

# **Bericht zum Verbundprojekt „Technologienetz Trockenbearbeitung“**

Förderkennzeichen der Projektpartner im Verbundprojekt:

- 02PV - 1182 (GFE)
- 1183 (ISF)
- 1185 (VDW)
- 1181 (wbk)
- 1184 (WZL)

Projektlaufzeit: 01.01.2000 bis 31.12.2002

Die diesem Bericht zugrunde liegenden Arbeiten der Projektpartner wurden mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von Morgen“ gefördert

und durch den Projektträger Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) im Forschungszentrum Karlsruhe GmbH Technik und Umwelt begleitet.

## **Herausgeber**

Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt

Institut für Produktionstechnik wbk, Universität Karlsruhe

(Projektkoordinator & Herausgeber)

## **Druck**

Fischer Schnelldruck, Karlsruhe

## **Vertrieb**

Institut für Produktionstechnik wbk

Universität Karlsruhe (TH)

Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe

Sekretariat: ++49 (0) 721/608-2455

Telefax: ++49 (0) 721/696832

Dieser Bericht steht auch unter [www.trockenbearbeitung.de](http://www.trockenbearbeitung.de) zum Download bereit.

© Institut für Produktionstechnik wbk

ISSN 1610-8213

Alle Rechte vorbehalten.

Dieses Werk ist einschließlich seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Institutes für Produktionstechnik wbk unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie Speicherung in elektronischen Systemen.

## Vorwort

Die Trockenbearbeitung stellt in der zerspanenden Bearbeitung von Metall einen vollständigen Schritt in der Weiterentwicklung von Fertigungsprozessen dar. Produzierenden Unternehmen, die diesen Schritt gehen wollen eröffnet diese Technologie eine Reihe von Möglichkeiten, die sich in der Produktion alle als reines wirtschaftliches Potenzial nutzen lassen. Dies beginnt mit der Verabschiedung vom Kühlschmierstoff als Kostenträger und Umweltbelastung, über die Gestaltung von sauberen, gesünderen Arbeitsplätzen bis zu einer Weiterentwicklung der Produktivität der Zerspanprozesse.

Gefördert durch das BMBF haben 4 Forschungspartner und 2 große produktionstechnische Verbände das Technologienetz Trockenbearbeitung gegründet und aufgebaut. Heute arbeiten die Partnern im Technologienetz mit einer Vielzahl von einzelnen Industrieunternehmen, weiteren Forschungspartnern, Arbeitskreisen, Organisationen und Verbänden zusammen. Alle Mitwirkenden in diesem Netzwerk betreuen und unterstützen Unternehmen bei der Einführung und Weiterentwicklung dieser Technologie und der Nutzung der damit verbundenen Vorteile. Bei dieser Arbeit nutzen wir das im Netzwerk gebündelte Fachwissen, welches in vielen öffentlich geförderten Forschungsprojekten als auch durch das Engagement einzelner Technologieträger geschaffen wurde.

Zum Ende der durch das BMBF geförderten Projektlaufzeit wollen wir Bilanz ziehen über den Aufbau des Technologienetzes und 3 Jahre gemeinsamer Beratungstätigkeit. Wir möchten darüber sprechen, was auf dem Gebiet der Trockenbearbeitung passiert ist und wie wir in Zukunft weiter Ansprechpartner der Industrie bleiben.

In diesem Sinne wünschen wir allen viel Erfolg bei der trockenen Metallzerspanung.



Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt  
Institut für Produktionstechnik (wbk)  
Universität Karlsruhe (TH)

Auch unter [www.trockenbearbeitung.de](http://www.trockenbearbeitung.de) finden Sie folgenden Inhalt:

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Ausgangssituation zu Projektbeginn Anfang 2000</b>	<b>9</b>
<b>2.</b>	<b>Motivation und Zielsetzung des Technologienetzes Trockenbearbeitung</b>	<b>11</b>
<b>3.</b>	<b>Durchführung und Projektorganisation</b>	<b>12</b>
<b>4.</b>	<b>Werbung und Öffentlichkeitsarbeit</b>	<b>14</b>
4.1	<i>Zielsetzungen</i>	<i>14</i>
4.2	<i>Projektverlauf / Erfahrungen</i>	<i>15</i>
4.3	<i>Ergebnisse / Fazit</i>	<i>34</i>
<b>5.</b>	<b>Beratung</b>	<b>36</b>
5.1	<i>Zusammenfassung der Beratungstätigkeiten</i>	<i>36</i>
5.1.1	Seminare und Workshops	37
5.1.2	Firmenberatungen	41
5.1.3	Machbarkeitsstudien	44
5.2	<i>Allgemeine Erfahrungen aus den Beratungstätigkeiten</i>	<i>47</i>
5.3	<i>Weiterführung der Beratungsleistungen</i>	<i>49</i>
<b>6.</b>	<b>Wissensmanagement</b>	<b>50</b>
6.1	<i>Funktionsübersicht</i>	<i>50</i>
6.2	<i>Projektdokumentation</i>	<i>51</i>
6.3	<i>Zerspanprozesse</i>	<i>52</i>
6.4	<i>Gerätedaten</i>	<i>56</i>
6.5	<i>Literatur</i>	<i>56</i>
6.6	<i>Benutzeroberfläche</i>	<i>57</i>
6.7	<i>Qualitätssicherung</i>	<i>57</i>

6.8	<i>Benutzerprofile und Freigabemechanismen</i>	57
6.9	<i>Sicherheitskonzept</i>	59
6.10	<i>Fazit zur Datenbank im Beratungsprojekt</i>	59
<b>7.</b>	<b>Bilanz des Technolgienetzes Trockenbearbeitung</b>	<b>62</b>
7.1	<i>Öffentlichkeitsarbeit</i>	62
7.2	<i>Nutzung des Beratungsprogrammes</i>	62
7.3	<i>Netzwerkausbau und – verdichtung</i>	62
7.4	<i>Beratung kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU)</i>	62
7.5	<i>Motivation der Unternehmen zur Trockenbearbeitung</i>	63
7.6	<i>Interesse von Unternehmen im Ausland</i>	65
7.7	<i>Bewertung der Auswirkung von kühl­schmierstoffbedingten Kranken­ständen auf die Technologie­einführung Trockenbearbeitung in metallbearbeitenden Unternehmen</i>	65
7.8	<i>Erfolgsfaktoren des Technolgienetzes Trockenbearbeitung</i>	66
<b>8.</b>	<b>Aktueller Stand der Trockenbearbeitung</b>	<b>67</b>
8.1	<i>Industrielle Anwendung</i>	67
8.2	<i>Forschungsbedarf</i>	71
<b>9.</b>	<b>Fortführung des Technolgienetzes</b>	<b>72</b>
9.1	<i>Industrieberatung</i>	72
9.2	<i>Bilaterale Industrieprojekte (mit Finanzierung für den Forschungspartner)</i>	72
9.3	<i>Beratungsarbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“ – TroiA 74</i>	73
<b>10.</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>77</b>

## 11. Experimentelle Machbarkeitsanalysen 79

11.1	<i>Institut für Werkzeugtechnik und Qualitätsmanagement (IWQ) der Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung (GFE), Schmalkalden</i>	79
11.1.1	Beratungsbeispiel 1: Bearbeitung von Wälzlagering	80
11.1.2	Beratungsbeispiel 2: Bearbeitung von Gelenkwellenaugen	83
11.1.3	Beratungsbeispiel 3: Drehen von Nutmuttern	86
11.1.4	Beratungsbeispiel 4: Fräsen von Leerringen	89
11.1.5	Beratungsbeispiel 5: Wirbeln von Innengewinden an Muttern für Kugelgewindetriebe	90
11.1.6	Beratungsbeispiel 6: Trockenfräsen von Nuten in Schaftwerkzeuge	94
11.1.7	Beratungsbeispiel 7: Bearbeitung von Stelliteaufpanzerungen im Gesenkbau	96
11.1.8	Beratungsbeispiel 8: Drehen von Armaturenteilen aus Messing ohne Kühlschmiermittel	99
11.1.9	Beratungsbeispiel 9: Bohrfräsen von Wälzlagerkäfigen	101
11.1.10	Beratungsbeispiel 10: Drehen und Bohren eines Aluminiumkolbens	105
11.1.11	Beratungsbeispiel 11: Bearbeitung eines Al-Gehäuses	107
11.1.12	Beratungsbeispiel 12: Trockenbearbeitung von Magnetwerkstoffen	108
11.1.13	Beratungsbeispiel 13: Sägen von rostfreiem Stahl	109
11.1.14	Beratungsbeispiel 14: Sägen von AL-Polyamid-PUR-Verbundprofilen	111
11.1.15	Beratungsbeispiel 15: Trockensägen von abrasiven Werkstoffen	113
11.2	<i>Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Universität Dortmund</i>	115
11.2.1	Beratungsbeispiel 1: Bohren von Schraubstockspindeln	116
11.2.2	Beratungsbeispiel 2: Bohren von Kettengliedern aus Vergütungsstahl	119
11.2.3	Beratungsbeispiel 3: Drehen von Einsatzkappen aus Grauguss	122
11.2.4	Beratungsbeispiel 4: Bohren von Türbändern aus Aluminium	123
11.2.5	Beratungsbeispiel 5: Drehen von Antriebsteilen aus Vergütungsstahl	126
11.2.6	Beratungsbeispiel 6: Drehen von Hüftgelenkkomponenten aus einer verschleißbeständigen Chrom-Kobalt-Legierung	128
11.2.7	Beratungsbeispiel 7 – 8: Bearbeitung von Kolbenstangenzapfen aus St52-3	130
11.2.8	Beratungsbeispiel 9: Drehen von Sonderschrauben aus X8 CrNiMo 27 5	133
11.2.9	Beratungsbeispiel 10: Bohren und Fräsen von Messingkartuschen	136
11.2.10	Beratungsbeispiel 11: Bohren von Hülsen aus chromlegiertem Stahlguss	139
11.2.11	Beratungsbeispiel 12: Einlippentiefbohren von 38 MnVS 5	142

11.2.12	Beratungsbeispiel 13: Bohren von Ventiltellern aus X2 CrNiMo 17 13 2	144
11.2.13	Beratungsbeispiel 14: Optimierung der trockenen Komplettbearbeitung von Fahrwerksbauteilen in der Großserie	145
11.2.14	Beratungsbeispiel 15: Vergleich unterschiedlicher MMS-Systeme	147
<i>11.3</i>	<i>Institut für Produktionstechnik (wbk), Universität Karlsruhe</i>	<i>148</i>
11.3.1	Beratungsbeispiel 1: Fräsen einer tiefen Nut, Hülend	149
11.3.2	Beratungsbeispiel 2: Bohren von C45	153
11.3.3	Beratungsbeispiel 3: Vergleichende Untersuchungen von Minimalmengenschmiergeräten	157
11.3.4	Beratungsbeispiel 4: Trockenbearbeitung von Aluminiumussteilen	159
11.3.5	Beratungsbeispiel 5: Trockenräumen von Vergütungsstahl	163
11.3.6	Beratungsbeispiel 6: Gewindefurchen in St37 und St52, Werkzeugentwicklung	166
11.3.7	Beratungsbeispiel 7: Empfänger kammer Gasanalysegerät	170
11.3.8	Beratungsbeispiel 8: Fräsen von Aluminium Knetlegierungen, Temperaturmessungen	172
11.3.9	Beratungsbeispiel 9: Bohrung Durchmesser 8mm; Länge 100mm in 42CrMo4 und St 52	175
11.3.10	Beratungsbeispiel 10: Temperaturmessung beim Bohren in Grauguss	177
11.3.11	Beratungsbeispiel 11: Drehbearbeitung von Tiefziehbauteilen, Fa. EZU, Königsheim	178
11.3.12	Beratungsbeispiel 12: Bohrung D2 L30 in Grauguss mit Werkzeughersteller	180
11.3.13	Beratungsbeispiel 13: D6 L100 in GG 25	181
11.3.14	Beratungsbeispiel 14: Trockenbearbeitung beim Bohren mit HSSE	183
11.3.15	Beratungsbeispiel 15: Saubere Oberflächen bei der Aluminiumbearbeitung	185
<i>11.4</i>	<i>Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen</i>	<i>187</i>
11.4.1	Beratungsbeispiel 1: Bearbeitung vorgegossener Löcher in Grauguss	189
11.4.2	Beratungsbeispiel 2: Innenbearbeitung von Aluminiumrohren	191
11.4.3	Beratungsbeispiel 3: Bearbeitung eines Gehäuses aus Aluminium	193
11.4.4	Beratungsbeispiel 4: Entwicklung eines MMS-Nachrüst-Sets für gebrauchte Nassbearbeitungsmaschinen	195

11.4.5	Beratungsbeispiel 5: Bohren in eine Aluminium-Knetlegierung unter Einsatz einer Minimalmengenschmierung	198
11.4.6	Beratungsbeispiel 6: Schaftfräsen einer Aluminium-Knetlegierung ohne Einsatz einer Minimalmengenschmierung	200
11.4.7	Beratungsbeispiel 7: Bohren von Profilen aus einer Aluminium-Knetlegierung mit $L/D = 5$	202
11.4.8	Beratungsbeispiel 8: Kombiniertes Bohren und Reiben in Stahl	203
11.4.9	Beratungsbeispiele 9 - 12: Bohren in Stahl mit großen $L/D$ -Verhältnissen	205
11.4.10	Beratungsbeispiel 12: Bohren mit Wendeschneidplatten bestückten Werkzeugen in den Baustahl St52-3	213
11.4.11	Beratungsbeispiel 13: Drehfräsen von Brillengläsern aus Kunststoff	216
11.4.12	Beratungsbeispiel 14: Fräsen von Acrylglas	218
11.4.13	Beratungsbeispiel 15: Sägen – klassisches Einsatzgebiet der MMKS-Technik	220

## **1. Ausgangssituation zu Projektbeginn Anfang 2000**

Die Einsparung von Kühlschmierstoffen stellt einen deutlichen Schritt zu einer umweltfreundlichen Fertigung dar. Zahlreiche Forschungsvorhaben, vor allem in den 90er Jahren, belegen sowohl die Anwendungsreife der Trockenbearbeitung als auch das mit der Technologie zu erschließende wirtschaftliche Potenzial in produzierenden Unternehmen.

Wegweisend waren hier die Ergebnisse des vom BMBF geförderten Projektes „Trockenbearbeitung prismatischer Bauteile“ (1995 – 1997). In diesem Projekt wurde der Stand der Technologie in Forschung und Anwendung umfassend zusammengetragen, ergänzt und auf konkrete Werkstücke der metallbearbeitenden Industrie angewendet. Auch weitere Untersuchungen Ende der 90er Jahre (z. B. „Trockenzerspannen mit definierter Schneide“ und „Trockenschmierstoffschichten für die innovative und umweltfreundliche Fertigung“) belegten wiederum die Anwendungsreife und das im Themenfeld Trockenbearbeitung vorhandene Optimierungspotenzial.

Einige Anwendungen in den Fertigungsstätten innovativer Unternehmen wiesen in den 90er Jahren ebenfalls die mit der Technologie verbundenen Vorteile aus:

- Umweltfreundliche Fertigung
- Geringere gesundheitliche Belastung am Arbeitsplatz
- Produktivitätssteigerung in den Zerspanprozessen

Die Möglichkeiten für wirtschaftliche Einsparungen sind in Abbildung 1.1 dargestellt.

**Produktionskostensenkung**



Quelle: wbk/Leipold  
Elektro-Stecker, Messing

Vermeidung von **Reinigungsaufwand**

Steigerung der **Fertigungsqualität**  
Einsparung von **Kühlschmierstoffkosten**



Quelle: Bosch

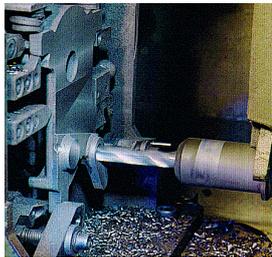
Getriebezahnrad,  
Vergütungsstahl



Quelle: wbk/DaimlerChrysler

**Umweltschutz**

**Bauteilkostensenkung um 5%**



Quelle: Heidelberger Druckmaschinen  
Lagerbock Druckmaschine,  
Gusseisen

**Prozesszeitverkürzung** 9,86s > 8,22s  
Verbesserung der **Arbeitsplatzhygiene**

Senkung **Anlageninvestitionen**



Quelle: wbk/E ADS

Beispiele vergangener Projekte - vornehmlich Großunternehmen

**Abbildung 1.1: Einsparpotenziale bei Trockenbearbeitung**

Die Beispiele zur Einführung der Trockenbearbeitung in Unternehmen haben sowohl den Erfolg, als auch die Komplexität der Umsetzung gezeigt. Unternehmen, welche nicht an Forschungsprojekten teilnehmen und aus der laufenden Produktion heraus nur wenig Kapazitäten für die Neueinführung einer Technologie freistellen können, sind bei einem solchen Vorhaben auf den Kontakt zu erfahrenen Experten und den Zugang zu sicheren fachlichen Informationen angewiesen. Diese Einstiegshürde zur Technologienutzung ist häufig vor allem bei kleinen und mittelständischen Unternehmen (KMU) anzutreffen.

Somit bestanden Ende der 90er Jahre sowohl die Randbedingungen, als auch der Bedarf, die industrielle Verbreitung der Technologie durch Beratung gezielt zu unterstützen. Aus diesem Anliegen heraus entstand die Idee zum Verbundvorhaben Technologienetz Trockenbearbeitung.

## **2. Motivation und Zielsetzung des Technologienetzes Trockenbearbeitung**

Das Technologienetz Trockenbearbeitung sollte einen im Vergleich zur klassischen Veröffentlichung von Forschungsergebnissen intensiveren und direkteren Wissenstransfer durchführen. Die in vielen, von Bund und Ländern geförderten Projekten erarbeiteten Ergebnisse versprachen ein von vielen Unternehmen nutzbares wirtschaftliches Potenzial. Dieses sollte zur Förderung des Standortes Deutschland einer breiten Anwendung zugeführt werden. Um den Anforderungen der Technologie gerecht zu werden, sollte neben einer breiten Informationsstreuung auch eine Ausrichtung der Beratung auf die individuellen Bedürfnisse einzelner Unternehmen stattfinden.

Besonders berücksichtigt wurden kleine und mittelständische Unternehmen (KMU), welche aus Kosten- bzw. Kapazitätsgründen eher selten eigene Forschung betreiben, oder die Teilnahme an Verbundprojekten zur technologischen Weiterentwicklung nutzen können.

Über den anfänglichen Kreis der Projektpartner und eingebundenen Unternehmen hinaus sollte das Netzwerk um weitere Experten in Industrie und Forschung erweitert werden. Ebenso sollte der Kontakt zu Organisationen/ Verbänden/ Arbeitskreisen, welche selbst in Wissenstransfer, Fortbildung und Technologieentwicklung tätig sind, genutzt und erweitert werden.

### 3. Durchführung und Projektorganisation

Die Aufgabenstellung an das Technologienetz Trockenbearbeitung teilt sich in drei Tätigkeitsbereiche: Ansprechen des Kunden unabhängig von Region oder Branche; intensive, nachhaltige Beratung sowie interne Kommunikation und Ausbau des Netzwerks. Dementsprechend gliederte sich das Projekt in drei Arbeitspakete:

- Öffentlichkeitsarbeit
- Beratung
- Wissensmanagement

Die Inhalte und der Projektverlauf in diesen 3 Arbeitsfeldern ist in den folgenden Kapiteln 4, 5 und 6 detailliert beschrieben.

Im Folgenden soll zunächst auf die Projektorganisation mit der Funktionalität der einzelnen Projektpartner eingegangen werden.

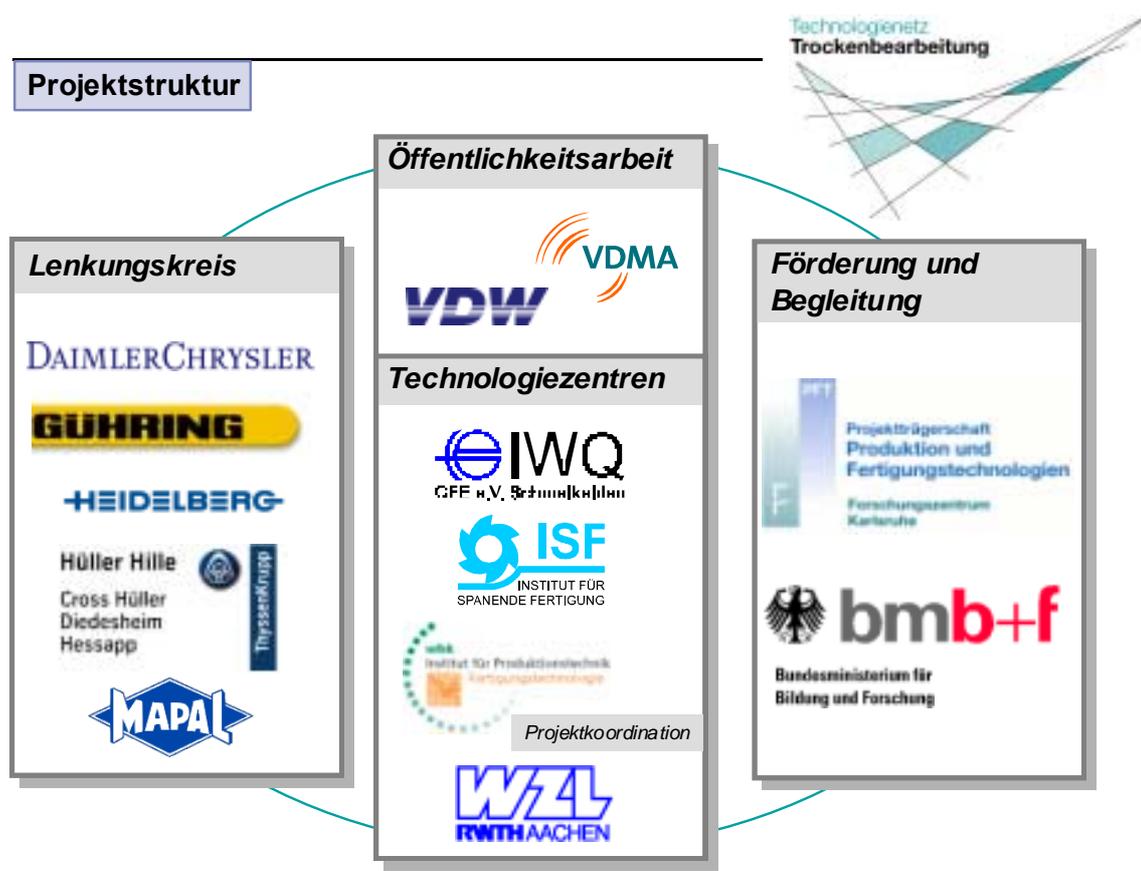


Abbildung 3.1: Projektstruktur

Die vier wissenschaftlichen Partner stellen als Technologiezentren die fachlichen Ansprechpartner für die Beratungskunden dar. Die Erfahrungsgrundlage der vier wissenschaftlichen Projektpartner wurde seit Ende der 80er Jahre in zahlreichen Forschungsprojekten erarbeitet.

Das Netzwerk stand unter der Schirmherrschaft der produktionstechnischen Verbände VDW und VDMA. Diese koordinierten die Öffentlichkeitsarbeit und Messeorganisation und brachten Ihre Erfahrung aus der fachlichen Verbandsarbeit im Auftrag ihrer Mitglieder mit ein. Über die Verbände bestand damit von Anfang an ein sehr guter Kontakt zu möglichen Beratungskunden. Diese Kontakte ermöglichten dem Technologienetz von Beginn an einen guten Zugang zu Unternehmen, welche nicht zum angestammten Kreis langjähriger Projektpartner der Forschungspartner gehörten.

Unterstützt wurden die Projektpartner durch einen Lenkungskreis aus Industrieunternehmen. Dieser Lenkungskreis setzte sich aus Unternehmen zusammen, welche selbst in der eigenen Produktion bereits die Trockenbearbeitung umgesetzt haben bzw. als Zulieferer produktionstechnischer Systeme langjährige Erfahrungen bei der Anwendung dieser Technologie nachweisen konnten. Der Lenkungskreis diente dem Technologienetz als Diskussionsforum bei der Ausgestaltung des Beratungsnetzwerks. Hier konnten die Projektpartner Feedback zu ihren Vorstellungen zur Wissensverbreitung beim Beratungskunden einholen. Genauso brachten die Firmen des Lenkungskreises fachliche Erfahrungen seitens der Technologieeinführung mit. Über ihr eigenes Engagement in Arbeitskreisen mit anderen Unternehmen stellten auch sie wiederum einen Verteiler dar.

Über die langjährige Arbeit sowohl in öffentlichen Forschungsprojekten als auch im Rahmen der Auftragsforschung der Industrie verfügten alle Projektpartner bereits über ein eigenes Netzwerk zu Experten und erfolgreichen Anwendern der Technologie.

Das Projekt "Technologienetz Trockenbearbeitung" wurde vom BMBF im Rahmenprogramm "Produktion 2000" gefördert und durch den Projektträger für Produktion und Fertigungstechnologien (PFT) im Forschungszentrum Karlsruhe betreut.

## **4. Werbung und Öffentlichkeitsarbeit**

### **4.1 Zielsetzungen**

Die Öffentlichkeitsarbeit des Technologienetzes Trockenbearbeitung teilte sich in zwei Gruppen auf:

1. überregionale Öffentlichkeitsarbeit
2. regionale Öffentlichkeitsarbeit

Für die Durchführung der überregionalen Öffentlichkeitsarbeit war eine eigene Arbeitsgruppe einzurichten – unter Mitwirkung aller Projektpartner. Diese Arbeitsgruppe war zunächst mit der Schaffung einer Corporate Identity (CI) beauftragt, von der ausgehend konkrete Werbemaßnahmen sowie der Aufbau einer Homepage (Internet-Frontend) realisiert werden sollten. Die überregionale Öffentlichkeitsarbeit beinhaltete den Entwurf eines Informations-Flyers und Maßnahmen zur Erhöhung des Bekanntheitsgrades des Technologienetzes. Aufgabe des Flyers war es, die Leistungen und die Partner des Netzes allgemein vorzustellen. Überregionale Maßnahmen zur Verbreitung der Techniken der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung (MMS) beinhalteten regelmäßige Veröffentlichungen in der Fachpresse und auf der Homepage des Technologienetzes. Diese und ähnliche Veröffentlichungen, die auch über eine eigene „Trockenzeitung“ kommuniziert werden sollten, enthielten redaktionelle Beiträge sowie Neuigkeiten über Geräte, Maschinen etc. für die Trockenbearbeitung und MMS.

Weiterhin sollte sich das Technologienetz Trockenbearbeitung auf größeren Messen präsentieren und geeignete Informationsveranstaltungen und Fachtagungen für eigene Beiträge nutzen. Zu Beginn des Verbundprojektes sollte eine Industriebefragung zur Erfassung der Zielgruppe des Technologienetzes durchgeführt werden, an deren Ergebnis die Aktivitäten der Öffentlichkeitsarbeit auszurichten waren.

Kalenderjahr 2000	2001	2002
<p><b>Fameta</b> 02.05. – 06.05.2000 Nürnberg Presse-/Besucherinformation über Struktur und Angebote des Netzes</p> <p><b>METAV</b> 27.06. – 01.07.2000 Düsseldorf Informationsstand und Presse-/Besucherinformation</p> <p><b>AMB</b> 12.09. – 16.09.2000 Stuttgart Vortrag, Seminarbeitrag und geeignete Besucherinformation</p>	<p><b>EMO</b> 12.09. – 19.09.2001 Hannover Informationsstand und Besucherinformationen</p> <p><b>2 Aktivitäten</b> jedes einzelnen Partners bei regionalen Informationsveranstaltungen oder Messen</p>	<p><b>NORTEC</b> 23.01. – 26.01.2002 Hamburg Informationsveranstaltung</p> <p><b>METAV</b> 04.06. – 08.06.2002 Düsseldorf Messestand und Besucherinformation</p> <p><b>AMB</b> 10.09. – 14.09.2002 Stuttgart Seminar, Einzelvortrag etc.</p> <p><b>Weitere Aktivitäten</b> durch die einzelnen Technologiezentren selbst organisiert</p>

**Tabelle 4.1: Vorplanung der Messeaktivitäten laut Rahmenplan**

Die regionale Öffentlichkeitsarbeit sollte von jedem Technologiezentrum selbst durchgeführt werden. Hier sollten vor allem Kernkompetenzen der Zentren hervorgehoben und ein individuelles Profil vermittelt werden. Dazu war von jedem Technologiezentrum ein (regionaler) Flyer mit eigenständigen Inhalten zu erstellen, der die Leistungen des Zentrums beschreibt. Zur regionalen Öffentlichkeitsarbeit gehörte auch die Bekanntmachung von regionalen Fachtagungen, Seminaren und Demonstrationsveranstaltungen. Die einzelnen Technologiezentren sollten die überregionale Öffentlichkeitsarbeit durch Beistellung von Materialien und Referenten unterstützen.

## 4.2 Projektverlauf / Erfahrungen

In Bezug auf die Öffentlichkeitsarbeit wurden folgende Ziele erreicht: Zu Beginn des Projektes wurde eine Corporate Identity geschaffen, welche ausgehend von der Gestaltung eines gemeinschaftlichen Logos auf dessen konsequenter Verwendung in

sämtlichen verfügbaren Kommunikationsmitteln basiert. Zu nennen sind hier insbesondere der regionale und der überregionale Flyer, ein gemeinschaftlich durch alle Partner verwendetes Briefpapier im Kontakt mit dem Kunden, eine Reihe allgemeiner sowie technischer Verfahrensposter einschließlich der zugehörigen Handzettel für die Präsentation auf Messen sowie ein gemeinsames Layout für die Folien und Unterlagen auf den Seminarveranstaltungen und die unter [www.trockenbearbeitung.de](http://www.trockenbearbeitung.de) erreichbare Homepage (Internet-Frontend).



**Abbildung 4.1: Corporate Identity im Technologienetz Trockenbearbeitung**

Im weiteren Projektverlauf lag ein Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit auf der Pressearbeit sowie der Fertigstellung und Pflege der Homepage. Anstehende Seminartermine des Technologienetzes wurden neben umfangreichen Fachartikeln regelmäßig in der Fachpresse veröffentlicht. Auf der Homepage wurden ergänzend hierzu auch die Veranstaltungen Dritter zum Thema Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung integriert, um eine umfassende Informationsplattform zu diesem Thema zu realisieren.

Einen weiteren Schwerpunkt bildete die Präsentation des Technologienetzes Trockenbearbeitung auf Messen und sonstigen Veranstaltungen (Vortragsveranstaltungen, Fachtagungen, Technologiebörsen etc.). Es stellte sich heraus, dass insbeson-

dere die Messeauftritte hervorragend dazu geeignet waren, mit Interessenten ins Gespräch zu kommen und Neukunden zu akquirieren. Aus diesem Grund wurden die Messeaktivitäten in Absprache mit dem Lenkungskreis ausgeweitet, indem zusätzliche Messen mit ins Programm aufgenommen wurden bzw. Messestände ergänzend zu den Besucherinformationen/Vorträgen vorgesehen wurden. Eine Übersicht über die Messeaktivitäten zeigt Abbildung 4.2.



**Abbildung 4.2: Messeaktivitäten des Technolozienetzes Trockenbearbeitung**

Sämtliche Aktivitäten der beiden oben beschriebenen Schwerpunkte wurden sowohl auf regionaler Ebene durch die betreffenden Technologiezentren als auch auf überregionaler Ebene durch die Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit bzw. den VDW durchgeführt.

#### **Im Einzelnen wurden dabei erstellt (Auswahl):**

- Das gemeinsame Briefpapier mit Technolozienetz-Logo zur variablen Verwendung (Kundenanschriften, Pressemitteilungen, Deckblätter etc.);
- Der überregionale Flyer zur Verteilung an potenzielle Interessenten (Basisinformation zu den Aktivitäten und Angeboten des Technolozienetzes);

- Fünf allgemeine Plakate und 13 Poster mit technischen Informationen bzgl. trockenbearbeitungsgerechter Prozesse sowie entsprechende Handzettel zur Verteilung auf Messen etc.;
- Ein gemeinsames Folienlayout mit Hervorhebung des CI durch Verzicht auf die gesonderte Darstellung der Institutslogos;
- Das Internet-Frontend der Homepage (öffentlich zugänglicher Bereich mit aktuellen Informationen zum Technologienetz und entsprechenden Kontaktmöglichkeiten) als eine auf allen gängigen Web-Browsern lauffähige HTML-Version;
- Eine Vielzahl an Pressemeldungen mit z. T. umfangreichen Texten zur Information über das Technologienetz und zur Bekanntgabe der Seminartermine in der Fachpresse;
- Über 20 Fachartikel und Interviews zur gezielten Bekanntmachung des Technologienetzes und seiner Dienstleistungen bei der Zielgruppe (Veröffentlichung in den einschlägigen Fachzeitschriften sowie Versendung an Interessenten);
- Dokumentvorlagen in Word für Windows zur Erstellung von Briefen und Pressetexten durch die Technologienetz-Partner;
- Eine Dokumentvorlage sowie eine Reihe fertiger Präsentationen in PowerPoint zur Vorstellung des Technologienetzes Trockenbearbeitung auf geeigneten Vortragsveranstaltungen und Symposien;
- Eine makrogestützte Dokumentvorlage zur komfortablen Erstellung und Editierung der regionalen Flyer durch die Institute;
- Vier regionale Flyer zur Verteilung auf Messen und Versendung an potenzielle Interessenten (während der Projektlaufzeit mehrfach überarbeitet).

**An Aktivitäten wurden weiterhin realisiert (Auswahl):**

- Eine Industriebefragung zur Erfassung der Zielgruppe, über die auf der Lenkungskreissitzung vom 8. Mai 2000 berichtet wurde und deren Ergebnis in die Ausrichtung der Öffentlichkeitsarbeit eingeflossen ist;
- Die Einstellung und kontinuierliche Pflege von Seminarterminen, News und Literaturhinweisen als HTML-Dateien auf der Technologienetz-Homepage;

- Die regelmäßige Einstellung von Seminarterminen und Pressetexten in die Homepage-Angebote von Dritten (z. B. VDMA, Fachverband Metallhandwerk Rheinhessen, Landesgewerbeamt Baden-Württemberg, Industrie- und Handelskammern);
- Die ausführliche Darstellung des Technologienetzes auf den Intranet-Seiten des VDW zur Einbindung der Maschinenhersteller und Information deren Kunden;
- Der Aufbau eines umfangreichen Presse-Verteilers mit z. T. persönlichen Kontakten zu Fachzeitschriften, Tagespresse und anderen Organisationen, die die Trockenbearbeitungstechnologie verbreiten (z. B. RKW Eschborn, Steinbeis-Transferzentren, freie Journalisten);
- Die Verlegung der Technologienetz-Homepage vom ursprünglichen Standort in Frankfurt am Main auf einen Server des wbk Karlsruhe;
- Die Präsentation anlässlich des Experten-Gesprächskreises des BMBF am 20.06.2001 bei DaimlerChrysler in Untertürkheim;
- Die Erstellung verschiedener Übersichten mit Anbietern trockenbearbeitungsge-rechter Werkzeugmaschinen sowie Peripherieeinrichtungen für die Trockenbe-arbeitung und Minimalmengenschmierung.

**Bezüglich Veranstaltungen und Messen wurden durchgeführt (Auswahl):**

- Die Präsentation des Technologienetzes auf den Karlsruher Arbeitsgesprächen mit einem Poster und Handzetteln des wbk am 2./3. März 2000;
- Die Präsentation des Technologienetzes mit einem eigenen Messestand auf der METAV Düsseldorf vom 27.06. bis 01.07.2000 im Rahmen der Sonder-schau „Trends 2000“;



**Abbildung 4.3: Messestand auf der METAV Sonderausstellung „Trends 2000“**

- Die Präsentation des Technologienetzes im Rahmen einer Sonderausstellung „Trockenbearbeitung – Vision oder Realität?“ auf der AMB Stuttgart vom 12.09. bis 16.09.2000 sowie entsprechender Vortrag;
- Die Vorstellung der Dienstleistungen im Technologienetz Trockenbearbeitung inkl. Posterausstellung auf der 4. Schmalkalder Werkzeugtagung am 8./9. November 2000;
- Die Vorstellung des Technologienetzes inkl. Posterausstellung im Rahmen der Fachtagung „Erfolgreiche Minimalmengenschmierung in der Produktion“ seitens VDMA, Verband Südwestmetall und Landesgewerbeamt Baden-Württemberg am 15.03.2001 in Stuttgart;
- Die Vorstellung des Technologienetzes inkl. Posterausstellung im Rahmen der Fachtagung „Zerspanen im modernen Produktionsprozess“ am ISF Dortmund, 28./29.03.2001;
- Die Präsentation des Technologienetzes im Rahmen des Besucher Forums auf der EuroTools der Messe Sinsheim (28.-31.03.2001) als Ersatz für die ausgefallene Fameta im Mai 2000 (Vortragsveranstaltung inkl. Presse-/Besucherinformation);



**Abb. 4.4: Messestand auf der EMO Sonderschau „Technik und Trends“ 2001**

- Die Präsentation des Technologienetzes mit einem eigenen Messestand auf der EMO Hannover vom 12. bis 19.09.2001 im Rahmen der Sonderschau „Technik und Trends“, dazu Nutzung der weiteren Präsentationsmöglichkeiten (mehrere Fachvorträge) auf dem zugehörigen Forum;
- Die Vorstellung des Technologienetzes auf dem Technologieforum des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) am 26.10.2001 in Stuttgart;
- Die Unterstützung der VDI-Gesellschaft Produktionstechnik bei der ADB-Fachtagung zum Thema Trockenbearbeitung am 07.11.2001 in Düsseldorf (einschließlich Präsentation des Technologienetzes);
- Die Vorstellung des Technologienetzes sowie der Möglichkeiten von Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung auf dem 11. Deutschen Kühlschmierstoff-Forum am 03./04.12.2001 in Bad Nauheim;



**Abbildung 4.5: Messestand auf der NORTEC 2002**

- Die Präsentation des Technologienetzes mit einem eigenen Messestand auf der NORTEC Hamburg vom 23.01. bis 26.01.2002 sowie Mitwirkung bei der Vortragsveranstaltung;
- Die Aufstellung des Technologienetzes mit einem eigenen Posterstand auf den Karlsruher Arbeitsgesprächen am 14./15. März 2002;
- Die Vorstellung der Dienstleistungen des Technologienetzes anhand von Beispielen erfolgreicher Umstellungen auf der VDI-Fachtagung „Trockenzerspaltung in der Serienfertigung“ am 21./22.03.2002 in Dresden;
- Die Platzierung der Trockenbearbeitung als eines der Hauptthemen in der vorbereitenden Öffentlichkeitsarbeit der METAV Düsseldorf, sowie die Präsentation des Technologienetzes mit einem eigenen Stand während der Messelaufzeit vom 04.06. bis 08.06.2002;

- Die Präsentation des Technologiernetzes anlässlich des Aachener Werkzeugmaschinenkolloquiums AWK vom 06.06. bis 07.06.2002 mit Poster und Maschinenvorführung;



**Abbildung 4.6: Messestand auf der METAV 2002**

- Die Präsentation des Technologiernetzes als Sonderausstellung „Trockenbearbeitung“ mit entsprechendem Stand auf der AMB Stuttgart vom 10.09. bis 14.09.2002 sowie die Organisation und Durchführung einer ganztägigen Vortragsreihe unter dem Titel „Trockenbearbeitung – Von der Vision zur Praxisreife“;



**Abbildung 4.7: Sonderausstellung „Trockenbearbeitung“ auf der AMB 2002**

- Die Präsentation des Technologienetzes Trockenbearbeitung auf der EuroBlech Hannover im Zeitraum vom 22.10. bis 26.10.2002;
- Die Vorstellung des Technologienetzes auf dem Pulvermetallurgischen Symposium in Hagen Anfang November 2001 sowie 2002;
- Die Präsentation des Technologienetzes Trockenbearbeitung als Bindeglied zwischen Forschung und Praxis auf der VDI-Fachtagung „Trockenanzerspannung in der Serienfertigung“ am 07./08.11.2002 in München;
- Die Organisation und Durchführung der Fachtagung „Erfolgreiche Wege zur Trockenbearbeitung – Beratung und Unterstützung durch das Technologienetz“ zum Abschluss der geförderten Projektlaufzeit am 22. November 2002 in Frankfurt am Main sowie die Herausgabe eines umfassenden Tagungsbandes;
- Die Präsentation des Technologienetzes mit einem eigenen Stand auf der Doppelmesse EuroMold / turntec in Frankfurt am Main vom 04.12. bis 07.12.2002;
- Die Vorstellung der Unterstützungsmöglichkeiten durch das Technologienetz auf dem Vertiefungsseminar des Württembergischen Ingenieurvereins „Trockenbearbeitung von Metallen – Drehen, Fräsen, Bohren, Gewindefertigung“ am 18. März 2003 in Stuttgart;

- Die Vorstellung des Technologienetzes und der Strategien für die Zukunft anhand von umgesetzten Beispielen und Beratungen auf der VDI-Fachtagung „Trockenerspannung in der Serienfertigung“ am 26./27.06.2003 in Schwaz (Österreich).

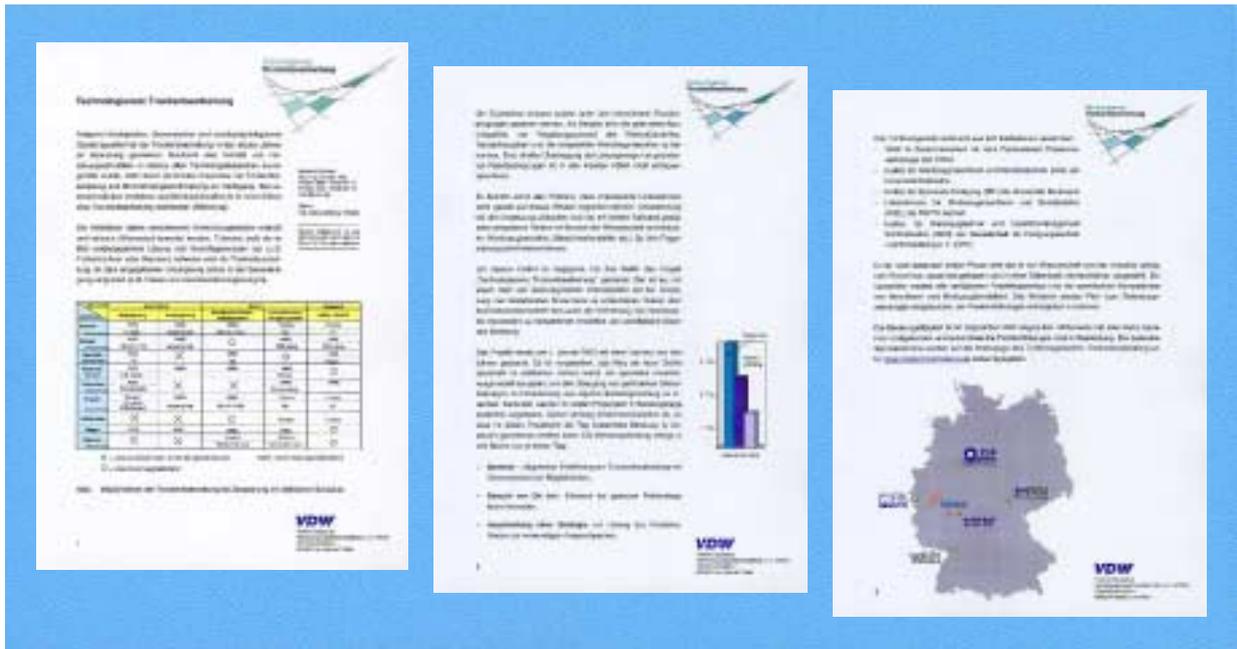
Die vorstehenden Aufzählungen enthalten hauptsächlich Aktivitäten aus der überregionalen Öffentlichkeitsarbeit. Eine vollständige Auflistung der zusätzlich von den Technologiezentren durchgeführten regionalen Aktivitäten lässt der zugrundeliegende Umfang des Abschlussberichts nicht zu.

Bei den Messeveranstaltungen konnte unter Einhaltung des Finanzplanes eine wesentlich stärkere Beteiligung realisiert werden, als ursprünglich im Rahmenplan vorgesehen. Dieses Vorgehen wurde präferiert, da sich gezeigt hatte, dass im persönlichen Gespräch am besten die Vorteile und Möglichkeiten der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung vermittelt werden konnten. Die zusätzlichen Kontaktmöglichkeiten zu potenziellen Kunden wurden genutzt und führten letztendlich zu einem stärkeren Kundenzulauf zum Technologienetz.

Kalenderjahr 2000	2001	2002
<p><b>METAV</b> 27.06. – 01.07.2000 Düsseldorf Informationsstand im Rahmen der Sonderschau „Trends 2000“, Presse-/Besucherinformation</p> <p><b>AMB</b> 12.09. – 16.09.2000 Stuttgart Beteiligung an der Sonderausstellung „Trockenbearbeitung – Vision oder Realität?“, Vortrag, Seminarbeitrag und geeignete Besucherinformation</p> <p><b>Weitere Aktivitäten</b> durch die einzelnen Technologiezentren selbst organisiert (über die gesamte Projektlaufzeit)</p>	<p><b>EuroTools</b> 28.03. – 31.03.2001 Sinsheim Vortragsveranstaltung inklusive Presse-/Besucherinformation über Struktur und Angebote des Netzes</p> <p><b>EMO</b> 12.09. – 19.09.2001 Hannover Messestand im Rahmen der Sonderschau „Technik und Trends“, Besucherinformationen, verschiedene Fachvorträge auf dem Forum</p> <p><b>Mehrere Aktivitäten</b> jedes einzelnen Partners bei regionalen Informationsveranstaltungen oder Messen</p>	<p><b>NORTEC</b> 23.01. – 26.01.2002 Hamburg Eigener Messestand, Mitwirkung bei der Vortragsveranstaltung</p> <p><b>METAV</b> 04.06. – 08.06.2002 Düsseldorf Presseinformationen im Vorfeld, Messestand und Besucherinformation</p> <p><b>AMB</b> 10.09. – 14.09.2002 Stuttgart Gestaltung der Sonderausstellung „Trockenbearbeitung“, Organisation zweier Vortragsreihen</p> <p><b>EuroBlech</b> 22.10. – 26.10.2002 Hannover Informationsveranstaltung</p> <p><b>EuroMold / turntec</b> 04.12. – 07.12.2002 Frankfurt Informationsstand und Besucherinformationen</p>

**Tabelle 4.2: In der Projektlaufzeit durchgeführte Messeaktivitäten**

Neben den oben beschriebenen Aktivitäten ist besonders die umfangreiche Pressearbeit im Technologienetz Trockenbearbeitung hervorzuheben. Im Zeitraum vom Februar 2000 bis Juli 2003 konnten weit über 100 Veröffentlichungen in der einschlägigen Fach- sowie in der Tagespresse realisiert werden. Die Bandbreite reicht von umfangreichen Fachberichten über Interviews und Kurzartikel bis hin zur Thematisierung im Rahmen von Messeberichten. Um die Berichterstattung zum Technologienetz zu flankieren, wurden auch allgemeine Artikel zur Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung ohne Hinweis auf das eigentliche Verbundprojekt mit eingebracht.



**Abbildung 4.8: Pressebericht im Technologienetz Trockenbearbeitung**

Die nachfolgende Liste gibt einen Überblick zu den getätigten Veröffentlichungen im Förderzeitraum und darüber hinaus; sie stellt aufgrund der zusätzlichen Pressetätigkeit der einzelnen Technologiezentren ebenfalls eine Auswahl dar.

**Veröffentlichungen in der Presse im Jahr 2000:**

- Dr.-Ing. Wilfried Schäfer: „Technologienetz Trockenbearbeitung“, FWF ForschungsInfo Nr. 8 vom Februar 2000, S. 4
- Dipl.-Ing. Martin Dyck: „Technologienetz Trockenbearbeitung – Wirtschaftlichere und umweltfreundlichere Zerspanung ist das Ziel“, wt – Werkstattstechnik 90 (2000) Heft 3 vom März 2000, S. 10
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt, Dipl.-Ing. Martin Dyck: „Einstieg in die Trockenbearbeitung – Ein neues Technologie-Netzwerk hilft bei der Realisierung“, WB – Werkstatt und Betrieb Jahrg. 133 (2000) 4 vom April 2000, S. 68-70
- Sven Laux, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Neugegründetes Technologienetz unterstützt bei Einführung der Trockenbearbeitung“, Expo Kurier vom Mai 2000, S. 4
- Sven Laux, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung: Technologienetz unterstützt bei der Einführung“, VDI-Z Special Werkzeuge vom Mai 2000, S. 6
- Dipl.-Ing. Nikolaus Fecht: „Trockenlegen auch ohne Pampers – Praxiswissen rund um die trockene Werkzeugmaschine“, fertigung Ausgabe Mai 2000, S. 20-22
- Sven Laux, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Im Netz herrscht Trockenheit – Technologienetz unterstützt bei der Einführung des Dry Cutting“, Produktion METAV-Spezial vom Mai 2000, S. S23
- Dr. Birgit Oppermann: „Gesamte Produktion wird trockengelegt – Netzwerk unterstützt Mittelständler“, Industrieanzeiger Nr. 23 vom 05.06.2000, S. 48
- Siegfried Kämpfer, Sven Laux, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Neugegründetes Technologienetz unterstützt bei Einführung der Trockenbearbeitung“, VDI nachrichten Nr. 25 vom 23.06.2000

- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – Erste Seminartermine nach erfolgreicher Messepräsentation“, VDI-Z 142 (2000) Nr. 7/8 - Juli / August, S. 16
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung“, dima – Die Maschine Ausgabe 7-8 vom Juli/August 2000, S. 8
- Fachaufsatz „Raffinierte Technik gegen die große Hitze“, Markt und Mittelstand Ausgabe 8 vom August 2000, S. 110-112
- Aldo Tormen: „Technologienetz unterstützt KMU“, SMM – Schweizer Maschinenmarkt Nr. 32/33 vom 16.08.2000, S. 3 (Editorial)
- Infokasten „Technologienetz Trockenbearbeitung“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 9 vom September 2000, S. 12
- Infokasten „VDW – Seminare für Trockenbearbeitung“, Industrieanzeiger Nr. 36 vom 04.09.2000, S. 10
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung veranstaltet Seminarreihe im Herbst“, MM – Maschinenmarkt Nr. 36 vom 04.09.2000, S. 8
- Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler: „Schmiedeteile trocken zerspanen“, Schmiede-Journal Ausgabe September 2000, S. 23+24
- Dipl.-Ing. Ottmar Wandel: „Fräsen, Drehen, Bohren ohne Kühlschmierung – Kostensparende und umweltschonende Innovation“, W&P – Das RKW-Journal Ausgabe 10 vom Oktober 2000, S. 8
- Kurzartikel „Trockenbearbeitung – Kostenlose Infos im Technologienetz“, Industrieanzeiger Nr. 47 vom 20.11.2000, S. 62
- Terminkalender-Eintrag „Technologienetz Trockenbearbeitung: Seminar und Beratung“, werkzeuge Ausgabe Dezember 2000, S. 98
- Infokasten „Termine, Messen und Kongresse“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 12 vom Dezember 2000, S. 10
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung: Seminare und Beratung weiterhin kostenlos“, VDMA Nachrichten Ausgabe 12 vom Dezember 2000, S. 10+11

#### **Veröffentlichungen in der Presse im Jahr 2001:**

- Siegfried Kämpfer: „Trocken oder nass: Ökonomie entscheidet“ und „Trockenbearbeitung dringt langsam vor“, VDI nachrichten Nr. 4 vom 26.01.2001
- Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler: „Trockenbearbeitung metallischer Werkstoffe – Saubere Fertigungstechnologien schaffen Wettbewerbsvorteile und sichern Marktpositionen“, Synergie Journal Ausgabe 2/2001, S. 14+15
- Infokasten „Mehr Transparenz in der Trockenbearbeitung“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 1/2 vom Februar 2001, S. 12
- Kurzinformation „Möglichkeiten der Trockenbearbeitung“, fertigung Ausgabe Februar 2001, S. 7
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – Kostenfreie Beratung“, VDI-Z 143 (2001) Nr. 3 - März, S. 15
- Kurzartikel „Technologienetz Trockenbearbeitung“, KEM – Konstruktion Elektronik Maschinenbau Ausgabe März 2001, S. 16
- Kurzartikel „Technologienetz – Trockenbearbeitung in der Metallindustrie wird vom Bund gefördert“, Industrieanzeiger Nr. 13 vom 26.03.2001, S. 3
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Der erste Schritt ist am schwersten – Technologienetz Trockenbearbeitung: Kostenlose Infos rund um ein brandaktuelles Thema“, fertigung Ausgabe April 2001, S. 68+69
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – neue Seminartermine“, VDMA Nachrichten Ausgabe 4 vom April 2001, S. 17

- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung“, Form + Werkzeug Ausgabe April 2001, S. 4+9
- Dipl.-Ing. Bernhard Kuttkat: „Ein Hauch genügt – Minimalmengenschmierung beim Spanen senkt Kosten und schont auch die Umwelt“, MM – Maschinenmarkt Nr. 20 vom 14.05.2001, S. 20-22
- Fachaufsatz „Trockene Späne = Mehr Profit – Was auf dem Weg zu wirtschaftlicher Trockenbearbeitung wichtig ist“, Produktion Nr. 23 vom 07.06.2001, S. 8+9
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt, Dipl.-Ing. Heiner Lang, Dipl.-Ing. Martin Dyck: „Trockenbearbeitung ist wirtschaftlich und umweltfreundlich“, MM – Maschinenmarkt Nr. 29 vom 16.07.2001, S. 20-23
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trocken ist Trend – Technologienetz Trockenbearbeitung“, VDMA Nachrichten Ausgabe 7 vom Juli 2001, S. 34-36
- Bernd Jahn: „Trockenbearbeitung in der Metallindustrie entlastet die Umwelt und schafft Kostenvorteile“, WIMA – Wirtschaftsmagazin Ausgabe 7 vom Juli 2001
- Dipl.-Ing. Nikolaus Fecht, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trocken-Auslese – Trend-Interview: Wer dreht den Kühlschmierstoff-Hahn ab?“ maschine + werkzeug Ausgabe 7-8 vom Juli/August 2001, S. 73-79
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Erfahrungsaustausch gesucht und gefunden – Sonderschau: Trockenbearbeitung“, fertigung EMO-Spezial vom August 2001, S. s48+s49
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt, Dr.-Ing. Titus Konold, Dipl.-Ing. Martin Dyck: „Metallbearbeitung ohne Kühlschmierung“, WB – Werkstatt und Betrieb Ausgabe 9 vom September 2001, S. 38-49
- Dipl.-Ing. Bernhard Kuttkat: „Trockenbearbeitung senkt die Fertigungskosten“, MM – Maschinenmarkt Nr. 36 vom 03.09.2001, S. 68-73
- Kurzartikel „Trockenbearbeitung – Kostenfreie Praxisseminare noch bis Ende 2001“, Industrieanzeiger Nr. 36 vom 03.09.2001, S. 16
- Dipl.-Ing. Nikolaus Fecht: „Trocken, schnell und produktiv – Reiserouten zur Old Economy: Tipps zum EMO-Hallenslalom“, Handelsblatt Nr. 171 vom 05.09.2001, S. B 2
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Schnell, schneller, trocken – Trockenbearbeitung in der spanenden Metallbearbeitung“ und „Technologienetz Trockenbearbeitung: Kostenfreie Seminare noch bis Ende 2001“, VDMA Nachrichten Ausgabe 9 vom September 2001, S. 66-68
- Interview mit Berndt Heller, Präsident des VDW: „Bei Hexapoden kein Durchbruch zu erwarten“, fertigung Ausgabe September 2001, S. 46+47
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Machbarkeitsstudie zur Trockenbearbeitung“, Drehteil + Drehmaschine Ausgabe 5 vom September/Okttober 2001, S. 62+63
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trocken günstiger zerspanen“, WB – Werkstatt und Betrieb Ausgabe 10 vom Oktober 2001, S. 38
- Infokasten „Trockenbearbeitung – Kostenlose Seminare nur noch bis Ende 2001“, fertigung Ausgabe Oktober 2001, S. 98
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Mit trockenen Spänen läuft's um 39% schneller – Trockenbearbeitung: Erfahrungen mit Technologienetz positiv“, Produktion Nr. 43 vom 25.10.2001, S. 14
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Der richtige Dreh: schnell und trocken! – Technologienetz Trockenbearbeitung berät Unternehmen“, werkzeuge Ausgabe Dezember 2001, S. 52
- Dipl.-Ing. Stephan Wittkop, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Schnell – schneller – trocken“, dima – Die Maschine Ausgabe 12 vom Dezember 2001, S. 18
- Kurzartikel „Trockenbearbeitung für Automobilisten“, Der Betriebsleiter Ausgabe 12 vom Dezember 2001, S. 61

## Veröffentlichungen in der Presse im Jahr 2002:

- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologie-Netz: So gelingt der Einstieg ins Dry Cutting“, Produktion Nr. 12 vom 21.03.2002, S. 12
- Dipl.-Volksw. Hans-Ulrich Kokoska, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Metav: Wer abseits steht, kann keine Tore schießen“, Produktion METAV Spezial Nr. 12 vom 21.03.2002, S. S6
- Dipl.-Volksw. Hans-Ulrich Kokoska, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „METAV 2002: Weltgrößter Inlandsmarkt im Visier – 1100 Unternehmen aus 23 Ländern stellen aus“, VDMA Nachrichten Ausgabe 4 vom April 2002, S. 16-18
- Infokasten „METAV 2002: Weltgrößter Inlandsmarkt im Visier“, VDI-Z 144 (2002) Nr. 5 - Mai, S. 6
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Vom Trend zur Serienreife – Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung optimieren Zerspanprozesse“, VDMA Nachrichten Ausgabe 5 vom Mai 2002, S. 54+55
- Dipl.-Ing. Nikolaus Fecht, Dipl.-Ing. Frank Barthelmä: „Werkzeugentwicklung in Schmalkalden – Thüringer „Tüfteleien“ rund um Werkzeuge“, VDI-Z Special Werkzeuge vom Mai 2002, S. 8+9
- Dipl.-Volksw. Hans-Ulrich Kokoska, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „METAV 2002: Weltgrößter Inlandsmarkt im Visier – Über 1100 Unternehmen aus 23 Ländern stellen aus“, Expo Kurier vom Mai 2002, S. 1+2, S. 6
- Kurzartikel „Metav 2002 – Alle profitieren von kompatiblen Baugruppen“, Industrieanzeiger Nr. 21 vom 21.05.2002, S. 8
- Dipl.-Ing. Torsten Bell für Dr.-Ing. Detlev Elsinghorst: „Blickpunkt – Trends in der Fertigung“, MM – Maschinenmarkt Nr. 22 vom 27.05.2002, S. 50
- Siegfried Kämpfer, Dr. Wolfgang Sengebusch: „Präzisionswerkzeug-Industrie – Auch wenn die Maschinen weniger laufen, brauchen sie Werkzeuge“, VDI nachrichten Nr. 22 vom 31.05.2002, S. 4
- Dipl.-Ing. Torsten Bell, Dipl.-Ing. Uwe Möller: „Vom Trendthema zur Serienreife – Trockenbearbeitung auf dem Vormarsch“, m+w – maschine + werkzeug Ausgabe 6 vom Juni 2002, S. 84-86
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung: Vom Trendthema zur Serienreife – Technologie-Netzwerk berät / Wesentlich höhere Schnittgeschwindigkeiten möglich“, Die Messe – METAV 2002 vom Juni 2002, S. 14+15
- Dipl.-Ing. Charlotte Sälzer: „Berufsschullehrer informierten sich im WZL“, Tools 2/2002 – Zeitschrift des Fraunhofer IPT und WZL, S. 15
- Dipl.-Ing. Walter R. Frick, Dr.-Ing. Steffen Reich: „Produktion-Interview: Trockenbearbeitung – Verzicht auf Kühlschmierstoff muss Kosten sparen“, Produktion Nr. 30/31 vom 01.08.2002
- Messevorschau „AMB 2002 bündelt die Fertigungstechnik – Impuls im Markt der Metallbearbeitung erwartet“, VDI-Z Special Werkzeuge vom August 2002, S. 6+7
- Infokasten „Technologienetz Trockenbearbeitung“, VDI-Z Special Werkzeuge vom August 2002
- Messevorschau „AMB 2002: Mitten im europäischen Markt – Die Welt der Metallbearbeitung vom 10. bis 14. September 2002 in Stuttgart“, STAHL Formen Fügen Fertigen Nr. 4 vom August 2002, S. 34+35
- Dipl.-Ing. Dietmar Kippels, Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Auf der AMB Stand der Technik – Trockenbearbeitung ohne Wenn und Aber“, VDI nachrichten Nr. 35 vom 30.08.2002
- Messevorschau „Neuer Schwung durch AMB?“, dima – Die Maschine Ausgabe 8-9 vom August/September 2002, S. 12+13
- Dipl.-Ing. Bernhard Kuttkat: „Schnell, trocken und genau – Weiterentwickelte Maschinen und Werkzeuge forcieren das Tempo beim Spanen“, MM – Maschinenmarkt Nr. 36 vom 02.09.2002, S. 37 ff
- Kurzartikel „AMB 2002 – Nacharbeit und Zahl der Prozessschritte sinken“, Industrieanzeiger Nr. 36 vom 02.09.2002, S. 32

- Messevorschau „Mitten im Markt – AMB 2002“, M&T Metallhandwerk Ausgabe 9 vom September 2002, S. 81
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung: Vom Trend zur Serienreife – Technologiezentrum auf der Messe vertreten / Skepsis nach Einstieg überwunden“, Die Messe – AMB 2002 vom September 2002, S. 18
- Kurzartikel und Terminkalender-Eintrag „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“, WB – Werkstatt und Betrieb Ausgabe 10 vom Oktober 2002, S. 6+7
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Erfolgreiche Wege zur Trockenbearbeitung“, dima – Die Maschine Ausgabe 10 vom Oktober 2002, S. 6
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – Vorsprung für deutsche Werkzeugmaschinen“, VDW · VDMA Wzm-Geschäftsbericht 1999 - 2002 vom 17.10.2002, S. 10+11
- Interview mit Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung – Unterm Strich muss man Geld sparen“, fertigung Ausgabe November 2002, S. 8
- Infokasten „Fachtagung zur Trockenbearbeitung“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 11 vom November 2002, S. 6
- Harald Klieber, Interview mit Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – So geht's weiter ohne Förderung“, Produktion Nr. 48 vom 28.11.2002, S. 6
- Dipl.-Ing. Frank Barthelmä, Dr.-Ing. Steffen Reich, Dipl.-Chem. Anita Heß: „Wege zur Trockenbearbeitung – Stand, Tendenzen, Ausblick“, dima – Die Maschine Ausgabe 11-12 vom November/Dezember 2002, S. 56+57
- Dipl.-Ing. Haider Willrett: „Trockenbearbeitung – Technologienetz bleibt aktiv“, Industrieanzeiger Nr. 49/50 vom 02.12.2002, S. 10

#### **Veröffentlichungen in der Presse von Januar bis Juli 2003:**

- Kurzartikel „Technologienetz Trockenbearbeitung“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 1/2 vom Februar 2003, S. 10
- Prof. Dr.-Ing. Jürgen Schmidt, Dipl.-Ing. Martin Dyck: „Mit Wissenstransfer die Fertigung trockenlegen“, WB – Werkstatt und Betrieb Ausgabe 1-2 vom Februar 2003, S. 44-47
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Technologienetz Trockenbearbeitung – Aktivitäten werden fortgeführt“, VDMA Nachrichten Ausgabe 2 vom Februar 2003, S. 46
- Dipl.-Ing. Haider Willrett: „ISF-Chef Prof. Klaus Weinert über das Potenzial der trockenen Zerspanung: Einfach den Hahn zuzudrehen, reicht nicht“, Industrieanzeiger Nr. 7/8 vom 17.02.2003, S. 52
- Dipl.-Ing. Klaus Malle: „Trockenbearbeitung: Der Weg ist das Ziel“, VDI-Z Special Werkzeuge vom März 2003, S. 3
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung – mit dem Technologienetz Kosten sparen“, dima – Die Maschine Ausgabe 2 vom März 2003, S. 32+33
- Prof. Dr. Klaus Weinert, Dipl.-Ing. Stefan Hesterberg, Dipl.-Ing. Stephan Wittkop: „Trockenbearbeitung geht in Serie – Leistungssteigerung durch Trockenbearbeitung“, mav – Maschinen Anlagen Verfahren Ausgabe 3 vom März 2003, S. 58-61
- Kurzartikel „Technologienetzwerk Trockenbearbeitung“, Blech Rohre Profile Ausgabe 2 vom März 2003
- Dipl.-Ing. Torsten Bell: „Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung“, Drehteil + Drehmaschine Ausgabe 2 vom März/April 2003, S. 16+17
- Kurzartikel „Technologienetz Trockenbearbeitung erhält Unterstützung vom VDF: Hemmschwelle herabsetzen“, Form + Werkzeug Ausgabe April 2003, S. 8
- Dipl.-Ing. Walter R. Frick: „Technik-Report: Technologienetz – Noch Potenzial im Trockenbearbeiten“, Produktion Nr. 15 vom 10.04.2003, S. 12

- Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler: „Chancen zur Kostensenkung nutzen – Trockenerspannung von Schmiedeteilen“, VDI-Z 145 (2003) Nr. 5 - Mai, S. 33-37
- Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke, Dr.-Ing. Klaus Gerschwiler: „Das TechnolgieNetz Trockenbearbeitung wird fortgesetzt – Bilanz einer erfolgreichen Beratungstätigkeit“, VDI-Z 145 (2003) Nr. 7/8 – Juli/August, S. 37-40

#### **Beispiele für Veröffentlichungen im Internet:**

- Homepage TechnolgieNetz Trockenbearbeitung (insbesondere News-Bereich) unter [www.trockenbearbeitung.de](http://www.trockenbearbeitung.de)
- Internetseiten der TechnolgieNetz-Partner (VDW, VDMA, GFE, ISF, wbk, WZL)
- Internetseiten externer Verbände (VDI, RKW, FGMA, Fachverband Metallhandwerk Rheinhesen, verschiedene Industrie- und Handelskammern etc.)
- Terminkalender und Internetseiten von Fachzeitschriften (fertigung, Industrieanzeiger, KEM, Maschinenmarkt, mav, NCFertigung, VDI-Z etc.)
- Internetseiten von Messeveranstaltern (Messe Düsseldorf, Messe Stuttgart etc.)
- Internet-Portale (Metalworking Globe, PIUS Online, Techpilot.net etc.)
- Internetseiten von Ämtern und Behörden (z. B. Landesgewerbeamt Baden-Württemberg)



Abb. 4.9: VDI-Z zur Fortführung des Technologienetzes Trockenbearbeitung

Wie die obigen Auflistungen zeigen, wurde bei den Presseveröffentlichungen eine sehr große Anzahl bei gleichzeitiger Kontinuität über den gesamten Förderzeitraum und darüber hinaus erzielt. Auf diese Weise konnten ohne zusätzliche Aufwendungen an Finanzmitteln eine Vielzahl potenzieller Kunden mit großer Regelmäßigkeit erreicht werden. Dabei wurden nicht nur einzelne Fachzeitschriften bedient, sondern die ganze Bandbreite aus Fachmagazinen, Wochen- und Tageszeitungen bis hin zu Instituts- und Verbandszeitschriften bzw. -broschüren.

Anzumerken ist, dass das TechnolgieNetz auf ein starkes Interesse bei der Fachpresse gestoßen ist, dass es zeitweise kaum möglich war, alle Anfragen von Seiten der Presse zufrieden zu stellen. Die Vermutung liegt nahe, dass es den Zeitschriften im eigenen Interesse ein Anliegen war, regelmäßig über die zunächst kostenfreien und später kostengünstigen Praxisleistungen (Seminare und Beratungen) des TechnolgieNetzes zu berichten.

Aus diesen Gründen wurde in Abstimmung mit dem industriellen Lenkungsreis auf die gesonderte Herausgabe einer eigenen „Trockenzeitung“ mit entsprechenden Beiträgen verzichtet. Eine solche Veröffentlichung hätte aus Mitteln des TechnolgieNetzes finanziert werden müssen und ferner zum Problem einer geeigneten Verteilung geführt, hätte man nicht nur eine Beilage zu den ohnehin existierenden Instituts- und Verbandsveröffentlichungen realisieren wollen. Die personellen Ressourcen wurden stattdessen in eine stärkere Pressearbeit sowie in die Ausgestaltung der Homepage investiert.

### **4.3 Ergebnisse / Fazit**

Eines der Hauptergebnisse aus Sicht der Öffentlichkeitsarbeit ist, dass das zugrunde gelegte Konzept von regionaler Öffentlichkeitsarbeit durch die Institute und überregionaler Öffentlichkeitsarbeit durch die Koordinationsstelle hervorragend dazu geeignet ist, ein solches Verbundvorhaben bekannt zu machen und für den nötigen Kundenzustrom zu sorgen.

Nachdem die Arbeitsgruppe „Öffentlichkeitsarbeit“ unter Beteiligung aller Projektpartner eingerichtet war und die grundlegenden Arbeiten hinsichtlich Corporate Identity (Layout Flyer, Poster, Briefpapier, Homepage etc.) erledigt waren, ergab sich einerseits eine selbständige Bearbeitung der regionalen Bereiche durch die Institute bei gleichzeitig optimaler Verzahnung mit den überregionalen Aktivitäten der Koordinationsstelle. So leisteten die Technologiezentren nicht nur die Bekanntmachung und Kundenwerbung auf regionaler Ebene, sie standen auch als Zulieferer für technische Informationen an die Koordinationsstelle zur Verfügung und gestalteten die überregionale Öffentlichkeitsarbeit durch umfangreiche Fachaufsätze und andere Beiträge mit.

Die überregionale Öffentlichkeitsarbeit kümmerte sich regelmäßig um die Bekanntgabe der Seminartermine in allen verfügbaren Medien und unterstützte dies durch

umfassende Berichterstattung zum Technologiernetz und seinen Beratungsangeboten. Dabei wurden gezielt Beispiele umgesetzter Beratungen eingesetzt, um die Vorteile der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung zu verdeutlichen. Praxisberichte, Interviews und flankierende Berichterstattung zur Trockenbearbeitung wurden genutzt, um das Erscheinungsbild in den Medien abzurunden.

Neben der Poesstätigkeit betraf die gute Verzahnung zwischen regionaler und überregionaler Öffentlichkeitsarbeit eine Vielzahl weiterer Aspekte, wie beispielsweise die übergeordnete Erstellung von Vorlagen und anschließende Verwendung für regionale Tätigkeiten, die Ausrichtung überregionaler Messen und Veranstaltungen durch die Koordinationsstelle bei gleichzeitiger Betreuung regionaler Veranstaltungen durch die Technologiezentren sowie die Erstellung allgemeingültiger Poster und Materialien durch die Arbeitsgruppe Öffentlichkeitsarbeit bei gleichzeitiger Abfassung verfahrensspezifischer Unterlagen durch die Institute.

Beim zweiten Schwerpunkt der Öffentlichkeitsarbeit, der Präsentation des Technologiernetzes auf Veranstaltungen und Messen, ist nicht nur die hervorragende gegenseitige Unterstützung bei der Organisation hervorzuheben, sondern auch die gute Zusammenarbeit bei der Durchführung der Veranstaltungen. So kam es zu keinem Zeitpunkt und bei keiner Veranstaltung zu Engpässen. Im Gegenteil war die Motivation aller Beteiligten entsprechend hoch, so dass in Absprache mit dem Lenkungskreis nicht nur die bestehenden Aktivitäten ausgebaut, sondern auch zusätzliche Veranstaltungen hinzugezogen werden konnten, ohne das verfügbare Budget zu überschreiten.

Ferner ist die gute Zusammenarbeit mit Organisationen außerhalb des Projektverbundes zu nennen, die jedoch zum Teil weit über die reine Öffentlichkeitsarbeit hinausging. So wurden in Zusammenarbeit mit Industrie- und Handelskammern, Beratungsagenturen und externen Verbänden Veröffentlichungen in die Wege geleitet, Veranstaltungen organisiert und eine Zusammenarbeit begonnen, die weit über die Fördergrenzen des Technologiernetzes Trockenbearbeitung hinausgeht. Als Beispiele können der neu gegründete Arbeitskreis TroiA (Trockenbearbeitung für industrielle Anwendungen) und die Zusammenarbeit mit der ABAG-itm bzw. dem RKW genannt werden.

## 5. Beratung

### 5.1 Zusammenfassung der Beratungstätigkeiten

Das Ziel der Beratungstätigkeiten im Verbundprojekt „Technologienetz Trockenbearbeitung“ besteht in einem Wissenstransfer zu den Themen der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung von der Forschung in die Industrie. Die Zielgruppen der Beratungsleistungen sind dabei insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen aus Deutschland. Die Beratungsangebote informieren interessierte Unternehmen über die Möglichkeiten und Grenzen der Trockenbearbeitung und unterstützen diese bei der Umsetzung in die Praxis.



**Abbildung 5.1: Leistungsangebot der Technologiezentren**

Die Beratungsaktivitäten der Technologiezentren basieren auf einem 3-stufigen Modell. Im ersten Schritt werden interessierte Unternehmen in Seminaren und betriebsinternen Workshops über die Grundlagen der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung informiert. In der zweiten Beratungsstufe ist durch die Technologiezentren eine Firmenberatung bei den Anwendern möglich, um das unternehmensspezifische Trockenbearbeitungspotenzial zu klären und Bauteile bzw. Prozesse für eine Umstellung zu definieren. Im Anschluss kann eine Machbarkeitsanalyse an ausgewählten Schlüsseloperationen im Versuchslabor der Forschungseinrichtungen erfolgen, um die prinzipiellen Möglichkeiten der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung an den anwenderspezifischen Bauteilen zu untersuchen und den

Umstellungsaufwand abzuschätzen. **Abbildung 5.1** fasst das Leistungsangebot des Technologienetzes Trockenbearbeitung zusammen.

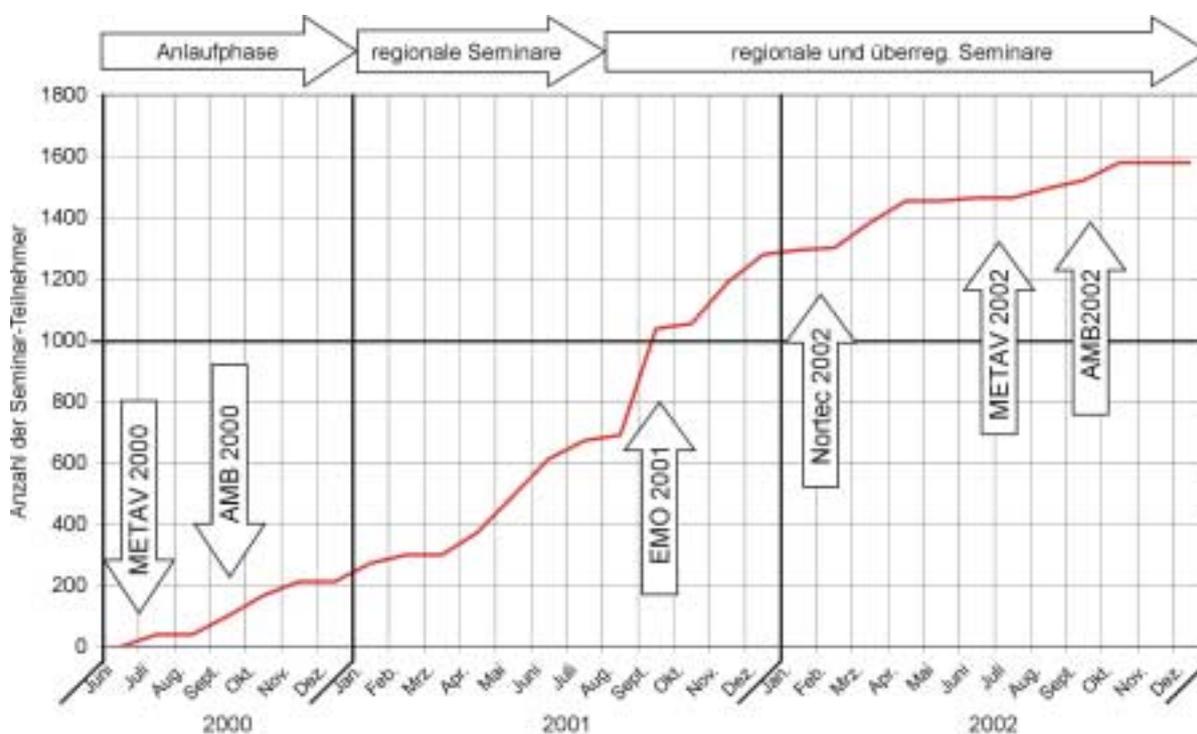
### 5.1.1 Seminare und Workshops

Zur Information interessierter Unternehmen wurden durch die einzelnen Technologiezentren im Verbundprojekt regionale und überregionale Seminare und Workshops angeboten. Die regionalen Seminarveranstaltungen fanden regelmäßig in den beteiligten Instituten statt und waren insbesondere auf Industriebetriebe im näheren Einzugsbereich ausgerichtet. Da die Seminare verstärkt kleine und mittelständische Unternehmen über die Trockenbearbeitung und die Leistungen des Technologienetzes informieren sollten, war es notwendig, überregionale Veranstaltungen möglichst flächendeckend über das gesamte Bundesgebiet verteilt durchzuführen. Größere Industriebetriebe und zahlreiche Berufsschulen nutzten auch das Angebot der Durchführung von Workshops, in denen unter Anleitung der Technologiezentren systematisch Lösungen für spezielle Fertigungsaufgaben erarbeitet wurden. Insgesamt konnten durch das umfangreiche Seminarangebot 1.579 Teilnehmer in 48 Informationsveranstaltungen erreicht werden (**Abbildung 5.2**).



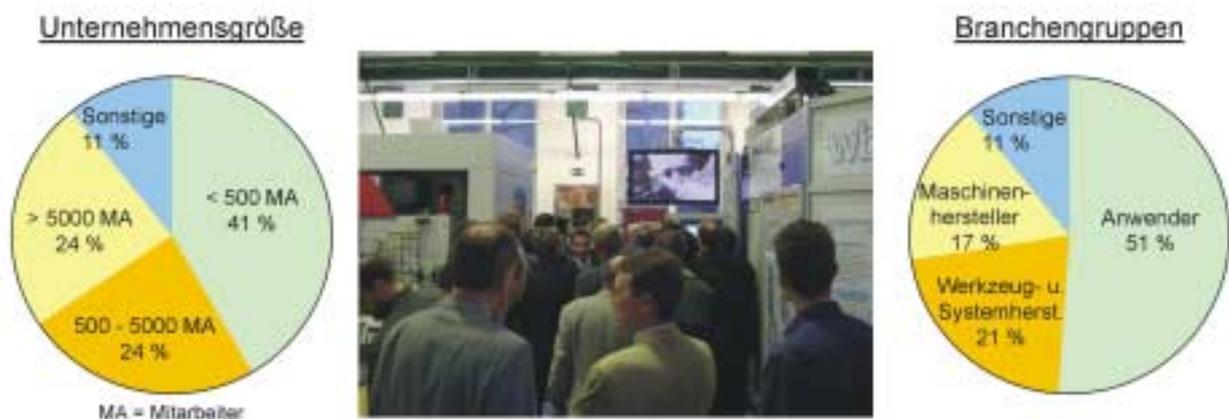
**Abbildung 5.2 Durchführung von Fachseminaren zur Trockenbearbeitung**

Die kumulierte Entwicklung der Teilnehmerzahlen in Abhängigkeit von der Projektlaufzeit ist in **Abbildung 5.3** dargestellt. Zu Beginn des Verbundprojektes stand von Januar bis Juni 2000 in erster Linie die Vernetzung der Projektpartner und die Erstellung von Konzepten und Materialien für die Aufnahme der Beratungstätigkeiten im Vordergrund der Aktivitäten. Die Beratungsleistungen in Form von Seminaren und Informationsveranstaltungen wurden im Juli 2000 aufgenommen. Nach intensiver Öffentlichkeitsarbeit in der Fachpresse und der Präsentation auf Messen und Tagungen erfolgte bis Mitte 2001 schwerpunktmäßig die Durchführung von Veranstaltungen im regionalen Einzugsbereich der Technologiezentren, an denen ca. 700 Industrievertreter teilnahmen. Durch die Ausweitung des Seminarangebotes auf überregionale Bereiche im gesamten Bundesgebiet stiegen die Teilnehmerzahlen im 2. Halbjahr 2001 deutlich auf ca. 1.300 Personen an. Bedingt durch zahlreiche Messeaktivitäten im Jahr 2002 erfolgte die Steigerung der Anzahl der Seminar-Teilnehmer im weiteren Projektverlauf etwas moderater auf 1.579 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Insgesamt verdeutlicht die Grafik die erfolgreiche Öffentlichkeitsarbeit während der Projektdurchführung und das hohe Interesse der Industrieunternehmen an der Thematik der Trockenbearbeitung.



**Abbildung 5.3: Entwicklung der Seminarteilnehmer über die Projektlaufzeit**

Die exemplarische Zusammensetzung der Teilnehmer eines Anwenderseminars ist in **Abbildung 5.4** aufgeschlüsselt. Bezüglich der Unternehmensgröße konnte festgestellt werden, dass die Seminare das Ziel insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen zu informieren, in vollem Umfang erreichten. 41% aller Seminarteilnehmer arbeiteten in Industriebetrieben mit weniger als 500 Mitarbeitern, während ca. ein Viertel der Teilnehmer Unternehmen mit 500 bis maximal 5.000 Mitarbeitern entstammten. Großunternehmen stellten 24% der Teilnehmer, wobei dieser Anteil im vorliegenden Fall über dem Durchschnitt anderer Informationsveranstaltungen lag. 11% der Teilnehmer wurden als Journalisten oder Unternehmensberater keiner speziellen Gruppe zugeordnet.



**Abbildung 5.4: Exemplarische Zusammensetzung der Seminarteilnehmer**

Die Betrachtung der unterschiedlichen Branchenzugehörigkeiten zeigte, dass es sich bei über der Hälfte der Seminarteilnehmer um Anwender aus der produzierenden Industrie handelt. 21% wurden der Gruppe der Werkzeug- und Systemlieferanten zugeordnet und 17% nahmen von Seiten der Maschinenhersteller an dem Seminar teil.

Die Organisation und Durchführung der Seminare erfolgte zumeist in Zusammenarbeit mit regionalen und überregionalen Verbänden und Organisationen wie z. B. Industrie- und Handelskammern und Berufsgenossenschaften. Dies ermöglichte die Nutzung bereits vorhandener Adressdatenbanken und die Seminarankündigung in verbandsinternen Schriften. Des Weiteren wurden die Seminartermine und -orte über regelmäßige Veröffentlichungen in der Fachpresse, zahlreiche Präsentationen auf Messen und Veranstaltungen sowie auf der Internet-Homepage des Technologienetzes Trockenbearbeitung bundesweit bekannt gegeben. Die Organisation der Veröf-

fentlichung aktueller Termine erfolgte zentral über den Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. in Frankfurt. Die Kooperationspartner bei der fachlichen und organisatorischen Abwicklung der Beratungstätigkeiten sind in **Abbildung 5.5** dargestellt.



**Abbildung 5.5: Kooperation mit Experten, Verbänden und Organisationen**

Als Grundlage für die Durchführung der Anwenderseminare dienten fachliche Unterlagen, die gemeinsam von den beteiligten Instituten vor der Aufnahme der Seminar­­tätigkeiten erarbeitet wurden. Wesentliche Inhalte der Seminarunterlagen waren neben dem Aufbau und den Leistungen des Technologienetzes die Grundlagen und der derzeitige Stand der Technik der Trockenbearbeitung, die Funktionsprinzipien und Systeme der Minimalmengenschmierung, die Anforderungen an Maschinen und deren peripheren Einrichtungen, Anwendungsbeispiele zu unterschiedlichen Fertigungsverfahren und Werkstoffen sowie Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen des Kühlschmierstoffeinsatzes. Die Informationsmaterialien wurden basierend auf bisherigen Veröffentlichungen und aktuellen Forschungsergebnissen und Entwicklungen unter Zusammenarbeit aller Technologiezentren erstellt. Die Ausgabe der Unterlagen erfolgte auf den Seminaren in einheitlichen Ordnern, die von den jeweiligen Instituten durch individuelle Informationsbroschüren ergänzt werden konnten.

Neben der Informationsvermittlung stellten sich im Laufe der Beratungstätigkeiten praktische Vorführungen und Demonstrationen an ausgewählten Verfahren und Anwendungsbeispielen auf Versuchsmaschinen der Forschungsinstitute als wichtiger Bestandteil der regionalen Seminare heraus. Die praktischen Vorführungen in den Versuchslaboratorien verdeutlichten dabei nicht nur die Machbarkeit der Trockenbearbeitung, sondern trugen dazu bei, vorhandene Hemmnisse bei den Anwendern abzubauen. Darüber hinaus bot die Zusammenarbeit mit Werkzeug- und MMS-Systemherstellern die Möglichkeit, aktuelle Entwicklungen und technologische Zusammenhänge anschaulich darzustellen. Während sich die Seminarteilnehmer bei den Vorträgen sehr zögernd und zurückhaltend zeigten, dienten die Prozessdemonstrationen häufig als Grundlage für die Klärung spezifischer Fragestellungen und als Anstoß für fachliche Diskussionen. Dies wurde insbesondere dann unterstützt, wenn Mitarbeiter Fertigungsprozesse und Werkstoffe aus der eigenen Produktion in den Versuchen wieder erkannten.

Basierend auf vorliegenden Erfahrungen wurden von den einzelnen Technologiezentren Fragebögen für die Seminare erarbeitet, die von den Seminarteilnehmern nach dem Besuch einer Veranstaltung ausgefüllt werden konnten. Die Fragebögen sollten zum einen das Meinungsbild der Seminarteilnehmer zur Thematik der Trockenbearbeitung erfassen und zum anderen eine kontinuierliche Verbesserung der Semindurchführung ermöglichen. Die Auswertung der Fragebögen zeigte bei den Anwendern die Tendenz, dass das Interesse an der Trockenbearbeitung zwar groß ist, die Umsetzung in die industrielle Praxis jedoch sehr kritisch betrachtet wird. Bezüglich der Semindurchführung stellte sich heraus, dass in den Vorträgen ein Schwerpunkt auf die praktische Umsetzung und konkrete Anwendungsbeispiele gelegt werden sollte.

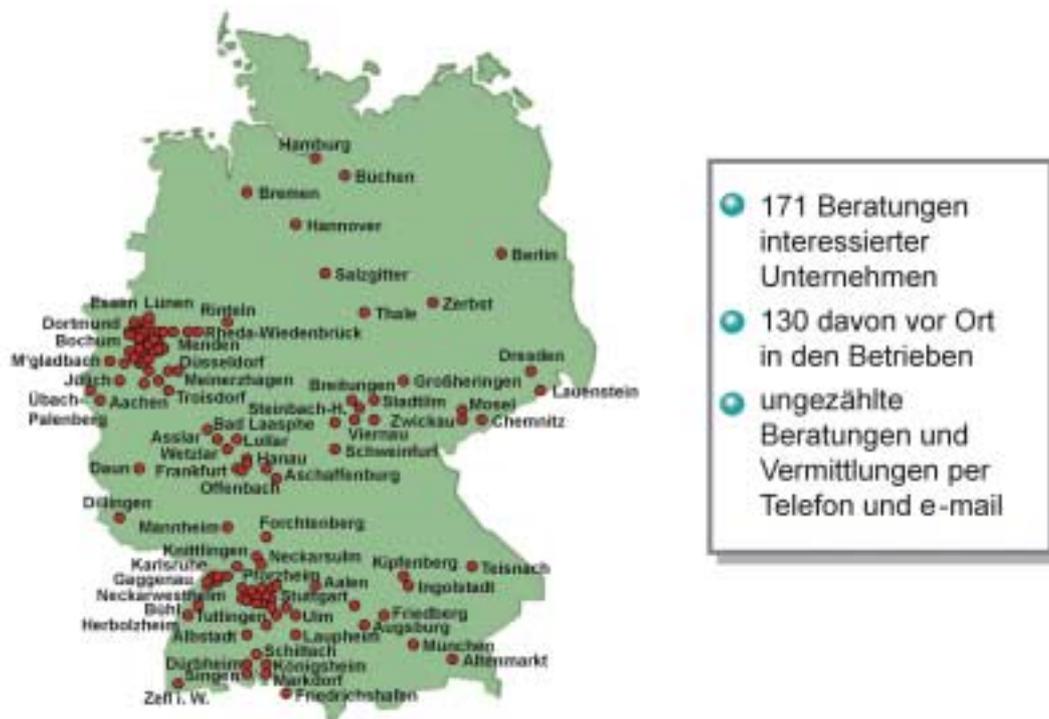
### **5.1.2 Firmenberatungen**

Für viele Seminarteilnehmer und an der Trockenbearbeitung interessierte Unternehmen ergab sich die Problematik, die grundlegenden Informationen auf die eigenen betrieblichen Gegebenheiten übertragen zu müssen. Daher wurde interessierten Unternehmen die Möglichkeit geboten, eine Beratung durch die Technologiezentren vor Ort in der Produktion zur Klärung technologischer Fragestellungen, zur Analyse des Produktionsumfeldes und zur Wirtschaftlichkeitsabschätzung in Anspruch zu neh-

men. Dabei konnten auf der einen Seite bereits Erfahrungen zur Trockenbearbeitung in den Betrieben vorliegen, so dass die Beratung durch die Technologiezentren auf Grund spezifischer Problemstellungen durchgeführt wurde. Auf der anderen Seite erfolgte bei der Vor-Ort-Beratung der meisten Unternehmen jedoch eine generelle Information über die Möglichkeiten der Kühlschmierstoffreduzierung in der eigenen Fertigung bzw. die Analyse von Problematiken im Zusammenhang mit der Umstellung auf eine trockene Fertigung.

Ziel der Firmenberatungen war es, gemeinsam mit Betriebsleitern bzw. verantwortlichen Mitarbeitern unter Einbeziehung des Maschinenbedienpersonals die Fertigungsart, die Werkstücke, die Werkstoffe, die Werkzeuge, die Bauteilanforderungen und verfügbare Werkzeugmaschinen zu erfassen und bezüglich einer Trockenbearbeitungstauglichkeit zu analysieren. Nach kritischer Prüfung aller Randbedingungen erfolgte i. d. R. die Auswahl geeigneter Bauteile und Fertigungsprozesse oder kritischer Schlüsseloperationen, die im weiteren Verlauf der Beratung näher betrachtet werden sollten. Für Unternehmen ohne Erfahrungen auf dem Gebiet der Trockenbearbeitung erwies es sich als günstig, Werkstücke bzw. Prozesse auszuwählen, die eine schnelle Umstellung bei hohem Einsparungspotenzial oder unmittelbarer Verbesserung des betrieblichen Arbeitsumfeldes ermöglichten. Diese Strategie zeigte den Mitarbeitern und Verantwortlichen die Potenziale der Trockenzerspanung auf und half in vielen Fällen, die Vorbehalte bezüglich der Einführung einer neuen Technologie abzubauen. Andererseits war häufig die Verifizierung der Trockenbearbeitung anhand kritischer Bearbeitungsoperationen erwünscht, um die Ergebnisse im Anschluss auf weitere Fertigungsschritte zu übertragen und einen gesamten Fertigungsbereich kühlsmierstofffrei zu betreiben.

Eine Übersicht der Verteilung der Vor-Ort-Beratungen in den Unternehmen zeigt **Abbildung 5.6**. Neben einigen Firmenberatungen in Nord- und Ostdeutschland fallen in der Grafik vor allem die Ballungszentren in Nordrhein-Westfalen und in Süddeutschland auf. Diese Bereiche waren durch eine große Anzahl kleine und mittelständischer Betriebe gekennzeichnet, so dass hier ein besonders hoher Beratungs- und Informationsbedarf vorhanden war. Des Weiteren ist festzustellen, dass sich zahlreiche Unternehmensberatungen aus Kontakten in den Anwenderseminaren ergaben, da die Ballungszentren der Informationsveranstaltungen gut mit den regionalen Schwerpunkten der Firmenberatungen übereinstimmten.



**Abbildung 5.6: Überregionale Verteilung der Firmenberatungen vor Ort**

Im Anschluss an die Firmenberatungen konnten in Abhängigkeit vom Anwendungsfall unterschiedliche Vorgehensweisen vereinbart werden. In einigen Beratungsfällen erfolgte die Bereitstellung detaillierter Informationen zu bestimmten Fertigungsverfahren und Werkstoffen sowie die Vermittlung kompetenter Ansprechpartner auf der Seite der Werkzeug-, Maschinen- und MMS-Systemhersteller. Die individuellen Randbedingungen der unterschiedlichen Produktionsbetriebe bezüglich Bauteilbeschaffenheit, Fertigungsablauf und Werkzeugmaschine erforderten jedoch zumeist die Durchführung von Machbarkeitsstudien an den beratenden Instituten.

Neben den Firmenberatungen in den Unternehmen erfolgten zahlreiche fachliche Beratungen bei Besuchen von Firmenvertretern an den Technologiezentren. Diese Vorgehensweise bot sich insbesondere für Interessenten an, die bereits die Vergabe einer Machbarkeitsanalyse beabsichtigten und sich im Vorfeld über die Versuchseinrichtungen sowie die Mess- und Analysetechniken der Institute informieren wollten. Zudem bestand von Seiten der Technologiezentren die Möglichkeit, die Anwendung der Trockenbearbeitung in praktischen Versuchsvorführungen darzustellen.

Auf Grund der sehr großen Anzahl der durchgeführten telefonischen und schriftlichen Beratungen wurden diese nicht in Statistiken erfasst. Die telefonischen Anfragen bezogen sich häufig auf generelle Fragestellungen zu den Möglichkeiten der Trocken-

bearbeitung und den Leistungen des Technologienetzes. Derartige Anfragen wurden durch die Zusendung entsprechender Informationsmaterialien und dem Hinweis auf aktuelle Seminarveranstaltungen bearbeitet. Bei bauteilspezifischen Fragestellungen erfolgte i. d. R. die Vereinbarung eines Vor-Ort-Besuchs in dem jeweiligen Unternehmen oder an dem beratendem Technologiezentrum.

### **5.1.3 Machbarkeitsstudien**

Die Erfahrungen aus den Beratungstätigkeiten haben gezeigt, dass die Einführung der Trockenbearbeitung in den Stufen Technologieentwicklung, Machbarkeitsstudien im Versuchslabor und Übertragung bzw. Anpassung auf die Fertigungsanlagen in der Produktion erfolgt. Die Notwendigkeit und der Erfolg dieser Vorgehensweise belegen zahlreiche, im Rahmen verschiedener Forschungs- und Projektarbeiten durchgeführte Untersuchungen. In den meisten Fällen ist es auf Grund der individuellen Produktionsrandbedingungen eines Unternehmens nicht möglich, die Fertigung ohne weitergehende Anpassungs- und Optimierungsmaßnahmen von einer Nass- auf eine Trockenzerspannung umzustellen. Neben der grundlegenden Überprüfung der aktuellen Fertigungssituation bedarf die Einführung der Trockenbearbeitung in Abhängigkeit von Bauteilen und Bearbeitungsverfahren einer sorgfältigen Anpassung der Werkzeuge, der Bearbeitungsstrategie und der Schnittparameter an die veränderten Prozessrandbedingungen. Derartige Anpassungs- und Optimierungsmaßnahmen stellen für das jeweilige Unternehmen einen hohen personellen und finanziellen Aufwand dar und erfordern fachspezifische Erfahrungen. Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen können diese Aufgaben häufig nicht ohne die entsprechende Unterstützung bewältigen.

Bei der Durchführung von Machbarkeitsstudien wurden basierend auf den Firmenberatungen gemeinsam mit verantwortlichen Mitarbeitern eines Unternehmens die kritischen Zerspanoperationen eines Bauteils ermittelt, denen im Hinblick auf die Realisierbarkeit der Trockenbearbeitung eine Schlüsselrolle zukommt. Die Aufgabe des Technologiezentrums bestand darin, für die ausgewählten Schlüsseloperationen in Zerspanversuchen oder Strategieentwicklungen eine Lösung in Form angepasster Schnittparameter und/oder Werkzeuge zu erarbeiten. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden dem beratenen Unternehmen in einem Kurzbericht zur Verfügung gestellt. Bei einer Freigabe durch das Unternehmen erfolgte zusätzlich die Einlastung

der Technologiedaten in die Wissensdatenbank. Somit standen die aktuellen Informationen allen Technolgie-netz-Partnern zur Verfügung, was insbesondere für die Weiterentwicklung und die praktische Umsetzung der Ergebnisse von hoher Bedeutung war.

Die Durchführung der Machbarkeitsstudien erforderte in den einzelnen Technologiezentren ein hohes Maß an verfügbaren Maschinen- und Personalkapazitäten. Die notwendigen Versuche wurden auf institutseigenen Werkzeugmaschinen und wenn möglich auch vor Ort in den Unternehmen durchgeführt. Der Vorteil der Versuchsdurchführung bei den Endanwendern war in der unmittelbaren Umsetzbarkeit der Ergebnisse ohne weitere Anpassungsarbeiten zu sehen. Dem stand jedoch als Nachteil ein Produktionsausfall bei den Interessenten durch die Bereitstellung notwendiger Personal- und Maschinenkapazitäten gegenüber. Die Möglichkeit und Effizienz der Versuchsdurchführung vor Ort war daher wesentlich von dem jeweiligen Unternehmen und der Verfügbarkeit der Fertigungseinrichtungen abhängig.

Im Laufe der Beratungsaktivitäten wurden an den Technologiezentren insgesamt 58 Machbarkeitsstudien durchgeführt. Die Vielfältigkeit der Machbarkeitsstudien gibt **Abbildung 5.7** wieder. Bezüglich der Werkstoffspektren erfolgte an den Instituten schwerpunktmäßig die Betrachtung von Bauteilen aus verschiedenen Stahl-, Grauguss- und Leichtmetallwerkstoffen. Zudem wurden zahlreiche experimentelle Untersuchungen zur spanenden Bearbeitung von Buntmetallen wie Bronze- und Messinglegierungen durchgeführt. Vereinzelt erfolgte auch die trockene oder MMS-unterstützte Prozessauslegung für Kunststoffe, Gläser oder Sonderwerkstoffe wie z. B. verschleißbeständige Chrom-Cobalt-Legierungen.

- **Werkstoffe:**
  - Bau- und Vergütungsstähle
  - Schmiedestähle, Wälzlagerstähle
  - Korrosions- und säurebeständige Stähle
  - Graugusslegierungen
  - Aluminiumguss- und -knetlegierungen
  - Messinglegierungen
  - Kunststoffe
  - Gläser
  - Sonderwerkstoffe
  - ...
- **Verfahren:**
  - Drehen            - Fräsen            - Gewindeherstellung
  - Bohren            - Reiben            - Tiefbohren
  - Sägen             - Räumen            - Räumen
  - ...
- **Firmen:**
  - 20 bis 1.500 Mitarbeiter
  - Stahlherstellung, Chemische Industrie, Automobilzulieferer, Baumaschinen, Antriebstechnik, Fördertechnik, Weichenbau, Tür- und Fensterbeschläge, Medizintechnik, Sanitärbedarf, ...

### Abbildung 5.7: Übersicht der Machbarkeitsstudien

Die Betrachtung der Fertigungsverfahren verdeutlicht, dass in der Versuchsdurchführung nahezu alle spanenden Prozesse mit geometrisch bestimmter Schneide zur Anwendung kamen. Dabei waren die beteiligten Institute insbesondere bei Verfahren wie Sägen, Räumen, Wälzstoßen und Tieflochbohren auf eine enge Kooperation angewiesen, da nicht an jedem Technologiezentrum Werkzeugmaschinen für die Versuchsdurchführung vorhanden sind.

Die Auftraggeber der Machbarkeitsstudien waren vorwiegend kleine und mittelständische Firmen mit 20 bis 500 Mitarbeitern. Das Kerngeschäft dieser Unternehmen lag vorwiegend die Herstellung von Halbzeugen und Zulieferprodukten. Auch Großunternehmen mit bis zu 1.500 Mitarbeitern nahmen vereinzelt das Angebot kostenloser Untersuchungen an den beteiligten Instituten an. Die in **Abbildung 5.7** dargestellten Branchen geben nur einen Teil des beratenen Firmenspektrums wieder.

Neben dem Nachweis der technologischen Machbarkeit stellte die Durchführung von Zerspanversuchen ein wichtiges Element der Beratungsleistungen dar, um vorhandene Vorbehalte zahlreicher Interessenten abzubauen. Die praktische Demonstration und Verifizierung der Machbarkeit an unternehmensspezifischen Bauteilen bestimmte wesentlich die strategische Entscheidung eines Unternehmens für oder gegen die Trockenbearbeitung. Im Hinblick auf die Umsetzung in die industrielle Produktion ist den Machbarkeitsstudien somit eine Schlüsselrolle beizumessen.

Aufbauend auf den Ergebnissen der Machbarkeitsstudien, die den technologischen Nachweis der Trockenbearbeitung anhand ausgewählter Schlüsseloperationen erbrachten, konnten die beratenen Unternehmen im Anschluss ein bilaterales Projekt mit den Technologiezentren initiieren. Ziel der bilateralen Projektabwicklung war es, die gesamte Prozessentwicklung und Umsetzung der Trockenbearbeitung unter finanzieller Einbindung der Industriebetriebe durchzuführen. Nach Abschluss der Machbarkeitsstudien wurde den Unternehmen bei Interesse an fortführenden Studien daher ein individuelles Angebot über die auszuführenden Forschungs- und Entwicklungsarbeiten unterbreitet. Die Höhe der Finanzierung richtete sich dabei nach der Komplexität der Bearbeitungsaufgabe, d. h. nach dem Arbeitsaufwand für das jeweilige Technologiezentrum.

## **5.2 Allgemeine Erfahrungen aus den Beratungstätigkeiten**

Die hohe Anzahl an Seminarteilnehmern im gesamten Bundesgebiet belegt das große Interesse der Industrie - und dabei insbesondere der kleinen und mittelständischen Unternehmen - an der Thematik der Trockenbearbeitung. Durch die Informationsveranstaltungen konnten ca. 1.600 Interessenten der unterschiedlichsten Industriezweige über die technologischen, ökonomischen und ökologischen Grundlagen der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung informiert werden. Des Weiteren zeigte auch die große Resonanz der Messeauftritte und Fachveröffentlichungen das vor Projektbeginn vorherrschende Informationsdefizit vieler Unternehmen.

Erfahrungsgemäß erwünschten ca. 5% bis 10% der an den Seminarveranstaltungen teilnehmenden Unternehmen eine weiterführende Beratung vor Ort zur Klärung des unternehmensspezifischen Trockenbearbeitungspotenzials. Weitere Kontakte mit nachfolgender Firmenberatung ergaben sich aus der Öffentlichkeitsarbeit des Technologienetzes und vereinzelt aus der Mundpropaganda von Firmen untereinander. In Einzelfällen wurden auch Zulieferer von ihren Auftraggebern aufgefordert, die Einsatzmöglichkeiten der Trockenerspannung bei der Bauteilproduktion prüfen zu lassen.

Das Angebot kostenfreier Machbarkeitsanalysen wurde von den kleinen und mittelständischen Betrieben häufig angenommen. Basierend auf den Firmenberatungen vor Ort wünschten ca. 70% der besuchten Unternehmen eine weiterführende Unterstützung mit der Erarbeitung einer Umstellungsstrategie oder der Durchführung von

bauteilspezifischen Versuchen im Zerspanlabor. Auf eine finanzielle Einbindung zur Durchführung weitergehender Studien reagierten die kleine und mittelständischen Unternehmen jedoch sehr zurückhaltend. Nach eigenen Aussagen erfolgte die Umsetzung der Erkenntnisse der Machbarkeitsanalysen in die Produktion bei vielen beratenen Unternehmen in Eigenregie oder mit der Unterstützung von Werkzeug- oder Systemlieferanten. Darüber hinaus bestanden bei einigen Firmen trotz der technologischen Verifizierung im Labor Vorbehalte bezüglich des Aufwandes und der Wirtschaftlichkeit bei einer Umsetzung der Trockenbearbeitung in die Produktion.

Die Durchführung zahlreicher Experimente in den Laboratorien der Institute zeigte, dass die Aufwendungen zur Erarbeitung technologischer Lösungen stark von der Komplexität der Aufgabenstellung und dem jeweiligen Unternehmen abhängig sind. Viele Firmen aus dem Klein- und Mittelstand stellten Produkte in kleinen Lösgrößen her, wobei die Bearbeitungsaufgaben häufig den Einsatz von Sonderwerkzeugen erforderten. Diese Werkzeuge konnten für die Versuchsdurchführung nur selten ab Lager beschafft oder kurzfristig modifiziert werden. Trotz der engen Zusammenarbeit mit den Werkzeugherstellern führte die Entwicklung angepasster Werkzeugkonzepte zu langen Lieferzeiten, die sich wiederum auf eine Verlängerung der Projektlaufzeiten auswirkten. Des Weiteren bestand von Seiten der Unternehmen die Befürchtung, dass sich der Einkauf modifizierter Trockenbearbeitungswerkzeuge unmittelbar in deutlich höheren Werkzeugkosten niederschlägt.

Auf Grund der Schwierigkeiten der finanziellen Einbindung beratener Unternehmen bei der Durchführung von Machbarkeitsstudien erfolgte im dritten Projektjahr die Veranstaltung kostendeckender Anwenderseminare nach Genehmigung durch den Forschungsträger. Darüber hinaus wurden Machbarkeitsstudien lediglich bei einer finanziellen Beteiligung der Interessenten an den Aufwendungen für die Versuchsdurchführung angeboten. Die Firmenberatungen vor Ort blieben weiterhin als kostenfreie Beratungsleistung erhalten.

Trotz der Erhebung eines Kostenbeitrags wurde im letzten Projektjahr kein signifikanter Rückgang der Teilnehmerzahlen an den Informationsveranstaltungen festgestellt. Die Höhe der Seminarkosten für die Unternehmen betrug je nach Veranstaltung und Technologiezentrum zwischen €50 pro Person oder €100 je Unternehmen. Im Gegensatz dazu war bei den Machbarkeitsstudien ein deutlicher Rückgang zu verzeich-

nen. Diese kann jedoch neben der Kostenbeteiligung auch auf den Auslauf der finanziellen Förderung des Technologiernetzes zurückgeführt werden.

### **5.3 Weiterführung der Beratungsleistungen**

Das große Interesse der Öffentlichkeit und das vorherrschende Informationsdefizit vieler Unternehmen lassen erwarten, dass die Seminarveranstaltungen auch nach Ende der finanziellen Förderung weiterhin kostendeckend veranstaltet werden können. Die Firmenberatungen vor Ort werden zukünftig weiter als Beratungsleistung angeboten. Die anfallenden Reise- und Personalkosten können je nach Beratungsfall aus Eigenmitteln der Institute oder durch das beratene Unternehmen finanziert werden. Die Durchführung von Machbarkeitsstudien bzw. bilateralen F&E-Projekten wird ebenfalls im Leistungsangebot der Technologiezentren aufrechterhalten. Nach Abschätzung des Aufwandes erstellt das jeweilige Institut ein individuelles Angebot, wodurch die Finanzierung der Aufwendungen durch das interessierte Unternehmen sichergestellt wird.

Eine breitere Akzeptanz der Trockenbearbeitung bei der konkreten Umsetzung der Ergebnisse in die betriebliche Fertigung erfordert derzeit noch weitere Referenzanwendung aus dem Klein- und Mittelstand, die das technologische und wirtschaftliche Potenzial der kühlenschmierstofffreien Produktion belegen. Die beteiligten Projektpartner werden daher auch nach Ende der finanziellen Förderphase eine intensive Öffentlichkeitsarbeit betreiben, um durch Veröffentlichungen und Vorträge das Leistungsangebot des Technologiernetzes sowie erfolgreiche Umstellungen und neue Entwicklungen der Trockenbearbeitung einem möglichst großen Anwenderkreis zugänglich zu machen.

## 6. Wissensmanagement

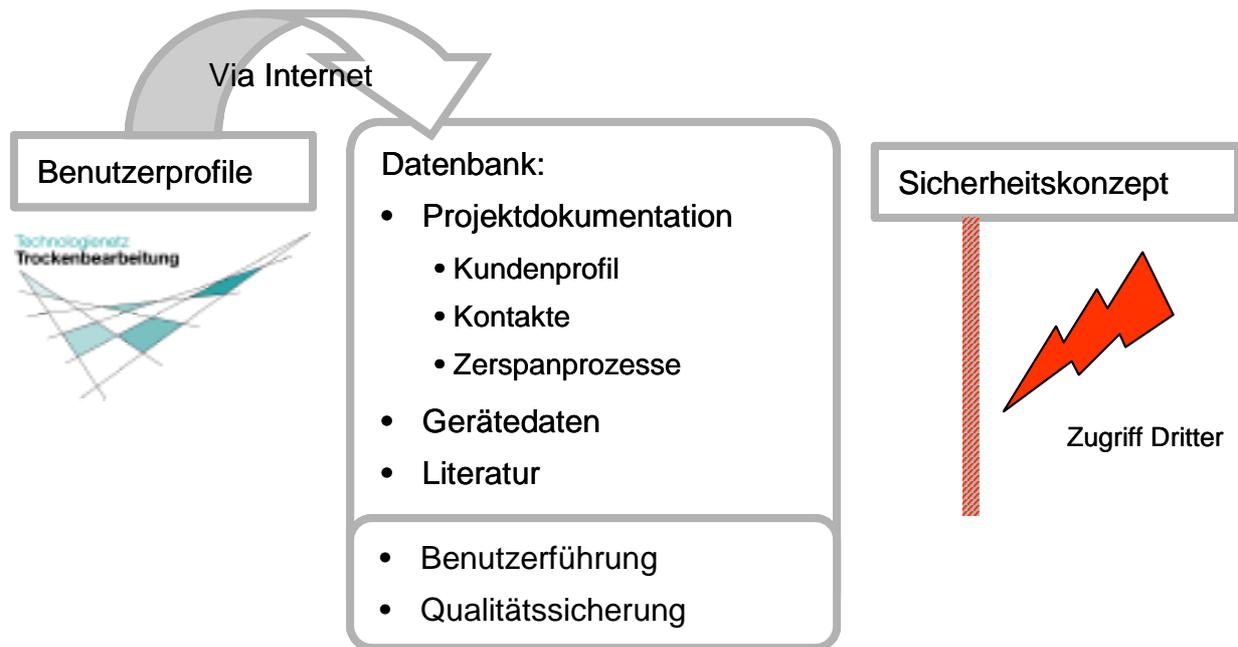
Das Fachwissen im Netzwerk soll kontinuierlich erweitert werden. Es sollen möglichst viele Experten als Ansprechpartner eingebunden und viele Wege für den Informationsfluss zum Kunden genutzt werden. Dazu bauten alle Projektpartner die Kontakte zu Fachleuten in Industrie und Forschung weiter aus und erweiterten Austausch und Zusammenarbeit mit Arbeitskreisen und informationsverbreitenden Organisationen und Einrichtungen, wie IHK, Berufsgenossenschaft, Landesgewerbeamt, etc. Der Netzwerkausbau wurde von den Partnern in Eigenregie sehr erfolgreich betrieben, hier tauschten sich die Projektpartner untereinander über Vorgehensweisen aus.

Als internes Werkzeug der Projektpartner zum schnellen Auffinden von Informationen und Ansprechpartnern wurde gemeinsam mit dem Institut für angewandte Informatik, IAI, Forschungszentrum Karlsruhe, eine internetfähige Projektdatenbank entwickelt, in welche Trockenbearbeitungsprojekte mit den beteiligten Fachleuten und Ausrüstern eingepflegt wurden.

Die Datenbank stellt ein sehr leistungsfähiges Tool dar, welches sich sowohl zur detaillierten Dokumentation von Zerspanprozessen eignet, als auch als Projektdatenbank. In den folgenden Kapiteln wird Ihre Funktionsweise genauer beschrieben.

### 6.1 Funktionsübersicht

Die Mitarbeiter des Technologienetzes Trockenbearbeitung melden sich im Internet persönlich mit Passwort an der Datenbank an. **Abbildung 6.1** gibt eine Übersicht über die funktionalen Anteile der Datenbank.



**Abbildung 6.1: Funktionsübersicht der Projektdatenbank**

Die folgenden Kapitel beziehen sich auf die hier dargestellten Elemente der Datenbank.

## 6.2 Projektdokumentation

Die Dokumentation von Beratungsprojekten gliedert sich in der Datenbank wie folgt:

- Kundenprofil: Kurzprofil, um einige Informationen zum Unternehmen, seinen Prozessen und den in den Fertigungsstätten verarbeiteten Materialien aufzunehmen
- Kontakte des Kunden und sämtlicher am Projekt beteiligter Fachleute
- Dokumentation der Zerspanprozesse (siehe Kap. 6.3)

Um die Projekte in der Datenbank schnell aufzufinden, kann die Projektliste (siehe **Abbildung 6.2**) z.B. nach Beratungskunden oder Mitarbeitern des Technologienetzes gefiltert werden.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'http://wwwerver.la.fzt.de/tdt/tdt/'. The main content area is titled 'Kundenprojekt Gesamtliste'. On the left, there is a 'Datenbank' sidebar with a tree view containing categories like 'Projekt G&E', 'Leistung G&E', 'Kaufart G&E', 'Geräte G&E', 'Werkstoffe', 'Bauteile', 'Hilfs', 'Hilfs', and 'Hilfs'. The main table has columns for 'ID', 'Bearbeiter, Titel', and 'Masse'. The table contains 10 rows of project data.

ID	Bearbeiter, Titel	Masse
20	PROJECTID: 1835 Projektleiter: Charlotte Sadler Titel: Plandrehen/Außenschlächtraben	
21	PROJECTID: 1831 Projektleiter: Charlotte Sadler Titel: Plandrehen/Außenschlächtraben	
22	PROJECTID: 1829 Projektleiter: Charlotte Sadler Titel: Plandrehen/Innenringdrücken	
23	PROJECTID: 1828 Projektleiter: Charlotte Sadler Titel: Schlächtraben	
24	PROJECTID: 1825 Projektleiter: Martin Dyck Titel: Gerniedeckel	Auswahl
25	PROJECTID: 1822 Projektleiter: Stephan Wittkop Titel: Trockendrehen von Vergütungsstahl	
26	PROJECTID: 1804 Projektleiter: Stephan Wittkop Titel: Bohren und Spannen niedrig legierter Bauteile	
27	PROJECTID: 1803 Projektleiter: Stephan Wittkop Titel: Trockendrehen einer Spezial-Sechskant-Palmschraube	
28	PROJECTID: 1802 Projektleiter: Charlotte Sadler	

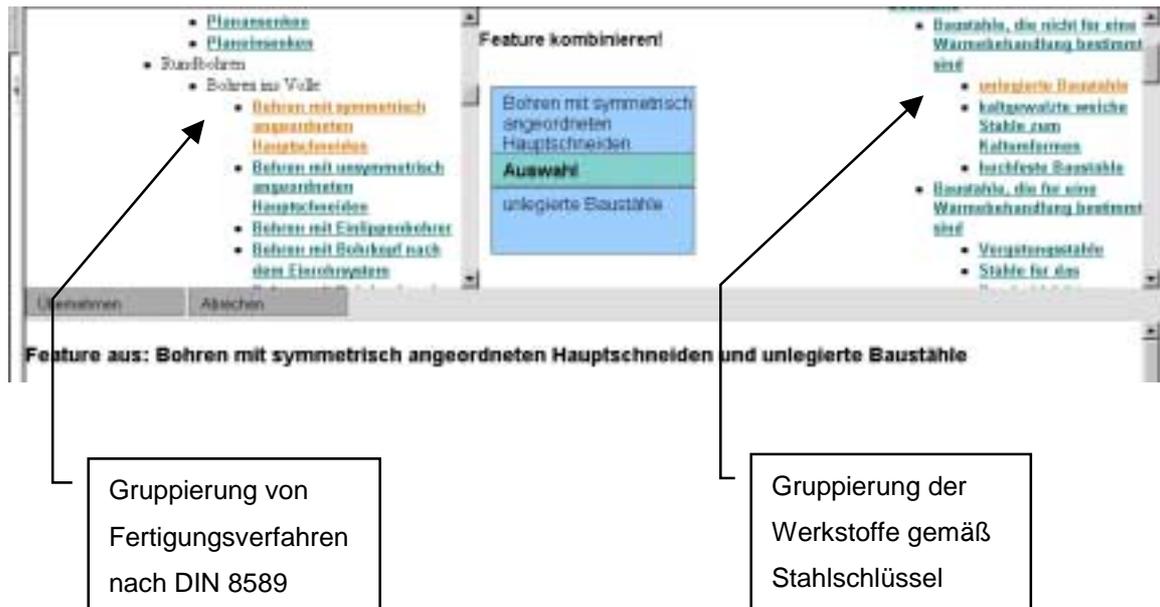
Abbildung 6.2: Projektliste

### 6.3 Zerspanprozesse

Die Datenbank bietet dem Benutzer die Möglichkeit einzelne Zerspanprozesse und deren Weiterentwicklung detailliert abzubilden, zur Komplettbearbeitung von Werkstücken zu kombinieren und zusammen mit den Kundendaten und Kontakten zu Fachleuten, als Kundenprojekt in der Datenbank zu dokumentieren.

Um einzelne Zerspanprozesse auffindbar in der Datenbank abzulegen wurde eine zweidimensionale Ordnung entworfen. Diese Matrix besteht aus einem Verfahrensuchbaum und einem Werkstoffsuchbaum (siehe **Abbildung 6.3**). Der Verfahrensuchbaum basiert auf der Gruppierung der spanenden Fertigungsverfahren der DIN 8589. Der Werkstoffsuchbaum basiert auf dem Stahlschlüssel<sup>1</sup>. Beide Suchbäume sind erweiterbar, gemäß dem in Kap. 6.8 beschriebenen Freigabemechanismus.

<sup>1</sup> N.N.: „Stahlschlüssel“, 1998 Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH, Marbach



**Abbildung 6.3: Ordnung einzelner Zerspanprozesse nach Werkstoff und Bearbeitungsverfahren**

Innerhalb dieses Ordnungssystems werden die Zerspanprozesse in Prozessdatenblättern beschrieben. Ein Beispiel für ein solches Prozessdatenblatt zeigt **Tabelle 6.1**. In der Datenbank ist dieses Datenblatt zur besseren Übersicht am Bildschirm in einzelne Karteikarten aufgeteilt (siehe **Abbildung 6.4**). Der Umfang eines Datenblattes richtet sich danach, wie detailliert ein Prozess im Projekt beschrieben werden muss. Der Projektbearbeiter kann sowohl Felder der Eingabemaske freilassen, als auch, wiederum verbunden mit dem technischen Freigabeprozess, weitere für die Anwendung wichtige Informationen hinzufügen.

Bohren - Trocken		Unterverfahren:	
Urheber (Technologiezentrum, Ansprechpartner):		Datum der Freigabe:	
Firma:			
Mitwirkung von:		<i>Firma</i>	<i>Thema</i>
Graphische Darstellung          z. B. Abbildung Werkzeug oder Bearbeitungsaufgabe	Werkstoff:		
	Ausgangszustand des z.B. <i>Trocken, Konservierungsstoffe, Gusschutt</i> Werkstücks:		
	Werkzeuge:		
	Type:		
	Schneidengeometrie / Umfangsform:		
	Spitzenwinkel:		
	Spannuten <input type="checkbox"/> gerade <input type="checkbox"/> gewandelt Winkel ___°		
	Substrate: <input type="checkbox"/> P <input type="checkbox"/> K <input type="checkbox"/> M		
	Beschichtung:		
	Werkzeuglänge:		
Durchmesser:			
Schneidenzahl:			
Bearbeitungsqualität		Zerspanparameter:	
Toleranz:		Schnittgeschwindigkeit:	
Oberflächenbeschaffenheit:		Vorschub:	
Rz =		Bohrtiefe:	
Ra =			
		Verschleiß:	
		Standzeit:	
		Standzeitkriterium:	
MMKS:		Spanformen / Abtransport aus dem Arbeitsraum?:	
Zuführung (innen/außen)		Werkzeugmaschine:	
Hersteller/Modell		Hersteller, Typ, Baujahr:	
Medium		Leistung / Spindeldrehzahl:	
Dosierung		KSS-Zuführung:	
Gleichbleibender Sprühfilm in jedem Prozesszustand sicher?		Absaugung:	
		Werkstückaufnahme:	
Bemerkungen:			

Tabelle 6.1: Ausgangsversion Prozessdatenblatt für Bohren, trocken

Darstellung der Prozessentwicklung, Verknüpfung mehrerer Datenblätter

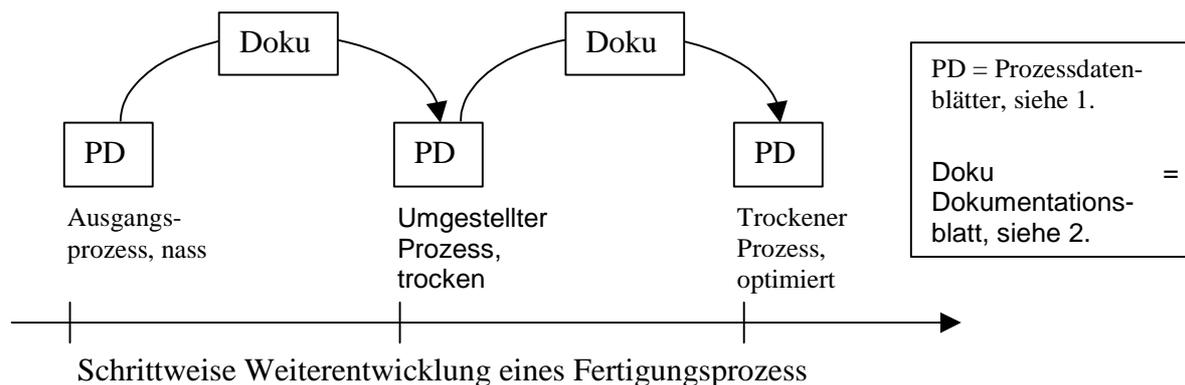
Aufteilung des Datenblattes in Karteikarten

**Abbildung 6.4: Ansicht Prozessdatenblatt in der Datenbank**

Ausgehend von einem bestehenden Nassprozess wird die Umstellung auf Trockenbearbeitung und eventuell vorgenommene Prozessoptimierung beschrieben. Das dabei erarbeitete Wissen über die Entstehung des Zerspanprozesses liegt in zwei Formaten vor:

1. Informationen, die in Prozessdatenblättern mit einem festen Format gespeichert werden
2. Dokumentation der Problemlösung bei der Umstellung des Fertigungsprozesses, als unformatierte Informationen

Dafür wurde in der Datenbank die in **Abbildung 6.5** skizzierte Dateneinspeisung programmiert.



**Abbildung 6.5: Beschreibung der Weiterentwicklung eines Zerspanprozesses in der Datenbank**

Da sich die Beratung auf komplette Werkstücke bezieht, werden die einzelnen Beratungsprozesse innerhalb des in der Datenbank angelegten Projektes zu kompletten Werkstücken verknüpft. Aus der Komplettbearbeitung resultierende Anforderungen und technische Lösungen werden dann wiederum auf der Projektebene dokumentiert. Zusätzlich können hier noch Fotodateien eingespeist werden, um Werkstücke, Werkzeuge, etc. darzustellen. Dieser Fertigungsprozess wird in der Projektoberfläche mit der zugehörigen technischen Ausrüstung, z.B. der Werkzeugmaschine oder dem verwendeten Minimalmengenschmiergerät verknüpft. Die technische Ausrüstung wiederum ist in der Gerätedatenbank genauer beschrieben und von dort mit dem Gerätehersteller in der Kontaktdatenbank verknüpft.

#### 6.4 Gerätedaten

Geräte wie die Werkzeugmaschine oder das gewählte Minimalmengenschmier-system haben einen großen Einfluss auf die Ergebnisse bei der spanenden Bearbeitung. Daher wird die technische Ausrüstung in der Gerätedatenbank beschrieben. Hier können Maschinendatenblätter abgelegt werden, Fotos und Kurzbeschreibungen eingestellt werden und direkt mit Herstelleradressen verknüpft werden.

#### 6.5 Literatur

Fachliteratur und zu den Projekten unterstützende Literatur wird in einem Standard Literaturdatenbankmodul eingepflegt, welches vom Programmierer in die Benutzeroberfläche der Technologienetz-Datenbank integriert wurde.

## 6.6 Benutzeroberfläche

Um Zugriffs- und Reaktionszeiten der Datenbank gering zu halten wurde eine sachliche und klar strukturierte Benutzeroberfläche geschaffen, wie in den Bildschirmfotos dieses Kapitels dokumentiert. Die Navigation geschieht über eine Bedienleiste am linken Rand, sowie innerhalb der Menus über Karteikarten, Scrollbars und Pulldown-Menüs. Die Bedienungsanleitung ist als Online-Hilfe in die Datenbank integriert.

## 6.7 Qualitätssicherung

Eine hohe Flexibilität bei der Beschreibung von Zerspanprozessen musste ermöglicht werden, ohne dass Projekt-individuelle Änderungen der Suchbäume und Prozessdatenblätter die fachliche Korrektheit der Zerspandatenbank gefährden. Dieses Problem wurde im Kreise der Projektpartner organisatorisch gelöst. Wie in Kap. 6.8 beschrieben gibt es sog. Prozessadministratoren, welche den Verfahrenshauptgruppen zugeordnet sind. Diese wurden mit Mitarbeitern des Technologienetzes gemäß Ihrer fachlichen Qualifikation besetzt. Die Prozessadministratoren haben die Aufgabe jede Ergänzung im Verfahrenssuchbaum und die nach Beendigung von Projekten in der Datenbank freizugebenden Prozessdatenblätter fachlich zu prüfen.

## 6.8 Benutzerprofile und Freigabemechanismen

Bei der Vergabe von Rechten innerhalb der Datenbank standen vier Aspekte im Vordergrund:

- Schutz der allgemeinen Informationen über einen Kunden
- Schutz der dokumentierten Produktionsprozesse eines Kunden
- Verwaltung der Benutzer der Datenbank
- Pflege der fachlich korrekten Ablage und Dokumentation von Zerspanprozessen

Dazu wurden folgende Benutzerprofile in der Datenbank definiert:

### **Datenbankspezifische Benutzerprofile**

*DBSysAdmin* kann die Datenbankbenutzer verwalten und neue Benutzer aufnehmen.

*DBAdmin* Datenbankadministrator, beinhaltet alle organisatorische Rechte, kann alle Projekte jederzeit sehen.

*ProzAdmin* Prozessadministrator, kann Verfahren anlegen, Verfahrens- und Materialbaum verändern, Eigenschaften definieren.

*Benutzer* Standard Datenbankbenutzer, hat organisatorisch nur das Recht auf „Selbstverwaltung“ kann allerdings innerhalb eines Projektes jede Funktion annehmen. Über die Zuordnung von Verfahren (durch den DBAdmin gemäß der Zuständigkeiten zugeteilt) werden die Benutzer auch Fachverantwortliche zur Modifikation und Freigabe von Prozessdatenblättern innerhalb eines Projekts.

### **Projektspezifische Benutzerprofile**

*Projektverantwortlicher* = Die Person, die das Projekt angelegt hat und für die Durchführung des Projekts verantwortlich ist, hat für das Projekt alle Rechte und kann weitere Benutzer der Datenbank als Teammitglieder ins Projekt aufnehmen.

*Projektteam* = Personen, die vom Projektverantwortlichen ins Team aufgenommen wurden. Jeder aus dem Team ist berechtigt, Features (innerhalb des Projekts) anzulegen und wird damit zum Feature-Ersteller:

*Feature-Ersteller* = der aus dem Team, der ein Feature (einzelner Zerspanprozess, z.B. Bohren ins Volle in GG25) angelegt hat und als einziger außer dem Projektverantwortlichen berechtigt ist Prozessdatenblätter in seinem Feature anzulegen.

### **Freigabemechanismus**

Um die Informationen über Beratungskunden und deren Produktionsprozesse optimal zu schützen, werden zur Bearbeitungszeit des Projektes die Daten nur den am Projekt beteiligten Mitarbeitern des Technologiernetzes zugänglich, welche dem Kunden über die Zusammenarbeit bekannt sind. Zum Projektende erfolgt in Abstimmung mit dem Kunden eine Freigabe der Daten für andere Benutzer der Datenbank. Diese wird in drei Stufen durchgeführt:

1. Freigabe lediglich der einzelnen Zerspanprozesse, ohne Verknüpfung untereinander

2. Freigabe aller Zerspanprozesse eines Werkstückes als Gruppe gemeinsam mit werkstückrelevanten Informationen
3. Freigabe aller Informationen incl. der Kundeninformationen

Der Kunde entscheidet, welche Informationen er in welcher Tiefe freigeben möchte, der projektverantwortliche Mitarbeiter des Technologiernetzes führt die Freigabe in der Datenbank durch. Danach stehen die nicht freigegebenen Informationen nicht mehr in der Datenbank zur Verfügung.

### **6.9 Sicherheitskonzept**

Um die sensiblen Kundendaten durch fremden Zugriff aus dem Internet zu schützen, rüstete das IAI die Datenbank mit einem entsprechenden Sicherheitskonzept aus.

Eine zusätzliche serverseitige Schicht zwischen der Datenbank und dem Benutzer-Frontend sorgt für eine Aufbereitung der Daten. Sie steuert - neben den ebenfalls serverseitigen Scripten auf der Präsentationsebene - die berechtigungsabhängige Anzeige der Datenbankergebnisse, bzw. die Steuerung der Oberflächenelemente. Diese Zwischenschicht erhöht zusätzlich die Sicherheit gegen unbefugte Zugriffe, da nur von ihr die Datenbank direkt aufgerufen wird, während das den Benutzerfront-End zugrunde liegende, ebenfalls serverseitige Script nur Methoden der Zwischenschicht aufruft. Somit ist ein direkter Zugriff aus dem Internet in die Datenbank ausgeschlossen.

### **6.10 Fazit zur Datenbank im Beratungsprojekt**

Bei der Entwicklung der Datenbank ist es gelungen, vier grundlegende Ansprüche zu vereinen:

- An wissenschaftlichen Ansprüchen orientierte Abbildung von Zerspanprozessen und ihrer Weiterentwicklung
- Verknüpfung einzelner Zerspanprozesse und eingesetzter technischer Ausrüstung zur Beschreibung eines Komplettbearbeitungsprozesses für ein Werkstück
- Funktion als Projektdatenbank, Verknüpfung von technischen Informationen und Personen
- Qualitätssicherung über Benutzerprofile und organisatorische Aufgaben

Dazu flossen Erkenntnisse und Erfahrungen aus den drei Fachrichtungen Zerspanungslehre, Produktionstechnik, Projektmanagement und Wissensmanagement in den Entwicklungsprozess ein. Die volle Funktionalität wurde dem Produkt bei der Zusammenarbeit mit Beratungskunden abverlangt welche auch experimentelle Arbeiten in Auftrag gaben. Bei diesen Projekten bewies die Datenbank, dass die oben genannten Anforderungen zusammen mit einer bedienerfreundlichen und für Produktionsingenieure eindeutig strukturierten Benutzeroberfläche erfüllt wurden. Ebenso waren die Funktion und der Komfort beim Internetbetrieb einwandfrei.

Die positiven Erfahrungen im Projekt erweckten auch bereits Interesse bei produzierenden Unternehmen, die Software zur Dokumentation Ihrer Prozesse zu nutzen.

Die exakte Dokumentation der Zerspanprozesse unterstützte die experimentelle Arbeit der Mitarbeiter des Technologienetzes im Labor bei der Entwicklung der Prozesse im Versuch. Im Dezember 2002 enthielt die Datenbank 58 dokumentierte Projekte mit experimentellen Machbarkeitsanalysen für Beratungskunden.

Der öffentliche Zugang zu diesen Prozessdokumentationen wird von den Projektpartnern nicht als zielführend erachtet. Die Komplexität von Zerspanprozessen macht diese sehr empfindlich gegenüber geringen Änderungen einzelner Einflussgrößen aus dem Prozessumfeld, z.B. Schwingungen einer benachbarten Maschine oder die Ausgangstemperatur des zu bearbeitenden Werkstücks. Die detaillierte Beschreibung eines Zerspanprozesses dient einem Technologienetz-Mitarbeiter bei der Einrichtung weiterer Prozesse damit als Orientierungsgröße. Eine Veröffentlichung dieser Prozessdokumentationen unter dem Experten-Logo des Technologienetzes kann bei einem Anwender als Garantie für eine erfolgreiche Prozesseinrichtung Missverstanden werden und beim Scheitern der Anwendung das Vertrauen ins Technologienetz oder in trockene Produktionsprozesse in Frage stellen. Aus diesen Gründen wurde im Projektverlauf gemeinsam von den Projektpartnern, dem Lenkungskreis und der Projektträgerschaft beschlossen, die Datenbank nicht öffentlich zugänglich zu machen. Interessierte Unternehmen können aber jederzeit die Datenbank ohne Inhalte als Softwaretool von den Projektpartnern kaufen.

In der vernetzten Zusammenarbeit im Technologienetz Trockenbearbeitung lag der Hauptnutzen der Datenbank vor allem im schnellen Auffinden von Fachleuten zu unterschiedlichen Themenfeldern. Am Ende der geförderten Projektlaufzeit, im Dezem-

ber 2002 enthielt die Datenbank 838 namentliche Adressen von beratenen Unternehmen und Fachleuten zur Trockenbearbeitung. Hierbei handelt es sich um die Kontakte aus dem Beratungsgeschäft der 4 Technologiezentren (die ca. 1600 einzelnen Besucher der Fachseminare wurden nicht in die Datenbank eingespeist).

## **7. Bilanz des Technologienetzes Trockenbearbeitung**

Das Angebot des Technologienetzes Trockenbearbeitung wurde von der deutschen Industrie sehr gut angenommen. Im folgenden soll anhand einiger Zahlen und Fakten Bilanz zu den Aktivitäten im Technologienetz und der Resonanz aus der Industrie gezogen werden. Darüber hinaus werden Fragestellungen behandelt, welche an die Projektpartner im Projektverlauf herangetragen wurden und sich aus dem zusammengetragenen Erfahrungswissen der Mitarbeiter beantworten lassen.

### **7.1 Öffentlichkeitsarbeit**

- Informationsstände auf 25 regionalen und überregionalen Messen und Fachveranstaltungen
- Veröffentlichungen in der Fachpresse (95 gezählte Veröffentlichungen bis Juli 2003)
- Gemeinsame Homepage: Informationen und Kontakte zur Trockenbearbeitung

### **7.2 Nutzung des Beratungsprogrammes**

- 48 Seminare, insgesamt 1579 Teilnehmer
- Individuelle Beratungstermine mit 171 Unternehmen, (Deutschlandweit verteilt), 130 davon vor Ort bei den Unternehmen
- 58 experimentelle Machbarkeitsanalysen in den Zerspanlaboren der Technologiezentren

### **7.3 Netzwerkausbau und – verdichtung**

- Vernetzung mit namentlich 28 aus - und fortbildenden Organisationen/ Einrichtungen/ Arbeitskreisen und ungezählten Experten aus Industrie und Forschung
- Gründung des Arbeitskreises „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung – TroiA“ siehe auch Kap. 9.3

### **7.4 Beratung kleiner und mittelständischer Unternehmen (KMU)**

Das Angebot des Technologienetzes Trockenbearbeitung stieß vor allem bei kleinen und mittelständischen Unternehmen auf sehr gutes Feedback. KMU sind über Technologische Neuerungen durch Fachpresse, Internet sowie über Ihre Zulieferer meist

informiert, entsenden gelegentlich auch Mitarbeiter zu Fachseminaren oder Messen. Wichtig für diese Kundengruppe waren vor allem folgende Kriterien:

- Kostenfreie, produktneutrale Fachgespräche anhand der eigenen Werkstücke und Maschinsituation
- Kontaktvermittlung zu Experten in Industrie und Forschung
- Ressourcenschonende Entscheidungsfindung: Der Ablauf Fachseminar - Beratungsgespräch vor Ort – Experimenteller Stichversuch, ermöglichte es dem Kunden sehr zielgerichtet und dadurch mit möglichst geringem Personalaufwand einen Überblick über das Thema zu erarbeiten um eine fundierte Entscheidung über die Technologieeinführung zu fällen. Hierbei war vor allem der mehrfache Kontakt zu den Experten wichtig, um weiterführende Fragestellungen zu klären.

Diese Punkte wurden selbstverständlich von Unternehmen jeder Größenordnung geschätzt. Für viele KMU, welche ihre Prozesse parallel zum Tagesgeschäft und mit sehr geringen finanziellen und personellen Mitteln weiterentwickeln, beseitigte dieses Programm allerdings Hemmnisse in der Annäherung an neue Technologien. Dies belegt auch die Nutzung der Leistungen des Technologienetzes durch KMU:

- Die exakte Auswertung eines Seminars ergab, bestätigt durch qualitativen Abgleich mit Teilnehmerlisten der anderen Standorte: ca. 40% der Seminarteilnehmer kommen aus Unternehmen mit weniger als 500 Mitarbeitern (siehe Kap. 5).
- 20 Auftraggeber der experimentellen Betrachtungen (siehe Kap. 5) sind Unternehmen mit unter 1500 Mitarbeitern.

## 7.5 Motivation der Unternehmen zur Trockenbearbeitung

Die Erfahrungen aus dem Beratungsgeschäft zeigen, dass die Unternehmen sowohl exakt quantifizierbares Einsparpotenzial, siehe **Abbildung 7.1** als auch signifikante Verbesserungen (z. B. Vermeidung von Kühlschmierstoffverschleppung in der Fabrik, Minderung der gesundheitlichen Belastung der Maschinenbediener) in Ihren Produktionsstätten zum Anlass nehmen, um über eine Einführung der Trockenbearbeitung zu entscheiden. Abhängig von der Unternehmensgröße lässt sich hierbei nur ein tendenzieller Unterschied in der Gestaltung der Entscheidungswege feststellen, ob

eine exakte Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt wird, oder eine qualitative Betrachtung zum Anlass genommen wird.

Technologienetz  
Trockenbearbeitung

**Produktionskostensenkung**

Armaturenteile MS 58



Quelle: GFE

Gelenkwelle 42CrMo4



Quelle: GFE

**Häufige Argumente kleiner und mittelständischer Unternehmen:**

- **Verbesserung der Arbeitsplätze**
- **Kundenforderung in der Auftragsfertigung**
- **Bauteilreinigung einsparen**
- **Bearbeitung von Verbundwerkstoffen**
- **Produktivitätssteigerung**

Gehäuse AlMgSi 1 F30



Quelle: WZL

Trockenräumen in Ck45



Quelle: wbk

X8 CrNiMo 27 5 Passschraube



Quelle: ISF

**Beratungen im Technologienetz**

### Abbildung 7.1: Motivation aus Sicht von Beratungskunden des Technologienetzes Trockenbearbeitung

Die Beratungsgespräche zeigen, dass die Einsparpotenziale sehr stark standortabhängig sind. Hier spielen externe Faktoren eine Rolle, wie z. B. regionale Förderungen für umweltfreundliche Produktionstechnologien oder firmenspezifische Entscheidungen, wie z. B. die Möglichkeit zur vergünstigten Abnahme von kühlenschmierstofffreien Spänen durch eine Gießerei. Einen ebenso großen Einfluss auf das Einsparpotenzial im Unternehmen hat das Produkt, z. B. durch seine schöpfende (und damit Kühlschmierstoff – verschleppende) Geometrie. In der Beratung hat sich als Erfolg versprechend herausgestellt, den Firmen die Sparten vorzugeben, in denen das Sparpotenzial zu finden ist und weniger ein quantifiziertes Einsparpotenzial anzuführen.

Eine weitere Gruppe von Argumenten zur Einführung der Trockenbearbeitung sind Forderung des Kunden bzw. eines anschließenden Prozesses bei der Entstehung des Gesamtproduktes. Sehr anschauliche Beispiele hierzu sind Bauteile mit anschließenden Klebprozessen. Beim flüssigen Einbringen von Dichtungen (z.B. Abschirmgehäuse von elektronischen Komponenten) müssen Wechselwirkungen minimaler Emulsionsreste mit der Dichtungsmasse vermieden werden. Ein weiteres Beispiel sind Oberflächen welche sich an Konstruktionselementen im sichtbaren Bereich befinden. Hier können Emulsionsreste zu Fleckenbildung führen. Diese Motivation zur Trockenbearbeitung zeigt die zunehmende Vernetzung der Technologie bei der Gestaltung von Produktionsprozessen.

### **7.6 Interesse von Unternehmen im Ausland**

Die Förderung durch das Bundesministerium sollte in Form von Beratungsleistung deutschen Unternehmen zu Gute kommen. Die Präsenz des Technologienetzes im Internet und auf international besuchten Messen weckte auch Interesse im Ausland. Mit konkreten Fragestellungen kamen drei Unternehmen aus der Schweiz, eine Anfrage aus Österreich, ein Unternehmen aus Spanien und ein Unternehmen aus Holland auf das Technologienetz Trockenbearbeitung zu.

Um das Förderungsziel zu beachten und gleichzeitig die internationale Zusammenarbeit zu pflegen, wurden ausländische Unternehmen mit Informationsmaterial versorgt, ebenso mit Kontakten zu deutschen Fachleuten. Individuelle Beratung wurde nur gegen kostendeckende Beauftragung angeboten.

### **7.7 Bewertung der Auswirkung von kühlenschmierstoffbedingten Krankenständen auf die Technologieeinführung Trockenbearbeitung in metallbearbeitenden Unternehmen**

Angaben zu kühlenschmierstoffbedingtem Krankenstand lassen sich im Beratungsgeschäft nicht ermitteln.

Die Problematik zeigt sich allerdings häufig in der Motivation zur Trockenbearbeitung angeführt. Einige Erstkontakte im Beratungsbereich wurden durch den Betriebsrat, Betriebsarzt oder Sicherheitsbeauftragten angeregt.

## **7.8 Erfolgsfaktoren des Technologienetzes Trockenbearbeitung**

- Gründliche Abstimmung des Beratungsangebotes auf die Anforderungen der Industrie, vornehmlich kleiner und mittelständischer Unternehmen (siehe Kap. 7.4 bzw. Kap. 2)
- Übergreifende Zusammenarbeit der Forschungseinrichtungen, Verbände, beratender und ausbildender Organisationen und Experten der Industrie selbst.
- Medienübergreifende Öffentlichkeitsarbeit und Informationsverbreitung
- Fachliche Basis: Das Wissenstransferprojekt wurde zu einem Zeitpunkt gestartet, als die Trockenbearbeitung in der Forschung ausreichend gereift war, um anwendungsnah zu beraten. Forschungsseitig war bereits ein weites Spektrum von Prozessen untersucht, um die Übertragbarkeit auf die Anwendungsvielfalt in der Industrie zu gewährleisten.
- Beratungsbedarf: Das Technologienetz begann seine Arbeit als potenzielle Nutzer der Technologie durch ausführlich dokumentierte Anwendungsbeispiele, vornehmlich aus der Verbundforschung, aufmerksam geworden waren und damit ein hoher Informationsbedarf bestand.

## 8. Aktueller Stand der Trockenbearbeitung

### 8.1 Industrielle Anwendung

Eine zur Projektlaufzeit erstellte Liste von Anwendungsbeispielen dokumentiert, dass die Trockenbearbeitung mittlerweile in einer Vielzahl unterschiedlichster Metallbearbeitungsprozesse zum Einsatz kommt (siehe **Tabellen 8.1** und **8.2** auf den folgenden 3 Seiten). Die Beispiele vervollständigen die von den Projektpartnern erarbeitete Werkstoff-Verfahrensmatrix. Diese gibt eine Übersicht über Einzelprozesse, in denen in vergangenen Forschungsprojekten die Machbarkeit in experimentellen Analysen nachgewiesen wurde (siehe **Tabelle 8.1**).

Werkstoff	Aluminium		Stahl		Guss
	Gusslegierung	Knetlegierung	Hochlegierte Stähle, Wälzlagerstahl	Automatenstahl, Vergütungsstahl	GG20 – GGG70
Verfahren					
Bohren	MMS	MMS	MMS	Trocken	Trocken
Reiben	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS
Gewindeschneiden	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS
Gewindeformen	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS
Tiefbohren	MMS	MMS		MMS	MMS
Fräsen	Trocken	MMS	Trocken	Trocken	Trocken
Drehen	MMS/Trocken	MMS/Trocken	Trocken	Trocken	Trocken
Wälzfräsen			Trocken	Trocken	Trocken
Sägen	MMS	MMS	MMS	MMS	MMS
Räumen			MMS	MMS/Trocken	Trocken

**Tabelle 8.1: Werkstoff – Verfahrensmatrix zur Trockenbearbeitung, Quelle: GFE; ISF; wbk; WZL**

Branche	Werkstück	Werkstoff	Arbeitsgänge	Motivation	Zeitpunkt der Umstellung	Schmierung?
Druckmaschinhersteller	Gussbrücke	GGG 40	Fräsen, Bohren, Gewinden, Reiben	Verkürzung der Prozesszeit: 18,71min > 14,38min	1994	MMS bei Gewindegewinde-schneider und Reiben, sonst trocken
Druckmaschinhersteller	Leiste mit Bohrungen und Gewinden	Ck45	Fräsen, Bohren, Gewinden, Reiben	Verkürzung der Prozesszeit: 10,49min > 7,32min	1998	MMS bei Gewindegewinde-schneiden und Reiben, sonst trocken
Automobilhersteller	Gelenk-naben, Steckver-zahnung	Vergütungsstahl	Innenräumen	Umweltschutz bei gleichen oder geringeren Kosten wie Vollstrahl-gekühlte Bearbeitung	Vorserie bei Maschinen-hersteller erfolgreich, Produktionsstart 09/01	Trocken
Automobilzulieferer	Gehäuse Drosselvorrichtung	GD-AISI12Cu4	Fräsen, Bohren, Reiben	Senkung der Bauteilkosten um 8%	In Planung mit Maschinen-hersteller	MMS
Automobilhersteller	Zahnrad PKW-Getriebe	Einsatz-stahl 20MoCr4	Wälzstoßen	Umweltschutz Senkung der Bauteilkosten um ca. 5%	1999	Trocken
Automobilhersteller	Synchronring PKW-Getriebe	22Mn6	Fräsen von Nuten	Massive Standzeiterhöhung	1996	Trocken
Pneumatikzylinder	Anschlussstück	Al Druckguss: GD-ZnAl4Cu1	Gewindebohren und Furchen	Massive Verschmutzung im Umfeld ungekapserter Maschinen, Einsparung der KSS-Kosten, geringer Wartungs- und Reinigungsaufwand, höhere Schnittwerte	Ende 90er Jahre	MMS

Branche	Werkstück	Werkstoff	Arbeitsgänge	Motivation	Zeitpunkt der Umstellung	Schmierung?
Werkzeug und Formenbau	Werkzeug-komponenten	Werkzeug-stähle	Fräsen und Drehen	80% Arbeitsaufwand für Maschinenwartung und Reinigung gespart, bessere Oberflächenqualität, kürzere Bearbeitungszeiten	1999	MMS
Luffahrt	Flugzeug-integralbauteile	AL-Knet-legierung	Fräsen	Umweltschutz ohne wirtschaftliche Einbußen, Massive Verschmutzung im Umfeld ungekapselter Maschinen, geringere Anschaffungskosten von Maschinen ohne KSS-System	1996	MMS
Druck-Maschinen-	Lagersitz	Einsatzstahl	Bohren	Standzeitverlängerung um Faktor 4, Vorschubberhöhung um 20%	1997	Trocken
Kraftwerk-hersteller	Turbinenschaufeln	X22CrMoV12.1, austenitische CrNi-Stähle	Fräsen	Vollstrahlkühlung erreichte Wirkstelle nicht prozesssicher, Standwegsteigerung um Faktor 3		MMS
Automobil-hersteller	Zylinderlaufbuchsen		Grundbohrung auf Kurztransferstrasse	Verlagerung der Produktion in Halle ohne KSS-Anschluss, Einsparung: 22% Investitionskosten, 22% jährliche Fixkosten, 11 % jährl. Proportionalkosten		

**Tabelle 8.2: Anwendungsbeispiele, Quelle: Diverse Veröffentlichungen bzw. direkte Informationen von Anwendern** (Leider konnten nicht alle Beispiele in jedem Detail recherchiert werden, um die Bandbreite der unterschiedlichen Anwendungen sowie die Motivation der einzelnen Umstellungen aufzunehmen, wurden auch lückenhafte Beispiele aufgenommen.)

Es ist zu berücksichtigen, dass sich mit vertretbarem Aufwand in dieser Detaillierung nur ein geringer Teil von derzeit in der Industrie betriebenen Anwendungen darstellen lässt. Daher überzeugt die Bandbreite der Anwendungen hinsichtlich der Bearbeitungsverfahren, Werkstoffe und aus den Produkten resultierenden Fertigungsanforderungen.

Diese Betrachtung belegt die Reife der Technologie ebenso wie die wirtschaftlichen Einsparpotenziale, darf allerdings nicht über die Komplexität der Technologieeinführung in einzelnen Anwendungen hinwegtäuschen.

Anzahl von Beratungskontakten sowie der inhaltliche Ablauf weisen auf grundsätzlich unterschiedliche zeitliche Abläufe der Technologieeinführung in den Unternehmen hin. In mehreren Fällen weisen Anzahl und zeitliche Abstände von wiederholten Beratungskontakten zu einzelnen Unternehmen teilweise auf mehrjährige Entscheidungsfindung, teilweise auch auf gründlichen Know-how-Aufbau innerhalb des Unternehmens hin.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Trockenbearbeitung heute als ökonomisch und ökologisch vorteilhafte Technologie von der Industrie anerkannt ist. Um diese Vorteile zu realisieren, wird die Umsetzung in innovativen Unternehmen auch engagiert und mit Personaleinsatz verfolgt. Die Technologie wird sowohl für wirtschaftliche Einsparungen eingeführt, als auch um spezielle Anforderungen dem Kunden gegenüber zu erfüllen. Damit werden eindeutige Ziele beim Technologieeinsatz verfolgt. Die Trockenbearbeitung stellt damit für die Unternehmen eine Schlüsseltechnologie dar, um sich am Markt zu platzieren und ist dem reinen Forschungsfeld mit eher ungewisser Anwendbarkeit deutlich entwachsen.

Die Fragestellungen im Beratungsgeschäft und die experimentellen Betrachtungen im Technologiennetz (siehe Kap. 11) zeigen, dass die Trockenbearbeitung vom Anwender im Vergleich zu vollstrahlgeköhlten Prozessen allerdings noch mit einem höheren unternehmerischen Risiko gesehen wird, als auch mit höherem Zeitaufwand zur Prozesseinrichtung kalkuliert wird.

Aus technologischer Sicht wurden daher von den Projektpartnern noch offene Wissenslücken, bzw. Bedarf an methodischen Vorgehensweisen identifiziert (siehe Kap 8.2).

## 8.2 Forschungsbedarf

Wie in Kap. 8.1 beschrieben stellen einige Fragestellungen in vielen Unternehmen noch einen Risikofaktor bzw. eine Schlüsselfrage bei der Technologieeinführung dar. Diese wurden von den Projektpartnern identifiziert und als wichtig im Sinne der weiteren Verbreitung und Nutzbarmachung der Technologie und der mit ihr verbundenen Vorteile bewertet:

- Umgang mit Wärmeenergie am Werkstück bezüglich der Fertigungstoleranzen
- Erweiterung des Werkstück-Stoff Spektrums (z. B. schwer zerspanbare Stähle, absolut ungeschmierte Bearbeitung von Aluminium)
- Trockenbearbeitung im Übergangsbereich hart-weich (z. B. Werkstücke mit Randschichthärtung)
- Werkzeugeigenschaften: Verbesserung der Wärmeisolierung durch neue Beschichtungskonzepte
- Bauteil und Maschinenreinhaltung
- Optimierung (bzw. Minimierung) der Minimalmengenschmierung
- Simulation und Erfassung der Temperatur bei der Zerspanung in Abhängigkeit der eingesetzten KSS Konzepte
- Einsatzverhalten neuer Medien im Bereich der Trockenbearbeitung (z. B. Kühlung mit flüssigem CO<sub>2</sub>)

Die beschriebenen Fragestellungen stellen Erfahrungen dar, die im Beratungsgeschäft und im Austausch mit erfolgreichen Anwendern gesammelt wurden und gemeinsam von den Projektpartnern zusammengeführt wurden. Somit können Sie unterstützend zur Ausrichtung zukünftiger Forschungsarbeit auf dem Gebiet der Trockenbearbeitung verwendet werden.

## 9. Fortführung des Technologienetzes

Das Technologienetz Trockenbearbeitung hat sich in der metallbearbeitenden Industrie etabliert. Im Sinne der engen Zusammenarbeit mit der Anwenderindustrie und der weiteren Verbreitung und Entwicklung der Trockenbearbeitung arbeiten die Projektpartner in diesem Verbund weiter als Ansprechpartner der Industrie. Interessierte Unternehmen erreichen das Technologienetz weiterhin im Internet unter [www.trockenbearbeitung.de](http://www.trockenbearbeitung.de), aktuelle Termine von Fachveranstaltungen sowie Veröffentlichungen zum Thema werden weiterhin von den Projektpartnern eingestellt. Im folgenden soll die aktuelle Beratung und Netzwerkarbeit seit Januar 2003 dargestellt werden.

### 9.1 Industrieberatung

Details zu Art und Umfang des aktuellen Beratungsgeschäfts:

- Informations- bzw. Kontaktvermittlung per Telefon bzw. E-Mail ereignen sich 1-2mal monatlich bei allen Projektpartnern. Anfragen kommen weiterhin von Unternehmen jeder Größenordnung.
- Halbtägige Beratungsgespräche werden bei den Instituten oder beim Beratungskunden vor Ort weiterhin durchgeführt. Diese Besprechungen ereignen sich ca. 1 mal pro Monat mit Unternehmen jeder Größenordnung.
- In 2002 wurde der Arbeitskreis Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung, kurz TroiA gegründet. Dieser Arbeitskreis ist mit Experten aus Industrie und Forschung besetzt und befasst sich mit konkreten Kundenanfragen. Treffen finden halbjährlich statt. Nähere Informationen in Kap. 9.3
- Alle Technologienetzpartner führen weiterhin Fachseminare mit kostendeckendem Teilnehmerbeitrag durch.
- Experimentelle Betrachtungen werden nur noch kostendeckend durchgeführt. Siehe hierzu Kap. 9.2

### 9.2 Bilaterale Industrieprojekte (mit Finanzierung für den Forschungspartner)

An den Forschungsstandorten stattfindende Umsetzungsprojekte im Auftrag von Industrieunternehmen belegen das aktuelle Interesse der Industrie an der Technologie,

aber auch, dass sich vornehmlich große Unternehmen diese Auftragsforschung leisten können. Folgende Liste stellt einen Auszug aus den Projekten des Technologienetzes dar:

- ISF: Einlippentiefbohren in Kurbelwellenstahl mit MMKS (Großunternehmen)
- GFE: Trockenbearbeitung von Schraubwerkzeugen (KMU)
- wbk: Trockenbohren D4 in C45 (Großunternehmen)
- wbk: Trockenbearbeitung von Zylinderköpfen in GG25 (Großunternehmen)
- wbk: Trockenbearbeitung von Zylinderköpfen in GG26Cr (Großunternehmen)
- wbk: Trockenbearbeitung von AlMgSi 1 (Großunternehmen)
- wbk: Trockenbearbeitung von Schaltgabeln (KMU)
- WZL: Trockendreher plasmagespritzter Rohre (Großunternehmen)

### **9.3 Beratungsarbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“ – TroiA 74**

Im Beratungsarbeitskreis TroiA stellen Anwender ihre Fragestellungen zur Trockenbearbeitung vor. Im Arbeitskreis vertreten sind die Projektpartner des Technologienetzes Trockenbearbeitung, Werkzeughersteller, Maschinenhersteller, Hersteller von Minimalmengenschmiergeräten, Schmierstoffhersteller, metallbearbeitende Unternehmen. Abbildung 9.1 zeigt die mitwirkenden Unternehmen:

The screenshot displays the website for the TroiA working group. On the left is a vertical navigation menu with items: Warum trocken, Wir über uns, Unsere Leistungen, TroiA (highlighted), Kontakt, News, Termine, Links, Literaturhinweise, Interna, Adressen, Home, and Sitemap. The main content area has a teal header with the title 'Arbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“ – TroiA'. Below the header is a call to action: 'Sie wollen trocken zerspanen? TroiA unterstützt Sie!' with a 'Details' button. The central part of the page is a grid of logos for various industrial tool and lubricant suppliers. At the bottom, the WIUP logo is visible.

**Abbildung 9.1: Mitglieder des Beratungsarbeitskreises TroiA**

Der Erfahrungshintergrund der teilnehmenden Experten stützt sich auf langjährige Mitarbeit in Forschungs- und Anwendungsprojekten zur Trockenbearbeitung. In den Arbeitskreissitzungen werden Fragestellungen aus dem Beratungsgeschäft besprochen. Zur Bearbeitung dieser Fragestellungen werden Expertenteams gebildet, welche die Problemstellung dann gemeinsam mit dem Kunden bearbeiten. 17 Kunden-

anfragen in vier Treffen seit Anfang 2002 belegen die positive Reaktion der Industrie auf dieses Angebot:

- Fräsen von Formnuten in 45 –Si-Cr-V6 (über GFE)
- Aluminiumkolben AlMgSi1 F31 (über GFE)
- Sechskant Passschrauben M24 x 80, X8 CrNiMo 27 5 (über ISF)
- Messing Kartusche (über ISF)
- Kühlkanalbohrung in Zerspanwerkzeugen (über wbk)
- Drehbearbeitung Tiefziehteil StW4 (über wbk)
- Endstücke Vakuum Unterbrecher OFE Kupfer (über wbk)
- Absolut ungeschmierte Bearbeitung von Aluminium (über wbk)
- Trockenbohren mit WSP Bohrer (über WZL)
- Trockenbohren von Al Profile (über WZL)
- Wählhebel-Unterteil PKW (über WZL)
- Alu-Systemprofile (über WZL)
- Klemmstück S5 52-3 (über WZL)
- Wendetrommelboden St 52 (über WZL)
- Trockenbearbeitung von Messingbauteilen (über WZL)
- Bohren in Al Guss (über WZL)
- Bohren in Al-Knetlegierung (Auftragschance) (über WZL)

Folgende Übersichtsinformation zum Arbeitskreis TroiA wurde in die Homepage des Technologienetzes Trockenbearbeitung integriert und stellt das Angebot und die Arbeitsweise des Arbeitskreises dar:

**Wer ist TroiA?**

TroiA ist ein Verbund, gebildet vom Technologienetz Trockenbearbeitung und von Unternehmen, die Werkzeuge, Maschinen, Minimalmengenschmiersysteme und -medien für die Trockenbearbeitung herstellen.

**Was will TroiA?**

TroiA unterstützt metallverarbeitende Unternehmen bei der Einführung der Trockenbearbeitung.

**Was bietet TroiA?**

TroiA erarbeitet speziell auf Ihre Fertigung abgestimmte Konzepte und Lösungen für die Trockenbearbeitung Ihrer Bauteile. In Abhängigkeit von der Aufgabenstellung kann dies die Entwicklung und Herstellung von Sonderwerkzeugen und/oder die Auslegung von Werkzeugmaschine und Bearbeitungsprozess umfassen.

**Wie arbeitet TroiA?**

Die Mitglieder von TroiA treffen sich zu regelmäßigen Arbeitssitzungen. An der Trockenbearbeitung interessierte Unternehmen sind hierzu eingeladen, um Erfahrungen auszutauschen und ihre Bauteile und Bearbeitungsprobleme vorzustellen. Ausgehend von der jeweiligen Aufgabenstellung werden Projektteams aus einem Kompetenzzentrum und aus einem oder mehreren Werkzeug-, Maschinen-, MMS-System- und/oder –Medienherstellern gebildet, die für Ihr Bauteil maßgeschneiderte Lösungen erarbeiten.

**Was müssen Sie tun?**

Nehmen Sie mit einem der Kompetenzzentren des Technologienetzes Trockenbearbeitung Kontakt auf. Sie sind herzlich zu den Arbeitstreffen von TroiA eingeladen. Testen Sie die Kompetenz von TroiA für die Lösung Ihrer Bearbeitungsaufgabe völlig unverbindlich.

**Was kostet TroiA?**

Mitarbeiter des Arbeitskreises nehmen Ihren Anwendungsfall kostenlos auf. Dieser wird dann von den Fachleuten im TroiA Arbeitskreises diskutiert. Die Expertise zu Ihrer Anwendung mit Vorschlägen zum weiteren Vorgehen stellt TroiA Ihnen anschließend kostenfrei zur Verfügung. Sie können gerne an dem Termin des Arbeitskreistreffens mit teilnehmen und mit den Experten direkt die Details Ihrer Produktion besprechen, wir unterstützen Sie bei der Aufbereitung der relevanten Informationen. In dringenden Fällen ist es selbstverständlich auch möglich Lösungswege unabhängig von den Arbeitskreisterminen zu erarbeiten.

**Haben Sie Interesse? Sprechen Sie uns an!**

**Abbildung 9.2: Informationsflyer des Arbeitskreises TroiA**

## 10. Zusammenfassung und Ausblick

Die metallbearbeitende Industrie nahm das Beratungsprogramm des Technologienetzes Trockenbearbeitung sehr gut an. Die Mitarbeiter des Technologienetzes begleiteten die Beratungskunden nicht nur bei tiefergehenden zerspantechnologischen Fragestellungen, sondern unterstützten die Unternehmen auch bei der Entscheidungsfindung und grundsätzlichen Vorgehensweise im Umgang mit der neuen Technologie. Hier war das TechnolgieNetz vor allem als produktneutraler Berater geschätzt.

Die für das deutsche Wirtschaftsgefüge sehr wichtige Förderungszielgruppe kleiner und mittelständischer Unternehmen nutzte das Leistungsangebot des Technologienetzes Trockenbearbeitung intensiv. Für diese Kunden war, sicherlich auch mit geprägt durch die konjunkturelle Situation zur Projektlaufzeit, das Angebot kostenfreier Beratungsleistung sehr entscheidend.

Im Sinne der Kunden konnte das Netzwerk weit über die anfangs bestehenden Kontakte der Projektpartner hinaus erweitert werden. Hier spielte sowohl die weitere Einbindung von Experten, als auch die Zusammenarbeit mit Multiplikatoren, z.B. IHK oder Berufsgenossenschaft eine wichtige Rolle.

Entsprechend der Zielsetzung eines Wissenstransferprojektes wurde Öffentlichkeitsarbeit in sehr großem Umfang betrieben. Zusammen mit der sehr aufwendigen individuellen Beratungsleistung war dies nur durch die gezielte Förderung des BMBF zu bewerkstelligen und kann sicherlich weder von den Forschungspartnern in Eigenregie bewerkstelligt, noch in Forschungsprojekte integriert werden.

Entscheidend für den Erfolg dieses Wissenstransferprojektes war nicht nur das Programm, sondern auch das Timing. Die technologische Reife des Themas und der anliegende Beratungsbedarf der Industrie empfehlen sich als Kriterien bei der Anwendung dieses Verbreitungskonzeptes in anderen Forschungsfeldern.

Die Arbeit im TechnolgieNetz Trockenbearbeitung stellte einen intensiven Abgleich der Forschungsergebnisse an der industriellen Anwendung dar. Das Konzept eignet sich damit auch dazu, um Forschungsbedarf in einem Themenfeld zu identifizieren, Forschungsförderung nach einer gewissen Laufzeit neu auszurichten, zu konzentrie-

ren und letzte Hürden zur Anwendung bereits vorliegender Ergebnisse auszuräumen.

Das Ziel des BMBF, die Ergebnisse bisheriger Forschungsförderung nachdrücklicher zum Anwender zu transportieren wurde mit dem Konzept des Technologienetzes Trockenbearbeitung voll und ganz erreicht. Berücksichtigt man die Erfolgsfaktoren dieses Projekts, die Reife der Technologie mit Bezug zu den Bedürfnissen des Marktes, so lässt sich dieses Konzept mit Sicherheit auch auf andere Forschungsfelder übertragen. Ein solches Wissenstransferprojekt eignet sich sehr gut zum Abgleich der geförderten Technologieentwicklung mit den Bedürfnissen der Anwender. Damit sollte es nicht als Abschluss einer Reihe von Forschungsvorhaben zum Thema gesehen werden, sondern nach erreichter Anwendungsreife zur gezielten Ausrichtung weiterer Förderung genutzt werden.

## **11. Experimentelle Machbarkeitsanalysen**

### **11.1 Institut für Werkzeugtechnik und Qualitätsmanagement (IWQ) der Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung (GFE), Schmalkalden**

Die im IWQ durchgeführten Seminare, die gemeinsamen Messebeteiligungen und die Öffentlichkeitsarbeit des Technologienetzes bildeten die Grundlage, um die kleinen und mittleren Unternehmen über die Trockenbearbeitung umfassend zu informieren, technische und wirtschaftliche Vorteile der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung transparenter zu machen und entsprechende Handlungsempfehlungen abzuleiten.

Die Teilnehmer an den Seminaren kamen aus den unterschiedlichsten Gründen. Die einen um sich zu informieren, welche Vorteile das Verfahren bringt und die anderen welche Bedingungen müssen vorhanden sein, um diesen Prozess zu realisieren.

Insbesondere ausgehend von der Diskussion um den Gesundheitsschutz und das Einsparpotential beim Wegfall der Emulsion, wollten alle Interessenten diese Technologie umsetzen.

In den Seminaren und Beratungen konnte gleichfalls vermittelt werden, dass die Bearbeitung ohne Kühlschmiermittel entsprechend angepasste Werkzeugmaschinen und Werkzeuge mit sich bringt. Nicht minder wichtig ist die Optimierung der Prozessparameter, was auch in einer Reihe praktischer Versuche im Versuchsfeld der GFE bzw. vor Ort bei den potentiellen Anwendern zum Ausdruck kam.

In den Diskussionen am Ende eines jeden Seminars wurden die unterschiedlichsten Meinungen zum Thema Trockenbearbeitung deutlich.

Zum einen ist man vorbehaltlos bereit, sich dem Problem der Einführung der Trockenbearbeitung zu widmen, andererseits erklärten auch Teilnehmer im Ergebnis der Beratungen, dass die aufgezeigten Anforderungen durchaus das gegenwärtige Potenzial in den Unternehmen übersteigen (u. a. Qualifikation des Personals, derzeitiger Maschinenpark, Investitionen).

Dem gegenüber steht jedoch auch der Zwang, dem insbesondere Zulieferbetriebe der Automobilindustrie unterliegen. Von einem beratenen Unternehmen erhielten wir

kürzlich die Mitteilung, dass man entgegen ersten Aussagen nun doch die Trockenbearbeitung eingeführt hat, da die Automobilindustrie die Teile nur noch abnehmen wird, wenn sie „trocken“ bearbeitet werden.

In einem weiteren Unternehmen, das nach einem Seminarbesuch von uns beraten wurde, konnten anhand der erarbeiteten Machbarkeitsstudie Maschinen auf Trockenbearbeitung umgestellt werden. Dieses Unternehmen musste jedoch auch erkennen, dass aufgrund des Maschinenparks nicht alle vorhandenen Anlagen für die Trockenbearbeitung geeignet sind. Im weiteren Schritt wurde ein Mitarbeiter speziell für das Aufgabengebiet Trockenbearbeitung eingestellt.

Die Arbeit im Technologienetz Trockenarbeit hat gezeigt, dass der konzipierte Weg über die Stufen IST-Standsanalyse, Technologieentwicklung, Machbarkeitstudien, Untersuchungen im Versuchsfeld bzw. Anpassung auf die Fertigungsanlagen in der Produktion sich als richtig erwiesen hat.

Ausgehend von unserer Tätigkeit im Technologienetz wird geschlossen, dass der größte Teil der beratenen Unternehmen nicht aus Eigeninitiative die Trockenbearbeitung eingeführt hätte, da die Umstellung von Nass- auf Trockenbearbeitung nicht einfach und ohne Arbeitsaufwand realisiert werden kann.

Auch die Motivation der Mitarbeiter zur Anwendung der Trockenbearbeitung spielt eine bedeutende Rolle. Nur wenn dem Maschinenbediener bewusst ist, dass die Trockenbearbeitung auch für ihn einen hohen Nutzen bringt, wie z.B. verbesserte Arbeitsbedingungen, Handling von trockenen bzw. fast trockenen Teilen, Wegfall von Pflegemaßnahmen für den Fertigungshilfsstoff, kann diese Bearbeitungstechnologie erfolgreich umgesetzt werden.

Nachfolgend genannte Bearbeitungsbeispiele zeigen, dass die Trockenbearbeitung in Zusammenarbeit mit dem Technologiezentrum eingeführt werden konnten, Voraussetzung war jedoch die Beachtung aller Einflussfaktoren der Trockenbearbeitung.

### **11.1.1 Beratungsbeispiel 1: Bearbeitung von Wälzlagerringen**

**Ausgangszustand:** Im vorliegenden Bearbeitungsfall werden Wälzlager bisher auf Einzelmaschinen unter Einsatz von Kühlschmierstoffen durch Drehen hergestellt. In der **Tabelle 11.1.1** ist die Ausgangssituation dargestellt:

Parameter	Erläuterung
Werkzeugmaschine	Einzelmaschinen
Werkstoff	100Cr6
Werkzeug	Kurzklemmhalter SSSCR 1212 F09
KSS	Kühlschmierstoff
Schnittparameter	$a_p = 0,2 \text{ mm}$ ; $f = 0,2 \text{ mm}$ ; $v_c = 300 \text{ m/min}$
Zielstellung	Ablösung Kühlschmierstoff Standzeiterhöhung, Kostensenkung

**Tabelle 11.1.1: Ausgangssituation**

**Abbildung 11.1.1** zeigt einen bearbeiteten Wälzlagererring.



**Abbildung 11.1.1: Wälzlagererring**

Wie aus Tabelle 4.4.1 hervorgeht soll die Nassbearbeitung durch Trockenbearbeitung ersetzt werden. Zur Senkung der Fertigungskosten und aus Gründen des Umweltschutzes ist eine Mehrstationenanlage „6-Stationen-Taktanlage“ mit Werkzeugeingriffszeiten von kleiner 3 s und Mindeststandzeiten von 1.000 Teilen pro Werkzeug geplant. **Abbildung 11.1.1** zeigt einen bearbeiteten Wälzlagererring.

**Vorgehensweise:** Für jede einzelne Bearbeitungsstation wurden die Verfahrensparameter zur Bearbeitung der Wälzlagerringe

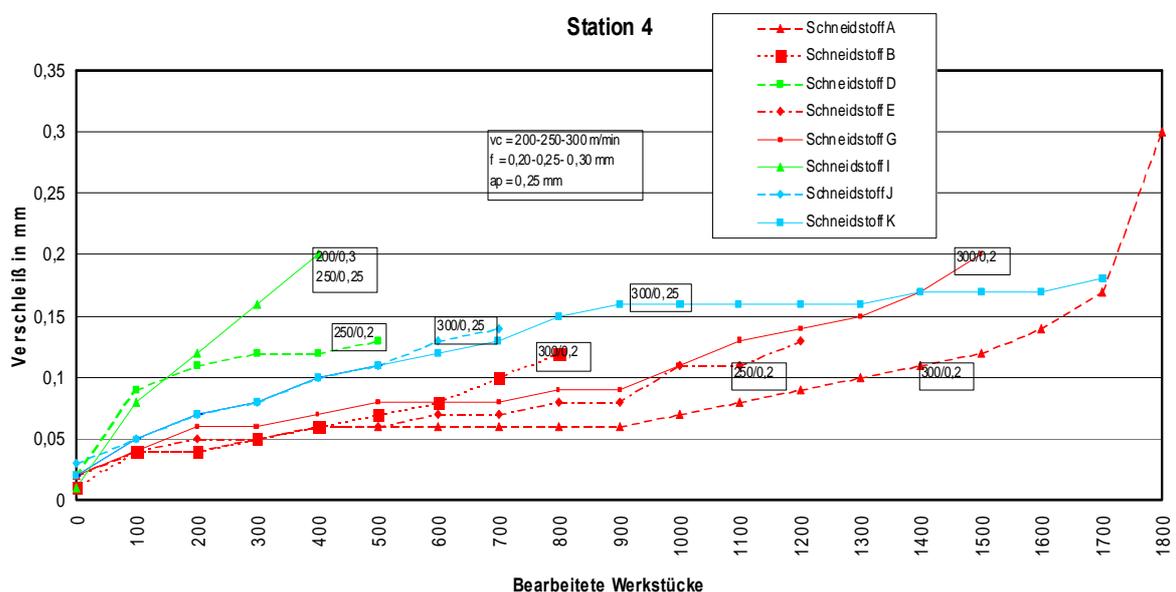
- Innenbearbeitung
- Außenbearbeitung
- Anfassen

optimiert.

Neu dabei ist, dass bei den durchgeführten Prozessvarianten das Werkzeug rotiert, während das Werkstück steht. Im Rahmen der Bearbeitung war es erforderlich den Schneidstoff zu optimieren, um die gestellten Ziele zu erreichen.

Bei den Untersuchungen wurde besonderer Wert auf die Spanform gelegt, um bei der Realisierung der Trockenbearbeitung auf der neu zu konzipierenden Anlage einen guten Spanbruch zu sichern.

Das Diagramm zeigt die Ergebnisse zur Optimierung der Schneidstoffe.



**Abbildung 11.1.2: Einsatzverhalten der Schneidstoffe in Abhängigkeit von der Anzahl der bearbeiteten Teile**

**Ergebnis:** Die optimierten Verfahrensparameter bilden die Grundlage für den Bau der 6-Stationenanlage zur Trockenbearbeitung von Wälzlagern, an deren Realisierung gegenwärtig gearbeitet wird.

Ausgehend von den positiven Ergebnissen dieser umfangreichen Untersuchungen wird im Rahmen des Projektes "InnoRegio IAW 2010" – Industrie- und Automobilregion Westsachsen ein Projekt zur Entwicklung, Konstruktion und Erprobung von Trockenfräswerkzeugen bearbeitet. Das Ziel des Projektes besteht in der Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse aus dem Bereich Trockenbearbeitung in einer Wertschöpfungskette.

### 11.1.2 Beratungsbeispiel 2: Bearbeitung von Gelenkwellenaugen

**Ausgangssituation:** Ein mittelständisches Unternehmen aus Thüringen hat sich auf die Herstellung von Gelenkwellen spezialisiert. Es werden verschiedenste Bauformen und Baugrößen gefertigt. Als Materialien kommen sowohl Stähle (C45, 42CrMo4) als auch Gusswerkstoffe (GG/GGG) zum Einsatz. Endabnehmer sind neben der Automobilindustrie vor allem der Bereich der Bahntechnik. Die spanende Bearbeitung der Gelenkwellen erfolgt auf Bearbeitungszentren und Sondermaschinen älterer Bauart. Aus Kostengründen sollte die Möglichkeit einer Umstellung auf Trockenbearbeitung untersucht werden. Darüber hinaus sollen Leckageprobleme bei einigen Maschinen auf diese Weise behoben werden, woraus auch eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen der Belegschaft resultiert.



**Abbildung 11.1.3: Flanschmitnehmer aus 42CrMo4**

Auf Grund der Vielfalt der möglichen Anwendungen wurde ein typisches Beispiel für die Bearbeitung ausgewählt. Es handelt es sich um einen Flanschmitnehmer mittlerer Baugröße aus 42CrMo4. Dabei stellt insbesondere die Bearbeitung der Flanschaugen das eigentliche Problem dar. Die anderen erforderlichen Arbeitsschritte werden

als unkritisch für eine Trockenbearbeitung angesehen. Da eine Trockenbearbeitung jedoch nur dann sinnvoll ist, wenn alle Arbeitsschritte auf einer Maschine ohne den Einsatz von Kühlschmierstoffen erfolgen, ist die Bearbeitung der Flanschaugen der entscheidende Punkt für die Umsetzbarkeit der neuen Technologie.

Zur Bearbeitung der Flanschaugen sind die folgenden Bearbeitungsschritte erforderlich:

1. Planfräsen,
2. Bohren Ø 47 mm
3. Bohren Ø 53 mm
4. Bohren Ø 56,7 mm
5. Bohren Ø 57,2 mm
6. Nutfräsen
7. Feindreihen Ø 57<sup>H7</sup>

**Vorgehensweise:** Mit dem Unternehmen wurde die Durchführung von Versuchen vor Ort, d.h. auf den jeweiligen Maschinen vereinbart. Diese Versuche wurden durch die GFE Schmalkalden vorbereitet und betreut. Hierzu wurde zunächst die vorhandene Technologie überarbeitet. Kundenwunsch war dabei, die bereits vorhandene Werkzeugtechnik möglichst beizubehalten.

Die Versuche erfolgten auf Bearbeitungszentren vom Typ Maho 800. Diese verfügten über keine innere Kühlmittelzufuhr. Damit konnte auch die Möglichkeit einer inneren MMS nicht genutzt werden. Es erfolgte daher der Anbau einer äußeren MMS. Erste Versuche zeigten, dass eine starke Erwärmung des Werkstücks während der Bearbeitung erfolgt. Ursächlich hierfür ist vor allem das Vollbohren Ø 47 mm. Messungen der Temperatur unmittelbar am Auge ergaben nach dem Bohren eine Werkstücktemperatur von 75°C. Diese sinkt bis zum Ende der Bearbeitung auf 45°C. Eine solche Temperatur führt zu Problemen bei der Messung des Passmaßes 57<sup>H7</sup>. Hinzu kommen starke Akzeptanzprobleme auf Grund der hohen Temperatur beim Handling der fertigen Teile. Da die vorhandene Maschinenteknik keine Verbesserung der Schmierbedingungen zulässt, wurde der Einsatz eines Kühlsystems untersucht. Dieses strahlt Kühlluft während der Bearbeitung auf die besonders kritischen Bereiche

des Werkstücks. Damit ist es gelungen, die Endtemperatur auf 38°C am Ende der Bearbeitung zu reduzieren. Diese werden vom Bedienpersonal akzeptiert. Bei der Abkühlung des Werkstücks auf Raumtemperatur nimmt das Bohrungsmaß um 0,008 mm ab. Dies führte in vielen Fällen dazu, dass das Maß aus dem zulässigen Toleranzfeld „wandert“. Dieses Problem konnte durch den Einsatz eines entsprechenden Vorhaltemaßes bei der Bohrungsfeinbearbeitung gelöst werden. Unter den oben beschriebenen Randbedingungen konnte eine stabile Fertigung über mehrere Schichten nachgewiesen werden. Neben dem Effekt der Einsparung von Kühlschmiermittel ist es auch gelungen die Bearbeitungszeit um etwa 10 % zu reduzieren. Die Standzeiten sowie die Werkzeugkosten blieben nahezu unbeeinflusst.

Arbeitsgang	IST-Stand Werkzeuge	neue Werkzeuge	neue Schnittwerte
Planfräsen	Planfräser Fa. Plansee A270.125.R.07-12  WSP: Fa. Plansee SDHT 1204 AESN in Gm 43	WSP: SDHT1204 AESN in Sr 226	$v_C = 180 \text{ m/min}$
Bohren Ø 47 mm	WSP-Bohrer Fa. Kenna DFT 470 R2 WD 4011  WSP: Fa. Kenna WCGX 070408-31 in CS 5	WSP: WCGX070408-31 in KC 7215	$v_C = 150 \text{ m/min}$ $v_f = 120 \text{ mm/min}$
Bohren Ø 53 mm	Zweischneider Fa. Wohlhaupter 155039  WSP: Fa. Hoffmann CCMT 120408 SM HB 7035	CCMT 120408 SM HB 7010	$v_C = 120 \text{ m/min}$ $v_f = 200 \text{ mm/min}$
Bohren Ø 56,7 mm	wie Bohren Ø 53 mm	wie Bohren Ø 53 mm	$v_C = 120 \text{ m/min}$ $v_f = 200 \text{ mm/min}$
Bohren Ø 57,2 mm	wie Bohren Ø 53 mm	wie Bohren Ø 53 mm	$v_C = 120 \text{ m/min}$ $v_f = 140 \text{ mm/min}$
Nutfräsen	Fräser Fa. Iscar GM-D50 W255003 616862  WSP: GIP 3.30-0.10 in IC 656	WSP:GIP 3.30-0.10 in IC 908	kein Änderung
Feindreihen Ø 57 H 7	Feindreihwzg. Fa. Wohlhaupter 264014  WSP: Fa. Wohlhaupter Form 20	keine Änderung	keine Änderung

**Tabelle 11.1.2: Überarbeitete Technologie zur Bearbeitung des Flanschauges**

**Ergebnis:** Durch die detaillierte Analyse und Optimierung der Bearbeitung war es technisch möglich, einen stabilen Produktionsprozess ohne den Einsatz einer Emulsion zu erreichen. Dieser ist aber nur beim gleichzeitigen Einsatz einer MMS und eines Kühlsystems realisierbar. Dies geht natürlich zu Lasten der Wirtschaftlichkeit. Eine Einführung der Trockenbearbeitung im größeren Maßstab wird durch diesen Sachverhalt erheblich erschwert. Dabei liegt die Ursache in der ungeeigneten Maschinenteknik. Es kann davon ausgegangen werden, dass beim Einsatz eines moderneren Bearbeitungszentrums (bei dem auch der Einsatz einer inneren MMS möglich ist) die Trockenbearbeitung ohne Kühlsystem stabil arbeitet. Hier bieten sich enorme Perspektiven, welche in der Zukunft zu nutzen sind.

### **11.1.3 Beratungsbeispiel 3: Drehen von Nutmuttern**

**Ausgangssituation:** Ein mittelständisches Unternehmen in Thüringen hat sich auf die Herstellung von Normteilen, insbesondere Nutmuttern, spezialisiert. Die Bearbeitung erfolgt auf zweispindligen Horizontaldrehmaschinen (**Abbildung 11.1.4**). Als Kühlschmiermittel wird hierbei eine 5 %-ige Emulsion verwendet. Um Kosten zu sparen, aber auch um die gesundheitlichen Belastungen der Mitarbeiter durch den Umgang mit diesen Emulsionen zu vermeiden, wird eine Trockenbearbeitung angestrebt.



**Abbildung 11.1.4: Zweispindlige Drehmaschine**

In zwei Aufspannungen wird eine Drehbearbeitung der Außen- und Innenkontur des in Form eines Rings vorhandenen Rohteils sowie die Herstellung des Innengewindes realisiert. Die vorhandene Maschinenteknik lässt den Einsatz einer MMS nur bedingt zu, da der Revolver die hierfür erforderliche Dichtheit nicht aufweist. Darüber hinaus lehnte das Unternehmen eine solche Lösung auch auf Grund der zusätzlichen Kosten ab.

Bereits vor der Beratung im Rahmen des Technologienetzes wurden im Unternehmen eigene Versuche durchgeführt. Dabei wurde lediglich die Zufuhr der Emulsion unterbrochen, ansonsten aber eine unveränderte Technologie verwendet. Das Ergebnis war eine starke Erwärmung der Werkstücke, in deren Folge Maßprobleme, insbesondere im Bereich der Gewinde auftraten. Da dieses Problem nicht gelöst werden konnte, wurden diese Versuche abgebrochen.

**Vorgehensweise:** Das Institut für Werkzeugtechnik und Qualitätsmanagement der GFE Schmalkalden übernahm die Aufgabe, eine Technologie zur Bearbeitung des beschriebenen Teilespektrums ohne Kühlschmierstoff, also auch ohne MMS, zu entwickeln und vor Ort zu testen. Hierfür wurde die Fertigung des in **Abbildung 11.1.5** abgebildeten Nutrings ausgewählt.



**Abbildung 11.1.5: Nutring**

Durch eine Überarbeitung des vorhandenen Werkzeugkonzepts und eine Optimierung der Zerspanparameter ist es gelungen, die Bearbeitung prozesssicher trocken durchzuführen. Die Erwärmung des Werkstücks konnte derart reduziert werden, dass die Lehenhaltigkeit der Gewinde unter Verwendung eines Vorhaltemaßes garantiert werden kann.

Darüber hinaus konnte die Bearbeitungszeit von 92 s auf 59 s pro Werkstück reduziert werden. Auf Wunsch des Anwenders wurde auch das Werkzeugspektrum bereinigt, so dass heute nur noch ein Werkzeuglieferant für diese Aufgabe benötigt wird.

**Ergebnis:** Im vorliegenden Fall ist es gelungen, die weitreichenden Möglichkeiten der Trockenbearbeitung zu nutzen. Neben den Vermeiden der Kosten für das Kühlschmiermittel einerseits und der Nutzung der damit verbundenen gesundheitlichen Vorteile sind keinerlei Mehraufwendungen für MMS, Kühlsysteme Absaugungen oder teurere Werkzeuge erforderlich. Es ist im Gegenteil gelungen, die Fertigungskosten durch eine drastische Reduzierung der Fertigungszeit nochmals zu senken. Darüber hinaus ist das gesamte Werkzeughandling durch die Konzentration auf einen Werkzeuglieferanten wesentlich vereinfacht.

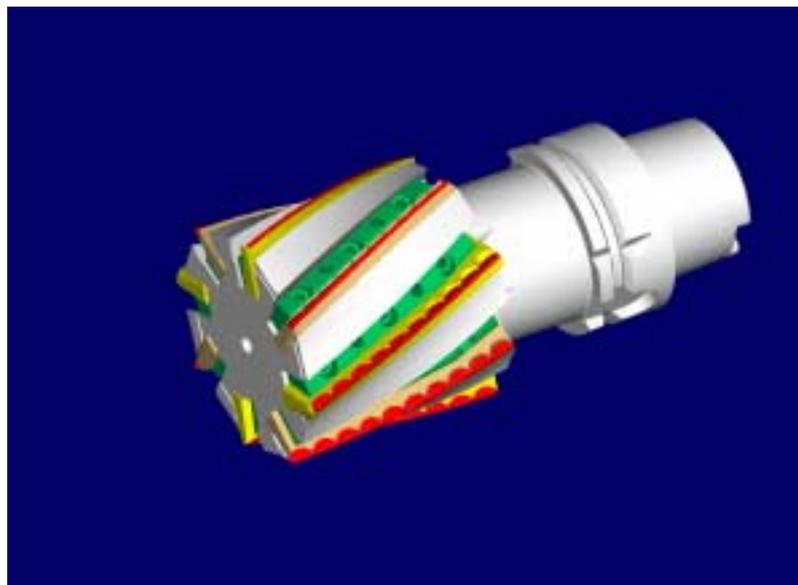
Aufbauend auf den Ergebnissen der ersten Maschine wurden mittlerweile weitere Maschinen auf Trockenbearbeitung umgerüstet. Dies konnte der Anwender auf Grund der vorliegenden Erfahrung ohne externe Unterstützung vornehmen.

#### 11.1.4 Beratungsbeispiel 4: Fräsen von Lehringen

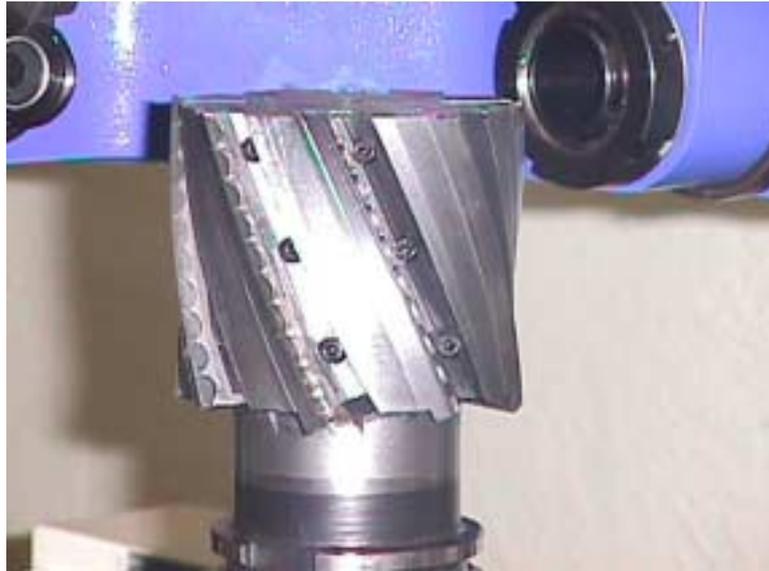
**Ausgangssituation:** Ein thüringisches Unternehmen stellt mit etwa 200 Mitarbeitern Standard- und Sonderlehren der verschiedensten Formen und Größen her. Dabei steht insbesondere der Bereich der Standardlehren unter einem enormen Preisdruck. Es wird daher nach Wegen gesucht, die Fertigungskosten insbesondere in diesem Bereich weiter zu senken. Hier besteht die Überlegung, die relativ teuren Schleifprozesse durch trockene Hartbearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide zu ersetzen.

Für die GFE bestand die Aufgabe, die technische Umsetzbarkeit eines solchen Vorschlags an einem konkreten Bauteil zu überprüfen. Als erstes Anwendungsfeld wurde ein Lehring aus 90MnV8 mit einem Innennendurchmesser von 200 mm ausgewählt. Dieser wurde bislang durch ein Drehen im weichen Zustand vorbearbeitet und nach dem Härten (62 HRC) durch Schleifen auf das geforderte Passmaß gebracht. Für diesen Arbeitsgang war eine Bearbeitungszeit von ca. 2 h erforderlich.

**Vorgehensweise:** Alternativ hierzu wurde eine Technologie untersucht, welche nach dem Härten eine Fräsbearbeitung vorsieht. Auf Grund der sehr hohen Anforderungen an Oberflächengüte und Maßgenauigkeit war der Einsatz von Standardwerkzeugen in diesem Fall nicht von Erfolg gekrönt.



**Abbildung 11.1.6: Aufbau des verwendeten Sonderfräasers**



**Abbildung 11.1.7: Sonderfräser während der Vermessung der Schneiden**

Es kam daher ein Sonderfräser (siehe **Abbildung 11.1.6** und **Abbildung 11.1.7**) zum Einsatz, welcher im Hause GFE für die Bearbeitung gehärteter Innenkonturen sowohl zylindrischer als auch balliger Flächen entwickelt und gebaut wurde.

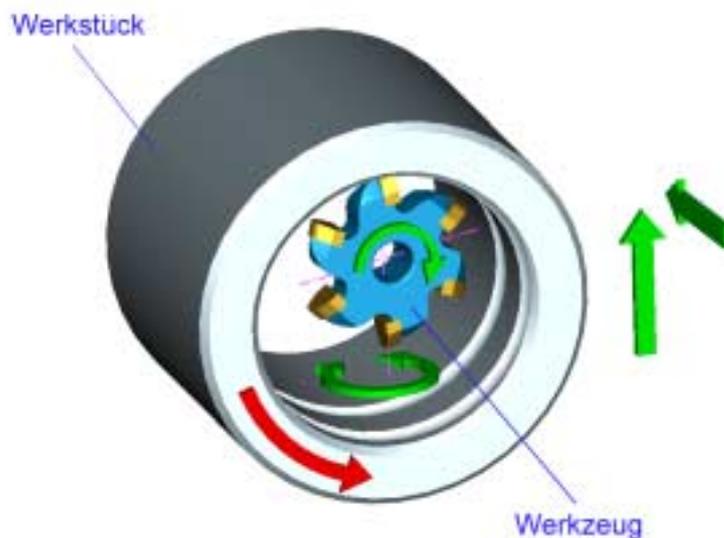
Dieses Werkzeug arbeitet mit einstellbaren Schneidleisten, welche mit gelöteten CBN-Einsätzen versehen sind. Mit diesem Werkzeug war es möglich, die geforderte Oberflächengüte zu erreichen.

Nach dem Fräsen, welches eine Bearbeitungsdauer von ca. 1 min benötigt, lediglich ist eine Endbearbeitung durch Schleifen erforderlich. Hierfür ist jedoch nur noch eine Bearbeitungszeit von ca. 20 min erforderlich.

**Ergebnis:** Die entwickelte Technologie ermöglicht es, den zeitlichen und finanziellen Aufwand zur Herstellung von Lehringen deutlich zu reduzieren. Darüber hinaus ist durch eine Reduzierung des Kühlschmiermittels und Schleifschlammaufkommens mit einer Entlastung der Umwelt und des Bedienpersonals zu rechnen. An der umfassenden Einführung dieser Technologie beim Kunden wird derzeit gearbeitet.

#### **11.1.5 Beratungsbeispiel 5: Wirbeln von Innengewinden an Muttern für Kugelgewindetriebe**

Ein Hersteller von Kugelgewindetrieben beabsichtigte das Innengewindeschleifen von Gewindemuttern durch eine Zerspanung mit geometrisch unbestimmter Schneide zu ersetzen. Damit soll eine deutliche Reduzierung der Durchlaufzeiten sowie der Fertigungskosten erreicht werden.



**Abbildung 11.1.8: Kinematik des Innengewindewirbelns**

**Ausgangssituation:** Es werden Gewindemuttern in verschiedenen Größen gefertigt. Kostenintensivster und auch zeitkritischster Arbeitsgang ist die Herstellung der Innengewinde, welche durch Schleifen ins Volle aus einem Rohrabschnitt aus 100Cr6 ( $60 \pm 2$  HRC) gefertigt werden. Auf Grund der großen Bandbreite in den Abmessungen der zu fertigenden Muttern wurden diese in zwei Gruppen unterteilt und für jede dieser Gruppen eine separate Technologie entwickelt. Die GFE Schmalkalden hat diese Technologien zunächst im eigenen Hause erarbeitet und erprobt. Hierzu wurde für jede Produktgruppe ein konkretes Bauteil ausgewählt. Für die erste Gruppe wurde eine Mutter mit einem Sondergewinde, Nenndurchmesser 30 mm und einer Gewindelänge von 60 mm festgelegt. Für die zweite Gruppe wurde eine Mutter mit einem Sondergewinde, Nenndurchmesser 180 mm und einer Gewindelänge von 60 mm festgelegt.

**Vorgehensweise:** Grundlage der beiden Lösungsansätze ist das Verfahren des Innengewindewirbelns, welche in seiner prinzipiellen Kinematik in **Abbildung 11.1.8** dargestellt ist.

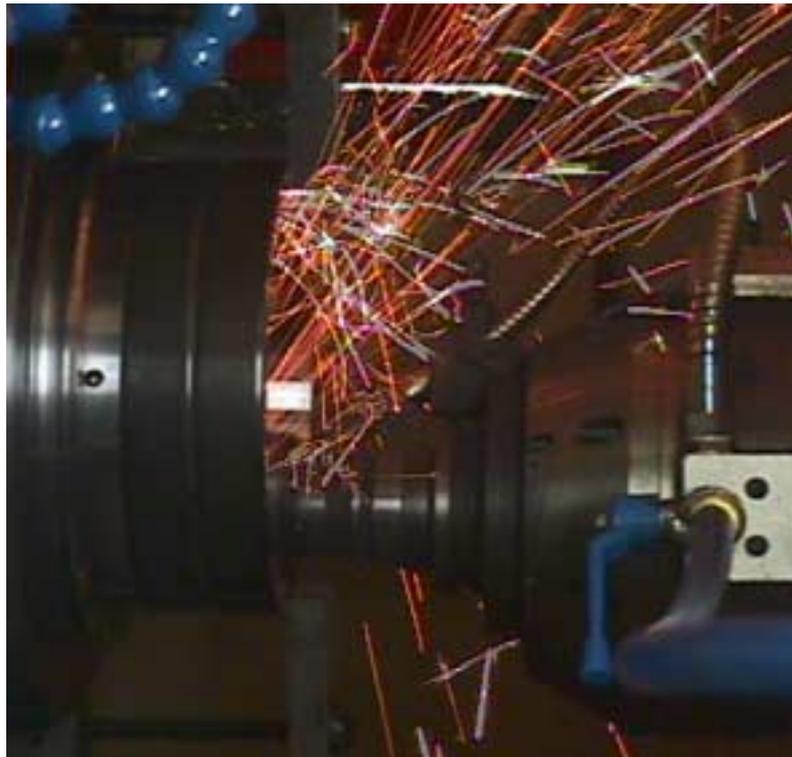
Die Bearbeitung „kleiner“ Muttern, in diesem Fall des Gewindenenddurchmesser 30 mm, erfolgt durch Wirbeln auf einer 2-achsigen Drehmaschine mittels eines speziellen Wirbelkopfes (siehe **Abbildung 11.1.9**).



**Abbildung 11.1.9: Bearbeitung einer Mutter mit einem Gewindenenddurchmesser von 30 mm**

Dieser wurde durch die GFE entwickelt und gebaut. Als Werkzeug wird ein Standardwerkzeug mit gelöteten CBN-Schneiden verwendet. Damit ist es möglich, die Bearbeitung ohne den Einsatz von Kühlschmierstoffen in einer Zeit von ca. 1 min zu realisieren. Die bislang verwendete Technologie des Gewindeschleifens benötigt hierfür ca. 2 min. Alle erforderlichen Qualitätsparameter wurden erreicht, so dass keine weiteren Arbeitsgänge erforderlich werden.

Die Bearbeitung „großer“ Muttern, in diesem Fall des Gewindenenddurchmesser 180 mm, wird ebenfalls durch Wirbeln realisiert. Dies erfolgt auf einem Bearbeitungszentrum (siehe **Abbildung 11.1.10**). Als Werkzeug kommt ein Sonderwerkzeug mit austauschbaren CBN Schneiden zum Einsatz, welches von der GFE für diesen Einsatzfall entwickelt wurde. Auf Grund der Größe des zu bearbeitenden Bauteils konnte mit dem verwendeten Bearbeitungszentrum nicht die erforderliche Maßgenauigkeit und Oberflächengüte erreicht werden. Die so gefertigten Bauteile müssen nach dem „Schruppen“ durch Wirbeln noch eine Schlichtbearbeitung durch Schleifen durchlaufen.



**Abbildung 11.1.10: Bearbeitung einer Mutter mit einem Gewindenenn-  
durchmesser von 180 mm**

Im Vergleich zur bislang eingesetzten Technologie konnten jedoch erhebliche zeitliche und ökologische Verbesserungen erreicht werden. So ist für die komplette Schleifbearbeitung des Innengewindes eine Bearbeitungszeit von ca. 12 h erforderlich. Die veränderte Technologie sieht eine Bearbeitungszeit von ca. 3 h (1 h Wirbeln und 2 h Schleifen) vor.

**Ergebnis:** Es ist gelungen, für die Fertigung von Gewindemuttern von Kugelgewindetrieben Technologien zu entwickeln, welche die Bearbeitungszeiten um 50 % -75 % senken. Darüber hinaus konnte eine teilweise oder vollständige Substitution des Schleifens erfolgen. Da die Stundensätze einer Drehmaschine bzw. eines Bearbeitungszentrums geringer sind als die der bislang verwendeten Innengewindeschleifmaschine, erfolgt eine nochmalige Kostensenkung, so dass die Wirtschaftlichkeit des gesamten Fertigungsprozesses deutlich verbessert wird. Auch aus ökologischer Sicht sind deutliche Vorteile zu vermerken. Durch die Vermeidung bzw. Reduzierung der Schleifprozesse, wird auch die Kühlschmiermittelmenge und vor allem die Menge des anfallenden Schleifschlammes reduziert oder fällt überhaupt nicht mehr an.

### 11.1.6 Beratungsbeispiel 6: Trockenfräsen von Nuten in Schaftwerkzeuge

**Ausgangssituation:** Auch in der Werkzeugindustrie spielt die Trockenbearbeitung zunehmend eine wichtige Rolle, wenn es um die Substitution der Fertigungshilfsstoffe und damit um eine umweltschonende Bearbeitung geht. Bei der Fertigung von Werkzeugschäften werden vier um 90° versetzte Nuten unter Einsatz von Öl auf einer Sondermaschine zylindrisch in das Schaftende des Werkzeuges eingefräst.

Durch die Anwendung von Öl als Kühlmittel sind die bearbeiteten Werkstücke stark mit Öl verunreinigt. Neben den hohen Verschleppungsverlusten ist ein hoher Reinigungsaufwand erforderlich. In **Abbildung 11.1.11** sind die zu bearbeitenden Werkzeugschäfte dargestellt.



**Abbildung 11.1.11: Trockenfräsen von Werkzeugschäften**

In der **Tabelle 11.1.3** sind die Parameter der Bearbeitung mittels Ölkühlung enthalten.

Parameter	Erläuterung
Werkzeugmaschine	Sondermaschine mit je zwei gegenüberliegenden Spindeln
Werkstoff	34CrNiMo6, Werkstoff-Nr. 1.6582
Werkzeug	Sonderfräser
KSS	Öl
Schnittparameter	$a_p = 1,4 \text{ mm}$ ; $f_z 0,02 \text{ mm}$ ; $vc = 57 \text{ m/min}$
Zielstellung	Umstellung auf Trockenbearbeitung- Verbesserung der Arbeitsbedingungen für das Bedienungspersonal

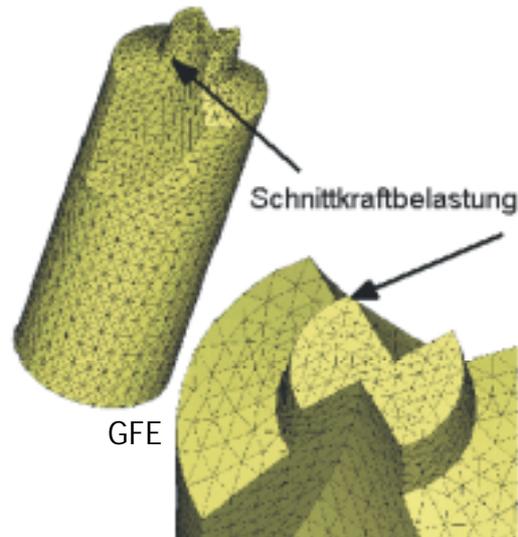
**Tabelle 11.1.3: Ausgangssituation**

**Vorgehensweise:** Stichversuche zur Trockenbearbeitung auf einer Versuchsmaschine haben ergeben, dass die Trockenzerspanung des eingesetzten Materials mit den derzeit verfügbaren Zerspanungswerkzeugen nicht möglich ist, ohne dass die Werkzeuge sowohl konstruktiv verändert werden als auch die gesamte Technologie den Erfordernissen der Trockenbearbeitung angepasst wird.



**Abbildung 11.1.12: Durchführung von Stichversuchen auf Versuchsmaschine**

Daher wurden die eingesetzten Fräswerkzeuge einer umfassenden Analyse hinsichtlich ihrer statischen und dynamischen Eigenschaften unterzogen. Dabei wurden auch Berechnungen mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgeführt. Das FEM-Modell des Werkzeuges zeigt **Abbildung 11.1.13**.



**Abbildung 11.1.13: Finite-Elemente-Methode des Werkzeuges**

Die Ergebnisse aus der FEM-Modell-Betrachtung bildeten die Ausgangsbasis für die Neuentwicklung der Fräser zur Herstellung von Nuten in Trockenbearbeitung. Durch die Verwendung von neuen Hartmetallqualitäten (Feinstkornhartmetall), die Optimierung der Schneiden- und Werkzeuggeometrie, die Werkzeugfertigung auf modernsten Schleifmaschinen sowie das Aufbringen von neuen modifizierten Oberflächenbeschichtungen (TiAlN-Multilayer-Schichten) konnte die Trockenbearbeitung für die Herstellung von Formnuten an Boherschäften realisiert werden.

**Ergebnis:** Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass eine Trockenbearbeitung der Trapeznut im Material, das zerspantechnisch als sehr schwierig gilt, realisierbar ist.

Einschränkend für diesen Einsatzfall ist jedoch zu bemerken, dass bei der gegenwärtig eingesetzten Maschine das Bearbeitungsöl auch zum Schmieren der Maschinenelemente eingesetzt wird, so dass die Trockenlegung des Prozesses erst bei einer Neuanschaffung einer Maschine realisiert werden kann.

### **11.1.7 Beratungsbeispiel 7: Bearbeitung von Stellitaufpanzerungen im Gesenkbau**

**Ausgangssituation:** Ein Werkzeugbau setzt zur Standzeitverlängerung seiner Schmiedegesenke verstärkt Aufpanzerungen auf der Basis von Stellite 21 ein. Da deren spanende Bearbeitung ein erhebliches Problem darstellt, werden diese bisher erodiert. Das Erodieren ist jedoch eine sehr kostenintensive Lösung. Hinzu kommen ökologische und vor allem gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit den

verwendeten Erodierölen sowie den als Sondermüll zu entsorgenden Filtern. Das Unternehmen wünschte daher die Untersuchung der Möglichkeiten spanenden Bearbeitungs dieses Verbundwerkstoffes.

Kobalthartlegierungen zeichnen sich durch eine Reihe bemerkenswerter Eigenschaften aus. Ähnlich wie auch Eisen- und Nickelhartlegierungen besitzen sie gute tribologische Eigenschaften. Hinzu kommt jedoch die deutlich höhere Warmhärte, das heißt, dass auch bei Einsatztemperaturen über 600 °C, wie sie beispielsweise bei der Warmumformung auftreten, noch ein hoher Verschleißwiderstand vorhanden ist. Eine weitere wesentliche Eigenschaft von Kobalthartlegierungen ist der „work-hardening“-Effekt. Dies bedeutet, dass sich die Härte des Materials unter äußerer Krafteinwirkung, das heißt im Einsatz, weiter erhöht und dies bei einer gleichzeitig hohen Zähigkeit, welche insbesondere die Entstehung von Rissen verhindert. In Verbindung mit einer ebenfalls sehr hohen Oxydationsbeständigkeit bieten sich Kobalthartlegierungen daher für den Einsatz in Warmumformwerkzeugen besonders an. Hier werden sie zur Panzerung vor allem von Schmiedegesenken eingesetzt. Hierbei ist eine spanende Bearbeitung der aufgeschweißten Schichten erforderlich, um die gewünschte Kontur der Werkzeuge zu erzeugen. Dabei wirken sich die guten tribologischen Eigenschaften des Materials natürlich besonders ungünstig auf die Zerspanung aus. Die Bearbeitung kann nur mit sehr geringen Schnittgeschwindigkeiten und kurzen Standzeiten erfolgen. Damit wird das wirtschaftliche Ergebnis des Einsatzes solcher Aufschweißungen deutlich reduziert und teilweise ganz in Frage gestellt.

**Vorgehensweise:** Zunächst wurden Versuchswerkstücke (**Abbildung 11.1.14**) für die nachfolgenden Zerspanversuche hergestellt. Diese bestehen aus einem vom Anwender vorgegebenen Grundwerkstoff, auf den mittels Elektrode eine Verschleißschutzschicht aus Stellite 21 (C 0,15%-0,3%; Cr 30%-33%; Mo 4,5%-5,5%; Rest Co) aufgeschweißt wurde. Die Geometrie der Werkstücke wurde so gewählt, dass neben den ebenen Fräsen auch ein ziehender und ein bohrender Schnitt bei der Bearbeitung durchzuführen ist. Diese Werkstücke wurden im Ausgangszustand und nach dem ersten Schnitt (work-hardening-Effekt) auf ihre für die Zerspanung relevanten Eigenschaften untersucht. Dabei wurden jeweils der Härteverlauf, die chemische Zusammensetzung (EDX) und das Gefüge (Schliffe) analysiert.

Parallel hierzu wurden von der GFE Vollhartmetall-Radienfräser ( $\varnothing$  6 mm) als Versuchswerkzeuge hergestellt. Hierbei wurden insbesondere die Span- und Freiwinkel,

die Schneidkantenverrundung, die Fasenbreite und die Form der Ausspitzung variiert. Durch umfangreiche Zerspanversuche war es möglich, diese Geometrielemente auf die Bearbeitungsaufgabe abzustimmen.

Aufbauend auf diesen Erfahrungen wurden auch erste Versuche mit Wendepplattenwerkzeugen durchgeführt. Es wurden torische Fräser sowie runde Wendeschneidplatten ( $\varnothing$  12 mm) verwendet. Variationen der verwendeten Hartmetalle und Beschichtungen erlauben die Schlussfolgerung, dass eine Kombination aus einem zähen Substrat und einer besonders verschleißfesten Beschichtung vorteilhaft ist.

Die durchgeführten Zerspanversuche liegen alle im Bereich der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung und wurden mit Schnittgeschwindigkeiten um 200 m/min (die Katalogempfehlungen liegen z.Z. bei ca. 60 m/min) durchgeführt. Es wurde auch der Einfluss einer Minimalmengenschmierung untersucht.



**Abbildung 11.1.14: Probewerkstück mit einer Stellite 21-Panzerung**

**Ergebnis:** Untersuchungen haben ergeben, dass eine spanende Bearbeitung der untersuchten Aufschweißungen durchaus eine wirtschaftliche Alternative zum Erodieren sein kann. Dabei stellen hohe Schnittgeschwindigkeiten, wie sie im Werkzeug- und Formenbau im Bereich der Stahlbearbeitung üblich sind, keine unüberwindlichen Hindernisse dar. Solche Lösungen sind jedoch nur mit optimierten Werkzeugen und Technologien erreichbar.

### 11.1.8 Beratungsbeispiel 8: Drehen von Armaturenteilen aus Messing ohne Kühlschmiermittel

**Ausgangssituation:** Eine thüringische Firma, ein großer Anbieter im Bereich Heizung/Sanitär, betreibt mit etwa 400 Mitarbeitern eine Fertigung für Armaturenteile aus Messing und Rotguss. Es handelt sich hierbei um Werkstücke der verschiedensten Größen und Formen (siehe **Abbildung 11.1.15**), welche in Großserien produziert werden. Die Bearbeitung erfolgt durch Drehen, wobei keine Passmaße zu beachten sind. Auch an die Rauheit der Oberflächen werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Ein häufig auftretendes Formelement sind Gewinde, welche sowohl als Innen- als auch als Außengewinde auftreten.



**Abbildung 11.1.15: Beispiele für die Rotgussbearbeitung**

Für die spanende Bearbeitung dieser Bauteile kommen u.a. 12 Drehmaschinen vom Typ Gildemeister MF Sprint zum Einsatz. Die Maschinen werden über eine zentrale Anlage mit Kühlschmiermittel versorgt. Da das vorhandene System der Kühlschmiermittelversorgung einen erheblichen Kostenfaktor darstellt, wird nach Wegen gesucht, die Bearbeitung trocken zu realisieren.

Die GFE e.V., Schmalkalden führte im Rahmen des Technologienetzes Trockenbearbeitung eine Beratung vor Ort durch. Im Ergebnis dieser Beratung wurde festgestellt, dass eine Trockenbearbeitung als grundsätzlich möglich angesehen wird. Auf Grund der zentralen Kühlschmiermittelversorgung war jedoch mit einem wirtschaftlichen Effekt erst bei Trockenlegung einer größeren Anzahl von Maschinen zu rechnen. Es wurde daher auf eine schrittweise aber umfassenden Umstellung der Technologie orientiert.

**Vorgehensweise:** Aufbauend auf die Empfehlungen der GFE Schmalkalden führte die Firma eigenständige Versuche zur Trockenbearbeitung durch. Die Ziele war hierbei insbesondere:

- Die Umstellung auf Trockenbearbeitung erfolgt ausschließlich über eine Optimierung der Zerspanungsparameter. Der Einsatz neuer und möglicherweise kostenintensiverer Werkzeuge ist weitgehend zu vermeiden. Der technologische Ablauf muss in seinen Grundzügen erhalten bleiben.
- Der Einsatz von MMS-Systemen ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden.
- Die Bearbeitungszeiten bei einer Trockenbearbeitung dürfen die der Nassbearbeitung nicht überschreiten.

Durch die Motivation und die frühzeitige und umfassende Einbeziehung des Bedienpersonals in dieses Projekt war es möglich, mittlerweile 5 Maschinen auf Trockenbearbeitung umzustellen. Beispielhaft für die auf diesen Maschinen produzierten Werkstücke ist in **Tabelle 11.1.4** die Technologie zur Herstellung des Übergangsstücks 42 x 1 ½ dargestellt (siehe **Abbildung 11.1.16**).

Diese Bearbeitung läuft seit 6 Monaten stabil in 3 Schichten.

Arbeitsgang	Werkzeug
Innenkontur Drehen	WSP: Stellram DCMW 150408 GH1 K10
Einstich	WSP: Horn 217.4262.1742 HM K10
Außenkontur Drehen	WSP: Plansee VCMT 160408 EN-SN GM517
Gewinde Drehen	WSP: Rohn 12X-11W T10C
8-kant schlagen	(Messerkopf 1:2) 4 Messer Horn 314.5051.2423 MG 12
rändeln	Rändelrolle HSS
signieren	HM-Stempelsegment
abstechen	Abstechstern Graf HM K10

**Tabelle 11.1.4: Technologie zur Bearbeitung des Übergangsstücks 42 x 1 ½**

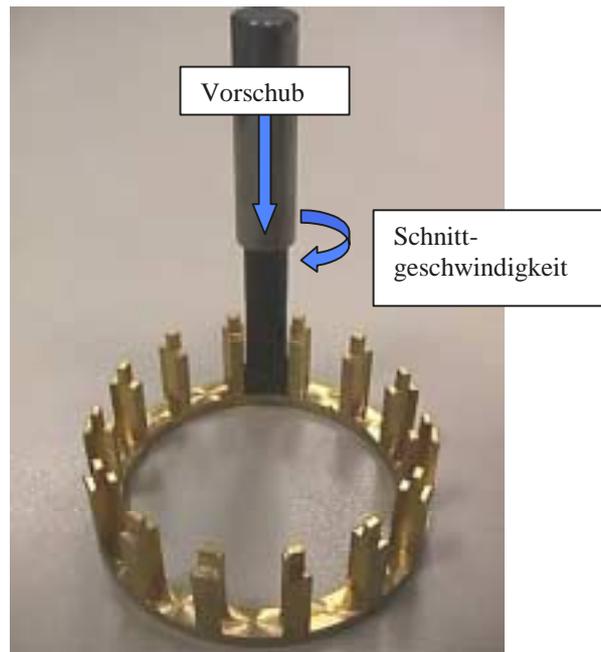


**Abbildung 11.1.16: Übergangsstück 42 x 1 ½**

**Ergebnis:** Es konnte nachgewiesen werden, dass die Drehbearbeitung von Rotgussteilen auch in der Großserie ohne den Einsatz einer Emulsion stabil zu realisieren ist. Dabei kann auch auf eine MMS verzichtet werden, was insbesondere für ältere Drehmaschinen ein Hindernis wäre. Für die Zukunft ist die schrittweise Umstellung weiterer Maschinen vorgesehen. Dabei werden perspektivisch auch die vorhandenen Mehrspindeldrehautomaten in die Überlegungen mit einbezogen, wenngleich hier noch eine Reihe von Teilproblemen zu lösen sind.

#### **11.1.9 Beratungsbeispiel 9: Bohrfräsen von Wälzlagerkäfigen**

**Ausgangssituation:** Ein Wälzlagerhersteller bearbeitet die Käfige seiner Walzenlager durch Bohrfräsen (siehe **Abbildung 11.1.17**). Diese Bearbeitung erfolgt unter Verwendung einer Emulsion auf Bearbeitungszentren. Um die Kosten für den Einsatz, die Pflege und die Entsorgung der Emulsion zu sparen, ist eine Trockenbearbeitung gewünscht bzw. erforderlich. Eigene Versuche lediglich durch das Abstellen des Kühlschmiermittels zur stabilen Technologie zu gelangen, waren nicht erfolgreich. Aus diesem Grund wurde die GFE beauftragt hierfür eine Lösung zu entwickeln. Dabei war wichtig, dass die bislang realisierten Werte für die Bearbeitungszeit und die Standzeit sich durch die Trockenbearbeitung nicht verschlechtern sollten.



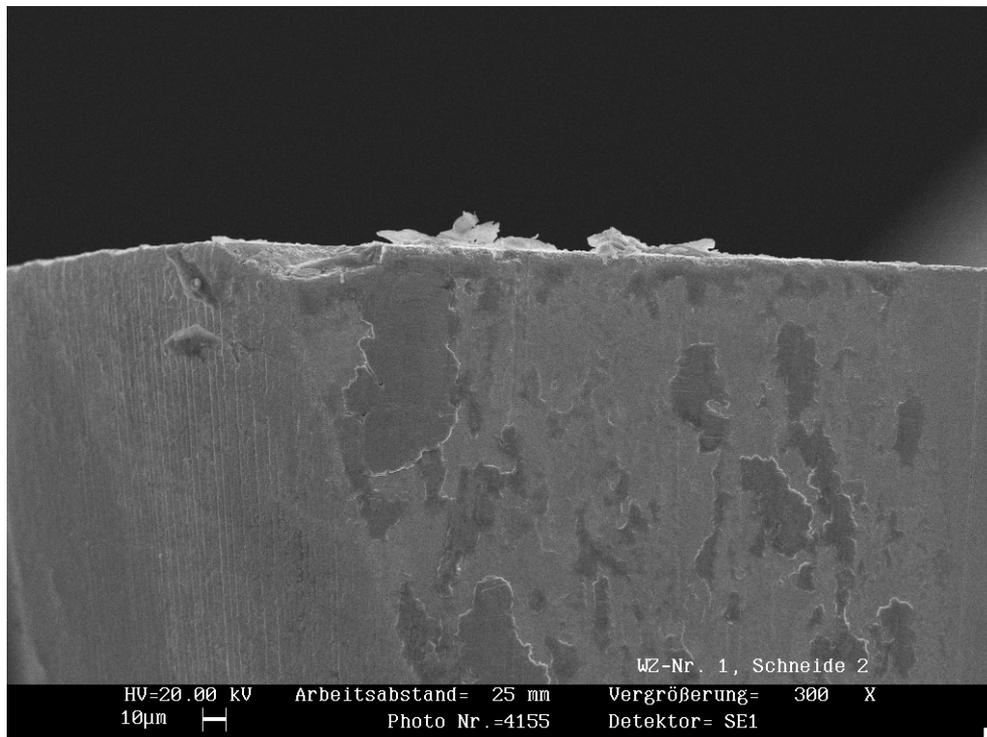
**Abbildung 11.1.17: Kinematik des Bohrfräsens von Wälzlagerkäfigen**

Die Bearbeitung erfolgt auf Bearbeitungszentren mit einer Überflutungskühlschmierung durch eine Emulsion. Alle Maschinen arbeiten mit einer dezentralen Versorgung. Die Bearbeitung erfolgt mit Sonderwerkzeuge aus unbeschichteten Hartmetall. Gefertigt wird in 3 Schichten, wobei das Bedienpersonal teilweise wenig qualifiziert ist.

Auf Grund der hohen Stückzahlen und der damit verbundenen Anzahl der erforderlichen Maschinen ist beim Einsatz der Trockenbearbeitung mit einer erheblichen Kostensenkung zu rechnen.

**Vorgehensweise:** Zunächst wurde untersucht wie sich der Prozess bei ansonsten unveränderten Bedingungen bei einer Trockenbearbeitung verhält. Es konnte festgestellt werden, dass das Standende der Werkzeuge stets durch das Nichterreichen der geforderten Rauheitswerte an der Bohrungswand erreicht wurde. Untersuchungen der Werkzeuge mit einfachen optischen Geräten an der Maschine lieferten hierfür aber keine befriedigende Erklärung. Erst der Einsatz des Rasterelektronenmikroskops zeigt, dass es zu Aufklebungen von Messingpartikeln im Bereich der Schneide kommt, welche zu einer Verschlechterung der Oberflächenqualität in der Bohrung führen (siehe **Abbildung 11.1.18**). Diese konnte weder durch den Einsatz von Beschichtungen noch durch ein Polieren der Werkzeugoberfläche verhindert werden. Aus diesem Grund wurde der Einsatz eines Minimalmengenschmiergeräts als erfor-

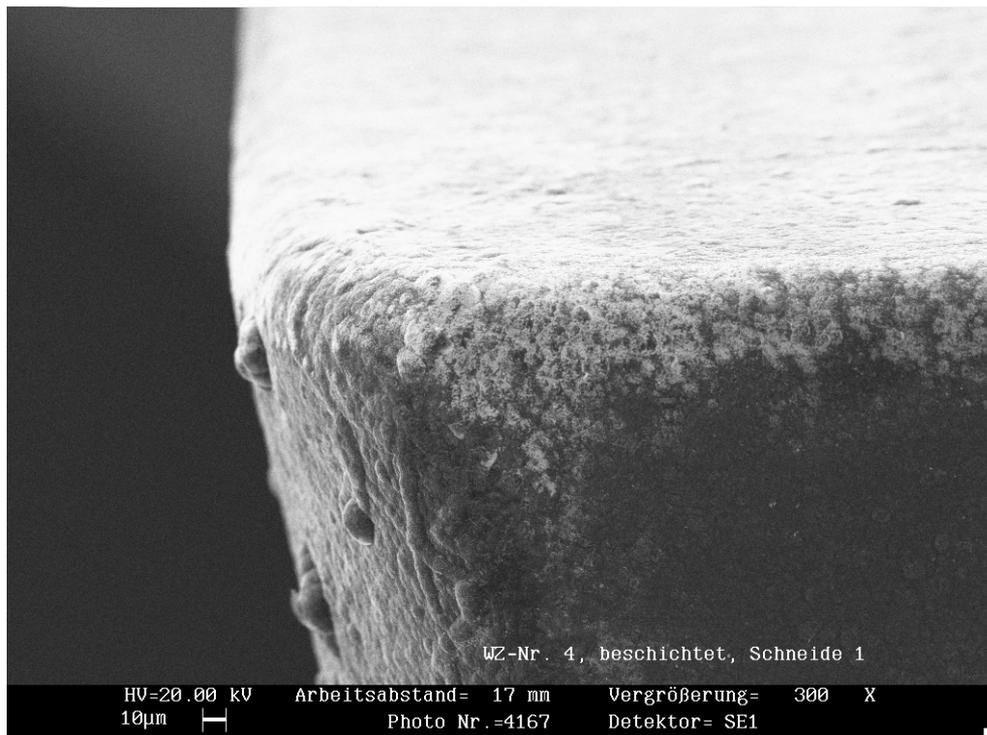
derlich angesehen. Diese wurde im Sinne einer äußeren Zuführung an einem Bearbeitungszentrum angebracht.



**Abbildung 11.1.18: REM-Aufnahme einer Schneide mit Aufklebungen und anschließendem Ausbruch**

Auf Grund der komplizierten Kinematik sowohl beim Bearbeiten als auch beim Handling der Werkstücke war es erforderlich, die Düsenanordnung des MMS-Gerätes durch aufwendige Versuche zu optimieren. Dabei ist es gelungen eine Anordnung zu entwickeln mit der es möglich war, nahezu die gleichen Ergebnisse wie in der Nassbearbeitung zu erzielen.

Hierzu wurden auch eine Reihe von Untersuchungen mit verschiedenen Schneidenpräparationen und Beschichtungen durchgeführt. Es zeigte sich, dass beschichtete Werkzeuge auf Grund der entstehenden Kantenverrundung (siehe **Abbildung 11.1.19**) nicht die gewünschte Bohrungsqualität erreichten. Es wurde daher mit leicht modifizierten Werkzeugen aus unbeschichtetem Hartmetall gearbeitet, dies als Versuchswerkzeuge in der GFE hergestellt wurden.



**Abbildung 11.1.19: Verrundung der Schneidkante durch eine Beschichtung**

Bezüglich der Prozesssicherheit zeigten sich jedoch eine Reihe von Problemen. Diese traten vorzugsweise in der Nachtschicht auf. Nach umfangreichen Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass bei der unsachgemäßen Be- und Entladung der Maschine die Anordnung der Düsen verändert wurde. Die führt zu einer unzureichenden Benetzung der Werkzeugoberfläche und damit zum Aufschweißen von Materialpartikeln. Trotz einfacher Handhabung war es zunächst nicht möglich solche Probleme dauerhaft zu lösen. Erst durch das konsequente Einhalten der Vorgaben zum Handling, zur Düsenanordnung sowie der gesamten technologischen Disziplin wird es möglich sein, den Prozess der Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung sicher zu gestalten. Damit konnte keine organisatorischen Voraussetzungen für eine prozesssichere Lösung geschaffen werden.

**Ergebnis:** Durch die Optimierung von Werkzeug, Schmierbedingungen und Zerspanungsparametern konnte eine technische Lösung für den Prozess geschaffen werden, welche es ermöglicht, die Bearbeitung der Käfige mit vergleichbaren Stand- und Bearbeitungszeiten wie beim Einsatz einer Emulsion zu realisieren.

Das dieses Ergebnis nicht unmittelbar in die durchgängige Praxis umgesetzt werden konnte, zeigt deutlich, dass bei einer Umstellung auf Trockenbearbeitung nicht nur technische Probleme zu lösen sind. Gelingt es nicht, ein genügend motiviertes und

qualifiziertes Bedienpersonal zu Verfügung zu stellen, sind oftmals auch gute technische Lösungen nicht praktisch umsetzbar. Dies war bei diesem Unternehmen der Fall. Da die Motivation der Mitarbeiter außerhalb der Möglichkeiten des beratenden Instituts liegt, wurde die Beratung an dieser Stelle beendet.

#### **11.1.10 Beratungsbeispiel 10: Drehen und Bohren eines Aluminiumkolbens**

**Ausgangssituation:** Ein mittelständisches Unternehmen stellt Aluminiumkolben für die Automobilindustrie her und möchte einen ersten Schritt zur Durchführung der Trockenbearbeitung gehen. Die Bearbeitung des Teiles aus dem Werkstoff AlMgSi 1 F31, wie es in **Abbildung 11.1.20** dargestellt ist, erfolgt in zwei Aufspannungen unter Einsatz von Fertigungshilfsstoff.



**Abbildung 11.1.20: Aluminiumkolben**

**Vorgehensweise:** Ursprünglich wurde nach der Technologie, wie sie in der **Tabelle 11.1.5** dargestellt ist, gearbeitet.

Bearbeitungsschritt- Nr.	Seite 1	Seite 2
1	Plandrehen	Plandrehen, Langdrehen, Schruppen
2	Außen lang	Außen Schlichten
3	Stechen 3,50 H12	Stechen 1,50 mm
4	Stechen 2,30 mm	Anbohren
5	Anbohren	Bohren 3,00 mm
6	Bohren 3,00 mm	
7	Drehen Zapfen	
8	Bohren 1,50 mm radial	

**Tabelle 11.1.5: Bearbeitungsschritte zur Fertigung des Aluminiumkolbens**

Im Rahmen der Machbarkeitsuntersuchungen wurden für die einzelnen Arbeitsschritte die entsprechenden Werkzeuge für die Trockenbearbeitung beschafft und entsprechende Stichversuche sollten vor Ort beim Anwender durchgeführt werden.

Da sich die Verfügbarkeit neuer, für die Trockenzerspanung geeigneter Maschinen im Unternehmen verzögert, musste der praktische Nachweis der Machbarkeit bzw. der durchgängigen Umsetzung der Trockenbearbeitung zeitlich verschoben werden.

Das Beratungsbeispiel zeigt deutlich, dass für die Einführung der Trockenbearbeitung alle Parameter beachtet werden müssen und der schnelle Weg zum Ziel oft nicht gegeben ist. Der Betrieb ist jedoch weiterhin an den Untersuchungen interessiert.

**Ergebnis:** Erkenntnisse und Erfahrungen, die sich aus diesem Beispiel ableiten, sind u.a., dass bei der Einführung der Trockenbearbeitung neben den rein technischen Aspekten in den potenziellen Anwenderunternehmen von Beginn an alle Entscheidungsträger des Unternehmens einbezogen werden sollten bzw. müssen. Nur so kann gesichert werden, dass auch eine durchgängige Kette vom Machbarkeitsnachweis im Labor bis zur praktischen Umsetzung gewährleistet ist – bis hin zur Entscheidung für notwendige Investitionen und deren Realisierung.

### 11.1.11 Beratungsbeispiel 11: Bearbeitung eines Al-Gehäuses

**Ausgangssituation:** In der modernen Fertigungstechnik nimmt die Bearbeitung von Leichtmetallen einen immer breiteren Raum ein. Im vorliegenden Fall waren Aluminium-Gehäusebauteile zu fertigen, wobei die Geometrie durch eine relativ komplizierte Kontur (Stege, Kanten, enge Radien usw.) gekennzeichnet war. Erste Versuche ohne Kühlschmierstoff zu arbeiten, führten aufgrund der Aufbauschneidenbildung am Werkzeug nicht zum Erfolg. Weitere Untersuchungen wurden unter Einsatz der Minimalmengenschmiertechnik durchgeführt.

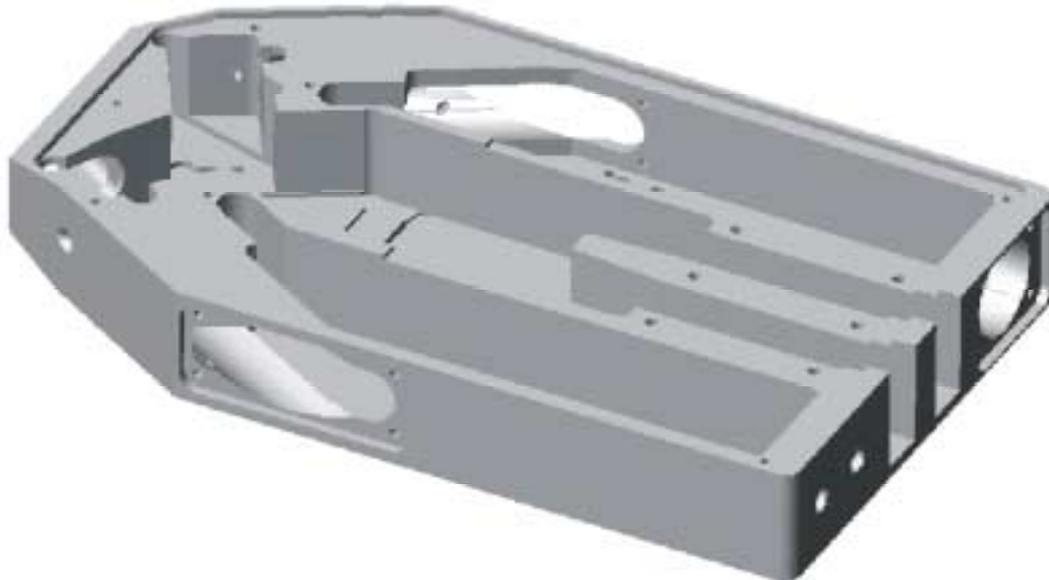
Der Anwender dieser Beratung hat sich auf die Herstellung von Gehäuseteilen für die optische Industrie spezialisiert. Die Bearbeitung erfolgte bislang ausschließlich nass.

**Vorgehensweise:** Ausgehend der Bearbeitungsparametern bei der Nassbearbeitung wurden in Versuchsreihen die Parameter für die Bearbeitung mittels Minimalmengenschmierung optimiert. Das MMS-Medium muss aufgrund der vorhandenen Maschinenteknik von außen an die Bearbeitungsstelle geführt werden. In der **Tabelle 11.1.6** sind die Parameter enthalten, mit der die Trockenbearbeitung realisiert werden kann.

Parameter	Erläuterung
Werkzeugmaschine	Einzelmaschinen
Werkstoff	AlMgSi1
Arbeitsgänge	Schruppen der Taschen mit Schafffräser - VHM/TiAlN, d = 8,0 mm Schlichten der Taschen mit Schafffräser - VHM/TiAlN, d = 5,0 mm Kantenbearbeitung mit Schafffräser - VHM/TiAlN, d = 3,0 mm
KSS	MMS
Schnittparameter	Schruppen $v_c = 340$ m/min; $f_z = 0,020$ mm; Schlichten $v_c = 250$ m/min; $f_z = 0,015$ mm; Kantenbearbeitung $v_c = 220$ m/min; $f_z = 0,012$ mm;
Zielstellung	Trockenbearbeitung

**Tabelle 11.1.6: Technologie zur Bearbeitung des Aluminiumgehäuses**

Das **Abbildung 11.1.21** zeigt das Gehäuse, das unter Verwendung der Minimalmengenschmierung bearbeitet wurde.



**Abbildung 11.1.21: Aluminiumgehäuseteil**

**Ergebnis:** Die Versuche erbrachten den Nachweis, dass die Trockenbearbeitung des Gehäuseteiles in der geforderten Qualität durch den Einsatz von beschichteten Vollhartmetallwerkzeugen prozesssicher möglich ist. Die Fertigung erfolgte in Kleinserie zur vollen Zufriedenheit des Partners.

#### **11.1.12 Beratungsbeispiel 12: Trockenbearbeitung von Magnetwerkstoffen**

**Ausgangssituation:** Magnete besitzen in der heutigen Zeit ein breites Einsatzgebiet, wie z. B. in der Automobil- und Sensortechnik, Analysengeräten, Elektroakustik usw.. Nach dem Sintern der Magnetwerkstoffe müssen diese bearbeitet werden.

Die modernen Sinterwerkstoffe werden gegenwärtig durch Schleifen mittels Emulsion bearbeitet. Ausgehend vom Schleifscheibenverbrauch und von der aufwendigen Aufbereitung des anfallenden Schleifschlammes soll die Substitution des Schleifens durch Drehen ohne Zusatz von Kühlschmierstoffen – mit Trockenbearbeitung erfolgen.

Die zu bearbeitenden Bauteile neigen aufgrund des äußerst spröden Werkstoffes bereits bei geringen mechanischen Belastungen zu starken Kantenausbrüchen. Diese führen insbesondere in der Serie zu erheblichen Qualitätsproblemen.



**Abbildung 11.1.22: Ring aus Sintermetall**

**Vorgehensweise:** Die durchgeführten Versuche auf einer Drehmaschine zeigen, dass durch die Optimierung des Drehwerkzeuges und der Schnittbedingungen die Bearbeitung solcher Werkstoffe durch Trockenbearbeitung möglich ist.

**Ergebnis:** Mit der Untersuchung von Möglichkeiten der Bearbeitung von Magnetwerkstoffen wurden dem Anwenderunternehmen weitreichende Möglichkeiten eröffnet, neue Wege hinsichtlich der Substitution von Kühlschmiermitteln zu beschreiten.

Das dabei vorliegende Potenzial – auch für weitere Einsatzfälle – ist dabei bei weitem noch nicht erschöpft, so dass die Versuche fortgeführt werden.

### **11.1.13 Beratungsbeispiel 13: Sägen von rostfreiem Stahl**

**Ausgangssituation:** Im Thüringer Raum gibt es viele kleine Betriebe, die Zulieferer für die unterschiedlichsten Branchen sind.

Im vorliegenden Anwendungsfall sollten Türscharniere aus rostfreiem Stahl durch Sägen so bearbeitet werden, dass keine Nacharbeit der Trennflächen durch Schleifen bzw. Reinigen erforderlich ist.

Im Unternehmen stand eine Bandsäge H 250 SA der Fa. Amada zur Verfügung, die je nach zu trennendem Werkstoff mit unterschiedlichen Konzentrationen des Kühlschmierstoffes eingesetzt wird.

**Vorgehensweise:** Zur Realisierung der Minimalmengenschmierung mit der Bandsägemaschine war es erforderlich, die Düsen des mobilen Minimalschmier-Systems so

zu positionieren, dass sowohl mit den Düsen der Spanraum als auch das Band besprüht werden.

Die nachfolgenden Parameter wurden den Untersuchungen zugrunde gelegt.

Parameter	Erläuterung
Sägemaschine	H 250 SA Fa. Amada
Werkstoff	X 5 CrNi 18 10, Werkstoff-Nr. 1.4301
Werkzeug	Bi-Metall-Sägeband 27 x 0.9; M2 unbesch.; Standardzahn; Standardschränkung; 5 - 8 ZpZ
KSS	Minimalmengenschmierung
Schnittparameter	$v_c = 33$ m/min; $v_f = 8$ mm/min;
Zielstellung	$R_z = < 30$ $\mu$ m

**Tabelle 11.1.7: Verfahrensparameter**

Auf den Stirnseiten der gesägten Bänder wurde eine Rautiefe von 27  $\mu$ m gemessen. Der Kunde konnte so die gestellten Bedingungen erfüllen.

**Abbildung 11.1.23** gibt einen Überblick zum Sägen mit Minimalmengenschmierung.



**Abbildung 11.1.23: Sägen mit Minimalmengenschmierung**

**Ergebnis:** Eine Umstellung von einer Überflutungskühlschmierung auf eine Minimalmengenschmierung konnte erfolgreich in die Praxis überführt werden. Dabei erwies sich die Einrichtung des MMS-Systems auf der Maschine als entscheidender Faktor für einen stabilen Produktionsprozess.

#### **11.1.14 Beratungsbeispiel 14: Sägen von AL-Polyamid-PUR-Verbundprofilen**

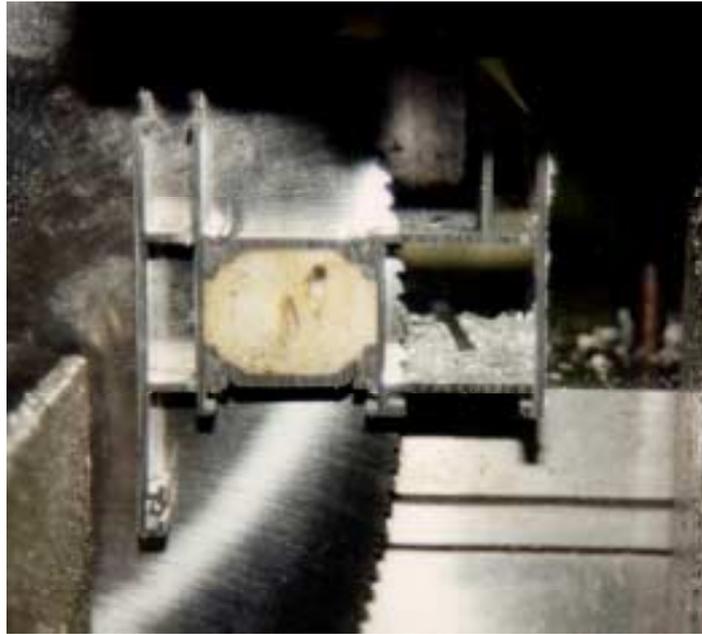
**Ausgangssituation:** Im Bereich des Fenster-, Türen- und Wintergartenbaus wird der Holzanteil immer geringer. Es werden z.B. zunehmend Werkstoffe eingesetzt, die zur Wärmeisolation zusätzlich mit PUR-Schäumen ausgekleidet sind.

Der Zuschnitt der Materialien erfolgt durch Kreissägen. Besonders kritisch ist dabei das qualitätsgerechte Trennen der verschiedenen Komponenten des Verbundwerkstoffes in einem Schnitt.

Die bearbeiteten Profile bestehen aus AlMgSi0.5, Polyamid 6.6 sowie PUR-Schaum. Der Einsatz von Emulsionen ist nicht möglich, da dieser während der Bearbeitung in die nicht metallischen Bestandteile des Werkstoffes eindringt. Im Fall des PUR-Schaums führt dies zu einer Beeinträchtigung der Isolierwirkung. Der Polyamidanteil unterliegt unerwünschten maßlichen Veränderungen durch Quellen.

Versuche zum vollkommenen Trocknen Trennen führen aber zu hohen Rautiefen und zum Verschmieren der Materialien in – bzw. übereinander.

**Vorgehensweise:** **Abbildung 11.1.24** zeigt den Aufbau des Verbundprofiles mit der Werkstoffbezeichnung AlMgSi0.5, Polyamid 6.6, PUR-Schaum.



**Abbildung 11.1.24: Aufbau von Al-Poyamid-PUR-Verbundprofilen**

Parameter	Erläuterung
Sägemaschine	Kreissäge WHM 400 Fa. Wagner
Werkstoff	AlMgSi0.5, Polyamid 6.6, PUR-Schaum
Werkzeug	KSB Ø315x3.0x40, HSS, 240 Zähne, Bogenzahn mit V.-N.-Schneider
KSS	Minimalmengenschmierung
Schnittparameter	$v_c = 2.866 \text{ m/min}$ ; $v_f = 2274 \text{ mm/min}$ ;
Zielstellung	$R_{Zal} = 10,3\text{-}14,0 \text{ }\mu\text{m}$ $R_{Zpa} = 10,1\text{-}12,6 \text{ }\mu\text{m}$

**Tabelle 11.1.8: Verfahrensparameter**

Wie aus der Zielstellung zu erkennen ist, sind ausgehend von der Montage der Profilzuschnitte unterschiedliche maximale Höchstgrenzen der Rautiefe zugelassen.

Die Einrichtung bzw. Anpassung der Minimalschmiereinrichtung ist so zu realisieren, dass sowohl die Zahnschneiden als auch die Zahnflanken mit Minimalmengenschmierstoff benetzt werden. Erfolgt kein optimaler Auftrag des Schmiermittels, kommt es zum Verkleben der Spanräume und zum Aufreiben der Spängemisches auf die

Trennflächen. Eine Nacharbeit wäre erforderlich und die Passgenauigkeit der Profile nicht mehr gegeben.

**Ergebnis:** Die Versuche zur Optimierung des Trennungsvorganges beim Sägen der Verbundmaterialien haben ergeben, dass mittels des Verfahrens Kreissägen und Einsatz der Minimalmengenschmiertechnik die geforderten Qualitätsparameter auf den Trennschnitten erreicht wurden.

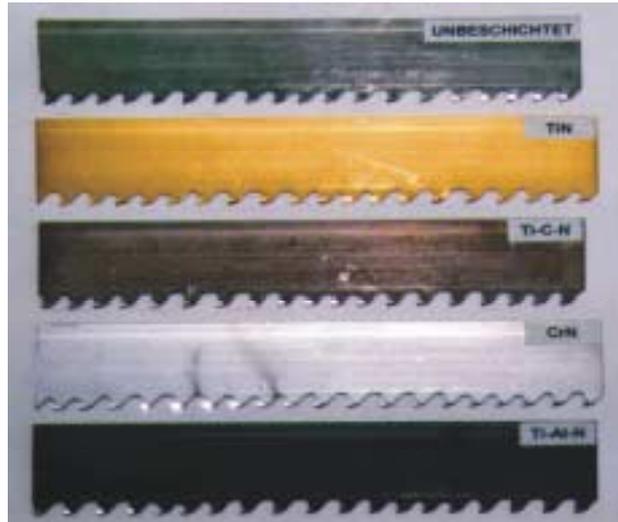
#### **11.1.15      Beratungsbeispiel 15: Trockensägen von abrasiven Werkstoffen**

**Ausgangssituation:** Das Sägen von abrasiven und gehärteten Werkstoffen stellt wegen des hohen Werkzeugverschleißes bei der Bearbeitung mit der konventionellen Sägetechnik ein noch weitgehend ungelöstes Problem dar. Das haben Sägeversuche an faserverstärkten und partikelverstärkten Leichtmetall-Verbundstoffen ergeben, die in Zusammenarbeit mit interessierten Firmen durchgeführt wurden, die auf diesem Gebiet zur Trockenzerspannung übergeben wollen.

In den letzten Jahren haben sich im zunehmenden Maße die Leichtmetall-Verbundwerkstoffe u.a. im Automobilbau (Kolbenwerkstoffe) etabliert, so dass auch immer Werkstoffe mit höherer Härte zu sägen sind. Deshalb besteht die Forderung nach Bereitstellung und Schaffung geeigneter Werkzeuge zum Trockenschnitt bzw. für die Anwendung der Minimalmengenschmierung und die Erarbeitung von Technologien zum qualitätsgerechten und wirtschaftlichen Trennen dieser Werkstoffe.

**Vorgehensweise:** Aus der Zerspantechnik ist bekannt, dass Hartstoffbeschichtungen auf Werkzeugen sowohl zu erheblichen Standzeitverlängerungen führen können bzw. die Bearbeitung ein Trockenschnitt ermöglichen.

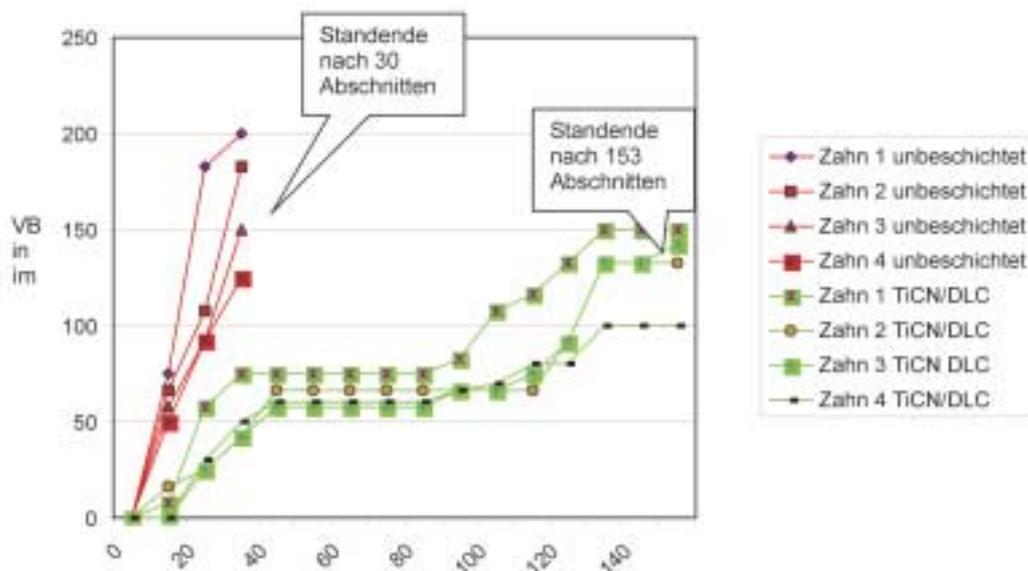
Es wurden Zerspanungsversuche zur Ermittlung der Standzeit von beschichteten und unbeschichteten Bandsägen durchgeführt. **Abbildung 11.1.25** zeigt HM-bestückte Sägebänder mit PVD-Hartstoffbeschichtung, die für Sägeversuche eingesetzt wurden.



**Abbildung 11.1.25: Beschichtete Sägebandschnitte.**

Die Bearbeitung von vergütetem Stahl – C 45, Werkstoff-Nr. 1.0503 ist mit einem unbeschichteten Sägeblatt nur unter Verwendung von Kühlschmierstoffen möglich.

Eine Trockenbearbeitung führte bereits nach wenigen Schnitten zum völligen Versagen der Werkzeuge (**Abbildung 11.1.26**). Nach Prüfung der Einsatzmöglichkeiten verschiedener Hartstoffschichten bzw. Schichtkombinationen hat sich herausgestellt, dass mit einer Kombination von TiCN/DLC-Beschichtungen auf dem Sägeband das Sägen im Trockenschnitt ermöglicht wird.



**Abbildung 11.1.26: Anzahl der gesägten Abschnitte mit beschichteten und unbeschichteten Sägebändern**

**Ergebnis:** Im Ergebnis der Untersuchungen wurde die Technologie des Sägens mit den bereits erwähnten Versuchssägebändern in 2 Unternehmen erfolgreich erprobt.

Durch den Einsatz beschichteter hartmetallbestückter Sägebänder kann der vergütete Werkstoff C 45 im Trockenschnitt getrennt werden. Durch das Sägen mit einem beschichteten Sägeblatt wurde gegenüber der Anwendung eines unbeschichteten Bandes die Bildung von Aufbauschneiden minimiert und die Anzahl der Trennschnitte um 400 % gesteigert.

## **11.2 Institut für Spanende Fertigung (ISF) der Universität Dortmund**

Die am ISF durchgeführten Beratungstätigkeiten wurden schwerpunktmäßig auf kleine und mittelständische Unternehmen im regionalen Einzugsbereich des Technologiezentrums Dortmund ausgerichtet. Bei den Seminaren handelte es sich um eintägige Informationsveranstaltungen, die vorwiegend die Regionen Ruhrgebiet/Westfalen, Ostwestfalen/Lippe sowie das Sauerland und das Siegerland einschlossen und gemeinsam mit den jeweils zuständigen Industrie- und Handelskammern organisiert wurden. Kontakte zu Instituten und Verbänden in Norddeutschland ermöglichten zudem eine überregionale Ausweitung des Seminarangebots.

Während die meisten Anfragen einer Firmenberatung vor Ort und einer anschließenden Machbarkeitsanalyse basierend auf den Seminarkontakten gestellt wurden, ergaben sich weitere Beratungsanfragen durch Fachveröffentlichungen und -vorträge, Messeauftritten und Mund-Propaganda der Unternehmen untereinander. Derartige Beratungen waren jedoch nicht auf den regionalen Einzugsbereich beschränkt, sondern verteilten sich über das gesamte Bundesgebiet.

Das Interesse für die Technologie der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung (MMS) basierte bei den beratenen Unternehmen auf unterschiedlichen Motivationsgründen. Zum größten Teil bestanden in der industriellen Fertigung wirtschaftliche und technologische Probleme mit der Zuführung konventioneller Kühlschmierstoffe. Da es sich bei den meisten Unternehmen um Betriebe mit ausschließlich einzeln versorgten Maschinen handelte, waren die Aufwendungen für die Wartung und Pflege von Emulsionen bei gleichzeitig geringen Standzeiten sehr hoch. Bei nicht gekapselten Werkzeugmaschinen bestand ein besonderes Interesse der Produktionsverantwortlichen, die Belastung der Mitarbeiter und die Verschleppung von

Kühlschmiermitteln zu reduzieren. In Einzelfällen wurde die Trockenbearbeitung aus Gründen der Technologieführerschaft als Unternehmensziel erklärt, so dass die Umsetzungsmöglichkeiten in der gesamten Produktion durch die Mitarbeiter des Technologiezentrums Dortmund geprüft werden sollten.

Die Erfahrungen aus den Vor-Ort-Beratungen und den Machbarkeitsanalysen am ISF zeigten, dass auch bei bereits bekannten Werkstoff-Verfahrens-Kombinationen eine bauteilspezifische Prozessauslegung unumgänglich ist. Dabei erschwerten neben den Problematiken der Implementierung einer MMS-Zuführung und der Spanabfuhr insbesondere die veralteten Werkzeuge und Produktionsmaschinen häufig eine Umsetzung der Ergebnisse in die industrielle Praxis. Die Anforderungen an die Maß- und Formgenauigkeit der Bauteile sowie die Beschaffenheit der bearbeiteten Oberflächen konnten unter den Randbedingungen der Trockenbearbeitung jedoch in den meisten Fällen eingehalten werden. Die folgenden Ausführungen stellen eine Auswahl von Beratungsfällen dar, die in der dreijährigen Projektlaufzeit am Technologiezentrum Dortmund bearbeitet wurden.

### 11.2.1 Beratungsbeispiel 1: Bohren von Schraubstockspindeln

**Ausgangssituation:** Bei dem Beratungskunden handelte es sich um ein mittelständisches Maschinenbauunternehmen aus Nordrhein-Westfalen, das mit ca. 40 Mitarbeitern Schraubstöcke, Ambosse und Metallscheren produziert. In der Vergangenheit wurde unter Koordination des Werkleiters bereits ein Außenräumprozess unter Emulsion durch einen trockenen Ziehprozess substituiert. Aus Gründen der Kostensenkung in der Produktion (Bauteilreinigung, Stillstandszeiten der Maschine) und der Mitarbeitermotivation durch eine Verbesserung des betrieblichen Arbeitsumfelds sollten die Möglichkeiten der Trockenbearbeitung und MMS weiter verfolgt werden.

Für die Machbarkeitsanalyse wurde eine Schraubstockspindel aus dem unlegierten Baustahl St 52-3 (1.0052) ausgewählt (**Abbildung 11.2.1**). Die Bearbeitungsaufgabe umfasste die Herstellung einer Verstellbohrung im Spindelkopf ( $d = 16 \text{ mm}$ ) und einer Splintbohrung ( $d = 5 \text{ mm}$ ) im Spindelschaft. Die Fertigung der Verstellbohrung erfolgte in einem zweiseitigen Bohrprozess auf einer ungekapselten Sondermaschine. Die Splintbohrung wurde auf einer konventionellen Tischbohrmaschine eingebracht. Die

Gewindeherstellung durch einen abschließenden Walzprozess wurde nicht mit in die Untersuchungen einbezogen.



**Abbildung 11.2.1: Schraubstockspindel aus St 52-3**

Bei der Analyse der Bearbeitungsprozesse erfolgte zunächst die Ermittlung der Schnittparameter und die Analyse der im konventionellen Nassprozess eingesetzten Bohrwerkzeuge. Da die in der Produktion vorhandenen Sondermaschinen keinen unmittelbaren Zugriff auf die Bearbeitungsparameter erlaubten, wurden diese durch Messungen vor Ort bestimmt. Die Fertigung der Verstellbohrung erfolgte demnach bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c \approx 30$  m/min und einem Vorschub von  $f \approx 0,25$  mm. Die Bearbeitung der Splintbohrung wurde bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c \approx 20$  m/min und einem Vorschub von  $f \approx 0,07$  mm durchgeführt. Als Bohrwerkzeuge kamen in beiden Bearbeitungsfällen unbeschichtete HSS-Wendelbohrer bei äußerer Emulsionszuführung zum Einsatz. Die Bohrer wurden nach ca. 100 gefertigten Bohrungen nachgeschliffen.

**Vorgehensweise:** Nach Aufnahme der IST-Situation wurden dem ISF unbearbeitete Werkstücke für die Durchführung einer Machbarkeitsanalyse zur Verfügung gestellt. Auf Basis der Randbedingungen der Nassbearbeitung erfolgte die Umsetzung im Labor auf einem CNC-Bearbeitungszentrum. Da die Maschinen des Anwenders über keine innere Kühlschmierstoffzuführung verfügten, wurde die Minimalmenge bei den Versuchen von außen auf die Werkzeuge appliziert.

Die MMS-unterstützte Bearbeitung der Verstellbohrung führte unter Einsatz des HSS-Wendelbohrers bereits nach drei Bohrungen zu einem Werkzeugausfall. Ursächlich war vor allem die geringe Warmfestigkeit des Schneidstoffs, die in Verbin-

dung mit den erhöhten Schnittparametern eine thermische und mechanische Überbeanspruchung des Werkzeugs zur Folge hatte. Daher wurde das HSS-Bohrwerkzeug durch einen Wendeschneidplatten-Bohrer (WSP-Bohrer) substituiert (**Abbildung 11.2.2**). Der WSP-Bohrer erlaubt zum einen den einfachen und wirtschaftlichen Austausch der Wirkelemente und ist zum anderen unempfindlich beim Anbohren auf gekrümmten Flächen. Als Innenschneide kam ein feinkörniges, TiN-beschichtetes Hartmetall der Anwendungsgruppe P25/P50 zum Einsatz. Ein mit TiAlN-beschichtetes Hartmetall der Anwendungsgruppe P10-P35 diente als Außenschneide.

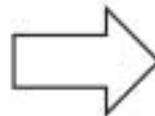
#### Ausgangssituation

Werkzeug: Wendelbohrer  
 Schneidstoff: HSS  
 Schnittwerte:  $v_c = 30 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,25 \text{ mm}$   
 KSS-Konzept: Emulsion

Werkstoff:  
 St52-3  
 Durchmesser:  
 $d = 16 \text{ mm}$

#### Machbarkeitsanalyse

Werkzeug: Wendeschneidplatten-Bohrer  
 Schneidstoff: HC-P25; HC-P10  
 Schnittwerte:  $v_c = 150 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,10 \text{ mm}$   
 KSS-Konzept: äußere MMS



**Abbildung 11.2.2: Durchführung der Machbarkeitsanalyse an der Schraubstockspindel**

**Ergebnis:** Trotz einer deutlichen Steigerung der Schnittgeschwindigkeit auf  $v_c = 150 \text{ m/min}$  konnte beim Einsatz des WSP-Bohrers auch nach über 40 bearbeiteten Werkstücken kein signifikanter Verschleiß an den Wendeschneidplatten festgestellt werden. Der Bearbeitungsprozess verlief ruhig und gleichmäßig. Zudem ermöglichte der mit dem WSP-Bohrer verbundene gute Spanbruch deutlich höhere Bohrtiefen bei einer geringen Gratbildung an den bearbeiteten Bohrungen. Dies bot die Möglichkeit, den zweiseitigen Bohrprozess zu substituieren.

Bei der Bearbeitung der Splintbohrung kam ein HSS-Wendelbohrer aus dem konventionellen Nassprozess und ein HSS-E-Wendelbohrer mit TiAlN-Beschichtung für die Trockenbearbeitung zum Einsatz. Hinsichtlich des Werkzeugverschleißes war nach 20 Bohrungen noch kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Bohrern fest-

stellbar. Lediglich im Bereich der Außenschneide zeigte das Standardwerkzeug erste Verschleißerscheinungen, während bei dem optimierten Werkzeug noch kein Verschleiß messbar war. Unter Berücksichtigung des Spanbruches ergaben sich für den beschichteten HSS-E-Bohrer deutliche Vorteile bei der Prozessführung. Auf Grund der geometrischen Anpassung des Bohrwerkzeugs, die insbesondere eine kurze Querschneide, eine vergrößerte Spannweite und einen größeren Seitenspanwinkel betrafen, verlief der Bohrprozess auch bei höheren Schnittparametern ruhig.

Bezüglich der Bauteilqualität ergaben sich ebenfalls Vorteile für die Bohrbearbeitung unter MMS-Einsatz. Die gemittelte Rautiefe der Verstellbohrung lag bei einer geforderten Oberflächenqualität von  $R_z < 25 \mu\text{m}$  bei Werten zwischen  $8 \mu\text{m}$  und  $10 \mu\text{m}$ . Signifikante Rundheitsabweichungen oder Mittenverläufe konnten nicht festgestellt werden.

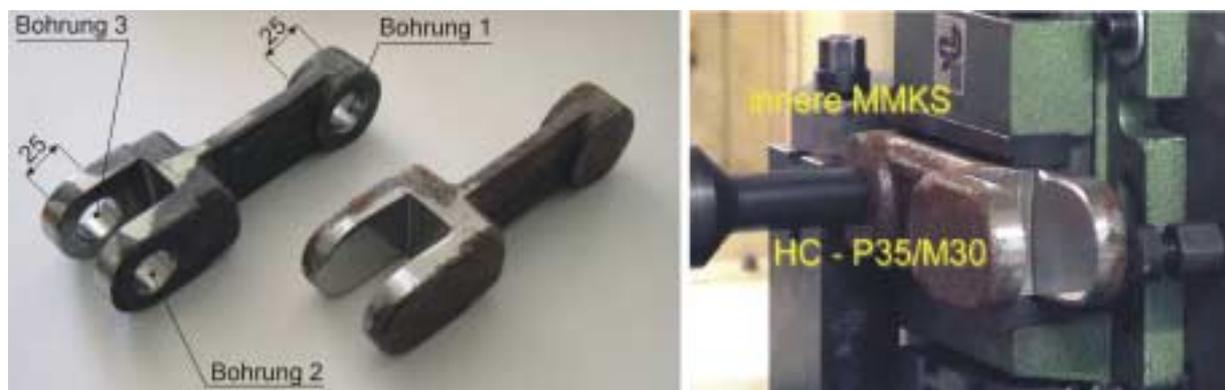
Neben der Berücksichtigung der technologischen Prozessauslegung und der Qualitätsanforderungen war bei der Einführung der Trockenbearbeitung insbesondere die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Bedeutung. Im Zusammenhang mit der MMS-unterstützten Bohrbearbeitung ergab sich in erster Linie eine Reduzierung der Prozesshauptzeiten durch die Steigerung der Schnittparameter. Die für die Hauptzeiten maßgeblichen Vorschubgeschwindigkeiten konnten bei der Trockenbearbeitung der Verstellbohrung um 50% und bei der Splintbohrung um über 60% erhöht werden. Bei einer Gesamtbetrachtung ist davon auszugehen, dass sich für den Anwender ein jährliches Einsparpotenzial von ca. 40.000 € ergeben wird. Um die Potenziale der Trockenbearbeitung voll ausschöpfen zu können, erfolgt seitens des Anwenders derzeit die Investition in eine neue Werkzeugmaschine für die trockene Komplettbearbeitung.

### **11.2.2 Beratungsbeispiel 2: Bohren von Kettengliedern aus Vergütungsstahl**

**Ausgangssituation:** Im vorliegendem Fall erfolgte die Beratung eines mittelständischen Herstellers von Förderketten aus dem bergischen Land. Bei einem Vor-Ort-Besuch wurde gemeinsam mit verantwortlichen Mitarbeitern eine Gabeltasche aus dem Werkstoff 42CrMo4, die in hohen Stückzahlen produziert wird, für die Umstellung auf eine MMS-unterstützte Fertigung ausgewählt. Die Bearbeitung der Gabeltaschen erfolgte auf einer CNC-Rundtaktmaschine unter Vollstrahlkühlschmierung mit Emulsion durch die Verfahren Fräsen, Bohren und Feinbohren. Während die Fräs-

operationen in eigenen Versuchen des Anwenders bereits trocken durchgeführt wurden, stellten die Bohrbearbeitungen die kritischen Fertigungsschritte dar.

Zur Verbindung einzelner Gabellaschen waren Vollbohrungen mit einem Durchmesser von  $d = 25 \text{ mm}$  in die Werkstücke einzubringen (**Abbildung 11.2.3**). Als Werkzeuge kamen Wendeschneidplatten-Bohrer verschiedener Hersteller zum Einsatz, die mit TiN-beschichteten Hartmetall-Wendeschneidplatten (HC-K40) bestückt waren. Die Schnittgeschwindigkeit der Nassbearbeitung lag bei  $v_c = 150 \text{ m/min}$  bei einem Vorschub von  $f = 0,1 \text{ mm}$ .



**Abbildung 11.2.3: Bohren von Gabellaschen aus 42CrMo4 mit MMS**

**Vorgehensweise:** Nach der Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl an Bauteilen wurden am ISF experimentelle Versuche zur Trockenbearbeitung durchgeführt. Im Gegensatz zur Produktion des Anwenders erfolgte im Versuchsbetrieb die Herstellung aller Bohrungen mit einem Werkzeug, um möglichst große Bohrwege zu erreichen. Zur Unterstützung der Spanabfuhr aus der Bohrung und zur Verbesserung des tribologischen Verhaltens wurde ein fein zerstäubtes Esteröl als Minimalmengenschmierstoff durch das Werkzeug zugeführt.

Die Versuchsdurchführung erfolgte zunächst mit den Schnittparametern aus dem Nassprozess. Dabei zeigten die Schneidstoffe bereits nach wenigen Bohrungen einen hohen Verschleiß an der Außenschneide sowie aufgeriebenen Werkstoff auf der Spanfläche der Wendeschneidplatten als Folge einer starken thermischen Beanspruchung. Bedingt durch den hohen Werkzeugverschleiß wurden unzufriedenstellende Ergebnisse bezüglich der Bohrungsqualität erzielt.

Aufgrund der unzureichenden Verschleißbeständigkeit der Schneidstoffe aus dem Standardprozess erfolgte die Schneidstoffsubstitution durch warmverschleißbestän-

dige Hartmetalle mit CVD-TiN/TiCN/TiN- und PVD-TiAlN-Beschichtungen (HC-P35). Weiterhin wurde eine Schnittparametervariation mit der Zielsetzung durchgeführt, die möglichen Schnittwerte bei gleichzeitiger Verbesserung der Standzeiten zu erhöhen.

**Ergebnis:** In allen Versuchen zur Trockenbearbeitung konnte ein ruhiger Bohrprozess mit der Entstehung von kurzbrechenden Spiralspänen beobachtet werden. Als günstig erwies sich eine deutliche Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit auf  $v_c = 250$  m/min. Hierdurch konnte sowohl das Verschleißverhalten der Schneidstoffe als auch die Ausbildung der Bohrungsoberflächen und das Temperaturverhalten der Werkstücke verbessert werden. Der Anwender wollte prüfen, ob die geringen Rauheiten ( $R_z \approx 3,0 - 5,2 \mu\text{m}$ ) und die Einhaltung der geforderten Rundheitsabweichungen ( $T_k \ll 30 \mu\text{m}$ ) der unter MMS-Einsatz bearbeiteten Bohrungen einen Wegfall des Feinbohrprozesses zulassen.

Die besten Bearbeitungsergebnisse wurden im Versuchslabor unter Einsatz des TiAlN-beschichteten Hartmetalls (HC-P35) mit einer neutralen Schutzfase und einer Schneidkantenverrundung von ca.  $30 \mu\text{m}$  erzielt. Während der TiN/TiCN/TiN-beschichtete Schneidstoff bereits nach einem Bohrweg von  $L_f = 1,0$  m leichte Ausbrüche an der Außenschneide aufwies, waren die TiAlN-beschichteten Wendschneidplatten auch nach  $L_f = 3,0$  m weiter einsatzfähig (**Abbildung 11.2.4**). Die Machbarkeit der Trockenbearbeitung konnte somit an den Anwenderbauteilen nachgewiesen werden. Die tatsächlichen Werkzeugstandzeiten wurden auf Grund des hohen Versuchsaufwandes nicht ermittelt.



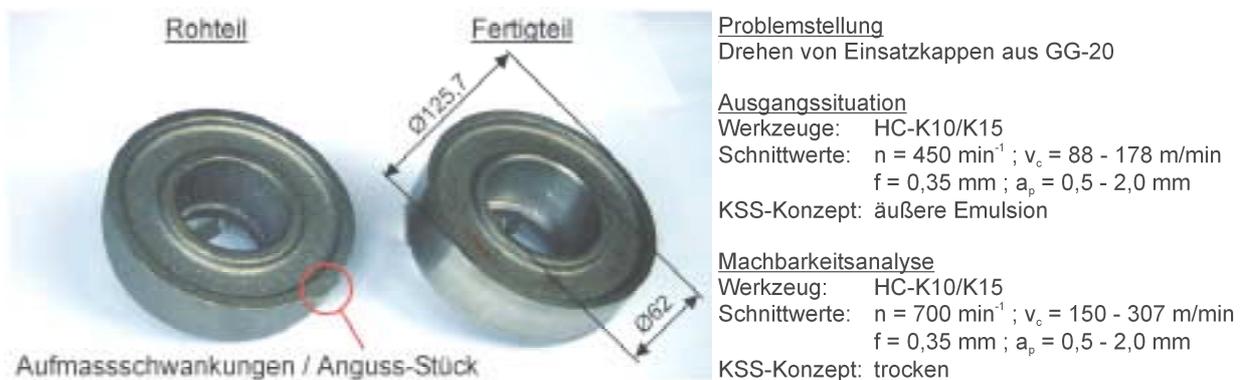
**Abbildung 11.2.4: Einfluss des Schneidstoffes und der Beschichtung auf die Verschleißausbildung beim Bohren von Gabellaschen aus dem Werkstoff**

**42 CrMo 4**

Die Versuchsergebnisse wurden dem beratenen Unternehmen in einem Kurzbericht zur Verfügung gestellt. Die verantwortlichen Mitarbeiter beabsichtigten, die Ergebnisse unter Einbeziehung des Werkzeuglieferanten und eines MMS-Systemherstellers in Eigenregie in die Produktion umzusetzen. Auf Grund der günstigen Randbedingungen bezüglich der Werkzeugmaschine und des Produktionsumfeldes wurden die Umstellungschancen als hoch eingeschätzt.

### 11.2.3 Beratungsbeispiel 3: Drehen von Einsatzkappen aus Grauguss

**Ausgangssituation:** Die Aufgabenstellung bestand in der Bearbeitung von Einsatzkappen aus der Graugusslegierung GG-20 (**Abbildung 11.2.5**) ohne die Zuhilfenahme tribologisch wirksamer Medien. Die Einsatzkappen wurden auf zwei Sondermaschinen im Mehrschichtbetrieb produziert und stellten eines der Hauptprodukte des mittelständigen Herstellers von Förderbandanlagen dar. Die Motivation des Unternehmens basierte im Wesentlichen auf Problemen beim Umgang mit Emulsionen, die häufig gewechselt werden mussten und durch Verschleppung zu einer starken Beeinträchtigung des betrieblichen Arbeitsumfeldes führten.



**Abbildung 11.2.5: Trockendrehen von Einsatzkappen aus GG-20**

Die Bauteile wurden konventionell in einem Schrupp- und einem Schlichtdrehprozess an der Außen- und Innenkontur sowie an der Stirnseite bearbeitet. Dabei fanden vorwiegend TiN-beschichtete Hartmetall-Wendeschneidplatten (HC-K10/K15) in den Ausführungen SNMA, TPUN und RNMG Anwendung. Eine Besonderheit des Prozesses stellte der Einsatz von Sondermaschinen dar, die lediglich eine Bearbeitung

mit fest eingestellten Drehzahlen und einachsige Vorschubbewegungen zuließen, so dass ausschließlich Außenlängsdreh- und Einstechoperationen durchgeführt werden konnten.

**Vorgehensweise:** Basierend auf der IST-Situation beim Anwender erfolgte die Drehbearbeitung im Versuchslabor zunächst unter Anwendung der Ausgangsparameter ( $n = 450 \text{ min}^{-1} \Rightarrow v_c = 88 - 178 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,35 \text{ mm}$ ;  $a_p = 0,5 - 2,0 \text{ mm}$ ). Während der Schlichtprozess in der Trockenbearbeitung bereits gut beherrscht wurde, führten starke Schwankungen im Aufmass der gegossenen Rohteile zu einem erhöhten Werkzeugverschleiß in der Vorbearbeitung. Für die Drehbearbeitung der Außen- und Innenkonturen wurden daher zur Prozessoptimierung verschleißbeständigere Hartmetalle mit einer Mehrlagenbeschichtung (TiN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Ti(C,N)) eingesetzt.

**Ergebnis:** Als Ergebnis der Schneidstoffsubstitution konnten die bereitgestellten Versuchsbauteile auch bei einer Erhöhung der Drehzahl auf  $n = 700 \text{ min}^{-1}$  ( $v_c = 150 - 307 \text{ m/min}$ ) unter Einhaltung der geforderten Maße und Oberflächenqualitäten trocken bearbeitet werden. Temperaturmessungen nach der Komplettbearbeitung ergaben keine signifikante Erwärmung der Werkstücke und zeigten keinen eindeutigen Einfluss der Schnittparameter. Unabhängig von der Drehzahl wurden Bauteiltemperaturen von  $T_{ws} = 37 - 38^\circ\text{C}$  gemessen, so dass signifikante Wärmeausdehnungen ausgeschlossen werden konnten.

Als wesentliche Problematik stellte sich bei den Drehversuchen die starke Staubentwicklung der Graugussbearbeitung heraus. Der feine Staub führte zu einer Verschmutzung der Werkzeugmaschine und borg das Risiko, vom Maschinenbediener über die Atemwege ausgenommen zu werden. Für die Implementierung des Trockenbearbeitungsprozesses in die Produktion war eine Staubabsaugung an der Werkzeugmaschine daher unumgänglich. Durch das Technologiezentrum Dortmund wurden entsprechende Ansprechpartner in der Industrie vermittelt.

#### 11.2.4 Beratungsbeispiel 4: Bohren von Türbändern aus Aluminium

**Ausgangssituation:** Im vorliegenden Beratungsfall wurde die Anfrage eines mittelständischen Unternehmens aus Mönchengladbach bearbeitet, das Türbänder aus Aluminium für Metall- und Kunststofftüren entwickelt und in großen Stückzahlen produzierte. Die spanende Bearbeitung der Türbänder erfolgte auf ungekapselten Son-

dermaschinen, die zu Transferstraßen oder Rundtaktmaschinen angeordnet waren und lediglich die Bearbeitung mit fest vorgegebenen Schnittparametern erlaubten. Als Kühlschmierstoff kam die äußere Zufuhr einer 6%igen Emulsion zur Anwendung, Gewinde- und Feinbohroperationen erfolgten unter dem Einsatz kleiner Ölmengen. Werkzeugseitig wurden vorwiegend unbeschichtete Stufen- und Gewindebohrer aus HSS eingesetzt (**Abbildung 11.2.6**). Auf Grund zahlreicher Sonderwerkzeuge erfolgte die Werkzeugherstellung zum Teil aus modifizierten Standardwerkzeugen im eigenen Unternehmen.



**Abbildung 11.2.6: Türbänder aus der Aluminium-Knetlegierung AlMgSi 0,5**

Die Motivation zur Initiierung von Machbarkeitsstudien zur Trockenbearbeitung basierte im Wesentlichen auf zahlreichen Problematiken mit den vorhandenen Werkzeugmaschinen. Regelmäßig entstanden Verklebungen und Verharzungen an Maschinenteilen und Vorrichtungen durch Kühlschmierstoffreste, die eine aufwändige Reinigung aller Komponenten erforderte. Zudem führten die nicht gekapselten Maschinen zu einer starken Verunreinigung der Maschinenumfelder. Die damit verbundene Rutschgefahr beeinträchtigte die Arbeitssicherheit und führte zu Beschwerden zahlreicher Mitarbeiter.

**Vorgehensweise:** Die Machbarkeitsstudien wurden auf Grund der großen Anzahl an Sonderwerkzeugen zunächst unter Einsatz von HSS-Stufenbohrern des Anwenders bei einer Schnittparametervariation durchgeführt. Da es sich bei dem ausgewählten Werkstoff um die Aluminium-Knetlegierung AlMgSi 0,5 handelte, erfolgte in allen Bearbeitungsversuchen die äußere MMS-Zufuhr eines Fettalkohols.

Auf Grund der starken Adhäsionsneigung zwischen dem Schneidstoff HSS und dem Versuchswerkstoff AlMgSi 0,5 war auch unter Einsatz hoher Schmierstoffmengen

keine prozesssichere Bohrbearbeitung mit den Anwenderwerkzeugen möglich. Nahezu unabhängig von den Schnittparametern entstand an den Stufenbohrern ein starker Materialaufrieb an der Schneidkante und auf der Spanfläche. Der schlechte Spanbruch und Werkstoffverklebungen in den Spannuten führten zu häufigen Werkzeugausfällen. Durch die Reduzierung der Schnittgeschwindigkeit auf  $v_c = 100$  m/min konnten die Adhäsionsneigung und der Spanbruch leicht, jedoch nicht signifikant verbessert werden. Die Bohrungsqualitäten waren in allen Versuchen nicht zufriedenstellend.

Die Ergebnisse der Bearbeitungsversuche verdeutlichten, dass eine Anpassung der Werkzeuge an die Randbedingungen der Trockenbearbeitung für eine sichere Prozessführung unabdingbar ist. Gemeinsam mit zwei Werkzeugherstellern wurden daher unbeschichtete Hartmetall-Wendelbohrer ausgewählt, um die Potenziale der Trockenbearbeitung beim Bohren der Aluminium-Knetlegierung darzustellen. Besondere Konstruktionsmerkmale der Werkzeuge waren eine geringe Schneidkantenverrundung, vergrößerte Spanräume und eine stärkere Verjüngung des Bohrerschafts mit zunehmender Bohrtiefe. Des Weiteren erfolgte die Zuführung des MMS-Gemisches von Innen durch die Kühlschmierstoffkanäle der Werkzeuge. Die Bohrer lagen im Durchmesser  $D = 8,5$  mm vor.

**Ergebnis:** Der Einsatz der optimierten Bohrwerkzeuge gewährleistete durch die genannten konstruktiven Modifikationen und die innere MMS-Zufuhr eine prozesssichere Bearbeitung der Aluminiumknetlegierung. Bei Schnittwerten von  $v_c = 250$  m/min und  $f = 0,25$  mm konnten unter den dargestellten Bedingungen im Labor Bohrtiefen von  $3xD$  hergestellt werden. Werkstoffverklebungen an der Schneidkante und in den Spannuten blieben aus. Die Anforderungen an die Qualität der Bohrungsoberflächen wurden eingehalten und übertrafen in einigen Fällen die Werte der Nassbearbeitung.

Die ungekapselten und unflexiblen Sondermaschinen des Anwenders erschwerten eine unmittelbare Übertragung der Laborergebnisse in die industrielle Fertigung. Eine besondere Problematik ergab sich dabei aus den Maschinenspindeln, die keine innere Zuführung des MMS-Gemisches zuließen. Darüber hinaus würde die große Variantenvielfalt an eingesetzten Werkzeugen die enge Kooperation mit Werkzeugherstellern erfordern. Die Ergebnisse der Machbarkeitsanalysen sollten nach Auskunft des beratenen Unternehmens als Grundlage für zukünftige Optimierungen und Neuinvestitionen herangezogen werden. Vor einer Umstellung müsste die Wirtschaftlich-

keit der Trockenbearbeitung auf Grund der zu erwartenden höheren Werkzeugkosten für den speziellen Einzelfall geprüft werden.

### **11.2.5 Beratungsbeispiel 5: Drehen von Antriebsteilen aus Vergütungsstahl**

**Ausgangssituation:** In der Produktion eines Unternehmens aus dem östlichen Ruhrgebiet wurden durch das Technologiezentrum Dortmund die Einsatzmöglichkeiten der Trockenbearbeitung untersucht. Die Firma beschäftigte ca. 650 Mitarbeiter und stellte Komponenten und Baugruppen für die Antriebs-, Förder- und Vortriebs-technik her. Die Motivation, Untersuchungen zur Trockenbearbeitung durchführen zu lassen, basierte auf den hohen Aufwendungen für Wartung und Pflege der Emulsionen sowie der KVP-Philosophie (KVP = kontinuierlicher Verbesserungsprozess) des Unternehmens.

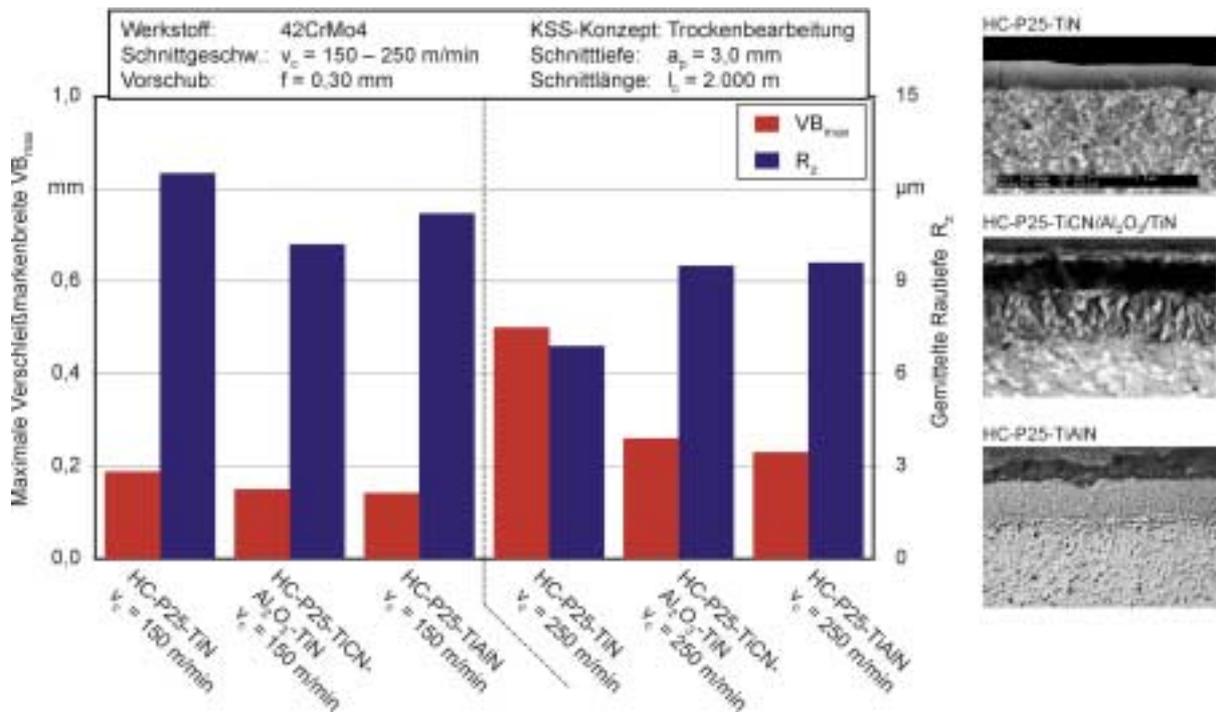
Der Maschinenpark des Anwenders bestand zum Großteil aus modernen CNC-Drehmaschinen und -Bearbeitungszentren, die bereits viele Anforderungen der Trockenbearbeitung erfüllten. Als Werkzeuge kamen in der Nassbearbeitung unter Emulsion fast ausschließlich beschichtete Hartmetall-Werkzeuge zum Einsatz. Insbesondere beim Drehen erlaubten die Wendeschneidplatten bei Bedarf eine einfache Anpassung der Schneidstoffe.

Da in der Fertigung noch keine Erfahrungen zur Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung vorlagen, wurde gemeinsam mit dem Fertigungsbereichsleiter eine CNC-Drehmaschine für die Umstellung ausgewählt. Die Machbarkeitsanalyse erfolgte an Bolzen und Antriebswellen aus den Vergütungsstählen 42 CrMo 4 und C-45N, da diese Stähle den Schwerpunkt des auf der Maschine gefertigten Werkstoffspektrums repräsentierten. Neben Bauteilzeichnungen und Standard-Schneidstoffen wurden die entsprechenden NC-Programme und Werkzeuglisten zur Ermittlung der Schnittwerte bereitgestellt.

**Vorgehensweise:** Unter Anwendung der Standardwerkzeuge des Anwenders (beschichtetes Hartmetall, HC-P25-TiN) wurden Bearbeitungsversuche zum Außenlängsdrehen auf einer Versuchsmaschine des ISF durchgeführt. Die Drehbearbeitung erfolgte trocken, d. h. ohne die Zuhilfenahme tribologisch wirksamer Medien. Bei vorgegebenem Vorschub ( $f = 0,30 \text{ mm}$ ) und konstanter Schnitttiefe ( $a_p = 3,0 \text{ mm}$ ) wurde die Schnittgeschwindigkeit mit dem Ziel einer Verschleißminimierung variiert.

**Ergebnis:** Die ausgewählten Stahlwerkstoffe lieferten unter Einsatz des Standard-schneidstoffs bereits gute Bearbeitungsergebnisse hinsichtlich der Kenngrößen Werkzeugverschleiß und Oberflächenrauheit. Die resultierenden Verschleißmarken wiesen bei den niedrigen Schnittgeschwindigkeiten ( $v_c = 150 - 180 \text{ m/min}$ ) der Nassprozesse einen gleichmäßigen Verlauf und moderate Verschleißwerte auf. Aufgrund der hohen Prozesstemperaturen stieg der Werkzeugverschleiß mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit an und führte bei  $v_c = 250 \text{ m/min}$  zu einem frühzeitigen Schneidstoffausfall. Durch den ablaufenden, heißen Span entstand zudem ein deutlicher Materialaufrieb an der Hauptfreifläche der Schneidplatte. Der Prozess wurde hierdurch jedoch nicht nachteilig beeinflusst. Unabhängig von der untersuchten Schnittgeschwindigkeit entstanden kurzbrechende, blau verfärbte Späne, die sicher aus dem Arbeitsraum der Maschine abgeführt werden konnten. Alle Bearbeitungsprozesse sind durch einen ruhigen und gleichmäßigen Verlauf und gute Bauteiloberflächen gekennzeichnet.

Der Einsatz warmverschleißbeständiger Schneidstoffe und Beschichtungen ermöglichte eine weitere Steigerung der Schnittgeschwindigkeiten ( $v_c = 250 \text{ m/min}$ ) bei der Trockenbearbeitung der Vergütungsstähle. Hartmetall-Schneidstoffe (HC-P25) mit einer PVD-TiAlN-Beschichtung oder einer warmverschleißbeständigen CVD-Ti(C,N)- $\text{Al}_2\text{O}_3$ -TiN-Beschichtung führten zu sehr guten Bearbeitungsergebnissen bei geringen Verschleißwerten (**Abbildung 11.2.7**).



**Abbildung 11.2.7: Trockendrehen von Bolzen aus dem Vergütungsstahl 42CrMo4**

Die erarbeiteten Untersuchungsergebnisse wurden in einem Kurzbericht zusammengefasst und dem Anwender in einem Treffen präsentiert. In der abschließenden Diskussion erfolgte seitens des Technologiezentrums Dortmund die Benennung von Ansprechpartnern verschiedener Werkzeughersteller auf Basis bereits im Unternehmen vorhandener Lieferanten. Durch die Beauftragung eines Mitarbeiters der Arbeitsvorbereitung sollten die Ergebnisse in Eigenleistung in die Produktion umgesetzt werden.

### 11.2.6 Beratungsbeispiel 6: Drehen von Hüftgelenkkomponenten aus einer verschleißbeständigen Chrom-Kobalt-Legierung

**Ausgangssituation:** Die Aufgabenstellung umfasste Untersuchungen zum Trockendrehen von verschleißbeständigen Legierungen auf Chrom-Kobalt-Basis. Bei dem interessierten Unternehmen handelte es sich um einen mittelständischen Hersteller von Implantaten für medizinische Anwendungen wie z. B. Hüftgelenkkomponenten oder Dentalprothesen. Der Hauptgrund für das Interesse an der Trockenbearbeitung lag in der aufwändigen Reinigung der Implantate nach der Bearbeitung mit Emulsion.

Die vorgeschmiedeten Gelenkkomponenten (**Abbildung 11.2.8**) wurden im Standardprozess auf CNC-Drehmaschinen unter Zuführung von Emulsion zerspant. Auf

Grund der hohen Werkstofffestigkeiten ( $R_m \approx 1.200 \text{ N/mm}^2$ ) fand die Bearbeitung mit unbeschichteten Hartmetallen (HW-K10/K20) bei niedrigen Schnittparametern statt ( $v_c = 50 \text{ m/min}$ ;  $f = 0,10 \text{ mm}$ ;  $a_p \leq 1,5 \text{ mm}$ ). Besonderes Augenmerk war dabei auf die hohen Anforderungen bezüglich Rundheits- und Durchmesser-toleranzen sowie der Werkstückoberflächen zu legen. Darüber hinaus konnten in der Produktion häufig Bearbeitungsprobleme durch Schmiedegrate, stark variierende Rohteilaußmaße und Verfestigungen in der Randzone der geschmiedeten Bauteile festgestellt werden.



**Abbildung 11.2.8: Implantatkomponenten aus einer Chrom-Kobalt-Legierung**

**Vorgehensweise:** Da es sich bei der Cr-Co-Legierung um einen Sonderwerkstoff handelte, stand sowohl eine Schneidstoff- als auch eine Schnittparametervariation im Vordergrund der Machbarkeitsuntersuchungen. Schneidstoffseitig wurden PVD-TiN-beschichtete Hartmetalle und Cermets sowie ein CBN-Schneidstoff eingesetzt. Die Schnittparameter wurden ausgehend von den Standardparametern in Stufen erhöht, um im Vergleich zum Nassprozess eine mindestens konstante Hauptzeit zu gewährleisten. Um den Kontakt des Werkstoffes mit einem Medium zu vermeiden, wurden die Drehprozesse trocken durchgeführt.

**Ergebnis:** Bei einem Vergleich des Einsatzverhaltens der unterschiedlichen Schneidstoffe zeigten die beschichteten Hartmetalle die geringste Verschleißausbildung an den Wendeschneidplatten. Der CBN-Schneidstoff wies bereits nach einem Schnittweg von  $l_c = 500 \text{ m}$  starke Verschleißerscheinungen auf und wurde daher nicht weiter eingesetzt. Da in den Untersuchungen eine CBN-Sorte mit metallischer Binderphase zum Einsatz kam, ist an dieser Stelle auf einen erhöhten tribochemi-

schen Verschleiß durch Wechselwirkungen zwischen dem Werkstoff und der Binderphase des Schneidstoffs zu schließen. Der Freiflächenverschleiß des unbeschichteten Cermets lag bei einer Drehlänge von  $l_c = 1.000$  m geringfügig über dem der beschichteten Hartmetalle. Der höhere Verschleißwert konnte in erster Linie auf die im Vergleich zum Hartmetall geringe Wärmeleitfähigkeit des Cermets zurückgeführt werden. Hierdurch bildete sich in der Kontaktzone ein Wärmestau, so dass Materialaufschweißungen an der Wendeschneidplatte auftraten.

Die Variation der Schnittparameter verdeutlichte die besonderen Problematiken der Drehbearbeitung des verschleißbeständigen Sonderwerkstoffs. Eine Vorschuberrhöhung von  $f = 0,05$  mm auf  $f = 0,10$  mm resultierte in einem deutlichen Anstieg des Werkzeugverschleißes. Die Folge war ein frühzeitiger Schneidstoffausfall als Folge einer mechanischen Überbelastung der Schneidkante. Analog zur Vorschuberrhöhung war auch mit der Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 50$  m/min auf  $v_c = 100$  m/min ein unmittelbarer Verschleißanstieg verbunden, der auf eine höhere thermische Belastung zurückgeführt werden konnte. Bei Einsatz niedriger Schnittparameter konnten unter den Randbedingungen der Trockenbearbeitung auch die geforderten Qualitätsmerkmale eingehalten werden.

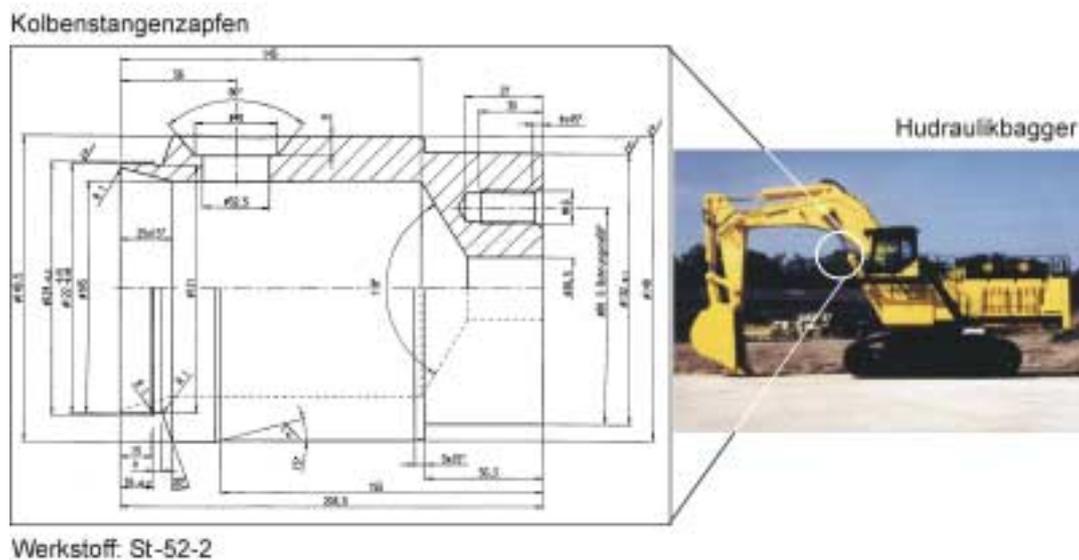
Die Untersuchungen zeigten, dass die Cr-Co-Legierung prinzipiell trocken bearbeitbar ist. Der Fertigungsprozess reagierte jedoch sehr empfindlich auf Änderungen der Einflussgrößen. Das Prozessfenster, in dem eine Trockenbearbeitung unter den gegebenen Randbedingungen beherrscht wurde, ist daher sehr klein. Ein weiteres Bearbeitungsproblem stellten die langen Wirrspäne dar, die zu einer Beeinträchtigung der Prozesssicherheit führen können. Das Unternehmen beabsichtigte basierend auf den Untersuchungsergebnissen zu einem späteren Zeitpunkt eine Entscheidung für oder gegen die Einführung der Trockenbearbeitung treffen.

### **11.2.7 Beratungsbeispiele 7 – 8: Bearbeitung von Kolbenstangenzapfen aus St52-3**

**Ausgangssituation:** Auf Grund von Problemen mit den Standzeiten der Kühlschmierstoffemulsionen und den Versorgungsanlagen an mehreren einzeln versorgten Maschinen wurde das Technologiezentrum Dortmund von einem mittelständischen Baumaschinenhersteller aus dem Rheinland mit einer Machbarkeitsstudie zur Trockenbearbeitung beauftragt. Zudem verfolgte das Unternehmen das Ziel einer

Zertifizierung nach DIN ISO 14001, wobei die Vermeidung bzw. Reduzierung des Kühlschmierstoffeinsatzes und die Verbesserung des betrieblichen Arbeitsumfeldes als wichtige Aspekte berücksichtigt werden sollten. Im Unternehmen lagen bereits grundlegende Erfahrungen zur Trockenbearbeitung aus eigenen Versuchen zum Drehen und Sägen vor.

Bei einer Firmenberatung vor Ort erfolgte die Auswahl eines Bauteils für die Umstellung von einem Nass- auf einen Trockenprozess. Hierbei handelte es sich um einen Kolbenstangenzapfen, an dem mehrere Dreh- und Bohroperationen durchzuführen waren (**Abbildung 11.2.9**). Die Bearbeitung fand auf einer CNC-Schrägbett-Drehmaschine statt, die bezüglich der konstruktiven Gestaltung keine maschinenseitigen Probleme bei einer Umstellung erwarten lies. Als Zerspanwerkzeuge wurden vom Anwender sowohl beim Drehen als auch beim Bohren hauptsächlich TiN-beschichtete Hartmetall-Wendescheidplatten eingesetzt.



**Abbildung 11.2.9: Kolbenstangenzapfen eines Baufahrzeugs aus St52-3**

*Beratungsbeispiel 8: Drehen von St52-3*

**Vorgehensweise:** Die Drehversuche wurden unter Einsatz der Anwenderschneidstoffe trocken auf einer Versuchsmaschine im Labor des ISF durchgeführt. Bei dem eingesetzten Schneidstoff handelte es sich um ein TiN-beschichtetes Hartmetall (HC-P25) mit einer stabilen Schneidkantenausführung. Unter Variation der Schnittgeschwindigkeit erfolgte die Ermittlung verschleißgünstiger Bearbeitungsparameter.

**Ergebnis:** Beim Drehen des Werkstoffs St52-3 wurden mit dem Standard-Hartmetall des Anwenders gute Bearbeitungsergebnisse erzielt. Ausgehend von der Nassbearbeitung ( $v_c = 180$  m/min) konnten die Schnittgeschwindigkeiten im Trockenprozess zum Teil erheblich gesteigert werden ( $v_c = 300$  m/min), ohne dass eine signifikante Verschleißzunahme festzustellen war. Die resultierenden Verschleißmarken wiesen einen gleichmäßigen Verlauf und moderate Verschleißwerte auf. Erst ab einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 350$  m/min überwogen thermisch aktivierte Verschleißmechanismen, die sich negativ auf die Standzeit des Schneidstoffes auswirkten. Aufgrund der hohen Prozesstemperaturen entstand durch den ablaufenden, heißen Span ein deutlicher Materialaufrieb auf der Spanfläche der Schneidplatte, wodurch der Prozess jedoch nicht nachteilig beeinflusst wurde. Unabhängig von der untersuchten Schnittgeschwindigkeit wurden kurz brechende, dunkel-blau verfärbte Späne beobachtet, die sicher aus dem Arbeitsraum der Maschine abgeführt werden konnten. Alle Bearbeitungsprozesse waren durch einen ruhigen und gleichmäßigen Verlauf gekennzeichnet.

#### *Beratungsbeispiel 7: Bohren von St52-3*

**Vorgehensweise:** Analog zur Drehbearbeitung erfolgte die Durchführung von Bohrversuchen unter Einsatz eines Wendeschneidplatten-Bohrers mit einem Durchmesser von  $D = 25$  mm. Zur Ermittlung des Schneidstoffeinflusses fand neben dem Standardschneidstoff (HC-P20-TiN) ein beschichtetes Hartmetall (HC-P25-TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) und ein beschichtetes Cermet (HT-P20-TiN/TiCN) Anwendung. Die Bearbeitungsversuche wurden im Versuchslabor auf einem NC-Bearbeitungszentrum durchgeführt, das die Produktionsrandbedingungen des Anwenders gut abbildete. Auf Wunsch des Unternehmens wurde in den Bohrversuchen kein Schmierstoff, sondern lediglich trockene Druckluft zur Unterstützung des Spanabtransports zugeführt.

**Ergebnis:** Beim Bohren des Werkstoffes St52-3 mit Druckluftunterstützung waren gute Bearbeitungsergebnisse erzielbar. Während die TiN-beschichteten Hartmetalle aus der Produktion des Anwenders einen hohen Freiflächenverschleiß aufwiesen, fiel der Werkzeugverschleiß insbesondere beim Einsatz des beschichteten Cermet-Schneidstoffes gering aus und es resultierten gute Bohrungsoberflächen. Mit steigender Schnittgeschwindigkeit ( $v_c = 200 - 250$  m/min) ging ein Anstieg des Werkzeugverschleißes an der Außenschneide einher. Die kurz brechenden Späne nah-

men einen Grossteil der entstandenen Prozesswärme auf und erlaubten durch die Druckluftunterstützung einen sicheren Spanabtransport aus der Bohrung. Alle Bohrversuche verliefen ruhig und gleichmäßig.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudien und die schneidstoff- und maschinenseitigen Randbedingungen des Anwenders zeigten günstige Voraussetzungen für eine Trockenbearbeitung. Basierend auf den Laborergebnissen beabsichtigte das Unternehmen, die betrachtete Drehmaschine in Zusammenarbeit mit einem Werkzeuglieferanten umzustellen. Bei einem erfolgreichen Prozessverlauf sollten die Ergebnisse sukzessive auf weitere Fertigungseinheiten übertragen werden.

### 11.2.8 Beratungsbeispiel 9: Drehen von Sonderschrauben aus X8 CrNiMo 27 5

**Ausgangssituation:** Bei der Firmenberatung eines kleinen bis mittelständischen Unternehmens aus dem Sauerland wurde eine CNC-Schrägbett-Drehmaschine aus der Produktion für die Umstellung auf eine Trockenbearbeitung bzw. Minimalmengenschmierung ausgewählt. Auf der Drehmaschine wurden ausschließlich Schrauben und Verbindungselemente in kleinen bis mittleren Losgrößen (5 bis ca. 500 Stück) unter Vollstrahlkühlschmierung mit Emulsion hergestellt. Da bei den Machbarkeitsstudien das Ziel eines Entfalls der Kühlschmierstoffversorgung verfolgt wurde, erfolgte die Auswahl eines bezüglich des Werkstoffes kritischen Bauteils. Hierbei handelte es sich um eine Sonderschraube aus dem Duplexstahl X8 CrNiMo 27 5 (**Abbildung 11.2.10**).



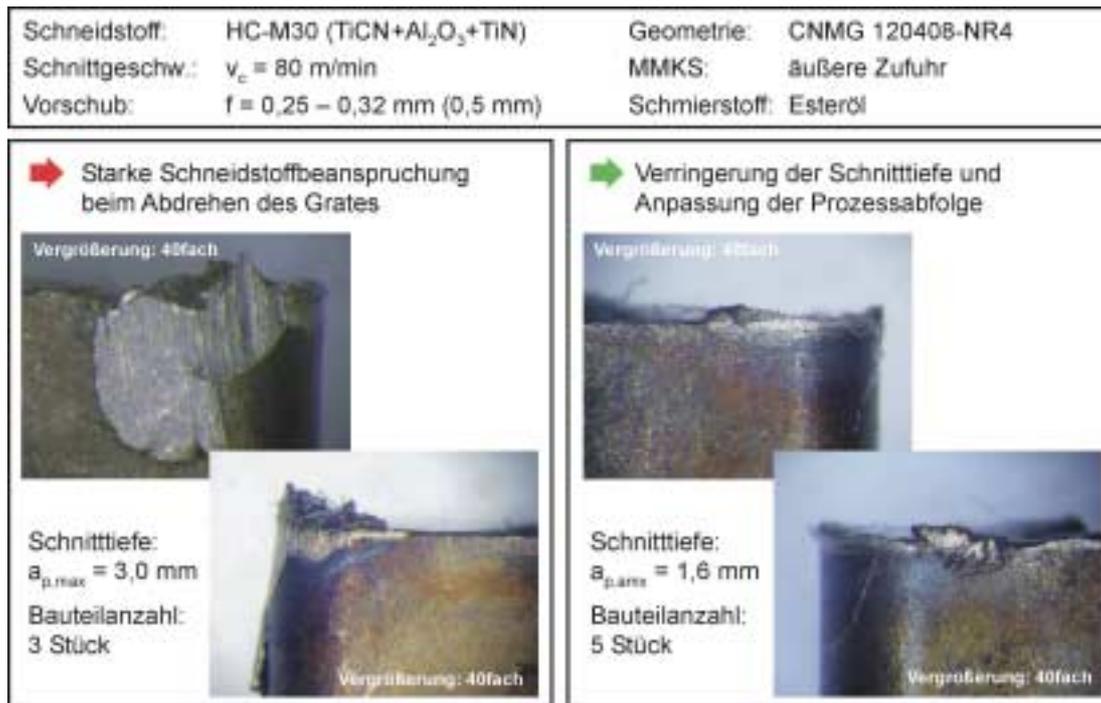
**Abbildung 11.2.10: Sechskant-Passschrauben aus X8 CrNiMo 27 5**

Das Trockenbearbeitungsziel des Unternehmens bestand in der Nutzung von Kosteneinsparpotenzialen durch den Entfall der Kühlschmierstoffversorgung. Besondere Probleme stellte dabei die Verschleppung von Emulsionen an den einzeln versorgten

Drehmaschinen dar, die zu Verschmutzungen des Maschinenumfeldes und zu Kühlschmierstoffverlusten führte. Des Weiteren wirkte sich der Eintrag von Umform- und Härteölen negativ auf die Standzeiten der Emulsionen aus.

**Vorgehensweise:** Unter Einsatz beschichteter Hartmetall-Wendeschnidplatten (HC-M25-TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN und HC-M30-TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/TiN) wurden die Drehprozesse zunächst im Versuchsbetrieb gestaltet. Zur Reduzierung des Werkzeugverschleißes und zur Gewährleistung guter Bauteiloberflächen wurde ein Esteröl als Minimalmengenschmierstoff zugeführt, das speziell für die Trockenbearbeitung nichtrostender Stähle vorgesehen war. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Gestaltung des Prozessablaufs gelegt, um ein gutes Bearbeitungsergebnis bei einer hohen Prozesssicherheit zu erzielen.

**Ergebnis:** Die Ergebnisse der Trockenbearbeitungsversuche unter konventionellen Randbedingungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer detaillierten Anpassung der Fertigungsprozesse bei der Bearbeitung hochlegierter, nichtrostender Stähle. Trotz des Einsatzes warmverschleißbeständiger Schneidstoffe führte die hohe mechanische und thermische Belastung der Wendeschnidplatten zu einem Werkzeugausfall nach drei bearbeiteten Bauteilen. Insbesondere die Vorbearbeitung hatte durch das Abdrehen des Grades, die schlagende Beanspruchung am Sechskantkopf und das variierende Rohteilaußmaß eine frühzeitige Schädigung des Schneidkörpers zur Folge (**Abbildung 11.2.11**).



**Abbildung 11.2.11: Trockenbearbeitungsgerechte Optimierung der Prozessführung**

Zur Reduzierung des Werkzeugverschleißes wurde zunächst die Schnitttiefe der Vorbearbeitung am Schraubenkopf von  $a_{p,max,konv.} = 3,0$  mm auf  $a_{p,max,opt.} = 1,6$  mm verringert. Des Weiteren erfolgte eine Veränderung des Prozessablaufs, so dass der Grat mit einer veränderten Schneidkörpergeometrie in zwei Stufen ziehend abgedreht wurde.

Die Qualitätsmerkmale der trockenbearbeiteten Passschrauben erfüllten im vollem Umfang die Bauteilanforderungen ( $R_z = 5,2 - 6,1$   $\mu\text{m}$ ;  $\Delta D = -5 - 10$   $\mu\text{m}$ ). Dabei war insbesondere die Schlichtbearbeitung bezüglich des Werkzeugverschleißes und der Bauteilqualität als unkritisch zu betrachten. Die Schruppbearbeitung am Schraubenkopf stellte nach wie vor die kritische Schlüsseloperation bei der Trockenbearbeitung dar. Durch die beschriebenen Prozessanpassungen konnte der Werkzeugverschleiß im Rahmen der Laboruntersuchungen bereits deutlich reduziert werden.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudien zeigten, dass die spanende Bearbeitung hochlegierter Stähle unter den Randbedingungen der Trockenbearbeitung hohe Anforderung an die Warmverschleißbeständigkeit der Schneidstoffe und an die Prozessführung stellt. Die erzielten Ergebnisse konnten die prinzipielle Machbarkeit nachweisen, wurden von dem beratenen Unternehmen auf Grund der eingeschränk-

ten Prozesssicherheit jedoch als kritisch betrachtet. Die Entscheidung für oder gegen die Einführung der Trockenbearbeitung sollte zu einem späteren Zeitpunkt getroffen werden.

### **11.2.9 Beratungsbeispiel 10: Bohren und Fräsen von Messingkartuschen**

**Ausgangssituation:** Die vorliegende Anfrage wurde von einem sauerländischen Großunternehmen gestellt, dessen Kerngeschäft die Herstellung von Komponenten und Anlagen für die Sanitärtechnik darstellte. In der Produktion wurden fast ausschließlich gegossene Messingbauteile in großen Stückzahlen bearbeitet. Die spanende Bearbeitung erfolgte vorwiegend auf NC-gesteuerten Rundtaktmaschinen unter Einsatz zahlreicher Sonderwerkzeuge. Bei der Fräs-, Bohr- und Gewindebearbeitung wurden sowohl HSS-Werkzeuge als auch Werkzeuge mit eingelöteten, unbeschichteten Hartmetallschneiden angewendet. Als Kühlschmierstoff-Konzept fand die innere und äußere Zuführung von Emulsion Einsatz.

Die Motivation für die Trockenbearbeitung basierte im Wesentlichen auf einer wirtschaftlicheren Gestaltung der Fertigung. Damit verbunden war die Zielsetzung, kühl-schmierstoffbedingte Ausfallzeiten durch Störungen der KSS-Anlagen und notwendige Reinigungszyklen zu minimieren. Ferner beabsichtigte das Unternehmen die Produktion durch die Investition in neue Fertigungsanlagen zu modernisieren. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudien sollten daher auch für die Ableitung von Anforderungen an neue Werkzeugmaschinen herangezogen werden.

Als Bauteil wurde für die Untersuchungen eine gegossene Kartusche aus der Messinglegierung CuZn39Pb2 ausgewählt. Auf Grund der komplexen Komplettbearbeitung erfolgte die Bestimmung kritischer Bearbeitungsoperationen, anhand derer die Trockenbearbeitung nachgewiesen werden sollte. Hierbei handelte es sich um die Vor- und Fertigbearbeitung der Kartuschenbohrung ( $d = 52 \text{ mm}$ ) und die Herstellung von zwei Tiefbohrungen ( $d = 8 \text{ mm}$ ;  $l/D = 11$ ) (**Abbildung 11.2.12**).

Ausgewählte Bearbeitungsoperationen:

**Abbildung 11.2.12: Ausgewählte Bearbeitungsoperationen an der Messingkartusche**

**Vorgehensweise:** Für die Machbarkeitsanalysen wurden Versuchswerkstücke, Standardwerkzeuge aus dem Nassprozess sowie Werkzeugpläne und Bauteilzeichnungen zur Verfügung gestellt. Die Bearbeitungsschritte gliederten sich in das Vorbohren und Fertigbohren der Kartuschenbohrung sowie die Herstellung der zwei Tiefbohrungen. Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einem trockenbearbeitungsgerechten CNC-Bearbeitungszentrum. Je nach Werkzeug wurde eine innere oder eine äußere MMS-Zuführung eingesetzt.

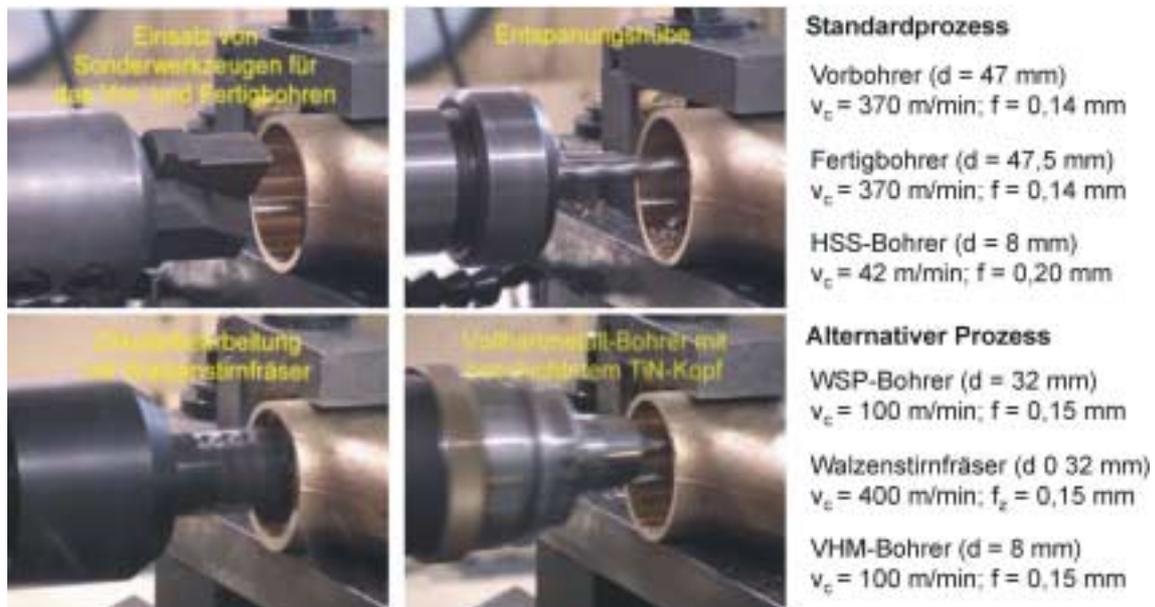
In Kooperation mit dem Arbeitskreis TroiA (Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung) wurden durch unterschiedliche Werkzeughersteller alternative Werkzeuge für die Trockenbearbeitungsuntersuchungen bereitgestellt. Bei den Werkzeugen handelte es sich ausschließlich um Standardwerkzeuge. Für die Herstellung der Kartuschenbohrung waren ein Wendeschneidplatten-Bohrer zum Vorbohren und ein Walzenstirnfräser für die zirkulare Fertigbearbeitung vorhanden. Die Bearbeitung der Tiefbohrungen erfolgte mit einem Vollhartmetall-Bohrwerkzeug mit einer TiN-Top-Beschichtung, dessen Kühlschmierstoffkanäle an die besonderen Anforderungen der MMS-Zuführung angepasst waren.

**Ergebnis:** Die MMS-unterstützte Bearbeitung der Kartuschenbohrung führte bereits unter Einsatz der Anwenderwerkzeuge zu sehr guten Bearbeitungsergebnissen. Die resultierenden Bohrungsoberflächen stellten dabei eine deutliche Verbesserung zum Nassprozess dar ( $R_{z,Emulsion} \approx 20 \mu\text{m}$ ;  $R_{z,MMS} \approx 11 \mu\text{m}$ ). Darüber hinaus würde das

günstige Verschleißverhalten der Hartmetallschneiden ein Entfall des Vorbohrens des Kartusche ermöglichen.

Ebenso konnte die Trockenbearbeitung unter Anwendung des Wendeschneidplatten-Bohrers und des Walzenstirnfräasers technologisch nachgewiesen werden (**Abbildung 11.2.13**). Auf Grund des günstigen Einsatzverhaltens der Anwenderwerkzeuge müsste die Wirtschaftlichkeit einer Werkzeugs substitution jedoch für den Einzelfall in Abhängigkeit von den Werkzeugkosten und den Bearbeitungszeiten geprüft werden.

Die Bearbeitung der Tiefbohrungen war unter Einsatz der Standardbohrwerkzeuge aus Vollhartmetall nicht möglich. Auf Grund der großen Bohrtiefe verlief der Bearbeitungsprozess trotz innerer MMS-Zuführung und zwei Entspannungshüben sehr unruhig. Als Folge führte ein Spänestau zum frühzeitigen Werkzeugbruch. Im weiteren Verlauf der Untersuchungen wurde ein HSS-Wendelbohrer mit einer äußeren und ein optimierter Vollhartmetallbohrer mit einer inneren MMS-Zufuhr eingesetzt. Der HSS-Bohrer ermöglichte bei reduzierter Schnittgeschwindigkeit ( $v_c = 42 \text{ m/min}$ ) bereits eine prozesssichere Bearbeitung der Tiefbohrungen. Die Entspannungshübe des konventionellen Bohrprozesses mussten beibehalten werden, um eine Abfuhr des Spanmaterials aus der Bohrung zu gewährleisten. Der Einsatz des optimierten TiN-Top-beschichteten Vollhartmetallbohrers verdeutlichte die wirtschaftlichen Potenziale der Trockenbearbeitung in besonderem Maße. Unter Einsatz deutlich höherer Schnittwerte ( $v_c = 100 \text{ m/min}$ ) konnten die Bohrungen ohne Entspannungshübe mit einer hohen Prozesssicherheit hergestellt werden. Das zeitliche Einsparpotenzial gegenüber dem Nassprozess lag bei der beschriebenen Bohroperation bei über 60%.



**Abbildung 11.2.13: Unterschiedliche Strategien zur Bearbeitung der Messingkartuschen**

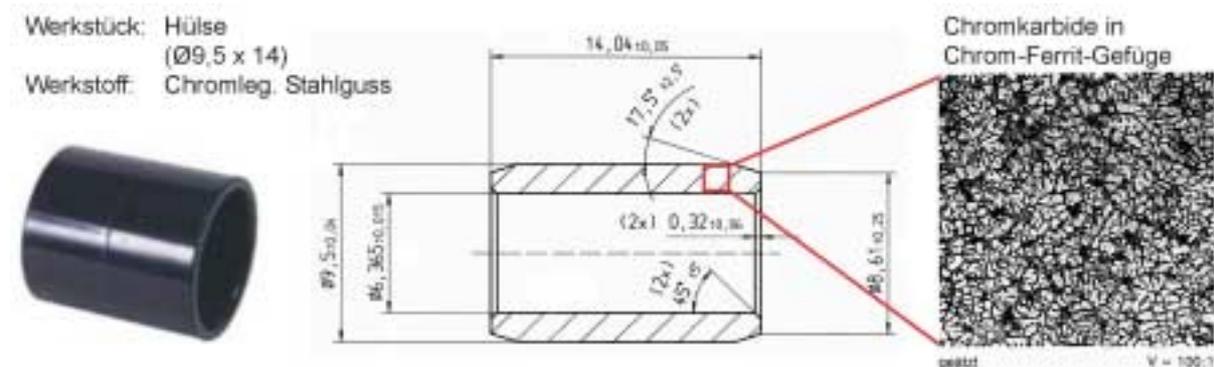
Die technologischen und wirtschaftlichen Ergebnisse wurden von dem Anwender sehr positiv aufgenommen und sollten als Grundlage für zukünftige Prozessauslegungen dienen. Bei einer anstehenden Neuinvestition soll das Technologiezentrum Dortmund mit in die Planungen einbezogen werden, um durch eine ganzheitliche Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die ökonomischen Potenziale der Trockenbearbeitungsprozesse herauszustellen.

### 11.2.10 Beratungsbeispiel 11: Bohren von Hülsen aus chromlegiertem Stahlguss

**Ausgangssituation:** Für einen süddeutschen Automobilzulieferer wurden experimentelle Untersuchungen zur Trockenbearbeitung von chromlegiertem Stahlguss durchgeführt. Auf ca. 70 CNC-Drehmaschinen und Kurvenautomaten produziert der Anwender Motorenteile in sehr großen Stückzahlen. In einem unternehmensübergreifenden Projekt sollten die Einsatzmöglichkeiten der Trockenbearbeitung definiert werden, um neue Einsparpotenziale in der Produktion zu nutzen und das Arbeitsumfeld mitarbeiterfreundlich zu gestalten.

Für die Durchführung der Machbarkeitsanalysen wurden durch den Anwender Hülsen aus chromlegiertem Stahlguss bereitgestellt (**Abbildung 11.2.14**). Hierbei handelte es sich um einen Sonderwerkstoff für Ventileführungen für Hochtemperaturan-

wendungen. Ein besonderes Merkmal des Werkstoffes bestand in Chromkarbiden, die in einem Grundgefüge aus Chrom-Ferrit eingelagert waren. Als kritische Schlüsseloperation wurde ein Bohrprozess für die Herstellung von Durchgangsbohrungen definiert, da die Dreh- und Fräsoperationen in der Produktion bereits ohne die Zuführung von Kühlschmierstoffen beherrscht wurden. Je nach BauteilAusführung erfolgten die Bohroperationen in einem Durchmesserbereich von  $D = 5,8 - 6,7$  mm bei einer Bohrtiefe von 14 mm.



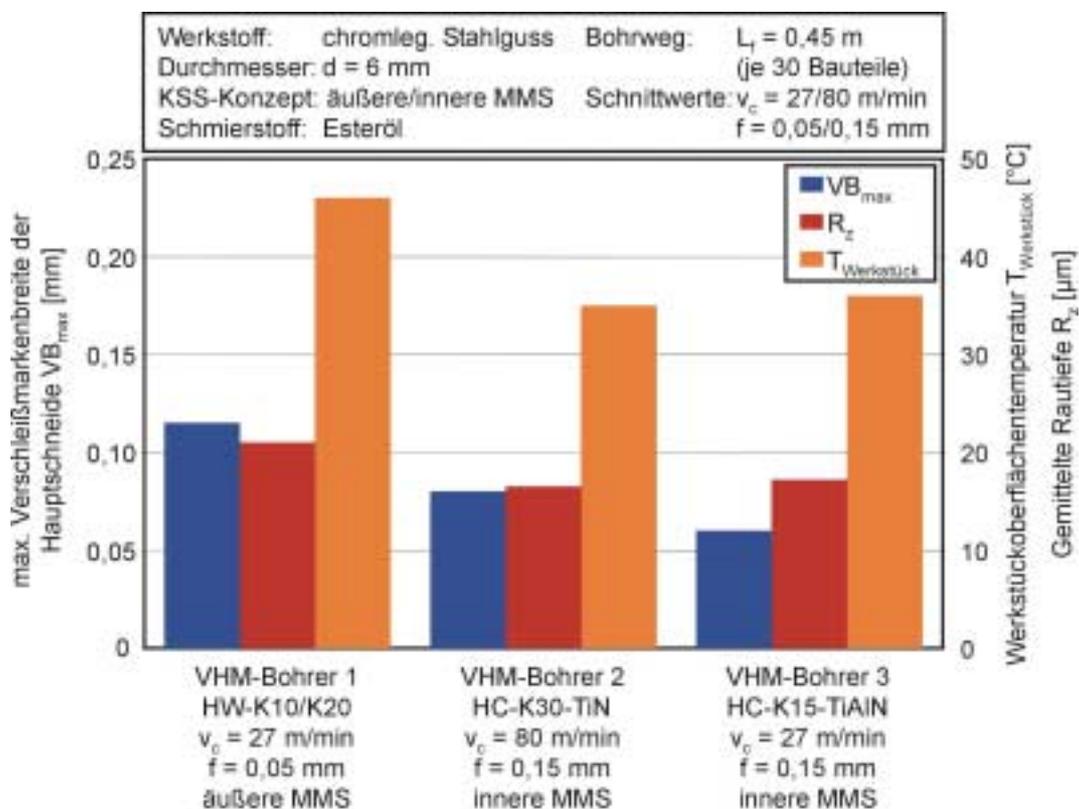
**Abbildung 11.2.14: Hülse aus dem chromlegierten Stahlguss**

**Vorgehensweise:** Die Bearbeitungsversuche wurden zunächst unter Einsatz der unbeschichteten Vollhartmetall-Bohrwerkzeuge des Anwenders (HW-K10/K20) und den Schnittwerten aus dem Nassprozess durchgeführt ( $v_c = 27$  m/min;  $f = 0,05$  mm). Auf Grund fehlender Kühlkanäle des Bohrwerkzeugs wurde die Minimalmenge in Form eines zerstäubten Esteröls von außen zugeführt.

Zusätzlich erfolgte die Überprüfung der Einsatzmöglichkeiten beschichteter Hartmetallwerkzeuge verschiedener Hersteller (HC-K30-TiN und HC-K15-TiAlN). Die Schnittparameter wurden basierend auf den Herstellerempfehlungen auf  $v_c = 80$  m/min und  $f = 0,15$  mm angepasst. Die Zuführung der Minimalmenge erfolgte von innen durch die Kühlschmierstoff-Kanäle der Bohrwerkzeuge.

**Ergebnis:** Die abrasive Wirkung der eingelagerten Chromkarbide führte bei Einsatz der unbeschichteten Bohrer aus dem Nassprozess zu einem erhöhten Verschleiß an der Frei- und Spanfläche des Werkzeugs. Dabei wirkten sich sowohl die langen Kontaktzeiten auf Grund der niedrigen Schnittparameter als auch die Unzugänglichkeit der Wirkstelle bei der äußeren MMS-Zufuhr negativ auf das Bearbeitungsergebnis und die Prozesstemperaturen aus. Das Standzeitende des Werkzeugs konnte auf Grund der begrenzten Anzahl an Versuchswerkstücken nicht ermittelt werden.

Deutlich bessere Ergebnisse bezüglich des Verschleißverhaltens erbrachte die Anwendung der TiN- und TiAlN-beschichteten Vollhartmetall-Bohrwerkzeuge (**Abbildung 11.2.15**). Insbesondere die harte und warmverschleißbeständige PVD-TiAlN-Beschichtung schützte das Substrat wirkungsvoll vor einem abrasiven Verschleißangriff durch die Hartphasen sowie vor thermischen Einflüssen. Darüber hinaus ermöglichten die höheren Schnittparameter eine Reduzierung der Hauptzeiten um über 80%, so dass die Prozesstemperaturen an Bauteil und Werkzeug gering gehalten werden konnten. Trotz der günstigen Randbedingungen bezüglich der Abführung des Spanmaterials erwies sich eine innere MMS-Zufuhr als günstig, um die kontinuierliche Schmierung der Wirkstelle sicherzustellen und gute Bohrungsoberflächen zu gewährleisten.



**Abbildung 11.2.15: Ergebnisse der Trockenbearbeitungsversuche an Werkstücken aus chromlegiertem Stahlguss**

Die grundsätzliche Machbarkeit der Trockenbearbeitung konnte durch die durchgeführten Untersuchungen nachgewiesen werden. Auf Grund einer begrenzten Anzahl von Versuchswerkstücken konnte keine Ermittlung der tatsächlichen Werkzeugstandzeiten erfolgen. Diese waren unter realen Produktionsbedingungen in der Serienproduktion des Kunden zu erfassen. Da das Unternehmen keine Angaben

zum Zeitpunkt einer Umrüstung der Maschinen geben konnte, sollte die Umsetzung und Verifizierung der Projektergebnisse in Eigenregie durchgeführt werden.

#### **11.2.11 Beratungsbeispiel 12: Einlippentiefbohren von 38 MnVS 5**

**Ausgangssituation:** In der Kurbelwellenfertigung eines Großunternehmens sollte eine Produktionslinie von der bestehenden Nassfertigung auf eine Bearbeitung mit MMS umgestellt werden. Bei der kritischen Bearbeitungsoperation handelte es sich um die Herstellung von Ölkanalbohrungen in den Werkstoff 38 MnVS 5. Da die Bohrungen das Haupt- und das Hublager miteinander verbinden, musste der Bohrprozess unter einem Winkel von  $25^\circ$  durchgeführt werden. Der Bohrungsdurchmesser betrug  $d = 6$  mm bei einer Bohrtiefe von  $l = 135$  mm. Auf Grund der großen  $l/D$ -Verhältnisse und der Qualitätsanforderungen der Bohrungen erfolgte die spanende Bearbeitung mit Einlippentiefbohrwerkzeugen.

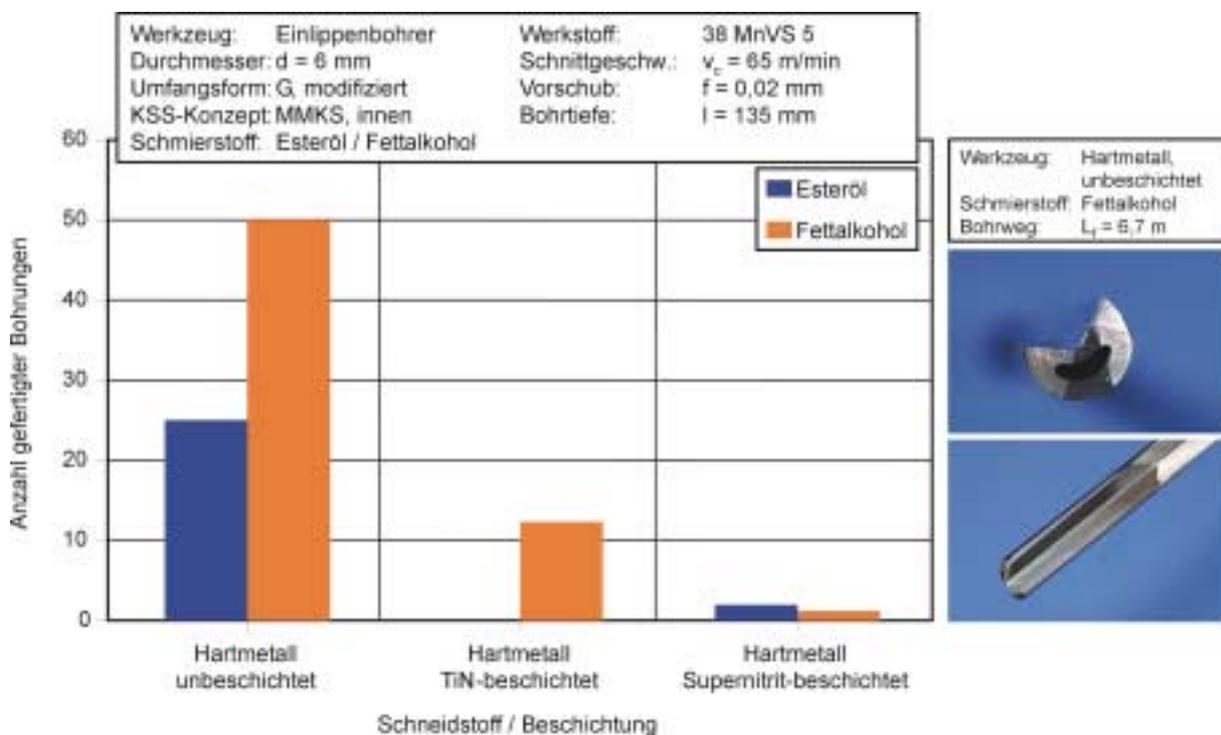
**Vorgehensweise:** Die großen und kostenintensiven Bauteile erforderten die Nachbildung der Bearbeitungssituation an einem Modellwerkstück im Versuchslabor des ISF. Unter Variation der Bohrwerkzeuge (beschichtete und unbeschichtete Hartmetalle) und des Minimalmengenschmierstoffs (Esteröl und Fettalkohol) wurden Machbarkeitsanalysen mit dem Ziel einer Minimierung des Werkzeugverschleißes durchgeführt. Die MMS-Zuführung erfolgte von innen, um bei den großen Bohrtiefen eine Versorgung der Wirkstellen mit Schmierstoff zu gewährleisten. Die Bohrversuche wurden nach Erreichen des Verschleißkriteriums, das von durch den Anwender vorgegeben wurde, abgebrochen und ausgewertet.

**Ergebnis:** Die Bearbeitungsergebnisse verdeutlichten, dass im Trockenprozess mit den unbeschichteten Tiefbohrwerkzeugen Bohrwege bis zu  $L_f = 6,7$  m (50 Bohrungen) erzielt werden können. Standzeitbestimmend war in diesem Fall der Kolkverschleiß auf der Spanfläche, der den kritischen Wert von  $KB = 0,2$  mm überschritt. An den Führungsleisten und der Rundschliffase konnte kein signifikanter Werkzeugverschleiß nachgewiesen werden.

Der Einsatz einer verschleißbeständigen Beschichtung auf den Hartmetallköpfen der Einlippenbohrer erwies sich für den Trockenbearbeitungsprozess als unvorteilhaft. Neben dem veränderten Reibverhalten der Werkzeugoberfläche war der Verschlechterung des Werkzeuggrundlaufs durch den Beschichtungsprozess eine hohe Bedeu-

tung beizumessen. Rundlaufabweichungen über 0,1 mm sind daher für eine prozesssichere Bearbeitung zu vermeiden.

Neben dem Werkzeug zeigte insbesondere die Verwendung verschiedener Minimalmengenschmierstoffe einen signifikanten Einfluss auf das Prozessverhalten. Während bei der Zuführung eines Fettalkohols ein ruhiger Prozessverlauf und ein kontinuierlicher Spanabtransport beobachtet wurden, führte der Einsatz eines Esteröls zu einem plötzlichen Werkzeugversagen nach  $L_f = 3,38$  m (25 Bohrungen). Offensichtlich bietet das günstigere Zerstäubungs-, Benetzungs- und Verdampfungsverhalten des Fettalkohols Vorteile, die eine sichere Prozessführung beim Tiefbohren mit MMS begünstigen.



**Abbildung 11.2.16: Einfluss der Schneidstoffbeschichtung auf den Bohrweg beim Einlippentiefbohren von 38 MnVS 5**

Die erarbeiteten Ergebnisse werden derzeit in die Fertigung des Anwenders übertragen und in der Serienproduktion verifiziert. Darüber hinaus wurden dem Technologiezentrum weitere Untersuchungen in Aussicht gestellt, um die Standzeit der Werkzeuge unter Variation der Werkzeuggeometrie, der Schneidstoffe und Beschichtungen sowie der Schnittparameter zu optimieren.

### 11.2.12 Beratungsbeispiel 13: Bohren von Ventiltellern aus X2 CrNiMo 17 13 2

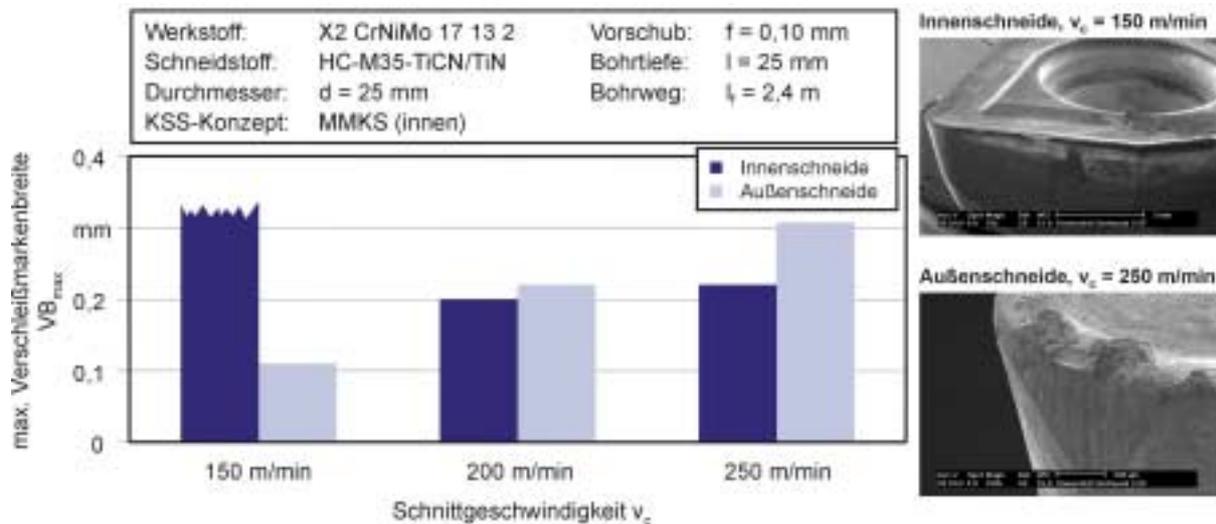
**Ausgangssituation:** Bei einem norddeutschen Hersteller von Ventilen und Systemkomponenten für die Lebensmittelindustrie wurde die Optimierung eines Bohrprozesses durchgeführt. Auf Grund der hohen Anforderungen an die chemische Beständigkeit der Bauteile entfiel ein großer Anteil der Produktion auf die spanende Bearbeitung korrosionsbeständiger Stähle. Im Unternehmen lagen bereits umfassende Erfahrungen zum Trockendrehen hochlegierter Werkstoffe vor, so dass ca. 10% des Maschineparks in Eigenleistung umgestellt worden sind. Problematisch stellte sich jedoch die Bohrbearbeitung dar, so dass an dieser Stelle die Beratungsangebote des Technologienetzes Trockenbearbeitung in Anspruch genommen wurden.

Basierend auf den Prozessinformationen, die durch das Unternehmen zur Verfügung gestellt wurden, erfolgte die Auslegung eines Bohrprozesses für die Bearbeitung mit MMS. Hierbei handelte es sich um das Bohren mit Wendeschneidplatten-Bohrern in den austenitischen, korrosionsbeständigen Stahl X2 CrNiMo 17 13 2 (1.4404). Als Schneidstoffe kamen im Nassprozess TiAlN-beschichtete Hartmetalle bei einer Schnittgeschwindigkeit von  $v_c = 150$  m/min zur Anwendung. In eigenen Versuchen des Unternehmens wurden bei der Trockenbearbeitung wiederholt Ausbrüche an der Innenschneide des Wendeschneidplatten-Bohrers festgestellt, die keine wirtschaftlichen Standwege ermöglichten.

**Vorgehensweise:** Unter Einsatz TiCN/TiN- und TiAlN-beschichteter Schneidstoffe wurde eine Schnittgeschwindigkeitsvariation beim Bohren des austenitischen Stahlwerkstoffs durchgeführt. Die Untersuchungen erfolgten an Probekörpern bei der inneren Zuführung eines MMS-Aerosols. Die Bearbeitungsergebnisse wurden hinsichtlich des Freiflächenverschleißes der Wendeschneidplatten, der Oberflächenqualität der Bohrungen und der entstandenen Spanformen beurteilt.

**Ergebnis:** Die Bohrbearbeitung austenitischer Stahlwerkstoffe ist prinzipiell nur in einem engen Prozessfenster möglich. Bei niedriger Schnittgeschwindigkeit überwiegt durch die Bildung von spannungsinduziertem Martensit ein mechanischer Schneidstoffverschleiß. Auf Grund der hohen Druckbelastung bilden sich bereits nach kurzen Bohrwegen Ausbrüche an der Innenschneide aus. Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit wird der Austenit durch die höheren Prozesstemperaturen stabilisiert, was eine prozesssichere Bohrbearbeitung ermöglicht. Steigt die Schnittgeschwindigkeit

keit weiter an, treten thermisch aktivierte Verschleißmechanismen in den Vordergrund. Auf Grund der hohen Umfangsgeschwindigkeit ist an dieser Stelle die Außenschnede verschleißbestimmend (**Abbildung 11.2.17**).



**Abbildung 11.2.17: Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf den Werkzeugverschleiß beim Bohren von austenitischem Stahl**

Während der Einsatz von Standardschneidstoffen (HC-M25-TiCN/TiN) bereits zu guten Bearbeitungsergebnissen führte, konnte die Standzeit der Werkzeuge durch den Einsatz von Feinstkornhartmetallen in Kombination mit einer TiAlN-Beschichtung weiter gesteigert werden. Die warmverschleißbeständigen Schneidstoffe ermöglichen die Realisierung höherer Schnittgeschwindigkeiten ( $v_c = 250 \text{ m/min}$ ) und resultieren in guten Bohrungsoberflächen ( $R_z \approx 10 \mu\text{m}$ ). Trotz eines ungleichmäßigen Spanbruchs wurden keine Probleme bei der Spanabfuhr aus der Bohrung festgestellt.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie wurden vom Anwender unmittelbar durch eine Anpassung der Schnittparameter in die Produktion übernommen. Die Standzeiten der Werkzeuge konnten dabei bei gleichbleibender Bearbeitungsqualität um den Faktor 4 erhöht werden. Zukünftige Projekte sollen sich nun auf die MMS-unterstützte Herstellung von Bohrungen in austenitischem Stahl konzentrieren.

### 11.2.13 Beratungsbeispiel 14: Optimierung der trockenen Komplettbearbeitung von Fahrwerksbauteilen in der Großserie

**Ausgangssituation:** Für einen großen Automobilhersteller wurde eine Prozessanalyse und -optimierung der Komplettbearbeitung eines Fahrwerksbauteils aus der A-

Aluminium-Gusslegierung AlSi7Mg durchgeführt. Das Werkstück wurde bereits trocken bzw. unter MMS-Einsatz auf modernen Bearbeitungszentren hergestellt, die speziell an die Anforderungen der Trockenbearbeitung angepasst sind. In 27 Einzeloperationen, die die Fertigungsverfahren Bohren, Fräsen und Gewinden einschlossen, wurden die Fahrwerkskomponenten fertig bearbeitet. Problematiken bestanden in der laufenden Produktion hinsichtlich der Zykluszeit des Gesamtprozesses, der Werkzeuggestaltung und der bedarfsgerechten Dosierung der Minimalmengenschmierung.

**Vorgehensweise:** Basierend auf dem vorliegenden Prozessablauf erfolgte zunächst eine Zeitstudie, in der die Haupt- und Nebenzeiten des Gesamtprozesses detailliert erfasst wurden. Aus der Analyse der Einzeloperationen wurden sowohl technologische Optimierungspotenziale der Werkzeuge als auch Verbesserungsmöglichkeiten der Prozessführung abgeleitet. Die Ergebnisse sollten dem Anwender als Grundlage für die Optimierung des Fertigungsablaufs und den einbezogenen Werkzeugherstellern als Hinweise für mögliche Werkzeuganpassungen dienen.

**Ergebnis:** Die detaillierte Analyse der einzelnen Bearbeitungsoperationen führte zu zahlreichen Verbesserungsansätzen bezüglich des Werkzeugeinsatzes. Es konnte herausgestellt werden, dass die unproduktiven Nebenzeiten zu einem Großteil auf Werkzeugwechselzeiten entfielen. Der Einsatz von Kombinationswerkzeugen (z. B. Bohrgewindefräser oder Drei-Stufen-Bohrer) bzw. von universellen Fräswerkzeugen (Zirkularfräser) bot an dieser Stelle die Möglichkeit, die zeitliche Ausnutzung des Gesamtprozesses deutlich zu verbessern.

Bei Bearbeitungsschritten, die bezüglich des Verschleißverhaltens der Schneidstoffe oder der Bauteilanforderungen als kritisch beurteilt wurden, könnte die Anwendung von PKD-Schneiden zu besseren Bearbeitungsergebnissen führen. Insbesondere bei der trockenen Aluminiumzerspannung erlauben PKD-bestückte Fräswerkzeuge den Einsatz sehr hoher Schnittparameter bei langen Standzeiten.

Die zeitlich und quantitativ präzise Dosierung des MMS-Systems stellte eine weitere Problematik bei der Prozessführung dar. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Versorgung der Wirkstelle erfolgte eine permanente Überdosierung des Schmierstoffs, die jedoch zu Verschmutzungen des Maschineninnenraums führte. Das Ansprechverhalten des MMS-Systems sollte daher bei der Prozessgestaltung Berücksichtigung finden.

sichtigung finden, so dass das System bereits vor Beginn des Schneideneingriffs an- und noch vor Ende des Schneideneingriffs abgeschaltet wird. Weitere Verbesserungen dürften sich bei der Anwendung einer Rohrdüse zwischen Halter und Werkzeug für die Übergabe des MMS-Gemisches ergeben. Alternativ bietet sich der Einsatz eines Zwei-Kanal-Systems mit kurzen Ansprechzeiten für die innere MMS-Zuführung an. Der konstruktive Aufwand für die Integration eines derartigen Systems in das bestehende Maschinenkonzept ist jedoch als sehr hoch einzuschätzen.

#### **11.2.14 Beratungsbeispiel 15: Vergleich unterschiedlicher MMS-Systeme**

**Ausgangssituation:** Die Schmiermittelversorgung der Wirkelemente eines Werkzeugs bei einer inneren MMS-Zufuhr ist besonders bei Bohr- und Reiboperationen von großer Bedeutung. Hierbei besteht jedoch häufig das Problem, dass das Schmierstoff-Druckluft-Gemisch die Wirkstelle häufig nicht in der erzeugten Zusammensetzung zeitgerecht erreicht. Hindernisse in der Maschinenspindel und dem Werkzeug-Halter-System sowie mit zunehmender Drehzahl ansteigende Massenkräfte beeinflussen die Ausbringung und die Zusammensetzung des Aerosols erheblich.

Basierend auf den dargestellten Problemen der MMS-Zufuhr wurde am ISF eine Systematik für die Analyse und den Vergleich von MMS-Systemen entwickelt. In einem angepassten tribologischen Standardversuch kann dabei die momentan vorherrschende Reibung an der Wirkstelle gemessen werden. Die Implementierung des Messsystems bietet die Möglichkeit, die Effizienz der Reibungsminderung für das Gesamtsystem vom Aerosolerzeuger bis zur Wirkstelle zu beurteilen.

**Vorgehensweise:** Für vier unterschiedliche Aerosolerzeuger wurde der Drehmomentverlauf im tribologischen Standardversuch aufgenommen und ausgewertet. Die Versuchsdurchführung erfolgte auf einem konventionellen Vertikal-Bearbeitungszentrum bei unterschiedlichen Spindeldrehzahlen. Nach dem Aufbringen einer definierten Andruckkraft dauerte der Reibversuch von 100 s an bis ein Abbremsen der Maschinenspindel erfolgte. Die untersuchten MMS-Systeme können wie folgt charakterisiert werden:

- Gerät A: Aerosolgenerator, Druckbehälter, einkanalige Zuführung

- Gerät B: Aerosolgenerator mit integrierter Abscheidung größerer Tropfen, Dosierpumpen, einkanalige Zuführung zur Spindel
- Gerät C: Druckbehälter, zweikanalige Zuführung bis zur Drehdurchführung, Zerstäubung in einer Dralldüse, einkanalig in der Spindel
  - Gerät D: Digital einstellbarer Aerosolzerzeuger, Druckbehälter, diskrete Öl- und Luftdrosselstufen, einkanalige Zuführung zur Spindel, Überwachung der Öl- und Luftströmung

**Ergebnis:** Die Versuchsergebnisse verdeutlichten, dass die untersuchten MMS-Geräte nicht zu einheitlichen Ergebnissen führen. Es ist deutlich zu erkennen, dass Gerät A und D ein ähnliches Verhalten aufweisen. Im Mittel verlaufen die Drehmomentkurven auf einem stabilen, von Anfang an niedrigem Niveau. Der Verlauf von Gerät B zeigt dieses Verhalten nicht. Bei der Komplexität der tribologischen Vorgänge kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass Einflüsse wie Fehlerstellen oder Abrasionsprodukte der Reibkörper Auswirkungen auf den nachfolgenden Prozessverlauf haben. Gerät C weist ein vergleichsweise höheres und zudem instabileres Niveau des übertragenen Drehmomentes auf, welches sich insbesondere in den ersten Sekunden als deutlich überhöht und damit als schlechte Schmierung darstellt.

### 11.3 Institut für Produktionstechnik (wbk), Universität Karlsruhe

Die insgesamt 9 Praxisseminare (in 2000 – 2002) des wbk waren mit je 50-70 Teilnehmern sehr gut besucht. Das Interesse der Industrie zeigte sich hier über den gesamten Projektverlauf in ungefähr gleich bleibender Stärke, auch blieb die Teilnehmerzahl vom 2002 eingeführten Teilnehmerbeitrag unbeeinflusst. Ein ähnliches Bild zeigte sich auch bei externen Veranstaltungen (bspw. IHK oder Landesgewerbeamt), welche das wbk mit Fachvorträgen unterstützte.

Die Seminare am wbk wurden gemeinsam mit Gastreferenten aus der Forschung und Industrie so gestaltet, dass eine gute Abdeckung der am trockenen Metallbearbeitungsprozess beteiligten Fachrichtungen (z.B. Prozesstechnologie, Maschinen-ausrüstung, Minimalmengenschmierung oder auch Erfahrungsberichte erfolgreicher Anwender) erzielt wurde. Demonstrationen im Zerspanlabor wurden in das Programm mit eingebunden. Als sehr wertvoll im Rahmen der Seminargestaltung erwies sich die Zusammenarbeit mit der Süddeutschen Metallberufsgenossenschaft, SMBG. Viele Unternehmen wurden im Rahmen der Beratungsleistung der SMBG auf die

Fachseminare aufmerksam gemacht. Auch die Fachvorträge stellten einen wichtigen Baustein im Informationspaket dar. Messungen der SMBG belegen ein geringeres Gefährdungspotenzial der Minimalmengenschmierung am Arbeitsplatz im Vergleich zur Emulsionskühlung. Neben den maschinen- und prozesstechnischen Themenfeldern überzeugte diese Betrachtung der Trockenbearbeitung die Seminarteilnehmer.

Bei den Seminaren war stets die für die Metallbearbeitungsbranche im den süddeutschen Raum typische, gleichmäßige Verteilung sowohl über alle Unternehmensgrößen als auch der beteiligten fachlichen Untergruppen (z.B. Anwender, Maschinenhersteller, Absauganlagenhersteller, etc.) vertreten.

Ein weiterer Ansatz im Konzept des Technologienetzes war der Wissenstransfer zu allen Hierarchieebenen im Unternehmen, sowohl Entscheider, als auch zu den Umsetzern. Die Seminarteilnehmer am wbk entstammten allen betroffenen Bereichen (z.B. Maschinenbediener, Betriebsmittelbau, Vertriebsmitarbeiter der Werkzeughersteller bis zu Bereichs- und Geschäftsleitern).

Im Anschluss an die Öffentlichkeitsarbeit im Internet, der Fachliteratur und der Messpräsenzen, waren die Seminare meist die erste Kontaktaufnahme zum Institut. Die im folgenden beschriebenen experimentellen Betrachtungen entstanden meist im Anschluss an Seminarveranstaltungen, bzw. den daran anschließenden bilateralen Beratungsgesprächen im Unternehmen.

Die geschilderten Anwendungsfälle beziehen sich auf Untersuchungen, welche im Zeitraum der öffentlichen Förderung (2000 – 2002) des Technologienetzes Trockenbearbeitung durchgeführt wurden. Dies sollte beim dargestellten Stand der Technik berücksichtigt werden. Die Bearbeitungsversuche wurden auf dem im Rahmen des Projektes angeschafften, trockenbearbeitungsgerechten Bearbeitungszentrum „Trockenspecht 500T“ des Herstellers Cross Hüller, Ludwigsburg durchgeführt. Ausnahmen sind verfahrensbedingt lediglich die Versuche, welche auf der im Zerspanlabor verfügbaren Räummaschine des wbk durchgeführt wurden.

### **11.3.1 Beratungsbeispiel 1: Fräsen einer tiefen Nut, Hulan**

#### **Ausgangssituation**

Im Auftrag eines Automobilzubehörherstellers erstellt ein Ingenieurbüro ein Konzept zur Einführung der Trockenbearbeitung. Als Zielwerkstück wurden Felgenschlösser

ausgewählt. Die Felgenschlösser bestehen aus einer Schraube, welche nach der Kaltumformung spanend bearbeitet wird. In den Kopf der Schraube wird eine Nut gefräst, welche einen individuellen Verlauf am Schraubenkopf hat. Diese Schlüsselgeometrie stellt am Endprodukt sicher, dass jedes Felgenschloss nur mit dem passenden Schlüssel geöffnet werden kann. Motivation zur Trockenbearbeitung waren die vom Kühlschmierstoff verursachten Kosten, vor allem Be- und Entsorgung.

### **Vorgehensweise**

Die Schlüsselnut stellt bei der Bearbeitung des Felgenschlosses die für die Trockenbearbeitung anspruchsvollste Operation dar. Die Nut ist 2mm breit und 3,1 mm tief. Werkstoff der Felgenschlossschrauben ist 23MnB4.

Die hohe Anforderung liegt im sicheren Abtransport der Späne aus der Nut, um die Fertigungsqualität zu sichern und spontanen Werkzeugbruch zu vermeiden.

Zum Einsatz kamen beschichtete Hartmetall Werkzeuge.

Im Versuch wurde die absolut ungeschmierte Trockenbearbeitung mit der von Außen zugeführten Minimalmengenschmierung verglichen. Das Minimalmengenschmiergerät wurde von der Firma Steidle zur Verfügung gestellt. Steidle engagiert sich im Arbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung“, kurz TroiA. Gemeinsam mit Steidle wurde ein zum Gerät passendes und für die Stahlbearbeitung entwickeltes Öl der Fa. Ölheld ausgewählt.

Aufgrund der bei der Stahlbearbeitung auftretenden hohen thermischen Belastung wurde die absolut ungeschmierte Bearbeitung nur zum Vergleich an einem Werkstück durchgeführt. 40 Werkstücke wurden mit Minimalmengenschmierung bearbeitet.

Versuchsprozess:

- Drehzahl:  $n = 16000$  U/min
- Bahnvorschub:  $f = 300$  mm/min
- Zustellung: Drei Kreisbahnen: bis 1,1mm Tiefe, bis 2,1mm Tiefe, bis 3,1mm Endtiefe

Versuchskriterien:

- Spanabtransport während der Bearbeitung, Sichtkontrolle

- Werkzeugverschleißbetrachtung mit Lichtmikroskop
- Innenflächen der Nut mit Lichtmikroskop
- Grat am Nutrand mit Lichtmikroskop
- Messung der Werkstückoberflächentemperatur an jedem 5. Werkstück mittels Präzisions-Kontaktthermometer

### Ergebnis

- Spanabtransport

Ohne Minimalmengenschmierung wurden die Späne nicht vom Werkstück abtransportiert. Mit Aerosolzufuhr von außen blieben keine Späne am Werkstück zurück, siehe **Abbildung 11.3.1**.



**Abbildung 11.3.1: Spanabtransport bei Erreichen der Endtiefe der Nut, links ohne MMS, rechts mit äußerer Aerosolzufuhr**

- Werkzeugverschleißbetrachtung

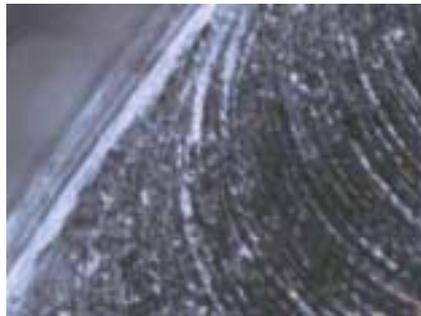
Am Werkzeug zeigte sich nach 40 Werkstücken geringe Aufbauschneidenbildung an der Hauptschneide des Fräsers sowie dünne Aufschweißung von Werkstückmaterial auf der Spanfläche im Bereich der Schutzfase der Schneidecke des Fräsers (ganz links in **Abbildung 11.3.2**).



**Abbildung 11.3.2: Ansicht der Spanfläche und Hauptschneide nach 40 Werkstücken**

- Innenflächen der Nut

Der Nutgrund erschien beim 10., 20. und 40. Werkstück gleichermaßen sauber, siehe **Abbildung 11.3.3**.



**Abbildung 11.3.3: Nutgrund des 40. Werkstückes**

- Grat am Nutrand

Die Gratbildung zeigte ebenfalls beim 10., 20. und 40. Werkstück die gleiche Ausprägung zwischen 120 und 130 µm.

- Werkstückoberflächentemperatur

Die Werkstücke hatten alle vor der Bearbeitung eine Ausgangstemperatur von 21,2 – 21,9°C. Bei ungeschmierter Bearbeitung wurde anschließend eine Temperatur von

47°C gemessen. Bei Einsatz der Minimalmengenschmierung wurden an jedem 5. Werkstück ein Temperaturanstieg um 12K ( $\pm 1$ K) gemessen. Die Temperaturerhöhung zeigte keinen Bezug zur Anzahl der bearbeiteten Werkzeuge.

- **Fazit**

Die Minimalmengenschmierung von außen ermöglicht einen sicheren Spanabtransport. Auch der Nutgrund bleibt sauber und zeigt keine Anzeichen für eventuelle Spanklemmer.

Die Gratbildung muss mit der vollstrahlgeköhlten heutigen Fertigung verglichen und bewertet werden. Grundsätzlich kann die Werkzeuggeometrie weiterentwickelt werden um den Grat zu minimieren. Auch sollten mit dem Werkzeughersteller weitere Werkzeugbeschichtungen untersucht werden, um die Aufbauschneidenbildung zu reduzieren. Hier sollte man sich ebenfalls an der Ausprägung im heutigen Nassprozesses orientieren, da kein Einfluss auf die Bearbeitungsqualität bei der optischen Kontrolle und auch kein Anstieg der Werkstückendtemperatur beobachtet werden konnte.

Die Temperaturmessung zeigt den Einfluss der Minimalmengenschmierung in dieser Anwendung sehr deutlich. Ebenso wird belegt, dass keine für die Werkstückhandhabung im Betrieb kritischen Temperaturen zu erwarten sind. Die erreichten Temperaturen müssen vom Kunden noch in Bezug auf die Toleranzen am kompletten Werkstück bewertet werden. Hierzu lagen am Institut keine Daten vor.

Die Ergebnisse dieses Stichversuches sind positiv für eine Umsetzung der Trockenbearbeitung an diesem Werkstück. Der Anwender kann mit diesen Ergebnissen eine Komplettbearbeitung im Sinne der Hauptzeiten gegenrechnen und über Standzeituntersuchungen und Optimierung der Werkzeuge entscheiden.

### **11.3.2 Beratungsbeispiel 2: Bohren von C45**

#### **Ausgangssituation**

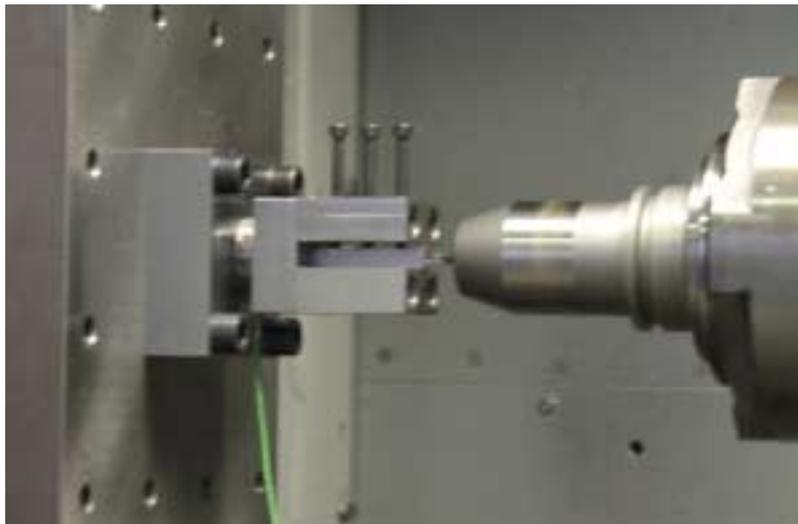
An Verbindungselementen für Wellen stellt ein Ölbohrung die für die Trockenbearbeitung kritische Operation dar. Die Bohrung des Durchmessers 4mm hat eine Länge von 40mm. Bei einer Bohrung ins Volle mit dem Länge-Durchmesser-Verhältnis 10 stellt die Spanabfuhr bei Trockenbearbeitung einen sehr hohen Anspruch an die Werkzeuggestaltung. Zusätzlich besteht eine sehr hohe thermische Belastung an der

Bohrerspitze, welche vor allem die Schneidecke gefährdet. Der Werkstoff in dieser Anwendung war C45.

Im Unternehmen wurden bereits erste Versuche zu dieser Anwendung durchgeführt. Da die laufende Produktion weitere Versuche im eigenen Haus nicht zuließ, trat man an das Technologiezentrum wbk heran. Es sollten vergleichende Untersuchungen mit Bohrern verschiedener Hersteller durchgeführt werden. Um den Bohrprozess genauer beobachten zu können, wurden Drehmomentmessungen durchgeführt.

### **Vorgehensweise**

Um die Entwicklung des Schneideckenverschleißes zu beobachten wurden Durchgangsbohrungen in einen 40mm starken Stahlklotz mit überfrästen Oberflächen eingebracht. Die Drehmomentmessungen wurden mit einer Vorrichtung für kleine Werkstückproben durchgeführt. Diese Vorrichtung ist mit einer piezoelektrischen Drehmomentmessdose ausgerüstet. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung dargestellt.



**Abbildung 11.3.4: Versuchsaufbau zur Drehmomentmessung**

Im Versuchsfeld befanden sich 8 unterschiedliche Bohrer von 4 verschiedenen Herstellern. Bei allen Bohrern handelte es sich um markterhältliche Modelle, welche von den Werkzeugherstellern trockenbearbeitungsgerecht gestaltet sind. Die Drallwinkel der Wendelbohrer lagen alle im Bereich von ca. 30-40°. Spannuten werden möglichst groß ausgelegt und teilweise poliert um einen optimalen Spanabtransport zu ermöglichen. Die Bohrer sind stärker verjüngt, als ihre Brüder von der Nassbearbeitung um die mit der Erwärmung stärkere Ausdehnung zu berücksichtigen. Zum Einsatz kommen aktuelle Hartmetalle, mit besonders hitzebeständigen Beschichtungssystemen.

Viele der ursprünglich für die Trockenbearbeitung entwickelten Schneidstoffe finden sich aufgrund extremer Verschleißbeständigkeit heute auch in der Nasswelt wieder, obwohl bei der Nassbearbeitung der Thermoschock einen deutlich ungünstigeren Verschleißmechanismus darstellt. Der geringe Durchmesser von 4mm bedingt, dass die Bohrer mit gewendelten inneren Kanälen zur Zufuhr des Minimalmengenschmieraerosols ausgestattet sind. Diese sind an der Bohrerspitze allerdings deutlich anders geöffnet als Nassbohrer. Die Öffnungen zielen auf eine sichere Versorgung der Reibungsstellen am Schneidkeil und öffnen sich auch in Richtung der Spannut und der Führungsfase.

Drehmomentmessungen wurden unter Variation der Schnittparameter durchgeführt. Die Messkurven wurden vor allem auf einen guten Spanabtransport hin untersucht. Untersucht wurden Schnittgeschwindigkeiten von 60 – 180m/min und Vorschübe von 0,07 – 0,15mm/U. Auch wurde das Spanbild bei allen Variationen untersucht.

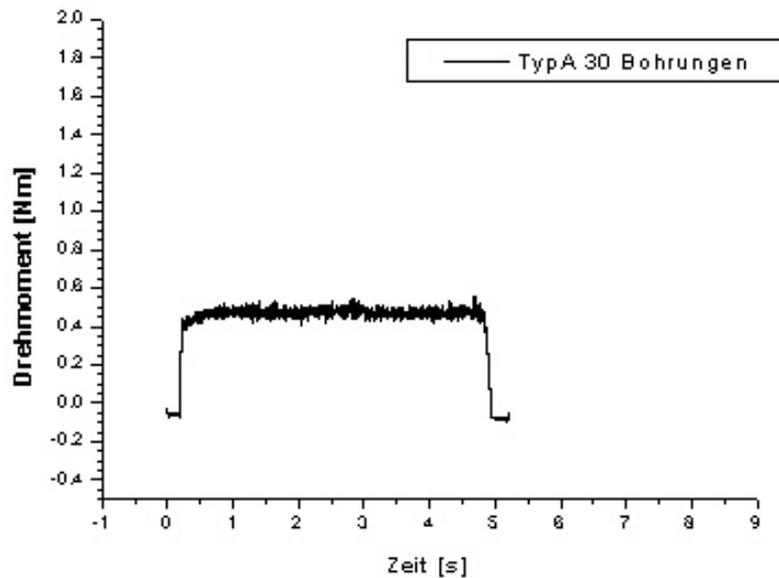
Für eine Standzeitreihe wurden 2 Bohrer unterschiedlicher Hersteller ausgesucht, die über die meisten Parameterkombinationen einen sauberen Spanabtransport bewiesen. Die beiden Bohrer wurden bei  $v_c = 90\text{m/min}$  und  $f = 0,07$  je 200 Bohrungen lang getestet.

### Ergebnisse



**Abbildung 11.3.5: Kurzbrechende Wendelspäne**

Eine für die Späneförderung optimale Spanform (kurze, mindestens 1 mal vollständig geschlossene Spanwendel), wie in **Abbildung 11.3.5** gezeigt, konnte mit 2 Bohrwerkzeugen erreicht werden.



**Abbildung 11.3.6: Drehmomentkurve bei  $v_c = 90$  m/min und  $f = 0,07$  mm/U**

Der Verlauf der Drehmomentkurven belegt, dass auch ohne Ausspanzyklen eine saubere Späneförderung erreicht wird.

Bei den Standzeitreihen erreichten beide Bohrwerkzeuge 220 Bohrungen. Allerdings zeigten sich in den Drehmomentverläufen, welche nach 5, 15, 30, 55, 110, 220 Bohrungen aufgezeichnet wurden, bei beiden Bohrern einzelne Kurven welche kurzzeitige Drehmomentsteigerungen enthielten.

An beiden Werkzeugen zeigte sich hauptsächlich Verschleiß der Schneidecke. Dies ist vor allem auf die hohe thermische Belastung der Schneidecke bei der Stahlbearbeitung zurückzuführen. Auch wurden an allen Versuchswerkzeugen Reste verbrannten Minimalmengenschmiermittels gefunden.

Das Fazit der Untersuchungen lässt sich folgendermaßen zusammenfassen. Der Spanabtransport in dieser Anwendung ist kritisch. Die Versuchsreihe hat gezeigt, dass 2 Werkzeuge unterschiedlicher Hersteller trotz eines suboptimalen Minimalmengenschmieröls (zu geringe Hitzebeständigkeit) ein für die Weiterentwicklung dieses Prozesses positives Ergebnis erreichten.

Die Weiterentwicklung mit den beiden erfolgreichen Werkzeugen sollte folgendermaßen ablaufen:

Auswahl eines entsprechend hitzebeständigen Minimalmengenschmiermediums.

Mit dem neuem Medium muss der durch die Hitzebelastung stark beeinflusste Verschleiß der Bohrerschneidecken neu betrachtet werden. Bei einwandfreier Minimalmengeschmierung kann der Schneideckenverschleiß mittels Variation der Schnittparameter minimiert werden und mit Hauptzeiten und Standzeiten der Nassfertigung verglichen werden. Da zum Zeitpunkt der Versuche (2002) intensive Entwicklungsarbeiten der Werkzeughersteller stattfinden sollten deren neue Lösungen bei Schneidstoffen, Beschichtungen sowie Geometrieoptimierungen in kurzen Abständen abgeglichen werden.

### **11.3.3 Beratungsbeispiel 3: Vergleichende Untersuchungen von Minimalmengenschmiergeräten**

**Ausgangssituation:** Bei der Konfiguration neuer Maschinen wird das Minimalmengenschmiergerät auf die Anforderungen der Anwendung beim Kunden hin passend ausgewählt. Die Entscheidungsbasis für diese Auswahl sollte ausgebaut werden, um im Kundenauftrag die Effizienz und Sicherheit bei der Maschinenkonfiguration weiter auszubauen.

**Vorgehensweise:** Die Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Systeme und Konzepte wurden im Versuch an wirkstellennahen Kriterien beurteilt. Oberstes Ziel ist die optimale Versorgung der Wirkstellen, Schneidkanten und Reibungsflächen im Zerspanprozess. Diese wurden unter den Anforderungen eines automatisierten Komplettbearbeitungsprozesses betrachtet. Die Versuche wurden dazu auf Aussagen zur Reaktion der am Werkzeug anliegenden Schmierung auf die Dosiereinstellungen des Systems ausgerichtet. Getestet wurden Ansprechzeiten, Änderungen des Aerosolvolumens für verschiedene Werkzeuge und eine hohe Systembelastung, wie sie beispielsweise bei der Versorgung von großen Stufenwerkzeugen auftritt.

Im Versuchsfeld befanden sich mehrere Systeme zur Versorgung des Werkzeugs zentral durch die Spindel. Den Systemen, welche Luft und Schmierstoff zweikanalig bis möglichst nah ans Werkzeug getrennt zuführen, wurde zum Vergleich ein einkanaliges System gegenübergestellt. Letzteres Prinzip zeichnet sich durch den deutlich geringeren technischen Aufwand aus, muss allerdings den Nachteil der langen Zufuhrstrecke von der Mischstelle außerhalb der Maschinenaktorik bis zur Werkzeugspitze und das damit vorhandene Risiko der Entmischung des Aerosols auf diesem Weg kompensieren.

Für den Systemvergleich wurde folgendes Versuchsprogramm durchgeführt:

#### Dosiermenge

Feststellung der maximalen Dosiermenge, Erkennen von Abhängigkeiten (Luftdruck, Temperatur, Kühlkanalquerschnitte, usw.)

#### Trägerluftdurchsatz

Test auf maximalen Durchsatz. Bei großen Werkzeug-Austrittsquerschnitten wirkt letztendlich die Hauptspindel als Begrenzung (Drosselstrecke)

#### Spraytest

Brauchbare Methode um Ansprechzeiten und konstante Ausbringung zu testen, indem eine Sprühspur (auf einer schwarzen Gummitafel) ausgewertet wird. Eine absolute Objektivität ist nicht möglich. Momentan ist jedoch kein System auf dem Markt vorhanden, welches uns in vertretbarem Aufwand (Investitionskosten, Anwendbarkeit, Zeitaufwand) ermöglicht, exaktere Aussagen zu erhalten.

#### Bearbeitungsversuch

Ziel ist es, die Funktionalität eines Werkzeuges zu beweisen, wenn Volumenstrom-Aufteilung auf viele Austrittskanäle (Nockenwelle, Kurbelwelle, Multifunktionswerkzeuge) gegeben ist. Gesucht sind Erkenntnisse in Richtung auf die häufig geführte Diskussion, welche Ölmengen für bestimmte Prozesse tatsächlich benötigt werden – möglicherweise sind bei Einkanal-Systemen (kleinere Öltröpfchen) geringere Ölmenngen praktikabel (Argumentation der Hersteller von Einkanalssystemen).



**Abbildung 11.3.7: Bearbeitungsversuche in AlSi9 Cu3**

Abbildung 11.3.7 zeigt ein Stufenwerkzeug mit vergleichsweise hohem Aerosolverbrauch welches bei 9680 U/min (225 m/min Schnittgeschwindigkeit) und 2000 mm/min Vorschub sicher mit Schmierstoff versorgt wurde.

**Ergebnisse:** Die auffälligsten Unterschiede zeigten die Systeme in der Reaktionszeit auf Dosierungsänderungen. Dabei ließen sich die Haupteinflussgrößen auf die Reaktionszeiten den konstruktiven Ausführungen der Systeme eindeutig zuordnen. Abhängig von der Gestaltung der Systeme zeigte sich auch der Einfluss der Öltemperatur auf die Dosierung, bzw. die Möglichkeit zur Beeinflussung des Luftdurchsatzes.

Beim Bearbeitungsversuch zeigte sich eine Abhängigkeit der Ölversorgung am Werkzeug von der gesamten Zufuhrkette, bestehend aus Werkzeuggröße, Kanalgestaltung im Werkzeug und Minimalmengenschmiersystem. Das System muss in enger Zusammenarbeit von Werkzeug-, Maschinen- und Systemhersteller und unter Kenntnis aller gewünschten Anwendungen des Kunden ausgelegt werden.

#### **11.3.4 Beratungsbeispiel 4: Trockenbearbeitung von Aluminiumussteilen**

**Ausgangssituation:** Bei dem zu beratenden Kunden handelte es sich um einen mittelständischen Automobilzulieferer aus Baden Württemberg. Das Unternehmen hat sich mit ca. 200 Mitarbeitern hauptsächlich auf die Zerspanung von Aluminiumbauteilen spezialisiert. Im Verlaufe der Firmengeschichte konnte erhebliches technologisches Wissen im Bereich der Zerspanung gegossener Aluminiumbauteile erlangt werden. In der Vergangenheit wurden bereits einfache Drehprozesse durch Anpas-

sung des Schneidstoffes auf PKD in Eigenregie komplett trocken gelegt. Teilweise konnte hierbei gezielt das Know-how von Werkzeugherstellern umgesetzt werden. Aus Gründen der Kostensenkung in der Produktion (Bauteilreinigung, Stillstandszeiten der Maschine) und der Mitarbeitermotivation durch eine Verbesserung des betrieblichen Arbeitsumfelds sollten die Möglichkeiten der Trockenbearbeitung und MMS zu einer verbreiteten Umsetzung in der Produktion weiter verfolgt werden.

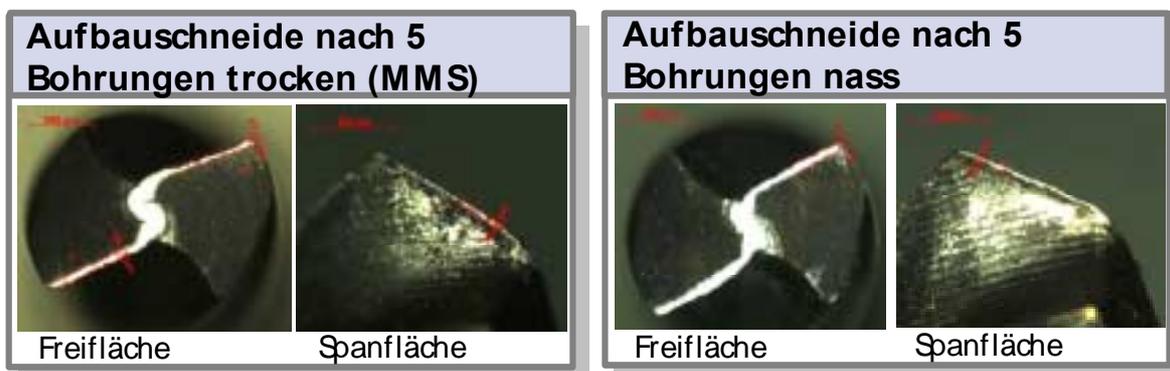
Für die weiterführende exemplarische Trockenlegung der Produktion wurde ein Konstruktionselement aus dem Automobilbau zum Einsatz in Getrieben ausgesucht. Das Bauteil beinhaltet: Eine Fräsbearbeitung mit Oberflächenansprüchen bis Rz 16 und einer Stichmaßtoleranz von  $2/100$  mm, weiterhin wurden eine geriebene vorgegeosene Bohrung mit Durchmesser 16 H7 und eine Bohrung ins Volle mit Durchmesser 6 H7 untersucht, sowie als kritischsten Trockenlegungsprozess. eine Bohrung mit einem Durchmesser von 2 mm und einem I/D Verhältnis von 15. Das Bauteil bestand aus dem Werkstoff GD Al Si9 Cu3. Da die Maschinen des Anwenders über keine innere Kühlschmierstoffzuführung verfügten wurde als Randbedingungen die Bearbeitung auf einem vertikalen Bearbeitungszentrum mit äußerer MMS festgelegt. Die maximal mögliche Drehzahl betrug 8000 U/min.

**Vorgehensweise:** Nach Aufnahme der IST-Situation wurden dem wbk vorgegossene Werkstücke für die Durchführung einer Machbarkeitsanalyse zur Verfügung gestellt. Die Vorgehensweise bei der Trockenlegung beinhaltete zunächst den Start der Zerspanversuche auf der wbk Bearbeitungsmaschine im Nassschnitt. Hierbei sollte die Übertragbarkeit der Versuche dargestellt werden. Ausgehend von dem Nassschnitt und den Nassschnittparametern wurden die Werkzeuge trocken getestet. Die jeweiligen Versuchsergebnisse bestimmten dann die weitere Vorgehensweise. Als mögliche Optimierungsparameter konnten die Schnittwerte, die Beschichtung des Werkzeugs sowie die Werkzeuggeometrie variiert werden. Bei der Untersuchung wurde der kritischste Bearbeitungsprozess, also die Trockenlegung der 2 mm Bohrung mit dem I/D Verhältnis von 15 zur Entscheidungsfindung für die Kompletttrockenbearbeitung in den Vordergrund gestellt.



**Abbildung 11.3.8: Darstellung der 2 mm Bohrung als kritischsten Bearbeitungsprozess für die Trockenlegung**

**Ergebnis:** Bei der Trockenlegung der 2 mm Bohrung hat sich im Verlauf der Versuche gezeigt, dass eine sichere Benetzung des kompletten Bohrers während der Bearbeitung zu einem prozessfähigen Ergebnis führte. Hierzu wurde der Bohrer während der Zerspanung 6 mal vollständig zum Entspannen aus der Bohrung verfahren, um dann mit einer kurzen Verweilzeit zur sauberen Benetzung wieder in die Bohrung einzufahren. Zum Einsatz kam ein TiAlN beschichteter HSS Bohrer. Die Vorteile des Schneidwerkstoffs HSS in diesem Durchmesserbereich bei der Aluminiumbearbeitung gegenüber HM Bohrer liegen in der höheren Zähigkeit des Werkstoffes. Hierdurch kann der spontane Werkzeugbruch aufgrund von Spanklemmern oder ruckartigen Kraftspitzen abgemindert werden. Die Aufbauschneidenbildung trat zyklisch auf und war weniger ausgeprägt als im Nassprozess.



**Abbildung 11.3.9: Aufbauschneidenbildung des 2mm Bohrers nach 5 Bohrungen**

Bei der Fräsbearbeitung wurde der Gabelfräser aus dem Nassprozess übernommen. Die HM Schneidplatten wurden durch PKD Schneidplatten ersetzt. Dies führte zu einer deutlichen Steigerung der Schnittgeschwindigkeit wodurch bei gleichen An-

sprüchen an die Oberfläche auch der Vorschub gesteigert werden konnte. Auf äußere MMS konnte bei dieser Bearbeitung vollständig verzichtet werden.



**Abbildung 11.3.10: Oberfläche der 16 H7 Bohrung im Trockenprozess**

Die Bearbeitung der 16H7 Reibung wurde im Nassprozess mit einer geradegenuteten 6 schneidigen HM Reibahle durchgeführt. Ausgehend von den Schnittparametern des Nassprozesses wurde dieses Werkzeug mit äußerer MMS getestet. Im Trockenprozess neigte dieses Werkzeug zu starkem Rattern. Um die Eignung des Werkzeugs für den Trockenprozess zu untersuchen, wurde zunächst eine Variation der Schnittparameter durchgeführt. Lediglich bei einer Drehzahl von weniger als 800 U/min lief die Reibahle bei nicht ausreichenden Oberflächenbedingungen stabil. Sowohl eine Steigerung der MMS-Zufuhr, als auch ein Test mit Mineralölschmierung führte nicht zur Stabilisierung des Schneidprozesses. Eine deutliche Verbesserung der Oberflächenqualität bei einer Schnittgeschwindigkeit von 350 m/min und einem Vorschub von 6 Zehntel pro Umdrehung, wurde durch den Einsatz einer spiralisierten HSS E Reibahle erreicht. Dieses Werkzeug wurde an einer größeren Anzahl von Bohrungen getestet und kann im Trockenprozess mit äußerer MMS eingesetzt werden.

Vor allem bei Trockenbearbeitungsprojekten für Aluminiumbauteile bietet sich generell PKD als Schneidstoff an. Teilweise zeigen sich Anwender diesem Schneidstoff gegenüber jedoch skeptisch, da dieser sehr teuer und empfindlich im Handling ist. Innerhalb dieses Projektes konnte die Einsetzbarkeit von HSS als Schneidstoff bei der Trockenbearbeitung als kostengünstige Alternative in der Anschaffung nachgewiesen werden. Neben der Berücksichtigung der technologischen Prozessauslegung und der Qualitätsanforderungen war bei der Einführung der Trockenbearbeitung insbesondere die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Bauteile von

Bedeutung. Die gemeinsame Zusammenarbeit mit dem Anwender ermöglicht diesem nun mit seinem Prozesswissen die eigenständige Trockenlegung weiterer Bauteile.

### 11.3.5 Beratungsbeispiel 5: Trockenräumen von Vergütungsstahl

**Ausgangssituation:** Das Verfahren Räumen gehört zu den produktivsten Fertigungsprozessen in der zerspanenden Industrie, wenn es um die Großserienherstellung von hochgenauen Bauteilen mit komplexen Geometrien geht. Geringe Ferti-



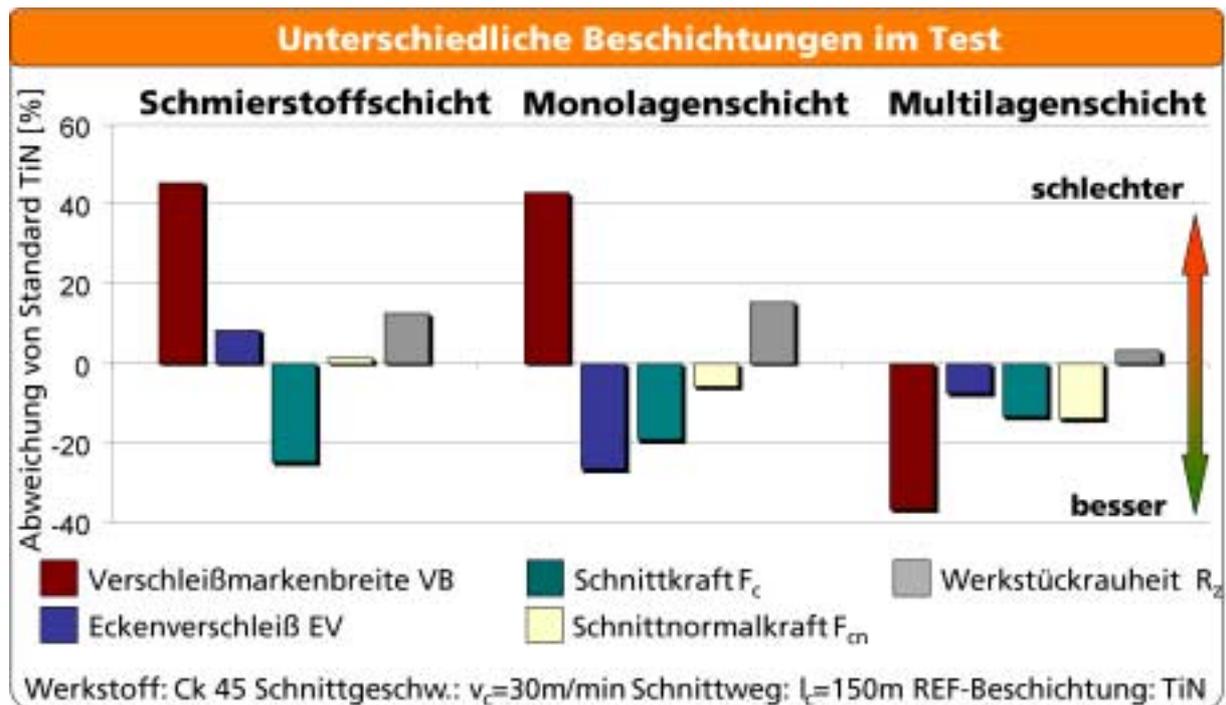
Abb. 11.3.11:  
Trockenräumen

gungshauptzeiten und robuste Maschinenteknik, in Verbindung mit geringem Steuerungsaufwand machen dieses Verfahren für ausgewählte Bauteilspektren wie Innenverzahnungen oder Lager-sitzen attraktiv. Diesen Vorteilen stehen die niedrige Flexibilität des Verfahrens selbst und die hohen Werkzeugkosten gegenüber. Da nahezu die gesamte Prozesstechnologie und das Bearbeitungsergebnis durch das Werkzeug bestimmt wird, kommt diesem eine zentrale Rolle bei der Weiterentwicklung des Verfahrens zu. In besonderem Maße gilt dies beim Trockenräumen. In Zusammenarbeit

mit der Fa. Hoffmann, einem Räumwerkzeug- und Maschinenhersteller aus Pforzheim, wurde dieses Thema aus wissenschaftlicher und produktionstechnischer Sicht aufgegriffen und erste Erkenntnisse gewonnen.

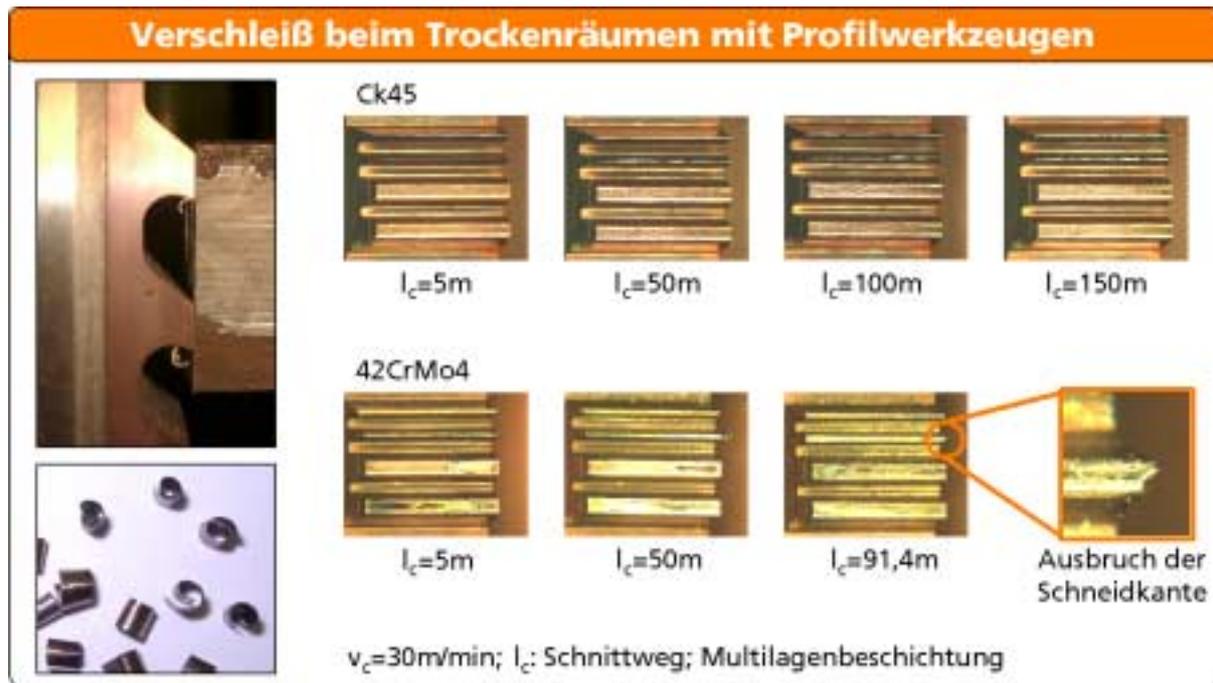
**Vorgehensweise:** Es wurden Versuchsreihen auf der institutseigenen Maschine im Außenräumenverfahren durchgeführt und dabei aussagekräftige Bearbeitungsparameter wie Werkzeugverschleiß, Zerspankräfte und Oberflächenrauheit des Werkstücks über dem Standweg dokumentiert. Um anwendungsnahe Versuchsergebnisse zu gewährleisten, wurden der Vergütungsstahl Ck45 als Versuchswerkstoff festgelegt und eine Schnittgeschwindigkeit von  $v_c=30\text{m/min}$  ausgewählt.

**Ergebnis:** Das Ziel dieses Projekts war die Auslegung und die Erprobung eines Trockenräumenwerkzeugs sowie die Untersuchung der Prozessfähigkeit bei unterschiedlichen Einsatzbedingungen. Neben der Änderung der Werkzeugwinkel sowie der Anpassung der Spanräume wurde hierbei vor allem auf die Qualität des Werkzeugsubstrats und dessen Vorbehandlung im Vorfeld der Beschichtung des Werkzeugs geachtet. Zum Einsatz kam ein pulvermetallurgisch hergestellter HSS mit einer Härte von 67 HRC welcher mit unterschiedlichen Schichtsystemen getestet wurde.



**Abbildung 11.3.12: Vor- und Nachteile unterschiedlicher Beschichtungen**

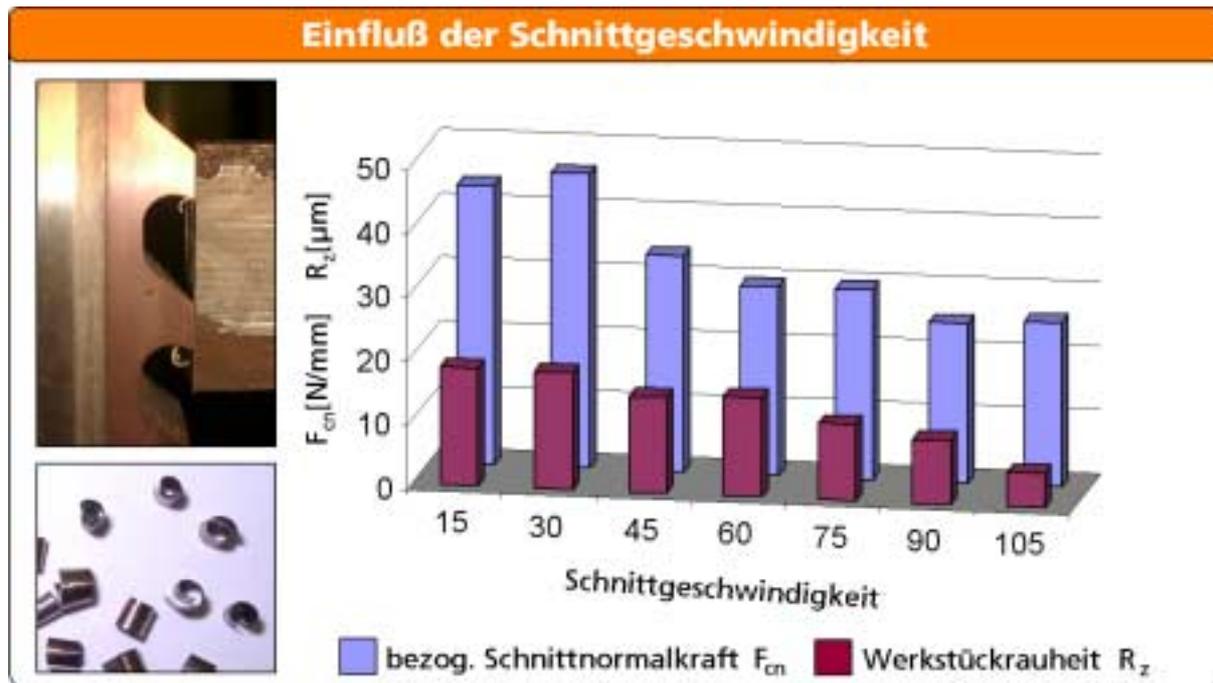
Generell eignen sich alle gängigen Schichtsysteme zum Trockenräumen, vom konventionellen TiN bis hin zu komplexen Multilagenschichten. Dabei zeigt sich, dass eine geringe Schichtdicke zu stabilen Prozessbedingungen beiträgt und Standwege von mehr als 150m in Ck45 kein Problem darstellen. Für die Zerspanung von höherfesten Stählen wie 42CrMo4 ist der Einsatz einer Multilagenschicht zu empfehlen, besonders Schichtsysteme auf TiAlN Basis konnten hier überzeugende Ergebnisse leisten.



**Abbildung 11.3.13: Verschleiß ist stark vom Werkstückmaterial abhängig**

Bezüglich der Prozesskräfte ist eine Steigerung von ca. 30% zur Nassbearbeitung festzustellen. Die erzeugten Oberflächenrauheiten nehmen vor allem zum Standzeitende, d.h. mit zunehmendem Verschleißfortschritt des Werkzeugs zu.

Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich auf die Auslotung der Leistungsgrenzen von Werkzeug und Beschichtung bei hohen Schnittgeschwindigkeiten. Erste Ergebnisse zeigen deutliche Potenziale bei der Reduzierung der Schnittnormalkräfte und der Verbesserung der Werkstückqualität.



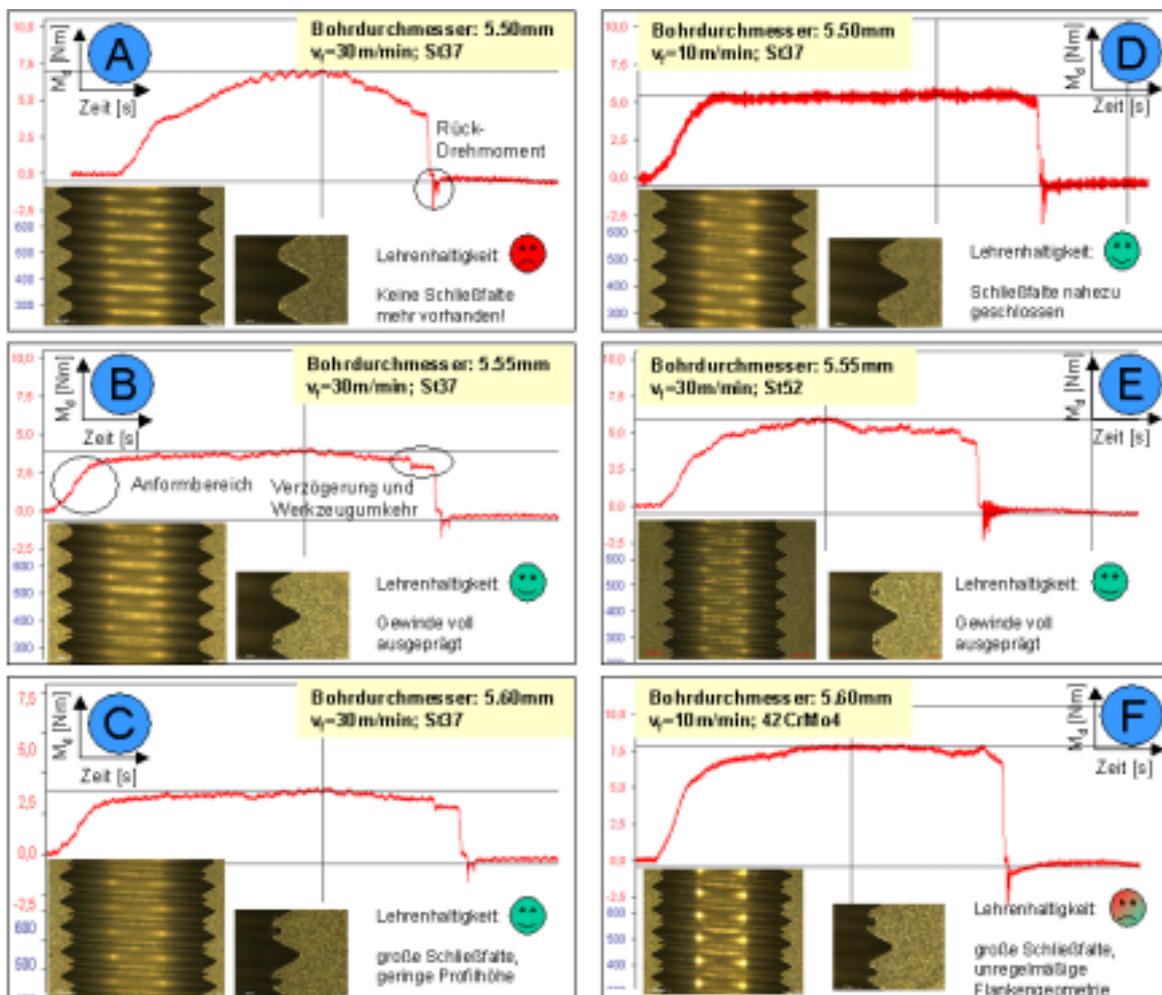
**Abbildung 11.3.14: Höhere Schnittgeschwindigkeiten begünstigen Schnittnormalkräfte und Werkstück-Rauheit**

### 11.3.6 Beratungsbeispiel 6: Gewindefurchen in St37 und St52, Werkzeugentwicklung

**Ausgangssituation:** Die Herstellung von Innengewinden kann in der Regel durch verschiedene Fertigungsverfahren erfolgen. Neben dem Gewindefräsen und dem Gewindedrehen (bei großen Durchmessern) ist das Gewindebohren die verbreitetste Verfahrensvariante, da der Prozessablauf praktisch im Werkzeug implementiert ist. Die Herstellung von Innengewinden durch das Gewindefurchen macht diesen Verfahren zunehmend Konkurrenz, da eine Abfuhr der Späne aus der Bohrung nicht erforderlich ist und somit ein, vor allem bei geringen Gewindedurchmessern prozesskritischer Parameter entfällt. Die erhöhte Reibung beim Gewindefurchen macht jedoch eine sorgfältige Auslegung des Werkzeugs und vor allem der Vorbohrdurchmessers erforderlich. Der Einsatz für die Trockenbearbeitung stellt einen weiteren kritischen Prozessparameter dar und bedingt die Abstimmung und Optimierung des Werkzeugs im Vorfeld des Prozesses.

**Vorgehensweise:** Um den Einfluss des Vorbohrdurchmessers auf das Bearbeitungsergebnis aufzuzeigen, wurde mit drei verschiedenen Durchmessern ein Innengewinde in St37 gefurcht. Hierbei betrug die Furchgeschwindigkeit  $v_f=25\text{m/min}$ , wo-

bei mit Ausgleichsfutter gearbeitet wurde. Die Versuchsergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 11.3.15: Gewindefurchen mit unterschiedlichen Prozessparametern**

Niedrigfeste Stähle eignen sich durch ihre günstigen Fließeigenschaften besonders für die Herstellung von Gewinden durch umformende Bearbeitungsprozesse. Dabei ist es jedoch erforderlich, die Kernlochbohrung dem Werkstofffluss entsprechend anzupassen. In Versuch „A“ ist zu erkennen, dass bei zu geringem Vorbohrdurchmesser die Schließfalte völlig geschlossen und somit das Gewinde überformt wird. Der Werkstofffluss wird hierdurch gestoppt und der Druck auf die Formflanken des Werkzeugs erhöht. Dadurch steigt das Drehmoment kontinuierlich an, bis das Werkzeug durch Bruch versagt oder letztendlich ein Ausreißen von Werkstoffteilchen das Gewinde zerstört. Eine prozesssichere Bearbeitung ist unter diesen Prozessparametern ausgeschlossen. Hieraus ergibt sich gleichzeitig die Forderung nach einem reproduzierbar großen und konstanten Vorbohrdurchmesser über die Standzeit des Gewin-

defurchers hinweg. Der Verschleißzustand des Bohrwerkzeugs spielt diesbezüglich eine entscheidende Rolle, da mit abnehmender Schneidenschärfe tendenziell der Bohrdurchmesser abnimmt. Auch Bearbeitungseinflüsse, welche sich auf die Grundfestigkeit der Bohrungsrandschicht auswirken - wie Reiboperationen oder stumpfe Bohrwerkzeuge - müssen vermieden werden, da der Umformprozess dadurch im Vorfeld stark eingeschränkt wird. Reduziert man die Furchgeschwindigkeit auf 10m/min, so können unter gleichen Voraussetzungen das Bearbeitungsergebnis und die Prozesssicherheit verbessert werden. Des Weiteren nimmt die Wärmeentwicklung im Prozess bei sinkender Furchgeschwindigkeit stark ab. Vergleicht man die Drehmomentkurven in Abbildung 1 von Versuch „A“ und Versuch „D“, so reduziert sich das Moment bei geringerer Furchgeschwindigkeit nur unwesentlich, jedoch bleibt der Verlauf des Moments konstant. Die Erklärung hierfür liegt in der reduzierten Wärmeinbringung durch den langsameren Umformprozess, wodurch die Adhäsionsneigung, welche zum Verkleben von Werkstoffteilchen mit dem Werkzeug führt, unterhalb eines kritischen Werts gehalten werden kann.

Erhöht man den Bohrdurchmesser bei St37 um fünf Hundertstel Millimeter auf 5,55mm (s. Versuch „B“), so ändert sich das Bearbeitungsergebnis grundlegend. Das Drehmoment ist nun während des gesamten Umformvorgangs konstant und verringert sich um ca. 50% gegenüber dem vorhergehenden Versuch „A“. Das Gewinde ist gut ausgeformt und lehrenhaltig sowohl im Kern als auch auf den Flanken. Eine weitere Erhöhung des Bohrdurchmessers auf 5,60mm (Versuch „C“) ergibt keine signifikanten Änderungen beim erforderlichen Drehmoment, jedoch vergrößert sich die Schließfalte. Die Profilhöhe reduziert sich zusätzlich, was die Tragfähigkeit des Gewindes herabsetzt und auf eine nicht vollständige Ausformung des Werkstückmaterials schließen lässt. Daraus ergibt sich für das hier verwendete Werkzeug und mit den oben angegebenen Technologiewerten ein optimaler Vorbohrdurchmesser von 5,55mm beim verwendeten St37.

Der Einsatz von St52 als Versuchswerkstoff soll die Auswirkung einer erhöhten Grundfestigkeit des Materials und den gesteigerten Werkstoffwiderstand gegen plastische Verformung auf den Umformprozess aufzeigen. Hierdurch wird das Prozessfenster, in dem der Furchvorgang stabil und vor allem sicher abläuft, eingeschränkt, das heißt, dass geringe Änderungen der Randbedingungen zum Versagen des Werkzeugs oder zu einer Qualitätsverschlechterung des erzeugten Gewindes führen

können. Als kritisch sind hier vor allem Vorbohrdurchmesser und Furchgeschwindigkeit zu nennen. Gewindefurchen in St52 ist im Gegensatz zum St37 mit einem Vorbohrdurchmesser von 5,50mm auch bei niedrigen Umformgeschwindigkeiten nur bedingt möglich. Erhöht man den Durchmesser auf 5,55mm so ist dieser Prozess stabil. Der direkte Vergleich von Versuch „B“ und Versuch „E“ in Abbildung 1 zeigt, dass Drehmoment und Schließfalte bei St52 gegenüber St37 werkstoffbedingt steigen, die Gewindegüte und Regelmäßigkeit des Gewindes jedoch sehr gut sind.

Geht man zu höherfesten Stählen, z.B. 42CrMo4 über, so ist das Furchen von Gewinden nur mit großzügig bemessenem Vorbohrdurchmesser und niedrigen Umformgeschwindigkeiten möglich. Aus diesem Grund wurde der Vorbohrdurchmesser auf 5,60mm erhöht und die Furchgeschwindigkeit auf 10m/min gesenkt. Das Ergebnis ist in Abbildung 1, Versuch „F“ dargestellt. Dabei stellen die reduzierten Fließ Eigenschaften des Vergütungsstahls nicht das alleinige Kriterium für die Qualität des Gewindes dar, vielmehr ist dies auf ein, nicht auf diesen Werkstoff angepasstes Werkzeug, zurückzuführen. Betrachtet man das hohe Drehmoment, welches erforderlich ist, so kann diese Aussage unterstützt werden. Durch gezielte Eingriffe in die Formergeometrie wurden mit modifizierten Werkzeugen erste Fortschritte erreicht.

**Ergebnis:** Das Verfahren Gewindefurchen eignet sich vor allem für duktile Werkstoffe und für den Einsatz in der Serienproduktion. Besonders prädestiniert sind Bauteilspektren welche mehrere Gewindeoperationen aufweisen, große Gewindelängen erfordern und hohe mechanische Anforderungen an das Gewinde selbst stellen. In den grundlegenden Untersuchungen zum Gewindefurchen zeigten sich vor allem der Vorbohrdurchmesser und die Schmierungsverhältnisse als entscheidendes Kriterium für die Prozesssicherheit und die Bearbeitungsqualität. Eine reine Trockenbearbeitung ist nur bei niedrigen Furchgeschwindigkeiten und duktilen Stählen wirtschaftlich und prozesssicher möglich. Werkstoffe mit höherfesten Eigenschaften erfordern eine Minimalmengenschmierung um die Reibungswärme zu reduzieren. Eine individuelle Anpassung an das jeweilige Bauteil erhöht nicht nur die Qualität des Bearbeitungsergebnis, sondern bringt auch deutliche Standzeitvorteile. Durch die Fortführung der Arbeiten sollen die erhaltenen Erkenntnisse in die Entwicklung neuer Werkzeuge und Anwendungen einfließen und bestehende Produkte optimiert werden.

### 11.3.7 Beratungsbeispiel 7: Empfängerkammer Gasanalysegerät

**Ausgangssituation:** In Gasanalysegeräten, wie sie beispielsweise von der Abgasuntersuchung an Kraftfahrzeugen bekannt sind, wird das Gas in der so genannten Empfängerkammer mittels Infrarottechnik und Präzisionsdruckmessung (Messung von Druckdifferenzen in der Größenordnung von  $1/10 \mu\text{bar}$  !) analysiert.

Dieses Bauteil besteht aus Al Mg Si 1 F28. Die zentrale große Kammerbohrung ist vorgeschmiedet und wird anschließend spanend bearbeitet.

Bei der Montage des Endproduktes werden die Bohrungen der Kammer mit Glasdeckeln verschlossen. Die Verklebung der Glasdeckel erfordert im Anschluss an die spanende Bearbeitung eine sehr aufwendige Bauteilreinigung um die Kühlschmieremulsion soweit zu entfernen, dass die Verklebung über eine Betriebszeit der Empfängerkammer von ca. 10 Jahren absolut undurchlässig bleibt.

Das Bauteil wird bei einem kleinen Auftragsfertigungsunternehmen gefertigt. Die Motivation zur Trockenbearbeitung ist, die Reinigungsaufwände durch absolut ungeschmierte Bearbeitung bzw. den Einsatz besser abzureinigender Minimalmengenschmiermedien einzusparen bzw. zu verringern.

**Vorgehensweise:** Die zylindrischen Innenwände der zentralen Kammer müssen spezielle Reflexionseigenschaften gegenüber der Infrarotstrahlung aufweisen. Die Schultern an der Kammeröffnung stellen die späteren Klebeflächen dar. Für die Versuche im Zerspanlabor wurde die Bearbeitung daher auf die zentrale Bohrung vereinfacht, siehe **Abbildung 11.3.17**.



**Abbildung 11.3.17: Vereinfachte Versuchsbearbeitung im Zerspanlabor**

Eine absolut ungeschmierte Bearbeitung von Aluminium Knetlegierung ist nach dem Stand der heutigen Werkzeugtechnik nur durch Fräsen mit aufgelöteten PKD Platten

möglich. Dieser vollständige Verzicht auf Schmierstoffe würde allerdings in dieser Anwendung einen sehr hohen Einspareffekt bewirken. Da die Werkzeughersteller jüngst einige sehr aussichtsreiche Entwicklungen beschichteter Hartmetalle zur Aluminiumbearbeitung hervorgebracht haben, wurden auch diese in das Versuchsfeld mit aufgenommen. Der als Polykristalliner Diamant (PKD) vorliegende Kohlenstoff hat im Zerspanprozess keine Affinität zu Aluminium. Dieser Effekt soll auch in verschiedenen Beschichtungskonzepten für Hartmetallwerkzeuge genutzt werden. Dazu zählen die extrem dünne CVD-PKD-Beschichtung, die Diamond-Like-Carbon (DLC) Beschichtung und auch die Mischung aus Wolframcarbide und Kohlenstoff (WCC). Hartmetallwerkzeuge bieten den Vorteil, dass ein weit positiverer Spanwinkel geschliffen werden kann, als beim klassischen PKD Werkzeug. Dadurch wird das Aluminium weniger im Schnitt verformt und somit weniger thermisch beansprucht, dies kann die bekannte Verschweißung mit dem Werkzeug mindern.

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse bestätigen, dass eine absolut ungeschmierte Bearbeitung der Kammerinnenfläche durch Zirkularfräsen mit PKD Werkzeugen möglich ist. Ebenso ist dies mit hochpositiven Vollhartmetallfräsern zu erreichen. Im Versuch gab es geringe Aluminiumanhaftungen an den beschichteten Werkzeugen. Dies stellt einen enormen Entwicklungsschritt gegenüber den 90er Jahren dar. Damals verklebten sich die Spannuten der Fräser in Alu-Knetlegierungen ohne MMS stets in kürzester Zeit.



**Abbildung 11.3.18: Von links nach rechts: Schlichtfräser nach 30 Proben: Vollhartmetall mit DLC-Beschichtung, Schruppfräser nach 150 Proben: Vollhartmetall Feinstkorn unbeschichtet, beide Herst. Fa. Kennametal Hertel; PKD Schafffräser, Herst. MAPAL**

Wichtig bei dieser Anwendung ist der Unterschied zwischen Schruppen und Schlichten. Bei der Schruppbearbeitung ist der Quetschanteil an der deutlich größeren Spanungsquerschnitten geringer, dies erklärt den Erfolg des unbeschichteten Fräasers. Bei den kleinen Spanungsquerschnitten der Schlichtbearbeitung in den hier geforderten Oberflächenqualitäten nimmt die Verklebungsgefahr sehr stark zu. Die Mikrogeometrie der Schneidkante, die Beschichtung und die Schnittwerte müssen viel aufwendiger aufeinander abgestimmt werden.

Unter Berücksichtigung der kinematischen Rauheit und der Cavität der Innenzylinderoberfläche wurden Oberflächenrauheiten von  $0,9 - 2,3 \mu\text{m}$  mit den Vollhartmetallwerkzeugen wie mit dem PKD-Schafffräser erreicht.

In Besprechungen gemeinsam mit dem Gerätehersteller und dem Auftragsfertiger wurde folgende Vorgehensweise ermittelt:

Die im Vergleich zur Serie geringe Anzahl von Versuchswerkstücken zeigt, dass Vollhartmetallfräser in dieser Anwendung nicht frühzeitig versagen, es muss in Feldversuchen noch geklärt werden, ob die Vollhartmetallfräser auch bei hohen Stückzahlen verklebungsfrei bleiben und damit eine wirtschaftliche Alternative darstellen. Sollte dies nicht der Fall sein, stehen die deutlich teureren aber nachgewiesenermaßen adhäsionsfreien PKD-Werkzeuge als Rückfallebene zur Verfügung.

Sollten bei der Komplettbearbeitung in den in diesen Versuchen nicht betrachteten Operationen neue Verklebungsprobleme auftauchen, so stellt die Minimalmengenschmierung hier eine weitere Rückfallebene dar. An das Minimalmengenschmiermedium sind im Zerspanprozess geringere Anforderungen gestellt, als an eine Emulsion, da es als Verbrauchsmedium eingesetzt wird. Daraus ergeben sich deutliche Freiheiten, um mit weniger Reinigungsaufwand erfolgreich zu sein und den Einspar-effekt des Verzichtes auf Vollstrahlkühlung im Unternehmen zu nutzen.

### **11.3.8 Beratungsbeispiel 8: Fräsen von Aluminium Knetlegierungen, Temperaturmessungen**

**Ausgangssituation:** Ein Auftragsfertiger stellt Konstruktionselemente aus Aluminium-Knetlegierungen in mittleren Losgrößen (50 - 300 Stk.) her. Diese Werkstücke unterscheiden sich meist nur geringfügig. Hauptanforderungen sind Elemente mit präzisen Anlageflächen, welche in einigen Varianten vorkommen. Die in die

Werkstücke einzubringenden Verschraubungsbohrungen haben ein geringes Länge-Durchmesser-Verhältnis und sind für eine Trockenbearbeitung mit Minimalmengenschmierung unkritisch. Das Unternehmen plant die Beschaffung eines neuen Bearbeitungszentrums für die Aluminiumbearbeitung. Um die Entscheidung über eine trockenbearbeitungsgerechte Maschine zu fällen sollte der Wärmegang am Werkstück in einer Versuchsbearbeitung am wbk untersucht werden.

**Vorgehensweise:** Im Versuch wurde eine, dem Realfall entsprechende, Bearbeitung nachgestellt: An einem Aluquader wurde erst mit hohen Schnittwerten und hohem Zerspanvolumen eine Schruppbearbeitung durchgeführt, anschließend wurde das übrige Profil geschlichtet. An den Außenflächen des Quaders wurden Thermoelemente aufgeklebt, um den Wärmegang mit verschiedenen Positionen relativ zur Bearbeitung zu beobachten. Um die Umgebung einzuschätzen, wurden die Temperaturen der Schraubstockbacken und der Luft im Maschinenarbeitsraum gemessen.

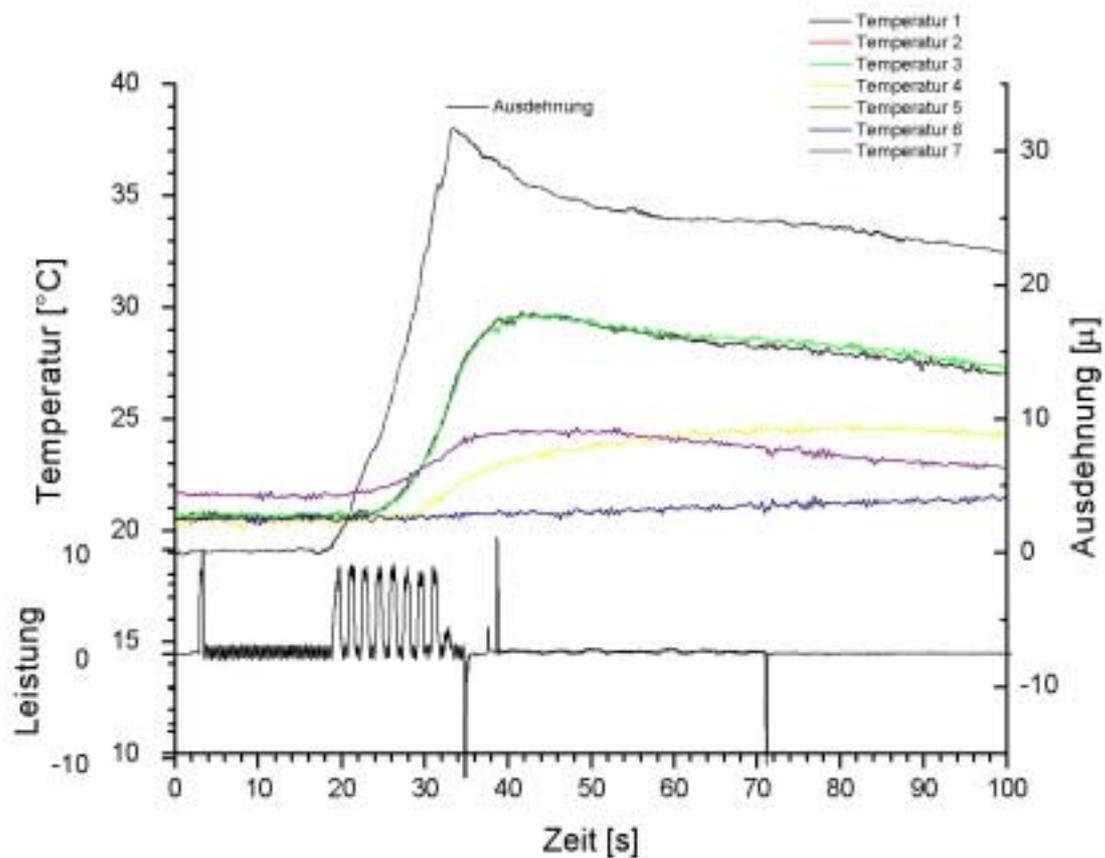
Der Aluquader war im Schraubstock eingespannt. Die thermisch bedingte Ausdehnung fand damit nur in x-Richtung statt und wurde mit 2 am linken und rechten Werkstückende angebrachten induktiven Weggebern gemessen.



**Abbildung 11.3.19: Mit Thermoelementen und Wegsensoren bestücktes Versuchswerkstück am wbk**

Um den Temperaturverlauf anschließend dem Prozess zuordnen zu können wurde der Leistungsbedarf der Spindel ebenfalls mitgeschrieben.

### Ergebnis:



**Abbildung 11.3.20: Ergebnisse der Temperatur- und Ausdehnungsmessung am Versuchswerkstück**

Die Kurven 1-3 zeigen die Erwärmung am Werkstück. Während der zerspanungsintensiven Schruppbearbeitung ( $t=18\text{s} - t=35\text{s}$ ) steigt diese um 10K an. Während der Schlichtbearbeitung ( $t=35\text{s} - t=72\text{s}$ ) ist kein weiterer Temperaturanstieg zu beobachten.

Die Ausdehnung läuft der Temperaturkurve voraus. Dies hängt mit der Lage der Sensoren zusammen. Die Temperatursensoren liegen auf der von der Bearbeitung abgewandten Werkstückseite. Damit wird die Temperaturmessung durch das Werkstückmaterial gedämpft.

Kurve 7 zeigt die Lufttemperatur im Arbeitsraum, bei ausgeschalteter Absaugung. Eine entsprechende ausgelegte Absaugung ist bei der Trockenbearbeitung von Aluminium unbedingt notwendig. Die Sensoren 4 und 6 sind an den Spannbacken befestigt. Sie belegen, dass auch hier ein deutlicher Wärmetransport stattfindet. Dies ist hier zu beachten, da bei einer Kleinserienfertigung vermutlich kein stationärer Zustand erreicht wird und somit die Gefahr eines gekühlten Werkstückbereichs und damit einer ungerichteten Deformation des Werkstückes gegeben ist.

Das Unternehmen vergleicht die Ergebnisse mit den Anforderungen an seine Werkstücke um eine fundierte Entscheidung über eine mögliche Trockenbearbeitung in der Produktion treffen zu können.

### **11.3.9 Beratungsbeispiel 9: Bohrung Durchmesser 8mm; Länge 100mm in 42CrMo4 und St 52**

**Ausgangssituation:** Ein Hersteller von Maschinen für die Blechbearbeitung möchte die Verschmutzung im Maschinenumfeld verringern. Besonders großflächige Bauteile und die langen Biegewerkzeuge verschleppen große Mengen von Kühlschmierstoff in der Halle. Umgerüstet werden soll ein offenes Bearbeitungszentrum, auf dem einige Fräsoperationen und die Befestigungsbohrungen eingebracht werden. Werkstoff der meisten Biegewerkzeuge ist 42CrMo4. Weitere Werkstücke sind aus St52. Dieser Werkstoff hat eine eher schwankende Qualität, gelegentlich neigt eine Materialcharge zu langen Spänen.

Die Fräsbearbeitung von Stahl ist mit Minimalmengenschmierung als unproblematisch zu betrachten, meistens werden aufgrund der wegfallenden Thermoschockbelastung der Hartmetallwerkzeuge höhere Schnittgeschwindigkeiten gefahren und höhere Standzeiten erzielt.

Lediglich der sichere Spanabtransport aus tieferen Bohrungen kann hier über die Nutzung der Trockenbearbeitung entscheiden.

**Vorgehensweise:** Um die unterschiedlichen Materialqualitäten beim St 52 zu berücksichtigen wurden über ein halbes Jahr lang 5 Materialproben unterschiedlicher Lieferungen und Herkunft zurückgelegt und anschließend im Zerspanlabor des wbk bearbeitet. Ausgewählt wurde eine Bohrung mit Durchmesser 8 mm und Länge 80mm.

Ein Bohrerhersteller, der auch im heutigen Arbeitskreis „Trockenbearbeitung in der industriellen Anwendung – TroiA“ mitwirkt lieferte 5 Vollhartmetallbohrer sowie die Schnittwerte aus der eigenen Erfahrung.



**Abbildung 11.3.21: Bohren in St52**

Um die mögliche Neigung einzelner Werkstoffproben zu langem Spanbruch zu berücksichtigen wurde bei der ersten Bohrung in kleinen Schritten begonnen (Ausspannen alle 10mm) und die Schritte bei der 2. Bohrung vergrößert (alle 20-30mm). Falls ein kurzbrechender Span erreicht wird, so wird ab der dritten Bohrung ohne Unterbrechung durchgebohrt. Falls langbrechende Späne auftraten, wurden, orientiert an der ersten beiden Bohrungen, Verweilzeiten zum Spanbruch in mehr oder weniger kurzen Intervallen eingerichtet. Ausspannen kommt nicht in Betracht, da es die Prozesszeit verlängert und das Risiko besteht, das der Bohrer am Bohrungsgrund auf einen Span oder die Spanwurzel des letzten Spans trifft und hier bricht.

**Ergebnis:** In 2 Proben mussten die Späne mittels Verweilzeit gebrochen werden. Zyklen waren alle 10 bzw. alle 20mm. Während der Versuche kam es zu keinem Werkzeugversagen, es konnten alle Versuche mit einem Werkzeug durchgeführt

werden. Insgesamt wurden 110 Bohrungen gemacht, der Bohrer zeigte danach lediglich einen als normal zu bewertenden Verschleiß an Freifläche und Schneidecke. Letzterer ist in dieser Anwendung entscheidend und bei einem Verschleißbild ohne Kerben, Risse oder Ausbrüche ist er über die Schnittgeschwindigkeit und damit der Erwärmung der Schneidkante steuerbar.

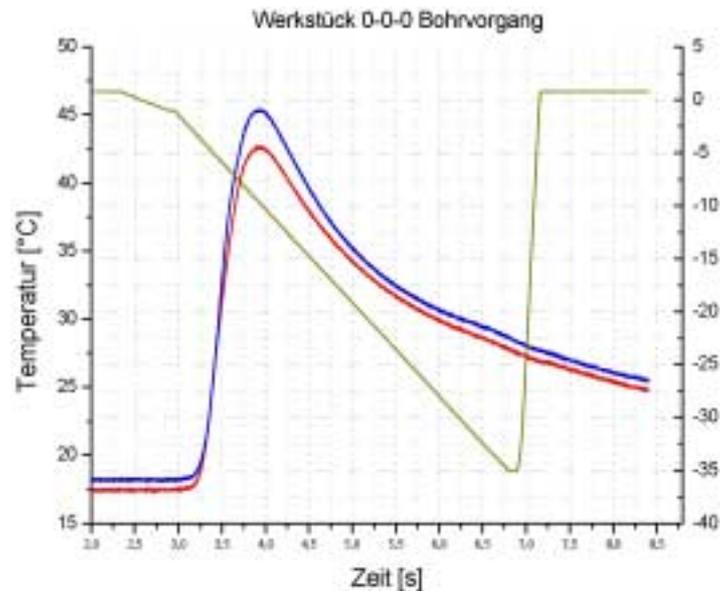
#### **11.3.10 Beratungsbeispiel 10: Temperaturmessung beim Bohren in Grauguss**

**Ausgangssituation:** Ein Auftragsfertiger der für einen Kunden Maschinenteile in den Losgrößen 1-50 aus unterschiedlichen Gussmaterialien bearbeitet, möchte die Erwärmung der Werkstücke an unterschiedlichen Stellen genauer kennen. Hierzu wurden Thermoelemente an unbearbeiteten Flächen des Bauteils angebracht, wie in Beispiel 11.3.8. Zusätzlich wurden ausgewählte Bearbeitungsschritte mit in das Werkstück eingebrachten Thermoelementen genauer beobachtet. Um eine sehr präzise Messung, möglichst nah an der bearbeiteten Oberfläche zu ermöglichen, wurden sehr feine Thermoelemente mit Durchmessern von 0,25mm bis 0,75mm nah an die bearbeitete Oberfläche platziert.

**Vorgehensweise:** Die Thermoelemente wurden durch die in Kap. 11.3.12 beschriebenen 2mm Bohrungen an die zu bearbeitende Oberfläche herangeführt. Mit einer speziellen Hülse werden die dünnen Thermoelemente so fixiert, dass Sie mit minimalem Anpressdruck sicheren Kontakt zur Metalloberfläche halten. Zusätzlich wurde mit Wärmeleitpaste ein optimaler Wärmeübergang hergestellt.

Gemessen wurde der Wärmegang beim Bohren und Fräsen mit unterschiedlichen Schnittwerten. Anschließend wurden die Messungen unter Ausschluss der Positioniergenauigkeit der Maschine ausgewertet.

**Ergebnis:** **Abbildung 11.3.22** zeigt den Temperaturverlauf an 2 Thermoelementen in unterschiedlichem Abstand ( $< 1\text{mm}$ , exakte Angaben sind aus Gründen der Geheimhaltung hier nicht möglich) zur Bohrungswand. Der Offset zwischen den Thermoelementen ist durch die Fertigungstoleranz der Thermoelemente bedingt.



**Abbildung 11.3.22: Temperaturverlauf beim Bohren von Grauguss,  $D = 12\text{mm}$ ,  $L = 30\text{mm}$ , ins Volle: Zahnvorschub  $f_z = 0,2\text{ mm/U}$ ;  $v_c = 100\text{ m/min}$**

Weitere Messungen belegen, dass sowohl beim Fräsen, als auch beim Bohren eine deutliche Minderung der Temperaturen mit der Steigerung des Vorschubs erreicht werden kann. Auch hat die Werkzeuggeometrie einen sehr hohen Einfluss auf den Wärmeeintrag. Darüber hinaus konnte belegt werden, dass der Spanungsquerschnitt einen untergeordneten Einfluss auf den Wärmeeintrag hat. Der Wärmeeintrag kann also nicht anhand des Zerspanvolumens einzelner Arbeitsgänge abgeschätzt werden.

### 11.3.11 Beratungsbeispiel 11: Drehbearbeitung von Tiefziehbauteilen, Fa. EZU, Königsheim

**Ausgangssituation:** Die Firma EZU bearbeitet Tiefziehbauteile spanend als Zulieferer für die Bosch Common Rail Technik. Eine Linie von 4 Drehmaschinen war vor wenigen Monaten in Betrieb genommen worden. Die Maschinen wurden erst mit Öl, dann mit Emulsion betrieben. Nach wenigen Monaten entschied man sich zur Umstellung auf Trockenbearbeitung/Minimalmengenschmierung. Um den Kunden 100% fehlerfreie Teile liefern zu können, wurde eine automatisierte Messeinrichtung in die Linie eingebunden. Diese konnte nicht mit Kühlflüssigkeitsrückständen am Bauteil betrieben werden. Die Großserienfertigung wurde gerade angefahren und lag bei wenigen 2.000 Teilen pro Woche.

Der Prozess war geprägt durch sehr kurze Werkzeugwechselzeiten, bedingt durch massive Aufbauschneidenbildung. Die in **Abbildung 11.3.23** gezeigten wirren Spanknäuel wurden in häufig vom Werkzeug in das Werkstück hinein geschoben und beschädigten die innen liegenden Oberflächen.



**Abbildung 11.3.23: Spanknäuel und Aufbauschneidenbildung**

**Vorgehensweise:** Der Prozess wurde mit drei Werkzeugherstellern untersucht. Vor Ort wurden neue Spanbrechergeometrien eingesetzt und die Prozessführung überarbeitet.

**Ergebnis:** Es gelang schließlich mit geeigneten Spanbrechergeometrien und der passenden Prozessführung den Span so zu formen, dass ein gerader Wendelspan entsteht, welcher sicher aus dem Bauteil herausläuft. (Siehe mittlerer Span in **Abbildung 11.3.24**.)



**Abbildung 11.3.24: Unterschiedliche Spanformen, erfolgreicher Wendelspan in der Bildmitte**

Die Firma EZU hat die Kapazitäten auch für weitere ähnliche Produkte ausgebaut und fertigt nun auf 9 Maschinen 4Mio Teile pro Jahr mit 100%-Kontrolle.

Im Filialstandort der Firma EZU finden sich keine Kühlschmierstoffe. EZU festigt damit seine Position als mittelständisches Unternehmen im Markt der metallzerspanenden Auftragsfertiger und bietet seinen Kunden eine Präzisionsteilefertigung auf höchstem wirtschaftlichen und umweltfreundlichen Niveau.

### **11.3.12 Beratungsbeispiel 12: Bohrung D2 L30 in Grauguss mit Werkzeughersteller**

**Ausgangssituation:** In Beispiel 11.3.10 wurde die Temperaturmessung mittels Thermoelementen beschrieben. Dazu musste eine Bohrung ( $D = 2\text{mm}$ ;  $L = 30\text{mm}$ ) in Grauguss eingebracht werden. Diese Bohrung wurde ebenfalls auf dem Cross Hüller „Trockenspecht 500T“ im Zerspanlabor des wbk gefertigt. Sie stellt bei Trockenbearbeitung einen hohen Anspruch hinsichtlich des Spanabtransports aus der Bohrung dar. Zusätzlich kamen Werkzeuge zum Einsatz welche nicht über innere Kanäle zur Aerosolschmierung der Schneidkante verfügen.

**Vorgehensweise:** Nach dem Vorsenken mit Kegelsenker wurden 2 Prozessvarianten verglichen:

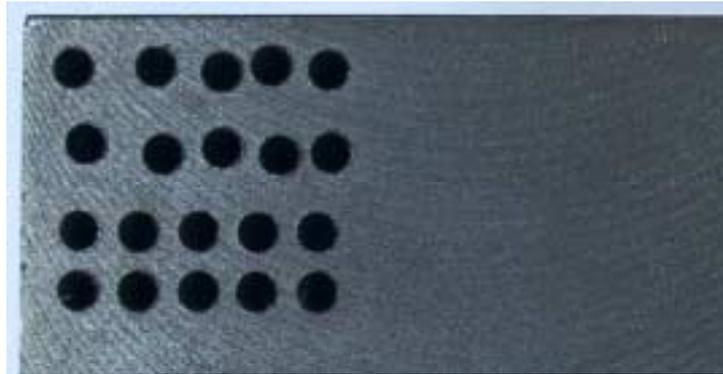
1. Bohren mit HSS Langloch-Spiralbohrer auf 15mm Tiefe und anschließend mit 4x Ausspanen auf 30mm
2. Bohren mit Hartmetallbohrer auf 15mm Tiefe, anschließend mit dem HSS Bohrer aus 1. und 4x Ausspanen auf 30mm

Schnittwerte für beide Fälle:

- HSS Bohrer (lang):  $v_c = 16 \text{ m/min}$   $f = 0,025 \text{ mm/U}$
- VHM Bohrer (kurz):  $v_c = 23 \text{ m/min}$   $f = 0,02 \text{ mm/U}$

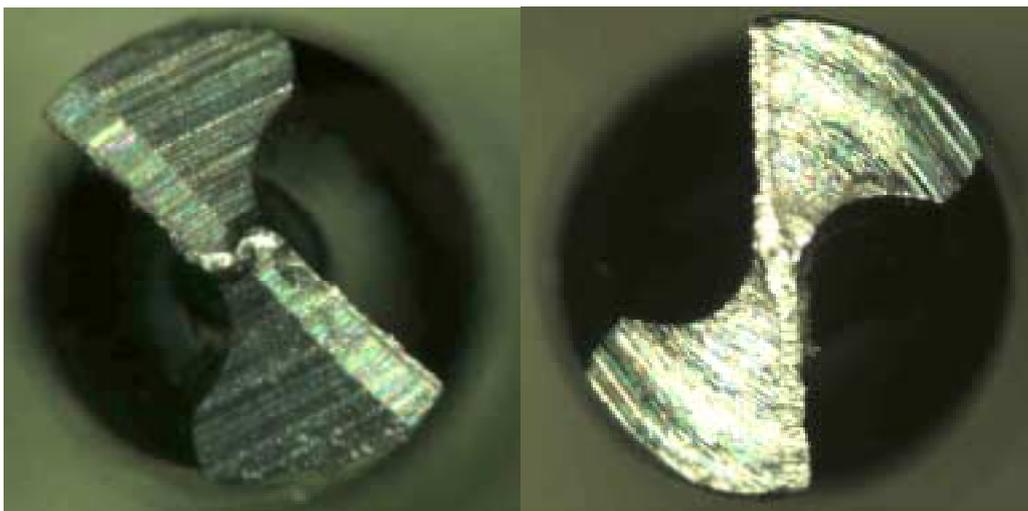
Wurden vor jeder 5. Bohrung mit Minimalmengenschmieröl benetzt. Das verwendete Probeklötzchen besteht aus GG25.

**Ergebnis:** Um den zu erwartenden Verlauf mit dem HSS Bohrer zu bewerten wurden die oben genannten Prozesse 1 und 2 mit je 10 Bohrungen gegenübergestellt. Abbildung zeigt, dass die Bohrungen mit dem HSS Bohrer erwartungsgemäß einen deutlichen Verlauf der Bohrung beim Anbohren zeigen.



**Abbildung 11.3.25: Verlauf des schlanken HSS Bohrers mit und ohne Vorbohrung mit Hartmetallbohrer**

Anschließend wurden weitere 50 Bohrungen für Thermosonden mit der Kombination Hartmetall & HSS durchgeführt. Es kam zu keinen Spanklemmern oder sonstigen Problemen. Die Bohrwerkzeuge sind in Abbildung abgebildet.



**Abbildung 11.3.26: Hartmetallbohrer nach 60 Bohrungen, je 15mm, links und HSS Bohrer nach 10 Bohrungen 30mm und 60 Bohrungen von 15 auf 30mm**

### 11.3.13 Beratungsbeispiel 13: D6 L100 in GG 25

**Ausgangssituation:** Wenn bei der Aluminiumbearbeitung ein kurzer Spanbruch erreicht wird, so reicht der auch bei geradgenuteten Werkzeugen der Luftstrom der Minimalmengenschmierung aus, um die sehr leichten Späne sicher aus der Bohrung zu fördern. Für einen mittelständischen Hersteller von Vollhartmetallwerkzeugen wurde untersucht, ob dieser Effekt auch bei den kurzbrechenden Graugussspänen funktioniert.

**Vorgehensweise:** Die Bohrungen Durchmesser  $D=6\text{mm}$ , Länge  $L=100\text{mm}$  wurden in Gussbrammen eingebracht.

Es wurden 3 Bohrer mit je 70 Bohrungen in je einer Gussbramme getestet. Da lediglich der Spanabtransport beobachtet werden sollte, wurden eventuelle Einflüsse durch den Bohrungsein- und -austritt ausgeschlossen. Die Brammen wurden überfräst und Zentrierbohrungen gesetzt. Die Bohrungen wurden als Sackloch ausgeführt und nicht durchgebohrt.

**Abbildung 11.3.27** zeigt die Versuchswerkzeuge mit innerer Minimalmengenzuführung:



**Abbildung 11.3.27: Versuchswerkzeuge: geradgenutet, spiralisiert 30°, spiralisiert 40°**

Die Bohrer sind mit TiAlN beschichtet. Diese Beschichtung bietet eine sehr gute Wärmebeständigkeit bei der Trockenbearbeitung.

Alle Bohrer wurden im folgenden Prozess eingesetzt:

Bohrung mit Schnittgeschwindigkeit  $v_c = 35 \text{ m/min}$  und Vorschub  $f_z = 0,08 \text{ mm/Schneide}$  auf 35mm Bohrungstiefe. Aus Gründen des dynamischen Verhaltens von Bohrer und Maschine wurde ein Rückhub von 0,5mm durchgeführt und anschließend mit  $v_c = 70 \text{ m/min}$  und bestehendem Vorschub von  $f_z = 0,08 \text{ mm/Schneide}$  ohne Unterbrechung auf die volle Tiefe gebohrt.

Als Minimalmengenschmieröl wurde das Esteröl Planto Mikro EKS des Herstellers Fuchs Petrolube eingesetzt.

**Ergebnis:** Alle drei Bohrer förderten die Späne über sämtliche Bohrungen gleichmäßig heraus und es gab keinen Bohrerbruch. Abbildung zeigt die entstehenden kurzen, nadelförmigen Späne.



**Abbildung 11.3.28: Spanbild**

In diesem Fall ist es gelungen die kurzen, leichten Späne mit Hilfe des Luftstroms der Minimalmengenschmierung sicher aus der Bohrung zu fördern. Beim geradgenuteten Werkzeug blieb allerdings bei einigen Bohrungen ein einzelner Span in der Bohrung zurück. Dies spricht dafür, ohne Ausspanzyklen zu bohren. Auch muss im Einzelfall entschieden werden, ob die Bohrung aufgrund einer möglichen nachfolgenden Bearbeitung absolut spanefrei sein muss. Dies gelang in den Versuchen mit den spiralierten Werkzeugen.

Da das Spanbild extrem von Werkstoff und Schnittwerten abhängt, ist es notwendig bei jeder anderen Anwendung durch Versuche abzusichern, ob auf die weniger aufwendigen, geradgenuteten Werkzeuge zurückgegriffen werden kann.

#### **11.3.14 Beratungsbeispiel 14: Trockenbearbeitung beim Bohren mit HSSE**

**Ausgangssituation:** Vornehmlich in der Kleinserienfertigung verwendet man gerne HSS Bohrer. HSS ist weitaus weniger spröde als Hartmetall und damit deutlich weni-

ger anfällig gegen unbeabsichtigte Stöße bei der Werkzeughandhabung. Auch wenn keine mit Hartmetallen vergleichbaren Schnittwerte erreichbar sind, wurde bei den pulvermetallurgisch erzeugten heutigen HSS-Qualitäten die Warmhärte deutlich gesteigert. Für einen Auftragsfertiger wurde daher ein Stichversuch in einer Gussplatte durchgeführt.

**Vorgehensweise:** Mit einem Bohrer Durchmesser 12mm (Katalogwerkzeug der Fa. Titex, trockenbearbeitungstaugliche Geometrie, TiAlN Beschichtung) wurden 336 Bohrungen in eine Gussbramme der Stärke 30 mm eingebracht, das entspricht einem Bohrweg von etwas mehr als 10m. Das Länge zu Durchmesser Verhältnis von 3,75 stellt bei den kurz brechenden Spänen keine hohe Anforderung gegenüber dem Spanabtransport dar. Daher lag der Fokus der Untersuchungen darin, ob der Bohrer die Wärmelast an der Schneidecke standhält. Es wurden je sieben Bohrungen in Folge durchgeführt und Bohrer anschließend bei bestehender Spindeldrehzahl über eine Wartezeit von 3min abgekühlt. Dies stellt eine sehr hohe Wärmelast für den Schneidstoff dar.



**Abbildung 11.3.29: Gussbramme und Bohrwerkzeug HSSE**

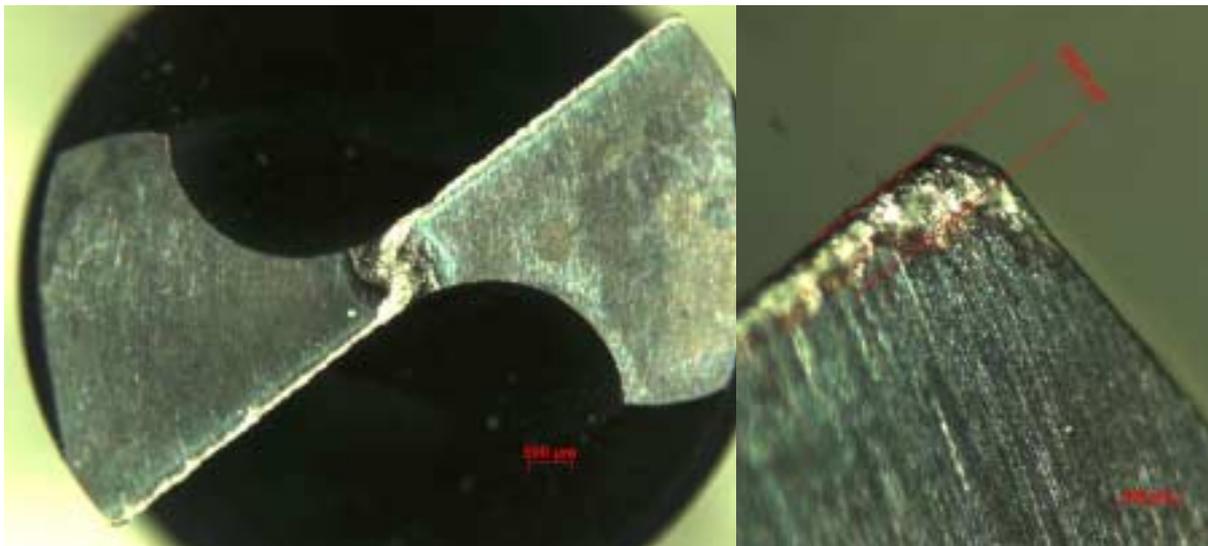
Schnittwerte:

$$v_c = 30\text{m/min}$$

$$f_z = 0,1\text{mm/Schneide}$$

Der Bohrer wurde vor Eintritt ins Material mit einem Ester-Öl des Herstellers Fuchs Petrolube durch äußere Minimalmengenschmierung benetzt.

**Ergebnis:** Der Bohrer zeigt leichte Aufbauschneidenbildung, mit gleichmäßiger Verteilung entlang der Schneidkante. Aufbauschneidenbildung in Gusseisen hängt stark von den Legierungselementen ab. Auch ist diese grundlegend abhängig von der Schnittgeschwindigkeit. In diesem Fall ist die Ausprägung der Aufbauschneide sicherlich nicht als kritisch zu bewerten, da eine große Anzahl Bohrungen ohne nennenswerte Ausbrüche durchgeführt wurde.



**Abbildung 11.3.30: Bohrer nach 336 Bohrungen**

Die thermisch höchstbelastete Schneidecke zeigt einen gleichmäßigen mittleren Verschleiß. In diesem Stadium sind zwar nicht mehr übermäßig viele weitere Bohrungen zu erwarten, allerdings wurde der Standweg von 10m sicher erreicht. Grundsätzlich sind Schnittwerte und Standwege nicht mit Hartmetallwerkzeugen zu vergleichen; wenn allerdings robuste Handhabung im Vordergrund steht, eignet sich durchaus auch ein HSSE-Bohrer für die Minimalmengenschmierung.

### **11.3.15 Beratungsbeispiel 15: Saubere Oberflächen bei der Aluminiumbearbeitung**

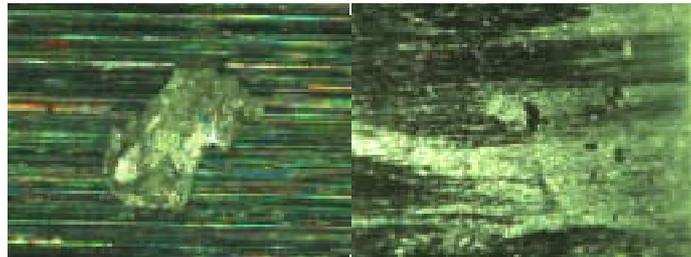
**Ausgangssituation:** Bei der Bearbeitung von Aluminiumbauteilen sind häufig sehr hohe Oberflächenqualitäten an Bauteilen im sichtbaren Bereich gefordert. Ein mittelständischer Betrieb fertigt Konstruktionselemente aus Aluminium Knetlegierung und hat bereits selbst die Trockenbearbeitung mit Minimalmengenschmierung untersucht.

Die Ergebnisse waren hinsichtlich der Oberflächenrauheit sehr gut, die Minimalmengenschmierung wirkte ausreichend als Trennmittel, so dass es zu keinen Problemen mit Materialverklebungen am Werkstück kam.

Einziges Problem dieser Anwendung waren sichtbare Schlieren auf der Aluminium-Oberfläche.

**Vorgehensweise:** Entsprechend der Maschinenausrüstung des Anwenders wurde ein Schafffräser Durchmesser 16mm bei 12.000 U/min eingesetzt. Mit einer Überdeckung von 5mm am Werkstück wurde die seitliche Oberfläche eines Probeklötzchens überfräst. Die Zustellung betrug 3/10mm.

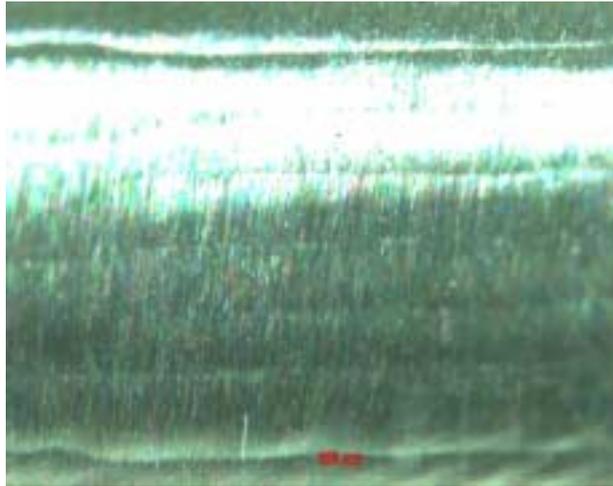
Zuerst wurden einige Werkstücke ohne Minimalmengenschmierung bearbeitet, um die angegebene Schlierenbildung festzustellen. Dabei wurde der Fräser vorher mit einem Fettalkohol, wie es zur Minimalmengenschmierung verwendet wird bestrichen. Dieses diente als Trennmittel, damit der Fräser nicht übermäßige mit Materialverklebungen ansammelte.



**Abbildung 11.3.31: Analyse der Schlierenbildung unter dem Lichtmikroskop**

Die Analyse der Schlieren ergab, dass entstehende Feinstspäne ( $<500\mu\text{m}$ ) an der Oberfläche haften, vom Werkzeug nochmals überfahren und dabei auf der Oberfläche verschmiert werden.

Im Anschluss daran wurde die Minimalmengenschmierung in einem spitzen Winkel auf die Oberfläche ausgerichtet. Nach wenigen Versuchen unterschiedlicher Ausrichtungen wurde eine Einstellung ermittelt, die einen sicheren Abtransport der Feinstspäne gewährleistet. Damit konnten an 10 weiteren Versuchsstücken schlierenfreie Oberflächen erzeugt werden.



**Abbildung 11.3.32: qualitativ hochwertige Oberflächen beim Schafffräsen mit MMS**

**Ergebnis:** Schlierenbildung beim Fräsen von Aluminium-Oberflächen kann durch eine Feinjustage der Minimalmengenschmierdüsen verhindert werden. Die Winkel sind abhängig vom Werkzeug und der Werkstückgeometrie, die optimale Einstellung muss im Versuch gefunden werden. Die Ausrichtung der Düsen ist sorgfältig gegenüber Stößen, z.B. bei manuellem Werkzeugwechsel o.ä. zu sichern und regelmäßig zu kontrollieren. Bei der Bearbeitung größerer Werkstücke ist eine spindelfixierte, mitgeführte Düsenanordnung notwendig, um eine konstante Ausrichtung zum Werkzeug zu erreichen.

#### **11.4 Werkzeugmaschinenlabor (WZL) der RWTH Aachen**

Die am WZL durchgeführten Seminare erwiesen sich neben den gemeinsamen Messeauftritten und der Öffentlichkeitsarbeit des Technologienetzes als ein außerordentlich guter Weg, um vor allem mit kleineren Unternehmen in Kontakt zu kommen. Gerade bei den kleinen und mittelgroßen Unternehmen bestand ein sehr großes Interesse daran, von neutraler und unabhängiger Stelle zu erfahren, was Trockenbearbeitung ist und was diese Technologie zu leisten vermag.

Motivation, sich mit dem Thema Trockenbearbeitung auseinander zu setzen, war für viele der beratenen Unternehmen neben dem Aspekt, mit dem Verzicht auf den Einsatz von KSS Kosten einzusparen, vor allem das Ziel, die Belastung der Mitarbeiter durch den Kühlschmierstoff am Arbeitsplatz zu verringern oder eine der spanenden Bearbeitung nachfolgende Reinigung der Werkstücke einzusparen. Einige Unter-

nehmen hatten die Trockenbearbeitung mit zu einem ihrer Unternehmensziele erklärt, konnten dieses Ziel aufgrund mangelnder Kenntnis und Kapazitäten aus eigener Kraft jedoch nicht realisieren und nahmen daher gerne die vom Technologienetz angebotene Unterstützung an. Von einigen Betrieben wurde diese Technologie auch als Möglichkeit angesehen, bestehende fertigungstechnische Probleme, insbesondere bei der Bearbeitung schwerzerspanbarer Werkstoffe, zu lösen. Bei zahlreichen Unternehmen zeigte sich allerdings, dass bei ihnen aufgrund kleiner Stückzahlen oder der Notwendigkeit, auf einer Maschine Bauteile aus sehr unterschiedlichen Werkstoffen zu fertigen, die Randbedingungen für eine wirtschaftliche Trockenbearbeitung nicht gegeben waren. Dies galt vor allen für kleinere Betriebe, die als Lohnfertiger arbeiten. In einigen Fällen waren die vorhandenen Werkzeug- und Sondermaschinen für eine Trockenbearbeitung nicht geeignet.

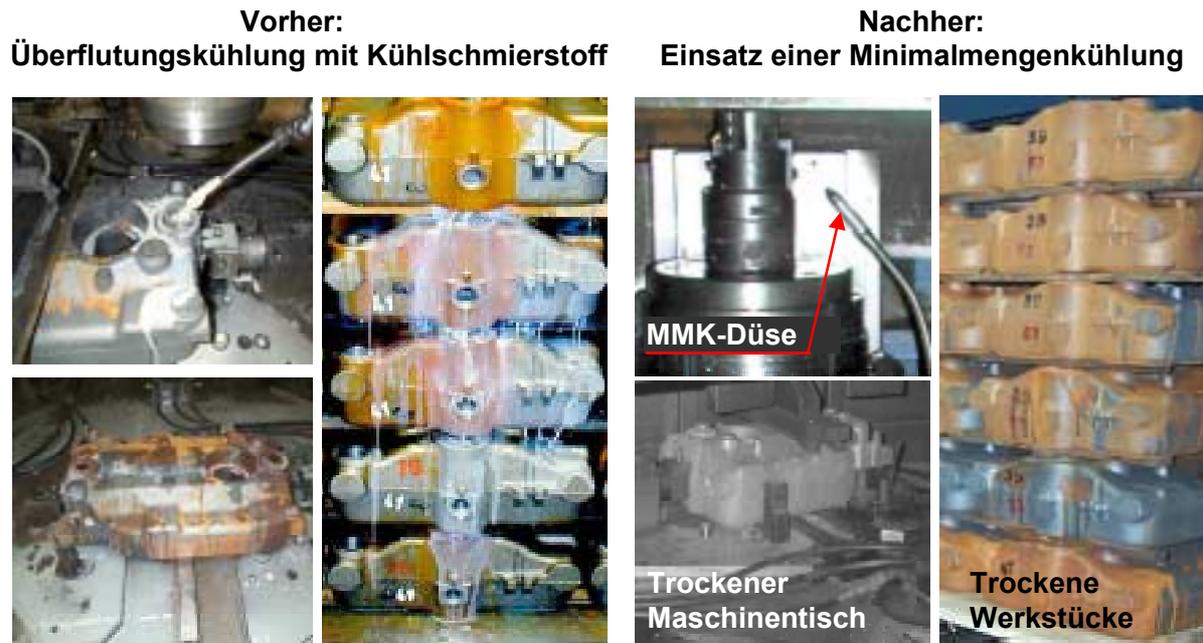
Rückblickend ist festzustellen, dass bei keinem der beratenen Unternehmen die Umstellung von der Nass- auf die Trockenbearbeitung einfach und ohne Arbeitsaufwand zu vollziehen war. Nahezu alle der im Hinblick auf eine mögliche Trockenbearbeitung geprüften Bauteile wiesen spezifische Probleme auf, die für jedes Bauteil individuell gelöst werden mussten. Die Probleme bestanden vielfach darin, dass die bislang im Nassschnitt erfolgreich eingesetzten Werkzeuge den besonderen Anforderungen der Trockenbearbeitung nicht genügten, dass die Schnittparameter aus der Nassbearbeitung nicht auf die Trockenbearbeitung übertragbar waren, dass bei der Trockenbearbeitung die bisherigen Werkzeugstandzeiten nicht mehr erreicht wurden oder ungünstige Spanformen entstanden, die den Maschinenbediener gefährden oder zu Schäden an Werkzeug, Maschine oder Bauteil führen konnten. In einigen Anwendungen stellte auch die Einhaltung der geforderten Bauteilgenauigkeit eine für die Umstellung auf Trockenbearbeitung hohe Hürde dar.

In diesen Fällen war es unumgänglich, für die entsprechenden Teile und Bearbeitungsoperationen die Machbarkeit einer Trockenbearbeitung nachzuweisen und für Schlüsseloperationen Lösungen in Zerspanversuchen zu erarbeiten. In der Regel erfolgte dies im Versuchsfeld des Institutes, da nur wenige Unternehmen für derartige Versuche über die notwendigen Personal- und Maschinenkapazitäten und über die hierzu erforderlichen Kenntnisse verfügten. Aus den durchgeführten Arbeiten sind im Folgenden exemplarisch einige Bearbeitungsbeispiele zusammengestellt.

### 11.4.1 Beratungsbeispiel 1: Bearbeitung vorgegossener Löcher in Grauguss

**Ausgangssituation:** Aufgabenstellung war die Bearbeitung vorgegossener Löcher in Gussgehäusen. Herzustellen war eine konische Bohrung mit Planfläche. Die Besonderheit der Bearbeitungsaufgabe lag in der extrem hohen Genauigkeitsanforderung, die an den Konusdurchmesser im Bereich der Planfläche gestellt wird. Um die geforderte Maßgenauigkeit realisieren zu können, kommt ein Sonderwerkzeug zum Einsatz, mit dem Konus und Planfläche in einem Arbeitsgang bearbeitet werden.

Motivationsfaktoren für die angestrebte Umstellung waren für den Kunden zum einen die sehr starke Belastung des Arbeitsplatzes mit Kühlschmierstoff, zum anderen seine guten Erfahrungen mit der bereits auf mehreren Maschinen praktizierten Trockenbearbeitung. Die Gussgehäuse werden auf einer älteren Rundtaktmaschine bearbeitet. Während der Bearbeitung sammelt sich in den Gehäusen Kühlschmierstoff, der auch den Maschinentisch fast vollständig bedeckt (**Abbildung 11.4.1**). Bedingt durch die Maschinengestaltung und durch die sehr stark KSS-schöpfenden Gehäuse gelangt sehr viel Kühlschmierstoff in das Maschinenumfeld. Hieraus resultiert eine sehr starke Belastung des Arbeitsplatzes und der Mitarbeiter. Primäres Anliegen des Kunden war es daher, durch eine Umstellung der Maschine auf eine Trockenbearbeitung für die Mitarbeiter bessere Arbeitsbedingungen zu schaffen. Die gute Eignung von Gusswerkstoffen für eine Trockenbearbeitung bzw. für eine Bearbeitung mit Minimalmengenschmierung war schon früh von den Mitarbeitern dieses Unternehmens erkannt worden und war Anlass, mehrere Bearbeitungszentren erfolgreich von der Nass- auf eine Trockenbearbeitung umzustellen. Bei dem vorliegenden Bearbeitungsfall führten jedoch alle Versuche Konus und Planfläche trocken bzw. unter Einsatz einer Minimalmengenschmierung herzustellen zu einer nicht tolerierbaren Maßabweichung.



**Abbildung 11.4.1: Trockene Bauteile, saubere Maschine und damit eine größere Arbeitsplatzqualität sind das Ergebnis der Umstellung von der Überflutungskühlung mit Kühlschmierstoff auf eine Minimalmengenkühlung**

**Vorgehensweise:** Bei Minimalmengenschmiermedien, wie sie auch hier zunächst zum Einsatz gekommen waren, handelt es sich um hochwirksame Schmierstoffe auf der Basis von pflanzlichen Rohstoffen, die in geringster Menge (20 – 50 ml/Prozessstunde) dem Werkzeug bzw. der Bearbeitungsstelle zugeführt werden. Je nach Anwendungsaufgabe kommen hierbei Esteröle oder Fettalkohole zum Einsatz. Die Hauptaufgabe dieser Medien besteht darin, Reib- und Adhäsionsvorgänge zwischen Werkstück, Span und Werkzeug zu vermindern. Durch die Reduzierung der Reibung und damit der entstehenden Reibungswärme führt der Einsatz dieser Schmiermedien zu einer gegenüber der reinen Trockenbearbeitung weniger starken Erwärmung des Werkzeuges. Im vorliegenden Bearbeitungsfall reichte die wärmereduzierende Wirkung der MMS-Medien jedoch nicht aus. Folge war eine zu starke Erwärmung der Werkzeuge und Maßfehler am Bauteil.

Vor diesem Hintergrund lag es nahe, bei dieser Bearbeitungsaufgabe statt eines schmierenden ein primär kühlendes Medium einzusetzen. Im vorliegenden Fall kam Wasser mit einem Korrosionsschutzmittel als Minimalmengenkühl-Medium zum Einsatz. Das Medium wurde feinerstäubt auf das Werkzeug aufgesprüht. Die Menge war so gewählt, dass es auch nach längerer Einsatzzeit nicht zur Tropfenbildung am Werkzeug kam.

Die Minimalmengenkühlung (MMK) ist im Gegensatz zur Minimalmengenschmierung (MMS) eine bislang vergleichsweise wenig genutzte und daher bei Anwendern weitgehend unbekannt Komponente der Minimalmengenkühlschmiertechnik (MMKS). Wasser besitzt gegenüber Ölen eine deutlich höhere spezifische Wärmekapazität und Verdampfungswärme und entfaltet damit eine wesentlich größere Kühlwirkung. Durch den Einsatz von Wasser als MMK-Medium gelang es bei der vorliegenden Bearbeitungsaufgabe die Werkzeugtemperatur auf einem der Bearbeitung mit Kühlschmierstoff vergleichbar niedrigem Niveau zu halten.

**Ergebnis:** Wegen der Besonderheiten von Bearbeitungsaufgabe, Bauteil, Werkzeug und Maschine konnten die Zerspanversuche nur beim Kunden durchgeführt werden. Dieser stellte die Produktionsmaschine und Gussausschussteile bereit. Im Vorfeld war in Absprache mit einem MMKS-Systemhersteller die Adaption des MMK-Systems abgestimmt worden und erfolgt. Bereits nach wenigen gefertigten Versuchsteilen kamen Gutteile anstelle von Ausschussteilen zum Einsatz. In der Folge wurden unter Produktionsbedingungen 100 maßhaltige Teile gefertigt. In den Versuchen konnte nachgewiesen werden, dass es unter den gewählten Bedingungen möglich ist, auch im Serienbetrieb das Werkzeug auf einem konstant niedrigen Temperaturniveau zu halten und prozesssicher maßgenaue Teile zu fertigen.

Nach weiteren Versuchen rüstete der Kunde die Maschine mit einem MMK-System nach. Seit mehreren Monaten setzt der Kunde zu seiner großen Zufriedenheit bei der Bearbeitung der Gussteile nicht mehr Kühlschmierstoff, sondern ein Minimalmengenkühl-System ein. Maschine, Bauteile und Maschinenumfeld sind frei von Kühlschmierstoff (**Abbildung 11.4.1**). Das Ziel, die Qualität des Arbeitsplatzes zu verbessern, wurde voll und ganz erreicht.

#### **11.4.2 Beratungsbeispiel 2: Innenbearbeitung von Aluminiumrohren**

**Ausgangssituation:** Auf einer Spezialmaschine werden an Rohren aus einer Aluminium-Knetlegierung Innenkonen angedreht. Kennzeichnend für die bislang durchgeführte Nassbearbeitung war eine sehr starke Belastung der Mitarbeiter durch ausgeschleppten Kühlschmierstoff. Zur Verbesserung der Arbeitsplatzqualität strebte das Unternehmen daher eine Umstellung auf Trockenbearbeitung an. Versuche, die Teile ganz trocken zu bearbeiten, schlugen fehl. Hauptprobleme waren die Spanbildung und die Zusetzung der Werkzeuge mit Werkstoff. Es entstanden sehr dicke ge-

stauchte Späne, die um das Werkzeug ein Spanknäuel bildeten, das nicht nur den weiteren Austritt des Spanes aus der Bohrung behinderte, sondern zwischen Schaft und Bohrungswand eingequetscht die erzeugte Funktionsfläche durch Kratzer und Aufschweißungen zerstörte. Die Möglichkeit ein Minimalmengenschmiermedium über das Werkzeug zuzuführen war nicht gegeben. Die Installation einer äußeren MMS-Zuführung war ebenfalls nicht möglich.

**Vorgehensweise:** Die Bearbeitung der Aluminiumrohre erforderte aufgrund der großen Duktilität der verwendeten Knetlegierung und ihrer ausgeprägten Neigung zur Adhäsion mit dem Werkzeug zwingend den Einsatz einer Minimalmengenschmierung. Aufgrund der konstruktiven Ausführung der Werkzeugmaschine konnte das MMS-Medium nicht von außen, sondern musste durch das Werkzeug der Bearbeitungsstelle zugeführt werden. Dies war mit den eingesetzten Werkzeugen jedoch nicht machbar, da diese keinen Kanal für die innere Zuführung von Kühlschmierstoff oder eines Minimalmengenschmiermediums besaßen.

Als erste Maßnahme wurde daher auf einer Erodiermaschine im Institut ein Kühlkanal in das Werkzeug eingebracht. Der Kanal war so positioniert, dass das MMS-Medium nicht nur die Schneidplatte, sondern auch den Span benetzte, um zu verhindern, dass dieser beim Austritt aus der Bohrung an der Bohrungswand Reibspuren und Kratzer hinterlässt (**Abbildung 11.4.2**). Mit dem modifizierten Werkzeug wurden anschließend an Originalbauteilen Versuche auf einer Drehmaschine unter Einsatz eines Minimalmengenschmiermediums durchgeführt. Variiert wurden Plattengeometrie und Schnittparameter. Die Zufuhr des Mediums erfolgte über den eingebrachten Kanal.



**Abbildung 11.4.2: Werkzeug mit einerodiertem Kanal zur inneren MMS-Zuführung**

**Ergebnis:** Die Versuche erbrachten den Nachweis, dass die Trockenbearbeitung des Innenkonus in der geforderten Qualität mit einer auf diese spezielle Bearbeitungsaufgabe abgestimmten Plattengeometrie, angepassten Schnittparametern und einer MMS-Zuführung durch das Werkzeug prozesssicher möglich ist. Die Lösung wurde erfolgreich in der Produktion umgesetzt. Das Ziel, die Arbeitsplatzqualität zu verbessern, wurde zur großen Zufriedenheit der Mitarbeiter voll erreicht.

### 11.4.3 Beratungsbeispiel 3: Bearbeitung eines Gehäuses aus Aluminium

**Ausgangssituation:** Bei dem beratenen Unternehmen werden Gehäuse aus der Aluminium Knetlegierung AlMgSi1 gefertigt (**Abbildung 11.4.3**). Die Besonderheit dieser Bearbeitungsaufgabe besteht darin, dass die Gehäuse aus Stangenmaterial hergestellt werden. Der Zerspananteil beträgt ca. 90 %. Die Fertigung erfolgt auf einer Drehmaschine mit Überflutungskühlung. Ziel war die Verbesserung der Arbeitsplatzqualität durch Vermeidung des KSS-Einsatzes.

**Vorgehensweise:** Zunächst wurde bei dem Kunden der Ist-Zustand, d. h. Schneidplatten, Schnittbedingungen und Schnittaufteilung aufgenommen. Hierauf aufbauend erfolgte die Planung für die Durchführung von Zerspanversuchen auf einer Institutsdrehmaschine. Ziel war es, das Gehäuse komplett spanend zu bearbeiten.

Vorversuche bestätigten, dass eine Trockenbearbeitung mit den beim Kunden üblichen Werkzeugen und Nassschnittwerten nicht möglich ist. Extrem lange Fließspäne, starke Materialaufschweißungen an den Werkzeugen bis hin zur totalen Zusetzung erforderten eine Optimierung von Werkzeuggeometrie und Schnittparameter sowie den Einsatz einer Minimalmengenschmierung. Bei der Innenbearbeitung des Gehäuses bereitete das große Spanvolumen verbunden mit der schwierigen Spanabfuhr weitere Probleme. Zwischen Ausbohrwerkzeug und Bohrungswand eingeklemmte Späne führten zu einer inakzeptablen Oberflächenausbildung und verursachten durch die starke Reibung eine sehr starke Erwärmung des Bauteils. Die Vorversuche führten zu dem Ergebnis, dass für alle acht Werkzeuge, die für die Bearbeitung des Gehäuses erforderlich sind, individuelle Lösungen erarbeitet werden mussten. Als weiteres Problem kam hinzu, dass die im Institut eingesetzte konventionelle Nassdrehmaschine, wie auch die Produktionsmaschine über kein Minimalmengenschmiersystem verfügte.

Die Lösung der vielfältigen Probleme erfolgte schrittweise. Im Einzelnen wurden folgende Maßnahmen ergriffen:

- Optimierung von Plattengeometrie und Schnittparametern zur Verbesserung der Spanbildung und Verringerung der Bauteilerwärmung. Wegen der großen Verformbarkeit der Aluminiumknetlegierung und des großen zu zerspanenden Werkstoffvolumens wurden zur Erzeugung kurzbrechender Späne und zur Reduzierung der Kontaktzeiten zwischen Werkzeug und Bauteil und damit des Wärmeeintrages in das Werkstück die Schnittwerte gegenüber denen der Nassbearbeitung zum Teil drastisch erhöht ( $v_c$  bis 950 m/min,  $f$  bis 0,5 mm,  $a_p$  bis 5 mm).
- Beschichtung einzelner Schneidplatten mit  $TiB_2$  zur Vermeidung von Werkstoffaufschweißungen.
- Modifizierung der für die Innenbearbeitung des Gehäuses eingesetzten Werkzeuge durch Einerodieren von Kanälen für eine innere MMS-Zufuhr.
- Einerodieren von Kanälen für eine separate Druckluftzufuhr zum Ausblasen der Späne. Aufgrund der horizontalen Aufspannung des Gehäuses und der Zentrifugalkraft verblieben die bei der Innenbearbeitung des Gehäuses in großer Menge anfallenden Späne im Bauteil. Um den Spänen den Austritt aus der Bohrung zu erleichtern, wurde die Innenkontur nicht zylindrisch, sondern leicht konisch vorge dreht und über separate Kanäle im Werkzeug Pressluft in die Bohrung geblasen. Zusätzlich wurde beim Rückzug der Werkzeuge aus der Bohrung die Drehzahl reduziert. Die bei hoher Drehzahl durch die Zentrifugalkraft an die Wand gepressten Späne sammeln sich dadurch im Bereich der unteren Gehäusewand und können von dort über die im Werkzeug gesondert eingebrachten Kanäle mit Pressluft ausgeblasen werden.
- Entwicklung eines nachrüstbaren MMS-Systems, das es ermöglichte, alle 8 Werkzeuge individuell mit der jeweils erforderlichen Menge an Öl und Luft zu versorgen. Siehe hierzu auch Beratungsbeispiel 4: Entwicklung eines nachrüstbaren MMS-Systems.



**Abbildung 11.4.3: Drehen eines Aluminiumgehäuses aus dem Vollen**

**Ergebnis:** Die getroffenen Maßnahmen ermöglichen eine prozesssichere Bearbeitung des Gehäuses unter Einsatz einer Minimalmengenschmierung und von Druckluft.

- Bei allen zum Einsatz kommenden Werkzeugen entstehen kurzbrechende Späne.
- Das Zusetzen der Werkzeuge mit Werkstoff wird durch den Einsatz einer Minimalmengenschmierung sicher vermieden.
- Die in den Innenbearbeitungswerkzeugen zusätzlich eingebrachten Kanäle für die Zuführung von Druckluft ermöglichen ein sicheres Ausblasen der Späne aus dem Gehäuse.

Die Ergebnisse wurden vom Kunden bislang nicht in der Produktion umgesetzt, da die derzeit vorhandenen Nassdrehmaschinen nur bedingt trockenbearbeitungstauglich sind. Bei einer Neuinvestition sollte die Frage der Trockenbearbeitung jedoch nochmals aufgegriffen und zur besseren Abfuhr der Späne aus dem Gehäuse eine vertikale Bearbeitung geprüft werden.

#### **11.4.4 Beratungsbeispiel 4: Entwicklung eines MMS-Nachrüst-Sets für gebrauchte Nassbearbeitungsmaschinen**

**Ausgangssituation:** Die Drehbearbeitung des im Beratungsbeispiel 3 vorgestellten Aluminiumgehäuses aus der Al-Knetlegierung AlMgSi1 erforderte bei allen 8 Werk-

zeugen zur Vermeidung und Verringerung von Werkstoffaufschmierungen den Einsatz einer Minimalmengenschmierung. Sowohl die am Institut wie auch die bei dem beratenen Unternehmen in der Fertigung verfügbaren konventionellen Nassdrehmaschinen besaßen keine Einrichtung zur Erzeugung und Zuführung eines MMS-Aerosols. Für die Institutsdrehmaschine wurde daher exemplarisch der Prototyp eines nachrüstbaren MMS-Systems entwickelt, an der Drehmaschine installiert und dessen Funktionsfähigkeit bei der Komplettbearbeitung des Aluminiumgehäuses nachgewiesen.

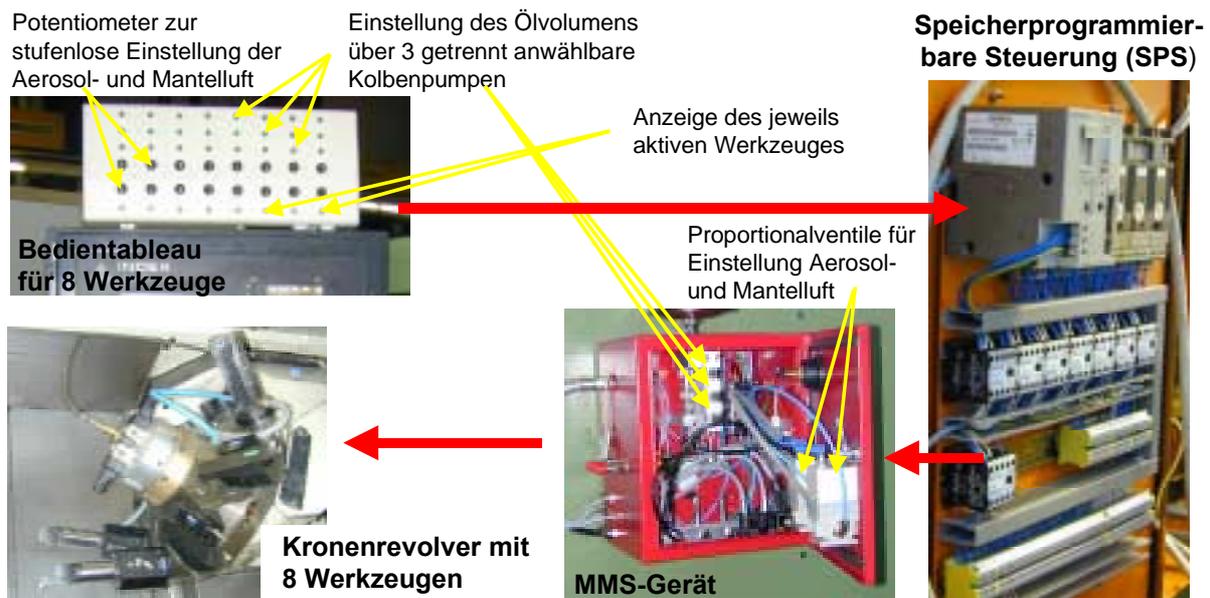
**Vorgehensweise:** Das MMS-System sollte folgende Anforderungen erfüllen.

- Variable, schnelle und reproduzierbare Versorgung aller 8 Werkzeuge mit MMS-Aerosol
- Medium- und Luftmenge für jedes Werkzeug unabhängig wählbar
- Einfache Nachrüstbarkeit an konventionellen Nassbearbeitungsmaschinen
- Unabhängig von der jeweiligen Maschinensteuerung
- Kein Eingriff in die Maschinensteuerung

Zur Realisierung dieser Zielsetzung wurde am WZL eine maschinenunabhängige speicherprogrammierbare Steuerung entwickelt und gebaut. Die Steuerung ermöglicht eine einfache und schnelle werkzeugindividuelle Einstellung der Luft- und Aerosolmenge. Die Speicherung der für jedes Werkzeug individuell festlegbaren Einstellparameter erfolgt derzeit noch hardwaremäßig. Eine softwaremäßige Lösung ist geplant. Zur Koppelung von SPS und Maschinensteuerung dient der Schnittstellenbefehl „KSS ein – aus“. Eine Kontrollanzeige am Bedientableau gibt Auskunft darüber, welches Werkzeug gerade aktuell mit Medium versorgt wird (**Abbildung 11.4.4**).

Für die Aerosolerzeugung dient ein handelsübliches MMS-Gerät. Mit Unterstützung des Geräteherstellers wurden an dem Gerät zwei Proportionalventile zur stufenlosen Einstellung der Aerosolerzeugungs- und Mantelluft nachgerüstet. Die Erzeugung des Aerosols erfolgt in einer Düse unmittelbar vor dem Werkzeugrevolver. Luft und Öl werden über koaxial verlaufende Schläuche der Düse getrennt zugeführt. Auf diese Weise wird eine Entmischung des Aerosols auch bei langen Zuführungswegen verhindert. Innerhalb des Werkzeugrevolvers wird das Aerosol dem Werkzeug einkanalig zugeführt.

Über je 2 Potentiometer am Bedientableau kann die zur Erzeugung und zum Transport des Aerosols erforderliche Luftmenge variiert und werkzeugindividuell eingestellt werden. Für die Dosierung der Ölmenge verfügt das MMS-Gerät über drei Kolbenpumpen mit getrennt einstellbaren Fördervolumen. Über Tastenschalter am Bedientableau werden die Pumpen nach Bedarf zugeschaltet. Für jedes Werkzeug kann aufgabenabhängig zwischen insgesamt 7 unterschiedlich großen, jedoch genau definierten Ölzufuhrmengen gewählt werden.



**Abbildung 11.4.4: Nachrüst-Set für gebrauchte konventionelle Nassbearbeitungsmaschinen**

Die Zuführung des Aerosols erfolgte bei den Innenbearbeitungswerkzeugen durch das Werkzeug. Bei den Werkzeugen für die Außenbearbeitung wurde das Aerosol von außen über eine Düse auf die Schneidplatte gesprüht.

**Ergebnis:** Das entwickelte MMS-Nachrüst-Set ermöglicht eine einfache Umrüstung konventioneller Nassbearbeitungsmaschinen auf eine Trockenbearbeitung mit Minimalmengenschmierung. Es ist unabhängig von der jeweiligen Maschinensteuerung und ohne größeren Aufwand nachrüstbar. Ein Eingriff in die Maschinensteuerung erfolgt nicht. In Verbindung mit einem MMS-Gerät ermöglicht die maschinenunabhängige SSP für jedes Werkzeug eine einfache und schnelle Dosierung von Luft- und Ölzufuhr.

Der Nachweis über die Funktionsfähigkeit des Systems konnte bei der Bearbeitung des Aluminiumgehäuses erbracht werden. Das Gehäuse wurde mit insgesamt 8

Werkzeugen komplett bearbeitet. Für alle Werkzeuge waren zuvor die bearbeitungsabhängigen individuellen Einstellparameter ermittelt und am Bearbeitungstableau abgespeichert worden. Das nachgerüstete MMS-System ermöglichte eine prozesssichere Versorgung der Werkzeuge mit Luft und MMS-Aerosol.

Das System steht für eine maßgeschneiderte individuelle Nachrüstung konventioneller Nassbearbeitungsmaschinen zur Verfügung.

#### **11.4.5 Beratungsbeispiel 5: Bohren in eine Aluminium-Knetlegierung unter Einsatz einer Minimalmengenschmierung**

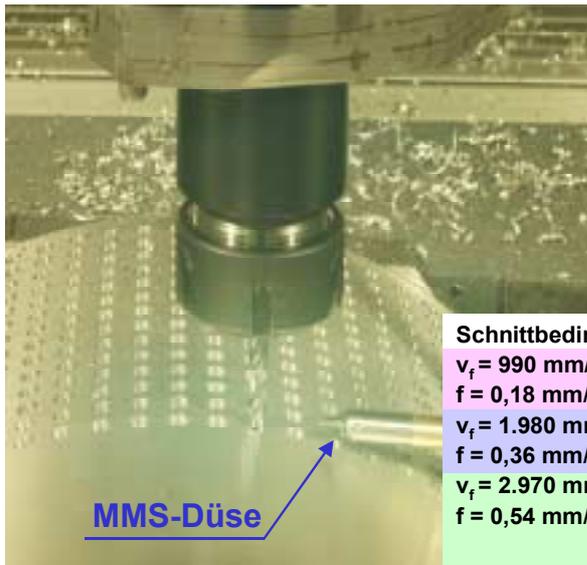
**Ausgangssituation:** In dem beratenen Unternehmen müssen in Rohre aus der Aluminium-Knetlegierung AlMgSi0,5 bis zu mehrere tausend Bohrungen eingebracht werden. In die Bohrungen werden anschließend Stahlstifte eingeklebt. Die Anforderungen an Maßgenauigkeit, Oberflächenqualität und vor allem an die Sauberkeit der Bohrungen sind sehr hoch. Bereits geringste Kühlschmierstoffrückstände in der Bohrung beeinträchtigen die Qualität der Klebeverbindung zwischen Stahlstift und Bohrungswand in unzulässiger Weise. An die Bohrbearbeitung, die bislang im Nassschnitt erfolgte, schloss sich daher ein sehr aufwendiger, zeit- und kostenintensiver Waschvorgang an. Zielsetzung war es, durch eine Trockenbearbeitung diesen Waschvorgang zu eliminieren und die Klebequalität zu verbessern.

**Vorgehensweise:** Zur Klärung der Frage, ob und unter welchen Randbedingungen diese Bohrungen ohne Kühlschmierstoff in der geforderten Qualität prozesssicher hergestellt werden können, wurden am WZL Zerspanversuche (**Abbildung 11.4.5**) durchgeführt. Der Kunde stellte hierzu Originalbauteile und die entsprechenden Bohrwerkzeuge zur Verfügung. Da die bisher eingesetzten Hartmetall-Sonderwerkzeuge unbeschichtet sind und wegen der großen Neigung der Aluminium-Knetlegierungen zur Bildung von Werkstoffaufschmierungen und Aufbauschneiden am Werkzeug kam bei den Bohrversuchen eine äußere Minimalmengenschmierung zur Anwendung. Die äußere Zuführung war erforderlich, um die Bohrungswand nicht mit MMS-Medium zu kontaminieren. Um zu verhindern, dass MMS-Medium von außen in die Bohrung gelangt, wurde die Düse so angestellt, dass sie das Aerosol zwar auf das Werkzeug aber weg vom Werkstück sprühte. Als Startbedingungen für Schnittgeschwindigkeit und Vorschub dienten die Werte der bisherigen Nassbearbeitung. Unter diesen Bedingungen konnte eine Vielzahl von Bohrungen ohne nen-

nenswerte Werkstoffaufschmierungen am Werkzeug eingebracht werden. Nachteilig erwies sich die Neigung der Späne, sich um den Bohrer zu wickeln, von dem sie manuell entfernt werden mussten. Dieses Problem besteht jedoch auch bei der Nassbearbeitung. Da bei der im Unternehmen vorhandenen Produktionsmaschine höhere Spindeldrehzahlen nicht möglich sind, wurden zur Verbesserung der Spanbildung in weiteren Versuchen Vorschubstopps von 0,1 s Dauer einprogrammiert und der Vorschub schrittweise erhöht. Bei einem gegenüber der bisherigen Nassbearbeitung dreifach höheren Vorschubwert entstanden Späne, die sich auch ohne Vorschubstopps nicht mehr um den Bohrer knäuelten. Unter diesen Bedingungen konnten in das zur Verfügung gestellte Bauteil mehrere hundert Bohrungen eingebracht werden, ohne dass es hierbei zu nennenswerten Problemen hinsichtlich Spanbildung oder Materialverklebungen am Werkzeug kam.

**Ergebnis:** Zur Überprüfung der Qualität klebte der Kunde in die Bohrungen Stifte ein und führte Ausreißtests durch. Die ausgezeichneten Testergebnisse veranlassten ihn die Bohrungsfertigung auf Minimalmengenschmierung umzustellen und seine Werkzeugmaschine - auf der nur solche Teile bearbeitet werden - mit einem äußeren MMS-System nachzurüsten.

Seit der Umstellung fertigt der Kunde diese Teile mit großer Prozesssicherheit und großer Zufriedenheit. Als wesentlichste Vorteile der neuen Technologie gegenüber der bisherigen Nassbearbeitung sind zu nennen: Es wird eine sehr hochwertige reproduzierbare Klebequalität erzielt. Die sehr aufwendige und teure Bauteilreinigung ist nicht mehr erforderlich. Die Maschine ist frei von Kühlschmierstoff und sauber. Auch das Maschinenumfeld ist trocken und sauber. Hieraus resultiert eine höhere Arbeitsplatzqualität – ein Aspekt, der dem Kunden neben allen andern Vorteilen besonders wichtig ist, da die Maschine in einer Behindertenwerkstatt steht.



Werkstück: Rohr D = 450 mm  
 Werkstoff: AlMgSi0,5  
 Werkzeug: Stufenbohrer  
 Durchmesser:  $D_1 = 6,0$  mm  $D_2 = 4,0$  mm  
 Schneidstoff: Hartmetall unbeschichtet

Spindeldrehzahl:  $n_{\max.} = 5.500 \text{ min}^{-1} = \text{konst.}$

Schnittbedingungen:	Probleme / Ergebnisse :
$v_f = 990 \text{ mm/min}$ $f = 0,18 \text{ mm/U}$	dünne Späne bilden Knäuel um Werkzeug
$v_f = 1.980 \text{ mm/min}$ $f = 0,36 \text{ mm/U}$	Vorschubstop 0,1 s: Späne wickeln sich nur noch sporadisch um das Werkzeug
$v_f = 2.970 \text{ mm/min}$ $f = 0,54 \text{ mm/U}$	ohne Vorschubstop; sich um das Werkzeug wickelnde Späne lösen sich selbständig wieder davon ab

**Abbildung 11.4.5: Ergebnisse der Zerspanversuche beim Bohren in eine Aluminium-Knetlegierung mit unbeschichtetem Hartmetall-Stufenbohrer und äußerer Minimalmengenschmierung**

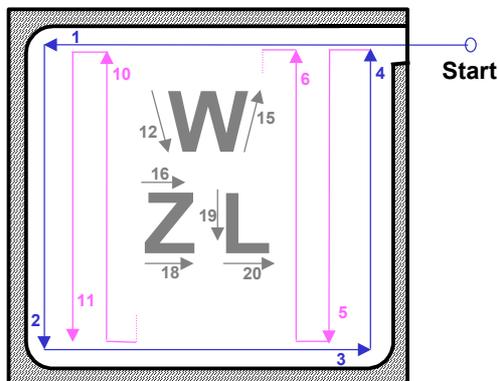
#### 11.4.6 Beratungsbeispiel 6: Schafffräsen einer Aluminium-Knetlegierung ohne Einsatz einer Minimalmengenschmierung

**Ausgangssituation:** Bei dem Kunden werden Bauteile aus der Aluminium-Knetlegierung AlMgSi0,5 durch Schafffräsen im Nassschnitt hergestellt. Vor der nachfolgenden Oberflächenveredelung müssen die Teile gewaschen und von allen Emulsionsrückständen sorgfältig gereinigt werden. Den sehr aufwendigen und kostenintensiven Waschvorgang möchte der Kunde gerne einsparen. Im Hinblick auf die Beschaffung einer neuer Bearbeitungsmaschine stellte er sich die Frage, ob zur Einsparung des Waschvorganges und der damit verbundenen Kosten das Schafffräsen der Bauteile komplett trocken, d. h. auch ohne Einsatz eines Minimalmengenschmiermediums, möglich ist.

**Vorgehensweise:** In Stichversuchen sollte am Institut die Frage nach der grundsätzlichen Machbarkeit untersucht werden. Für die Versuche stellte der Kunde seinen Werkstoff zur Verfügung. In den Stichversuchen kamen verschiedene Werkzeugausführungen zum Einsatz. Variiert wurden ferner die Schnittbedingungen.

**Ergebnisse:** Wie die Versuche belegen, kann die Al-Knetlegierung AlMgSi0,5 grundsätzlich auch ohne Minimalmengenschmierung trocken durch Schafffräsen bearbeitet werden. Der Bearbeitungserfolg ist jedoch an zwei wesentliche Vorausset-

zungen geknüpft. Diese betreffen zum einen die Geometrie der Werkzeuge und zum anderen deren Einsatz unter geeigneten Schnittbedingungen.



**Schafffräser: 2- Schneider**  
**Durchmesser: D = 10 mm**  
**Drallwinkel:  $\lambda = 30^\circ$**   
**Schneidstoff: HM, beschichtet**  
**Werkstoff: AlMgSi0,5**  
**Schnittbedingungen:  $n = 20.000 \text{ min}^{-1}$**   
 $v_c = 600 \text{ m/min}$   
 $f_z = 0,3 \text{ mm}$

**Ergebnis: Die Machbarkeit einer kompletten Trockenbearbeitung konnte in den Stichversuchen nachgewiesen werden**

**Die Werkzeuge zeigten keinerlei Materialverklebungen**

**Empfehlung zur Durchführung von Langzeitversuchen zur Absicherung der Ergebnisse und zum Nachweis der Prozeßsicherheit**

#### **Abbildung 11.4.6: Angepasste Werkzeuge und Schnittbedingungen ermöglichen das Schafffräsen von Aluminium-Knetlegierungen auch ohne Minimalmengenschmierung**

Zentrale Bedeutung kommt der Werkzeuggeometrie zu. Die Werkzeuge müssen neben möglichst scharfen Schneiden vor allem große und geräumige Spannuten besitzen. Spannuten, wie sie an Nassfräswerkzeugen meist üblich sind, erwiesen sich für diese Bearbeitungsaufgabe als völlig ungeeignet, da sie zu klein und zu eng sind. Sie setzten sich sehr schnell mit Werkstoff zu, mit der Folge, dass die Werkzeuge bereits nach kurzer Einsatzzeit völlig mit Werkstoff zugeschmiert und nicht mehr einsatzfähig waren. Ein weiterer entscheidender Aspekt ist der Einsatz der Werkzeuge unter angepassten Schnittbedingungen, d. h. Schnittgeschwindigkeit und Vorschub dürfen nicht zu klein, sondern müssen möglichst groß gewählt werden, um zu gewährleisten, dass der Span nicht am Werkzeug haften bleibt, sondern sicher hiervon abgelöst wird. Unter den Bedingungen  $n = 20.000 \text{ min}^{-1}$  und  $f_z = 0,3 \text{ mm}$  konnte mit einem geometrieoptimierten Werkzeug die vorliegende Al-Knetlegierung ohne MMS prozesssicher bearbeitet werden. An den Werkzeugen waren auch nach längerem Einsatz so gut wie keine Materialanhaftungen zu verzeichnen. Begünstigt wurde dieses sehr positive Ergebnis sicherlich auch durch das aufgebrachte Schichtsystem, eine

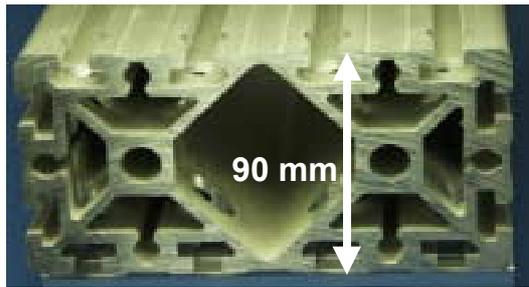
stöchiometrisch modifizierte „silberfarbene“ Titannitrid-Hartstoffschicht, die sich im Vergleich zu anderen Schichtmaterialien durch eine sehr geringe Adhäsionsneigung zum zerspannten Werkstoff auszeichnete.

In den Stichversuchen konnte der Nachweis erbracht werden, dass bei Beachtung bestimmter Randbedingungen Bauteile aus der Al-Knetlegierung AlMgSi<sub>0,5</sub> vollständig trocken, d. h. ohne den Einsatz einer Minimalmengenschmierung durch Schafffräsen bearbeitet werden können. Dem Kunden wurde empfohlen, in Langzeitversuchen noch den Nachweis für eine ausreichend hohe Prozesssicherheit zu erbringen.

#### **11.4.7 Beratungsbeispiel 7: Bohren von Profilen aus einer Aluminium-Knetlegierung mit L/D = 5**

**Ausgangssituation:** In Systemprofile aus der Aluminium-Knetlegierung AlMgSi<sub>0,5</sub> sind Durchgangsbohrungen einzubringen. Da die Bohrwerkzeuge und die Bearbeitungsmaschine für eine innere KSS-Zuführung nicht vorgesehen sind, kommt eine äußere Minimalmengenschmierung zum Einsatz. Das Problem hierbei ist, dass mit zunehmender Bohrungstiefe die Schmierwirkung des aufgesprühten Mediums nachlässt und Späne, die sich im Bauteil ansammeln, mit dem Werkzeug verschweißen.

**Vorgehensweise:** Die prozesssichere Fertigung der Durchgangsbohrungen erfordert während des gesamten Bohrvorganges eine kontinuierliche Versorgung des Werkzeuges mit Minimalmengenschmierung und eine sichere Spanabfuhr. Um dies zu erreichen ist es unumgänglich, Luft und MMS-Medium über das Werkzeug zuzuführen. Da die bislang eingesetzten Hartmetall-Werkzeuge über keine innenliegenden KSS-Kanäle verfügen, wurde in diese ein zentraler Kanal für eine innere MMS-Zuführung und 4 seitliche Kanäle für den radialen Austritt von Luft und MMS-Medium einerodiert (**Abbildung 11.4.7**). Die Austrittskanäle sind in unterschiedlichen Höhen eingebracht, um ein sicheres Ausblasen der Späne aus allen Zwischenräumen des Bauteiles zu gewährleisten. Zur Überprüfung ihrer Funktionsfähigkeit kamen die modifizierten Werkzeuge in Stichversuchen auf einem vertikalen Bearbeitungszentrum mit innerer MMS-Zuführung zum Einsatz.



**Werkstoff:** AlMgSi0,5

**Aufgabenstellung:**

Herstellung von Durchgangsbohrungen

**Bisherige Vorgehensweise:**

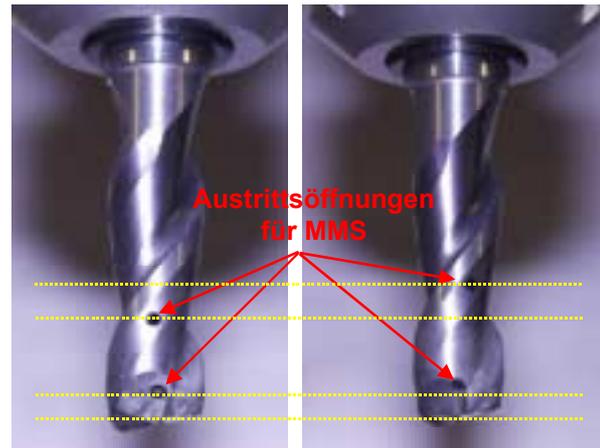
Bohren mit Vollhartmetall-Werkzeugen unter Einsatz einer äußeren Minimalmengenschmierung.

**Problem:**

Mit zunehmender Bohrungstiefe schweißen die Werkzeuge mit Werkstoff zu.

**Vorgehensweise:**

Modifizierung der Werkzeuge durch Einerodieren von Kanälen für innere MMS-Zufuhr.



**Ergebnis:**

- Zuführung von Luft und MMS durch das Werkzeug.
- Späne werden sicher aus dem Bauteil ausgeblasen.
- Keine Werkstoffaufschweißungen mehr am Werkzeug.

### Abbildung 11.4.7: Hartmetallwerkzeug mit einerodierten Kanälen zur inneren Zuführung von Luft und MMS-Medium

**Ergebnis:** Mit den modifizierten Werkzeugen können die Durchgangsbohrungen prozesssicher eingebracht werden. Während des gesamten Bohrvorganges wird das Werkzeug kontinuierlich mit MMS-Medium benetzt und alle Späne werden zuverlässig vom Werkzeug weggeblasen.

#### 11.4.8 Beratungsbeispiel 8: Kombiniertes Bohren und Reiben in Stahl

**Ausgangssituation:** In sogenannten Trommelböden aus St52 wird bei einem Maschinenbauunternehmen in einem Arbeitsgang die Mittenbohrung (56H7) aufgebohrt und feinbearbeitet. Zum Einsatz kommt ein mit Wendeschneidplatten und mit Stützleisten aus Diamant bestücktes kombiniertes Bohr-Reib-Werkzeug. Die Bearbeitung erfolgt auf einer Sondermaschine im Nassschnitt. Die Spindel mit dem Werkzeug ist senkrecht positioniert und verfährt von unten nach oben. Die Spannvorrichtung, die das Bauteil während des Bearbeitungsvorganges fixiert, wird über ein Greifersystem automatisch be- und entladen. Während des Entladevorganges wird über die Bauteile sehr viel Kühlschmierstoff aus der Maschine in das Umfeld verschleppt. Auch an der Maschine selbst tritt punktuell Emulsion aus. Folge hiervon ist eine sehr starke Belastung und Kontamination des Maschinenumfeldes mit Kühlschmierstoff. Motivation, sich mit der Trockenbearbeitung zu befassen, war für die Verantwortlichen die-

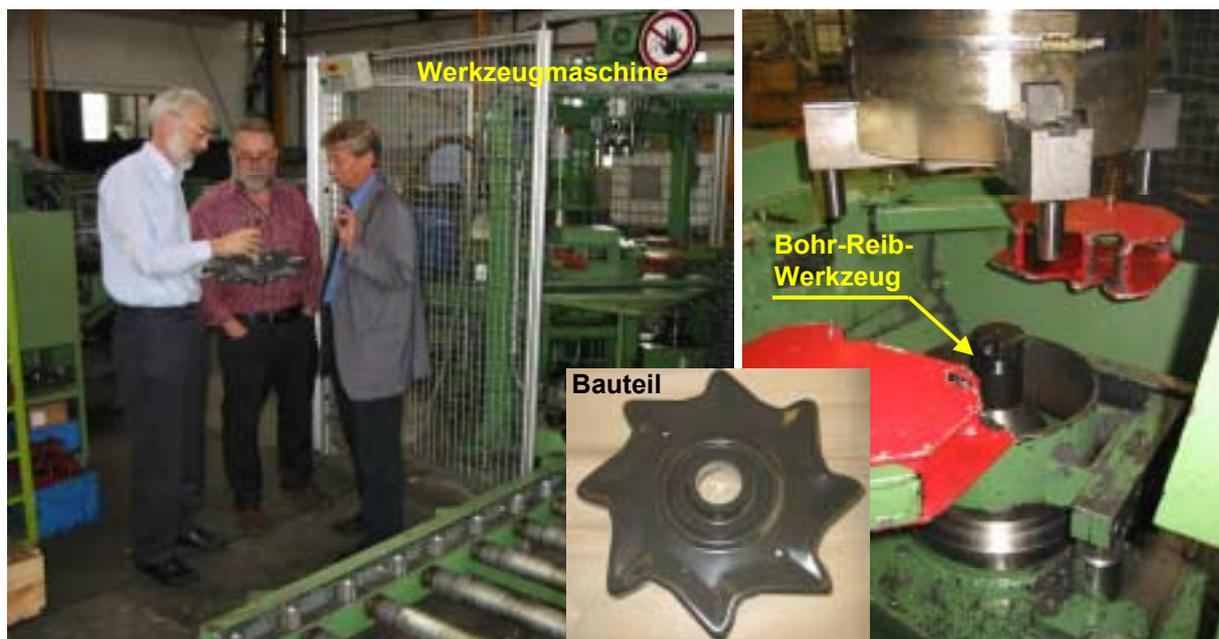
ses Unternehmen primär das Ziel, an dieser Maschine die vom Kühlschmierstoff ausgehenden Belastungen für Maschinenumfeld und Mitarbeiter entscheidend zu verringern.

**Vorgehensweise:** Die Bohrungsfeinbearbeitung mit einem leistungsgestützten Reibwerkzeug erforderte zwingend den Einsatz einer Minimalmengenschmierung. Zur Reduzierung der Reibung zwischen Leiste und Bohrungswand, zur Verringerung des Leistenverschleißes und zur Verbesserung der Bohrungsoberflächenqualität ist eine ausreichende und zuverlässige Schmierung der Reibpaarung Leiste/Bohrungswand unverzichtbar. Bei trockenbearbeitungstauglichen Reibwerkzeugen müssen nicht nur die Schneidplatten, sondern vor allem auch die Führungsleisten intensiv und sicher mit dem Minimalmengenschmiermedium beaufschlagt werden. Es stellte sich daher die Frage, ob und inwieweit das vorliegende Nassbearbeitungswerkzeug für den Einsatz mit MMS geeignet ist. Zur Abklärung dieser Frage wurde mit dem Werkzeughersteller Kontakt aufgenommen, der daran geringfügige Modifikationen zur Verbesserung der Leistenschmierung vornahm.

Bearbeitungsmaschine, Werkzeug und Bauteil machten es erforderlich, die zum Nachweis der Machbarkeit einer Trockenbearbeitung der Trommelböden unverzichtbaren Versuche auf der Produktionsmaschine durchzuführen. Ein Hersteller von MMS-Systemen erklärte sich bereit, für Stichversuche an der Werkzeugmaschine ein Minimalmengenschmiersystem anzubringen. Vorteilhaft erwies sich hierbei der Umstand, dass Spindel und Werkzeuge für eine innere Kühlschmierstoffzufuhr ausgelegt waren. Wegen der einfacheren Nachrüstbarkeit kam ein 1-kanaliges System zum Einsatz. Gemeinsam mit dem Meister vor Ort sowie dem Werkzeug- und MMS-Systemhersteller wurden in der Produktion des Unternehmens erste Versuche zur Trockenbearbeitung der Trommelböden durchgeführt (**Abbildung 11.4.8**). Da an der Maschine Schnittgeschwindigkeit und Vorschub nur in einem sehr schmalen Bereich variierbar waren, kamen bei den Trockenbearbeitungsversuchen dieselben Schnittwerte wie bei der Nassbearbeitung zur Anwendung.

**Ergebnis:** In den Stichversuchen gelang es von Anfang an ausschließlich Gutteile herzustellen. Kleinere Probleme ergaben sich lediglich zu Beginn der Versuche, bis die optimalen Parameter für die Einstellung von Luft und Öl gefunden waren. Die gefertigten Teile waren maßhaltig und die Oberflächenqualität war gleich bzw. sogar besser als bei den Nassbearbeiteten Teilen. Der Kunde testete die Bearbeitung der

Teile unter Einsatz der Minimalmengenschmierung noch weitere 2 Wochen. Aufgrund der hierbei gewonnenen außerordentlich positiven Erfahrungen rüstete er die Maschine mit einem MSS-System nach und legte die Maschine komplett trocken. Ergebnis der Umstellung auf die Trockenbearbeitung mit MMS ist ein KSS-freies, sauberes und trockenes Maschinenumfeld. Die Zielsetzung, die starke Belastung der Mitarbeiter durch den Kühlschmierstoff signifikant zu verringern, wurde voll und ganz erreicht.



**Abbildung 11.4.8: Bauteil, Maschine und das Bearbeitungsteam, das vor Ort in Stichversuchen den Nachweis der Machbarkeit einer Trockenbearbeitung erbrachte**

#### **11.4.9 Beratungsbeispiele 9 - 12: Bohren in Stahl mit großen L/D-Verhältnissen**

**Ausgangssituation:** Das Bohren zählt mit zu den wichtigsten und am häufigsten eingesetzten Fertigungsverfahren. Nahezu jedes prismatische Bauteil enthält zumindest eine Bohrung. Kennzeichnend für das Bohren ohne Kühlschmierstoff ist eine gegenüber der Nassbearbeitung höhere thermische Belastung von Werkzeug, Spänen und Bauteil. Dies kann zu verstärktem Werkzeugverschleiß, einer erschwerten Abfuhr der heißen und sehr verformungsfähigen Späne aus der Bohrernt, zu Maß- und Formfehlern oder gar zu thermischen Schäden am Bauteil führen. Die Entwick-

lung des Trockenbohrens und hier insbesondere von trockenbearbeitungstauglichen Werkzeugen war daher schon sehr früh Gegenstand intensiver Forschungsarbeiten. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang das vom BMBF geförderte Verbundprojekt „Trockenbearbeitung prismatischer Bauteile“. Zwischenzeitlich steht eine große Palette trockenbearbeitungstauglicher Bohrwerkzeuge zur Verfügung, die hinsichtlich Substrat, Geometrie und Beschichtung auf die speziellen Anforderungen des Trockenbohrprozesses abgestimmt sind. Die heute verfügbaren Werkzeuge können in der Regel beim Bohren in unlegierten und niedriglegierten Stahl bis zu L/D-Verhältnissen von  $\leq 3$  vollständig trocken eingesetzt werden. Bei größeren Bohrungstiefen ist meist der Einsatz von Luft oder einer Minimalmengenschmierung zur Unterstützung des Spantransportes oder zur Reduzierung der Reibung zwischen Werkzeug, Span und Bohrungswand unerlässlich.

**Vorgehensweise:** Aufgrund der besonderen Anforderungen, die das Trockenbohren an Werkzeuge und Prozessauslegung stellt, wurde dem Bohren bei der Prüfung der Frage nach der Machbarkeit der Trockenbearbeitung eines Bauteils besondere Beachtung geschenkt. Bei einer Vielzahl von Bauteilen erwies sich der Bohrprozess als die für eine Umstellung auf eine Trockenbearbeitung kritische Schlüsseloperation. Dies galt insbesondere für Bohrungen mit großen L/D-Verhältnissen. In diesen Fällen war es unerlässlich, in Versuchen den Nachweis zu erbringen, dass und unter welchen Randbedingungen ein wirtschaftliches Trockenbohren möglich ist. Die hierzu notwendigen Versuche wurden alle am Institut durchgeführt. Zum Einsatz und zur Erprobung kamen Trockenbohrwerkzeuge von fast allen namhaften Werkzeugherstellern. Für ihr Engagement, für die gute Zusammenarbeit und für die großartige Unterstützung, die ganz maßgeblich zur erfolgreichen Lösung zahlreicher Bearbeitungsaufgaben beigetragen haben, sei daher an dieser Stelle nochmals allen Werkzeugherstellern ganz herzlich gedankt. Das Spektrum der durchgeführten Untersuchungen reichte von Stichversuchen zum bloßen Nachweis der grundsätzlichen Machbarkeit des Trockenbohrens über die Auslegung des Trockenbohrprozesses bis hin zur detaillierten Ermittlung des Verschleiß- und Leistungsvermögens der eingesetzten Werkzeuge. Zum Einsatz kamen sowohl Bohrwerkzeuge, die bereits heute standardmäßig als Trockenbohrer angeboten werden, aber auch Werkzeuge, die speziell für einzelne Bearbeitungsfälle entwickelt und hergestellt worden waren. Im folgenden sind einige der bearbeiteten Anwendungsfälle näher dargestellt.

**Ergebnisse:*****Beratungsbeispiel 9: Bohren in Automatenstahl mit  $L/D \geq 5$*** 

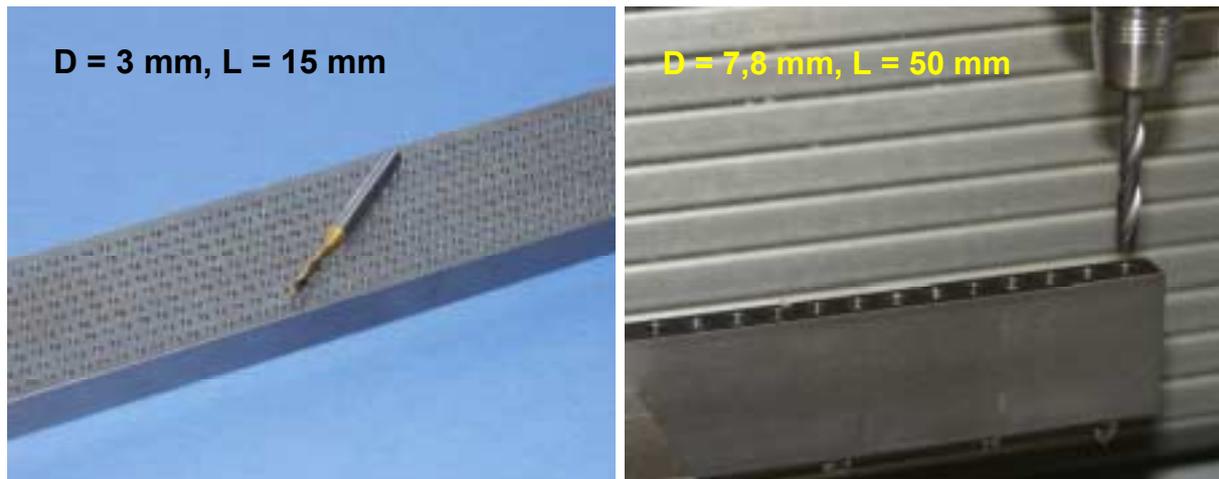
Aufgabenstellung war hier das Bohren von Leisten aus dem Automatenstahl 9SMnPb28k. Aus dem breiten Spektrum der in die Leisten einzubringenden Bohrungen wurden gemeinsam mit dem Kunden als repräsentative und wegen der Bohrungstiefe durchaus als kritisch anzusehende Bearbeitungsaufgaben die Herstellung von zwei Bohrungen mit den Abmessungen  $D = 3 \text{ mm}$ ,  $L = 15 \text{ mm}$  und  $D = 7,8 \text{ mm}$  und  $L = 50 \text{ mm}$  festgelegt.

Die Versuchsbedingungen wurden wie folgt gewählt:

Bohrung: $D = 3 \text{ mm}$ , $L = 15 \text{ mm}$ Durchgangsbohrung	Bohrung: $D = 7,8 \text{ mm}$ , $L = 50 \text{ mm}$ Durchgangsbohrung
Werkstoff: 9SMnPb28k	Werkstoff: 9SMnPb28k
Bohrer: trockenbearbeitungstauglich Vollhartmetall, TiN-beschichtet	Bohrer: trockenbearbeitungstauglich Vollhartmetall, TiAlN-beschichtet
Schnittgeschwindigkeit: $v_C = 80 \text{ m/min}$ Vorschub: $f = 0,08 \text{ mm/U}$	Schnittgeschwindigkeit: $v_C = 80 \text{ m/min}$ Vorschub: $f = 0,24 \text{ mm/U}$
Äußere Minimalmengenschmierung	Innere Minimalmengenschmierung
Anzahl gefertigter Bohrungen: $n = 1000$	Anzahl gefertigter Bohrungen: $n = 200$

**Tabelle 11.4.1: Versuchsparameter beim Trockenbohren in den Automatenstahl 9SMnPb28k**

Das Standzeitpotential der Werkzeuge konnte mit  $n = 1000$  bzw.  $n = 200$  gefertigten Bohrungen bei weitem nicht ausgeschöpft werden. Die Werkzeuge besitzen ein deutlich höheres Leistungsvermögen. Die Versuche wurden vorzeitig beendet, da keine Werkstoffleisten mehr zur Verfügung standen. Die erzielten Ergebnisse zeigen jedoch auch so sehr deutlich, dass unter den gewählten Einsatzbedingungen das Trockenbohren in den Automatenstahl problemlos möglich ist.



**Abbildung 11.4.9:** Trockenbohren in den Automatenstahl 9SMnPb28k

Der Kunde, der teilweise noch mit HSS-Bohrern arbeitet, prüft derzeit noch die Möglichkeiten zur Umsetzung der Ergebnisse auf seiner Produktionsmaschine. Hierbei stellen sich zwei Probleme: Zum einen ist die Spindel auf dem vorhandenen Bearbeitungszentrum nicht für eine innere Kühlschmierstoff- bzw. MMS-Zufuhr ausgelegt (eine Nachrüstung der Maschine mit einer geeigneten Spindel ist mit sehr hohen Kosten verbunden), was bedeutet, dass die Herstellung der 50 mm tiefen Bohrungen mit  $D = 7,8$  mm mit einer äußeren MMS-Zuführung erfolgen muss. Durch diese Maßnahme muss einerseits mit Leistungseinbußen beim Bohren gerechnet werden, andererseits stellt sich das Problem, dass mehrere Werkzeuge über eine äußere MMS-Zufuhr mit Medium versorgt werden müssen. Für die Versorgung von Werkzeugen mit einer äußeren Minimalmengenschmierung, die sich in Länge und Durchmesser stark unterscheiden, gibt es jedoch bislang noch keine zufriedenstellenden Lösungen. Erste Entwicklungsansätze sind zu verzeichnen, über Flexibilität, Zuverlässigkeit und Praxistauglichkeit dieser Systeme liegen jedoch noch keine umfassenden Erfahrungen und Berichte vor (siehe hierzu auch Beratungsbeispiel 14).

***Beratungsbeispiel 10: Bohren in den Baustahl St52-3 mit  $L/D = 6$***

In Bauteile aus dem Baustahl St52-3 waren 43 mm tiefe Bohrungen mit einem Durchmesser von 7 mm einzubringen. Die Aufgabenstellung ähnelt damit den zuvor unter Beratungsbeispiel 9 beschriebenen Versuchen. Ein wesentlicher Unterschied besteht jedoch in dem zu bearbeitenden Werkstoff. Der Automatenstahl zeichnete sich durch eine gute Spanbildung und gleichmäßige Zerspanbarkeit aus. Im Vergleich hierzu

kann bei Baustählen ein durchaus deutlicher Chargeneinfluss auf die Zerspanbarkeit zu verzeichnen sein. Vor diesem Hintergrund war nicht nur die Frage nach der Machbarkeit des Trockenbohrens, sondern auch die nach dem Chargeneinfluss auf das Leistungsverhalten der Bohrwerkzeuge von Interesse.

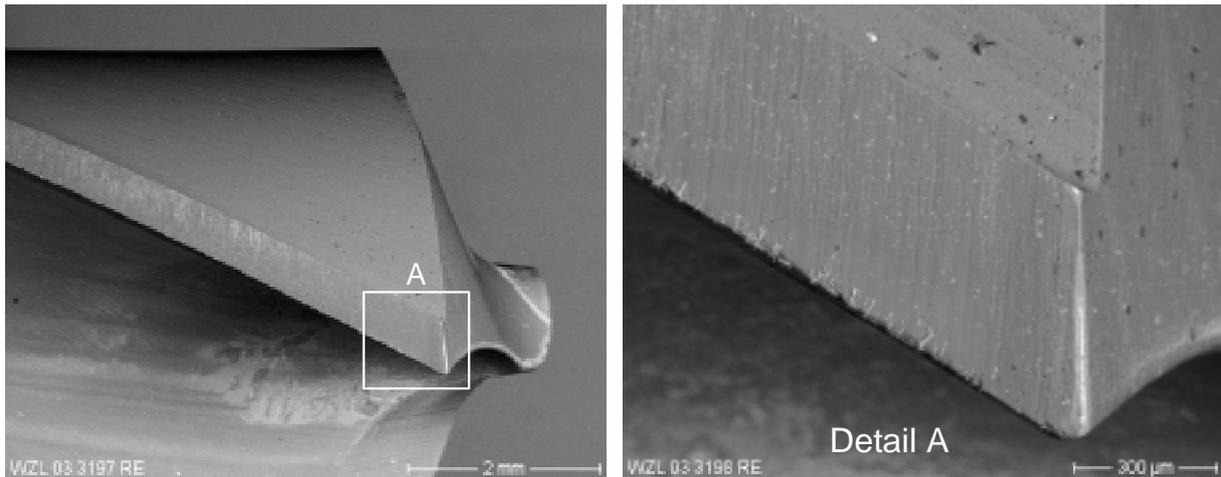
**Abbildung 11.4.10** zeigt das Bauteil beim Trockenbohren auf der Werkzeugmaschine mit den Bearbeitungsparametern. Gebohrt wurde unter Einsatz einer inneren Minimalmengenschmierung.



- Bohrung:  $D = 7 \text{ mm}$ ,  $L = 43 \text{ mm}$
- Werkstoff: St 52-3
- Bohrer: trockenbearbeitungstauglich Vollhartmetall, TiAlN-beschichtet
- Schnittgeschwindigkeit:  
 $v_c = 80 \text{ m/min}$
- Vorschub:  $f = 0,24 \text{ mm/U}$
- Innere Minimalmengenschmierung
- Anzahl gefertigter Bohrungen:  
 $n = 700$

**Abbildung 11.4.10: Versuchparameter beim Trockenbohren in den Baustahl St52-3**

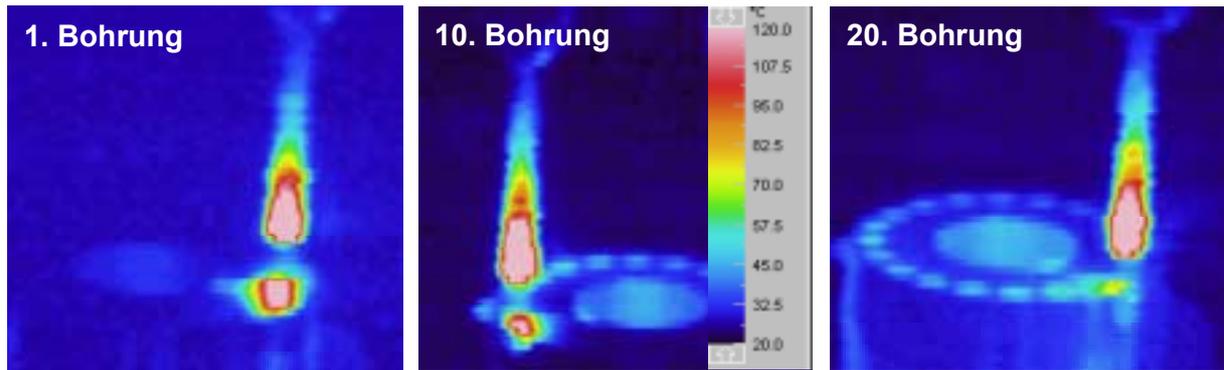
Nach 700 gefertigten Bohrungen war der Verschleiß an den eingesetzten Werkzeugen noch so gering (**Abbildung 11.4.11**), dass zur Reduzierung des zeitlichen Aufwandes mit dem Kunden abgestimmt wurde, das Standzeitvermögen der Bohrwerkzeuge nicht in den Laborversuchen, sondern in der Serienfertigung unter realen Produktionsbedingungen auszuloten.



**Abbildung 11.4.11: Nach 700 gefertigten Bohrungen weisen die beim Trockenbohren des Baustahls St52-3 eingesetzten Werkzeuge einen noch außerordentlich geringen Verschleiß auf - das Leistungspotential der Werkzeuge ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft.**

Die Versuche wurden an zwei unterschiedlichen Werkstoffchargen durchgeführt. Ein signifikanter Chargeneinfluss auf das Leistungsvermögen der Bohrwerkzeuge war nicht zu verzeichnen. Lediglich bei der Spanformung und bei den Anlassfarben auf den Spänen war ein geringer Unterschied zwischen den zwei zerspannten Chargen zu erkennen. Dieser wirkte sich jedoch weder auf den Werkzeugverschleiß noch auf die beim Bohren gemessenen Werkzeug- und Werkstücktemperaturen aus.

Wie die bei einem Werkstückumlauf aufgenommenen Thermographiebilder zeigen, erreicht das Bohrwerkzeug bereits nach wenigen Bohrungen ein quasi stationäres Temperaturniveau. Im vorliegenden Bearbeitungsfall lagen die am Werkzeug gemessenen maximalen Temperaturen bei ca. 120 °C (**Abbildung 11.4.12**). Am Bauteil war nach insgesamt 40 eingebrachten Bohrungen ein Anstieg der Temperatur um ca. 25 °C zu verzeichnen. Da an dem realen Werkstück lediglich 6 Bohrungen hergestellt werden müssen, ist im Hinblick auf die Teilegenauigkeit die mit der Trockenbearbeitung einhergehende Bauteilerwärmung als völlig unkritisch einzustufen. Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass das Trockenbohren in den Baustahl St52-3 unter den hier gegebenen Randbedingungen problemlos möglich war.



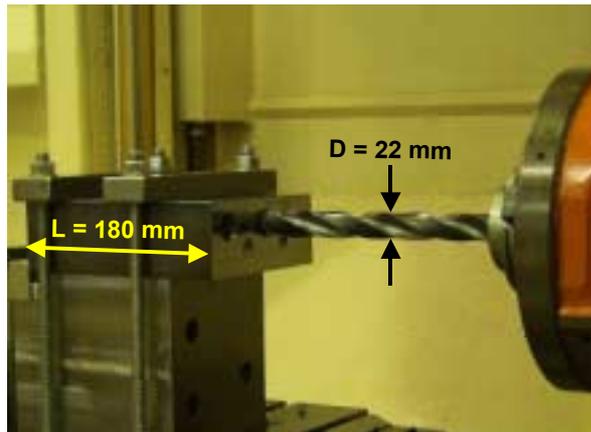
**Abbildung 11.4.12: Werkzeug- und Bauteiltemperatur beim Trockenbohren in den Baustahl St52-3 in Abhängigkeit von der Anzahl der eingebrachten Bohrungen**

***Beratungsbeispiel 11: Bohren in den Vergütungsstahl C45 mit  $L/D=8,6$***

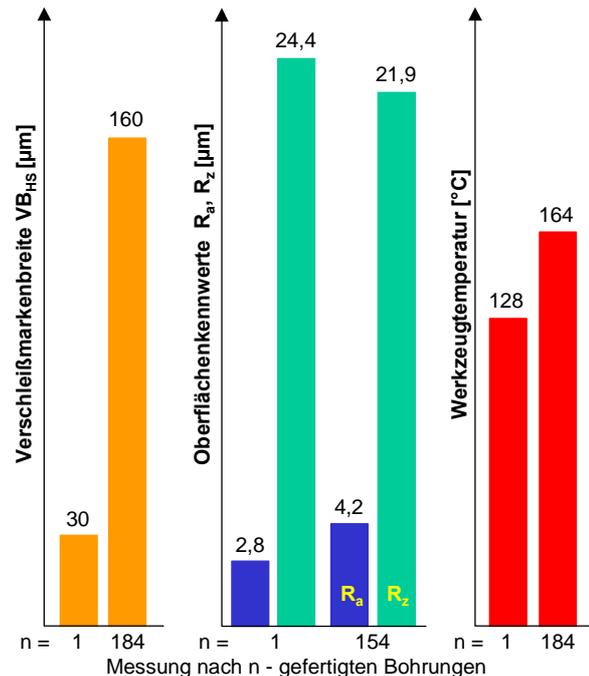
Die Aufgabe, tiefe Bohrungen ohne Kühlschmierstoff zu fertigen, zählt derzeit noch zu den großen Herausforderungen in der Trockenbearbeitung. Sehr schnell gelangt man hierbei an technologische Grenzen, die, wenn überhaupt, nur sehr schwer zu überwinden sind. Dies gilt um so mehr, wenn Bohrungen zu fertigen sind, für die weder geeignete Werkzeuge noch Erfahrungen hinsichtlich der grundsätzlichen Machbarkeit vorliegen. Im vorliegenden Bearbeitungsfall sollten in Bauteile aus dem Vergütungsstahl C45 Durchgangsbohrungen mit einer Länge von 180 mm und mit einem Durchmesser von  $D = 22$  mm eingebracht werden.

Zur Klärung der Frage, ob diese Aufgabe lösbar ist, wurde mit einem Werkzeughersteller Kontakt aufgenommen. Dieser erklärte sich bereit, für diesen Anwendungsfall einen Vollhartmetallbohrer zu entwickeln und herzustellen.

Mit dem Sonderwerkzeug wurden am Institut auf einem Bearbeitungszentrum mit horizontaler Spindel Versuche zur Beurteilung des Leistungspotentials des neuen Werkzeugs durchgeführt (**Abbildung 11.4.13**). Unter den Bedingungen  $v_c = 60$  m/min und  $f = 0,35$  mm/U konnten mit dem Werkzeug 184 Bohrungen gefertigt werden, was einem Vorschubweg von 33 m entspricht.



Bohrung: D = 22 mm, L = 180 mm  
 Werkstoff: C45  
 Bohrer: Vollhartmetall, D = 22 mm, TiAlN - beschichtet  
 Schnittgeschwindigkeit:  $v_c = 60$  m/min  
 Vorschub:  $f = 0,35$  mm/U  
 Innere Minimalmengenschmierung  
 Standmenge: 184 Bohrungen ( $L_f = 33$  m)



**Abbildung 11.4.13: Bohren einer 180 mm tiefen Bohrung in den Vergütungsstahl C45 mit einem beschichteten Vollhartmetallbohrer unter Einsatz einer inneren MMS-Zufuhr**

Zum Einsatz kam eine innere Minimalmengenschmierung. Die Fertigung der Bohrungen erfolgte in einem Zug, d. h. ohne Vorschubstopps, Verweilzeiten und ohne einen Rückzug des Werkzeuges zum Entspannen. Es entstanden kurze Spanlocken, die über die gesamte Bohrungstiefe problemlos aus der Bohrung herausbefördert wurden. Nach jeweils 10 nacheinander gefertigten Bohrungen wurden Werkzeugtemperatur und Werkzeugverschleiß gemessen. Das neue und unverschlissene Werkzeug erreichte Temperaturen von ca.  $130^{\circ}\text{C}$ , die mit zunehmender Anzahl an gefertigten Bohrungen allmählich auf einen Endwert von  $160 - 170^{\circ}\text{C}$  anstiegen. Die Anlassfarben der Späne bewegten sich in einem Bereich von mittel- bis dunkelblau, was als Hinweis darauf gewertet werden kann, dass der Einsatz des Werkzeuges bereits bei weitgehend optimalen Schnittwerten erfolgte. Die Werkzeugerwärmung wirkte sich weder auf den Werkzeugverschleiß noch auf die Bohrungsqualität nachweisbar nachteilig aus. Die an den Bohrungen gemessenen Oberflächenqualitäten lagen innerhalb der geforderten Grenzwerte.

Die sehr positiven Ergebnisse veranlassten den Kunden, das Werkzeug auf seiner Produktionsmaschine zu testen, um Aussagen über Standvermögen und Zuverlässigkeit unter Produktionsbedingungen zu erhalten. Die Produktionsmaschine wurde

hierzu mit einem 1-kanaligen MMS-System nachgerüstet. Die ersten Versuche verliefen sehr vielversprechend und sind für den Kunden Anlass, gemeinsam mit dem Werkzeughersteller Werkzeug und Technologie für eine Praxiseinführung weiter zu entwickeln. Motivation für den Kunden sich mit der Trockenbearbeitung auseinander zu setzen ist das Ziel, die betreffende Maschine trocken zu legen und damit das Arbeitsumfeld und die Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter grundlegend zu verbessern. Das derzeitige Engagement dient aber auch dem Zweck, Erfahrungen mit dem Einsatz der Trockenbearbeitung in der Produktion zu sammeln, deren Grenzen und Chancen auszuloten und so eine Basis für die Entscheidung zu schaffen, ggf. weitere Maschinen auf eine Trockenbearbeitung umzustellen und/oder bei Maschinenneubeschaffungen verstärkt in diese Technologie zu investieren.

#### **11.4.10 Beratungsbeispiel 12: Bohren mit Wendeschneidplatten bestückten Werkzeugen in den Baustahl St52-3**

In Bauteile aus dem Baustahl St52-3 muss eine Durchgangsbohrung mit einem Durchmesser von  $D = 35$  mm und einer Tiefe von  $L = 50$  mm eingebracht werden. Die Bearbeitung erfolgt derzeit mit Wendeschneidplatten bestückten Bohrwerkzeugen im Nassschnitt. Auf der vorhandenen Maschine werden ausschließlich geometrisch ähnliche Teile gefertigt. U. a. muss in diese die beschriebene Bohrung eingebracht werden. Im Vorfeld einer Erweiterungsinvestition stellte sich die Frage nach einer Trockenbearbeitung. Befürchtet wurde, dass bei der Herstellung der 35 mm Bohrung das Bauteil sich zu stark erwärmt und die geforderten engen Bauteiltoleranzen nicht mehr eingehalten werden können.

Es galt daher zu prüfen, mit welchen Werkzeugen und mit welchen Schnittparametern die Bohrung wirtschaftlich hergestellt und gleichzeitig eine zu starke Erwärmung des Bauteils vermieden werden kann. Für die Untersuchungen standen 4 Werkzeugvarianten zur Verfügung (**Abbildung 11.4.14**). Bei allen Versuchen kam eine innere Minimalmengenschmierung zum Einsatz.

Gestartet wurden die Bohrversuche mit von den Werkzeugherstellern empfohlenen Schnittwerten ( $v_c = 160$  m/min,  $f = 0,1$  mm/U). Dabei ergaben sich zwei Probleme: Zum einen lagen diese deutlich unter den Schnittwerten der aktuellen Nassbearbeitung, was längere Fertigungszeiten bedeutete, zum anderen erwärmte sich das Bauteil zu stark. Der bearbeitungsbedingte Temperaturanstieg betrug ca. 40 °C.

Ziel bei der Auslegung eines Trockenbearbeitungsprozesses muss es ein, die erzeugte Zerspanwärme hauptsächlich über die Späne abzuführen und möglichst wenig Wärme in Bauteil und Werkzeug einzutragen. Dabei gilt, je kürzer die Kontaktzeiten zwischen Werkstück und Werkzeug sind, um so weniger Zeit steht der Wärme zur Verfügung in das Bauteil zu fließen. Um den Wärmeeintrag in das Bauteil gering zu halten, ist es daher notwendig, möglichst kurze Kontaktzeiten bzw. kurze Reibwege zwischen Werkzeug und Werkstück zu realisieren. Dies kann durch eine Erhöhung von Vorschub, Schnitttiefe und/oder der Schnittgeschwindigkeit erfolgen. Im vorliegenden Fall wurden bei den weiteren Trockenbohrversuchen die Werkzeuge unter den Nassbearbeitungsbedingungen ( $v_c = 250$  m/min,  $f = 0,16$  mm) und damit gegenüber den Startwerten bei deutlich höheren Schnittparametern eingesetzt. Dadurch verkürzte sich die Bearbeitungszeit von 20 auf ca. 8 Sekunden pro Bohrung. Wesentlich bedeutsamer war jedoch der Effekt, dass unter diesen Bearbeitungsbedingungen die Werkstücke sich nur noch um ca. 5 – 10 °C und damit um einen im Hinblick auf die einzuhaltenden Maßtoleranzen völlig unkritischen Betrag erwärmten.

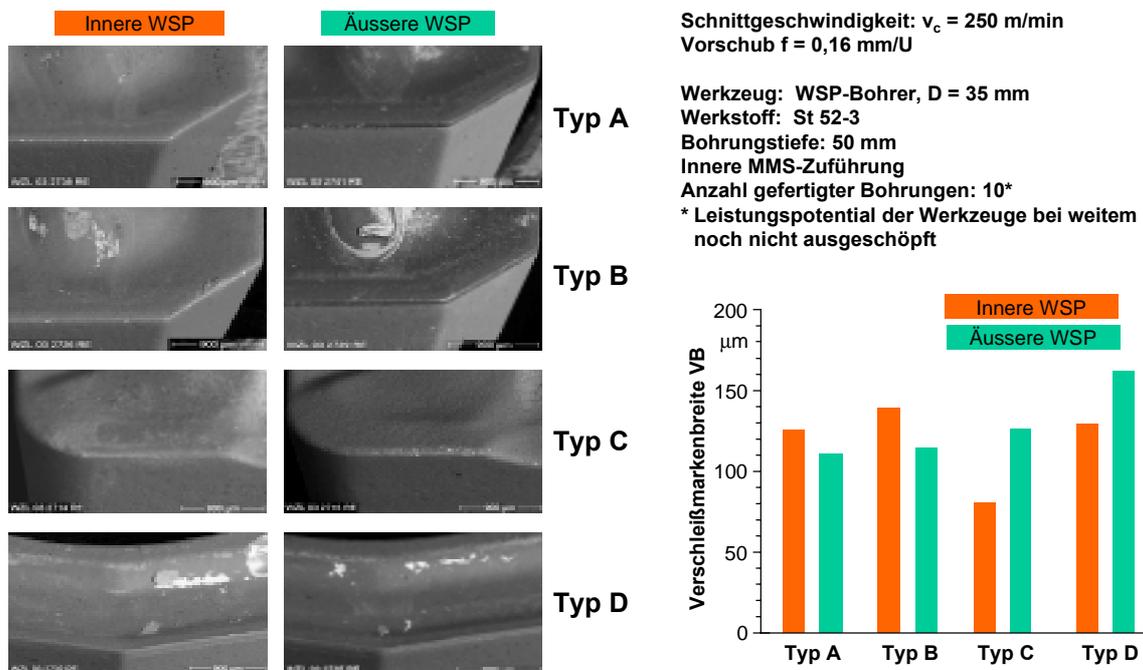


**Abbildung 11.4.14: Ausführungsvarianten der beim Trockenbohren mit MMS eingesetzten mit Wendeschneidplatten bestückten Bohrwerkzeuge**

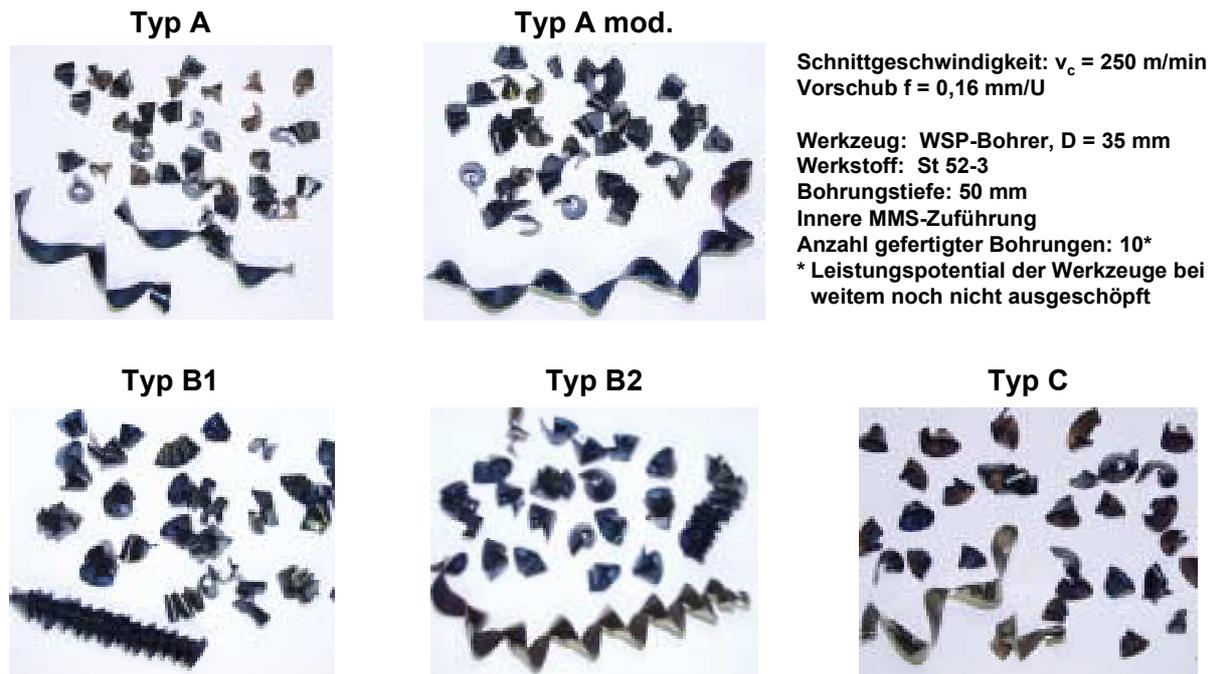
Unter diesen Bedingungen eingesetzt, zeichneten sich alle Werkzeuge durch ein ausgezeichnetes Verschleiß- und Leistungsverhalten aus (**Abbildung 11.4.15**). Dies gilt sowohl für den an den Schneidplatten ermittelten Verschleiß, wie auch für Span-

bildung und Spanabfuhr aus der Bohrung (**Abbildung 11.4.16**). Zwischen den eingesetzten Werkzeugen war kein Leistungsunterschied zu erkennen, was belegt, dass heute bereits von vielen Werkzeugherstellern hervorragende trockenbearbeitungstaugliche Werkzeuge hergestellt werden.

Die Versuche, die an Originalbauteilen des Kunden durchgeführt worden waren, wurden nach 10 Bohrungen je Werkzeug abgebrochen. Die erzielten Ergebnisse, wonach unter den gewählten Bedingungen die Bohrungen trocken so schnell wie Nass hergestellt werden können und sich das Bauteil nur unbedeutend erwärmt, machten eine Fortführung der Versuche nicht erforderlich. Die Frage nach der grundsätzlichen Machbarkeit war mit diesem Ergebnis positiv beantwortet. Offen blieb jedoch die Frage nach den im Trockenschnitt erreichbaren Werkzeugstandzeiten. Klarheit hierüber will sich der Kunde in Versuchen unter realen Fertigungsbedingungen auf seiner Produktionsmaschine verschaffen. Dazu wird die Maschine mit einem inneren MMS-System nachgerüstet. Vorgesehen ist, die Trockenbearbeitung schrittweise auf der Maschine zu erproben, Erfahrungen zu sammeln, die Mitarbeiter an die neue Technologie heranzuführen und mit ihr vertraut zu machen und bei einem technisch wie wirtschaftlich positivem Ergebnis diese Technologie sowohl auf der vorhandenen als auch auf der noch zu beschaffenden Maschine einzuführen.



**Abbildung 11.4.15: Die eingesetzten Werkzeugvarianten zeichneten sich durch ein vergleichbar hohes Leistungspotential aus**



**Abbildung 11.4.16: Bei allen Werkzeugvarianten entstanden kurze Spanlocken, die problemlos aus der Bohrung austraten**

#### 11.4.11 Beratungsbeispiel 13: Drehfräsen von Brillengläsern aus Kunststoff

**Ausgangssituation:** Viele moderne Brillen enthalten heute Kunststoffgläser. Ein Verfahren zu ihrer Herstellung besteht darin, die Form der konkaven Glasseite durch Drehfräsen zu erzeugen. Bei dem Kunden erfolgt dies in einem patentierten Verfahren. Zum Einsatz kommt hierbei ein mit Diamantschneiden bestückter Messerkopfstirnfräser. Dieser ist in einem Winkel von ca.  $90^\circ$  zur Drehachse des Brillenglases angeordnet. Der mit hoher Drehzahl rotierende Fräser wird radial von außen nach innen über das sich langsam drehende Glas geführt und erzeugt so die konkave Innenfläche des Brillenglases (**Abbildung 11.4.17**). Die Bearbeitung erfolgt im Nassschnitt mit Emulsion. Motivation für den Kunden sich mit der Frage nach einer möglichen Trockenbearbeitung zu befassen ist der Eintrag von Emulsionsrückständen über die Gläser in den nachfolgenden Feinschleifprozess. Erste Versuche zeigten, dass eine reine Trockenbearbeitung zu einer thermischen Schädigung des Brillenglases führt und daher nicht möglich ist. Auch beim Einsatz einer Minimalmengenschmierung konnte die thermische Schädigung des Kunststoffes nicht vermieden werden, zu dem waren die Gläser stark mit MMS-Medium verunreinigt.

**Vorgehensweise:** Bei dem Kunden wurden zunächst der Prozess, die bisherigen Vorversuche und die hierbei aufgetretenen Probleme ausführlich analysiert. Dabei kristallisierte sich die thermische Schädigung des Kunststoffglases als Hauptproblem beim Verzicht auf die bislang eingesetzte Emulsion heraus. Wie auch dieses Bearbeitungsbeispiel bestätigt, gewährleistet eine Minimalmengenschmierung mit Ölen zwar eine gute Schmierung, entfaltet aber eine nur geringe Kühlwirkung. Die vorliegende Bearbeitungsaufgabe erforderte jedoch, wie auch der in Bearbeitungsbeispiel 1 vorgestellte Einsatzfall, ein Medium mit einer gut kühlenden Wirkung.



**Abbildung 11.4.17:** Das linke Bild zeigt einen Blick in den Maschinenarbeitsraum mit Werkstück und Werkzeug (Quelle: Loh Optikmaschinen AG). Das Bild rechts zeigt Brillengläser (liegend: polierte Gläser) aus Kunststoff, die unter Einsatz einer Minimalmengenkühlung durch Drehfräsen bearbeitet worden sind

Zur Lösung des Problems wurde mit einem Hersteller von Minimalmengenkühlsystemen Kontakt aufgenommen. Die Installation eines entsprechenden Gerätes ermöglichte es, gemeinsam beim Kunden auf dessen Maschine Versuche durchzuführen. Zum Einsatz kam ein Medium auf der Basis von Wasser. Variiert wurden die Anordnung der Düse und die Menge des zugeführten Mediums. Dabei zeigte sich, dass der richtigen Düsenposition eine entscheidende Bedeutung zukommt.

**Ergebnisse:** Nach einigen Vorversuchen gelang es, mit Hilfe des eingesetzten MMK-Systems, fehlerfreie, das heißt thermisch nicht geschädigte Gläser zu fertigen (**Abbildung 11.4.17**), ohne dabei die Bearbeitungsparameter gegenüber der bisherigen Nassbearbeitung zu reduzieren. Dem Kunden konnte damit der Nachweis erbracht werden, dass eine Fertigung der Kunststoffgläser mit Hilfe einer Minimalmengenkühlung grundsätzlich möglich ist. Nach diesem positiven Ergebnis prüfte der

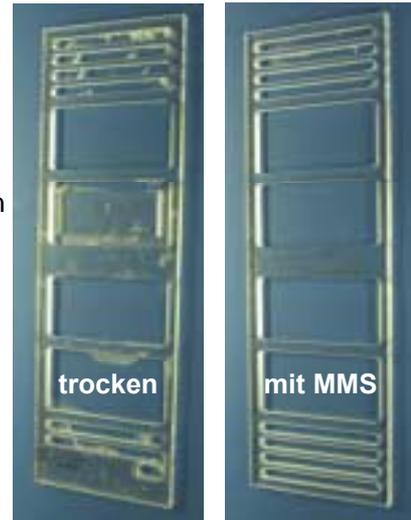
Kunde die Umrüstbarkeit der Maschinen, eine Umsetzung der MMK-Technologie ist jedoch bislang nicht erfolgt.

#### **11.4.12      Beratungsbeispiel 14: Fräsen von Acrylglas**

**Ausgangssituation:** Ein mittelständisches Unternehmen, spezialisiert auf die Entwicklung und den Vertrieb von Produktionsdatenerfassungsanlagen (BDE-Systeme) mit dem Schwerpunkt kunststoffverarbeitende Betriebe, fertigt neben der Hard- und Software auch die Gehäuse, in denen diese untergebracht werden. Für die Bearbeitung der Aluminiumgehäuse und der aus Acrylglas bestehenden Frontplatten steht ein Bearbeitungszentrum zur Verfügung. Die Fertigung erfolgt in Losen, was dazu führt, dass die Maschine teilweise bis zu mehreren Tagen nicht in Betrieb genommen wird. Folge hiervon ist, dass die in der Maschine enthaltene für die Nassbearbeitung benötigte Emulsion nach relativ kurzen Zeitabschnitten umkippt und entsorgt werden muss. Dies verursacht hohe KSS-Ansetz- und -Entsorgungskosten. Der KSS-Wechsel und die Reinigung der Maschine erfordern zudem einen erheblichen Zeitaufwand. Auf die KSS-Problematik angesprochene KSS-Hersteller empfahlen zur Verbesserung der KSS-Standzeit statt Emulsion Öl einzusetzen. Der Erfolg dieser umgesetzten Empfehlung bestand darin, dass es zwar keine Probleme mehr mit der KSS-Standzeit gab, dafür mussten aber nun die vollständig mit Öl benetzten Werkstücke aufwendig gereinigt werden. Eine Lösung dieser sehr unbefriedigenden Situation erhoffte sich der Geschäftsführer vom Technologienetz Trockenbearbeitung, von dem er aus der Presse erfahren hatte. Nach einem Seminarbesuch am WZL wurde vereinbart, in Versuchen beim Schafffräsen abzuklären, ob und ggf. unter welchen Bedingungen die Bauteile aus Acrylglas trocken bearbeitet werden können.

**Vorgehensweise:** Das Unternehmen stellte Acrylglasplatten, Werkzeuge und die Schnittparameter der bisherigen Nassbearbeitung zur Verfügung. Durchgeführt wurden die Versuche auf einem vertikalen Bearbeitungszentrum mit und ohne Einsatz einer Minimalmengenschmierung. Bei den Versuchen mit MMS wurde den Werkzeugen das Medium von außen zugeführt.

Maschine:	Chiron FZ 15 five axis
Werkzeuge:	Originalwerkzeuge des Kunden Hartmetall unbeschichtet
Schnittwerte:	Schnittwerte aus der Produktion
<b>Versuchsserie I: Fräsen komplett trocken</b>	
Ergebnis:	Aufschmieren von Werkstoff auf der gefrästen Fläche Zusetzen des Werkzeuges mit Spänen Anhaftende Späne in der gefrästen Nut
<b>Abhilfe:</b>	Einsatz einer Minimalmengenschmierung Medium: Fettalkohol
<b>Versuchsserie II: Fräsen mit Minimalmengenschmierung</b>	
Ergebnis:	Sauber bearbeitete Flächen und Nuten kein Zusetzen der Werkzeugspanräume



**Abbildung 11.4.18: Die Bearbeitung von Acrylglas erfordert den Einsatz einer Minimalmengenschmierung**

Das Fräsen ohne MMS führte zu unbefriedigenden Bearbeitungsergebnissen (**Abbildung 11.4.18**). Die Werkzeuge setzten sich sehr schnell mit Spänen zu und an den bearbeiteten Flächen kam es zu Werkstoffaufschmierungen. Beim Fräsen unter Einsatz der äußeren Minimalmengenschmierung entstanden dagegen sehr saubere und glatte Flächen und auch die Werkzeuge blieben frei von Werkstoffaufschmierungen.

**Ergebnis:** In den Versuchen konnte gezeigt werden, dass es möglich ist, die Acrylglasstücke mit Hilfe einer äußeren Minimalmengenschmierung in guter Qualität zu bearbeiten. Der Kunde setzte die Ergebnisse auf seiner Maschine um. Da die Maschine und auch die Werkzeuge nicht für eine innere KSS-Zufuhr ausgelegt sind, muss das MMS-Medium den Werkzeugen von außen zugeführt werden. Dabei stellte sich das Problem, dass bei der NC-gesteuerten Komplettbearbeitung der Teile sehr unterschiedlich lange Werkzeuge zum Einsatz kommen und mit dem MMS-Medium versorgt werden müssen. Zur Lösung dieses Problems entwickelte der Kunde ein System, das die MMS-Zuführungsdüsen in Abhängigkeit von der aktuellen Werkzeuglänge nachführt. **Abbildung 11.4.19** zeigt den Prototypen des entwickelten Nachführsystems, bestehend aus zwei gekoppelten Pneumatikzylindern, die über die Maschine digital gesteuert werden.



teile, Säge und Maschinenumfeld trocken und sauber. Letzterem kommt vor allem beim Sägen langer Hohlprofile besondere Bedeutung zu. Über diese wird oftmals der Kühlschmierstoff bis zu mehreren Metern von der Maschine entfernt ausgetragen und das Maschinenumfeld weiträumig kontaminiert.

**Vorgehensweise:** Da nahezu jeder verarbeitende Betrieb mindestens eine Säge besitzt, wurde bei allen Beratungsgesprächen diesem Verfahren besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Zahlreiche Unternehmen nutzten bereits beim Sägen zu ihrer großen Zufriedenheit die MMKS-Technik. Darüber hinaus fanden sich jedoch auch Betriebe, die noch Emulsionen an ihren Sägen einsetzen. Bei Interesse wurden Kontakte zu MMKS-Systemhersteller vermittelt, die die Kunden über Möglichkeiten zur Umrüstung der Säge auf MMKS-Technik und hierfür geeignete Systeme weiter berieten.

**Ergebnis:** Im Zuge der Beratungen gelang es, mehrere Sägen erfolgreich von Emulsion auf eine Minimalmengenschmierung und/oder Minimalmengenkühlung umzustellen. Bei einem Unternehmen kam es während der Versuchsphase zum Ausfall der Säge infolge eines Lagerschadens. Wie die Reparatur zeigte, wurde das vorgeschädigte Lager durch die zum Sägen eingesetzte Emulsion mitgekühlt. Während der Versuche mit Minimalmengenschmierung lief das Lager infolge der fehlenden Kühlung durch die Emulsion heiß und fiel aus. Trotz dieser Panne will nach zwischenzeitlich erfolgter Reparatur der Kunde einen neuen Versuch zur Umstellung der Säge auf die MMS-Technik unternehmen. Motivation ist auch hier das Ziel, den Austrag an Emulsion in das Maschinenumfeld zu unterbinden und damit einen Beitrag zur Verbesserung von Arbeitsplatzqualität und -hygiene zu leisten.



**Abbildung 11.4.20 Eine von drei in einem Unternehmen von Emulsion auf MMS-Technik umgerüsteten Kreissägen**