

Präzitec GmbH

**Entwicklung, Bau und Erprobung eines produktionsintegrierten Verfahrens zur
abwasserfreien und energiesparenden Trockenreinigung von Werkstücken am
Beispiel von Motorenteilen.**

Abschlussbericht über ein Projekt,
gefördert unter dem Az: 14953 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

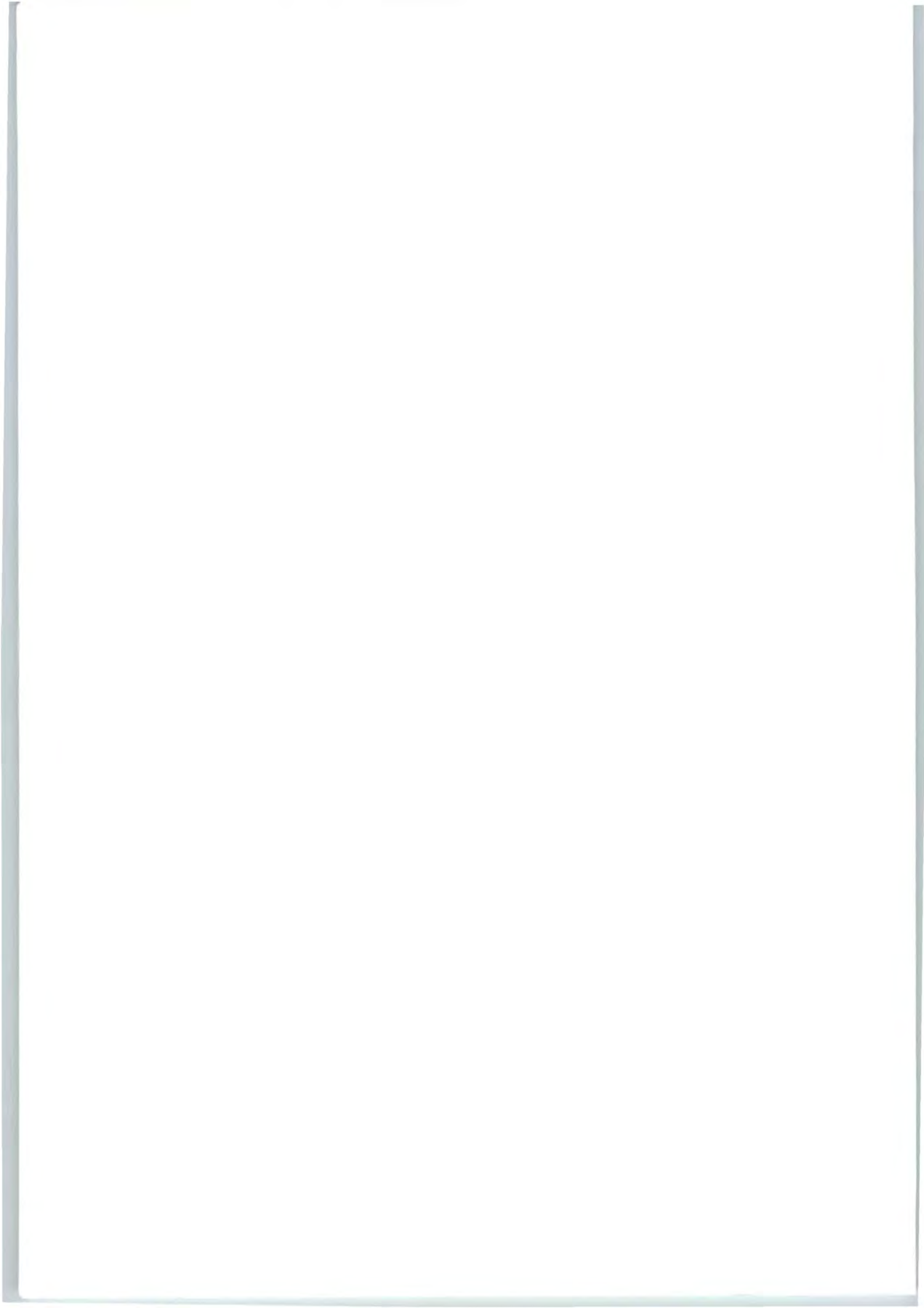
von

Dipl.-Ing. Klaus Döhner

Unter Mitwirkung von

Dipl. Ök. Manfred Lemke

Februar 2002



Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**UMWELT
STIFTUNG**

Az	14953	Referat	21/0	Fördersumme	550.000,00 DM
----	--------------	---------	-------------	-------------	----------------------

Antragstitel Entwicklung, Bau und Erprobung eines produktionsintegrierten Verfahrens zur abwasserfreien und energiesparenden Trockenreinigung von Werkstücken am Beispiel von Motorenteilen.

Stichworte Verfahren; Energie; Abwasser; Öl; Schmierstoffe

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
24	09/99	09/2001	keine

Zwischenberichte	alle 6 Monate Kurzberichte
------------------	-------------------------------

Bewilligungsempfänger Präzitec GmbH
Mühlenstr. 32
59425 Unna

Tel	0 2303/251560
Fax	02303/2515620

Projektleitung Herr Döhner
Bearbeiter

Kooperationspartner

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Bisher werden die den Werkstücken anhaftenden Kühlschmierstoffe nach einer spanende Bearbeitung und vor der notwendigen- Präzisionsmessung entweder abgewaschen oder mit Hilfe von Preßluft entfernt. Es soll ein Trockenreinigungsverfahren weiterentwickelt, daß diese Umwelt- und Gesundheitsbelastungen (Ölemulsionen, Aerosole und Tropfverluste) vermeidet und die zu reinigenden Kühlschmierstoffe zurückführt. Dabei soll eine integrierte Lösung die, bisher recht umständlichen, innerbetrieblichen Arbeitsabläufe rationalisieren. Die Weiterentwicklung des schwingungstechnischen Verfahrens basiert auf Erfahrungen mit der Trockenreinigung rotationssymmetrischer Werkstücke und soll hier auf kubische Werkstücke erweitert werden.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Der methodische Ansatz des neuen Verfahrens basiert auf dem physikalischen Effekt, daß Schwingungen mit relativ geringem Energieaufwand große Massen bewegen können. Das Projekt unterteilt sich in vier zeitlich aufeinander aufbauende Abschnitte: Konzeption und Konstruktion, Bau zweier Prototypen, Anwendungstests, Optimierung. Die Konzeption umfasst knapp 4000 h und dient insbesondere der Klärung aller technischen Optionen, insbesondere für den mechanischen Aufbau, die Schwingungstechnik und die Absaugeinheit. In der Konstruktionsphase wird das favorisierte technische Konzept im Detail umgesetzt. In der Bauphase entstehen zwei Prototypen, um auch unterschiedliche Lösungsansätze zu testen. Der Eigenbau der Anlagen umfasst ca. 4000 h und wird unterstützt durch eine externe Entwicklungen(z.B. Vibratoren, Absaugeinheit). Anwendungstest bei potentiellen Anwendern und eigene Versuchsfahrten führen zu neuen Erkenntnissen unter Einsatzbedingungen. Danach erfolgt die Optimierung verschiedener Komponenten in Abstimmung mit Zulieferern und externen Fachleuten. Für beide Arbeitsschritte sind nochmals 2000 h vorgesehen und ein Budget für den Aufwand der Testpartner. Das Projekt zeigt auch Umweltentlastungspotentiale für andere Industriezweige, mit ähnlichen Bearbeitungsvorgängen auf: immer dort, wo es notwendig ist unerwünschte flüssige und feste Anhaftungen mit hohen Adhäsionskräften vor einer Weiterbearbeitung der Werkstücke zu entfernen, bietet das Verfahren eine umweltfreundliche, rationelle und kostengünstige Alternative.

Ergebnisse und Diskussion

Nach Ende des Projektes stehen drei Anlagen im Testbetrieb zur Vibrationsreinigung von kubischen Werkstücken bei Herstellern von Motorenteilen. Mit Förderung der Bundesstiftung ist es gelungen das elektro-mechanische Trockenreinigungsverfahren so weit zu optimieren, dass Anhaftungen von Kühlschmierstoffen (KSS) und selbst hartnäckige Feststoffe an kubischen Werkstücken prozesssicher entfernt werden können. Unter Schwingungen in Frequenzbereichen zwischen 35hz und 50hz beginnen die Anhaftungen regelrecht auf der Oberfläche zu tänzeln und lassen sich mit einfachen 2,5 kWh Saugern absaugen. Die in zahlreichen Versuchen ermittelten Reinigungsgrade an kubischen Werkstücken liegen zwischen 92% und 95% der ölhaltigen Anhaftungen. Die zurück gewonnenen KSS werden in reiner Form wieder den Bearbeitungszentren zugeführt. Der Energiebedarf für das Vibrationsverfahren konnte durch grundlegende Konstruktionsänderungen gegenüber dem Stand zu Beginn des Projektes um bis zu 60% auf 2,5 bis 4 kWh reduziert werden. Die hohen Reinigungsgrade bei, auch im Vergleich zu Druckluft-Saug-Verfahren bei relativ niedrigem Energiebedarf erlaubt einen wirtschaftlichen Betrieb der Vibrationsreinigung. Die gerade im Motorenbau üblichen Waschbäder können bei manchen Werkstücken vollständig substituiert werden. In anderen Fällen vermindert eine vorgeschaltete Vibrationsreinigung die Verschleppung von KSS und anderen Anhaftungen in die Bäder drastisch. Z.B. muss 90% weniger Frischwasser zugeführt werden und die Menge der ölhaltigen Schlämme sinkt parallel zum Wirkungsgrad der Vorreinigung. Der mögliche 100% Verzicht auf energie- und abfallintensive Waschbäder, die drastische Verminderung von Verschleppungen in Reinigungsbäder und die Rückgewinnung reiner KSS sind klare ökologische Vorteile des Verfahrens, die auch die Betriebskosten der Teilereinigung senken.

Die im Verlauf des Projektes aufgetretenen zentralen technischen Probleme betrafen die Schwingeinheit und die Saugstromführung. Den Durchbruch brachte der Einsatz regelbarer elektromagnetischer Schwinger und die Konstruktion einer flexibleren Bauart der indirekten Schwingungsübertragung. Ein weiterer wichtiger Meilenstein war die Abreinigung in mehreren Stufen - das 2-Kammer-Prinzip. Je Reinigungsstufe lassen sich die Saugströme variieren ohne kontraproduktive Verwirbelungen. Damit wurde es überhaupt erst möglich auch komplexe Strukturen mit energiearmen Saugströmen sicher zu erfassen. Die Intergration in industrielle Prozesse konnte soweit vorangebracht werden, dass z.B. eine Anlage 7.500 Zündkerzensockel pro Stunde mit einem Wirkungsgrad um 94% reinigt. Der produktionsintegrierte Ansatz kostete mehr Zeit als erwartet, dabei kam die frühe Einbindung von möglichen Anwendern dem Projekt zu Gute, weil mit praxisnahen Vorgaben gearbeitet werden konnte. Die technischen Fortschritte im Projekt mündeten in zwei Patentanmeldungen zu Applikationen des Basispatents.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Nach der Verleihung des Seyfriz Preises 1999, des Bayerischen Staatspreises 2000 und des 2. NRW Umweltpreises des Handwerks 2001 für das Vibrationsverfahren entstand eine breite öffentliche Resonanz. Es gab mehrere Pressartikel (29.10.1999 VDI Nachrichten; 29. 3. 2000 Westfälische Rundschau; Juni 2000 Umwelt Magazin; Juni 2000 NC Fertigung). Auf der Int. Handwerksmesse 2000 und der HannoverMesse 2001 wurden Projektergebnisse präsentiert. Die Internetseite www.vibrotec.de informiert auf Dauer über das geförderte Verfahren

Fazit

Während der Projektarbeit erworbenes Wissen über die Funktionsweise in unterschiedlichen Anwendungen, das Wechselspiel der Komponenten bzw. Variablen und die neu gewonnenen technischen bzw. konstruktiven Freiheitsgrade ergeben am Ende des Projektes eine Problemlösungskompetenz, die für viele ähnlich geartete Aufgaben zur Verfügung steht - auch außerhalb des Motorenbaus und der Metallbearbeitung.

INHALTSVERZEICHNIS

1	VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN, SKIZZEN UND TABELLEN	S. 1
2	ZUSAMMENFASSUNG	S. 2
3	EINLEITUNG	S. 4
4	HAUPTTEIL	S. 8
4.1	Vorgehensweise	S. 8
4.2	Ausgewählte Versuchsergebnisse	S. 10
4.3	Konstruktionsdetails und Entwicklungsschritte	S. 12
4.3.1	Grundkonstruktion	S. 12
4.3.2	Schwingeinheit	S. 13
4.3.3	Reinigungskammern	S. 15
4.3.4	Saugstromführung	S. 17
4.3.5	Prozessintegration	S. 20
4.4	Umweltbilanz und Wirtschaftlichkeit	S. 22
4.4.1	Entwicklungstrend in der Reinigungstechnik	S. 23
4.4.2	Vermeidung von Verschleppungen durch die Vibrationsreinigung	S. 24
4.4.3	Vollständige Substitution von Reinigungsbädern	S. 28
4.4.4	Wirtschaftlichkeit	S. 29
4.5	Öffentlichkeitsarbeit	S. 30
5	FAZIT	S. 32
6	LITERATURVERZEICHNIS	S. 33

ANLAGEN

ANLAGE 1	Versuchsergebnisse
ANLAGE 2	Preisverleihungen
ANLAGE 3	Presseartikel

1 Verzeichnis der Abbildungen, Konstruktionsskizzen und Tabellen

Abbildungen

- Abb. 1: Grundkonzeption der Vibrationsreinigung
- Abb. 2: Versuchsanlage für Ringe
- Abb. 3: Entwicklungsgeschichte Vibrationsreinigung
- Abb. 4: Federaufhängung der Schwingplatte
- Abb. 5: Konzeption Prozessführung
- Abb. 6: Impressionen aus der Teilereinigung bei Bosch

Konstruktionsskizzen

- Skizze 1: Schwingeinheit
- Skizze 2: Rotationseffekt
- Skizze 3: Reinigungsanlage für Getriebegehäuse
- Skizze 4: 2-Kammer-Prinzip
- Skizze 5: Prozessführung Zündkerzenanlage
- Skizze 6: Prozessführung Common Rail Düsen

Tabellen

- Tab.1: Vibrationsverfahren versus Absaugung (Kegelrollenlager)
- Tab 2: Vibrationstechnik versus Saug-Blas-Verfahren (Nabenringe)
- Tab 3: Reinigungsgrad Freilaufringe Mannesmann Sachs
- Tab 4: Überblick bisheriger mechanischer Vorbehandlungstechniken
- Tab 5: Saugblasverfahren versus Vibrationsverfahren
-Beispiel Wellenreinigung-
- Tab 6: Versuchsergebnisse zum Reinigungsgrad
- Tab.7: Waschverfahren versus Vibrationsreinigung

2 Zusammenfassung

Die Vibrationsreinigung ist am Beispiel von spanend bearbeiteten Zündkerzensockeln so weit entwickelt worden, dass ein Durchsatz von 7.500 Stück pro Stunde erreicht wurde. Pro Stunde lassen sich auf diese Weise 2,8 kg reine Kühlschmierstoffe (KSS) zurückgewinnen. Die Verschleppung von KSS und Feststoffen in die Reinigungsbäder konnte um bis zu 94% reduziert werden. Die Anlage arbeitet seit November 2001 im Testbetrieb bei Bosch.

Die Testanlage zur Reinigung von Common-Rail-Einspritzdüsen mit langen Düsenbohrungen und komplexer, Oberflächengeometrie entölt innerhalb von 15 Sekunden zwei Düsen. Die elektro-mechanische Vorreinigung mit dem Vibrationsverfahren soll eine erhebliche Reduktion der KSS-Verschleppungen in die Waschanlagen bewirken. Bei einer, im Erfolgsfalle durchaus vorstellbaren Ausrüstung eines neuen Werkes wird die Standzeit der dezentralen Waschbäder verlängert und die Frischwasserzufuhr in die Spülphase von 8m³ auf 0,5m³ pro Tag und Waschanlage vermindert.

Im Projekt konnte die Vibrationsreinigung eines Getriebegehäuse bis zur Serienreife entwickelt werden. Der erste Prototyp arbeitet im Testbetrieb bei ZF Friedrichshafen im Werk Brandenburg. Als Zufallsergebnis der Vibrationsreinigung von Getriebegehäusen (ca. 2 kg) konnten neben der Rückgewinnung von KSS auch besonders fest sitzende Kleinstspäne in Gewindebohrungen entfernt werden. Beim taktgenauen, sekundenweisen Einsprühen von zuvor abgetrennter KSS-Emulsion während des Vibrationsvorganges lösen sich die in den Tief-Bohrlöchern bzw. Gewinden hartnäckig anhaftenden Kleinstspäne quasi explosionsartig und lassen sich leicht in der Reinigungskammer abgesaugen. Dieser neu entdeckte „Injektionseffekt“ des Verfahrens ist zum Patent angemeldet worden. Eine Nassreinigung der Getriebegehäuse ist bei dem erreichten Reinigungsgrad von 92% nicht mehr notwendig.

Als zentrale technische Problemstellungen erwiesen sich:

- die Neukonstruktion der Schwingeinheit mit regelbaren elektromagnetischen Schwingern und die dazugehörige Rahmenkonstruktion mit indirektem Übertragungsweg;
- die Entwicklung des 2-Kammer-Prinzips zur abgestimmten stufenweisen Abreinigung komplexer kubischer Werkstückgeometrien;
- die Optimierung der Saugstromführung;
- die Entwicklung einer in industrielle Produktionsprozesse (Motorenbau) integrierbaren Bauart.

Der nach Projektabschluss erreichte Entwicklungsstand umfasst funktionsfähige serienreife Lösungen der technischen Problemstellungen bei der trockenen Vibrationsreinigung von kubischen komplex strukturierten Werkstücken. Durch Fortschritte in der Grundkonstruktion der Reinigungsanlagen konnte deren eigener Energiebedarf um bis zu 60% gegenüber dem Stand zu Beginn des Projektes reduziert werden.

Das Vibrationsverfahren zur Trockenreinigung von Werkstücken wurde im Laufe des Projektes mehrfach ausgezeichnet: Seyfriz Preis für Technologietransfer 1999; Bayerischer Staatspreis 2000, 2. Platz NRW Umweltschutzpreis des Handwerks 2001 (s. Anlage 2).

ÜBERSICHT: Milestones des Projektes

- | | |
|------|--|
| 1999 | Bau eines Funktionsmodells; Schallfrequenzen heben Anhaftungen ab, sichtbare Tröpfchenablösung;
Konstruktion erster Werkstattmodelle für Ringe und Getriebegehäuse;
Entwicklung und Bau eines mobilen Vorführgerätes für Messen und Präsentationen mit hydraulischem Schwinger;
Vorführungen und Experimente mit und bei Mannesmann Sachs für Ringe;
Seyfriz Preis 1999 |
| 2000 | Weiterentwicklung der Werkstattmodelle für unterschiedliche Lagerringe und Getriebegehäuse;
Einsatz elektromagnetischer Schwinger;
Test und Variation von Komponenten (z.B. Federn, Ansaugöffnungen);
Vergleich Druckluft- versus Vibrationsverfahren durch Fraunhofer TEG;
Optimierung der Saugstromführung und Schwingeinheit;
Entwicklung des 2-Kammer-Prinzips;
Bayerischer Staatspreis 2000 |
| 2001 | Neueinstellung von Ingenieuren für Konstruktion und Anlagenbau ;
Optimierung der Materialzufuhr und Prozesssicherheit;
Optimierung der Schwingeinheit (u.a. gegenläufige Magnete, Federung);
Grundlegende Untersuchung der Saugstromführung an Schalmuffen (Getrag-Experimente);
Entwicklung und Bau eines Prototypen für hohe Prozessgeschwindigkeit (Zündkerzensockel);
Entwicklung und Bau eines Prototypen für lange Bohrungen an massiven Teilen (Common Rail);
Entdeckung des Injektionseffektes zur Ablösung von Feinstspänen in Gewinden ;
Entwicklung und Bau eines Prototypen für größere kubische Motorenteile (Getriebegehäuse);
Anwendungstests bei Bosch und ZF Friedrichshafen; |
| 2. | NRW Umweltpreis des Handwerks 2001 |

3 Einleitung

Bei vielen metallbearbeitenden Vorgängen durchlaufen die Werkstücke mehrere spanende Bearbeitungsstufen (Fräsen, Bohren, Schleifen, Gewindeformen, Ausspindeln u.ä.) in vollautomatischen Bearbeitungszentren. Während dieser Feinbearbeitung mit Bohr- und Schneidwerkzeugen kommt es zu hinderlichen Spanbildungen und es entsteht reibungsbedingte Hitze. Sowohl der Spanantrieb als auch die Hitze werden in der Regel über verschiedenartige Kühlschmierstoffe auf Ölbasis abgeführt.

Die umweltbelastenden Kühlschmierstoffen (KSS) sind auch ein Kostenfaktor. Das Institut für spanende Fertigung der Uni Dortmund ermittelte einen Anteil von etwa 7,5% der Herstellkosten eines Getriebegehäuses allein für die Beschaffung, Bereitstellung und Aufbereitung der Kühlschmierstoffe (Kuttkat 2001). Die Entsorgung verbrauchter KSS und abgereinigter Reste macht nochmals 8% der Herstellkosten eines Getriebegehäuses aus (Kuttkat 2001). In der Umweltbilanz des Kolbenherstellers Kolbenschmidt schlagen Kühlschmierstoffe bei den Hilfsstoffen mit 17,7 kg pro Tonne Rohmaterialeinsatz zu Buche (Kolbenschmidt 1999).

Daher konzentrieren sich viele technische Innovationen auf den Zerspanungsprozess selbst. Hervorzuheben sind dabei zwei Ansätze.

Zum Einen wird versucht die Erdölbasis der KSS durch weniger ressourcenbelastendere native Öle auf Pflanzenbasis zu substituieren (z.B. Ester). Ein von der Bundesstiftung Umwelt gefördertes Projekt der TU Braunschweig experimentiert sogar mit Fetten aus Tierkadavern als Rohstoffbasis für KSS. Allerdings benötigen alle KSS für die vielfältigen Problemstellungen - kühlend oder schmierend- unterschiedliche Additive. Am Ende des Prozesses verbleiben in jedem Falle Anhaftungen, die mit unterschiedlichen Reinigungsmitteln entfernt, separiert und entsorgt werden müssen.

Zum Anderen gewinnt die sog. trockene Zerspanung an Bedeutung. Unter Trockenzerspannung subsummiert man im Allgemeinen auch die Minimalmengenschmierung bzw. -kühlung, bei der unter Druck gezielt Minimalmengen eines KSS an die Schnittstellen herangeführt werden. Für einige Anwendungen entstehen besonders beschichtete oder geformte Werkzeuge, die gänzlich ohne KSS auskommen. Die Einsatzmöglichkeiten solcher Verfahren hängen von vielen Faktoren ab, u.a. den Kosten und Standzeiten der Werkzeuge, der Schnittsymmetrie und der Bohrtiefe.

Trotz dieser Ansätze zur Optimierung des Verbrauchs von KSS in Zerspanungsprozessen werden in etwa 95% aller spanenden Bearbeitungsvorgänge KSS eingesetzt. Das Bundesamt für Wirtschaft weist allein für den Zeitraum Januar bis August 2001 die Inlandslieferung von 48.604 Tonnen ölhaltiger Kühlschmierstoffe aus (BAW 2001). Diese eingesetzten KSS vermischt mit Feststoffen, bleiben als unerwünschte Anhaftungen an den bearbeiteten Werkstücken zurück und verursachen am Ende der metallbearbeitenden Prozesse Reinigungs- und Entsorgungskosten.

Hier setzt das Projekt an, mit dem Ziel KSS-Anhaftungen an Werkstücken auf energiesparende, trockene Weise zurück zu gewinnen und die Verschleppungen in Nassreinigungsanlagen signifikant zu reduzieren oder solche energie- und abfallintensiven Waschverfahren ganz zu substituieren.

Unabhängig von der Menge oder Art des verwendeten Kühlschmierstoffes haften nach Bearbeitung an einem Werkstück unerwünschte Reste des Kühlschmierstoffes und Feinstspäne. Vor weiteren Bearbeitungsschritten, z.B. vor einer Präzisionsmessung, einer Beschichtung oder Endmontage folgen eine oder mehrere Reinigungsstufen. Die Restanhaftungen der KSS und des Metallabriebs an Werkstücken mit komplexerer Geometrie wurden entsprechend dem Stand der Technik zu Beginn des Projektes entweder mit einem Druckluft-Saug-Verfahren abgelöst oder in Waschanlagen mit wäßrigen Reinigern, Kohlenwasserstoff-Lösungen oder bspw. Waschpetroleum (Kugellagerringe) einem gründlichen, teilweise mehrstufigen Reinigungsprozess unterzogen.

Das Projekt befasst sich mit der Entwicklung und Erprobung einer umweltfreundlicheren Alternative zu diesen Reinigungsverfahren. Herkömmliche Reinigungsverfahren sind mit Umweltbelastungen verbunden, die allenfalls nachsorgend behandelt werden können. In einer oder mehreren Waschkammern wird Wasser mit Reinigern oder Lösemitteln versetzt, das Gemisch teilweise erhitzt, eine Charge unter Druck von Spänen und Ölanhaftungen befreit und getrocknet. Die ausgefilterte verschmutzte Ölphase bleibt als zu entsorgende Abfallmenge übrig. Eine Rückgewinnung der KSS unterbleibt. Der hohe Reinigungsgrad und die Prozesssicherheit sprechen aber für Waschverfahren.

Die Entsorgungskosten für ölhaltige Schlämme liegen schätzungsweise bei 2000 DM pro Tonne (Kuttkat 2001). Hinzu kommen nicht unerhebliche Energiekosten für die Aufbereitung der Reinigungsbäder, die Bewegung des Reinigungsbades und die abschließende Trocknung der Werkstücke. Die bei der Herstellung von Motorenteilen weit verbreiteten Waschverfahren eröffnen angesichts der damit verbundenen Betriebskosten Spielräume für die Realisierung umweltentlastender alternativer Reinigungsverfahren.

Die Trockenreinigung mit Druckluft-Saug-Verfahren arbeitet mit erheblichem Luftdruck, um die Späne und Ölanhaftungen am Werkstück abzuheben und dann abzusaugen. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens ist begrenzt und hängt von der Form und Struktur der Werkstücke ab. Beim Luftdruckverfahren entstehen natürlich keine Abwasserfrachten wie beim Nassverfahren. Die Umwelt Nachteile dieses Verfahrens liegen zum Einen in dem hohen Energieaufwand für die Saugstromstärke und den während des gesamten Reinigungsvorganges aufrecht zu erhaltenen Luftdruck zur Überwindung der Adhäsionskräfte. Zum Anderen entsteht eine feinstäubige Aerosolbildung am Arbeitsplatz, die sich oft nur unzureichend durch nachgeschaltete Luftfilter reduzieren lässt.

Das von Dipl.Ing. Klaus Döhrer entwickelte Vibrationsverfahren zur trockenen Reinigung von Werkstücken bildet die technische Grundlage des Projektes¹. Dieses trockene Reinigungsverfahren für Werkstücke versetzt ein zu reinigendes Teil in Schwingungen bis die Adhäsionskräfte der festen und flüssigen Anhaftungen überwunden sind. Ähnlich wie bei einem Hund, der sein nasses Fell ausschüttelt geraten die Anhaftungen mit der Schwingung in einen Schwebestand und lassen sich in diesem Moment mit geringem Energieaufwand aber hohem Wirkungsgrad absaugen.

Die generelle Funktionsfähigkeit des Vibrationsverfahrens wurde erstmals an Kurbelwellen nachgewiesen. Dabei konnte bewiesen werden, daß dieses Verfahren mit insgesamt etwa 6 bis 10 kWh auskommt und das es möglich ist anhaftende KSS-Öle bis zu 90% zurück zu gewinnen.

¹ Patentnummer DE 19633771

Der erzielbare Reinigungsgrad, die mögliche Rückgewinnung der in reiner Form abgelösten Kühlschmierstoffe und der zu erwartende relativ geringe Energiebedarf gaben den Ausschlag für die Weiterentwicklung und Optimierung des Verfahrens. Mit der in diesem Projekt angestrebten Ausweitung des Anwendungsspektrums dieses neuen Trockenreinigungsverfahrens auf kubische Werkstücke mit komplexen Strukturen (z.B. Sackbohrung, schöpfende Teile) steht im Erfolgsfalle eine umweltentlastende und zugleich kostengünstige Alternative zur Verfügung, die auf viele (nicht nur) metallbearbeitende Prozesse übertragbar ist.

Ziel des Projektes ist die Weiterentwicklung und Erprobung des Vibrationsverfahrens für die Reinigung kubischer und komplexer Werkstücke, um letztlich ein modulares trockenes Reinigungssystem aufzubauen. Ferner geht es darum, ein Reinigungssystem in industrielle Bearbeitungsprozesse einzubinden, dass

- abfallarm und abwasserfrei,
- emissionsarm (Aerosolbildung),
- energiesparend und
- kosteneffizient

KSS ablöst, ausfiltert und rückgewinnt.

Dafür werden Prototypen konstruiert, gebaut und erprobt, die sich in typische industrielle Fertigungsabläufe integrieren lassen und eine Übertragbarkeit auf ähnlich gelagerte Anwendungsfälle (unerwünschte chemische bzw. feste Anhaftungen mit hohen Adhäsionskräften) erkennen lassen.

Mit diesem geförderten Projekt entsteht die technische Basis und das Know-how für ein Trockenreinigungssystem, dass sich nach dem Baukastenprinzip auf verschiedenste Anforderungen (kleine oder große Werkstücke; homogene oder komplexe Strukturen etc.) zusammensetzen läßt.

Die geplanten Arbeitsschritte zur Umsetzung der Projektziele unterteilen sich im Prinzip in drei Phasen: Konzeptions- und Konstruktion, Versuche und Testläufe, Optimierung.

Konzeptions- und Konstruktionsphase

Nach Befragung und ggf. unter Einbeziehung möglicher Anwender werden Sollvorgaben erarbeitet und baulich umgesetzt, die sich auf folgende Einzelschritte konzentrieren:

Übersicht: Arbeitsschritte

Aufgabenbereich	Einzelschritte (Auswahl)	Ursprüngliche Problemstellung
Allg. mechanischer Aufbau	Schwingrahmen, Befestigung, Dämpfung	Bei hoher Festigkeit darf keine absorbierende Wirkung die Schwingungsübertragung behindern.
	Spannung	Entwicklung von Reinigungskammern
Hydraulik/Pneumatik	Schwingungsgeber, autom. Werkstückaufnahme	Favorisiert wurden anfangs noch pneumatische oder hydraulische Vibratoren in niedrigen Frequenzbereichen. (Später Elektromagnetische Schwinger)
Elektr(on)ischer Aufbau	Elektronische Regelung	Steuerung des Schwingungsvorgangs und der Absaugdüsen.
	Sensorik für Schwingung u. Saugführung	
Saugtechnik	Leistungsermittlung	Erprobung der notwendigen Saugleistung in Abhängigkeit von der jeweiligen Anlagenkonstruktion und der Werkstücke.
	Düsensymmetrie/-anordnung	Optimierung der Düsen und Anpassung an verschiedene Werkstückgeometrien.
	Saugstromführung	Kopplung der Ansaugstellen an die Werkstückaufnahme (s.o. Reinigungskammer)
Handling	Beschickung, Integration und Verkettung	Automatisierte Zu- und Weiterführung der Werkstücke; Einbindung in industrielle Bearbeitungszentren.

Versuche und Testläufe

Alle Komponenten des Reinigungssystems stehen zunächst im Hause des Antragstellers auf dem Prüfstand, d.h. es gibt Versuchsreihen an diversen Werkstücken mit komplexen Strukturen und modifizierten Versuchsanlagen. Erste Testanlagen entstehen in dieser Phase. Vorführungen oder Tests, teilweise vor Ort bei potentiellen Anwendern folgen. Insgesamt ergeben sich nach diesem Arbeitsschritt wichtige Erkenntnisse zur Funktionsfähigkeit der Anlagen und zum erzielbaren Reinigungsergebnis.

Optimierung

Nach Auswertung diverser Versuche bzw. Testläufe folgt die Phase der Optimierung der gesamten Anlage. Insbesondere die Schwingeinheit, die Reinigungskammer, die Absaugführung und die Materialzufuhr mussten grundlegend verändert werden.

Am Ende des Projektes entstehen optimierte serienreife Prototypen zur Vibrationsreinigung von kubisch geformten Motorenteilen mit komplexen Strukturen.

4 Hauptteil

4.1 Vorgehensweise

Alle Versuchsaufbauten, Funktionsmodelle und Testanlagen wurden von Präzitec konzipiert, konstruiert und gebaut. Zu Beginn des Projektes lag die Konzeption und Konstruktion zu wesentlichen Teilen allein beim Projektleiter. In der letzten Phase des Projektes, der Optimierung, konnten zwei Fachkräfte neu eingestellt werden, die mit Konstruktionsaufgaben und dem Bau der Anlagen beschäftigt sind und in Zukunft für vielfältige industrielle Anwendungsfälle entsprechende Problemlösungen mit erarbeiten sollen..

Bei jedem Vor-Versuch wurden die unterschiedlichen Werkstücke in ein Ölbad getaucht und abgereinigt. Nach jedem Reinigungsvorgang folgte eine Sichtung des Werkstücks bezüglich möglicher Restanhaftungen von Öl und Metallabrieb. Bei den täglichen Versuchsabläufen genügte ein Vergleich von Löschpapierabdrücken, um schnell den Reinigungsfortschritt bei Modifikationen der Variablen einer Testanlage zu erkennen. Zur Dokumentation der erreichten Zwischenschritte und Feststellung des erreichten Reinigungsgrades erfolgten aber auch Präzisionsmessungen der abgeschüttelten Ölmenge. Teilweise konnten solche Tests gemeinsam mit potentiellen Anwendern durchgeführt werden (vgl. Anlage1).

Ein Bericht in den VDI-Nachrichten gleich zu Anfang des Projektes im Oktober 1999, die Verleihung des Seyfriz- Preises und später des Bayerischen Staatspreises für das Vibrationsreinigungsverfahren (s. Anlage 2 und Kap. 4.5) führten zu einer ungewöhnlich starken Resonanz aus verschiedenen Industriezweigen, u.a. Fahrzeugbau.

Dieser unerwartet frühe PR-Effekt hat den geplanten Projektablauf auf den Kopf gestellt. Zunächst musste das öffentliche Interesse an dem neuen Projekt mit entsprechenden Präsentationen und Erläuterungen bedient werden. Diese Präsentation eines geförderten Projektes steht normalerweise am Ende der Projektlaufzeit. In diesem Fall musste die "Gunst der Stunde" dafür genutzt werden, um mögliche Anwender für die Technik zu interessieren und für spätere Praxistests und Laboruntersuchungen zu gewinnen¹. Darüber hinaus bot sich die Gelegenheit, die Förderung der Bundesstiftung einer breiten Öffentlichkeit beispielhaft zu verdeutlichen. Die doppelte Werbewirkung sowohl für die Stiftung als auch für das Projekt läßt sich nicht zu einem späteren Zeitpunkt wiederholen, denn dann wäre die Sache nicht mehr so aktuell und aus der Sicht der Presse schon längst abgehackt..

Diese Anfangsphase des Projektes erforderte die Konstruktion und den zügigen Eigenbau eines Versuchsaufbaus zu Demonstrationszwecken auf Messen und vor allem vor Ort bei potentiellen Anwendern. Einerseits ergab sich daraus ein hoher Reise- und Präsentationsaufwand, andererseits gelang aber die frühzeitige Einbindung möglicher industrieller Anwender.

Die zahlreichen Gespräche im Anschluss an direkte Vorführungen vor Ort oder bei Messekontakten mit interessierten Anwendergruppen gaben Aufschluss über:

- a) sinnvolle Einsatzfelder für das Verfahren
- b) typische Leistungsanforderungen
- c) Anpassung an bestehende Fertigungsprozesse

¹ vgl. AZK-Plan Nr. 2000 u. 4000.

Ökonomisch sinnvolle Einsatzfelder für das „Swing-Clean“-Verfahren² wurden immer dort erwartet wo es durch notwendige nachgeschaltete Reinigungsstufen Engpässe im Produktionsablauf gab, Nachbehandlungs- bzw. Entsorgungskosten für Waschemulsionen anfielen oder Verschleppungsverluste die Reinigungsprozesse beeinträchtigten. Dabei zeigten sich auch Anwendungsfälle abseits der Projektinhalte, z.B. bei der Flaschen- und Kästenreinigung in Getränke-Befüllstrassen oder bei der Reinigung von Walzblechen vorm Aufrollen. Die Reinigung von Walzblechen durch in Schwingung versetzte Transportrollen führte zu einer neuen Patentanmeldung³ und stellt ein Kuppelprodukt dieses Projektes dar.

Aus den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten kristallisierten sich schließlich vier Übungsfelder heraus, an denen die technischen Lösungsansätze des Reinigungsverfahren für kubische, komplex strukturierte Motorenteile experimentell erarbeitet werden konnten: Kugellagerringe, Zündkerzensockel, Common-Rail-Einspritzdüsen und Getriebegehäuse.

In erster Linie orientierten sich die Projektschritte an den erzielbaren Umweltentlastungseffekten und der Aussicht auf eine nachhaltige Nutzung der neuen Technik in diesen Einsatzfeldern. Technisch ergeben die Übungsobjekte eine Steigerung von kleinen kubischen Werkstücken hin zu größeren, massiven Strukturen. Die einzelnen Aufgabenstellungen beziehen sich bei jedem Übungsobjekt auf eine oder mehrere der vor Beginn des Projektes erwarteten Detailprobleme beim Abreinen komplexer Oberflächen.

Kugellagerringe dienten als praxisnaher Einstieg für

- die Saugstromführung,
- die zerstörungsfreie Arretierung,
- die Einhaltung relativ hoher Reinigungsanforderungen.

Kugellagerteile werden üblicherweise in Waschpetroleum gereinigt, so dass besondere Umweltentlastungen von dieser Anwendung zu erwarten waren.

Bei der Reinigung von Zündkerzensockeln ging es um

- die Prozessgeschwindigkeit bei Massenfertigungen,
- mehrstufige Reinigungsabläufe,
- die Reduktion von KSS-Verschleppungen in Reinigungsbäder.

Common Rail Einspritzdüsen erforderten Lösungen für

- massivere Einzelteile in Linienfertigung
- Tieflochbohrungen, Düsen
- integrierte Prozessabläufe

Bei diesen Werkstücken bestand die Chance den Frischwasserverbrauch der Waschanlagen drastisch zu senken.

Getriebegehäuse stellten zusätzliche Anforderungen in Bezug auf

- Größe und Gewicht der kubischen Teile,
- die schöpfende Oberflächengeometrie,
- den Austritt fest sitzender Kleinstspäne (s. Kap. 4.3.4 Injektionseffekt)

Hier bestand die Chance zur vollständigen Substitution der Waschbäder.

² Dies war die Bezeichnung bei SKF Schweinfurt für das Verfahren.

³ DE 10001746

Insgesamt führte diese Vorgehensweise zu einem modularen System für verschiedene Reinigungsanforderungen bei kubischen Werkstücken aus dem Bereich Motorenbau.

4.2 Ausgewählte Versuchsergebnisse

Nach mehreren Preisverleihungen und entsprechender Presseresonanz (s. Kapitel 4.5) zeigten als Erste die Hersteller von Kugellagern ein grosses Interesse an dem Prinzip der Vibrationsreinigung. Bei der Herstellung von Lagerringen kommt es auf einen besonders hohen Reinigungsgrad der Teile an (<100mg Restöl und keine Späne). Üblicherweise erfolgt die Reinigung in dieser Produktion mit Waschpetroleum weil wässrige Reinigersysteme die korrosionsempfindlichen Teile beschädigen könnten. Allerdings geht diese Reinigervariante in einer Massenproduktion zu Lasten schädlicher Ausdünstungen und hohem Entsorgungsaufwand⁴.

Lagerringe eigneten sich als praxisnaher Einstieg in die Entwicklung von Anlagen für kubische Motorenteile, weil es sich um komplexere Oberflächenstrukturen mit hohen Reinigungsanforderungen handelte. Einige Herstellern fanden sich bereit, gemeinsame Versuche zur Funktions- und Leistungsfähigkeit des Prinzips durchzuführen. Daraus ergaben sich auch erste Erkenntnisse über die Anforderungen an die Integrationsfähigkeit der Reinigungsanlagen in betriebliche Produktionsprozesse.

Für Vorversuche bei Präzitec und bei Anwendern konnte eine erste Projektanlage für Ringe konstruiert werden. Nach zahlreichen Änderungen entstand eine Grundkonzeption für erste Anwendungstests (s. Abb.1).

Der H-förmige Aufbau besteht aus:

- einer massiven Grundplatte,
- einem mittigen Magnethalteblock mit Schwingungsgeber,
- mehrere Federn (und Haltestäbe) zur Übertragung der Schwingung über linke und rechte Seitenplatten auf die darüber montierte Schwingplatte,
- auf der Schwingplatte läßt sich eine (oder mehrere) beliebige Reinigungskammer(n) montieren,
- die Reinigungskammer wird rückwärtig abgesaugt (links oben in Abb.1),
- am Ende des Prozesses werden abgesaugte KSS und Feststoffe separiert bzw. zurückgewonnen.

Bei dieser ersten Versuchsanlage stellte sich sehr schnell heraus, dass eine einzige Ansaugöffnung nur unzureichende Reinigungsergebnisse erzielt. Deshalb wurde die Rückseite der Kammer mit mehreren ringförmig angeordneten Bohrungen versehen (s. Abb.2). Gleiche Bohrungen befanden sich auf der Vorderseite der Kammer. Ein durchsichtiges Plexiglas erlaubte die Beobachtung des Reinigungsvorgangs. Mit dieser Anordnung entsteht ein verbesserter Saugstrom, den der Zuluftstrom durch die perforierte Vorderseite der Reinigungskammer unterstützt.

Diese Versuchsanordnung zeigte zunächst den zusätzlichen Wirkungsgrad des Vibrationseffektes gegenüber einer Nur-Absaugung.

Zwei Kegelrollenlager von SKF bestehend aus Innenring, Käfig und Rollen (Bohrungs-Ø 41 mm, Breite 18mm) wurden vor dem Test in Waschverdünnung gereinigt und entfettet. Die Gewichtsermittlung erfolgte auf einer Apothekerwaage mit einer Genauigkeit < 10 mg. Die gereinigten Ringe wurden vor den Versuchen komplett in Honöl getaucht.

⁴ Die Entsorgung unterliegt den Vorschriften der LAWA-VO L969

TAB. 1: Vibrationsverfahren versus Absaugung (Kegelrollenlager)

	Nur Absaugen	Rütteln und Absaugen
t	15 sec	15 sec
Lager 1 Trockengewicht	160,82 g	
Lager 2 Trockengewicht		160,57 g
Lager 1 (Nass) Nach Absaugung	160,93 g	
Lager 2 (Nass) Nach Absaugung		160,63 g
Restanhaftung	0,11 g	0,06 g

s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 1 SKF/Präzitec

An beiden Lagern hafteten im nassen Zustand etwa 1g Öl. Beide Lager wurden mit der selben Versuchsanlage gereinigt. Beim Lager 1 arbeitete nur der Sauger mit der beschriebenen Saugstromführung, bei Lager 2 wurde bei identischer Saugtechnik der Schwingungsgeber zugeschaltet. Der Vibrationseffekt vermindert die Restanhaftung deutlich. Eine einfache Absaugung hinterläßt fast doppelt soviel Restanhaftungen. Der Reinigungsgrad des Vibrationsverfahrens betrug in diesem orientierenden Versuch 94%.

Ein weiterer wichtiger „Schlüssel-Versuch“ mit Nabenringen auf Anfrage der Fraunhofer TEG stellt das Vibrationsverfahren der Saug-Blas-Reinigung gegenüber. Mit der oben beschriebenen noch nicht optimierten Versuchsanlage konnte wiederum ein Reinigungsgrad von 94% erreicht werden.

TAB 2: Vibrationstechnik versus Saug-Blas-Verfahren (Nabenringe)

		Gewicht nach Vibration	Gewicht nach Saug-Blas-Verfahren
Referenzgewicht trocken	315,4 g	315,7 g	316,2g
Gewicht nass Ölanhaftung	320,6 g 5,2 g		
Restanhaftungen nach Reinigung		0,3 g	0,8 g
Reinigungsgrad		94%	85%

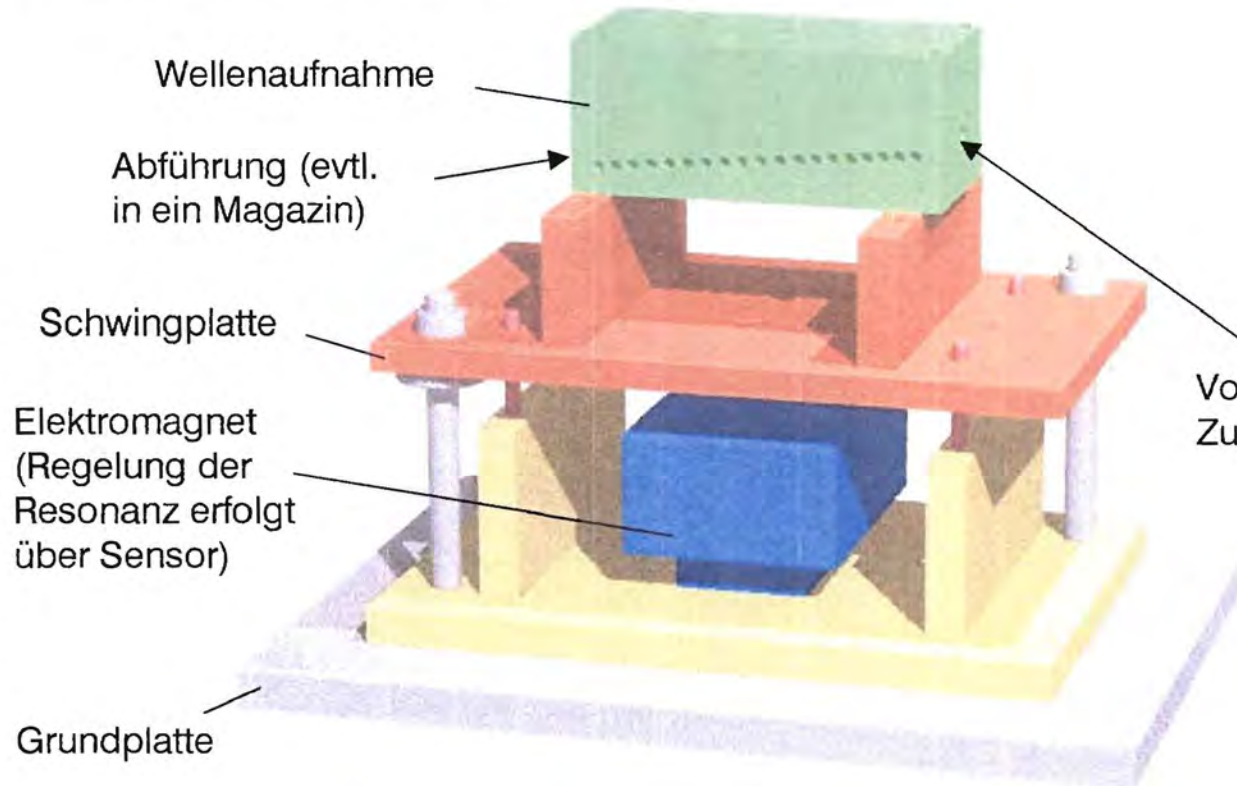
Präzisionswaage Toledo <10mg; Ölart Räumöl;
(s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 2 Nabenring/Fraunhofer/Vibrotec)

Dieser vergleichenden Test zeigte zumindest tendenziell die Effizienz des Vibrationsverfahrens, denn der höhere Reinigungsgrad wurde mit deutlich geringerem Energieaufwand erzielt (vgl. Kap. 4.4). Während das Vibrationsverfahren auf 2,4 kWh kam, benötigte das Saug-Blas-Verfahren eine Saugleistung von 10 kWh und einen Luftdurchsatz von 10m³.

Das erste Versuchsergebnis bestätigte sich in einem Test für Mannesmann Sachs in Schweinfurt mit Freilaufingen auf der gleichen Versuchsanlage mit angepasstem Durchmesser der Reinigungskammer.

Abb. 1: Grundkonzeption der Vibrationsreinigung
(Beispiel Wellenreinigung)

Vibrationsreinigung von Wellen



Detail Rückseite:



Anschluss Absaugung

Von Bearbeitungsmaschine,
Zuführung über Linearzylinder

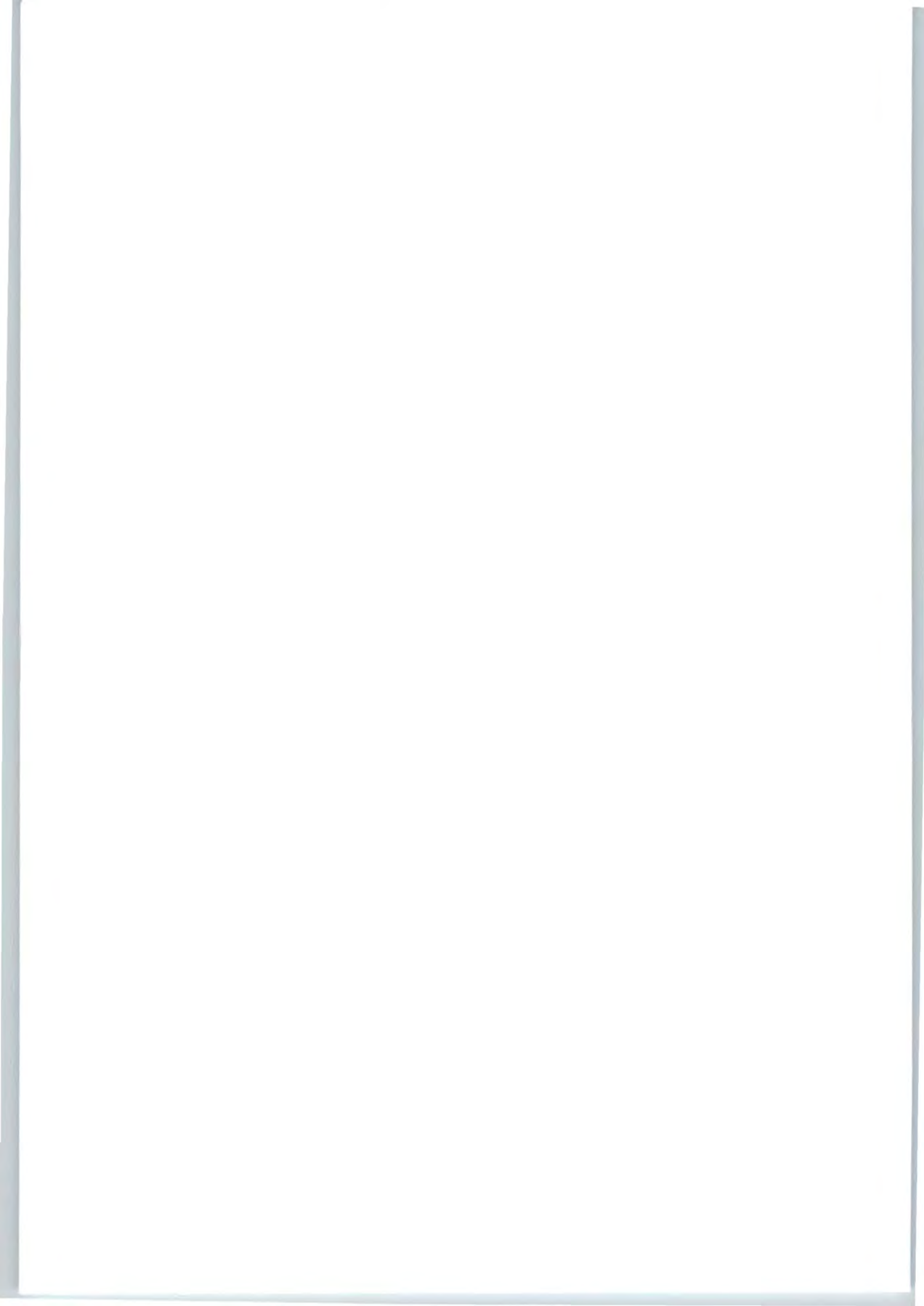
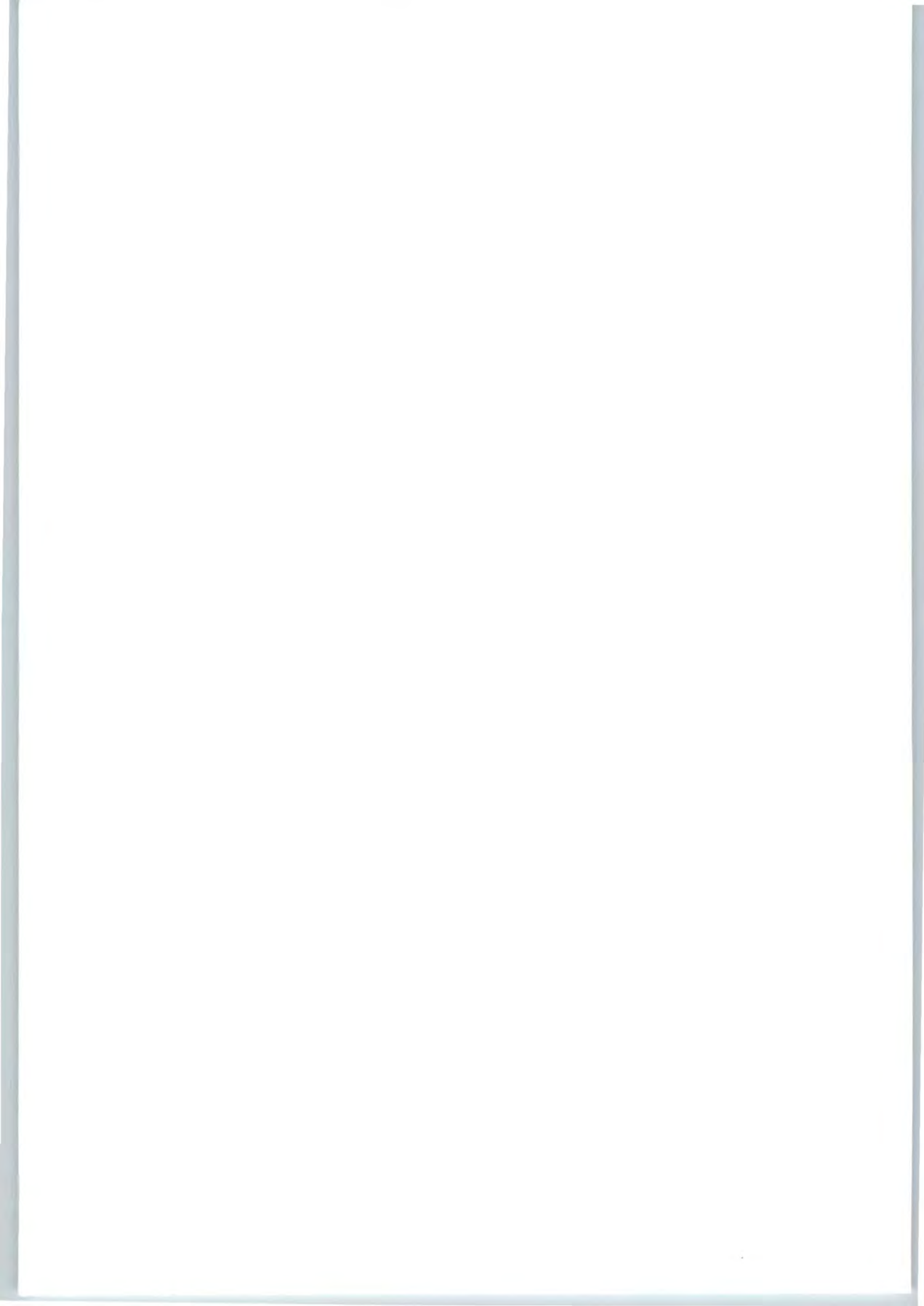


Abb. 2: Versuchsanlage für Ringe





TAB 3: Versuchsergebnis Reinigungsgrad Freilaufringe Mannesmann Sachs

Versuch Freilaufring (Mannesmann Sachs, Schweinfurt)	
Referenzgewicht trocken	141,8 g
Referenzgewicht nass	143,5 g
Ölanhaftung vor Reinigung	1,7 g
Gewicht nach Vibrationsreinigung	141,9 g
Restanhaftung nach Reinigung	0,1 g
Reinigungsgrad	94 %

Präzisionswaage Toledo < 1mg

(s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 3 Freilaufringe/Mannesmann Sachs/Vibrotec)

Beide Versuche (Tab. 2+3) zeigen, dass selbst die strenge Norm für den Reinigungsgrad bei der Kugellagerherstellung (< 100 mg Restanhaftungen) mit der Vibrationstechnik durchaus einzuhalten ist. In der Diskussion mit Herstellern konnte die Wirtschaftlichkeit der Abreinigung dieser Kleinstmengen näher beziffert werden. Eine Anlage zur Herstellung von Freilaufringen produziert ca. 400 Teile pro Stunde und läuft 15 Stunden am Tag. Daraus errechnet sich eine mögliche Ersparnis von 9,6 kg KSS pro Tag aus der scheinbar geringen Rückgewinnungsmenge. Im Endeffekt nach Abzug der Energiekosten für die Vibrationsanlage (2,5 kWh) bleibt eine Kostenersparnis von ca. 42 DM/ Tag allein durch rückgewonnene KSS. Eine entscheidende Voraussetzung für die Realisierung dieser ökologischen und ökonomischen Vorteile ist allerdings die Integration der Vibrationsanlage in den bestehenden Produktionsablauf.

Die hohen Reinigungsgrade bei diesen Versuchen lassen den vollständigen Verzicht auf Waschanlagen nicht unrealistisch erscheinen.

Anders stellt sich die Situation dar bei Werkstücken, die für weitere Bearbeitungsgänge absolut fett- bzw. ölfrei sein müssen, z.B. für eine nachfolgende Beschichtung, eine Verklebung oder eine Präzisionsmessung. Hier kann die Vibrationstechnik als trockene Vorreinigung die Einschleppung von KSS und Restanhaftungen in die Waschbäder reduzieren (s. Kap. 4.4).

Die Versuchsergebnisse mit Ringen und die Erkenntnisse über die Bedeutung der Integration der Anlagen für die Realisierung der Umweltentlastungspotentiale erwiesen sich als wichtige Vorarbeiten für die Entwicklung von Pilotanlagen, z.B. zur Abreinigung von Zündkerzensockeln. Die technischen Entwicklungsschritte der nach den ersten Versuchsanlagen entstandenen Prototypen für die inline-Reinigung verschiedener kubischer Werkstücke mit unterschiedlichen Anforderungen beschreibt das nächste Kapitel.

4.3 Konstruktionsdetails und Entwicklungsschritte

Bevor die neue Reinigungstechnologie tatsächlich für industrielle Anwendungen zur Verfügung steht mussten im Projekt zahlreiche Detailprobleme gelöst werden.

4.3.1 Grundkonstruktion

Das im geförderten Projekt entwickelte und optimierte Vibrationsreinigungsverfahren besteht im Prinzip aus 4 Grundelementen:

- Schwingeinheit
- Reinigungskammer

- Saugstromführung
- Prozessintegration.

Auch wenn sich die Diskussion der Ergebnisse jeweils auf die einzelnen Komponenten der Anlagen beziehen, hängt das Reinigungsergebnis nicht nur von einer einzigen Stellgröße ab, sondern von den Wechselwirkungen zwischen mindestens drei zentralen Variablen: Schwingung, Saugstrom, Prozessdauer.

Die Schwingung stellt sich dank der eingesetzten, leicht regelbaren elektromagnetischen Schwinger auf die jeweiligen Werkstückgeometrie ein (s. Kap. 4.3.2 Schwingeinheit). Optimale Ergebnisse lassen sich in Frequenzbereichen zwischen 35 Hz bis unter 50 Hz. Allerdings gibt es dabei keine feste Regel, die richtige Schwingung hängt primär von der Art des Werkstückes ab. Versuche in höheren Frequenzbereichen führten aber in der Regel nicht zu einer Verbesserung des Reinigungsergebnisses.

Mit einer Saugleistung von 2,5 bis max. 5,5 kWh, je nach Art des Werkstückes, erzielt die Vibrationsanlage optimale Reinigungsgrade. Stärkere Saugleistungen verschlechtern sogar die Reinigungsergebnisse (vgl. Diagramm 4 Kap. 4.3.4 Saugstromführung). Der Saugstrom muss bei komplexen Oberflächen und Vertiefungen von mehreren Seiten herangeführt werden ohne gegenseitige Beeinflussung (s. Kap. 4.3.3 „2-Kammer-Prinzip“).

Mit zunehmender Prozessdauer nimmt die zusätzliche Reinigungsleistung ab (asymptotischer Kurvenverlauf). In Abhängigkeit vom Werkstück liegt die optimale Prozessdauer zwischen 5 und 15 Sekunden. Die notwendige Prozessdauer erfordert konstruktive Lösungen im Bereich der Materialzuführung mit dem Ziel, auch wesentlich kürzere Taktzeiten eines industriellen Herstellprozesses einzuhalten (s. Kap. 4.3.5 Prozessführung).

4.3.2 Schwingeinheit

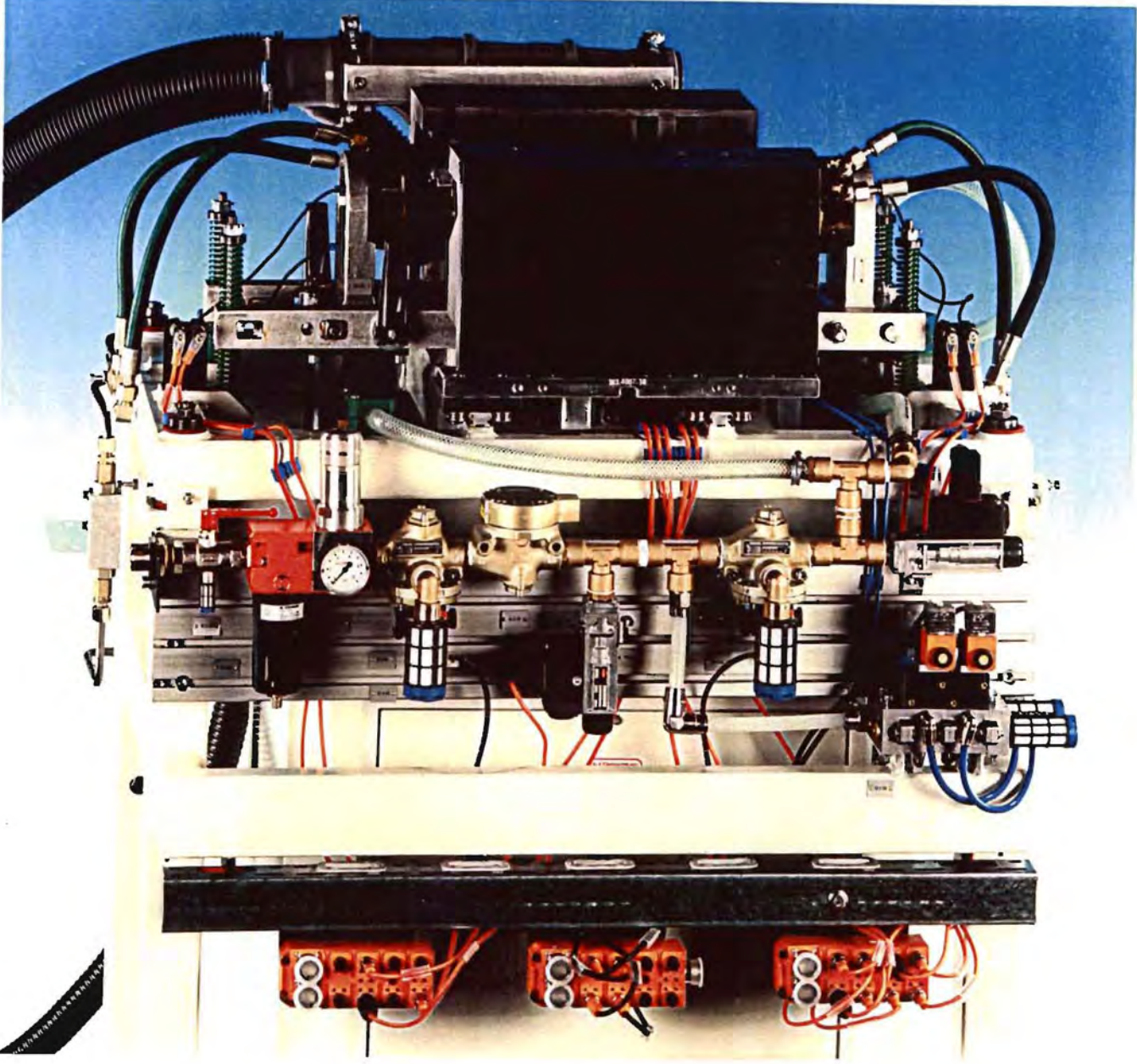
Vibratorenauswahl-gegenläufige Magnete-indirekter Übertragungsweg

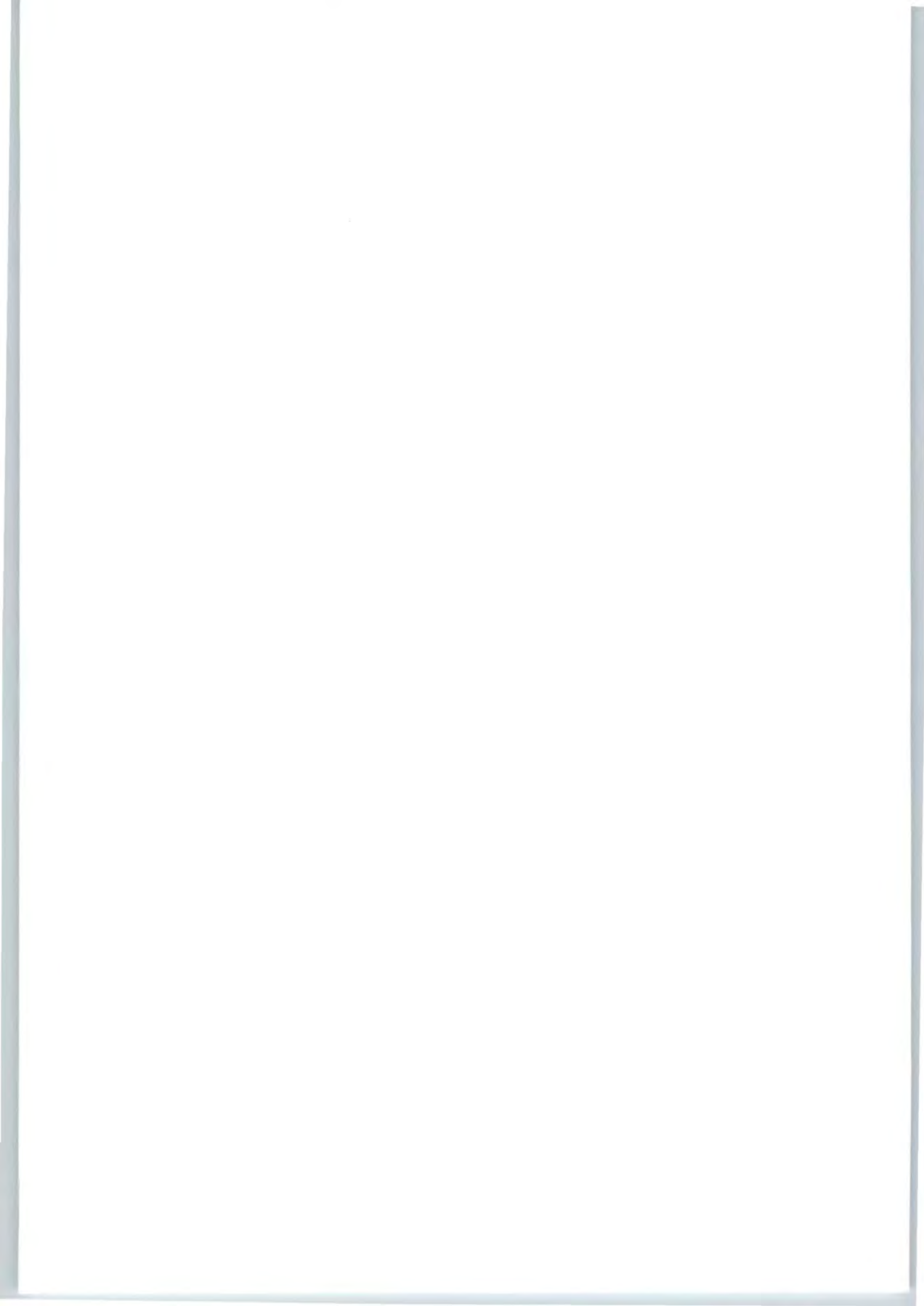
Die Schwingeinheit beschreibt den Schwingungsgeber, den Aufbau des Rahmens und den Übertragungsweg der Schwingung.

Erste Erfahrungen mit der Abreinigung von Kurbel- bzw. Nockenwellen bildeten die technische Ausgangsbasis bei Beginn des Projektes. Die aufwendig konstruierten Anlagen (s. Abb.3) arbeiteten noch mit zwei pneumatischen Schwingern in einem Frequenzbereich zwischen 45 und 60 Hz. Die auf einem Metallrahmen federnd aufgehängene Schwingkammer umfasste das zu reinigende Teil mit Hilfe zweier passgenauer Klemmbacken. Dabei waren die Werkstücke grundsätzlich fest eingespannt. Diese Konstruktion erwies sich als nicht flexibel genug, um damit ein breites Spektrum von nicht-symmetrischen Werkstücken mit komplexen Oberflächen zu reinigen. Dieser Anlagentyp benötigte je nach Anzahl der pneumatischen Schwingungsgeber zwischen 6 kW und 15 kW.

Zu Beginn des Projektes fehlten geeignete Schwingungsgeber in einem Frequenzbereich unter 45 Hz die obendrein automatisch regelbar sein sollten. Die Regelbarkeit erleichtert die Anpassung der Variablen des Schwingungsvorganges (Frequenz, Amplitude, Beschleunigung) und verbessert die Integrationsfähigkeit in automatisierte Prozesse. Während der Konzeption des Schwingungsverfahrens zeigte sich sehr schnell, dass mit pneumatischen Schwingern nicht nur erhebliche Entwicklungskosten entstehen, sondern der Energieaufwand den wirtschaftlichen Betrieb solcher

Abb. 3: Entwicklungsgeschichte der Vibrationsreinigung





Anlagen erschwert. Selbst die kleinsten pneumatischen Vibratoren haben einen (Press-) Luftdurchsatz von ca $1\text{ m}^3/\text{min}$. und benötigen entsprechend hohe Antriebsleistungen.

Für einen ersten Versuchsaufbau und als Vorführmodell wurde daher auf pneumatische Schwinger verzichtet und ein hydraulischer Schwingungsgeber eingebaut. Der hydraulische Schwingungsgeber bewegt sich in einer grossen Frequenzbandbreite von 20 Hz bis 250 Hz und selbst der mit einem 40 bar Hydraulikanschluss überdimensionierte Schwinger benötigt lediglich 1,5 kW Antriebsleistung mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 1kW/h. Dennoch erwiesen sich die Ausmaße und Kosten für die Peripherie des Hydraulikverfahrens als nachteilig.

Den Durchbruch für die Konzeption des Schwingungsgebers brachten elektromagnetische Schwinger. Die elektromagnetischen Schwinger reduzieren den Energiebedarf für den Schwingvorgang auf 0,4 kW. Ein bedeutsamster Vorteil ist die standardisiert verfügbare sensorgesteuerte Regelung der Schwingungsgeber. Das sensorgestützte Wegmesssystem macht den ganzen Schwingungsvorgang automatisierbar und kontrollierbar. Insgesamt unterstützen solche regelbaren elektromagnetischen Schwinger die Integration der kompletten Anlagen in industrielle Prozesse.

Auf die ursprünglich vorgesehene Planung, gemeinsam mit einem Unterauftragnehmer flexiblere, regelbare kleine pneumatische Schwingungsgeber zu entwickeln, konnte verzichtet werden.

Der Einsatz von Elektroschwingern hatte erhebliche Rückwirkungen auf die Konstruktion des Schwingrahmens. Der ursprünglich anvisierte Schwingrahmen analog zur Nockenwellenanlage (s. Abb. 3) mußte grundlegend neu konzipiert werden. Die Übertragung der Schwingung auf eine über dem Magnet liegende Schwingplatte erforderte eine elastische nicht-dämpfende Befestigung der Schwingplatte. Als Lösungsansatz boten sich verschiedenartige Federn⁵ an, die auf senkrechten Metallplatten zwischen Magnetplatte und Schwingplatte montiert wurden (s. Abb. 4). Im Dauerbetrieb wiederholten sich Federbrüche selbst bei besonders starken Metallfedern. Die Übertragung der Schwingungen auf die Schwingplatte allein über Federn erwies sich als Kern des Problems. Die Federn bildeten bei dieser ersten Grundkonstruktion die alleinige Gegenkraft zur Bewegung des Magneten und hielten den dabei auftretenden Kräften nicht lange Stand.

Im Verlauf des Projektes zeichnete sich ein anderer Lösungsweg ab: zwei gegenläufig arbeitende Magnetschwinger. Die Konstruktion einer Schwingeinheit (s. Skizze Schwingeinheit) am Ende des Projektes unterscheidet sich nicht nur grundlegend von den ersten pneumatischen Anlagen (s. Abb. 3), sondern auch von der im Verlauf des Projektes zunächst favorisierten Ein-Schwinger-Lösung (s. Abb. 1). Die neu entwickelte Art der Schwingungsaufhängung bzw. -übertragung gewährt für die Konstruktion der auf der Schwingplatte montierten eigentlichen Reinigungskammer genügend Freiheitsgrade (z.B. Art der Materialzufuhr), um höchst unterschiedliche Werkstücke zu reinigen.

Die Rahmenkonstruktion stellt sich wie folgt dar (s. Skizze1): mehrere Fussplatten (4) werden auf einer Grundplatte befestigt; an diesen Fussplatten (4) sind jeweils Zwischenplatten (3) und Gelenkplatten (2) über Gleitlager (13,14) beweglich miteinander verbunden; die auf Gleitlagern (13,14) beweglich befestigten Gelenkplatten (2) sind oberhalb mit der Schwingplatte (1) fest (18) verschraubt; die Gelenkplatten (2) tragen auf ihrer Innenseite zwei gegenüberliegende Magnetplatten (11) und nehmen über Stangen (7) und daran befestigte Druckfedern (12) die Schwingun-

⁵ Anfangs wurden Teflonfedern wie sie in der Fördertechnik gebräuchlich sind eingesetzt später stärkere Metallfedern.

gen auf. Die Schwingungsgeber (10) hängen an zwei getrennt voneinander angeordneten massiven Magnetständern (5), die etwa mittig unterhalb der Schwingplatte (3) positioniert und an zwei Fussplatten (4) verschraubt sind (17).

Die gegenläufig arbeitenden Magnete erzeugen über diesen indirekten Übertragungsweg auf der Vibrationsplatte (1) eine regelbare Schwingung. Eine Reinigungskammer mit der Werkstückarretierung und Saugstromführung wird fest auf der Schwingplatte (1) montiert und bewegt sich analog zur Schwingplatte (1).

Erst kurz nach Abschluss des Projektes gelang eine weitere Verbesserung dieses Grundaufbaus. Die Gleitlager unterliegen erheblichen Belastungen und neigen zum Verschleiß. Der seitliche Aufbau zur Übertragung der Schwingung konnte komplett durch nahezu verschleißfreie Federbleche ersetzt werden, die oben und unten an Schwing- und Fussplatte befestigt sind. Dies gelang durch Verlagerung der Schwinger und Magnete, die neuerdings an der Fussplatte bzw. unter der Schwingplatte mittig verschraubt sind. Die Seitenteile werden entlastet und die ganze Konstruktion pendelt um die Mittelachse.

Unabhängig von diesen Variationen der Schwingrahmenkonstruktion bleibt der Bewegungsablauf im Prinzip gleich. Die gesamte Schwingeinheit vollzieht in kurzer und schneller Folge links-rechts-Bewegungen, deren Wegstrecke sich überwachen und regeln läßt.

4.3.3 Reinigungskammern

Eigendrehungseffekt- 2-Kammer-System- mehrstufige Schnellreinigung

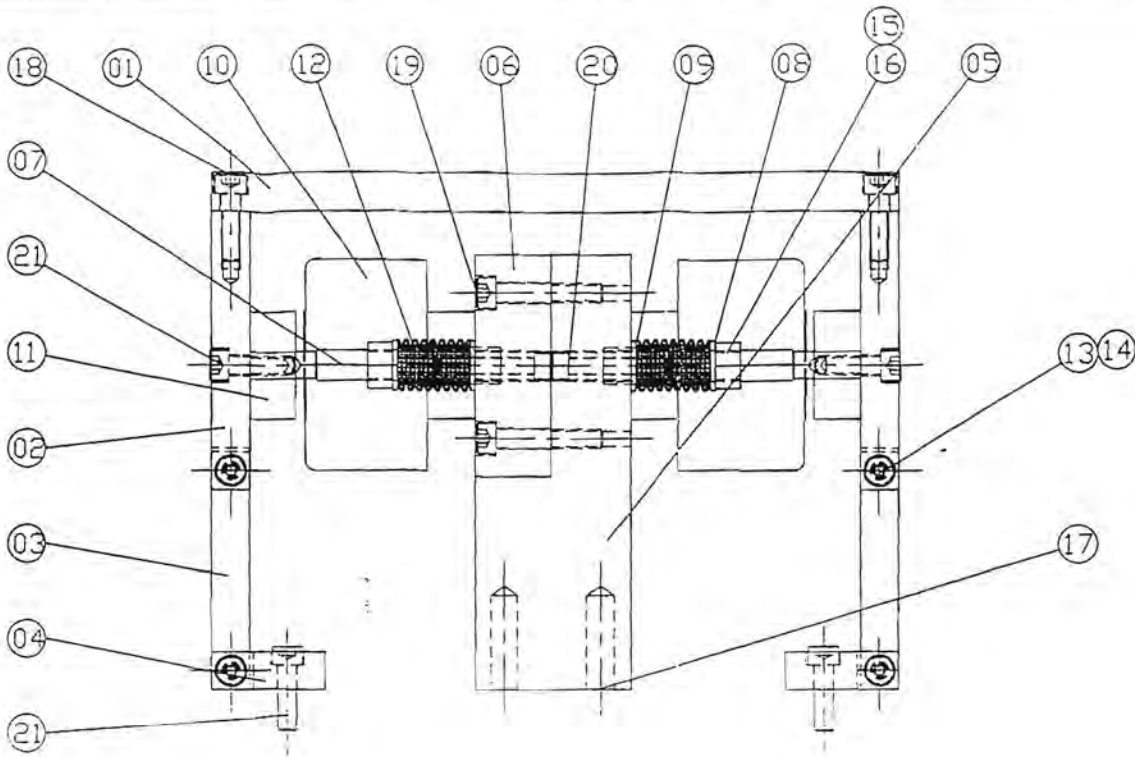
Eine Reinigungskammer besteht aus einer passgenauen Haltevorrichtung oder Arretierung für die zu reinigenden Werkstücke und dem Anschluss für die Absaugung der abgelösten Anhaftungen. Die Kammern bewegen sich mit den eingespannten Werkstücken simultan zur Schwingung.

Zu Beginn des Projektes war vorgesehen aufwendige Klemmbacken zu entwickeln, die das Werkstück einspannen ohne den Schwingungsvorgang zu dämpfen. Nach Tests mit Ringen und kompletten Kugellagern erwies sich eine einfache Arretierung der Werkstücke in einer passgenauen Kammer (s. Abb. 2) für den Reinigungsvorgang als ausreichend. Für Versuche zur Reinigung von Ringen wurde die Kammer mit einem durchsichtigen Plexiglas verschlossen. Dabei konnte beobachtet werden, dass die Ringe sich während des Schwing-Saug-Vorgangs in eine Eigendrehung versetzen, die die Absaugung deutlich unterstützt. Dieser *Eigendrehungseffekt* hat nach Einschätzung aller Beteiligten⁶ zur Einhaltung der bei Ringen hohen Reinigungsanforderungen geführt (Restanhaftungen < 100mg). Der Rotationseffekt ließ sich durch Modifikation der Werkstückaufnahme stabilisieren und in eine definierbare Bewegung überführen (s. Skizze 2).

Der Ansatz, auf eine spezielle Spannvorrichtung für die zu reinigenden Werkstücke in Form von Klemmbacken zu verzichten und nur über Anschlagpunkte zu arretieren, erwies sich aber als nicht immer sinnvoll. Bei größeren Werkstücken kam es ohne Spannvorrichtung mit einfachen Anschlagpunkten zu einem unruhigen Bewegungsablauf mit erhöhtem Verletzungsrisiko. Das Hauptproblem für die Grundkonzeption der Reinigungskammern bestand nun darin, eine, auch unter Kostengesichtspunkten, effiziente Arretierung für die Werkstücke zu entwickeln, die mehreren Anforderungen genügt:

- minimales Verletzungsrisiko
- hohe Reinigungsleistung;

⁶ Die Versuche wurden bei der Fa. Getrag und Mitwirkung der FhG TEG durchgeführt.



Verwendungsbereich:		(Zul. Abw.)	(Oberfl.)	Maßstab 1:2	(Gewicht)
				Werkstoff, Maßbezug, (Rohteil-Nr.) (Modell- oder Gesenk-Nr.)	
		Datum	Name		
		Bearb. 98.06.01	Drewalowski		
		Gepr. 98.06.01	Döhner	Zus.-bau_Schwing_Einheit	
		Norm			
		PRAZITEC		01_11_01	Blatt
Zustl.	Anderung	Datum	Name	Ursprung	Ersatz für
					Ersatz durch:

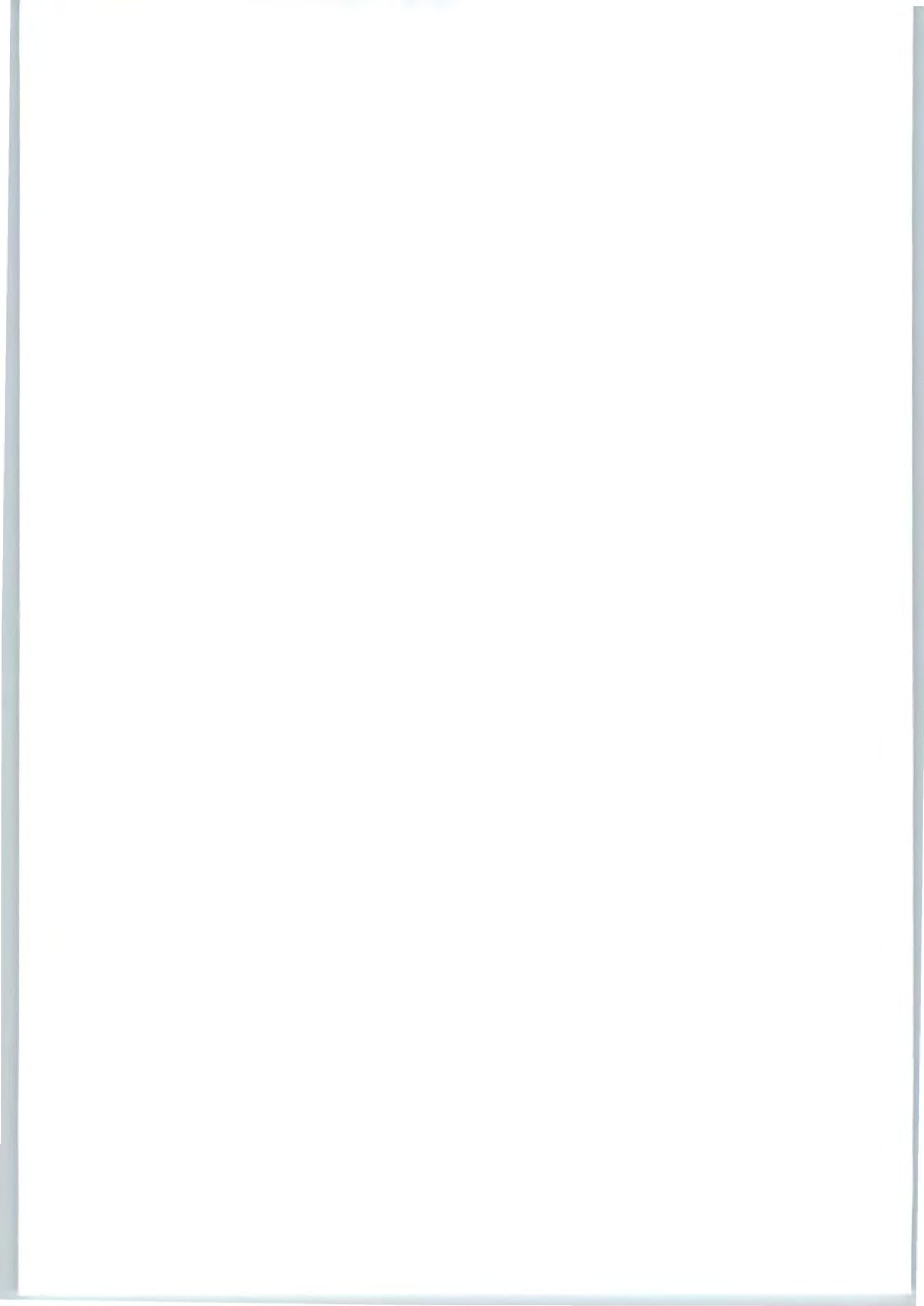
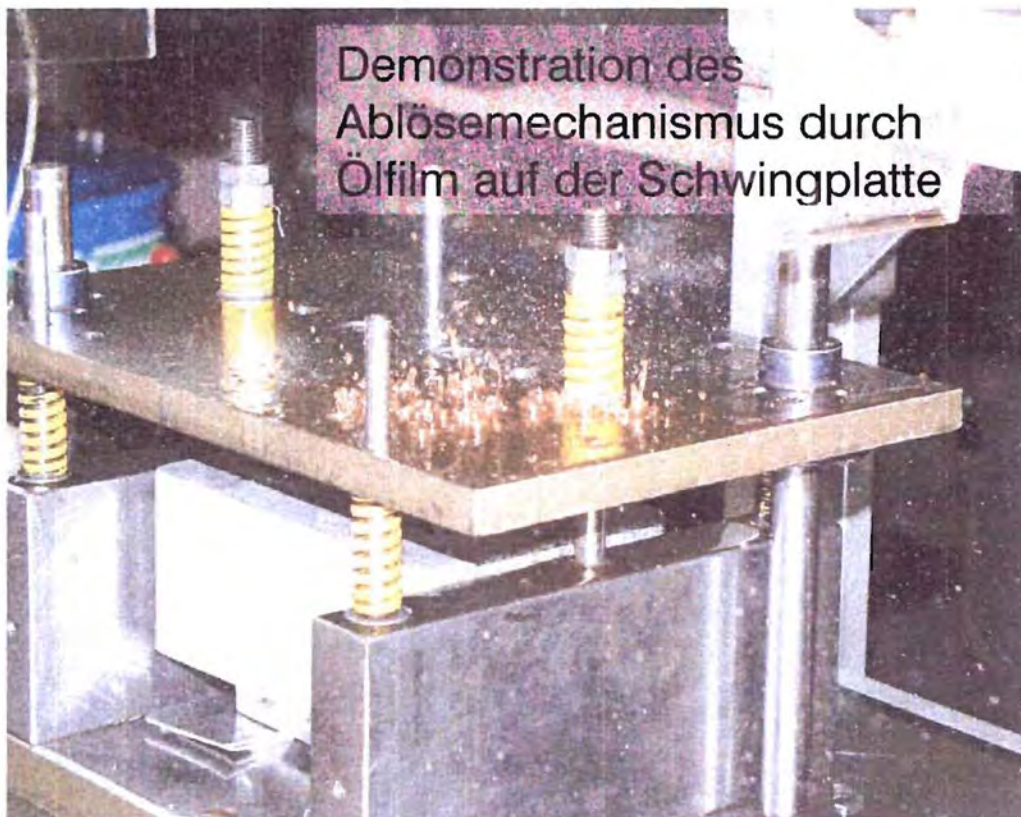
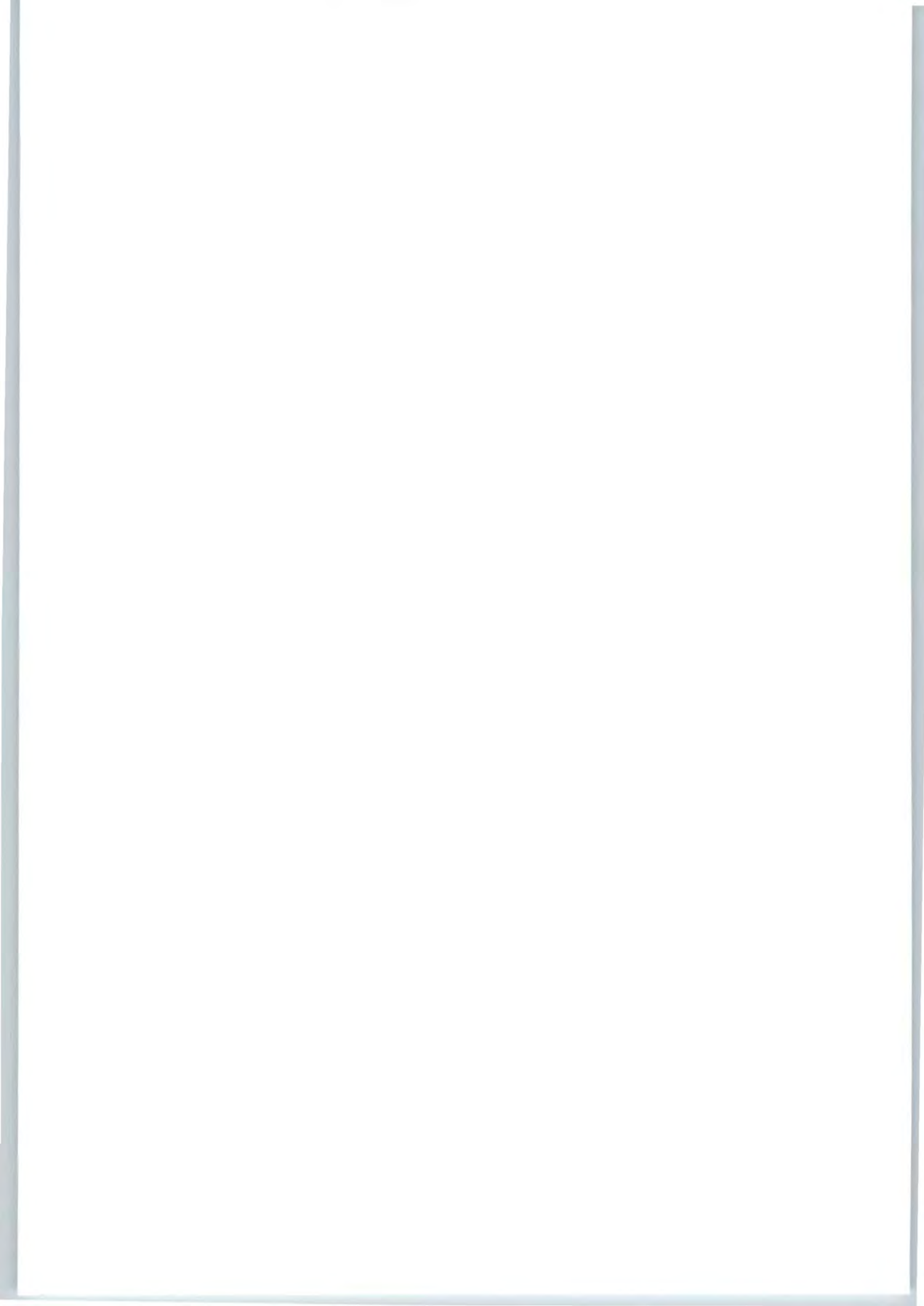
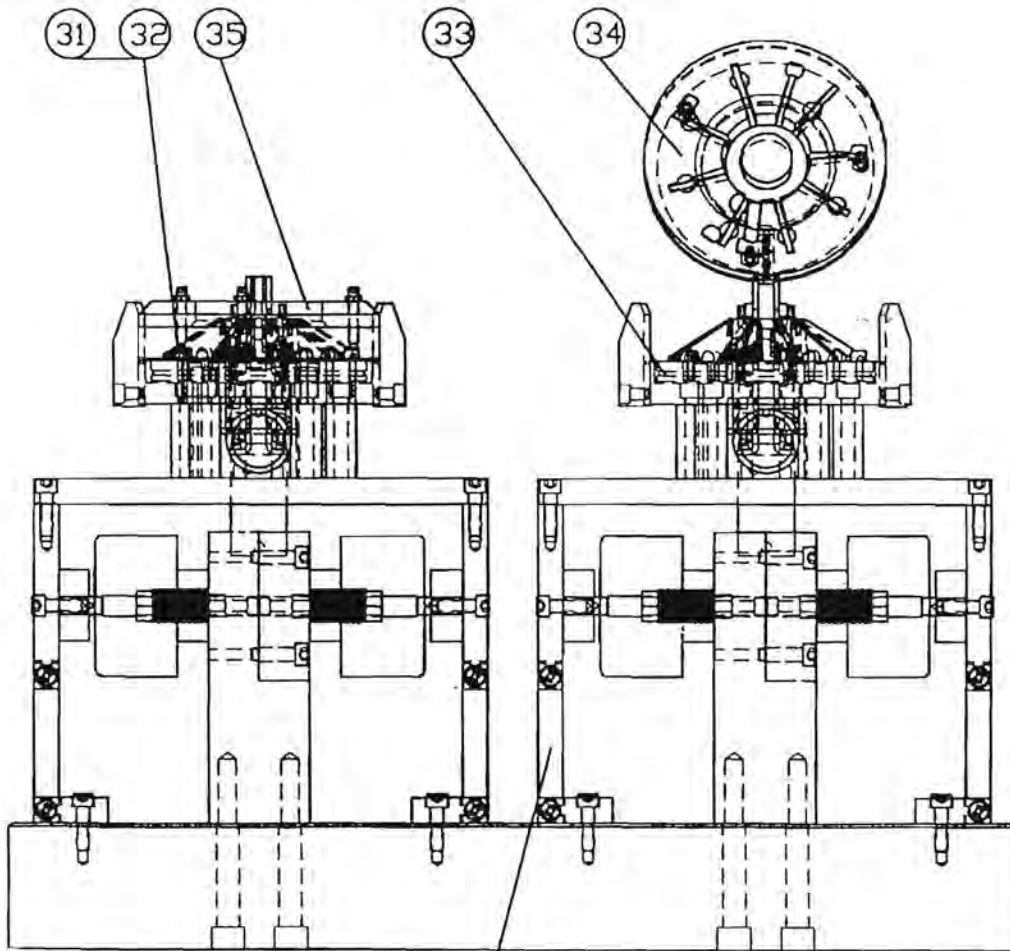


Abb. 4: Federaufhängung der Schwingplatte

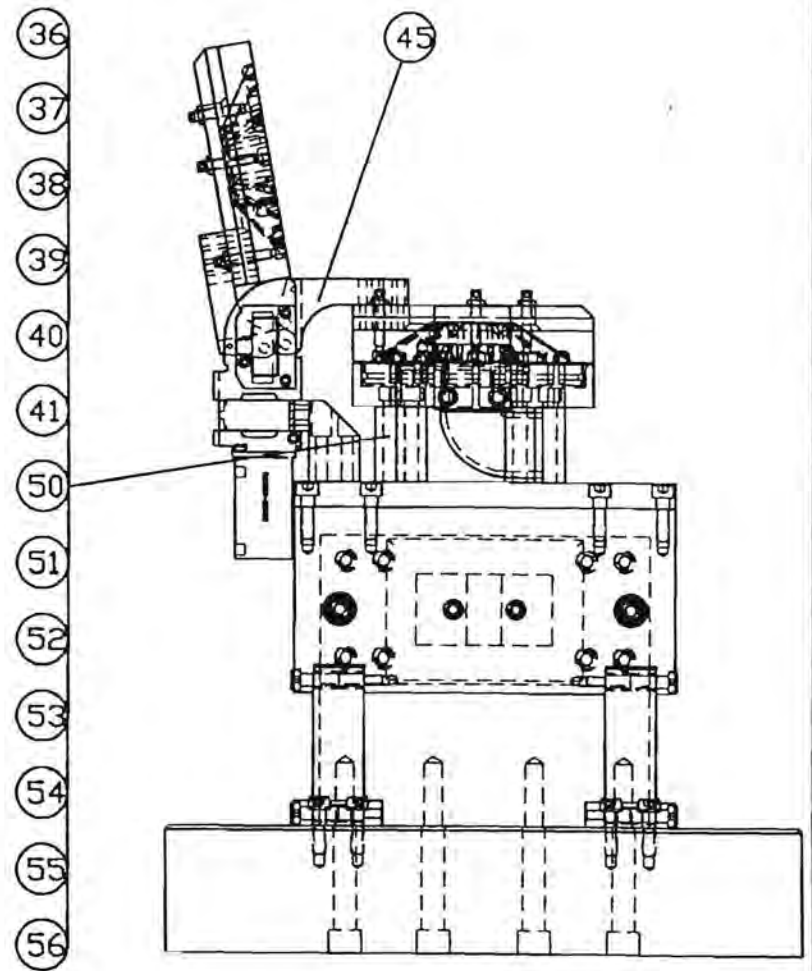




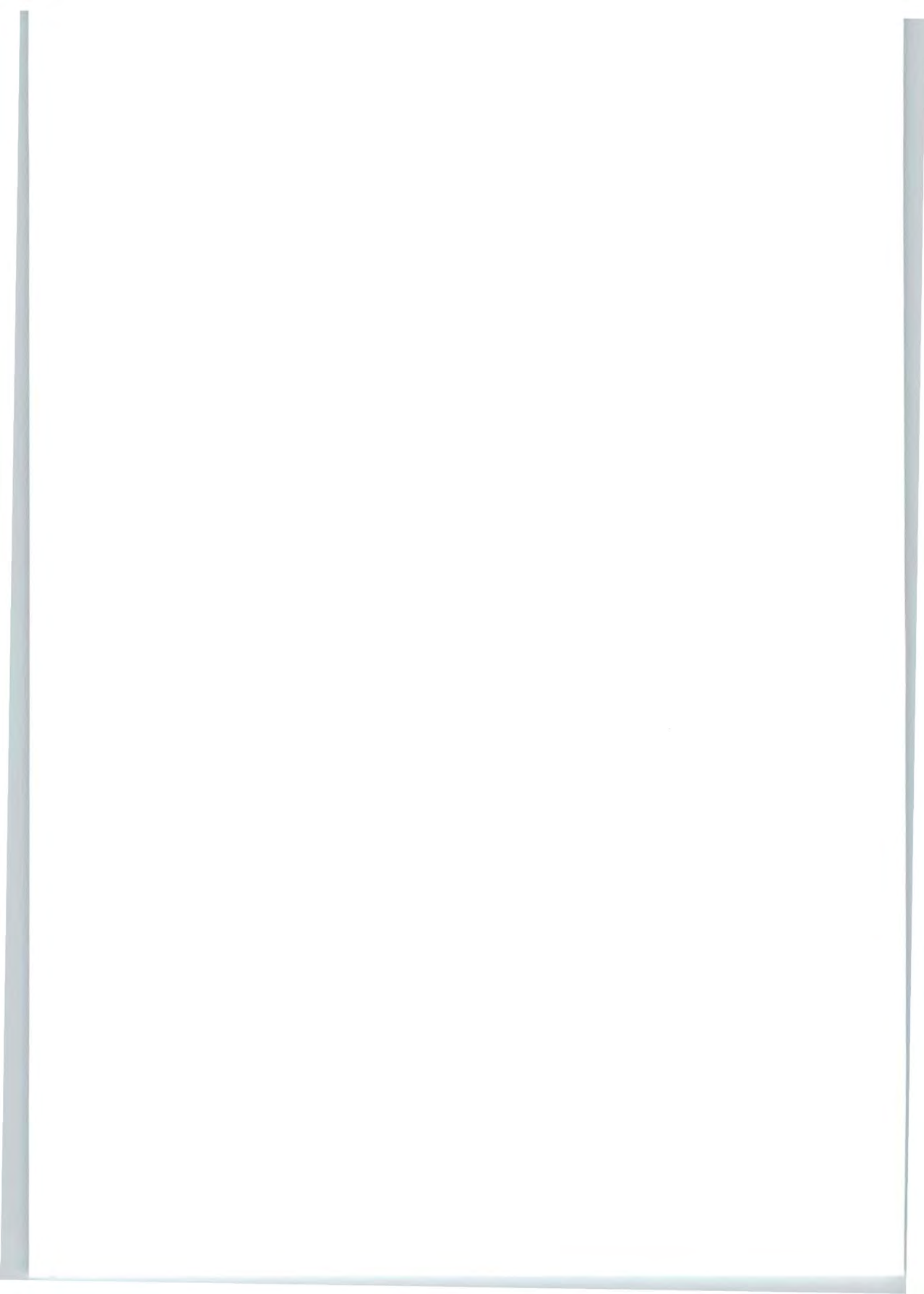


Schwing_Einheit (01-22)

Rahmen (61-67)



(Verwendungsbereich)		(Zul. Abw.)		(Oberfl.)	Maßstab 1:1	(Gewicht)
					(Werkstoff, Halbzeug) (Rohfab-Nr) (Modell- oder Gesenk-Nr)	
			Datum	Name	ZF_Zusammenstellung	
			Bearb. 10.10.01	Drevalowski		
			Gepr. 10.10.01	Dährer		
			Norm			
				PRAZITEC	01_10_02	Blatt
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung	Ersatz für:	Ersatz durch:



- Unterstützung der Saugstromführung
- hohe Taktfrequenz (z.B. 8 sec/St.)

Die beiden nachfolgenden Diskussionspunkte behandeln im Detail die Saugstromführung und die Anpassung an geforderte Bearbeitungszeiten (Kap. 4.3.4 und 4.3.5). Hier geht es zunächst um wesentliche Erkenntnisse zum Verletzungsrisiko und zur Reinigungsleistung.

Die optimierte Haltevorrichtung besteht aus passgenau gefrästen Formstücken, die das zu reinigende Werkstück einspannen. Die Reinigungskammern öffnen und schliessen automatisch (sensorgesteuert) und taktgenau. Diese Art der Spannvorrichtung muss nicht luftdicht schließen, denn dies würde nach den Erkenntnissen aus Versuchen mit Ringen den Absaugstrom behindern. Anders als bei den ersten Anlagen zur Kolbenreinigung braucht die Absaugung nicht an einem einzigen definierten Punkt der Haltevorrichtung⁷ ansetzen, sondern kann an unterschiedlichen Stellen an die Reinigungskammer ankoppeln. Diese flexiblere Bauart der Spannvorrichtung macht das Auswechseln der Formstücke unabhängig von der Absaugtechnik, sollte sich die Form des Werkstücks einmal ändern.

Ein weiterer entscheidender Faktor ist die Auswahl der Metalllegierungen für die Spannvorrichtung der Reinigungskammer. Die Legierung trägt ebenfalls zur Vermeidung von Verletzungen bei. Generell sollten die umschliessenden Formstücke als weichere Phase im Verhältnis zum Werkstück ausgelegt sein. Bei allen Versuchen, auch bei Dritten, traten nach Optimierung der Reinigungskammern keine Verletzungen an den untersuchten Ringen auf. Bei all diesen Überlegungen darf jedoch nicht übersehen werden, dass die zu reinigenden Motorenteile im späteren Betrieb weitaus höheren mechanischen und thermischen Belastungen standhalten müssen als bei einem sekundenweisen Schwingungsvorgang.

In Vorversuchen mit Getriebegehäusen kam es immer wieder zu mangelhaften Reinigungsergebnissen, weil sich Späne auf der Rückseite der Gehäuse sammelten. Weder eine Modifikation der Schwingeinheit oder der Saugstromführung brachten nennenswerte Fortschritte bei Experimenten im Hause Präzitec.

Eine wichtige Weiterentwicklung gelang mit der Konstruktion von mehreren aufeinander abgestimmten Reinigungskammern - dem *2-Kammer-Prinzip*. Neben der damit verbundenen Reinigungssicherheit beschleunigt dieses Reinigungssystem auch den Prozessablauf (s. Skizze 3 ; Nr. 31-35). Der entstandene Prototyp für Getriebegehäuse arbeitet mit zwei Schwingeinheiten (s. Skizze 3, Nr. 01-22, identisch mit oben beschriebener Schwingeinheit) auf denen zwei unterschiedliche Reinigungskammern (s. Skizze 3, Nr.33+35) montiert sind. Die linke Seite nimmt das Vorderteil des Gehäuses in einen passgenauen Spanndeckel (Nr. 33, 34) auf. Der Spanndeckel mit dem zu reinigenden Gehäuse klappt schliessend auf die darunter liegende Saug- und Düseneinrichtung (Nr.45)⁸. Im zweiten Arbeitsgang kommt die Rückseite des Gehäuses in gleicher Weise auf den zweiten ebenfalls passgenauen Spanndeckel (Nr.35, 32). Die Prozesssicherheit konnte gegenüber den ersten Ein-Kammer-Systemen wesentlich gesteigert werden. Die Reinigungsleistung erreicht 92% der Ölanhaftungen, die Rückgewinnungsmenge liegt zwischen 6 und 8 gr. Das Zwei-Kammer-Prinzip rationalisiert den Arbeitsablauf, weil während des Reinigungsvorgangs in der zweiten Kammer die leere erste Kammer sofort wieder neu bestückt werden kann. Mit diesem Verfahren läßt sich die geforderte Taktzeit von 30 Sekunden pro Stück einhalten.

⁷ vgl. Abb. 3 Vorentwicklung „Nockenwelle“: die Absaugdüsen liegen oben an der Spannvorrichtung an.

⁸ Die Passgenauigkeit ist auch für den noch näher zu erläuternden Injektionseffekt notwendig (s. Kap. 4.2.4 Saugstromführung).

Für die Reinigung von Common-Rail Düsen musste dieses 2-Kammer-Prinzip weiter verfeinert werden. Die aufeinander abgestimmte (vgl. Skizze 4) Reinigung von zwei Düsen gleichzeitig braucht insgesamt 15 sec. aufgeteilt auf zwei Reinigungsstufen. Mit diesem Verfahrensansatz verkürzt sich die durchschnittliche Bearbeitungszeit pro Werkstück auf die im industriellen Prozessablauf geforderten ca. 8 sec/Stück.

Dies ist aber nur ein Vorteil der 2-Kammer-Reinigung. Die Aufteilung des Reinigungsvorgang für ein Werkstück auf zwei Kammern eröffnet zusätzliche Freiheitsgrade für die Art des Reinigungsvorganges selbst. Die zwei Kammern müssen nicht in genau der selben Weise eingestellt sein. Es gibt die Möglichkeit die Ansaugstellen an den Reinigungskammern zu variieren und zusätzlich die Schwingungsrichtung der Schwingeinheiten zu wechseln oder die Position der Werkstücke in den Kammern zu verändern (bei Getriebegehäuse: Rück- und Vorderseite).

Erst das 2-Kammer-Prinzip ermöglichte die *mehrstufige Trockenreinigung*. Damit ist eine ganz wichtige Voraussetzung entstanden, um vielfältigste kubische Werkstücke mit komplizierten Oberflächen und Tiefenstrukturen zu behandeln und den energetischen Aufwand signifikant zu erhöhen.

Die Entwicklung des Mehr-Kammer-Systems mit getakteter Zuführung der Werkstücke erweist sich als zentrale Einflussgröße für die Tagesmenge der rückgewinnbaren Kühlschmierstoffe, denn je schneller die Anlage reinigt desto höher sind die resultierenden Rückgewinnungsmengen pro Zeiteinheit und damit der angestrebte Umweltentlastungseffekt. Die Ausweitung des Mehr-Kammer-Prinzips auf zu reinigende Massenprodukte (vgl. Kap. 4.3.5) eröffnet vor Projektbeginn nicht erwartete Anwendungsfelder.

4.3.4 Saugstromführung

Düseneffekt - Saugleistung - Injektionseffekt

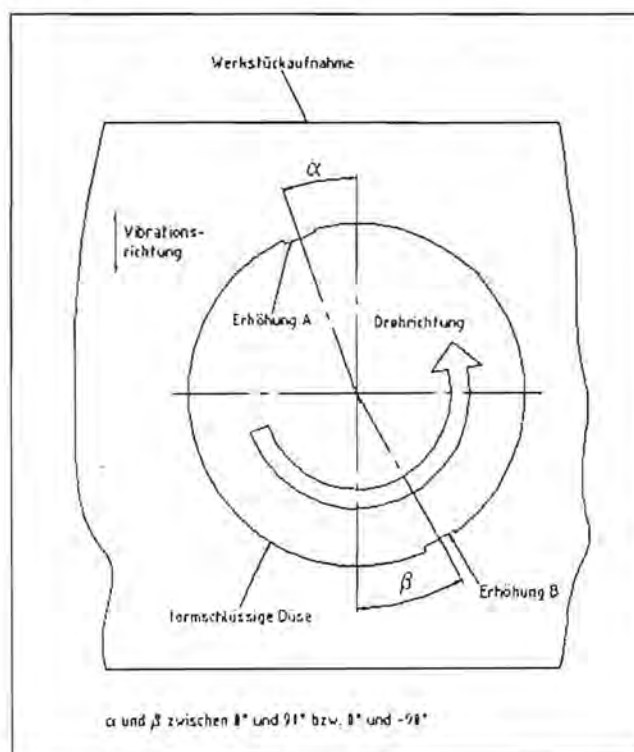
Angekoppelt an die Reinigungskammern erfolgt die Absaugung der Anhaftungen während eines Schwingungsvorganges.

Die Saugstromführung erwies sich im Verlauf des Projektes als Schwachstelle des Systems. Bei der Anfangs gewählten einfachsten Variante (s. Abb. 1 oben rechts) erfolgte die Absaugung durch einen 2,5 kW Industriesauger mit einem Durchmesser des Ansaugstutzens zwischen 75-100mm. Die Ansaugzeit wurde über eine entsprechende Steuerung an den Schwingungsvorgang gekoppelt. Dabei traten vielfältige Probleme auf, z.B erfasste der Saugstrom nicht alle Windungen eines Getriebegehäuses, bei kleineren Werkstücken war der Saugstrom zu stark und verhinderte die Eigenrotation (vgl. Kap. 4.3.3) des Werkstückes. Dieser Effekt des Schwingungsvorganges unterstützt die Reinigungswirkung bei komplexen ineinander verschachtelten Werkstücken (Innenring, Aussenringe, Lager). Der Saugstrom genügte auch nicht bei eingeklemmten Restspänen und Feinststäuben, etwa in Gewinden von Tieflochbohrungen.

Zunächst konnte der Saugstromanschluss derart variiert werden, dass nicht nur eine rückseitige Absaugung erfolgte, sondern wahlweise an seitlichen oder nebeneinander liegenden Positionen abgesaugt wurde. Versuche mit der Aneinanderreihung von unterschiedlich positionierten Absaugstellen an ein und derselben Reinigungskammer brachten nicht die erwünschten Resultate. Im Gegenteil die Saugströme wirkten kontraproduktiv und es kam zu unkontrollierten Verwirbelungen, die die gerade abgehobenen Anhaftungen an anderer Stelle wieder sammelten. Diese Versuchsergebnisse trugen dazu bei, dass 2-Kammer-Prinzip (s.o.) zu entwickeln. Je Kammer lassen sich so unterschiedliche Ansaugpunkte setzen ohne gegenseitige Beeinflussung der Saugströme.

3.3 Rotationsversuch

Als erstes wurde ein Rotationsversuch mit dem Bauteil in der Prototypenaufnahme durchgeführt. Bei Getrag drehte sich das Bauteil zwar, jedoch nicht regelmäßig und vor allem nicht definiert. Um eine definierte Drehung bei den Schaltmuffen zu erreichen wurden zwei Erhöhungen (vgl. Abb. 5) im Innenraum angebracht. Durch die angebrachten Erhöhungen und einen damit verbundenen exzentrischen Stoß während der Auf bzw. Abwärtsbewegung dreht sich die Schaltmuffe während des Reinigungsprozesses definiert.



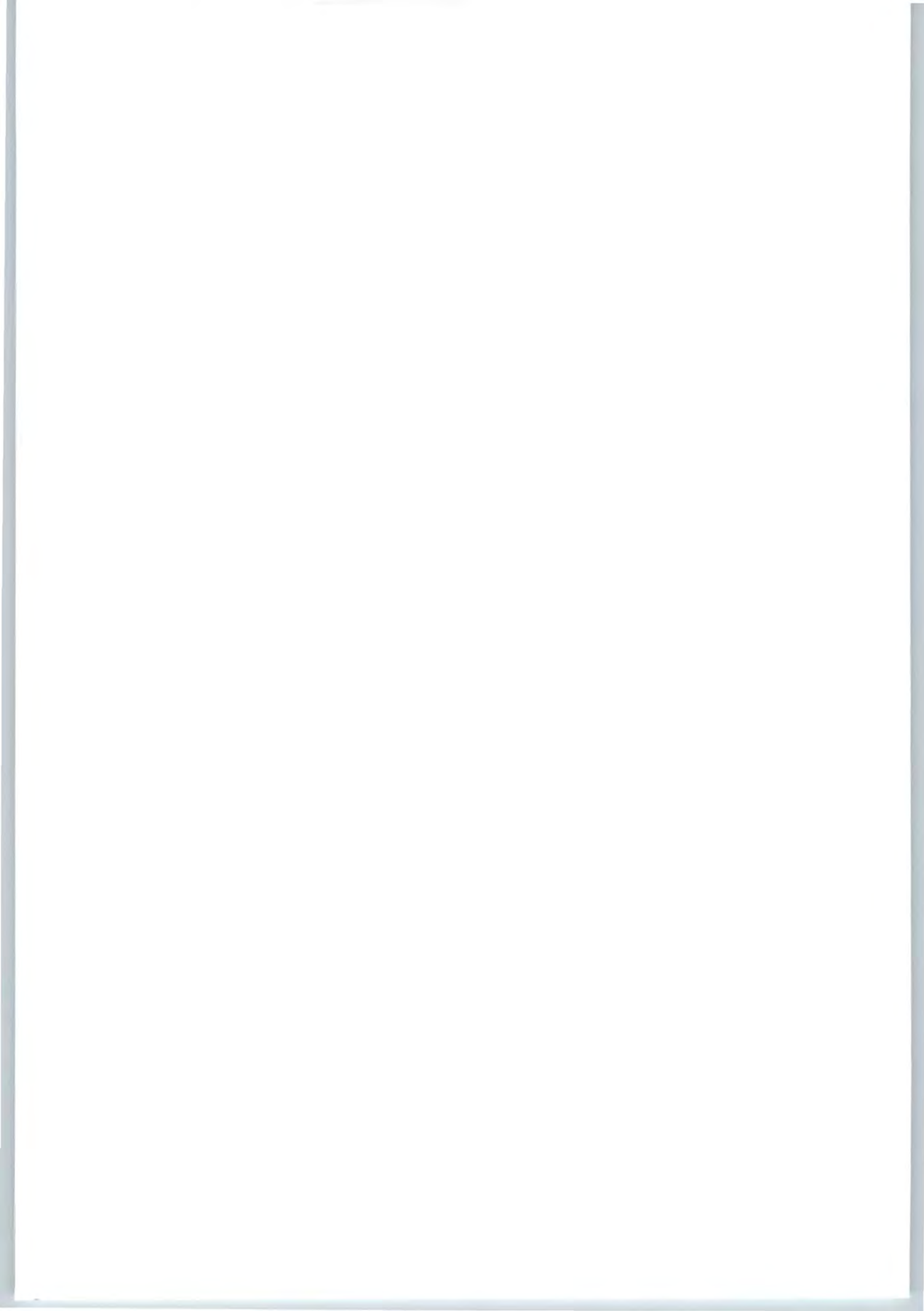
Skizze 2: Rotationseffekt

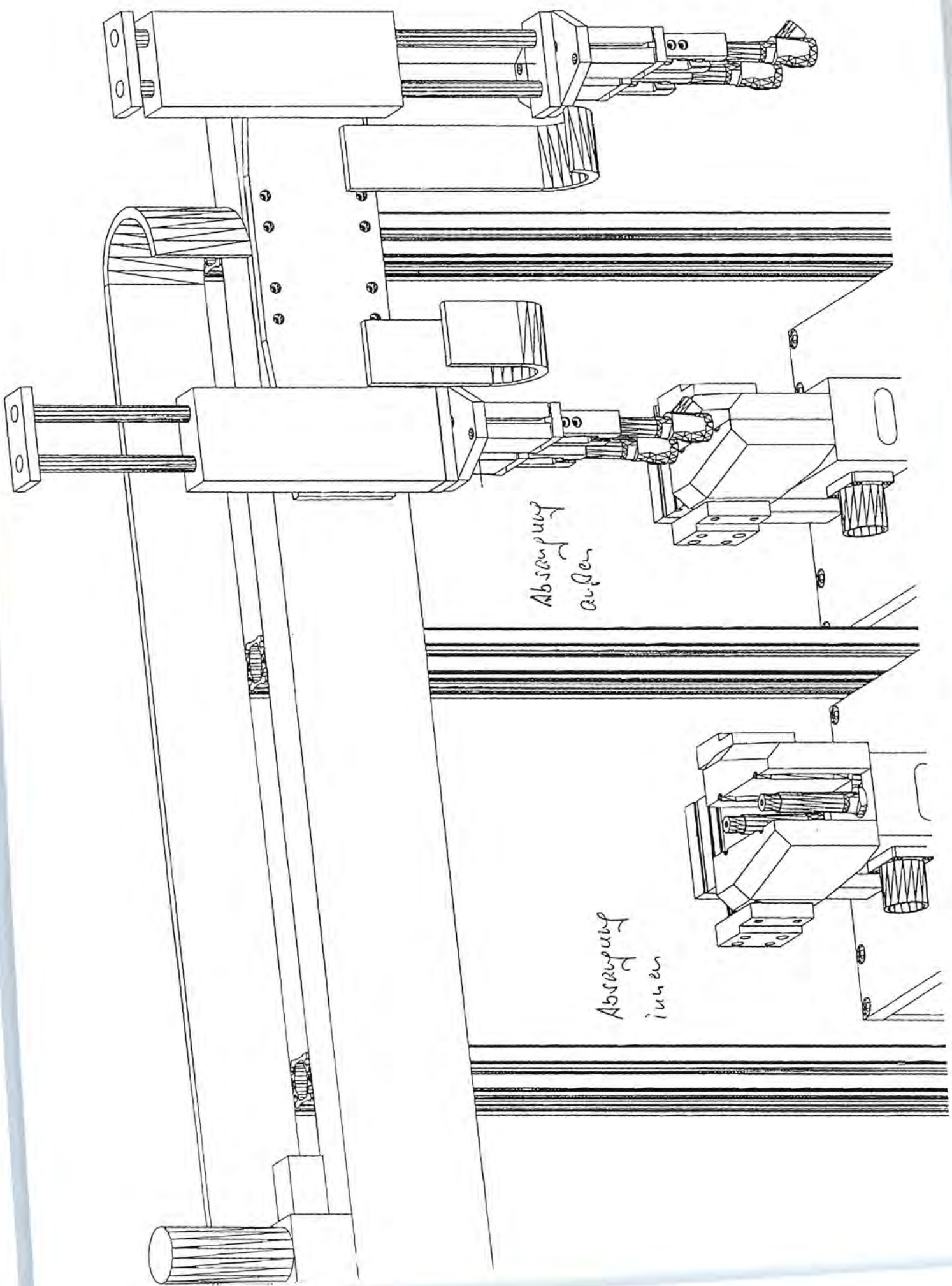
Abbildung 5: Drehunterstützung im Innenraum

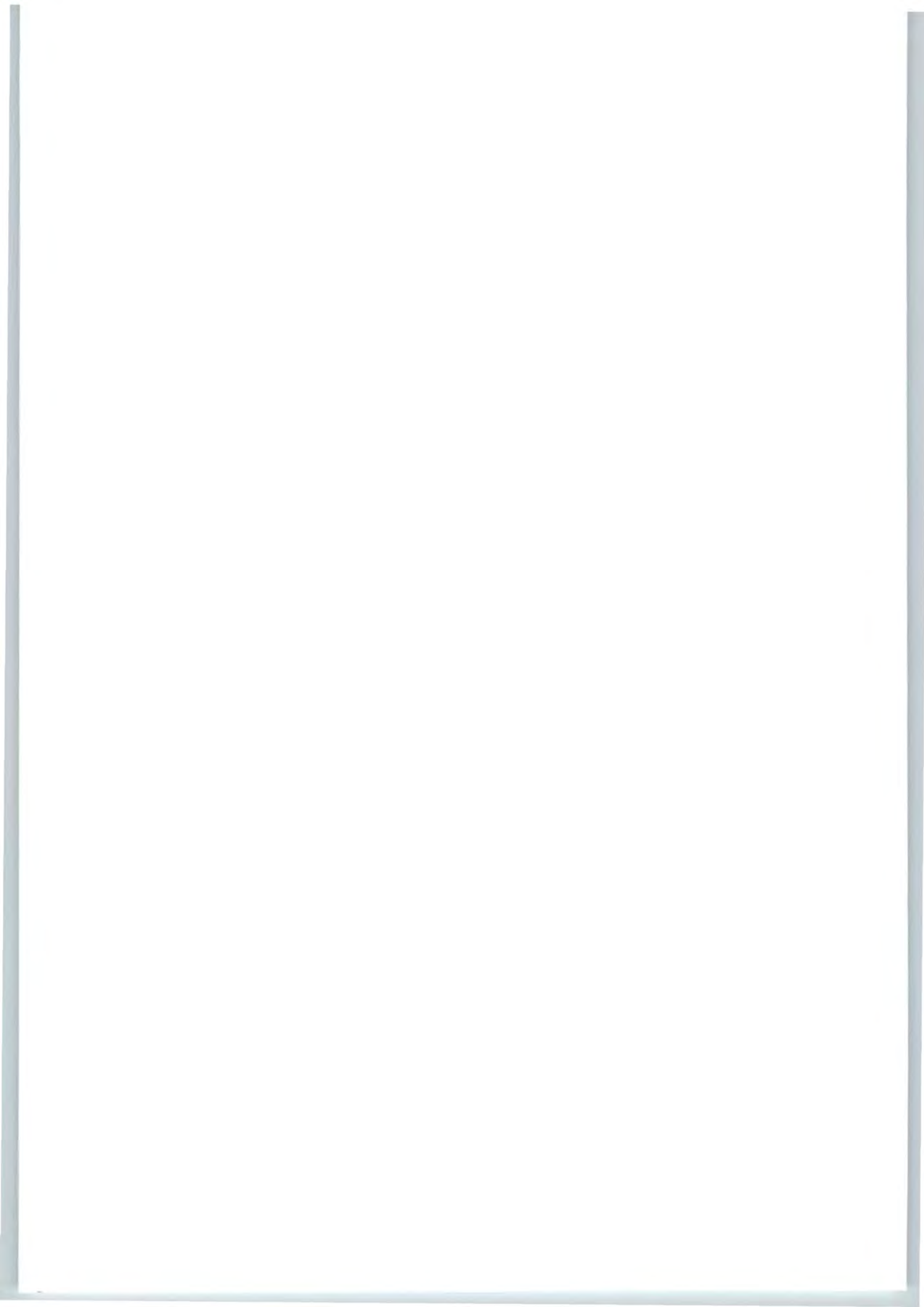
3.4 Systematische Anbringung der Zu- bzw. Absaugbohrungen

Bei der Anordnung der Zu- bzw. Absaugbohrungen ist auf folgende Punkte zu achten:

- Einhaltung einer laminaren Strömung (Bsp.: keine Ablöseblasen an den Bohrungen -> Fasen anbringen)
- Bei der Bohrlochanordnung wird eine bessere Absaugung durch eine geschickte Anordnung der Zu- und Abluft erreicht (Abstand)
- Keine zu großen Absaugbohrungen bzw. -nuten da sich die Schaltmuffe festsaugt und sich die Schaltmuffe dadurch nicht mehr dreht







Dieser im Verlauf des Projektes umgesetzte Lösungsansatz reicht für viele Problemstellungen im Bereich Motorenbau und gibt genügend Spielraum für konstruktive Varianten.

Dennoch blieb die Saugstromführung unbefriedigend, so dass dieses Problem näher untersucht wurde. Dazu gab es externe Versuche bei der Fa. Getrag unter Mitwirkung der Fraunhofer TEG (s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 4, Versuch 11ff).

Im Fall Getrag ging es um die Reinigung von Getriebeschaltmuffen mit besonders hohen Qualitätsanforderungen. Die Getriebeschaltmuffen dürfen nach Trockenreinigung praktisch keine Partikel aufweisen und die Toleranzgrenze für Restölanhaftungen liegt bei 100 mg. Ausgangspunkt sind Anhaftungen im Mittel von 0,120 Gramm (s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 4; Versuchsreihe 11/4).

Als Testanlage fungierte ein Standardschwingungsaufbau mit (nur) einem Schwinger (analog Abb.2). In den Experimenten sollte die Werkstückaufnahme oder Reinigungskammer als fast formschlüssiger Raum mit 1-2mm Spiel um die Schaltmuffe ausgelegt sein. In den Versuchsreihen floss der Saugstrom durch an verschiedenen Positionen angeordnete Abluftbohrungen mit unterschiedlich grossen Durchmessern (s. Anlage 1; Versuchsprotokoll; Versuch 11 Bohrlochmuster). Gleichzeitig sollte der Einfluss von unterschiedlichen Zuluftbohrungen überprüft werden. Zusammenfassend ergaben die Experimente zur Saugstromführung folgende Resultate:

- es kommt auf eine möglichst laminare Strömung an, z.B. ohne Ablöseblasen an Bohrungen,
- zu grosse Ansaugbohrungen verhindern den Rotationseffekt und der Ansaugsog dämpft die Schwingung,
- die Kombination von Abluft- und Zuluftöffnungen an der Reinigungskammer erzeugt einen leistungsfördernden *Düseneffekt*,
- als Faustregel stellte sich heraus, dass das Verhältnis von Zu- und Abluftfläche ca. 1:1 mit etwas weniger Zuluft sein sollte.

Bei diesen Experimenten konnte auch der Einfluss der Faktoren Schwingungsfrequenz, Amplitude, Saugzeit und Saugstärke näher untersucht werden.

Als überraschendes Ergebnis stellt sich heraus, dass eine Erhöhung der Saugleistung um das Doppelte auf 5 kW ein erheblich schlechteres Reinigungsergebnis bei sonst gleichen Bedingungen (Werkstück, Frequenz, Amplitude, Saugstromführung, Zeit) brachte. Die verbleibenden Restanhaftungen erhöhten sich bei diesem Experiment von sonst knapp 100 mg auf über 250 mg (s. Diagramm 1) nach Absaugung mit 5 kW statt 2,5 kW.

Variationen der Schwingungsfrequenzen (Diagramm 2) und der Amplituden (Diagramm 3) unter ansonsten gleichen Bedingungen zeigten keine signifikanten Auswirkungen auf die Reinigungsleistung. Hingegen gab es eine deutliche Wechselwirkung zwischen Reinigungsleistung und dem Parameter „Saugzeit“. Je länger abgesaugt wurde desto besser das Reinigungsergebnis (Diagramm 4). In Versuch 11/4 (s. Anlage 1; Versuchsprotokoll 4, Versuch 11/4) sinkt die Restölanhaftung nach Reinigung bei einer Verdopplung der Saugzeit (von 10 auf 20 sec.) um 40%.

Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass Saugzeit = Schwingungszeit ist und damit die Ursache der verbesserten Reinigungsleistung sich nicht ganz eindeutig zurechnen lässt.

Eine Kurvendiskussion (s. Diagramm 4) ergibt angesichts des asymptotischen Verlaufs ein abnehmendes Δ der Reinigungsleistung mit zunehmender Dauer t . Die Hauptwirkzeit stellt sich sofort nach Beginn des kombinierten Schwing-Saug-Vorganges ein und dauert max. bis zu 13

sec. Eine Verlängerung der Einwirkzeit bringt danach nur noch marginale zusätzliche Reinigungsleistungen.

Letztlich zeigten die Experimenten von Getrag in Zusammenarbeit mit Fraunhofer TEG, dass mit einer einfachen nicht optimierten Vibrationsanlage durch Modifikation der Saugstromführung, bei Frequenzen um 35hz einer Amplitude von 80 nach 20 sec. Bearbeitungszeit die bei der getesteten Anwendung besonders hohen Reinigungsanforderungen unter 100 mg erfüllbar sind.

Wichtiger als diese Erkenntnis sind jedoch andere Feststellungen:

1. Es gibt eine Hauptwirkzeit im Bereich unter 15 sec.
2. Die größten zusätzlichen Reinigungspotentiale liegen (auch nach Ansicht der externen Beobachter) in der Saugstromführung und nicht so sehr bei anderen Variablen des Verfahrens.

Injektionseffekt

Doch bei der Umsetzung der Erkenntnisse aus den Experimenten mit Grundlagencharakter insbesondere für Getriebegehäuse haperte es. Weder die Erhöhung der Bearbeitungszeit noch die Modifikation des An- und Absaugstellen in dem 2-Kammer-System zeigten den gewünschten Erfolg bei der Ablösung von fest anhaftenden Spanresten in Tieflochbohrungen.

Ein eher zufällig aufgetretenes Phänomen während der Experimente im Hause Präzitec mit der Reinigung von Getriebegehäusen brachte die Lösung. Beim manuellen Abreinigen eines Werkstücks mit Luftdruck zur Vorbereitung neuer Versuchsfahrten wurde der Schwingungsgeber zu spät abgeschaltet. In einem Bohrloch zurück gebliebenes Öl schoss plötzlich aus der Bohrung empor und, wie sich später herausstellte, riss Kleinstspäne mit sich. Die Zuführung von Druckluft bei gleichzeitiger Schwingung löst offenbar auch festsitzende Teile ab.

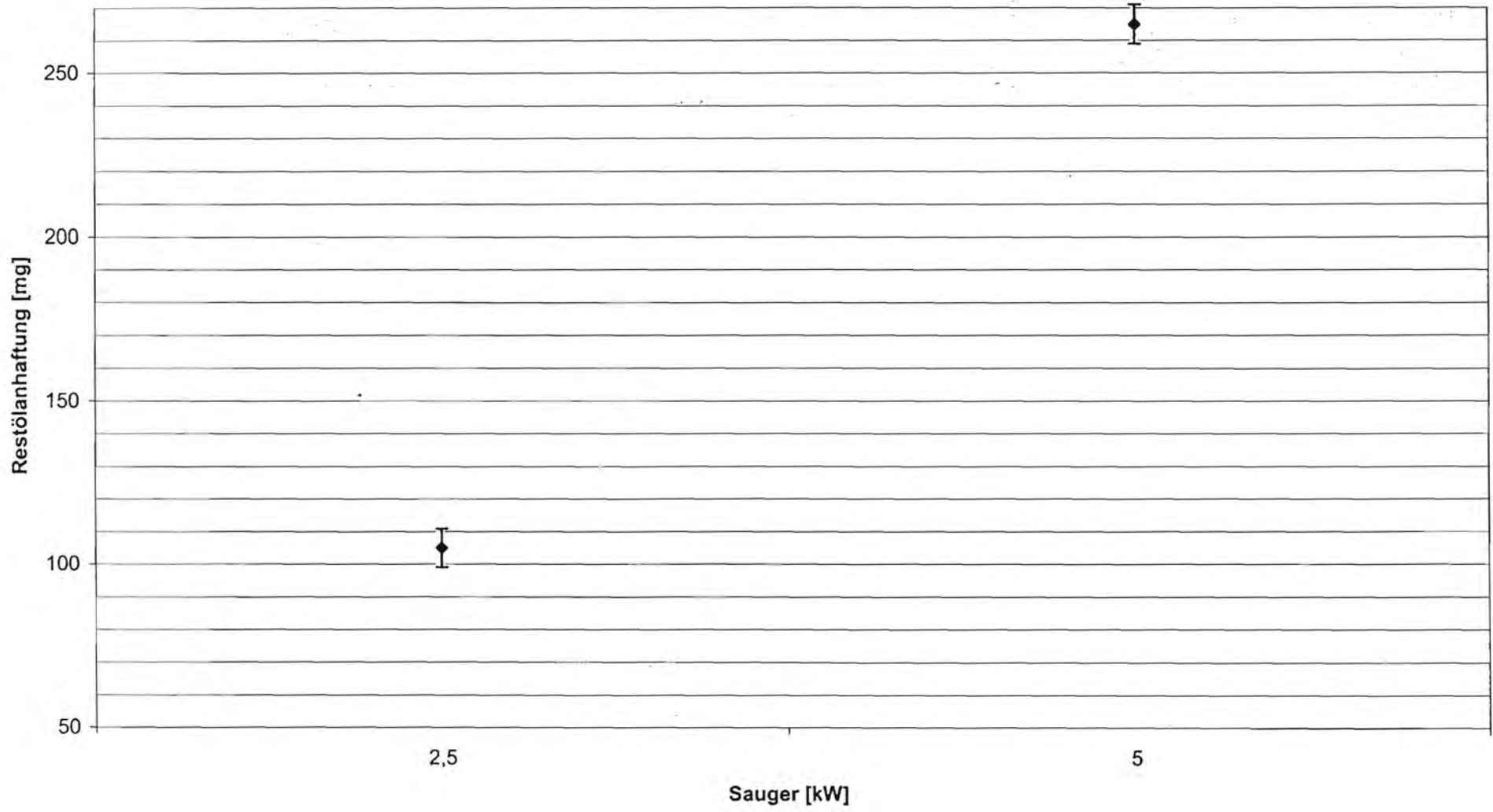
Sinnvollerweise konnte keine zusätzliche Druckluft in die Reinigungskammer gepumpt werden, denn damit wäre der Energieaufwand höher und die Absaugung erheblich aufwendiger. Für das auftretende Problem bei Tiefbohrungen in Getriebegehäusen konnte der beschriebene explosionsartige Ablöseeffekt baulich umgesetzt werden. Kleinstmengen der ohnehin im System vorhandenen, zurückgewonnenen KSS-Emulsion werden mit zuletzt 6 bar in die Tiefbohrlöcher kurzzeitig injiziert - daher *Injektionseffekt*. Diese Injektion von Emulsion erfolgt taktgenau mit der laufenden Schwingung. Die anderen anhaftenden KSS befinden sich unmittelbar vor der Schwingung im Ruhezustand und beginnen dann, wenn die Adhäsionskräfte überwunden sind auf der Oberfläche des Werkstücks zu „tänzeln“. Anders verhält sich die unter Druck in Tiefbohrungen injizierte Emulsion. Erfolgt die Injektion gleichzeitig mit der Schwingung reißt die sich explosionsartig bewegende Flüssigkeit im Bohrgewinde festgeklemmten Restspäne oder Feinststäube mit heraus. Die somit gelösten Teilchen werden überhaupt erst für den Saugstrom erreichbar. Lösten sich Metallstäube oder Feinstspäne erst in der Endfertigung störte dies die sichere Funktion eines Bauteils oder es käme zu frühzeitigem Verschleiß.

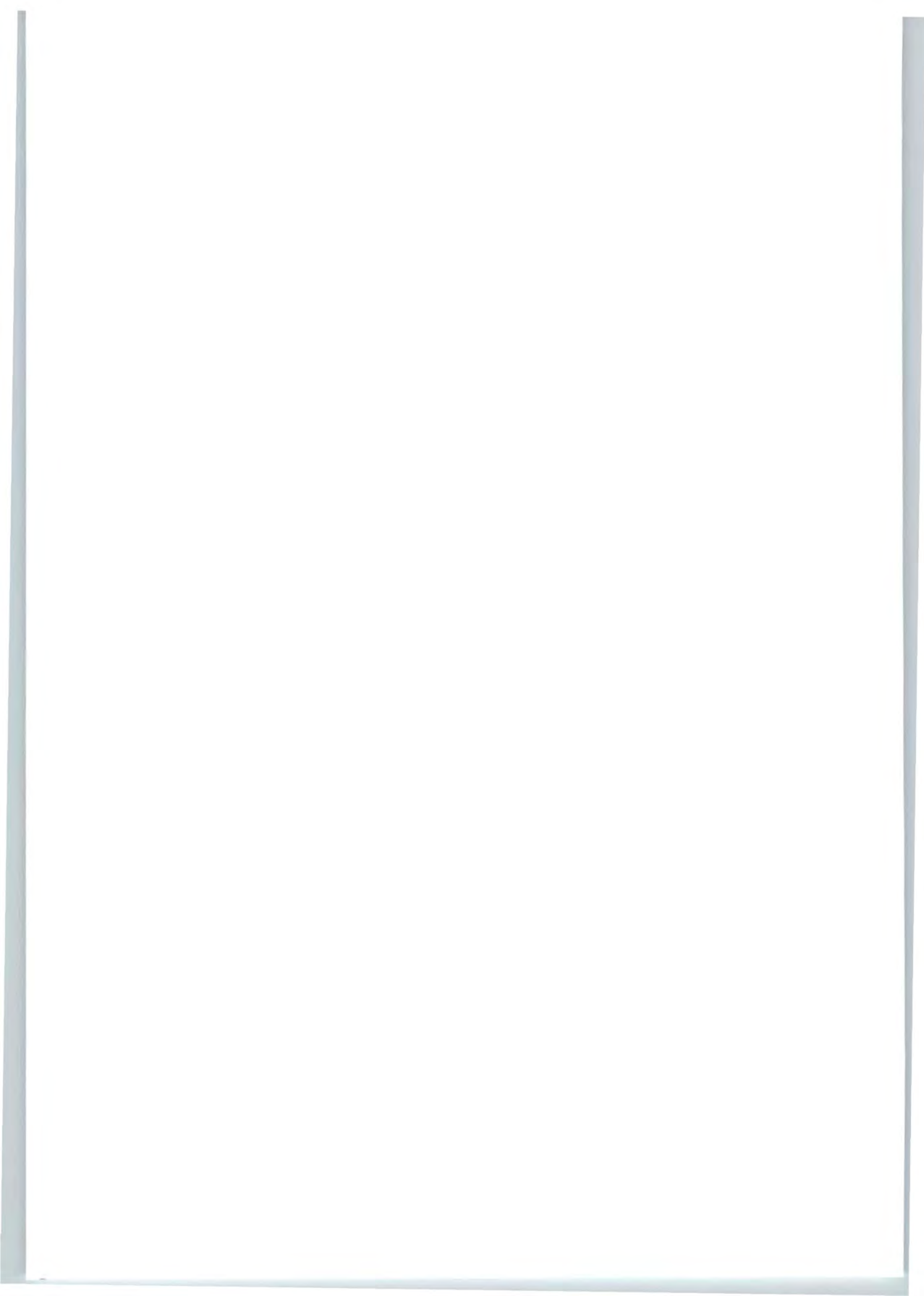
Der Injektionseffekt erhöht die Prozesssicherheit des Vibrationsverfahrens bezüglich der Feststoffanhaftungen.

Der Injektionseffekt bei der Vibrationsreinigung konnte als weitere Applikation des Verfahrens zum Patent angemeldet werden⁹. Die zusätzlichen Anwendungen aus dieser Weiterentwicklung des Reinigungsverfahrens lassen sich zum Ende des Projektes noch nicht abschließend beurteilen

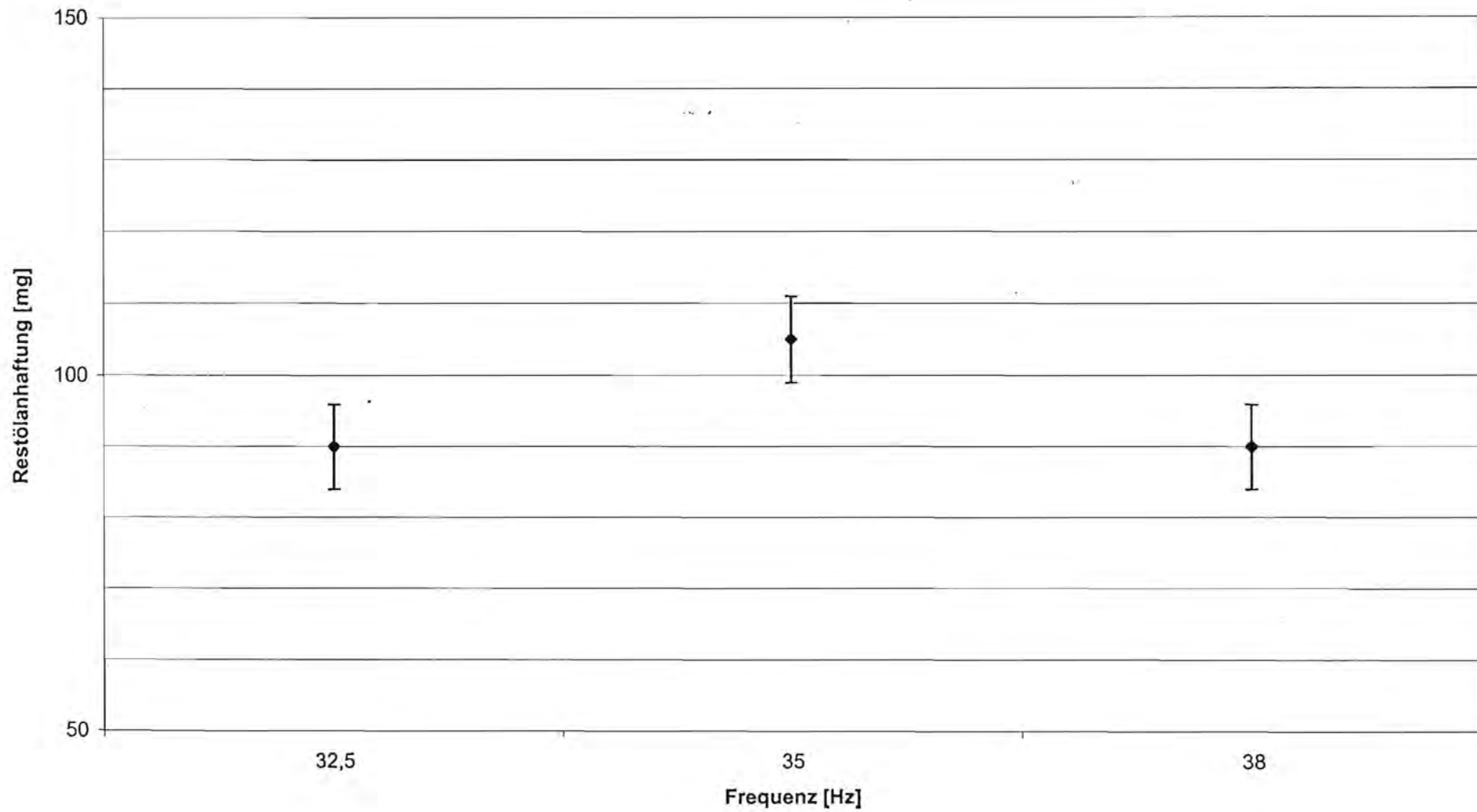
⁹ Eine Patentnummer lag zum Zeitpunkt der Berichterstattung noch nicht vor.

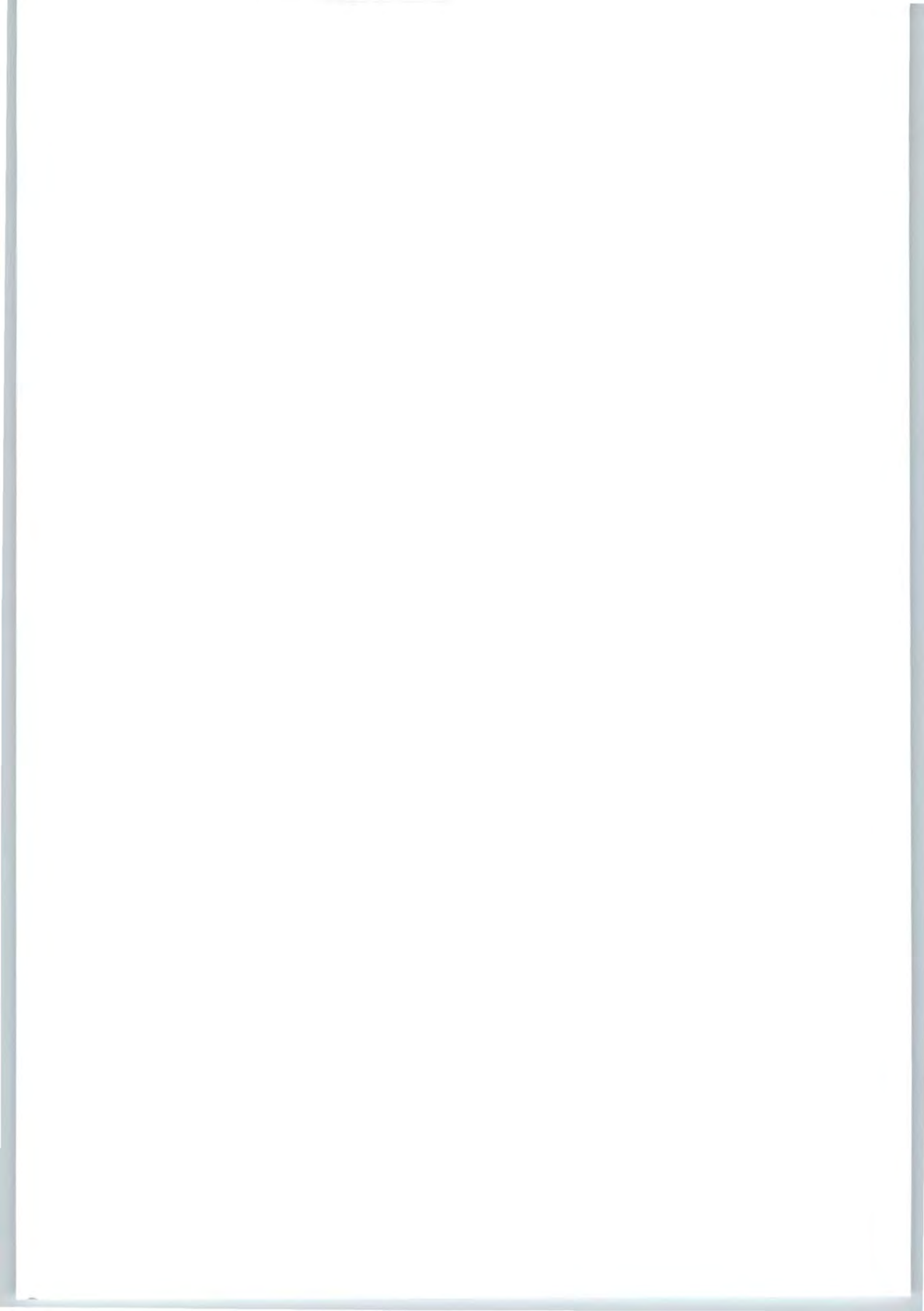
Variation Sauger (Saugzeit 20sec, Amplitude 100, Frequenz 35Hz)



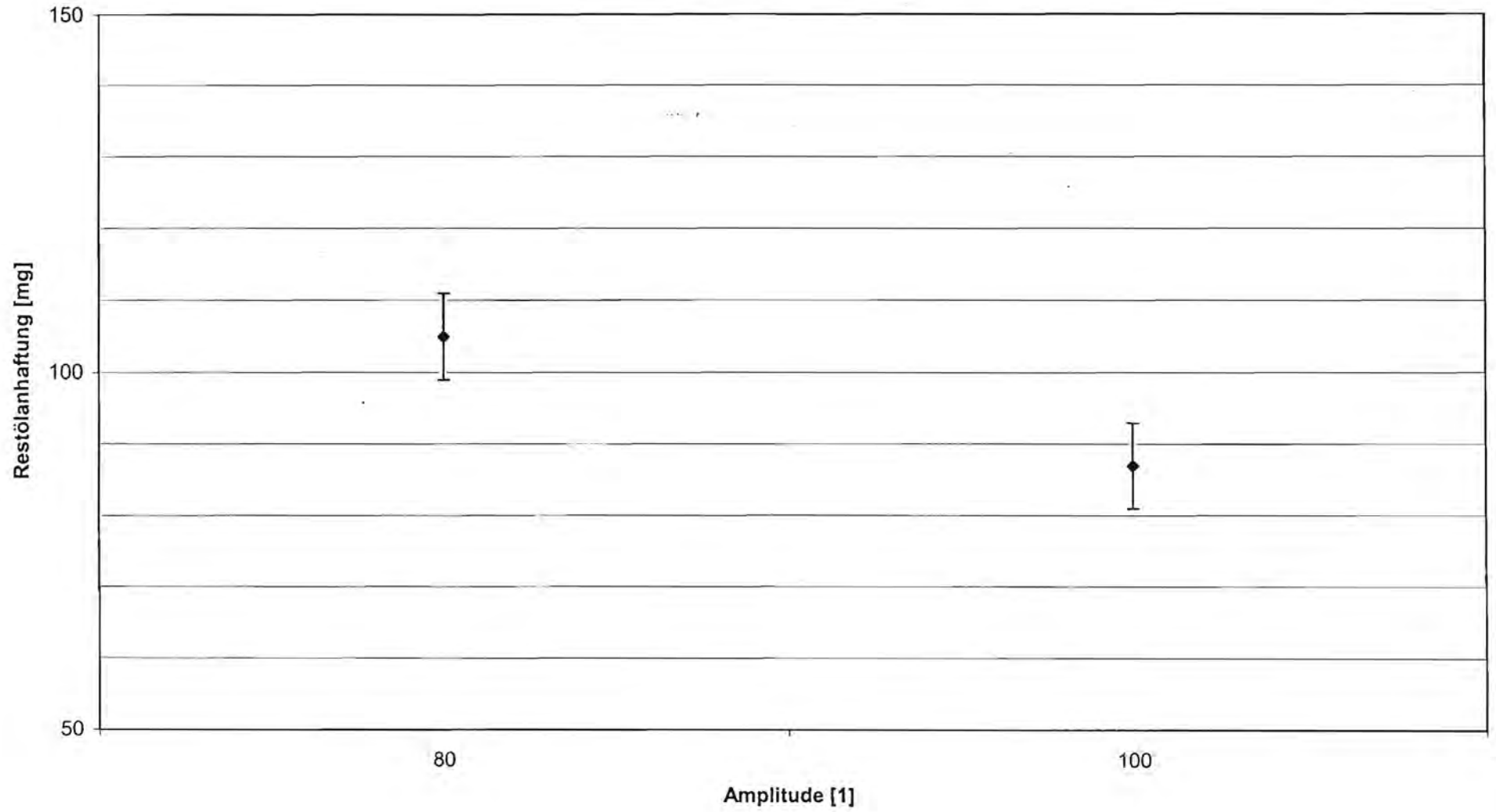


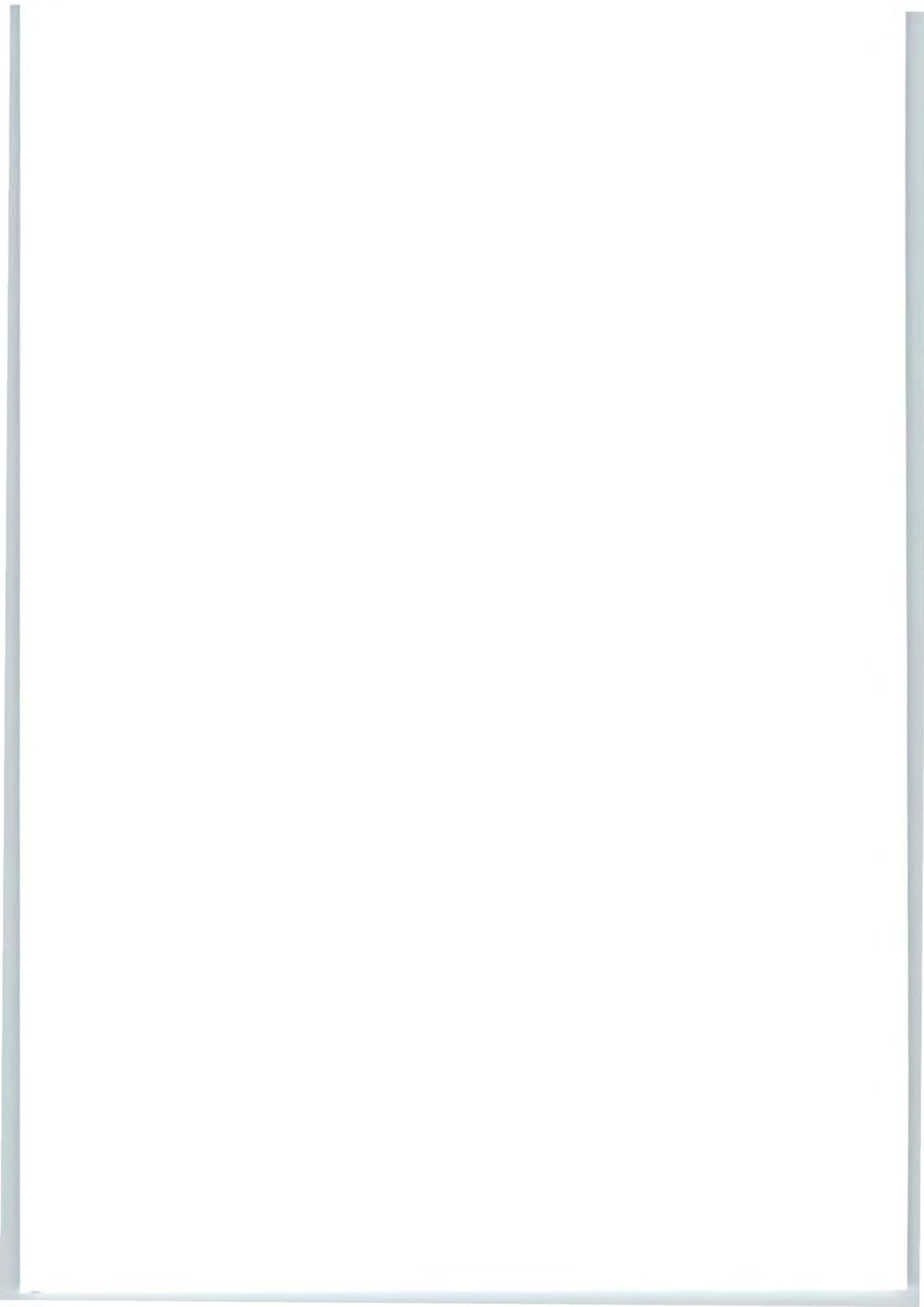
Variation Frequenz (Saugzeit 20sec, Amplitude 100, Sauger 2,5kW)



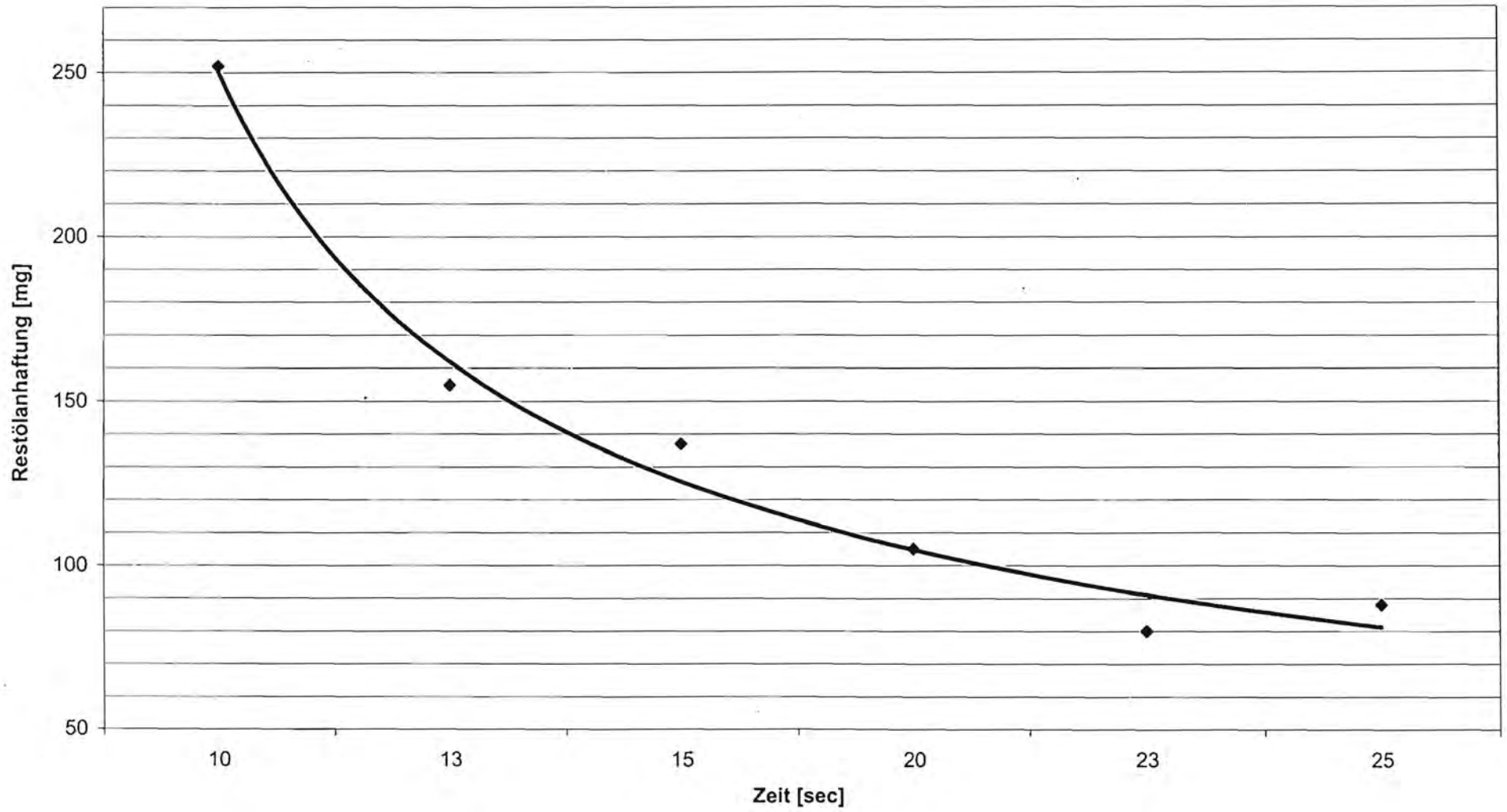


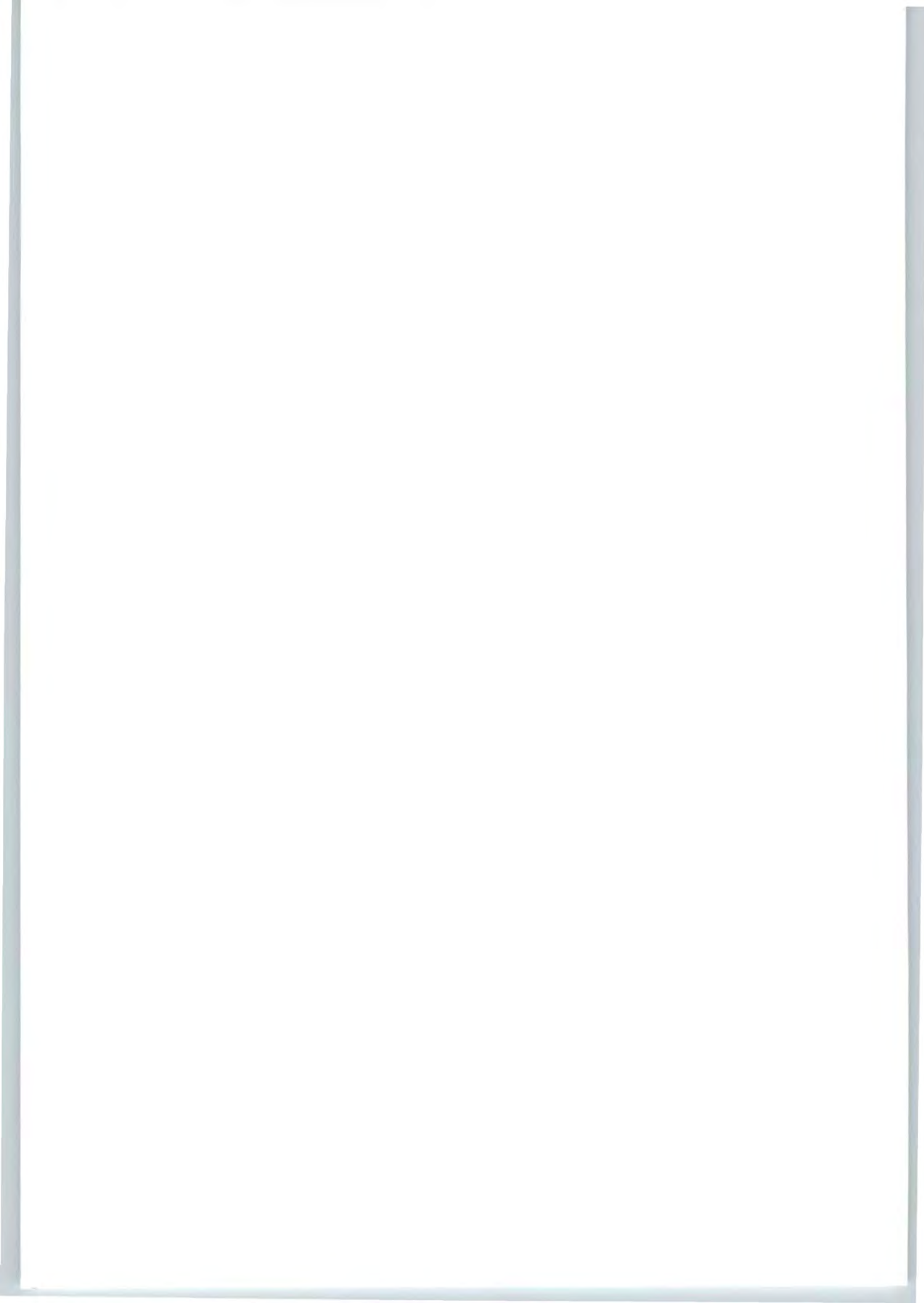
Variation Amplitude (Frequenz 35Hz, Sauger 2,5kW, Saugzeit 20sec)





Variation Saugzeit (Frequenz 35Hz, Amplitude 80, Sauger 2,5kW)





4.3.5 Prozessintegration

Durchflussreinigung - kurze Taktzeiten - modulares System

Der Prozessablauf für die Materialaufnahme bzw. -abgabe spielte bei der Entwicklung von Prototypen eine grössere Rolle als ursprünglich erwartet. Messekontakte und Vorstellungen bei Anlagenbauern und Herstellern von Motorenteilen machten deutlich, dass es ohne ein rationelles Handling, d.h. die Integration in bestehende Produktionsprozesse, eine industrielle Anwendung kaum geben wird.

Das Projektziel der Integrierbarkeit der Schwingungsreinigung in spanende Metallbearbeitungsprozesse nahm wesentlich mehr Zeit in Anspruch als geplant. Dabei greifen mehrere Projektschritte ineinander, denn ohne die Entwicklung des 2-Kammer-Prinzips mit stufenweiser Reinigung und der Konstruktion einer neuen Schwingeinheit fehlten die nötigen Freiheitsgrade für die Konstruktion effizienter Prozessführungen.

Für den Materialtransport zur bzw. durch die Reinigungskammern bilden die Taktzeiten die entscheidende Vorgabe. Darüber hinaus kommt es darauf an, ob es sich bei den Werkstücken um einzelne Teile handelt oder um größere Chargen. Im Zuge dieses Projektabschnitts, der eine besondere Hürde für die Verwirklichung eines prozessintegrierten Verfahrens darstellt, bewährte sich die frühzeitigen Kontakte zur Industrie, um von Beginn an mit realistischen praxisgerechten Anforderungen zu arbeiten. Entsprechend typischer Praxissituationen aus der metallbearbeitenden Industrie, konnten drei unterschiedliche Varianten entwickelt und getestet werden:

1. durchlaufende Reinigung grosser Stückzahlen 7.500/h (Beispiel Zündkerzensockel)
2. automatische Reinigung bei Taktzeiten von 8 sec./St. (Beispiel Common Rail Düsen)
3. halbautomatische Reinigung grosser Teile bei Taktzeiten um 30 sec./St. (Beispiel Getriebegehäuse).

Durchflussreinigung grosser Stückzahlen

Bei der Reinigung größerer durchlaufender Mengen von Zündkerzenkonsolen im Testbetrieb bei Bosch soll die Vibrationsanlage 7.500 Teile pro Stunde abreinigen

An einer einzigen Zündkerzenkonsole haften nach Messung bei Präzitec (s. Anlage 1, Versuchsprotokoll 5; Vibrotecversuch Zündkerze) 0,4087 g Ziehöl. Mit einer im Testlauf erreichten Rückgewinnungsquote von 94% und der tatsächlich gefahrenen Stückzahl von 7.500 Teilen pro Stunde lassen sich 2,88 kg Ziehöl zurückgewinnen. Die ersparten Ausschleppungen reduzieren den Wasser- und Reinigungsmittelbedarf für eine Nassreinigung der Teile. Für eine absolute Fettfreiheit bleibt die nachgeschaltete Reinigung jedoch notwendig, da die Teile im nächsten Schritt verklebt werden.

Die Umweltentlastungseffekte durch die Vermeidung von Verschleppungen und die anzunehmende Wirtschaftlichkeit des Reinigungsverfahrens durch KSS-Rückgewinnung sprachen für die Entwicklung eines Prototypen für kleinere Werkstücke. Die Zündkerzenkonsole hat eine komplexe Oberflächenstruktur, Windungen bzw. Bohrungen und stellt Anforderungen an die Vibrationstechnik, die der Zielsetzung des Projektes durchaus entsprechen.

Analog der vereinfachenden Darstellung (s. Abb. 5) durchlaufen die Teile von oben herangeführt, eine Reinigungskammer mit mehreren Saugpunkten. Bei dem entwickelten Prototyp wird die schon beschriebene Schwingeinheit (s. Skizze 5; Nr.1-22) über ein Gelenkteil (48) mit der Reinigungskammer verbunden. Je 20 Zündkerzen durchlaufen nacheinander die Reinigungskammer (40-47). Ein Saugverteiler (56) und zwei Sauganschlüsse (57) sorgen für die Absaugung an un-

terschiedlichen Bereichen der Teile. Bei Zündkerzen werden in der ersten Stufe die seitlich liegenden Bohrungen unter Schwingung abgesaugt. Durch diese Bohrungen erreicht der Saugstrom die Innenbereiche des Hohlkörpers. In einer zweiten Stufe folgt die Absaugung des Aussendurchmessers. Nach den Experimenten mit Ringen war bekannt (s.o. Kap. 4.3.4 Diagramm 4), dass die Hauptwirkung des Verfahrens sich nach mindestens 10 sec. einstellt.

Mit einem einzigen Schwing-Saug-Vorgang von bis zu ca. 10 sec. durchliefen zuletzt 40 Teile die stufenweise Durchfluss-Reinigung. So ließen sich im Schnitt 3 Zündkerzenkonsolen pro Sekunde mit einem Wirkungsgrad von bis zu 94% entölen.

Diese Anwendung demonstriert die Kombinationsfähigkeit der neu entwickelten Schwingeinheit mit unterschiedlichen Reinigungsaufbauten. Entscheidend für komplexe kubische Werkstücke ist dabei, dass an mehreren Stellen gleichzeitig oder nacheinander abgesaugt werden kann. Zur Vermeidung der in den Vorversuchen (s.o.) aufgetretenen negativen Verwirbelungen der unterschiedlich geführten Saugströme gibt es neben dem 2-Kammer-Prinzip auch die Möglichkeit die Materialzufuhr so zu gestalten, dass die dichten Abstände zwischen den Teilen keine störende Luftströme entstehen lassen.

Insbesondere mit der Durchfluss-Reinigung (je 40 Stück auf einmal) für grosse Stückzahlen entstehen signifikante Rückgewinnungsmengen an KSS mit dem Effekt der Reduktion von Emulsienseinträgen in die Waschbäder um ca. 94% .

Automatisierte Materialzufuhr bei kurzen Taktzeiten

Bei der Reinigung von Common-Rail-Einspritzdüsen bestand die Aufgabe darin, paarweise aus der Metallbearbeitung zugeführte Werkstücke innerhalb von ca. 8 sec pro Werkstück zu reinigen. Common-Rail-Einspritzdüsen sind massive, komplexe kubische Werkstücke mit Anhaftungen in Gewindebohrungen, Düsenführungen und äußeren schöpfenden Oberflächenstrukturen.

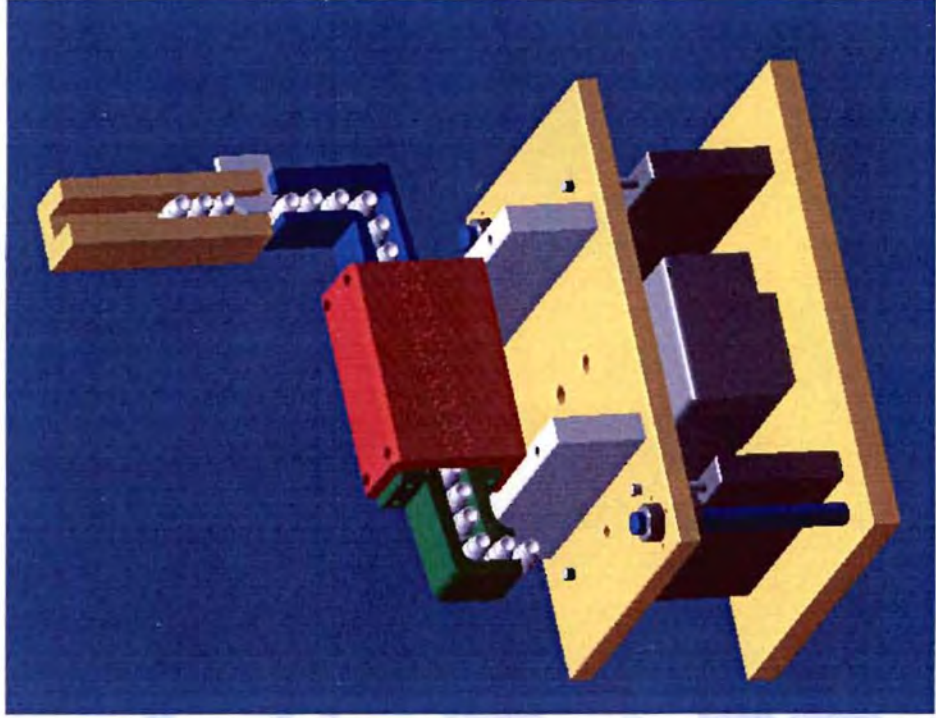
An diesem Beispiel zeigt sich besonders das Zusammenwirken aller Projektteile: Schwingeinheit, Absaugung, 2-Kammer-Prinzip und Prozessintegration. In diesem Fall wurden zwei Schwingeinheiten und Reinigungskammern derart kombiniert, dass die erste Schwingkammer (s. Skizze 6) die innen liegenden Anhaftungen des Werkstücks entfernt und die zweite Kammer eine Art Endreinigung an der äußeren Oberfläche übernimmt. Der erste Schwingreinigungsvorgang dauert etwa 10 Sekunden der zweite, weniger komplexe Vorgang benötigt ca. 5 Sekunden. An einem „Schlitten“ oberhalb der Schwingeinheiten sind zwei bewegliche, steuerbare Greiferarme montiert (vgl. hierzu Skizze 4). Der „Schlitten“ fährt quer zur Bandrichtung. Während der linke Greiferarm das erste Düsenpaar der Vorreinigungskammer zuführt, nimmt der zweite Arm die nachrückenden Werkstückpaare vom Band und fährt nach oben. Nach Vorreinigung bewegt sich der erste Greifer mit den vorgereinigten Werkstücken zur Endreinigungskammer legt die Teile ein und es beginnt die Endreinigung. Während dieser Endreinigung startet gleichzeitig schon die Vorreinigung des zweiten Paares.

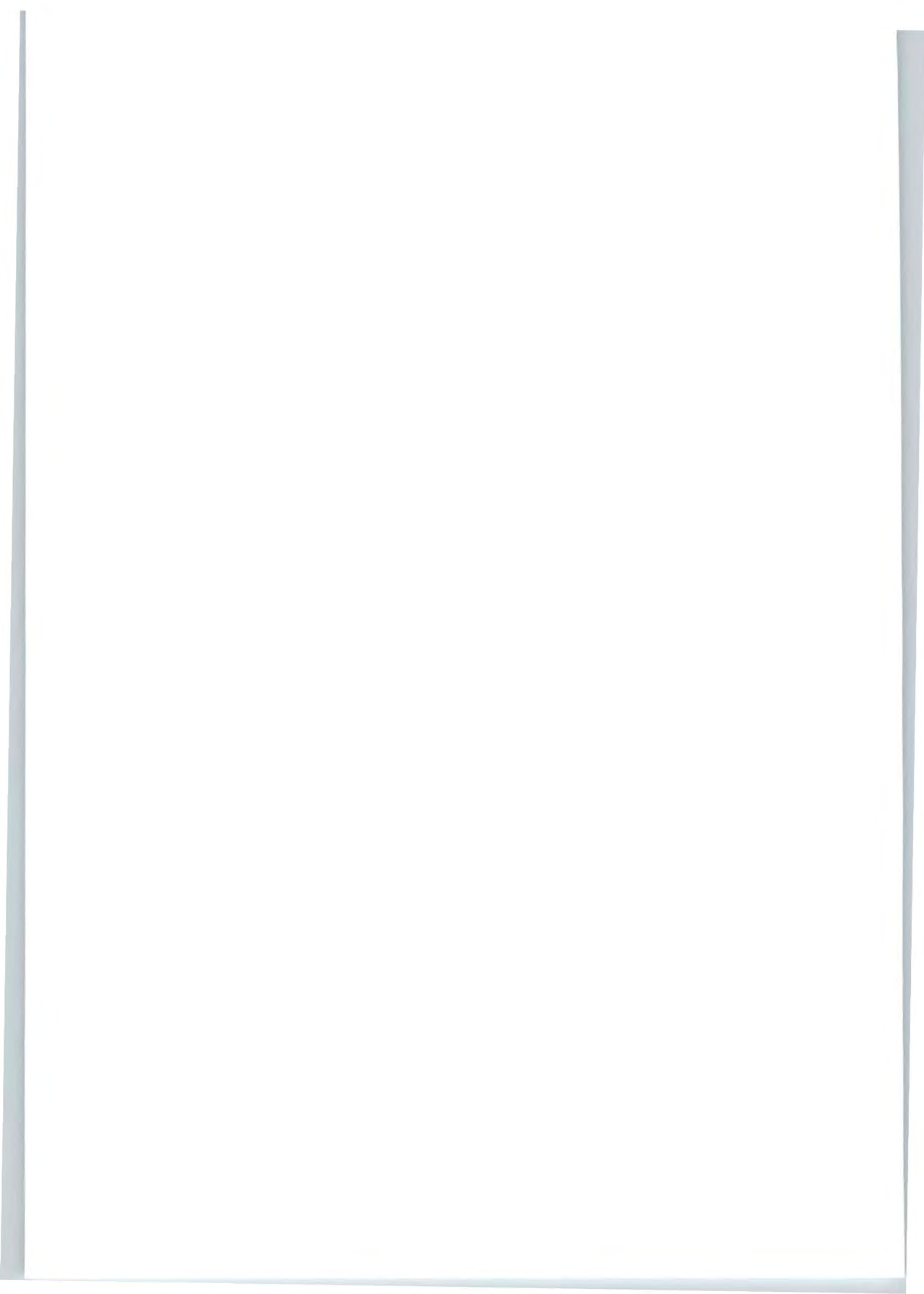
Bei diesem Prototyp konnten neue anwendungstechnische Varianten entwickelt und erprobt werden. Die Schwingeinheiten und Reinigungskammern wurden nicht nur einfach verdoppelt und nebeneinander betrieben. Innerhalb der Zeitvorgabe von ca. 8 Sekunden ließ sich das Abreinigungsergebnis von ca. 92% nur erzielen, weil sowohl die Saugstromführung als auch die Schwingungsrichtung der beiden Reinigungsstufen variiert und aufeinander abgestimmt arbeiten.

Die Kombination mehrerer qualitativ unterschiedlicher und abgestimmter Reinigungsstufen mit einer geschickten Prozesssteuerung bzw. Zuführung eröffnet neue verfahrenstechnische Optionen

Abb. 5: Konzeption der Prozessführung

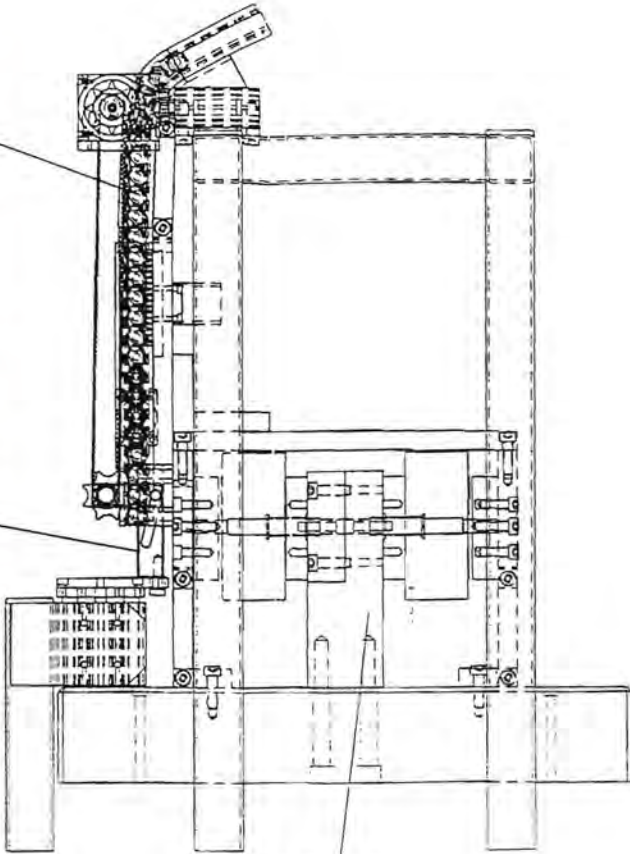
Construction



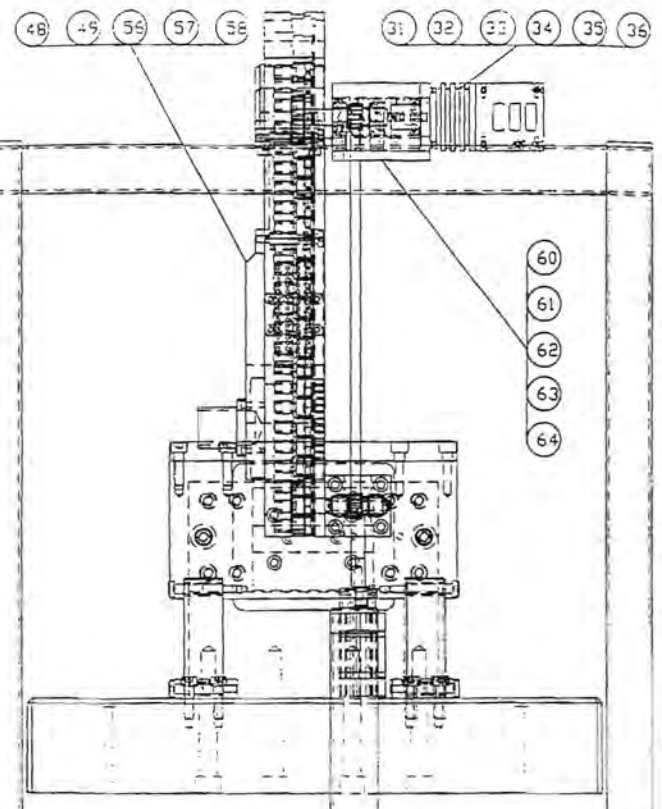


Skizze 5: Prozessführung Zündkerzenanlage

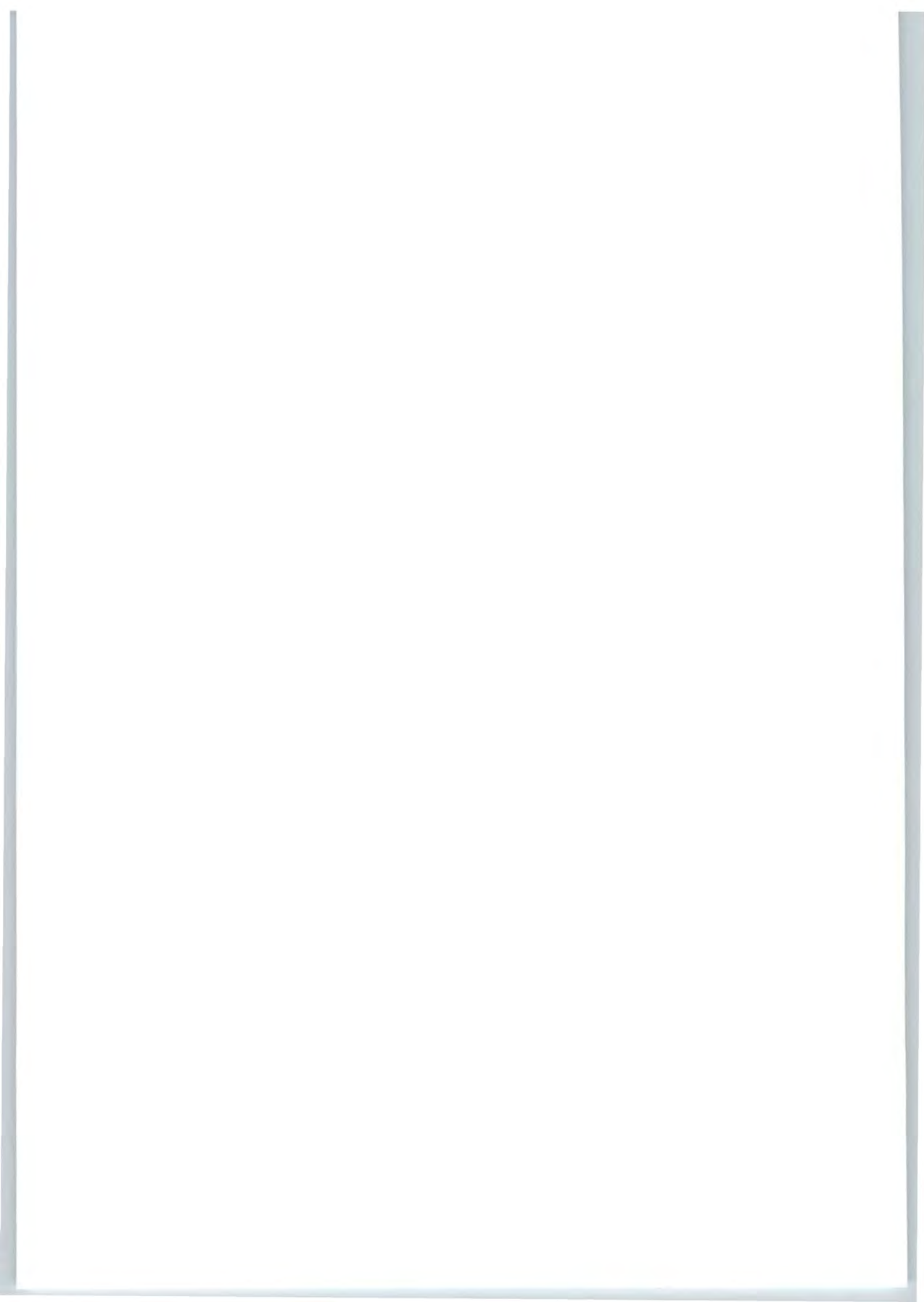
- 40
- 41
- 42
- 43
- 44
- 45
- 46
- 47
- 50
- 51
- 52
- 53
- 54
- 55
- 59

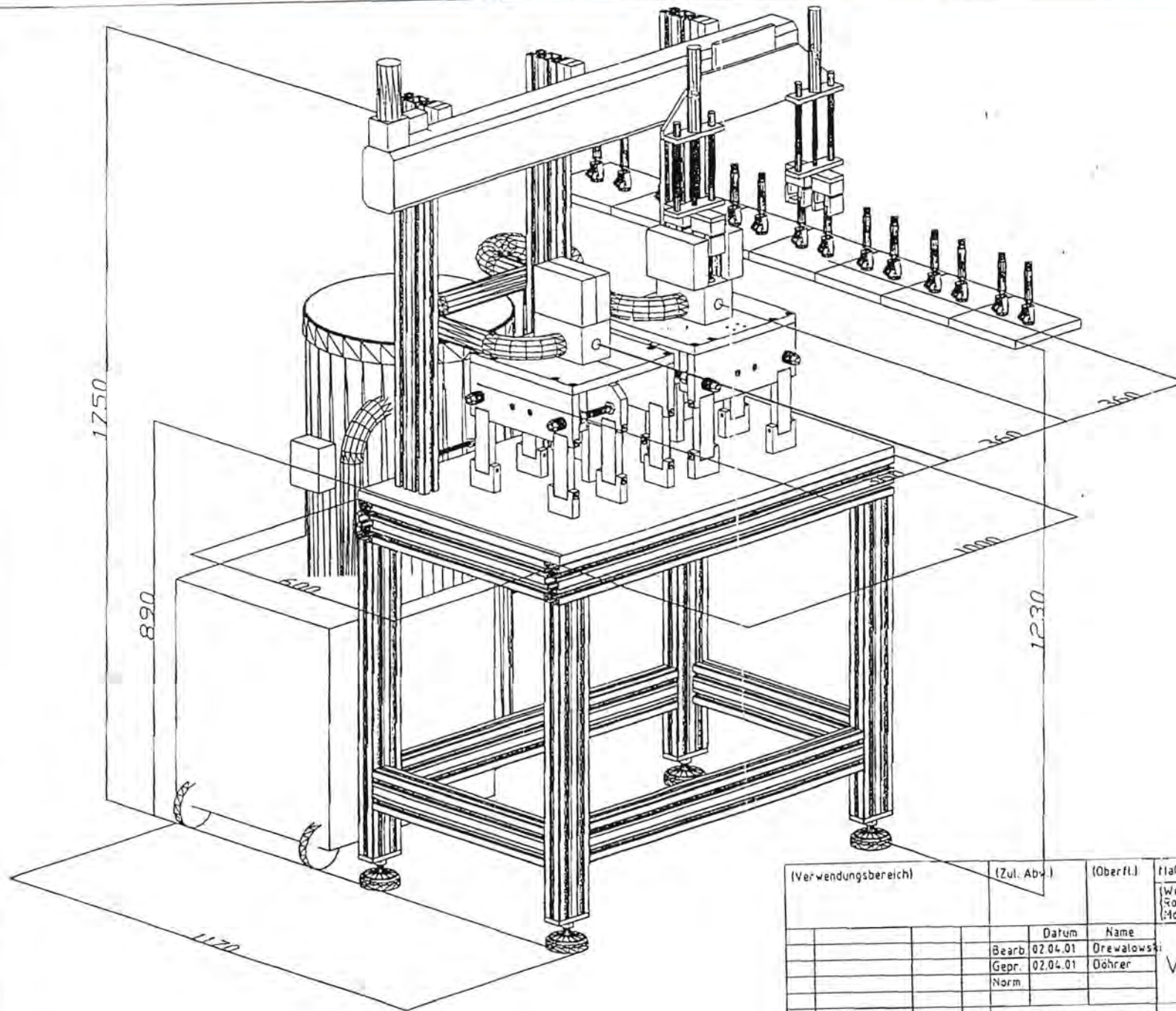


01 - 22



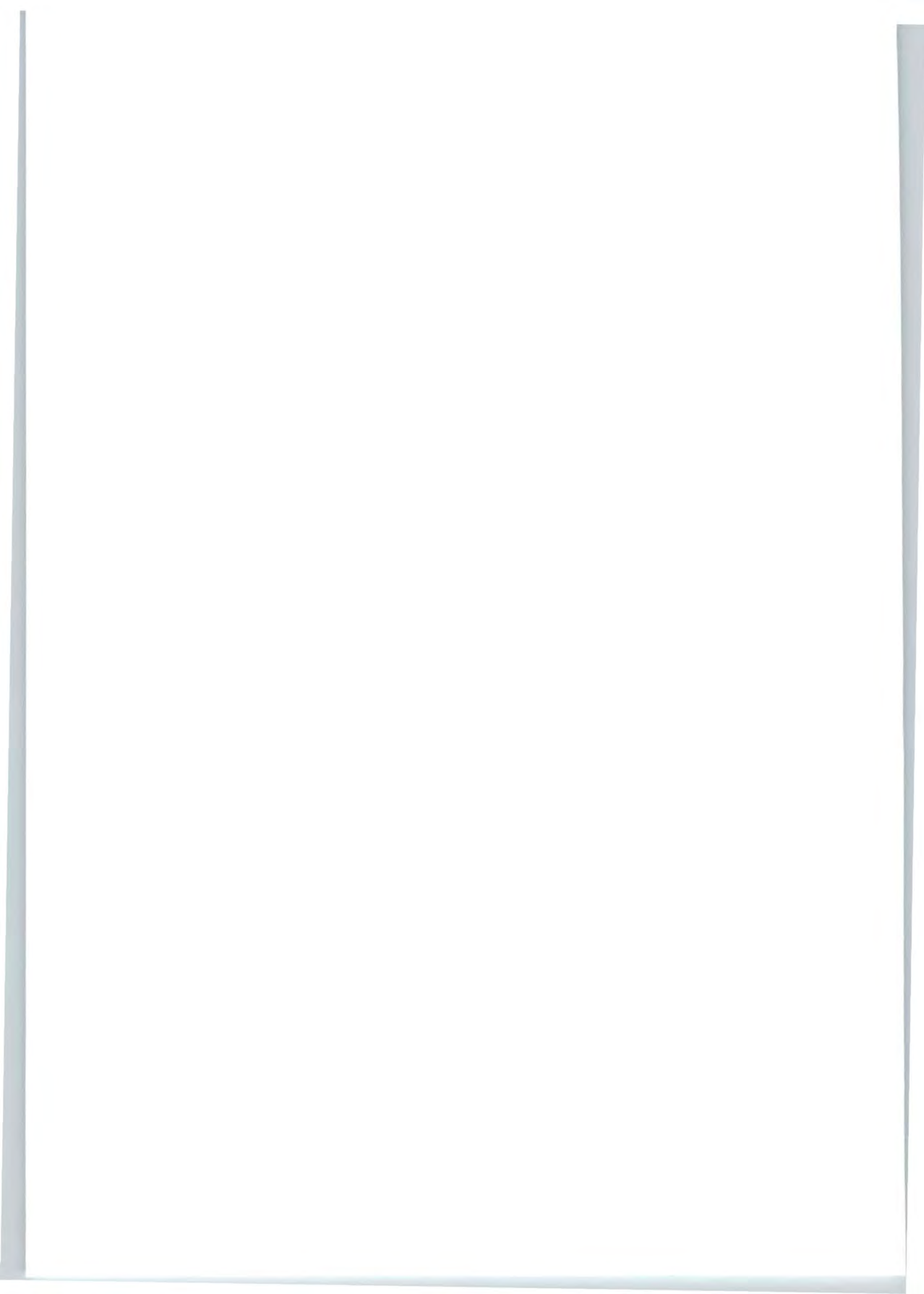
(Verwendungsbereich)	(Zul. Abw.)	(Dzertl.)	Maßstab 1:1	(Gewicht)
			(Werkstoff, Halbzeug)	
			(Wärte- und	
			Modell- oder Gegen-Nr.)	
			Zündkerzen_Peing_Zus.2	
			01_52_02	Blatt
			PRAZITEC	Blätter
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung
				Ersatz für
				Ersatz durch





(Verwendungsbereich)	(Zul. Abv.)	(Oberfl.)	Stabstab 1:5	(Gewicht)
			Werkstoff: Halbzeug (Rohteil-Nr) (Modell- oder Gesenk-Nr)	
		Datum	Name	
		Bearb. 02.04.01	Drewalowski	
		Gepr. 02.04.01	Döhner	Vibr. Anl. für F 00V COH 006
		Norm		
		PRAZITEC		01_008
Zust.	Änderung	Datum	Name	Ursprung
				Ersatz für:
				Ersatz durch:
				Blatt
				Blätter

Skizze 6: Prozessführung Common Rail Düsen



für die integrierte Vibrationsreinigung komplexer Werkstücke in automatisierten Arbeitsabläufen bei kurzen Taktzeiten.

Halbautomatische Verfahren

Die mit den oben erörterten Detailverbesserungen und den genannten Anwendungsvarianten gewonnenen Erkenntnisse ließen sich zum Ende des Projektes für die Reinigung von Getriebegehäusen nutzen. Eine Anlage zur Vibrationsreinigung von Getriebegehäusen läuft seit November 2001 im Testbetrieb bei ZF Friedrichshafen im Werk Brandenburg.

Für die Reinigung grösserer Massen erweist es sich als notwendig die Werkstücke, in diesem Fall manuell, einzeln in eine Materialaufnahme einzulegen. Die Materialaufnahme ist ein eigens entwickelter Spanndeckel (vgl. hierzu Skizze 3; Nr.45, 34), der den Formen des Werkstückes entspricht. Der Spanndeckel bildet eine feste Verbindung mit der darunter liegenden Absaugereinheit. Bei größeren nicht rundsymmetrischen Werkstücken lassen sich die Seiten nicht gleichzeitig mit befriedigenden Ergebnissen vibrationsreinigen. Nach den Erfahrungen mit anderen Prototypen brachte auch hier das 2-Kammer-Prinzip die Lösung. Während das Werkstück nach Reinigung der Vorderseite in einer zweiten Kammer rückseitig gereinigt wird, kann die leere erste Kammer schon mit dem nächsten vorderen Teil bestückt werden. Auf diese Weise entsteht ein halb automatisierter Arbeitsablauf mit Taktzeiten von ca. 30 sec./Werkstück.

Der hier erstmals angewandte Injektionseffekt macht das Verfahren sicherer, weil sich zusätzlich zum primären Reinigungsergebnis von 6-8 gr. KSS/Stück auch besonders fest sitzende Feinspäne ablösen. Auf eine nachgeschaltete Nassreinigungsstufe kann daher verzichtet werden.

Insgesamt ergibt die Entwicklung dreier verschiedener Ansätze zur Prozessführung bei einer Vibrationsreinigung ein *modulares System*, dass auf typische industriellen Anwendungen insbesondere in der Metallbearbeitung ausgerichtet ist.

4.4 Umweltbilanz und Wirtschaftlichkeit

60% weniger Energie, 100% KSS-Rückgewinnung; Reduktion von KSS-Verschleppungen; Substitution von Waschbädern

Die Vibrationsreinigungsanlage als Teil eines metallbearbeitenden Herstellungsprozesses muss sich rechnen. Unter dieser Maxime stand die gesamte Projektarbeit, denn ohne die Aussicht auf einen wirtschaftlichen Nutzen findet die Technik keine nachhaltige Anwendung in der Industrie und die erwiesenen Umweltentlastungspotentiale hätten nur geringe Aussicht auf Entfaltung.

Um sowohl ökologischen Zielen als auch ökonomischen Erfordernissen gerecht zu werden, konzentrierte sich die gesamte Entwicklung auf einen möglichst hohen Reinigungsgrades unter den Nebenbedingungen eines möglichst geringen Energieaufwands und eines rationellen Prozessablaufs. Der Energiebedarf der Vibrationsreinigung errechnet sich aus den Strombedarfen für das Schwingungsmodul und das Absauggerät. Der Stromverbrauch für das Schwingungsmodul beträgt ca. 0,4 kW um 30 kp Masse zu bewegen. Zum Einsatz kommen Absauggeräte mit Antriebsleistungen, die sich zwischen 2,5 kW und maximal 5,5 kW bewegen. Zu Beginn des Projekts betrug der Energieeinsatz für Schwingungsmodule und Sauggeräte noch mindestens 6 kW um 15 kp Masse zu bewegen. Beim Einsatz zweier pneumatischer Schwinger erhöhte sich dieser Energiebedarf entsprechend. Die Optimierung der Vibrationsreinigung in diesem Projekt (s. Kap. 4.3.2 neue Schwingereinheit, 4.3.4. effizientere Saugströme etc.) reduziert den Energiebedarf somit um bis zu 60%. Mit dem verminderten Energiebedarf erzielt das optimierte Verfahren einen Rei-

nigungsgrad von 94% bezogen auf die vor der Reinigung anhaftenden Kühlschmierstoffe (Emulsionen oder Öle), und das bei komplex strukturierten kubischen Werkstücken.

Anders als bei den im Motorenbau üblichen Waschverfahren zur Teilereinigung sind die Kühlschmierstoffe nach Trockenreinigung nicht mit Reinigungsmitteln und Wasser durchsetzt. Die trockene Abreinigung der Kühlschmierstoffe und das Ausfiltern der Metallabriebe erlauben die Wiederverwendung der Kühlschmierstoffe in den Metallbearbeitungszentren. Die im Vergleich zu anderen trockenen Reinigungsverfahren relativ hohe Rückgewinnungsquote der Vibrationsreinigung ist sowohl ein Indikator für die Umwelteffekte des Verfahrens als auch ein ökonomischer Faktor, läßt sich doch die Rückgewinnung unbehandelter Kühlschmierstoffe unmittelbar als Ersparnis neuer Öle ummünzen.

Darüber hinaus erhoffen sich potentielle Anwender vom Einsatz der Vibrationstechnik in erster Linie:

- den Verzicht auf Waschanlagen,
- zumindest einen verringerten Nass-Reinigungsaufwand,
- die Reduktion von Energie- und Entsorgungskosten bei der Teilereinigung,
- eine Rationalisierung von Arbeitsabläufen.

Die Umweltbetrachtung zum Vibrationsverfahren stützt sich hauptsächlich auf eigene Versuchsergebnisse und sekundäre Quellen. Es gab zu dem Thema der Teilereinigung und der Kühlschmierstoffe in den letzten Jahren einige Fachpublikationen¹⁰. Mit ein Auslöser war die bis zum Jahre 2001 in nationales Recht umzusetzende „EU-Richtlinie 1999/13/EG des Rates über die Begrenzung von Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen, die bei bestimmten Tätigkeiten und in bestimmten Anlagen bei der Verwendung organischer Lösemittel entstehen“ (kurz: EU-Lösemittelrichtlinie oder VOC-RL). Flüchtige organische Lösemittel kommen in der Teilereinigung, neben den wäßrigen Reinigungsverfahren, noch sehr häufig zum Einsatz. Bei Bosch fallen 38% der eingesetzten 827 to Reiniger unter die VOC-RL (Bosch 1998, S. 47).

Zur Beurteilung der Umweltentlastungseffekte der Vibrationstechnik kommt es darauf an, den Bezug dieses Verfahrens zum Stand der Technik in der Teile- bzw. Oberflächenreinigung herzustellen. Dabei lassen sich öffentlich verfügbare Daten aus Fachschriften, aber auch die Umweltberichte relevanter Industriebetriebe hinzuziehen. Nach dieser Betrachtungsweise werden die Umweltentlastungseffekte der Vibrationsreinigung deutlich erkennbar wenn auch nicht immer quantifizierbar.

4.4.1 Entwicklungstrend in der Reinigungstechnik

Zur industriellen Entfernung von anhaftenden KSS, Ölen, Fetten und Metallabrieb werden drei Typen von Reinigungsmitteln eingesetzt:

- wäßrige Reiniger
- chlorierte Kohlenwasserstoffe (CKW)
- nichthalogenisierte Lösemittel aus flüchtigen organischen Verbindungen VOC (häufig als KW bezeichnet).

¹⁰ vgl. PIUS-info; Die PIUS Datenbank zum produkt- und prozessintegrierten Umweltschutz nennt unter den Stichworten „Teilereinigung“ und „Oberflächenbehandlung“ zahlreiche Veröffentlichungen. vgl. Hartinger, Ludwig : Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie; 2. Auflage, München-Wien

Zu jedem Reintyp bietet der Markt Reinigungsanlagen in den verschiedensten Leistungs- und Kostenkategorien an. Welches Reinigungssystem sich für den Einzelfall am Besten eignet, hängt von dem erforderlichen Reinigungsgrad, dem Material und der Struktur der Werkstücke ab und Bedarf einer näheren Betrachtung der spezifischen betrieblichen Randbedingungen.

Die Reinigung mit halogenisierten bzw. chlorierten KW gilt als nicht mehr dem Stande der Technik entsprechend (Bosch 1998, S.23). Dennoch setzt Bosch weltweit 1.100 t/a (1998) dieses Reintyps zur Teilerreinigung ein. Von der Gesamtmenge entfielen davon allerdings nur noch 88 t/a auf deutsche Werke im Jahre 1998. Ziel ist laut Umweltbericht von Bosch, zumindest in Deutschland bis 2002 CKW-Reiniger durch wäßrige Reiniger vollständig zu ersetzen. (Bosch 1998, S. 23)

Einem Fachartikel über eine UBA-Studie¹¹ zu Folge werden 27.200 t/a VOC bzw. KW zur industriellen Metallentfettung eingesetzt, dabei entstehen 12.000 t Luftemission und eine Entsorgungsmasse von 15.200 t jährlich (Schwarz 2000). Nach der EU-Richtlinie müssen die Emissionen aus solchen Prozesse deutlich sinken auf einen Grenzwert von 20% der Einsatzmenge an KW ab einem Schwellenwert von 2 t Jahresverbrauch. Damit betrifft diese Verordnung insbesondere die größeren industriellen Reinigungsanlagen auf KW-Basis. Nach der Studie des UBA kann dieses Entlastungspotential durch Umstellung der KW Reinigungsanlagen auf geschlossene Vakuumsysteme und den Einsatz schwer flüchtiger Lösemittel realisiert werden. Zusätzliche Potentiale lägen in der vollständigen Umstellung auf wäßrige Reinigungssysteme.

Die Umsetzung der VOC-Richtlinie der EU unterstützt den Trend zum verstärkten Einsatz wäßriger Reinigungssysteme. Diesen Trend bestätigen auch einige Umweltberichte aus der Automobilindustrie. So schreibt Daimler Chrysler über sein Umweltprogramm „Activity Based Costing, dass (selbst) ein US-Werk in Belvidere „den Ersatz von lösemittelhaltigen Reinigungsmittel durch Reiniger auf wäßriger Basis“ als Umweltziel anstrebt (Daimler 2001, S. 10).

Von den 827 t Reinigungsmittel für die Oberflächenreinigung entfallen bei Bosch 51% (1998) auf wäßrige Lösungen (Bosch 1998, S. 47). Gegenüber dem Vorjahr ging der Einsatz wäßriger Reinigungsmittel allerdings um 10% auf gut 420 t zurück. Bemühungen zur Kreislaufführung in den Wasserbädern, die Verlängerung der Standzeiten und andere Maßnahmen in wäßrigen Reinigungssystemen tragen offenbar zu einer Reduktion der Menge eingesetzter wäßriger Reinigungsmittel. Allerdings ist bei solchen Daten die Ursache nicht ganz klar, denn im gleichen Zeitraum stieg der Einsatz von Kohlenwasserstoffreinigern (VOC) bei Bosch weltweit um 40%.

In Bezug auf die Reinigungsverfahren in der für den Motorenbau relevanten Industrie wirken die Umweltentlastungseffekte der Vibrationstechnik in 2 Richtungen:

1. Verbesserung der Wirkungsgrade der Reinigungssysteme durch effiziente mechanische Vorreinigung.
2. Vollständige Substitution von KW-Anlagen (z.B. Ringe) oder wäßrigen Reinigungssystemen (z.B. Getriebegehäuse)

4.4.2 Vermeidung von Verschleppungen durch die Vibrationsreinigung

Bei manchen Werkstücken genügt der Reinigungsgrad nach dem Vibrationsverfahren nicht, weil z.B. eine 100% Fettfreiheit für weitere Bearbeitungsschritte unerlässlich bleibt. Die mechanische Vorreinigung nach dem Vibrationsverfahren verringert in solchen Anwendungsfällen die Verschleppung von KSS und Feststoffen in nachgeschaltete Waschbäder und trägt somit zur Um-

¹¹ vgl. UBA Texte 9/00: Studie über produktbezogene Maßnahmen zur Umsetzung der EU-Lösemittelrichtlinie; Ahrens, A. u.a., Berlin 2000

weltentlastung des Herstellungsprozesses bei. Die Vibrationsreinigung kann am ehesten der mechanischen Vorreinigung zugeordnet werden. Die mechanische Vorreinigung wird in einer Informationsschrift des vom Umweltministerium Hessen finanzierten Beratungsprogramm zur Vermeidung von Sonderabfällen (BIVA) als eine Maßnahme mit großem Umweltentlastungspotential bei der Verminderung von Sonderabfällen aus der Teilereinigung empfohlen (BIVA 1998, S.3). Mit der Vibrationsreinigung steht jetzt sogar eine elektro-mechanische Vorreinigungstufe zur Verfügung, die auf eine grosse Bandbreite von Werkstücken anwendbar ist *und* höhere Reinigungsgrade erzielt, als die einfachen mechanischen Verfahren (z.B. Abschleudern, Abblasen).

Die in diesem Projekt entwickelte elektro-mechanische Vorreinigung beseitigt eine der Hauptursachen für die Standzeitprobleme in Waschreinigungsanlagen: der Eintrag von Ölemulsionen und andere Verunreinigungen. Eine Checkliste des Landes Baden-Württemberg¹² für die Vermeidung von Abfällen aus der spanenden Metallbearbeitung nennt, als eine Ursache für in der Praxis auftretende Standzeitprobleme der Reinigungssysteme, die Verschleppung von Fremdoilen und Feststoffen über Anhaftungen am Werkstück, die nicht unmittelbar aus der Bearbeitung stammen müssen (ABAG 1999, S. 8f). Auch für solche Praxisprobleme empfiehlt die Checkliste eine Vorreinigungstufe.

Zum besseren Verständnis dieser Entlastungseffekte durch eine Vibrations-Vorreinigung trägt eine nähere Erläuterung wäßriger Reinigungssysteme bei (s. Abb. 6 Impressionen aus der Teilereinigung bei Bosch).

Bei der industriellen wäßrigen Reinigung handelt es sich in der Regel um mehrstufige Verfahren. Die Werkstücke durchlaufen dabei im Prinzip drei Stufen: Waschstufe, Spülstufe und Trocknungsstufe. In der Waschstufe (teilweise mit Vorwaschung) werden unterschiedliche alkalische Reiniger und Additive (z.B. Builder) zudosiert. Solche Reiniger können emulgierend oder nicht-emulgierend ausgelegt sein. Je nach Reinigervariante entsteht im Waschbereich eine Öl-Wasseremulsion oder die von den Werkstücken gelösten ölhaltigen Anhaftungen treiben langsam an die Badoberfläche. In der Spülzone werden die anhaftenden Ausschleppungen aus der Waschstufe mit Frischwasser oder VE-Wasser entfernt und abschließend kann, je nach Bedarf, eine Trockenstufe¹³ hinzugeschaltet werden.

Die Anlagen zur wäßrigen Teilereinigung unterliegen ständig technischen Verbesserungen mit dem Ziel, einen abfall- und abwasserminimierten Betrieb zu erreichen. Die Abwasserverordnung für die Metallbearbeitung und -verarbeitung (AbwV 1999 Anhang 40 S. 42) enthält ein Anpassungsgebot entsprechend der Fortentwicklung des Standes der Technik. Danach sollen vielfältige Massnahmen zur Standzeitverlängerung in der Waschstufe und Mehrfachnutzung der Spülwässer ergriffen werden. Zur Verlängerung der Standzeiten in der Waschstufe sind verschiedene Verfahren zur Abtrennung der ölhaltigen Anhaftungen gebräuchlich, z.B. Skimmer, Schwerkraftabscheider, Zentrifugalseparatoren oder verschiedene Membranfilter. Die auf unterschiedliche Weise ausgefilterte Ölphase kann über Verdampfer oder andere Verfahren weiter komprimiert werden. In jedem Fall bleiben ölhaltige Abfälle zurück¹⁴. Voraussetzung für alle Abtrennverfahren

¹² ABAG-itm GmbH; Branchenspezifische Checkliste für die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter zur Fortführung des Beratungsprogrammes zur Abfallvermeidung und -verwertung in Baden-Württemberg; Spanende Metallbearbeitung; 6/1999, S. 8 und 9.

¹³ Bei manchen korrosionsempfindlichen Teilen folgt auch noch eine Konservierungsstufe.

¹⁴ In der Umwelterklärung des VW-Werkes Salzgitter heißt es: „Dabei (Anm.: Emulsionsspaltanlage) fallen Schlamm und Öl an, die zur Verwertung oder Beseitigung gelangen“ (VW 1999, S. 11) Die Gesamtmenge an produktionsspezifischen Sonderabfällen des Motorenbau-Werkes beträgt gut 8000 to im Jahre 1998 (VW 1999, S. 18).

Abb. 6: Impressionen aus der Teilereinigung bei Bosch

Einsatz von Techniken zum Umweltschutz

Einsatz von Techniken zum Umweltschutz

Produktionsverfahren sind ständigem Wandel unterworfen. Was in den 70er Jahren hauptsächlich der Ökonomie zu dienen hatte, wird seit den 80er Jahren verstärkt auch unter ökologischen Gesichtspunkten gesehen.

Bei der Einführung neuer Fertigungsverfahren haben Zielsetzungen des Umweltschutzes einen hohen Rang und werden konsequent in das Anforderungsprofil der Verfahren integriert.

Ziele sind u.a. Vermeidung von Emissionen, bestmögliche Stoffausnutzung und Schonung von Rohstoffen, Vermeidung von umweltgefährdenden Stoffen sowie Energieeinsparung.

Eine Vielzahl technischer Lösungen ist bereits ausgearbeitet und in der Fertigung umgesetzt.

Die Reinigung mit CKW ist nicht mehr Stand der Technik; Die Lösung heute sind wäßrige Reinigersysteme

Oberflächenreinigen mit Hochdruck

Stellvertretend hier einige Beispiele:

- **Wassereinsparung** durch Nutzung von geschlossenen Spülwasserkreisläufen mit integrierter Aufbereitung in Galvanikprozessen
- **Wertstoffrückgewinnung** durch Aufbereitung und Rückführung von Vulkanisier- und Härtesalzen aus Reinigerlösungen oder von Verchromungselektrolyten aus Galvanikspülbädern

- **Energieeinsparung** durch Verwendung von neuen, verbesserten Isolierstoffen und von Brennersystemen mit höheren Wirkungsgraden in Ofenanlagen

- **Vermeidung von umweltgefährdenden Stoffen** durch Ersatz der Wärmebehandlung in cyanidhaltigen Salz-bädern durch Prozeßgas-technik

Auf einige Beispiele der letzten Jahre soll zusätzlich auf den folgenden Seiten näher eingegangen werden.

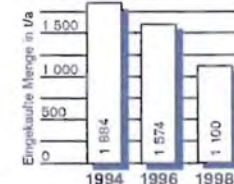
Reinigen von Bauteilen



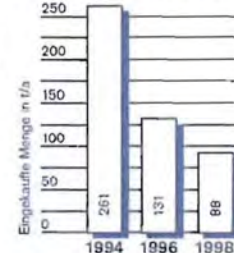
Im Vergleich zu 1988 konnte an den deutschen Standorten der CKW-Verbrauch um mehr als 95% vermindert werden. Die noch verbliebenen 120t/Jahr kommen in geschlossenen Anlagen zum Einsatz, bei deren Betrieb nur noch geringe Emissionen auftreten.

Die Einsatzmenge wird in den nächsten Jahren durch Stilllegung alter Produktionsanlagen weiter absinken. Bei rückläufigen Fertigungsstückzahlen auslaufender Produkte ist eine Umstellung auf CKW-freie Reinigungsverfahren sowohl ökologisch als auch ökonomisch nicht immer sinnvoll. Entsprechende Anlagen werden dann nach dem Stand der Technik zeitlich begrenzt weiterbetrieben und, bei Einführung neuer Produktlinien, außer Betrieb gesetzt.

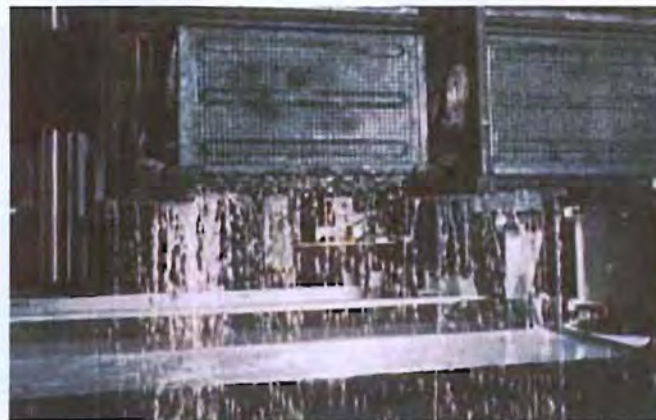
Einsatz CKW bei Bosch weltweit

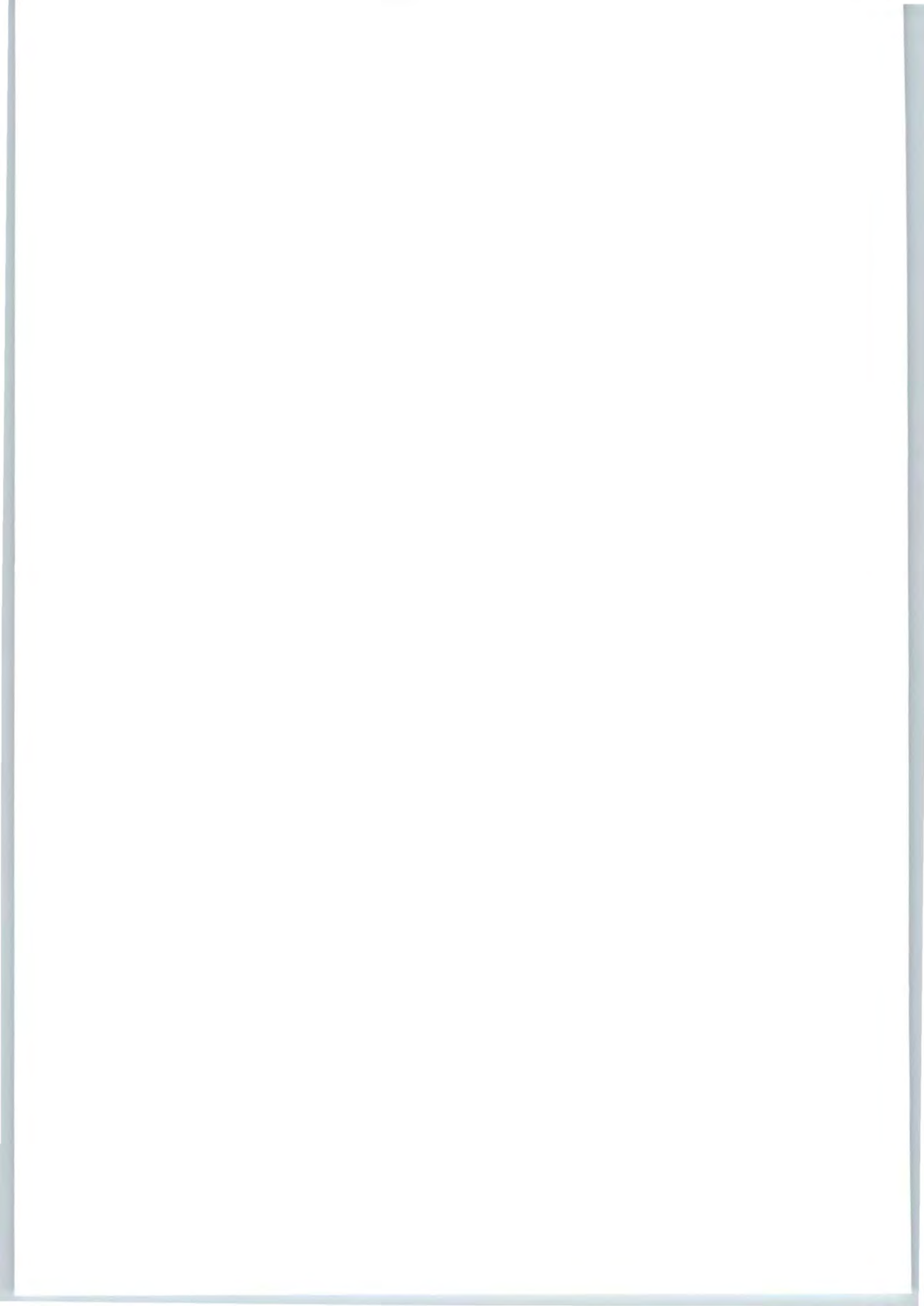


Einsatz CKW Deutschland



Ziel: vollständige Substitution von CKW bis 2002 in Deutschland. Parallel dazu wird die Substitution im Ausland analog wie in Deutschland betrieben





ren ist auch die regelmäßige Nachdosierung der Reinigerkomponenten in die Waschphase, denn alle Abtrennverfahren schleppen Reinigungsmittel aus, z.B. kommt es bei der Membranfiltration zu erheblichen Tensidrückhaltungen (BIVA 98, S.6).

Eine mehrstufige Kaskadenfahrweise unterstützt die Mehrfachnutzung des Spülwassers. Das Frischwasser kommt erst in der letzten Spülstufe hinzu und fließt entgegen dem Teiledurchlauf. Die Bäder werden dabei stufenweise aufkonzentriert. Dieses Verfahren kompensiert Verschleppungseffekte und Verdunstungsverluste. Man rechnet mit einer Frischwassereinsparung gegenüber 1-stufiger Fahrweise von mindestens 50% (BIVA 1998, S.7).

Zur Verbesserung der Reinigungsleistung werden die Bäder aufgeheizt und die Teile entweder in den Waschbädern bewegt (z.B. Ultraschall) oder unter Hochdruck abgespritzt (s. Abb. 6 Bosch Teilereinigung links). Ein Hersteller nennt im Internet umweltrelevante Daten zu der Waschanlage PERO Rotimat 3 und 3/U: „Die Werkstücke werden in zwei getrennten Wasch-Kreisläufen nacheinander gewaschen und gespült: Waschen mit Waschmittelzusatz von ca. 2-5%; Nachspülen mit Wasch- oder Spülmittelzusatz von 0,5 - 1%. Die Wasch- und Spültemperaturen liegen in der Regel im Bereich von 60 bis 70° C.“ Die Wasch- und Spülpumpen dieser Anlage bewegen zwischen 600 - 700 l/min. und der Wasserdruck für das Spritzsystem beträgt 2,5 bar (www.pero-ag.de).

Der Wasserverbrauch, die Abfallmengen aus verbrauchten Spülbädern bzw. abgetrennten Ölen (Schlämme) und ständige Reinigerzudosierung bleiben neben dem Energieaufwand für die Badbewegung, die Aufheizung und die Behandlung, die wesentlichen Umweltbelastungen wäßriger Teilereinigungsanlagen. Diese Umweltbelastungen hängen unmittelbar von der Menge der zu reinigenden ölhaltigen KSS-Anhaftungen ab. Deshalb kommt vorgeschalteten mechanischen Massnahmen zur Reduktion der Öleinschleppung in die Bäder eine besondere Bedeutung zu.

Mechanische Vorreinigungsverfahren können zumindest die nachfolgende Reinigungsbäder entlasten, wenn nicht sogar vollständig substituieren. Ausser der Verminderung von Umweltbelastungen aus der Verschleppung von KSS-Anhaftungen in Reinigungsbäder haben mechanische Verfahren einen weiteren unmittelbaren ökologischen Vorteil: die mechanisch gelösten KSS liegen in reiner Form vor und lassen sich sofort wieder verwenden.

Allerdings ist der Wirkungsgrad bisheriger Vorbehandlungseinrichtungen eher dürftig und deren Technik zeugt nicht gerade von besonderer Innovationkraft.

TAB 4: Überblick bisheriger mechanischer Vorbehandlungstechniken

Verfahren	Erläuterungen , Bemerkungen
Abtropfgestelle	Kippen schöpfender Teile, niederviskose KSS
Abstreiflippen	nur ebene Teile mit glatter Oberfläche
Zentrifugen	nur unempfindliche Kleinteile (Schüttware o.ä.) geschätzter Wirkungsgrad bis 30%
Saug-Blas-Verfahren	nur für bestimmte Werkstückgeometrie effizient; hoher Energieaufwand, Aerosolbildung geschätzte Reinigungsgrade zwischen 60% und 80%

Quelle: BIVA 1998, S. 4

Allen Verfahren ist gemeinsam , dass nach entsprechender Abfilterung von Feststoffen eine Rückgewinnung der mechanisch abgetrennten KSS möglich ist. Die Verfahren lassen sich allerdings nur begrenzt einsetzen, weil sie:

- schlecht in industrielle Prozesse integrierbar sind,
- die Bearbeitungszeiten zu lange dauern (Abtropfzeiten, komplexe Teilestruktur etc.),
- die Werkstückgeometrie und -struktur nur niedrige Reinigungsgrade zulässt.

Im Vergleich zu den anderen Verfahren bietet das Vibrationsverfahren eine neue Option: die elektro-mechanische Vorreinigung kubischer und rundsymmetrischer Werkstücke mit komplexen Strukturen! Das Verfahren läßt sich in die Steuerung automatisierter Produktionsprozesse integrieren.

Die Umweltauswirkung des für vielfältige Werkstücke anwendbare Vibrationsverfahren verdeutlicht ein Vergleich mit dem, allerdings nur begrenzt anwendbaren Saug-Blas-Verfahren. Der Vergleich bezieht sich zum Einen auf die Umweltbelastungen der beiden Verfahren selbst und zum Anderen auf den Reinigungsgrad als Indikator für die potentiellen Umweltentlastungseffekte¹⁵.

TAB 5: Saugblasverfahren versus Vibrationsverfahren
-Beispiel Wellenreinigung-

Saug-Blas-Verfahren		Schwing-Saugverfahren	
Druckluft	10 m ³ /h	Schwinger	0,4 kWh
Saugleistung	10,0 kWh	Saugleistung	2,0 kWh

Quelle: Anlage 1; Versuchsprotokoll 6; Versuchsergebnis Fa. Valeo /FhG TEG

Der von der FhG TEG in Zusammenarbeit mit der Fa. Valeo durchgeführte Vergleich kommt zu folgenden Vorteilen für das Vibrationsverfahren gegenüber Saug-Blas-Verfahren:

- geringerer Energieaufwand
- geringere Geräuschentwicklung
- keine Luftaufbereitung (s. Aerosolbildung)

Bei weiteren Versuchen mit dem Vibrationsverfahren zeigte sich (s.o. Kap. 4.3.4), dass die Steigerung der Saugleistung auf über 5 kWh sogar zu einer Verschlechterung des Reinigungsergebnisses führt. Daher benötigt das Vibrationsverfahren nur 25% des Energieaufwandes des Saugblasverfahrens. Der Energieaufwand des Vibrationsverfahrens konnte durch Weiterentwicklung der Schwingeinheit und der Saugstromführung im Projekt von anfangs 6-15 kWh auf 2,5 - 5,5 kWh je nach Werkstück reduziert werden.

Aus der Praxis ist bekannt, dass Saug-Blas-Verfahren je nach Werkstückgeometrie Reinigungsgrade zwischen 70% bis 90% erzielen können (BIVA 1998, S. 4). In einem Versuch (s. Anlage 1 Versuchsprotokoll Nabenring/FhG) mit einem Nabenring erzielte das eingesetzte Saug-Blas-Verfahren einen Reinigungsgrad von 85% während die nicht optimierte Vibrationsanlage 94% der Anhaftungen entfernte. Das Vibrationsverfahren kommt bei komplizierten kubischen Werkstücken mit schöpfender Oberflächenstruktur und Tiefbohrungen etc. auf Reinigungsgrade von 92 - 95%.

¹⁵ Die Umwelteffekte lassen sich nicht allgemein fassen, sondern nur in Bezug zu einzelnen Anwendungen.

TAB 6: Versuchsergebnisse zum Reinigungsgrad

	vor Reinigung Anhaftung in Gramm	nach Vibro- Reinigung Anhaftung in Gramm	Reinigungsgrad Restanhaftung in %
Zündkerzenteil	0,4087	0,0245	94%
Schaltmuffe	0,120	0,0112	95%
Freilaufringe	1,7	0,1	95%
Getriebegehäuse ¹⁾	7-9	6-8	92%
Einspritzdüse ¹⁾	k.A.	k.A.	92%

1) Schätzgröße, da die genauen Daten Rückschlüsse auf innerbetriebliche Geheimnisse zulassen könnten.

(s. Anlage 1)

Zündkerzensockel und Common Rail Düsen bedürfen trotz der hohen Reinigungsgrade einer nachgeschalteten Nassreinigung (z.B. 100% Fettfrei). Die Reduktion von Verschleppungen in die Reinigungsbäder durch die elektro-mechanische Vorbehandlung mit dem Vibrationsverfahren senkt den Frischwasserbedarf zur Verlängerung der Standzeiten drastisch.

Eine einzige Fertigungslinie für Common Rail Düsen benötigt statt zuvor 8 m³ nur noch 0,5 m³ Frischwasser pro Tag und pro Fertigungslinie! Der Abwassereintrag in Kläranlagen vermindert sich analog zur Wassereinsparung.

4.4.3 Vollständige Substitution von Reinigungsbädern

Die zu erwartenden hohen Reinigungsgrade um 94% reduzieren nicht nur die Verschleppungen in Waschbäder drastisch, sondern sie erlauben bei vielen Anwendungen sogar den vollständigen Verzicht auf nachgeschaltete energieintensive und umweltbelastende Reinigungsbäder.

Zur Untermauerung dieses Umweltentlastungseffektes ist ein extern durchgeführtes Experiment aufschlussreich. Bei Mannesmann Sachs wurden gleiche Freilauffinnenringe nach dem (noch nicht optimierten) Vibrationsverfahren und in der dortigen Durchlauf-Waschanlage gereinigt.

TAB. 7: Waschverfahren versus Vibrationsreinigung

	Restanhaftungen nach Vibrationsverfahren in mg	Restanhaftungen nach Durchlaufwaschanlage in mg
Versuch 1	0,2	1,0
Versuch 2	0,1	0,9
Versuch 3	2,3*	0,6

Anlage 1; Versuchsprotokoll 7 Mannesmann Sachs Abt. AWP-2 v. 1.3.2000

20µ Filter; Probe c) enthielt Restspäne, die das Restschmutzgewicht stark erhöhten - Optimierungsbedarf!

Die im Hause Mannesmann Sachs durchgeführte Restschmutzanalyse beweist, dass die Vibrationsreinigung für bestimmte Teile eine 100%-ige Alternative zu Waschverfahren darstellt. Dies gilt insbesondere für Werkstücke, bei denen eine Restanhaftung von etwa 6% unproblematisch ist¹⁶. Beim dritten Versuch konnten die Späne mit dem Vibrationsverfahren nicht ausreichend

¹⁶ vgl. PIUS; VV-Information 20; Konzepte einer abfallarmen Teilereinigung, S.1. Es wird empfohlen grundsätzlich zu prüfen, ob überhaupt 100% Reinheitsgrade zur Weiterbearbeitung der Teile nötig sind.

entfernt werden. Die Anlagentechnik wurde später bezüglich der Schwingungstechnik und Saugstromführung optimiert (s.o. Kap. 4.3 ff.). Die anderen Versuche ergaben überraschenderweise sogar bessere Werte als nach Durchlauf der Teile durch die Waschanlage bei Mannesmann Sachs. Hervorzuheben bleibt bei diesem Experiment, dass die Reinigung von Freilaufingen mit Waschpetroleum erfolgt und somit ein stark umweltbelastendes und gesundheitsgefährdendes Reinigungsverfahren substituiert werden könnte.

Die Anlage zur Reinigung von Getriebegehäusen arbeitet mit einem ausreichend hohen Wirkungsgrad, so dass in dieser Anwendung auf eine Waschreinigung verzichtet wird.

Mit der Vibrationstechnik steht eine neue, energiearme elektro-mechanische Vorreinigung für vielfältige Werkstückgeometrien zur Verfügung, deren Reinigungsgrade um 94% den vollständigen Verzicht auf nachgeschaltete umweltbelastende Reinigungsbäder ermöglicht. Die Umweltentlastungseffekte eines Verzichts auf die Reinigung mit Lösemitteln oder wässrigen Reinigern sind evident. Die quantitativen Effekte lassen sich nur schwer erfassen, denn dazu bedarf es nicht immer öffentlicher innerbetrieblicher Daten von Seiten möglicher Anwender.

4.4.4 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagen hängt von folgenden Faktoren ab:

- den Kosten der Kühlschmierstoffe
- den Kosten des eingesetzten Reinigersystems (VOC, Tenside, Additive u.ä.)
- dem Reinigungsverfahren (Badbewegung, Standzeiten)
- den Abwasserbehandlungs- und Entsorgungskosten.

Die zuletzt aufgelisteten Faktoren umfassen die Betriebskosten vorhandener Reinigungsanlagen. Diese Betriebskosten lassen sich durch die vollständige Substitution natürlich zu 100% einsparen. In Fällen, in denen ein 100% Reinheitsgrad der Werkstücke nicht nötig ist (z.B. Getriebegehäuse) steht die Vibrationsreinigung als Alternative zur Verfügung. Sie verursacht selbst lediglich Energiekosten für 2,5 - 4 kWh.

In anderen Fällen trägt die Verminderung von Verschleppungen zur Senkung der Betriebskosten der Reinigungsbäder bei. Für die Vibrationsreinigung sprechen sowohl Kosten- als auch Umweltargumente:

- geringere Nachdosierung von Reinigern,
- der Frischwasserverbrauch geht um 90% zurück (s. Common Rail Düsen),
- um bis zu 94% geringere KSS-Einträge bedeuten auch eine geringere Menge entsorgungspflichtiger ausgefilterter Ölschlämme.

Die tatsächliche Kostenersparnis läßt sich zwar nicht allgemein quantifizieren, wohl aber können die Betriebskostenersparnisse aus der KSS-Rückgewinnung am Beispiel der Zündkerzensockel dargestellt werden.

Wirtschaftlichkeit der Vibrationsreinigung von Zündkerzensockeln:

Abtrag:	0,3842 g (Ziehöl)	
Stückzahl:	7.500 gereinigte Teile pro Stunde	
KSS-Rückgewinnungsmenge:		2,88 kg
Preis KSS:	ca. 4 DM/kg	
Roh-Ersparnis pro Stunde und Anlage:		11,52DM
Betriebskosten der Vibrotec-Anlage: bei 0,15 DM / kWh		0,75 DM
Nettoersparnis pro Betriebsstunde:		<u>11,37 DM</u>

Allein über den erreichten Einspareffekt durch eine hohe Rückgewinnungsquote bei niedrigen Energiekosten ergibt sich ein Amortisationsbeitrag der Anlagen in Höhe von 11,37 DM (5,81 Euro) pro Betriebsstunde.

Trotz der wirtschaftlichen Vorteile ist die Vibrationsreinigung kein Selbstläufer. Die Kosten der Umstellung von Fertigungsabläufen im Motorenbau behindern eine schnelle Einführung der neuen Reinigungstechnik. Die Nachfrage stellt sich eher dann ein, wenn

- vorhandene Produktionsstrassen ohnehin umgerüstet werden sollen,
- neue Produktions- bzw. Produktlinien entstehen oder
- zusätzliche technische Anforderungen an die Teilereinigung gestellt werden (z.B. Wasserverbrauch senken).

4.5 Öffentlichkeitsarbeit

Die Crux des Projektes bestand darin, dass die Präsentation der Ergebnisse praktisch parallel zum Projektverlauf stattfand. Die frühe Publizität durch Preisverleihungen, Presseartikel und Messebesuche setzte sich während des Projektverlaufs fort. Gleichzeitig lief ein wesentlicher Teil der Präsentation über direkte Vorführungen bzw. Vorträge bei potentiellen Anwendern aus dem Maschinen- und Anlagenbau oder dem Motorenbau im weitesten Sinne. Der Dialog brachte wichtige Informationen für beide Seiten: die potentiellen Anwender oder Hersteller haben von der neuen technischen Option zur Teilereinigung erfahren und umgekehrt kamen wertvolle Anregungen für die weitere Projektarbeit aus solchen praxisnahen Diskussionsrunden. Für die Pressearbeit, Messebeteiligungen und direkte Präsentationen wurde ein Teil der Förderung verwendet.

Nachfolgend eine Auflistung der PR-Aktivitäten:

Messebeteiligungen

- | | |
|-------------------|---------------------------------------|
| 22.3 - 29.3. 2000 | Internationale Handwerksmesse München |
| 23.4 - 28.4. 2001 | Hannover Messe |

Presseartikel (vgl. Anlage 3)

- | | |
|------------------|--|
| 29. Oktober 1999 | VDI Nachrichten : Trockenschütteln gleich nach dem Spanen |
| 29. März 2000 | Westfälische Rundschau: Unnaer Ingenieur schüttelt teuren Schmierfilm ab |

Juni 2000 Umwelt Magazin: Einmal sauber schütteln bitte!
Juni 2000 NC Fertigung: Schütteln für den Umweltschutz

Präsentationen vor Ort (Auswahl)

- Getrag (Vortrag, Experimente)
- Opel Ungarn (Vortrag bei Ingenieurmeeting)
- BMW München (Vortrag)
- FhG TEG
- Thielenhaus (Maschinenbau)
- Mannesmann Sachs (Vortrag, Experimente)
- SKF
- FAG
- ZF (Werk Brandenburg)
- Technologie Transferstelle Handwerk Düsseldorf
- Eckerle (Maschinenbau)
- Supfina (Maschinenbau)
- Dürr (ecoClean)
- Grob (Bearbeitungszentren)
- Mahle (Maschinenbau)
- Bosch (Nürnberg, Bamberg)
- Uni Dortmund (Vortrag)
- SMS (Kaltwalzbleche)
- GKN
- Uhde
- Nagel (Vortrag, Herst. Motorenteile)
- Honsel
- Valeo

Alle Massnahmen, die zur Verbreitung der neuen Trockenreinigungstechnik beitragen werden fortgesetzt. Auf den im Projektverlauf eingerichteten Internetseiten www.vibrotec.de und www.praezitec.de erhalten Interessenten zusätzliche Informationen über Projektergebnisse.

5 Fazit

Mit Förderung der Bundesstiftung ist es gelungen erstmals ein elektro-mechanisches Reinigungsverfahren für Werkstücke aus spanender Metallbearbeitung serienreif zu entwickeln. Damit lassen sich Verschleppungen von anhaftenden Kühlschmierstoffen und Feststoffen in Reinigungsbädern um über 90% reduzieren. Solche Reinigungsgrade erlauben in einzelnen Fällen sogar den vollständigen Verzicht auf energie- und abfallintensive Nassreinigungsstufen.

Das Vibrationsverfahren konnte im Rahmen des Projektes an kleinen und größeren kubischen Werkstücken aus dem Motorenbau erprobt werden. Die als Prototyp entwickelte Vibrationsreinigung von Getriebegehäusen führte zur Entdeckung eines besonderen Effektes (Injektionseffekt) durch Einsprühen von KSS-Emulsion in Gewindebohrungen unter Schwingung. Selbst hartnäckige Feststoffe konnten gelöst und mit geringem Energieaufwand abgesaugt werden. Bei kleineren Werkstücken ermöglicht ein rationelles Handling die Trockenreinigung sehr hoher Stückzahlen von z.B. 7.500 St./h mit Wirkungsgraden bis zu 94%. Die Rückgewinnung von reinen Kühlschmierstoffen stellt einen unmittelbaren ökologischen und ökonomischen Nutzeffekt der Vibrationsreinigung dar. Darüber hinaus gibt es nur für den Einzelfall quantifizierbare weitere Vorteile durch

- Rationalisierungseffekte,
- Verlängerung der Standzeiten in Reinigungsbädern,
- geringere Mengen entsorgungspflichtiger Ölschlämme oder,
- vollständigen Verzicht auf energie- und abfallintensive Waschwasserbäder.

Nach umfangreichen konstruktiven Änderungen und Verfahrensoptimierungen gegenüber dem Stand zu Beginn des Projektes ließ sich der eigene Energieaufwand der Anlagen um bis zu 60% reduzieren. Die Integration der neuen umweltfreundlichen Trocken-Reinigungsstufe in bestehende metallbearbeitende industrielle Prozesse erforderte allerdings zusätzliche Entwicklungsanstrengungen. Typische technische Vorgaben industrieller Anwender zur Kompatibilität mit bestehenden Anlagen erschwerten den Integrationsansatz, so umfasst die Werknorm eines Herstellers im Bereich Motorenbau für Anlagen und Maschinen 75 Seiten mit detaillierten Vorschriften, z.B. für die Mechanik und Elektrik einer neuen Anlage - und das ist kein Sonderfall.

Im Laufe des Projektes hat es gegenüber den anfänglichen Erfahrungen und Vorüberlegungen erhebliche technische Fortschritte gegeben. Diese beziehen sich auf die Konstruktion der neuen Schwingeinheit, die Konzeption der Reinigungskammern und die Saugstromführung, bis hin zu der patentfähigen Entdeckung des „Injektionseffektes“.

Das Verfahren ist insgesamt wesentlich flexibler geworden und läßt sich leichter an sehr unterschiedliche Anforderungen anpassen. Am Ende des Projektes ist die Anlagentechnik soweit ausgereift, dass einem industriellen Einsatz nichts im Wege steht und nach Abschluss des Projektes sogar einige Anlagen im Testbetrieb laufen. Entscheidungen über die Einführung dieser Technik im größeren Stil stehen unmittelbar bevor.

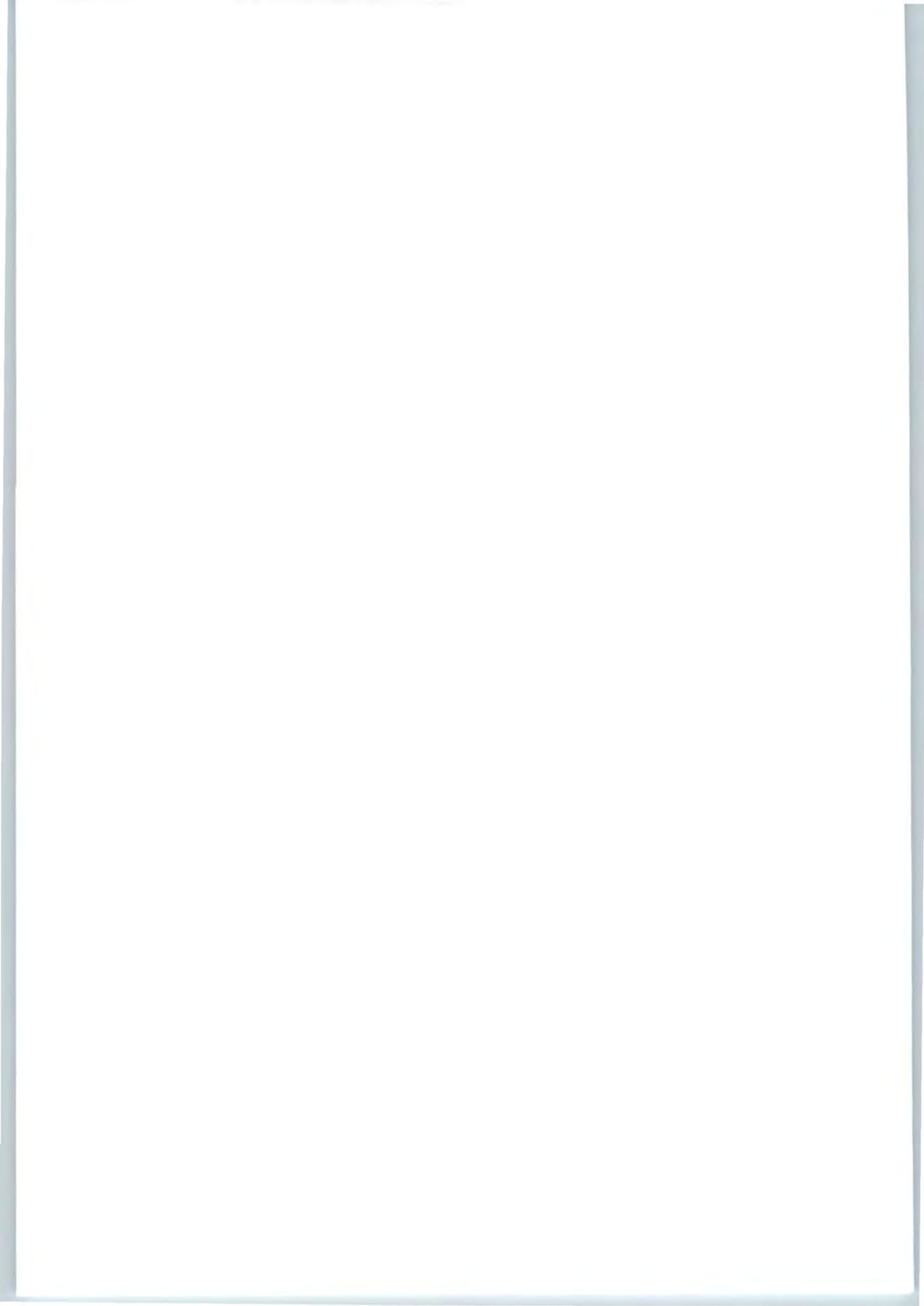
Während der Projektarbeit erworbenes Wissen über die Funktionsweise in unterschiedlichen Anwendungen, das Wechselspiel der Komponenten und die neu gewonnenen technischen bzw. konstruktiven Freiheitsgrade ergeben am Ende des Projektes eine Problemlösungskompetenz, die für viele ähnlich geartete Aufgaben zur Verfügung steht - auch außerhalb des Motorenbaus und der Metallbearbeitung.

6 Literaturverzeichnis

- (ABAG 1999) ABAG-itm GmbH: Branchenspezifische Checkliste für die staatlichen Gewerbeaufsichtsämter zur Fortführung des Beratungsprogrammes zur Abfallvermeidung und -verwertung in Baden-Württemberg; Spanende Metallbearbeitung; 6/1999, S. 8 und 9.
- (AbwV 1999) Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer 1999, Anhang 40, S. 42
- (BAW 2001) Bundesamt f. Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Entwicklung der Inlandsablieferungen von Schmierstoffen 2000-2001; Ref. 432, amtliche Mineralöldaten 2001
- (BIVA 1998) Hessische Industriemüll Technologie GmbH: Infoblatt: Abfälle aus der industriellen Teilereinigung mit wäßrigen Reinigern, 5/1998
- (Bosch 1998) Robert Bosch GmbH: Umweltbericht 1998, Stuttgart 1998
- (Daimler 2001) Daimler-Chrysler AG: Umweltbericht 2001, Stuttgart 2001
- (Hartinger 2000) Hartinger, Ludwig: Handbuch der Abwasser- und Recyclingtechnik für die metallverarbeitende Industrie; 2. Auflage, München-Wien 2000
- (Kolbenschmidt 1999) Kolbenschmidt GmbH: Umwelterklärung der KS Kolbenschmidt GmbH, Neckarsulm 1999
- (Kuttkat 2001) Kuttkat, Bernhard: o. Titel; Nachricht in: Maschinenmarkt Nr.20, 14.05.2001
- (Schwarz 2000) Schwarz, W.; Leisewitz A.: Stand der technik und Potentiale zur Senkung der VOC-Emissionen aus Anlagen zur Reinigung von Oberflächen; in: mo metalloberfläche, Jg. 54, 6/2000, S. 21-24.
- (PIUS 1998) PIUS-info: VV-Information 20: Konzepte einer abfallarmen Teilereinigung, 1998; S.1.
- (UBA 2000) UBA Texte 9/00: Studie über produktbezogene Maßnahmen zur Umsetzung der EU-Lösemittelrichtlinie; Ahrens, A. u.a., Berlin 2000
- (VW 1999) Volkswagen AG: Umwelterklärung Werk Salzgitter 1999, Salzgitter 1999

ANLAGE 1

Versuchsergebnisse



Versuch Vibrationsreinigung PRÄZITEC

Versuchsdurchführung: Herr Döhner

Versuchseinrichtung bei Firma PRÄZITEC am 24.08.2000

Prüfwerkstücke:

**Kegelrollenlager LM 300849 SKF bestehend aus Innenring, Käfig, Rollen
Bohrungs-Ø 41 mm, breite 18 mm**

Vor dem Test wurden die beiden Lager in Waschverdünnung gereinigt und entfettet.
Die Gewichtsermittlung vor und nach dem Test erfolgte bei der Mohrenapotheke / Dr.
Vogelgesang auf einer Waage mit Genauigkeit < 10 mg.

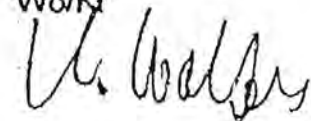
Unmittelbar vor dem Versuch wurden die Lager komplett in Honööl getaucht.
Die am Lager haftende Ölmenge betrug ca. 1 g.

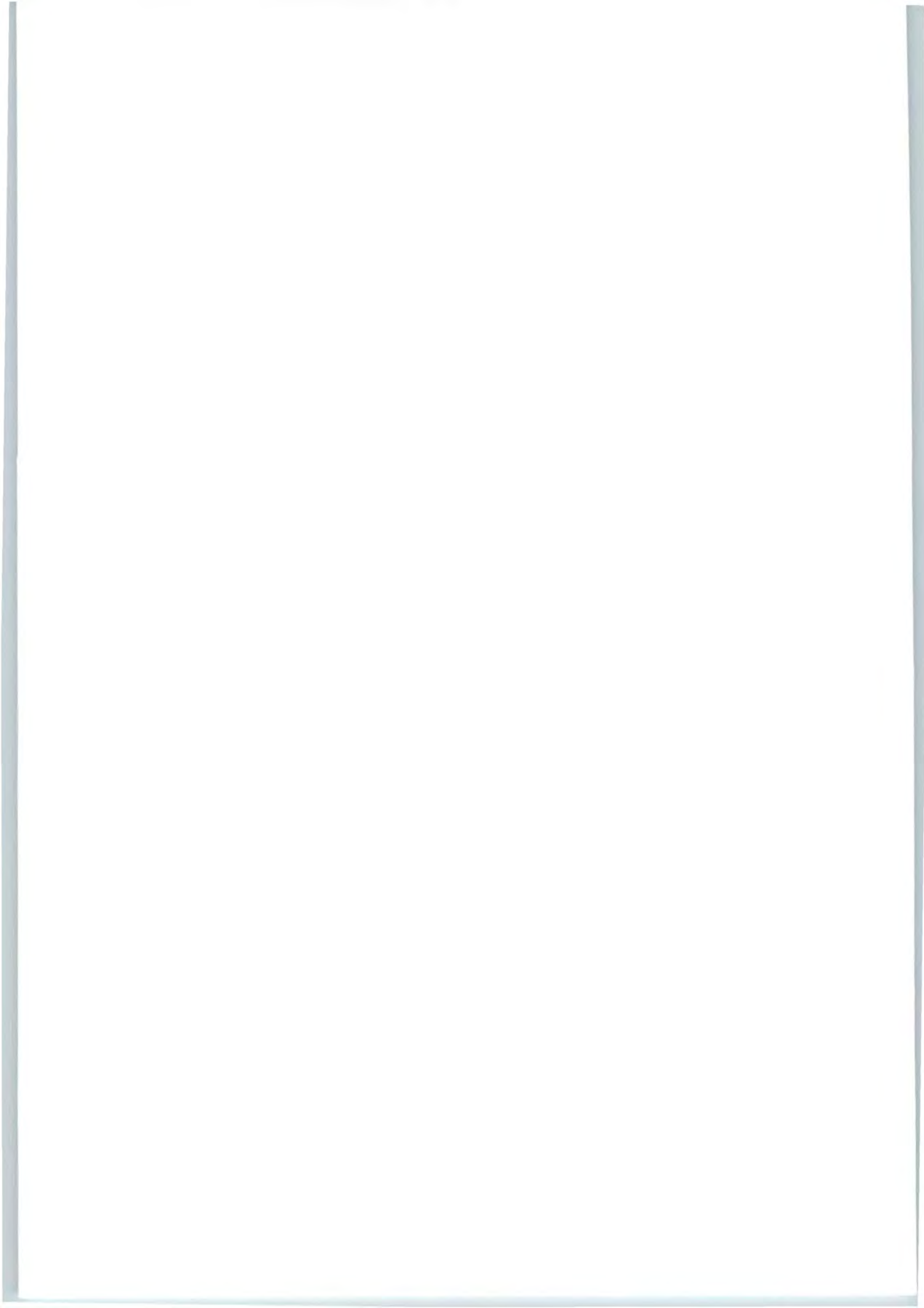
Test 1: Absaugen an Lager Nr. 1
Einwirkzeit: 15 Sekunden
Gewicht trocken: 160,82 g
Gewicht nach Absaugen: 160,93 g
Restölmenge: 0,11 g

Test 2: Rütteln und Absaugen an Lager Nr. 2
Einwirkzeit: 15 Sekunden
Gewicht trocken: 160,57 g
Gewicht nach Rütteln
und Saugen: 160,63 g
Restölmenge: 0,06 g

24.08.2000

Wo/Kr





**Wirtschaftlichkeitsberechnung
Reinigungsergebnis Nabening / Fraunhofer**

Versuchsprotokoll **1**

Präz.-Waage	Toledo < 10 mg	
Ölart	Räumöl	
Gewicht trocken	0,3154 kg	
Gewicht naß	<u>0,3206 kg</u>	
Ölanhaftung	0,0052 kg	

a) Abtrag / Std.

Gewicht nach Vibrationsreinigung	0,3157 kg	Abtrag 0,0049 kg
Gewicht nach Saugreinigung	<u>0,3162 kg</u>	Abtrag 0,0044 kg
Mehrabtrag nach Vibrationsreinigung / St.		0,0005 kg

bei 720 Teilen / Stunde	Abtrag bei Vibrationsreinigung	3,528 kg
	Abtrag bei Saugreinigung	<u>3,168 kg</u>
Mehrabtrag nach Vibrationsreinigung / Std.		0,360 kg

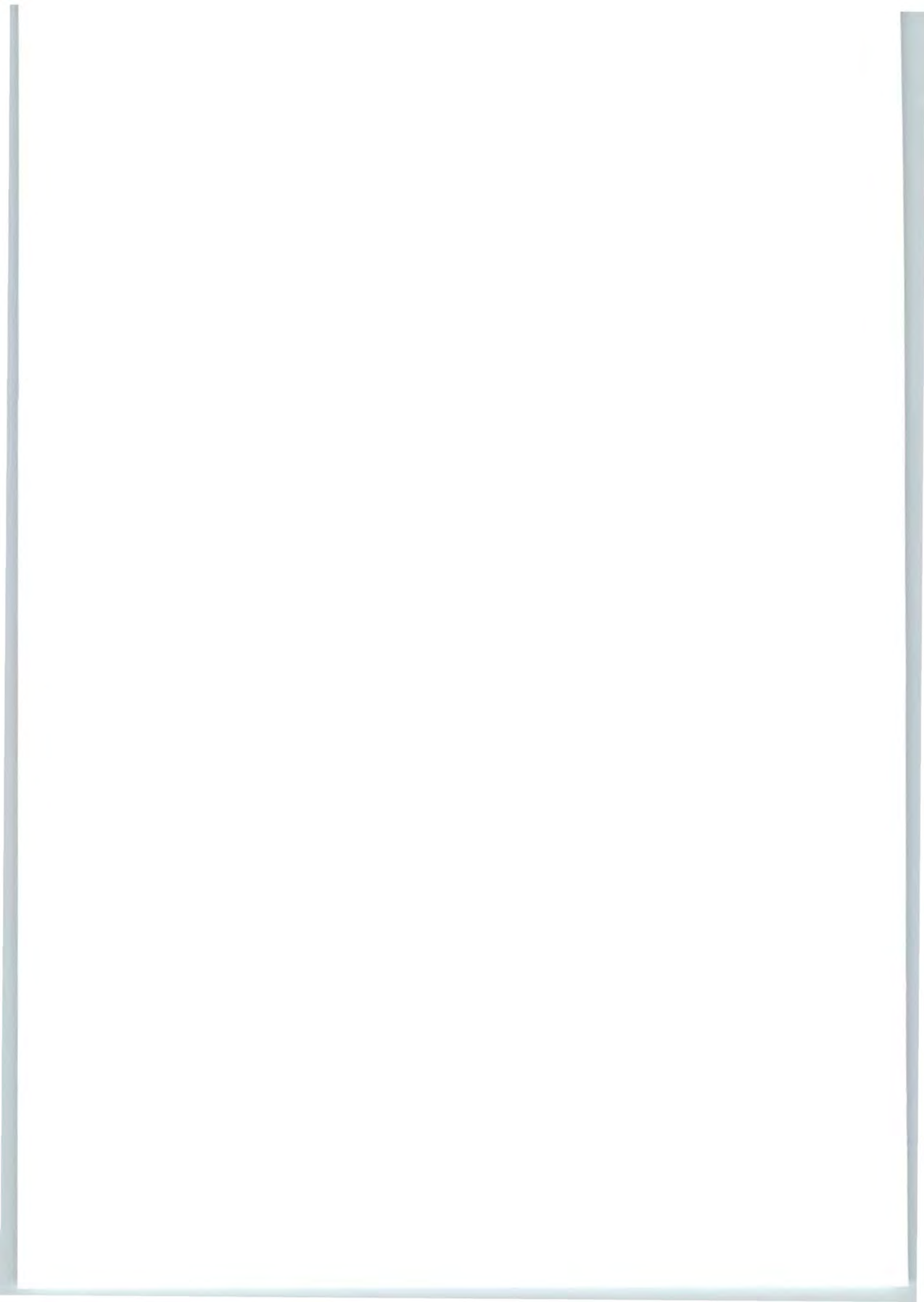
b) Energiebedarf / Std.

Vibrationsreinigung	Sauger 2,0 kWh		
	Vibrator 0,4 kWh		
	Gesamt 2,4 kWh	Kosten bei 0,20 DM / kWh	0,48 DM
Saug-Blas-Verfahren	Sauger 10 kWh	Kosten bei 0,20 DM / kWh	2,00 DM
	Luft 10 m ³	<u>0,30 DM / m³</u>	<u>3,00 DM</u>
		Gesamt	5,00 DM

c) Wirtschaftlichkeitsberechnung / Std.

Geschätzte Kosten pro Kg Öl für Einkauf und Entsorgung		4,-- DM
Abtrag Vibro-tec pro Std.	3,528 kg x 4,00 DM	14,11 DM
<u>/. Energiekosten</u>		<u>0,48 DM</u>
Gewinn		13,63 DM
Abtrag Saug-Blas-Verfahren	3,168 kg x 4,00 DM	12,67 DM
<u>/. Energiekosten</u>		<u>5,00 DM</u>
Gewinn		7,67 DM

Mehrertrag Vibro-tec / Std. 5,96 DM



Wirtschaftlichkeitsberechnung Freilaufringe / Mannesmann Sachs

Versuchsprotokoll 3

Präz.-Waage	Toledo < 1mg
Gewicht trocken	0,1418 kg
Gewicht naß	<u>0,1435 kg</u>
Ölanhaftung	0,0017 kg

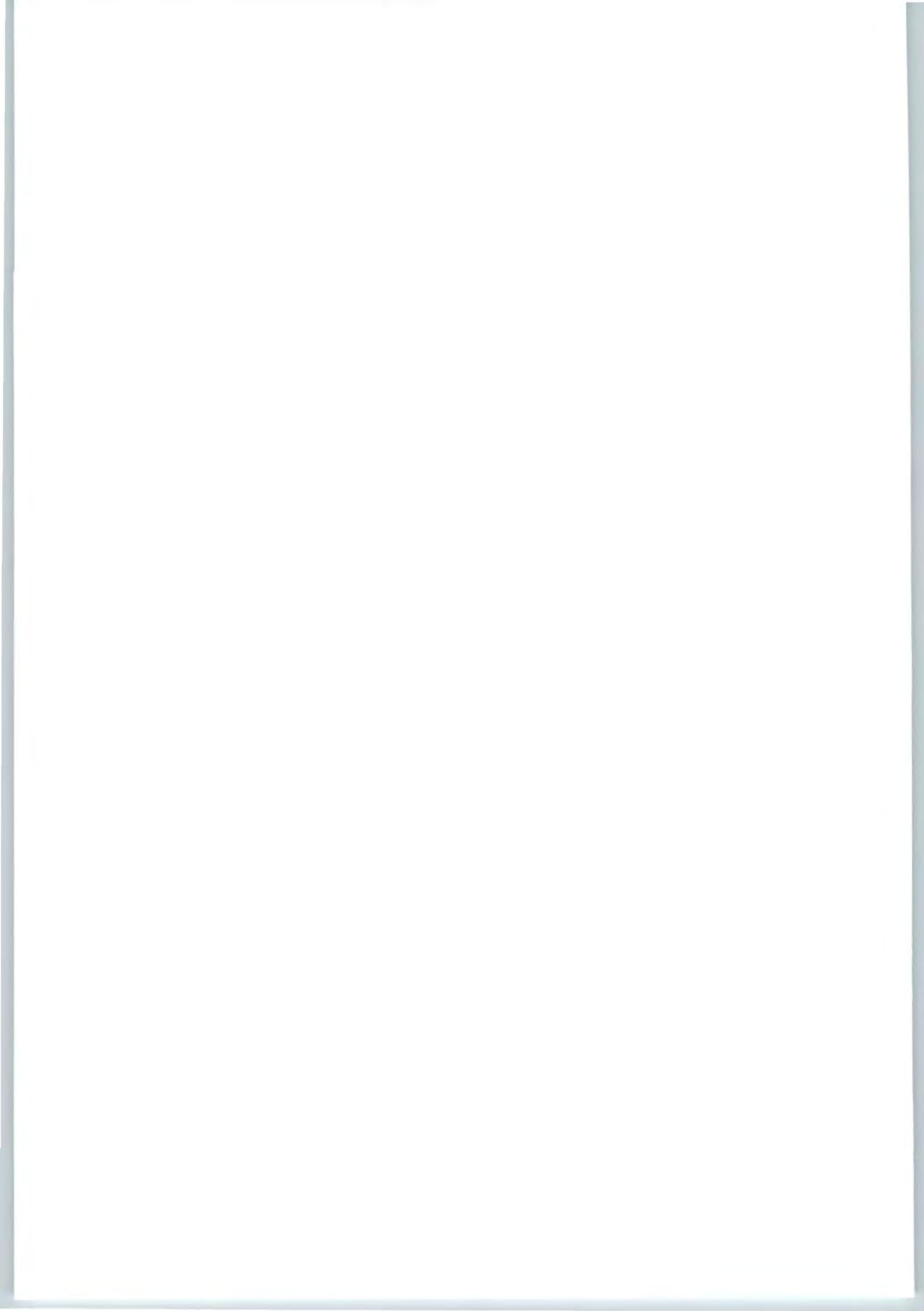
a) Rückgewinnung / Tag im Zweischichtbetrieb

Gewicht nach Vibrationsreinigung		0,1419 kg
Gewicht Restanhaftung		0,0001 kg
abgereinigt		0,0016 kg
bei 400 Teilen / Stunde in 15 Std.	Ölrückgewinnung	0,64 kg 9,6 kg
Kosten für Neubeschaffung und Entsorgung (ca. 5 DM/kg)		48,-- DM

b) Betriebskosten: 2,5 kW/Std.

bei einem Strompreis von 0,15 DM/Std.		<u>5,63 DM</u>
---------------------------------------	--	----------------

Ersparnis / Tag im Zweischichtbetrieb		42,37 DM
--	--	-----------------



Versuch: 11

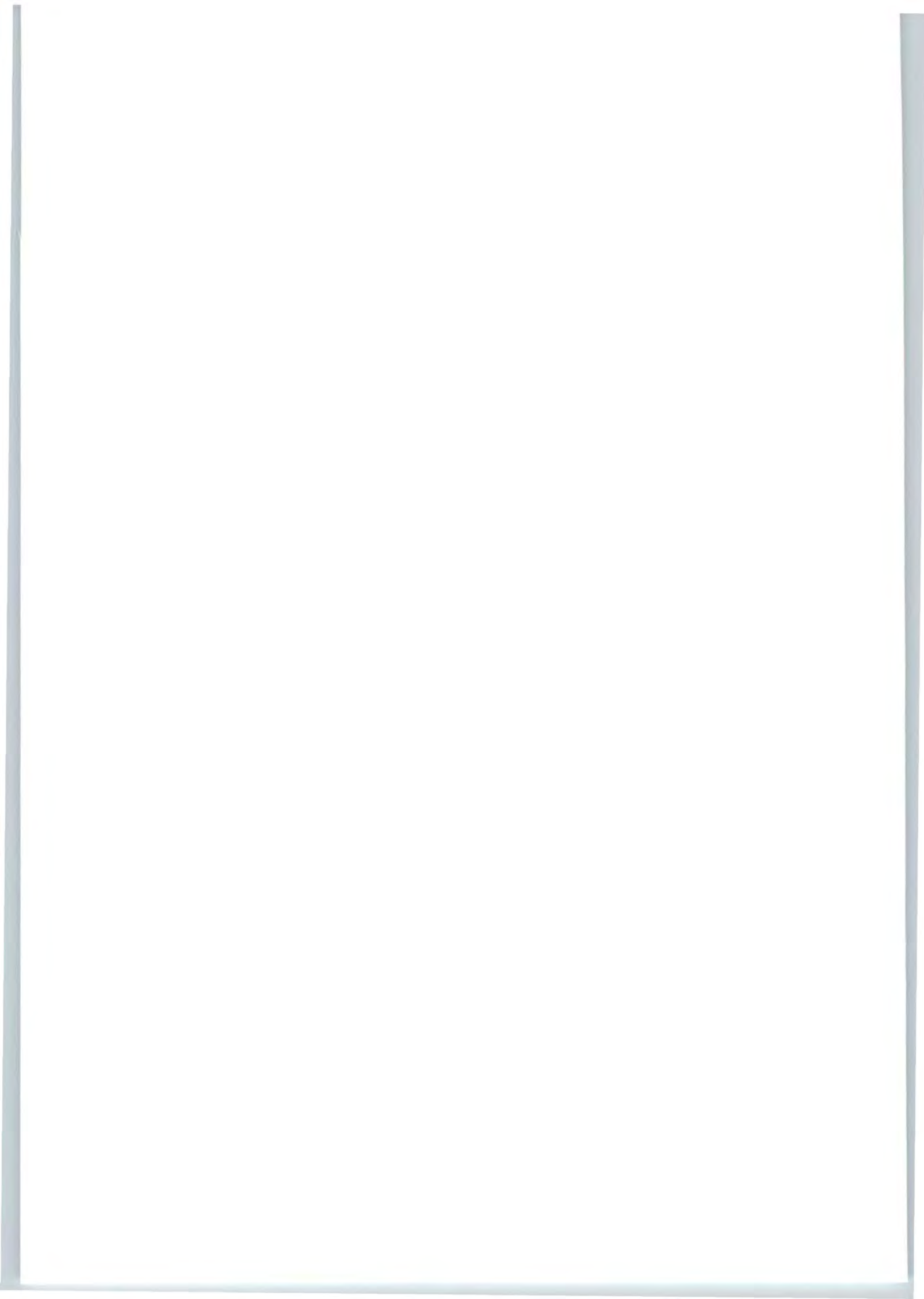
Datum: 18.06.01

Platte Nummer	Beschreibung	Zeichnung
Ring Ø 100 mm	<ul style="list-style-type: none"> - 5 Bohrungen mit 5 mm Durchmesser unten (alle Abluft) - Absaugeloch 5 mm oben in der Mitte 	
	7 Bohrungen mit ganz klein Durchmesser unten (alle Zuluft)	
Platte 2	<ul style="list-style-type: none"> 100 <math>< \varnothing < 130</math> (alle Abluft) <ul style="list-style-type: none"> - 3 Bohrungen unten - 1 Bohrung links - 1 Bohrung rechts 75 <math>< \varnothing < 100</math> (alle Abluft) <ul style="list-style-type: none"> - 1 Bohrung 5 mm links - 1 Bohrung 5 mm rechts 3 Bohrungen 5 mm oben 	
Platte 3	<ul style="list-style-type: none"> 100 <math>< \varnothing < 130</math> (alle Abluft) <ul style="list-style-type: none"> - 3 Bohrungen unten - 1 Bohrung links - 1 Bohrung rechts 75 <math>< \varnothing < 100</math> (alle Abluft) <ul style="list-style-type: none"> - 1 Bohrung 5 mm links - 1 Bohrung 5 mm rechts 3 Bohrungen 5 mm oben 	
Platte 5	<ul style="list-style-type: none"> 75 <math>< \varnothing < 100</math> <ul style="list-style-type: none"> - 3 kleine Bohrungen oben (Zuluft) - 5 mm Abluft gesetzt - 3 mm 45° Winkel Bohrungen (Zuluft) 	
Platte 6	<ul style="list-style-type: none"> 75 <math>< \varnothing < 100</math> <ul style="list-style-type: none"> - 3 kleine Bohrungen oben (Zuluft) - 3 mm 45° Winkel Bohrungen (Zuluft) 	

Platte 7: Alu-Profil

ERGEBNISSE:

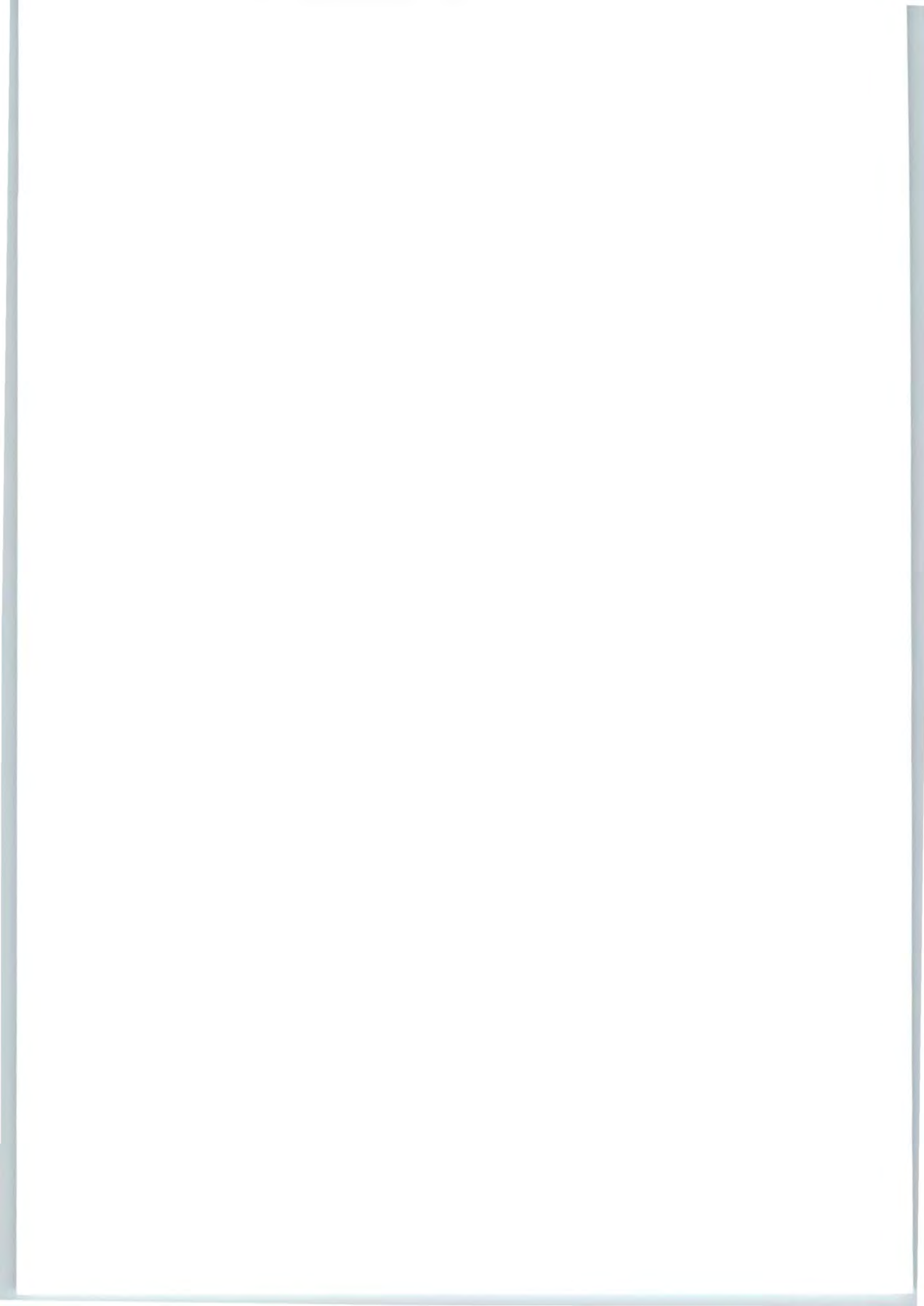
Abreinigung gut, spanfrei, Nut gut, hinten (Abluftseite) noch viel Öl vorhanden



Name:	MEK#	Datum:	18.06.01
Waage:	TEG		
Versuchsparameter:		Saugzeit:	10 sec
		Sauger:	2,5 kw
		Frequenz:	35 Hz
		Amplitude:	80
Bemerkung: Zum Teil auf der hinteren Seite feine Späne			

Nr.	Gewicht [g]		Differenz [mg]
	vor Reinigung	nach Reinigung	
1	321,08	321,25	170
2	321,09	321,26	170
3	321,07	321,22	150
4	321,07	321,28	210
5	321,09	321,3	210
6	321,08	321,28	200
7	321,07	321,28	210
8			
9			
10			

Mittelwert: 189
Standardabweichung: 25



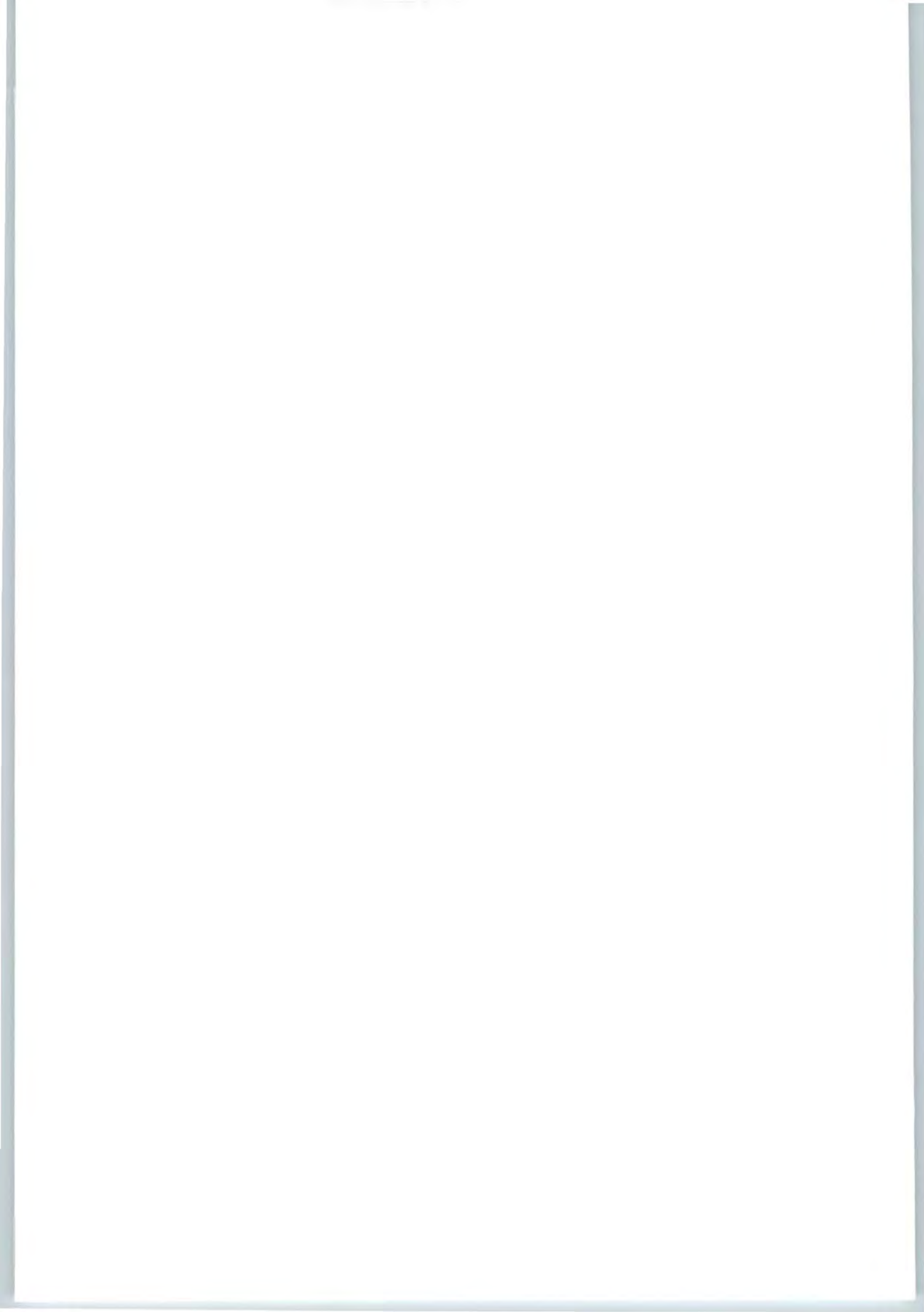
VERSUCHSPROTOKOLL

Versuch: 11/2

Name:	MEK#	Datum:	18.06.01
Waage:	TEG		
Versuchsparameter:		Saugzeit:	15 sec
		Sauger:	2,5 kw
		Frequenz:	35 Hz
		Amplitude:	80
Bemerkung: Zum Teil auf der hinteren Seite feine Späne			

Nr.	Gewicht [g]		Differenz [mg]
	vor Reinigung	nach Reinigung	
1	321,07	321,22	150
2	321,08	321,22	140
3	321,08	321,25	170
4	321,08	321,24	160
5	321,08	321,21	130
6	321,07	321,24	170
7			
8			
9			
10			

Mittelwert: 153
Standardabweichung: 16



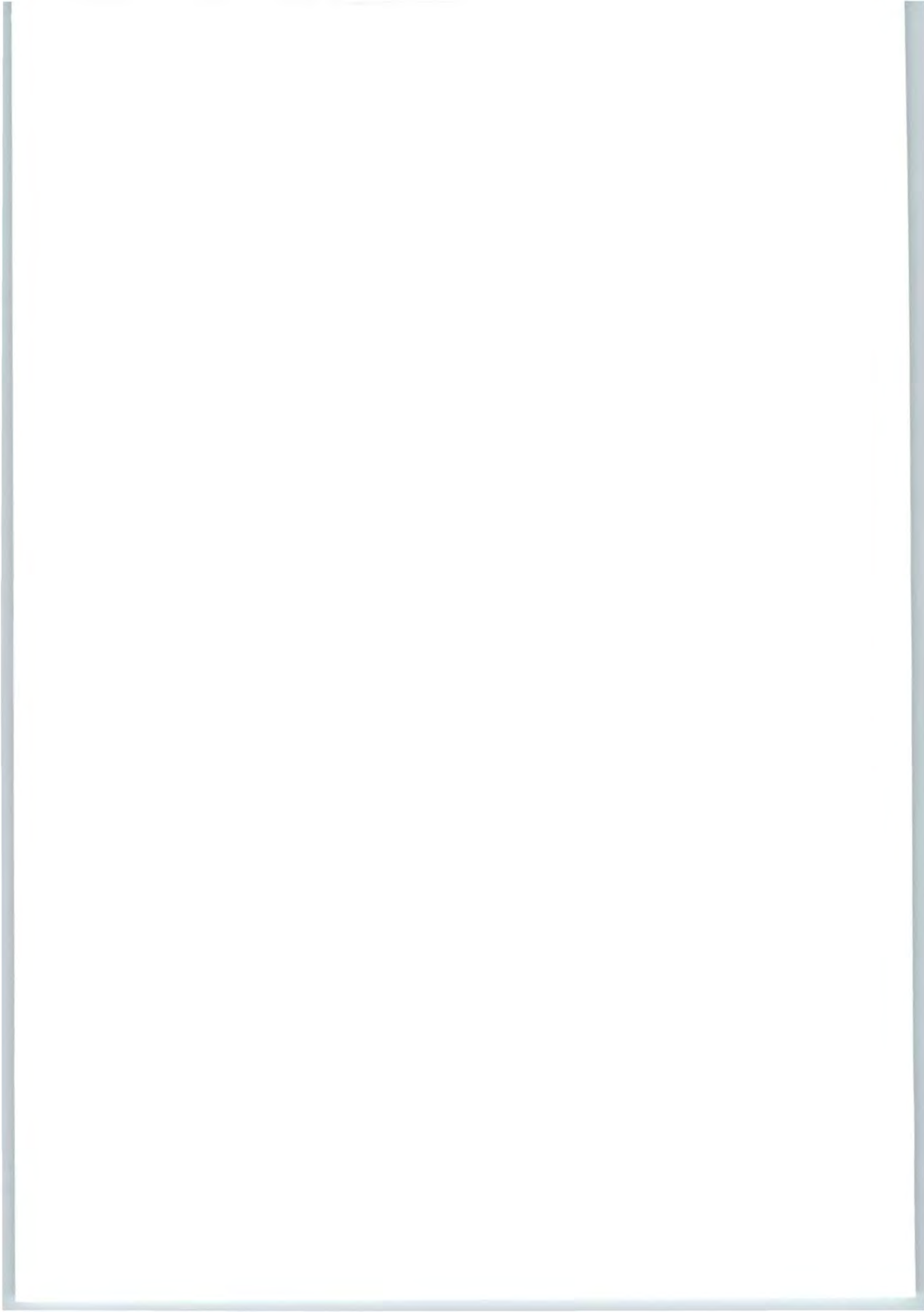
VERSUCHSPROTOKOLL

Versuch: 11/3

Name:	MEK#	Datum:	18.06.01
Waage:	TEG		
Versuchsparameter:		Saugzeit:	20 sec
		Sauger:	2,5 kw
		Frequenz:	35 Hz
		Amplitude:	80
Bemerkung: Zum Teil auf der hinteren Seite feine Späne			

Nr.	Gewicht [g]		Differenz [mg]
	vor Reinigung	nach Reinigung	
1	321,09	321,21	120
2	321,13	321,22	90
3	321,17	321,21	40
4	321,09	321,18	90
5	321,07	321,18	110
6	321,07	321,19	120
7			
8			
9			
10			

Mittelwert: 95
Standardabweichung: 30



Versuchsreihe 11/4

t = 20s

A = 80

F = 35

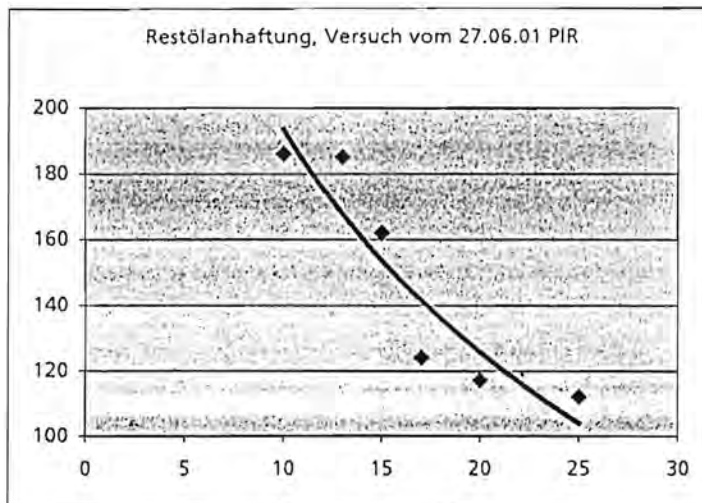
Waage IGB

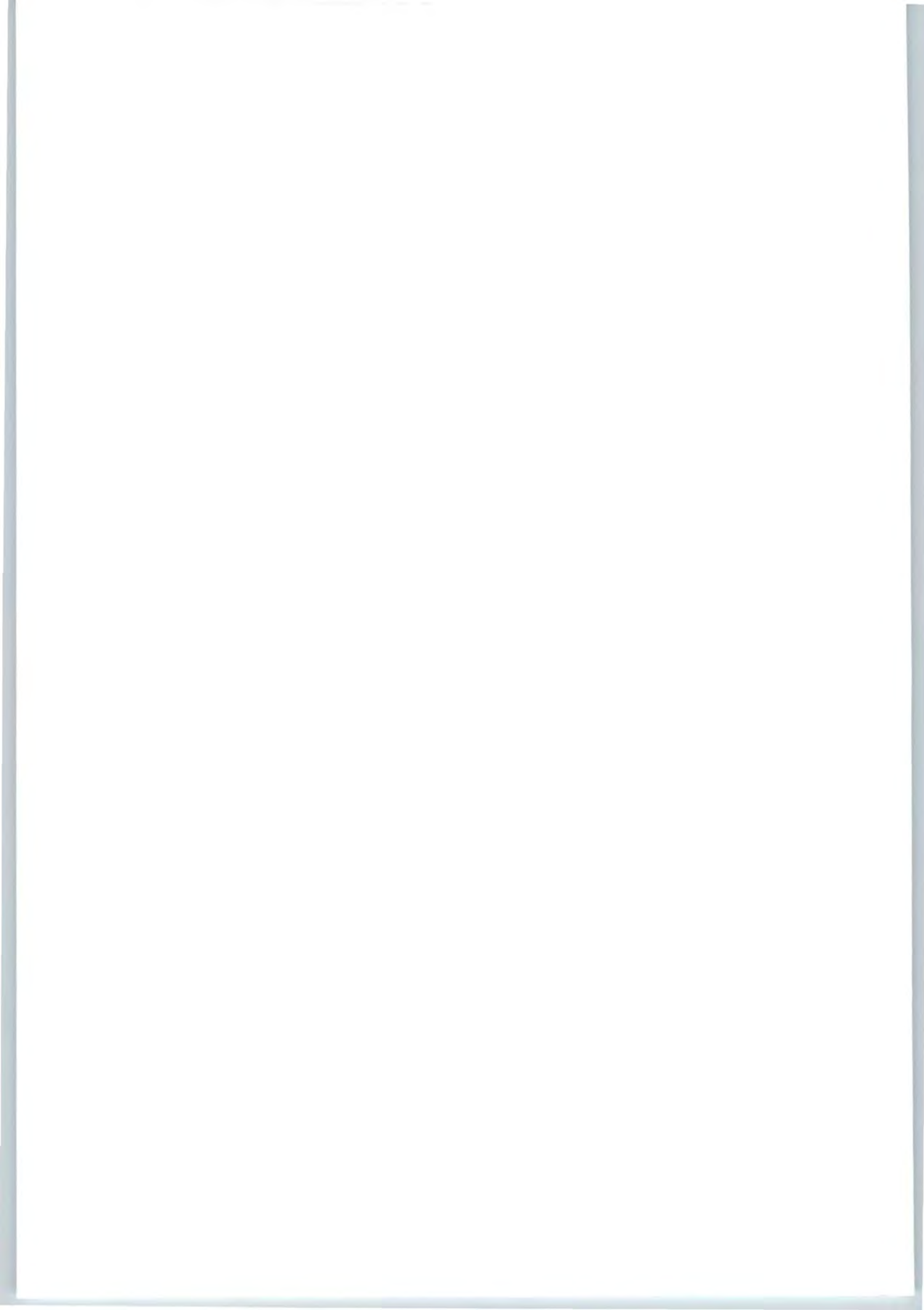
Ref.ring 2

m in g = 363,364

Nr.	Restölanhaftung + Ring [g]	Restölanhaftung [g]
1	363,478	0,114
2	363,489	0,125
3	363,485	0,121
Mittelwert		0,120

t	Restölanhaftung [mg]
10	186
13	185
15	162
17	124
20	117
25	112





Reinigungsergebnis

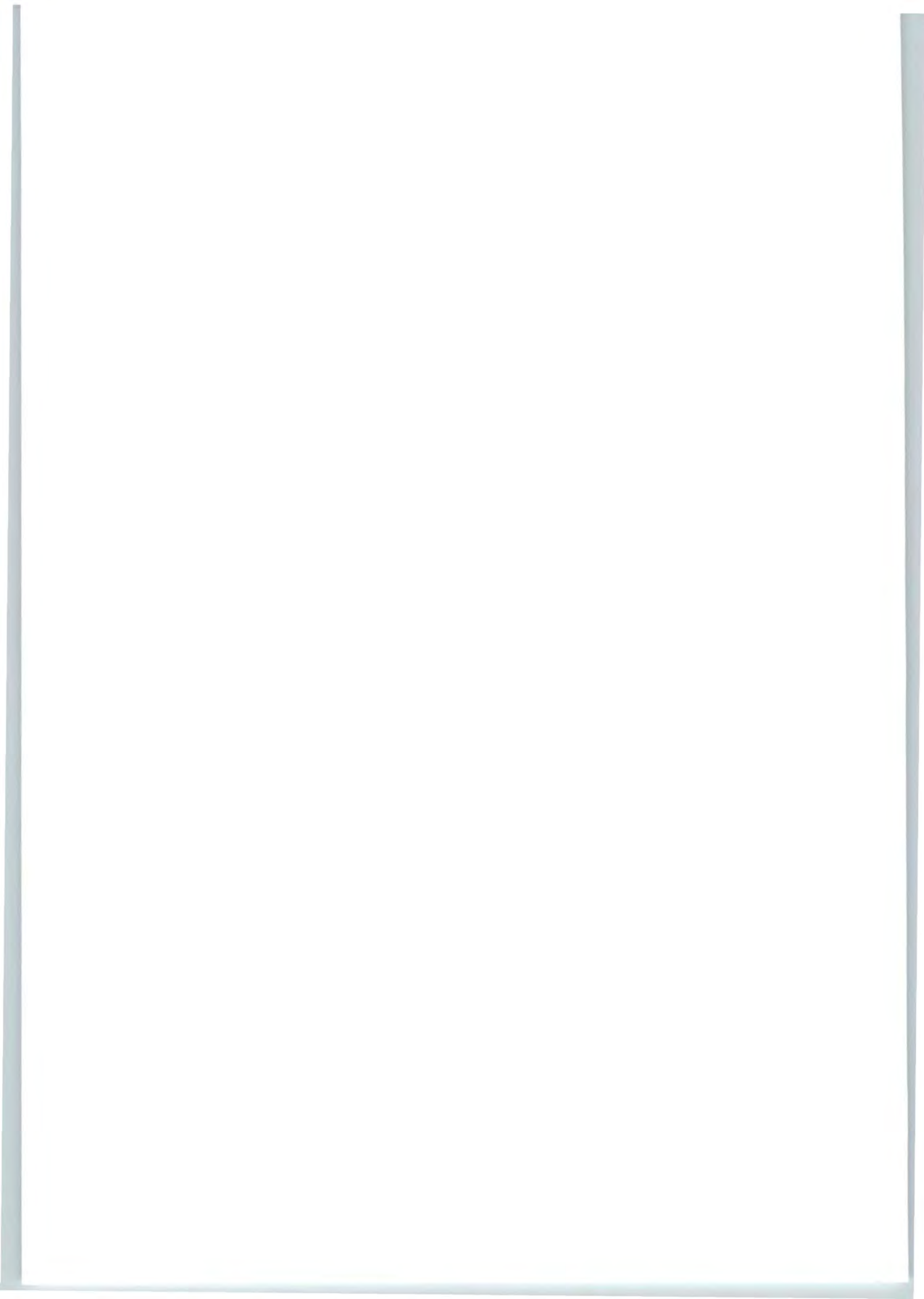
Zündkerzenteil	Sechskant Innendrm. Länge	16 mm 12,8 - 8 mm 28 mm
	Waage Ölart	Sartorius BP 161 P Ziehöl Licodrav SIP 4 / Renoform Viscosität ca. 35 cSt (ca. 2 Engler) bei 20 Grad C
	Gewicht trocken Gewicht naß Ölanhaftung	18,4594 g <u>18,8681 g</u> 0,4087 g

Ölrückgewinnung

Gewicht nach Reinigung abz. Trockengewicht	18,4839 g <u>18,4594 g</u>	
Restöl	0,0245 g	
 Abtrag	 0,3842 g	 = 94 % der Ölanhaftung
 bei 7500 Teilen / Stunde		
0,3842 g x 7500		2,88 kg / Std.

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Geschätzter Preis für die Beschaffung und Entsorgung von 1 kg Öl (ca. 5 DM/kg)	14,40 DM
./.. Betriebskosten Vibro-tec-Anlage bei 0,15 DM/kWh	<u>0,75 DM</u>
Ersparnis / Betriebsstunde	13,65 DM

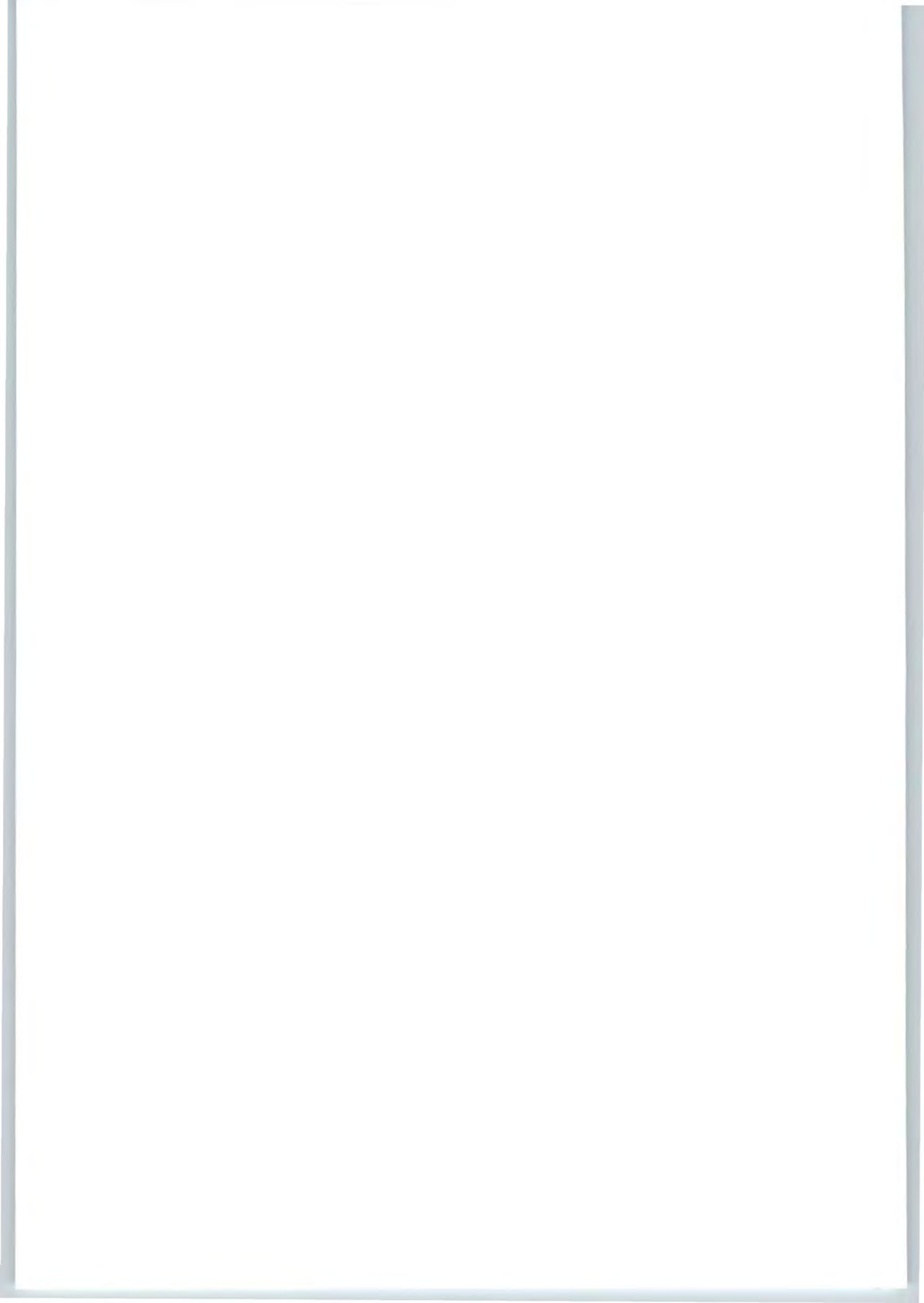


Betriebskostenvergleich (Energiebedarf / Std.)

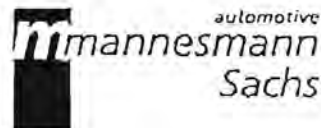
Abblasen mit Druckluft	Druckluft	10 m ³	Kosten bei 0,10 DM / m ³ *	1,00 DM
	Sauger	10,0 kWh	<u>0,20 DM / kWh</u>	<u>2,00 DM</u>
			Gesamt	3,00 DM

Vibrationsreinigung	Schwinger	0,4 kWh	Kosten bei 0,20 DM / kWh	0,48 DM
	<u>Sauger</u>	<u>2,0 kWh</u>		
	Gesamt	2,4 kWh		

*Angaben für Druckluft bei 5 bar
Nürnberger Industriedüsen 3 Pf / m³
Lechler Präzisionsdüsen 10 Pf / m³
vibro-tec 30 Pf / m³



Telefax



Versuchsprotokoll 7

Mannesmann Sachs AG
97419 Schweinfurt

Geschäftsbereich Antriebsstrang
Powertrain Division

Empfänger Receiver	PRÄZITEC GmbH	Absender Sender	Mannesmann Sachs AG			
Name Name	Klaus Döhrer	Name Name	André Meyer			
Abt. Dept.	Geschäftsführer	Abt. Dept.	AWP-2			
Telefax-Nr. Fax-No	02303 - 2515620	Telefax-Nr. Fax-No.	(0 97 21) 98 - 45 26	Seite Page	1 von of	2
Telefon-Nr. Phone No.	02303 - 251560	Telefon-Nr. Phone No.	(0 97 21) 98 - 38 87	Datum Date	01.03.2000	

FX010J00.DOC

Restschmutzanalysen Freilaufinnenringe

Sehr geehrter Herr Döhrer,

die Restschmutzanalyse der drei Freilaufinnenringe (am 24.02.2000 trockengereinigt) ergab folgende Werte (Restschmutzanalyse erfolgt im Ultraschallbad mit 20µm Filter):

- a) 0,2 mg (Hohnöl)
- b) 0,1 mg (Hohnöl)
- c) 2,3 mg (Hohnöl + Späne)

Die laufende Serie (gewaschen auf Durchlaufwaschanlage) ergab an drei Freilaufinnenringen Restschmutzwerte von:

- a) 1,0 mg
- b) 0,9 mg
- c) 0,6 mg.

Bei zusätzlicher Verschmutzung mit Spänen liegt der Restschmutzwert über dem Serienstand. Hier ist eine Optimierung notwendig.

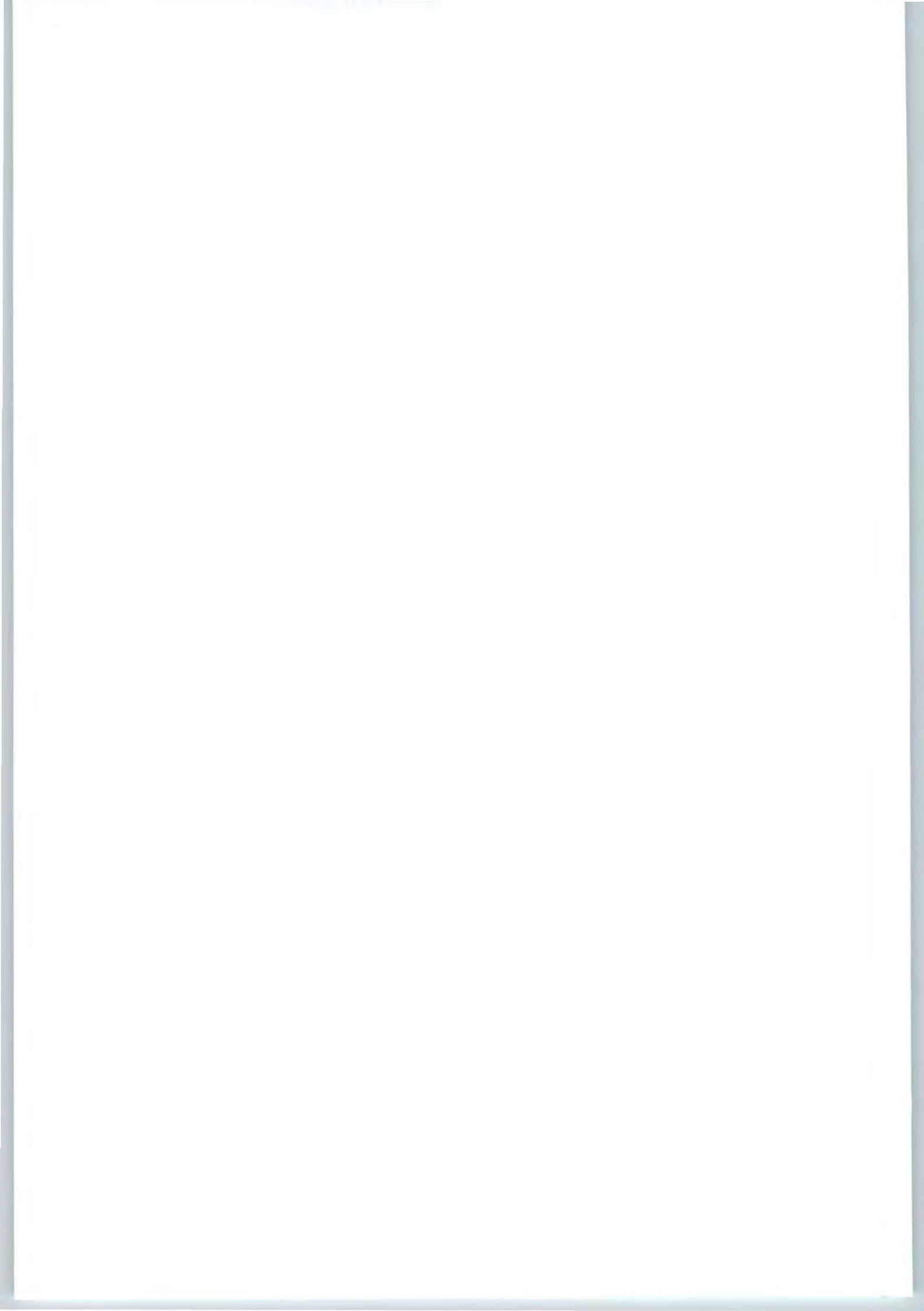
Wie abgesprochen erwarten wir Ihre Versuchsanlage in KW 12 bei uns (Abstimmung Anfang KW 11), um ein Serienlos Freilaufinnenringe (0711 373000) zu reinigen. Diese Versuche laufen dann auch unter realen Bedingungen hinsichtlich der Verschmutzung.

Mit freundlichen Grüßen

André Meyer

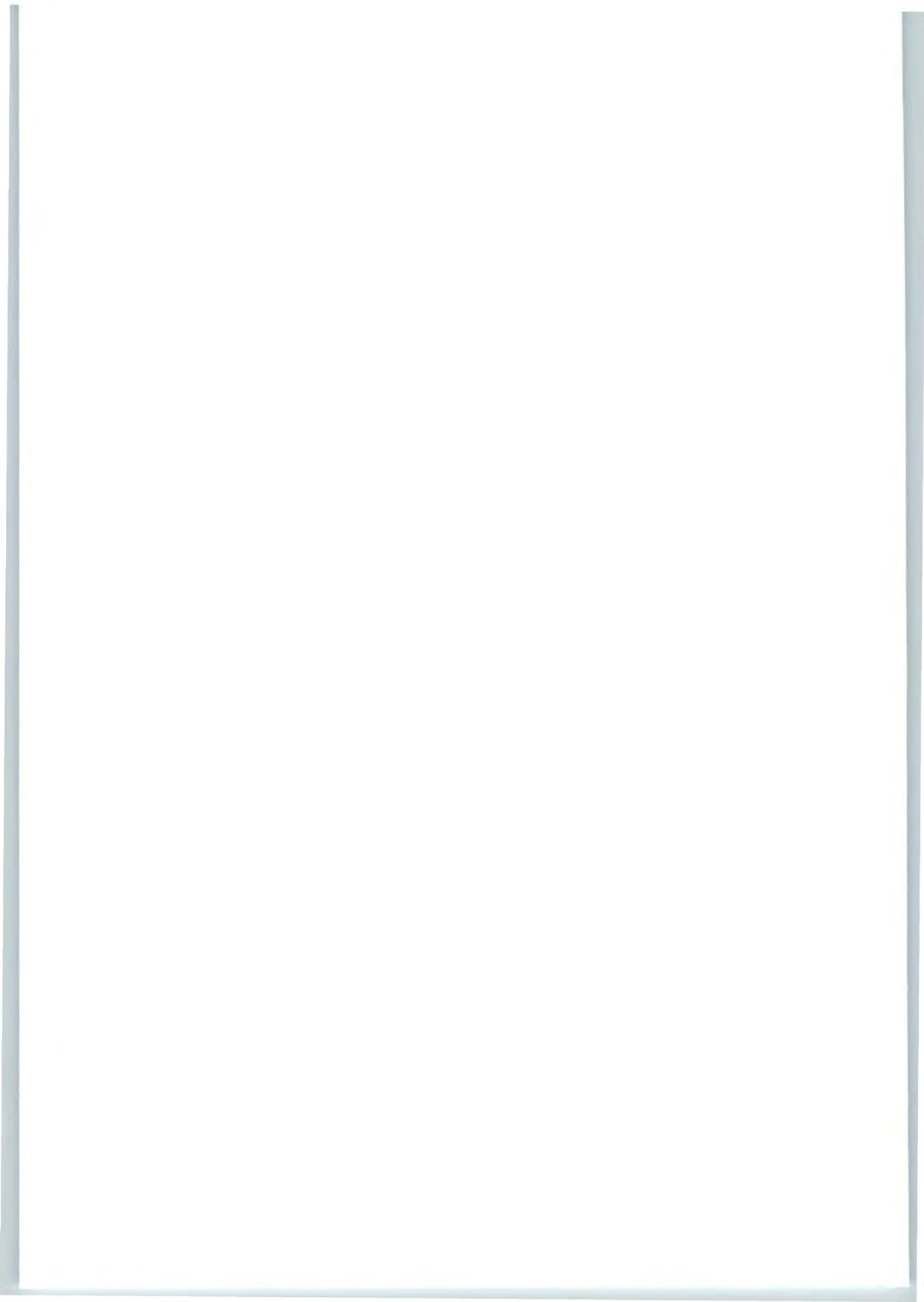
Mannesmann Sachs AG, AWP-2

Anlage



ANLAGE 2

Preisverleihungen





TECHNOLOGIE
TRANSFER
HANDWERK

PROFESSOR-ADALBERT-SEIFRIZ-PREIS

1999

URKUNDE

DER VEREIN TECHNOLOGIE-TRANSFER
HANDWERK E. V.
VERLEIHT

Klaus Döhner

FÜR EINE HERAUSRAGENDE
UND BEISPIELHAFFE KOOPERATION
ZWISCHEN HANDWERKERN
UND WISSENSCHAFTLERN DEN

»PROFESSOR-ADALBERT-SEIFRIZ-PREIS«

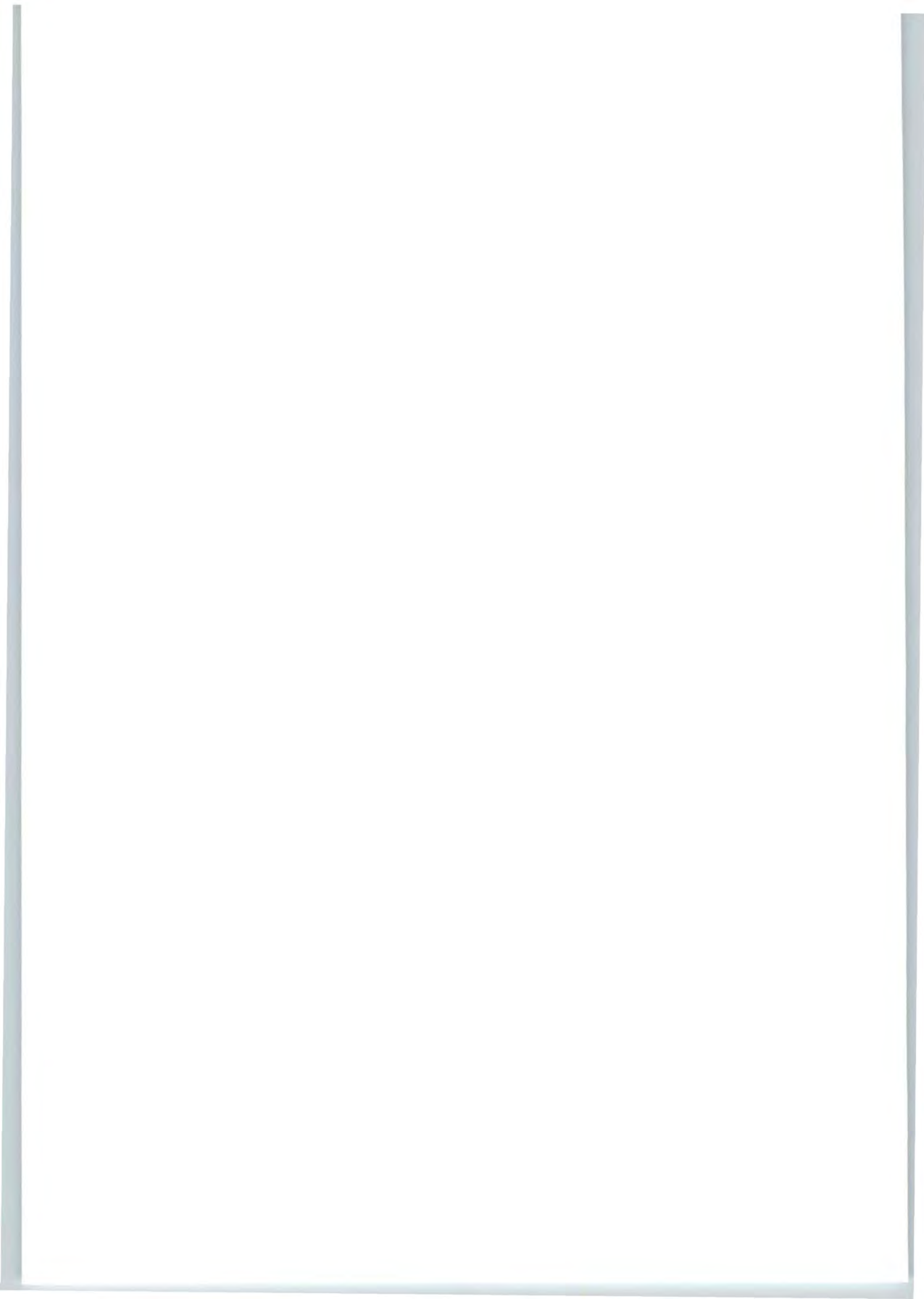
STUTT GART, 1. OKTOBER 1999

KLAUS HACKERT
VORSITZENDER

PRÄSIDENT DES BADEN-WÜRTTEMBERGER VERBANDS

PETER HOLZMANN
STV. VORSITZENDER
VERLEGER HANS HOLZMANN VERLAG

PROFESSOR DR. JOHANN LÖHN
VORSITZENDER DER JURY
VORSTANDSVORSITZENDER STEINBEIS-STIFTUNG





Urkunde

In Würdigung
besonderer technischer Leistung im Handwerk
verleihe ich

Präzitec GmbH
für Trockenreinigung
mit Vibrationstechnik

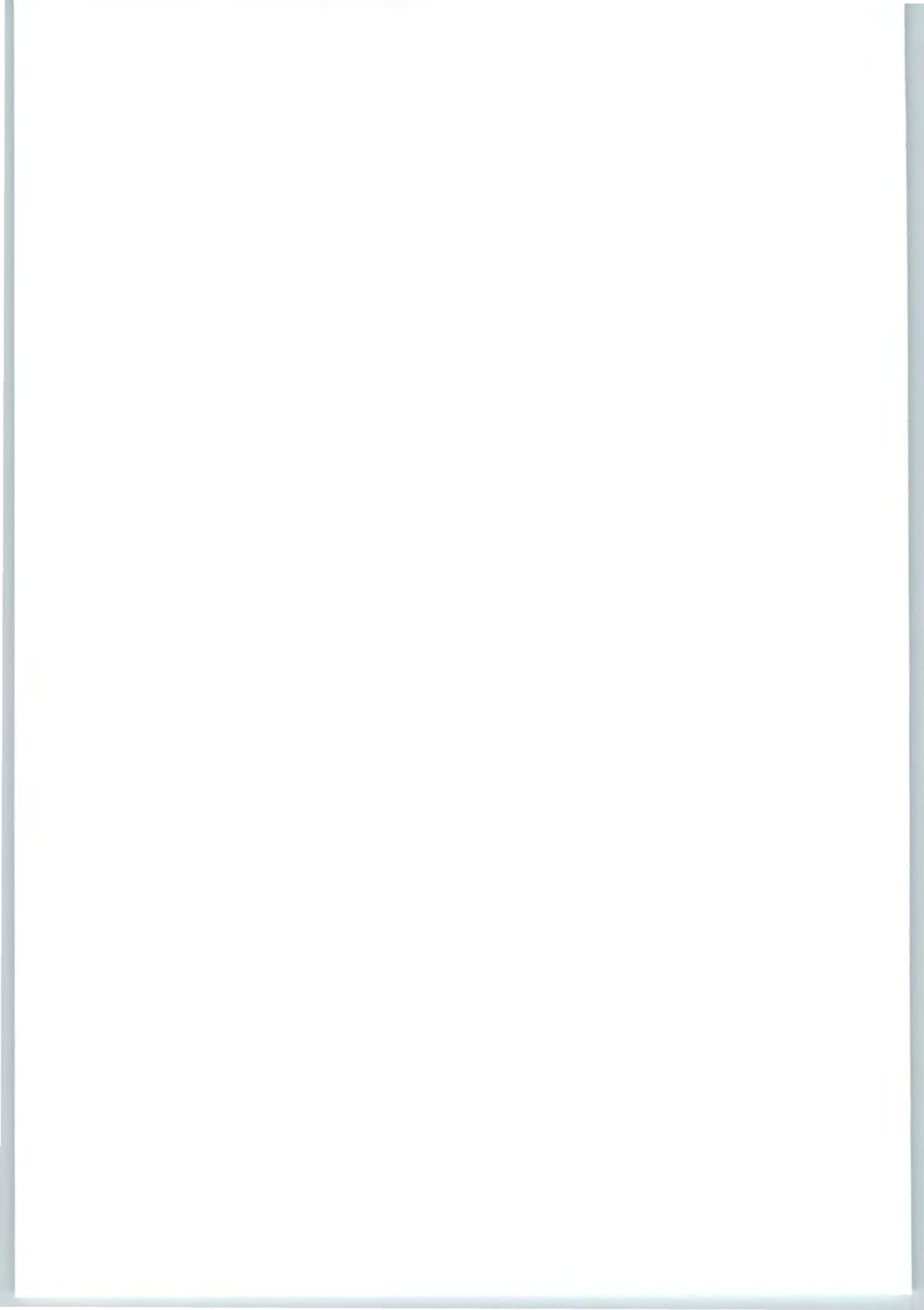
präsentiert auf der
52. Internationalen Handwerksmesse München
die Auszeichnung

Bayerischer Staatspreis
2000

München, 22. März 2000

Der Bayerische Ministerpräsident

Handwritten signature of Günther Beckstein, Ministerpräsident of Bavaria.



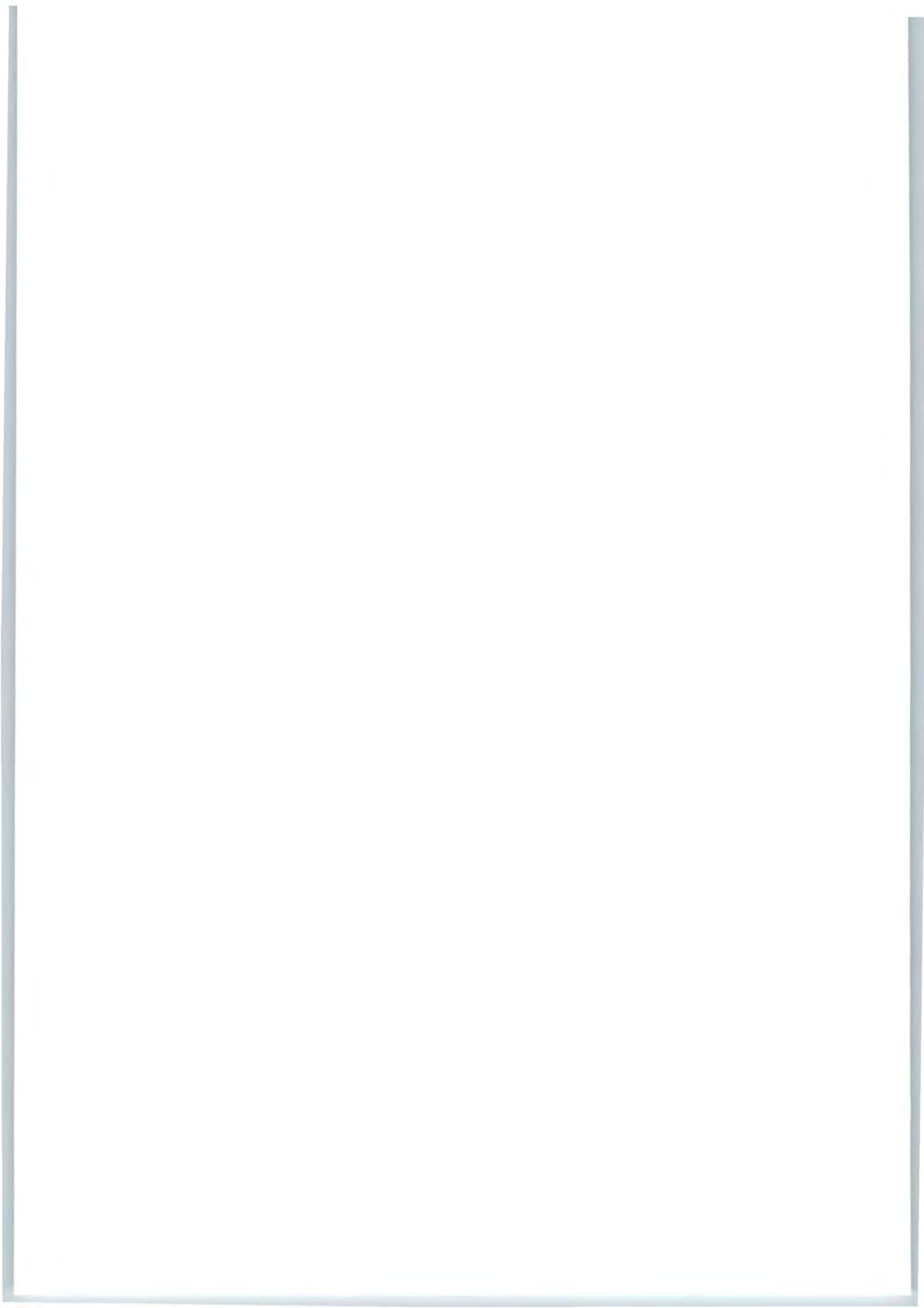
URKUNDE

Im Wettbewerb um den
**Umweltschutzpreis des
nordrhein-westfälischen Handw
erhält**

**Klaus Döhner
PRÄZITEC GmbH, Unna**

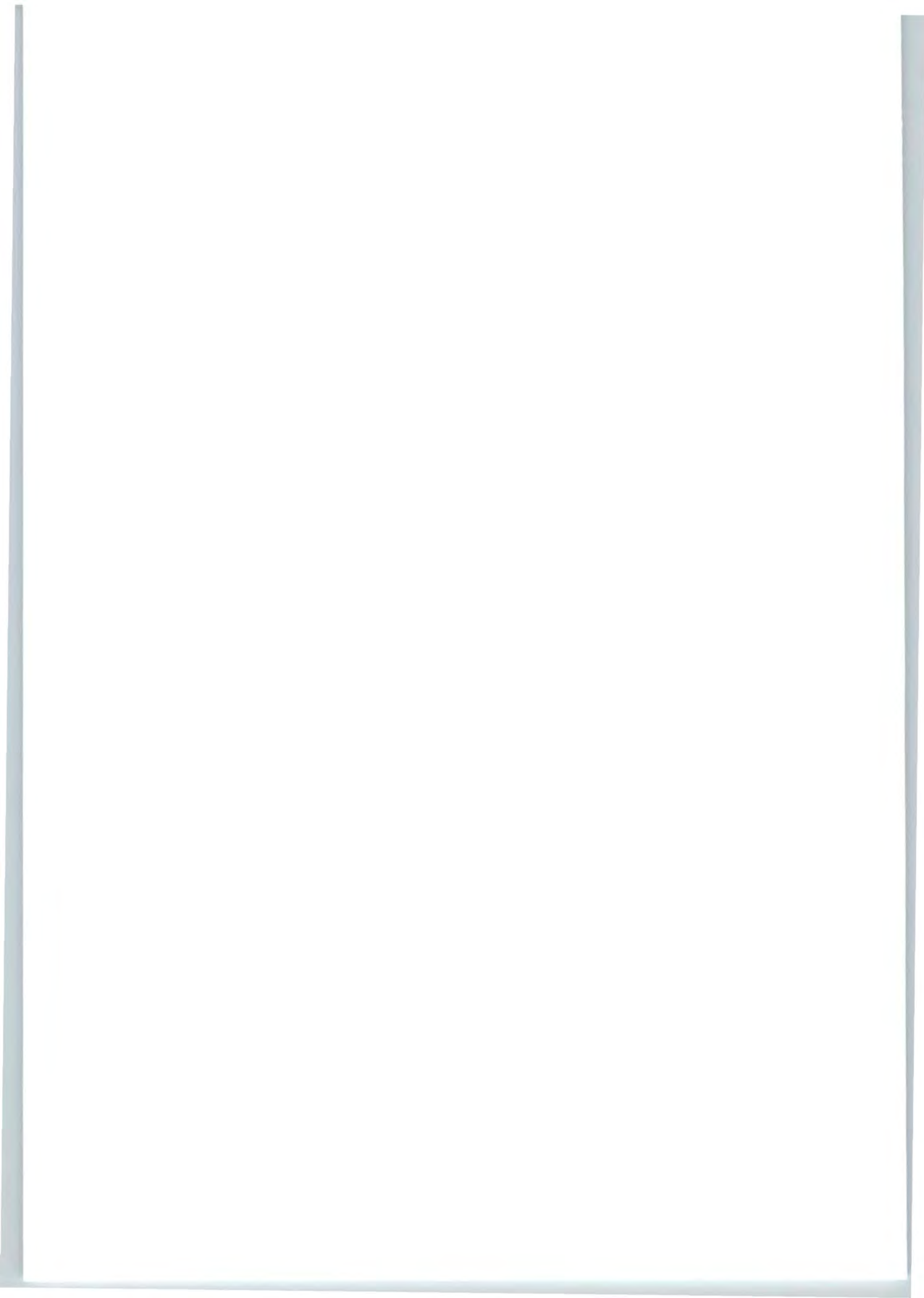
den **2. Preis**

für die Entwicklung eines umweltschonenden Verf
Vibrationsreinigung von Werkstücken



ANLAGE 3

Presseartikel



Produktion: Kühlschmierstoffe werden von der Werkstückoberfläche abgeschleudert und lassen sich problemlos in den Fertigungsprozeß rückführen

Trockenschütteln gleich nach dem Spanen

VDI Nachrichten, Unna, 29. 10. 99 -

Oft sind Werkstücke nach dem Bearbeiten mit Kühlschmiermittel überzogen - das stört Folgeprozesse und bringt Entsorgungsprobleme. Eine neue Vibrationstechnik entfernt diesen Film mit geringem Energieaufwand: Teure Chemikalien werden recycelt und die Umwelt entlastet.

Külschmierstoffe sind wegen ihrer umweltbelastenden Inhaltsstoffe „alles andere als beliebt“, betont Dipl.-Ing. Klaus Döhrer, Inhaber der Firma Präzitec in Unna. Doch trotz erheblicher Anstrengungen, den Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) bei der spanabhebenden Bearbeitung zu verringern, könne in vielen Fällen auch weiterhin nicht auf ihre Verwendung verzichtet werden. So müssen die Werkstücke nach dem Spanen in speziellen Wascheinrichtungen aufwendig gereinigt werden. Die anschließend aus dem Wasser entfernten Schadstoffe sind Sonderabfall, dessen Entsorgung hohe Kosten verursacht.

„Die ständig verschärften Forderungen nach Emissionsminderung und Senkung des Verbrauchs moderner Autos haben dazu geführt, dass die Toleranzforderungen in der Motorenfertigung heute immer enger gefasst werden“ weiß Klaus Döhrer. Deshalb werde es notwendig, eine Maßkontrolle einzuschleiben - etwa bei der Kurbelwellenbearbeitung zwischen Vor- und Fertigbearbeitung. Dazu brauchen die Teile jedoch zuvor eine gründliche Reinigung. Um erhebliche prozesstechnische Nachteile zu vermeiden, muss diese Reinigung in die Fertigungslinie integriert werden: Jede Unterbrechung der Fertigung mit Zwischenpufferung und Durchlaufen zeitaufwendiger Reinigungs-

verfahren würde sonst zu enormen Kosten sowie nachteiligen Auswirkungen auf Prozessbeherrschung und Toleranzen führen. Im Prinzip bedeutet dies, dass für die Reinigung eines solchen Teils ein Zeitraum von lediglich rund 10 s zur Verfügung steht.

„Mit der Frage, wie der Kühlschmierstofffilm in solch kurzer Zeit effektiv von den Teilen herunterzukriegen ist, schlage ich mich schon seit 1991 herum“, verrät Klaus Döhrer. Er beschäftigt sich mit seinem 15-Mann-Betrieb - neben der Übernahme spezieller Bearbeitungsaufträge - seit Jahren erfolg-



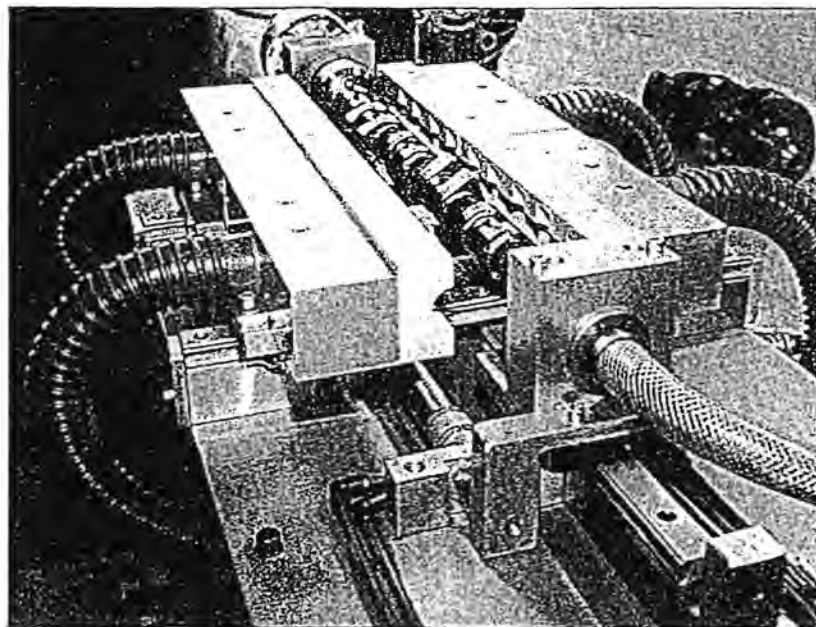
Klaus Döhrer: „Abgeschütteltes Kühlschmiermittel kann in der Regel sofort recycelt werden, was enorme Kosten spart.“

reich mit der Konzeption und Realisierung von Sonderanfertigungen im Bereich Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen. An den ersten Lösungen, die auf pressluftbetriebenen Düsen- und Sauggeräten basierten, störte ihn - neben der unzureichen-

den Wirkung - vor allem die hohe Energieverschwendung aufgrund der schlechten Wirkungsgrade.

„Schließlich kam ich auf die Idee, die Haftkräfte des Öls am Werkstück nicht mit Gewalt anzugreifen, sondern sie quasi zu überlisten“ erinnert sich Döhrer. Mit Hilfe von Schwingungen ist es möglich, auch große Massen mit relativ geringem Energieeinsatz hoch zu beschleunigen - und damit die Haftkräfte der an der Oberfläche „klebenden“ Flüssigkeit leichter zu überwinden. Nach etlichen Vorversuchen konnte er sein Verfahren dann 1996 zum Patent anmelden und zwischenzeitlich zur Einsatzreife weiterentwickeln. Erste Anlagen wurden dann 1997 in eine Prozesslinie für die Fertigung von Kurbelwellen bei einem großen deutschen Kfz-Hersteller integriert. Diese Stationen bestehen aus einem Rahmen mit einem pneumatischen Schwingungsgeber, in dem die Kurbelwellen fest eingespannt werden, und einer geschlossenen Absaugvorrichtung, über welche die abgeschüttelte Flüssigkeit abgesaugt wird. Die Anlage kann die anhaftende KSS-Emulsion innerhalb von 11 s mit einem Wirkungsgrad von 95 % entfernen. „Dabei waren wir mit geschätzten Einsparungen von immerhin einigen DM pro Kurbelwelle nicht nur auf der wirtschaftlichen Seite erfolgreich, sondern leisten auch einen Beitrag zum Umweltschutz“, freut sich Klaus Döhrer. Denn die abgesaugten Kühlschmierstoffe brauchen nicht als Sondermüll entsorgt zu werden, sondern lassen sich wieder im Fertigungsprozess einsetzen.

„Bis jetzt haben wir uns auf relativ einfache, rotationssymmetrische Körper ohne Hohlräume bzw. Hinterschnidungen beschränkt“, ergänzt der Fertigungsexperte. Damit gibt man sich in Unna jedoch nicht zufrieden. Jetzt lautet das erklärte Ziel, das Verfahren auch für komplexere, näherungsweise kubische Körper wie etwa Motorblöcke anwendbar zu machen. Erste Vorversuche zeigten bereits, dass sich auch bei solchen Teilen durch Schwingungen Reinigungseffekte ergeben und sogar die Flüssigkeit aus Sackbohrungen her austreiben



Mit Hilfe formangepasster Absaugvorrichtungen wird die durch Vibration abgeschleuderte Flüssigkeit in den Fertigungsprozess rückgeführt. Foto (2): Vollrath

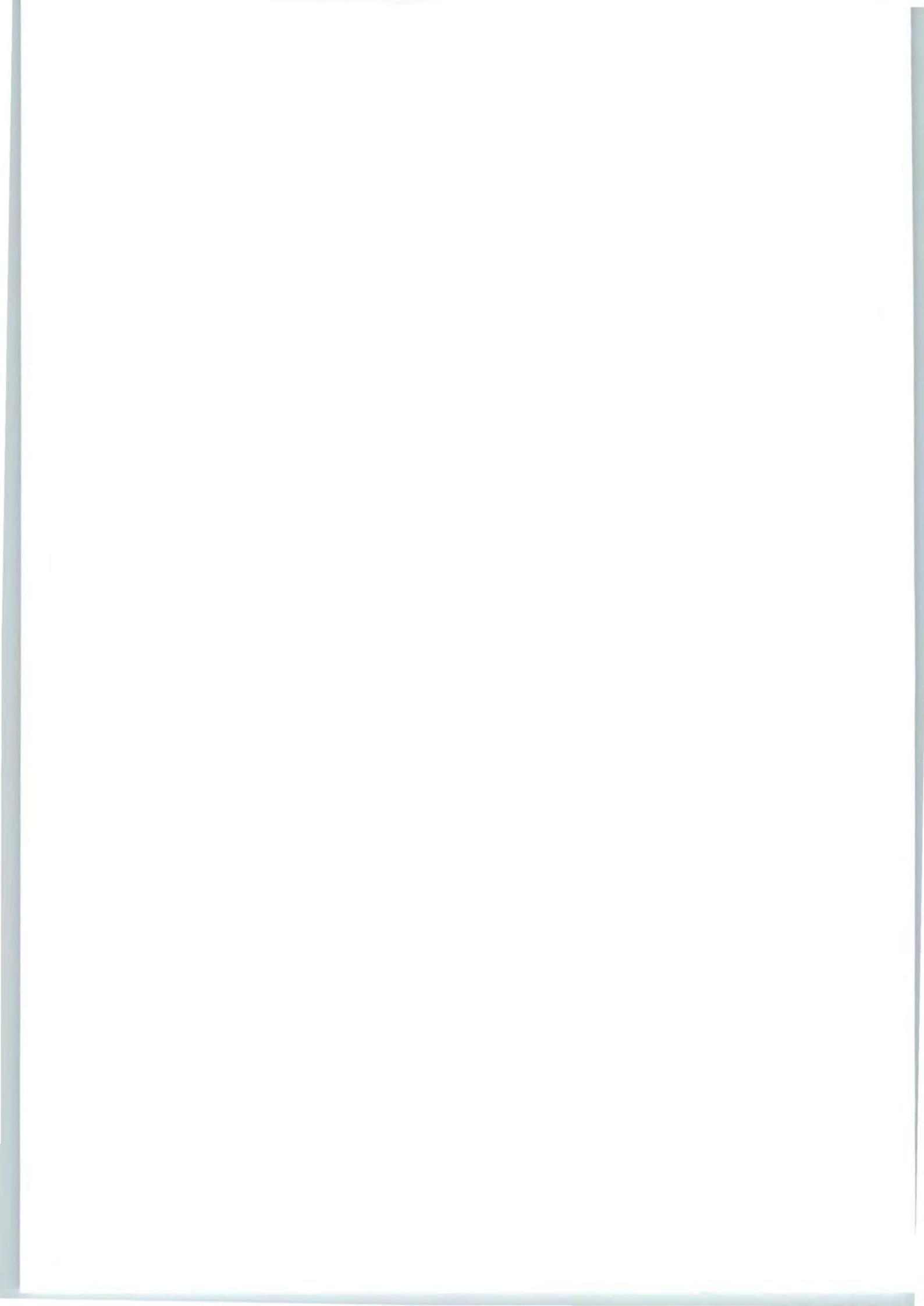
lässt. Auf der anderen Seite wird die Aufgabenstellung jedoch wesentlich komplizierter, da die Ermittlung und Erzeugung der optimalen Schwingungsformen im Werkstück aufgrund der komplexen Geometrie erheblich aufwendiger ist als bei rotationssymmetrischen Teilen. Diese Technologieentwicklung soll jetzt im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, geförderten Forschungsprojekts weiter vorangetrieben werden.

„Wenn es gelingt, diese Verfahren auch bei komplizierter geformten Bauteilen einzusetzen, ist eine positive Wirkung für den Umweltschutz bei vielen weiteren industriellen Prozessen zu erwarten“, beschreibt Klaus Döhrer seine Vision. Damit sei die Verminderung zum Beispiel von Badverschleppungen in der Galvanik ebenso denkbar wie die Verringerung der Austragsverluste bei

allen möglichen „nassen“ Reinigungsprozessen; aber auch beim Härten in Salz- bzw. Ölbädern. Das Wirkprinzip ermöglichte zudem den Einsatz nicht nur bei flüssigen, sondern auch bei festen Anhaftungen bzw. Verschmutzungen.

„Eine hundertprozentige Sauberkeit der Teile im Sinne einer Endreinigung erreichen wir mit unserem Verfahren allerdings nicht“, stellt Klaus Döhrer klar. Sinnvoll sei der Einsatz jedoch in den vielen Fällen, wo eine Zwischenreinigung erforderlich werde oder die Minimierung des Verlustes bzw. die Verschleppung teurer Badchemikalien im Vordergrund stehe. Die abgeschüttelte und abgesaugte Flüssigkeit könne in der Regel direkt recycelt werden: „Das spart Kosten, eventuell nachfolgende Reinigungsbäder sind länger nutzbar und die Menge an Sonderabfällen wird deutlich verringert.“

KLAUS VOLLRATH



WAZ

29. März 2000

Erfinder von der Mühlenstraße brütete und kam auf den Hund

Ausgezeichnet: Unnaer Ingenieur schüttelt teuren Schmierfilm ab

Unna. (gk) Die Industrie kämpft mit Pressluft und teuren Reinigungsmitteln gegen den lästigen Schmierfilm auf Metallteilen. Der Unnaer Maschinenbau-Ingenieur Klaus Döhrer grübelte lange schon über kostengünstige und umweltfreundliche Alternativen. Und kam auf den Hund: Als sein schwarzer Mischlings-Rüde mal wieder die Tropfen aus dem nassen Fell schüttelte, zündete die inzwischen mehrfach ausgezeichnete Idee. Die lästigen Schmiermittel werden durch Vibrationen einfach abgeschüttelt.

„Vibro-tec“ nennt sich das Verfahren, das Döhrer sich inzwischen weltweit patentieren ließ. Und dem Chef der kleinen Maschinenbau-Firma Präzitec an der Mühlenstraße brachte das nicht nur den „Adalbert-Seifriz-Preis“ aus Baden-Württemberg ein. Auch auf der bayrischen Handwerksmesse in München wurde Döhrer jetzt mit dem bayrischen Staatspreis ausgezeichnet.

Nach einem großen Autokonzern interessieren sich jetzt zahlreiche Hersteller, voran Kugellager-Produzenten, für die Innovation aus Unna.

Das Problem: Ob Zylinder, Kurbelwelle oder Lager - bei der Herstellung vieler Metallteile sind Kühlschmiermittel an Bohrer oder Fräsen notwendig. Die anschließende Reinigung ist seit Jahren ein Problem: Giftige Kohlenwasserstoffe sind längst verboten, mit speziellen Waschanlagen oder Pressluft-Säuberungen arbeitet die Industrie. Teuer und aufwendig, sagt Döhrer, dessen Firma in Unna mit 15 Mitarbeitern bisher hauptsächlich Spezialanfertigungen für die



Klaus Döhrer: Der Präzitec-Chef wurde für seine Reinigungsanlage jetzt mit mehreren Preisen ausgezeichnet. Bild: Hegert

chemische Industrie produziert. Der Energieaufwand ist hoch, die verschmutzten Reinigungsmittel sind teure Sonderabfälle.

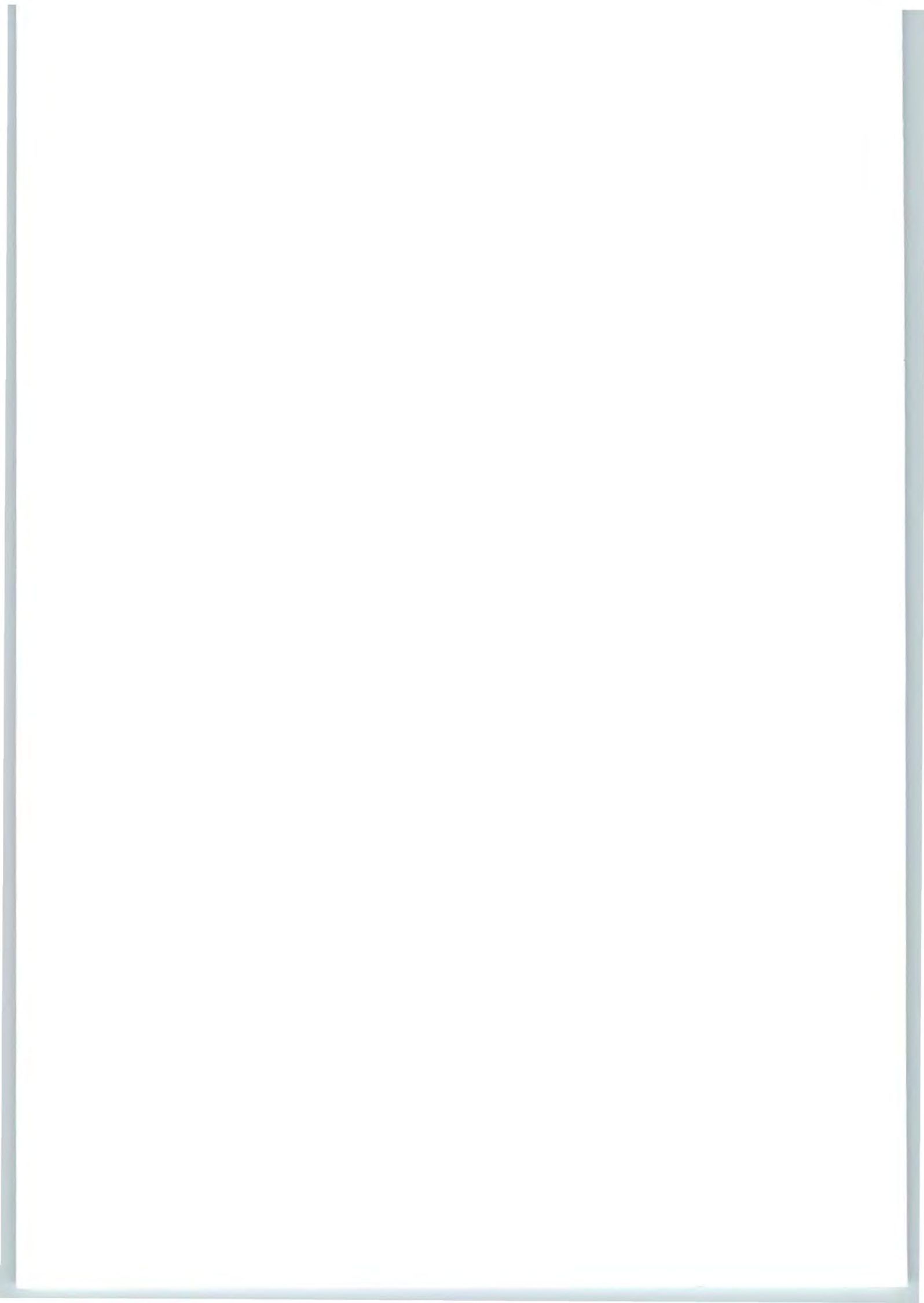
Alternative: Öl samt Schmutz werden durch eine ausgefeilte Technik einfach vom Werkstück „abgeschüttelt“ und abgesaugt. Beide sind dann wieder zu verwerten. Kosten gegenüber bisherigen Lösungen: „20 Prozent“, sagt Döhrer - die teure Entsorgung der anderen Lösungen ist da noch nicht mal mitgerechnet.

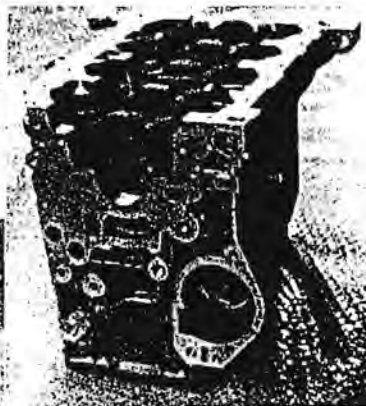
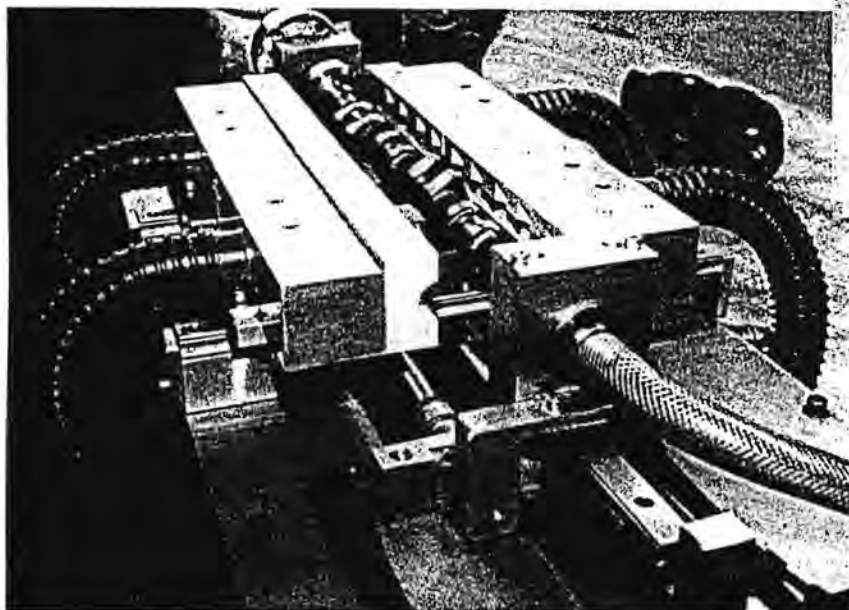
1,5 Millionen Mark hat Döhrer seit 1991 in die Entwicklung gesteckt - allein rund 300 000 Mark kosteten die Patentanmeldungen. Und jetzt, nachdem Fachzeitschriften über das neue Verfahren aus Unna berichten, er die Preise gleich serienweise sammelte, gibt's auch zahlreiche Anfragen. Nach dem VW-Konzern,

der schon erste Anlagen in der Kurbelwellenproduktion nutzte, meldeten sich jetzt vor allem große Kugellager-Produzenten aus Süddeutschland. Über 400 Vibrationsanlagen zum Stückpreis von rund 40 000 Mark verhandelt Döhrer aktuell.

Und brütet parallel noch weiter: Sein Patent könnte nicht nur in der Metallindustrie, sondern auch bei Papierproduzenten oder in Großdruckereien genutzt werden. Auch die plagen sich mit Schmutz auf ihren Produkten.

Was Döhrer allerdings aufstieß: Im Gegensatz zu den Süddeutschen interessierten sich die Wirtschaftsförderer von Land und Kreis bisher nicht für den erfinderischen Handwerker aus Unna. Die Handwerkskammer und der Dortmunder Professor Mathias Uhle waren Helfer.





Die durch Vibration von der Nockenwelle abgeschüttelte Flüssigkeit (oben) wird mit Hilfe von formangepassten Absaugvorrichtungen (links) wiedergewonnen.

Einmal sauber schütteln bitte!

Bei vielen „nassen“ Prozessen sind die Werkstücke anschließend von einem Feuchtigkeitsfilm überzogen, der Folgeprobleme stört und Entsorgungsprobleme verursacht. Ein neues Vibrationsverfahren entfernt diese Anhaftungen schnell und mit geringem Energieaufwand.

Trotz erheblicher Anstrengungen, den Einsatz von Kühlschmierstoffen (KSS) bei der spanabhebenden Bearbeitung zu verringern, kann häufig nicht völlig auf ihre Verwendung verzichtet werden. Die benetzten Werkstücke müssen in speziellen Wascheinrichtungen aufwendig gereinigt und die aus dem Waschwasser entfernten Schadstoffe als Sonderabfall entsorgt werden.

Die Toleranzanforderungen bei der Fertigung von Automotoren werden heute immer enger gefasst. So ist z. B. bei der Kurbelwellenbearbeitung zwischen Vor- und Fertigbearbeitungsprozess eine Maßkontrolle einzuschleichen. Dazu ist jedoch eine Reinigung der Teile erforderlich. Um erhebliche prozesstechnische Nachteile zu vermeiden, muss

diese Reinigung in die Fertigungslinie integriert werden. Für den Vorgang steht lediglich ein Zeitraum von rund zehn Sekunden zur Verfügung.

Mit der Frage, wie der Kühlschmierstoff-Film in solch kurzer Zeit effektiv von den Teilen zu entfernen ist, befasst sich Klaus Döhrer bereits seit 1991. Er ist Inhaber der Firma Präzitec, einem 15-Mann-Betrieb, der Sonderanfertigungen im Bereich Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen konzipiert und realisiert.

Innerhalb Sekunden: Überwindung der Haftkräfte

An den ersten Lösungen, die auf pressluftbetriebenen Düsen- und Sauggeräten basierten, störte neben der unzureichenden Wirkung vor allem der hohe Energieaufwand. „Schließlich kam ich auf die Idee, die Haftkräfte des Öls am Werkstück nicht mit Gewalt anzugehen, sondern zu versuchen, sie quasi zu überlisten“, erklärt Klaus Döhrer. Mit Hilfe von Schwingungen ist es möglich, auch große Massen mit relativ geringem Energieeinsatz hoch zu beschleunigen und damit die Haftkräfte der an der Oberfläche „klebenden“ Flüssigkeit leichter zu überwinden. Das neue Verfahren wurde 1996 zum Patent angemeldet und zwischenzeitlich zur Einsatzreife wei-

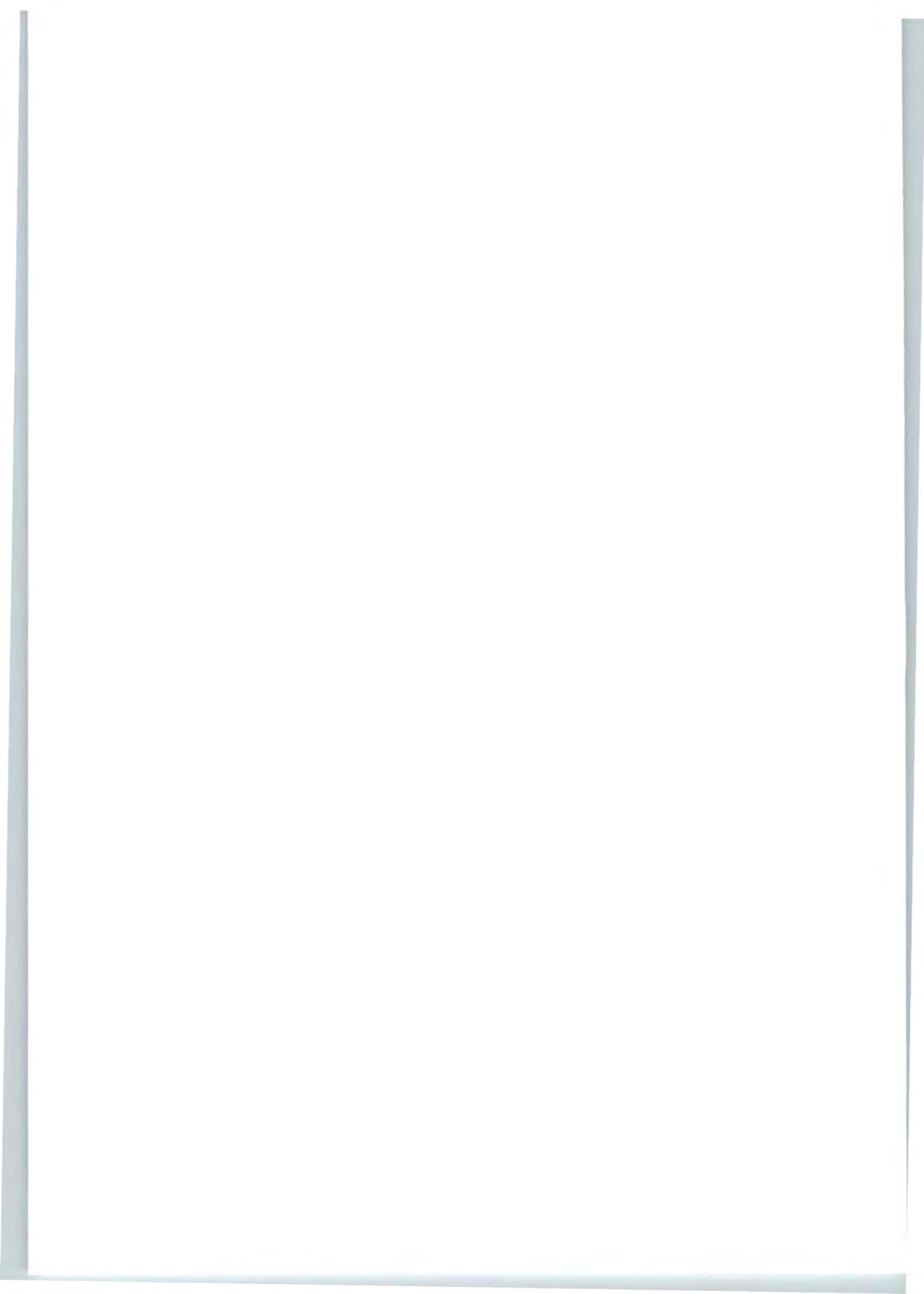
terentwickelt. Erste Anlagen wurden 1997 bei einem großen deutschen Kfz-Hersteller in eine Prozesslinie für die Fertigung von Kurbelwellen integriert. Die Anlagen bestehen aus einem Rahmen mit einem pneumatischen Schwingungsgeber, in dem die Kurbelwellen fest eingespannt werden, und einer geschlossenen Absaugvorrichtung, über die die abgeschüttelte Flüssigkeit abgeführt wird. Die Anlagen können die anhaftende KSS-Emulsion innerhalb von elf Sekunden mit einem Wirkungsgrad von 95% entfernen. Hiermit ergeben sich geschätzte Einsparungen von immerhin einigen Mark pro Kurbelwelle. Die abgesaugten KSS werden wieder im Prozess eingesetzt und brauchen nicht als Sondermüll entsorgt werden.

Komplexere Geometrien im Visier

Bis jetzt hat sich der Einsatz auf relativ einfache, rotationssymmetrische Körper beschränkt. Ziel ist es, das Verfahren auch für komplexere, näherungsweise kubische Körper wie z.B. Motorblöcke anwendbar zu machen. Diese Technologieentwicklung soll im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Osnabrück) geförderten Forschungsprojekts weiter vorangetrieben werden. Mit ihr wäre die Verminderung von Badverschleppungen in der Galvanik ebenso denkbar wie die Verringerung der Austragsverluste bei verschiedenen „nassen“ Reinigungsprozessen oder beim Härten in Salz- bzw. Ölbädern. Das Wirkprinzip ermöglicht zudem einen Einsatz bei festen Anhaftungen bzw. Verschmutzungen.

Eine hundertprozentige Sauberkeit der Teile im Sinne einer Endreinigung ist allerdings nicht erreichbar. Sinnvoll ist der Einsatz, wo eine Zwischenreinigung erforderlich ist oder die Minimierung des Verlustes teurer Bäder bzw. der Verschleppung von Badchemikalien im Vordergrund steht.

Kontakt: Präzitec (Umma), Tel: 0 23 03-25 15 60



Schütteln statt waschen

Verringerung von Badverschleppungen

Reste von Prozessflüssigkeiten an Bauteilen verursachen Badverluste, Störungen der Folgeprozesse und Entsorgungsprobleme. Abhilfe verspricht ein neues Vibrations-Saugverfahren, das diese Anhaftungen mit geringem Energieaufwand entfernt.

Die Firma Präzitec aus Unna beschäftigt sich seit 1991 mit Problemstellungen zur effektiven Entfernung von Kühlschmierstoffen (KSS) von bearbeiteten Teilen. Neben speziellen Bearbeitungsaufträgen ist der 15-Mann-Betrieb im Bereich Kon-

Erste Anlagen wurden 1997 in eine Prozesslinie für die Fertigung von Kurbelwellen bei einem großen deutschen Kfz-Hersteller integriert. Diese Stationen bestehen aus einem Rahmen mit einem pneumatischen Schwingungsgeber, in

Innen- und Außenringen oder Käfigen erfolgt hier unter Öl. Zur Reinigung müssen die Teile in Petroleum gewaschen werden. Nach einer Abtropfstrecke gelangen die Bauteile in ein Konservierungsbad und von da aus nochmals auf eine Tropfstrecke. Mittlerweile wird versucht, das Petroleumbad durch eine Schüttel-Saug-Reinigung zu ersetzen. Wenn das Projekt erfolgreich ist, kann ganz auf das Petroleumbad verzichtet werden, und die gereinigten Teile lassen sich unmittelbar in das Konservierungsbad überführen.

Durch eine kontrollierte Absaugung des Konservierungsmediums in einer zweiten Station ist außerdem die Dicke der Konservierungsschicht präzise einstellbar. Vorläufige Berechnungen haben ergeben, dass dadurch Einsparungen von etwa 60 Prozent beim Verbrauch an Konservierungsmittel möglich würden.

Bild 1. Pilotanlage für die Reinigung von ringförmigen Bauteilen



zeption und Realisierung von Sonderanfertigungen für Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen tätig. Die ersten Lösungen basierten auf pressluftbetriebenen Düsen- und Sauggeräten. Neben der unzureichenden Wirkung war vor allem der hohe Energieverbrauch aufgrund der schlechten Wirkungsgrade nachteilig.

Der Grund für den Wirkungsgrad sind die hohen Haftkräfte zwischen Werkstückoberfläche und Flüssigkeit. Mit Hilfe von Schwingungen ist es jedoch möglich, auch große Massen wie Motorblöcke mit relativ geringem Energieeinsatz hoch zu beschleunigen. Mit Hilfe dieses Prinzips lassen sich die Haftkräfte zwischen Oberfläche und Flüssigkeit besonders effizient überwinden. Wird dieses Verfahren mit einer wirksamen Absaugung kombiniert, kann ein Werkstück innerhalb von Sekunden weitestgehend gesäubert werden.

dem die Kurbelwellen fest eingespannt werden, und einer geschlossenen Absaugvorrichtung, über welche die abgeschüttelte Flüssigkeit abgesaugt wird. Mit Hilfe der Anlage lässt sich die anhaftende KSS-Emulsion innerhalb von elf Sekunden mit einem Wirkungsgrad von 95 Prozent entfernen.

Damit wird neben geschätzten Einsparungen von einigen DM pro Kurbelwelle auch ein Beitrag zum Umweltschutz geleistet, da die abgesaugten Kühlschmierstoffe nicht als Sondermüll entsorgt werden müssen, sondern wieder im Prozess eingesetzt werden.

Einsparen von Zwischenprozessen

Besonders interessant ist das Verfahren beispielsweise bei der Herstellung von Kugellagern. Die Feinbearbeitung von

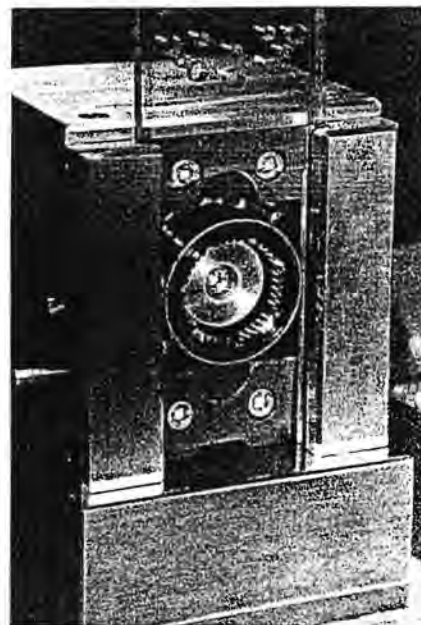


Bild 2. Vorrichtung für das Absaugen unter Vibrationseinfluss

