

## Produktionssteigerungen um 40 % durch konsequenten Einsatz der Minimalmengenschmierung in der Fertigung als Ergebnis einer strategischen Zielsetzung

Autoren: Dr. Mario Schacht und Dr. Christian Wolff, Willy Vogel AG

Der Artikel erscheint in der Ausgabe 03/2003 der Zeitschrift "Werkstatt und Betrieb" unter dem Titel "Mit MMS 40 Prozent produktiver"

### Einleitung

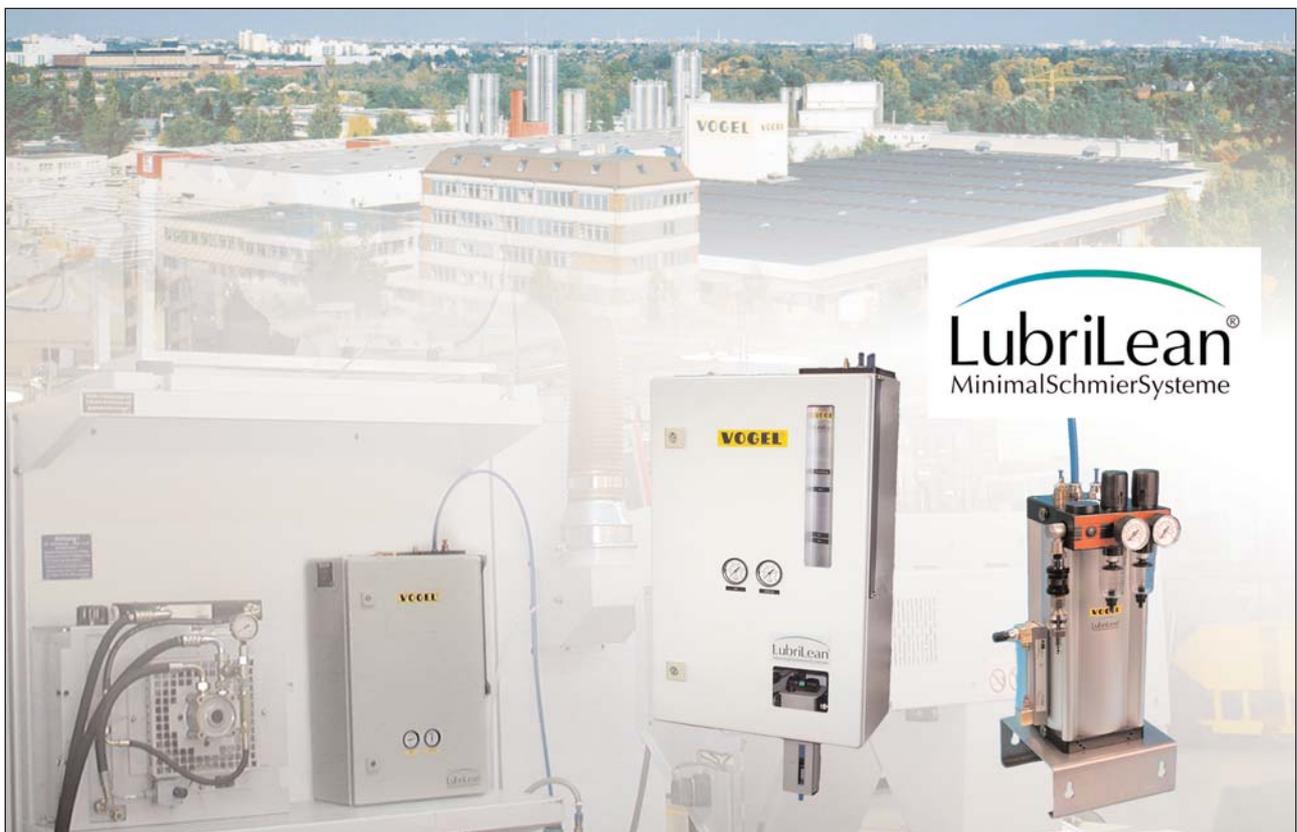
Im Fertigungsbereich der Willy Vogel AG wird seit einem Jahr konsequent die Minimalmengenschmierung (MMS) an Werkzeugmaschinen (Bohren, Fräsen, Drehen, Räumen) eingesetzt. Hierbei konnten zügig Erfahrungen gewonnen werden, die zu konkreten Anforderungen an die maschinenseitigen Voraussetzungen der Werkzeugmaschinen, an die Werkzeugsysteme, an die Prozessparametrierung und an die MMS-Systeme selbst führten.

VOGEL als Hersteller von MMS-Geräten der Baureihe LubriLean® für die Außen- und Innenschmierung mit einkanaliger Zuführung konnte somit auch die unterschiedlichen Anforderungen direkt in die MMS-Gerätekonstruktion zum Nutzen aller MMS-Kunden einfließen lassen.

Die gesammelten Erkenntnisse sind insofern von allgemeinem Interesse, da die MMS-System-Implementierung an sehr unter-

schiedlichen Werkzeugmaschinen namhafter Hersteller (Heckert, Gildemeister, Stama, Brother, Traub, Okuma) durchgeführt wurde. In einem ersten Schritt wurden vorhandene Maschinen auf reine MMS- bzw. MMS-/Nassbearbeitung nachgerüstet. Im zweiten Schritt war VOGEL dann in der Lage, für Neuinvestitionen die Erkenntnisse gleich in die Anforderungsspezifikation der Werkzeugmaschine zu übernehmen. In 2003 wurden drei Werkzeugmaschinen (ein BAZ, zwei Drehzentren) beschafft, die vollumfänglich vom Hersteller mit VOGEL-MMS ausgestattet wurden.

Ganz wesentlich motiviert war das Vorhaben durch die strategische Zielvorgabe der Geschäftsleitung, innerhalb eines Jahres die mechanische Bearbeitung an allen Schlüsselarbeitsplätzen mit Minimalmengenschmierung auszustatten. Es wurden nicht nur die damit verbundenen wirtschaftlichen Vorteile erkennbar. Vielmehr konnte bei allen Beteiligten ein Wandel von anfänglicher Skepsis hin zur Begeisterung an der Sache erreicht werden.



[www.vogelag.com](http://www.vogelag.com)

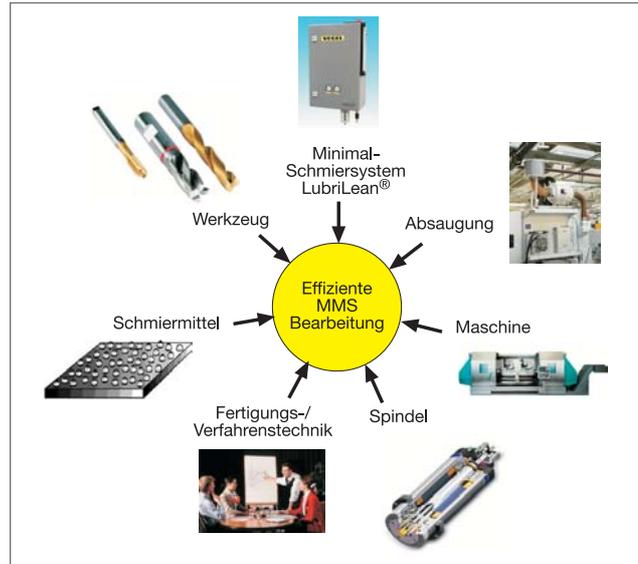


## Gesamtsystem

Im Gegensatz zu MMS-Geräten mit zweikanaliger Zuführung, die – wenn überhaupt möglich – nur sehr aufwändig in die Spindelkonstruktion einer Werkzeugmaschine integriert werden können, ist der Aufbau und der Einbau eines MMS-Systems mit einkanaliger Aerosolzuführung sehr einfach:

- Einkanalige MMS-Geräte sind gegenüber zweikanaligen Geräten sehr wartungsarm und weisen eine verschleißfreie Bauart auf. Einkanalige MMS-Geräte werden darüber hinaus in bewährte und ausgereifte Werkzeugmaschinenkomponenten integriert. Bei zweikanaligen Systemen müssen umfangreiche MMS-spezifische Komponenten ausgetauscht werden.
- Bei Klein- und Mittelserienfertigern kann aus rein pragmatischen Gründen nur das einkanalige System zur Anwendung kommen. Die Umstellung des Fertigungsspektrums auf MMS kann je nach Teilevielfalt lange dauern, da die Voraussetzungen (NC-Programme umschreiben, Werkzeuge auswählen, Prozesse optimieren) hierfür nur schrittweise geschaffen werden können. Ist eine Maschine mit einem zweikanaligen System ausgerüstet, so ist ein Mischbetrieb MMS-/Nassbearbeitung unmöglich. Nur einkanalige Systeme gestatten beide Betriebsarten und ermöglichen damit einen kontinuierlichen Wechsel zur MMS-Technologie.
- In Drehmaschinen mit Werkzeugrevolvern sind ausschließlich einkanalige MMS-Systeme integrierbar.

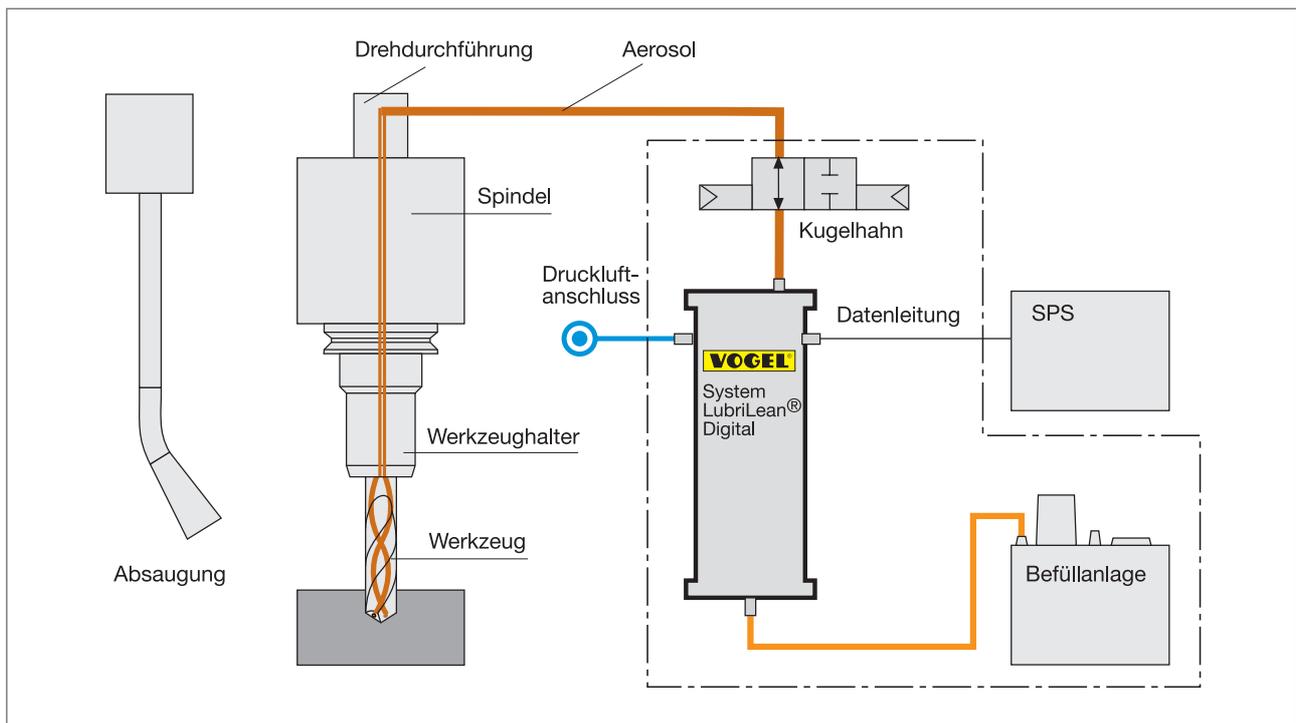
Das MMS-Gesamtsystem in einkanaliger Ausführung besteht aus Teilkomponenten unterschiedlicher Hersteller, die in ihrem Zusammenwirken die Schmieraufgabe an der Zerspanstelle sicherstellen (**Bild 1**). Aufeinander abgestimmte Teilkomponenten eines MMS-Systems sind heute schon verfügbar. Für den Praxiseinsatz bedeutet das, dass der Endanwender keine oder nur wenige Optimierungen der Teilkomponenten für seine anstehende teilebezogene Zerspannungsaufgabe vornehmen muss.



**Bild 1:**  
Teilkomponenten eines MMS-Systems mit einkanaliger Aerosolzuführung

Die Ergebnisse einer umfangreichen Gremien- und Versuchsarbeit, die von den großen Unternehmen in Zusammenarbeit mit den führenden Universitätsinstituten seit Jahren erarbeitet wurden, stehen dem Anwender jetzt bei der Implementierung eines MMS-Systems zur Verfügung. Als Hersteller von MMS-Geräten wird man allerdings gelegentlich damit konfrontiert, dass der Anwendungserfolg nur durch die Optimierung einer Teilkomponente (z.B. das MMS-Gerät) eingefordert wird, die anderen Komponenten (z.B. Spindelkonstruktion, Werkzeugauswahl, Schnittstellen) zur Sicherstellung einer effizienten MMS-Bearbeitung (**Bild 2**) aber völlig außer Acht gelassen werden.

**Bild 2:**  
Effiziente MMS-Bearbeitung



Im Folgenden werden daher einige wesentliche praxisorientierte Randbedingungen beschrieben, die sowohl für die Neukonzeption einer Werkzeugmaschine als auch bei der Nachrüstung mit einem einkanaligen MMS-Gerät beachtet werden sollten, um das System weiter zu optimieren. Maßnahmen im Bereich der Werkzeugmaschinengestaltung und der Schmierstoffvariation werden an dieser Stelle nicht weiter beschrieben.

### Günstige Bedingungen für den Aerosoltransport

Die Schmierstoffmenge, die am Werkzeug in der Form des Aerosols austritt, ist abhängig von dem am System eingestellten Verhältnis zwischen Schmierstoff und Luftmenge und den vorhandenen Leitungs- und Führungsquerschnitten des Aerosoltransportweges vom MMS-Gerät bis hin zur Austrittsöffnung am Werkzeug. Die im Folgenden aufgeführten Anforderungen sind als Leitlinie aufzufassen. Bei Beachtung dieser Randbedingungen sind bedarfsgerechte Ölmengen schnell an die Wirkstelle transportierbar, da somit weitgehend Aerosol- und Druckverluste verringert werden:

- Die Aerosolzuführung sollte keine starken Querschnittsveränderungen und keine blendenförmigen Unterbrechungen aufweisen, da sich an diesen Stellen der Schmierstoff teilweise niederschlagen kann und somit eine verzögerungsfreie Aerosol-

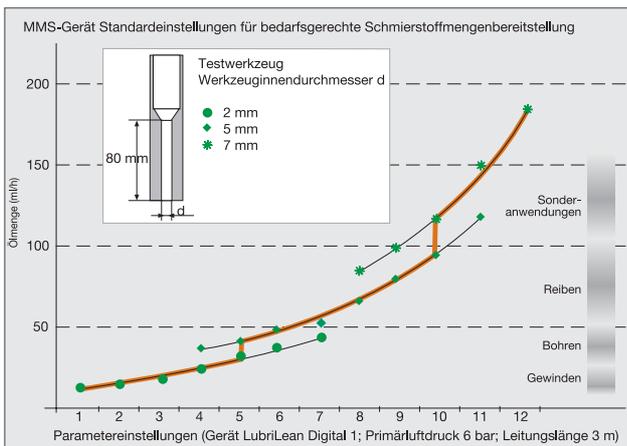
bereitstellung eingeschränkt wird. Die Aerosolleitung speziell im Bereich der Drehdurchführung und Spindel sollte ebenfalls möglichst wenig Querschnittsveränderungen aufweisen. Wenn Querschnittsänderungen konstruktiv unvermeidlich sind, sollten die Übergänge möglichst strömungstechnisch günstig gestaltet werden. Ideal ist ein Übergangswinkel von  $<150^\circ$ . Das besonders für die HPC-Bearbeitung erforderliche Ansprechverhalten kann somit entscheidend verbessert werden.

- Die Aerosolleitungslänge sollte so kurz wie möglich gehalten werden. Mit zunehmender Aerosolleitungslänge vergrößern sich auch die Druck- und Aerosolverluste. Die Aerosolleitungen sollten möglichst geradlinig verlegt werden, vor allem sind „scharfe Knicke“ zu vermeiden, da sonst die Gefahr der Kondensation des Aerosols besteht. Sind Umlenkungen unvermeidbar, sollten sie einen Radius von mindestens 200 mm aufweisen.
- Alle Schnittstellen zwischen den MMS-Teilkomponenten sollten glattflächig und ohne Taschen oder hervorspringende Kanten gestaltet sein. Das betrifft insbesondere den Übergangsbereich zwischen Werkzeug und Werkzeugaufnahme. Eine von VOGEL realisierte wirkungsvolle Nachrüstung mit einem an der Spindel angebrachten Übergangrohr ist in **Bild 3** dargestellt, die in Zusammenarbeit mit HDM und Heller im Fertigungstechnologie-Center HDM an einem Heller BAZ vorgenommen wurde.

**Bild 3:**  
Übergaberohr im Werkzeughalter



- Der Leitungsquerschnitt sollte zwei bis sieben Millimeter betragen, um eine bedarfsgerechte Ölmenge schnell transportieren zu können. Der Begriff „Mengenbedarf in Volumen pro Zeit“ muss an dieser Stelle aber kritisch betrachtet werden. Die gemessenen Mengen stehen in keiner praktischen Beziehung zu den erforderlichen Öl mengen an der Wirkstelle des aktuellen Zerspanungsprozesses. Die bisherige Begriffsbestimmung müsste eigentlich durch die Definition „Ölvolumen pro zerspantem Volumen“ ersetzt werden. Die tatsächlichen Bedarfsmengen zur Sicherstellung der Schmierwirkung beim Zerspanen und für die Spanabfuhr sind deutlich kleiner als die in **Bild 4** angegebenen Mengen. Untersuchungen der Schmierwirkung an der Zerspanstelle wurden im ISF Dortmund mit Hilfe eines hierfür entwickelten Tribometers durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass mit dem VOGEL-Gerät LubriLean Digital im Vergleich zu anderen MMS-Geräten unter verschiedenen Testbedingungen (Drehzahl- und Öl mengenvariation, Ansprechverhalten) die beste Schmierwirkung erreicht werden konnte. Da quantitative Aussagen zu den tatsächlich erforderlichen Schmiermengen an der Wirkstelle aber noch nicht vorliegen, wird die eingeführte Mengenbetrachtung noch weiter existieren müssen. Es ist allerdings ohne praktische Relevanz, Einstellwerte mit einer Genauigkeit von  $\pm 10$  ml/h vorzugeben. Vielmehr müssen Mengenniveaus für unterschiedliche Zerspanungsaufgaben sicher bereitgestellt werden können. In **Bild 4** sind orientierende Mengenbereiche für Gewinden, Bohren und Reiben angegeben.



**Bild 4:**  
**Bedarfsgerechte Mengenzuteilung**

- Die Aerosolzuführung bei Spindeln oder rotierenden Werkzeugen sollte möglichst in axialer Richtung erfolgen. Bei radialer Zuführung kann der Schmierstoff vor allem bei hohen Spindeldrehzahlen „ausgeschleudert“ werden, das heißt, es kann eine teilweise Entmischung des Aerosols stattfinden. Dies betrifft besonders Einsatzfälle mit sehr kleinen, schnell drehenden Werkzeugen.

In der Praxis hat sich der sogenannte „Sprühversuch“ verbreitet, bei dem das Aerosol durch die drehende Spindel mit einem ausgewählten kleinen Werkzeug auf eine geschwärzte Platte gesprüht wird. Die Beurteilung dieser ausgebrachten Ölmenge erfolgt nur visuell, da eine messtechnische Erfassung nicht möglich ist. Bei VOGEL wurden in gleicher Weise eine große Zahl dieser Sprühversuche durchgeführt, um daraus eventuell ein Messprinzip abzuleiten. Getestet wurde an einem Heckert BAZ bei unterschiedlichen Drehzahlen (5000 bis 20000 U/min) mit

mehreren Werkzeugen (z.B.: Werkzeug 1: Kühlkanaldurchmesser  $D_{KKS} = 2 \times 0,7$  mm, KKS-Länge  $L_{KKS} = 96$  mm; Werkzeug 2:  $D_{KKS} = 2 \times 1,2$  mm mit  $L_{KKS} = 155$  mm). Die gewählten Testrandbedingungen (Aerosoleinstellung, Werkzeugauswahl, Drehzahl) waren identisch mit den realen Einstellparametern der täglichen Produktion von Teilen, die auf dieser Maschine bereits seit Monaten problemlos mit MMS zerspannt wurden. Als Fazit der Testreihen konnte festgestellt werden, dass sich aufgrund der erzeugten Sprühbilder keine objektiven Beurteilungsmaßstäbe definieren ließen, die zur Beurteilung des tatsächlichen Mengenbedarfes an der Zerspanstelle hätten herangezogen werden können. Die Sprühspurenintensität auf der geschwärzten Platte änderte sich zwar, sagte jedoch nichts über die Schmierwirkung aus, da unter den gewählten Testrandbedingungen in der Praxis ja hervorragende Zerspanungsergebnisse erreicht wurden.

### Anwendungen moderner Werkzeuge für den MMS-Einsatz

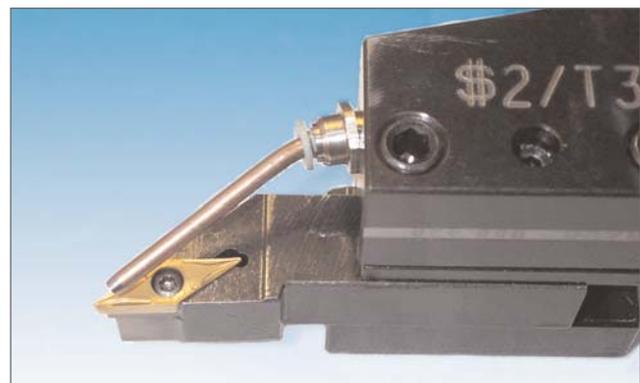
Neben der Implementierung eines einkanaligen MMS-Gerätes kommt der Werkzeugauswahl eine wichtige Bedeutung zu. Die Fertigung der Willy Vogel AG stellt sich hier als größter Herausforderer an die neue Technologie dar und hat für die unterschiedlichen Anwendungsfälle hauseigene Leitlinien entwickelt, in denen die einzelnen Fertigungsprozesse klassifiziert werden. Wesentliche Klassifikationsmerkmale für MMS-Werkzeuge leiten sich ab aus:

- der Bearbeitungstechnologie, wie z.B. Drehen, Fräsen, Bohren, usw.
- dem MMS-Einsatz (äußere / innere),
- den zu bearbeitenden Materialien,
- der Innen- und Außenbearbeitung und
- der Unterscheidung zwischen glattem und unterbrochenem Schnitt.

Somit können schnell die Anforderungen an das Werkzeug bestimmt werden. Die prozessspezifischen Anforderungen sowie wirtschaftlichen Zielsetzungen (z.B. Standzeiterhöhungen) werden in einem Pflichtenheft zusammengetragen und mit den Werkzeugherstellern in enger Kooperation diskutiert. Für fast alle Standardprozesse sind heute MMS-Werkzeuge lieferbar.

Die firmenspezifischen Besonderheiten müssen jedoch im einzelnen berücksichtigt werden. Zur Minimierung der Rüstzeit hat sich auch hier der Einsatz der Steckverbinder bewährt. Die Zuführungsrohre können in Sekundenschnelle ausgetauscht werden und die Halter somit sehr universell verwendet werden (**Bild 5**).

**Bild 5:**  
**Werkzeughalter mit Steckverbinder für Zuführungsrohre**

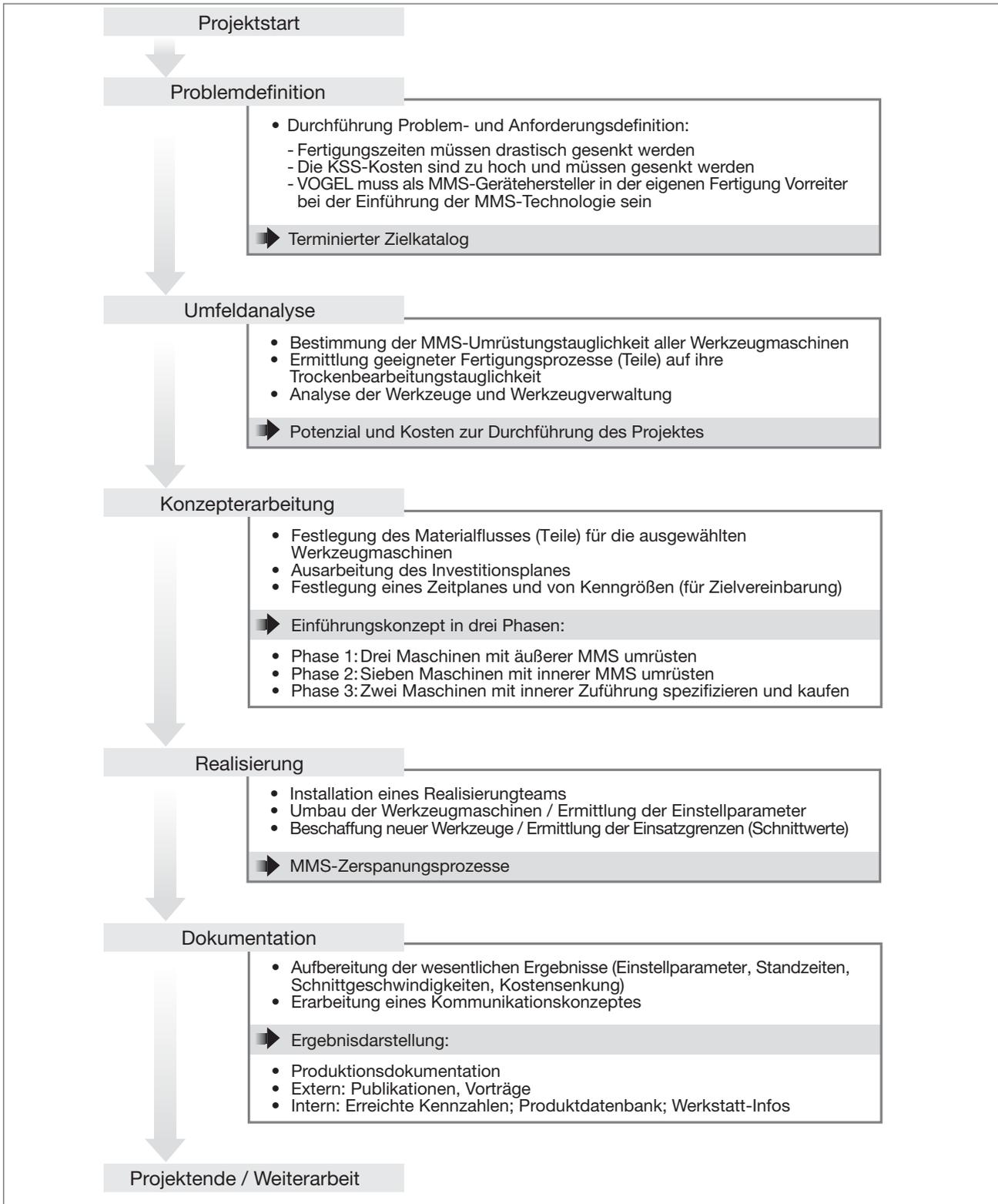


## Einführungsstrategie und Wirtschaftlichkeit

Schreibt sich ein Unternehmen die Einführung der MMS-Technologie in seine Innovations-Roadmap und formuliert klare Zielvorstellungen hinsichtlich Kostenreduktion und verbesserter Umweltverträglichkeit, sind alle Voraussetzungen für den Erfolg gegeben. Die Erarbeitung eines Nutzungskonzeptes erfolgte bei

VOGEL in Anlehnung an das methodische Vorgehen entsprechend der VDI-Richtlinie 2221 (**Bild 6**). Die beschriebene Leitlinie zeigt den Weg von der Problemdefinition bis zur Realisierung auf.

**Bild 6:**  
**Vorgehen bei der Einführung der MMS-Technologie**



Zur Zielverfolgung gilt es, einfache Kenngrößen zu entwickeln, die leicht messbar sind und für die es eine objektive Basis (Ausgangssituation) gibt. Betriebswirtschaftliche Kennzahlen lassen sich aus den Kostenblöcken „Fertigungszeit“ und „Kühlschmierstoffverbrauch“ ableiten. Innerhalb eines Jahres konnten bei VOGEL folgende Ergebnisse erreicht werden:

**Einsparung der Fertigungszeiten:**

Auf der Basis der betrachteten Teile wurden 2350 Stunden Fertigungszeit eingespart. Das entspricht einer durchschnittlichen Einsparung von 42 % (Beispiele in Bild 7).

**Standzeitverlängerung der Werkzeuge:**

Den Mehrausgaben für die Werkzeuge von ca. 100 % stehen deutliche Hauptzeitverkürzungen und eine Standzeitverlängerung von ca. 300 % gegenüber.

**Zahl der auf MMS umzustellenden Werkzeugmaschinen an Schlüsselarbeitsplätzen:**

Insgesamt wurden zehn Werkzeugmaschinen umgestellt. Vier Maschinen sind Schlüsselarbeitsplätze, an denen 65 % der mit MMS bearbeiteten Teile gefertigt werden.

**Zahl der Teile, die mit MMS bearbeitet werden:**

145 Teile aus acht verschiedenen Materialien (z.B. X10CrNiS189, AlMgSi1, St73k, GG25).

**Senkung des Kühlschmierstoffverbrauchs:**

Der Einkauf von KSS konnte gesenkt werden. Hinzu kommt, dass das Handling im Umgang mit den MMS-Schmierstoffen erheblich einfacher ist:

Einfache Nachfüllungsmöglichkeit; keine Entsorgungskosten.

MMS-Bearbeitung – Kennwerte im Überblick					
<b>MMS-Bearbeitung – Kennwerte im Überblick</b> <b>VOGEL</b> Gehäuse SP 9.31 <b>Kühlschmiermittel</b> vorher (nass) Emulsion neu (MMS) LubriOil (synth. Ester)			Werkstoff 16MnCr-1.7131 (DIN 1017-FL40x30) Maschine Heckert-BAZ CWK400D Drehzahlbereich: 50-15.000 min <sup>-1</sup>		
<b>Nassbearbeitung</b>			<b>MMS-Bearbeitung</b>		
Werkzeuge	Schnittgeschwindigkeit V <sub>c</sub> (m/min)	Vorschubgeschwindigkeit V <sub>f</sub> (mm/min)	Werkzeuge	Schnittgeschwindigkeit V <sub>c</sub> (m/min)	Vorschubgeschwindigkeit V <sub>f</sub> (mm/min)
NC-Anbohrer ø 10	70	80	NC-Anbohrer ø 10	80	250
VHM-Spibo ø 4	63	100	VHM-Spibo ø 4	90	760
VHM-Spibo ø 9,8	77	450	VHM-Spibo ø 9,8	77	860
Formsenker für Kern M14x1,5	24	30	Formsenker für Kern M14x1,5	47	250
Formsenker für Kern M12x1,5	20	80	Formsenker für Kern M12x1,5	46	280
Stufenbohrer ø 23/12,5	43	30	Stufenbohrer ø 23/12,5	72	180
VHM-Spibo ø 9,0	80	450	VHM-Spibo ø 9,0	80	665
Formsenker für Kern M12x1,0	23	25	Formsenker für Kern M12x1,5	70	300
Kegelsenker ø 6/30°	8	40	Kegelsenker ø 6/30°	38	225
Gewindebohrer M12x1	11	300	Gewindefräser M12x1,5 Steigung 1	87	200
Gewindebohrer M14x1,5	19	300	Gewindefräser M14x1,5 Steigung 2	87	240
Gewindebohrer M12x1,5	17	300	Gewindefräser M12x1,5 Steigung 2	87	240
<b>Gesamtzeit 15'42 min</b>			<b>Gesamtzeit 6'36 min</b>		
<b>Zeiteinsparung: 58 %</b>					

Anschlussflansch DS-E.04		
Werkstoff	X10 CrNiS 18 9-1.4305 (DIN 668-RD30)	
Maschine	TRAUB TNA 300	
Drehzahlbereich	0-5.000 min <sup>-1</sup>	

MMS-Bearbeitung		
Werkzeuge	Schnittgeschwindigkeit V <sub>c</sub> (m/min)	Vorschub f <sub>n</sub>
1. Spannung		
Drehen ø 28	250	0,25
Wendeplattenbohrer ø 19	160	0,06
Bohren ø 8,7	60	0,08
Bohren ø10	60	0,08
Drehen innen	250	0,10
Strehlen M22x1,5	90	1,50
		Vorschubgeschwindigkeit V <sub>f</sub> (mm/min)
Nut fräsen	38	400
<b>Weniger Bearbeitungsgänge durch modifizierte Werkzeuge</b>		
<b>Gesamtzeit 2'04 min</b>		
<b>Zeiteinsparung: 59 %</b>		

**Bild 7:** Beispiele für MMS-Bearbeitung – Kennwerte im Vergleich

**Weiterarbeit und Trends**

Die führenden Werkzeugmaschinenhersteller und ihre Kunden fordern optimierte Systeme hinsichtlich Ansprechverhalten, Dosiergenauigkeit und Mengenkonstanz. Durch Umsetzung dieser Forderungen lassen sich kürzere Bearbeitungszeiten, schnellerer Werkzeugwechsel sowie geringerer Inbetriebnahmeaufwand erreichen. Zum Erreichen dieser Ziele konzentriert sich VOGEL auch auf die Weiterentwicklung der Geräte, die gekennzeichnet ist durch eine Messung und Regelung des Aerosoldurchsatzes, der Entkoppelung der Erzeugung vom Transport des Aerosols sowie auf fortgeschrittene Aerosolerzeugungsverfahren.

Zur Messung des Aerosoldurchsatzes werden schon heute optische Verfahren eingesetzt. Entwicklungsziele sind hier robuste Sensoren, die als Serienprodukt aber deutlich kosten-

günstiger sein müssen als heute verfügbare Laborsensoren. Die verbreiteten Aerosolerzeuger nach dem Venturiprinzip zeigen nichtlineare Zusammenhänge zwischen Luftdurchsatz und generiertem Aerosol. Insbesondere bei geringen Luftdurchsätzen reduziert sich damit prinzipbedingt überproportional die Menge des generierten Aerosols. Moderne einkanalige Aerosolerzeugungsverfahren entkoppeln die Erzeugung vom Transport des Aerosols.

Die heute noch im Laborbetrieb getesteten Lösungsansätze werden die Akzeptanz der Einleitungssysteme gegenüber den Zweileitungssystemen weiter erhöhen. Gründe hierfür sind bessere Aerosolqualität (kleinste, schmalbandige Tropfen), kürzeres Ansprechverhalten, höhere Dosiergenauigkeit und kontinuierlichere Aerosolförderung.