
PRÄZITEC Gesellschaft für Präzisions-Bearbeitungstechnik
und Werkzeugbau GmbH
Unna

Entwicklung, Bau und Erprobung eines produktionsintegrierten Verfahrens zur Naßreinigung mit Vibrationen von im Trok- kenzerspannungsprozeß bearbeiteten Teilen für Maschinen, Motoren und Anlagen

Acronym: Vibrations-Naßreinigungsverfahren

Abschlußbericht

**über ein Entwicklungsprojekt,
gefördert von der**

DBU Deutschen Bundesstiftung Umwelt

unter AZ: 24644 – 21 / 0

von

Dipl. Ing. Klaus Döhrer

Februar 2008

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	24644	Referat	21/0	Fördersumme	123.315,00 EUR
Antragstitel		Entwicklung, Bau und Erprobung eines produktionsintegrierten Verfahrens zur Naßreinigung mit Vibrationen von im Trockenzerspanungsprozeß bearbeiteten Teilen für Maschinen, Motoren und Anlagen Acronym: Vibrations-Naßreinigungsverfahren			
Stichworte		Reinigungsverfahren, HPC, Minimalmengenschmierung, Vibrationsreinigung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
12 Monate		15.12.2006		14.12.2007	
				Projektphase(n)	
				keine	
Zwischenberichte		alle 6 Monate Kurzbericht			
Bewilligungsempfänger		PRÄZITEC Gesellschaft f. Präzisions-Bearbeitungstechnik und Werkzeugbau mbH		Tel 02303-25156-0	
		Feldstraße 5		Fax 02303-25156-20	
		59423 Unna		Projektleitung	
				Dipl. Ing. Klaus Döhrer	
				Bearbeiter	
Kooperationspartner					
Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens					
<p>Gegenstand des Vorhabens war die Entwicklung eines wartungsarmen, taktkompatiblen, robusten und prozeßsicheren Verfahrens zur Reinigung von Werkstücken in der laufenden Fertigung in der gesamten industriellen Teilefertigung. Damit wird eine wichtige Forderung der Unternehmen erfüllt, nämlich: Reduzierung der Bearbeitungszeiten und damit Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in einem globalen Markt. Bisher hat die Reinigungstechnik mit den hochentwickelten Bearbeitungsmaschinen nicht Schritt halten können. In-line-Fähigkeit, Taktkompatibilität, Integrationsfähigkeit in bestehende Anlagen, niedriger Energieeinsatz sowie leichte Bedienbarkeit bei gleichzeitig niedrigsten Wartungsansprüchen sind daher absolut notwendig, damit die bisher erzielten Zeit- und Kosteneinsparungen bei der spanenden Fertigung nicht sogleich durch zeitaufwendige und anachronistische Reinigungsstufen gemindert werden.</p>					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
<ol style="list-style-type: none"> 1. Ermitteln der Anforderungen aus Anwendersicht Systematisierung als Grundlage zur Erstellung des Pflichtenheftes 2. Entwicklung des Reinigungssystems Teilsystem 1: Ermittlung geeigneter Reinigungsstrategie (Versuche, Modellierung, Berechnungen) Teilsystem 2: Entwicklung Vibrationsverfahren Teilsystem 3: Entwicklung/Optimierung Badkreislauf 3. Engineering für die Baugruppen Basic/Detail-Engineering für das „Reinigungsverfahren“ Basic/Detail-Engineering für die „Adaption an Robotersysteme“ Basic/Detail-Engineering für die „Anlagensteuerung“ 4. Fertigung von Erprobungsmustern 5. Probetrieb / Workshop Verifizierung Reinigungsverfahren durch praktische Reinigungsaufgaben 					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • http://www.dbu.de					

Ergebnisse und Diskussion

Das **wichtigste Ergebnis** des Projektes ist, daß das **Vorhabensziel**, ein Vibrationsreinigungsverfahren mit prozeßintegrierter Wäsche, das hohe Umweltansprüche erfüllt, **erreicht** und nachgewiesen werden konnte.

Das Verfahren ermöglicht einen bisher nicht erreichten Reinheitsgrad der gereinigten Teile. Die gewünschten Partikelgrößen und Mengen der Restanhaftungen werden prozeßsicher eingehalten, Öle und Kühlschmierstoffe nicht ausgeschleppt. Die Anlagen sind – nicht zuletzt wegen des modularen Aufbaus – so konzipiert, daß sie direkt in die Produktionslinien integriert werden können.

Vorteil 1: Jedes gefertigte Teil kann vor Ort an der Bearbeitungsmaschine im Fertigungstakt gereinigt werden; die abgesaugten Öle und Kühlschmierstoffe werden aufgefangen und wiederverwertet.

Vorteil 2: Alle gereinigten Teile können ohne Umweg dem nächsten Bearbeitungsschritt zugeführt werden.

Dies bedeutet, daß für die industriellen Teile-Fertiger nunmehr ein erprobtes Basisverfahren zur Verfügung steht, das einen dezentralen Reinigungseinsatz an denjenigen Orten in den Fertigungslinien ermöglicht, an denen die Reinigungsaufgabe entsteht, ohne daß die Teile innerbetrieblich verbracht werden müssen.

Durch die verschleppungsfreie Reinigungsmethode werden Öle- bzw. Kühlschmierstoffe eingespart.

Üblicherweise eingesetzte Lösungsmittel werden bei dem entwickelten Verfahren nicht benötigt, das Verfahren arbeitet vollkommen lösungsmittelfrei. Es finden auch keine Temperaturerhöhungen statt, wie dies bei anderen Verfahren unumgänglich ist.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Während der Entwicklung wurden zahlreiche Kontakte zu KMUs, Anwendern und industriellen Fertigern aufgenommen. In den einschlägigen Medien wurde über die Entwicklung berichtet, darunter im Messeführer ‚parts2clean‘, Jahrg. 61 (2007), im Industrieanzeiger PR 1/2007. Auf der Messe ‚parts2clean‘ wurde das System in Modulbauweise im Jahr 2007 in Stuttgart demonstriert (Halle 9, Stand D 432) und stieß auf reges Interesse bei den potentiellen Anwendern. Im Rahmen des Landesstandes NRW wurde das grundlegende Verfahren auf der Hannover-Messe im April 2007 der Öffentlichkeit vorgestellt. Im Rahmen eines Workshops mit End-usern wurde die Technologie demonstriert und ist auf reges Interesse gestoßen. Versuche mit Teilen aus der laufenden Fertigung wurden bei ZF erfolgreich durchgeführt.

Fazit

Mit dem von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt konnte eine weitere Innovation zur umweltfreundlichen und industriegerechten Reinigung von Bauteilen realisiert werden. Temperaturerhöhungen, Lösungsmiteleinsatz und innerbetrieblicher Teile-Tourismus ist damit nicht mehr erforderlich. Auf diese Weise kann die umweltentlastende Reinigung überall dort vor Ort erfolgen, wo höchste Ansprüche an die Teilefertigung und ihre Reinigung gestellt werden. Mit dieser Technologie tritt - neben den Umweltentlastungen - eine Stärkung der Wettbewerbssituation gerade für KMUs, aber auch in Großbetrieben der mechanischen Fertigung, ein.

Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190

Inhalt

- 1 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen
- 2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen
- 3 Zusammenfassung
- 4 Einleitung
- 5 Hauptteil
- 6 Fazit

1 Verzeichnis von Bildern, Zeichnungen, Grafiken und Tabellen

- Abb. 1 Projektleiter zeigt Integriertes Reinigungssystem
- Abb. 2 Blick in das Reinigungssystem mit der Werkstück-Aufnahme
- Abb. 3 Detail: Formteil zur formschlüssigen Aufnahme des Werkstückes
- Abb. 4 Detail: Formteil mit eingelegtem Werkstück
- Abb. 5 Detail: Formteile geschlossen
- Abb. 6 Tabelle: Übersicht über die erzielten Ergebnisse
- Abb. 7 Reinigungssystem fügt sich organisch in die Fertigungslinie ein
- Abb. 8 Einige der Teile, mit denen das Reinigungssystem getestet wurde
- Abb. 9 Modularer Aufbau vs. integrierter Aufbau
- Abb. 10 Eine alltägliche Aufgabe: Reinigung eines Massenteils (Schnecken)
- Abb. 11 Bisher: Manuelle Reinigung mit dem Putzlappen
- Abb. 12 Bisher: Spülbecken an zentraler Stelle im Betrieb
- Abb. 13 Bisher: Spülkabine an zentraler Stelle im Betrieb
- Abb. 14 Der ‚SINNERSche Kreis mit den grundlegenden Reinigungsmethoden
- Abb. 15 Tabelle: Gegenüberstellung der bisherigen Verfahren und des neuen Systems
- Abb. 16 Schematischer Aufbau der Arbeitskammer
- Abb. 17 Der Baugruppen-Strukturplan des Reinigungssystems
- Abb. 18 Das Sockelmodul
- Abb. 19 Das Reinigermodul
- Abb. 20 Das Verdichtermodul
- Abb. 21 Das Saugmodul
- Abb. 22 Die Reinigungsanlage in integrierter Bauform
- Abb. 23 Blick in die Steuerung der integrierten Anlage
- Abb. 24 Verdichter und Öl-Auffangbehälter in der integrierten Anlage
- Abb. 25 Adaptionenmodule für unterschiedliche Reinigungsaufgaben
- Abb. 26 Die Schritte des Präzitec-Verfahrens

2 Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

Es werden durchgängig die in der Physik üblichen Einheiten benutzt¹.

¹ Symbole, Einheiten und Nomenklatur in der Physik, Dt. Ausgabe von *Symbols, Units and Nomenclature in Physics*, Document U. I. P. 20 (1978), Physik Verlag, Weinheim, 1980

3 Zusammenfassung

Durchgeführte Untersuchungen, Entwicklungen, Modellanwendungen mit Angabe des Ziels

Ziel:

Entwicklung eines wartungsarmen, taktkompatiblen und robusten Verfahrens zur Reinigung von Werkstücken in der laufenden industriellen Teile-Fertigung

Die Entwicklung basierte auf einem von Dipl.-Ing. Klaus Döhler patentierten Vibrationsreinigungsverfahren für den industriellen Einsatz in der Serienfertigung.

Damit wird eine wichtige Forderung der industriellen Fertigungs-Unternehmen erfüllt, nämlich: Reduzierung der Bearbeitungszeiten und damit Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit in einem globalen Markt. Bisher hat die Reinigungstechnik mit den hochentwickelten Hochgeschwindigkeits-Bearbeitungsmaschinen nicht Schritt halten können. In-line-Fähigkeit, Taktkompatibilität, Integrationsfähigkeit in bestehende Anlagen, niedriger Energieeinsatz sowie leichte Bedienbarkeit bei gleichzeitig niedrigsten Wartungsansprüchen sind daher absolut notwendig, damit die bisher erzielten Zeit- und Kosteneinsparungen bei der spanenden Fertigung nicht sogleich durch zeitaufwendige und anachronistische Reinigungsstufen gemindert werden.

Stark fluktuierende Einsatzbedingungen, wie sie in der täglichen Praxis der zumeist kleinen / mittelständischen Fertiger vorkommen, erschweren die Anforderungen an das Verfahren ebenso wie der teilweise recht unterschiedliche zur Verfügung stehende Platz und Einbauort für die Anlage. Die heterogene Struktur der Anforderungen machte eine Vielzahl von Detailentwicklungen notwendig.

Das entwickelte Verfahren wurde mit unterschiedlichen Bauteilen verschiedener Größen und Topographien aus der Praxis modellhaft erprobt und verifiziert, um verschiedene Vertreter aus der Industrie die Möglichkeit zu geben, Probestücke aus der eigenen Fertigung reinigen zu lassen und sich von der Eignung des neuen Verfahrens zu überzeugen.

Erzielte Ergebnisse

Das Hauptergebnis des Projektes bestand in einem voll funktionsfähigen Erprobungsmuster einer Vibrations-Reinigungsanlage, mit dem im Probetrieb prozeßsicher und spezifiziert gereinigt werden kann.

Abbildung 1 zeigt die Anlage mit einem Werkstück; es handelt sich um eine Welle aus einem LKW-Getriebe, das wegen der zerklüfteten Topographie und den darin befindlichen Bearbeitungsrückständen auf herkömmlichem Wege nur schwer und mit beträchtlichem Aufwand gereinigt werden konnte.

Für die Reinigung von axialsymmetrischen Teilen wurde ein spezieller Klappenmechanismus entwickelt, mit dem eine segmentierte Absaugung des Werkstückes möglich ist. Damit wird eine sehr sensibel auf die Werkstücksgeometrie abgestimmte Reinigungs-Strategie möglich.

Um die Anström- und Durchströmgeschwindigkeiten im Reinigungskanal zu maximieren, war es notwendig, die zwangsläufig zwischen Reinigungsgut und Reinigungskammer entstehenden Toträume zu minimieren. Hierfür wurde ein praxisgerechtes Verfahren zur einfachen Herstellung von Formkörpern entwickelt, die eng an den Werkstücken anliegen.



Abb. 1: Der Projektleiter, Dipl.-Ing. Klaus Döhner weist auf die geöffnete Reinigungskammer, bestehend aus den Formbacken (weißer Kunststoff). Die Zentrierung und der Antrieb des Reinigungsgutes erfolgt über die links und rechts befindlichen Werkstückaufnahmen.

Abb. 2: Blick in die geöffnete Anlage; eine zu reinigende Welle aus dem Getriebebau befindet sich oberhalb der weißen Kunststoffform, die das Werkstück nach vollständigem Absenken eng umschließt und damit den Totraum drastisch reduziert.

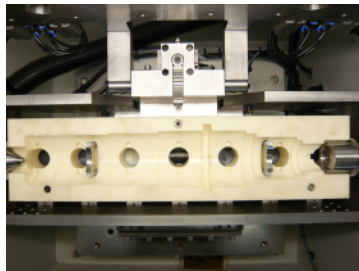


Abb. 3: Unteres Formteil: Deutlich sind die Öffnungen für den Preßlufteinlaß bzw. die Absaugöffnungen zu sehen, die über einen Klappenmechanismus gesteuert werden.

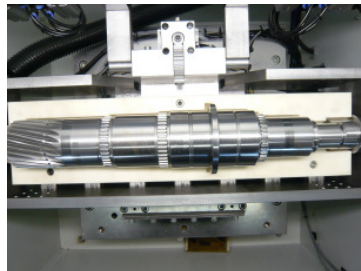


Abb. 4: Das Reinigungsgut – im Foto ist eine Getriebewelle zu sehen – wurde vor Ort gebracht



Abb. 5: Das obere Formteil ist heruntergefahren und die Reinigungskammer damit geschlossen.

Während die zu reinigenden Teile zunächst unter Einwirkung von Kaltreiniger und Vibrationen gereinigt wurden, hat die Entwicklung in diesem Projekt dazu geführt, daß der Einsatz von Kaltreinigern in umweltentlastender Weise überflüssig wurde.

Stattdessen wird nunmehr das vom vorangehenden Zerspan-Prozeß stammende Medium – es handelt sich um Kühlschmierstoffe bzw. Öl – durch ebendieses als Reinigungsfluid ersetzt. Dabei wird das Reinigungsfluid innerhalb der Reinigungsanlage gefiltert und im geschlossenen Kreislauf gefahren. Auf diese Weise werden nunmehr keinerlei Lösungsmittel, Öle und Kühlschmierstoffe verschleppt. Selbstverständlich kann – abhängig von der Reinigungsaufgabe – auch auf ein Spülmedium verzichtet werden.

Je nach Reinigungsaufgabe werden also verschiedene Reinigungsverfahren einzeln oder kombiniert angewendet.

Reinigungsaufgabe	Absaugen	Vibration	Spülen
Anhaftungen mit geringer Adhäsion am Werkstück	✓		
Anhaftungen mit mittlerer Adhäsion am Werkstück	✓	✓	
Anhaftungen mit hoher Adhäsion am Werkstück	✓	✓	✓

Die Reinigungsphasen „Absaugen“, „Vibration“ und „Spülen“ können einzeln oder in Kombination miteinander angewendet werden, um in Abhängigkeit von der Reinigungsspezifikation und der Art und dem Grad der Verschmutzungen ein optimales Reinigungsergebnis zu erzielen.

Im Ergebnis werden die

- Vibrations-Trocken- und die
- Vibrations-Naßreinigung

kombiniert und machen das Verfahren sowohl für die Zwischenreinigung als auch für die Endreinigung nach spezifizierten Restpartikelgrößen und –mengen gleichermaßen geeignet.

Erzielte Hauptergebnisse aus den Versuchen	
Verzicht auf Lösungsmittel	Das entwickelte Verfahren erlaubt, eine spezifizierte Reinigung unter völligem Verzicht auf Lösungsmittel jedweder Art prozeßsicher durchzuführen. ✓
Kombinierter Einsatz Vibrationsverfahren mit Naß- bzw. Trockenreinigung	In Abhängigkeit von der Reinigungsaufgabe (Topographie der Teile) erfolgt eine vollständige Reinigung des Gutes auch an sehr schwer zugänglichen Stellen. ✓
Verzicht auf Heizung	Verfahren verzichtet gänzlich auf Heizungen; die Reinigung beruht auf Vibration mit/ohne Zusatz von Kühlschmierstoffen, die ohnehin in der Produktionslinie eingesetzt werden müssen. ✓
Rückgewinnung KSS	In der Anlage wird der Kühlschmierstoff im Kreislauf gefahren: keine KSS-Verschleppung, Einsparung von KSS. Entsorgung entfällt ✓
Modulbauweise	Im Gegensatz zu herkömmlichen Anlagen für den zentralen Einsatz im Betrieb gestattet die Modulbauweise den Einsatz in bestehenden Fertigungslinien, das heißt wahlweise <ul style="list-style-type: none"> • inline-Betrieb im Takt der übrigen Fertigung ohne Unterbrechungen • Batch-Betrieb (falls erwünscht) • Einzelteilreinigung (falls erwünscht) ✓

Abb. 6: Übersicht über die erzielten Ergebnisse

Im Hinblick auf die in der Praxis auftretenden unterschiedlichen Einbaupositionen und –räume in bestehenden Produktionslinien wurde eine Modularbauweise entwickelt, die gegenüber den bisherigen Baumustern eine flexible Integration in bestehende Fertigungslinien besser erlaubt, so daß die dezentrale Reinigung entsprechend der Zielsetzung sehr viel wirtschaftlicher wird als die bisherigen zentralen Reinigungsanlagen.

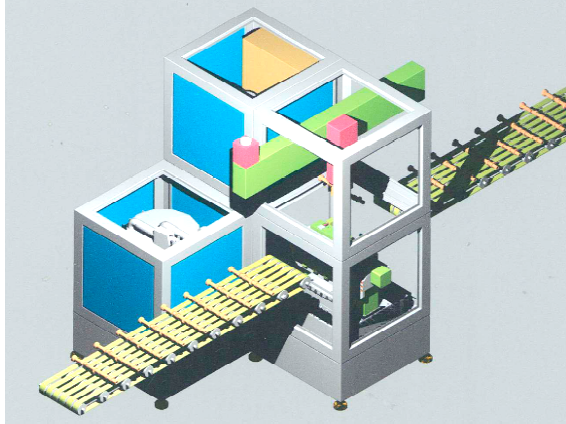


Abb. 8: Das Foto [Deu08] zeigt eine Auswahl an Teilen, mit denen das Reinigungsverfahren erfolgreich getestet wurde.

Abb. 7: Die Entwicklung einer modularen Bauweise war erforderlich, um die hervorragenden Reinigungsergebnisse der Vibrationstechnologie für den In-line-Betrieb verfügbar zu machen. Die Abbildung zeigt den modularen Aufbau, der sich taktgerecht in die Fertigungslinie einfügt.



Abb. 9: Der modulare Aufbau der Anlage (vorn im Bild) gestattet, flexibel auf die vor Ort vorhandenen Raumverhältnisse zu reagieren. Das Reinigungsmodul kann getrennt von den übrigen Modulen aufgestellt werden. Die Module, die starken Vibrationen ausgesetzt sind, verfügen jeweils über ein Sockelmodul, das mit Sand gefüllt wird und die Eigenfrequenz des mechanischen Aufbaus so absenken, daß keine Resonanzbelastungen mehr auftreten können und eine sichere Aufstellung gewährleistet ist.

Im Hintergrund: Die integrierte Anlage, bei der sämtliche Anlagenkomponenten in einem Gehäuse integriert sind

Die Module haben Abmessungen von jeweils 800 mm x 800 mm und können auf einer Grundfläche dieser Größe aufgestellt werden. Flexible Verbindungs- und Versorgungsleitungen gestatten die Aufstellung der Module einer Anlage an unterschiedlichen Stellen. Die gefürchteten Resonanzprobleme bei Vibrationsanlagen werden wirkungsvoll durch die in den Sockelmodulen untergebrachten Massen unterbunden und gestatten wegen der Sandfüllungen dennoch einen leichten Transport der Anlagen.

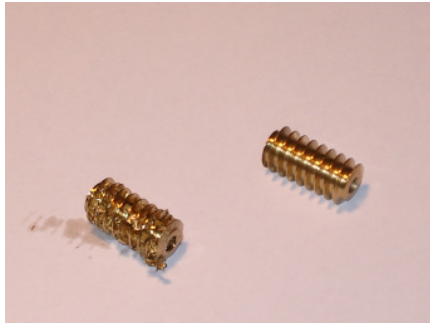


Abb. 10: Eine alltägliche Aufgabe ist die Reinigung von kleinen Bauteilen wie dieser Schnecken, die bisher unter Hinnahme eines ausgedehnten „Teile-Tourismus“ in zentralen Anlagen im Betrieb gereinigt wurden. Auch derartige Kleinteile können in der neuen Anlage spezifiziert gereinigt werden: links im Bild ist die Schnecke noch mit Spänen und Schneidöl benetzt, rechts die fertig gereinigte Schnecke, die in diesem Falle noch mit einem hauchdünnen Film aus Schneidöl zur Vermeidung von Korrosionen benetzt ist und der weiteren Ver- und Bearbeitung sofort zugeführt werden kann.

Gegenüber dem Förderantrag wurden weitergehende Ergebnisse erzielt:

Anlaß hierfür war das Spektrum an unterschiedlichen Reinigungsanforderungen in der Praxis, das von der einfachen Reinigung einzelner Teile – etwa für Prüfzwecke innerhalb der Produktionslinien – reicht bis hin zur hochkomplexen Reinigung vor der Verpackung und dem Versand. Im einen Fall reicht eine Trockenreinigung, um die geforderte Reinheit zu erreichen, im anderen Fall ist eine spezifizierte Reinigung vonnöten, bei der die Methoden „Spülen“, „Absaugen“ und „Vibrieren“ kombiniert angewendet werden.

Im Gegensatz zu dem Förderantrag, in dem noch davon ausgegangen war, daß auch andere als im Fertigungsprozeß ohnehin eingesetzte Fluide benötigt werden, ist die hier beschriebene Entwicklung soweit vorangeschritten, daß – bei der kombinierten Naßreinigung – nur noch prozeßimmanente Fluide – also Kühlschmierstoffe und Emulsionen – eingesetzt werden.

Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Das Verfahren ist entwickelt, erprobt, und die Zielgruppe der Fertiger hat massives Interesse an den Anlagen. Hierzu sind allerdings noch Serienreifmachungen erforderlich, die im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr durchgeführt werden konnten. Dies betrifft in erster Linie die Integrationsfähigkeit in vorhandene Produktionslinien. Die Anforderungen sind teilweise so heterogen, daß zusätzliche Untersuchungen erforderlich sind. Zum anderen müssen noch geeignete Handlungseinrichtungen entwickelt werden, um z. B. Labyrinth-Gehäuse und nicht-rotationssymmetrische Körper prozeßsicher zu beherrschen.

Die hierzu erforderliche Zusammenarbeit wird mit ZF Friedrichshafen, BOSCH, AUDI und DAIMLER-BENZ erfolgen.

Es ist beabsichtigt, die Integrationsfähigkeit im Rahmen eines Verbundprojektes mit Industrie- und Hochschulpartnern und Förderung durch das BMBF vertieft zu untersuchen.

Empfehlung

Die Zusammenarbeit mit Entwicklern/Herstellern aus der mechanischen Fertigung wird weiter intensiviert. Möglicherweise ergeben variable Anregungsmoden (Wechsel der Vibrationsfrequenzen und Frequenzmuster) noch bessere Ergebnisse insbesondere bei sehr zerklüfteten Bauteilen. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich, die im Rahmen des vorliegenden Projektes nicht mehr möglich waren.

Angaben von Kooperationspartnern und Hinweis auf die Förderung durch die DBU

Im Verlaufe des Entwicklungsvorhabens wurden weitere Kontakte zur Firma POLO-Filter, Bremen, sowie zu Herstellern von Seitenkanalverdichtern geknüpft.

Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt wurde in sämtlichen Veröffentlichungen und auf den Messepräsentationen als Fördergeber für die Entwicklung benannt.

4 Einleitung

Ausgangssituation

Die industrielle Produktion steht unter einem hohen Leistungsdruck hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Qualität.

Innovative Produktionskonzepte und Hochleistungs-Technologien müssen neue Ansätze für eine Kosten- und Zeitoptimierung in der Fertigung liefern.

In diesem Zusammenhang steht die signifikante Reduzierung von Hauptzeiten und Durchlaufzeiten.

Dies wird einerseits erreicht durch die Steigerung der Zerspanleistung, durch angepaßte Werkzeug- und Maschinenkonzepte und andererseits durch die Optimierung der gesamten Prozeßkette, zu der auch die erforderliche Reinigungsstufe zählt.

Bei der Fertigung von Werkstücken mittels spanabhebender Verfahren werden **Kühlschmierstoffe** (KSS) eingesetzt, die verschiedene Aufgaben – darunter auch die Kühlung der Werkzeuge und des Schneidgutes – erfüllen.

Diese KSS verbleiben am Gut zusammen mit weiteren Anhaftungen wie Spänen und Verunreinigungen und haften mehr oder weniger fest auf den Werkstücken und in den Vertiefungen, Bohrungen usw..

Es gilt, die Werkstücke von den Anhaftungen zu befreien, damit die weiteren Bearbeitungs-Schritte erfolgen können. Ebenso kann die Aufgabe auch lauten, vereinzelt Probanden aus der laufenden Fertigung für Meß- und Prüfzwecke zu entnehmen und diese Probanden zu reinigen.

Die Anhaftungen widersetzen sich hartnäckig der schnellen Reinigung, und wenn die Werkstücke für den nachfolgenden Fertigungsschritt gereinigt werden müssen, erfolgt – das ist der Stand der Technik – eine zentrale Reinigung unter Einsatz von wasserlöslichen Reinigern, die allerdings nur unter hohen Temperaturen (50°C bis 90°C) zufriedenstellende Reinigungsergebnisse erzielen lassen. ‚Zentrale Reinigung‘ bedeutet, daß die Teile innerbetrieblich verbracht werden müssen.

Soweit nur wenige Werkstücke gereinigt werden müssen, beispielsweise für Meßstichproben, erfolgt vielfach auch eine Reinigung per Hand mit Pinsel, Waschlösungsbehälter und Preßluft.

In jedem Falle sind die Reinigungsprozeduren aufwendig: bei der zentralen Reinigung entsteht ein innerbetrieblicher „Teile-Tourismus“ zwischen dem vorangegangenen Fertigungsschritt, der Reinigungsanlage sowie anschließend zur weiteren Ver- und Bearbeitung.

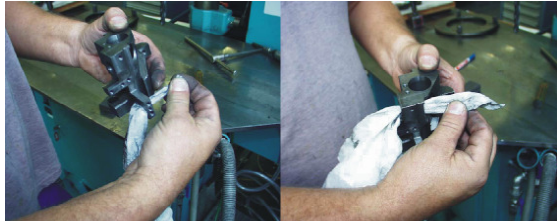


Abb.: 11: Manuelle Reinigung; häufig angewendet, um Teilmuster aus der laufenden Fertigung zu Meß- und Prüfzwecken zu entnehmen. Es handelt sich um eine zeitaufwendige und mühselige Arbeit



Abb. 12 und 13: Tägliche Praxis: Zentrale Waschstationen – handbetrieben – erzeugen lange Wege und schaffen verschmutzte Arbeitsplätze in vielen Betrieben. Neben den teilweise offen betriebenen Waschstellen, in denen Teile mit Sacklöchern und zerklüfteter Oberfläche mittels Preßluft ausgeblasen werden, sind flächige Verschmutzungen des Betriebes und der Mitarbeiter nicht zu verhindern.

Dies verursacht

- Zeitverluste,
- erheblichen Energie- (im wesentlichen Heizung), Personal- und Maschineneinsatz,
- Einsatz von zusätzlichen Lösungsmitteln und
- Takt-Inkompatibilität, was insbesondere in vernetzten Produktionsabläufen als äußerst unerwünscht gilt.

Abgesehen von dem zusätzlichen Platzbedarf im Betrieb entstehen durch die herkömmlichen zentral angeordneten Reinigungsanlagen zusätzliche hohe Investitionskosten.

Die Industrie sucht daher ein Verfahren, das die Werkstücke taktkompatibel und schnell reinigt, auf hohen Energieeinsatz für die Heizung verzichten kann und ein spezifiziertes Reinigungsergebnis bei minimalem Wartungsaufwand sicherstellt.

Stand der Technik

Zur Reinigung von Teilen aus der mechanischen Fertigungen kommen vier Einwirkungsmechanismen infrage:

- Einwirkung von chemischen Reaktionen

- Einwirkung von Temperatur
- Einwirkung von Mechanik und
- Einwirkung von Zeit.

Dabei macht man sich zunutze, daß hochviskose Anhaftungen durch Einwirkung von Reinigungsflü-
den „verflüssigt“ werden und damit geringere Adhäsion am Werkstück zeigen (chem. Reaktionen).

Die mechanische Reinigung durch Vibration resultiert aus der Massenträgheit der flüssigen und festen
Anhaftungen, die durch Anwendung der Schwingungen in die Lage versetzt werden, die Adhäsions-
kräfte zu überwinden und die Werkstückoberfläche damit zu verlassen (mechanische Einwirkung).

Eine weitere mechanische Anwendung erfolgt durch Einspritzen von KKS durch/auf die Werkstücke:
extrem hohe Strömungsgeschwindigkeiten und entsprechende Turbulenzen bewirken eine hohe Mobi-
lität der anhaftenden Feststoffe relativ zur Werkstückoberfläche und lassen sich unmittelbar danach
leichter entfernen.

Eine weitere mechanische Einwirkung ist durch die Gravitation gegeben: es ist in der Tat sehr ent-
scheidend, wie schöpfende Werkstücke in der Reinigungsanlage positioniert werden.

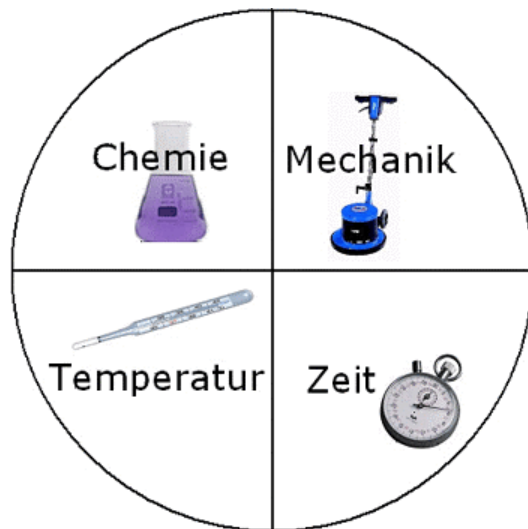


Abb. 14: Der ‚Sinnerschers Kreis‘ enthält die
prinzipiellen Reinigungsmethoden, die zu
einer Reinigungsstrategie kombiniert wer-
den können

Die in industriellen Reinigungsabläufen angewende-
ten Reinigungsmethoden sind in dem ‚Sinnerschers
Kreis‘² angeordnet. Grundsätzlich können die Fakto-
ren gegeneinander ausgetauscht werden. So fordert
zum Beispiel eine ‚schonende‘ Reinigung den Ein-
satz ‚schwächerer‘ Chemikalien, wobei dann z. B.
die Einwirkungszeit verlängert werden muß. Die
günstigste und wirtschaftlichste Methode muß im
Einzelfall ermittelt werden.

In dem vorliegenden Projekt waren von Beginn an
bereits folgende Ziele gesetzt:

- *Chemie:* Verzicht auf umweltbelastende Chemi-
kalien
- *Temperatur:* Verzicht auf die Notwendigkeit zur
Erwärmung
- *Mechanik:* Einwirkung von Vibration (Prinzip des
Abschüttelns)
- *Zeit:* Reduzierung auf ein taktkompatibles Maß.

Die derzeit angewendeten Mechanismen sind in der nachfolgenden Tabelle wiedergegeben:

² http://de.wikipedia.org/wiki/Sinnerschers_Kreis; die Darstellung ist nach einem Mitarbeiter der Firma
Henkel benannt

Wirkungsmechanismus	bisher angewendet	neues Verfahren
Chemie	Einsatz von Chemikalien wie z. B. Kaltreinigern, um die Wasserlöslichkeit der anhaftenden Verschmutzungen herbeizuführen	Entfall der Notwendigkeit zur Verwendung jedweder Chemikalien und Beschränkung auf Medien, die ohnehin in den Vorstufen des Fertigungsprozesses eingesetzt werden, z. B. Schneidöle bzw. Kühlschmierstoffe
Mechanik	Anwendung von Bürsten etc., Schütteln, Schleudern etc.	Anwendung von Vibration, kombinierbar mit Spülen und Absaugen
Temperatur	Erwärmung des Reinigungsgutes und der Chemikalien zur Erhöhung der Wirksamkeit	Verbleib der Teile auf Umgebungstemperatur im Betrieb; keine Erwärmung erforderlich
Zeit	Transport des Reinigungsgutes zu einer zentralen Reinigungsstation => hoher Zeit- und Personalaufwand / Unterbrechung der Fertigungslinie	dezentrale Reinigungsfunktion, wo sie benötigt wird; optimierte Reinigungszeiten; keine Taktunterbrechung in Fertigungslinien

Abb. 15: Gegenüberstellung der Nutzung von unterschiedlichen Reinigungsmechanismen in bisherigen Reinigungsverfahren und dem neuen vibro-tec-Verfahren

Bei den bisherigen Verfahren wird ein beträchtlicher Teil der verwendeten Öle bzw. KSS verschleppt mit der Folge des erhöhten Verbrauchs dieser Medien und damit zusätzlicher Kosten sowie des Eintrages in die Umwelt. Das neue Verfahren verhindert die Verschleppung und fährt die KSS in der Reinigungsphase im Kreislauf.

Zielsetzung

Die Zielsetzung für das Entwicklungsprojekt lautete:

- Entwicklung eines dezentral einsetzbaren Reinigungssystems
- Verzicht auf den Einsatz von umweltbelastenden Chemikalien
- Reinigungsprozeß erfüllt gestelltes Spektrum an Spezifikationen bezgl. zu erzielender Reinheit
- taktgerechte Integration des Systems auch in verkettete Fertigungslinien
- Integrationsmöglichkeit auch unter schwierigen örtlichen Gegebenheiten

Aufgabenstellung

Entsprechend der Zielsetzung gliederte sich die Aufgabenstellung wie folgt:

- Ermitteln und Systematisieren der Anforderungen vor Ort
- Aufnahme des Reinigungsgutes und Zuführung zur Reinigungsstufe
- Applikation des fertigungsimmanenten Mediums (KSS / Schneidöle) zur Unterstützung der Reinigungsstrategie (Einsprühsystem)
- Entwicklung Einblas- und Absaugsystem
- Optimierung der Strömungsverhältnisse am Werkstück
- Filtration des KSS zur Realisierung eines geschlossenen Medium-Kreislaufs
- Optimierung der Frequenzbeaufschlagung
- Modularisierung des Systems zur erleichterten Integration auch in schwierige Einbaulagen
- Entwicklung Steuerung
- Aufbau Erprobungsträger
- Probetrieb und workshop

5 Hauptteil

Darstellung Arbeitsschritte mit dabei angewandten Methoden und den erzielten Ergebnissen

5.1 Systematisierung Aufgabenstellung vor Ort

Die Analyse der Reinigungsanforderungen führte zu dem Schluß, daß die Teile in der betrieblichen Praxis nicht nur zwischen-gereinigt sondern auch end-gereinigt werden müssen. Die dabei ggf. einzusetzenden flüssigen Reinigungshilfen, Lösungsvermittler etc. sollen ökologisch unbedenklich sein und einen ökonomischen Vorteil gegenüber herkömmlichen Mitteln bieten.

Zum Zwecke des Studiums der Einsatzbedingungen wurde ein Labormuster entwickelt, das bei ZF Friedrichshafen zu diesem Zweck eingesetzt wurde.

Kenngrößen des Reinigungsgutes	Beschreibung
Dimensionen und Gewichte	20 g bis 25 kg Durchmesser 10 mm bis 160 mm und 500 mm Länge
Werkstoffe	ferromagnetische Messing Gießlegierungen (Messing, Aluminium) Verbundwerkstoffe

Art der Zerspanung	Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen
Art der festen Anhaftungen	Bruchspäne, Grate, Spiralspäne, Sand, Schmutzpartikel
Art der viskosen Anhaftungen	niedrig- bis hochviskose Flüssigkeiten
Schnittstellen der Anlagen, die vom Reinigungsgut passiert werden	Analyse bei unterschiedlichen Anwendern, darunter: Daimler-Benz AUDI ZF Voith
Reinigungsziele	einfache Zwischenreinigung spezifizierte Endreinigung mit Partikelgröße < 300µm Restmenge (Beispiel Lenkgetriebe) < 25 mg keine zusätzlich zu entsorgenden Stoffe

5.2 Entwicklung Reinigungssystem

Teilsystem 1: Reinigungsstrategie

Auf der Grundlage der Ergebnisse der vorangegangenen Analyse der Reinigungsanforderungen war eine Kombination aus Naßreinigung, Trockenreinigung unter Einwirkung von Vibration und vollständiger Verzicht auf umweltbelastende Stoffen ein wesentliches Entwicklungsziel.

Weitere Detailversuche führten zu der Erkenntnis, daß im Falle der Naßreinigung auf hohe Strömungsgeschwindigkeiten und turbulente Strömungen nicht verzichtet werden kann, um zufriedenstellende Ergebnisse zu erzielen.

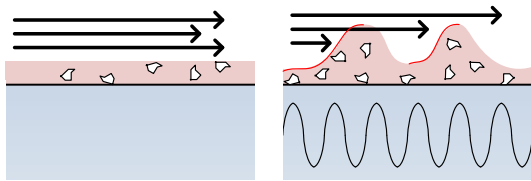
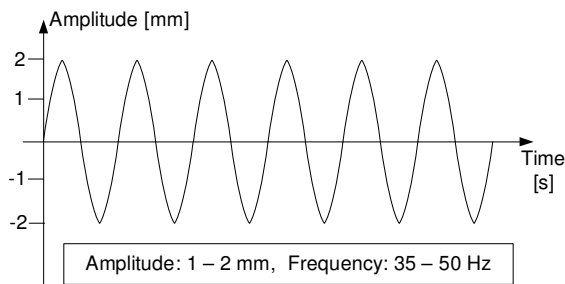
Dies betraf insbesondere die Gestaltung der Reinigungskammern, bei denen die Toträume – d. h. Volumina, in denen sich die Strömung beruhigen bzw. dem entgegengesetzten Reinigungsgut ausweichen konnte – zu minimieren waren. Hieraus folgte die Notwendigkeit, spezielle Formen herzustellen und zu erproben, die sich möglichst eng um das Reinigungsgut schmiegen (siehe Abb. 3, 4 und 5).

Die folgenden Untersuchungen führten dann zu der Erkenntnis, daß man auf Einspritzdüsen an verschiedenen Stellen des Reinigungsgutes für das Einspritzen und Absaugen nicht verzichten kann (jet arrays). Zusätzlich müssen diese Düsen steuerbar sein, um Umkehrspülungen in verzweigten Bohrungen und Löchern prozeßsicher durchführen zu können. Da handelsübliche Ventile zu träge bzw. zu teuer waren, wurden spezielle Ventile entwickelt und gefertigt.

Teilsystem 2: Vibrationsverfahren

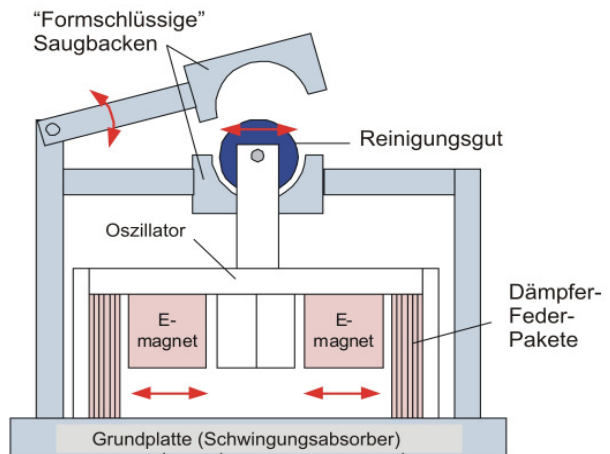
Zur Ermittlung der optimalen Anregung der Werkstücke wurde die Korrelation zwischen Schwingungsdauer, Amplitude und Reinigungsergebnis detailliert untersucht.

Zwei Elektromagnete mit einer Leistung von jeweils bis zu 400 W erlaubte Frequenzen zwischen 35 und 50 Hz. Das schwingungsfähige Gebilde bestand aus dem Schwingungsgehäuse, dem Magnetpol und einer Federkonstanten. Dies ermöglichte eine sehr gute Sinus-Schwingung.



Die technische Umsetzung erfolgt durch zwei Backen als etwas vergrößerte Negativform des Werkstückes. Sowohl der Oszillator als auch das Absaug- und Fluid-Zuführungssystem sind auf einem Grundträger angeordnet, der die Vibrationen absorbiert. Die abgesaugten Flüssigkeiten werden gefiltert und in den Fertigungsprozeß zurückgeführt. Eine spezielle Abtrennung ist nicht erforderlich, da ausschließlich Flüssigkeiten eingesetzt werden, die im übrigen Fertigungsprozeß vorkommen (Kühlschmierstoffe).

Abb. 16: Schematischer Aufbau der Arbeitskammer



Die zu entfernenden Schmutzbestandteile erfahren die Höchstwerte der Beschleunigung in den Scheitelpunkten der Sinusschwingung. Eine elektronische Regeleinrichtung erlaubt, die Teile mit einer gleichmäßigen Vibration zu beaufschlagen.

Während dieser Beaufschlagung bilden sich die Verschmutzungen mehr oder weniger zu Höhen und Senken aus. Die zusätzliche Anwendung eines Saugstroms über die Oberfläche mittels Vakuumventilen reißt diese angeregte Oberfläche mit.

Dies ist in der nebenstehenden Skizze [Deu08] verdeutlicht.

Der Einschluß des Werkstückes während der Reinigung erfolgt in speziellen Formen wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben.

Teilsystem 3: Badkreislauf

Erprobt wurden unterschiedliche Bandfilter. In Abhängigkeit von der Reinigungsaufgabe können verschiedene Filter eingesetzt werden. Im Falle von sehr hohen Reinigungsanforderungen muß sogar die Ansaugluft für die Ausblasung der Werkstücke gereinigt werden, da die in der umgebenden Raumluft vorhandenen Schmutzpartikel das Reinigungsergebnis negativ beeinflussen würden. Vor dem Hintergrund eines wirtschaftlichen Betriebes wurde darauf Wert gelegt, spülbare Filter einzusetzen.

5.3 Engineering

Aufgrund der Vorversuche und Analysen vor Ort wurde das Basic- und Detail-Engineering in Angriff genommen. Im Gegensatz zu der im Antrag beschriebenen vorläufigen Struktur der Anlage mußten zusätzliche Baugruppen entwickelt werden. Eine Übersicht gibt der nachfolgende Baugruppen-Strukturplan.

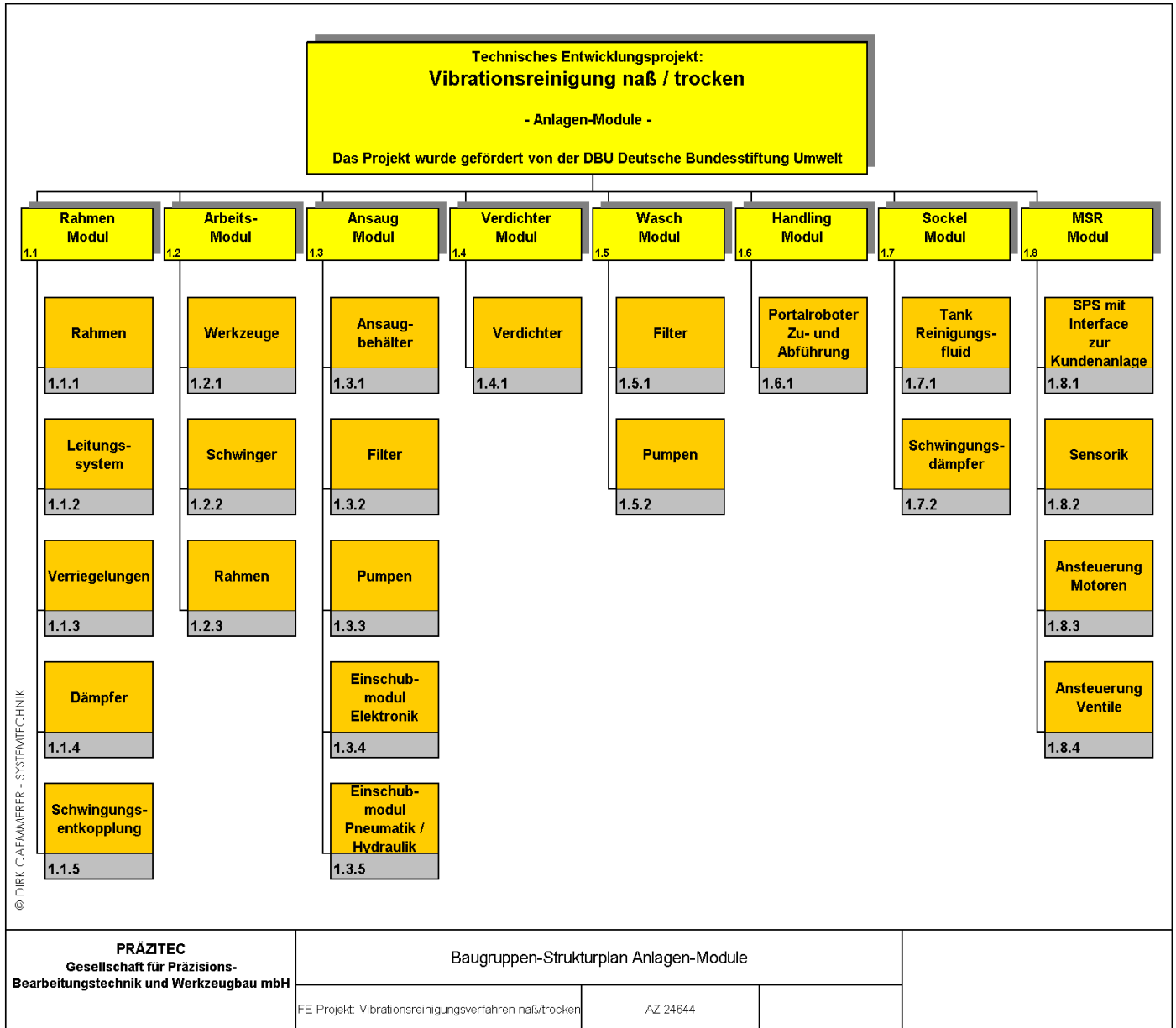


Abb. 17: Baugruppenstrukturplan des Reinigungssystems

5.4 Beschaffung und Fertigung von Erprobungsmustern

Anhand des Baugruppenstrukturplanes erfolgte die Anfertigung der Stücklisten, die Beschaffung und Fertigung. Dabei wurde jeweils

- ein intergriertes Reinigungssystem sowie ein
- ein modular aufgebautes System realisiert.

Die Platzverhältnisse in den Produktionslinien bei den mechanischen Fertigern zeichnen sich in der Regel dadurch aus, daß der zur Installation eines Reinigungssystems zur Verfügung stehende Raum äußerst eingeschränkt ist, da die Konzeption der Fertigungslinien den Einbau weiterer Komponenten nicht vorsah.

Aus diesem Grunde war die Konzeption einer modular aufgebauten Anlage unumgänglich, bei der die einzelnen Module flexibel über Ver-, Entsorgungs- und Steuerungsleitungen verbunden werden können. Dadurch kann der zur Verfügung stehende Installationsraum in den Betrieben optimal ausgenutzt werden.

Die Module haben eine Standfläche von je 800 mm x 800 mm und bestehen aus den Einheiten

- **Sockelmodul**

Diese Module sind erforderlich wegen der starken Vibrationen, denen die Anlage ausgesetzt ist. Diese im Prinzip als ‚Gegengewichte‘ ausgelegten Bestandteile der Anlage bedürfen wegen ihrer relativ geringen Größe einer großen Masse. Damit die Einheiten leicht vor Ort zu bringen sind, wurde als Füllgut Sand gewählt, der ein ausgezeichnetes Dämpfungsverhalten zeigt und im Falle einer Verlagerung der Anlage auch schnell und einfach entnommen werden kann.



Abb. 18: Das Sockelmodul; es dient der stand- und schwingungssicheren Installation des Reinigungssystems und hat eine Grundfläche von 800 mm x 800 mm.

- **Reinigermodul**

Das Reinigermodul enthält die Reinigungskammer mit den Aufnahmen für die Formbacken, die die Toträume in der Reinigungskammer minimieren und damit das Reinigungsergebnis maximieren. Je nach Anwendung können auch andere Vibrations-Reinigungskammern zum Einsatz kommen. Im Foto sieht man zum Beispiel eine Anordnung zur Reinigung von Kleinteilen (vgl. Abb. 19).



Abb. 19: Das Reinigungsmodul – hier aus Demonstrationsgründen mit einer Makralon-Scheibe versehen – beherbergt die mechanische Zuführung (kreisförmige Kammer), den Vibrationsraum mit der Auslaßführung (schiefe Ebene) sowie den Vibrationsantrieb unterhalb der Vibrationskammer.

Deutlich zu erkennen ist der Flex-Absaugschlauch.

- **Verdichtermodul**

Das Verdichtermodul dient zur Versorgung des Reinigungsmoduls mit Druckluft. Es enthält einen Seitenkanalverdichter mit einer Leistungsaufnahme von 5 kW.



Abb. 20: Das Verdichtermodul enthält den Seitenkanalverdichter mit Motor und Steuerung.

- **Saugmodul**

Im Saugmodul sind die Ansaug- und Auffangbehälter sowie die Anlagensteuerung untergebracht.



Abb. 21: Das Saugmodul nimmt die Ansaug- und Auffangbehälter sowie die Anlagensteuerung auf, die für Wartungs- und eventl. Nachrüstarbeiten leicht von allen Seiten zugänglich ist.

Selbstverständlich ist aber auch eine Anlage in integrierter Bauweise realisiert worden.



Abb. 22: Die Reinigungsanlage in integrierter Bauweise



Abb. 23: Blick in der Steuerungsanlage



Abb. 24: Auf der rückwärtigen Seite der Anlage befindet sich der Verdichter mit Motor sowie der Öl-Auffangbehälter

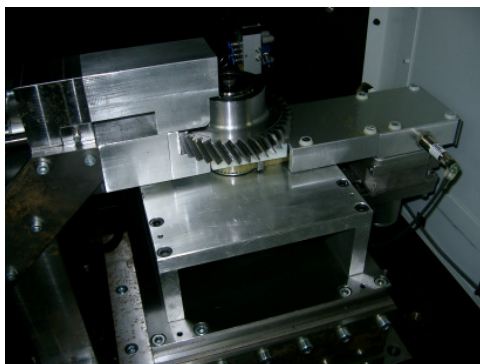


Abb. 25: Verschiedene Adaptionen erlauben die flexible Anpassung an die Reinigungsaufgabe: Im Foto sieht man das Modul zur Reinigung von Zahnradern im Einsatz

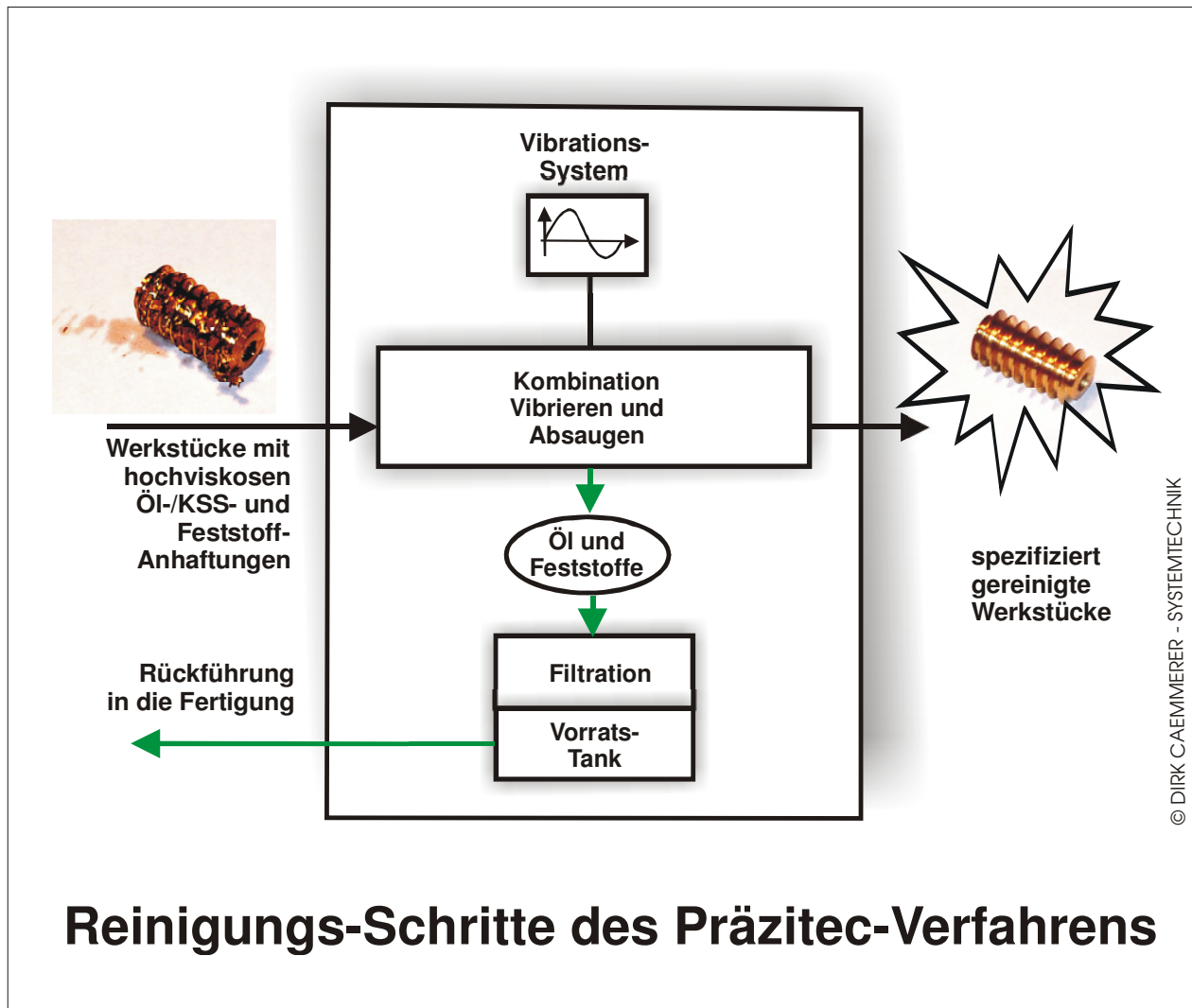


Abb. 26: Reinigung nach dem Präzitec-Verfahren: Höchste Reinigungsleistungen bei völligem Verzicht auf den Einsatz umweltgefährdender Stoffe mit erheblichen Kosteneinsparungen gegenüber herkömmlichen Verfahren

5.5 Probetrieb / Workshop

Der Probetrieb und der Workshop der Maschinen und Werkzeuge erfolgte unter realen Praxisbedingungen bei ZF. Dort wurden in-house-Versuche mit Serienteilen durchgeführt.

Dabei wurde auch die Prozeßsicherheit erfolgreich nachgewiesen.

Danach zeigte auch Daimler-Benz, Bosch und Audi massives Interesse an der neuen Technologie.

Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse im Abgleich mit dem Stand des Wissens, der Technik, des Handelns und der gesetzlichen Mindestanforderungen; besonders darstellen: Umfang der zusätzlichen Umweltentlastung durch das Vorhabensergebnis

In der industriellen Fertigung, insbesondere im spanabhebenden Bereich, stellt die Reinigung der Teile einen Schlüsselprozeß dar.

So entfällt zum Beispiel bei der Robert Bosch GmbH ungefähr 7 % der Betriebsausgaben in einer mittleren Produktionslinie auf Reinigungsanlagen.

Es sind nicht nur neue Anforderungen aufgrund neuer Standards und qualitätsbedingter Reinheit sondern insbesondere ökonomische wie ökologische Notwendigkeiten, die zu der vorliegenden Entwicklung geführt haben.

Das mechanische Wirkungsprinzip der Vibration beruht auf einer einfachen physikalischen Gegebenheit, der Massenträgheit, und wird im täglichen Leben unzählige Male angewendet (Trockenschleudern, Abschütteln etc.).

So einfach diese Methode ist, so effizient ist sie zugleich!

Die mit Kühlschmierstoffen und Spänen aus der mechanischen Fertigung behafteten Teile werden in Schwingungen versetzt, sodaß die Anhaftungen die Adhäsionskraft überwinden, vom Werkstück abheben und dann mittels Absaugen entfernt werden.

Die abgesaugten Öl-Feststoffgemische werden getrennt und das Öl aufgearbeitet und wieder in den Kreislauf zurückgeführt. Das Öl verbleibt also vollständig in der Anlage, Öle werden nicht mehr verschleppt.

In Abhängigkeit von den Reinigungsspezifikationen kann das Werkstück mittels Vibration trocken, d.h. ohne Zugabe des Öls, gereinigt werden.

Insbesondere bei Teilen mit zerklüfteten Oberflächen kann mit dem Vibrationsverfahren aber ebenso auch unter zusätzlicher Zugabe von Öl naßgereinigt werden.

Dabei ist eine besondere Erwärmung nicht erforderlich, der Prozeß läuft bei normalen Umgebungstemperaturen ab.

Dies macht das Verfahren besonders energie-effizient und damit sehr wettbewerbsfähig.

Neben den ökonomischen und ökologischen Vorteilen unterstützt das modulare inline-Konzept der Entwicklung die ‚lean-manufacturing‘-Strategien.

Wegen der kompakten Auslegung der Anlage und der kurzen Reinigungszyklen kann das System sowohl inline in Fertigungslinien als auch im Batch-Betrieb bis hinunter in die Reinigung eines Teils – etwa zur nachfolgenden Beurteilung des entnommenen Fertigungsmusters – betrieben werden.

<h3>Ökonomischer Vorteil</h3> <p>am Beispiel einer Fertigung von Schnecken</p>	
<p>Rechenansatz:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Der Hersteller hat in 4 Jahren bisher rd. 100×10^6 Teile gefertigt • An je 10 Schnecken haftet eine Ölmenge von 2 g 	$\text{Ölmenge} = \frac{10^8 \text{ Stück}}{4a \cdot 10 \text{ Stück}} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{kg} = 5000 \frac{\text{kg}}{a}$ <p>Diese Menge von jährlich 5.000 kg entspricht etwa 6.000 Liter Öl. Bei einem Preis von rd. 5 EUR / l ergibt sich durch die Wiedergewinnung und das Nicht-Verschleppen des Öls ein</p> <p style="text-align: center;">jährlicher Vorteil von 30.000 EUR!</p>
	<p>Demgegenüber kosten die neue Anlage etwa 40.000 EUR, sodaß allein aufgrund der Öleinsparung</p> <p style="text-align: center;">sich die Anlage bereits nach einem Jahr rechnet.</p>
<p>Zusätzlich werden die Kosten reduziert durch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dezentraler Betrieb • Taktzeit variabel • Ölverbleib in der Anlage 	<p>Kosteneinsparungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> ⇒ Entfall des innerbetrieblichen Teile-Tourismus Verkürzung der Herstelldauern Reduzierung des Platzbedarfs durch kleinere Anlage Reduzierung des Platzbedarfs wg. Entfall Zwischenlager Unterstützung der lean manufacturing Strategie Reduzierung der Reinhaltekosten im Betrieb keine zusätzlichen Energiekosten durch Transport-Entfall ⇒ Anpassung an Fertigungstakt von inline über Batch-Betrieb bis zur individuellen Reinigung einzelner Teile ⇒ keine Entsorgungskosten, keine zusätzlichen Stoffkosten (z. B. Putztücher etc.); keine zusätzliche Logistik-Kosten



Diese Abschätzungen belegen bereits, daß sich die Anlage aus wirtschaftlichen, betriebsablauftechnischen und technischen Gründen in jedem Falle nach kurzer Zeit rechnet. Der eingefahrene Zinsvorteil ist noch nicht berücksichtigt.

Eine weitere Abschätzung verdeutlicht den ökologischen Vorteil:

**Energetische Betrachtung des kombinierten
Vibrations- Naß-/Trocken-Verfahrens
am Beispiel der Reinigung einer Getriebewelle**



	neues Verfahren	herkömmliches Verfahren
durchschnittl. Leistungsaufnahme	5 kW für Sauger und Vibrations- erzeuger	> 100 kW für Heizung, Pumpen, Transport
Kapazität	60 Stück/h à 22 kg ergibt ca. 1,3 t / h	150...180 Stück/h à 22 kg ergibt max. ca. 4 t / h
verbrauchte Energie pro Welle	83 Wh (entspricht 15 %)	556 Wh (entspricht 100 %) noch nicht berücksichtigt: <ul style="list-style-type: none"> • Anfahrverluste Heizung • Wärmedissipation während des Betriebes

Diskussion der Ergebnisse hinsichtlich ursprünglicher Zielsetzung

Die Ziele des Vorhabens wurden erreicht. Das Verfahren erlaubt, Anforderungen aus

- betrieblicher (Entlastung innerbetrieblicher Logistik)
- technischer (hervorragende Reinigungsergebnisse, prozeßsicher und reproduzierbar)
- wirtschaftlicher (ROI bereits im zweiten Betriebsjahr möglich) und
- ökologischer (Energieeinsparung, Entfall von Entsorgung)

Sicht zu vereinen.

Technologische Bewertung

Mit der neuen Technologie steht grundsätzlich ein Verfahren zur Verfügung, mit dem erstmals die Anforderungen der Teile-Fertiger nach einer schnellen, spezifizierten, energie- und kostensparenden Reinigung erfüllt werden können.

Mit Einführung dieses Systems gehört das aufwendige innerbetriebliche Verbringen von gefertigten Teilen zu einer zentralen Wasch- und Reinigungsstation mit den verbundenen Problemen der Logistik, des zusätzlichen Platzbedarfs und der zusätzlichen Kosten endgültig der Vergangenheit an.

Die heute üblichen Bearbeitungsgeschwindigkeiten können nun ohne die bisherigen zeitlichen Verzögerungen durch zentrale Reinigungsdienste genutzt werden. Damit ist auch ein wirkungsvoller Beitrag zur Sicherung und zum Ausbau von Arbeitsplätzen geleistet.

Das Verfahren ist von seinem Wirkprinzip robust und dürfte daher die Erwartungen der Fertiger bezüglich der Eignung in unterschiedlichen Betrieben und Einsatzorten voll erfüllen. Der technische Support beschränkt sich auf robuste Teilsysteme, die ihre Eignung im jahrelangen industriellen Einsatz unter Beweis gestellt haben und deren systemisches Zusammenwirken im vorliegenden Projekt erprobt wurde.

Mit diesem durch die DBU geförderten Projekt ist ein wichtiger Schritt vollzogen auf dem Weg zu einer in-line-Teilereinigung, die taktgerecht, umweltfreundlich und kosten-entlastend in zahlreichen Unternehmen eingeführt werden kann. Der Teiletourismus bei den Herstellern zu und von den zentralen Reinigungsstationen dürfte damit endgültig der Vergangenheit angehören. Die möglichen Kosten und Zeiteinsparungen während der Produktion führt zu einem Plus an Wirtschaftlichkeit und sichern damit die hier vorhandenen Standortvorteile der Unternehmen.

Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse (geplante Veröffentlichungen, Messe- oder Vortragspräsentation usw. und ggf. Quellenangabe im Text)

Die auf

- der Hannover-Messe im April 2007 im Rahmen des Landesstandes NRW und der Vorstellung des kombinierten Vibrations-NT-Reinigungsverfahrens gewonnenen Erkenntnisse und Kontakte zu Herstellern/Anwendern
- der ‚parts2clean‘ 2007 in Stuttgart auf einem eigenen Stand vorgestellte modulare Bauweise des Vibrations-NT-Reinigungsverfahrens

werden fortgeführt.

Im Frühjahr 2008 erfolgt die Vorstellung auf der

‚15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering‘.

Dabei ergeht wie in der Vergangenheit der Hinweis auf die Förderung der vorangegangenen Entwicklung durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt. Unter dem Titel

Environmental and Economic Benefits of Vibration Cleaning

werden die wissenschaftlichen Voraussetzungen, Anwendungen und Versuche beleuchtet. Unter den Autoren der Veröffentlichung befindet sich der Projektleiter des vorliegend beschriebenen Entwicklungsprojektes, Herr Dipl. Ing. Klaus Döhrer.

6 Fazit

Kritische kurze Zusammenfassung der Vorhabensergebnisse und Feststellungen über künftige, für nötig erachtete Arbeiten

Das Vorhabensziel ist mit dem beschriebenen Projekt und der Förderung durch die DBU erreicht worden.

Dabei ist festzuhalten, daß die Entwicklung mit einem Erprobungsträger und dessen Erprobung unter realen Bedingungen abgeschlossen ist. Für den Einsatz in der betrieblichen Praxis muß das System aber noch ertüchtigt werden.

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse wäre es zweckmäßig, die Anregungsmoden der zu reinigenden Teile bei der Vibration daraufhin zu untersuchen, inwieweit eine Korrelation zwischen Anregungsfrequenz, Reinigungseffizienz und Energieeinsparung signifikante Hinweise auf sinnvolle technische Änderungen ergeben. Dies war im Rahmen dieses Vorhabens nicht mehr möglich.

Ausblick

Der Entwickler ist aufgrund der Projektergebnisse und der Aussagen führender Anwender überzeugt, daß sich das Vibrationsverfahren zur Reinigung von Teilen aus der spanabhebenden Fertigung in kurzer Zeit durchsetzen wird.

Damit kann ein von den industriellen Fertigern langgehegter Wunsch nach einer kosten- und ressourcenschonenden Reinigung durch ein industrie- und betriebsgerechtes robustes System endlich umgesetzt werden.

Die erfolgreiche Abwicklung des Projektes mit Förderung durch die DBU wird insbesondere dadurch belegt, daß nach der Freigabe des Reinigungsverfahrens durch ZF nunmehr auch intensive Nachfragen von Daimler-Benz, BOSCH und AUDI eingehen.

Im Annex befindet sich Präsentationsunterlagen zur Weiterführung des Themas in dem vom BMBF geförderten Forschungsschwerpunkt „KMU: Innovative Ressourcen- und Energieeffizienz“, an das neben PRÄZITEC insbesondere der Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Universität Dortmund sowie AUDI und DAIMLER-BENZ eingebunden sind.

Literaturverzeichnis

- Deu08** DEUSE, J., DÖHRER, K. und DROSTE, M.: *Environmental and Economic Benefits of Vibration Cleaning*, 15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2008

ANNEX

- **Veröffentlichung**

Environmental and Economic Benefits of Vibration Cleaning

Autoren: Jochen Deuse¹, Klaus Döhler², Markus Droste¹

¹ Chair of Production Systems and Industrial Engineering, Dortmund University of Technology, Germany

² vibro-tec GmbH, Unna, Germany

15th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2008

- Firmenschrift von vibro-tec
 - Folien zum Forschungsvorhaben ViReBa
-