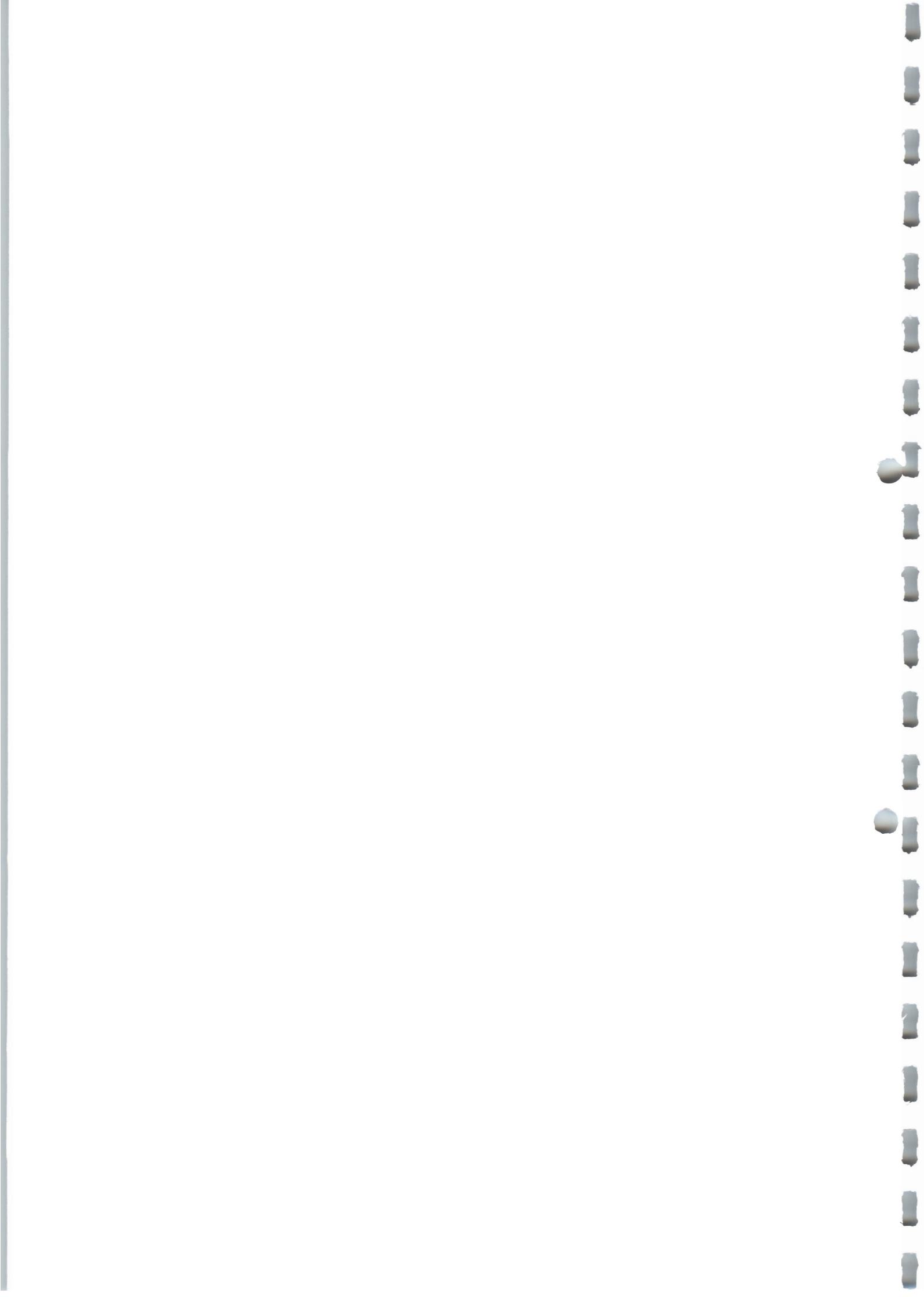
2.1 Verwendete Suspensionen

Die zu untersuchenden Suspensionen sollten das Spektrum der Anwendungsbereiche im Spezialtiefbau und Tunnelbau möglichst gut abdecken. Dabei war es auch gewünscht, die Produkte einzelner Bentonit-Hersteller mit ihren durchaus unterschiedlichen Eigenschaften zu erfassen. Zu leichten Verzögerungen im F&E-Vorhaben kam es, als zum Zeitpunkt der geplanten Technikumsversuche keine geeigneten Baustellen verfügbar waren.

Für die Laborversuche wurden folgende gebrauchte Suspensionen, die durchwegs von mittleren bis großen Baustellen der Bilfinger & Berger Bau AG stammten, verwendet:

- Dywonit S (Hersteller: Dywo Dyckerhoff-Wopfinger GmbH)
Bauvorhaben in Wien: Schlitzwände
- Tixoton (Hersteller: Süd-Chemie AG)
Bauvorhaben in Kehl: Bohrpfähle
- Tixoton (Hersteller: Süd-Chemie AG)
Bauvorhaben in Köln: Schlitzwände

Daneben wurden Vergleichsuntersuchungen an zwei Frischsuspensionen (IBECO Spezial B und Dywonit S) durchgeführt, welche mit Leitungswasser der Stadt Mannheim angemacht worden waren.



Für die Filtrationen im Technikum wurden nachstehende Suspensionen ausgewählt:

- IBECO B1 (Hersteller: IBECO Bentonit-Technologie GmbH)
 Bauvorhaben AZT Arge Zimmerbergbasistunnel in Zürich: Stützsuspension für Tunnelvortrieb (Hydroschildverfahren)
 Ausführung: Wayss & Freytag AG
- CEBO CSK (Hersteller: CEBO Holland BV)
 Bauvorhaben Elbberg in Hamburg: Stützwandbau
 Ausführung: PST Preussag Spezialtiefbau GmbH

Dabei kommt dem Zimmerbergbasistunnel in Zürich - dem derzeit größten Bauvorhaben der Schweiz - mit monatlich 10-20.000 to gebrauchter Suspension eine besondere Bedeutung zu.

Nachstehender Tabelle (Tab.1) sind die Kenngrößen der Suspensionen zu entnehmen.

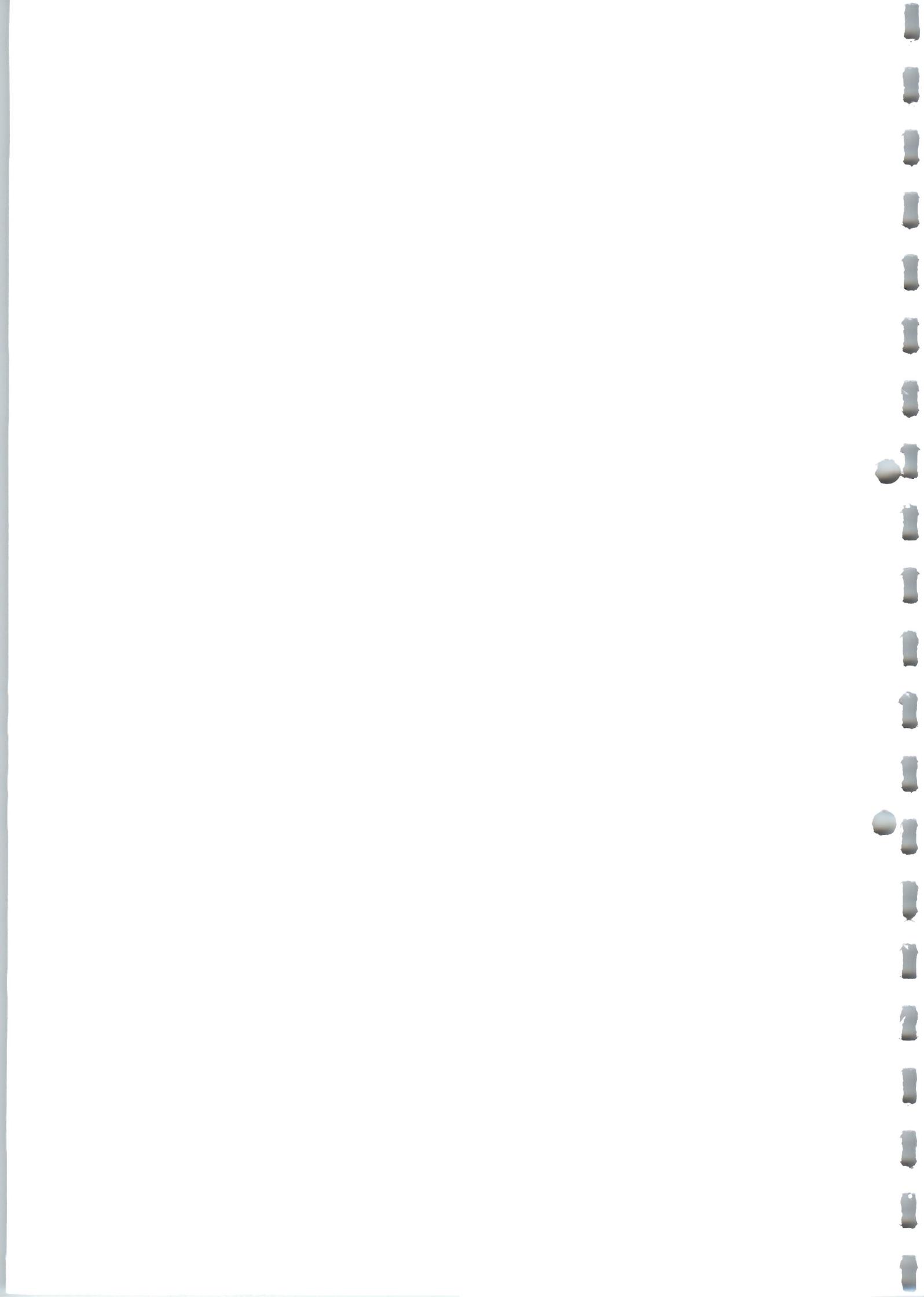
Tab. 1:

Kenngrößen der verwendeten Suspensionen. Die Dichten wurden mittels Spülungswaage (Fa. Leutert), der Sandgehalt mittels Sandgehalt-Meßgerät (Fa. Baroid) bestimmt. *: Die Bestimmungsmethode der Filtratwassermengen ist in Kap.2.3.3 beschrieben.

Suspension	Suspension, frisch		Suspension, gebraucht		
	Bentonit (kg/m ³ Wasser)	Dichte (g/cm ³)	Dichte (g/cm ³)	Sandgehalt (Vol.-%)	Filtratwasser (ml/n. 9 Min.*)
Dywonit S, Wien	35	1,020	1,045	ca. 1,0	11,8
Tixoton, Kehl	60	1,035	1,055	ca. 1,0	12,8
Tixoton, Köln	55	1,032	1,075	ca. 3,5	20,4
IBECO B1, AZT-Zürich	50-60	ca. 1,03	1,16-1,346	nicht bestimmt	11,8
CEBO CSK, Elbberg	42	1,027	1,091	ca. 5,0	21,2

Der geringe Dichteunterschied zwischen frischer und gebrauchter Suspension bei Dywonit, Wien, und Tixoton, Kehl und Köln, weist auf eine nur geringe Aufnahme von Nebengesteinsmaterialien hin.

Die pH-Werte gebrauchter Bentonitsuspensionen liegen im Allgemeinen zwischen 9 und 12. Die untersuchten Suspensionen wiesen relativ einheitliche Werte zwischen etwa pH 10 und 12 auf.

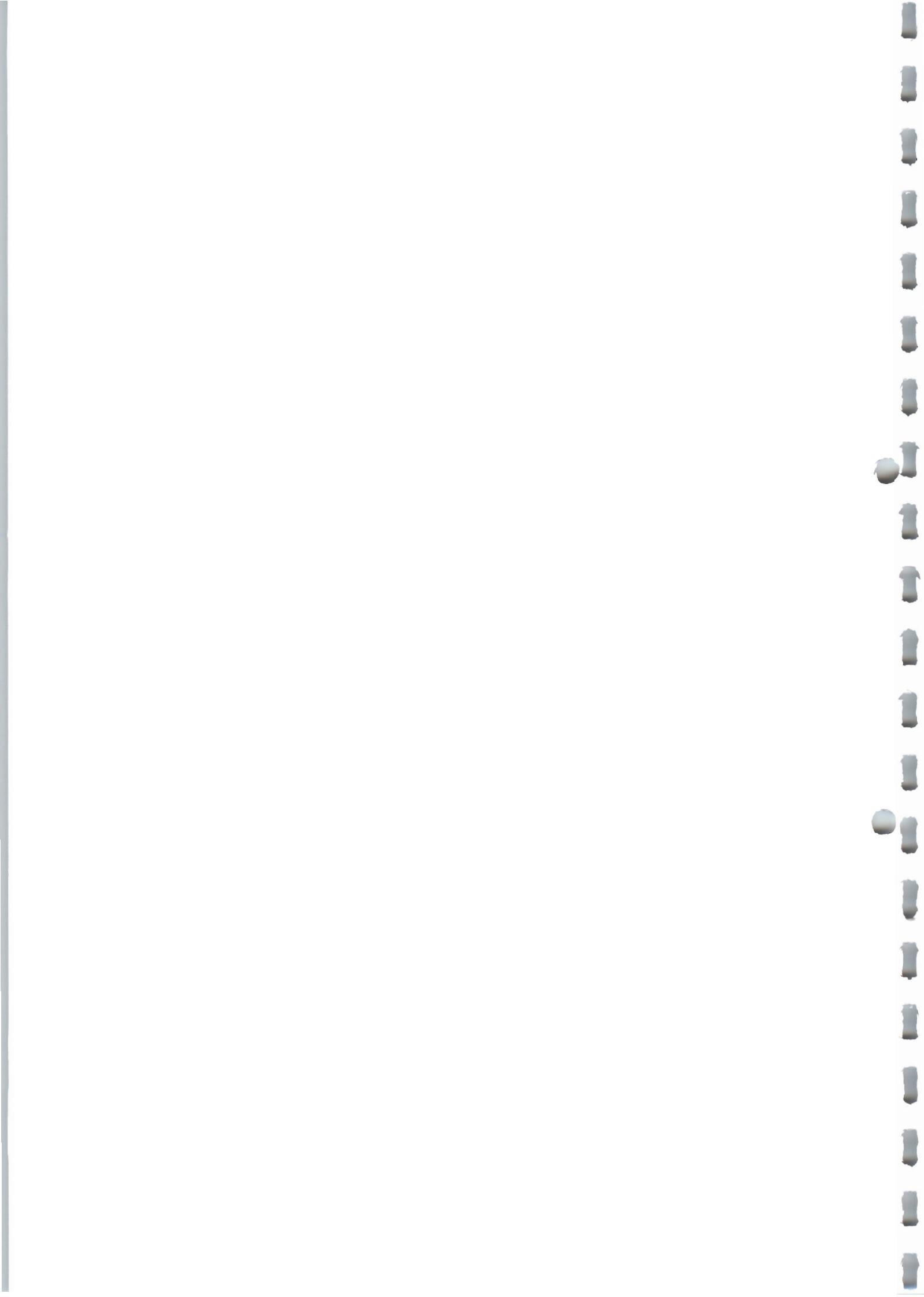


2.2 Verwendete Filterhilfen

Die Auswahl potentieller Filterhilfen geschah unter folgenden Vorgaben:

- möglichst hohes Mengenaufkommen
- möglichst gute, regionale Verfügbarkeit
- günstige Preise bzw. Zuzahlung durch den Abfallerzeuger
- möglichst positive Einflüsse auf Ziegeleigenschaften, wie Porosierung oder ggf. Abmagerung zu fetter Tone (soweit im Vorfeld abschätzbar)

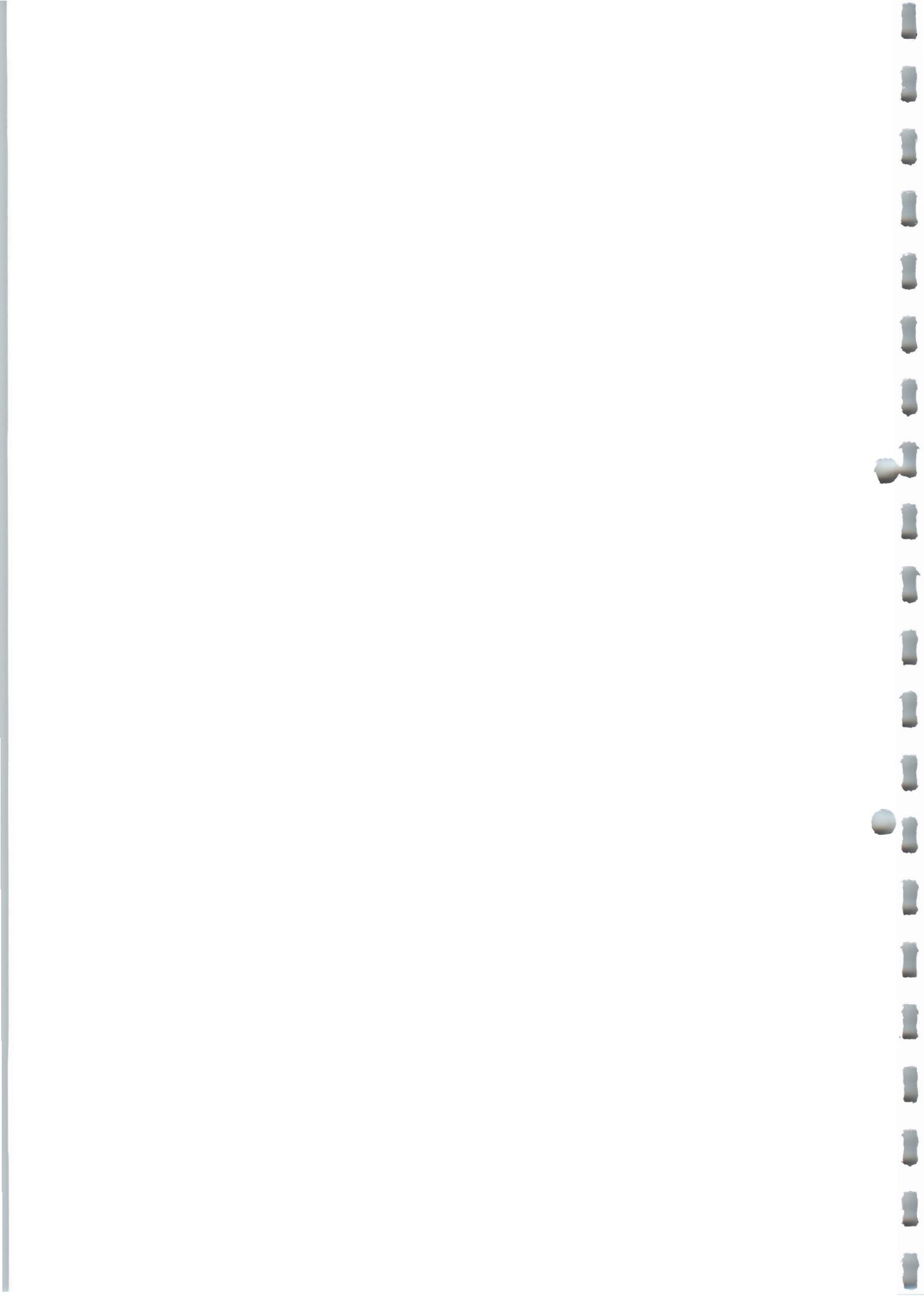
In Tab.2 sind alle getesteten Filterhilfen sowie zwei Flockungsmittel aufgelistet. Bei den Filterhilfen handelt es sich um Abfälle (z.B. Kieselgur von Welde Bräu oder Müllverbrennungssasche), um Ausgangsprodukte, welche als Komponenten in den jeweiligen Abfällen auftreten (z.B. Zellulose oder feine Gur in gebrauchtem Kieselgur), oder um meist niedrigpreisige, mineralische Schüttgüter bzw. blasfähige Materialien (z.B. Perlitstaub, Lava, Blähton). In einigen Fällen wurden stellvertretend für Abfälle deren Ausgangsprodukte untersucht (z.B. originale, unbeladene Aktivkohle aus der Wasseraufbereitung).



Tab. 2:

Liste der verwendeten Filterhilfen und Flockungsmittel

Filterhilfe	Herkunft	Bemerkungen
	<u>Bereich Brauereien</u>	
Tremogur, ungebraucht	Welde Bräu, Plankstadt	
Grobe Gur, ungebraucht	Welde Bräu	
Feine Gur, ungebraucht	Welde Bräu	
Kieselgur, gebraucht	Welde Bräu vom 14.02.01	
Kieselgur, gebraucht	Welde Bräu vom 21.03.01	
Kieselgur, gebraucht	Eichbaum Brauerei, Mannheim, vom 23.10.00	
	<u>Bereich Steine, Erden, Baustoffe</u>	
Quarzsand	Bilfinger & Berger Bau AG	Normsand, gemahlen verwendet
Liaporsand	Bilfinger & Berger Bau AG	0-2 mm und 0-1 mm (im Labor gesiebt)
Blähton	Leca Deutschland GmbH	2-5 mm
Bimssand	Rotec GmbH & Co.KG, Urmitz	0-4 mm
Waschbims	Rotec GmbH & Co.KG	0,5-4 mm
Bimswaschschlamm	Rotec GmbH & Co.KG	
Rotoperl 21	Rotec GmbH & Co.KG	Mischung Perlit:Bims = 1:1
Rotopor	Rotec GmbH & Co.KG	0-0,5 mm, Gasbeton aufbereitet (Ytong)
Lava	Stolz remiro GmbH, Manderscheid	2-5 mm und 0-2 mm (im Labor gesiebt)
Perlitstaub	Deutsche Perlite GmbH, Frankfurt	Grauer Ofenstaub; fällt nur noch an anderen Standorten in weißer Form, gemahlen u. gesiebt, an: 50-100 µm
Feinperlit	Deutsche Perlite GmbH	
Ziegelmehl	Bauschuttrecycling	0-1 mm
	<u>Bereich Industrie</u>	
Mineralfaserreste	ISOVER AG	Anfall: Herstellung von Mineralwolle
Walzzunder	Stahlindustrie	
Molsieb, gebraucht	Chemische Industrie	Stränge, aufgemahlen
	<u>Bereich Verbrennungsaschen</u>	
Müllverbrennungsasche MVA	Ludwigshafen	
Steinkohlenflugasche SFA Rapid	Baumineral S-BIF	
	<u>Bereich organische Filterhilfen</u>	
Zellulose, ungebraucht	Welde Bräu	
Aktivkohle CC8	Unisorb GmbH	
	<u>Flockungsmittel</u>	
Spezialpolymer	CIBA AG	Geeignet u.a. für Bentonitsuspensionen
Kationisches Polymer	Reiflock Abwassertechnik GmbH	Einsatz bei kommunalen Abwässern



2.3 Laborversuche

2.3.1 Verwendete Geräte

Zur Realisierung der vergleichenden Filtrationsreihen konnte auf die im Bereich der Qualitätsüberwachung von Bohrspülungen (-suspensionen) übliche Filterpressentechnik - insbesondere benutzt bei Großbohrungen - zurückgegriffen werden.

Hierzu wurden im Rahmen des Vorhabens 4 Filterpressen der Fa. Fann Instrument Company Houston (ehemals Baroid) angeschafft. Der Filtrationsdruck wird dabei über handelsübliche CO₂-Kartuschen erzeugt und ist frei regelbar. Der Probenbehälter (Suspensionsbehälter, Aufnahmevolumen: 200 ml) ist nach unten mit einem auf einem Drahtsieb liegenden Filterpapier abgeschlossen. Über das darunter befindliche Ablaufrohr gelangt das Filtrat in einen Meßzylinder. Abgelesen wird die Filtratwassermenge im zeitlichen Ablauf als Maß für die Entwässerungseffektivität.

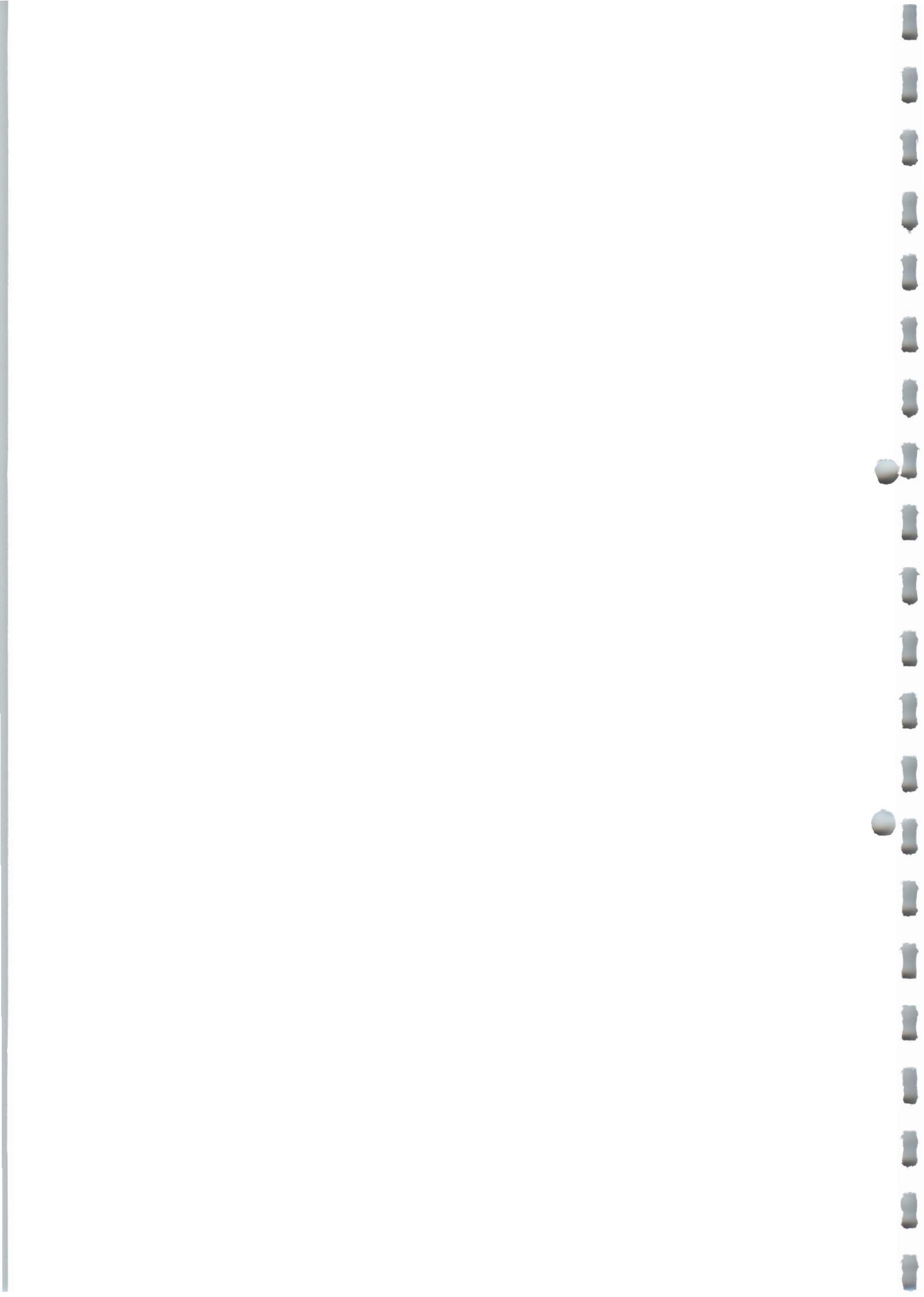
Filterhilfen und Suspensionen wurden mittels eines Ultraschallgeräts (Ultra Turrax T50, Fa. Janke + Kunkel IKA Labortechnik) oder per Hand homogenisiert (Näheres zu den Mischmethoden unter Kap.2.3.2).

Zur Dispergierung der frischen Suspensionen vor der Befüllung des Probenbehälters wurde ein hochtouriges Rührwerkzeug (Dissolverscheibe) benutzt. Die Dispergierzeit betrug 10 Min. bei einer Drehzahl des Rührgeräts von ca. 3000 U/Min., was üblichen Baustellenbedingungen entspricht. Die Untersuchungen an frischen Suspensionen erfolgten im ausgequollenen Zustand.

2.3.2 Vorversuche zur Festlegung der Filtrationsbedingungen

Um die für die Suspensionen und Gemische geeigneten Filtrationsbedingungen festzustellen bzw. bestimmte Einflußgrößen besser einschätzen zu können, wurden Vorversuche durchgeführt.

Die Filterhilfen wurden nicht auf die Trockensubstanz bezogen, sondern im originalen Zustand eingewogen.



Mischmethoden Suspension-Filterhilfe und Aufbau von Filterschichten

Die praktikabelste Mischmethode war die mittels Ultra-Turrax (vgl. Kap.2.3.1). Hierbei wurde die Filterhilfe zuerst in einen 500-ml-Meßzylinder (ohne Trocknung, d.h. im jeweils originalen Zustand), danach die Suspension eingewogen. Je nach Konsistenz der Mischung wurde zusätzlich mit Hilfe eines Stabes aufgerührt. Die Beschallung im Meßzylinder dauerte 2 Min. bei Stufe 7-8.

Bei Zellulose oder Suspensionen mit vergleichsweise hohen Filterhilfsanteilen (steife Konsistenz) mußte die Mischung per Hand mittels Rührstab vorgenommen werden, um eine homogene Durchmischung zu gewährleisten.

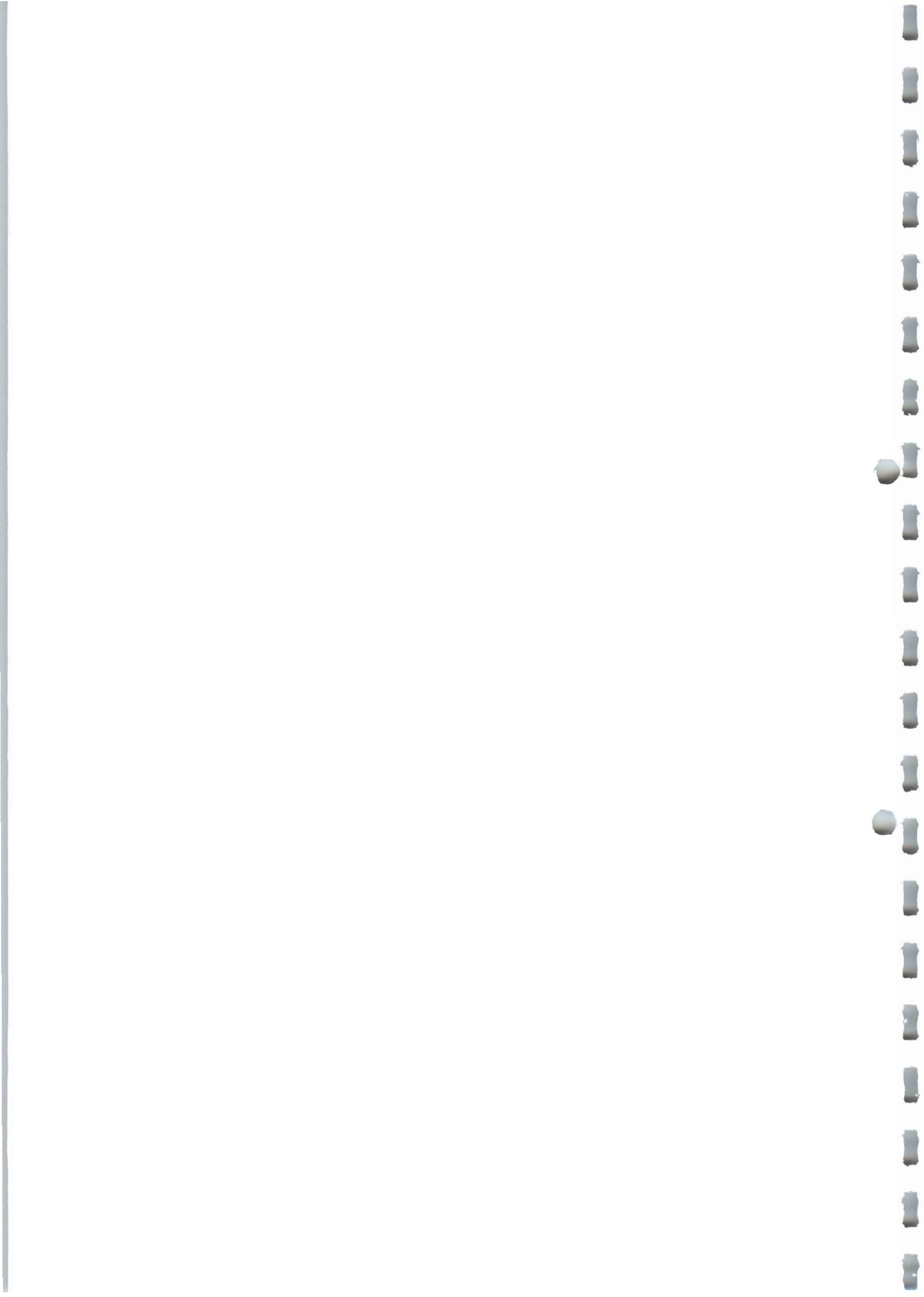
In vielen industriellen Anwendungen erfolgt der Filtrationsvorgang über vorher aufgebaute Filterschichten (z.B. in der chemischen Industrie oder im Brauwesen). In 2 Versuchen wurde ein solcher Schichtaufbau durchgeführt (Anhang 1, Zusammenfassung in Tab.3).

Tab. 3:

Entwässerungseffektivität: Aufbau von Filterschichten im Vergleich mit der Vermischung mittels Rührstab. Die Reihung der Filterhilfen entspricht dem Schichtaufbau von unten (gröberes Material) nach oben (feinstes Material). Filtrationsdruck: 5 bar, Suspension: Tixoton, Kehl

	Filterhilfen	Menge Filterhilfen (g)	Mischmethode	Menge Filtratwasser (ml)
Versuch 1	Liaporsand: Kieselgur 6:12 (Eichbaum)	6:12	Filterschichten aufgebaut	56,2 (nach 60 Min.)
	Liaporsand: Kieselgur 6:12 (Eichbaum)	6:12	Rührstab	39,6 (nach 60 Min.)
Versuch 2	Liaporsand: Kieselgur 6:12:6 (Eichbaum): MVA	6:12:6	Filterschichten aufgebaut	80,0 (Filter dicht nach 16 Min.)
	Liaporsand: Kieselgur 6:12:6 (Eichbaum): MVA	6:12:6	Rührstab	128,4 (nach 60 Min.)

Aus Tab.3 geht kein einheitliches Bild hervor. In Versuch 1 ist die Mischung mittels Rührstab weniger effektiv als der Aufbau von Filterschichten, in Versuch 2 umgekehrt. Das Ergebnis des Versuchs 2 ist wahrscheinlich auf die besondere Wirksamkeit der Müllverbrennungsasche MVA zurückzuführen (vgl. Kap.2.3.4), die sich erst bei inniger Vermischung einstellt. Dies ist möglicherweise nicht so sehr auf die Filtrationswirkung selbst, sondern auf das Vorhandensein von Salzen zurückzuführen, welche die



Bentonitaktivität brechen. Bemerkenswert ist jedoch, dass die Filtrationswirkung im Fall der Filterschichten in den ersten 16 Min. höher ist als bei der Rührmethode (vgl. Anhang 1).

Desweiteren zeigt Anhang 1 einen Vergleichsversuch, in dem Kieselgur als Filterschicht in Mengen von 11 und 22 g aufgegeben wurde. Bei 22 g ergibt sich gegenüber 11 g eine geringere Filtratwassermenge nach 60 Min.. Es ist zu vermuten, dass bei der höheren Filterhilfsmenge stärkere Verschlammungseffekte eingetreten sind.

Da in der Regel mit Kammerfilterpressen und einer vorgeschalteten Mischstufe gearbeitet wird, kommt dem Aufbau von Filterschichten im Augenblick eine noch geringe praktische Bedeutung zu.

Variation Filtrationsdruck

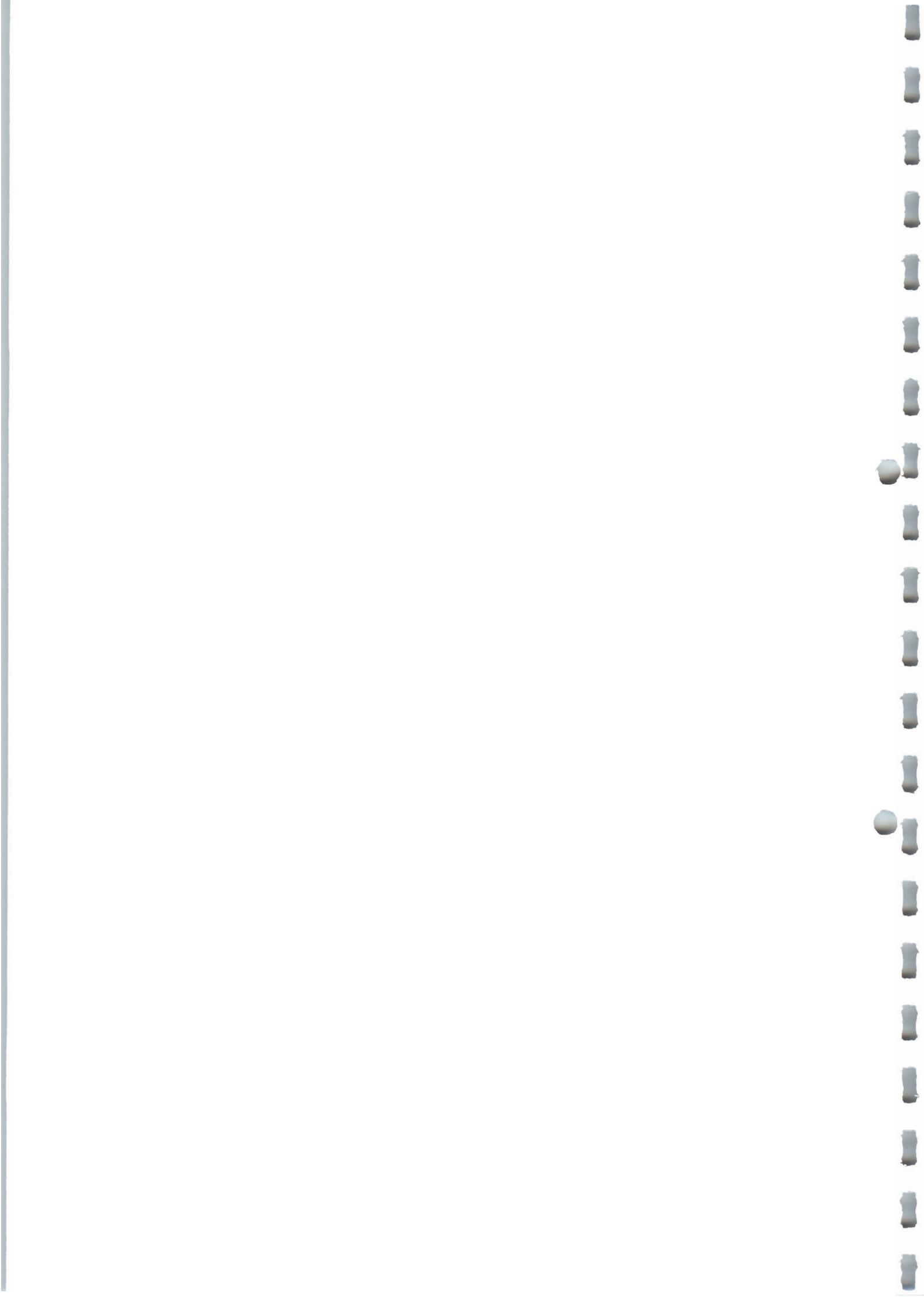
Um den Einfluß des Filtrationsdrucks auf das Filtrationsverhalten besser beurteilen zu können, wurden insgesamt 4 Druckprofile mit verschiedenen Suspensionen und Filterhilfen getestet (Übersicht in Tab.4).

Tab. 4:

Übersicht: Versuche zur Optimierung des Filtrationsdrucks
Die zeitliche Entwicklung der Filtratwassermengen in Abhängigkeit von den Drucksteigerungen finden sich tabellarisch mit Diagrammen in Anhang 2.

Versuch	Druckprofil	Suspension	Filterhilfen
1	30 Min. 2,5 bar 15 Min. 5,0 bar 15 Min. 6,0 bar	Dywonit S, gebraucht Tixoton, gebraucht	Kehl, 1. Zellulose 1 g, Perlitstaub 6 g 2. Tremogur 7 g, Perlitstaub 3,5 g 3. Tremogur 12 g, Perlitstaub 6 g
2	30 Min. 2,5 bar 30 Min. 5,0 bar	Tixoton, gebraucht	Kehl, 1. Feine Gur 12 g 2. Grobe Gur 12 g
3	30 Min. 2,5 bar 45 Min. 5,0 bar	Dywonit S, gebraucht Tixoton, Kehl	1. Feine Gur 12 g 2. Grobe Gur 12 g 3. Tremogur 12 g 4. Zellulose 1 g, Perlitstaub 11 g
4	30 Min. 5,0 bar 30 Min. 8,0 bar	Tixoton, gebraucht	Kehl, 1. Polymer 1 g 2. Walzzunder 6 g 3. Mineralfaserreste 6 g

Den Diagrammen kann entnommen werden, daß bei einem Druck von 2,5 bar weniger Filtrationsleistung erbracht wird als bei 5 bar (steilerer Kurvenverlauf bei Druckerhöhung nach 30 Min.). Noch höhere Drücke zeigen keine Leistungsverbesserung.



Weiterhin läßt sich erkennen, daß nach anfänglich hoher Filterwasserrate eine etwas schwächere, aber kontinuierliche Entwässerung stattfindet, die auch nach 60-75 Min. nicht abgeschlossen ist.

Die Versuche wurden mit max. 18 g Filterhilfe pro 200 ml Suspension durchgeführt. Inwieweit die Ergebnisse auf höhere Filterhilfenanteile übertragbar sind, muß an dieser Stelle offen bleiben.

Filterpapier

Zur Optimierung des Filtrationsvorganges wurde der Standardfilter des Filterpressenherstellers mit üblichen Papierfiltern (Schwarz- und Blaubandfilter) verglichen.

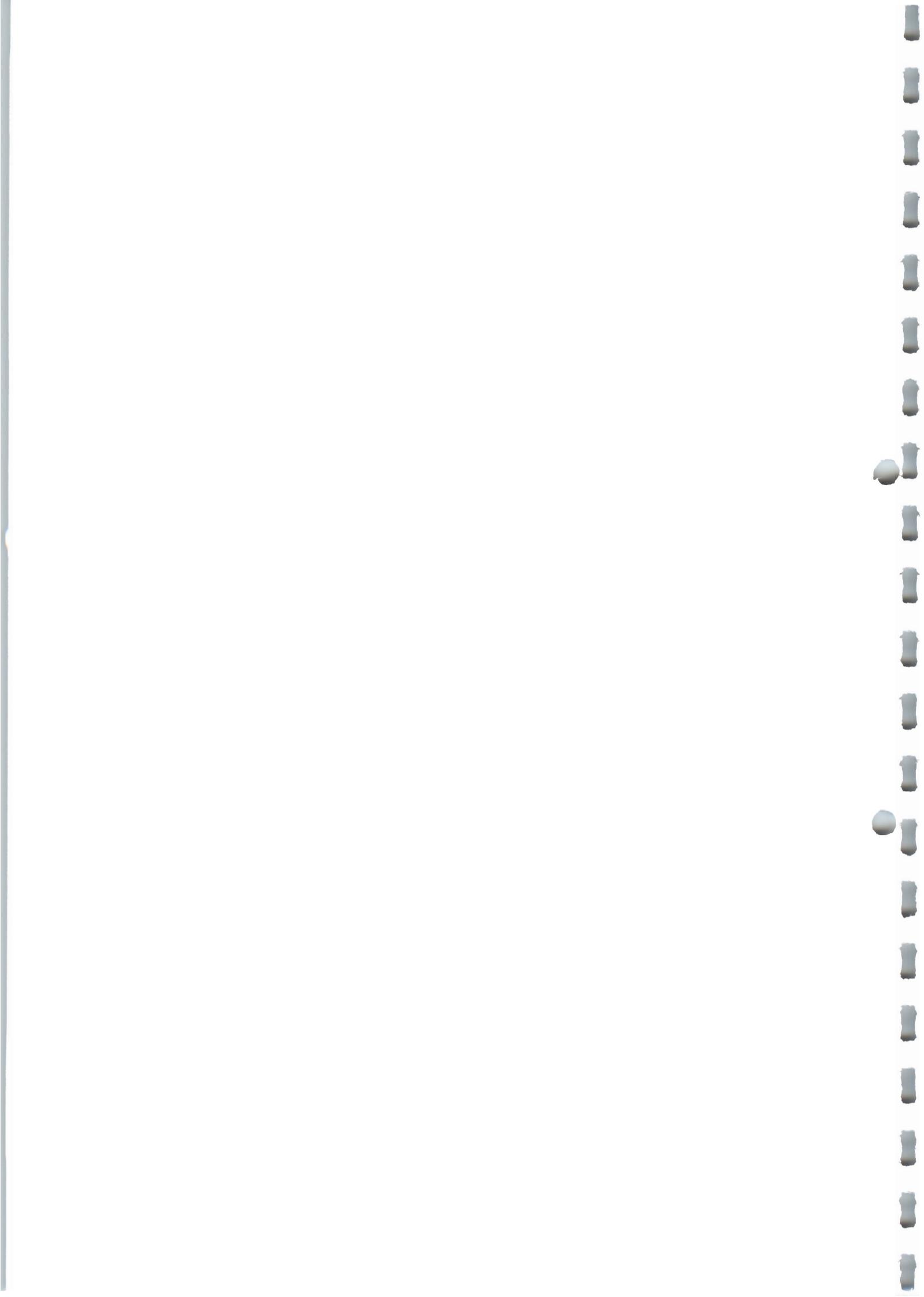
Die Versuche erfolgten an der Tixoton-Suspension aus Kehl ohne Zusatz von Filterhilfen.

Die Ergebnisse sind in Tab.5 dargestellt. Es zeigt sich, daß der Schwarzbandfilter etwas höhere Filtratwassermengen pro Zeiteinheit erbrachte, das Filtrat jedoch etwas stärker getrübt war als bei den beiden anderen Filterpapiertypen. Standard- und Blaubandfilter verhielten sich fast identisch.

Tab. 5:

Filterpapiere im Vergleich (n.n. = nicht bestimmt)

Filterpapier	Filtratwassermengen (ml) nach				Trübung
	7,5 Min.	15 Min.	30 Min.	45 Min.	
Standard	10,8	15,8	n.b.	n.b.	Schwach Getrübt
	10,6	15,4	n.b.	n.b.	
	11,6	16,4	n.b.	n.b.	
	11,6	16,6	23,6	29,4	
Schwarzband	13,4	18,8	n.b.	n.b.	getrübt
	13,8	19,2	n.b.	n.b.	
	13,8	19,0	n.b.	n.b.	
	12,6	17,4	24,6	30,0	
Blauband	13,8	19,4	n.b.	n.b.	schwach getrübt
	13,2	18,4	n.b.	n.b.	
	11,8	17,0	n.b.	n.b.	
	11,6	16,8	n.b.	n.b.	
	12,0	16,8	23,8	29,4	



Abhängigkeiten vom pH-Wert

Der pH-Wert gebrauchter Bentonitsuspensionen liegt in der Regel zwischen ca. 9,0 und 12,0. Für die Einleitung des Filtrats in die Kanalisation ist ein möglichst neutraler pH-Wert anzustreben.

Es ist bekannt, daß die spezifische Quellfähigkeit und Wasserbindung der Bentonitsuspensionen bei sinkenden pH-Werten abnimmt. Die sog. Kartenhausstruktur der Bentonitteilchen wird aufgehoben, die Filtrierbarkeit nimmt zu.

Es war daher von Interesse, wie sich pH-Änderungen im Versuchssystem tatsächlich auswirken, insbesondere da auch Abfallsäuren verwertet werden könnten und bestimmte gebrauchte Filterhilfen, wie Brauerei-Kieselgur, selbst schwach saure pH-Werte aufweisen.

Es wurden Versuchsreihen mit Essigsäure und Kieselgur bzw. Perlit mit Essigsäurezusatz durchgeführt (Tixoton-Suspension, Kehl). Die pH-Messungen erfolgten dabei mittels pH-Meßstreifen (Farbabstufung 0,5 pH). Die Ergebnisse sind tabellarisch in Anhang 3 aufgenommen.

Abb.1 zeigt die Filtratwassermengen nach 60 Min. bei verschiedenen Essigsäure-Dosierungen. Eine Steigerung der Filtratwassermengen bis zu einer Zugabe von 1,2 ml konzentrierter Essigsäure (aufgenommen in 10 ml H₂O dest.) ist erkennbar, danach bleibt die Effektivität gleich. Die pH-Werte fallen gleichzeitig von 8,0 auf 7,0, der Filterkuchen wird kompakter und größer (vgl. Anhang 3).

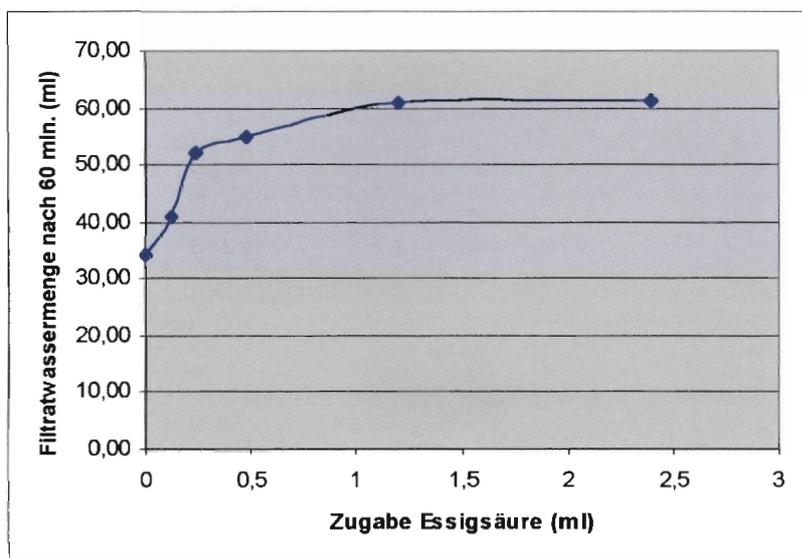
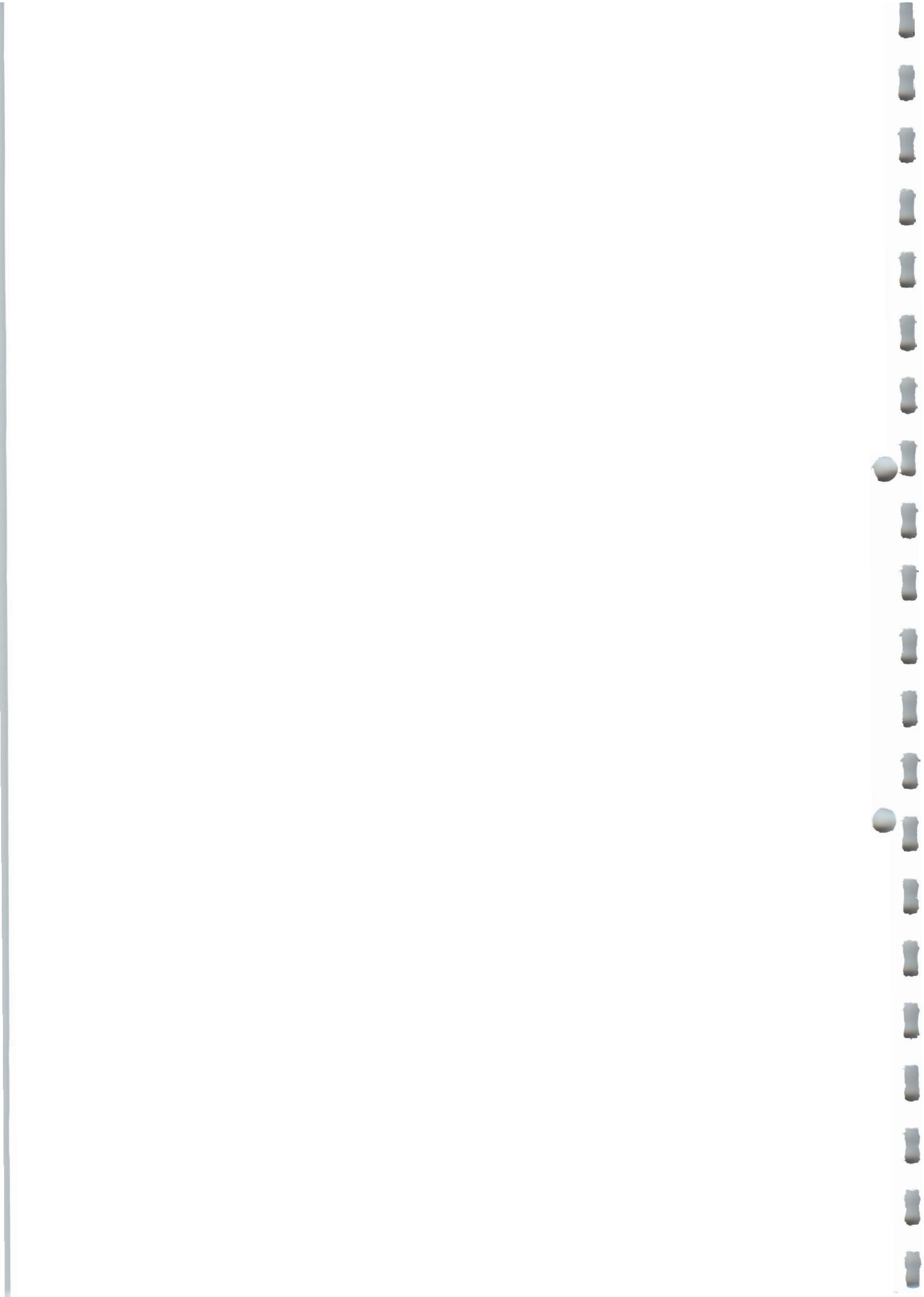


Abb. 1:

Filtratwassermengen bei verschiedenen Essigsäure-Zugaben in 200 ml Tixotonsuspension, Kehl.



Absolut gesehen liegen die Filtrationsergebnisse im Durchschnitt der getesteten Filterhilfen (vgl. Kap.2.3.4). Beaufschlagt man nun gebrauchte Kieselgur mit Essigsäure, ergeben sich deutliche Effektivitätssteigerungen (vgl. Tab.6 und Anhang 3).

Tab. 6:

Filtratwassermengen nach 60 Min. bei Verwendung von gebrauchter Kieselgur (Welde Bräu) und Kieselgur-Essigsäure-Mischungen im Vergleich; Tixoton, Kehl.

12-24 g Kieselgur, gebraucht (ml)	28 g Kieselgur + 0,28 ml Essigsäure in 10 ml H ₂ O dest. (ml)	28 g Kieselgur + 5,6 ml Essigsäure in 10 ml H ₂ O dest. (ml)
40,0-49,0	94,8	121,0

Im Fall der Beaufschlagung des Systems Tixoton-Perlitstaub mit Essigsäure ergab sich zunächst eine ungewöhnlich hohe Entwässerung von 58 ml in der ersten Minute. Allerdings trat danach kein weiteres Filtratwasser aus (vgl. Anhang 3). Eine Erklärung ohne weitere Untersuchungen ist derzeit nicht möglich.

Salzfracht, NaCl

Die Wirkung einer erhöhten Salzfracht auf die Stabilität der Bentonitsuspension sollte mit einem einfachen Versuch untersucht werden.

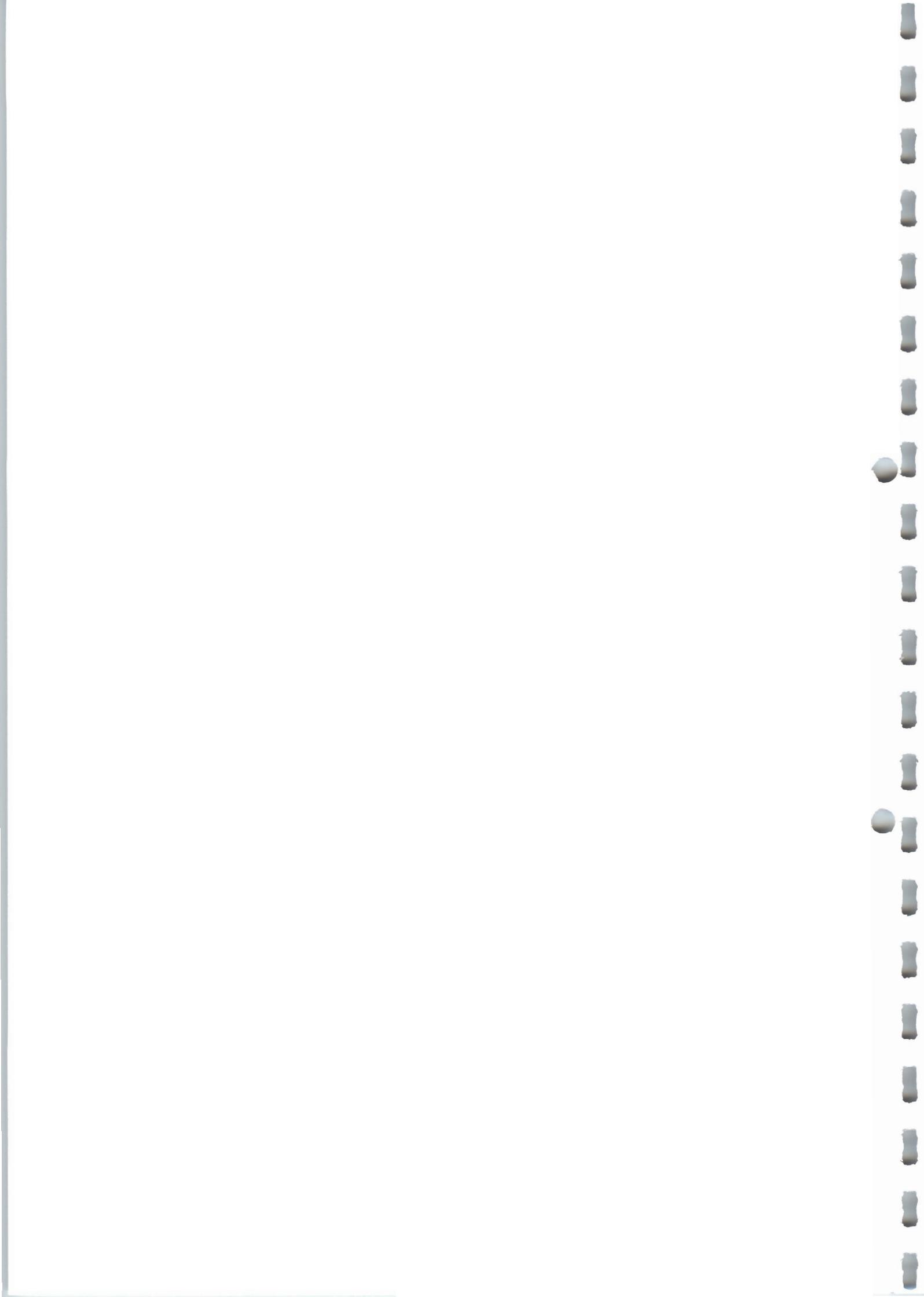
Hierzu wurden 7 g Natriumchlorid in 200 ml Dywonit-S-Suspension ohne Zugabe einer Filterhilfe aufgelöst. Mit 70,8 ml Wassermenge nach 60 Min. ergab sich eine überdurchschnittliche Filtrationsleistung (vgl. Anhang 6.3). Dies bedeutet, daß erhöhte Salzfrachten die Stabilität der Suspensionen zumindest teilweise brechen können.

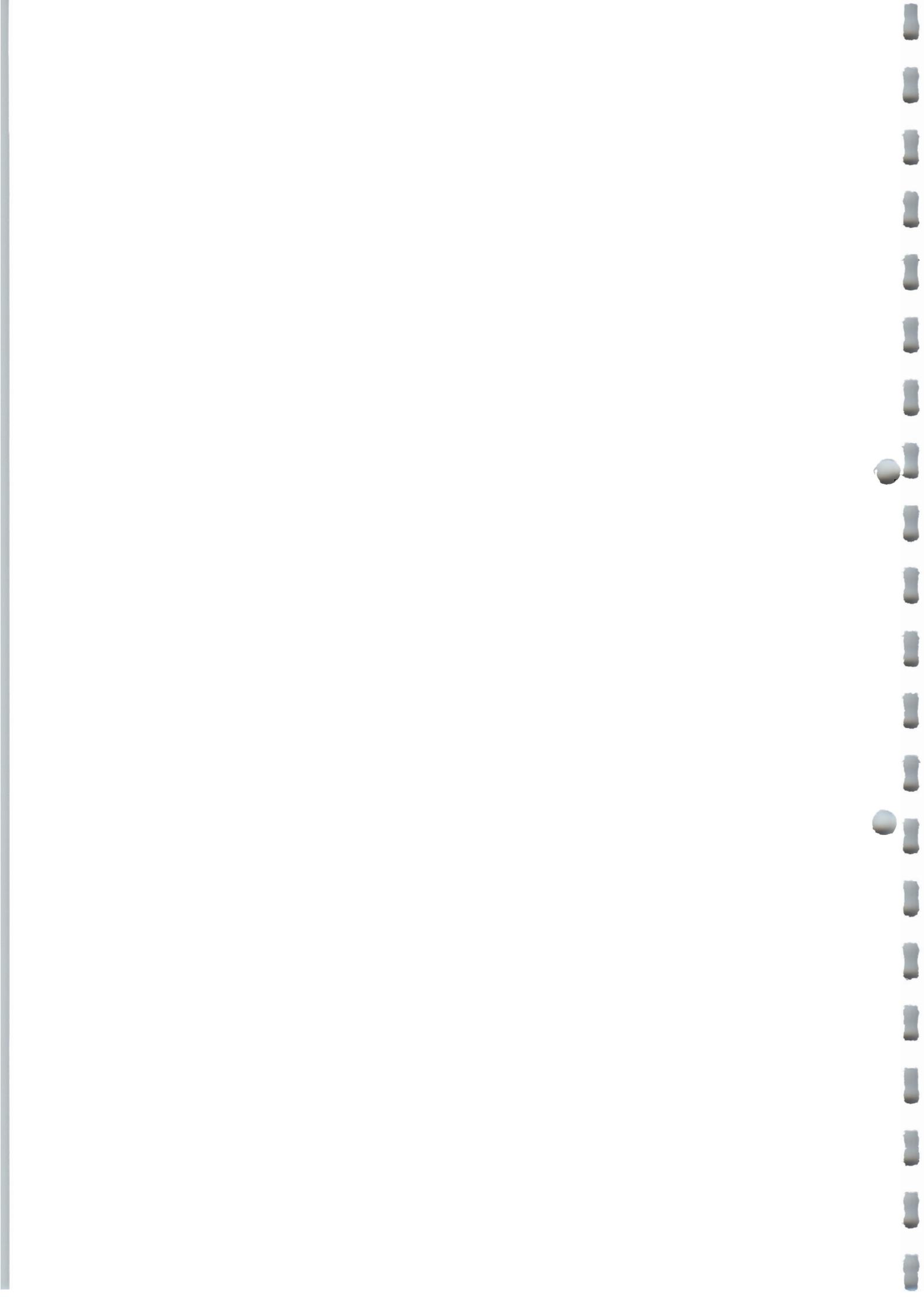
Flockungsmittel

Der Effekt von Flockungsmitteln sollte im Rahmen der Laborversuche anhand zweier Polymere näher beschrieben werden. Hierzu wurden

- ein kationisches Polymer zur Behandlung kommunaler Abwässer (Fa. Reiflock) sowie
- das Spezialpolymer (CIBA AG), das bei der Behandlung der Suspensionen am Zimmerbergbasistunnel verwendet wird, näher untersucht.

Die Flockungsmittel wurden meist in geringen Dosierungen (<1 % von 200 ml) den Tixotonsuspensionen, Kehl und Köln, zugesetzt. Es ergaben sich keine Unterschiede zur Suspension ohne Zusatz (Anhang 4).





2.3.3 Angewandte Filtrationsmethode

Aus den unter Kap.2.3.2 beschriebenen Vorversuchen ergab sich folgender technischer Ablauf der Reihenfiltrationen:

1. Mischen:

200 ml Suspension und Filterhilfe mittels Ultra-Turrax mind. 2 Min., im Ausnahmefall per Hand (vgl. Kap.2.3.2). Nach längeren Standzeiten der Ausgangssuspensionen wurden diese im Vorfeld nochmals homogenisiert.

Die Menge der Filterhilfe orientierte sich am für die Filtration kritischen Bentonitgehalt der jeweiligen Suspension. Menge Bentonit (g) = Menge Filterhilfe (g) (=1:1). Bei Optimierungsversuchen wurden die Filterhilfsmengen möglichst als ganzzahlige Vielfache der Bentonitmenge (1:2, 1:3 usw.), aber auch zur besseren Abstufung als Zwischenwerte eingewogen (z.B. 1:1.5).

Beispiel Dywonit-Suspension, Wien:

Bentonitgehalt in 1 cbm Wasser (frische Suspension): 60 kg
= Bentonitgehalt in 200 ml Suspension: 12 g

Bentonit:Filterhilfe 1:1 = 12 g Filterhilfe/200 ml Suspension

Bentonit:Filterhilfe 1:2 = 24 g Filterhilfe/200 ml Suspension

2. Filtrationsdruck: 5 bar

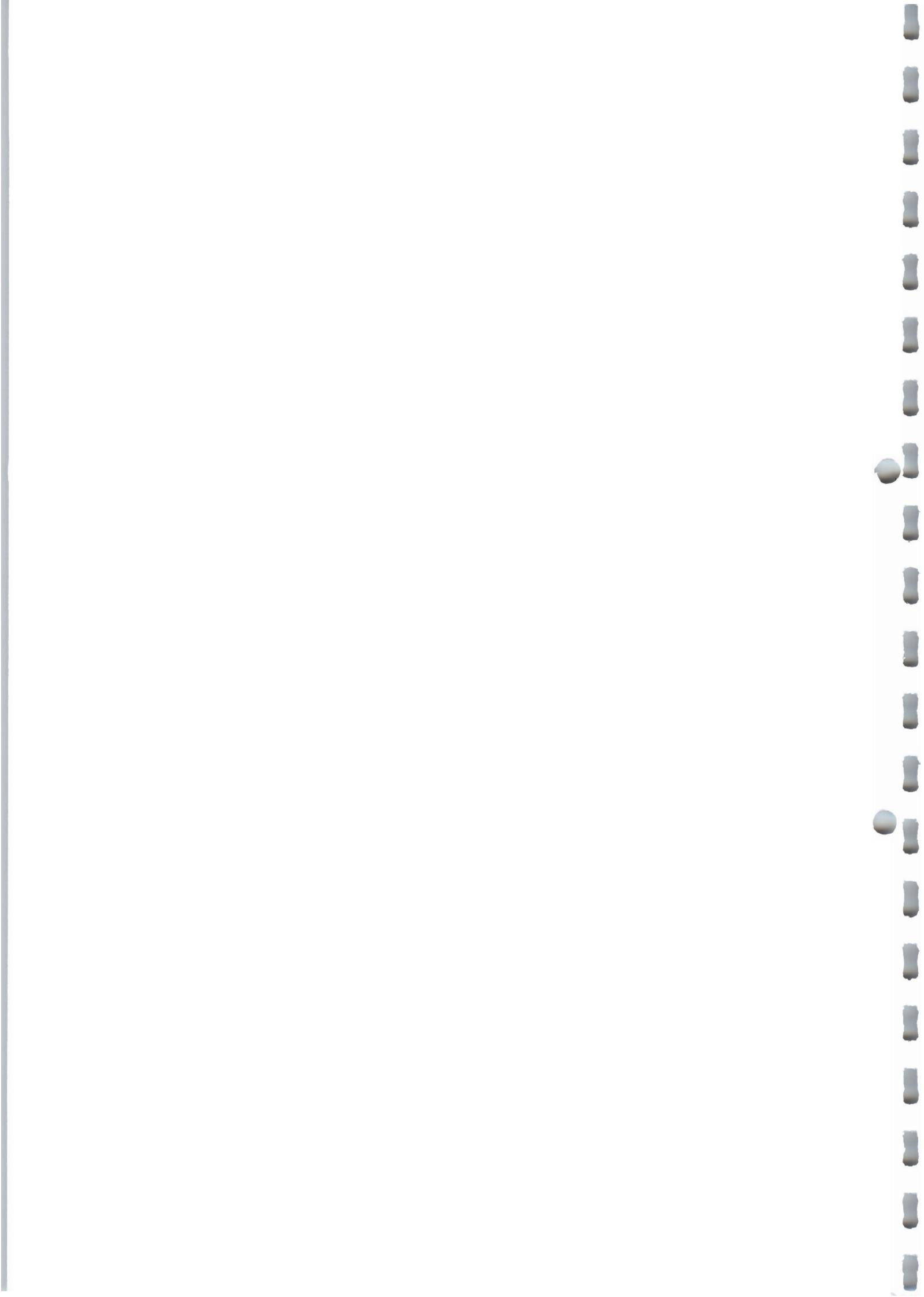
Filterpapier: Standard (Fa. Fann)

3. Versuchsdauer:

i.d. Regel 60 Min. bzw. vorher, wenn keine weitere Wasserabgabe mehr zu beobachten (Druckabfall)

4. Bestimmung:

- * Filtratwassermenge (kumulativ, meist in Abständen von 3 Min. bis zur Endzeit von 60 Min., darüber hinaus nur Einzelmessungen)
- * Trübung/Verfärbung des Filtrats
- * pH-Wert des Filtrats (mittels Meßstreifen, vgl. Kap.2.3.2)
- * Filterkuchenhöhe



Die Filterkuchenhöhe war wegen der meist wenig ausgeprägten Trennfläche zwischen Überstand und Filterkuchen schwierig zu bestimmen. Sie wurde nach vorsichtigem Abgießen des Überstandes im Zweifelsfall als „nicht bestimmt“ bzw. als Bereich angegeben (z.B. 0,5-1,2 cm).

Die mit Messstreifen ermittelten pH-Werte wurden im Rahmen der umweltrelevanten Untersuchungen (vgl. Kap.3) anhand ausgewählter Proben mittels pH-Sonde überprüft. Dabei stellten sich generell leicht niedrigere pH-Werte heraus. In der Tendenz und Größenordnung ist eine gute Übereinstimmung zu erkennen.

Einzelne Filtrate wurden für den Fall weiterer Untersuchungen in Schnapdeckelgläsern zurückgestellt.

2.3.4 Ergebnisse der vergleichenden Filtrationsversuche

In den Anhängen 6 wurden die Ergebnisse der Versuchsreihen mit den einzelnen Filterhilfen und Filterhilfsmischungen tabellarisch aufgenommen:

Anhang 6.1: Tixoton, Kehl, mit einzelnen Filterhilfen

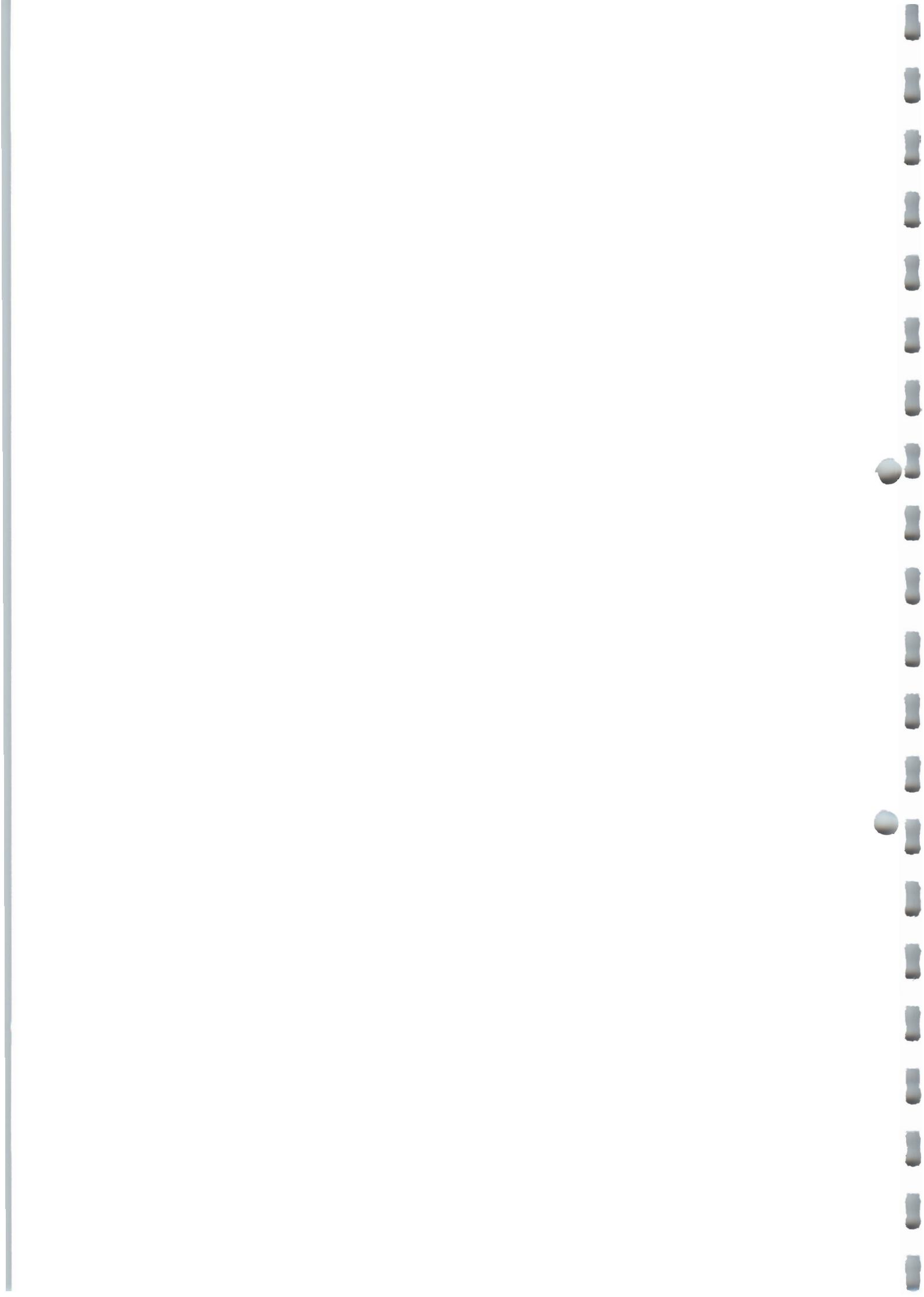
Anhang 6.2: Tixoton, Kehl, mit Filterhilfsmischungen

Anhang 6.3: Dywonit, Wien, mit einzelnen Filterhilfen

Anhang 6.4: Dywonit, Wien, mit Filterhilfsmischungen

Anhang 6.5: Tixoton, Köln, mit einzelnen Filterhilfen und Filterhilfsmischungen

In Abb.2 und Abb.3 sind die maximalen Filtratwassermengen aus den Versuchen mit der Tixotonsuspension, Kehl, und Dywonitsuspension, Wien, als Säulendiagramme dargestellt. Die maximale Filtratwassermenge bezieht sich auf den Beginn der Undurchlässigkeit der Filterschicht bzw. auf den Wert nach 60 Minuten.



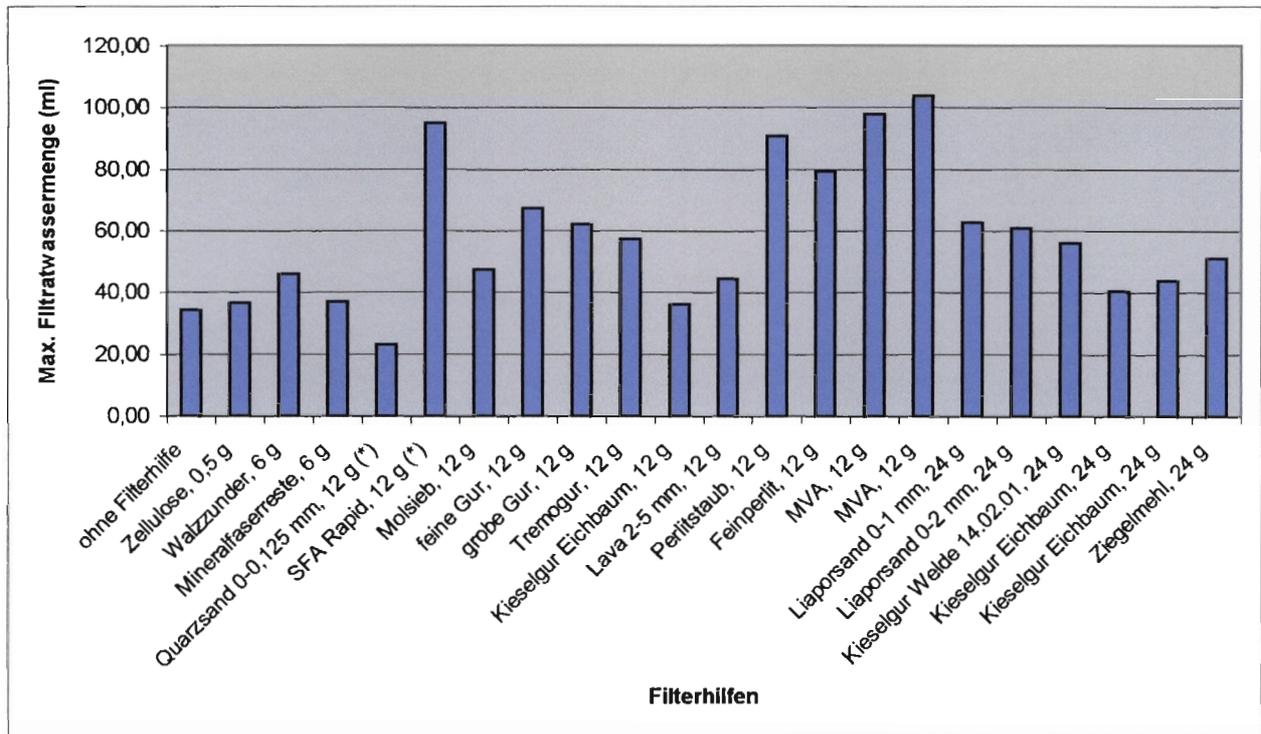


Abb. 2:

Tixoton, Kehl: Maximale Filtratwassermengen bei einzelnen Filterhilfen nach 60 Min. Filtrationszeit. Bei den mit Stern (*) gekennzeichneten Materialien wurde der Versuch wegen undurchlässiger Filterschicht vorzeitig beendet.

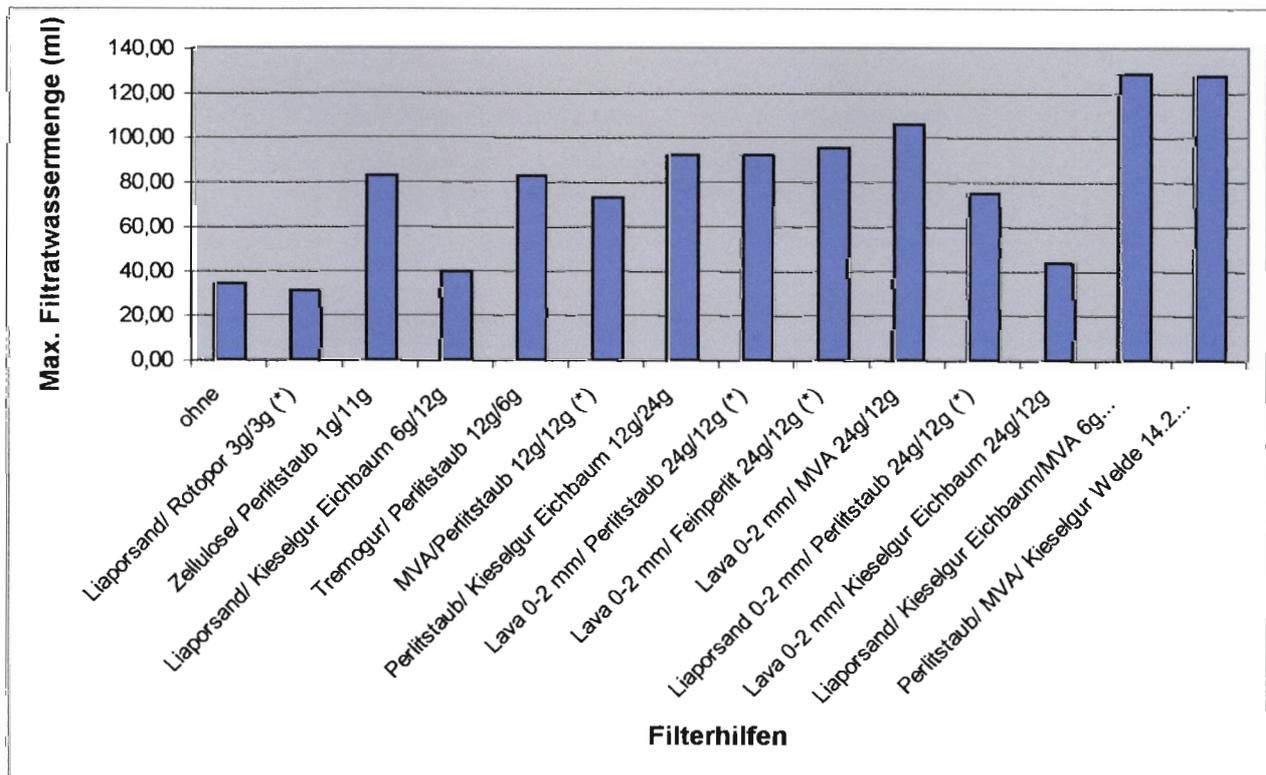
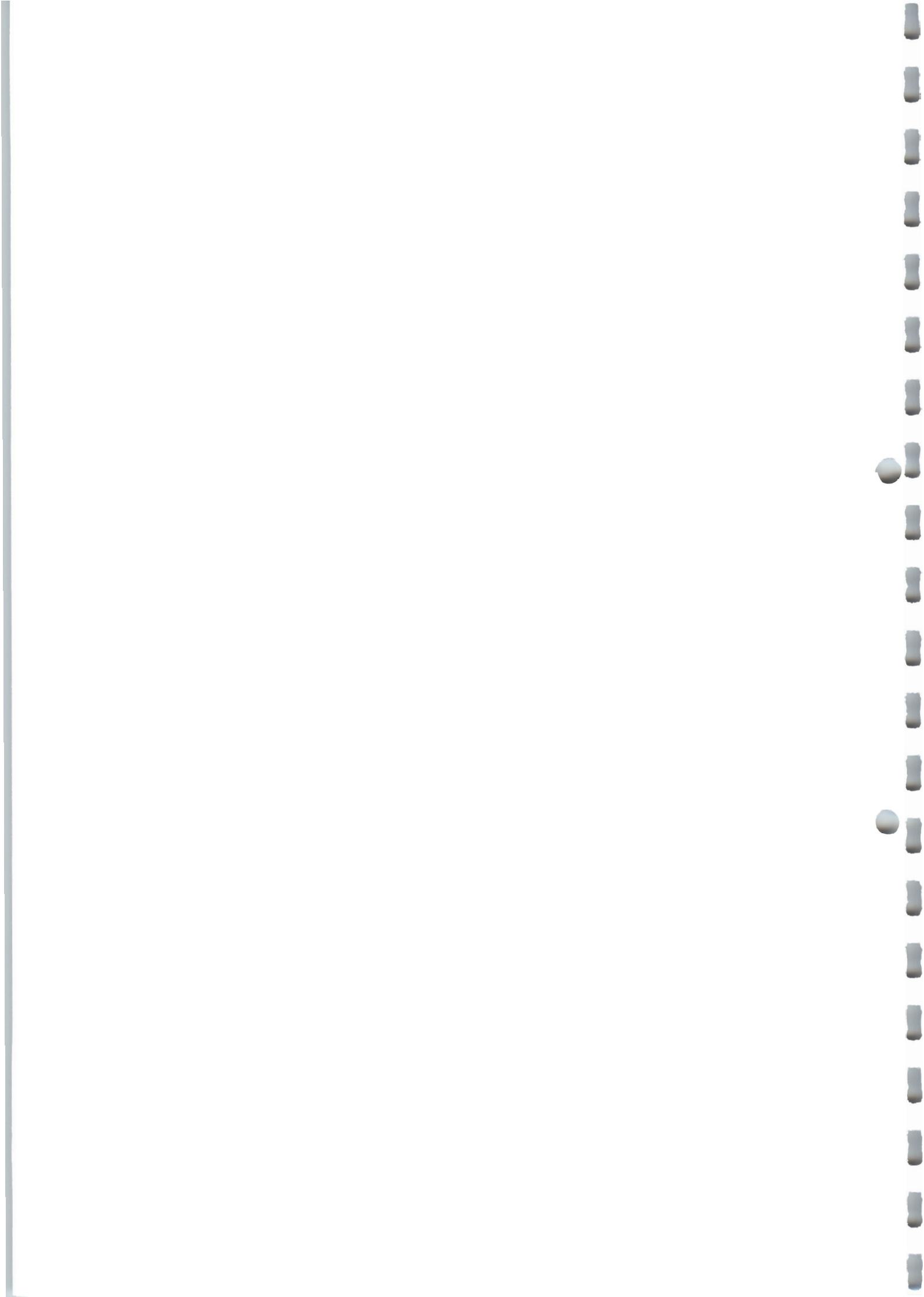


Abb. 3:

Tixoton, Kehl: Maximale Filtratwassermengen bei Filterhilfsmischungen nach 60 Min. Filtrationszeit. Bei den mit Stern (*) gekennzeichneten Materialien wurde der Versuch vorzeitig abgebrochen oder wegen undurchlässiger Filterschicht vorzeitig beendet.



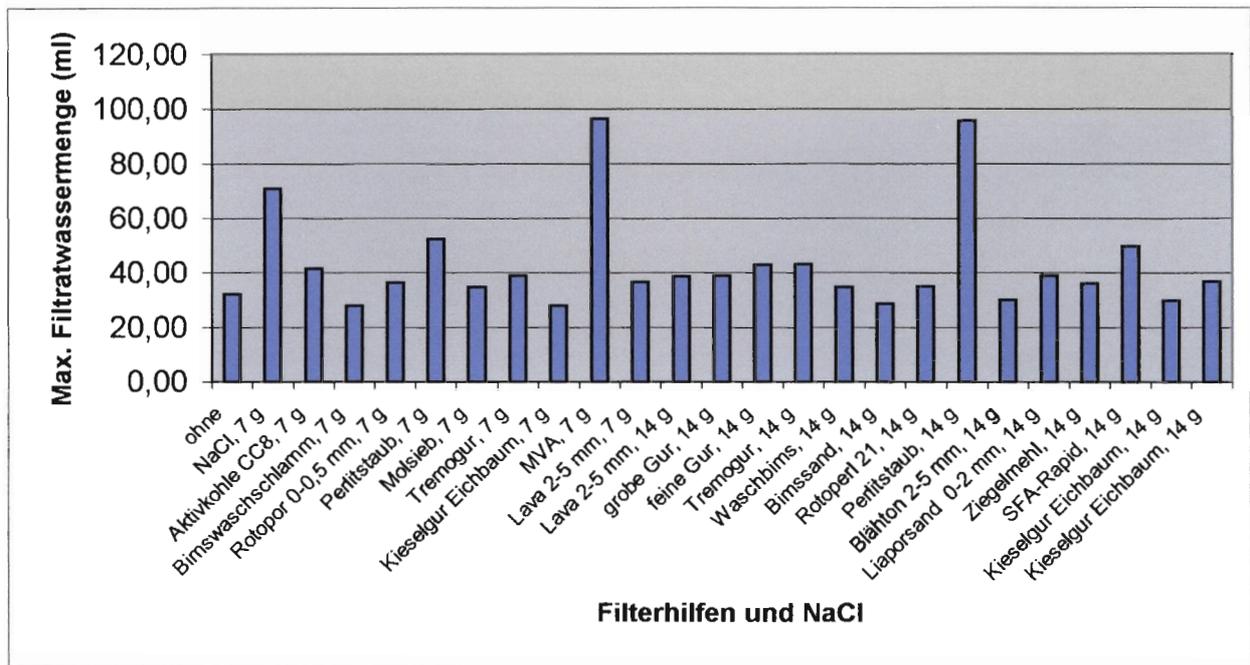


Abb. 4: Dywonit, Wien: Maximale Filtratwassermengen bei einzelnen Filterhilfen nach 60 Min. Filtrationszeit.

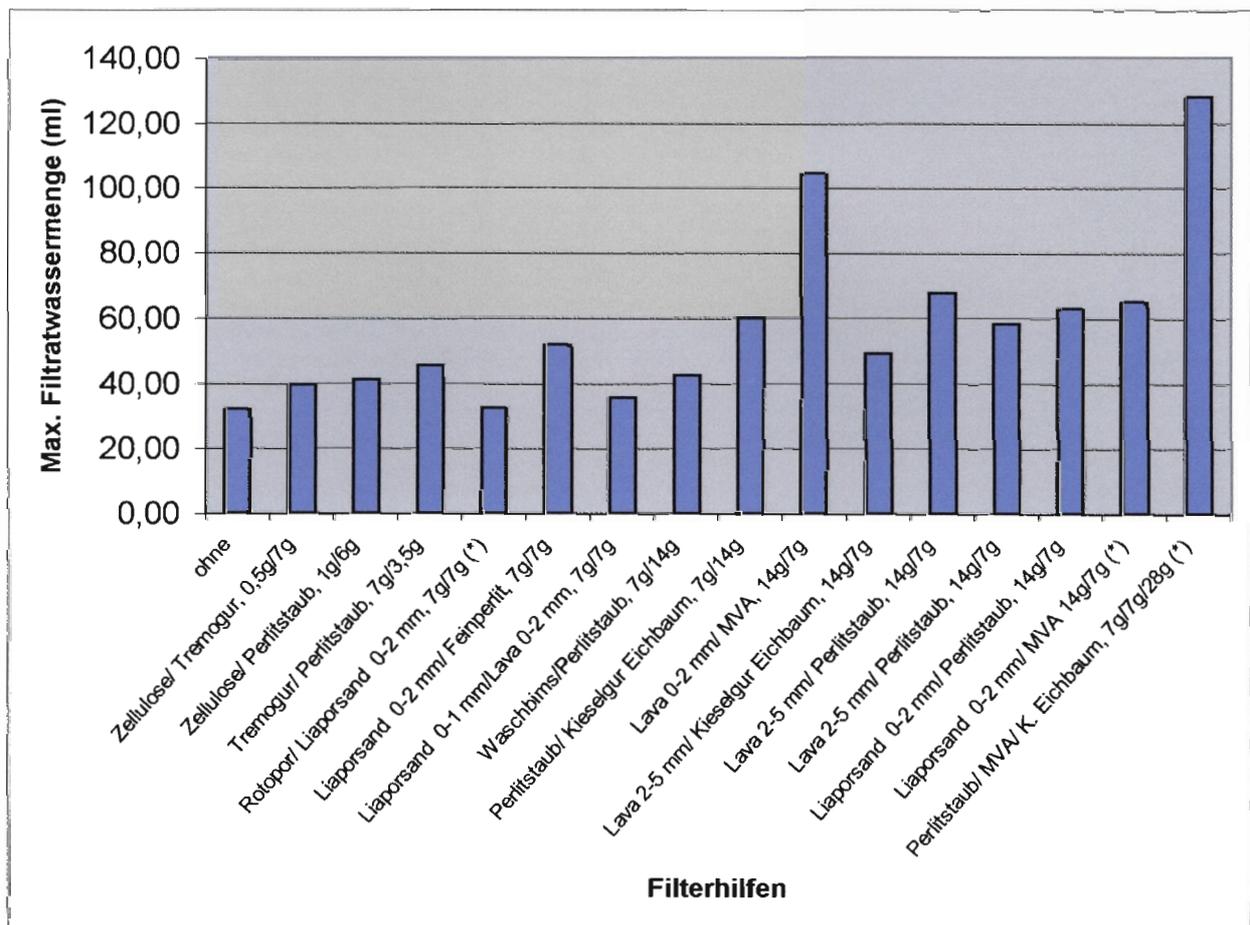
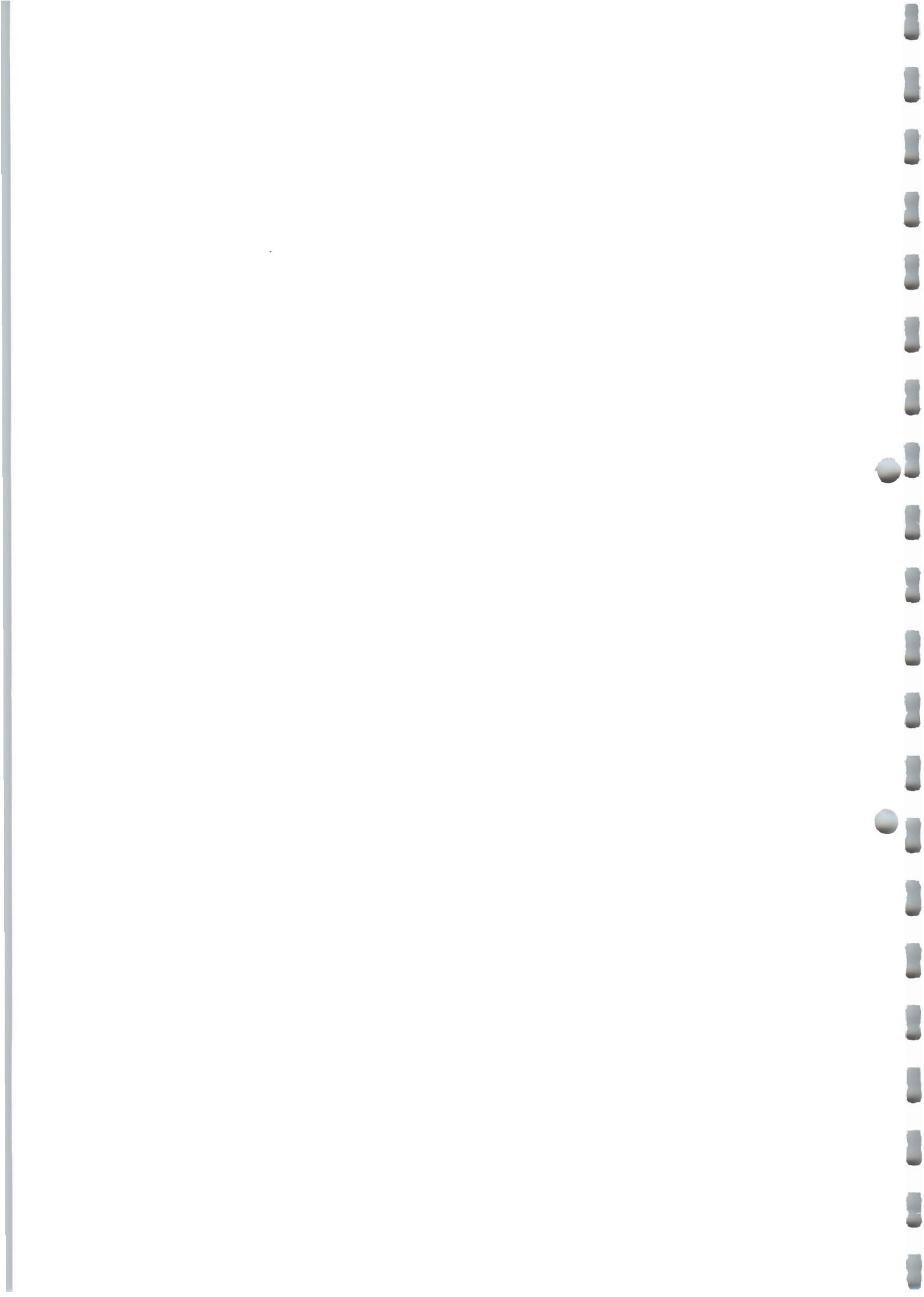


Abb. 5: Dywonit, Wien: Maximale Filtratwassermengen bei Filterhilfsmischungen nach 60 Min. Filtrationszeit. Bei den mit Stern (*) gekennzeichneten Materialien wurde der Versuch vorzeitig abgebrochen oder wegen undurchlässiger Filterschicht vorzeitig beendet.



Auf Grundlage aller Ergebnisse, auch der aus den Untersuchungen zur Mengenoptimierung (Anhänge 5.1-5.5), wurde versucht, die Effektivität der einzelnen Filterhilfen in Form einer Bewertungsmatrix (Tab.8) vergleichend darzustellen. Kriterien sind die Verbesserung der Filtration und der Mengenbedarf.

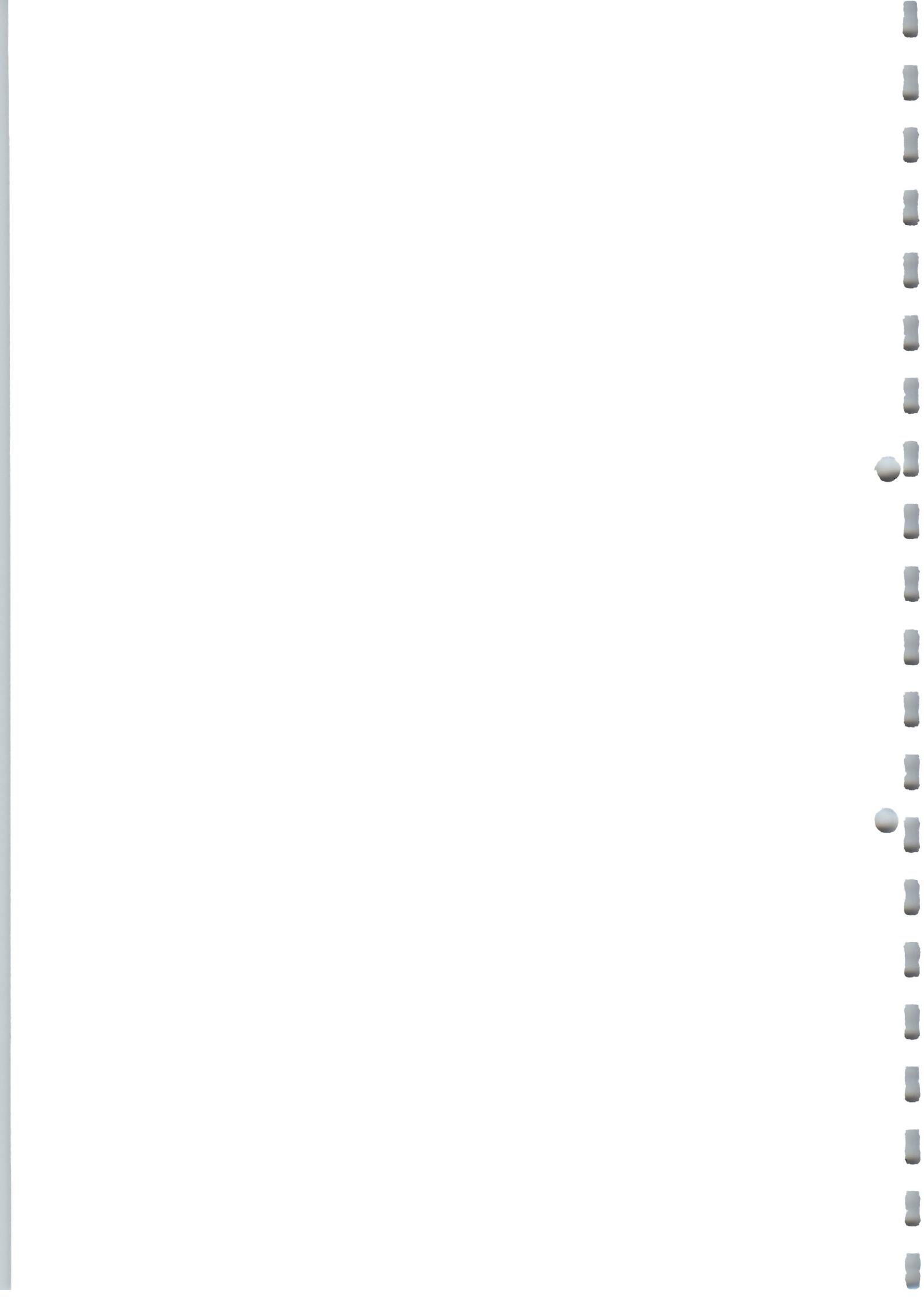
Tab. 8:

Beschreibung der Filtrationswirkung einzelner Materialien bei Versuchen mit den gebrauchten Bentonitsuspensionen *Tixoton*, Kehl, und *Dywonit*, Wien.

Filtrationswirkung: 0 = ohne besondere Wirkung, + = leicht verbessernde Wirkung, ++ = deutlich verbessernde Wirkung, +++ = stark verbessernde Wirkung

Mengenbedarf: gering, mittel, hoch (Vergleichsangabe zu anderen Filterhilfen)

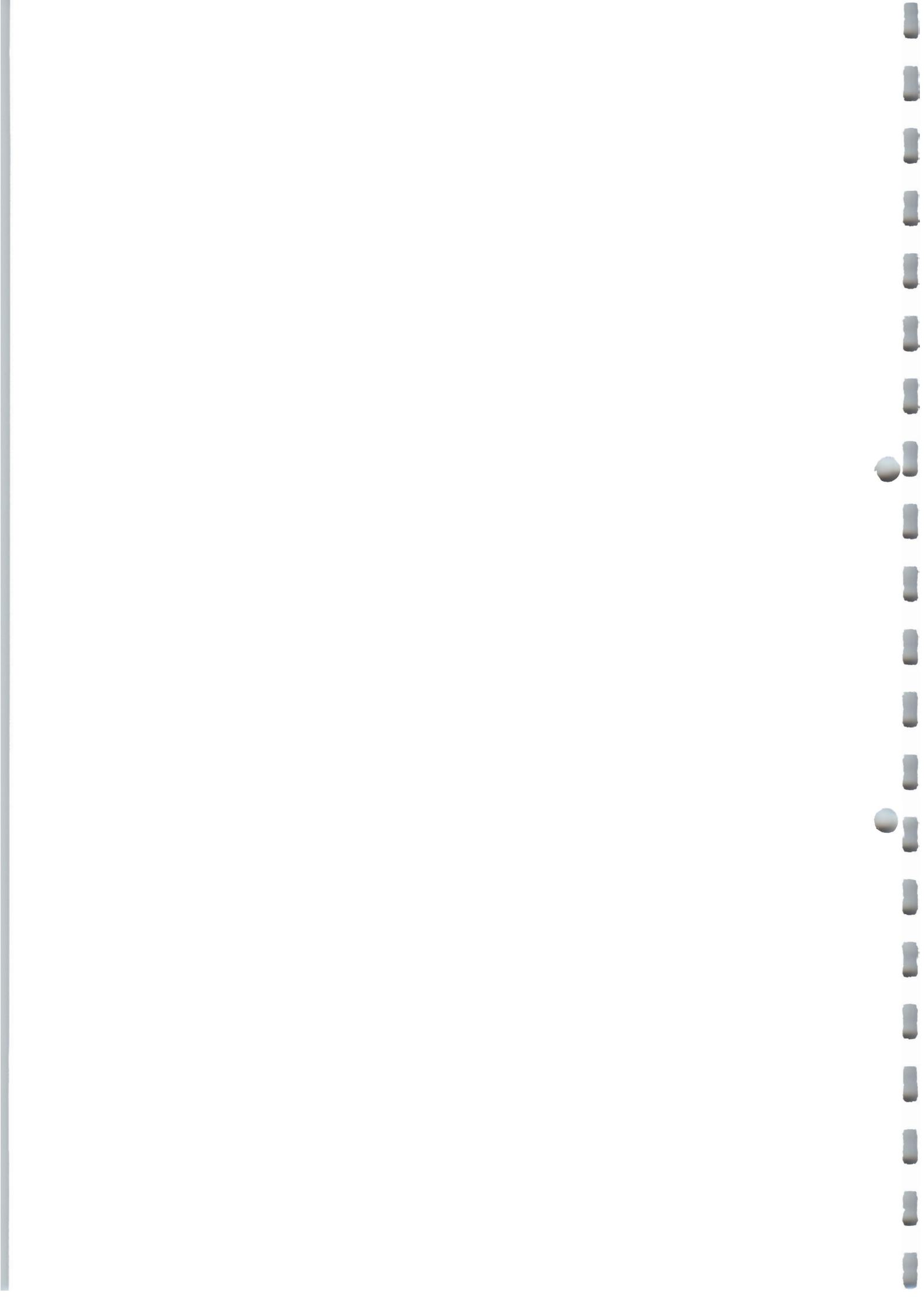
Filterhilfe	Filtrationswirkung/Mengenbedarf		Bemerkungen
	Tixoton, Kehl	Dywonit, Wien	
Bereich Brauereien			
Tremogur, ungebraucht	++ / mittel	+ / mittel-hoch	
Grobe Gur, ungebraucht	++ / mittel	+ / mittel-hoch	
Feine Gur, ungebraucht	++ / mittel	+ / mittel-hoch	feine Gur etwas effektiver als Tremogur u. grobe Gur
Kieselgur, gebraucht	+ / hoch	0 - + / hoch	leichte Unterschiede je nach Herkunft und Alter
Bereich Steine, Erden, Baustoffe			
Quarzsand	0/nicht relevant	keine Daten	Wirkung eher nachteilig
Liaporsand (0-1 und 0-2 mm)	++ / mittel-hoch	+ / mittel-hoch	
Blähton (2-5 mm)	keine Daten	0 - + / hoch	Wirkung relativ gering
Bimssand	keine Daten	0/nicht relevant	
Waschbims	keine Daten	+ / hoch	
Bimswaschschlamm	keine Daten	0 - + / hoch	vgl. Anhang 5.3
Rotoperl 21	keine Daten	+ / hoch	
Rotopor	keine Daten	+ / mittel-hoch	
Lava (2-5 mm)	0 - + / hoch	0 - + / hoch	Wirkung relativ gering
Perlitstaub	+++ / mittel	+++ / mittel	
Feinperlit	+++ / mittel	keine Daten	
Ziegelmehl	+ / hoch	+ / hoch	
Bereich Industrie			
Mineralfaserreste	+ / mittel-hoch	keine Daten	Mengenoptimierung nötig
Walzzunder	+ / mittel	keine Daten	Mengenoptimierung nötig
Molsieb, gebraucht	+ / mittel-hoch	+ / hoch	Mengenoptimierung nötig
Bereich Verbrennungsgaschen			
Müllverbrennungsgasche MVA	+++ / gering	+++ / gering	
Steinkohlenflugasche SFA Rapid	+++ / gering-mittel	+ - ++ / mittel	Mengenoptimierung nötig
Bereich organische Filterhilfen			
Zellulose, ungebraucht	+ / mittel	keine Daten	Mengenoptimierung nötig
Aktivkohle CC8	keine Daten	+ / mittel	Mengenoptimierung nötig



Die in Tab.8 vorgenommene Einteilung der Filterhilfen in Gruppen und nicht in eine Rangfolge erscheint auch vor dem Hintergrund der zwischen 10 und 20 % schwankenden Filtrationsergebnisse bei Wiederholungsmessungen sinnvoll.

Die wesentlichen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Alle ausgewählten Materialien wirken mehr oder weniger ausgeprägt als Filterhilfen. Dies unterstreicht auch der „Nullversuch“ mit gemahlenem Quarzsand, welcher erwartungsgemäß keine filtrierende Wirkung zeigte.
2. Die deutlich beste Wirkung weisen die Müllverbrennungssasche MVA, Perlitstaub/Feinperlit und mit Abstrichen die Steinkohlenflugasche auf.
3. Ein Teil der filtrierenden Wirkung von Müllverbrennungssasche MVA ist deren hohem Salzgehalt zuzuschreiben (vgl. Kap.3 und die Zugabe von NaCl: Anhang 6.3)
4. Je feiner die Körnung der Materialien desto besser ist deren Filtrationswirkung.
5. Die Zugabe der Filterhilfen ist in der Regel mit einer Senkung des pH-Werts des Filtrats verbunden, was wegen der Einleitung in öffentliche Abwassernetze wünschenswert ist. Ausnahmen treten je nach pH-Wert der Ausgangssuspension bei Steinkohlenflugasche und Molsieb auf.
6. Gebrauchte Kieselgur führt zu einer deutlichen pH-Absenkung in den Filtraten (vgl. Kap.3). Die Filtrationswirkung verbessert sich hierdurch jedoch nicht, wie es aus den Versuchen mit Essigsäure (vgl. Kap.2.3.2) hätte abgeleitet werden können. Ursache ist die organische Beladung der Kieselgur. Die Wirkung gebrauchter Kieselgur basiert auf pH-Absenkung und verbleibender Filterfähigkeit. Sie ist insgesamt etwas schwächer als die der verschiedenen unbeladenen Guren, aus denen die gebrauchten Kieselguren bestehen.
7. Die gebrauchte Tixoton-Suspension aus Kehl ist insgesamt etwas leichter filtrierbar als die Dywonit-Suspension aus Wien. Dies dürfte auf die etwas höhere Dichte der Tixoton-Suspension - bedingt durch die höhere Menge aufgenommenen, feinen Nebengesteinsmaterials - zurückzuführen sein.



8. Die Verwendung von Filterhilfsmischungen ist mindestens ebenso wirksam wie die einzelner Filterhilfen. In manchen Fällen deutet sich eine verbessernde Wirkung an, wenn zu feinkörnigen Materialien gröberkörnige Filterhilfen zugegeben werden. Hier besteht jedoch noch systematischer Klärungsbedarf.

Für die Technikumsversuche wurden dann folgende Filterhilfen ausgewählt:

- a) Müllverbrennungsasche MVA (stark verbessernde Filtrationswirkung)
- b) Feinperlit (stark verbessernde Filtrationswirkung)
- c) Gebrauchte Kieselgur (leicht verbessernde Filtrationswirkung)
- d) Bimswaschschlamm (keine bis leicht verbessernde Filtrationswirkung)

Die Auswahl der Filterhilfen basiert im Wesentlichen auf der Gruppeneinteilung in Tab.8, orientierte sich aber auch an einer möglichst guten Verfügbarkeit der Materialien sowie der Vorgabe, bei Übernahme eine Zuzahlung durch den Abfallerzeuger zu erhalten (MVA, gebrauchte Kieselgur).

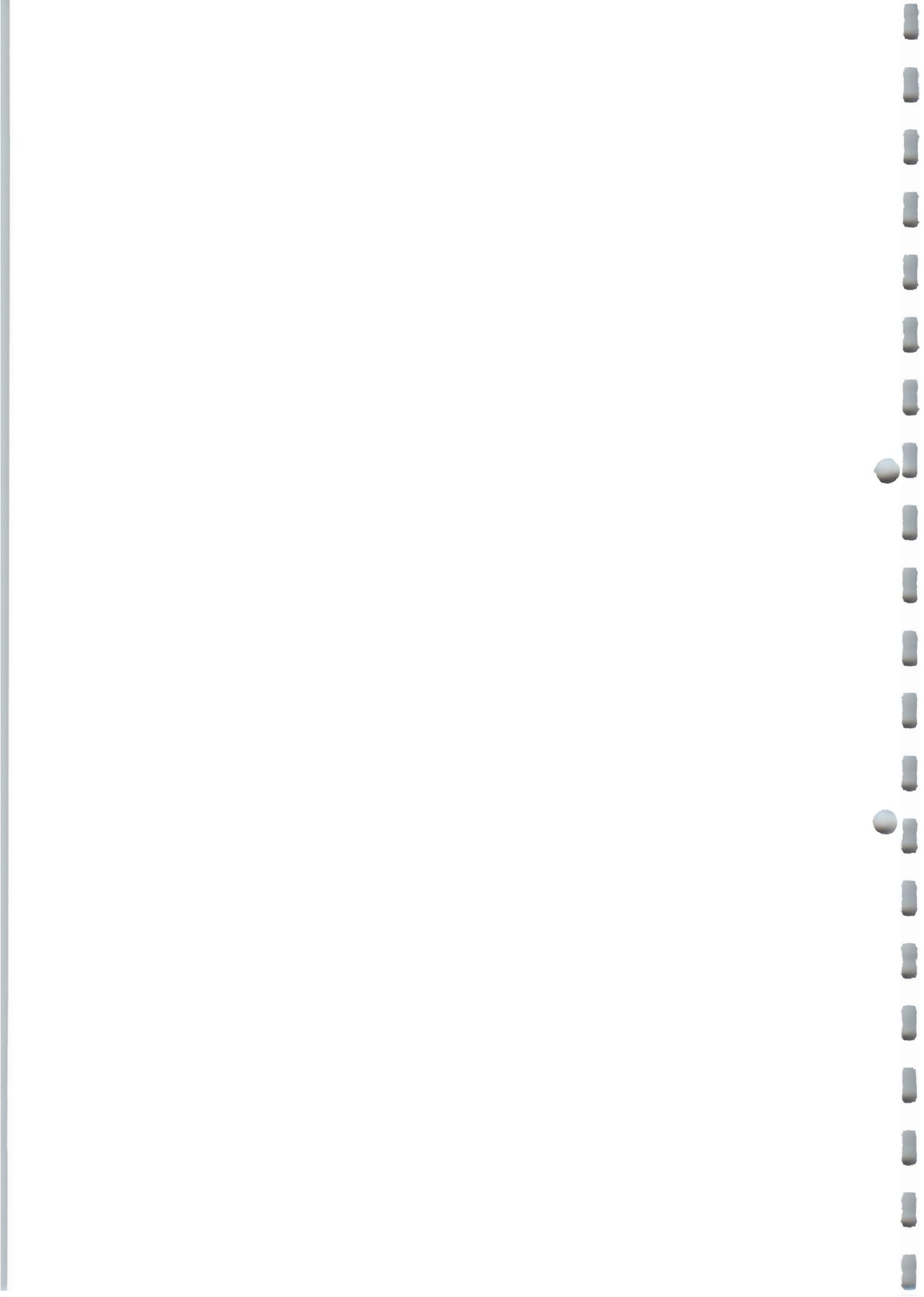
2.2 Filtrationen im Technikumsmaßstab

Die Beprobungen der Bentonitsuspensionen IBECO B1 (AZT Arge Zimmerbergbasistunnel, Zürich) und CEBO CSK (Bauvorhaben Elbberg, Hamburg) erfolgten am 15.03.01 bzw. 06.04.01.

Die Suspensionen wurden dabei aus dem Aufbereitungskreislauf in homogenisierter Form entnommen und in 60-l- und 120-l-Spannringdeckelfässer gepumpt. Die Menge von IBECO B1 (im Folgenden *Suspension AZT* genannt) belief sich auf ca. 1400 l, die von CEBO CSK im Folgenden *Suspension Elbberg* genannt) auf ca. 400 l.

Spätestens einen Tag nach der Beprobung gelangten die Fässer zur Fa. Outokumpu Technology GmbH nach Alsdorf. Die Filterhilfen (zur Auswahl siehe Kap.2.3.4) wurden dann bei folgenden Firmen bzw. Orten abgeholt:

Müllverbrennungsasche MVA:	Ludwigshafen	(19.04.01)
Feinperlit:	Deutsche Perlite GmbH, Dortmund	(26.04.01)
Gebrauchte Kieselgur:	Welde Bräu, Plankstadt	(04.05.01)
Bimswaschschlamm:	Rotec GmbH & Co.KG, Urmitz/Plaidt	(26.04.01)



Die Filtrationen begannen am 04.05.01 mit orientierenden Versuchen auf einer kleineren Versuchspresse (Kammerfilterpresse MFP 300, Abbildungen in Anhang 1.7). Vom 08.05. bis 10.05.01 wurden dann in einer größeren Presse (MFP 1200) „Produktionsfiltrationen“ durchgeführt. Die Filterkuchen wurden in Spannringdeckelfässer zurückgeführt, Filtratproben in 1- oder 2-l-Flaschen (Kunststoff und Glas) abgefüllt. Am 15.05.01 erfolgte die Abholung der Filterkuchen und Filtrate. Letztere wurden unverzüglich ins Institut für Umwelt-Geochemie gebracht (Lagerung im Kühlschrank).

Der Versuchsbericht der Fa. Outokumpu Technology GmbH findet sich in Anhang 1.8. In Tab.9 sind die Ergebnisse der „Produktionsfiltrationen“ im Vergleich mit einem Nullversuch nochmals in einer Übersicht dargestellt.

Die Einwaage der Filterhilfen erfolgte in Verhältnissen von 1:3,5 bis 1:5,1 gegenüber der Trockensubstanz der Suspension (Trübe). Dies entspricht in der Größenordnung den optimalen, in Kap. 2.3.2 beschriebenen Mengenverhältnissen.

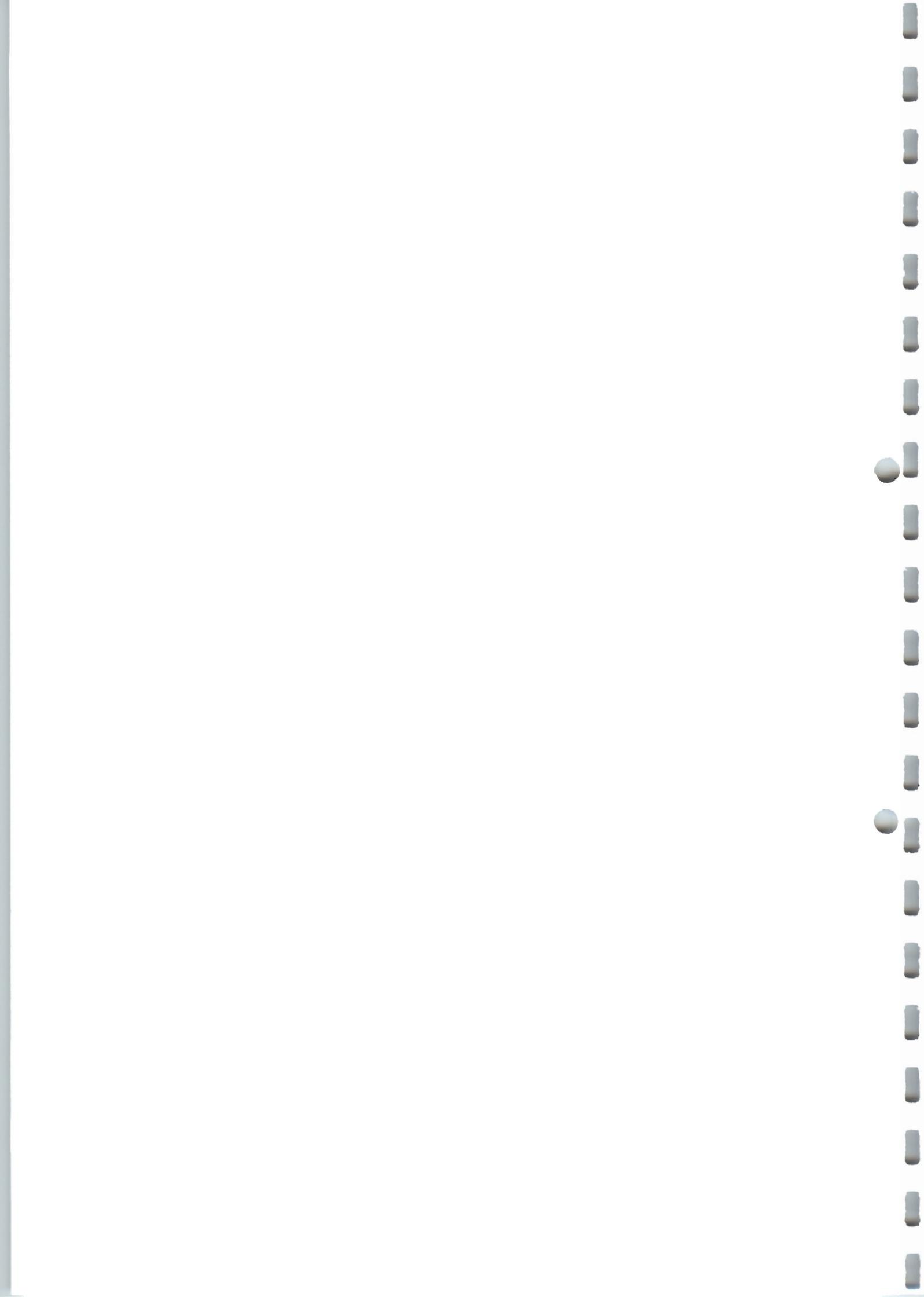
Für alle Ansätze galt analog zu den Vorversuchen, dass die Filterhilfen aus Gründen einer einfachen Umsetzung in die spätere Praxis ohne Rückrechnung auf die jeweilige Trockensubstanz, d.h. im originalen Zustand, eingewogen wurden.

Die Ergebnisse aus den Laborversuchen bestätigten sich im Wesentlichen. Der Steigerung der Effektivität in den Laborversuchen um das 3-4-fache (ausgedrückt als Filtratwassermenge/Zeiteinheit) entsprechen hier die Kuchenleistungen, die sich gegenüber dem Nullversuch um das 2-3-fache erhöhen.

Die Wirkung von MVA erscheint im Vergleich zu Feinperlit etwas reduziert, was möglicherweise an schwankenden Zusammensetzungen der in den Vorversuchen und im Technikum verwendeten Aschen liegt.

Die Mischung Kieselgur-Bimswaschschlamm zeigt gegenüber den Laborversuchen eine nochmals verbesserte Wirkung.

Bei allen Ansätzen mit gebrauchter Kieselgur war eine leichter, aber typischer Hefegeruch am Filterkuchen und Filtrat festzustellen.



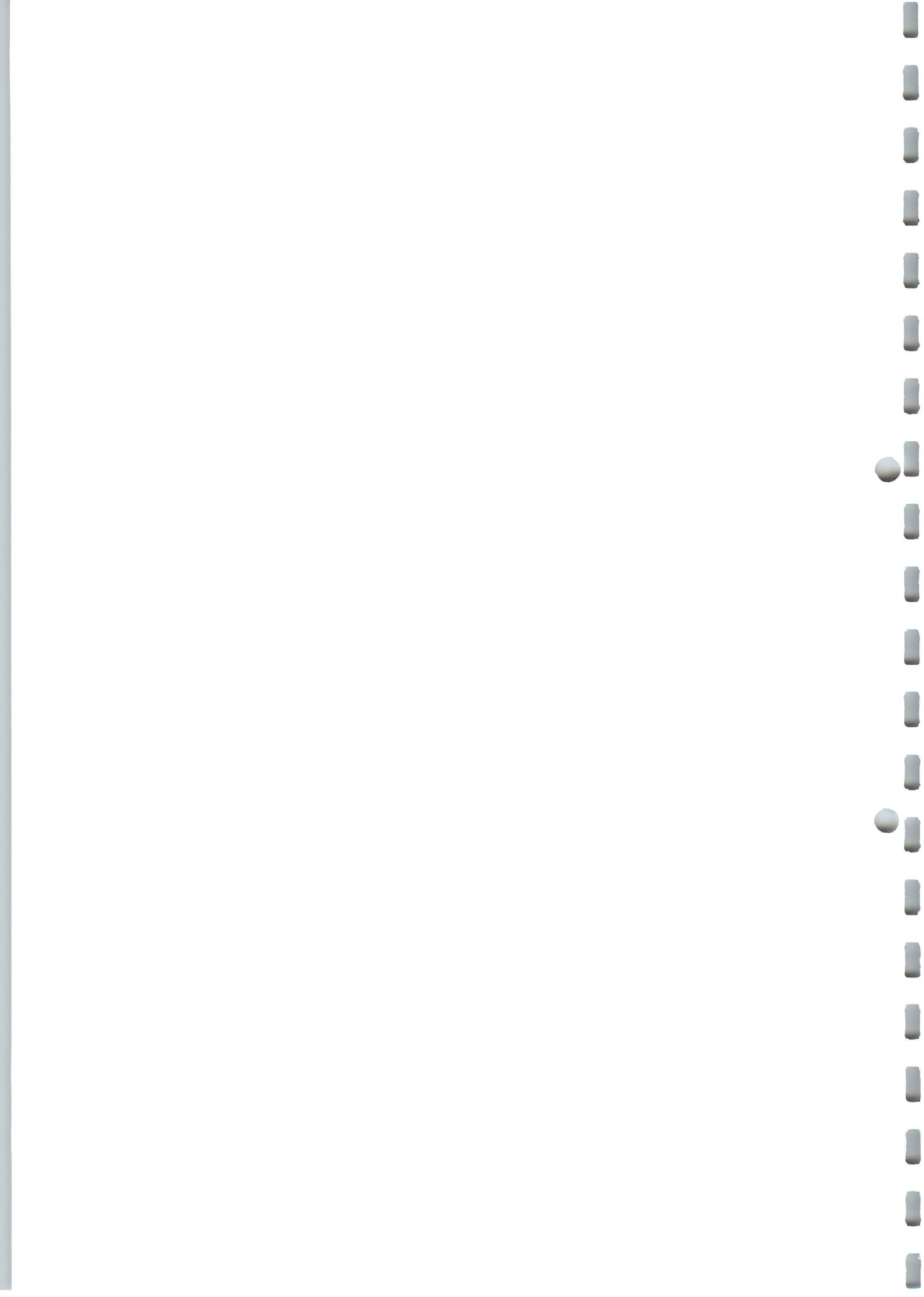
Tab. 9:

Wesentliche Ergebnisse der „Produktionsfiltrationen“

Suspension	Filterhilfen	Trockensubs. Suspension/ Filterhilfsmenge (g/g)	Restfeuchte Filterkuchen (%)	Kuchenleistung (kg/m ² h)	Bemerkungen
10 l AZT	ohne (Nullversuch)	-	19,6	10,1	schecht filtrierbar, lange Filtrationszeit, daher geringe Kuchenleistung
350 l AZT	35 kg Feinperlit	5,1:1	31,1	29,0	relativ hohe Restfeuchte, bei höheren Mengen Perlit kaum mehr fließfähig
350 l AZT	35 kg MVA	4,72:1	20,0	22,8	
350 l AZT	15 kg MVA, 16,7 kg Bims-waschschlamm, 14 kg Kieselgur	3,52:1	20,5	16,6	Pumpen durch Grobkorn (wahrscheinl. aus Bims-waschschlamm) beeinträchtigt, daher reduzierte Kuchenleistung
310 l AZT	15 kg Bims-waschschlamm, 15 kg Kieselgur	4,08:1	20,1	16,5	Pumpen durch Grobkorn (wahrscheinl. aus Bims-waschschlamm) beeinträchtigt, daher reduzierte Kuchenleistung
350 l Elbberg	17,5 kg Feinperlit	3:1	39,5	8,6	kein Nullversuch! Aufgrund geringerer Dichte der Suspension und längerer Abpreßzeit schwächere Kuchenleistung als bei Suspension AZT; relativ hohe Restfeuchte wie bei AZT/Feinperlit

Die Restfeuchten stimmen gut mit der Bestimmung der Trockensubstanz in den Anhängen 2.5 und 2.6 überein. Die höheren Restfeuchten bei Verwendung von Feinperlit gehen einher mit einer besseren Filterwirkung.

Die Suspensionen AZT und Elbberg wurden im Vorfeld der Produktionsfiltrationen mit Laborfilterpressen (Methode in Kap.2.3.3) unter Zugabe von Feinperlit als Filterhilfe (Feststoff Suspension:Filterhilfe = 1:1) entwässert. Dabei stellte sich heraus, dass sich beide Suspensionen besser filtrieren ließen als die in den Vorversuchen getesteten Tixoton-Suspensionen (Kehl, Köln) und die Dywonit-Suspension. Dies dürfte auf die höhere Dichte der Suspensionen AZT und Elbberg durch die Aufnahme von feinem Nebengesteinsmaterial zurückzuführen sein. Damit geht die Aktivität der Bentonit-Suspension zurück und die Filtrierbarkeit nimmt zu.



3. Chemisch-physikalische Untersuchungen

Art und Umfang der chemisch-physikalischen, meist umweltrelevanten Untersuchungen orientierten sich am Schadstoffpotential der Filterhilfen. Darüber hinaus sollten die entstehenden Filtrate auf ihre Eignung zur Einleitung in öffentliche Abwassernetze geprüft (beispielhaft anhand der Abwassersatzung der Stadt Heidelberg) und die Filterkuchen den Entsorgungs- bzw. Verwertungsklassen (LAGA Z-Werte) zugeordnet werden.

In den Anhängen 2.1-2.9 sind die Ergebnisse tabellarisch festgehalten. Die jeweilige Untersuchungsmethode schließt sich in Form einer kurzen Beschreibung den Tabellen an.

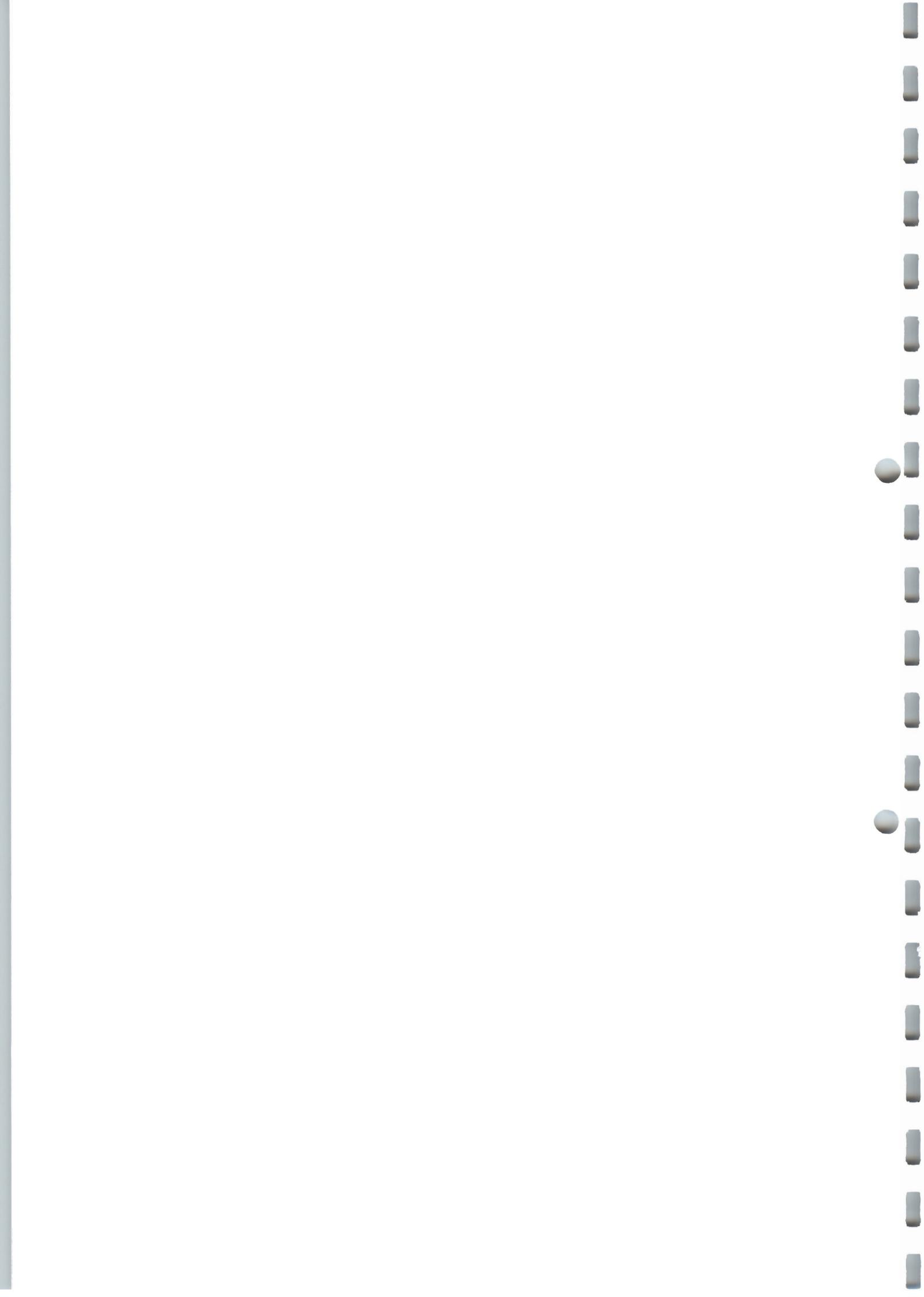
PH-Wert

Vgl. Anhang 2.1 (Vorversuche), Anhang 2.2 (Technikumsversuche) und Anhang 1.4-1.6

Im Vergleich der mittels pH-Sonde und Messstreifen ermittelten pH-Werte zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit einer Tendenz zu etwas höheren Ergebnissen bei letzterer Methode (siehe Anhang 2.1 und 1.4-1.6).

Wie in Kap.2.3.4 ausgeführt, wird der pH-Wert der Filtrate bei Zugabe der Filterhilfen gegenüber der Ausgangssuspension in der Regel gesenkt. Die Werte liegen bei $< 9,5$. Nur Steinkohleflugasche und Molsieb haben eine umgekehrte Wirkung. Der neutralisierende Effekt ist gewünscht, da die pH-Grenzwerte zur Einleitung in das öffentliche Abwassernetz bei 6,5-9,5 liegen.

Gebrauchte Kieselgur und mit Abstrichen auch die Müllverbrennungasche MVA besitzen die größte Wirkung. Die Wirkung gebrauchter Kieselgur ist so stark, dass die pH-Werte der Filtrate aus den Technikumsversuchen auf 4,6 (Filtrat AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm) und 5,0 (Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm) gesenkt wurden. Im Sinne der Einleitergrenzwerte bedeutet dies, dass die Kieselgurmenge entsprechend reduziert werden müßte. Umgekehrt sollte bei Filterhilfen ohne besonderen Einfluß auf den pH-Wert (z.B. Perlit, Ziegelmehl) oder bei Stoffen, die die Basizität nochmals erhöhen (z.B. Steinkohleflugasche, Molsieb), gebrauchte Kieselgur oder Vergleichbares zugegeben werden.



Leitfähigkeit (EL)

Vgl. Anhang 2.1 (Vorversuche) und Anhang 2.2 (Technikumsversuche)

Die Leitfähigkeiten wurden an Eluaten ausgewählter Filterhilfen und Filterkuchen sowie an den Filtraten aus den Technikumsversuchen bestimmt.

Bei den Eluaten der Filterhilfen war nur die Müllverbrennungsasche MVA mit $>20000 \mu\text{S}/\text{cm}$ auffällig. Entsprechend hoch lagen auch die Werte in den Filtraten, bei denen MVA beteiligt war. Mit bis zu $4310 \mu\text{S}/\text{cm}$ waren auch die Leitfähigkeiten der Eluate der Filterkuchen erhöht. Dieser Befund korreliert mit den ungewöhnlich hohen Chloridgehalten der MVA (s.u.).

Die sonstigen Eluate der Filterkuchen lagen bei max. $810 \mu\text{S}/\text{cm}$ (Filterkuchen Elbberg-Perlit), was der niedrigen LAGA-Klassifizierung Z.1.2 entspricht.

Die Filtrate ohne MVA-Beteiligung wiesen Leitfähigkeiten zwischen ca. 1400 und ca. 2900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ auf (Versuche ohne Filterhilfen ausgenommen). Derartige Werte sind für eine Einleitung ins Abwassernetz unproblematisch.

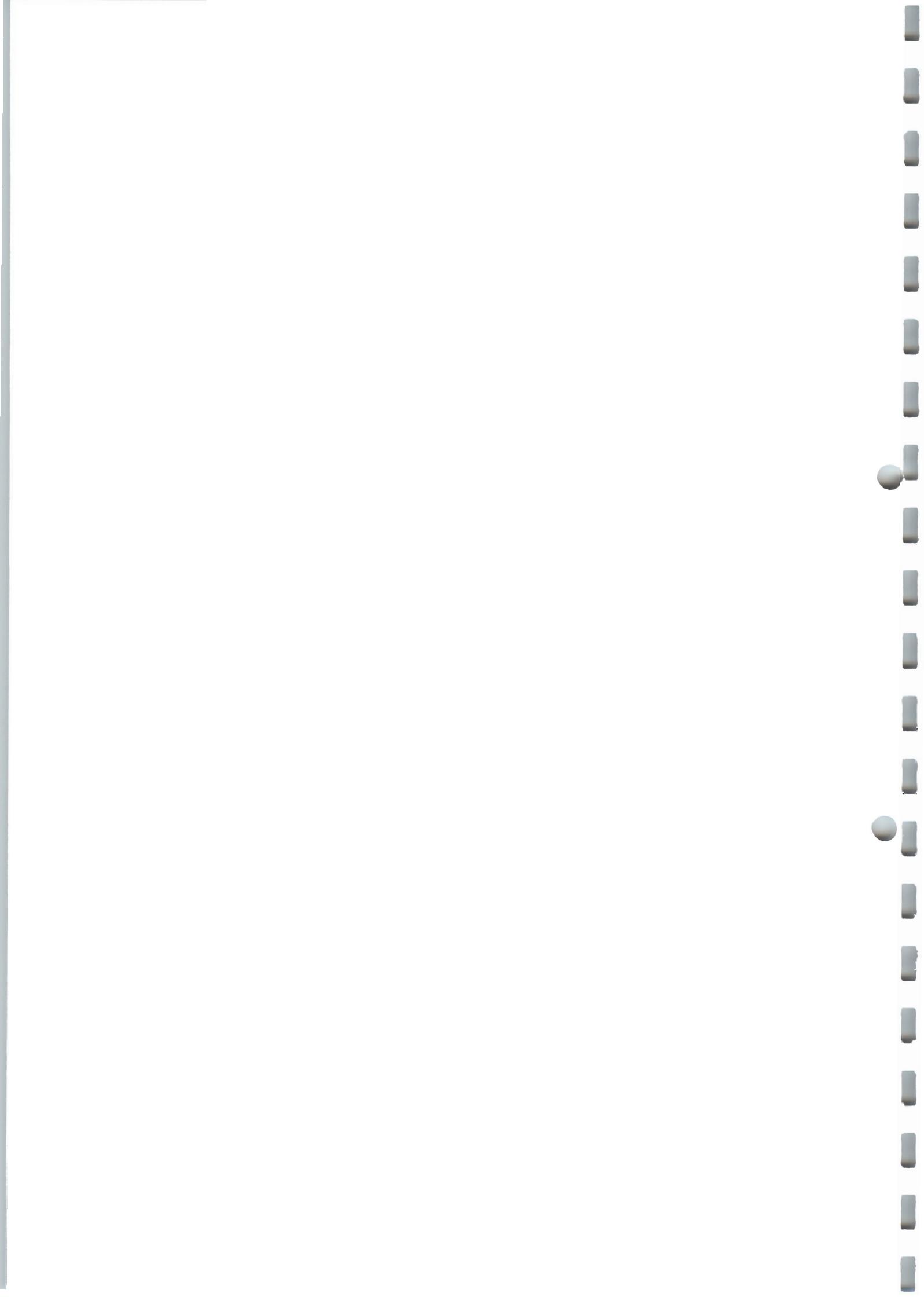
Chlorid und Sulfat

Vgl. Anhang 2.2 (Technikumsversuche)

Ausgehend von der hohen Leitfähigkeit der Müllverbrennungsasche MVA wurde diese auf Chlorid und Sulfat im Eluat untersucht. Mit insbesondere $25,9 \text{ g/l}$ Chlorid und $1,1 \text{ g/l}$ Sulfat ergab sich ein insgesamt sehr hoher Salzgehalt.

Dieser hohe Salzgehalt findet sich im Eluat des ausgewählten Filterkuchens AZT-MVA kaum wieder. Im Vergleich hat sogar der ohne MVA-Zuschlag entstandene Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm höhere Chlorid- und Sulfatkonzentrationen.

Wie die Ergebnisse der Filtratanalysen zeigen, geht der überwiegende Teil des MVA-stämmigen Chlorids in das Filtrat über, wohingegen das von Kieselgur, Bimswaschschlamm und der Suspension AZT selbst stammende Chlorid fast gleichmäßig auf Filterkuchen(eluat) und Filtrat verteilt ist.



Sulfat scheint insgesamt etwas stärker im Filterkuchen fixiert zu werden.

Die Untersuchung des Filtrats AZT (ohne Filterhilfe, 04.05.01) zeigt, dass die Ausgangssuspension bereits Chlorid- und insbesondere Sulfatträger ist.

Chlorid und Sulfat überschreiten in den untersuchten Proben den LAGA-Z-2-Wert.

Für Chlorid existiert kein Einleitergrenzwert, der für Sulfat beträgt 0,6 g/l. Das Filtrat AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm könnte demnach in die Kanalisation überführt werden, das Filtrat AZT-MVA dagegen nicht. Wie im Fall der Leitfähigkeit und der Schwermetalle wäre auch aus diesem Grund ein eventueller Einsatz von MVA als Filterhilfe auf noch kleinere Mengen zu reduzieren.

Trübung

Vgl. Anhang 2.2 (Technikumsversuche)

Die Trübung der untersuchten Filtrate aus den Technikumsversuchen lag relativ einheitlich zwischen 22 und 45 FAU. Der hohe Wert von 149 FAU des Filtrats AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm ist nicht auf die Filterhilfen selbst zurückzuführen, sondern dürfte filtrationstechnische Ursachen haben.

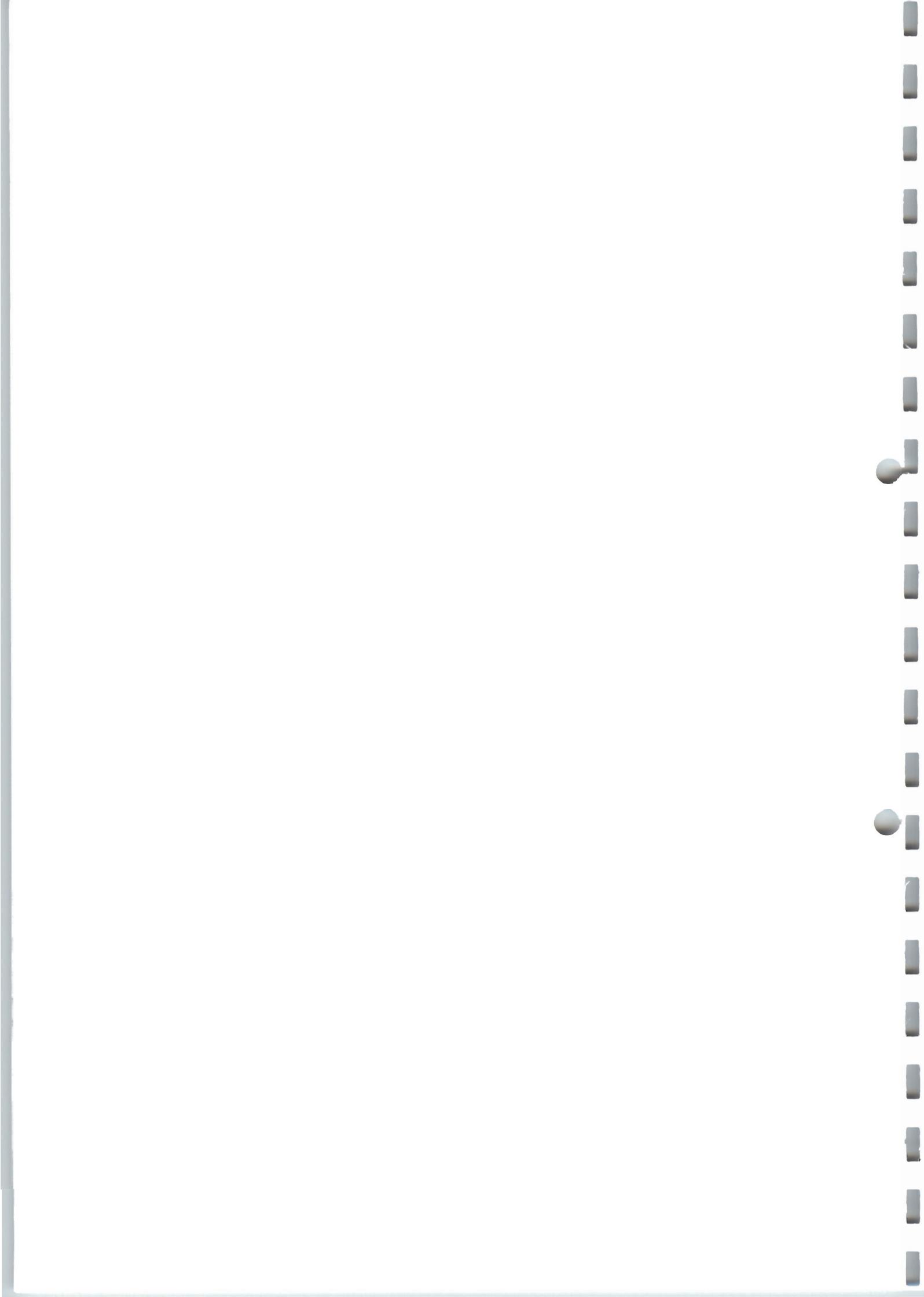
Nach WHO fallen diese Trübungen demnach in den weiten Bereich von Oberflächenwasser oder Abwasser (FAU >10-500; zum Vergleich: sehr gutes Trinkwasser = FAU <0,5 oder Grenzwert der TVO = FAU 1,5).

Schwermetalle in Feststoffen und wässriger Phase

Vgl. Anhang 2.3 und 2.4

Die Suspensionen weisen kein Schwermetallpotential auf, ebenso die untersuchten Filterhilfen Perlitstaub und Bimswaschschlamm sowie das Spezialpolymer CIBA.

In das System Filterkuchen, Filterkuchenuelat und Filtrat wurden in den Versuchen Schwermetalle nur über die Müllverbrennungsgasche MVA eingetragen, welche insbesondere mit Blei und Zink, aber auch mit Cadmium, Kupfer und Quecksilber belastet ist.



In Tab.10 sind die Schwermetallgehalte ausgewählter Filterkuchen (Originalsubstanz und Eluat) und der Filtrate aus den Technikumsversuche den Kriterien LAGA Z-2 bzw. Einleitungsgrenzwerten gegenübergestellt.

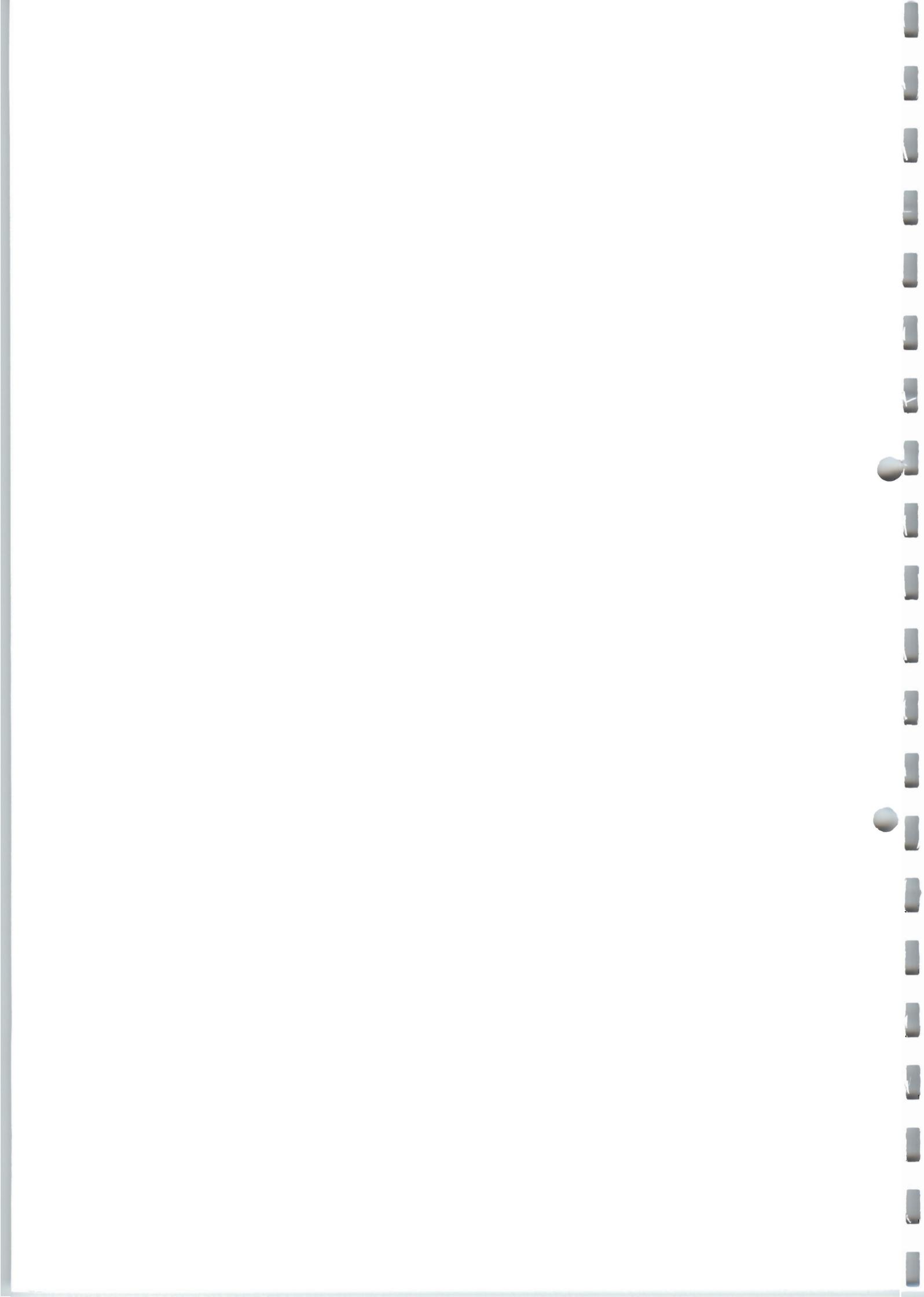
Von den genannten Metallen lassen sich nur noch Cadmium und Zink in den Filterkuchen AZT-MVA und AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm mit erhöhten Werten, > LAGA Z-2 (vgl. Anhang 2.3), nachweisen. Die Eluate dieser Filterkuchen wurden auf die in der MVA besonders angereicherten Elemente Blei, Zink und Cadmium untersucht. Deren Konzentrationen liegen deutlich unter LAGA-Z-2, was auf eine relativ geringe Mobilisierbarkeit schließen lässt.

Bei den Filtraten sind Grenzwertüberschreitungen für die Einleitung ins Kanalnetz bei Cadmium (Filtrat AZT-MVA) und Kupfer (Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm) zu beobachten. Es fällt auf, dass die höchsten Schwermetallgehalte im Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm relativ geringen Gehalten im dazugehörigen Filterkuchen gegenüberstehen. Bei Filterkuchen und Filtrat AZT-MVA tritt der gegenteilige Effekt auf. Dies dürfte mit dem niedrigen, die Löslichkeit der Schwermetalle verstärkenden pH-Wert bei Verwendung von gebrauchter Kieselgur zusammenhängen.

Tab. 10:

Schwermetallgehalte in Filterkuchen (Originalsubstanz in mg/kg und Eluat in mg/l) und Filtraten (mg/l) im Vergleich zu LAGA Z-2 bzw. Einleitungsgrenzwerten. Überschreitungen sind rot gekennzeichnet. n.b. = nicht bestimmt

	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Hg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l
Filterkuchen														
AZT, original	0,2	14	15	28	2	49	0,003	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
AZT-MVA	55	41	140	34	814	2622	7,16	0,007	n.b.	n.b.	n.b.	0,04	0,06	n.b.
AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,2	28	19	28	22	77	0,060	0,04	n.b.	n.b.	n.b.	0,02	0,10	n.b.
LAGA Z-2	10	600	600	600	1000	1500	10	0,01	0,15	0,3	0,2	0,2	0,6	2
Filtrat, angesäuert														
AZT, original								n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
AZT-MVA								2,08	0,13	0,02	0,23	0,11	0,02	0,002
AZT-Perlit								< 0,001	0,04	0,01	0,11	0,02	0,06	< 0,001
AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm								0,01	0,09	0,09	0,49	0,02	0,11	< 0,001
AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm								0,16	0,22	1,40	0,54	0,12	0,63	< 0,001
Elbberg-Perlit								< 0,001	0,07	0,02	0,02	0,04	0,32	< 0,001
Einleitergrenzwert	0,5	2,0	1,0	1,0	1,0	5,0	0,05							



Ungeachtet anderer abfallrechtlicher Vorgaben müsste die Menge der verwendeten MVA insbesondere wegen der Cadmium- und Zinkgehalte für Filtrationen deutlich eingeschränkt werden.

Organische Parameter in Filterkuchen

Vgl. Anhang 2.5

Die Filterkuchen AZT (original), AZT-MVA, AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm und Elbberg-Perlit wurden auf die Parameter polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB), Kohlenwasserstoffe (KW, nach DIN 38409 H18), Phenol-Index und leichtflüchtige, halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW) untersucht. Die Werte liegen durchwegs auf sehr niedrigem Niveau, max. im Bereich LAGA Z.1.1.

Auch die Konzentrationen schwerflüchtiger, lipophiler Stoffe sind unauffällig (< untersuchungsspezifischer Nachweisgrenze von 100 mg/kg).

Eine Untersuchung dazugehöriger Eluate erschien daher nicht mehr sinnvoll.

Organische Parameter in Filtraten

Vgl. Anhang 2.6

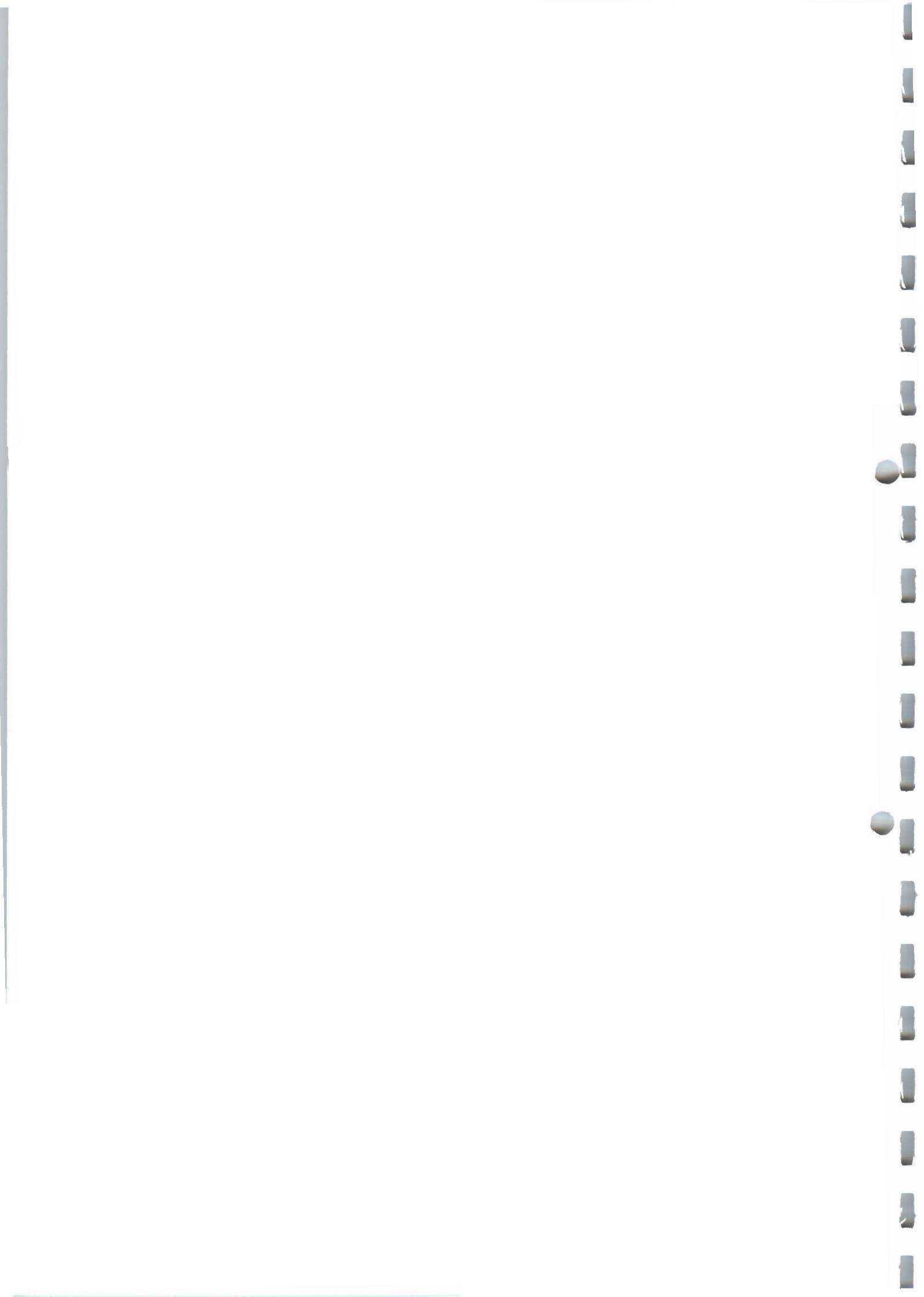
Oben genannte, organische Parameter wurden in ausgewählten Filtraten analysiert. Entsprechend der Feststoffanalysen ergeben sich keine Auffälligkeiten.

In den verwendeten Suspensionen und Filterhilfen sind organische Schadstoffe demnach nicht relevant. Sie werden auch nicht in Filterkuchen oder Filtrat angereichert.

Kohlenstoffanalysen in Feststoffen und Filtraten

Vgl. Anhang 2.7

In den vorliegenden Untersuchungen wurde neben dem Gesamt- und Karbonat-Kohlenstoff der Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) bestimmt, da dieser sich in der Abwasseranalytik anstelle des Parameters CSB zunehmend durchsetzt. Ein Grund ist beispielsweise die Tatsache, dass die CSB-Bestimmung bereits von ca. 1000 mg Chlorid/l gestört wird.



In den untersuchten Feststoffen wies die gebrauchte Kieselgur mit 44 g/kg den höchsten TOC-Gehalt auf, welcher sich jedoch im Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm nicht wesentlich auswirkt, da der Filterkuchen der Originalsuspension AZT selbst bereits 14 g/kg enthält (vgl. Anhang 2.7).

Dagegen ist das Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm gegenüber den anderen untersuchten Filtraten deutlich mit TOC beaufschlagt (282 mg/l, bei den restlichen je ca. 10 mg/l). Dies bedeutet, dass ein Teil des gut wasserlöslichen, organischen Kohlenstoffs aus dem Kieselgur durch den Filtrationsprozeß in die Wasserphase gelangt.

Für häusliches Abwasser gilt folgender, überschlägiger Zusammenhang: $\text{TOC} \times 3,5 = \text{CSB}$ ($\text{BSB} \times 2 = \text{CSB}$, mdl. Mitteilung Frau Hirth, INNOLAB GMBH). Derart hochgerechnet ergibt sich in grober Annäherung eine geringe organische Belastung bei den Filtraten AZT-Nullversuch, AZT-MVA und Elberg-Perlit sowie eine mittlere bis hohe organische Belastung im Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm.

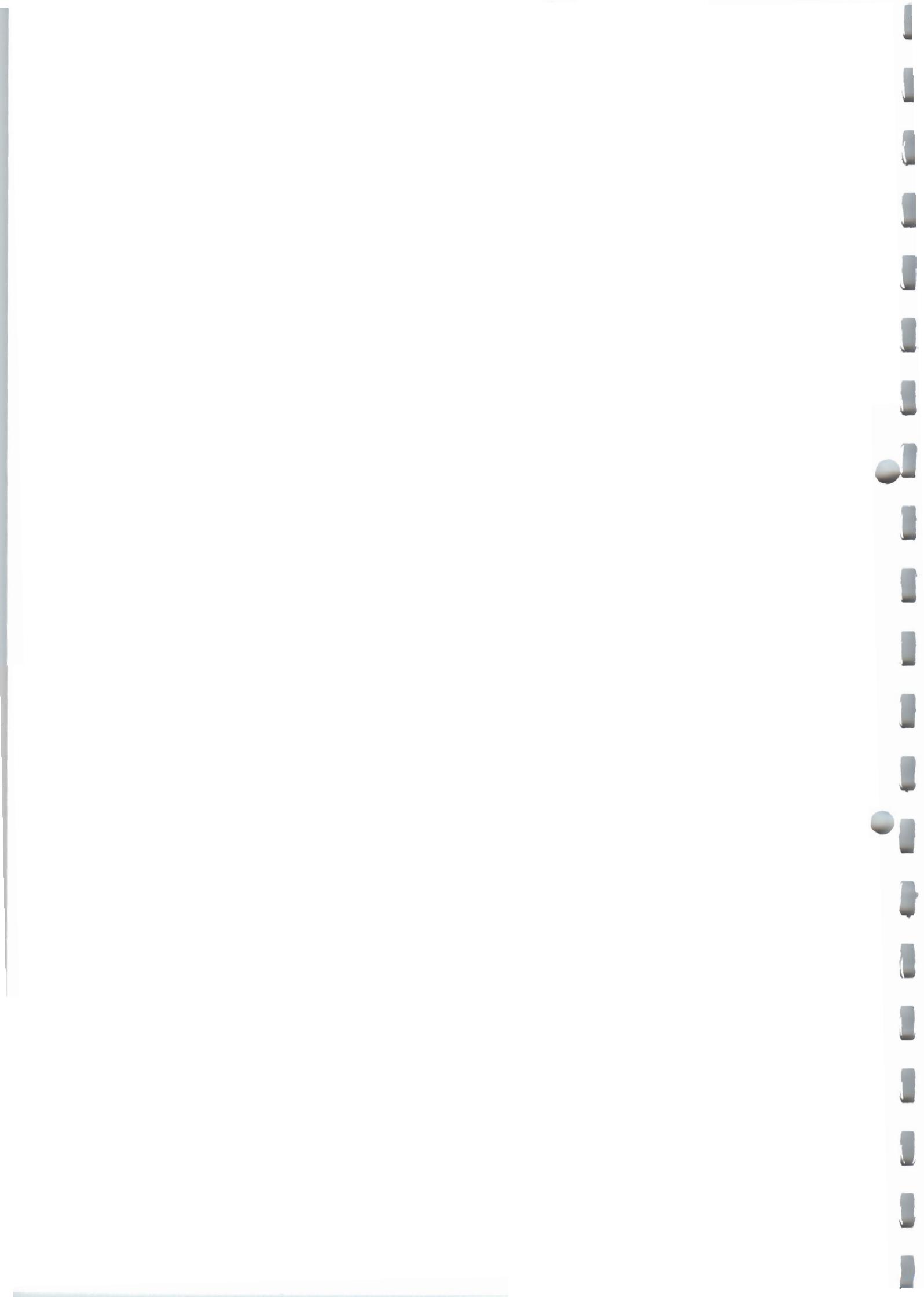
Das Spezialpolymer CIBA stellte sich mit 510 g TOC/kg als ein überwiegend aus organischem Kohlenstoff bestehendes Material heraus.

Eluatuntersuchungen von gebrannten Ziegeln

Vgl. Anhang 2.8

Um die Eluierbarkeit der relevanten Schwermetalle Cadmium, Chrom-VI, Kupfer, Blei und Zink sowie der Anionen Chlorid und Sulfat in Zusammenhang mit einer späteren Entsorgung der Ziegel als Bauschutt näher beschreiben zu können, wurden 2 verschiedene Eluattests durchgeführt:

1. Eluat nach DEV S4 nach grober Zerkleinerung des Ziegelmaterials in Korngrößen < 2 mm
2. Trogverfahren in Anlehnung an die Elution zementverfestigter, immobilisierter Probekörper: Einhängen des Probeziegels in ein Becherglas, Auffüllen des Becherglases mit dest. Wasser (Gewicht Ziegel:Gewicht Wasser = 1:10, Ziegel voll umspült), 24 Std. Rühren mittels Magnetrührer



Dabei wurden nur Probeziegel mit 40 % Filterkuchenzuschlag zum originalen Ziegelton eluiert, der höchsten Zuschlagsmenge, die im Rahmen der keramischen Untersuchungen verwendet wurde (siehe Kap.4).

Da bekannt ist, dass Chrom unter bestimmten Bedingungen beim Brennen des Ziegels zu Chrom-VI (Chromat) oxidiert werden kann, wurde bei den Eluaten nur das sechswertige Chrom analysiert.

Die Schwermetalle eluieren mit Ausnahme des Chromats kaum. Chlorid ist gegenüber den Eluaten aus Filterkuchen ebenfalls deutlich vermindert. In der Regel liegen die Konzentrationen deutlich unter LAGA-Z-2.

Nur die Sulfatanteile scheinen durch den Brennprozeß kaum fixiert zu werden. LAGA-Z-2 wird nur beim Filterkuchenzuschlag AZT-Feinperlit unterschritten.

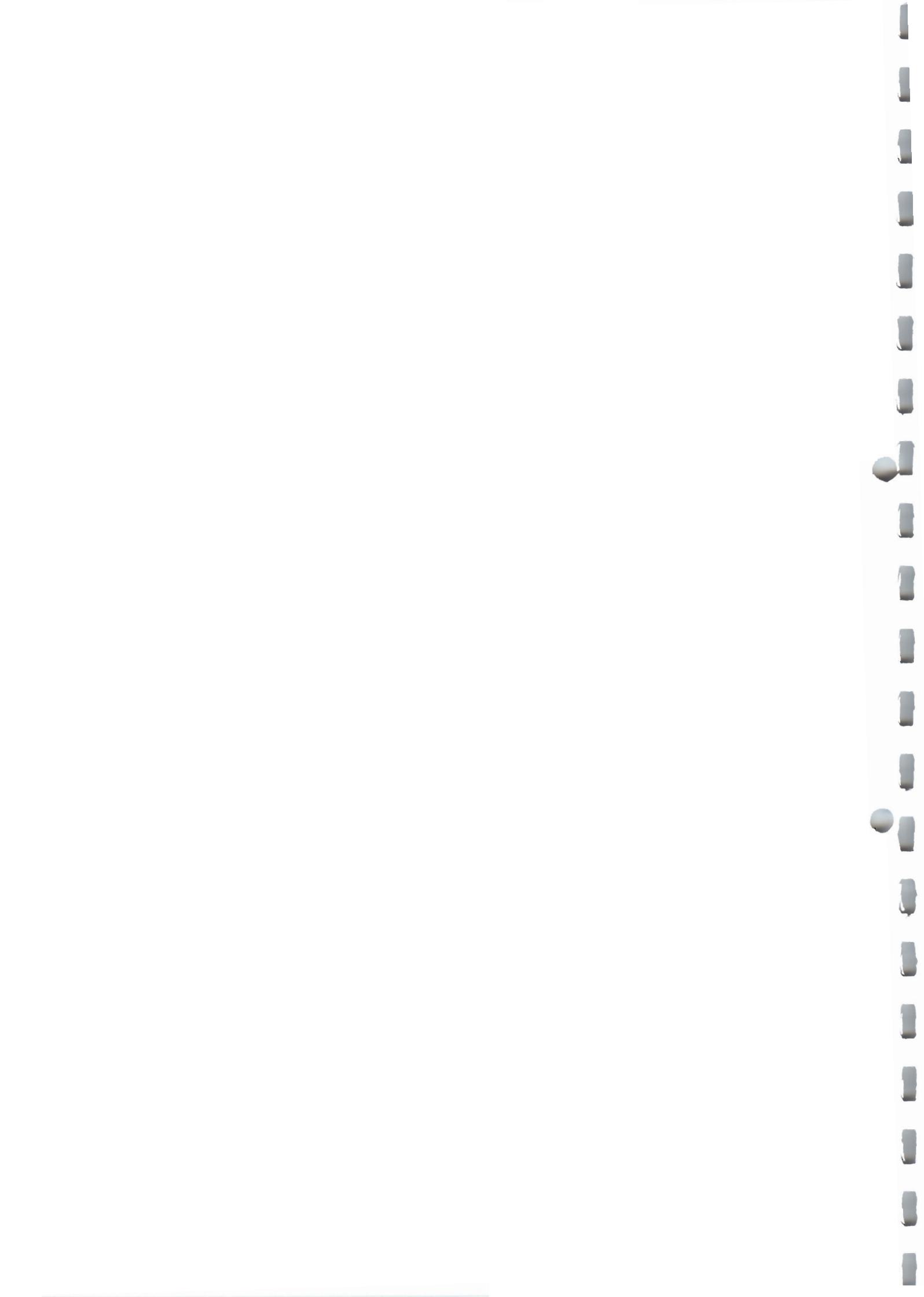
Die Chromatuntersuchungen ergaben, dass bereits im Ziegelton Chrom vorhanden ist, welches aufgrund der Menge und/oder Spezifikation im Rahmen des Brennprozesses in Chromat umgewandelt wird (Eluat: 242 µg/l). Da die Chromatgehalte der Ziegel mit Filterkuchenzuschlag uneinheitlich zwischen 105 und 416 µg/l schwanken, gehen wir davon aus, dass in allen Analysen der überwiegende Teil tatsächlich aus dem Ziegelton selbst stammt. Die Lösung des Problems kann daher nur vom Ziegelhersteller herbeigeführt werden.

Die Ergebnisse der beiden Eluatverfahren unterscheiden sich kaum. Das heißt, dass die Fixierung der untersuchten Stoffe durch die Zerstörung der keramischen Struktur nur unwesentlich aufgehoben wird.

Spezifische Oberfläche verschiedener Materialien

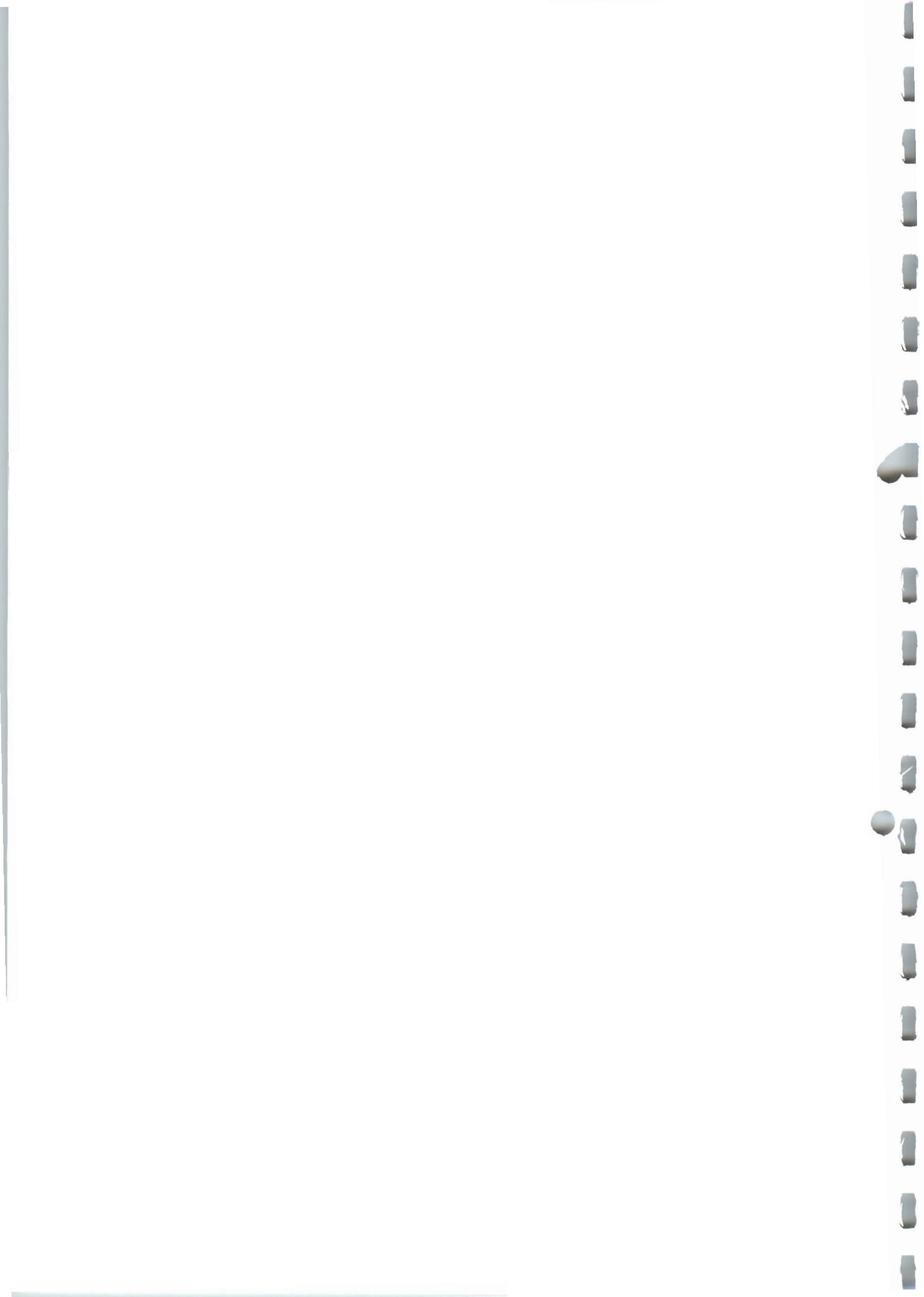
Vgl. Anhang 2.9

In den Anfängen der chemisch-physikalischen Untersuchung bestand eine Arbeitshypothese, nach der die typische Kartenhausstruktur der Bentonitpartikel in den Suspensionen (vgl. Kap.2.3.2: Abhängigkeiten vom pH-Wert) auch durch Zugabe von Stoffen mit großer spezifischer Oberfläche gebrochen werden kann und die Suspensionen sich im Anschluß leichter filtrieren lassen.



Die daraus resultierenden Versuche zeigten, dass Bimswaschschlamm trotz seiner weitaus größeren, spezifischen Oberfläche z.B. gegenüber MVA oder Perlitstaub eine relativ geringe Filterwirkung besitzt. Mit $12,5 \text{ m}^2/\text{g}$ liegt seine Oberfläche im Bereich gebrauchter, weniger mit feinem Nebengesteinsmaterial aufgeladener Suspensionen, wie Dywonit (Wien) oder Tixoton (Kehl und Köln).

Die Größe der spezifischen Oberfläche bzw. die Materialfeinheit spielt demnach keine entscheidende Rolle. Es bleibt aber offen, bei welchen Feinheiten (min.-max. Korngrößen) geeignete Filterhilfen die jeweils besten Filterwirkungen aufweisen.



4. Keramische Untersuchungen

Im Rahmen der weiteren Untersuchungen sollte geprüft werden, ob die aus Teil A des Projektes im Technikumsmaßstab gewonnenen Filterkuchen, bestehend aus einer Mischung aus Bentonit, mineralischem Filterhilfsstoff sowie Gesteinsmehl als Zuschlagstoff für die Herstellung hochwärmedämmender Leichthochloch-Ziegel verwendet werden können. Das besondere Interesse der weiteren Arbeiten galt daher neben der Bestimmung wichtiger keramtechnischer Eigenschaften, insbesondere den wärmetechnischen Eigenschaften von Versuchsziegeln, die mit steigenden Filterkuchen-Zugaben zur Tonmischung hergestellt wurden.

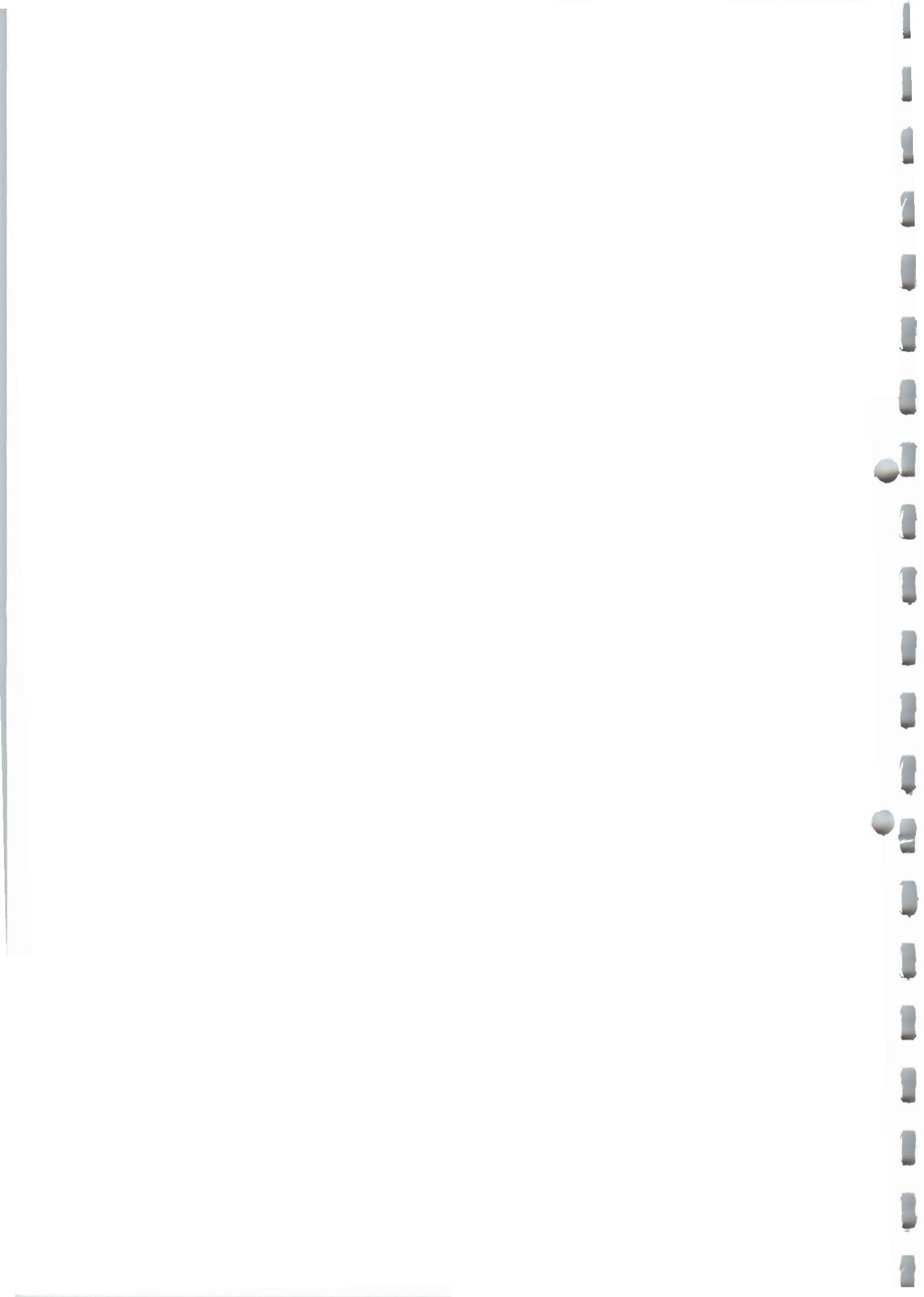
4.1 Einleitung

Auch die deutsche Ziegelindustrie ist aufgerufen, im Rahmen der neuen Energieeinsparverordnung (ESVO 2000) ihren Beitrag zur Minderung des CO₂-Ausstoßes und damit des Treibhauseffektes zu leisten, u.a. durch die Entwicklung und Produktion von Ziegelsteinen mit erhöhtem Wärmedämmvermögen.

Ständig steigende Anforderungen an den Wärmeschutz im Wohnungsbau erfordern heute Hochlochziegel mit niedriger Wärmeleitfähigkeit bei ausreichender Druckfestigkeit. Die Minderung der Wärmeleitfähigkeit kann durch mehrere Maßnahmen erreicht werden, die sich gegenseitig beeinflussen und als Summe die Wärmeleitfähigkeit des Ziegels bestimmen:

1. Minderung der Ziegelroh- bzw. Scherbenrohichte
2. Erhöhung des Lochanteils
3. Optimierung der Loch- und Steganordnung in Wärmestromrichtung des Ziegels
4. Porosierung mit verschiedenen Porosierungsmitteln
5. Änderung der keramischen Scherbenstruktur

Für die Minderung der Wärmeleitfähigkeit von Hochlochziegeln erscheint daher stets eine Optimierung aller genannten Parameter angezeigt. Im Rahmen der hier durchzuführenden Entwicklungsarbeiten waren sowohl Punkt 1 als auch Punkt 5 der obigen Auflistung von Bedeutung.



4.2 Zielstellung bei der Durchführung der keramischen Untersuchungen

Das Ziel der hier vorgestellten Arbeiten bestand darin, Bentonit-haltige Gesteinsmehl-Filterkuchen, die zur besseren Filtration zusätzlich Filterhilfen enthielten, in herkömmlichen Ziegelton einzuarbeiten und dann zu untersuchen, in welchem Ausmaß sich die keramischen Eigenschaften daraus herzustellender Labor-Ziegel verändern. Dabei sollte die Möglichkeit einer industriellen Verwertung dieser Sekundär-Rohstoffe als Zuschlagstoffe in der Ziegelindustrie geprüft werden.

Ausgangspunkt für diesen Teil der Projektaufgaben war eine herkömmlich aufbereitete Tonmischung, welche direkt an einem Mauerziegel-Extruder in einem Ziegelwerk entnommen wurde. Der so gewonnenen Rohton-Mischung wurden die in Teil A des F&E-Vorhabens gewonnenen mineralischen Filterkuchen in steigenden Mengen als Zuschlagstoff beigemischt und entsprechende Labor-Ziegel hergestellt. Diese wurden nach dem Trocknen und Brennen auf wesentliche keramische Parameter untersucht. Darüberhinaus wurde geprüft, ob sich insbesondere die wärmetechnischen Eigenschaften der so hergestellten Labor-Ziegel verbessert haben.

Die im Labor gewonnenen Erkenntnisse könnten später, in einem weiteren Schritt, direkt in den Produktionsmaßstab eines Ziegelwerks übertragen werden.

4.3 Filterkuchen als Zuschlagstoff

Dem Fachbereich Werkstofftechnik der Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg wurden die nachfolgend aufgeführten Filterkuchen-Mischungen in jeweils einem 120 l-Faß übergeben:

Fass Nr. 1: AZT- MVA- Kieselgur-Bimswaschschlamm (Im Folgenden abgekürzt „Bims“)

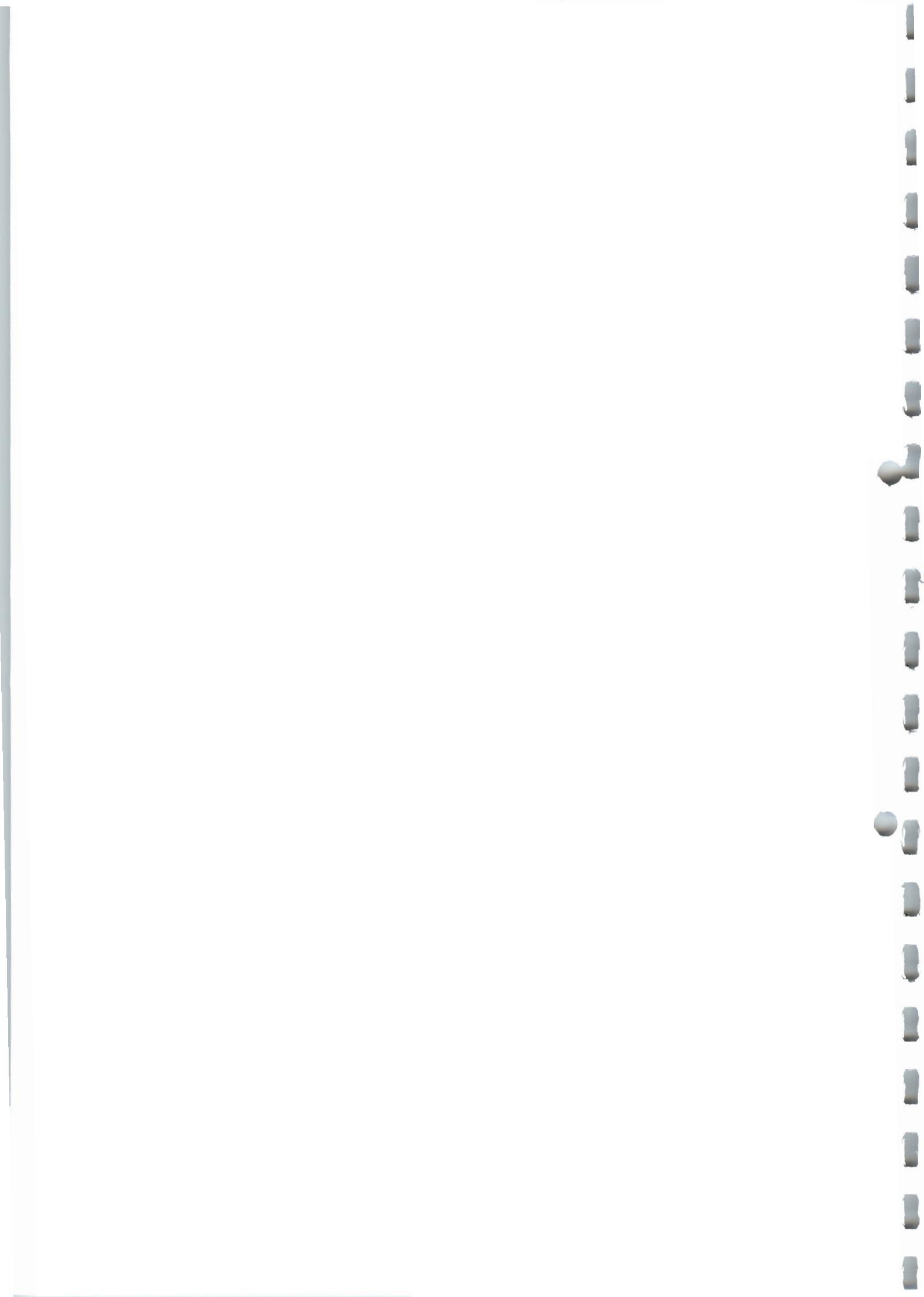
Fass Nr. 2: AZT- MVA

Fass Nr. 3: AZT- Kieselgur-Bimswaschschlamm (Im Folgenden abgekürzt „Bims“)

Fass Nr. 4: AZT- Perlit

Fass Nr. 5: Elbberg-Perlit

Die als Zuschlagstoff der Tonmischung beizugebenden Filterkuchen sowie eine reine Bentonit-Probe wurden jeweils auf einen Wassergehalt von 23 % eingestellt.

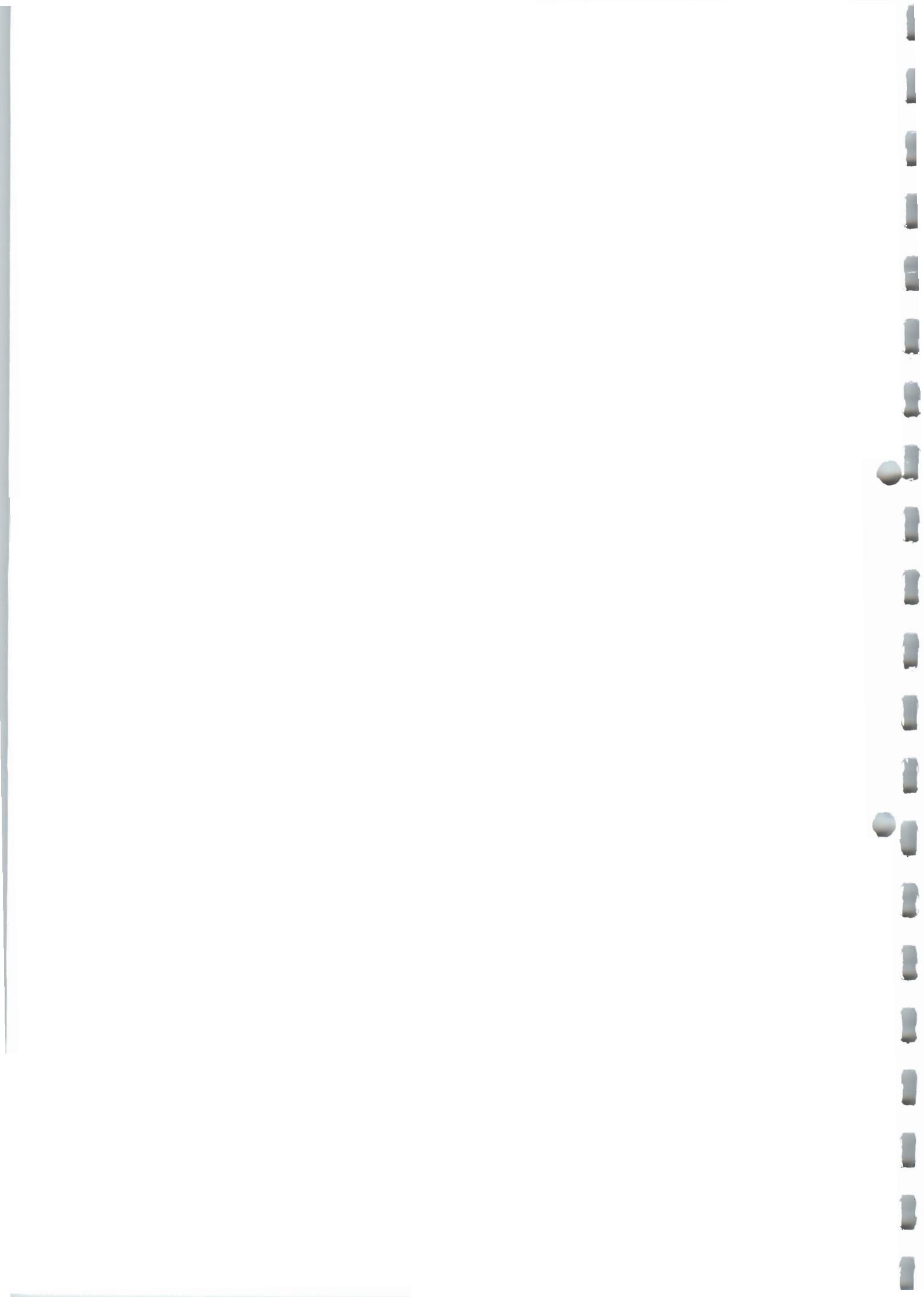


4.4 Verwendete Tonsorte

Der Ausgangs-Ton für die Laborversuche wurde freundlicherweise vom Ziegelwerk MEGALITH Schönau GmbH & Co. KG, Wipperoda zur Verfügung gestellt. Der bereits fein aufbereitete Ton wurde direkt am Formgebungs-Extruder entnommen, in Mörtelwannen eingefüllt und mittels Klein-Transporter an die Fachhochschule Nürnberg transportiert.

4.5 Aufbereitung des Tones

Der stückig vorliegende Ton wurde zunächst mittels Spaten, später auch durch den Einsatz von Spachteln in viele kleine Tonstücke zerteilt. Anschließend erfolgte die Zugabe von Wasser mittels einer Spritzflasche. Ziel war die Einstellung eines Wassergehaltes von 23 %. Dazu wurde der angefeuchtete Ton in den Mörtelwannen mit jeweils einer dichtschießenden Folienabdeckung versehen. Nach einer Maukzeit von 24 Stunden erfolgte eine erste Überprüfung des Wassergehaltes. Danach wurde der feuchte Ton mittels eines Laborextruders (Abb. 6) gemischt und über ein recht-eckiges Vollziegel-Mundstück (Abb. 7) zu je ca. 50 cm langen extrudierten Ton-Strängen verarbeitet. Diese wurden anschließend wieder in die Mörtelwannen eingelegt und im Bedarfsfall nochmals mit Wasser benetzt. Die mit den extrudierten Ton-Strängen gefüllten Mörtelwannen wurden nochmals über einen Zeitraum von 24 Stunden mittels Folie abgedeckt. Dadurch konnte der Ton das zugesetzte Wasser gut aufnehmen ("mauken"). Anschließend wurden die Tonstränge nochmals dem Laborextruder aufgegeben und homogenisiert. Durch diese Vorgehensweise konnte im Ton jeweils ein Wassergehalt von 23 % eingestellt werden. Der so aufbereitete Ton wurde als Ausgangs-Ton (Null-Probe) für die weiteren Untersuchungen eingesetzt.



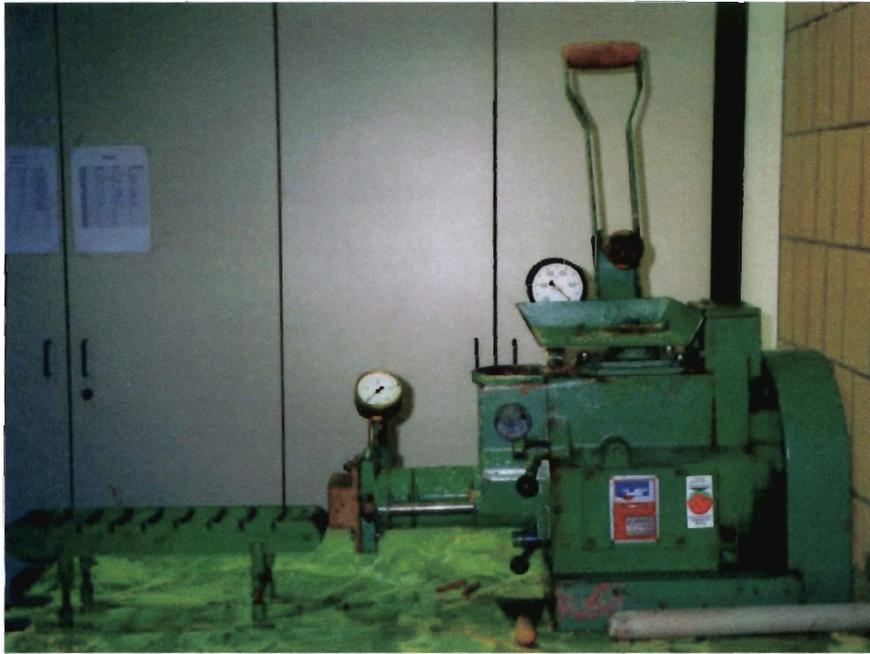
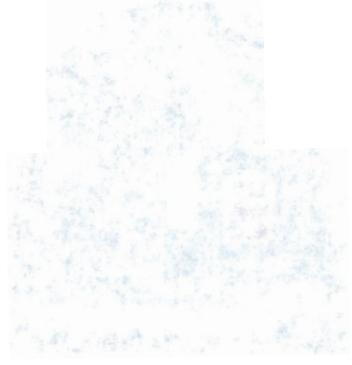


Abb. 6:
Labor-Vakuum-Extruder für die Herstellung von Labor-Ziegeln



Abb. 7:
Extruder-Mundstück ohne Kerneinsatz für die Herstellung von Vollziegeln



4.6 Mischen der Masse-Versätze

Ausgehend von der eingelagerten Ton-Probe (Null-Probe, Wassergehalt 23 %) sowie den eingelagerten Filterkuchen (Wassergehalt 23 %) erfolgte die Herstellung von Versuchsmischungen mit ansteigenden Massenanteilen (Ma.-%) des jeweiligen Filterkuchens. Die grobe Vormischung erfolgte jeweils mittels Spaten in Mörtelwannen. Anschließend wurden die Massen nochmals mit dem Laborextruder homogen verknetet und der Wassergehalt jeweils auf 23 % eingestellt. Nach der Montage entsprechender Mundstücke (Abb. 8 u. 9) erfolgte dann die Herstellung gelochter Probeziegel sowie ungelochter Platten mittels der Laborvakuum-Pressen.

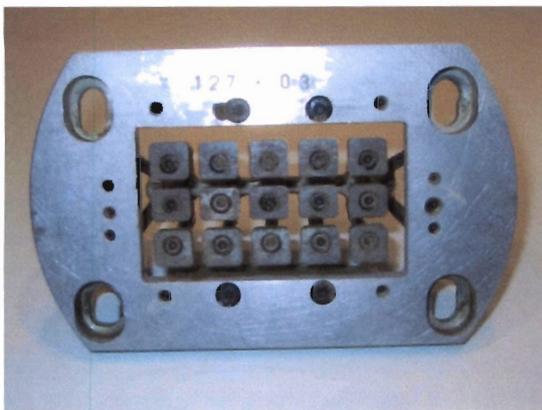


Abb. 8:
Mundstück mit Kerneinsatz für die Herstellung gelochter Probe-Ziegel

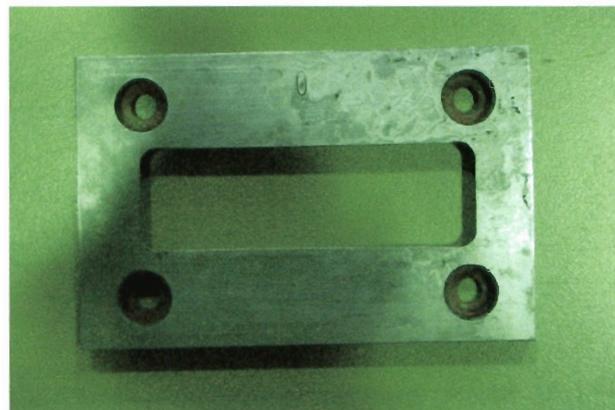


Abb. 9:
Mundstück ohne Kerneinsatz für die Herstellung ungelochter Vollplatten

Nach dem Schneiden der Probekörper mittels einer Draht-Harve wurden diese markiert und zum Trocknen aufgestellt. Die noch feuchten Probekörper wurden mehrmals täglich gewendet, um einen gleichmäßigen Trocknungsfortschritt zu gewährleisten (Abb. 10, 11 u. 12). Zur vollständigen Trocknung wurden die Formlinge anschließend in einen Trockenschrank eingesetzt und bei einer Temperatur von letztlich 100 °C vollständig getrocknet (Abb. 13).





Abb. 10:

Trocknung der Labor-Ziegel an Raumluft in der Ofenhalle des Fachbereichs Werkstofftechnik



Abb. 11:

Vorsichtige Trocknung der extrudierten Vollplatten an Raumluft



Abb. 12:

Herr Dipl.-Ing. K. Ullermann beim Wenden der Labor-Ziegel





Abb. 13:

Vollständige Trocknung der Labor-Proben im Trockenschrank bei einer Temperatur von 100 °C

Nach der Bestimmung der Trocken-Schwindung wurden die Formlinge in einen elektrisch beheizten Brennofen (Abb. 14 u. 15) geschichtet und bei einer maximalen Sintertemperatur von 1000 °C gebrannt. Nach dem Abkühlen erfolgte neben der Bestimmung der Brenn-Schwindungen, die Ermittlung der übrigen keram-technologischen Parameter. Aus den durchgeführten Einzel-Bestimmungen (Anhang Tab. 3.1 bis Tab. 3.23) erfolgte die Berechnung der jeweiligen Mittelwerte.



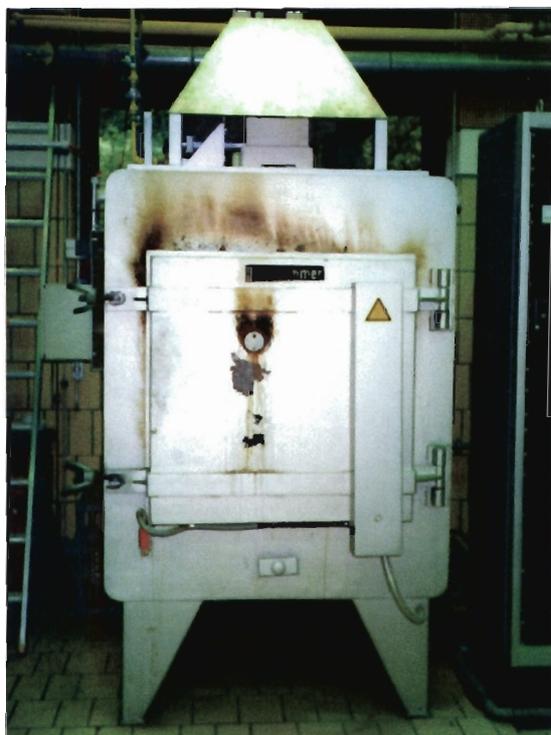


Abb. 14:
Elektrisch beheizter Ofen für den
keramischen Brand der Labor-Ziegel



Abb. 15:
Labor-Ziegel nach dem keramischen
Brand



Abb. 16:
Neuer Messplatz für die Bestimmung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit λ



4.7 Auswertung der experimentellen Ergebnisse

4.7.1 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung

Um den Einfluß steigender Filterkuchen-Zugaben auf die Trocken- und Brenn-Schwindung zu untersuchen, wurden die Labor-Ziegel unmittelbar nach dem Pressvorgang mit Schwindungs-Markierungen versehen. Nach dem Trocknen und Sintern der Laborziegel wurden die Schwindungs-Markierungen ausgemessen. In Tab. 11 sind die Einzelwerte der Trocken- und Brenn-Schwindung der Null-Proben ohne Filterkuchen-Zugabe dargestellt sowie die daraus berechneten Mittelwerte.

Tab. 11:

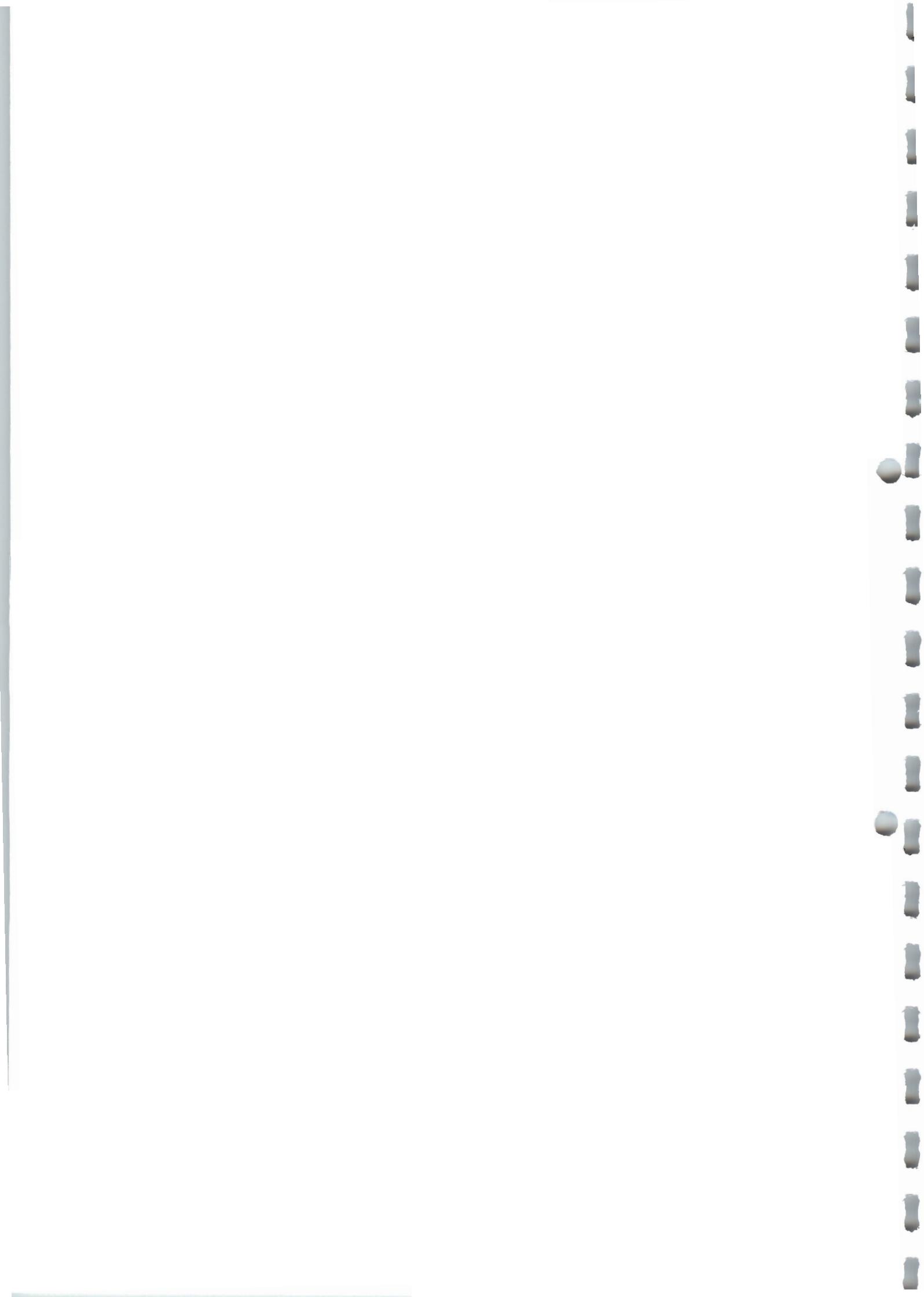
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung der Ziegelton-Nullproben ohne Zuschlagstoffe

Ziegel Nr.	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0-Probe 1	2.60	1.03	3.63
0-Probe 2	2.40	1.02	3.42
0-Probe 3	2.60	0.82	3.42
0-Probe 4	2.80	0.82	3.62
0-Probe 5	2.80	1.23	4.03
0-Probe MW	2.64	0.98	3.62

Daraus geht hervor, daß die Null-Probe eine Trocken-Schwindung von 2.64 % und eine Brenn-Schwindung von 0.98 % aufweist. Die Gesamt-Schwindung beträgt insgesamt 3.62 %.

Diese Werte wurden als Ausgangswerte der Null-Probe jeweils in die Tab.n 12 bis 16 integriert, um einen besseren Vergleich mit den Zuschlagstoff-haltigen Proben zu ermöglichen. Die genannten Tab.n enthalten bereits die Mittelwerte der Trocken- und der Brenn-Schwindungen bei steigenden Filterkuchen-Zugaben. Die zugehörigen Einzelwerte befinden sich im Anhang (Anhang 3.1 bis 3.5).

Aus der Untersuchung geht hervor, daß die Zugabe von 5 Ma.-% bzw. 10 Ma.-% Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims (Tab. 12) zunächst eine Minderung der Gesamt-Schwindung von 3.62 % auf 2.21 % bzw. 2.33 % bewirkt. Die Zugabe von 15 Ma.-% des genannten Filterkuchens führt zu einem Zwischenanstieg der Gesamt-Schwindung auf 3.51



% . Darüberhinaus führt die Zugabe von 20, 30 und 40 Ma.-% des entsprechenden Filterkuchens wieder zu einer Verminderung der Gesamt-Schwindung auf 3.38 %, 3.18 % sowie 2.73 %. Insgesamt bewirkt die Zugabe des Filterkuchens also eine Abnahme der Gesamt-Schwindung im Vergleich mit der Gesamt-Schwindung der Zuschlagstoff-freien Null-Probe.

Tab. 12:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-MVA-Kieselgur-Bims als Zuschlagstoff

Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0, 0-Probe	2.64	0.98	3.62
5	1.48	0.73	2.21
10	1.88	0.53	2.33
15	2.28	1.23	3.51
20	2.52	0.86	3.38
30	2.48	0.70	3.18
40	2.28	0.45	2.73

Die Ergebnisse aus Tab. 12 zeigt Abb. 17 in graphischer Form.

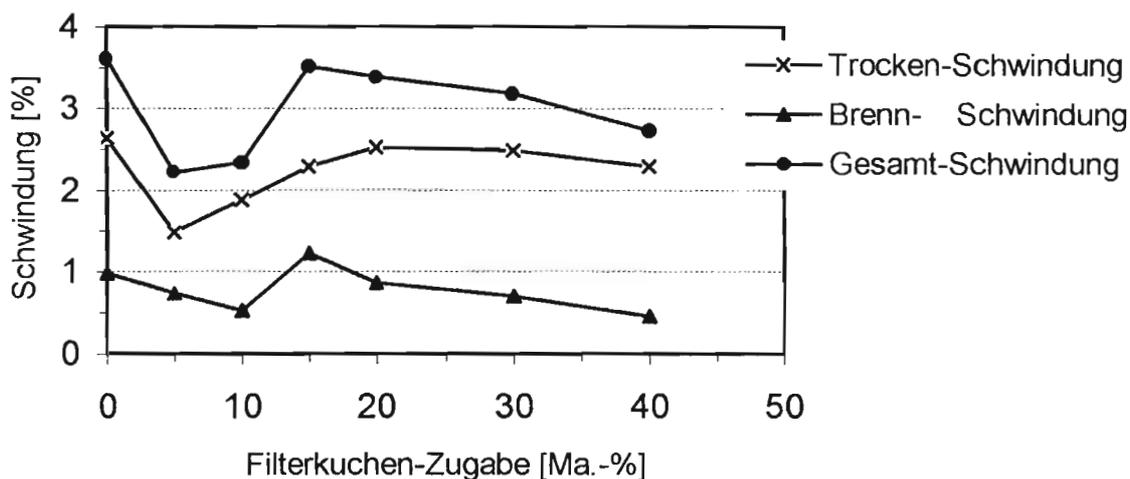
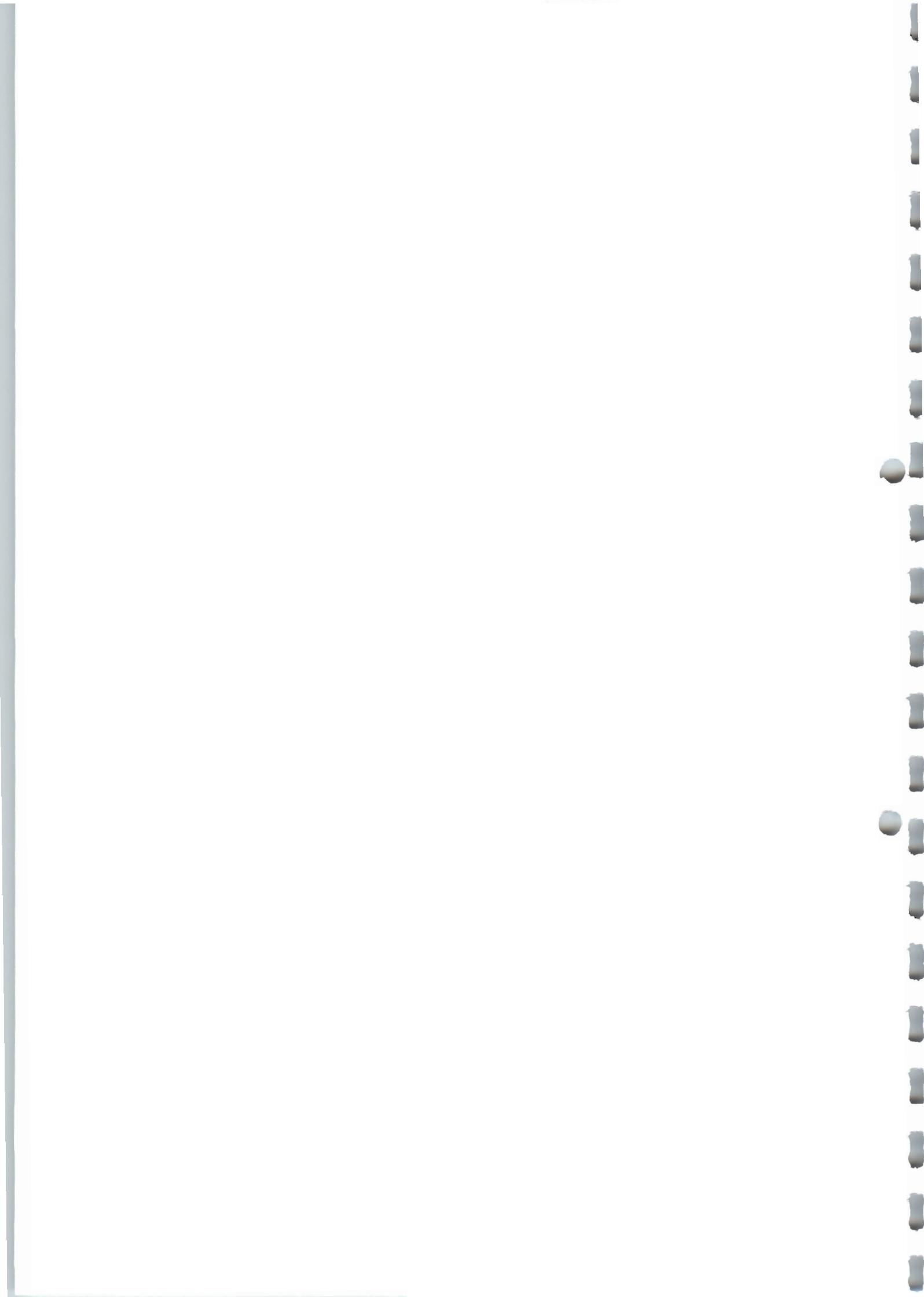


Abb. 17:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-MVA-Kieselgur-Bims als Zuschlagstoff



Der Einfluß steigender Zugaben der Filterkuchen-Sorte AZT-MVA auf die Ziegel-Schwindung ist in Tab. 13 dargestellt.

Tab. 13:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-MVA als Zuschlagstoff

Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0, 0-Probe	2.64	0.98	3.62
5	1.84	1.50	3.34
10	2.28	1.19	3.47
15	2.44	0.98	3.42
20	2.12	1.10	3.22
30	1.96	0.74	2.70
40	2.00	0.20	2.20

Aus dem Vergleich der Ergebnisse geht hervor, daß die zunehmende Filterkuchen-Zugabe eine Abnahme der Gesamt-Schwindung gegenüber der Nullprobe bewirkt. Während die Zuschlagstoff-freie Null-Probe einer Gesamt-Schwindung von 3.62 % unterliegt, führt die Zugabe von 40 Ma.-% des Filterkuchens AZT-MVA zu einer Abnahme der Gesamt-Schwindung auf nur 2.20 %. Abb. 18 zeigt die Ergebnisse in graphischer Form.

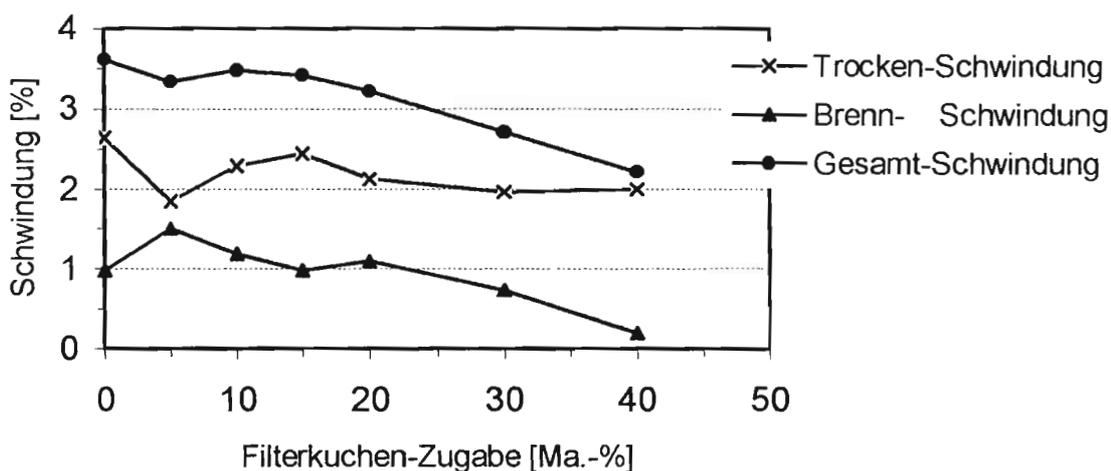


Abb. 18:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-MVA als Zuschlagstoff



Die Zugabe von 5 Ma.-% bzw. 10 Ma.-% des AZT-Filterkuchens Kieselgur-Bims (Tab. 14) zum Rohton führt zu einem Anstieg der Gesamt-Schwindung auf 3,78 % bzw. 4,39 %. Die weitere Zugabe von 15 Ma.-% Zuschlagstoff hat ein Absinken der Gesamt-Schwindung auf 3.18 % zur Folge.

Tab. 14:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln Mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-Kieselgur-Bims als Zuschlagstoff

Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0, 0-Probe	2.64	0.98	3.62
5	3.12	0.66	3.78
10	3.48	0.91	4.39
15	2.44	0.74	3.18
20	2.84	0.70	3.54
30	2.84	0.66	3.50
40	2.40	0.37	2.77

Bei einer Zugabe von 20, 30 bzw. 40 Ma.-% des Filterkuchens nimmt die Gesamt-Schwindung wieder ab, auf 3.54 %, 3.50 % bzw. 2.77 %. Aus dem Vergleich der Ergebnisse geht hervor, daß für die erhöhten Werte der Gesamt-Schwindung insbesondere die hohen Werte der Trocken-Schwindung verantwortlich sind. In Abb. 19 sind die Ergebnisse (Tab. 14) in graphischer Form dargestellt.

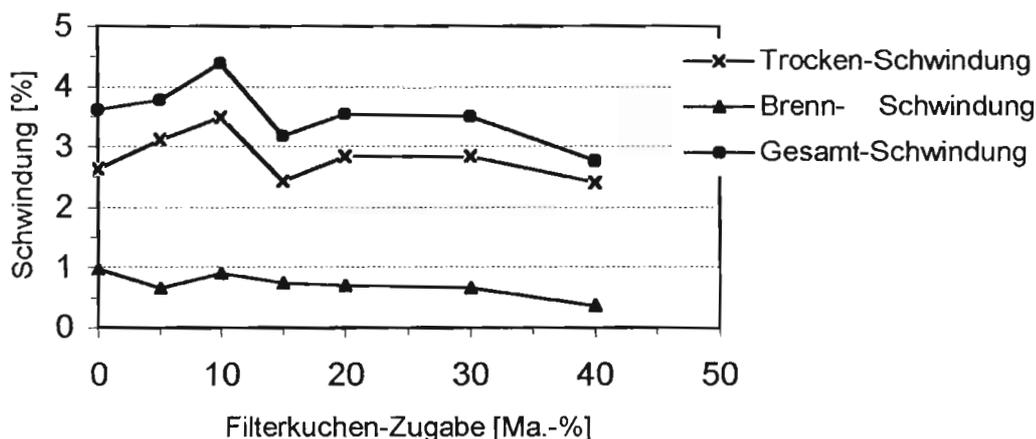
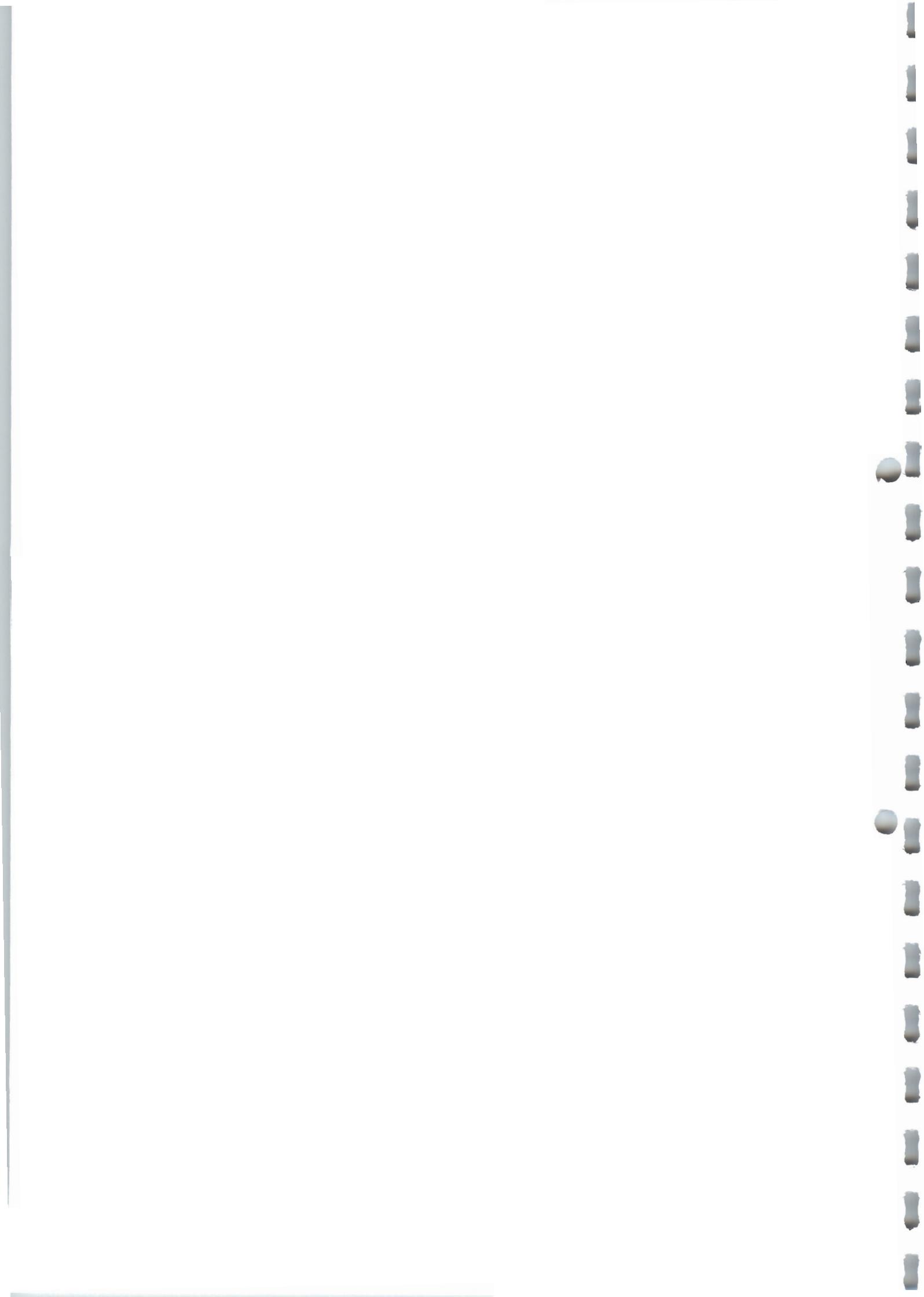


Abb. 19:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-MVA als Zuschlagstoff



Bei Verwendung von AZT-Perlit als Zuschlagstoff erfolgt eine stetige Verringerung der Gesamt-Schwindung bei steigenden Zugaben zum Rohton (Tab. 15). Während die Null-Probe ohne Zusatzstoff-Zugabe eine Gesamt-Schwindung von 3.62 % aufweist, führt ein Anteil von 40 Ma.-% AZT-Perlit zu einer drastisch verminderten Gesamt-Schwindung von 2.01 %.

Tab. 15:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-Perlit als Zuschlagstoff

Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0, 0-Probe	2.64	0.98	3.62
5	2.24	1.35	3.59
10	2.24	1.10	3.34
15	2.12	0.94	3.06
20	1.84	0.90	2.74
30	1.44	0.89	2.33
40	1.16	0.85	2.01

Es handelt sich dabei um die niedrigste, im Rahmen dieser Untersuchung erzielte Gesamt-Schwindung. Aus einem Vergleich der zugehörigen Trocken- bzw. Brenn-Schwindung geht hervor, daß die Minderung der Gesamt-Schwindung zum überwiegenden Anteil auf die verminderte Trocken-Schwindung zurückgeführt werden kann. Im Falle der Brenn-Schwindung zeigen sich bei einer Massen-Zugabe von 5 Ma.-% bzw. 10 Ma.-% gegenüber der Null-Probe, leicht erhöhte Werte. Wird der Zuschlagstoff-Anteil darüberhinaus erhöht, sinken die Brenn-Schwindungen leicht unter den entsprechenden Wert der Null-Probe ab. In Abb. 20 sind die Ergebnisse aus Tab. 15 in graphischer Form dargestellt.



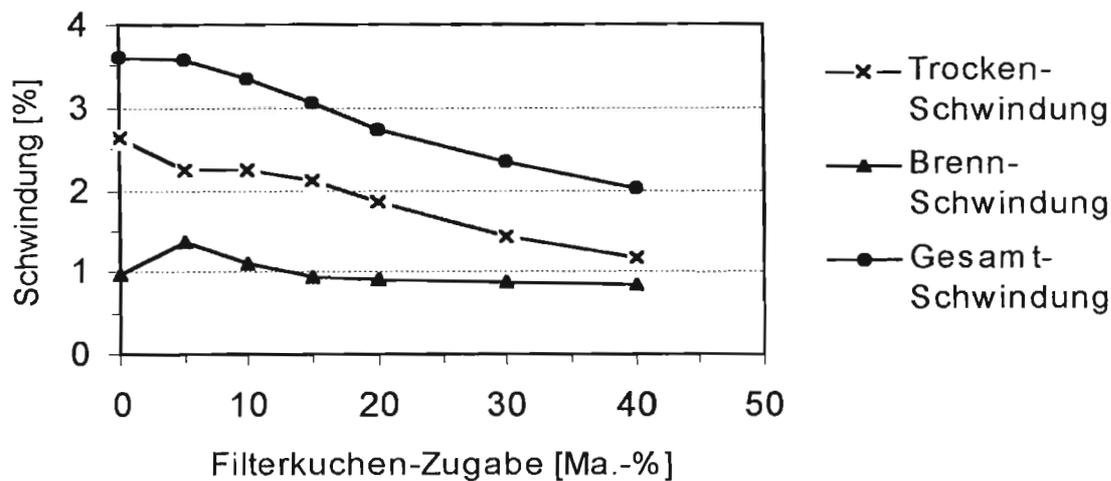


Abb. 20:

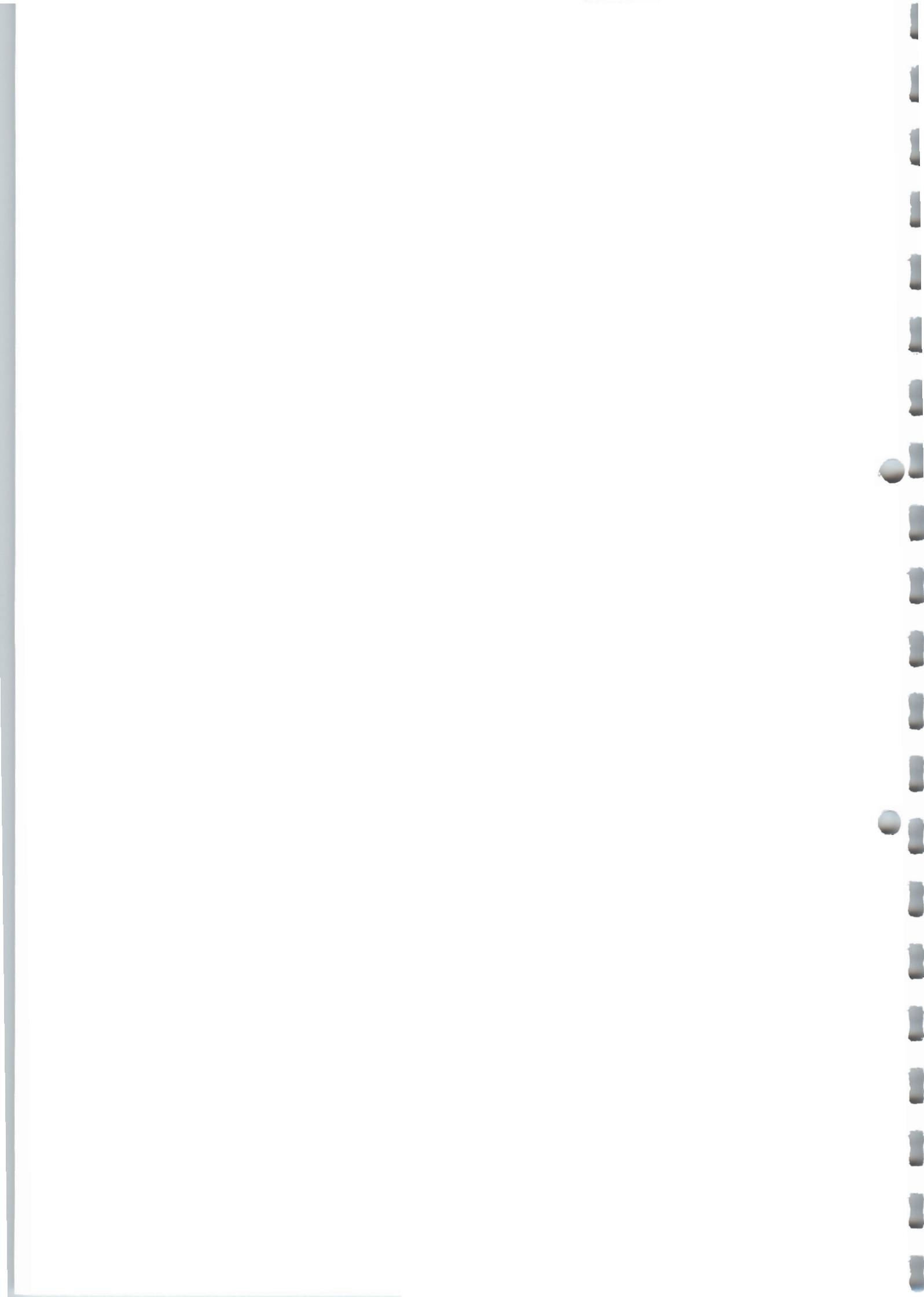
Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens AZT-Perlit als Zuschlagstoff

Tab. 16 zeigt die Ergebnisse der Untersuchungen mit steigenden Massen-Gehalten des Zuschlagstoffes Elbberg-Perlit zum Rohton. Hier führen steigende Zuschlagstoff-Gehalte sogar zu einer Vergrößerung der Gesamt-Schwindung.

Tab. 16:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens Elbberg-Perlit als Zuschlagstoff

Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
0, 0-Probe	2.64	0.98	3.62
5	2.40	1.35	3.75
10	2.32	1.64	3.96
15	2.16	1.47	3.63
20	1.88	1.22	3.10
30	2.00	1.43	3.43
40	2.00	1.63	3.63



Während der Zusatz von 5 Ma.-% bzw. 10 Ma.-% Elbberg-Perlit die Gesamt-Schwindung auf 3.75 % bzw. 3.96 % vergrößert, führt ein Anteil von 15 Ma.-% des Zuschlages zu einer Gesamt-Schwindung von 3.63 %, was dem entsprechenden Wert der Null-Probe entspricht. Bei Verwendung von 20 Ma.-% des Zuschlagstoffes erniedrigt sich die Gesamt-Schwindung auf 3.10 % und steigt wieder auf 3.43 % bzw. 3.63 % an, wenn Zuschlagstoffanteile von 30 Ma.-% bzw. 40 Ma.-% eingesetzt werden. Vergleicht man die entsprechenden Ergebnisse der Trocken- mit der Brenn-Schwindung, so wird deutlich, daß die Trocken-Schwindung bei steigender Zuschlagstoff-Zugabe ständig abnimmt, die Brenn-Schwindung aber gegenüber der Null-Probe erhöht wird. Abb. 21 gibt die Ergebnisse in graphischer Form wieder.

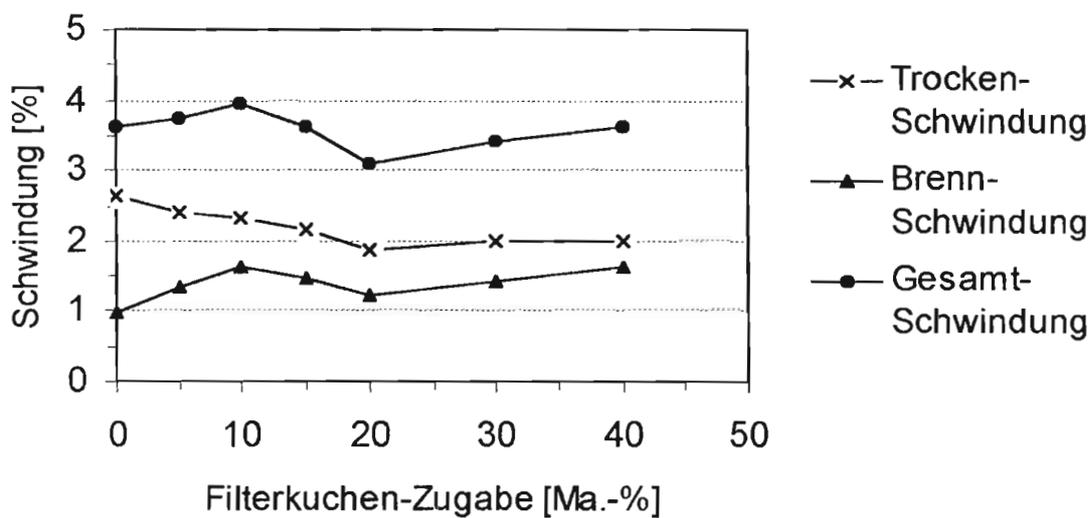
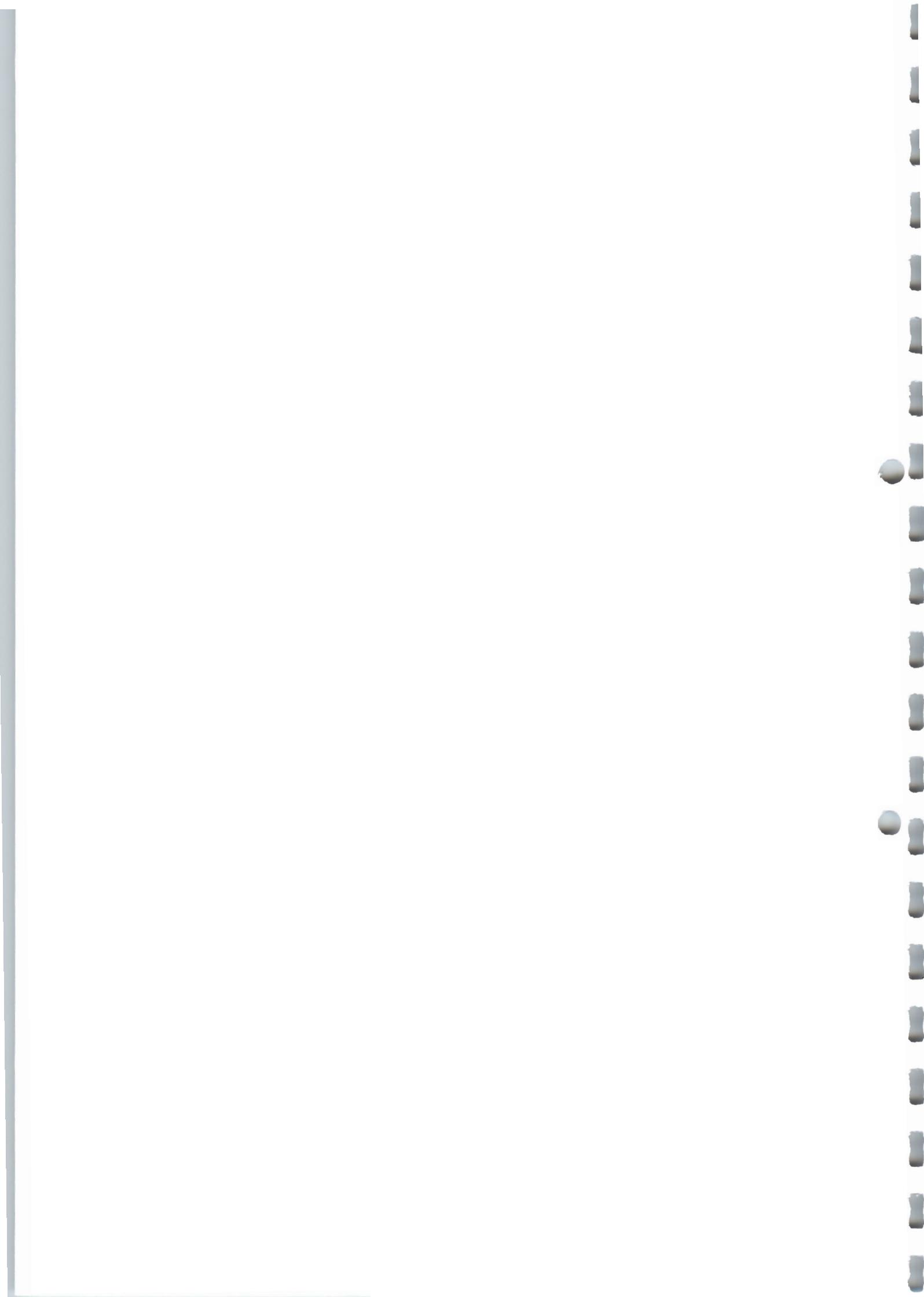


Abb. 21:

Mittelwerte der Trocken-, Brenn- sowie Gesamt-Schwindung von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen des Filterkuchens Elbberg-Perlit als Zuschlagstoff

4.7.2 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf Ziegel-Rohdichte, Scherben-Rohdichte und Druckfestigkeit

In Tab. 17 sind die berechneten Mittelwerte der Ziegel-Roh- und Scherben-Rohdichten sowie der Druckfestigkeiten aufgeführt. Die zugehörigen Einzelwerte sind im Tabellen-Anhang aufgelistet (Anhang 3.6 bis 3.23).



4.7.2.1 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Ziegel-Rohdichte

Abb. 22 zeigt den Einfluß steigender Filterkuchen-Zugaben auf die Ziegel-Rohdichte in graphischer Form. In der Darstellung wurden die in Tab. 17 aufgeführten Werte auf die zweite Nachkommastelle gerundet. Aus der Abbildung geht hervor, dass steigende Zugaben der Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims sowie AZT-MVA die Ziegel-Rohdichte der Nullprobe praktisch nicht verändern. Während die Ziegel-Rohdichte der Nullprobe 0,77 kg/dm³ beträgt, führen steigende Zugaben der Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bims sowie AZT-Perlit und Elbberg-Perlit zu einer geringfügigen Absenkung der Ziegel-Rohdichten. Im Falle der Filterkuchen-Sorten AZT-Perlit und Elbberg-Perlit wurde bei einer Filterkuchen-Zugabe von 40 [Ma.-%] die stärkste Absenkung der Ziegel-Rohdichten auf 0,73 [kg/dm³] bzw. 0,71 [kg/dm³] erreicht.

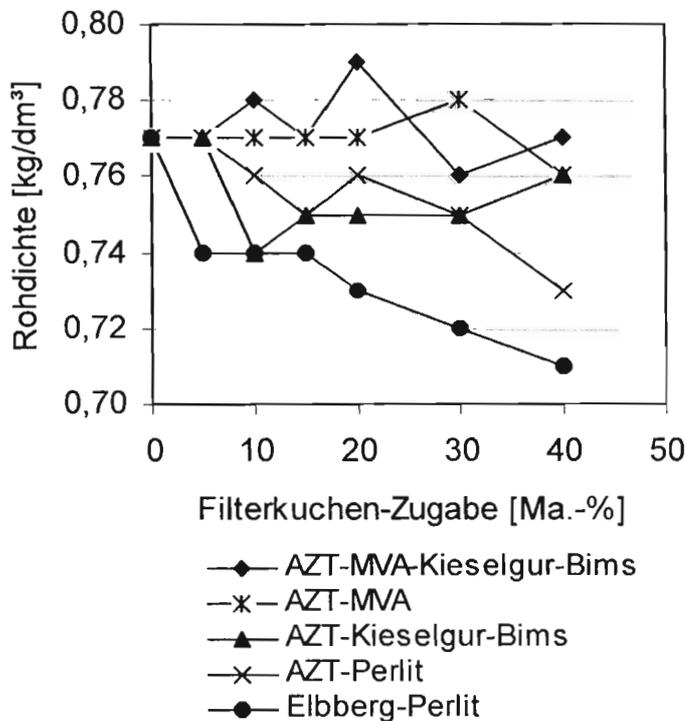
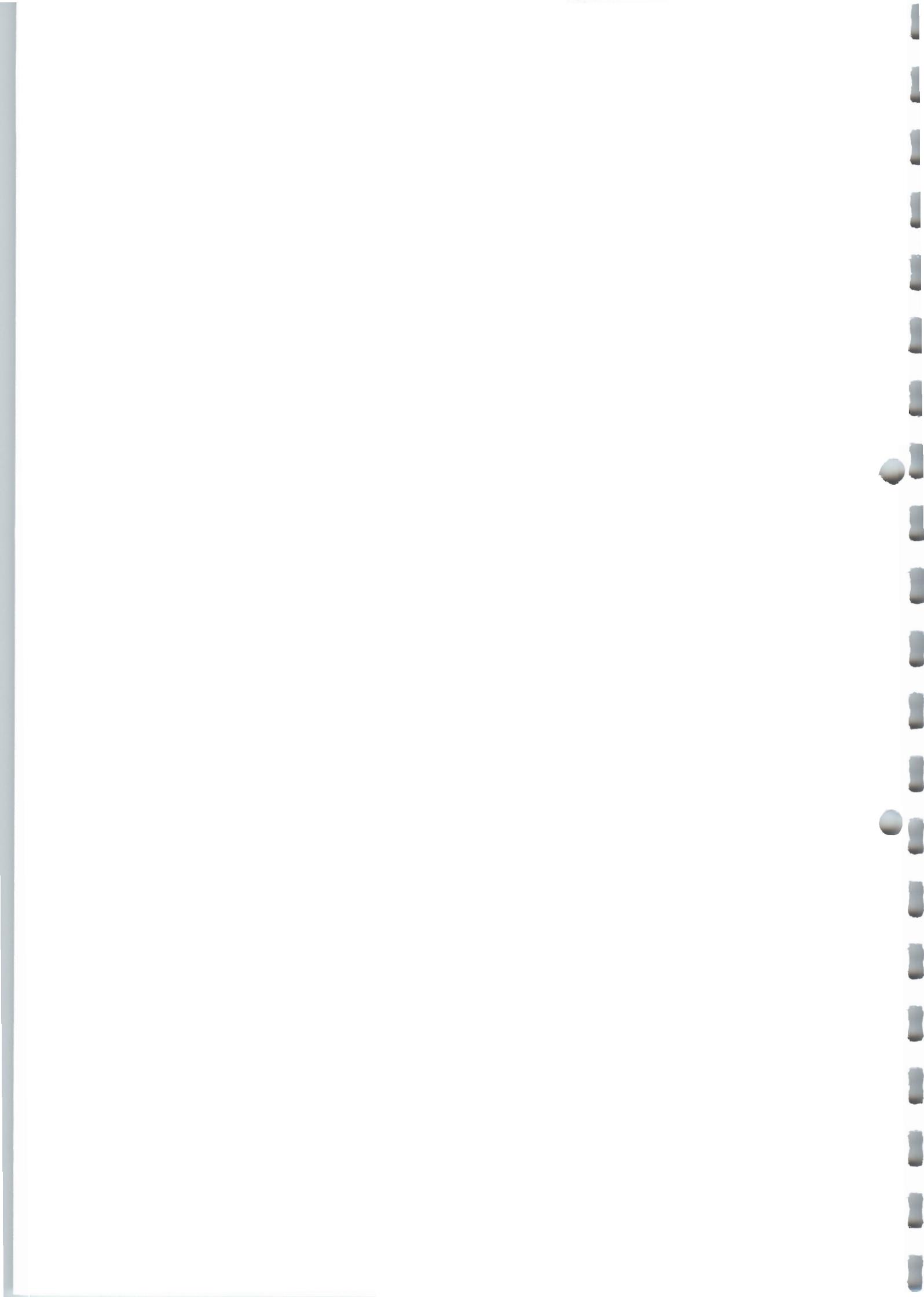


Abb. 22:

Entwicklung der Ziegel-Rohdichte in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben



4.7.2.2 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Scherben-Rohdichte

Der Einfluß steigender Filterkuchen-Zugaben auf die Scherben-Rohdichte ist in Abb. 23 dargestellt. Auch in diesem Fall wurden die entsprechenden Zahlenwerte aus Tab. 17 auf die zweite Nachkommastelle gerundet. Während die Null-Probe ohne Zuschlagstoff-Zugabe eine Scherben-Rohdichte von 1.44 [kg/dm³] aufweist, führen Filterkuchen-Zugaben jeder Sorte zu einer Abnahme der Scherben-Rohdichte. Die geringste Scherben-Rohdichte mit 1.34 [kg/dm³] bzw. 1.32 [kg/dm³] wurde bei der Zugabe von 40 Ma.-% Elbberg-Perlit- bzw. AZT-Perlit-Filterkuchen festgestellt. Damit wurden die Ergebnisse aus den Untersuchungen der Ziegel-Rohdichte zum überwiegenden Teil bestätigt.

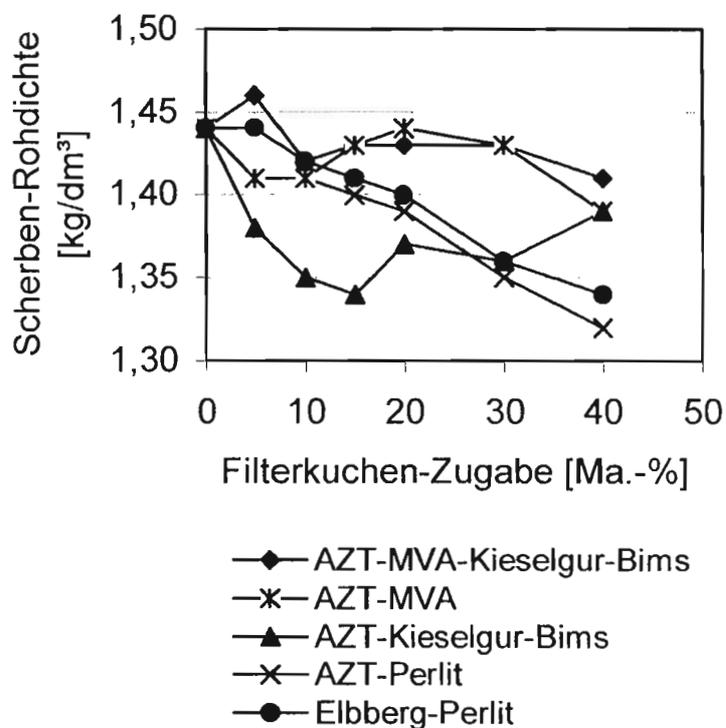
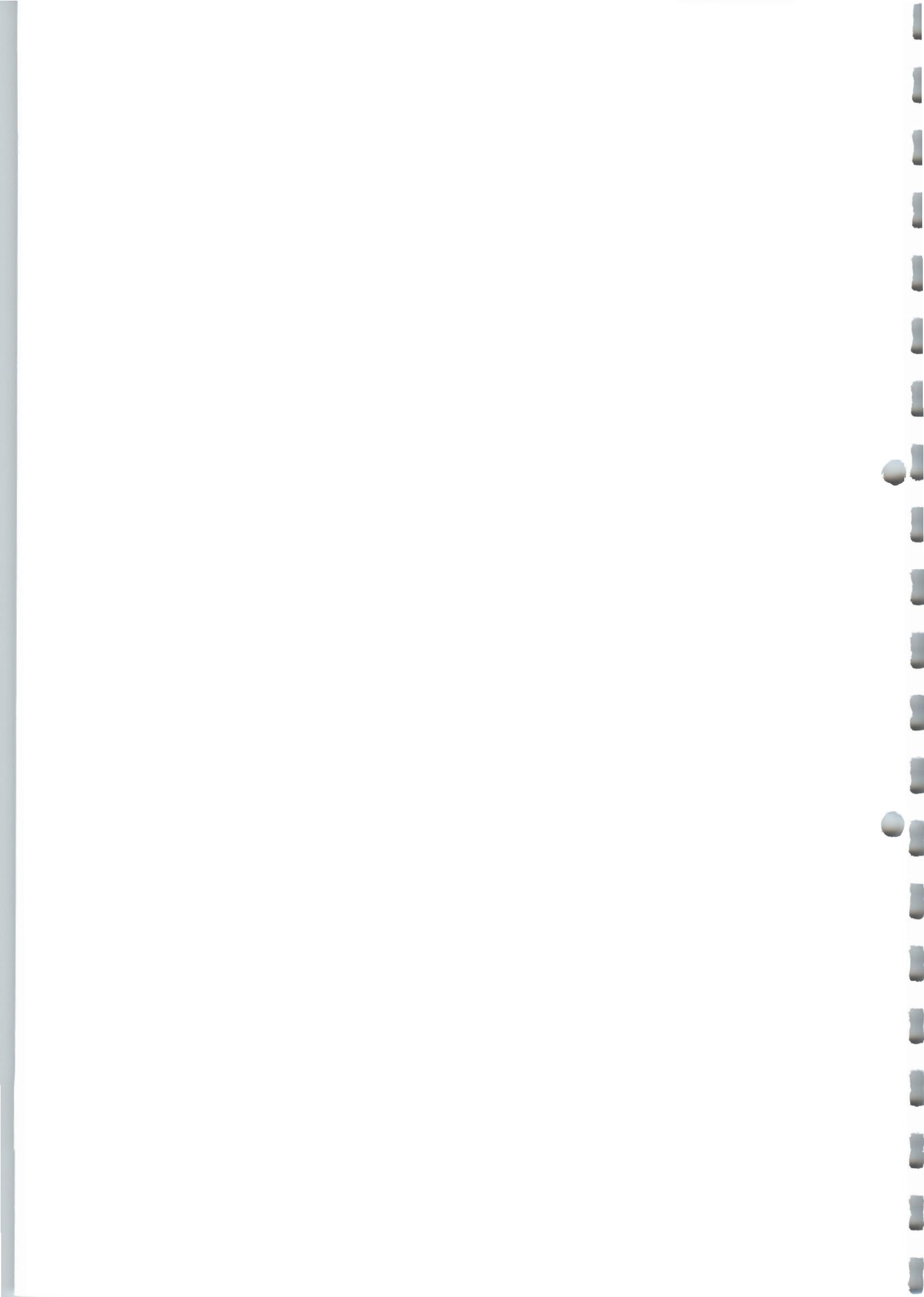


Abb. 23:

Entwicklung der Scherben-Rohdichte in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben



4.7.2.3 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Ziegel-Druckfestigkeit

Werden die in Tab. 17 aufgeführten Werte der Ziegel-Druckfestigkeiten in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben aufgetragen, erhält man die in Abb. 24 aufgeführte Ergebnis-Darstellung. Daraus geht hervor, daß die Zugabe jeder der untersuchten Filterkuchen-Zugaben zu einer Minderung der Ziegel-Druckfestigkeiten führt.

Während die Null-Probe eine Druckfestigkeit von 14.1 [N/mm²] aufweist, führen Zugaben von immerhin 40 Ma.-% AZT-Kieselgur-Bims- bzw. AZT-Perlit-Filterkuchen zu einer relativ geringen Minderung der Druckfestigkeit auf 13.0 [N/mm²] bzw. 11.9 [N/mm²]. Bei der Zugabe von 40 Ma.-% der Filterkuchen-Sorten Elbberg-Perlit sowie AZT-MVA-Kieselgur-Bims wurden die Druckfestigkeiten daraus hergestellter Labor-Ziegel stärker gemindert, auf 10.7 [N/mm²] bzw. 10.1 [N/mm²]. Bei der Zugabe von 40 Ma.-% AZT-MVA-Filterkuchen zum Rohton, wurde die Ziegel-Druckfestigkeit am stärksten herabgesetzt auf lediglich 6.4 [N/mm²]. Dies entspricht einer Druckfestigkeits-Minderung von fast 55 % des Ausgangswertes.

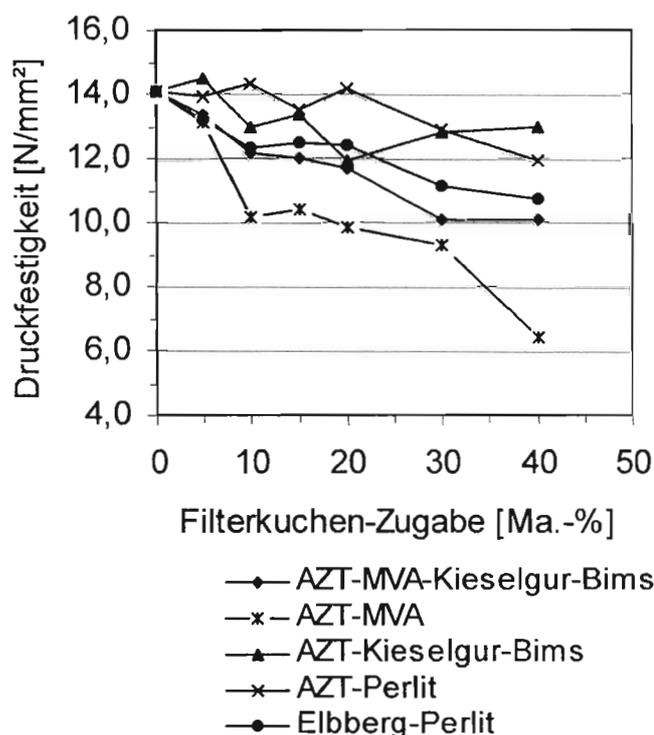
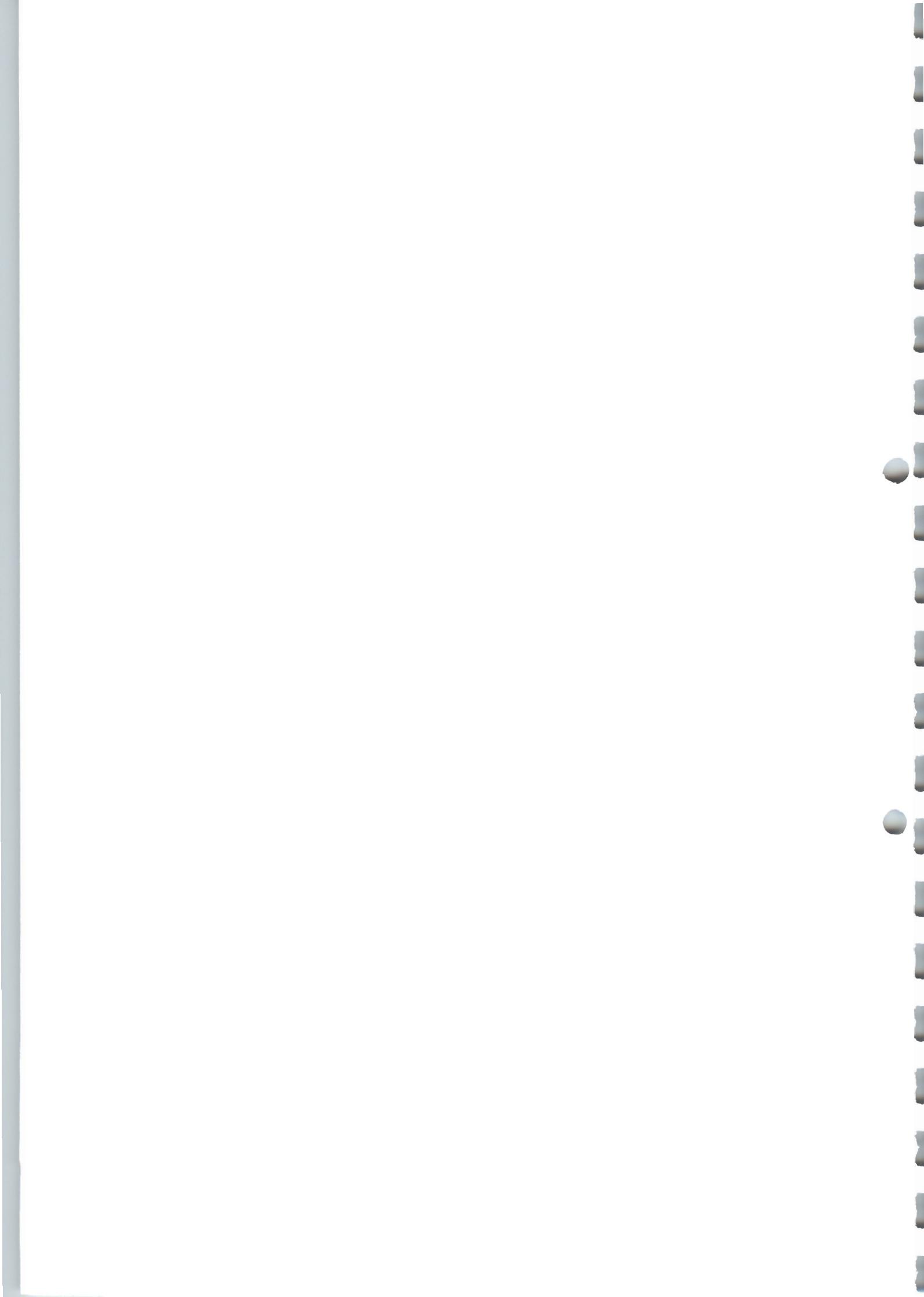


Abb. 24:

Entwicklung der Ziegel-Druckfestigkeiten in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben



4.7.3 Einfluß der Filterkuchen-Zugabe auf die Scherben-Wärmeleitfähigkeit λ

In Tab. 18 sind die experimentell ermittelten Scherben-Wärmeleitfähigkeiten λ in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben aufgeführt. Die Wärmeleitfähigkeit der nur aus dem Rohton hergestellten keramischen Vollplatte (Null-Probe) betrug $\lambda = 0.39$ [W/mK]. Die Zugabe von 5 bis 30 Ma.-% der Filterkuchen-Sorte AZT-MVA-Kieselgur-Bims führte gegenüber der Null-Probe zu einem Anstieg der Wärmeleitfähigkeit von 0.386 [W/mK] auf maximal 0.422 [W/mK]. Erst die Zugabe von 40 [Ma.-%] des genannten Filterkuchens führte zu einer gegenüber der Null-Probe abgesenkten Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0.353$ [W/mK].

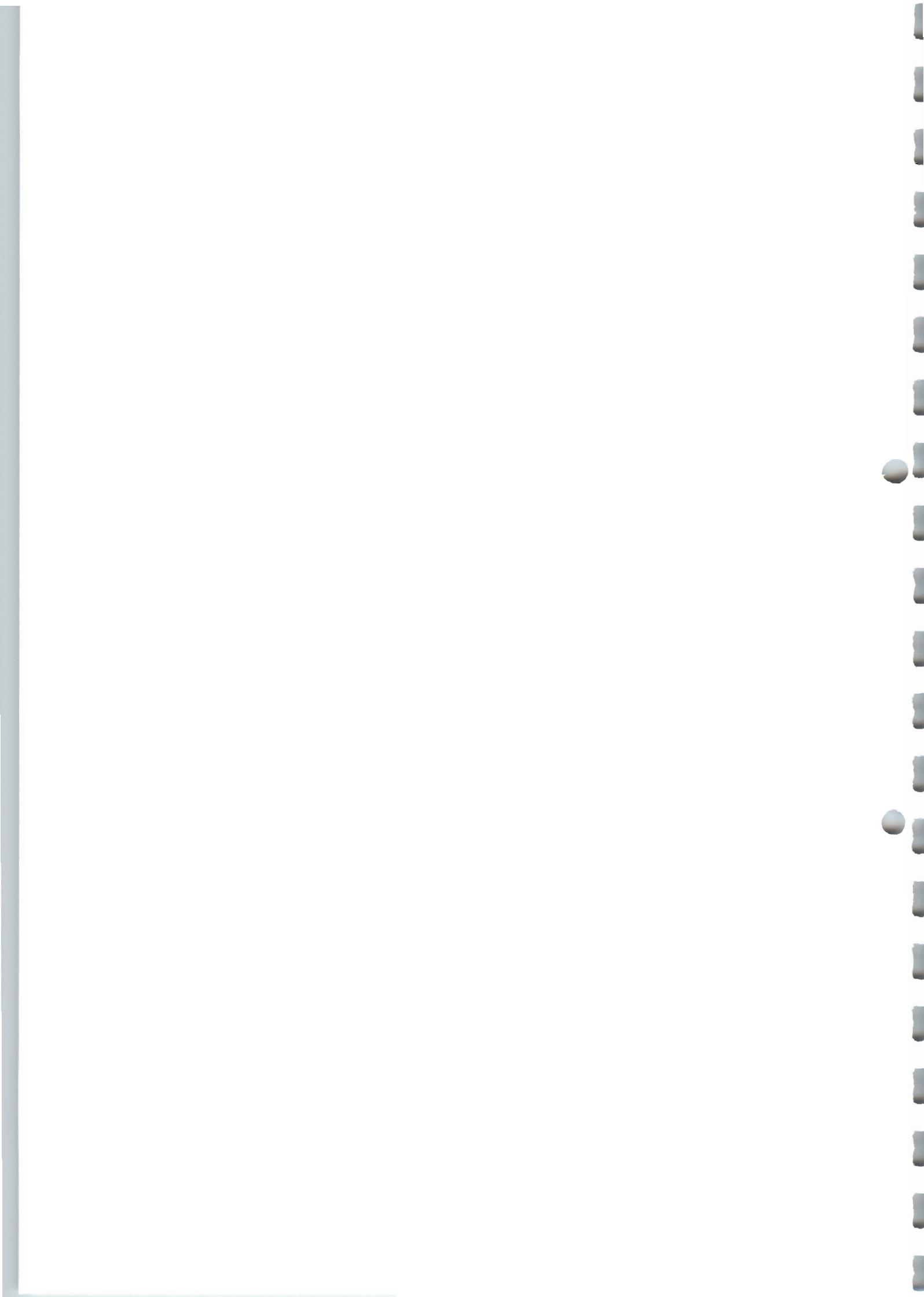
Tab. 18:

Experimentell bestimmte Scherben-Wärmeleitfähigkeiten λ (Abb. 16) keramischer Vollplatten in Abhängigkeit steigender Zuschlagstoff-Massenanteile

Massenanteil Zuschlagstoff [Ma.-%]	Scherben-Wärmeleitfähigkeit λ [W/mK]				
	AZT- MVA-Kieselgur-Bims- Bentonit- Mischg.	AZT- MVA- Bentonit-Mischg.	AZT- Kieselgur-Bims- Bentonit-Mischg.	AZT- Perlit- Bentonit-Mischg.	Elbberg- Perlit- Bentonit-Mischg.
0, 0-Probe	0,386	0,386	0,386	0,386	0,386
5	0,418	0,382	0,387	0,388	0,370
10	0,414	0,404	0,384	0,391	0,366
15	0,422	0,397	0,390	0,384	0,353
20	0,415	0,388	0,379	0,381	0,375
30	0,401	0,380	0,380	0,359	0,354
40	0,353	0,357	0,374	0,363	0,342

Auch im Falle des Zuschlagstoffes AZT-MVA führte die Zugabe von 10 bis 15 [Ma.-%] des Filterkuchens zunächst zu einer Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit von 0.386 [W/mK] auf 0.404 [W/mK]. Erst die Zugabe von 30 bis 40 [Ma.-%] des Filterkuchens AZT-MVA führte zu einer Absenkung der Wärmeleitfähigkeit auf $\lambda = 0.380$ [W/mK] bzw. $\lambda = 0.357$ [W/mK].

Die Zugaben der Filterkuchen-Sorten AZT-Kieselgur-Bims, AZT-Perlit sowie Elbberg-Perlit führten in allen Fällen zu einer Minderung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0.386$ [W/mK] auf $\lambda = 0.374$ [W/mK] bzw. $\lambda = 0.363$ [W/mK] oder $\lambda = 0.342$ [W/mK] bei einer Dosierung von jeweils 40 Ma.-%. Abb. 25 zeigt die Ergebnisse aus Tab. 8 in graphischer Form.



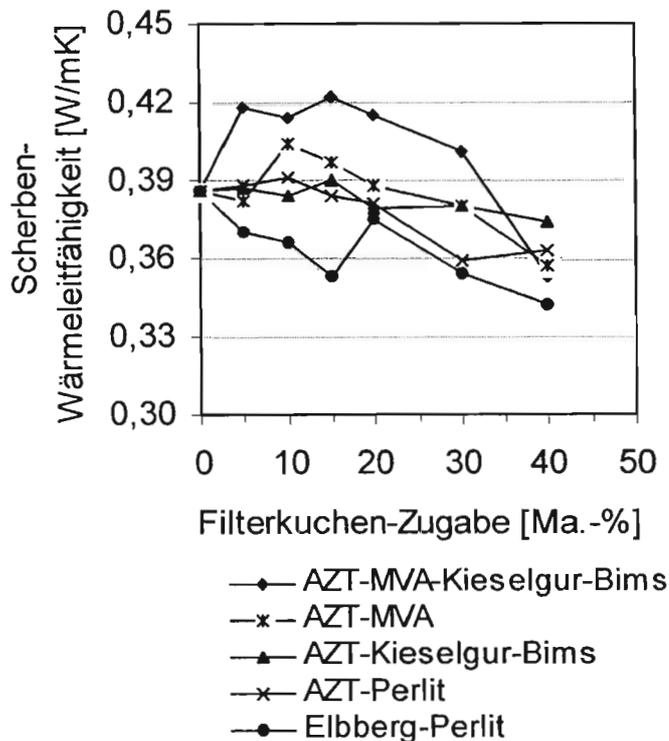
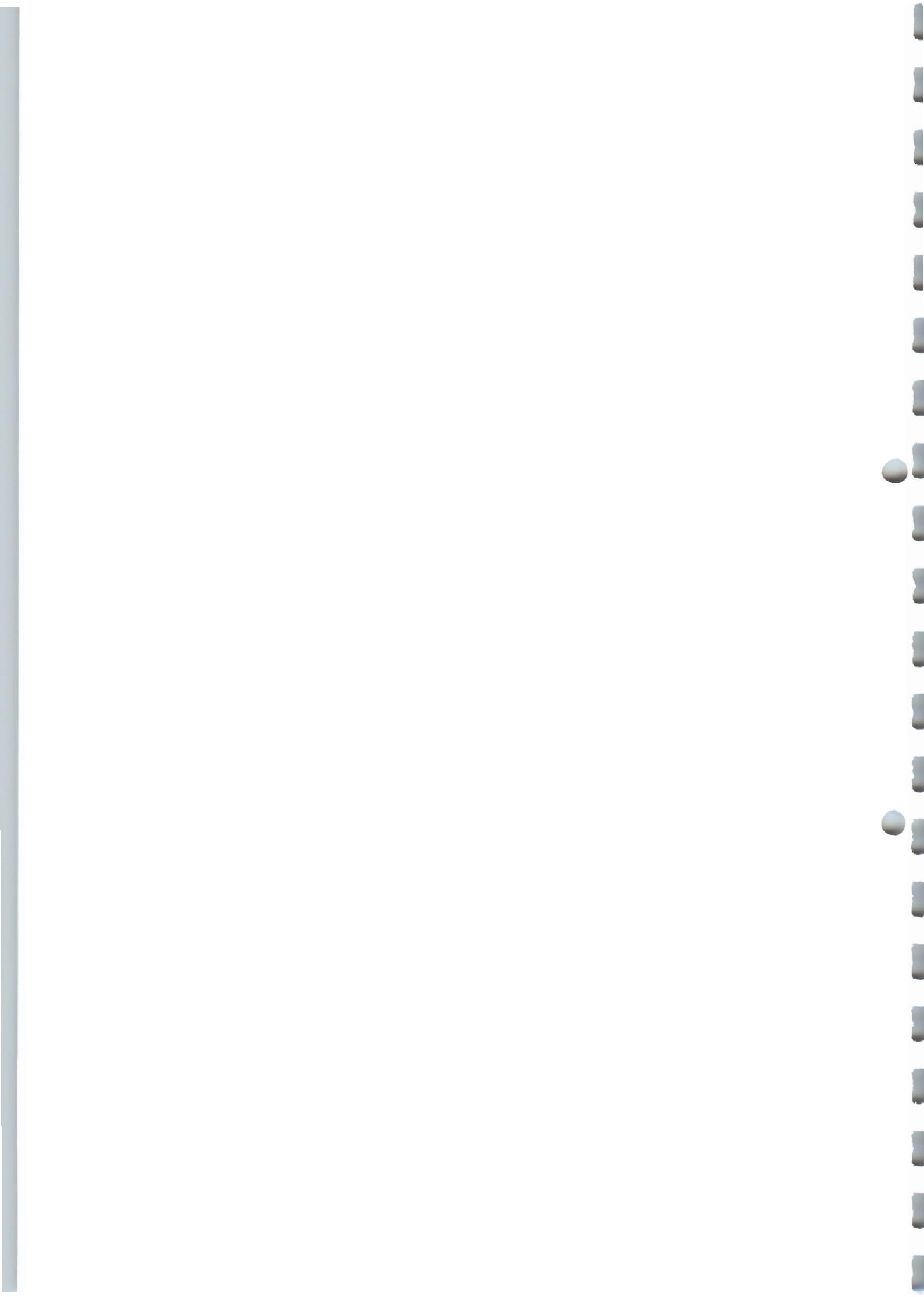


Abb. 25:

Graphische Darstellung der Scherven-Wärmeleitfähigkeiten λ in Abhängigkeit steigender Filterkuchen-Zugaben

4.8 Diskussion der keramischen Ergebnisse

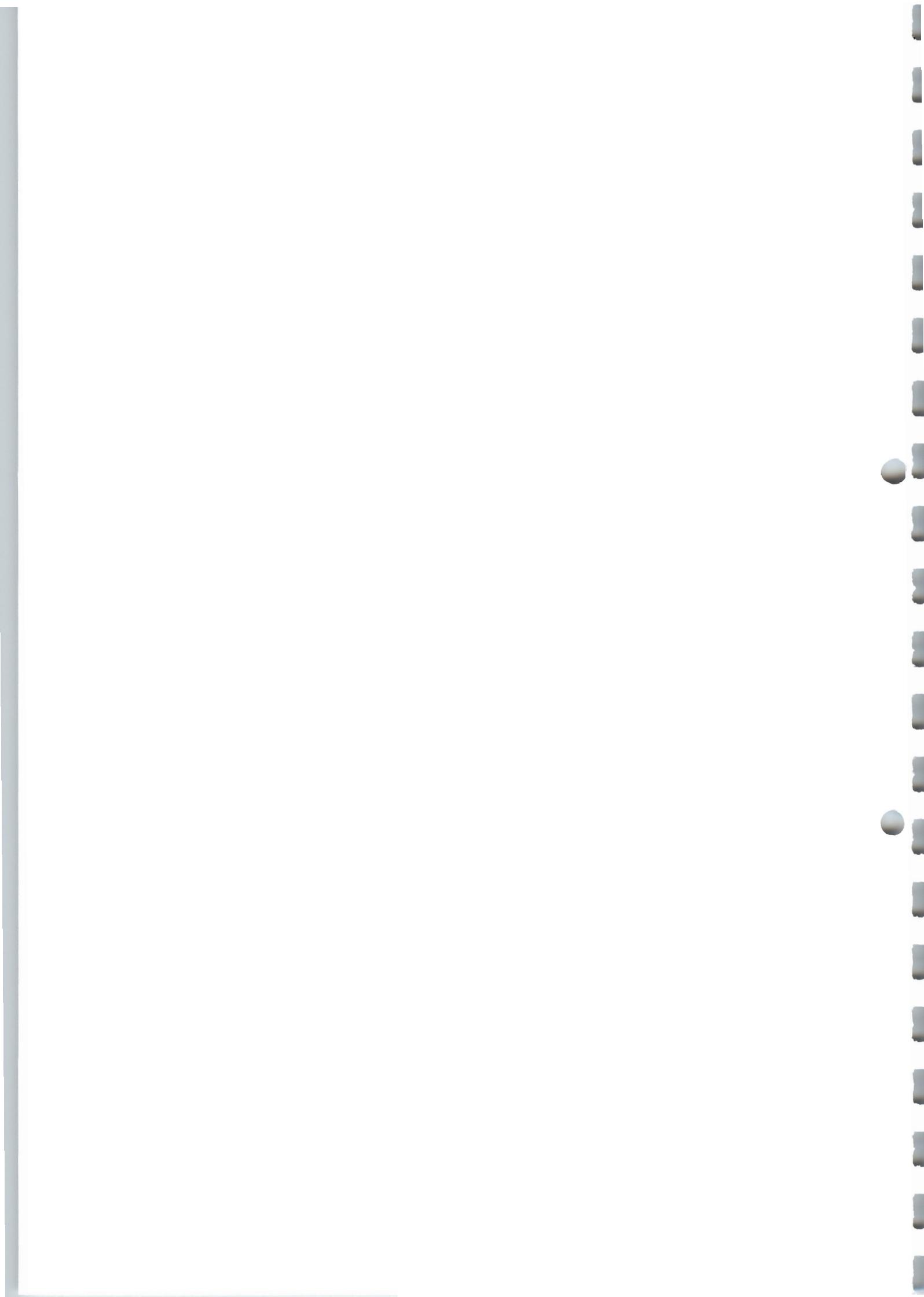
Aus der durchgeführten Untersuchung geht hervor, daß die Zugabe steigender Filterkuchen-Massenanteile die Gesamt-Schwindung daraus hergestellter Labor-Ziegel im großen und ganzen herabsetzt. Auf die Bewertung einzelner Messwert-Ausreißer wird hier verzichtet. Eine Herabsetzung der Gesamt-Schwindung ist aus der Sicht der Ziegelindustrie zunächst als Verbesserungsmaßnahme einzustufen, da durch eine verminderte Trocken- bzw. Brenn-Schwindung eine allgemeine Verringerung der Rissbildungs-Neigung beim Trocknen und Brennen der Ziegel abgeleitet werden kann. Als einzige Ausnahme verhält sich der Filterkuchen Elbberg-Perlit. Hier liegt die Gesamt-Schwindung, auch bei einer Zugabe von 40 Ma.-% des Zuschlagstoffes, praktisch exakt auf dem Wert der Zuschlagstoff-freien Null-Probe. Auch aus der Untersuchung der Proben, die mit Elbberg-Perlit-Filterkuchen-Zugaben hergestellt wurden, wird die Gesamt-Schwindung der Ziegel nicht bzw. nur unwesentlich vermindert.



Der Einfluß der verschiedenen Filterkuchen-Zugaben wirkte sich unterschiedlich auf die Rohdichten daraus hergestellter Labor-Ziegel aus. Während die Zugabe zwischen 5 Ma.-% bis 20 Ma.-% des Filterkuchens AZT-MVA-Kieselgur-Bims eine geringfügige Erhöhung der Ziegel-Rohdichte bewirkt, führt die Zugabe von 30 Ma.-% zu einer leichten Absenkung der Rohdichte unter den Wert der Null-Probe. Bei einer weiteren Zugabe auf 40 Ma.-% wird praktisch dieselbe Rohdichte wie bei der Null-Probe ermittelt. Auch die Zugabe des Filterkuchens AZT-MVA hat keine gravierende Verminderung der Ziegel-Rohdichten zur Folge. Bei Zugabe der Filterkuchen-Sorten AZT-Kieselgur-Bims, AZT-Perlit sowie Elbberg-Perlit führen steigende Zugaben zu einer Minderung der Ziegel-Rohdichten. Allgemein kann angenommen werden, daß sich Ziegel mit geminderter Rohdichte, gleichzeitig durch eine verminderte Scherben-Wärmeleitfähigkeit auszeichnen. Die Absenkung der Ziegel-Rohdichte ist daher im Sinne einer wärmetechnischen Ziegel-Optimierung als positiv einzustufen. Ein Anstieg der Ziegel-Rohdichte kann dagegen allgemein als erster Hinweis auf eine Verschlechterung der wärmetechnischen Eigenschaften gegenüber der Null-Probe gewertet werden. Aus der durchgeführten Untersuchung geht hervor, daß bei Zugabe von 40 Ma.-% jeder Filterkuchen-Sorte die Ziegel-Rohdichten gegenüber der Null-Probe mehr oder weniger stark abgesenkt werden. Als einzige Ausnahme ist der Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims anzusehen, der bei einer Zugabe von 40 Ma.-% dieselbe Ziegel-Rohdichte bewirkt, die bei der Zuschlagstoff-freien Null-Probe ermittelt wurde.

Die Zugabe der verschiedenen Filterkuchen-Sorten führt praktisch in jedem Falle zu einer Minderung der Scherben-Rohdichte. Allgemein kann angenommen werden, daß eine Minderung der Scherben-Rohdichte mit einer Minderung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit verknüpft ist. Die Minderung der Scherben-Rohdichten in der angegebenen Größenordnung ist daher aus wärmetechnischer Sicht als sehr interessant einzustufen. Den größten Einfluß auf die Minderung der Scherben-Rohdichte üben die Filterkuchen AZT-Perlit und Elbberg-Perlit aus.

Die Zugaben steigender Mengen eines Abmagerungsstoffes zu einem Rohton führt in den meisten Fällen zu einer Abnahme der Druckfestigkeit daraus hergestellter Ziegel gegenüber der Null-Probe. Dieser Effekt wird auch in der hier durchgeführten Untersuchung deutlich. Bei Zugabe von 40 Ma.-% der Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bims bzw. AZT-Perlit sinkt die Druckfestigkeit um 7.8 % bzw. 15.6 % des Ausgangswertes. Bei Verwendung derselben Massenanteile Elbberg-Perlit und AZT-MVA-Kieselgur-Bims vermindert sich die Druckfestigkeit um 24.1 % bzw. 28.4 %. Der Einsatz von 40 Ma.-% der Filterkuchen-Sorte AZT-MVA mindert die Ziegel-Druckfestigkeit um fast 55 % gegenüber der Null-Probe.



Die Auswirkungen der Filterkuchen-Zugaben auf die Minderung der Ziegel-Druckfestigkeiten müssen bei industriellem Einsatz der Sekundärrohstoffe in der Ziegelproduktion berücksichtigt werden. Gegebenenfalls sollte ein reduzierter Massenanteil des entsprechenden Filterkuchens dosiert werden.

Die Zugabe der verschiedenen Filterkuchen-Sorten zum Rohton hat auch Auswirkungen auf die Scherben-Wärmeleitfähigkeiten λ daraus hergestellter Labor-Proben. Aus wärmetechnischer Sicht ist eine Minderung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit λ gegenüber dem entsprechenden Wert der Null-Probe notwendig.

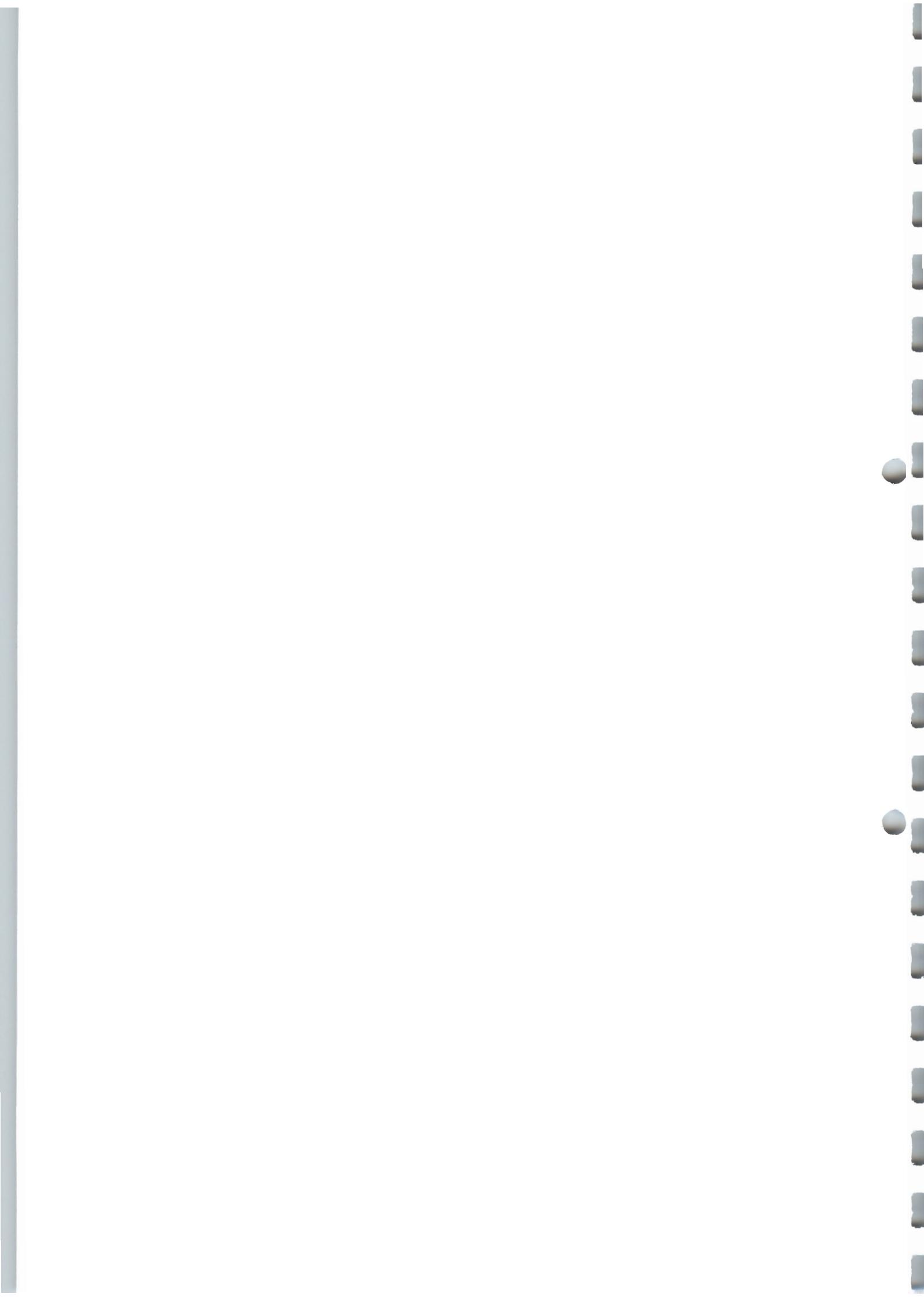
Leider führt die Zugabe von 5 Ma.-% bis 30 Ma.-% des Filterkuchens AZT-MVA-Kieselgur-Bims zu einem geringfügigen Anstieg der Wärmeleitzahl von 0.386 W/mK auf immerhin 0.422 W/mK. Bei einer weiteren Steigerung des Zuschlagstoff-Massenanteils vermindert sich der λ -Wert wieder. Die Dosierung von 40 Ma.-% des genannten Filterkuchens führt dann doch zu einer gegenüber der Null-Probe verminderten Wärmeleitzahl. Die Zugabe des Filterkuchens AZT-MVA führt bei einer Zugabe zwischen 10 Ma.-% und 15 Ma.-% ebenfalls zu einem Anstieg des λ -Wertes auf 0.404 W/mK. Eine Steigerung des Zuschlagstoff-Anteils führt dann wieder zu einer λ -Minderung. Bei Zugabe von 40 Ma.-% des Filterkuchens wird auch hier ein gegenüber der Null-Probe verminderte λ -Wert festgestellt.

Die Zugabe steigender Massenanteile der Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bims, AZT-Perlit sowie Elbberg-Perlit führte, abgesehen von einigen Ausreißern, zu Labor-Ziegeln mit gegenüber der Null-Proben verbesserten wärmetechnischen Eigenschaften. Alle fünf getesteten Filterkuchen-Sorten verbesserten die wärmetechnischen Eigenschaften der Labor-Ziegel bei einer Dosierung von jeweils 40 Ma.-%.

4.9 Zusammenfassung der keramischen Ergebnisse

Im Rahmen der hier durchgeführten Forschungsarbeiten wurde ein herkömmlicher Ziegelton mit jeweils steigenden Massenanteilen zuschlagstoffhaltiger Filterkuchen versetzt. Nach dem Aufbereiten der tonigen Massen und der Einstellung eines Wassergehaltes von je 23 % wurden insgesamt 1364 Stück Formlinge mittels dem Labor-Vakuumentruder hergestellt. Nach dem Trocknen und Brennen der Formlinge standen insgesamt 1240 Stück Labor-Ziegel für die keramische Untersuchung sowie 124 Stück Vollplatten (Wärmeleitplatten) für die Bestimmung der Scherben-Wärmeleitfähigkeit zur Verfügung.

Mit den so hergestellten Probe-Ziegeln wurden die nachfolgend aufgeführten Untersuchungen durchgeführt:



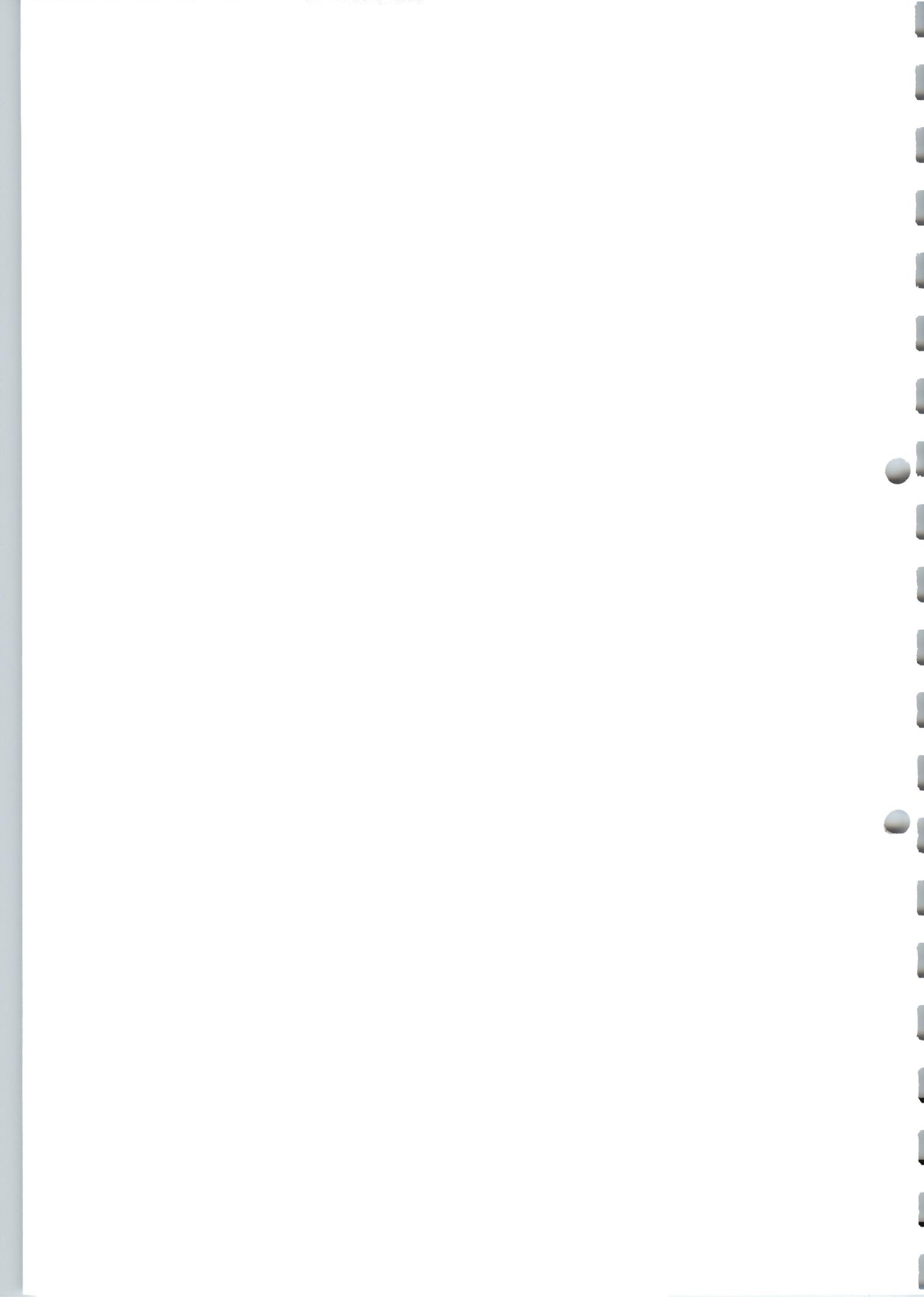
- Trockenschwindung
- Brennschwindung
- Rohdichte
- Scherbenrohndichte
- Druckfestigkeit
- Scherben-Wärmeleitfähigkeit

Aus den jeweiligen Einzelwerten erfolgte die Berechnung der Mittelwerte. Vergleicht man die fünf Filterkuchen miteinander, so fällt auf, daß die Labor-Ziegel die mit einem Anteil Müllverbrennungsgasche (MVA) hergestellt wurden, bei praktisch allen Tests die schlechtesten Ergebnisse zeigten. Es handelte sich dabei um die Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims sowie AZT-MVA. Sowohl bei der Untersuchung der Rohdichte, als auch der Scherbenrohndichte zeigte die Zugabe der genannten Filterkuchen keinen bzw. den geringsten Einfluß auf die Minderung dieser Parameter. Dieses Ergebnis wird durch einen Vergleich der Scherben-Wärmeleitfähigkeiten bestätigt. Steigende Zugaben der MVA-haltigen Filterkuchen führen sogar zu einem Anstieg der Wärmeleitzahlen. Dieser Effekt ist aus wärmetechnischer Sicht unerwünscht. Erst Zugaben der MVA-haltigen Filterkuchen in der Größenordnung von 30 Ma.-% bzw. 40 Ma.-% wirken sich im Sinne einer wärmetechnischen Materialoptimierung aus. Betrachtet man die Ergebnisse der Druckprüfungen, so stellt man fest, daß gerade die beiden MVA-haltigen Filterkuchen die Ziegel-Druckfestigkeit am stärksten mindern.

Bei einem Vergleich aller keramischen Parameter sind für eine wärmetechnische Ziegeloptimierung die drei MVA-freien Filterkuchensorten AZT-Kieselgur-Bims, AZT-Perlit sowie Elbberg-Perlit besser geeignet.

Eine Verwertung der MVA-haltigen Filterkuchen in der Ziegelindustrie kann aber möglicherweise trotzdem durchgeführt werden. Aus dem Ergebnisvergleich der Schwindungsuntersuchungen geht hervor, daß die Gesamt-Schwindung bei Zugabe der MVA-haltigen Filterkuchen erniedrigt wird. Damit wirken diese Zuschlagstoffe als Abmagerungsmittel. Der Einsatz von Abmagerungsmitteln, mit dem Ziel, die Gesamtschwindung einer grobkeramischen Masse zu mindern, ist in der Ziegelindustrie eine vielfach eingesetzte Methode. In diesem Fall sollte jedoch der zugesetzte Massenanteil eher niedrig angesetzt werden, um eine zu starke Minderung der Ziegel-Druckfestigkeiten zu verhindern.

Aus der Untersuchung geht insgesamt hervor, daß alle fünf verwendeten Filterkuchen für die Ziegelherstellung eingesetzt werden könnten.



5. Verwertungskonzept und Diskussion

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Filtrationsversuchen, den chemisch-physikalischen und keramischen Untersuchungen konnte das dem F&E-Vorhaben zugrunde liegende Verwertungskonzept kritisch hinterfragt und mit potentiell interessierten Firmen diskutiert werden.

Gespräche erfolgten u.a. mit Firmen aus der Entsorgungsbranche (Fa. Mineral plus, Karlsruhe), dem Spezialtiefbau (Bilfinger & Berger Bau AG, Mannheim; Wayss & Freytag AG, Frankfurt) und der Ziegelbranche (über FH Nürnberg).

Die Ergebnisse der verschiedenen Diskussionen bzw. das Verwertungskonzept werden nachfolgend dargestellt und zwar anhand der umsetzungsrelevanten Aspekte:

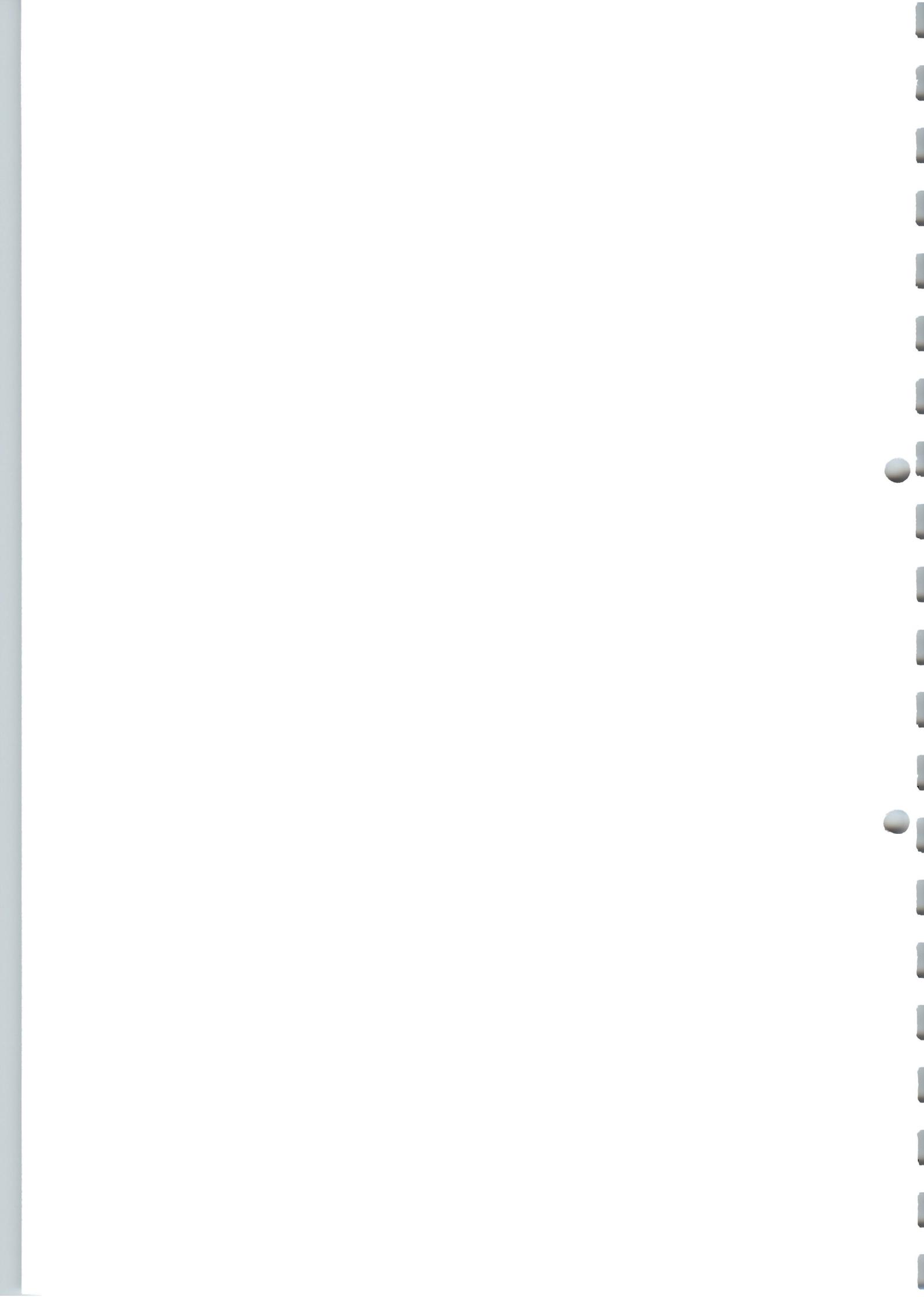
- Anlagen und technischer Ablauf
- Herkunft und Qualität der Filterhilfen
- Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Marktsituation
 - a. Wirtschaftlichkeit und Standortkonzepte
 - b. Wirtschaftlichkeitsvergleich: Filtration mit Filterhilfen – Filtration mit Flockungsmitteln
- Genehmigungsrecht

Anlagen und technischer Ablauf

Die Anlagentechnik besteht aus einem Aufgabesystem für die Filterhilfen, einer Mischeinheit sowie einer Kammerfilterpresse (Details in Abb.26).

Das Aufgabesystem orientiert sich an den verwendeten Filterhilfen. Die in einem oder mehreren Silos bevorrateten, staubförmigen (blasbaren) Materialien sollten über Schnecken in die Mischeinheit gelangen. Bagger oder Radlader überführen die Filterkuchen und Schüttgüter über Doseure in den Mischbehälter. Für die Schüttgüter sollte ein Siebschritt vorgeschaltet sein.

Art und Dimensionierung der Mischeinheit und Kammerfilterpresse können großteils von der üblichen Entwässerungstechnik von Bentonitsuspensionen übernommen werden.



Als Mischeinheit ist ein ausreichend großer Vorlagebehälter mit Rührwerk zu verstehen, in dem die Suspension stabil und homogen gehalten wird. Bei der herkömmlichen Entwässerung gelangt das Flockungsmittel dann meist direkt beim Beschicken der Filterpresse in die Suspension. Im Unterschied dazu muß das fertige Gemisch Suspension-Filterhilfe in die Filterpresse gepumpt werden. Eine homogene und stabile Mischung könnte eventuell auch über das Umwälzen der Suspension durch Pumpen im Vorlagebehälter erreicht werden.

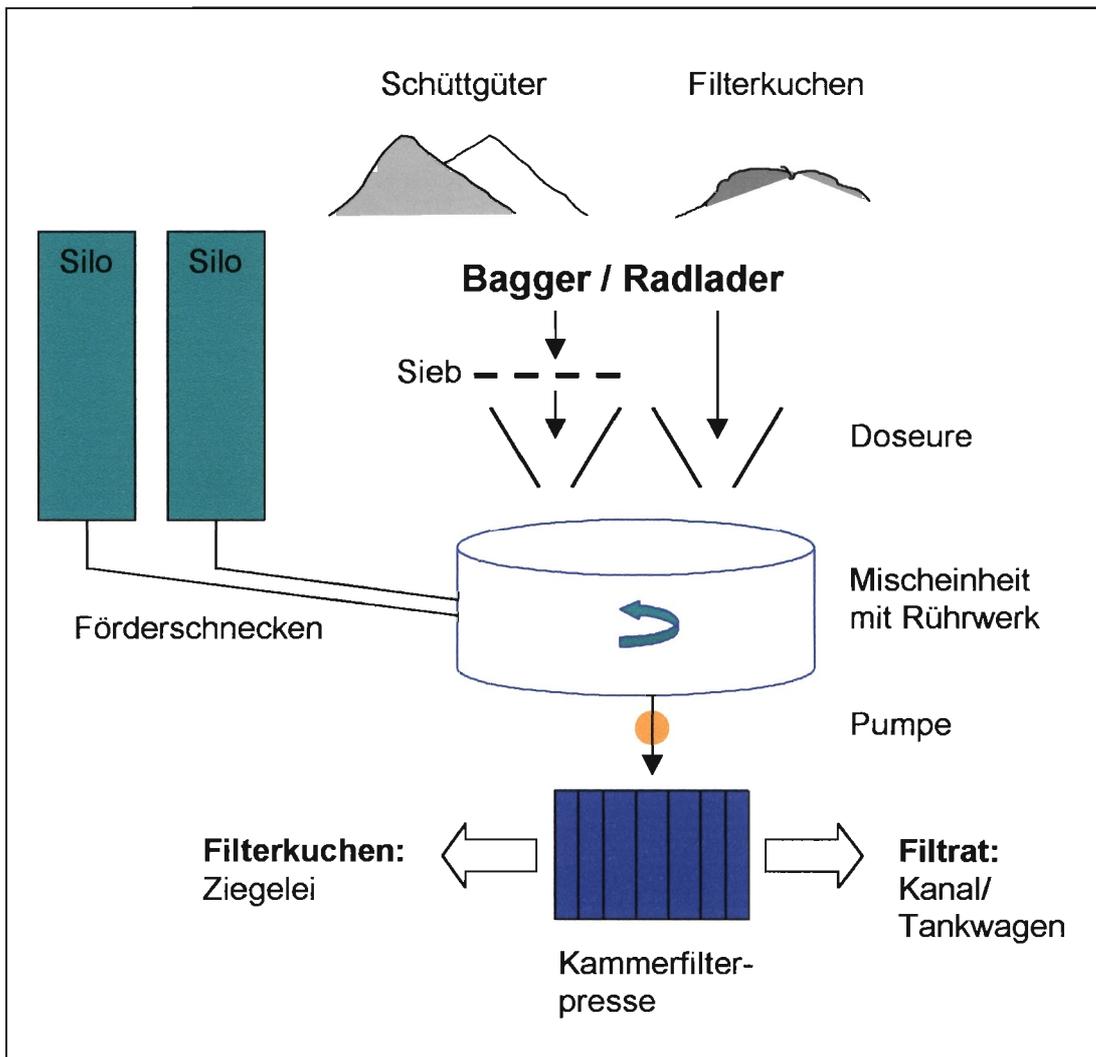
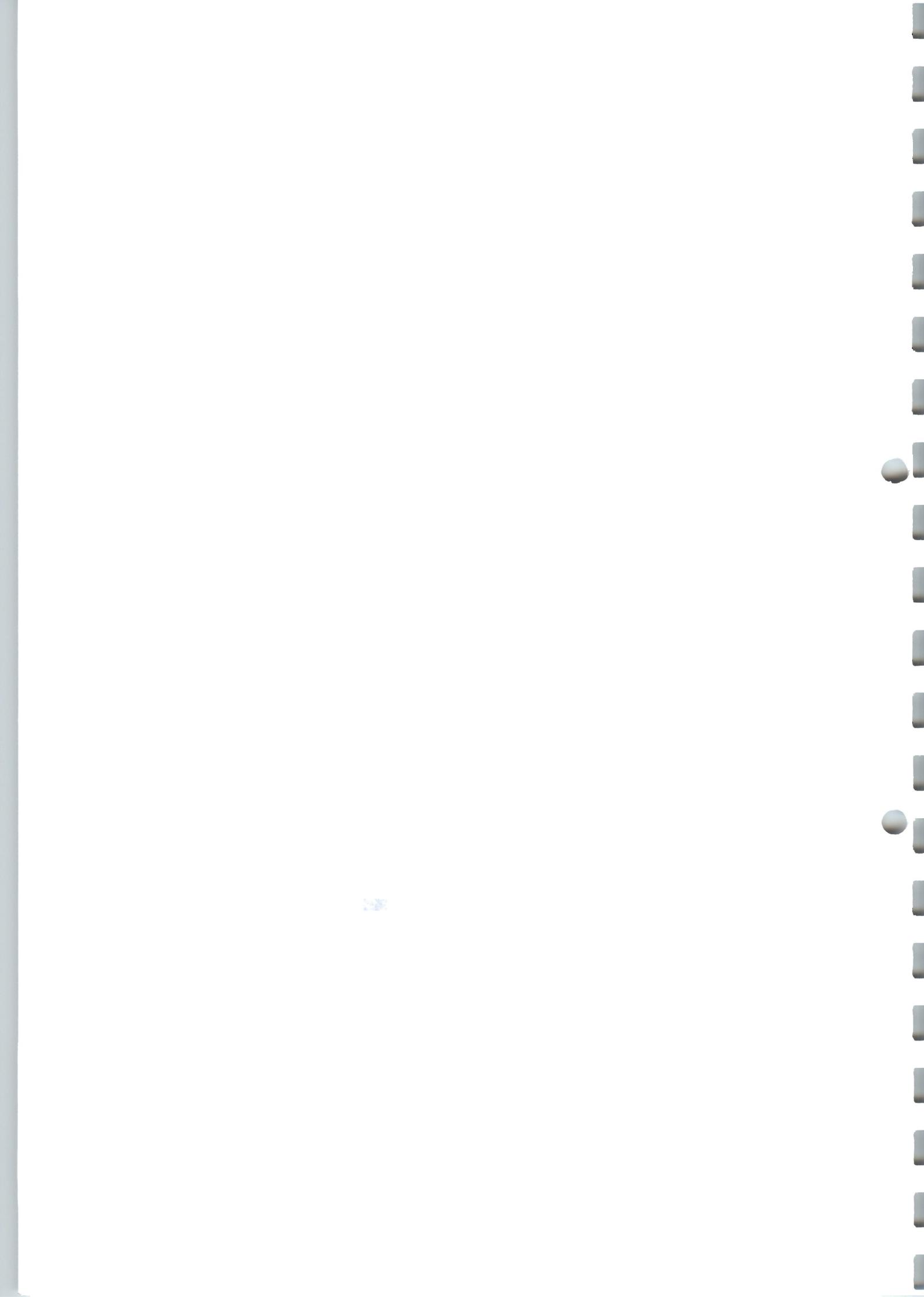


Abb. 26: Schematische Darstellung des technischen Ablaufs

Abhängig von den räumlichen Gegebenheiten auf der Baustelle und dem zu filtrierenden Suspensionsvolumen können mehrere Filterpressen nötig sein. Der Durchsatz hängt in erster Linie von der Dimensionierung der Filterpressen ab. Allgemeine Aussagen bleiben



jedoch schwierig. Z.B. werden bei einem hohen Feststoffanteil der Suspension geringere Volumina pro Zeiteinheit filtriert als bei feststoffarmen Suspensionen.

Das Filtrat wird in aller Regel in die Kanalisation, bei entsprechender Qualität eventuell auch in Oberflächengewässer eingeleitet. Bei ungünstigen Standorten ist auch eine Abfuhr mittels Tankwagen einzukalkulieren.

Die Qualität der untersuchten Filtrate aus den Technikumsversuchen reicht nicht für die Verwendung als Anmachwasser für frische Suspensionen aufgrund der hohen Leitfähigkeiten, die meist deutlich über der Schwelle von 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ liegen. Auch die technisch erforderlichen, neutralen pH-Werte sowie niedrige Chlorid- und Sulfatgehalte sind nicht immer gegeben. Man vergleiche hierzu Kap.3. Die Nachreinigung des Filtrats incl. Qualitätsüberwachung ist wirtschaftlich kaum sinnvoll.

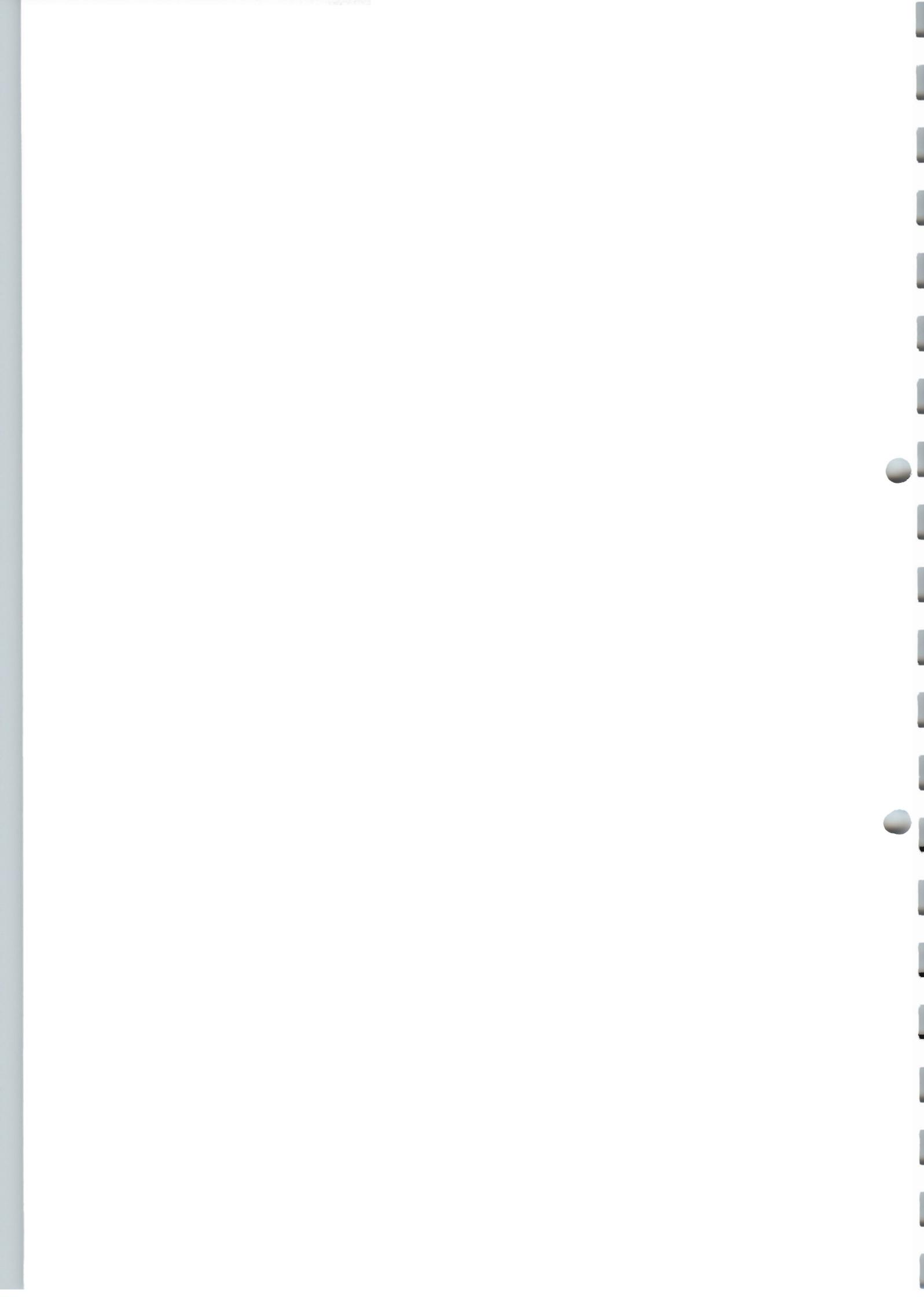
Herkunft und Qualität der Filterhilfen

Wie aus den Laborfiltrationen bekannt, sind eine Vielzahl unterschiedlicher Filterhilfen wirksam. Inwieweit staubförmige Materialien, Filterkuchen und Schüttgüter einzeln oder in Kombination eingesetzt werden, hängt in erster Linie von der jeweiligen Verfügbarkeit im Einzugsgebiet der Baustelle ab.

Da Filterkuchen und Schüttgüter im Freien, möglicherweise auf unbefestigten Flächen lagern müssen, dürfen etwaige Schadstoffbelastungen nur sehr gering sein.

Die blasbaren Stoffe können dagegen etwas höhere Belastungen aufweisen, solange sie im Filtrat keine Grenzwertüberschreitungen verursachen. In den Filterkuchen sollten unseres Erachtens die Werte LAGA-Z-2 nicht überschritten werden.

Die in den Laborfiltrationen eingesetzte Müllverbrennungsasche MVA wies insbesondere zu hohe Schwermetallgehalte auf. Es ist jedoch bekannt, dass die Schadstoffbelastungen von Müllverbrennungsaschen je nach Herkunft stark schwanken können. Daher sollten verfügbare Aschen in der Region der jeweiligen Baustelle auf eine entsprechende Eignung geprüft werden.



Die guten Filtrationseigenschaften der Müllverbrennungs- und Steinkohlenflugasche lassen den Schluß zu, dass vergleichbare Aschen, z.B. Klärschlammverbrennungs- und Wirbelschichtaschen allgemein, ebenfalls herangezogen werden können.

Mit Blick auf die keramtechnischen Ergebnisse lassen sich alle untersuchten Filterhilfen verwenden. Dort wo der wärmetechnische Effekt nur gering ist, kann der Stoff immer noch eine gewünschte Abmagerung bewirken. Allerdings verursachte die MVA relativ ungünstige Ziegel-Druckfestigkeiten und sollte daher, und natürlich auch wegen der Schadstoffsituation, nur in geringem Umfang als Filterhilfe eingesetzt werden.

Die Filterhilfen bringen mit Ausnahme einiger Verbrennungsaschen nur geringe Erlöse, d.h. Zuzahlungen durch den Abfallerzeuger (z.B. bei Kieselgurschlamm) oder sind mit regional unterschiedlichen, meist geringen Kosten verknüpft. Diese können daher nur über geringe Distanzen, max. ca. 100 km von der Baustelle, transportiert werden.

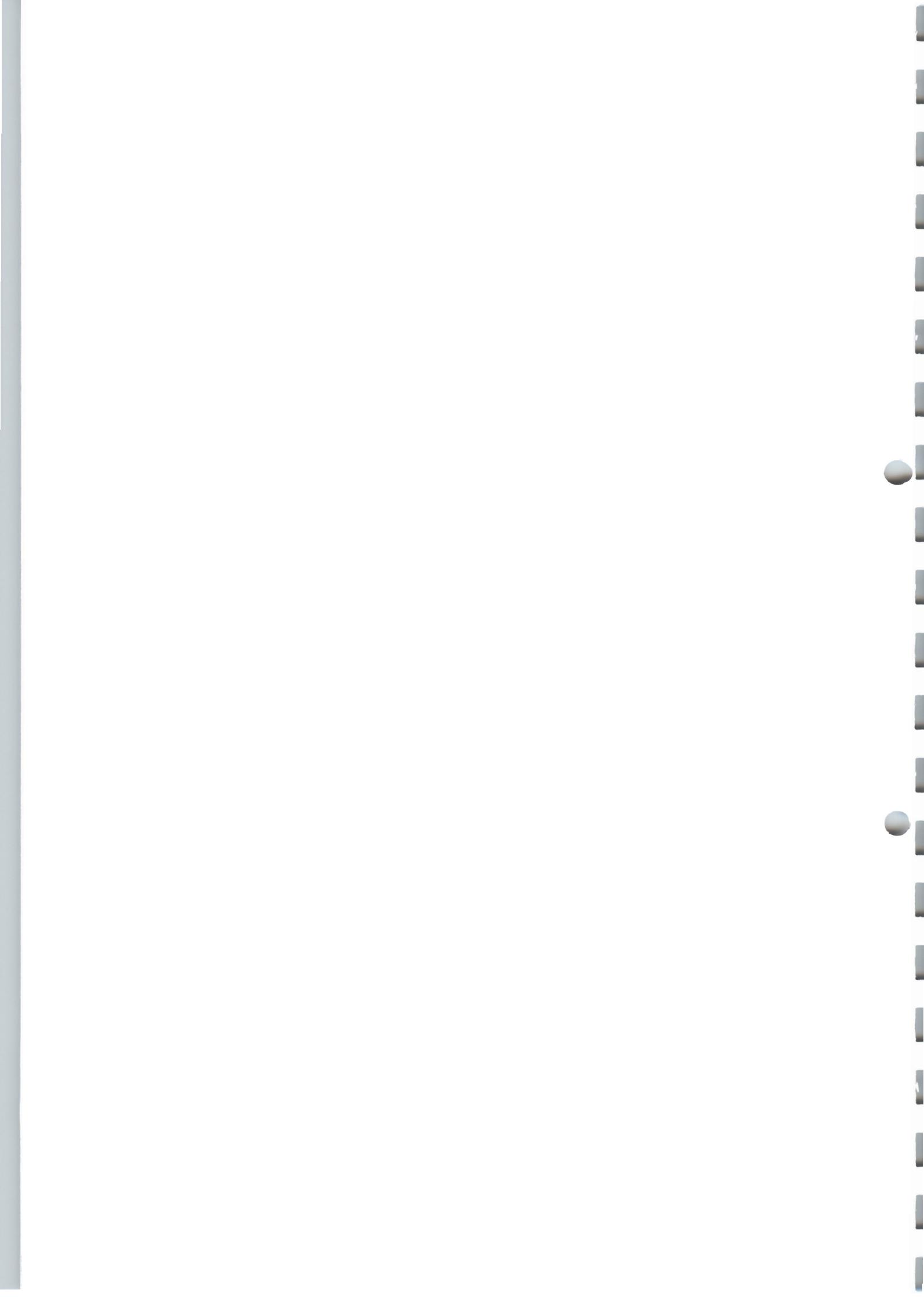
Von Baustelle zu Baustelle ist daher ein eigenes Filterhilfenkonzept auf Basis der bekannten und geeigneten Stoffe (Kap.2) zu empfehlen.

Wirtschaftlichkeit in Bezug auf die Marktsituation

Die Wirtschaftlichkeit/Marktfähigkeit der vorgestellten Filtration hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Marktpreise alternativer Entsorgungen
- Standortkonzept: Betrieb einer Filtrationsanlage extern oder on-site (mobile bzw. semi-mobile Anlage) und Mengenanfall Suspensionen
- Marktsituation Filtration: u.a. Kosten Flockungsmittel, Entsorgungspreise für Filterhilfen, Rohstoffpreise im Falle des Zukaufs von Filterhilfen, Kosten für die Einleitung von Abwasser in die Kanalisation

Im Folgenden sollen a. Standortkonzepte und b. die Filtration mit Filterhilfen im Vergleich zu Flockungsmitteln unter dem Gesichtspunkt der Wirtschaftlichkeit näher diskutiert werden.



a. Wirtschaftlichkeit und Standortkonzepte

Eine stationäre Anlage wird bei guter Auslastung wirtschaftlicher betrieben werden können, als eine mobile Anlage, die immer wieder neu eingerichtet werden muß. Auf der anderen Seite ist bei einer stationären Anlage eine ausreichende Auslastung über längere Zeiträume nicht immer gesichert. Insofern sollten hier Puffer in Form größerer Sammelbecken eingerichtet werden.

Vergleicht man den Mengenanfall gebrauchter Bentonitsuspensionen bei den wesentlichen Maßnahmen im Spezialtiefbau (*), ergibt sich folgendes Bild:

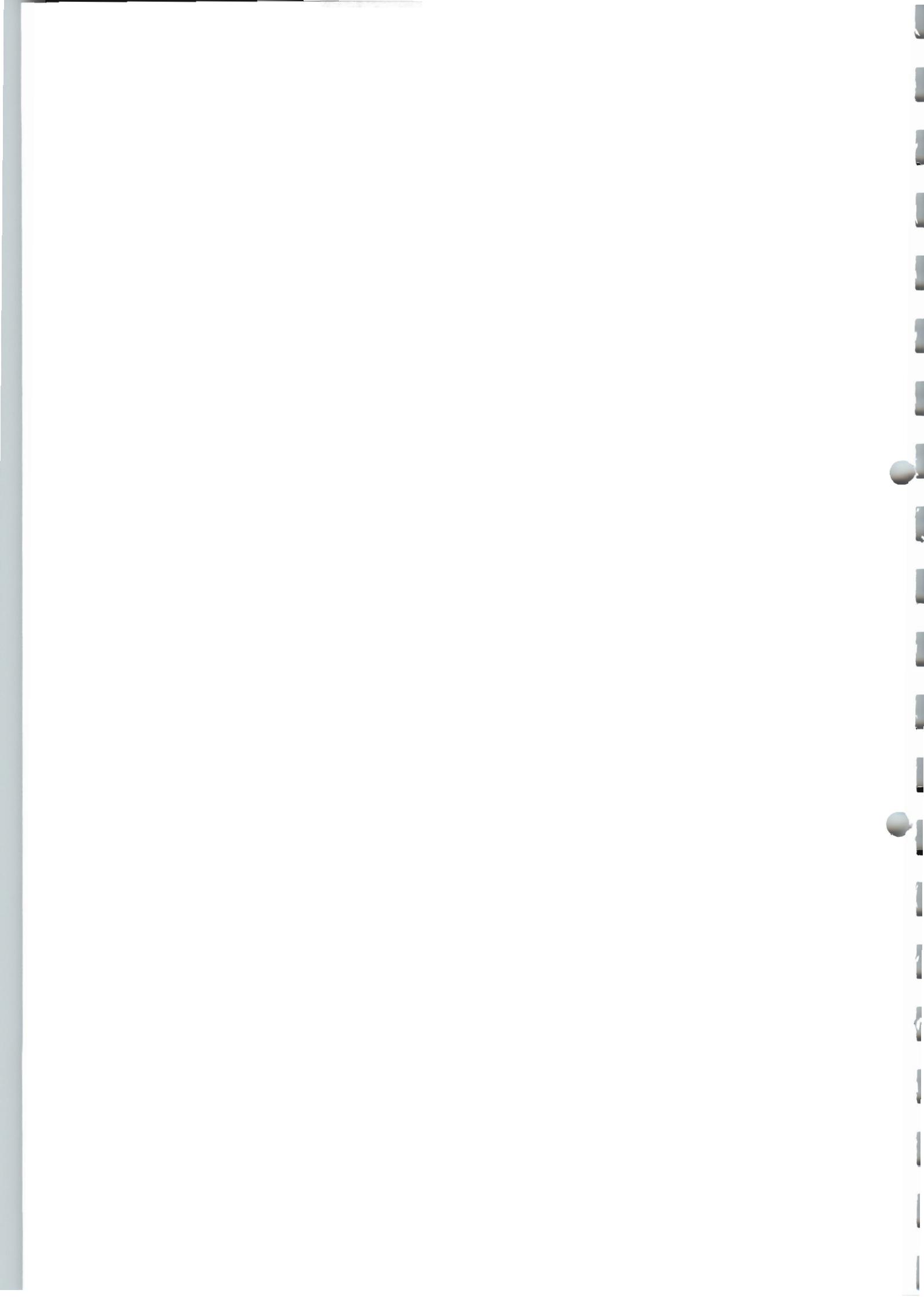
1. Tunnelbauprojekte in Lockergesteinen (z.B. im Schildvortriebsverfahren):
Bis zu ca. 20.000 cbm pro Monat über teilweise mehrere Jahre
2. Schlitzwandprojekte: durchschnittlich 400-500 cbm pro 6-8 Wochen,
Anfall diskontinuierlich
3. Bohrpfahlprojekte: durchschnittlich 100-300 cbm pro 5-7 Wochen,
Anfall diskontinuierlich

(*Da sich die Qualitäten gebrauchter Suspensionen aus Tiefbohrungen (Bohrspülungen) von denen aus dem Spezialtiefbau deutlich unterscheiden, wurden sie hier nicht weiter berücksichtigt. Ihre Aufbereitung müsste ergänzend untersucht werden.)

Schlitzwand- und Bohrpfahlprojekte produzieren relativ geringe Suspensionsmengen in kurzen Zeiträumen. Darüber hinaus befinden sich diese häufig in innerstädtischen Bereichen mit engen Platzverhältnissen. In der Praxis werden die Suspensionen in Mulden oder Saugwagen abgefahren. Aus diesen Gründen erscheint eine Filtration on-site kaum wirtschaftlich durchführbar. Für derartige Projekte wäre demnach eine externe Sammelstelle mit einer stationären Filtrationsanlage in günstiger Entfernung sinnvoll.

Vor diesem Hintergrund ist eine on-site-Filtration in der Regel nur bei Tunnelbauprojekten von Interesse, wie es auch im Falle des Zimmerbergbasistunnels praktiziert wird.

Günstige externe Aufbereitungsstandorte sollten sowohl nahe der Baustelle, als auch nahe der verarbeitenden Ziegelei liegen. Besonders günstig wäre ein Standort auf dem Gelände der Ziegelei selbst. Weiterhin sollten Erdbecken oder Gruben zur Bevorratung der Suspensionen vorhanden sein, wie beispielsweise bei Kies-, Sand- und Tonabbauten,



Steinbrüchen oder Landwirtschaftsbetrieben. Bei letzteren könnten Silos für die Güllebevorratung genutzt werden (Leichtbausilos).

Auf den Baustellen tritt zwangsläufig durch Suspensionen „kontaminierter“ Boden auf, der u.U. schadstoffbelastet ist. Bei den Ziegeleien ergäbe sich ein Synergieeffekt: Nach einem Siebschritt könnte auch dieses Material als Zuschlagsstoff eingesetzt werden.

b. Wirtschaftlichkeitsvergleich: Filtration mit Filterhilfen – Filtration mit Flockungsmitteln

Die Kosten der Filtration gebrauchter Bentonitsuspensionen mit Flockungsmitteln liegen erfahrungsgemäß bei ca. EURO 80-110,00/to bezogen auf die Trockensubstanz. Hierin sind die variablen und fixen Kosten enthalten, nicht jedoch die Entsorgung des Filterkuchens. Diese Kostenkalkulation kann beispielsweise auf das Projekt Zimmerbergbasistunnel übertragen werden.

Die Filtration mit den untersuchten Filterhilfen führt zu Kosteneinsparungen auf der einen und zu anlagentechnischen Mehrkosten auf der anderen Seite. Diese lassen sich wie folgt beschreiben:

Kostenvorteile (Einsparungen/Zuzahlungen/Verkaufserlöse)

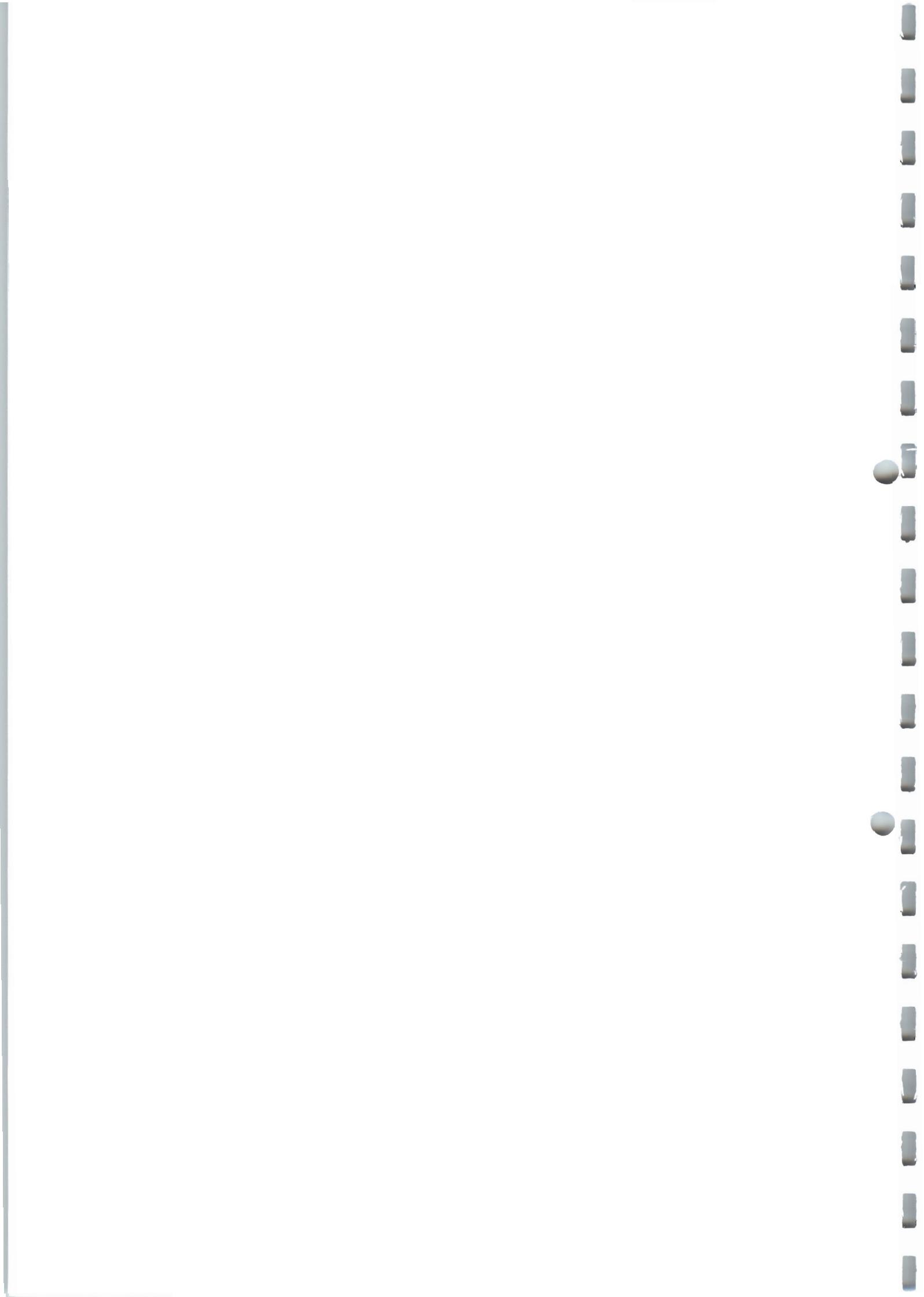
- Kein Einsatz von Flockungsmitteln (ca. EURO 10-20,00/to Suspension-Trockensubstanz)
- Kein Betrieb von Dosierungseinrichtungen für Flockungsmittel
- Zuzahlungen durch den Abfallerzeuger bei Übernahme von Filterhilfen:

Aus den Filtrationsversuchen ergibt sich ein über die verschiedenen Filterhilfen grob angenäherter Filterhilfsbedarf von 50-150 kg/cbm Bentonitsuspension (= 5-15 %). Bei einer Zuzahlung von angenommen EURO 30,00/to Filterhilfe (EURO 10 bis ca. 55,00/to sind möglich) errechnet sich eine Zuzahlung von EURO 3,00/cbm zu behandelnder Suspension.

- Ggf. Andienung von Filterkuchen an Ziegeleien (einzelne Ziegeleien kaufen Ton in einer Größenordnung von 20-30 % zu)

Mehrkosten

- Vorhaltung und Betrieb von Silos, Doseuren und Bagger/Radlader
- Anlagentechnische Anpassungen



Kalkulationen über die Höhe der Kostenvorteile sind nur über eine betriebswirtschaftliche Begleitung eines Großversuchs sinnvoll. Insbesondere die Zuzahlung durch Abfallerzeuger ist eine sehr variable Größe, da sie von der Entwicklung des Abfallmarktes abhängt und dieser auch von regionalen Unterschieden gekennzeichnet ist.

Genehmigungsrecht

Bei der Planung einer mobilen oder stationären Anlage zur Filtration von Bentonitsuspensionen mit abfallrechtlich zu behandelnden Filterhilfen ist mit einem zeitlichen Vorlauf von ca. 3-12 Monaten zu rechnen. Es seien das Wasser-/Abwasserrecht (Einleitung von Filtrat in die Kanalisation), das Abfallrecht (Einsatz von Abfällen bei der Filtrierung der Suspension, von Filterkuchen in Ziegeleien), die BImSch-Genehmigung oder der Bauantrag zum Betrieb einer mobilen oder stationären Anlage und u.U. auch die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP) genannt.

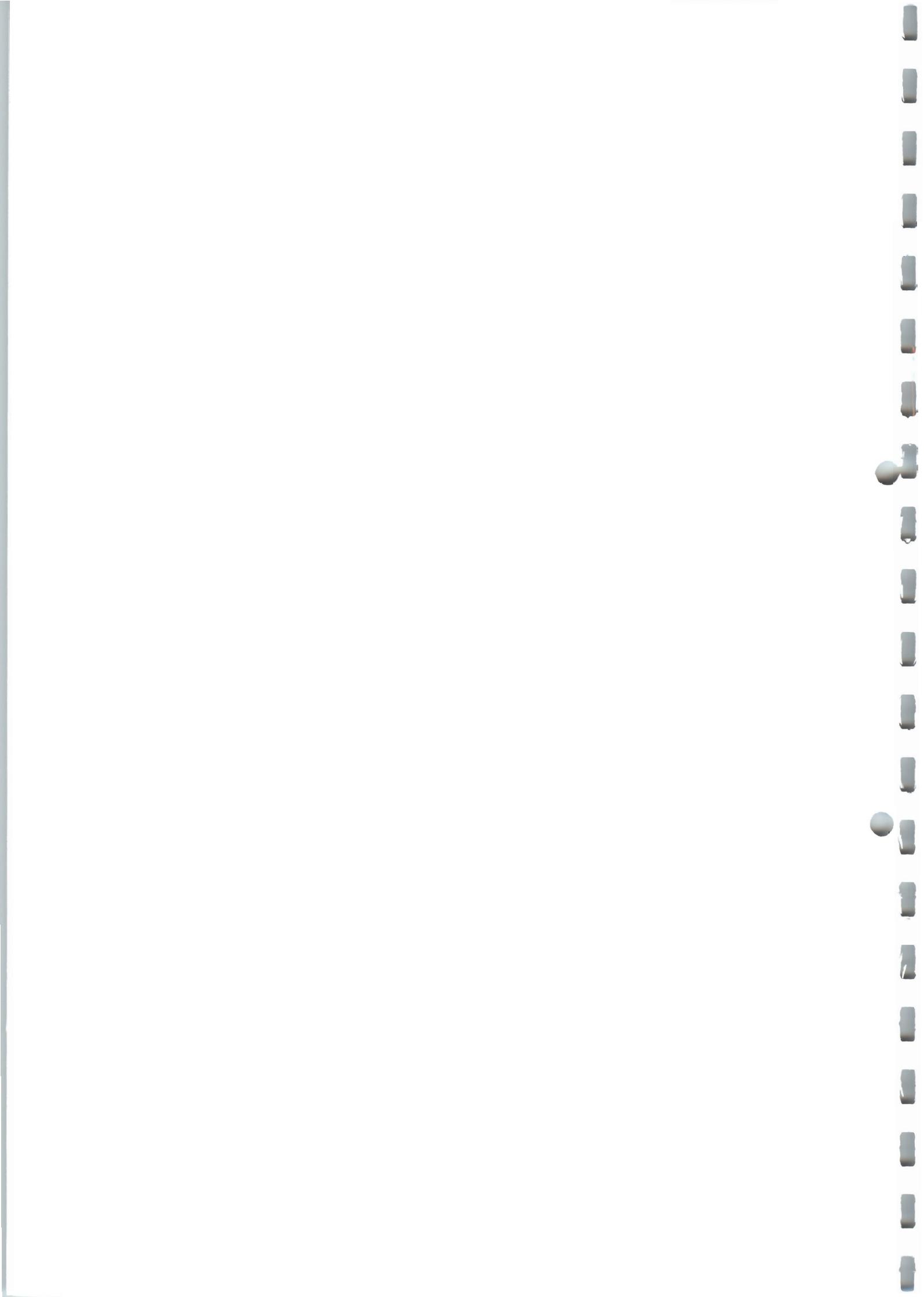
Das kann sich im Einzelfall nachteilig auswirken. Im Vorfeld müssen demnach alle beteiligten Behörden so früh wie möglich in die Planungen einbezogen werden.

6. Fazit

Es ist geplant, das Verwertungskonzept in folgender Form zu verbreiten:

- Direkte Informationen an Spezialtiefbau-Unternehmen (z.B. Auszüge aus dem Abschlußbericht, Veröffentlichungen)
- Veröffentlichung in Fachzeitschriften aus folgenden Branchen:
 - Abfallwirtschaft
 - Spezialtiefbau
 - Ziegelindustrie
- Vorträge, Seminare und Veranstaltungen der FH Nürnberg:

Der erste Vortrag findet bereits am 20.02.2002 anlässlich des 11. Seminars „Grundlagen der Ziegeltechnik“ mit dem Thema „Innovative Produktion von Dach- und Mauerziegeln“ in Nürnberg statt (Titel: Abmagerung eines Mauerziegeltons durch Zugabe einer Bentonit-Gesteinsmehl-Mischung)



Die mit dem vorliegenden F&E-Vorhaben gewonnenen Ergebnisse und die in Kap.5 diskutierten Aspekte einer Realisierung legen die Durchführung eines großtechnischen Versuchs nahe. Dieser sollte so angelegt sein, dass die praktische Umsetzung im Detail durch Wirtschaftlichkeitsberechnungen begleitet wird.

Ein derartiger Großversuch könnte beispielsweise an einem Tunnelbauprojekt erfolgen (vgl. Kap.5), das über einen längeren Zeitraum betrieben wird. Die anlagentechnische Betreuung und die dazugehörige Berechnung und Optimierung der Betriebskosten würde sinnvollerweise von einem spezialisierten Ingenieurbüro, ev. in Zusammenarbeit mit einem Filterpressenhersteller, übernommen. Ein Ziegelinstitut, wie der Fachbereich Werkstofftechnik der FH Nürnberg sowie ein Ziegelhersteller würden ebenso eng in das Projekt eingebunden.

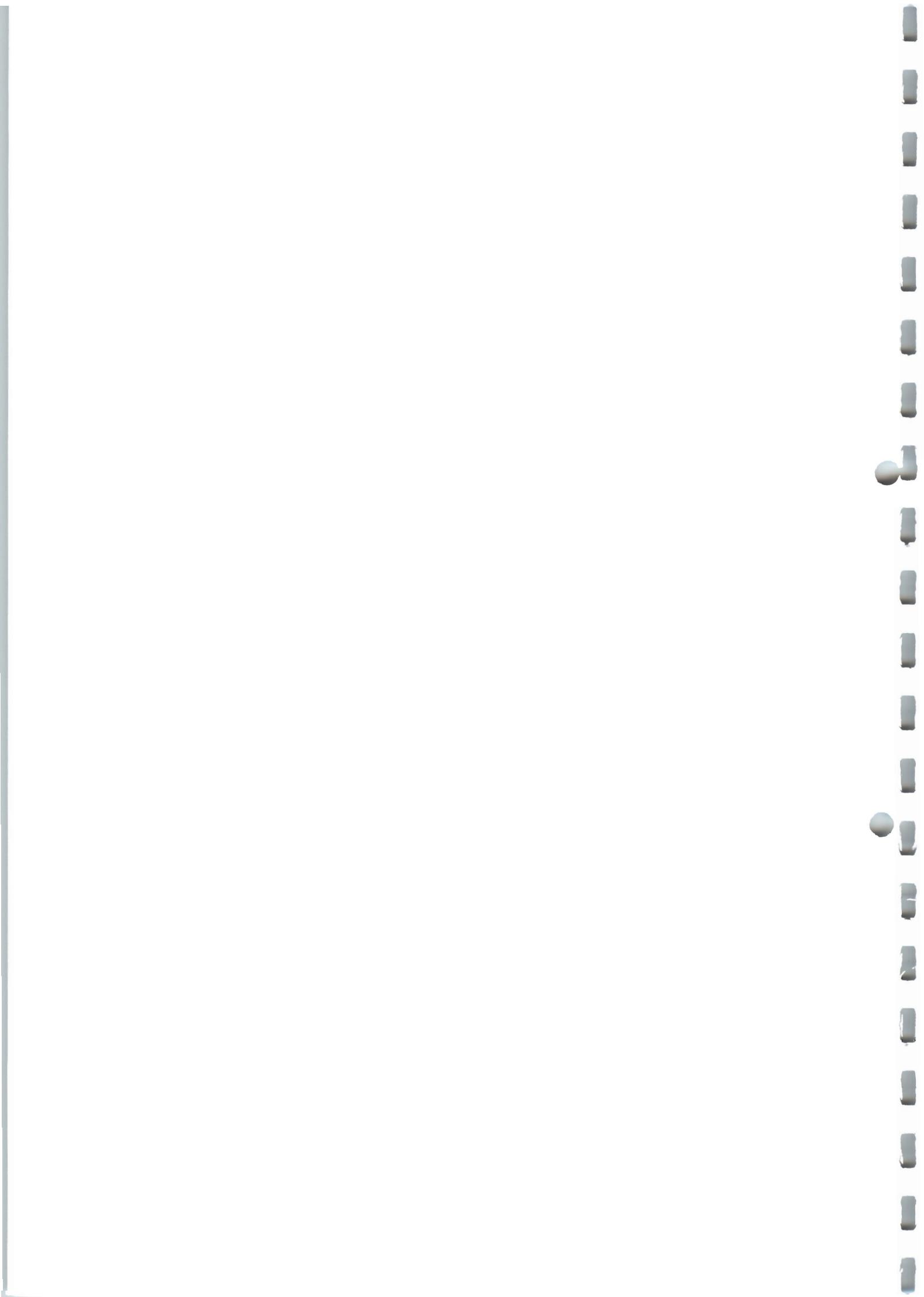
Es wäre ratsam, die Dimensionierung der Filterpresse und deren Betriebskosten im Vorfeld des Versuches durch einen Filterpressenhersteller zu ermitteln. Hierbei müssten der gewünschte Durchsatz, die Restfeuchte des Filterkuchens sowie die Kosten für die Filterhilfen vorgegeben werden.

Die Anlagentechnik der hier diskutierten Filtrationsmethode würde als Parallelstrang zur herkömmlichen Aufbereitung installiert, um jederzeit einen reibungslosen Ablauf der Arbeiten zu gewährleisten.

Die Bilfinger + Berger Bau AG hat bereits Interesse an einem derartigen Pilotversuch bekundet.

7. Zusammenfassung

Im Rahmen des Projekts wurden die Grundlagen eines neuen Verwertungskonzeptes für gebrauchte Bentonitsuspensionen aus dem Spezialtiefbau erarbeitet. Das Konzept beruht einmal auf der Entwässerung der Suspensionen mit Hilfe überwiegend mineralischer, als Filterhilfe wirkender Zuschlagsstoffe, welche u.a. als Abstoffe in anderen Industriezweigen anfallen. Zum anderen sollen die entstehenden Filterkuchen, welche im Wesentlichen einem Ton-Sand-Gemisch entsprechen, als Sekundärrohstoffe bei der Ziegelherstellung eingesetzt werden können.



Die Eignung als Filterhilfe hat sich in Labor-Filtrationsreihen bei einer Vielzahl der insgesamt 25 geprüften Stoffe bestätigt, z.B. Perlitstaub, gebrauchte Kieselgur oder Müllverbrennungsasche (MVA). In größermaßstäblichen Technikumsversuchen wurde die Filtration mit Kammerfilterpressen und den genannten Filterhilfen, zusätzlich im Vergleich mit Bimswaschschlamm als weniger effektivem Filterhilfsmittel, praxisnah erprobt und optimiert.

Die Filterkuchen aus Bentonit und Zuschlagstoffen wurden bis zu max. 40 Ma.-% einem herkömmlichen Ziegel-Rohton zugegeben. Die aus den Gemengen hergestellten, insgesamt 1364 Formlinge (Labor-Ziegel und Wärmeleitplatten) wurden keramtechnisch auf Trocken- und Brennschwindung, Rohdichte und Scherben-Rohdichte, Druckfestigkeit und Scherben-Wärmeleitfähigkeit untersucht.

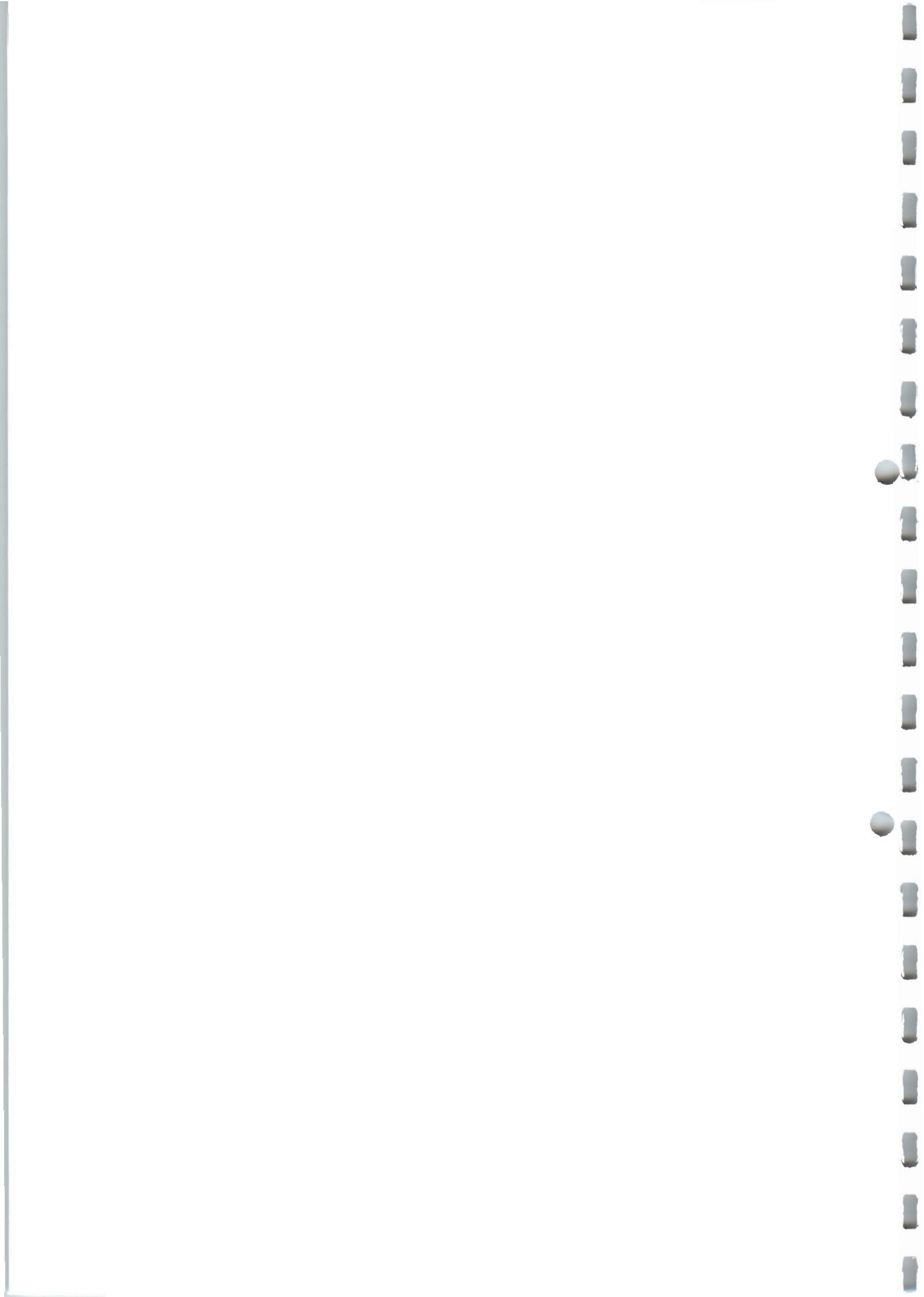
Es zeigte sich, dass alle Materialmischungen in der Ziegelindustrie verwendet werden können. Allerdings erbrachten die mit Müllverbrennungsasche hergestellten Probekörper bei praktisch allen Tests die schlechtesten Ergebnisse.

Unter wärmetechnischen Gesichtspunkten und auch bezüglich der Druckfestigkeiten sind die Bentonit-Filterkuchen mit Perlitstaub, gebrauchter Kieselgur und Bimswaschschlamm gut für die Ziegelherstellung geeignet.

Wenn der wärmetechnische Effekt nicht unbedingt erforderlich ist, kann die Müllverbrennungsasche zumindest als Abmagerungsmittel eingesetzt werden. Der zugesetzte Massenanteil sollte jedoch niedrig sein, um eine zu starke Festigkeitsminderung zu verhindern.

Die umweltrelevanten Analysen der Filterhilfen erbrachten keine besonderen Auffälligkeiten. Nur die verwendete Müllverbrennungsasche wies erhöhte Schwermetall- und Salzgehalte auf. Dies ist ein weiterer Grund, Müllverbrennungsasche ggf. nur in geringen Massenanteilen zu verwenden.

Die Wirtschaftlichkeit des Konzepts hängt insbesondere vom Standort der Filterpresse und des Verwerfers (Ziegelei) sowie der regionalen Verfügbarkeit der Filterhilfen ab. Die Kostenvorteile, die sich über die Nutzung sekundärer Filterhilfen und die Vermeidung von Deponierungskosten ergeben, müssen gegen einen unter Umständen größeren logistischen Aufwand gerechnet werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Verwertungskonzept auf das jeweilige Bauvorhaben angepasst werden muß. Seine



besondere Bedeutung dürfte in der Abwicklung großer Spezialtiefbau-Projekte, z.B. im Tunnelbau, liegen.

Dieses neue Konzept entspricht dem Prinzip der Abfallverwertung bzw. -vermeidung. Zusätzlich entfällt der Einsatz von Flockungsmitteln für die Filtration. Deponiekapazitäten werden geschont, wie auch die Rohstoff-Ressourcen für die Ziegelherstellung (Tonersatz).

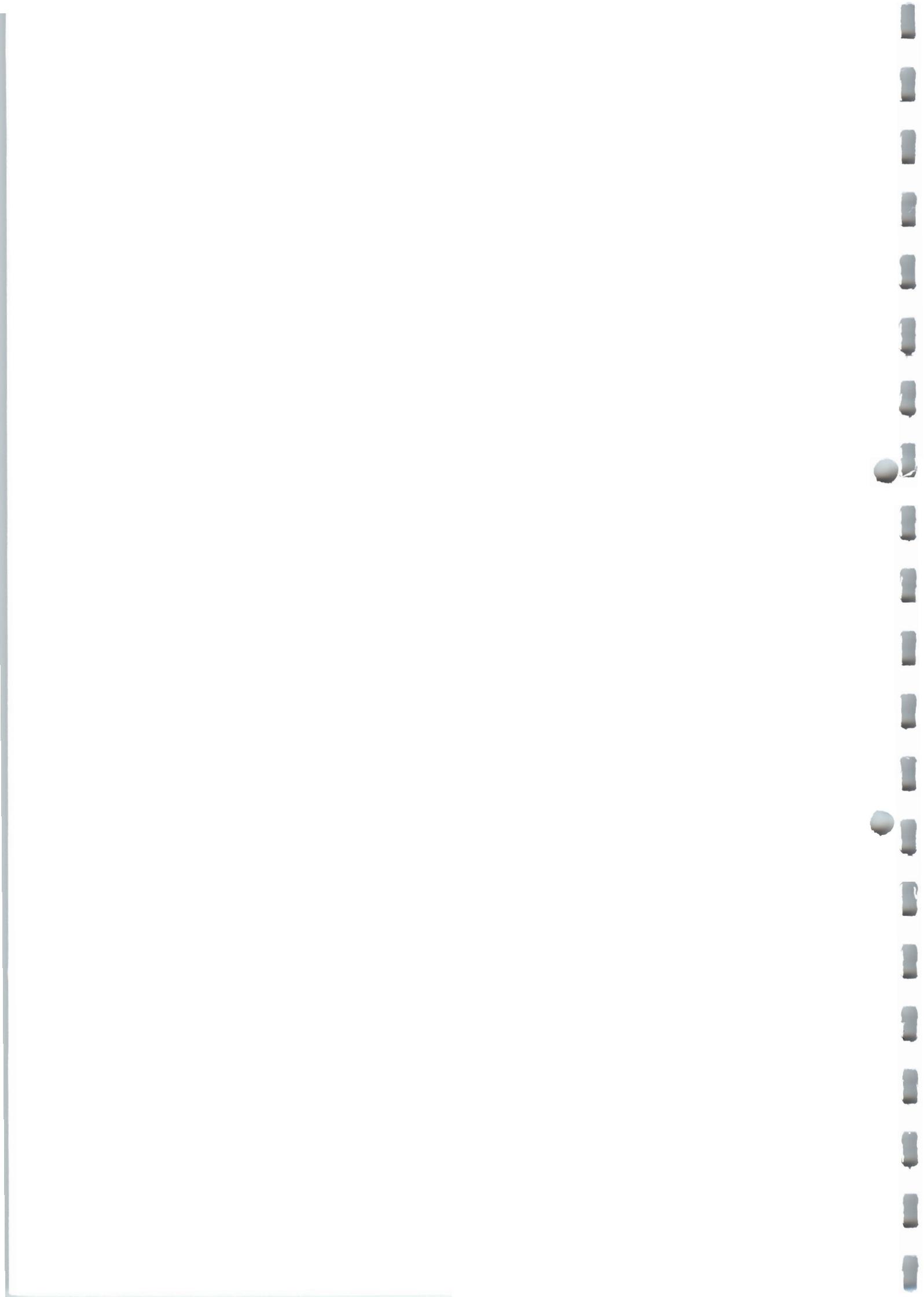
Um das Verfahren im Markt besser platzieren zu können, wäre als nächster Schritt ein Großversuch im Rahmen eines großen Spezialtiefbau-Projektes sinnvoll. Neben den technischen und genehmigungsrechtlichen Aspekten sollte dabei die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens besonders betrachtet werden.

Projektleitung: *terracontrol* GmbH
Dr. S. Ketterer
Hermann-Löns-Weg 32
69118 Heidelberg

Kooperationspartner: Universität Heidelberg
Institut für Umwelt-Geochemie
Verantwortlicher Bearbeiter: Dr. A. Yahya
Im Neuenheimer Feld 236
69115 Heidelberg

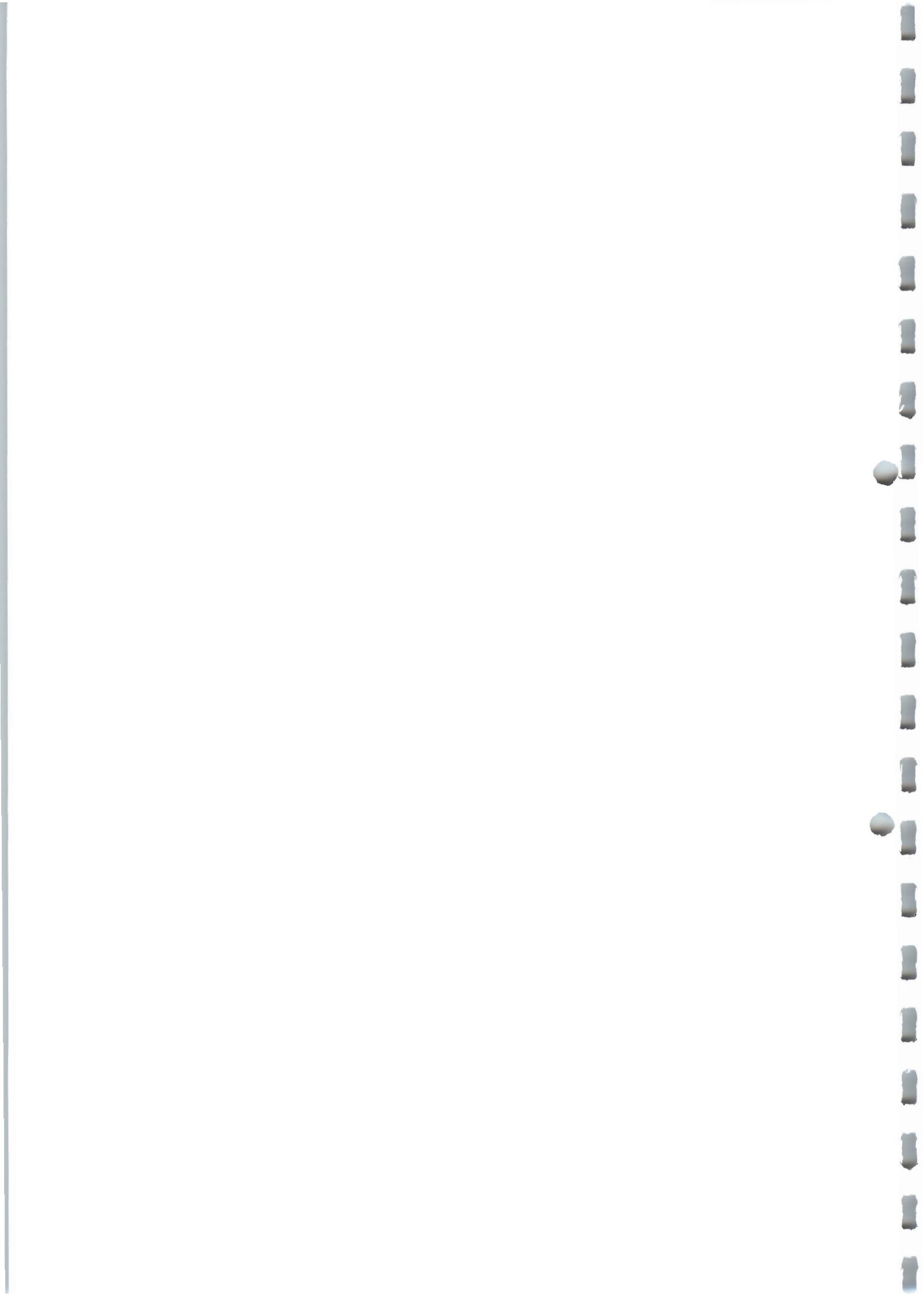
Georg-Simon-Ohm-Fachhochschule Nürnberg
Fachbereich Werkstofftechnik
Verantwortlicher Bearbeiter: Prof. Dr. W. Krcmar
Wassertorstr. 10
90489 Nürnberg

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt unter dem Förderkennzeichen Az 16285 gefördert.



8. Literatur

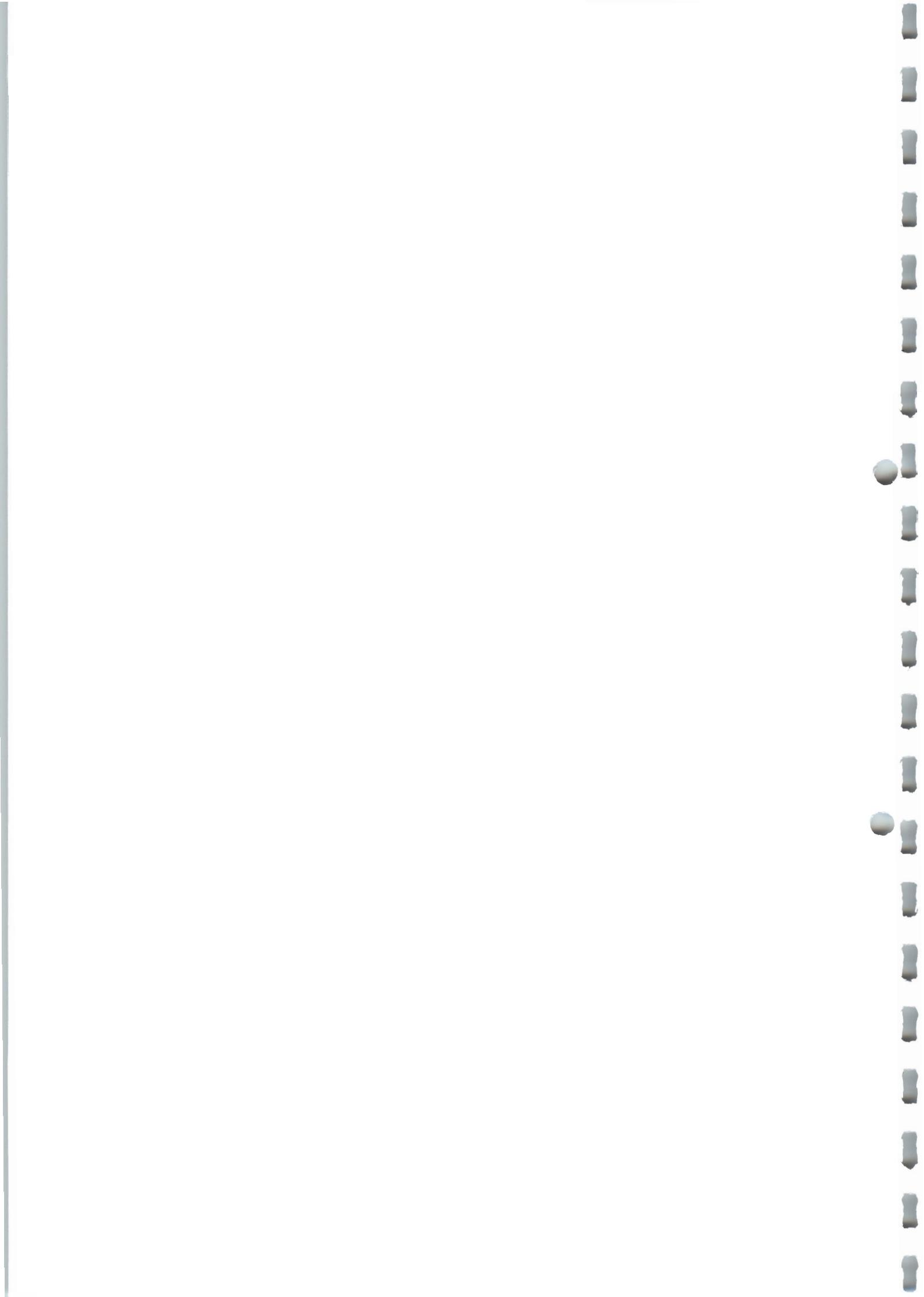
- / 1/ Satzung über die öffentliche Abwasserbeseitigung (Abwassersatzung – AbwS) der Stadt Heidelberg vom 18. Dezember 1980, Heidelberger Amtsanzeiger vom 19. Dezember 1980
- / 2/ Länderarbeitsgemeinschaft LAGA:
Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen / Abfällen, Technische Regeln (1994)
- / 3/ Niemitz, W. und Fuß, K.:
Der spezifische Filterwiderstand und die Kompressibilität von Klärschlämmen
GWf 106 (1965) 778-83
- / 4/ Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung
Verlag Chemie, Weinheim
- / 5/ Busse, O. und Sander, B.:
Polymerkonditionierung bei der Entwässerung mit Filterpressen
Korrespondenz Abwasser, 33 (1986) 1076-1085
- / 6/ Möller, U.:
Schlammuntersuchung und –charakterisierung als Grundlage der Schlammbehandlung und –beseitigung – Wechselbeziehungen zwischen Schlammigenschaften und Schlammbehandlungsverfahren sowie Beseitigung der Schlämme -,
Schlammbehandlung und Schlammabeseitigung
Schriftenreihe der ATV aus Wissenschaft und Praxis, 11 (1984) 49-130
- / 7/ Zingler, E.:
Die Filtration von Abwasserschlämmen – Die Übertragbarkeit von Laboratoriumsergebnissen auf den technischen Betrieb
Veröffentlichungen des Instituts für Stadtbauwesen, Technische Universität Braunschweig, 6, (1970)
- / 8/ Krcmar, W.:
„Entwicklung eines hochwärmedämmenden Planschleifziegels mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ durch Minderung der keramischen Scherben-Wärmeleitfähigkeit sowie Optimierung der Lochbildgeometrie“
ZI-Jahrbuch (2001) 67-87, Bauverlag Wiesbaden
- / 9/ Krcmar, W.:
„Entwicklung eines hochwärmedämmenden Planschleifziegels mit einer Wärmeleitfähigkeit von $\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$ durch Minderung der keramischen Scherben-Wärmeleitfähigkeit sowie Optimierung der Lochbildgeometrie“
BMBF-Forschungsprojekt Nr. 032 977 1 A, Abschlussbericht 9 (1999)



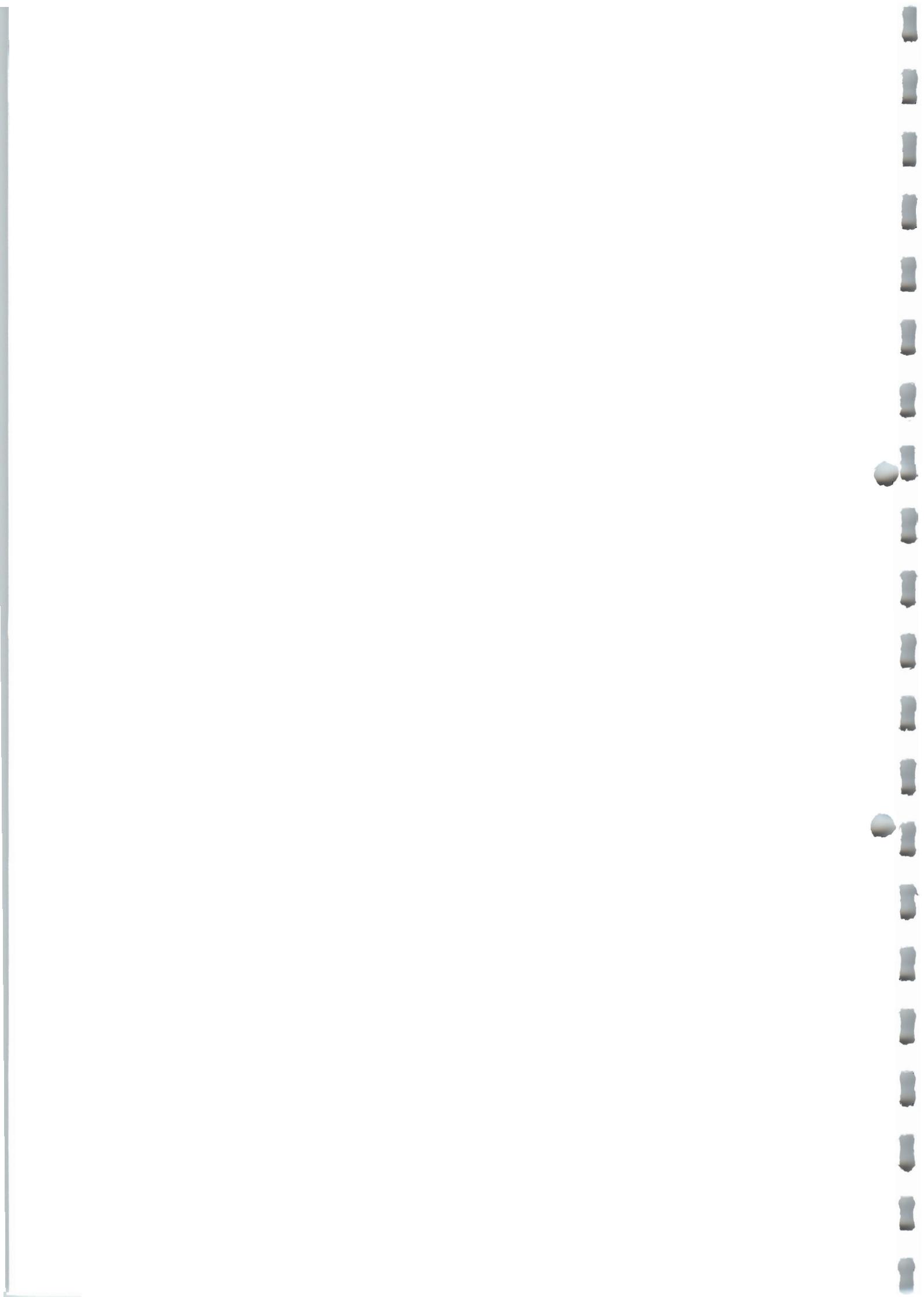
- /10/ Jungk, E. K., Halseband, H., Ebert, K. und Krcmar, W.:
„Porosierungsmittel für die Leichtziegel-Herstellung“
Ziegel Zeitschrift, **4** (1997) 124-129
- /11/ Jungk, E.K., Halseband, H., Ebert, K. und Krcmar, W.:
„Porosifiers for the Production of Lightweight Bricks“
Tile & Brick International, **1** (1997) 7-12
- /12/ Jungk, E. K., Halseband, H., Ebert, K. und Krcmar, W.:
„Porosierungsmittel für Leichthochlochziegel“
Keramische Zeitschrift **11** (1996) 1012-1017
- /13/ Jungk, E. K., Krcmar, W. und Linner, B.:
„Minderung der Wärmeleitfähigkeit von Mauerziegeln durch Optimierung
der Scherbenstruktur“
Ziegelindustrie International **6** (1996) 368-376
- /14/ Heyder, F., Jungk, E. K., Steinbach, H. und Krcmar, W.:
Materialoptimierung bei Mauerziegeln hinsichtlich Wärmedämmung,
Festigkeit und Schallschutz
Vortrag anlässlich des Technologieworkshops Rheinland-Pfalz,
Sept. (1995), Montabaur
- /15/ Jungk, E. K. und Krcmar, W.:
„Entwicklung eines hochwärmedämmenden Ziegels zur Erfüllung der neuen
Wärmeschutzverordnung unter Einsatz von Recyclat aus verbrauchten
Tiefenfilterschichten und Kieselgur“
Innovationsförderungsprogramm Rheinland-Pfalz, Projekt 617,
Abschlußbericht 12 (1994)
- /16/ Erker, A. und Heyder, F.:
Zum Einfluß der Querschnittsgestaltung von
Hochlochziegeln auf Wärmeschutzanforderungen
ZI Ziegelindustrie International **49** (1996) 2, S. 123-130
- /17/ Sveda, M., Bagel, L. und Komora, L.:
VUPPOR - Eine Möglichkeit zur Porosierung des Scherbens
ZI Ziegelindustrie International **49** (1996) 3, S. 195-197
- /18/ Rimpel, E. und Schmedders, T.:
Technische Herstellung hochporöser Ziegelmaterialien
Ziegeleitechnisches Jahrbuch (1996), Bauverlag Wiesbaden, S. 174-206
- /19/ Junge, K. und Rimpel, E.:
Technische Herstellung von hochporösen Ziegelmaterialien
ZI Ziegelindustrie International **49** (1996) 3, S. 195-197
- /20/ Rank, H.:
Entwicklungstendenzen im Mundstücksbau
Vortrag anlässlich des Würzburger Zieglerlehrgangs 12 (1995)
Ziegelmundstücksbau Braun GmbH, Friedrichshafen



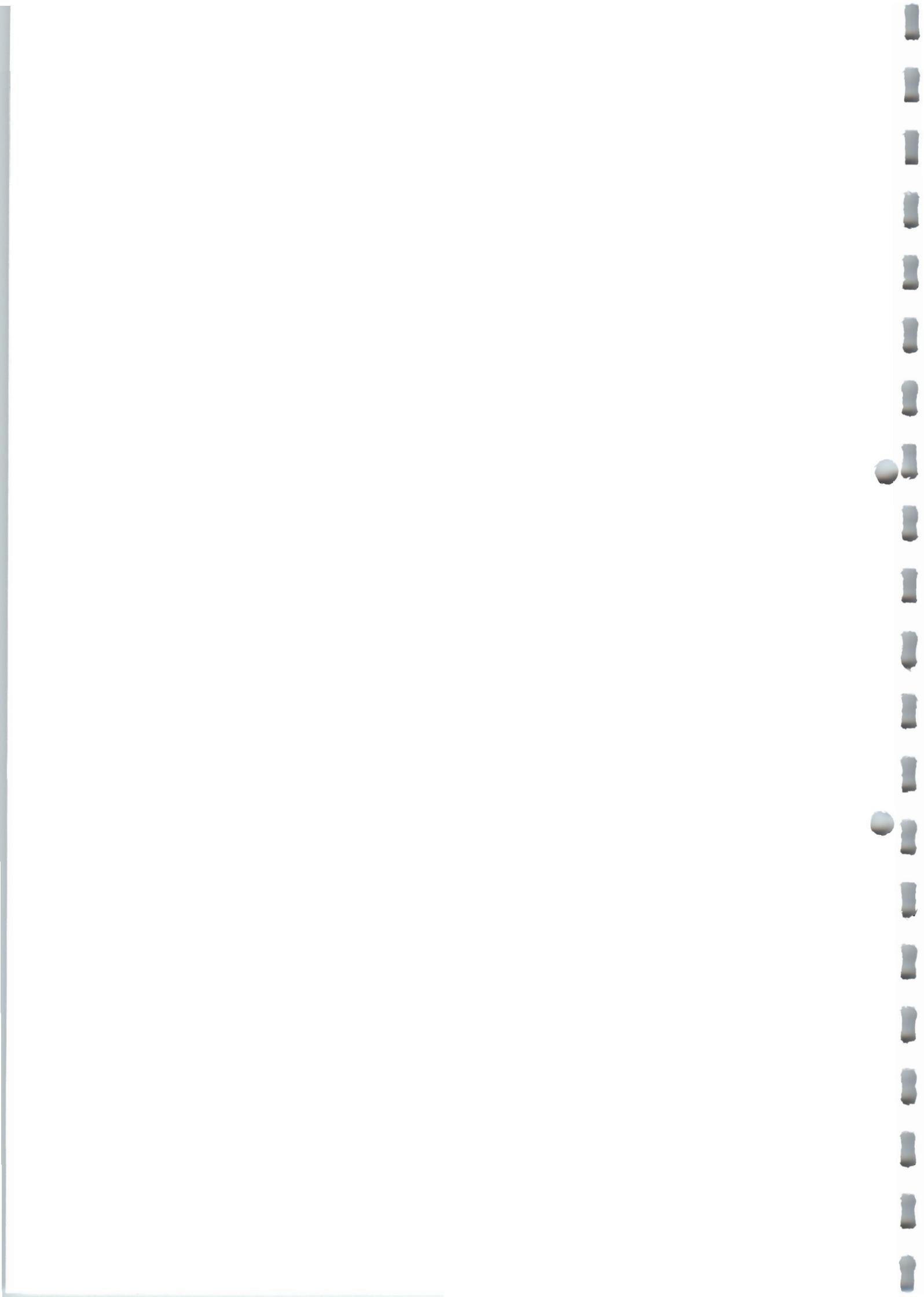
- /21/ Graf, J.:
Numerische Simulation der äquivalenten spezifischen
Wärmeleitfähigkeit von Hochlochziegeln
ZI Ziegelindustrie International 48 (1995) 11, S. 834-841
- /22/ Steinbach, H.:
Beziehungen zwischen der Materialstruktur und den Eigenschaften
bei einem porosierten Mauerziegelwerkstoff
Diplomarbeit Oktober (1994), FH Rheinland-Pfalz,
Fachbereich Keramik, Prof. Dr. Heyder
- /23/ Schulle, W.:
Ermittlung der effektiven Wärmeleitfähigkeit keramischer Werkstoffe
Keramische Zeitschrift 46 (1994) 12, S. 948-954
- /24/ Schulle, W.:
Beeinflussung des Wärmedämmverhaltens durch
Feuchtigkeitsgehalte in keramischen Baustoffen
Keramische Zeitschrift 46 (1994) 1, S. 7-9
- /25/ Anton, H.:
Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk - Vereinfachung
des Meßverfahrens für die Qualitätskontrolle
ZI Ziegelindustrie International 46 (1993) 4, S. 262-268
- /26/ Albenque, M.:
Wärmeleitfähigkeit keramischer Scherben - Neue Meßmethode
ZI Ziegelindustrie International 45 (1992) 2, S. 93-96
- /27/ Elsner, M.:
Wärme- und Feuchtetransport in Hochlochziegeln
ZI Ziegelindustrie International 41 (1989) 6, S. 266-273
- /28/ Anton, H.:
Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk
ZI Ziegelindustrie International 42 (1989) 3, S. 162-166
- /29/ Schulle, W. und Kutzendörfer, J.:
Abhängigkeit der Wärmeleitfähigkeit und der Festigkeit
vom mittleren Porendurchmesser bei Schamottesteinen
ZI Ziegelindustrie International 41 (1988) 6, S. 300-303
- /30/ Szabo, P.:
k-Wert-Messung an Außenwänden (Wärmeflußmessungen)
ZI Ziegelindustrie International 35 (1982) 11, S. 634-639
- /31/ Schellbach, G.:
Wärmedämmende Außenwandkonstruktionen aus Ziegeln-
Heutiger Stand und künftige Entwicklungsrichtungen
Ziegeleitechnisches Jahrbuch (1981), Bauverlag Wiesbaden S. 14-65
- /32/ Reinders, R.:
Wärmetechnisch optimale Querschnittsgestaltung von Hochlochziegeln
Ziegeleitechnisches Jahrbuch (1981), Bauverlag Wiesbaden, S. 66-113



- /33/ Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie
4 Aufl. (1982) Bd. 21, Verlag Chemie, Weinheim, S. 452-456
- /34/ Ullmann`s Encyclopedia of Industrial Chemistry
Vol. A 23 (1993), Verlag Chemie, Weinheim, S. 607-614
- /35/ Meyers grosses Taschenlexikon
Meyers Lexikonverlag, Bd. 8 (1981) S. 102
- /36/ Firmenbroschüre der Sterchamol-Werke, Wülfrath
- /37/ Krammer, K.:
Kieselalgen, Kosmos-Verlag, Stuttgart (1986)
- /38/ Diatomeen I, Schalen in Natur und Technik
Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der
Universität Stuttgart (IL 28), Karl Krämer Verlag, Stuttgart (1985)
- /39/ Radiolarien, Schalen in Natur und Technik II
Mitteilungen des Instituts für leichte Flächentragwerke der
Universität Stuttgart (IL 33), Karl Krämer Verlag, Stuttgart (1990)
- /40/ Storopack Umweltservice, Persönliche Mitteilung, Reichenecker GmbH u. Co,
Metzingen Dezember (1995)

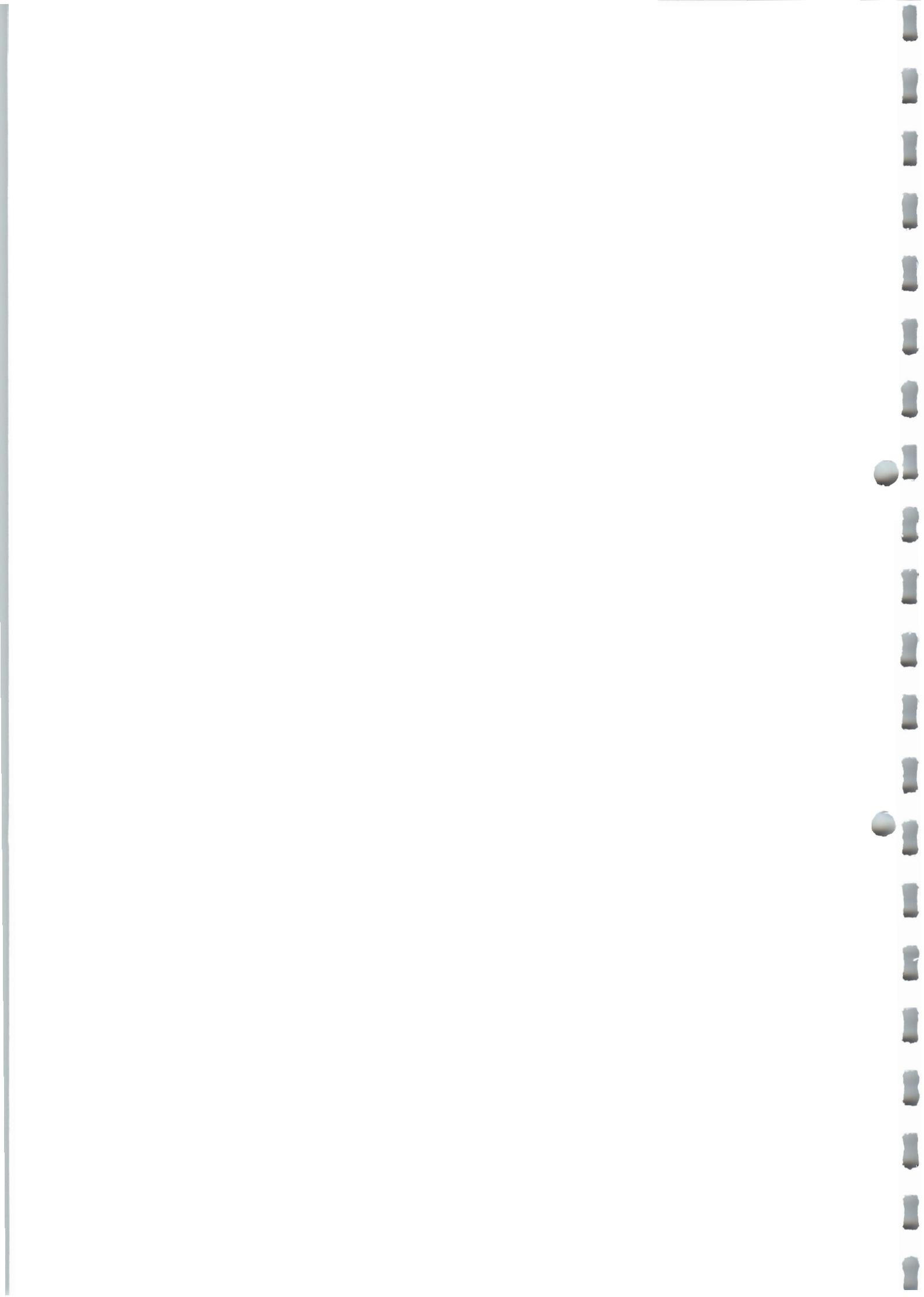


Anhang



Anhang 1

Filtrationen: Laborversuche



Aufbau von Filterschichten und Einmischung von Filterhilfen im Vergleich

Anhang 1.1

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl und Köln, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfen	Liaporsand/ Kieselgur, Eichbaum	Liaporsand/ Kieselgur, Eichbaum	Liaporsand/ Kieselgur, Eichbaum/ MVA	Liaporsand/ Kieselgur, Eichbaum/ MVA	Kieselgur, Welde Bräu (14.02.01)	
	Menge Filterhilfe (g)	6/12	6/12	6/12/6	6/12/6	11	22
Suspension	Tixoton, Kehl drei Filter- schichten aufgebaut	Tixoton, Kehl Mit Rührstab eingemischt	Tixoton, Kehl drei Filter- schichten aufgebaut	Tixoton, Kehl Mit Rührstab eingemischt	Tixoton, Köln eine Filterschicht aufgebaut	Tixoton, Köln eine Filterschicht aufgebaut

Zeit [min]

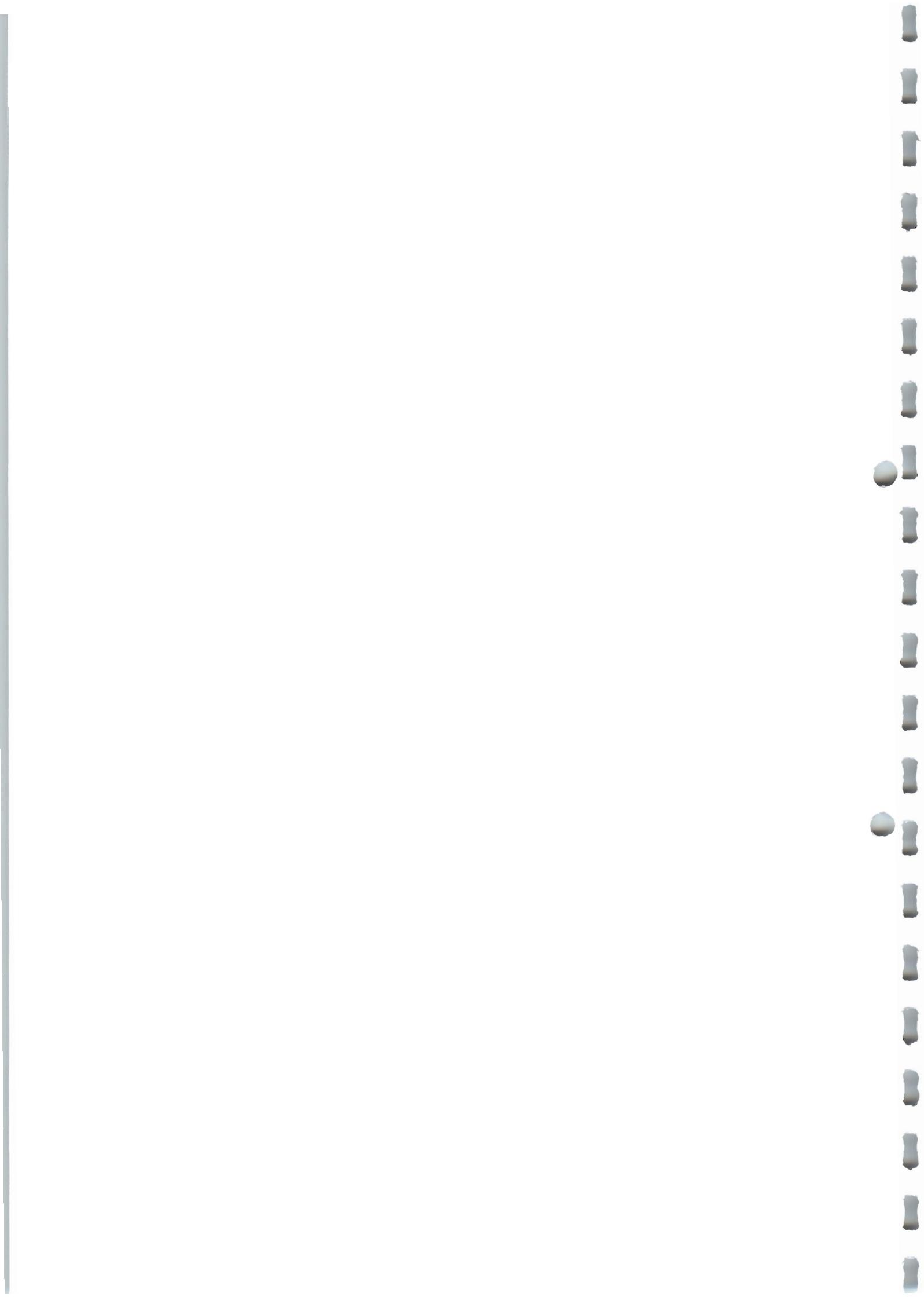
3	11,20	7,40	32,40	25,00	13,40	12,20
6	15,20	10,40	43,00	36,60	18,20	15,20
7,5	17,20	12,00	49,00	40,60	20,00	16,20
9	19,00	13,60	53,00	45,20	21,00	17,40
12	22,40	16,00	64,00	53,20	25,00	19,40
15	26,00	18,00	73,40	60,00	28,20	21,40
18	28,40	20,00		66,20	30,00	22,40
21	31	22,00		72,00	33,00	24,60
24	33,8	23,80		78,20	35,20	26,80
27	36	25,50		83,00	38,00	28,80
30	38,2	27,00		88,00	39,00	29,40
33	40,2	28,00		92,80	41,00	30,60
36	42,20	29,80		97,80	43,00	32,00
39	44,20	31,60		102,00	45,00	33,20
42	46,00	32,80		106,20	47,00	34,40
45	47,60	34,00		110,00	48,60	35,80
48	49,20	35,00		114,00	49,80	37,20
51	51,40	36,00		118,00	52,20	38,00
54	53,00	37,20		120,60	53,80	39,20
57	54,80	38,60		124,60	55,00	40,40
60	56,2	39,60		128,40	57,00	41,20

Bemerkungen

		Filter dicht nach 16 min.. 80 ml	Filter dicht nach 70 min.: 139,8 ml		
--	--	-------------------------------------	---	--	--

pH

10,50	7,00
-------	------



Variation von Filtrationsdrücken

Bentonitsuspension: Dywonit und Tixoton (aus Kehl und Köln), gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: variiert

Filterhilfen Menge Fliterhilfe (g) Suspension	Filtratwassermenge (ml)		
	Zellulose/ Perlitstaub	Tremogur/ Perlitstaub	Tremogur/ Perlitstaub
	1/6	7/3.5	12/6
	Dywonit S	Dywonit S	Tixoton, Kehl

Filtratwassermenge (ml)	
feine Gur	grobe Gur
12	12
Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

Filtratwassermenge (ml)			
grobe Gur	feine Gur	Tremogur	Zellulose/ Perlitstaub
14	14	14	1/11
Dywonit S	Dywonit S	Dywonit S	Tixoton, Kehl

Filtratwassermenge (ml)		
Kation. Polymer	Walzzunder	Mineralfaser- reste
1g+20g H2O	6	6
Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

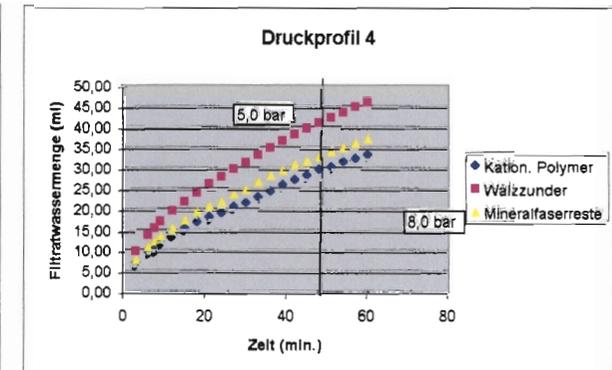
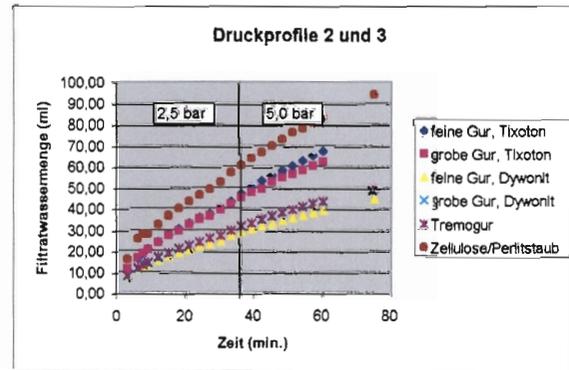
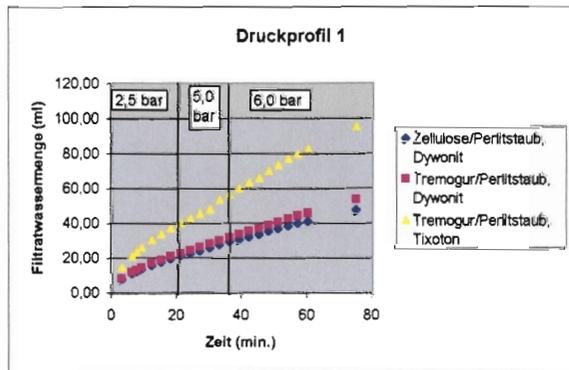
Zeit [min]	Druckprofil 1		
	2.5 bar	5 bar	6 bar
3	7.40	7.80	14.60
6	10.80	11.40	20.80
7.5	12.00	12.80	23.40
9	13.40	14.20	26.00
12	15.60	16.80	30.40
15	17.40	18.60	33.80
18	19.20	20.80	37.00
21	21.00	22.40	40.00
24	22.20	24.00	42.80
27	23.80	26.00	45.40
30	25.50	27.80	48.00
33	27.4	29.80	53.00
36	29.20	31.60	56.60
39	30.60	33.40	59.80
42	32.00	35.20	63.00
45	33.60	36.60	65.80
48	35.20	38.80	69.80
51	36.80	40.60	73.20
54	38.20	42.20	77.00
57	39.80	43.80	79.60
60	41.00	45.40	82.60
75	47.00	53.20	95.60

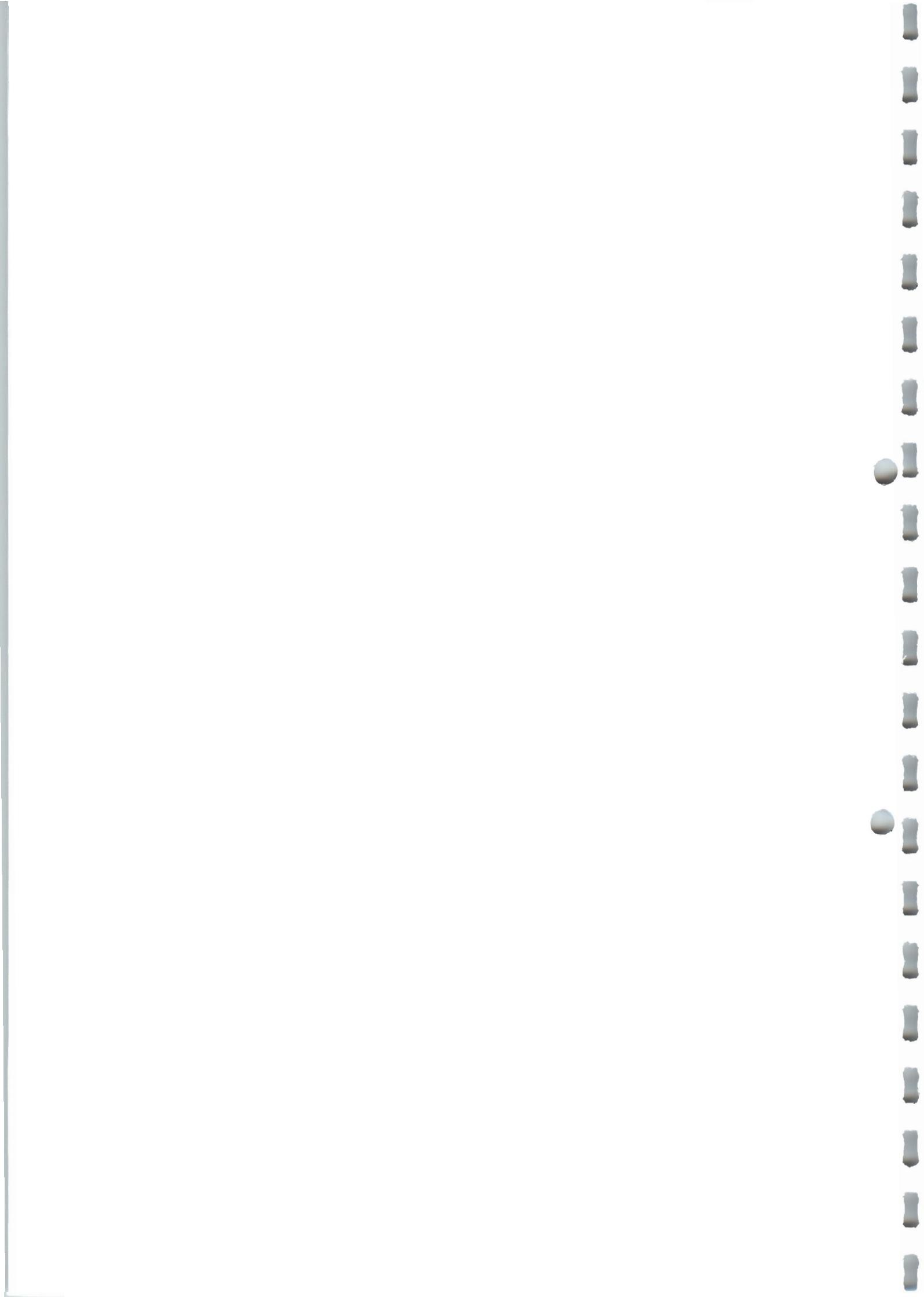
Zeit [min]	Druckprofil 2	
	2.5 bar	5 bar
3	10.40	11.00
6	16.40	16.20
9	18.60	18.60
12	20.60	20.40
15	24.00	23.60
18	27.40	27.00
21	30.20	29.20
24	33.00	32.20
27	35.40	34.80
30	37.20	36.40
33	40.00	39.00
36	43.00	42.00
39	46.80	45.00
42	49.80	47.40
45	52.80	49.00
48	55.40	52.20
51	58.00	54.40
54	60.00	56.00
57	62.40	58.00
60	64.80	60.00
75	67.20	62.00

Zeit [min]	Druckprofil 3			
	2.5 bar	5 bar	8 bar	15 bar
3	7.60	7.60	8.00	15.80
6	11.00	11.20	11.80	25.50
9	12.00	13.80	13.00	27.60
12	13.20	14.00	14.20	27.60
15	15.20	16.40	16.80	32.40
18	17.20	18.60	18.80	36.20
21	18.80	20.60	20.80	39.80
24	20.40	22.20	22.40	43.20
27	21.80	24.00	24.00	46.20
30	23.20	26.00	26.00	49.00
33	24.40	27.00	27.20	52.40
36	27.20	29.40	29.60	57.00
39	29.00	31.40	31.60	60.20
42	30.20	32.80	33.00	63.60
45	31.60	34.40	34.80	66.60
48	33.00	36.00	36.40	69.40
51	34.20	37.60	37.80	72.60
54	35.40	39.00	39.20	76.00
57	36.60	40.20	40.60	78.00
60	38.00	41.80	42.20	80.60
75	38.80	42.80	43.20	83.00
	44.20	48.80	49.20	94.00

Zeit [min]	Druckprofil 4		
	5 bar	8 bar	15 bar
3	6.80	9.60	7.40
6	9.60	13.80	10.60
9	10.00	15.20	12.00
12	12.00	16.80	13.20
15	13.80	19.40	15.20
18	15.20	21.60	17.20
21	16.80	23.80	19.00
24	18.00	26.00	20.40
27	18.80	27.60	21.60
30	20.40	29.60	23.40
33	21.40	31.20	24.60
36	22.80	33.00	26.40
39	24.20	34.80	28.00
42	25.80	36.40	29.20
45	27.00	38.00	30.60
48	28.20	39.40	31.60
51	29.60	40.80	32.60
54	30.20	42.00	33.80
57	31.40	43.20	34.80
60	32.20	44.60	35.80
75	33.20	45.80	37.00

pH	8,00	9,00	9,00
Höhe Filterkuchen (cm)	nicht bestimmt	0,40	0,40





Filtrationswirkung in Abhängigkeit vom pH-Wert bei Zugabe von Essigsäure

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar
 Essigsäure: 99-100 %ig

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfen	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Menge Filterhilfe (g)	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne	ohne
Zugabe Essigsäure	ohne	0,12 ml	0,12 ml in 10 ml H ₂ O dest.	0,24 ml in 10 ml H ₂ O dest.	0,48 ml in 10 ml H ₂ O dest.	1,2 ml in 10 ml H ₂ O dest.	2,4 ml in 10 ml H ₂ O dest.
Suspension	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

Zeit [min]

3	7,40	12,60	9,40	12,00	12,20	12,80	13,00
6	10,60	17,60	12,80	16,20	17,00	18,00	18,40
7,5	11,60	19,60	14,20	18,00	18,80	20,20	20,60
9	12,80	21,40	15,60	19,80	20,40	22,20	22,60
12	14,80	24,60	18,00	22,80	23,60	26,40	26,60
15	16,60	27,60	20,00	25,80	26,60	29,20	29,80
18	18,20	30,20	22,00	28,20	29,20	32,20	32,60
21	19,80	32,60	24,00	30,60	31,60	35,00	35,40
24	21,00	34,80	25,80	32,60	33,80	37,40	37,80
27	22,40	36,60	27,40	34,60	36,00	40,00	40,20
30	23,80	39,00	29,00	36,60	38,00	42,20	42,20
33	25,00	41,00	30,40	38,40	40,00	44,20	44,40
36	26,00	42,80	31,80	40,00	41,80	46,40	46,60
39	27,00	43,60	33,00	41,80	43,20	48,40	48,40
42	28,20	46,40	34,40	43,20	45,20	50,80	51,00
45	29,20	48,00	35,60	44,80	46,80	52,60	52,80
48	30,20	49,80	37,00	46,40	48,40	54,20	54,40
51	31,20	51,20	38,00	47,80	50,00	56,00	56,20
54	32,20	52,80	39,00	49,20	51,80	57,80	58,00
57	33,20	54,20	40,00	51,20	53,20	59,40	59,60
60	34,20	55,60	41,00	52,20	54,80	61,00	61,20
75	38,20						

Bemerkungen

Filtrat
 pH-Wert Filtrat
 Höhe Filterkuchen (cm)

klar	klar	klar	klar	klar	klar
7,50	8,00	8,00	8,00	7,00	7,00
0,3-0,4	0,40	0,3-0,4	0,3-0,4	0,6-1,2	0,6-1,2

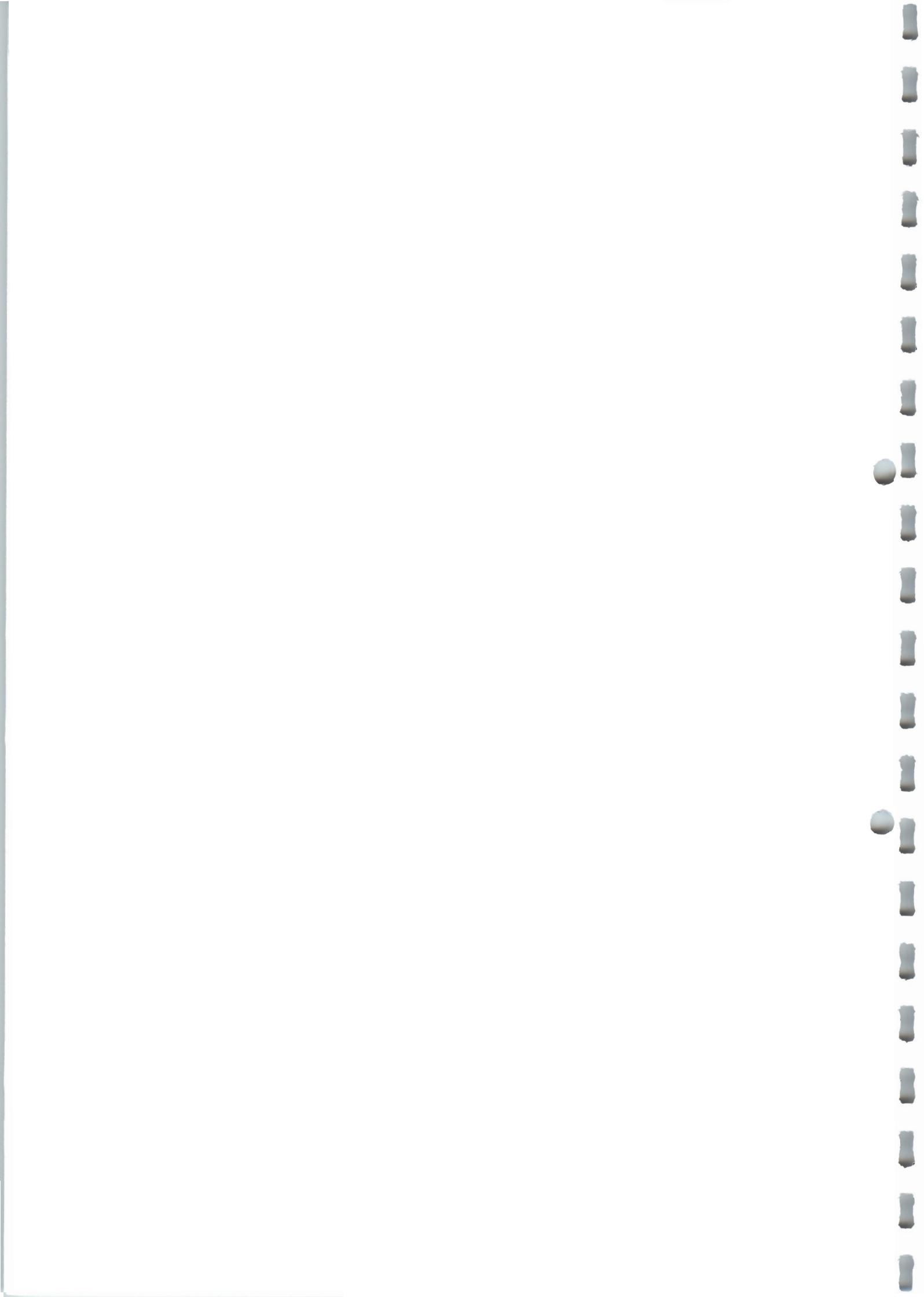
Filtratwassermenge (ml)

Kieselgur Welde Bräu (21.03.01)	Kieselgur Welde Bräu (21.03.01)	Perlitstaub
28	28	30
0,28 ml in 10 ml H ₂ O dest.	5,6 ml in 10 ml H ₂ O dest.	3,0 ml in 10 ml H ₂ O dest.
Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

19,80	26,80	68,00
28,40	36,80	
32,00	41,20	
35,00	45,20	
40,40	52,80	
45,20	59,00	
49,60	64,80	
54,00	70,00	
58,00	75,00	
62,00	79,60	
65,40	84,00	
68,80	88,00	
72,00	92,20	
75,00	96,20	
78,60	100,00	
81,40	104,00	
84,00	107,60	
87,00	111,00	
89,80	114,40	
92,20	117,60	
94,80	121,00	

Filter dicht nach 1 min.

gelblich	schwach gelblich	klar
8,00	7,00	6,00
0,60	0,5-1	2-4,5 (sehr stabil)



Filtrationswirkung mit Flockungsmitteln

Anhang 1.4

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl und Köln, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

	Filtratwassermenge (ml)			
	ohne	ohne	ohne	ohne
Filterhilfen	ohne	ohne	ohne	ohne
Menge Filterhilfe (g)	ohne	ohne	ohne	ohne
Flockungsmittel	ohne	Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA
Zugabe Flockungsmittel Suspension	ohne	0,12 g in 10 ml H ₂ O dest.	0,36 g in 10 ml H ₂ O dest.	1,2 g in 10 ml H ₂ O dest.
	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

Zeit [min]	ohne	Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA
3	7,40	6,40	6,20	nicht bestimmt
6	10,60	9,20	9,00	nicht bestimmt
7,5	11,60	10,00	9,80	nicht bestimmt
9	12,80	11,40	10,80	nicht bestimmt
12	14,80	13,20	12,80	nicht bestimmt
15	16,60	14,80	14,00	nicht bestimmt
18	18,20	16,20	15,80	nicht bestimmt
21	19,80	17,40	17,00	nicht bestimmt
24	21,00	18,60	18,00	nicht bestimmt
27	22,40	20,00	19,00	nicht bestimmt
30	23,80	21,00	20,20	nicht bestimmt
33	25,00	22,00	21,40	nicht bestimmt
36	26,00	23,00	22,40	nicht bestimmt
39	27,00	24,00	23,40	nicht bestimmt
42	28,20	24,80	24,20	nicht bestimmt
45	29,20	26,00	25,60	nicht bestimmt
48	30,20	26,80	26,40	nicht bestimmt
51	31,20	28,00	27,60	28,80
54	32,20	29,20	28,80	
57	33,20	30,20	29,80	
60	34,20	31,00	30,60	

Bemerkungen

Filtrat
 pH-Wert Filtrat
 Höhe Filterkuchen (cm)

leicht gelblich	leicht gelblich	leicht gelblich
9,00	9,00	9,00
0,3-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4

Filtratwassermenge (ml)	
ohne	ohne
ohne	ohne
Kationisches Polymer	Kationisches Polymer
3 g in 100 ml H ₂ O dest.	1 g in 20 ml H ₂ O dest.
Tixoton, Köln	Tixoton, Kehl

6,00	6,80
9,80	9,60
10,40	10,00
12,80	12,00
15,60	13,80
18,00	15,20
20,40	16,80
22,60	18,00
25,00	18,80
	20,40
	21,40
	22,80
	24,20
	25,80
	27,00
	28,20
	29,60
	30,20
	31,40
	32,20
	33,20

Filter dicht nach Druckprofil:
 27 min.: 28,8 ml
 30 min.: 5 bar
 30 min.: 8 bar

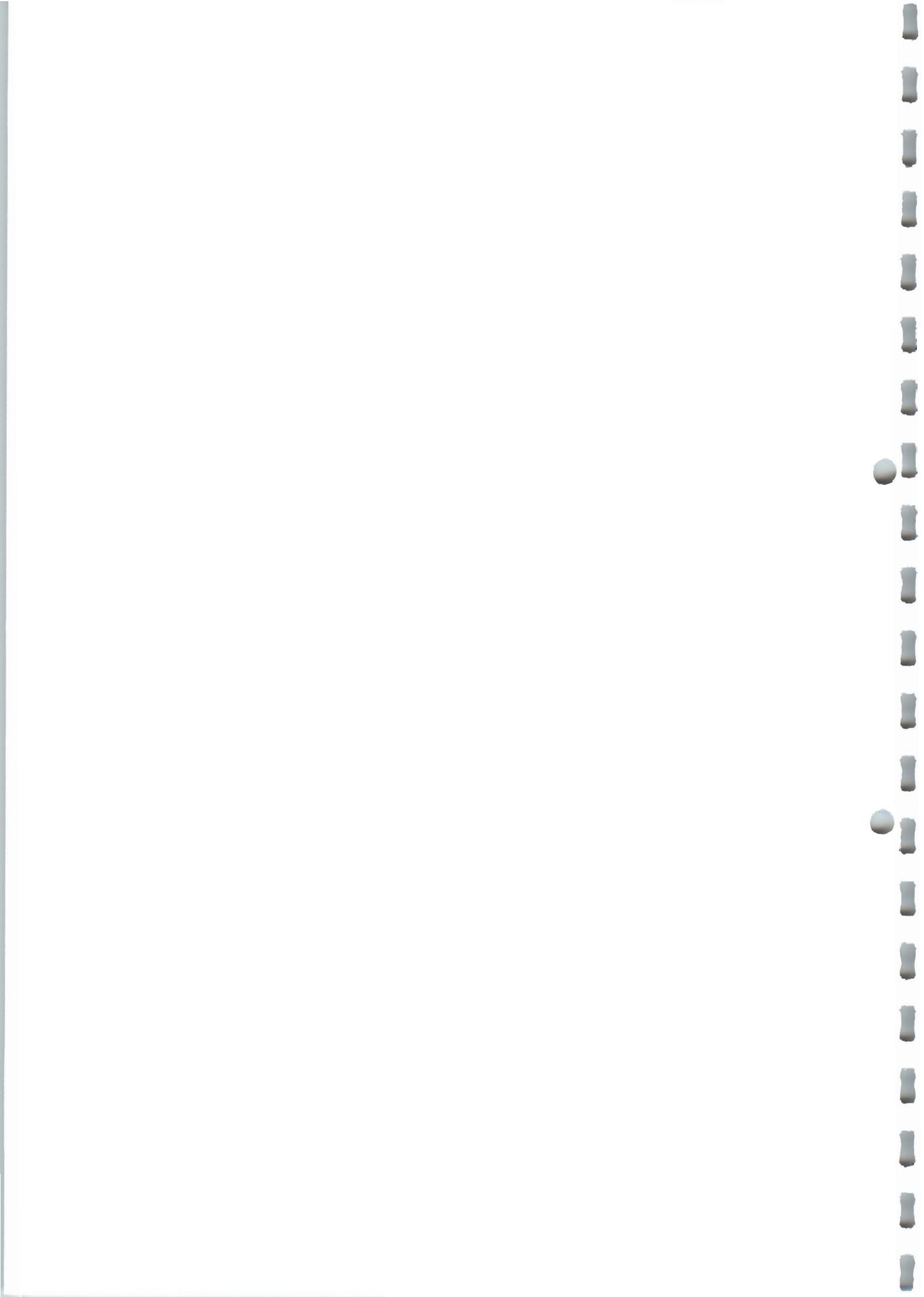
gelblich	gelblich
7,50	8,00
nicht bestimmbar: weich	nicht bestimmbar: weich

Filtratwassermenge (ml)		
Kieselgur Welde Bräu (21.03.01)	Perlitstaub	MVA
28	30	24
Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA	Spezialpolymer CIBA
2,8 g	0,3 g in 20 ml H ₂ O dest.	0,3 g in 20 ml H ₂ O dest.
Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl	Tixoton, Kehl

9,60	8,40	33,20
13,20		44,60
14,80		49,00
16,00		53,80
18,40		61,80
20,60		69,00
22,40		75,80
24,00		81,90
26,20		88,00
28,00		93,40
29,40		98,80
30,80		103,80
32,00		108,60
33,20		113,00
34,60		117,00
35,80		121,00
36,80		124,60
38,00		128,90
39,00		132,00
40,00		
41,00		

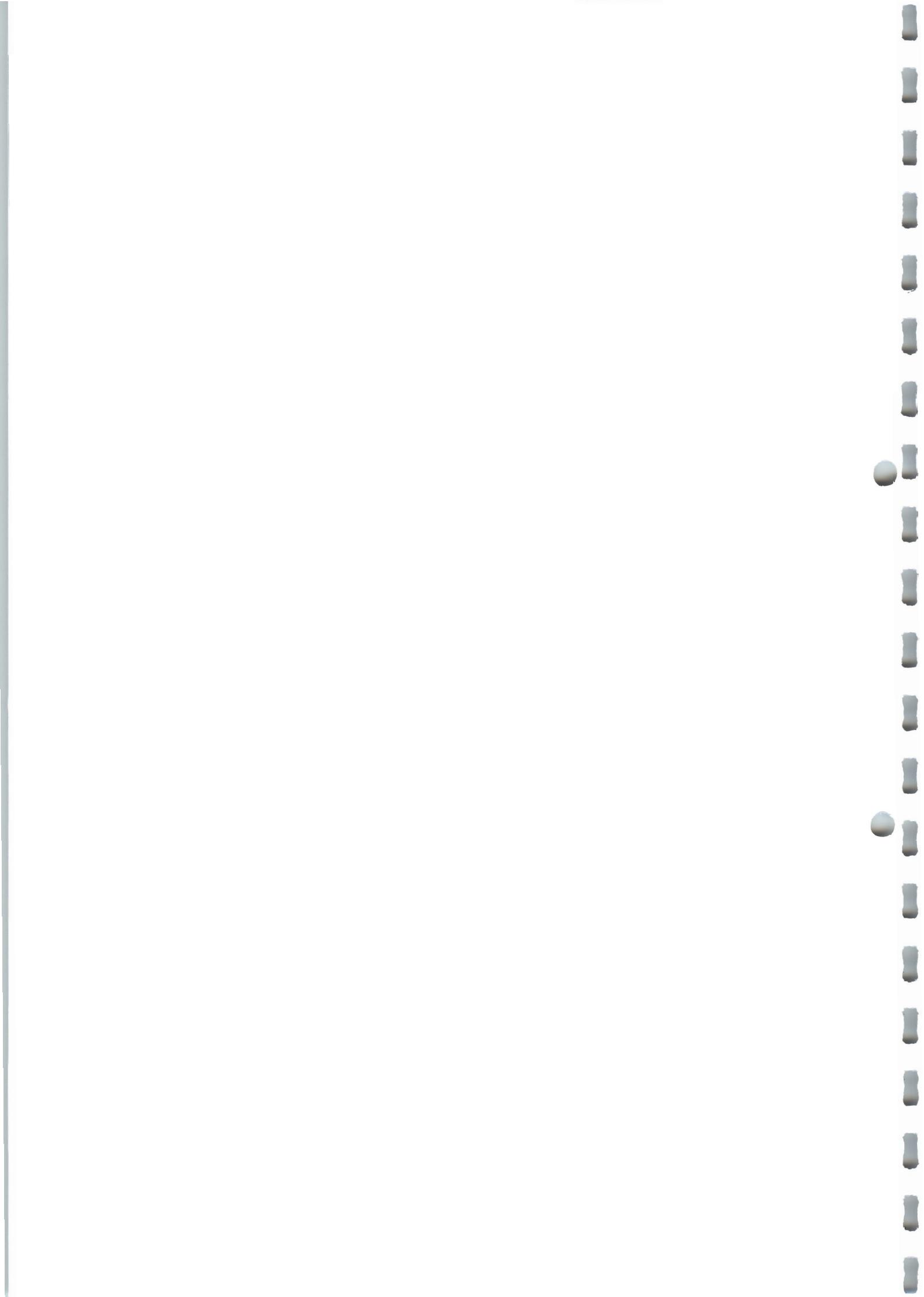
Filter dicht nach 16 sek.: 8,4 ml
 Filter dicht nach 53,5 min.

gelblich	klar	klar
9,00	6,00	7,00
0,40	4,50	2,00



Anhang 1.5

Optimierung Filterhilfsmengen



Optimierung Filterhilfsmengen: Kieselgur

Anhang 1.5.1

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Filterhilfe: Kieselgur Welde Bräu vom 14.02. und 21.03.01
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

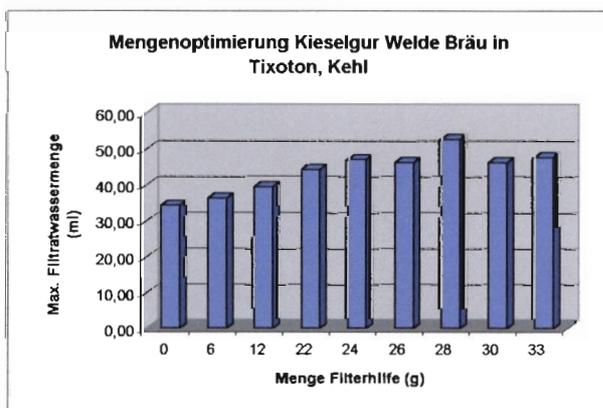
Filterhilfe	ohne	Kieselgur Welde Bräu vom 14.02.01	Kieselgur Welde Bräu vom 21.03.01	Kieselgur Welde Bräu vom 14.02.01	Kieselgur Welde Bräu vom 14.02.01	Kieselgur Welde Bräu vom 21.03.01			
Menge Filterhilfe (g)		6	12	22	24	26	28	30	33
Bentonit: Filterhilfe		1:0.5	1:1	1:1.8	1:2	1:2.2	1:2.3	1:2.5	1:2.75

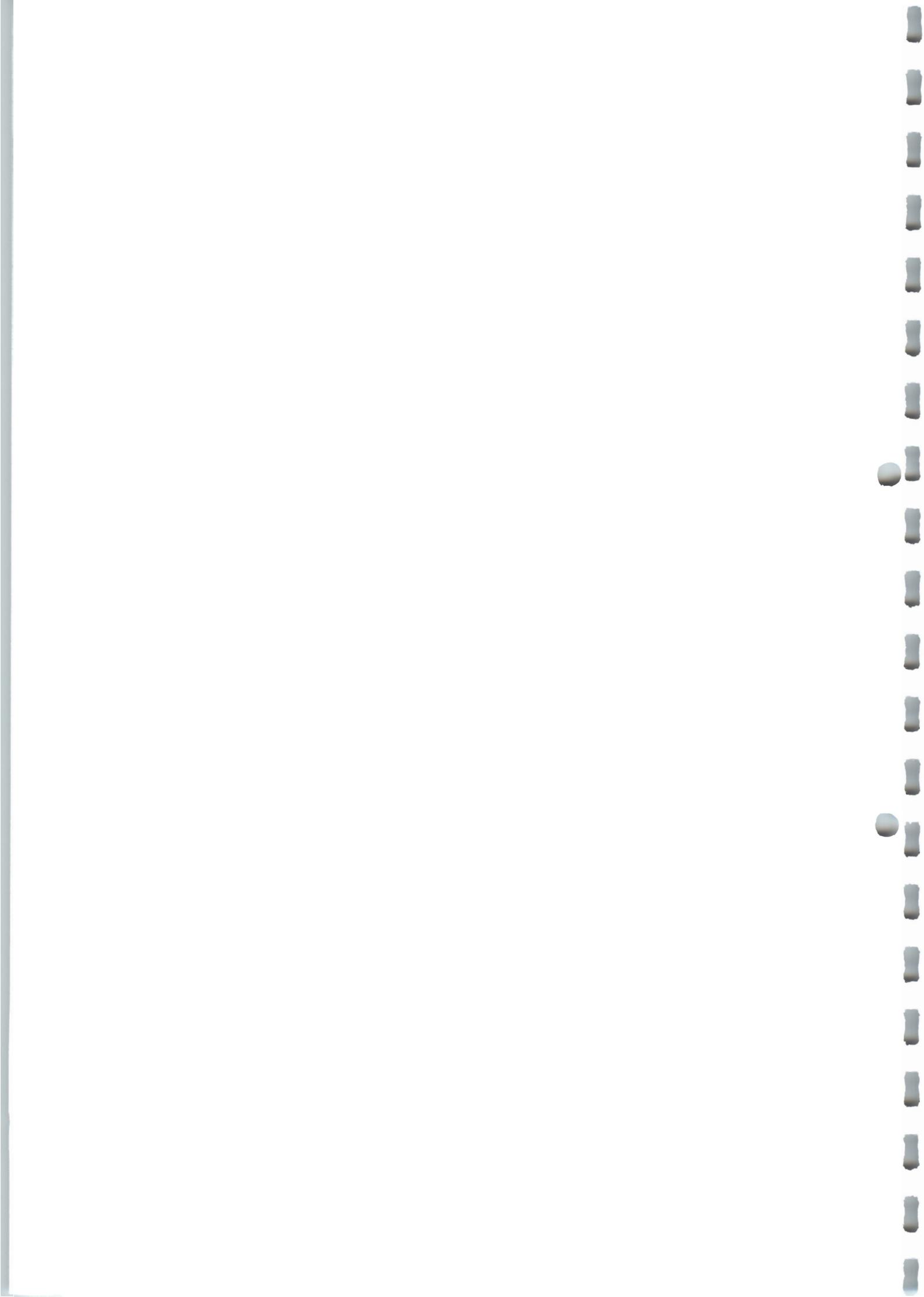
Zeit [min]

3	7,40	7,60	8,00	9,00	10,20	10,20	10,80	10,20	10,20
6	10,60	10,80	11,40	13,00	14,80	14,40	15,00	14,60	14,40
7,5	11,60	12,00	13,00	15,00	16,20	16,20	17,00	16,00	16,20
9	12,80	13,20	14,20	16,60	18,00	17,80	19,00	17,60	18,00
12	14,80	15,20	16,60	19,00	20,60	20,40	22,00	20,20	20,80
15	16,60	17,20	18,60	21,40	23,00	23,00	24,60	22,80	23,40
18	18,20	19,00	20,40	23,40	26,00	25,60	27,60	25,00	25,80
21	19,80	20,60	22,20	26,00	27,80	27,80	30,00	27,20	27,30
24	21,00	22,00	24,00	28,00	29,80	29,00	32,00	28,20	29,40
27	22,40	23,60	26,00	29,40	31,80	31,20	34,20	31,00	31,80
30	23,80	25,00	27,40	31,00	33,40	33,00	36,00	33,00	33,40
33	25,00	26,60	29,00	34,00	35,00	34,80	39,80	34,40	35,00
36	26,00	28,00	30,20	35,00	37,00	36,00	40,80	36,00	36,80
39	27,00	29,00	31,40	35,80	38,20	37,40	41,80	37,40	38,40
42	28,20	30,00	32,80	37,00	39,80	38,80	43,80	38,80	39,80
45	29,20	31,20	34,00	38,00	41,20	40,00	44,80	40,20	41,20
48	30,20	32,20	35,00	39,40	42,60	41,20	46,40	41,60	42,80
51	31,20	33,20	36,50	40,40	44,00	42,60	47,80	42,80	43,00
54	32,20	34,20	37,40	42,00	45,40	44,00	49,20	44,00	45,00
57	33,20	35,40	38,80	43,00	46,80	45,20	51,20	45,20	46,40
60	34,20	36,20	39,40	44,20	47,00	46,20	52,60	46,20	47,60

Filterat	leicht orange-gelblich	leicht orange-gelblich	leicht orange-gelblich	leicht orange-gelblich	orange-braun	leicht orange-gelblich	leicht orange-gelblich	orange-braun
pH-Wert Filtrat	8,50	8,50	8,50	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Höhe Filterkuchen (cm)	0,30	0,40	0,40	0,50	0,30	0,40	0,40	0,30

Max. Filtratwassermenge (ml)	34,20	36,20	38,40	44,20	47,00	46,20	52,60	46,20	47,60
Menge Filterhilfe (g)	0	6	12	22	24	26	28	30	33





Optimierung Filterhilfsmengen: Müllverbrennungsasche

Anhang 1.5.2

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Filterhilfe: Müllverbrennungsasche MVA
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe Menge	ohne	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA	MVA
Filterhilfe (g)		6	12	15	18	24	30	36
Bentonit: Filterhilfe		1:0.5	1:1	1:1.25	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3

Zeit [min]

3	7,40	14,80	17,00	19,00	20,20	27,00	25,00	26,00
6	10,60	22,00	25,00	28,60	30,00	38,00	35,80	36,00
7,5	11,60	24,60	28,80	31,60	33,40	43,00	40,40	42,00
9	12,80	27,00	31,60	34,80	37,00	47,80	52,00	46,40
12	14,80	32,00	37,00	40,80	43,40	56,60	59,20	54,60
15	16,60	36,20	41,80	46,00	49,00	64,00	65,60	62,00
18	18,20	41,20	46,20	51,00	54,80	70,20	71,80	69,00
21	19,80	43,40	51,00	55,60	59,60	76,80	77,20	75,00
24	21,00	47,20	54,60	59,80	63,80	82,80	82,60	81,20
27	22,40	51,60	58,40	64,00	68,20	88,00	87,20	86,80
30	23,80	54,20	61,60	67,60	72,00	93,00	92,20	92,20
33	25,00	57,20	65,20	71,60	76,60	98,60	101,80	97,00
36	26,00	60,00	68,40	75,00	80,60	103,00	105,60	102,40
39	27,00	62,40	71,40	79,00	84,00	108,00	108,00	109,20
42	28,20	65,20	74,80	82,60	87,80	112,40		
45	29,20	67,40	78,00	85,40	90,80	116,80		
48	30,20	70,00	80,60	88,40	94,00	121,00		
51	31,20	72,40	83,60	91,60	97,40	126,00		
54	32,20	75,00	86,20	94,60	101,00	132,80		
57	33,20	77,40	89,60	97,40	103,80			
60	34,20	79,80	91,20	101,00	107,00			

Bemerkungen

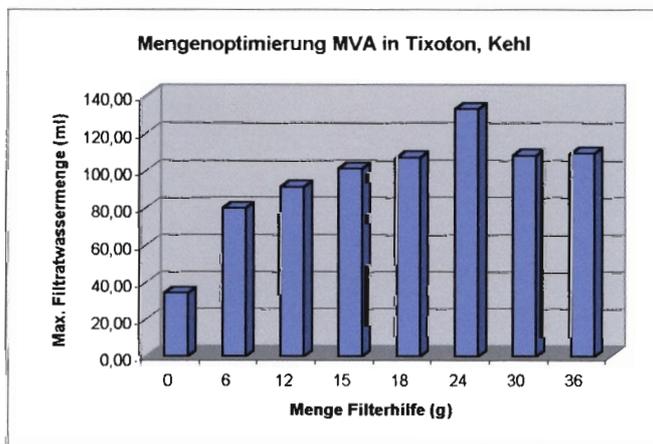
Filter dicht nach 56 min. Filter dicht nach 39 min. Filter dicht nach 40 min.

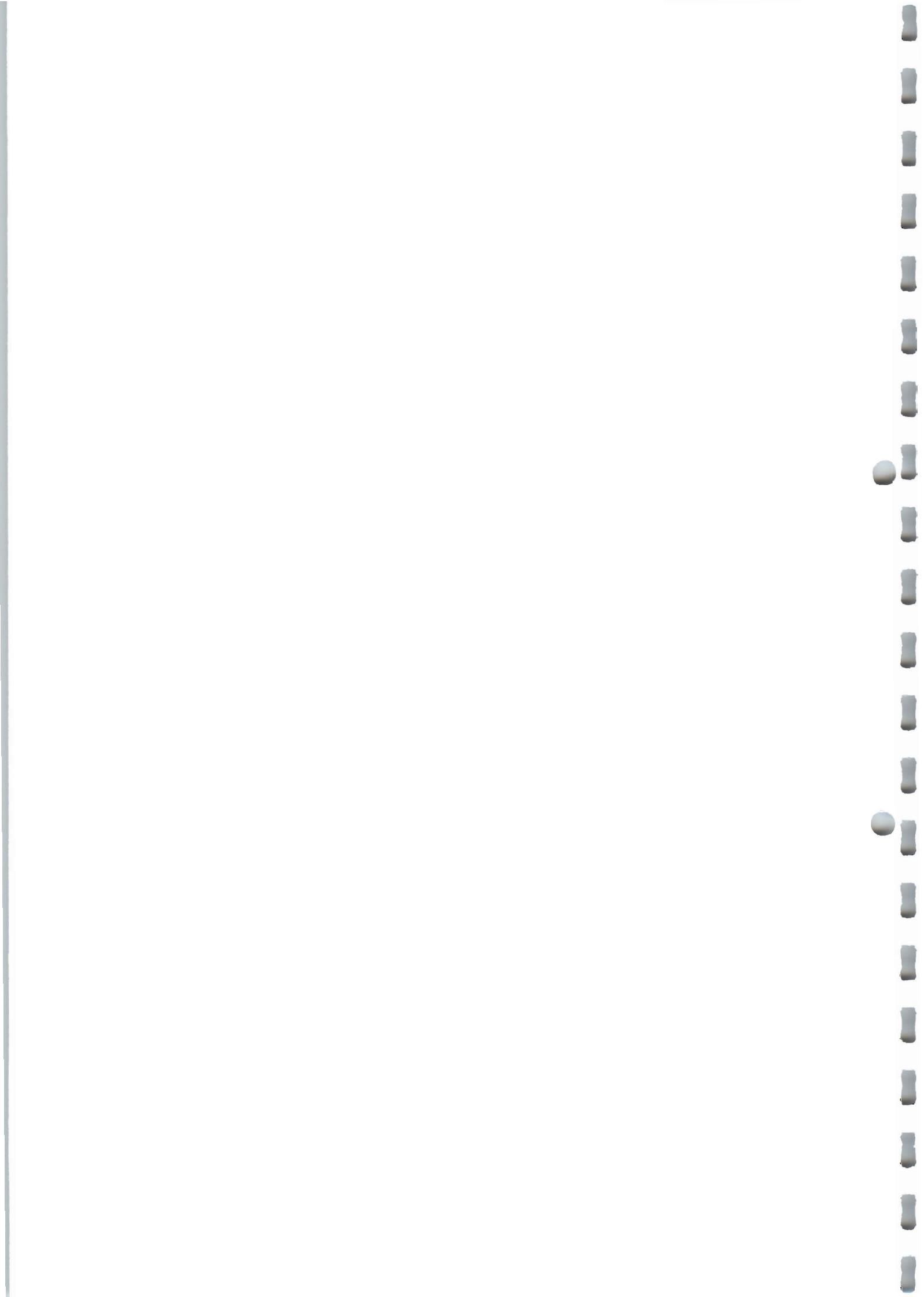
Filtrat pH-Wert
 Filtrat Höhe
 Filterkuchen (cm)

klar							
7,00	7,00	7,00	7,00	8,00	7,00	7,00	7,00
0,70	0,70	0,70	0,70	0,80	1,00	0,90	

Filtratwasser, max. (ml)
 Menge Filterhilfe (g)

34,20	79,80	91,20	101,00	107,00	132,80	108,00	109,20
0	6	12	15	18	24	30	36





Optimierung Filterhilfsmengen: Bimswaschschlamm

Anhang 1.5.3

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Filterhilfe: Bimswaschschlamm
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe	ohne	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm, Wiederholungsmessung	Bimswaschschlamm	Bimswaschschlamm, Wiederholungsmessung
Menge Filterhilfe (g)		6	12	24	30	33	33	36	36
Bentonit: Filterhilfe		1:0.5	1:1	1:2	1:2.5	1:2.75	1:2.75	1:3	1:3

Zeit (min)

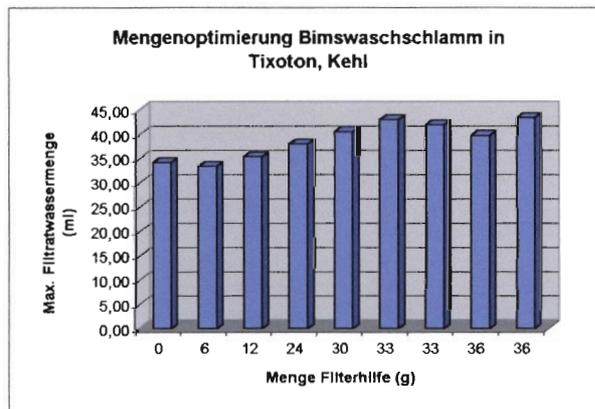
3	7,40	6,60	7,00	7,40	8,60	9,20	8,60	9,00	9,80
6	10,60	9,80	10,00	11,00	12,20	13,00	12,60	12,20	13,60
7,5	11,60	11,00	11,40	12,40	13,80	14,40	13,60	13,80	15,20
9	12,80	12,00	12,60	13,60	15,00	16,00	15,00	15,00	16,60
12	14,80	14,00	14,80	15,80	17,60	20,40	17,60	17,60	19,20
15	16,60	15,80	16,60	18,00	19,80	18,40	19,80	19,80	21,80
18	18,20	17,40	18,20	19,80	21,80	22,80	22,00	21,60	25,00
21	19,80	18,80	20,00	21,60	23,40	24,80	24,00	23,40	26,60
24	21,00	20,40	21,40	23,40	26,20	27,00	26,00	26,00	27,40
27	22,40	22,00	23,40	25,00	27,60	29,00	27,80	27,00	29,80
30	23,80	23,00	24,40	26,60	29,00	30,20	29,40	29,00	31,20
33	25,00	24,00	26,00	27,20	30,20	32,00	31,00	30,20	32,20
36	26,00	25,00	27,20	28,00	31,40	33,20	32,40	31,40	34,00
39	27,00	26,00	28,40	29,00	32,60	34,80	33,40	32,80	35,00
42	28,20	27,20	29,60	30,20	33,80	36,00	35,00	34,00	36,40
45	29,20	28,60	30,80	31,40	35,00	37,00	36,40	35,00	37,80
48	30,20	29,60	31,60	32,80	36,20	38,40	37,60	36,00	38,80
51	31,20	30,40	32,60	34,80	37,40	39,60	39,00	37,00	40,00
54	32,20	31,60	33,60	36,00	38,40	40,80	40,00	38,00	41,00
57	33,20	32,40	34,40	37,00	39,40	42,00	41,00	39,00	42,20
60	34,20	33,40	35,40	38,00	40,60	43,00	42,00	39,80	43,40

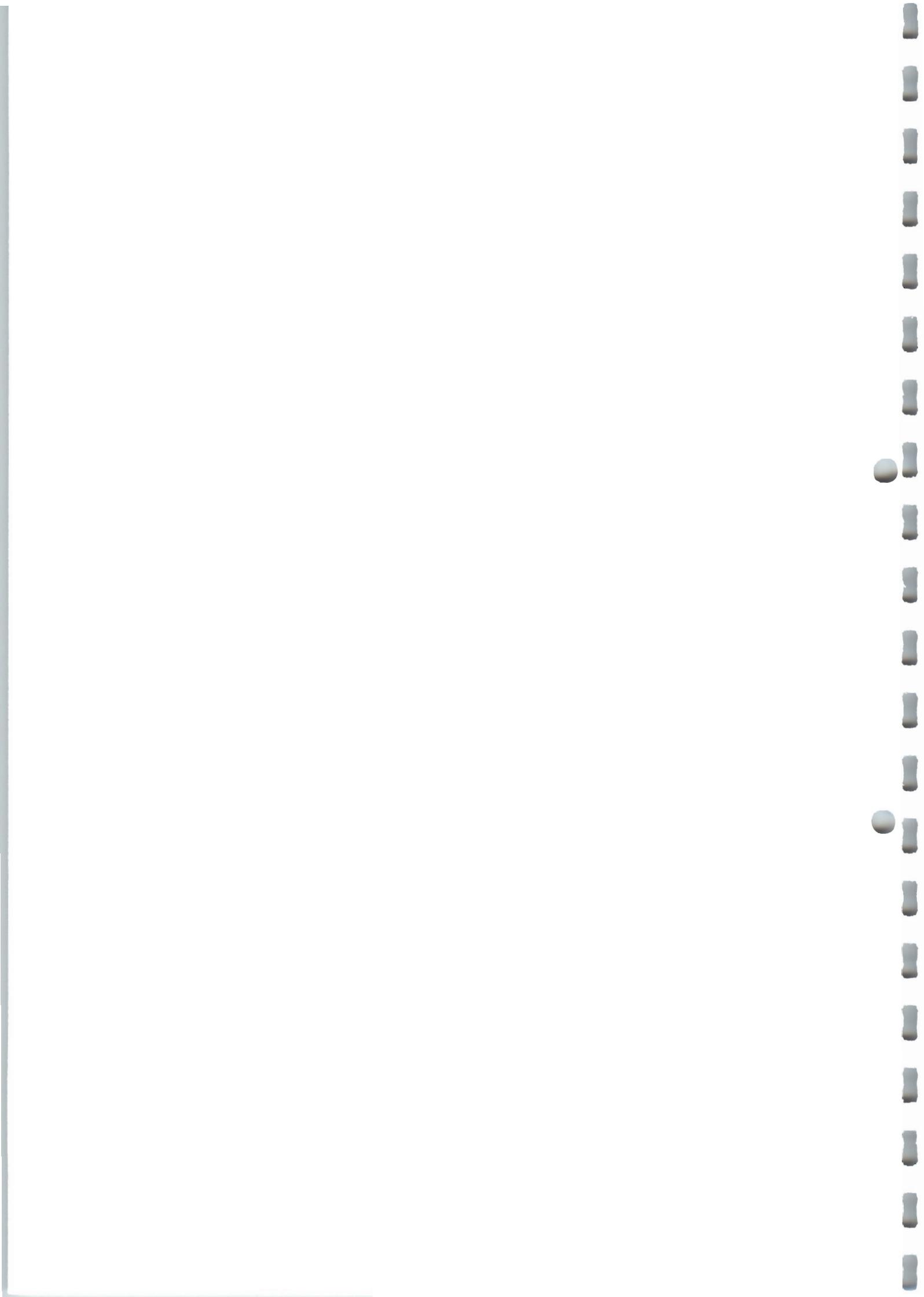
Filtrat pH-Wert
 Filtrat Höhe
 Filterkuchen (cm)

gelblich								
9,00	9,00	8,50	8,00	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00
0,20	0,20	0,40	0,40	0,20	0,70	0,20	0,40	0,40

Max. Filtratwassermenge (ml)
 Menge Filterhilfe (g)

34,20	33,40	35,40	38,00	40,60	43,00	42,00	39,80	43,40
0	6	12	24	30	33	33	36	36





Optimierung Filterhilfsmengen: Lava

Anhang 1.5.4

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Filterhilfe: Lava 2-5 mm
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

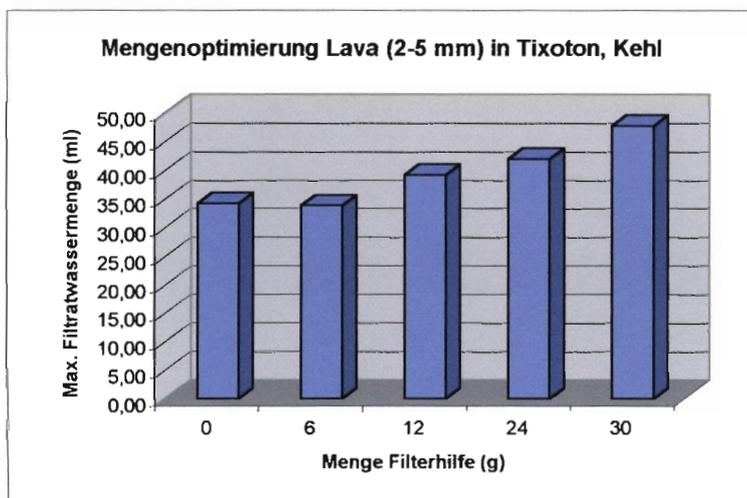
Filterhilfe Menge	ohne	Lava 2-5 mm	Lava 2-5 mm	Lava 2-5 mm	Lava 2-5 mm
Filterhilfe (g)		6	12	24	30
Bentonit: Filterhilfe		1:0.5	1:1	1:2	1:2.5

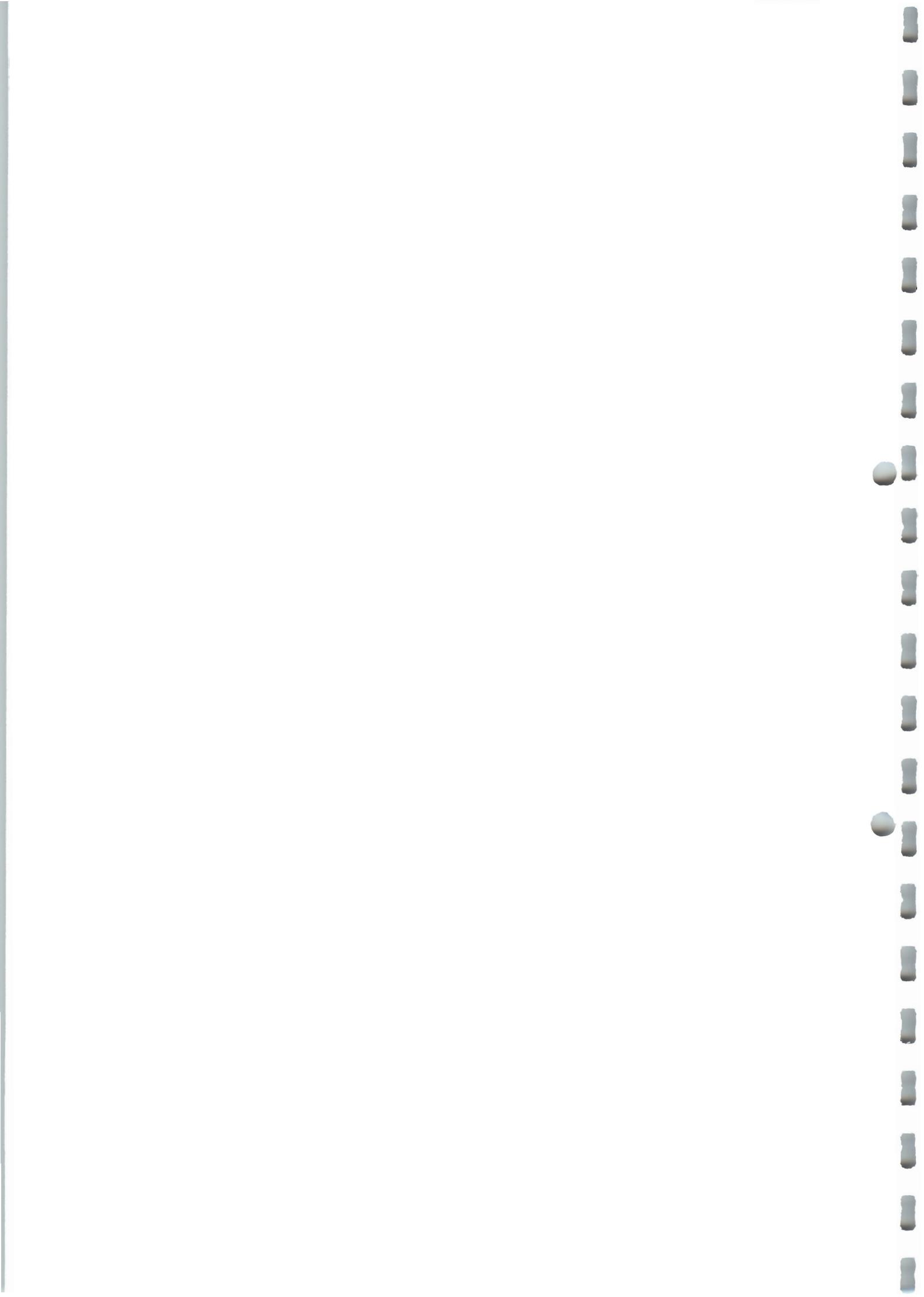
Zeit [min]

3	7,40	6,40	8,00	7,60	9,00
6	10,60	9,60	11,00	11,00	13,00
7,5	11,60	10,60	12,20	12,20	14,60
9	12,80	11,80	13,60	13,60	15,80
12	14,80	13,60	15,60	16,00	18,80
15	16,60	15,40	18,00	18,40	21,40
18	18,20	17,00	19,60	20,40	23,80
21	19,80	18,60	21,20	22,20	26,00
24	21,00	20,00	23,00	24,00	28,40
27	22,40	21,40	24,60	26,20	30,20
30	23,80	22,80	26,20	28,00	32,00
33	25,00	24,60	28,00	29,20	34,40
36	26,00	26,00	29,00	30,80	36,00
39	27,00	27,00	30,20	32,20	37,80
42	28,20	28,00	32,00	34,00	39,20
45	29,20	29,00	33,40	35,40	41,00
48	30,20	30,00	34,60	36,80	42,40
51	31,20	31,00	35,80	37,80	43,80
54	32,20	31,80	36,00	38,80	45,00
57	33,20	32,80	38,20	40,60	46,60
60	34,20	33,80	39,20	42,00	47,80

Filtrat	klar	klar	klar	klar
pH-Wert Filtrat	9,00	9,00	9,00	9,00
Höhe Filterkuchen (cm)	0,20	0,20	0,50	0,50

Max. Filtratwassermenge (ml)	34,20	33,80	39,20	42,00	47,80
Menge Filterhilfe (g)	0	6	12	24	30





Optimierung Filterhilfsmengen: Perlitstaub

Anhang 1.5.5

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Filterhilfe: Perlitstaub
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe Menge	ohne	Perlitstaub						
Filterhilfe (g)		6	12	18	20	24	26	30
Bentonit: Filterhilfe		1:0.5	1:1	1:1.5	1:1.7	1:2	1:2.2	1:2.5

Zeit [min]

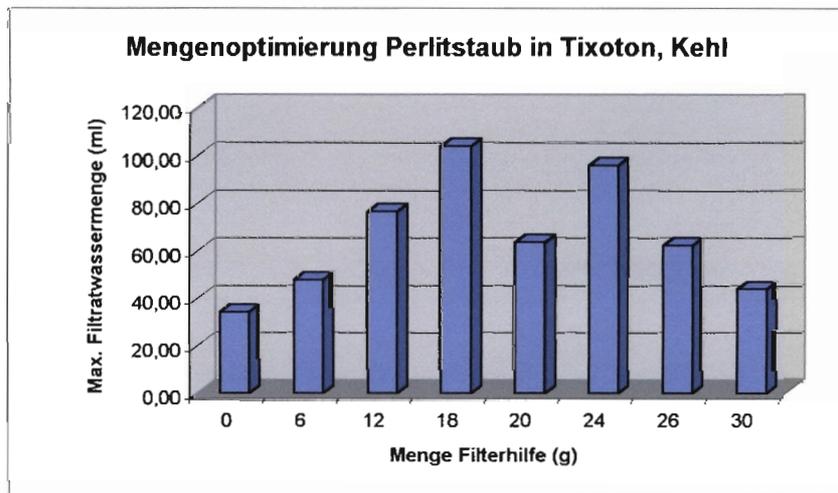
3	7,40	10,00	17,00	20,00	31,00	33,00	31,20	40,00
6	10,60	14,40	24,00	30,00	48,20	47,00	48,00	44,00
7.5	11,60	17,80	27,00	34,00	53,60	52,80	53,60	
9	12,80	20,80	29,60	37,20	60,00	58,00	60,80	
12	14,80	23,20	33,60	43,20	63,80	66,80	62,40	
15	16,60	26,00	37,00	48,60		75,00		
18	18,20	28,20	41,00	53,80		82,00		
21	19,80	30,00	44,40	59,60		96,00		
24	21,00	32,00	47,80	62,80				
27	22,40	32,00	51,20	67,00				
30	23,80	33,60	54,00	71,00				
33	25,00	35,40	56,40	74,60				
36	26,00	37,00	59,00	78,80				
39	27,00	38,00	61,50	81,20				
42	28,20	40,00	64,00	85,20				
45	29,20	41,40	66,00	88,20				
48	30,20	42,80	68,20	91,60				
51	31,20	44,20	70,40	94,80				
54	32,20	45,40	72,80	97,80				
57	33,20	46,80	74,40	101,00				
60	34,20	48,00	76,60	104,00				

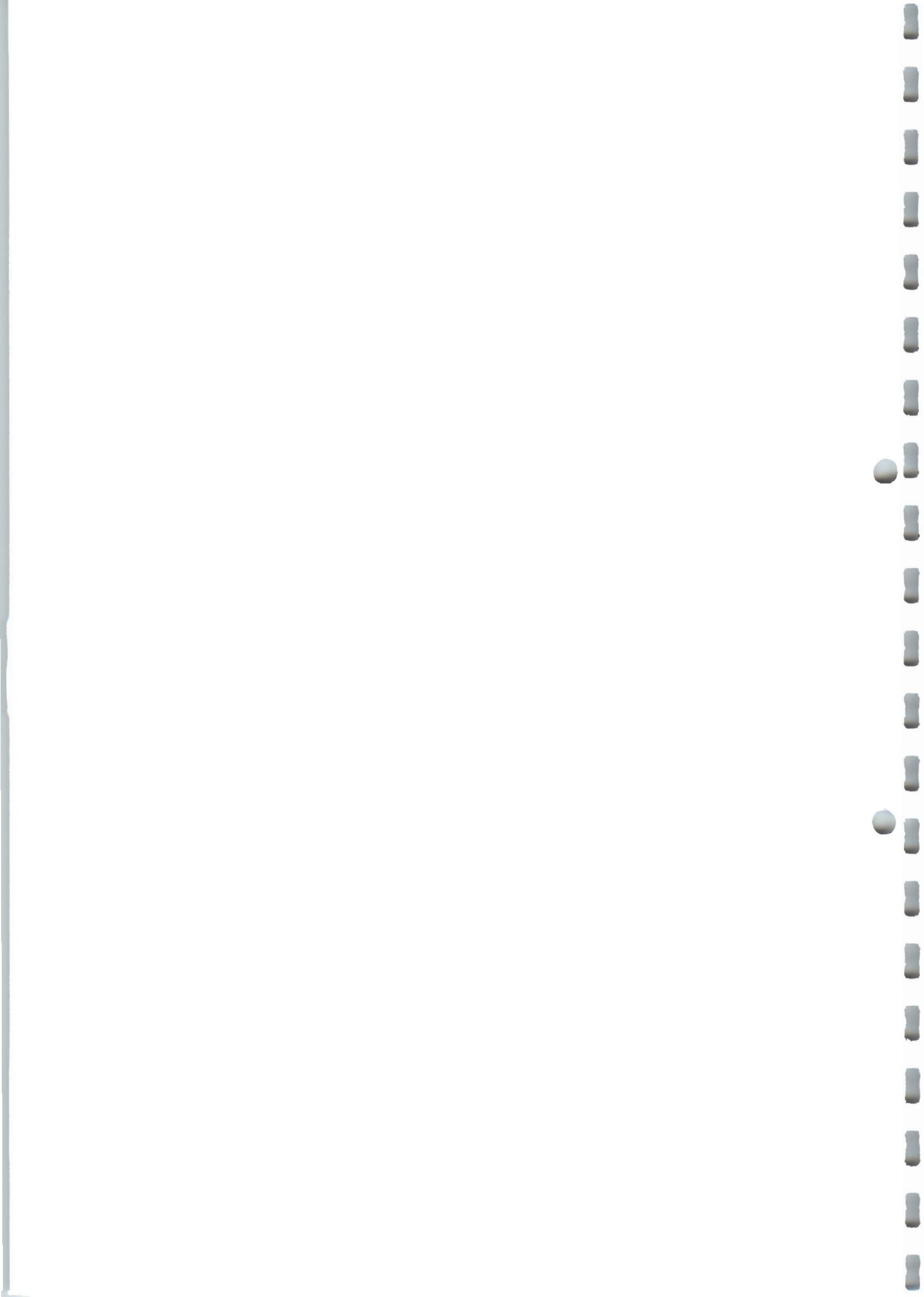
Bemerkungen

Filter dicht nach 61 min. Filter dicht nach 10 min. Filter dicht nach 20 min. Filter dicht nach 9 min. Filter dicht nach 3 min.

Filterat pH-Wert	9,00	9,00	9,00	9,00	8,00	7,50	9,00
Filterat Höhe (cm)	1,10	1,20	2,00	2,00	2,20	2,20	3,50

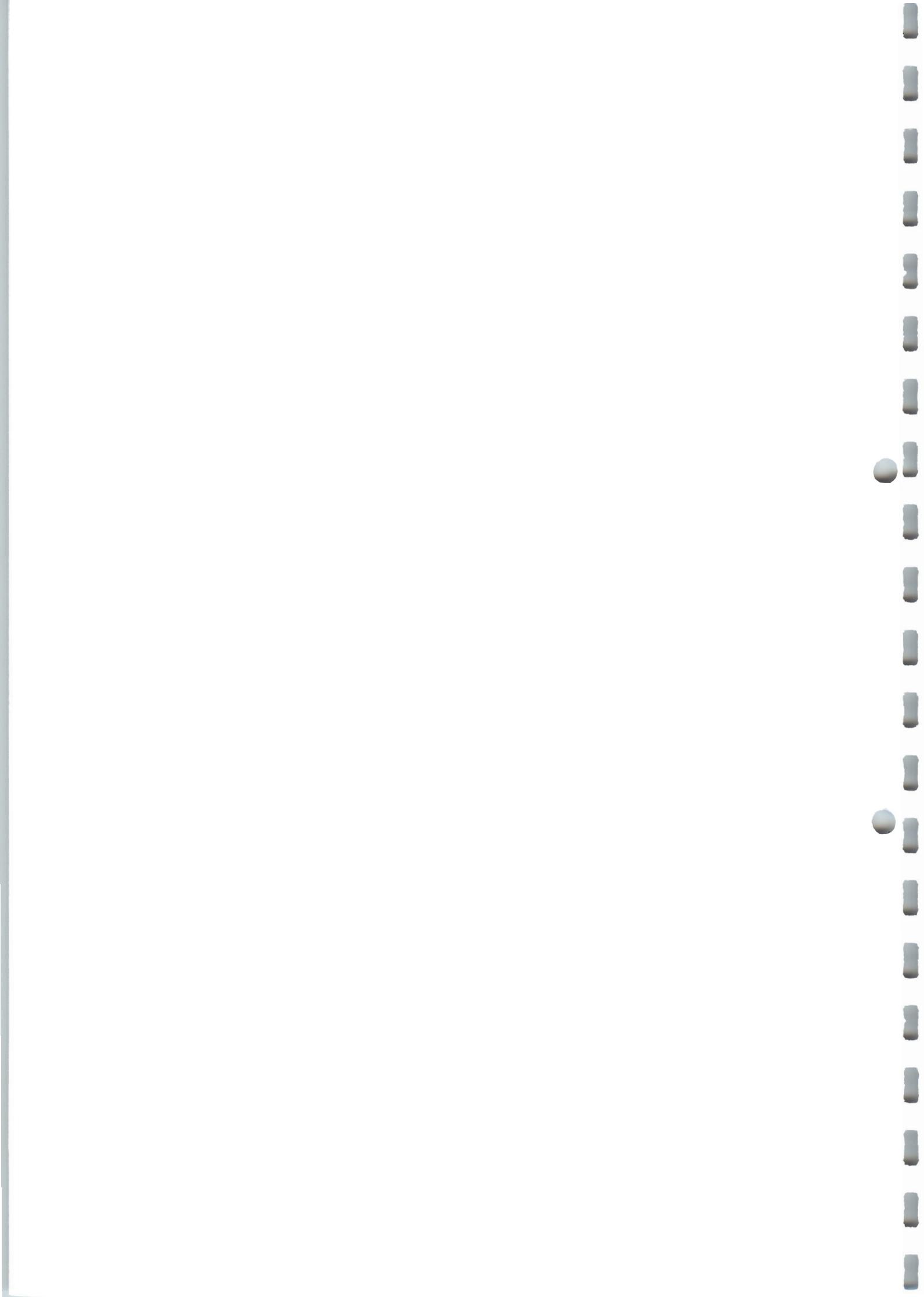
Max. Filtratwassermenge (ml)	34,20	48,00	76,60	104,00	63,80	96,00	62,40	44,00
Menge Filterhilfe (g)	0	6	12	18	20	24	26	30





Anhang 1.6

Reihenuntersuchungen



Reihenuntersuchung: Tixoton-Suspension mit einzelnen Filterhilfen

Anhang 1.6.1

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe	ohne	Zellulose	Walz-zunder	Mineral-faserreste	Quarzsand 0-0,125 mm	SFA Rapid	Molsieb	feine Gur	grobe Gur	Tremogur	Kieselgur Eichbaum	Lava 2-5mm	Perlitstaub	Feinperlit	MVA	MVA	Liaporsand 0-1 mm	Liaporsand 0-2 mm	Kieselgur Weide 14.02.01	Kieselgur Eichbaum	Kieselgur Eichbaum	Ziegelmehl
Menge Filterhilfe (g)	0	0,5	6	6	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	24	24	24	24	24	24

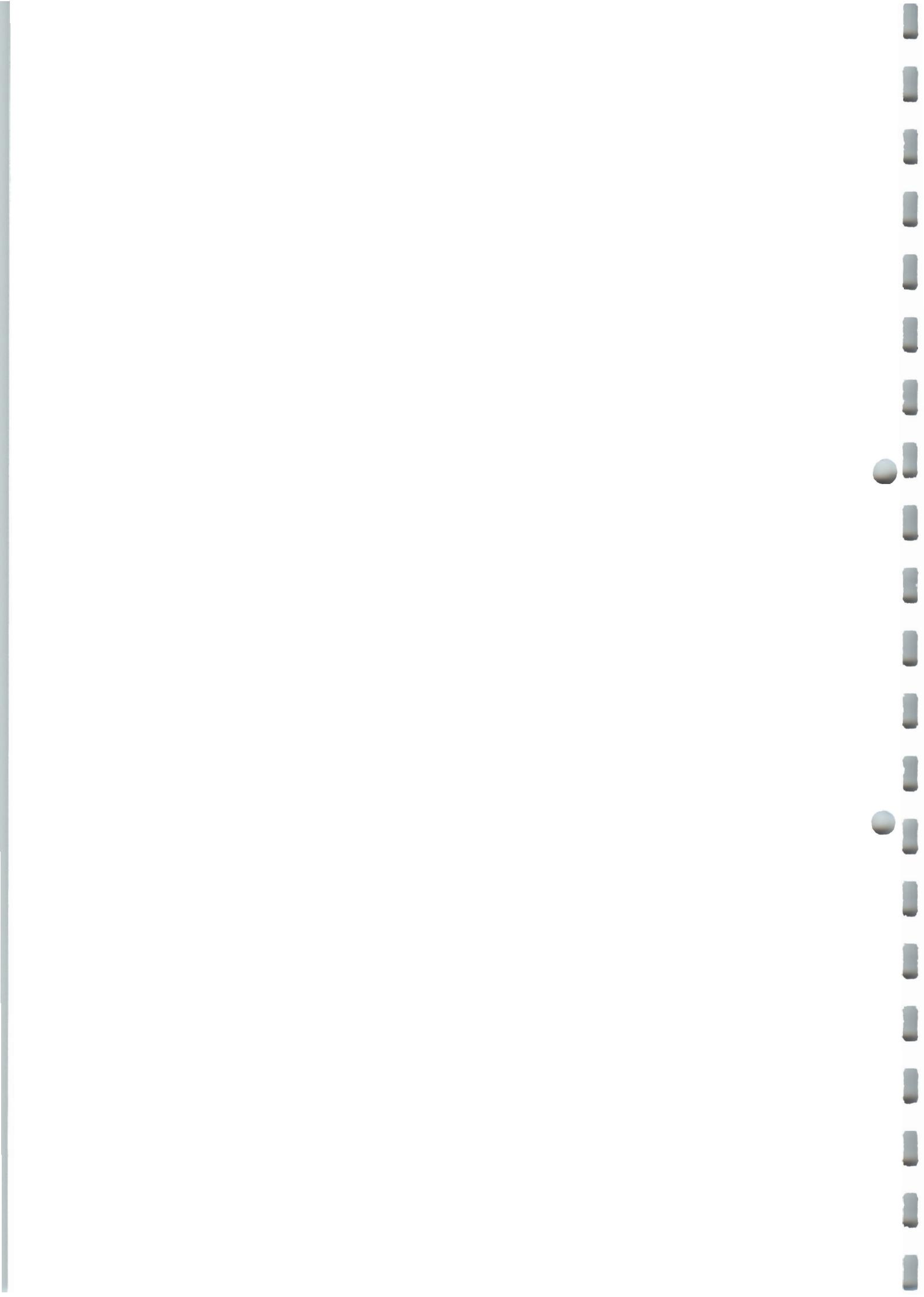
Zeit [min]

3	7,40	8,20	9,60	7,40	6,80	14,00	7,80	10,40	11,00	11,20	8,00	8,60	19,60	16,00	17,60	19,20	9,00	11,20	10,00	8,20	8,80	6,40
6	10,60	11,40	13,60	10,60	9,60	22,80	12,00	16,40	16,20	16,40	11,20	12,20	29,20	23,20	26,60	28,80	14,40	17,00	14,40	12,20	13,20	10,00
7,5	11,60	12,60	15,20	12,00	11,00	26,20	13,80	18,60	18,60	18,80	12,60	13,60	31,40	26,60	29,80	32,40	16,60	19,00	16,20	14,00	14,60	12,80
9	12,80	13,80	16,80	13,20	12,00	31,00	15,40	20,60	20,40	20,60	13,80	15,00	34,60	29,20	33,60	36,60	18,80	21,00	18,40	15,00	16,20	14,60
12	14,80	16,40	19,40	15,20	14,00	35,20	18,00	24,00	23,80	25,00	16,00	17,60	40,20	31,00	39,20	42,00	22,80	24,80	21,40	17,40	19,00	18,00
15	16,60	18,00	21,60	17,20	15,80	41,00	21,00	27,40	27,00	27,20	17,80	20,00	45,80	39,00	44,60	47,40	26,20	29,80	24,40	19,60	21,00	20,80
18	18,20	19,60	23,80	19,00	17,60	46,80	23,60	30,20	29,20	30,00	19,60	22,20	49,40	42,00	49,40	53,00	29,80	31,00	27,80	21,40	23,20	23,20
21	19,80	21,20	26,00	20,40	19,00	52,60	26,60	33,00	32,20	32,40	21,20	24,20	53,40	45,80	54,40	57,80	32,80	33,80	29,00	23,20	25,80	27,00
24	21,00	22,80	27,60	21,60	20,40	57,40	28,00	35,40	34,80	34,80	22,60	26,40	57,20	49,00	58,60	62,20	35,40	36,00	31,20	24,80	27,20	29,20
27	22,40	24,80	29,60	23,40	21,80	61,60	30,00	37,20	36,40	38,00	24,00	28,00	60,40	52,00	62,80	66,40	38,20	38,80	33,80	27,20	29,80	31,40
30	23,80	26,00	31,20	24,60	23,00	66,20	32,00	40,00	39,00	39,40	25,80	30,00	64,00	55,00	66,20	70,40	40,80	41,00	36,80	28,60	30,80	33,40
33	25,00	27,00	33,00	26,40		70,20	34,00	43,00	42,00	41,40	26,00	31,80	67,00	58,00	70,40	75,00	42,8	43,00	38,20	29,80	32,20	35,80
36	26,00	28,20	34,80	28,00		74,60	36,00	46,80	45,00	43,40	28,00	33,20	70,00	60,80	73,20	78,00	45,40	45,20	40,20	31,00	33,80	37,20
39	27,00	29,60	36,40	29,20		79,00	37,00	49,80	47,40	45,00	29,00	34,80	72,60	63,00	76,80	81,80	47,80	47,00	42,80	32,40	35,00	39,40
42	28,20	30,60	38,00	30,60		82,20	38,80	52,80	49,00	47,00	30,20	36,20	76,00	65,80	80,20	85,00	50,00	49,00	44,80	33,60	36,20	40,80
45	29,20	31,60	39,40	31,60		85,80	40,20	55,40	52,20	48,80	31,20	37,60	78,60	68,00	83,60	88,20	52,80	51,20	47,40	34,80	37,20	42,80
48	30,20	32,60	40,80	32,60		89,60	41,80	58,00	54,40	51,00	32,20	39,00	81,00	70,20	86,20	91,40	54,60	53,20	48,80	35,80	39,00	43,20
51	31,20	33,80	42,00	33,80		91,80	43,00	60,00	56,00	52,80	33,20	40,40	83,60	72,60	89,40	94,80	56,80	55,20	50,20	37,20	40,20	44,80
54	32,20	34,60	43,20	34,80		94,20	44,80	62,40	58,00	54,20	34,40	42,00	86,00	74,80	92,40	97,80	58,60	57,20	52,80	38,20	41,40	47,20
57	33,20	35,80	44,60	35,80		94,80	46,00	64,80	60,00	55,60	35,20	43,20	88,40	77,20	95,20	101,00	60,60	59,00	55,20	39,20	42,60	48,80
60	34,20	36,80	46,80	37,00			47,40	67,20	62,00	57,40	36,20	44,40	90,80	79,40	97,80	103,80	62,60	60,80	56,00	40,40	43,80	51,00
75	38,20	40,60					55,20			65,40	40,40			85,20	111,20	117,60	72,00	69,20		45,00	49,00	

Bemerkungen

Druckprofil: 30 min. 5 bar + 30 min. 8 bar Druckprofil: 30 min. 5 bar + 30 min. 8 bar Filter dicht nach 30 min. Filter dicht nach 57 min. Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 30 min. 5 bar Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 30 min. 5 bar Filter dicht nach 66 min.: 99 ml 3 Min. Standzeit vor Druckbeaufschlagung Messung 11.12.00 Messung 12.12.00

Filtrat	klar	schwach gelblich	schwach getrübt	klar	klar	klar	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	rosa-braun	klar	nicht bestimmt	nicht bestimmt	klar	klar	schwach gelblich	schwach gelblich	rosa	rosa-braun	rosa-braun	schwach gelblich
pH-Wert	9,66	9,00	9,00	9,00	nicht bestimmt	11,00	10,00	8,50	9,00	8,00	9,00	9,00	nicht bestimmt	nicht bestimmt	8,00	7,50	8,50	nicht bestimmt	8,00	8,00	8,50	9,00
Höhe Filterkuchen (cm)	nicht bestimmt	0,2-0,5	0,4	0,4	nicht bestimmt	0,2	0,7	1,5	0,8	0,8	nicht bestimmt	0,2	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,8	nicht bestimmt	0,5	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,5



Reihenuntersuchung: Tixoton-Suspension mit Filterhilfsmischungen

Anhang 1.6.2

Bentonitsuspension: Tixoton, Kehl, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfen	ohne	Liaporsand/ Rotopor	Zellulose/ Perlitstaub	Liaporsand/ Kieselgur Eichbaum	Tremogur/ Perlitstaub	MVA/Perlitstaub	Perlitstaub/ Kieselgur Eichbaum	Lava 0-2 mm/ Perlitstaub	Lava 0-2 mm/ Feinperlit	Lava 0-2 mm/ MVA	Liaporsand 0-2 mm/ Perlitstaub	Lava 0-2 mm/ Kieselgur Eichbaum	Liaporsand/ Kieselgur Eichbaum/MVA	Perlitstaub/ MVA/ Kieselgur Welde 14.2.01
Menge Filterhilfen (g)	0	3/3	1/11	6/12	12/6	12/12	12/24	24/12	24/12	24/12	24/12	24/12	6/12/6	6/6/24

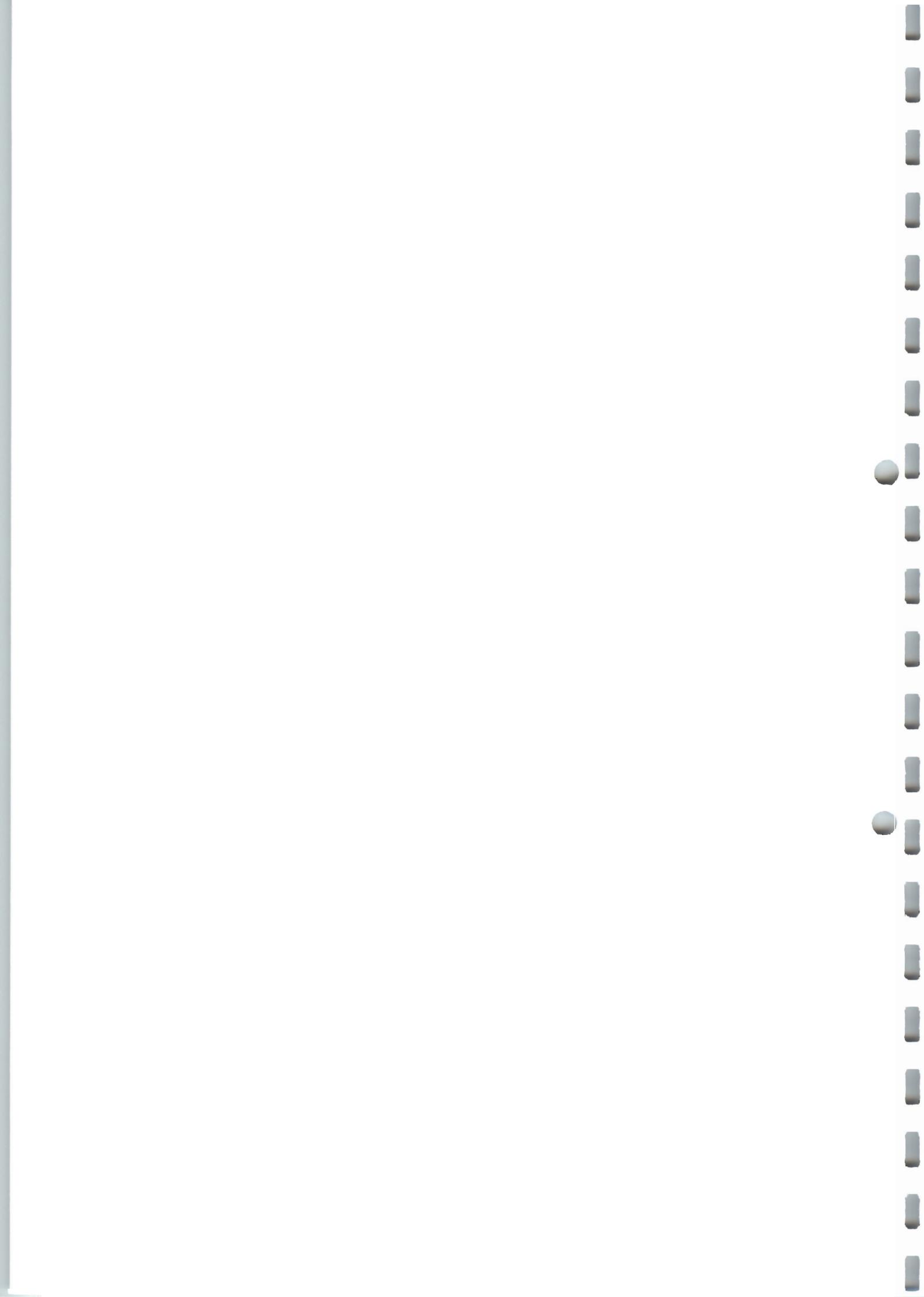
Zeit [min]

3	7,40	8,20	15,80	7,40	14,60	29,80	16,20	20,60	14,00	18,20	33,80	7,80	25,00	40,00
6	10,60	12,00	25,50	10,40	20,80	72,80	25,80	31,80	22,00	28,20	49,60	11,60	36,60	71,00
7,5	11,60	13,60	27,60	12,00	23,40		29,00	36,20	26,00	31,60	56,80	13,00	40,60	90,00
9	12,80	15,00	27,60	13,60	26,00		32,40	40,40	29,00	35,40	61,40	14,40	45,20	119,60
12	14,80	17,40	32,40	16,00	30,40		38,40	46,80	34,60	42,00	75,00	17,20	53,20	127,60
15	16,60	19,80	36,20	18,00	33,80		43,80	53,20	39,60	47,80		19,40	60,00	
18	18,20	21,80	39,80	20,00	37,00		48,42	58,40	44,20	53,60		21,40	66,20	
21	19,80	23,80	43,20	22,00	40,00		53,00	63,80	48,20	58,80		23,40	72,00	
24	21,00	26,00	46,20	23,80	42,80		57,80	68,40	52,20	63,80		25,80	78,20	
27	22,40	27,20	49,00	25,50	45,40		61,60	73,00	56,20	68,40		28,00	83,00	
30	23,80	31,00	52,40	27,00	48,00		63,8	77,20	60,20	72,80		29,20	88,00	
33	25,00		57,00	28,00	53,00		66,80	82,00	64,40	77,00		30,80	92,80	
36	26,00		60,20	29,80	56,60		70,20	84,80	69,00	81,40		32,40	97,80	
39	27,00		63,60	31,60	59,80		73,00	88,80	72,80	85,40		33,80	102,00	
42	28,20		66,60	32,80	63,00		76,00	92,00	77,20	89,40		35,20	106,20	
45	29,20		69,40	34,00	65,80		79,00		81,20	93,00		36,80	110,00	
48	30,20		72,60	35,00	69,80		81,80		83,40	97,00		38,20	114,00	
51	31,20		76,00	36,00	73,20		84,20		88,00	101,00		39,60	118,00	
54	32,20		78,00	37,20	77,00		86,80		91,20	104,20		41,00	120,60	
57	33,20		80,60	38,60	79,60		89,40		95,20	107,40		42,20	124,60	
60	34,20		83,00	39,60	82,60		92,00			106,00		43,60	128,40	
75	38,20		94,00		95,60		103,40					50,00		

Bemerkungen

nach 31 min. abgebrochen Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 45 min. 5 bar Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 45 min. 5 bar Filter dicht nach 15 min.: 83,8 ml Filter dicht nach 41 min. Filter dicht nach 55 min. Filter dicht nach 11 min. Filter dicht nach 70 min.: 139,8 ml Filter dicht nach 14 min.

Filtrat	klar	klar	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	klar	rosa-braun	klar	klar	klar	klar	rosa-braun	klar (schäumend)	schwach getrübt
pH-Wert Filtrat	9,66	9,00	9,00	7,00	8,00	7,00	8,50	9,00	9,00	8,00	8,00	8,50	7,00	7,00
Höhe Filterkuchen (cm)	nicht bestimmt	nicht bestimmt	1,2	nicht bestimmt	1,2	nicht bestimmt	1,5	1,2	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,3	0,5	1,8



Reihenuntersuchung: Dywonit-Suspension mit einzelnen Filterhilfen und NaCl

Anhang 1.6.3

Bentonitsuspension: Dywonit S, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

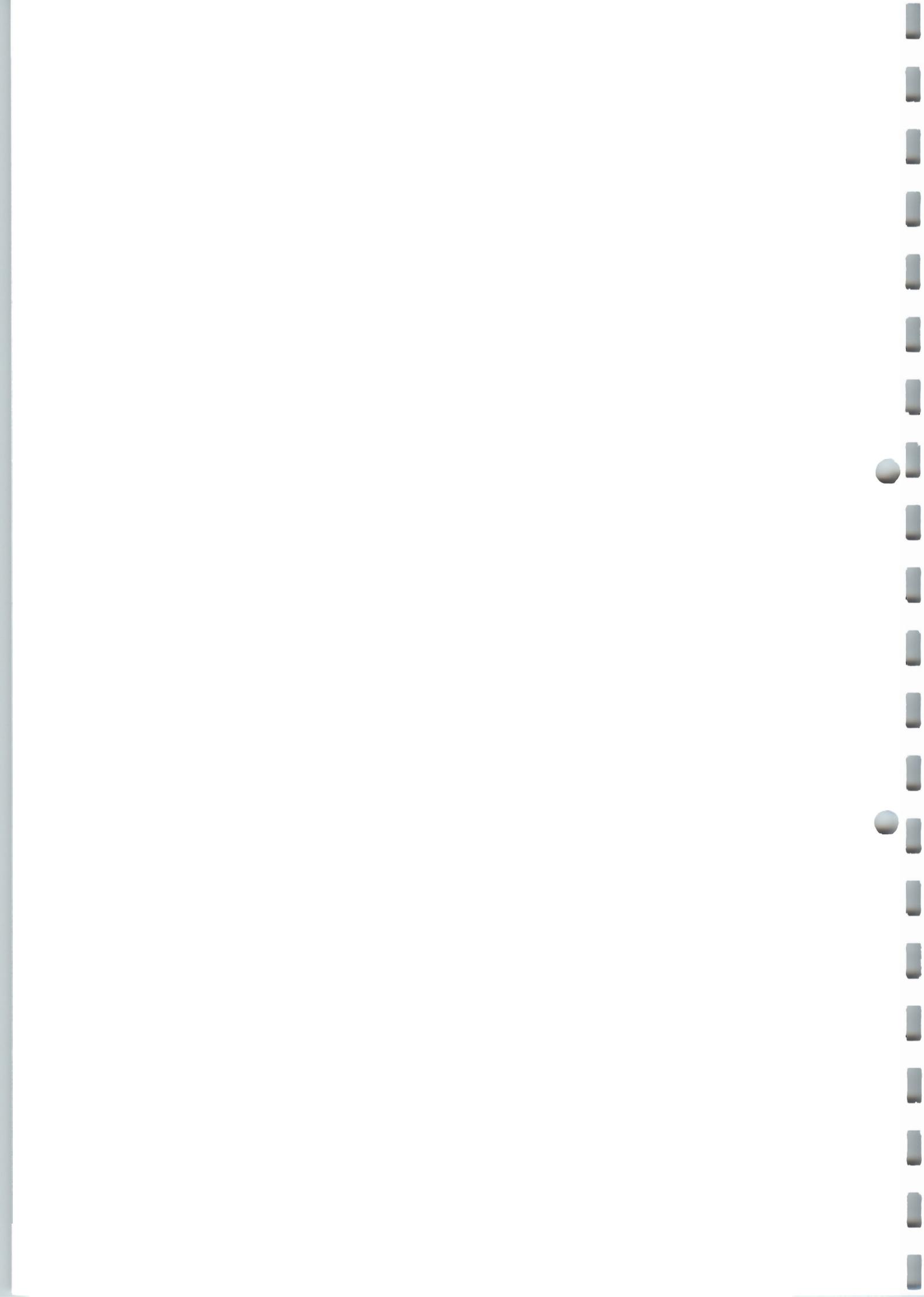
Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe	ohne	NaCl	Aktivkohle CC8	Bimswasch-schlamm	Rotopor 0-0,5 mm	Perlitstaub	Mosieib	Tremogur	Kieselgur Eichbaum	MVA	Lava 2-5 mm	Lava 2-5 mm	grobe Gur	feine Gur	Tremogur	Waschbirns	Bimssand	Rotoperi 21	Perlitstaub	Blähton 2-5 mm	Liaporsand 0-2 mm	Ziegeimehl	SFA-Rapld	Kieselgur Eichbaum	Kieselgur Eichbaum
Menge Filterhilfe (g)	0	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Zeit (min)	ohne	NaCl	Aktivkohle CC8	Bimswasch-schlamm	Rotopor 0-0,5 mm	Perlitstaub	Mosieib	Tremogur	Kieselgur Eichbaum	MVA	Lava 2-5 mm	Lava 2-5 mm	grobe Gur	feine Gur	Tremogur	Waschbirns	Bimssand	Rotoperi 21	Perlitstaub	Blähton 2-5 mm	Liaporsand 0-2 mm	Ziegeimehl	SFA-Rapld	Kieselgur Eichbaum	Kieselgur Eichbaum
3	6,80	15,40	8,80	4,80	6,00	11,80	5,80	8,00	4,40	17,80	7,80	7,80	7,80	7,80	8,00	8,80	4,80	6,80	13,00	8,80	7,80	5,40	9,00	6,00	7,80
6	9,60	22,00	12,00	7,00	9,40	16,80	8,80	11,40	7,00	26,20	10,80	10,80	11,00	11,20	11,80	9,80	8,80	9,80	20,80	8,80	10,80	7,80	13,00	9,00	11,20
9	10,80	24,50	13,40	8,00	10,80	18,40	9,80	13,00	8,00	29,80	12,00	12,00	12,00	13,80	13,00	10,80	8,00	10,80	24,00	10,00	12,00	10,00	15,00	10,00	12,80
12	11,80	27,20	14,80	9,20	12,00	20,00	11,00	14,20	9,00	33,80	13,20	13,00	13,20	14,00	14,20	11,80	9,00	12,00	27,40	11,00	13,00	11,40	18,80	11,00	13,80
15	13,40	31,80	16,80	10,60	14,20	23,20	13,00	17,00	11,00	39,00	15,00	15,00	15,20	16,40	18,80	14,00	10,50	13,80	33,40	12,80	15,80	13,80	19,80	13,00	16,00
18	15,00	35,20	19,20	12,20	16,20	26,00	15,00	19,80	12,40	44,80	17,00	17,20	17,20	18,60	18,80	15,80	12,00	15,80	39,20	14,20	17,40	15,80	22,00	14,40	18,00
21	16,80	38,00	21,20	13,80	18,00	28,80	16,80	20,40	13,80	49,20	19,00	19,20	18,80	20,60	20,80	17,20	13,80	17,40	44,20	15,80	19,40	17,80	24,80	16,00	19,80
24	17,80	41,80	23,00	15,00	19,80	30,80	18,80	22,00	15,20	54,00	20,40	20,80	20,40	22,20	22,40	18,80	15,00	19,00	49,20	17,00	21,00	19,00	27,20	17,00	21,00
27	19,00	44,40	25,00	16,20	21,40	33,00	20,00	24,00	16,20	58,00	22,00	22,20	21,80	24,00	24,00	20,20	16,20	20,40	54,00	18,20	22,80	21,00	29,40	18,40	22,40
30	20,20	47,00	27,00	17,20	22,80	35,00	21,40	26,80	17,40	62,20	23,20	23,80	23,20	26,00	26,00	21,80	17,40	22,00	58,80	19,20	24,40	22,80	31,40	19,60	24,80
33	21,20	49,80	28,40	18,40	24,20	36,80	22,80	27,20	18,40	66,00	24,80	25,00	24,40	27,00	27,20	23,00	18,80	23,20	62,80	20,80	26,20	24,20	33,80	20,80	26,00
36	nicht bestimmt	52,60	30,00	19,40	25,80	38,80	24,00	28,60	19,40	70,00	26,20	27,20	27,20	29,40	29,60	24,40	19,80	24,40	66,80	21,80	27,80	25,20	35,40	21,80	27,20
39	nicht bestimmt	54,80	31,80	20,40	27,00	40,20	25,00	29,80	20,20	72,80	28,00	29,00	29,00	31,40	31,60	26,40	20,80	26,00	70,80	22,80	29,00	27,20	37,20	22,80	28,40
42	nicht bestimmt	56,80	32,80	21,40	28,20	42,00	27,00	31,60	21,20	76,40	28,30	30,20	30,20	32,80	33,00	27,40	21,80	27,00	74,20	23,80	30,40	28,80	39,00	23,40	29,60
45	26,40	60,80	35,80	23,20	30,80	45,00	29,20	33,80	23,80	82,00	31,20	32,80	33,00	36,00	36,40	29,80	24,00	29,40	81,00	26,00	32,80	31,00	42,40	24,80	31,80
48	63,00	36,80	nicht bestimmt	32,00	46,40	30,40	34,60	24,40	85,40	32,40	34,00	34,20	37,60	37,80	30,60	nicht bestimmt	30,80	84,00	27,00	34,00	32,00	44,00	26,80	32,80	
51	65,80	37,80	nicht bestimmt	33,20	47,80	31,40	35,80	25,40	88,40	33,40	35,00	35,40	39,00	39,20	31,80	nicht bestimmt	31,80	87,20	27,80	35,20	33,00	45,40	27,40	33,80	
54	67,20	39,20	nicht bestimmt	34,20	49,20	32,80	36,80	26,00	90,80	34,40	36,20	36,60	40,20	40,80	32,80	nicht bestimmt	32,80	90,20	28,40	36,40	34,00	46,40	28,00	34,80	
57	68,00	40,20	nicht bestimmt	35,40	51,00	33,80	37,80	26,80	93,80	35,40	37,60	38,00	41,80	42,20	33,80	nicht bestimmt	33,80	93,00	29,20	37,80	35,00	48,40	28,80	35,80	
60	70,80	41,40	28,00	36,40	52,20	34,60	38,80	27,80	96,40	36,60	38,60	38,80	42,80	43,20	34,80	28,60	36,90	95,80	30,00	38,80	36,00	49,80	29,80	36,80	
75	34,00	79,80			58,20	40,00	43,80	31,00	109,40				44,20	48,80	49,20	39,80		39,80	107,80	33,80	44,20		56,80	32,80	41,00

Bemerkungen: Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 45 min. 5 bar; Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 45 min. 5 bar; Druckprofil: 30 min. 2,5 bar + 45 min. 5 bar; Messung 11.12.00; Messung 12.12.00

Filtrat	klar	schwach gelblich	klar	schwach gelblich	klar	schwach grau	schwach gelblich	schwach gelblich	rosa-braun	klar	klar	klar	schwach gelblich	klar	rosa-braun	rosa-braun									
pH-Wert Filtrat	10,55	9,00	9,50	9,50	9,50	9,00	10,00	8,50	9,00	7,50	9,00	9,00	9,00	9,00	8,50	9,00	9,00	9,00	9,00	9,00	nicht bestimmt	10,00	8,50	8,50	
Höhe Filterkuchen (cm)	nicht bestimmt	0,6	0,3	0,2	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,5	0,5	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,2	0,2	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,4	0,2	nicht bestimmt	1,8	nicht bestimmt	0,4	0,5	0,2	0,2	nicht bestimmt



Reihenuntersuchung: Dywonit-Suspension mit Filterhilfsmischungen

Anhang 1.6.4

Bentonitsuspension: Dywonit S, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe	ohne	Zellulose/ Tremogur	Zellulose/ Perlitstaub	Tremogur/ Perlitstaub	Rotopor/ Liaporsand 0-2 mm	Liaporsand 0-2 mm/ Feinperlit	Liaporsand 0-1 mm/Lava 0-2 mm	Waschbims/ Perlitstaub	Perlitstaub/ Kieselgur Eichbaum	Lava 0-2 mm/ MVA	Lava 2-5 mm/ Kieselgur Eichbaum	Lava 2-5 mm/ Perlitstaub	Lava 2-5 mm/ Perlitstaub	Liaporsand 0-2 mm/ Perlitstaub	Liaporsand 0-2 mm/ MVA	Perlitstaub/ MVA/ Kieselgur Eichbaum
Menge Filterhilfe (g)	0	0,5/7	1/6	7/3,5	7/7	7/7	7/7	7/14	7/14	14/7	14/7	14/7	14/7	14/7	14/7	7/7/28

Zeit [min]

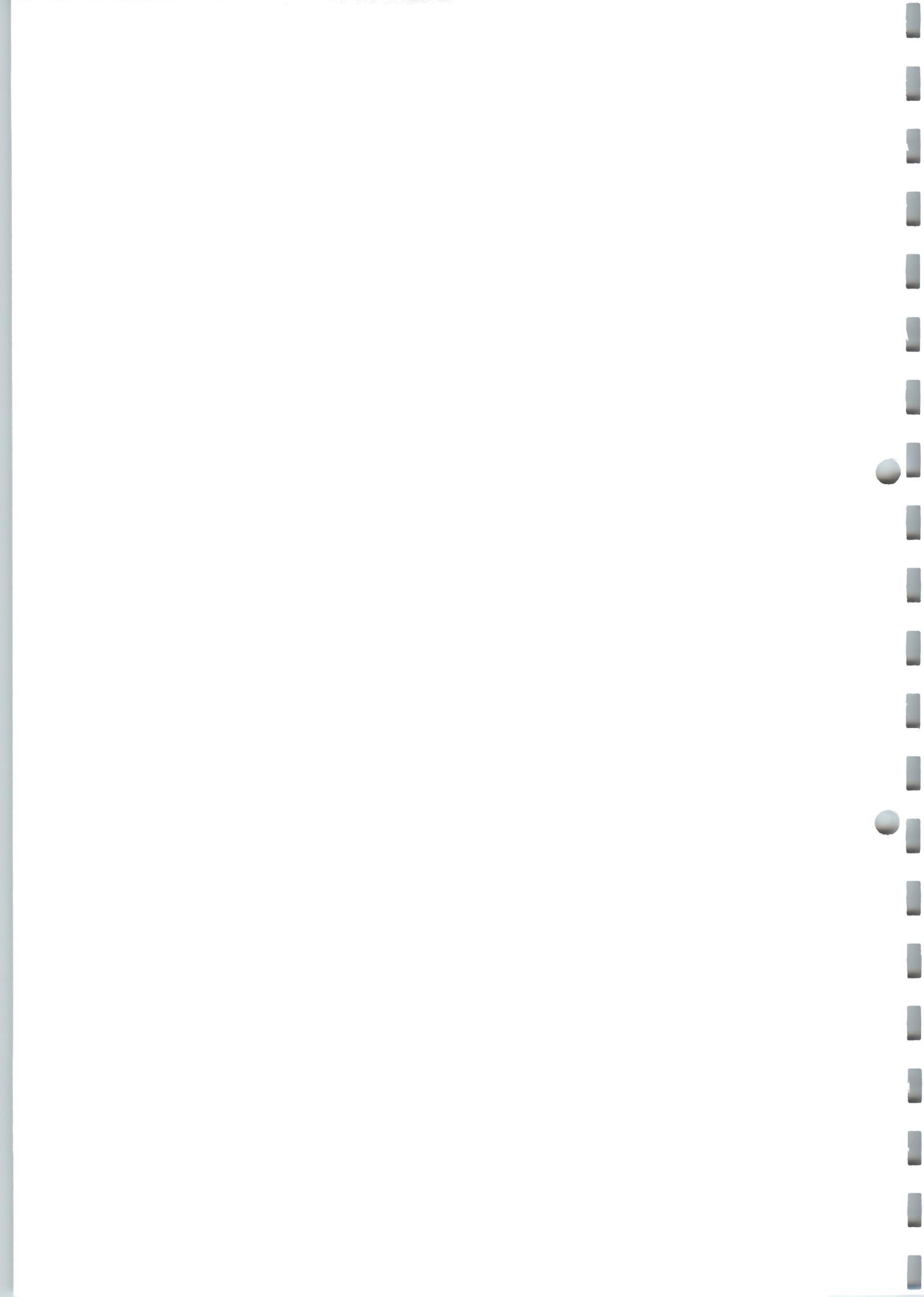
3	6,80	7,80	7,40	7,80	7,60	11,00	6,00	7,00	9,60	17,00	10,80	11,20	10,20	13,20	23,40	74,00
6	9,60	11,20	10,80	11,40	11,00	15,80	9,20	10,80	14,40	27,60	14,60	16,00	15,80	19,60	50,00	102,00
7,5	10,80	12,60	12,00	12,80	12,00	18,00	10,60	12,40	16,60	29,60	16,20	18,60	18,00	21,80	59,00	119,00
9	11,80	14,00	13,40	14,20	14,00	19,40	11,80	13,80	19,20	33,00	18,20	21,00	20,40	23,80	65,00	128,00
12	13,40	17,00	15,60	16,80	16,00	22,80	14,00	16,40	22,80	40,00	21,00	26,20	24,00	28,00		
15	15,00	18,20	17,40	18,60	18,00	25,80	15,80	18,80	26,60	45,40	24,00	29,00	27,60	30,60		
18	16,60	20,00	19,20	20,80	19,80	28,20	17,60	20,80	29,60	51,40	26,80	32,80	31,60	33,60		
21	17,60	22,00	21,00	22,40	21,60	30,40	19,00	22,80	32,60	56,20	28,80	35,80	33,20	36,40		
24	19,00	23,80	22,20	24,00	23,00	32,60	20,80	24,60	35,40	60,80	31,00	39,20	35,80	39,00		
27	20,20	26,40	23,80	26,00	24,60	34,60	22,40	26,60	37,80	65,00	33,00	42,40	38,20	41,40		
30	21,20	27,20	25,50	27,80	27,00	36,40	23,60	28,40	40,20	69,20	35,00	45,80	40,40	43,80		
33	nicht bestimmt	28,60	27,40	29,80	28,20	38,20	25,00	30,00	42,60	73,00	36,80	48,60	42,60	46,00		
36	nicht bestimmt	30,00	29,20	31,60	29,80	40,00	26,60	31,60	44,90	77,00	38,20	51,40	44,80	48,00		
39	nicht bestimmt	31,40	30,60	33,40	31,00	41,60	27,80	33,00	47,00	81,00	40,00	54,20	46,80	50,60		
42	nicht bestimmt	32,30	32,00	35,20	32,40	43,20	29,00	34,40	49,00	84,60	41,40	56,60	48,20	52,40		
45	28,40	34,00	33,60	36,60		44,80	30,20	35,80	52,00	88,20	42,80	59,00	50,00	54,40		
48		35,20	35,20	38,80		46,00	31,20	37,20	nicht bestimmt	91,80	44,20	61,20	51,80	56,40		
51		36,40	36,80	40,60		47,60	32,40	38,60	nicht bestimmt	95,00	45,60	63,40	53,40	57,80		
54		37,40	38,20	42,20		49,00	33,40	40,00	nicht bestimmt	98,00	46,80	65,60	55,20	59,80		
57		38,40	39,80	43,80		50,20	34,60	41,20	nicht bestimmt	101,20	48,00	67,60	56,60	61,20		
60		39,80	41,00	45,40		52,00	35,60	42,40	60,00	104,40	49,20	67,60	58,20	63,00		
75	34,00	44,60	47,00	53,20		58,60	40,40	48,40			55,00	79,60	65,20			

Bemerkungen

Druckprofil: Druckprofil:
 30 min. 2,5 bar + 15 min. 5 bar + 15 min. 6 bar
 30 min. 2,5 bar + 15 min. 6 bar + 15 min. 6 bar
 nach 42 min. abgebrochen

Messung am 25.09.00 Messung am 27.09.00 Filter dicht nach 8 min. Filter dicht nach 10 min.

Filterat	klar	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	klar	schwach gelblich	grau	rosa	schwach gelblich	schwach gelblich	schwach gelblich	rosa	schwach getrübt	schwach getrübt
pH-Wert	10,55	8,50	9,00	8,50	9,00	9,00	9,00	9,00	8,50	8,00	9,00	9,00	9,00	9,00	7,00	7,00
Höhe Filterkuchen (cm)	nicht bestimmt	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,2	0,5	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	0,8	nicht bestimmt	nicht bestimmt	nicht bestimmt	2,0



Reihenuntersuchung: Tixoton-Suspension mit einzelnen Filterhilfen und Filterhilfsmischungen

Bentonitsuspension: Tixoton, Köln, gebraucht
 Suspensionsmenge: 200 ml
 Filtrationsdruck: 5 bar

Filtratwassermenge (ml)

Filterhilfe	ohne	Ziegelmehl	MVA/ Kieselgur Welde 14.02.01	Perlitstaub/ MVA/ Kieselgur Welde 14.2.01
Menge Filterhilfe (g)	0	22	5,5/22	5,5/5,5/22

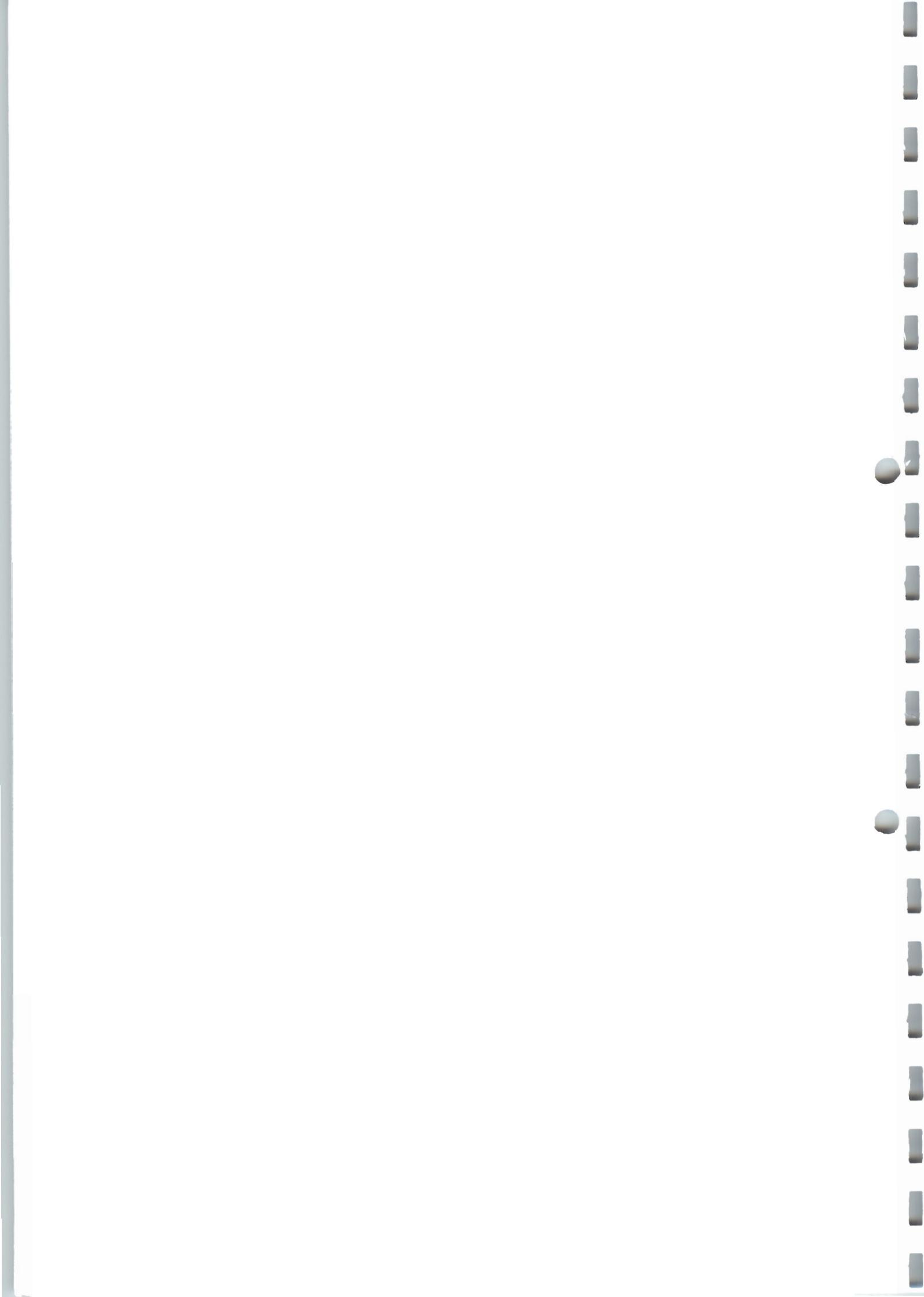
Zeit [min]

3	11,40	7,80	26,00	44,00
6	16,40	11,00	44,00	65,40
7,5	18,40	15,40	50,00	74,00
9	20,40	17,60	56,80	83,80
12	24,00	21,40	66,20	98,00
15	28,00	25,00	75,00	112,00
18	30,00	28,40	82,40	
21	33,20	31,60	94,80	
24	35,80	34,60		
27	39,00	37,20		
30	40,60	40,00		
33	42,60	43,00		
36	44,80	46,00		
39	46,80	48,00		
42	48,80	50,00		
45	50,60	52,60		
48	52,40	55,80		
51	54,20	57,20		
54	56,20	59,00		
57	57,80	61,00		
60	59,60	63,00		

Bemerkungen

Filter dicht nach 24 min.: 97 ml Filter dicht nach 17 min.: 117 ml

Filtrat	klar	schwach gelblich	schwach getrübt	schwach getrübt
pH-Wert Filtrat	11,50	11,50	8,00	8,00
Höhe Filterkuchen (cm)	1,00	1,00	2,20	2,40



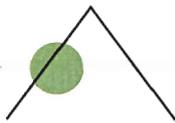


Abb.1 Aufrühren der Suspension und Homogenisierung Suspension/Filterhilfe im Spannringdeckelfaß

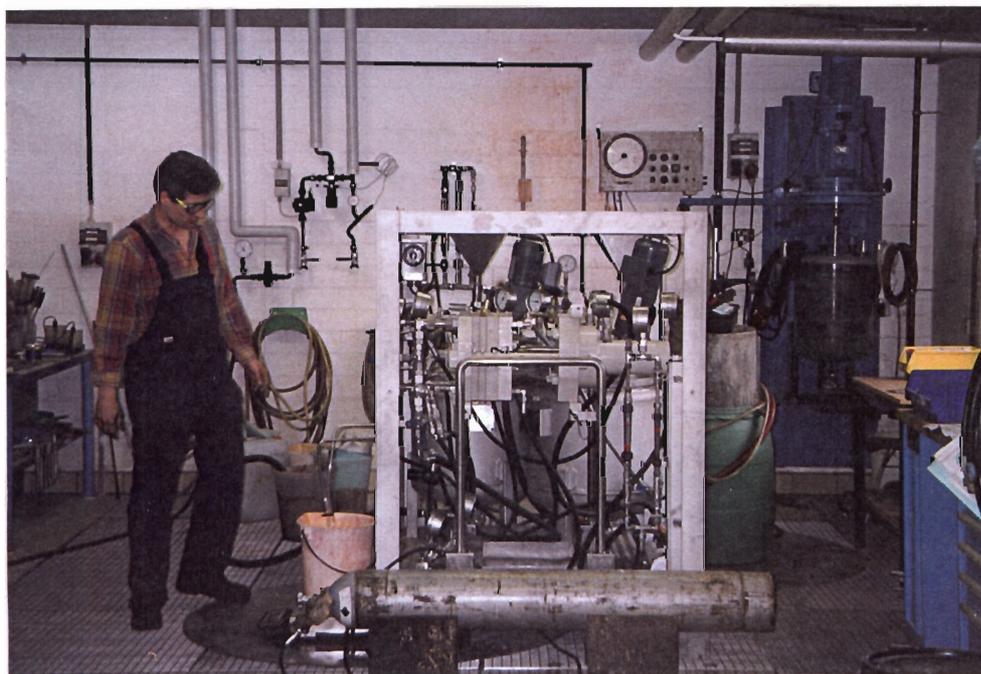
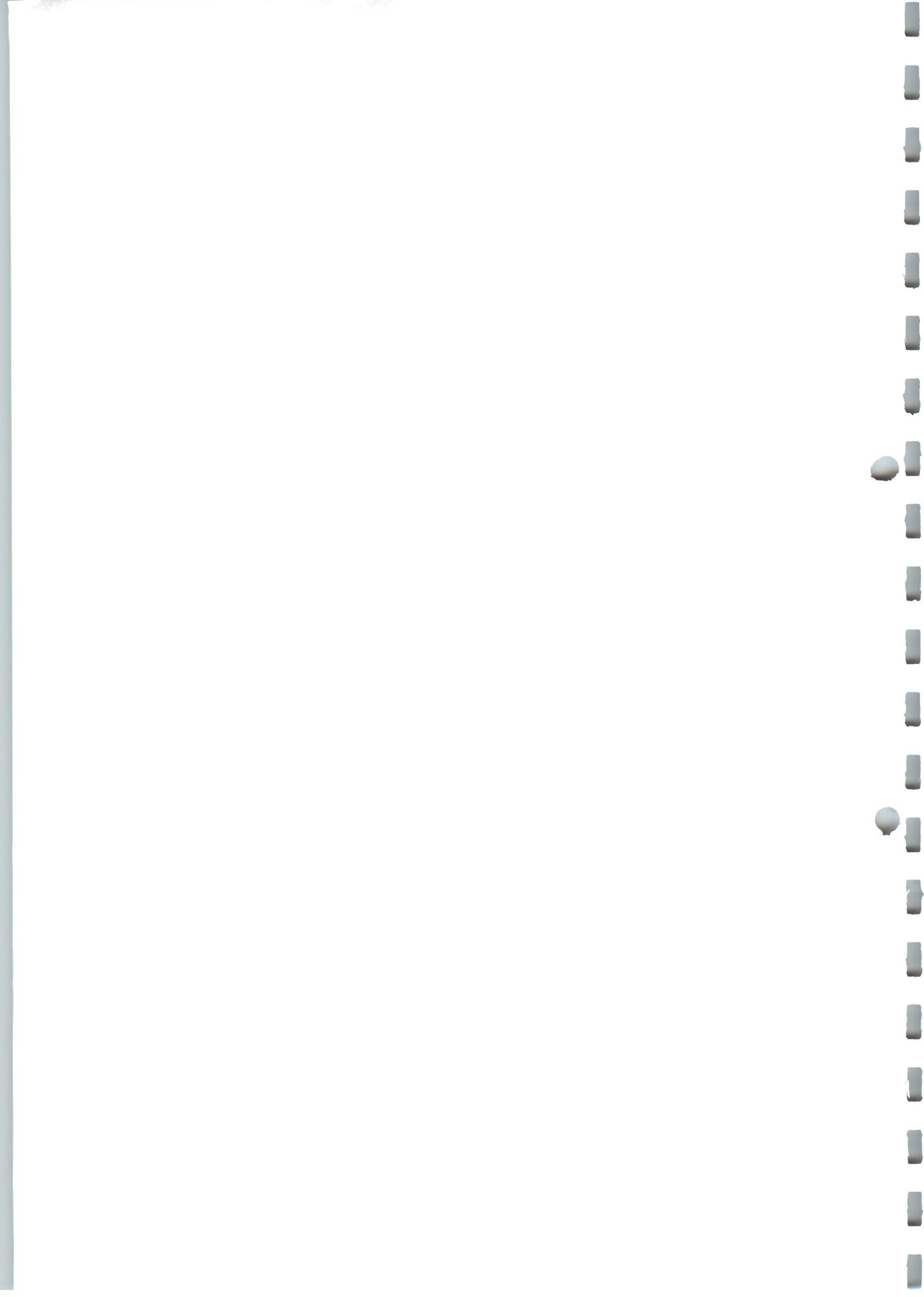
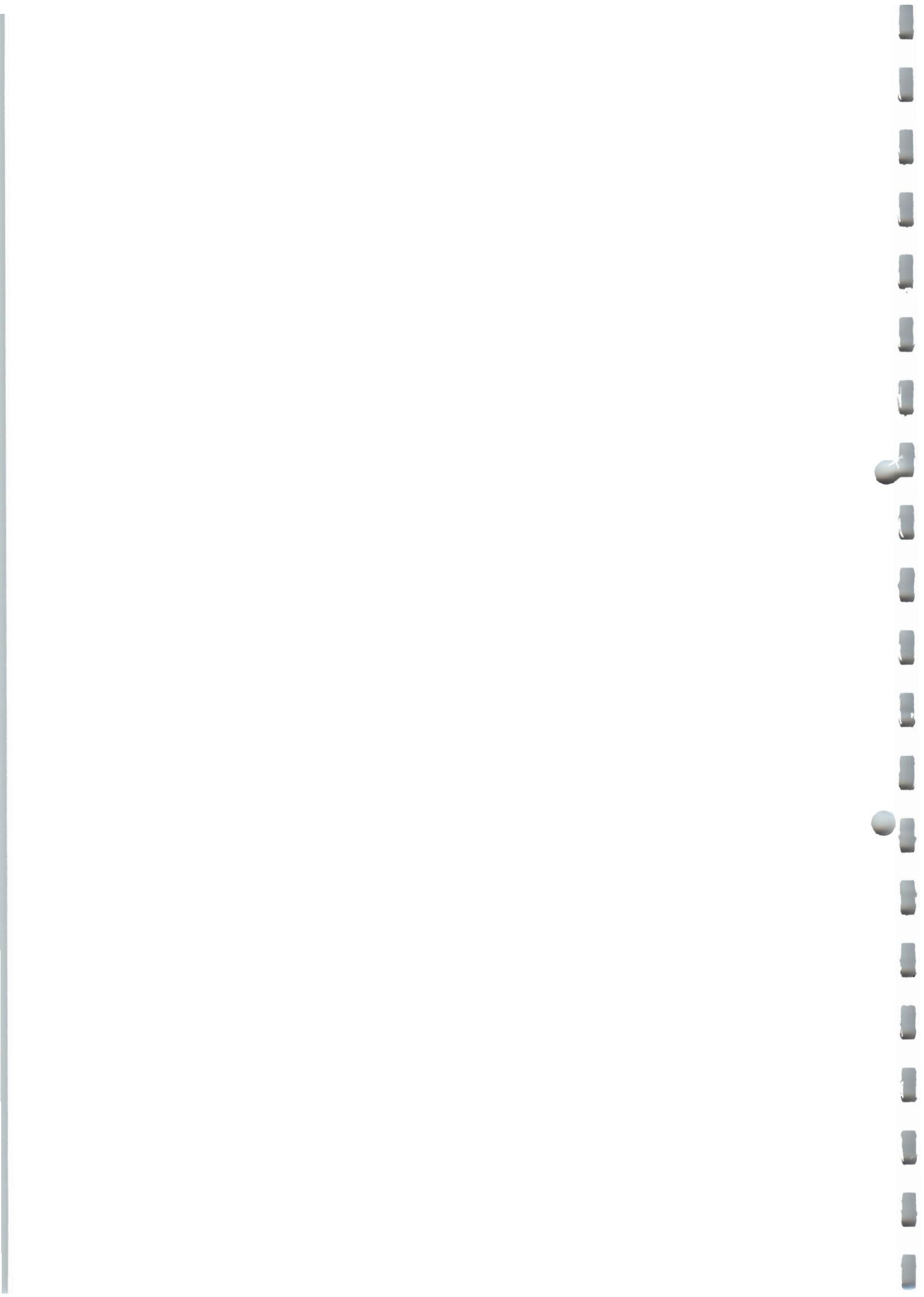


Abb.2 Versuchspresse MFP 300: Vorversuche am 04.05.01.



A n h a n g 1.8

**Versuchsbericht Technikumsfiltrationen:
Fa. Outokumpu Technology GmbH, Alsdorf**





**Outokumpu
Technology GmbH**

Filtrationsversuche

Vers.-Nr. 01017
Blatt 1 von 4

Versuchs-Ingenieur: C.v.Schilling

Firmenschlüssel: TERH

Auftrags-Nr.
Datum: 11.05.2001

Firmenanschrift:
Adress of company Terracontrol Heidelberg

Produktklassifizierung:
Product classification 60 158 004

Produktbenennung:
Specification gebrauchte Bentonitsuspension

Feststoff/Flüssigkeit:
Solids/Liquid Feststoff/Wasser

Struktur: schleimig kolloidal körnig kristallin Produkt: Flüssigkeit Feststoff

Versuche bei Outokumpu

Anwesend vom Kunden:
am 04.05.2001: Hr. Dr. Ketterer

Bemerkung: Remarks

Angeliefert wurden Gebinde mit 2 gebrauchten Bentonitsuspensionen:

- AZT
- Elbberg

Auf der Versuchspresse MFP 300 wurden Vorversuche mit unterschiedlichen Filterhilfsmitteln gefahren. Anschließend wurde auf der Versuchspresse MFP 1200 Filterkuchen aus Ansätzen mit jeweils etwa 300 l produziert. An Filterhilfsmitteln wurde eingesetzt:

- Perlit
- Müllverbrennungsasche (MVA)
- gebrauchter Kieselgur aus der Bierhefefiltration
- Bimswaschschlamm

Zusammenstellung der Ansätze:

- Ansatz 1a 10 l AZT, 0,5 kg Perlit
- Ansatz 1b 350 l AZT, 35 kg Perlit
- Ansatz 2a 10 l AZT, 1 kg MVA
- Ansatz 2b 350 l AZT, 35 kg MVA
- Ansatz 3a 10 l AZT, 0,35 kg Kieselgur, 0,35 kg Bimswaschschlamm,
- Ansatz 3b 310 l AZT, 15 kg Kieselgur, 15 kg Bimswaschschlamm
- Ansatz 4 350 l AZT, 15 kg MVA, 16,7 kg Bimswaschschlamm, 14 kg Kieselgur
- Ansatz 5 350 l Elbberg, 17, 5 kg Perlit

Das Filtertuch MC4/S8/1Ca, Hersteller Lainyl, wurde in beiden Versuchspressen eingesetzt.

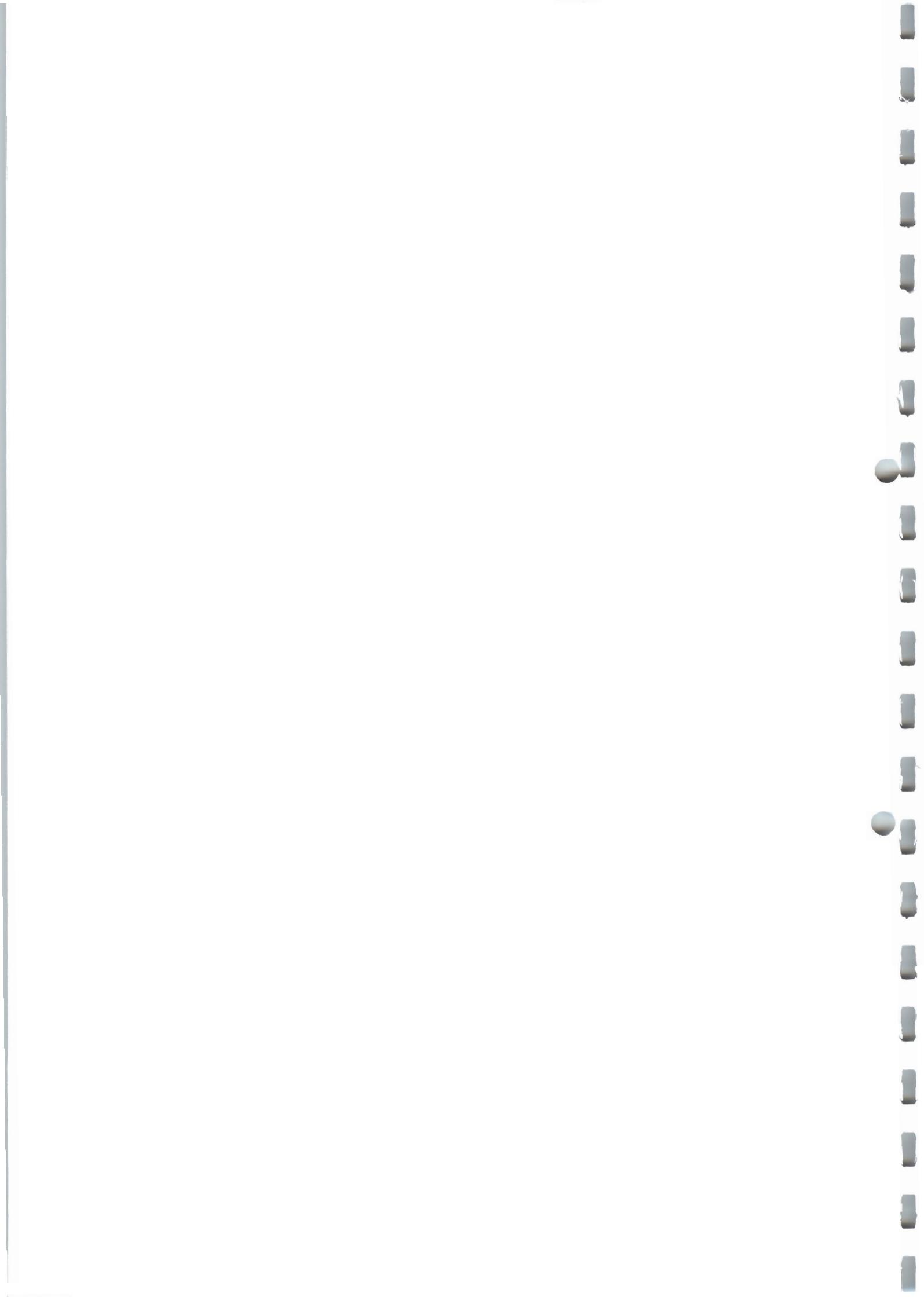
Tuchdaten: Werkstoff PP; Gewebe monofil, multifil; einseitig kalandriert, Gewicht 530 g/m²; Dicke 0,6 mm;
Wasserdurchlässigkeiten [l/dm²min bei mm Wassersäule]: 0,15 bei 100; 0,55 bei 300; 0,95 bei 500; 1,85 bei 1000

Eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse ist auf der nächsten Seite dargestellt.

- zu Versuch 1: Nullversuch ohne Filterhilfsmittel, in der 1. Minute leichter Trüblauf, Trockenblasen aufgrund starker Luftverluste abgebrochen; lange Filtration
- zu Versuch 2: gute Filtertuchablösung, keine Anhaftungen, Trockenblasen ohne nennenswerte Wirkung
- zu Versuch 3: Filtration vorzeitig beendet, da zu wenig Vorlage; daher nur 1,2 kg Filterkuchen; Trockenblasen ohne nennenswerte Wirkung
- zu Versuch 4: deutlich schnellere Filtration; Trockenblasen ohne nennenswerte Wirkung

CWS

Umlauf: Verteiler: Kunde:
Vertretung:





- zu Versuch 5: aufgrund des im Verhältnis zum eingesetzten Trockenstoff doppelt so hohen Anteils an Perlit filtrierte die Suspension erheblich besser; allerdings führt Perlit auch zu einem höheren Kuchenfeuchte (RF=31%) und auch einer geringeren Kuchendichte, wie analog auch bei Versuch 2; die Suspension war allerdings gerade noch fließfähig; die Restfeuchten liegen bei den Ansätzen ohne Perlit um die 20 %; Trockenblasen wie bei allen anderen Versuchen ohne nennenswerte Wirkung;
- zu Versuch 6: wie im vorangegangenen Versuch mit Perlit gute Filtertuchablösung ohne Rückstände; kein sichtbarer Trüblauf; da die Trübekonzentration erheblich geringer als bei AZT ist, ergibt sich eine entsprechend geringere Kuchenleistung trocken (aber auch durch die relativ hohe Abpresszeit bedingt); die Filtrierbarkeit war gut, da die Konzentration des Filterhilfsmittels bezogen auf TS bei 1:3 liegt
- zu Versuch 7: die Ergebnisse sind zu Versuch 3 vergleichbar; die Konzentration des Filterhilfsmittels zu TS, bezogen auf den bilanzierten Feststoffgehalt ist größenordnungsmässig identisch
- zu Versuch 8: zur Kuchenleistung trocken (16,6 kg TS/m²/h) kann hier keine Aussage getroffen werden, da während der Filtration Grobkorn die Pumpenleistung der Kolbenmembranpumpe beeinträchtigt hat; sie dürfte aber im Normalfall in der Größenordnung des Versuchs 4 liegen; bedingt durch den Einsatz gebrauchten Kieselgurs (Bierhefe!) ließ sich der Filterkuchen nur schwer ausbringen, und es verblieben Anhaftungen am Filtertuch
- zu Versuch 9: auch hier führte Grobkorn (bis 30 mm!) kurzzeitig zu einer Beeinträchtigung der Pumpenleistung; ansonsten ließ sich die Suspension gut filtrieren, der Kuchen hatte die erwartete Restfeuchte um 20%.

Versuch (Typ)	TS Trübe (bilanziert) [g/l]	Chargen- zeit [min]	RF Kuchen [%]	Kuchen- leistung trocken [kg/m ² h]	Verhältnis TS (bilanziert)/Filterhilfs- mittel [kg/kg]	Bemerkung
1	496	70	19.6	10.1	—	Nullversuch
2	516	54	24.4	18.2	9,92:1	Ansatz 1a
3	530	28	20.96	21.4	5,3:1	Ansatz 2a
4	489	40	20.98	22.0	6,98:1	Ansatz 3a
5	506	32	31.1	29.0	5,1:1	Ansatz 1b
6	150	38	39.5	8.6	3:1	Ansatz 5
7	472	39	20.0	22.8	4,72:1	Ansatz 2b
8	459	64	20.5	16.6	3,52:1	Ansatz 4
9	395	45	20.1	16.5	4,08:1	Ansatz 3b

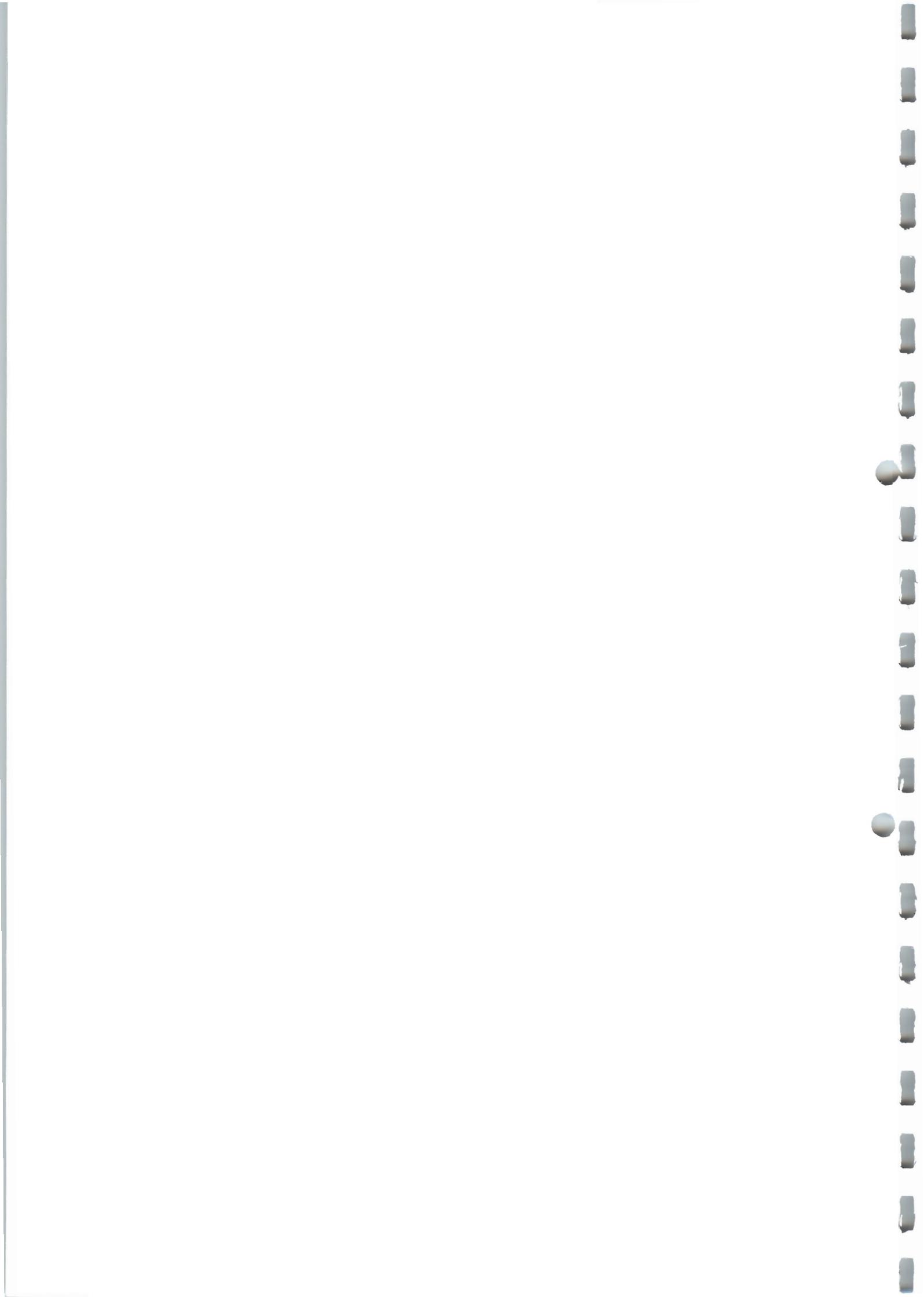
Tabelle: Zusammenstellung der wichtigsten Versuchsergebnisse

Anmerkung (01.10.2001): massenbezogene Angaben von Filterhilfsmitteln beziehen sich auf das angelieferte Material, das heißt inklusive Feuchtigkeitsgehalte. Trockenstoffgehalte feuchter Filterhilfsmittel (Brauereikieselgur) wurden nicht bestimmt.

1.10.2001

Christoph Schill

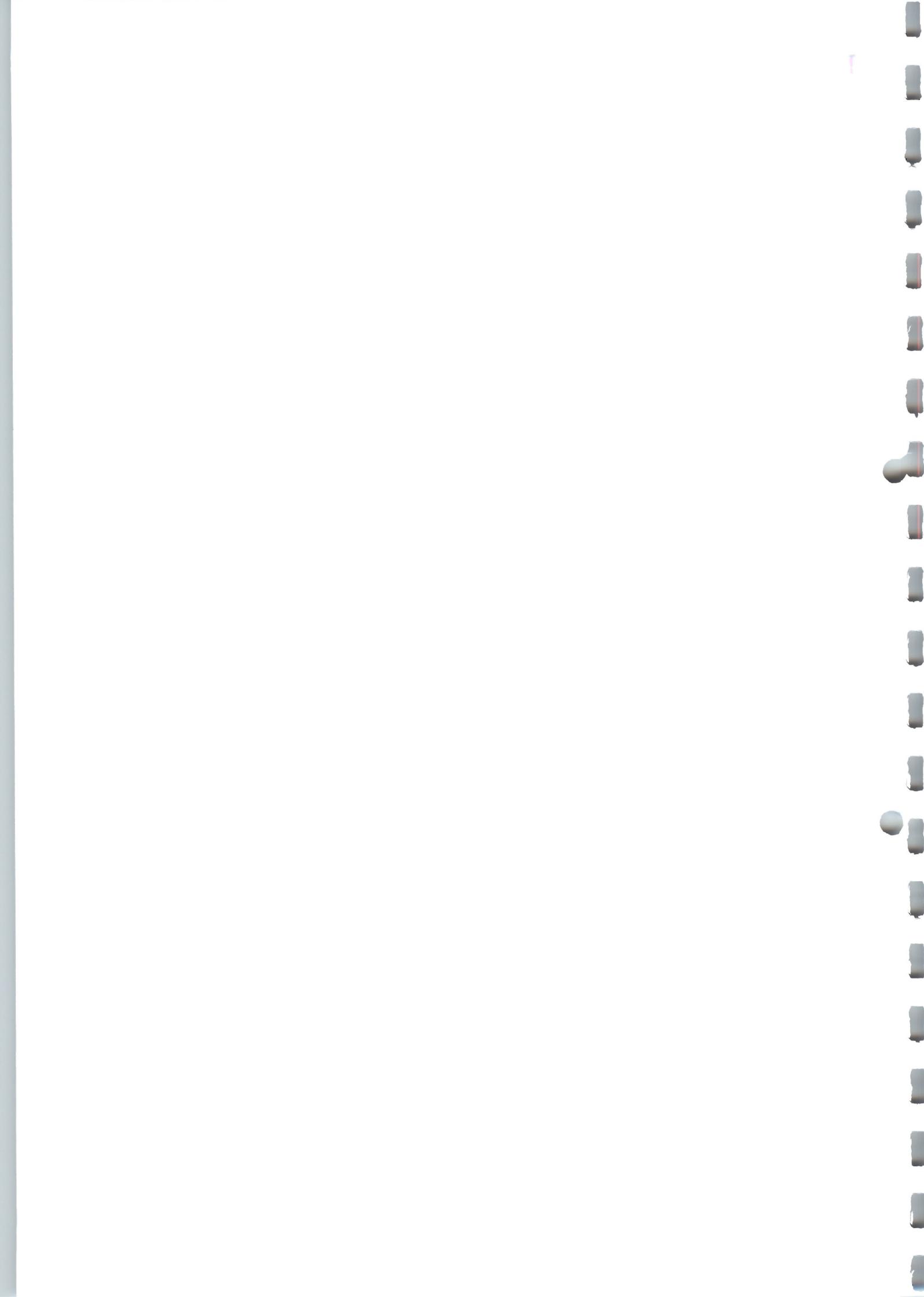
CrB





Versuchs-Nr.		1	2	3	4	5	6
Datum		04.05.2001	04.05.2001	04.05.2001	04.05.2001	08.05.2001	09.05.2001
Versuchsdaten :	Produkt:	Nullversuch	Ansatz 1a	Ansatz 2a	Ansatz 3a	Ansatz 1b	Ansatz 5
Filterpressentype/Format		MFP 300	MFP 300	MFP 300	MFP 300	MFP 1200	MFP 1200
Filterflächen pro Kuchen		2	2	2	2	2	2
Pumpe/Druckbehälter		Druckbehälter				Kolbenmembranpumpe	
Filterfläche	m ²	0.10	0.10	0.10	0.10	8.30	8.30
Kammervolumen	l	1.85	1.85	1.85	1.85	166.80	166.80
Kammertiefe	mm	40	40	40	40	40	40
Filtertuch-Qualität		MC4/S8/1Ca					
Filtertuch-Qualität							
Messungen Trübe u. Filtrat :							
Spez. Gewicht Trübe	kg/l	1.303	1.294	1.346	1.289	1.294	1.091
Spez. Gewicht Filtrat	kg/l	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
pH-Wert	-						
Leitwert	µS/cm						
Verdampfungsrückstand Trübe	g/l	474	503	541	474	503	152
Verdampfungsrückstand Filtrat	g/l	0	0	0	0	0	0
Feststoffgehalt (TS) gemessen	g/l	474	503	541	474	503	152
Feststoffgehalt (TS) Kundenangabe	g/l						
Temperatur Trübe	°C	20	20	20	20	20	20
Temperatur Filtrat	°C	20	20	20	20	20	20
Messungen Filtration :							
Filtrationszeit	min	25.0	24.0	8.0	13.0	5.0	6.0
Filtrationsenddruck	bar	6.0	6.0	3.0	4.0	5.0	2.0
Filtratmenge	kg	0.95	1.33	0.73	1.22	87.0	153.0
Messungen Nachpressen :							
Nachpreßzeit	min	30.0	12.0	3.0	10.0	8.0	12.0
Nachpreßenddruck	bar	16.0	16.0	16.0	16.0	15.0	15.5
Nachpreßfiltratmenge	kg	0.68	0.6	0.53	0.77	53.0	97.4
Messungen Trockenblasen :							
Trockenblaszeit	min	0.0	3.0	2.0	2.0	4.0	5.0
Luftdruck	bar		5.0	6.0	6.0	6.0	5.0
Trockenblasfiltratmenge	kg	0.0	0.01	0.01	0.02	2.0	2.6
Trockenblasluftbedarf	Nm ³ /m ² min						
Messungen Filterkuchen :							
Filterkuchengewicht	kg	1.465	2.165	1.261	1.857	186.0	74.6
Spez. Gew. Kuchen, feucht	kg/l	2.04	1.86	1.97	1.93	1.61	1.41
Filterkuchendicke, gemessen	mm	14	23	10-12	17-18	30	16
Filterkuchendicke, rechnerisch	mm	14.3	23.3	12.8	19.2	27.8	12.7
Restfeuchte (RF)	%	19.6	24.4	20.96	20.98	31.1	39.5
Lösliche Substanzen	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Feststoffgehalt (TS)	%	80.4	75.6	79.0	79.0	68.9	60.5
Auswertung :							
Gesamtzeit	min	55.0	39.0	13.0	25.0	17.0	23.0
Rüstzeit (Totzeit)	min	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
Chargenzeit	min	70.0	54.0	28.0	40.0	32.0	38.0
Filtratleistung	l/m ² h	18	32	69	52	78	101
Kuchenleistung, feucht, mit Rüstzeit	kg/m ² h	12.6	24.1	27.0	27.9	42.0	14.2
Kuchenleistung, tro. , mit Rüstzeit	kg/m ² h	10.1	18.2	21.4	22.0	29.0	8.6
TS-Beladung	kg/m ²	11.78	16.37	9.97	14.67	15.44	5.44
Trübeverbrauch	kg	3.10	4.11	2.53	3.87	328.00	327.60
Trübeleistung, mit Rüstzeit	l/m ² h	20.4	35.2	40.3	45.0	57.3	57.1
Feststoffgehalt bilanziert	g/l	496	516	530	489	506	150
Anzahl der Waschvorgänge							

cuS





Versuchs-Nr.		7	8	9		
Datum		09.05.2001	10.05.2001	10.05.2001		
Versuchsdaten :	Produkt:	Ansatz 2b	Ansatz 4	Ansatz 3b		
Filterpressentype/Format		MFP 1200	MFP 1200	MFP 1200		
Filterflächen pro Kuchen		2	2	2		
Pumpe/Druckbehälter		Kolbenmembranpumpe				
Filterfläche	m ²	8.30	8.30	8.30		
Kammervolumen	l	166.80	166.80	166.80		
Kammertiefe	mm	40	40	40		
Filtertuch-Qualität		MC4/S8/1Ca				
Filtertuch-Qualität						
Messungen Trübe u. Filtrat :						
Spez. Gewicht Trübe	kg/l	1.31	1.289	1.16		
Spez. Gewicht Filtrat	kg/l	1.00	1.00	1.00		
pH-Wert	-					
Leitwert	µS/cm					
Verdampfungsrückstand Trübe	g/l	502	474	372		
Verdampfungsrückstand Filtrat	g/l	0	0	0		
Feststoffgehalt (TS) gemessen	g/l	502	474	372		
Feststoffgehalt (TS) Kundenangabe	g/l					
Temperatur Trübe	°C	20	20	20		
Temperatur Filtrat	°C	20	20	20		
Messungen Filtration :						
Filtrationszeit	min	7.0	31.0	15.0		
Filtrationsenddruck	bar	5.0	5.0	5.0		
Filtratmenge	kg	106.8	174.0	80.0		
Messungen Nachpressen :						
Nachpreßzeit	min	13.0	14.0	11.0		
Nachpreßenddruck	bar	15.0	15.5	14.0		
Nachpreßfiltratmenge	kg	80.2	53.0	91.6		
Messungen Trockenblasen :						
Trockenblaszeit	min	4.0	4.0	4.0		
Luftdruck	bar	6.0	6.0	5.0		
Trockenblasfiltratmenge	kg	1.0	1.0	1.2		
Trockenblasluftbedarf	Nm ³ /m ² min					
Messungen Filterkuchen :						
Filterkuchengewicht	kg	153.8	185.2	128.2		
Spez. Gew. Kuchen, feucht	kg/l	2.03	1.91	1.89		
Filterkuchendicke, gemessen	mm	19-21	22-25	16		
Filterkuchendicke, rechnerisch	mm	18.3	23.4	16.3		
Restfeuchte (RF)	%	20.0	20.5	20.1		
Lösliche Substanzen	%	0.0	0.0	0.0		
Feststoffgehalt (TS)	%	80.0	79.5	79.9		
Auswertung :						
Gesamtzeit	min	24.0	49.0	30.0		
Rüstzeit (Totzeit)	min	15.0	15.0	15.0		
Chargenzeit	min	39.0	64.0	45.0		
Filtratleistung	l/m ² h	68	36	48		
Kuchenleistung, feucht, mit Rüstzeit	kg/m ² h	28.5	20.9	20.6		
Kuchenleistung, tro. , mit Rüstzeit	kg/m ² h	22.8	16.6	16.5		
TS-Beladung	kg/m ²	14.82	17.74	12.34		
Trübeverbrauch	kg	341.80	413.20	301.00		
Trübeleistung, mit Rüstzeit	l/m ² h	48.4	36.2	41.7		
Feststoffgehalt bilanziert	g/l	472	459	395		
Anzahl der Waschvorgänge						

dw



A n h a n g 2

Chemisch-physikalische Untersuchungen



Universität Heidelberg

Institut für Umwelt-Geochemie

Im Neuenheimer 236 D-69120 Heidelberg

Direktor: Professor Dr. William Shotyk

Sekretariat: Petra Biehl

Telefon + 49-6221-54 4803

Telefax + 49 6221-54 5228

e-mail: envigeo@ugc.uni-heidelberg.de

Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen: AZ 16285

PH und Leitfähigkeit (EL):

Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filtrate aus Vorversuchen

Eluate von Filterhilfen	pH	EL (µS/cm)
Bimswaschschlamm	7,8	99
MVA	7,0	>20000
Perlitstaub	nicht meßbar	250

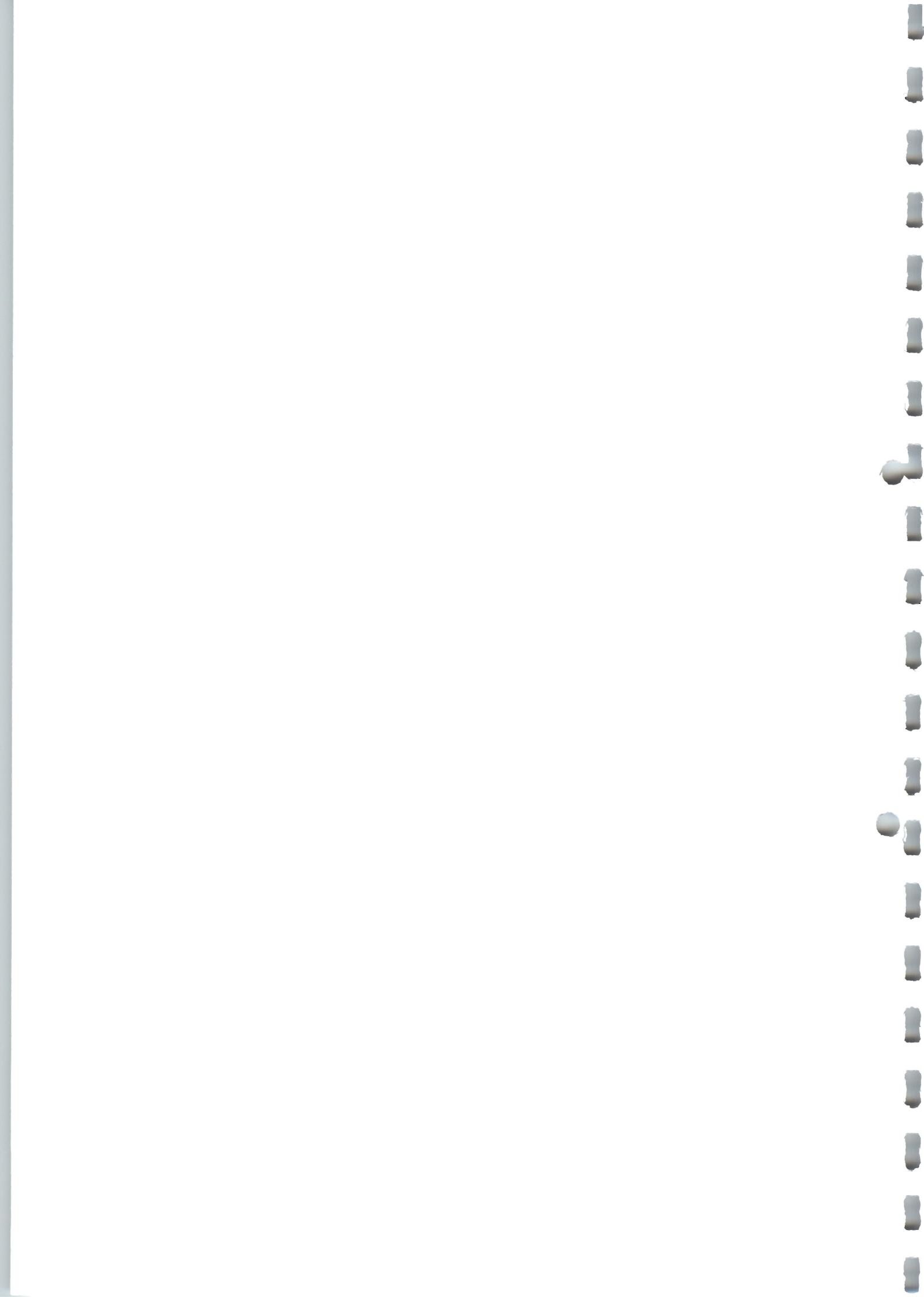
Filtrate	pH	EL (µS/cm)
Tixoton, Köln, gebraucht (1. Messung)	11,78	2880
Tixoton, Köln, gebraucht (2. Messung)	11,83	3150
Tixoton, Köln (Ziegelmehl, 22 g)	11,72	2860
Tixoton, Köln (Perlit/MVA/Kieselgur)	6,28	>20000
Tixoton, Kehl, gebraucht	9,66	2710
Tixoton, Kehl (Ziegelmehl, 24 g)	8,02	2400
Tixoton, Kehl (Walzzunder, 6 g)	8,05	1950
Tixoton, Kehl (Mineralfaser, 6 g)	8,92	1730
Tixoton, Kehl (Kieselgur, 24 g)	6,83	2380
Tixoton, Kehl (Kieselgur 26 g)	6,91	2000
Tixoton, Kehl (Kieselgur 33 g)	6,97	1940
Tixoton, Kehl (Bimswaschschlamm, 33 g)	8,61	1610
Tixoton, Kehl (MVA 24 g, Flockungsmittel 0,3 g)	6,38	>20000
Dywonit, Wien, gebraucht	10,55	2800
Dywonit, Wien (Ziegelmehl, 14 g)	9,14	1740
Dywonit, Wien (Perlit/MVA/Kieselgur)	6,51	>20000

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz

R. Ottenstein

D. Eggersgluß



Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen: AZ 16285**pH, Leitfähigkeit (EL), Chlorid, Sulfat, Trübung:
Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filterkuchen sowie Filtrate aus
Technikumsversuchen**

Eluate von Filterhilfen	pH	EL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorid (g/l)	Sulfat (g/l)
MVA	7,0	>20000	25,9	1,1

Eluate von Filterkuchen	pH	EL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorid (g/l)	Sulfat (g/l)
Filterkuchen AZT, original	8,4	370	n.b.	n.b.
Filterkuchen AZT-Perlit	9,3	280	n.b.	n.b.
Filterkuchen AZT-MVA	8,9	4310	0,36	1,2
Filterkuchen AZT-Kieselgur- Bimswaschschlamm	8,8	310	0,68	1,5
Filterkuchen AZT-MVA- Kieselgur-Bimswaschschlamm	8,7	2970	n.b.	n.b.
Filterkuchen Elbberg-Perlit	9,9	810	n.b.	n.b.

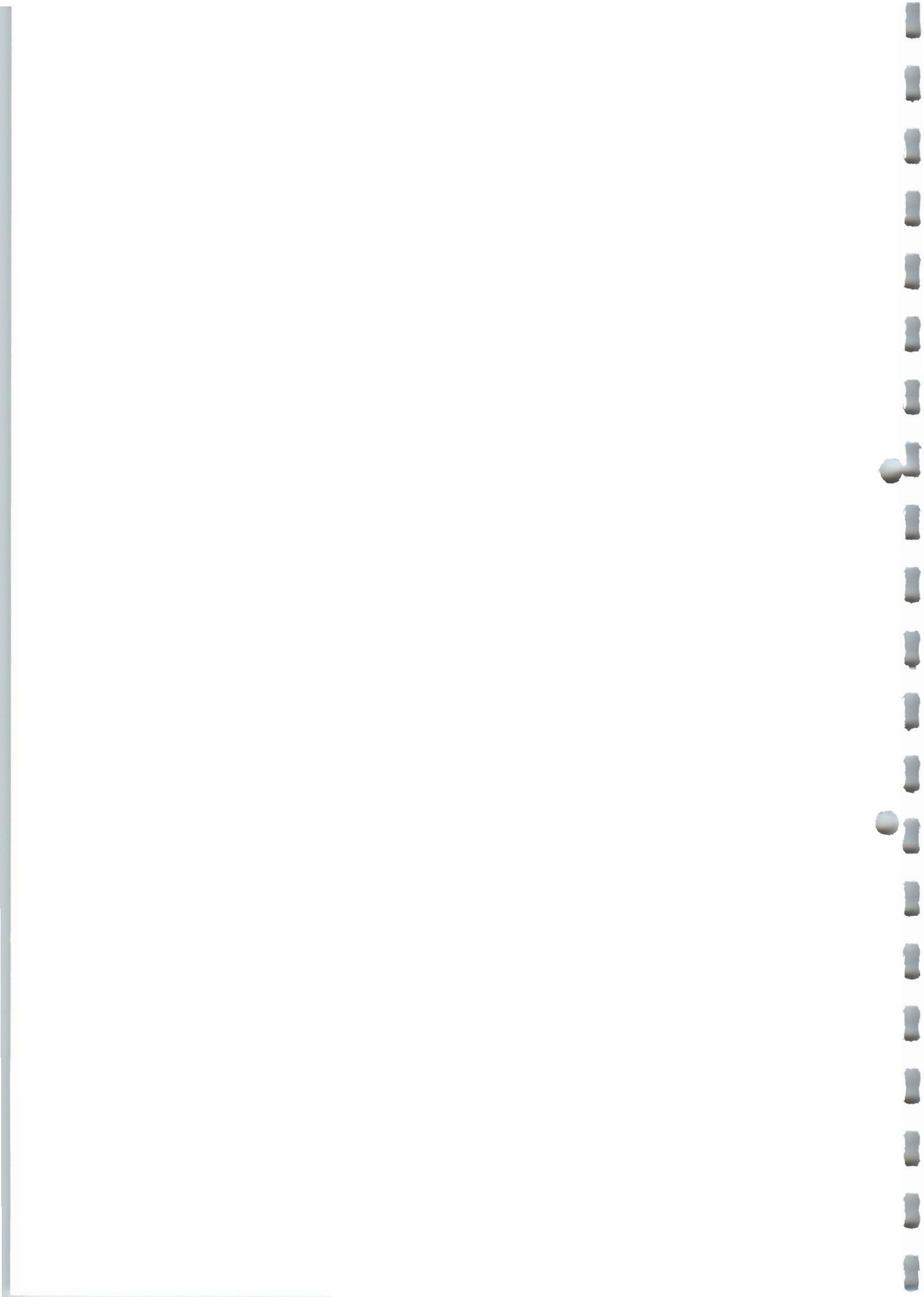
Filtrate	pH	EL ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Chlorid (g/l)	Sulfat (g/l)	Trübung (FAU)		
					Flasche 1	Flasche 2	Flasche 3
AZT, vom 04.05.01	9,4	1340	0,05	0,42	n.b.	n.b.	n.b.
AZT-Perlit	11,2	2001	n.b.	n.b.	36	13	17
AZT-MVA	9,2	>20000	31,0	1,32	32	21	12
AZT- Kieselgur-Bimswaschschlamm	4,6	2570	0,44	0,54	156	125	166
AZT-MVA- Kieselgur-Bimswaschschlamm	5,0	>20000	n.b.	n.b.	61	21	53
Elbberg-Perlit	12,3	1390	n.b.	n.b.	21	32	n.b.

n.b. = nicht bestimmt

Chlorid und Sulfat wurden mittels Ionenchromatographie bestimmt.
Die Messung der Trübung erfolgte analog DEV EN 27027 (Iso 7027:1990) im Photometer bei einer Wellenlänge von 860 nm. Die Proben wurden vor der Messung im Ultraschallbad für 15 min. behandelt. Angaben in Formazin-Schwächungseinheiten [FAU]. Die Angaben sind Mittelwerte aus 3 Messungen.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz
R. Ottenstein
D. Eggersgluß



Universität Heidelberg

Institut für Umwelt-Geochemie

Im Neuenheimer 236 D-69120 Heidelberg

Direktor: Professor Dr. William Shotyk

Sekretariat: Petra Biehl

Telefon + 49-6221-54 4803

Telefax + 49 6221-54 5228

e-mail: envigeo@ugc.uni-heidelberg.de

Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

Schwermetalle: Feststoffe

Probenbezeichnung	<i>Cd</i> mg/kg	<i>Cr</i> mg/kg	<i>Cu</i> mg/kg	<i>Ni</i> mg/kg	<i>Pb</i> mg/kg	<i>Zn</i> mg/kg	<i>Hg</i> mg/kg
MVA	923	84	1371	49	10937	36978	0,024
Perlitstaub	0,09	5	2	7	4	36	0,008
Bimswaschschlamm	0,07	11	17	27	22	107	0,003
Spezialpolymer CIBA	0,10	2	15	1	1	4	0,003
Frische Bentonitsuspension Dywonit	0,01	48	29	120	1	112	0,001
Gebr. Bentonitsuspension Dywonit	0,01	43	35	82	3	109	<0,001
Gebr. Bentonitsuspension Tixoton, Kehl	0,08	20	22	38	18	77	0,003
Gebr. Bentonitsuspension Tixoton, Köln	0,04	19	21	28	25	107	0,001
Gebr. Bentonitsuspension AZT	0,14	15	17	31	9	49	0,005
Gebr. Bentonitsuspension Elbberg	0,01	18	19	22	15	80	<0,001
Filterkuchen AZT, original	0,20	14	15	28	2	49	0,003
Filterkuchen AZT-MVA	55	41	140	34	814	2622	7,160
Filterkuchen AZT-Perlit	0,10	25	14	24	12	41	0,020
Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,20	28	19	28	22	77	0,060
Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	28	32	77	31	449	1346	2,140
Filterkuchen Elbberg-Perlit	0,10	24	13	15	17	60	0,040

Die Angaben sind Mittelwerte aus jeweils 2 Messungen und bezogen auf die Trockensubstanz.

Für die Schwermetallbestimmung in den Proben wurden nach der Verbandsmethode der VDLUFA (DIN 38414, Teil 1) 5 g gemörserte Probensubstanz der getrockneten Probe eingewogen und in einem Aufschlußgerät der Firma Behr, Düsseldorf, aufgeschlossen. Bei diesem Aufschlußverfahren werden die Proben mit 28 ml Königswasser versetzt und anschließend 3 Stunden lang bei einer konstanten Temperatur von 160 °C erhitzt.

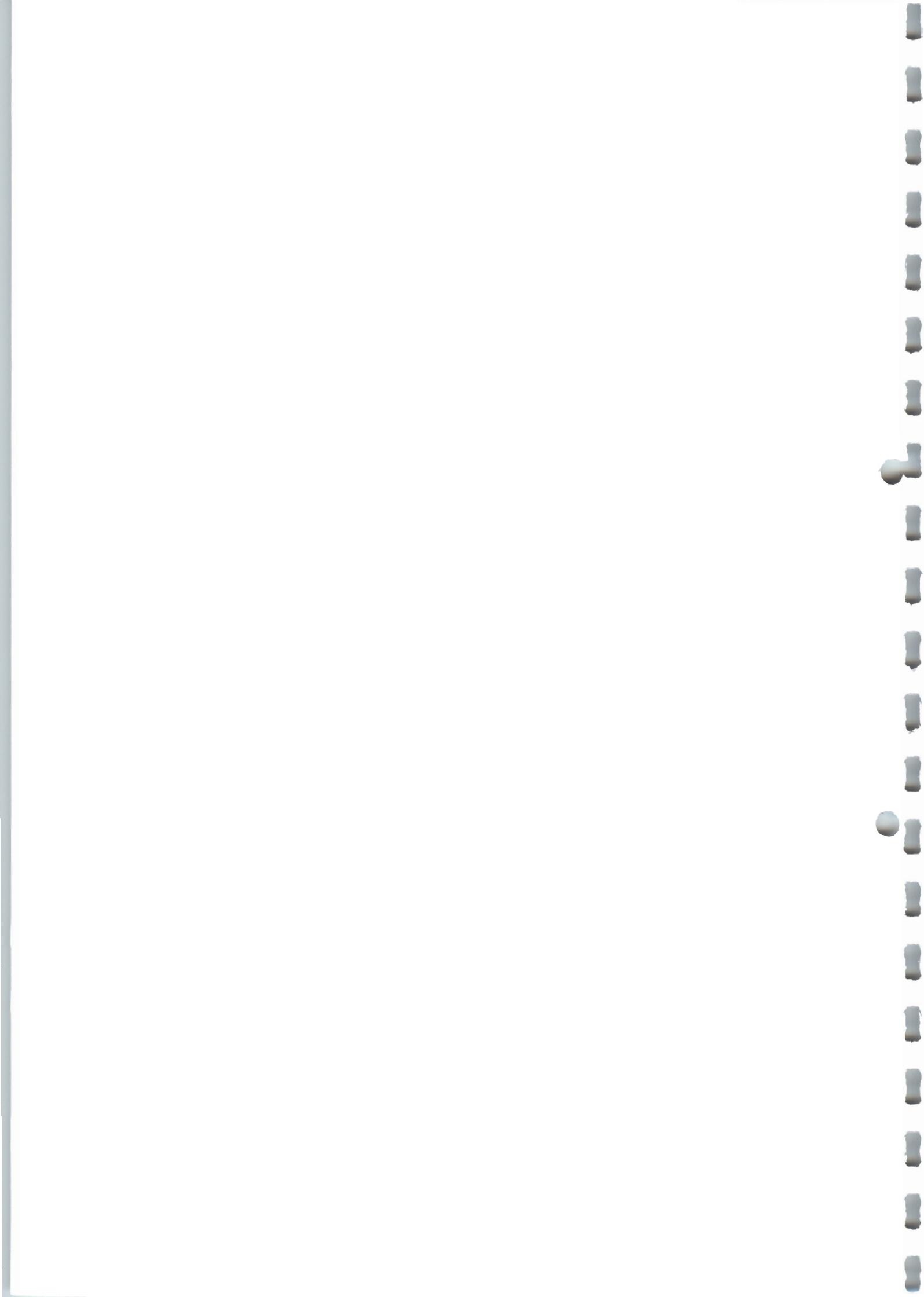
Die Bestimmungen wurde in der Flammen-AAS (Atomabsorptionsspektrometer, Perkin-Elmer 4100) und flammenlos mit der Graphitrohfen-Technik (Atomabsorptionsspektrometer, E5 von Carl Zeis Jena) durchgeführt.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz

R. Ottenstein

D. Eggersgluß



Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

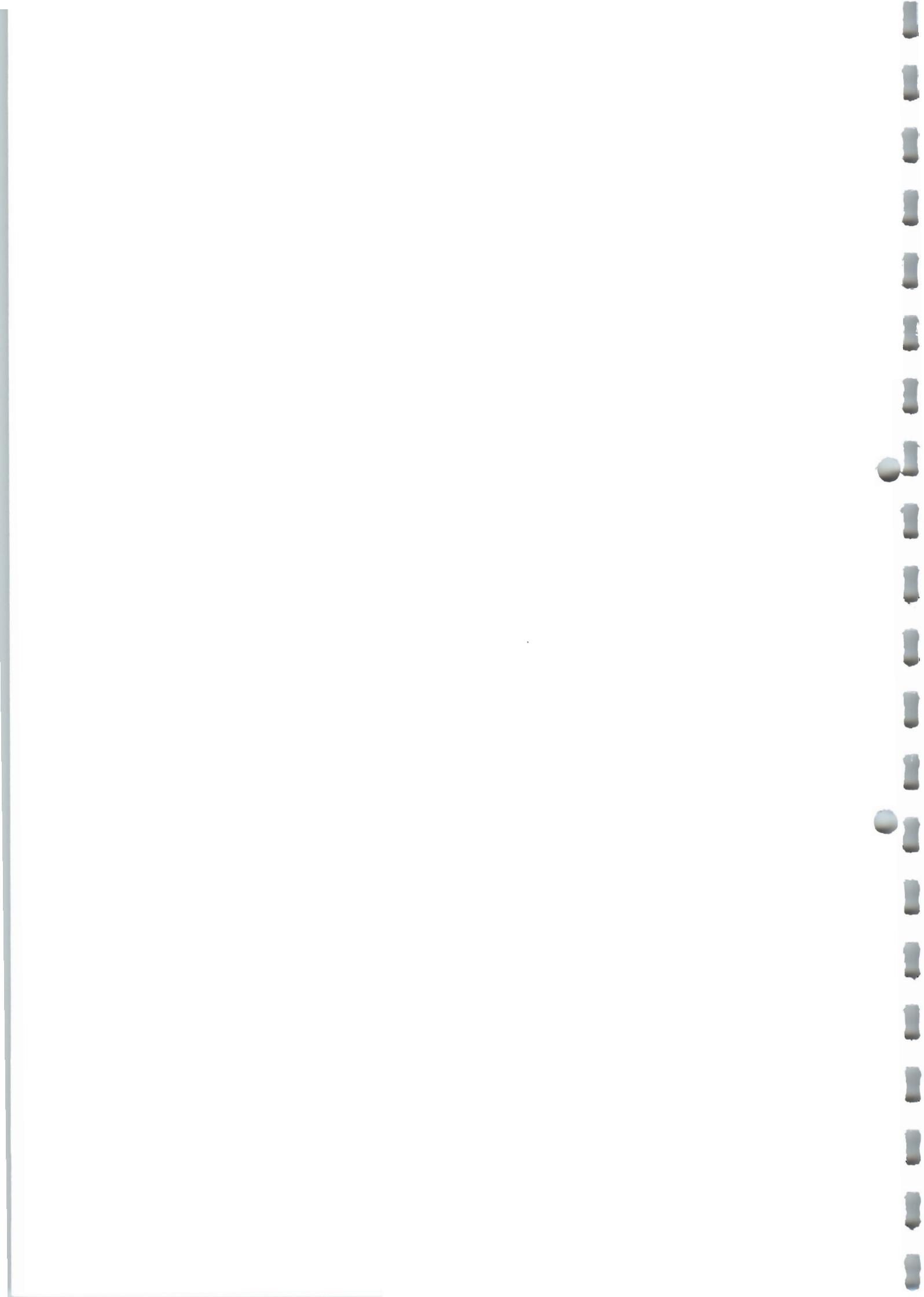
Schwermetalle: Eluate (DEV S4) von Filterhilfen und Filterkuchen sowie Filtrate

Probenbezeichnung	Cd mg/l	Cr mg/l	Cu mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l	Hg µg/l
Eluate							
MVA	71	n.b.	n.b.	n.b.	15,2	230,4	n.b.
Filterkuchen AZT-MVA	0,007	n.b.	n.b.	n.b.	0,04	0,06	n.b.
Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,004	n.b.	n.b.	n.b.	0,02	0,10	n.b.
Filtrate, original							
Filtrat AZT vom 04.05.01	0,36	n.b.	0,14	n.b.	0,02	0,07	n.b.
Filtrat AZT-MVA	2,18	0,09	0,02	0,18	0,12	< 0,02	n.b.
Filtrat AZT-Perlit	< 0,001	0,01	< 0,001	0,02	0,01	0,01	n.b.
Filtrat AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,01	0,04	0,05	0,17	0,04	0,09	n.b.
Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,14	0,19	1,16	0,24	0,10	0,14	n.b.
Filtrat Elbberg-Perlit	< 0,001	0,02	0,01	0,01	0,05	0,12	n.b.
Filtrate, angesäuert mit 5 ml HNO₃							
Filtrat AZT-MVA	2,08	0,13	0,02	0,23	0,11	0,02	0,002
Filtrat AZT-Perlit	< 0,001	0,04	0,01	0,11	0,02	0,06	< 0,001
Filtrat AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,01	0,09	0,09	0,49	0,02	0,11	< 0,001
Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,16	0,22	1,40	0,54	0,12	0,63	< 0,001
Filtrat Filterkuchen Elbberg-Perlit	< 0,001	0,07	0,02	0,02	0,04	0,32	< 0,001

Die Angaben sind Mittelwerte aus jeweils 2 Messungen. n.b. = nicht bestimmt

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz
R. Ottenstein
D. Eggersgluß



Universität Heidelberg

Institut für Umwelt-Geochemie

Im Neuenheimer 236 D-69120 Heidelberg
Direktor: Professor Dr. William Shotyk

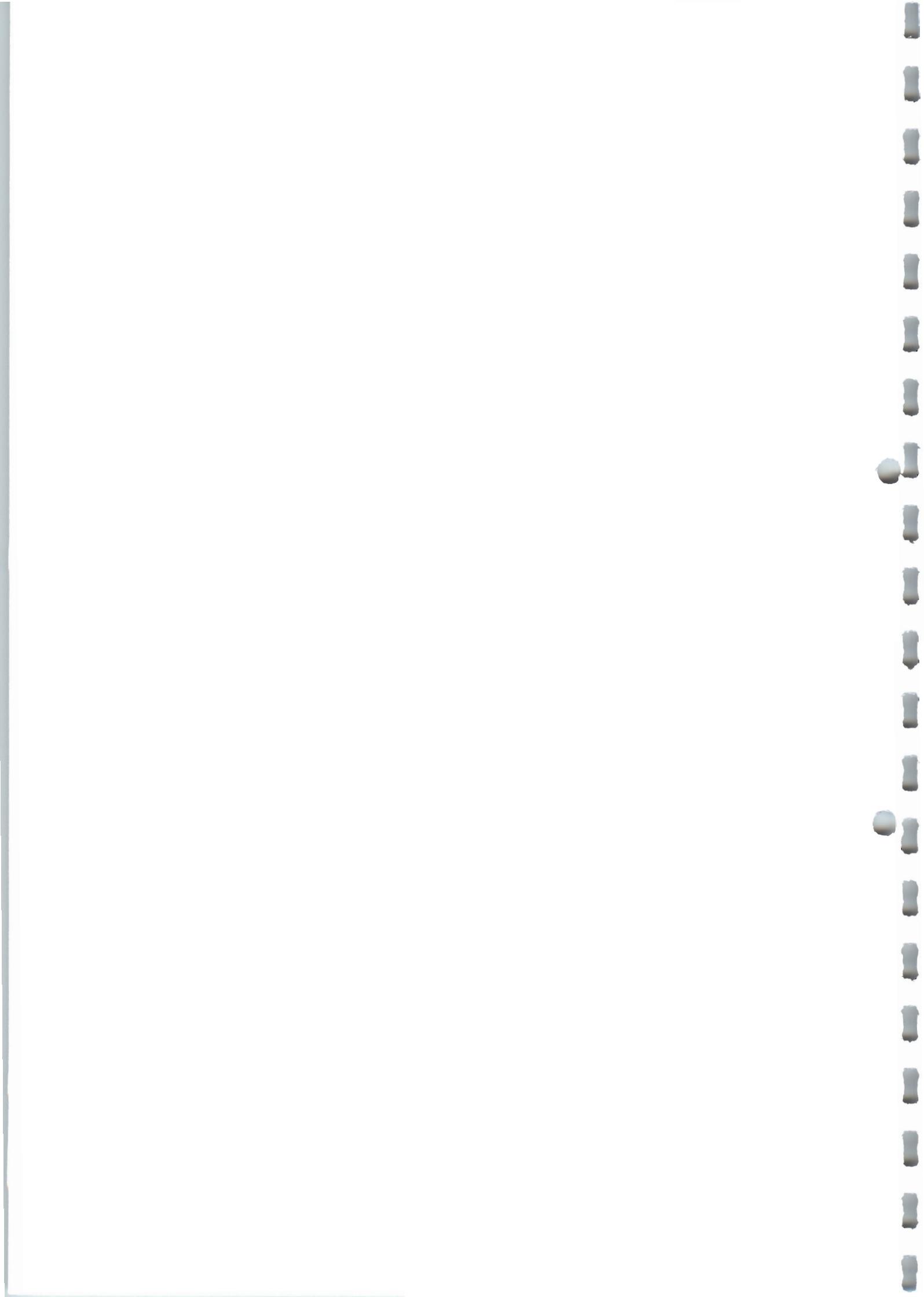
Sekretariat: Petra Biehl

Telefon + 49-6221-54 4803
Telefax + 49 6221-54 5228
e-mail: envigco@ugc.uni-heidelberg.de

Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

Organische Parameter: Filterkuchen (Untersuchungen der Originalsubstanz)

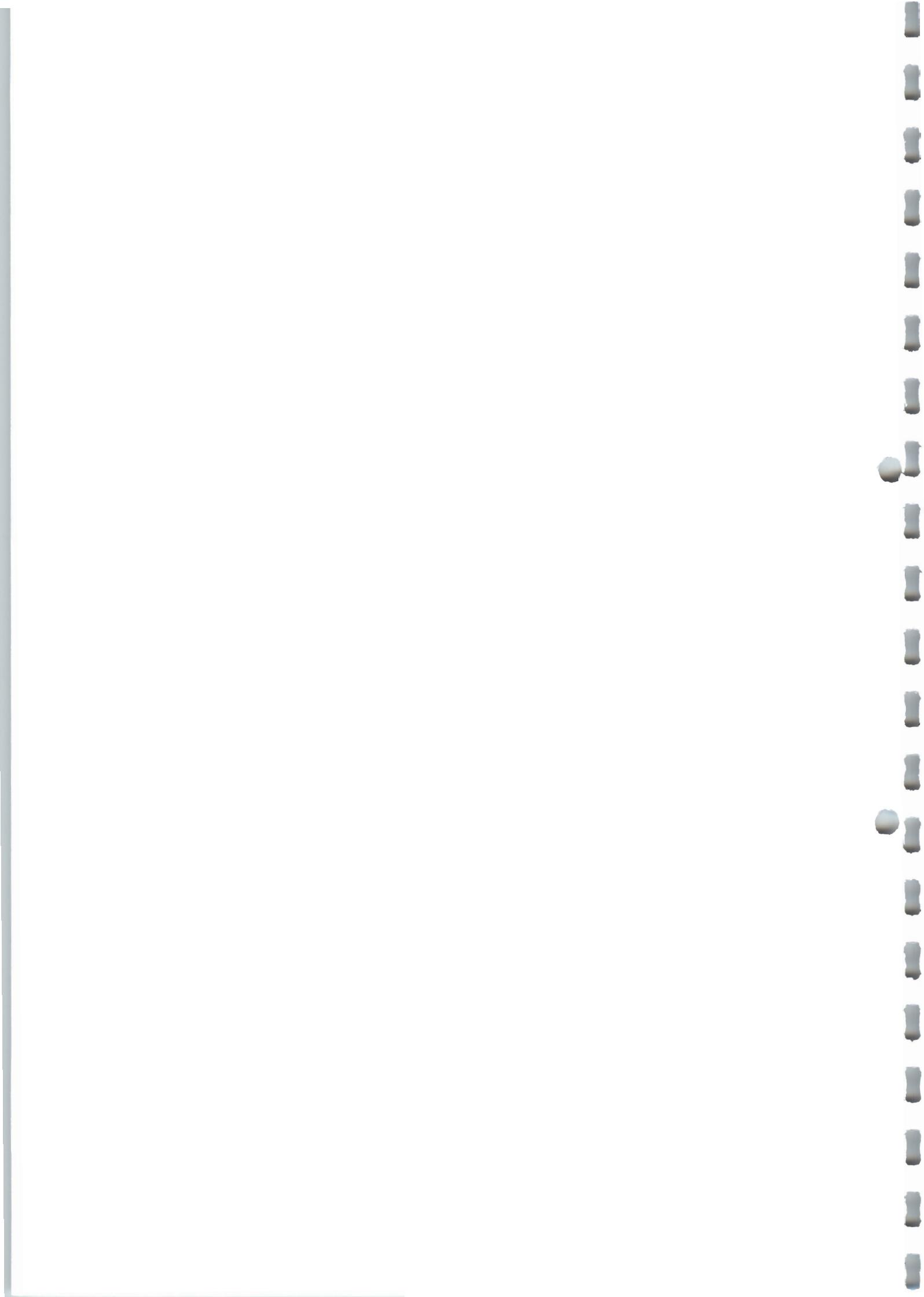
		Filterkuchen AZT, original	Filterkuchen AZT-MVA, 09.05.01	Filterkuchen AZT-MVA- Kieselgur-Bims. 10.05.01	Filterkuchen Elbberg-Perlit, 09.05.01
Aussehen		graubraunes lehmiges Material	graubraunes lehmiges Material	graubraunes lehmiges Material	graubraunes lehmiges Material
Trockensubstanz (105 °C)	%	70	82	81	60
Polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)					
Naphthalin	mg/kg	0.014	0.028	0.042	0.017
Acenaphthylen	mg/kg	0.002	<0.001	0.005	0.008
Acenaphthalin	mg/kg	<0.001	<0.001	0.003	0.003
Fluoren	mg/kg	0.003	<0.001	0.004	0.007
Phenanthren	mg/kg	0.039	0.039	0.051	0.11
Anthracen	mg/kg	0.005	0.005	0.006	0.026
Fluoranthren	mg/kg	0.020	0.018	0.025	0.17
Pyren	mg/kg	0.013	0.014	0.019	0.14
Benzo-(a)-anthracen	mg/kg	0.004	0.004	0.011	0.18
Chrysen	mg/kg	0.010	0.009	0.015	0.20
Benzo-(b)-fluoranthren	mg/kg	0.004	0.004	0.008	0.12
Benzo-(k)-fluoranthren	mg/kg	0.002	0.004	0.004	0.083
Benzo-(a)-pyren	mg/kg	<0.001	<0.001	0.006	0.096
Dibenz-(a,h)-anthracen	mg/kg	<0.001	<0.001	0.001	0.021
Benzo-(g,h,i)-perylene	mg/kg	0.003	0.001	0.006	0.068
Indeno-(1.2.3-cd)-pyren	mg/kg	<0.001	<0.001	0.003	0.067
Summe PAK Nr. 1 - 16	mg/kg	0.119	0.126	0.209	1.316
Summe PAK Nr. 11 - 16	mg/kg	0.009	0.009	0.028	0.455



Polychlorierte Biphenyle (PCB)		Filterkuchen AZT, original	Filterkuchen AZT-MVA, 09.05.01	Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims. 10.05.01	Filterkuchen Elbberg-Perlit, 09.05.01
PCB 28	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 52	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	<0,1
PCB 101	mg/kg	n.n.	n.n.	n.n.	<0,1
PCB 153	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PCB 138	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
PCB180	mg/kg	<0,1	<0,1	<0,1	n.n.

		Filterkuchen AZT, original	Filterkuchen AZT-MVA, 09.05.01	Filterkuchen Elbberg-Perlit, 09.05.01
Schwerflüchtige, lipophile Stoffe	mg/kg	<100	<100	<100
Kohlenwasserstoffe, unpolar	mg/kg	22	12	13
Phenol-Index, gesamt	mg/kg	<0.5	<0.5	<0.5

Leichtflüchtige, halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)			Filterkuchen AZT, original	Filterkuchen AZT-MVA, 09.05.01	Filterkuchen Elbberg-Perlit, 09.05.01
Dichlormethan	(CH ₂ Cl ₂)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
cis-Dichlorethylen	(C ₂ H ₂ Cl ₂)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
Trichlormethan	(CHCl ₃)	mg/kg	0.003	0.001	0.005
1.1.1-Trichlorethan	(C ₂ H ₃ Cl ₃)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
1.2-Dichlorethan	(C ₂ H ₄ Cl ₂)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
Tetrachlormethan	(CCl ₄)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
Trichlorethylen	(C ₂ HCl ₃)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
Tetrachlorethylen	(C ₂ Cl ₄)	mg/kg	<0.001	<0.001	<0.001
Summe LHKW		mg/kg	0.003	0.001	0.005



Anmerkung

Die Polycyclischen Aromaten (PAK) wurden nach Zusatz von 8 deuterierten PAK als interne Standards und anschließender Extraktion per GC/MS nach der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt.

Die Bestimmung der Mineralölkohlenwasserstoffe erfolgte nach Extraktion und SC-Clean-up infrarotspektrometrisch nach DIN 38409 Teil 18.

Die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) wurden per GC/MS (Headspace) bestimmt.

Die übrigen Bestimmungen erfolgten gemäß DEV bzw. nach DIN-Normen.

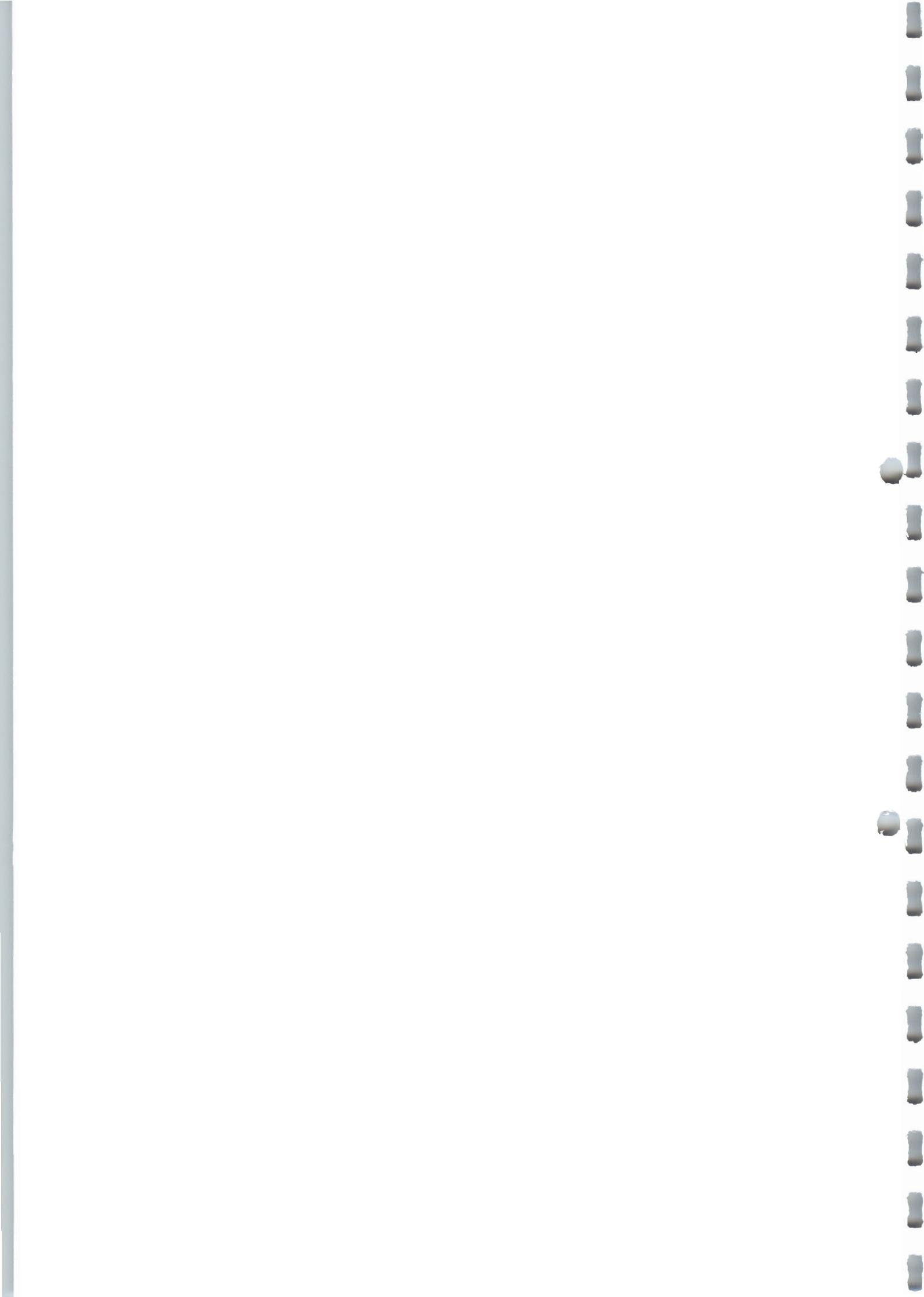
Alle Werte wurden auf die Trockensubstanz berechnet.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz

R. Ottenstein

D. Eggersglüß



Universität Heidelberg

Institut für Umwelt-Geochemie

Im Neuenheimer 236 D-69120 Heidelberg

Direktor: Professor Dr. William Shotyk

Sekretariat: Petra Biehl

Telefon + 49-6221-54 4803

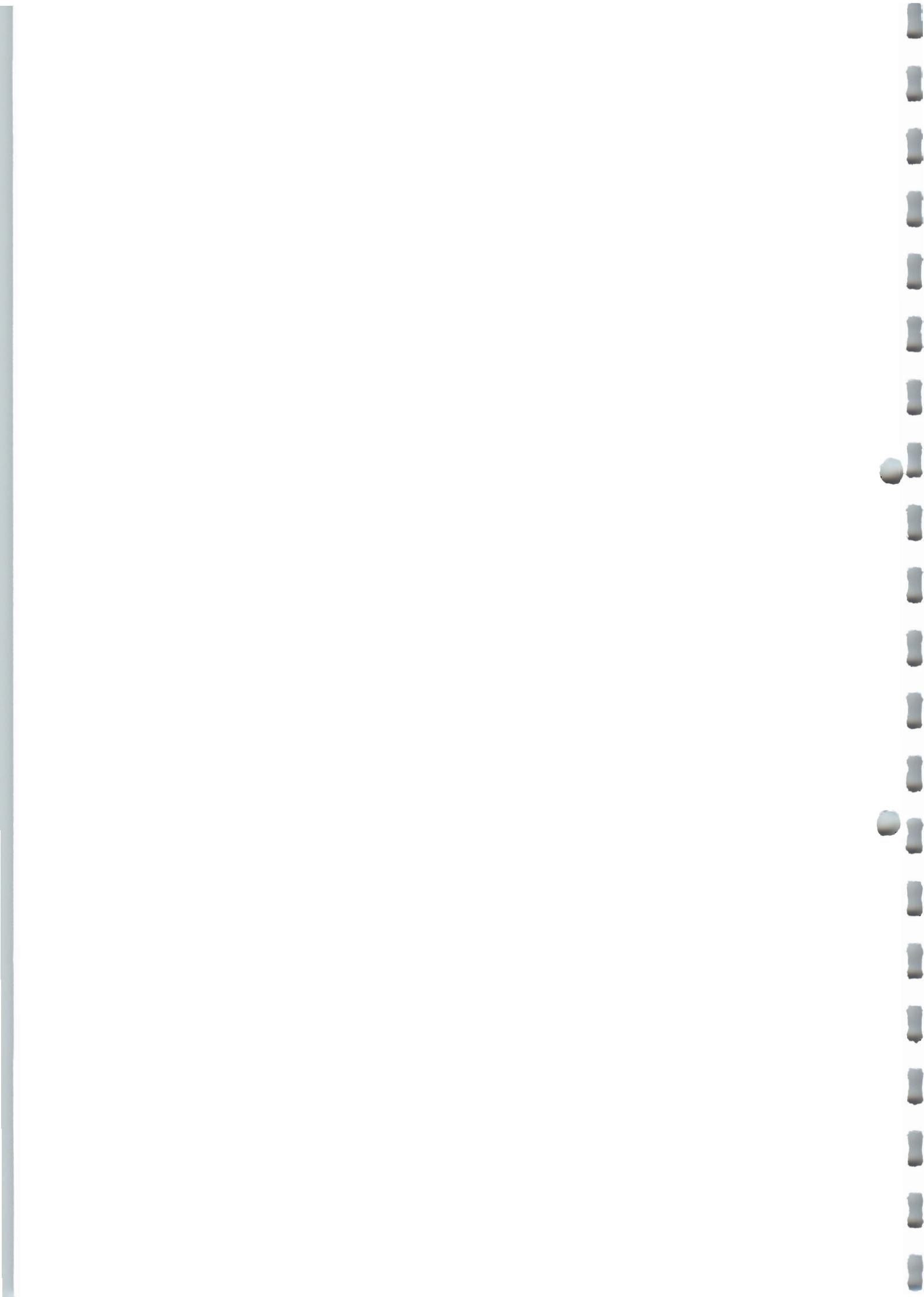
Telefax + 49 6221-54 5228

e-mail: envigeo@ugc.uni-heidelberg.de

Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

Organische Parameter: Filtrate

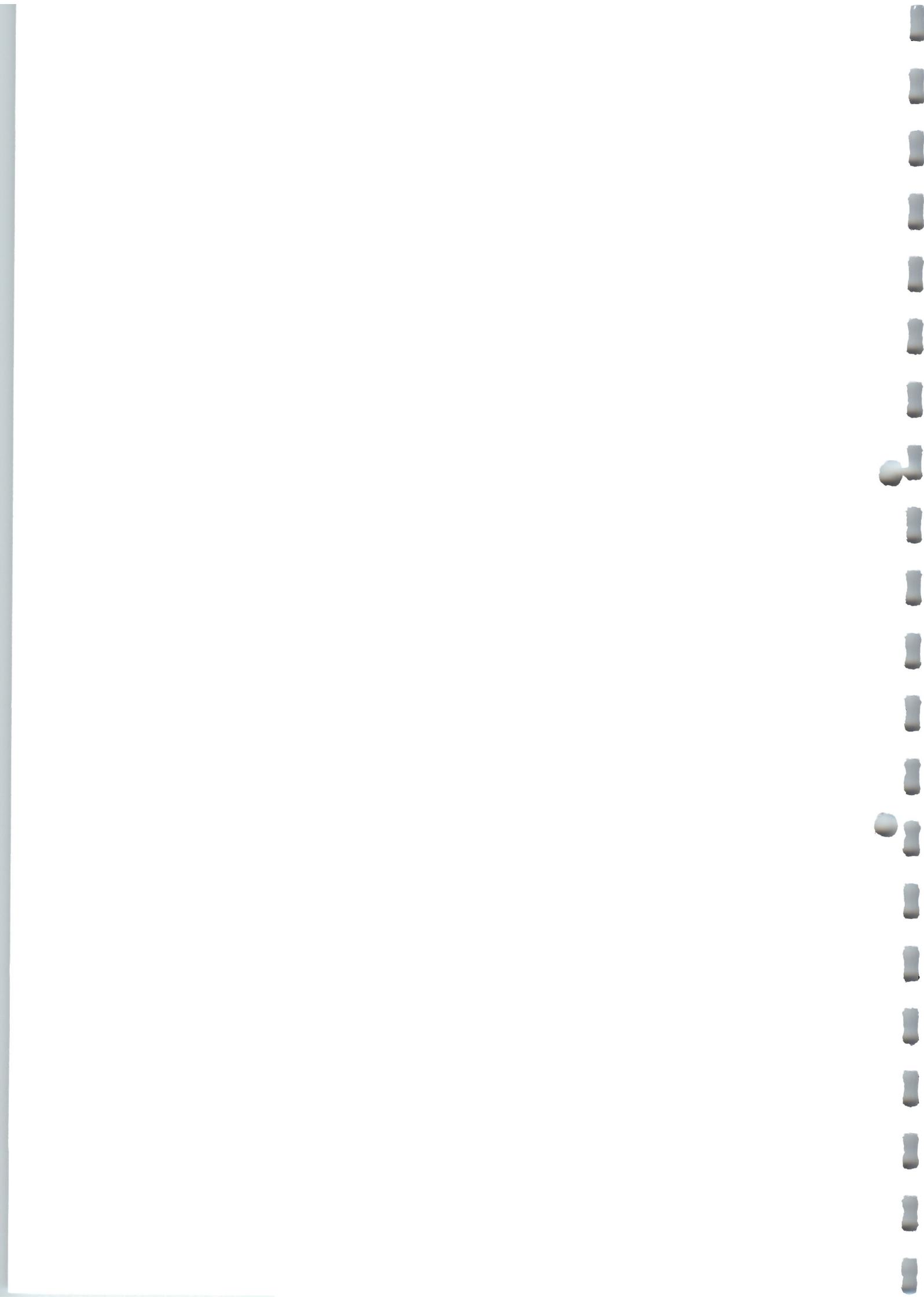
		Filterkuchen, AZT-MVA, 09.05.01	Filterkuchen AZT- MVA-Kieselgur- Bims. 10.05.01	Filterkuchen, Elbberg-Perlit, 09.05.01
Aussehen		farblos, klar mit geringem Bodensatz	schwach bräunlich, trüb	schwach gelblich, klare Flüssigkeit mit geringem Bodensatz
Trockensubstanz (105 °C)	%	82	81	60
Polyzyklische, aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)				
Naphthalin	mg/l	<0.0001	0.0001	<0.0001
Acenaphthylen	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Acenaphthalin	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fluoren	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Phenanthren	mg/l	<0.0001	<0.0001	0.0001
Anthracen	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Fluoranthren	mg/l	0.00002	<0.00001	0.00006
Pyren	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo-(a)-anthracen	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Chrysen	mg/l	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Benzo-(b)-fluoranthren	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Benzo-(k)-fluoranthren	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Benzo-(a)-pyren	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Dibenz-(a,h)-anthracen	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Benzo-(g,h,i)-perylene	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Indeno-(1.2.3-cd)-pyren	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001
Summe PAK Nr. 1 - 16	mg/l	0.00002	0.00010	0.00016
Summe PAK Nr. 11 - 16	mg/l	<0.00001	<0.00001	<0.00001



Polychlorierte Biphenyle (PCB)		Filtrat AZT-MVA, 09.05.01	Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bims., 09.05.01	Filtrat Elbberg-Perlit, 09.05.01
PCB 28	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 52	mg/l	n.n.	n.n.	n.n.
PCB 101	mg/l	n.n.	<0,1	n.n.
PCB 153	mg/l	<0,1	n.n.	n.n.
PCB 138	mg/l	<0,1	n.n.	<0,1
PCB180	mg/l	<0,1	<0,1	<0,1

		Filtrat Elbberg-Perlit, 09.05.01
Schwerflüchtige, lipophile Stoffe	mg/l	<5
Kohlenwasserstoffe, unpolar	mg/l	0.09
Phenol-Index, gesamt	mg/l	<0.05

Leichtflüchtige, halogenierte Kohlenwasserstoffe (LHKW)			Filtrat Elbberg-Perlit, 09.05.01
Dichlormethan	(CH ₂ Cl ₂)	mg/l	<0.001
cis-Dichlorethylen	(C ₂ H ₂ Cl ₂)	mg/l	<0.001
Trichlormethan	(CHCl ₃)	mg/l	<0.001
1.1.1-Trichlorethan	(C ₂ H ₃ Cl ₃)	mg/l	<0.001
1.2-Dichlorethan	(C ₂ H ₄ Cl ₂)	mg/l	<0.001
Tetrachlormethan	(CCl ₄)	mg/l	<0.001
Trichlorethylen	(C ₂ HCl ₃)	mg/l	<0.001
Tetrachlorethylen	(C ₂ Cl ₄)	mg/l	<0.001
Summe LHKW		mg/l	<0.001



Anmerkung

Die Polyzyklischen Aromaten (PAK) wurden nach Zusatz von 8 deuterierten PAK als interne Standards und anschließender Extraktion per GC/MS nach der Isotopenverdünnungsmethode bestimmt.

Die Bestimmung der Mineralölkohlenwasserstoffe erfolgte nach Extraktion und SC-Clean-up infrarotspektrometrisch nach DIN 38409 Teil 18.

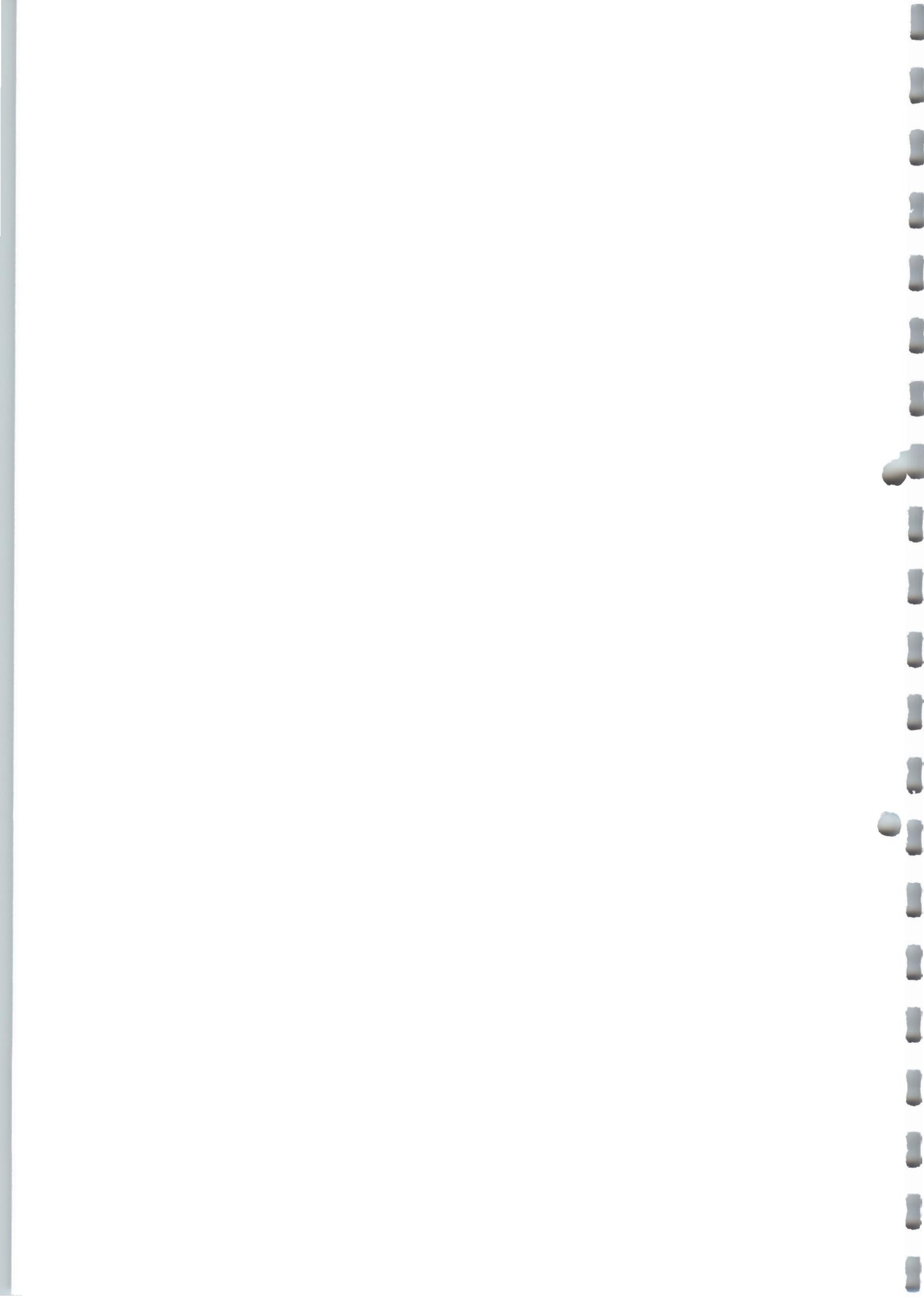
Die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe (LHKW) wurden per GC/MS (Headspace) bestimmt.

Die übrigen Bestimmungen erfolgten gemäß DEV bzw. nach DIN-Normen.

Alle Werte wurden auf die Trockensubstanz berechnet.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz
R. Ottenstein
D. Eggersgluß



Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

Kohlenstoffanalysen: Feststoffe und Filtrate

<u>Feststoffe</u>		Kieselgur Welde Bräu, 04.05.01	Filterkuchen AZT, original	Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bims., 10.05.01	Spezialpolymer CIBA
Aussehen		dunkelbraune, sehr trübe Flüssigkeit mit aufschwimmenden Partikeln und starkem Bodensatz	graubraunes, lehmiges Material	graubraunes, lehmiges Material	weißes, kristallines Material
Trockensubstanz (105 °C)	%	17	70	81	91
Gesamtkohlenstoff	g/kg	44	55	51	510
Karbonat-Kohlenstoff	g/kg	<0,5	41	40	<0,5
Organischer Kohlenstoff (TOC)	g/kg	44	14	11	510

<u>Filtrate</u>		Filtrat AZT-Nullversuch, 04.05.01	Filtrat AZT-MVA, 09.05.01	Filtrat AZT-MVA-Kieselgur-Bims., 09.05.01	Filtrat Elbberg-Perlit, 09.05.01
Aussehen		farblos, schwach trüb	farblos, klar mit geringem Bodensatz	schwach bräunlich, trüb	schwach gelblich, klare Flüssigkeit mit geringem Bodensatz
Organischer Kohlenstoff (TOC)	mg/l	10,5	10,3	282	10,1

Anmerkung

Der Gesamtkohlenstoff wurde nach thermischer Oxidation, der Karbonat-Kohlenstoff nach Austreiben infrarotspektrometrisch bestimmt. Die Differenz ist der Organische Kohlenstoff (TOC). Die ermittelten Analysendaten wurden auf die Trockensubstanz berechnet.

Der TOC wurde nach thermischer Oxidation infrarotspektrometrisch bestimmt.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz
R. Ottenstein
D. Eggersglüß



Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen AZ 16285

Eluatuntersuchungen von gebrannten Ziegeln

Probenbezeichnung	Cd µg/l	Cr(VI) µg/l	Cu µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	Chlorid mg/l	Sulfat mg/l
Eluat nach DEV S4							
Ziegel aus Ziegelton ohne Zuschlag	n.b.	242	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-Feinperlit	0,24	416	4	49	2,2	5	21
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA	0,28	411	28	10	1,8	69	1156
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,47	155	2	20	0,3	7	414
Eluat analog Trogverfahren							
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	0,21	105	<1	3	0,6	8	404

Probenbezeichnung	Cr(VI) 24 Std.: DEV S4 bzw. Trogverfahren	Cr(VI) 72 Std.: 24 Std. DEV S4 bzw. Trogverfahren, Restzeit stehengelassen
	µg/l	µg/l
Eluat nach DEV S4		
Ziegel aus Ziegelton ohne Zuschlag	242	n.b.
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-Feinperlit	416	421
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA	411	363
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	155	191
Eluat analog Trogverfahren		
Ziegel aus Ziegelton mit 40 % Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	105	218

n.b. = nicht bestimmt

Die Angaben sind Mittelwerte aus jeweils 2 Messungen. Näheres zu den Eluatverfahren siehe Text.



Methode:

Spektralphotometrie zur Cr(VI)-Bestimmung analog DEV DIN 38405 Teil 24

Geräte:

Spektrrophotometer von Milton Roy Company, Rochester, NY, USA

Vakuum-Filtrationsapparatur

Membranpumpe

Chemikalien:

Phosphorsäurelösung 1: 10 ml ortho-Phosphorsäure mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt.

Phosphorsäurelösung 2: 70 ml ortho-Phosphorsäure mit destilliertem Wasser auf 100 ml aufgefüllt.

Aluminiumsulfatlösung: 24,7 g $\text{Al}_2\text{SO}_4 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ in 100 ml destilliertem Wasser gelöst

Diphenylcarbazidlösung (DPC): 1 g Diphenylcarbazid in 100 ml Aceton gelöst und mit einem Tropfen Eisessig angesäuert.

Phosphatpufferlösung (pH 9): 45,6 g $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ in 100 ml destilliertem Wasser gelöst.

Chrom(VI)-Standardlösung: 1/30 mol/l Kaliumchromat von Riedel-de Haën Art. Nr. 35157 in entsprechender Verdünnung

Material:

1 cm Photometerküvetten von Sarstedt Art. Nr. 67.742

Sartorius Cellulose Nitrat Filter 11306 Porengröße 0,45 μm

Es werden 40 ml der Probe mit 400 μl Phosphatpufferlösung versetzt und der pH-Wert mit Natronlauge oder Phosphorsäurelösung 1 auf 7,5 bis 8 eingestellt. Die Lösung wird mit 40 μl Aluminiumsulfatlösung versetzt und unter Schütteln auf einen pH-Wert von 7,0 bis 7,2 gebracht. Die Probe wird mindestens zwei Stunden und höchstens 18 Stunden in einem Kühlschrank ruhiggestellt. Etwa 30 ml der Probe werden mittels eines Membranfilters filtriert, wobei die ersten ml des Filtrats verworfen werden. 20 ml des Filtrats werden in einem Meßkolben mit 400 μl DPC-Lösung und mit 400 μl Phosphorsäurelösung 2 versetzt und mit destilliertem Wasser auf 25 ml aufgefüllt. Nach etwa 5 Minuten wird die rot-violett gefärbte Lösung in Photometerküvetten gefüllt und nach etwa 10 min kann die Extinktion bei einer Wellenlänge von 550 nm gemessen werden.

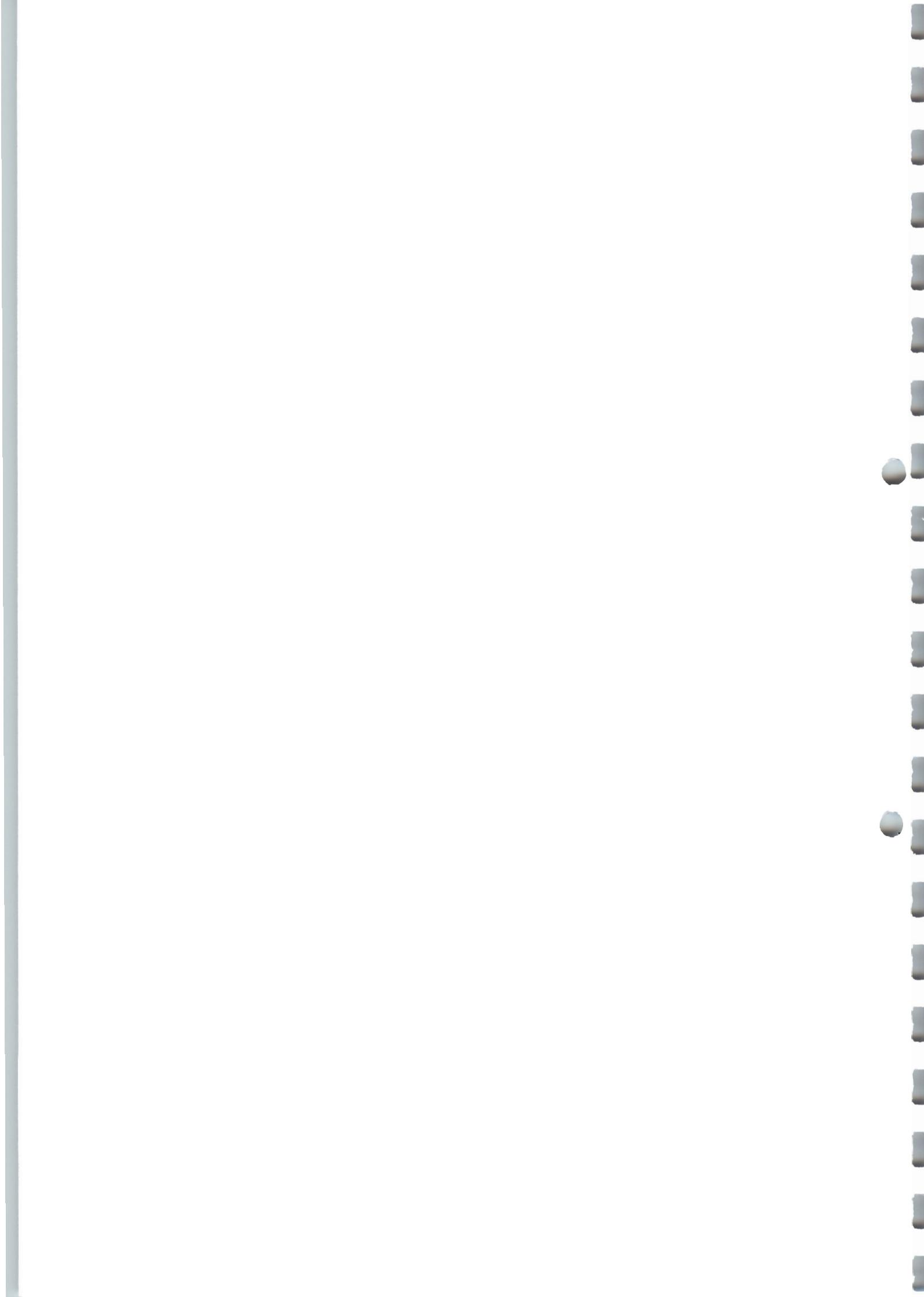
Nach Eichung des Spektrophotometers mit Standardlösungen wird die Konzentration an Chrom(VI) direkt abgelesen. Die Eichstandards werden wie die Proben vorbehandelt.

Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz

R. Ottenstein

D. Eggersglüß



Universität Heidelberg

Institut für Umwelt-Geochemie

Im Neuenheimer 236 D-69120 Heidelberg
Direktor: Professor Dr. William Shotyk

Sekretariat: Petra Biehl

Telefon + 49-6221-54 4803
Telefax + 49 6221-54 5228
e-mail: envigeo@ugc.uni-heidelberg.de

Projekt: Konditionierung gebrauchter Bentonitsuspensionen Z 16285

Spezifische Oberfläche verschiedener Materialien

	Spezifische Oberfläche (m ² /g)
MVA	<0,5
Perlitstaub	<0,5
Bimswaschschlamm	12,5
Spezialpolymer CIBA	<0,5
FrISChe Bentonitsuspension Dywonit	29,6
Gebrauchte Bentonitsuspension Dywonit	15,7
Gebrauchte Bentonitsuspension Tixoton, Kehl	15,0
Gebrauchte Bentonitsuspension Tixoton, Köln	10,5
Gebrauchte Bentonitsuspension AZT	3,8
Gebrauchte Bentonitsuspension Elbberg	9,3
Filterkuchen AZT, original	2,1
Filterkuchen AZT-Perlit	0,9
Filterkuchen AZT-MVA	0,6
Filterkuchen AZT-Kieselgur-Bimswaschschlamm	2,7
Filterkuchen AZT-MVA-Kieselgur-Bimswaschschlamm	1,5

Meßgerät: Der Areamat (Ströhlein Instruments)

Bestimmung: BET-Methode

Aus der Abhängigkeit der adsorbierten Gasmenge vom Druck eines einheitlichen Gases über der Oberfläche bei konstanter Temperatur erhält man die Adsorptions-Isotherme.

Das bekannteste Verfahren, das als Standardmethode für die Bestimmung der spezifischen Oberfläche aus dem Verlauf der Adsorptions-Isotherme angewandt wird, ist die sogenannte BET-Methode.

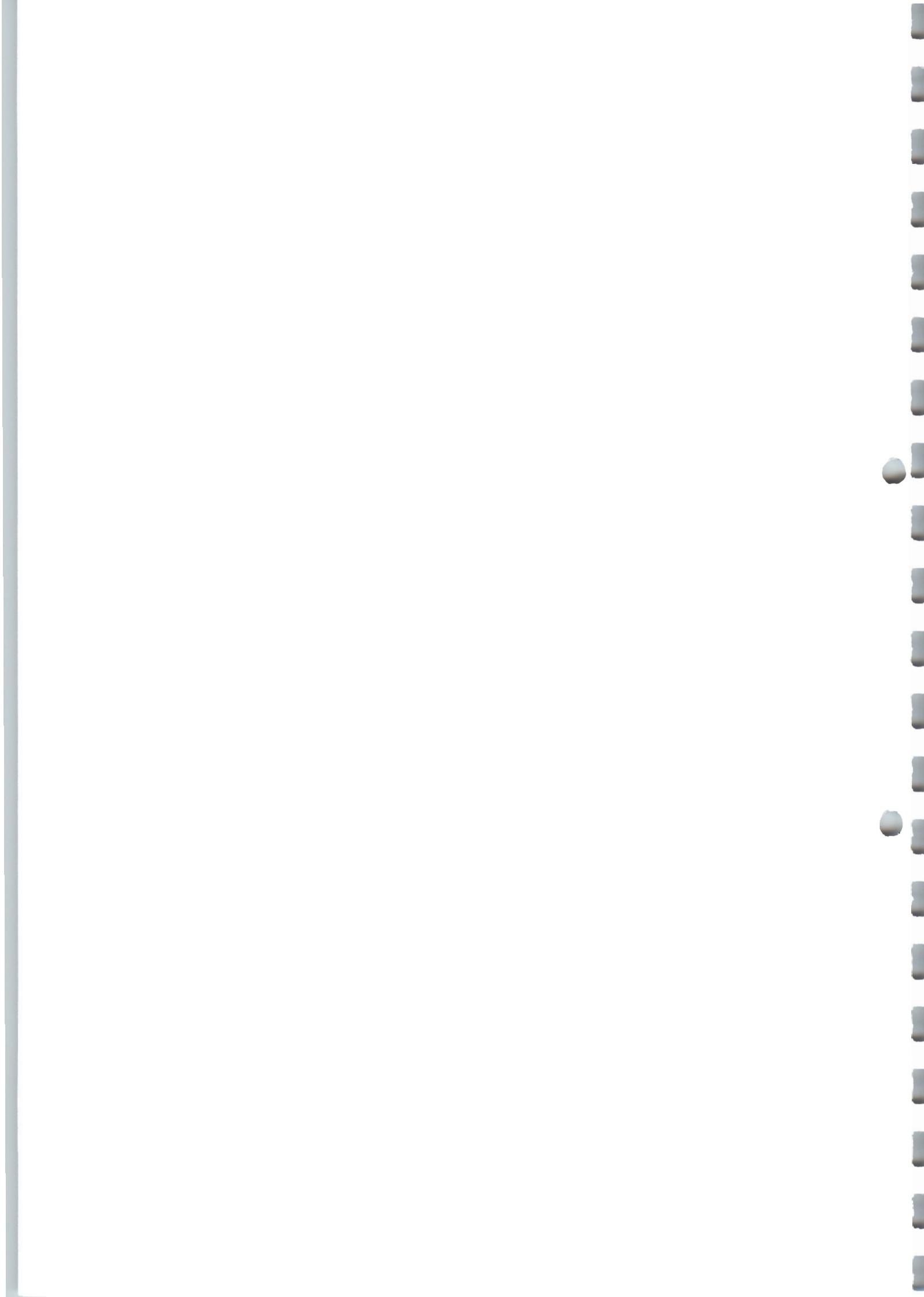
Die Bestimmung beruht auf der Adsorption von Stickstoff aus der Gasphase bei der Siedetemperatur des flüssigen Stickstoffs.

Hierbei wird aus der experimentell ermittelten Adsorptionsisotherme die Anzahl Mole Stickstoff bestimmt, die erforderlich ist, um die Oberfläche der zu untersuchenden Probe mit einer vollständigen, dichtest belegten monomolekularen Schicht zu bedecken. Hieraus ergibt sich mit der Masse der Probe und der Avogadrozahl die Anzahl der in der vollständigen Monoschicht pro Gramm Feststoff adsorbierten Stickstoffmoleküle.

Unter Zugrundelegung des Flächenbedarfs eines einzelnen adsorbierten Stickstoffmoleküls ergibt sich damit die spezifische Oberfläche.

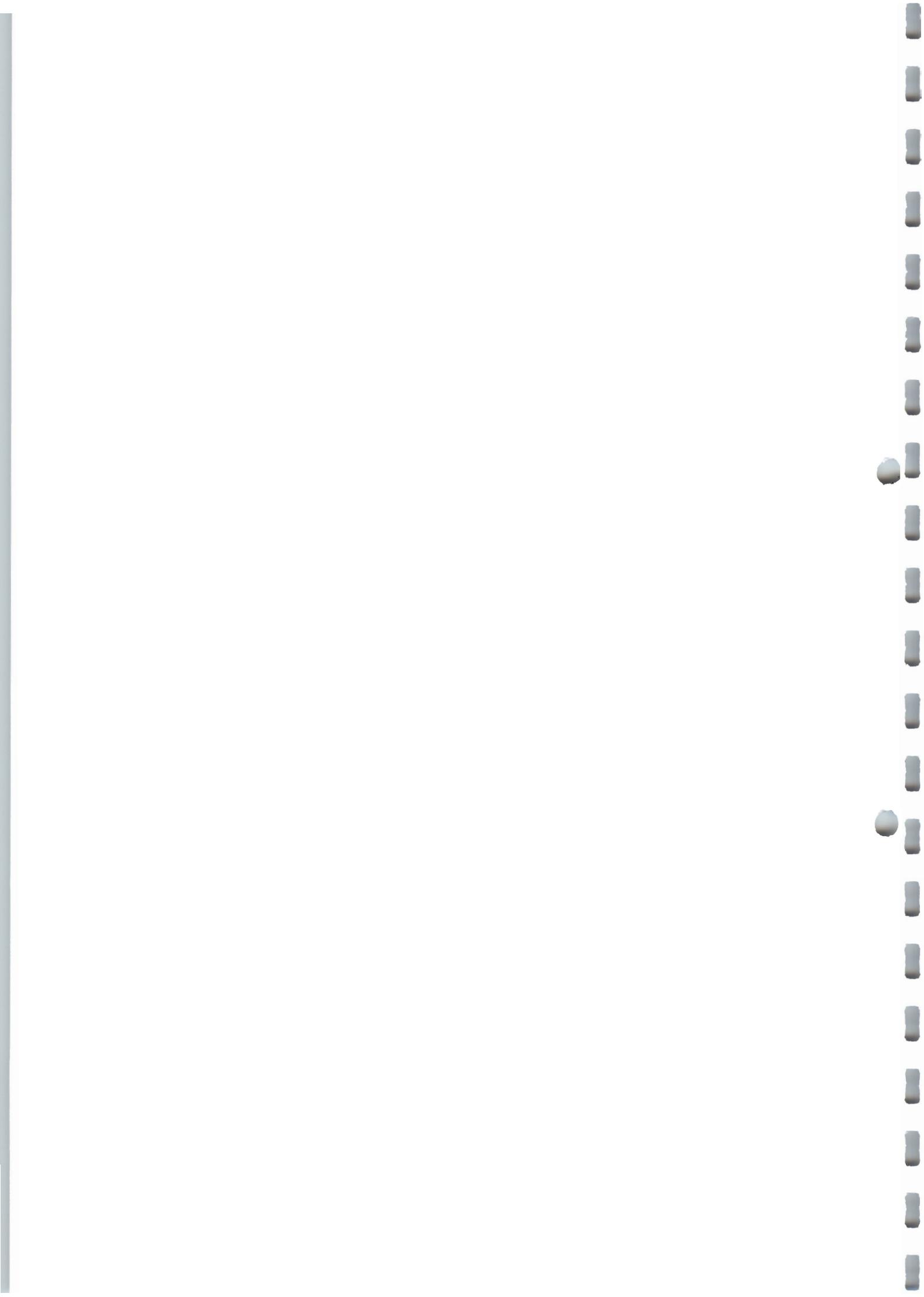
Bearbeiter: Dr. A. Yahya

C. Scholz
R. Ottenstein
D. Eggersglüß



Anhang 3

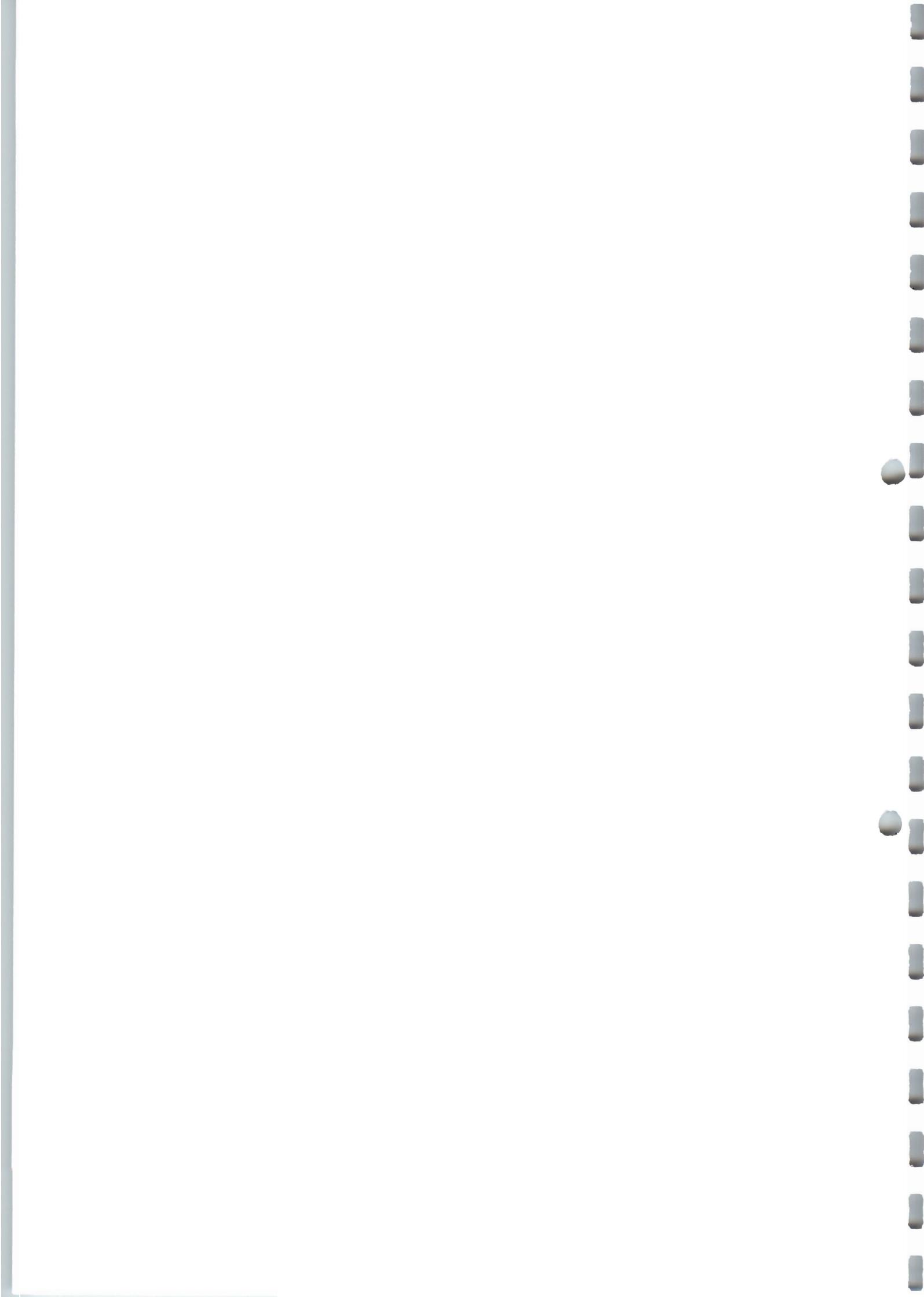
Keramische Untersuchungen



Anhang 3.1

Filterkuchen AZT mit MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff.
 Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und
 Gesamt-Schwindung.

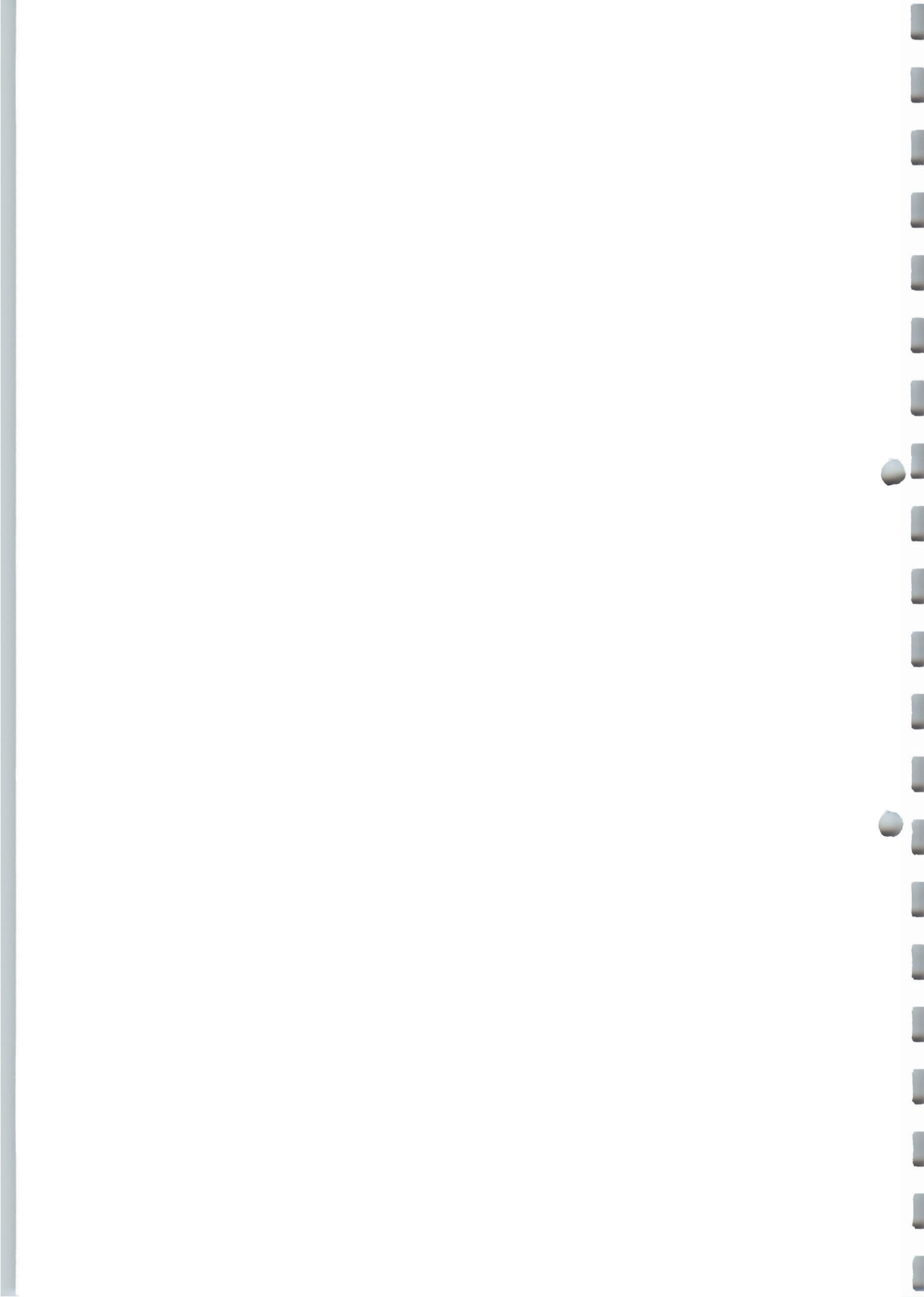
Ziegel Nr.	Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
1	5	1,80	0,81	2.61
2	5	1,60	0,41	2.01
3	5	1,60	0,61	2.21
4	5	1,20	1,01	2.21
5	5	1,20	0,81	2.01
MW	5	1,48	0,73	2.21
1	10	1,80	0,20	2.00
2	10	1,60	0,20	1.80
3	10	1,60	0,61	1.80
4	10	2,20	0,82	3.02
5	10	2,20	0,82	3.02
MW	10	1,88	0,53	2.33
1	15	2,60	1,23	3.83
2	15	2,20	1,43	3.63
3	15	2,20	1,02	3.22
4	15	2,20	1,23	3.43
5	15	2,20	1,23	3.43
MW	15	2,28	1,23	3.51
1	20	2,40	0,82	3.22
2	20	2,60	0,82	3.42
3	20	2,60	0,62	3.22
4	20	2,60	1,03	3.63
5	20	2,40	1,02	3.42
MW	20	2,52	0,86	3.38
1	30	2,60	0,62	3.22
2	30	2,60	1,03	3.63
3	30	2,60	0,41	3.01
4	30	2,40	0,82	3.22
5	30	2,20	0,61	2.81
MW	30	2,48	0,70	3.18
1	40	2,20	0,61	2.81
2	40	2,40	0,20	2.60
3	40	2,40	0,41	2.81
4	40	2,20	0,41	2.61
5	40	2,20	0,61	2.81
MW	40	2,28	0,45	2.73



Anhang 3.2

Filterkuchen AZT mit MVA/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.

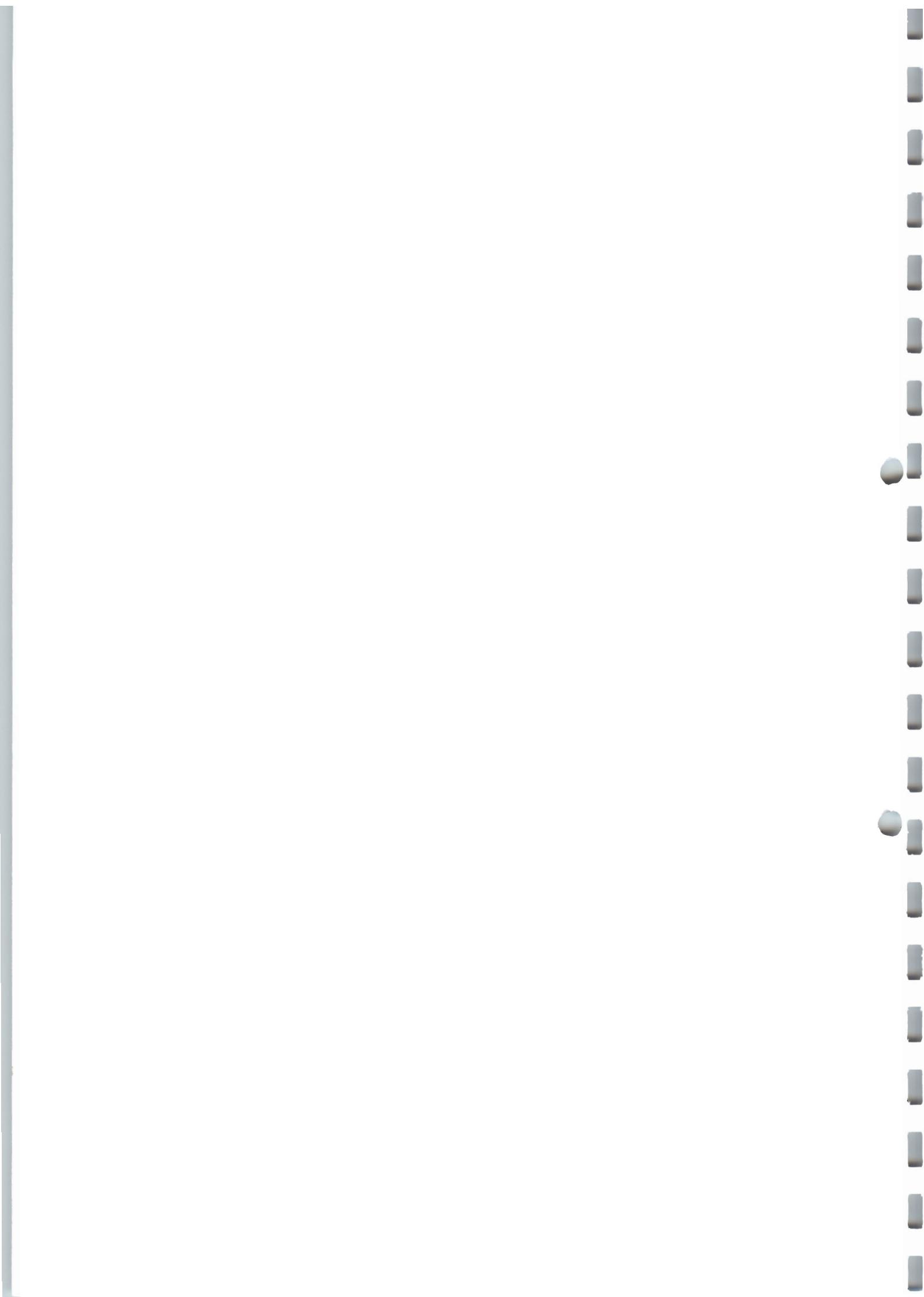
Ziegel Nr.	Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
1	5	2,00	1,22	3.22
2	5	2,20	1,40	3.60
3	5	1,60	2,03	3.63
4	5	1,80	1,43	3.23
5	5	1,60	1,42	3.02
MW	5	1,84	1,50	3.34
1	10	2,00	1,43	3.43
2	10	2,60	1,03	3.63
3	10	2,40	1,02	3.42
4	10	2,20	1,23	3.43
5	10	2,20	1,23	3.43
MW	10	2,28	1,19	3.47
1	15	2,40	1,02	3.42
2	15	2,40	0,82	3.22
3	15	2,60	1,03	3.63
4	15	2,40	1,02	3.42
5	15	2,40	1,02	3.42
MW	15	2,44	0,98	3.42
1	20	2,20	1,02	3.22
2	20	2,20	1,23	3.43
3	20	2,00	1,02	3.02
4	20	2,00	1,02	3.02
5	20	2,20	1,23	3.43
MW	20	2,12	1,10	3.22
1	30	2,40	1,02	3.42
2	30	2,00	0,82	2.82
3	30	1,60	0,61	2.21
4	30	2,00	0,82	2.82
5	30	1,80	0,41	2.21
MW	30	1,96	0,74	2.70
1	40	2,20	0,20	2.40
2	40	1,80	0,20	2.00
3	40	2,00	0,20	2.20
4	40	2,00	0,20	2.20
5	40	2,00	0,20	2.20
MW	40	2,00	0,20	2.20



Anhang 3.3

Filterkuchen AZT mit Kieselgur/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.

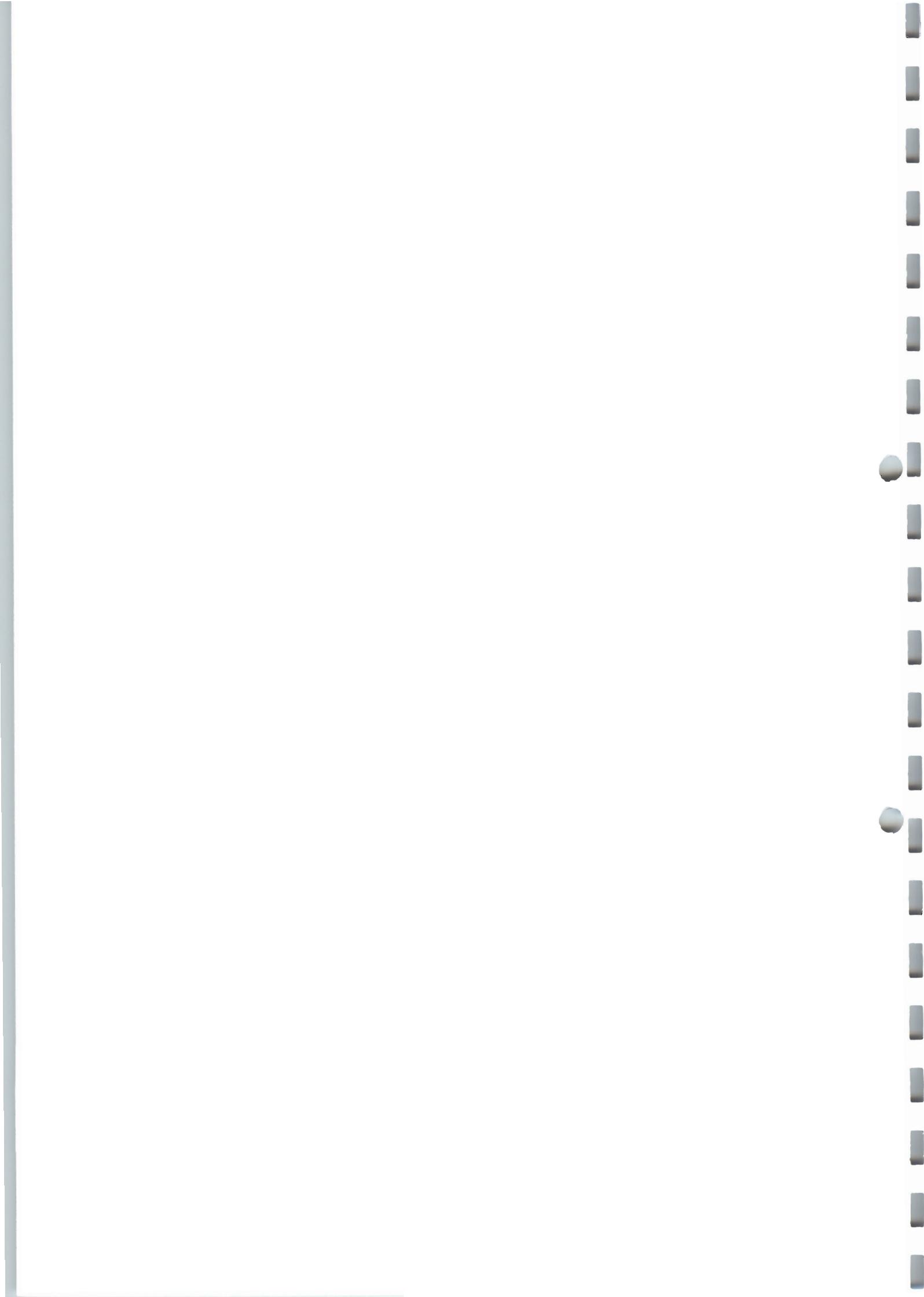
Ziegel Nr.	Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
1	5	2,60	1,03	3.63
2	5	3,00	0,41	3.41
3	5	3,20	0,83	4.03
4	5	3,40	0,83	4.23
5	5	3,40	0,21	3.61
MW	5	3,12	0,66	3.78
1	10	3,60	1,24	4.84
2	10	3,60	0,83	4.43
3	10	3,60	0,83	4.43
4	10	3,40	0,83	4.23
5	10	3,20	0,83	4.03
MW	10	3,48	0,91	4.39
1	15	2,60	0,62	3.22
2	15	2,60	0,41	3.01
3	15	2,40	1,02	3.42
4	15	2,40	1,02	3.42
5	15	2,20	0,61	2.81
MW	15	2,44	0,74	3.18
1	20	3,00	0,62	3.62
2	20	3,00	0,82	3.82
3	20	2,80	0,62	3.42
4	20	2,60	0,62	3.22
5	20	2,80	0,82	3.62
MW	20	2,84	0,70	3.54
1	30	2,80	0,62	3.42
2	30	3,00	0,62	3.62
3	30	2,60	1,03	3.63
4	30	3,00	0,41	3.41
5	30	2,80	0,62	3.42
MW	30	2,84	0,66	3.50
1	40	2,40	0,41	2.81
2	40	2,40	0,41	2.81
3	40	2,40	0,41	2.81
4	40	2,20	0,41	2.61
5	40	2,60	0,21	2.81
MW	40	2,40	0,37	2.77



Anhang 3.4

Filterkuchen AZT mit Perlit/Bims/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.

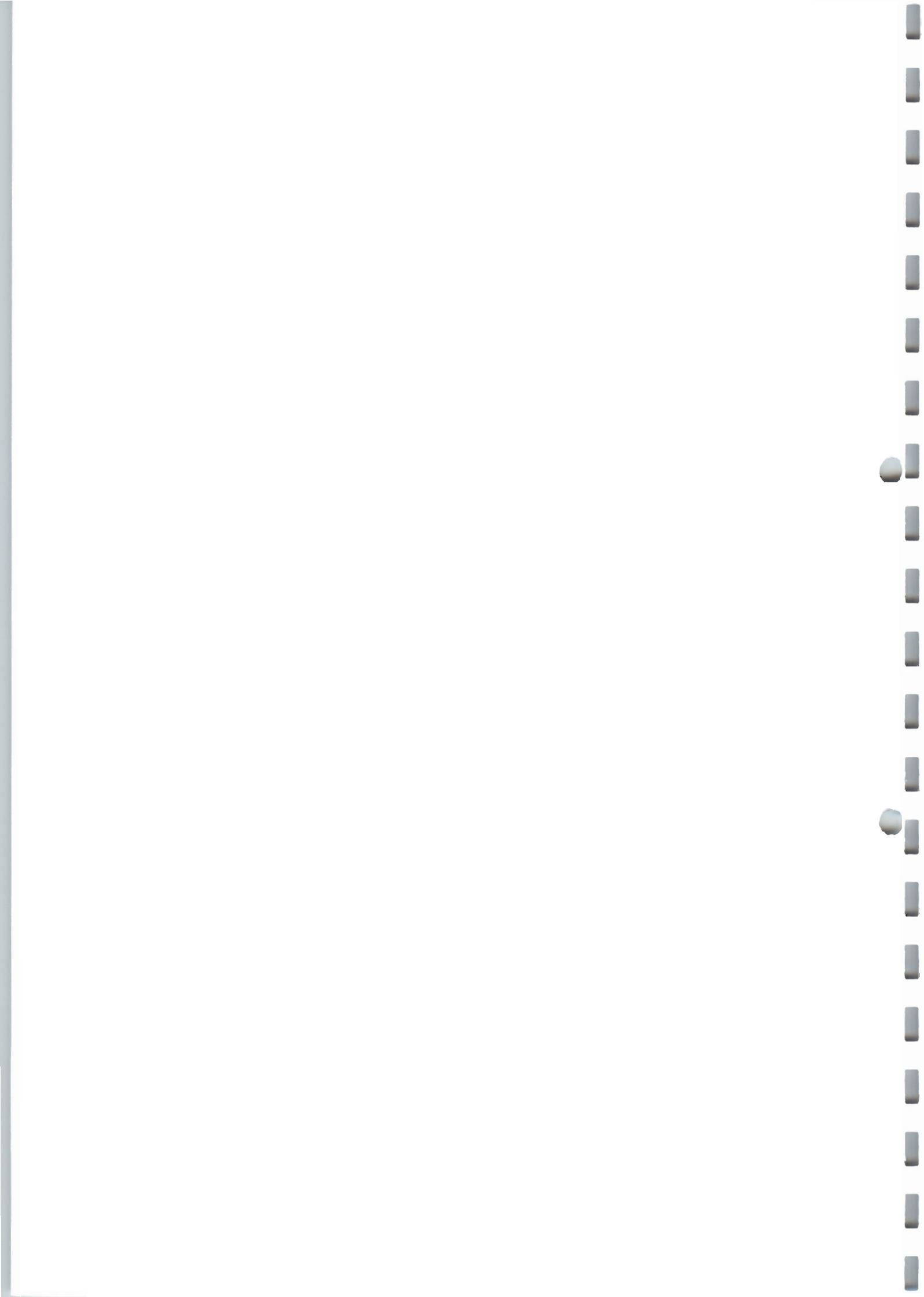
Ziegel Nr.	Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
1	5	2,40	1,43	3.83
2	5	2,00	1,43	3.43
3	5	2,40	1,23	3.63
4	5	2,20	1,23	3.43
5	5	2,20	1,43	3.63
MW	5	2,24	1,35	3.59
1	10	2,20	1,23	3.43
2	10	2,40	1,02	3.42
3	10	2,40	1,23	3.63
4	10	2,20	1,02	3.22
5	10	2,00	1,02	3.02
MW	10	2,24	1,10	3.34
1	15	2,40	1,02	3.42
2	15	2,40	1,23	3.62
3	15	2,00	0,82	2.82
4	15	2,00	1,02	3.02
5	15	1,80	0,61	2.41
MW	15	2,12	0,94	3.06
1	20	2,00	0,82	2.82
2	20	1,60	0,81	2.41
3	20	2,00	0,61	2.61
4	20	2,00	1,22	3.22
5	20	1,60	1,02	2.62
MW	20	1,84	0,90	2.74
1	30	1,60	1,02	2.62
2	30	1,40	0,81	2.21
3	30	1,60	0,81	2.41
4	30	1,40	1,01	2.41
5	30	1,20	0,81	2.01
MW	30	1,44	0,89	2.33
1	40	1,00	1,01	2.01
2	40	1,00	0,61	1.61
3	40	1,20	1,21	2.41
4	40	1,40	0,61	2.01
5	40	1,20	0,81	2.01
MW	40	1,16	0,85	2.01



Anhang 3.5

Filterkuchen Elberg mit Perlit/Bentonit als Zuschlagstoff. Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Trocken-, Brenn- und Gesamt-Schwindung.

Ziegel Nr.	Zuschlagstoff-Zugabe [Ma.-%]	Trocken-Schwindung [%]	Brenn-Schwindung [%]	Gesamt-Schwindung [%]
1	5	2,60	1,64	4.24
2	5	2,60	1,44	4.04
3	5	2,20	1,43	3.63
4	5	2,20	1,02	3.22
5	5	2,40	1,23	3.63
MW	5	2,40	1,35	3.75
1	10	2,40	1,64	4.04
2	10	2,40	1,64	4.04
3	10	2,40	1,64	4.04
4	10	2,40	1,64	4.04
5	10	2,00	1,63	3.63
MW	10	2,32	1,64	3.96
1	15	2,40	1,64	4.04
2	15	2,00	1,43	3.43
3	15	2,40	1,43	3.83
4	15	2,20	1,43	3.63
5	15	1,80	1,43	3.23
MW	15	2,16	1,47	3.63
1	20	2,20	1,02	3.22
2	20	1,60	1,22	2.82
3	20	1,60	1,22	2.82
4	20	2,00	1,43	3.43
5	20	2,00	1,22	3.22
MW	20	1,88	1,22	3.10
1	30	2,00	1,22	3.22
2	30	2,20	1,02	3.22
3	30	2,00	1,63	3.63
4	30	1,80	1,63	3.43
5	30	2,00	1,63	3.63
MW	30	2,00	1,43	3.43
1	40	1,80	1,22	3.02
2	40	2,00	1,63	3.63
3	40	2,00	1,43	3.43
4	40	2,20	1,84	4.04
5	40	2,00	2,04	4.04
MW	40	2,00	1,63	3.63



Anhang 3.6

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]
1	0,767
2	0,761
3	0,765
4	0,776
5	0,756
6	0,759
7	0,761
8	0,764
9	0,777
10	0,766
MW	0,765

Anhang 3.7

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung als Zuschlagstoff).

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	0,769	0,790	0,780	0,789	0,770	0,780
2	0,727	0,794	0,777	0,792	0,784	0,738
3	0,770	0,776	0,761	0,778	0,754	0,763
4	0,786	0,777	0,759	0,769	0,747	0,768
5	0,774	0,802	0,785	0,784	0,748	0,729
6	0,785	0,776	0,775	0,786	0,723	0,752
7	0,800	0,787	0,774	0,766	0,771	0,768
8	0,769	0,768	0,799	0,907	0,745	0,803
9	0,751	0,771	0,735	0,765	0,771	0,784
10	0,789	0,773	0,787	0,819	0,767	0,791
MW	0,772	0,781	0,773	0,794	0,758	0,767



Anhang 3.8

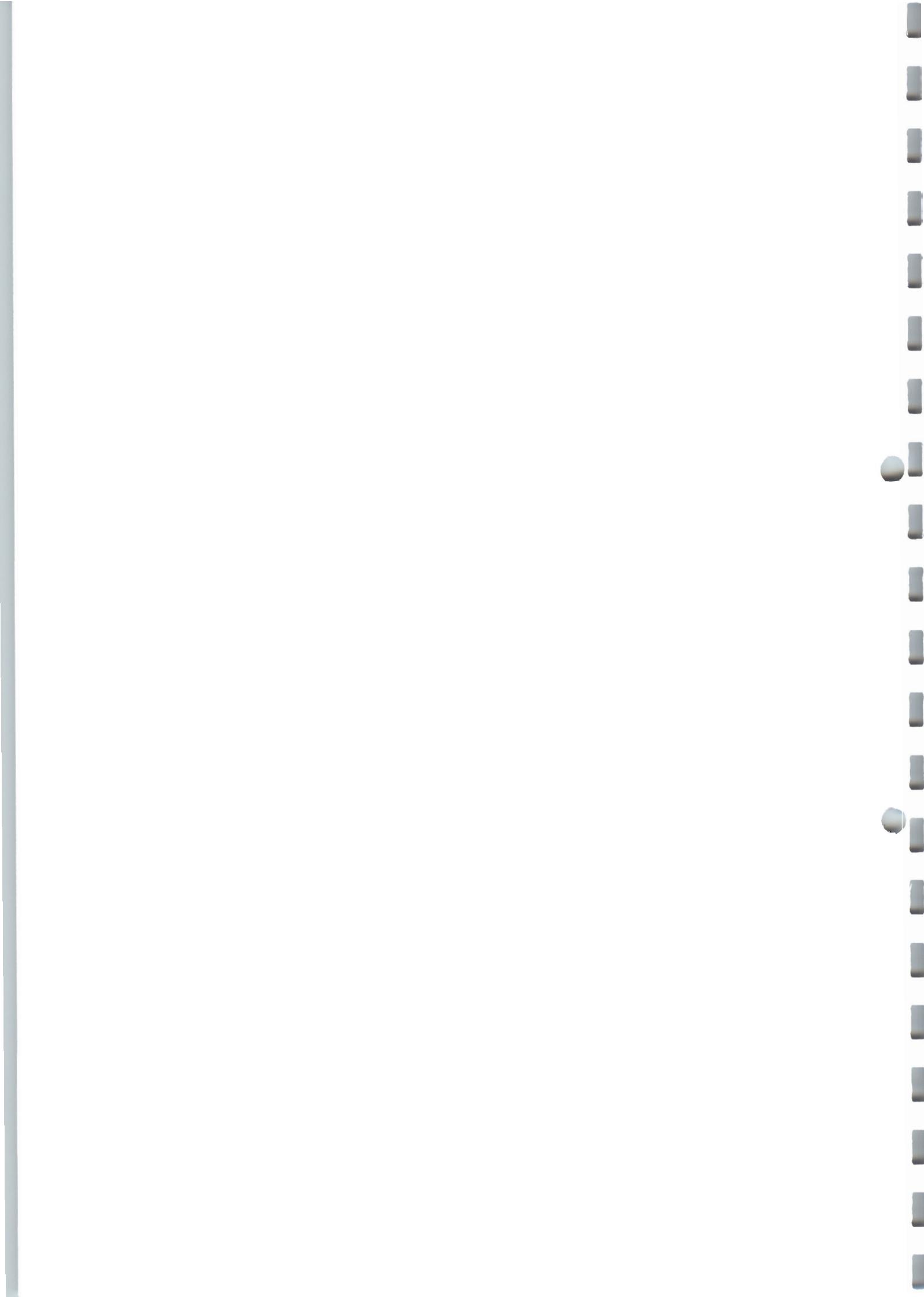
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	0,762	0,761	0,771	0,810	0,820	0,762
2	0,774	0,761	0,759	0,757	0,755	0,765
3	0,781	0,768	0,768	0,750	0,781	0,746
4	0,743	0,780	0,758	0,796	0,779	0,748
5	0,795	0,768	0,783	0,758	0,802	0,747
6	0,796	0,737	0,776	0,766	0,746	0,770
7	0,769	0,796	0,744	0,767	0,755	0,771
8	0,761	0,761	0,772	0,769	0,762	0,777
9	0,759	0,781	0,788	0,770	0,775	0,761
10	0,764	0,737	0,781	0,783	0,788	0,789
MW	0,770	0,765	0,770	0,773	0,776	0,764

Anhang 3.9

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	0,777	0,758	0,744	0,748	0,769	0,794
2	0,787	0,763	0,757	0,734	0,758	0,746
3	0,781	0,756	0,750	0,748	0,760	0,756
4	0,777	0,746	0,743	0,758	0,761	0,768
5	0,761	0,732	0,765	0,756	0,720	0,755
6	0,765	0,733	0,768	0,764	0,751	0,714
7	0,743	0,719	0,763	0,767	0,741	0,778
8	0,753	0,747	0,735	0,737	0,730	0,760
9	0,754	0,729	0,750	0,741	0,743	0,780
10	0,762	0,736	0,724	0,716	0,755	0,719
MW	0,766	0,739	0,750	0,747	0,749	0,757



Angang 3.10

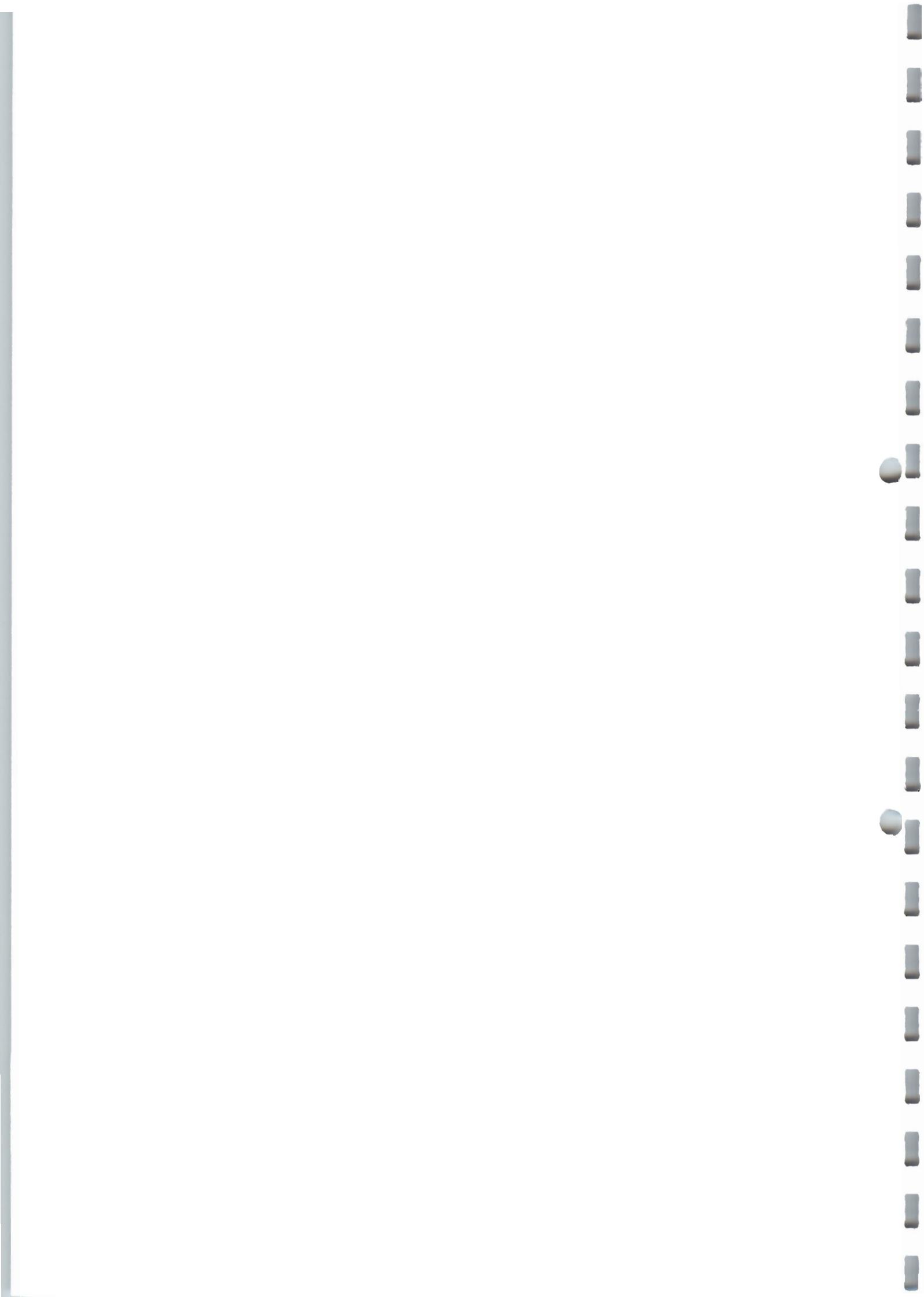
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	0,757	0,759	0,738	0,761	0,760	0,719
2	0,757	0,740	0,733	0,772	0,778	0,723
3	0,772	0,771	0,749	0,757	0,718	0,738
4	0,765	0,744	0,750	0,758	0,758	0,730
5	0,761	0,753	0,747	0,761	0,746	0,724
6	0,734	0,799	0,757	0,739	0,738	0,730
7	0,765	0,800	0,746	0,747	0,746	0,748
8	0,759	0,766	0,747	0,748	0,730	0,725
9	0,762	0,722	0,757	0,766	0,747	0,738
10	0,771	0,751	0,741	0,750	0,744	0,721
MW	0,770	0,760	0,747	0,756	0,747	0,730

Angang 3.11

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Ziegel-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	0,754	0,765	0,747	0,729	0,709	0,720
2	0,752	0,759	0,742	0,723	0,717	0,689
3	0,750	0,751	0,742	0,724	0,722	0,74
4	0,762	0,743	0,727	0,703	0,743	0,708
5	0,724	0,766	0,730	0,747	0,719	0,736
6	0,735	0,720	0,717	0,726	0,700	0,719
7	0,725	0,729	0,748	0,732	0,705	0,716
8	0,734	0,737	0,756	0,721	0,713	0,695
9	0,748	0,734	0,743	0,709	0,731	0,694
10	0,730	0,737	0,728	0,753	0,735	0,722
MW	0,738	0,744	0,738	0,727	0,719	0,714



Anhang 3.12

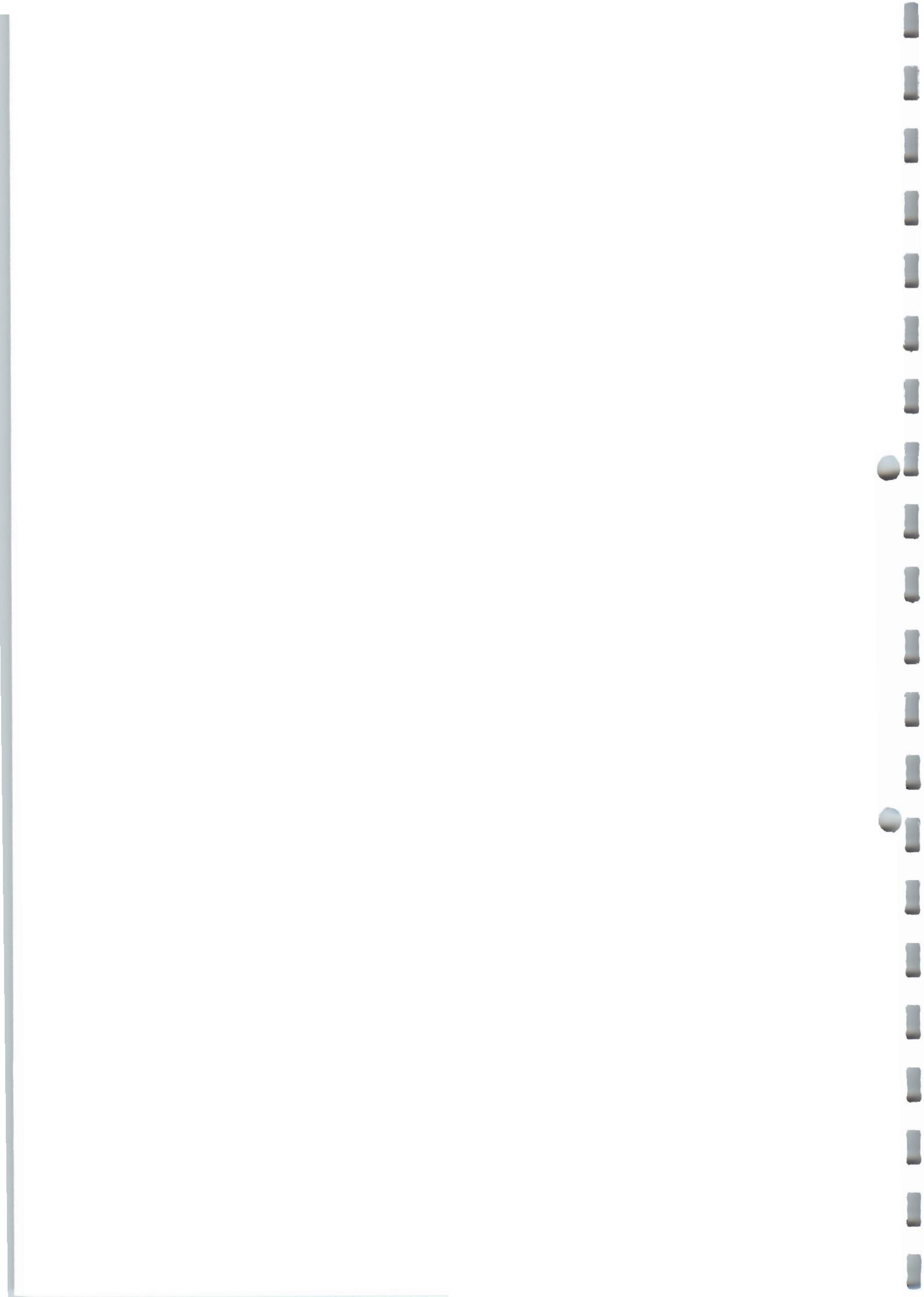
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]
1	1,441
2	1,453
3	1,445
4	1,433
5	1,453
6	1,448
7	1,434
8	1,402
9	1,468
10	1,437
MW	1,441

Anhang 3.13

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung als Zuschlagstoff).

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	1,445	1,441	1,433	1,425	1,420	1,397
2	1,377	1,420	1,439	1,408	1,419	1,437
3	1,453	1,419	1,427	1,430	1,428	1,420
4	1,486	1,416	1,447	1,432	1,425	1,435
5	1,437	1,424	1,442	1,422	1,425	1,432
6	1,471	1,424	1,449	1,444	1,437	1,433
7	1,529	1,412	1,439	1,440	1,413	1,425
8	1,413	1,420	1,389	1,463	1,438	1,397
9	1,458	1,420	1,473	1,437	1,415	1,388
10	1,509	1,435	1,382	1,423	1,416	1,379
MW	1,457	1,423	1,431	1,432	1,423	1,414



Anhang 3.14

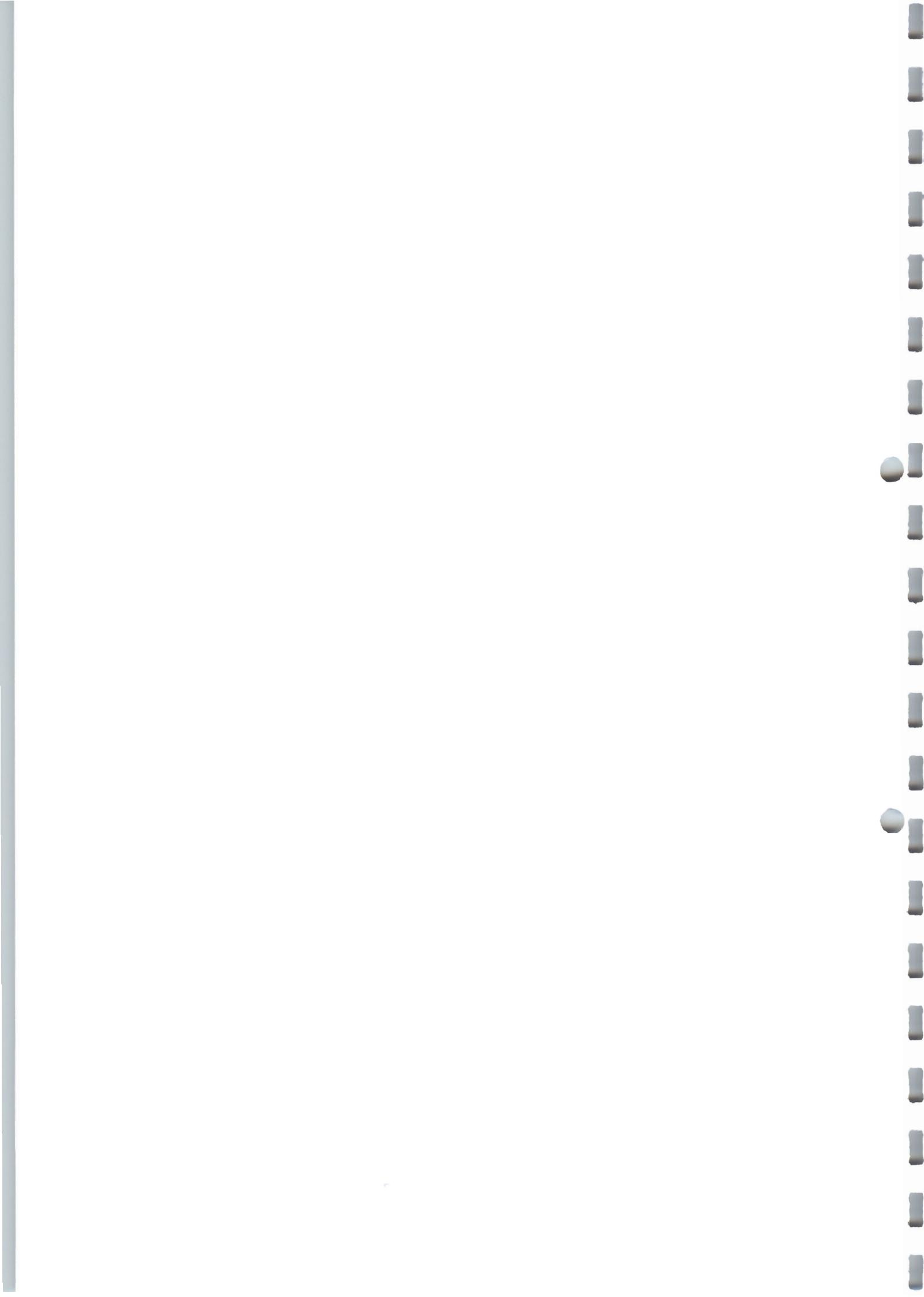
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	1,417	1,415	1,430	1,413	1,401	1,366
2	1,402	1,422	1,428	1,421	1,481	1,364
3	1,391	1,410	1,430	1,434	1,436	1,387
4	1,436	1,387	1,426	1,569	1,441	1,427
5	1,429	1,416	1,438	1,349	1,382	1,433
6	1,390	1,434	1,424	1,454	1,465	1,394
7	1,409	1,374	1,433	1,443	1,441	1,399
8	1,421	1,420	1,430	1,444	1,449	1,394
9	1,418	1,409	1,399	1,445	1,430	1,383
10	1,379	1,430	1,437	1,443	1,427	1,335
MW	1,409	1,411	1,427	1,440	1,434	1,387

Anhang 3.15

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	1,433	1,376	1,346	1,367	1,363	1,497
2	1,430	1,333	1,355	1,317	1,372	1,372
3	1,352	1,367	1,364	1,404	1,425	1,384
4	1,390	1,345	1,313	1,363	1,371	1,366
5	1,406	1,344	1,376	1,440	1,318	1,425
6	1,401	1,346	1,388	1,370	1,332	1,266
7	1,364	1,347	1,354	1,376	1,388	1,418
8	1,325	1,357	1,316	1,327	1,318	1,399
9	1,366	1,321	1,323	1,346	1,327	1,422
10	1,364	1,361	1,292	1,353	1,426	1,363
MW	1,383	1,350	1,342	1,366	1,363	1,391



Anhang 3.16

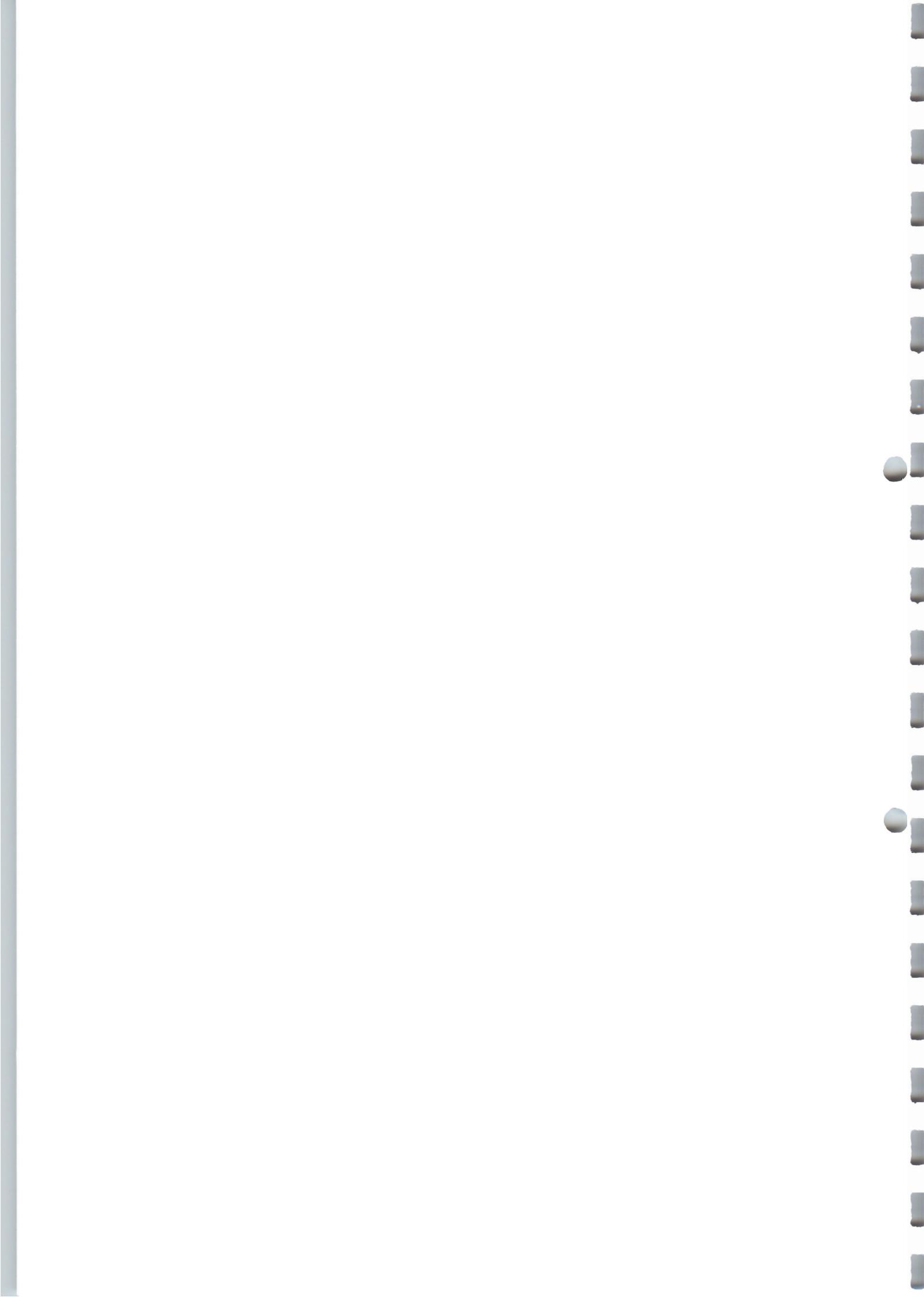
Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	1,421	1,409	1,398	1,388	1,333	1,332
2	1,423	1,410	1,400	1,387	1,337	1,336
3	1,415	1,405	1,387	1,382	1,382	1,336
4	1,399	1,420	1,390	1,375	1,332	1,321
5	1,406	1,461	1,398	1,374	1,331	1,339
6	1,440	1,390	1,382	1,425	1,345	1,339
7	1,398	1,382	1,371	1,382	1,342	1,308
8	1,411	1,385	1,389	1,385	1,351	1,312
9	1,408	1,466	1,392	1,382	1,354	1,304
10	1,419	1,429	1,458	1,382	1,345	1,307
MW	1,414	1,410	1,396	1,386	1,345	1,323

Anhang 3.17

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Scherben-Rohdichte von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg - Filterkuchen (Perlit/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Scherben-Rohdichte [kg/dm ³]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	1,401	1,397	1,378	1,374	1,364	1,315
2	1,408	1,416	1,388	1,380	1,350	1,339
3	1,411	1,407	1,389	1,387	1,360	1,303
4	1,443	1,394	1,421	1,427	1,369	1,313
5	1,447	1,372	1,425	1,402	1,365	1,347
6	1,449	1,444	1,443	1,412	1,382	1,353
7	1,493	1,442	1,398	1,372	1,322	1,362
8	1,458	1,447	1,445	1,405	1,370	1,345
9	1,454	1,446	1,431	1,431	1,361	1,345
10	1,453	1,419	1,399	1,390	1,384	1,356
MW	1,441	1,418	1,411	1,398	1,363	1,337



Anhang 3.18

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln ohne Zuschlagstoff-Zugabe (0-Proben).

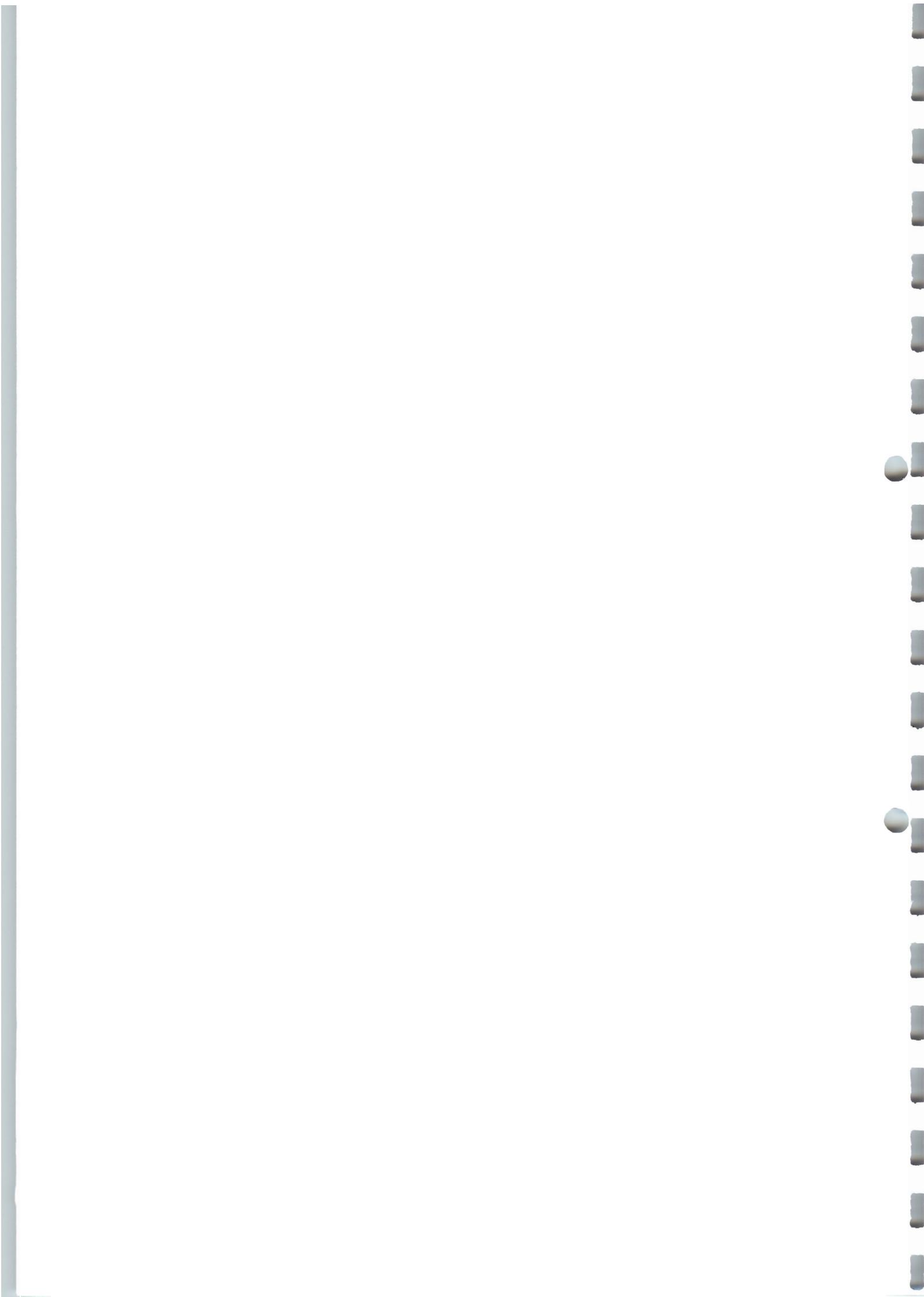
Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]
1	13,5
2	16,6
3	14,4
4	14,1
5	13,7
6	14,1
7	15,0
8	13,5
9	13,5
10	12,8
MW	14,1
σ^*)	1,1

Anhang 3.19

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/ Kieselgur/Bims/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	14,2	13,8	11,1	10,2	9,6	9,5
2	13,4	13,6	11,0	12,8	9,7	9,6
3	12,2	12,3	12,5	11,5	10,2	10,3
4	12,5	11,0	10,1	12,3	9,8	10,0
5	13,2	12,0	11,8	10,5	9,6	9,8
6	13,5	14,7	12,7	12,3	9,2	10,4
7	11,9	12,1	12,1	13,8	10,3	11,6
8	15,4	11,5	12,3	11,2	10,4	10,0
9	14,0	8,1	13,4	11,4	10,4	9,9
10	13,8	12,5	13,4	10,4	11,4	9,6
MW	13,4	12,2	12,0	11,7	10,1	10,1
σ^*)	1,0	1,8	1,1	1,1	0,6	0,6

*) σ = Standardabweichung



Anhang 3.20

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (MVA/Bentonit - Mischung) als Zuschlagstoff.

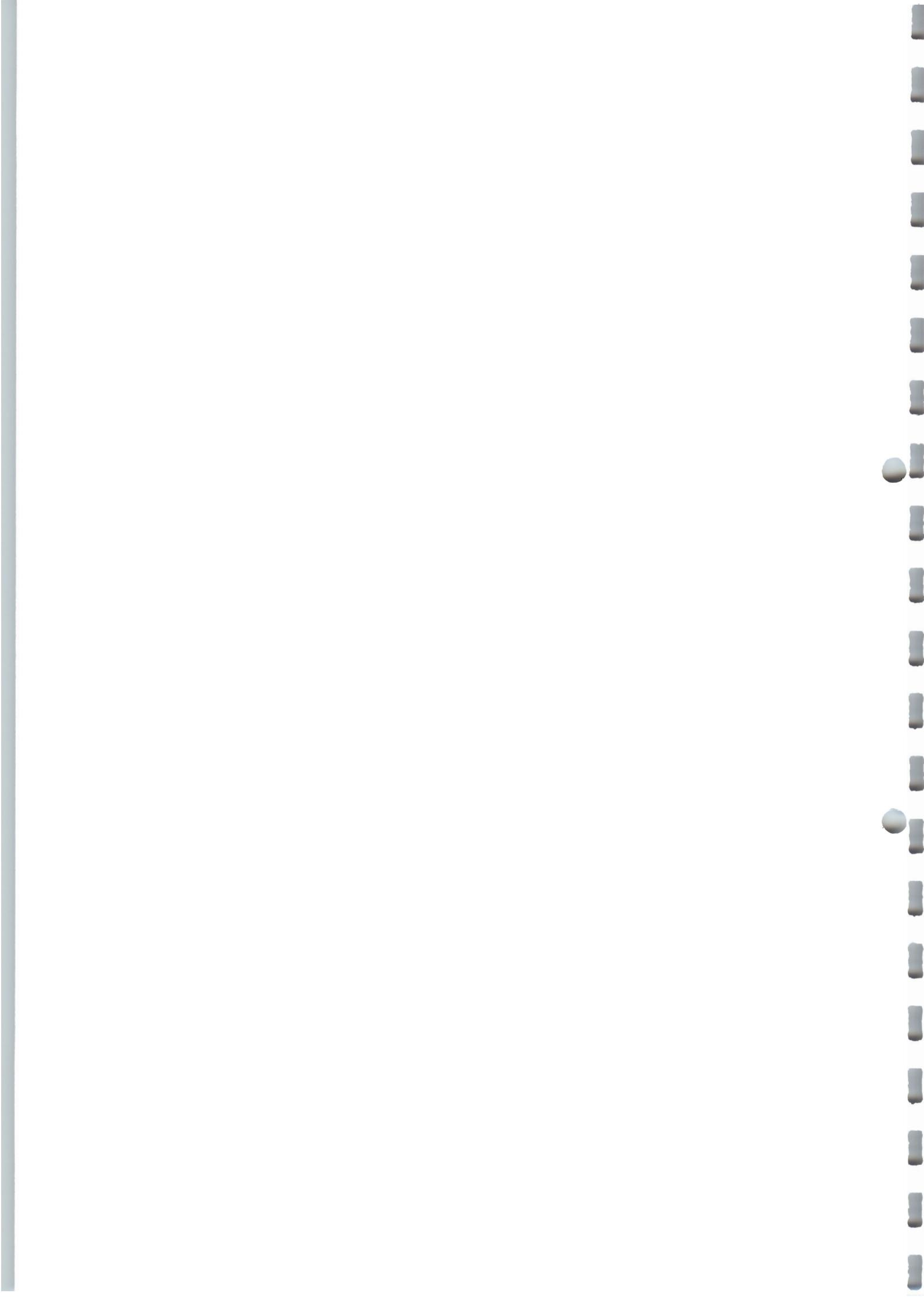
Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	12,9	10,3	10,8	11,5	9,9	6,1
2	11,0	8,7	8,4	10,0	9,6	8,5
3	14,2	8,9	10,5	8,1	9,9	6,6
4	13,8	11,6	10,5	8,9	9,4	4,7
5	12,6	11,0	10,5	11,6	8,5	6,5
6	14,6	10,8	10,5	9,2	8,8	6,9
7	12,5	10,5	11,7	11,8	8,7	6,4
8	13,0	9,7	10,8	10,5	8,8	6,1
9	14,1	10,5	10,1	6,5	10,1	6,1
10	12,7	10,4	10,0	10,0	9,3	6,1
MW	13,1	10,2	10,4	9,8	9,3	6,4
$\sigma^*)$	1,1	0,9	0,8	1,7	0,6	1,0

Anhang 3.21

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Kieselgur/Bims/Bentonit -Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	15,6	12,5	13,1	10,9	12,8	13,4
2	12,7	13,6	14,2	12,5	14,0	13,7
3	13,4	13,5	11,6	8,5	12,9	11,2
4	13,3	13,5	15,3	11,7	12,7	13,9
5	14,4	12,2	15,1	12,9	13,2	13,1
6	16,5	12,4	11,1	12,0	14,3	12,4
7	15,2	12,8	12,4	13,5	12,5	14,7
8	14,3	14,1	13,2	11,6	12,4	13,7
9	14,6	12,4	13,8	11,9	12,9	11,5
10	14,7	12,7	14,0	13,5	10,8	12,7
MW	14,5	13,0	13,4	11,9	12,8	13,0
$\sigma^*)$	1,1	0,6	1,4	1,5	1,0	1,1

*) σ = Standardabweichung



Anhang 3.22

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen AZT - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	14,0	14,6	14,3	14,3	11,5	13,9
2	13,2	14,7	11,8	13,8	11,4	8,3
3	14,7	13,1	13,4	14,2	13,7	10,5
4	13,2	12,5	13,3	15,3	12,8	13,1
5	12,4	13,4	13,7	14,7	13,8	11,1
6	14,6	15,8	11,9	14,1	13,0	12,3
7	14,3	14,8	14,2	14,0	12,8	13,6
8	14,0	15,8	14,0	12,3	13,4	12,1
9	15,9	14,2	14,2	13,5	13,3	12,4
10	12,9	14,2	14,4	15,4	13,6	11,9
MW	13,9	14,3	13,5	14,2	12,9	11,9
σ *)	1,0	1,1	0,9	0,9	0,9	1,7

Anhang 3.23

Einzelwerte sowie berechnete Mittelwerte der Druckfestigkeit von Labor-Ziegeln mit ansteigenden Massenanteilen Elbberg - Filterkuchen (Perlit/Bentonit-Mischung) als Zuschlagstoff.

Ziegel Nr.	Druckfestigkeit [N/mm ²]					
	5 [Ma.-%]	10 [Ma.-%]	15 [Ma.-%]	20 [Ma.-%]	30 [Ma.-%]	40 [Ma.-%]
1	12,8	12,3	12,7	12,1	9,9	10,6
2	14,4	10,7	12,2	11,7	11,0	10,5
3	13,3	12,4	12,7	12,2	10,9	11,6
4	12,6	12,4	13,0	13,0	10,6	10,2
5	12,6	12,8	13,8	13,2	13,3	10,0
6	12,6	12,0	12,3	12,1	10,0	11,8
7	13,1	12,3	12,5	13,3	10,1	10,2
8	12,7	13,1	12,8	11,2	11,8	11,8
9	13,9	13,4	12,8	11,4	12,3	10,7
10	13,8	11,8	9,8	13,3	11,3	9,8
MW	13,2	12,3	12,5	12,4	11,1	10,7
σ *)	0,7	0,7	1,0	0,8	1,1	0,8

*) σ = Standardabweichung

