



Zentrum für Energie- und Umwelttechnik Wismar e.V. (ZEUT)
- Projektgruppe Rostock -

**Optimierung des Kühlschmierstoff-Managements
einzelbefüllter Werkzeugmaschinen unter besonderer
Berücksichtigung der Minimalmengen Kühlschmierung**

Abschlußbericht über ein Förderprojekt,
gefördert unter AZ 16 220 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

H. Falk, Dr.-Ing. habil D. Grey, Dipl.-Ing. H. Jansen, Dipl.-Ing. F. Jenak,
Prof. Dr.-Ing. G. Petuelli, Dipl.-Ing. J. Puschmann

Mai 2003

Projektkennblatt

11/95		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	16220	Referat	21/0	Fördersumme	338.850,00 DM
Antragstitel	Optimierung des Kühlschmierstoff-Managements einzelbefüllter Werkzeugmaschinen unter besonderer Berücksichtigung der Minimalmengenkühschmierung				
Stichworte	Kühlschmierstoff; Kühlschmierstoff-Management; Minimalmengenkühschmierung; Beratung;				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
24 Monate	03./2001	02/2003	keine		
Zwischenberichte:	alle 6 Monate Kurzbericht				
Bewilligungsempfänger	Zentrum für Energie- und Umweltechnik Wismar e.V. Projektgruppe Rostock Erich-Schlesinger-Straße 50 18059 Rostock			Tel	0381/44037940
				Fax	0381/44037941
				Projektleitung Dr. Grey	
				Bearbeiter Dipl.-Ing. F. Jenak	
Kooperationspartner	Fachhochschule Südwestfalen, Abt. Soest, Werkzeugmaschinen Steidle GmbH, Leverkusen Rhein-Nadel Maschinennadel GmbH, Aachen				
Zielsetzung und Anlass des Vorhabens					
Anlass des Vorhabens war das bislang unzureichende Nutzen von Anwendungsmöglichkeiten der Minimalmengenkühschmierung (MMKS) in der spanenden Formung und das dadurch verursachte unbefriedigende Ausschöpfen vorhandener Kostensenkungs- und Abfallvermeidungspotenziale. Das Vorhaben war auf folgende Ziele gerichtet:					
<ul style="list-style-type: none"> - Erarbeitung eines Lösungsansatzes zur Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements unter besonderer Berücksichtigung der MMKS, - systematisches Analysieren und Darstellen der zur Einführung der MMKS erforderlichen Anpassung von Werkzeugmaschine, Werkzeug, KSS-System und Fertigungsprozess, - Erarbeiten und exemplarisches Anwenden eines Leitfadens zur <ul style="list-style-type: none"> * Identifikation bisher ungenutzter Anwendungsmöglichkeiten sowie * Optimierung des KSS-Managements unter besonderer Berücksichtigung der MMKS. 					
Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden					
Grundlage der Auswahl des optimalen KSS-Konzeptes bildete eine fertigungstechnische sowie wirtschaftlich-ökologische Analyse des Systems Maschine - Werkzeug - Werkstück - Kühlschmierstoff - Fertigungsprozess. Hierzu wurden zunächst die fertigungstechnischen Anforderungen an das KSS-Konzept analysiert und insbesondere die Möglichkeiten für eine erfolgreiche Anwendung der MMKS untersucht.					
In einem folgenden Schritt erfolgte eine Bilanzierung der Kosten, Input-Massen und Energieverbräuche fertigungstechnisch prinzipiell möglicher KSS-Konzepte und -Szenarien. Als Kriterium für das Bewerten der einzelnen KSS-Konzepte diente die Höhe der innerhalb eines Betriebsdauerintervalls entstehenden KSS-bedingten Kosten. Die hierfür entwickelten Bilanzmodelle sind allgemein auf spanende Fertigungsprozesse übertragbar. Sie unterstützen das Bewerten der					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190					

Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit unterschiedlicher KSS-Konzepte mit Bezug auf einen bestimmten Fertigungsprozess. Die zur Optimierung des KSS-Managements erforderlichen Arbeitsschritte wurden in einem Lösungsansatz zusammengestellt. Dieser steht als allgemein anwendbares interaktives Software-Werkzeug im Internet zur Verfügung.

Ergebnisse und Diskussion

Der unternehmens- und branchenübergreifende Nutzen des Vorhabens besteht in der Entwicklung und Anwendung eines systematischen Lösungsansatzes zur wirtschaftlich/ökologischen Optimierung des KSS-Managements.

Die in den Lösungsansatz integrierten Kosten-, Inputmasse, und -Input-Gebrauchsenergiemodelle unterstützen das Bewerten der Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit unterschiedlicher KSS-Konzepte mit Bezug auf einen bestimmten Fertigungsprozess. Sie sind unternehmens- und branchenübergreifend allgemein auf spanende Fertigungsprozesse übertragbar.

Der Lösungsansatz erleichtert es, KSS-Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der Anwendungsmöglichkeiten der MMKS so an die prozess- und unternehmensspezifischen Bedingungen anzupassen, dass ein im Sinne des Entscheidungsträgers maximaler Nutzeffekt erreicht wird.

Auf diese Weise unterstützen die Ergebnisse des Vorhabens das Gestalten wirtschaftlich-ökologisch gestalteter KSS-Konzepte und fördern die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen.

Die mit Hilfe des Lösungsansatzes als optimal erkannte Umstellung von Nassschnitt auf MMKS führte im Pilotunternehmen bezogen auf die KSS-relevanten Aufwendungen zu folgenden Nutzeffekten:

- Senkung der laufenden Kosten um 74 %,
- Senkung des Masse-Inputs um 95 %,
- Senkung des Input-Gebrauchsenergiebedarfes um 70 %.

Der Amortisationszeitraum der mit der Umstellung auf MMKS verbundenen Kosten beträgt 0,7 Jahre.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Informationen über das Vorhaben sowie die Arbeitsergebnisse sind in der Homepage des ZEUT, Projektgruppe Rostock (<http://www.zeut.de>) sowie der FH Südwestfalen (http://www.fh-soest.de/fb12/einrichtungen/wzm/pages/ges_simkss.html) veröffentlicht. Die Ergebnisse des Projektes wurden im Rahmen des 5. Bremer Kühlschmierstoff-Workshops am 10. April 2003 vorgestellt.

Der Lösungsansatz steht als interaktives Software-Werkzeug im Internet unter Adresse <http://www.zeut.de/apps> zur Verfügung. Eine über dieses Informationsangebot hinausgehende Unterstützung bei der Nutzung des Lösungsansatzes wird im Rahmen von Beratungsleistungen angeboten.

Weitere Veröffentlichungen und Vorträge befinden sich in Vorbereitung:

- Veröffentlichung in den Berichten des Wrangell-Instituts für umweltgerechte Produktionsautomatisierung, Shaker Verlag,
- Vortrag zur 1. Internationale Wissenschaftliche Konferenz der Ökologie der Grenzregion, EB '03, Łagów-Gorzów Wlkp.-Polen. September 2003,
- Vortrag zur ASIM 003, Magdeburg, 16. - 19.09.2003,
- Vortrag zur IASTED Intern. Conf. Applied Simulation and Modeling, Sept. 2003, Spain

Fazit

Das Vorhaben ordnet sich in die Arbeiten zur Optimierung des KSS-Managements ein.

Wesentliches Arbeitsergebnis ist ein allgemein anwendbarer Lösungsansatz zur Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements.

Der Lösungsansatz stellt die fertigungstechnischen, wirtschaftlichen und ökologischen Zusammenhänge beim Optimieren von KSS-Konzepten in transparenter Weise dar. Er erleichtert kleinen und mittelständischen Unternehmen das Gestalten eines effizienten KSS-Managements und unterstützt insbesondere das Erschließen weiterer Anwendungsgebiete für die MMKS.

Die Praxistauglichkeit des Lösungsansatzes wurde exemplarisch am Beispiel der Fertigung von Industrienähtadeln nachgewiesen. Die mit Hilfe des Lösungsansatzes als optimal erkannte Umstellung von Nassschnitt auf MMKS führte zu drastischen Einsparungen an KSS-bedingten Kosten, Input-Masse sowie Gebrauchsenergie. Darüber hinaus wurde eine deutliche Verbesserung der arbeitshygienischen Bedingungen erreicht.

Der Lösungsansatz steht als allgemein anwendbares interaktives Software-Werkzeug im Internet

einem breiten Kreis von KSS-Anwendern aller Industriebranchen zur Verfügung.

Weiterführende Untersuchungen sollten auf folgende Problemfelder gerichtet sein:

- Einsatz und weitere Erprobung des Lösungsansatzes in anderen Branchen des Maschinen- und Anlagenbaus,
- Erweiterung des KSS-Managers auf die Trockenbearbeitung und zentral befüllte Maschinen,
- Weiterentwicklung von ValKSS in Hinblick auf die Anwendung in weiteren Bereichen der Materialverarbeitung,
- Weiterentwicklung von SimKSS durch Übertragung auf komplexe Fertigungssysteme.

Inhaltsverzeichnis

Lfd. Nr.	Titel	Seite
	Projektkennblatt	I
	Inhaltsverzeichnis	IV
	Verzeichnis der Bilder	V
	Verzeichnis der Tabellen	V
	Begriffe und Definitionen	VI
1	Zusammenfassung	1
2	Einleitung	2
3	Vorhabensdurchführung	4
4	Vorhabensergebnisse	5
4.1	Überblick	5
4.2	Lösungsansatz zur Auswahl und Gestaltung wirtschaftlich-ökologisch optimierter KSS-Konzepte	5
4.2.1	Gesamtdarstellung des Lösungsansatzes	5
4.2.2	Phasen des Lösungsansatzes	7
4.2.2.1	Phase 1: Ermitteln der Anforderungen an das KSS-Konzept	7
4.2.2.2	Phase 2: Analyse des Ist-Zustandes und der Anwendbarkeit der MMKS	7
4.2.2.3	Phase 3: Optimieren und Bewerten von Nassschnitt und MMKS	9
4.2.2.4	Phase 4: Auswahl des wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS- Szenarios	10
4.2.3	Hilfsmittel zur Abarbeitung des Lösungsansatzes	10
4.2.3.1	Beurteilen der prinzipiellen Anwendbarkeit der MMKS (ValKSS)	10
4.2.3.2	Simulation der KSS-bedingten Stoffströme und Energieverbräuche (SimKSS)	12
4.2.3.3	Erfassung/Dokumentation/Simulation der bei Anwendung von Nassschnitt und MMKS auftretenden KSS-bedingten Kosten sowie Stoff- u. Energieverbräuche (KSS-Manager)	15
4.2.3.3.1	Modellierung der Kosten, Input-Massen u. Energieverbräuche bei Nassschnitt u. MMKS	15
4.2.3.3.2	Inhalt, Struktur und Funktionalitäten des KSS-Managers	16
4.2.4	Anforderungen an die EDV-Umgebung zur Anwendung des Lösungsansatzes	20
4.2.4.1	Software-Anforderungen	20
4.2.4.2	Hardware-Anforderungen	21
4.3	Erprobung des Lösungsansatzes am Beispiel "Industrienadel-Fertigung"	21
4.3.1	Formulieren der Aufgabenstellung	21
4.3.2	Phase 1: Ermitteln der Anforderungen an das KSS-Konzept	22
4.3.3	Phase 2: Analyse des Ist-Zustandes und der Erfolgsaussichten für eine MMKS-Anwendung	27
4.3.4	Phase 3: Optimieren und Bewerten von Nassschnitt und MMKS	36
4.3.5	Phase 4: Auswahl des wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS-Konzeptes	43
5	Zusammenfassende Einschätzung der Vorhabensergebnisse	47
5.1	Untersuchungsergebnisse	47
5.2	Nutzen des Projektes	47
5.2.1	Nutzen in den Unternehmen Rhein-Nadel Maschinennadel GmbH Aachen sowie der Fa. Steidle GmbH Leverkusen	47
5.2.2	Unternehmensübergreifender Nutzen	49
5.2.3	Abweichungen von der Zielsetzung, Probleme , evtl. Veränderung der Vorhabensdurchführung	50
5.2.4	Maßnahmen zur Verbreitung der Untersuchungsergebnisse	50
6	Fazit	51
	Literaturverzeichnis	52
	Anhang CD mit Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes - Lösungsansatz und Praxisbeispiel - Demoversionen der Software-Tools ValKSS, SimKSS und KSS-Manager v.51 - Anwenderdokumentation der Software-Tools	

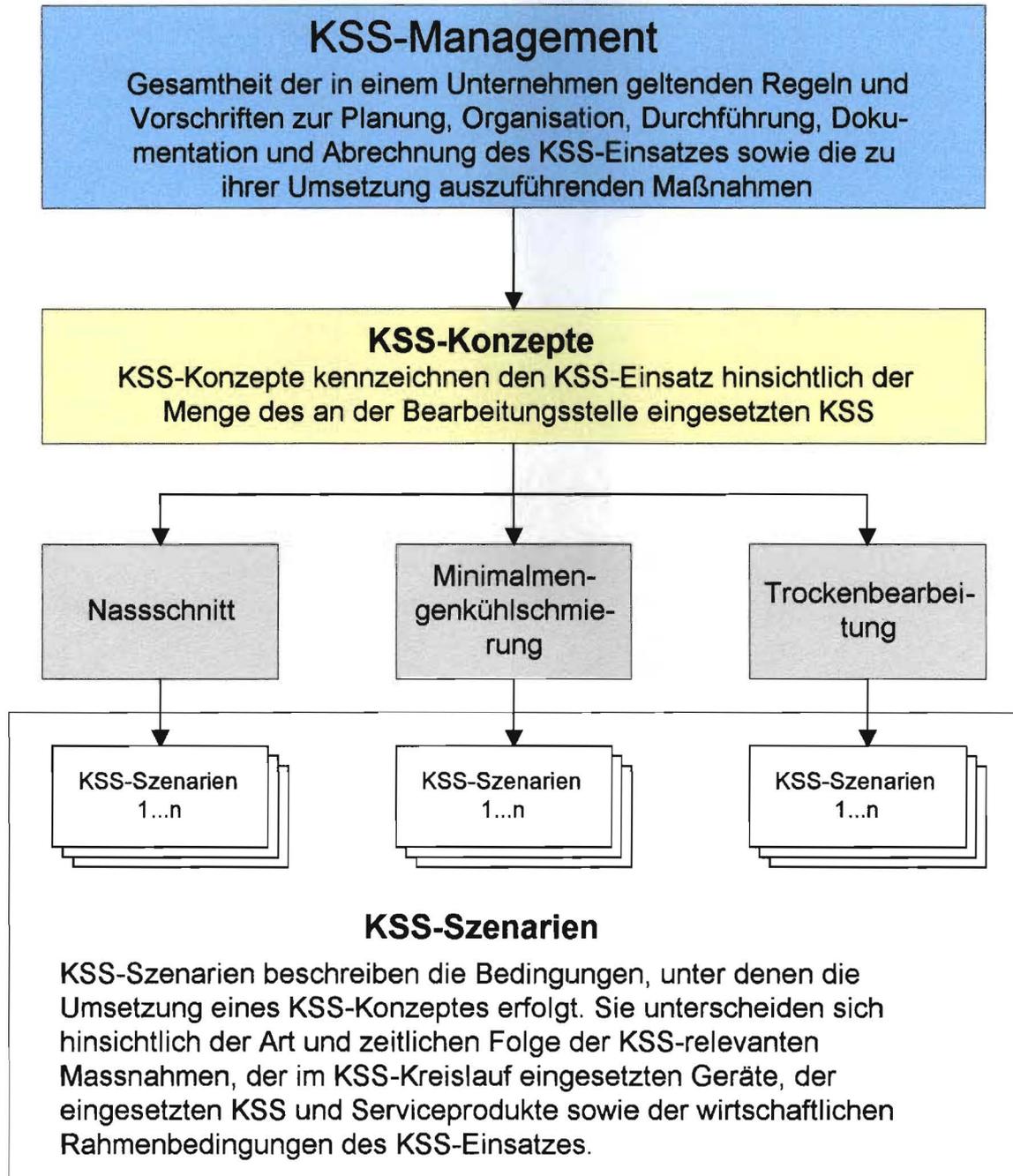
Verzeichnis der Bilder

Lfd. Nr.	Inhalt	Seite
1	Problematik und Einordnung des Projektes	3
2	Inhalt und zeitlicher Ablauf der Projektbearbeitung	4
3	Ziel, Ergebnisse und Nutzen des Projektes	5
4	Lösungsansatz für das wirtschaftlich-ökologische Optimieren von KSS-Konzepten	6
5	Formblatt zur Erfassung der Eingabedaten für ValKSS (Ist-Daten Schleifprozess)	8
6	ValKSS - Parameter	11
7	ValKSS - Bewertung / Defizite	11
8	ValKSS - Hilfe	12
9	SimKSS - Modell	13
10	SimKSS - Datenbank	13
11	SimKSS - Auswertung	14
12	SimKSS - Kostenauswertung	14
13	SimKSS - Parametereingabe	15
14	Inhalt und Bilanzgrenzen des Kosten-, Masseinput- und Energiemodells	16
15	Einordnung des KSS-Managers in das KSS-Management	17
16	Funktionalitäten/modulare Struktur des KSS-Managers (Eröffnungsmenü)	18
17	Industrienähnnadel	22
18	Prozessschritte der Industrie-Nähnnadel-Fertigung	23
19	Rundeprozess des Nadelrohlings - Bearbeitungsprozess und KSS-System (schematisch)	24
20	Rundestation - Zustand bei Anwendung des Nassschnittes	25
21	Ist-Daten Schleifprozess	26
22	Soll-Daten Schleifprozess	28
23	Darstellung des Runde-Prozesses mit KSS-System (schematisch)	29
24	Minimalmengeneignung	30
25	Parameter	30
26	Ermittlung der laufenden KSS-relevanten Stoff- und Energiemengen sowie Kosten mit Hilfe der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes (Nassschritt)	32
27	SimKSS- Ist-Modell Schleifprozess	35
28	Simulationsdaten Schleifen	36
29	80% Abscheidegrad	37
30	SimKSS - MMKS-Modell Schleifprozess	38
31	Darstellung des Runde-Prozesses, MMKS (schematisch)	40
32	Ermittlung der laufenden KSS-relevanten Stoff- und Energiemengen sowie Kosten mit Hilfe der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes (MMKS)	40
33	Kostenvergleich von Nassschnitt und MMKS mit Hilfe der Internet-Erweiterung des KSS-Managers	43
34	Änderung der KSS-bedingten Kosten bei Nassschnitt und MMKS über der Betriebsdauer	44
35	Jährliche Masse- und Gebrauchsenergie-Inputs bei Anwendung von Nassschnitt und MMKS	45
36	Rundestation, Zustand nach Einführung der MMKS	46

Verzeichnis der Tabellen

Lfd. Nr.	Inhalt	Seite
1	Mindestkonfiguration der Hardware	21

Begriffe und Definitionen



1. Zusammenfassung

Erfahrungen der Praxis sowie Ergebnisse wissenschaftlicher Untersuchungen belegen, dass bei richtigem Einsatz von Minimalmengenkühschmierung (MMKS) und Trockenbearbeitung gegenüber dem herkömmlichen Nassschnitt vielfach eine Kosteneinsparung und Reduzierung von umweltbelastenden sowie gesundheitsgefährdenden Wirkungen des Kühlschmierstoffeinsatzes erreichbar ist.

Die Ablösung des herkömmlichen Nassschnittes durch die Trockenbearbeitung oder MMKS stößt deshalb in der Praxis auf zunehmendes Interesse, wird jedoch gegenwärtig durch eine Reihe von Hemmnissen behindert.

Hierzu gehören u.a.:

- Schwierigkeiten beim Beurteilen der technologischen Anwendungsmöglichkeiten sowie des wirtschaftlichen und ökologischen Nutzeffektes der MMKS und Trockenbearbeitung für den jeweiligen spezifischen Anwendungsfall,
- unzureichende Kenntnisse sowie ein Mangel an unabhängigen Beratungsangeboten für die im Zusammenhang mit der Einführung der MMKS oder Trockenbearbeitung erforderliche Umstellung des Fertigungssystems,
- Unsicherheiten in der Bewertung der Prozesssicherheit bei Einführung der MMKS oder Trockenbearbeitung.

Die Klärung dieser Fragen stellt insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen mit ihrer im Regelfall recht begrenzten ingenieurtechnischen Kapazität vor erhebliche Probleme und behindert die weitere Anwendung von MMKS und Trockenbearbeitung.

Ausgehend von dieser Situation bestand das Ziel des Vorhabens im Erarbeiten eines systematischen Lösungsansatzes zur Auswahl des für bestimmte Fertigungsaufgaben der spanenden Formgebung wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS- Konzeptes für einzelbefüllte Werkzeugmaschinen. Als konkurrierende KSS-Konzepte wurden hierbei der Nassschnitt und die MMKS betrachtet.

Das Vorhaben wurde als Verbundprojekt vom Zentrum für Energie- und Umwelttechnik Wismar e.V., Projektgruppe Rostock, der Fachhochschule Südwestfalen, Labor für Werkzeugmaschinen Soest, der Rhein-Nadel Maschinennadel GmbH Aachen sowie der Fa. Steidle GmbH Leverkusen bearbeitet.

Wesentliches Ergebnis des Projektes ist ein Lösungsansatz, welcher die zur Auswahl und Gestaltung optimaler KSS- Konzepte erforderlichen Arbeitsschritte beinhaltet und deren Abarbeitung durch geeignete Software-Werkzeuge sowie ergänzende Informationen unterstützt. Er erleichtert insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen das Planen und Gestalten wirtschaftlich/ökologisch optimierter KSS-Konzepte.

Angesichts der Komplexität der beim Bewerten von KSS-Konzepten zu berücksichtigenden Zusammenhänge besteht der Nutzen des systematischen Lösungsansatzes vor allem in der Darstellung eines allgemein anwendbaren rationellen Lösungsweges zur wirtschaftlich/ökologischen Optimierung des KSS-Managements, dem Auflisten und systematischen Verknüpfen der hierbei zu beachtenden Einflussfaktoren sowie der Quantifizierung ihrer monetären und ökologischen Wirkungen.

Der Lösungsansatz wurde praktisch erprobt und steht als Softwarepaket in einer für praxisübliche Standard-Hardware geeigneten anwenderfreundlichen Form im Internet unter der Adresse <http://www.zeit.de/apps> oder http://www.fh-soest.de/fb12/einrichtungen/wzm/pages/ges_simkss.html als interaktiv nutzbare Download-Version zur Verfügung.

2. Einleitung

In der spangebenden Fertigung wurden in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte bei der Trockenbearbeitung und Minimalmengenkühlschmierung (MMKS) erreicht. Es wird eingeschätzt, dass es mittelfristig bis etwa zum Jahr 2015 möglich sein wird, bei mindestens 10 - 25 % der spanenden Fertigungsarbeiten den Nassschnitt durch die Trockenbearbeitung und vor allem die MMKS zu ersetzen [Wei 99], [KF 92], [Kie 97], [Wil 98], [Göt 98].

Bei richtigem Einsatz können MMKS und Trockenbearbeitung gegenüber dem herkömmlichen Nassschnitt zu einer Kosteneinsparung führen. Darüber hinaus treten, bedingt durch den gegenüber dem Nassschnitt deutlich verringerten oder nicht erforderlichen KSS-Einsatz eine Reihe positiver ökologischer und arbeitshygienischer Effekte auf, deren monetärer Nutzen nicht oder nur näherungsweise quantifizierbar ist [Wei 99], [DS 99], [KS 98], [BW 97] [Göt 98], [WT 98], [WS 98], [KG 96], [Spe 96].

Die durch die umfassende Einführung der MMKS erreichbare Senkung der Gesamtherstellkosten beträgt ca. 0,3 - 0,8 %. Dieser Wert würde sich bei einer monetären Bewertung der mit der MMKS verbundenen positiven arbeitshygienischen und ökologischen Wirkungen weiter erhöhen.

Angesichts dieser wirtschaftlichen und ökologischen Nutzenspotentiale stößt die Ablösung des herkömmlichen Nassschnittes durch die Trockenbearbeitung oder MMKS in der Praxis auf zunehmendes Interesse. Die Einführung der MMKS wird jedoch gegenwärtig vor allem durch folgende Umstände erschwert [NN 99]:

- Schwierigkeiten beim Beurteilen der technologischen Anwendungsmöglichkeiten sowie des wirtschaftlichen und ökologischen Nutzeffektes der MMKS und Trockenbearbeitung für den jeweiligen spezifischen Anwendungsfall,
- unzureichende Kenntnisse sowie ein Mangel an unabhängigen Beratungsangeboten für die im Zusammenhang mit der Einführung der MMKS oder Trockenbearbeitung erforderliche Umstellung des Fertigungssystems,
- Vorbehalte bei den Mitarbeitern infolge unzureichender Kenntnisse über die Besonderheiten der MMKS und Trockenbearbeitung sowie die Ergebnisse ihrer Praxisanwendung,
- Überbewertung der bei der Anwendung der MMKS und Trockenbearbeitung entstehenden Probleme und unzureichende Information über Lösungsmöglichkeiten,
- Unsicherheit in der Bewertung der Prozesssicherheit bei Einführung der MMKS oder Trockenbearbeitung.

Das Vorhaben trägt zur Lösung dieser Probleme bei und unterstützt das Erkennen und Ausschöpfen von Anwendungspotentialen der MMKS (**Bild 1**).

Ziel des Vorhabens war das Erarbeiten eines systematischen Lösungsansatzes zur Auswahl des für bestimmte Fertigungsaufgaben der spanenden Formgebung wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS-Konzeptes für einzelbefüllte Werkzeugmaschinen.

Als konkurrierende KSS-Konzepte wurden hierbei der Nassschnitt und die MMKS betrachtet.

Wesentliche Elemente des Lösungsansatzes sind:

- eine allgemein anwendbare Arbeitsschrittfolge für das rationale Auswählen und Gestalten eines wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS-Managements,
- Hilfsmittel zur Beurteilung der Eignung von Werkzeugmaschine, Werkzeug, KSS-System und Fertigungsaufgabe für die Umrüstung von Nassschnitt auf die MMKS sowie eine
- Software zur Unterstützung der Abarbeitung des systematischen Lösungsansatzes.

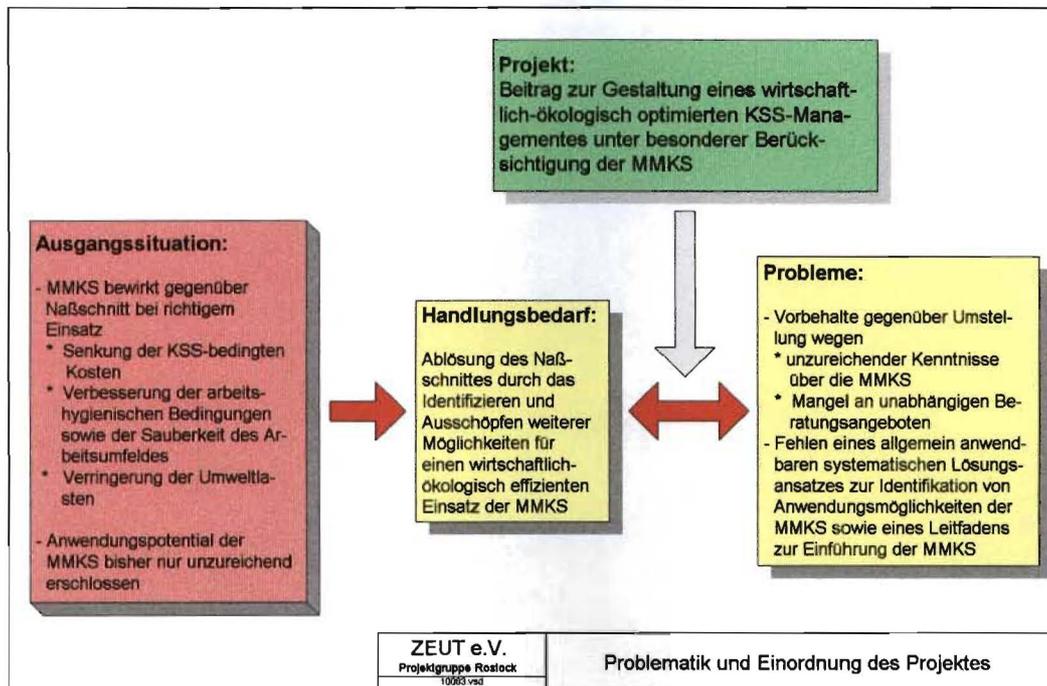


Bild 1

Der im Ergebnis der Projektbearbeitung erzielte Neuheitswert besteht in der Entwicklung und Erprobung eines PC-gestützten Lösungsansatzes zur Auswahl und Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements unter Berücksichtigung von Nassschnitt und MMKS beim Einsatz sowohl nicht wassermischbarer als auch wassermischbarer KSS in einzelbefüllten Werkzeugmaschinen.

Der Lösungsansatz wurde als Softwarepaket in einer für praxisübliche Standard-Hardware geeigneten anwenderfreundlichen Form bereitgestellt und am Beispiel der Bearbeitung von Industrienähndeln in der Rhein-Nadel Maschinennadel GmbH (RNMG) gemeinsam mit der Steidle GmbH erprobt.

3. Vorhabensdurchführung

Das Vorhaben wurde in Zusammenarbeit zwischen dem Zentrum für Energie- und Umwelttechnik Wismar e.V., Projektgruppe Rostock (ZEUT), dem Labor für Werkzeugmaschinen der Fachhochschule Südwestfalen, Soest (FH SWF), der Rhein-Nadel-Maschinennadel GmbH Aachen (RNMG) und der Steidle GmbH Leverkusen (Steidle) bearbeitet.

Entsprechend den speziellen Fachkompetenzen der Partner konzentrierten sich die Projektgruppe Rostock und das Labor für Werkzeugmaschinen der Fachhochschule Südwestfalen vor allem auf das Erarbeiten des Lösungsansatzes sowie das Entwickeln entsprechender PC-gestützter Werkzeuge, während im Mittelpunkt der Arbeit der Rhein-Nadel-Maschinennadel GmbH Aachen und der Steidle GmbH Leverkusen vor allem die Umsetzung und Erprobung des Lösungsansatzes am Beispiel des Einsatzes der MMKS bei der Fertigung von Industrienähneln stand.

Die zwischen den Projektpartnern vereinbarten Verantwortlichkeiten der Projektbearbeitung sowie Inhalt und zeitliche Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte zeigt **Bild 2**.

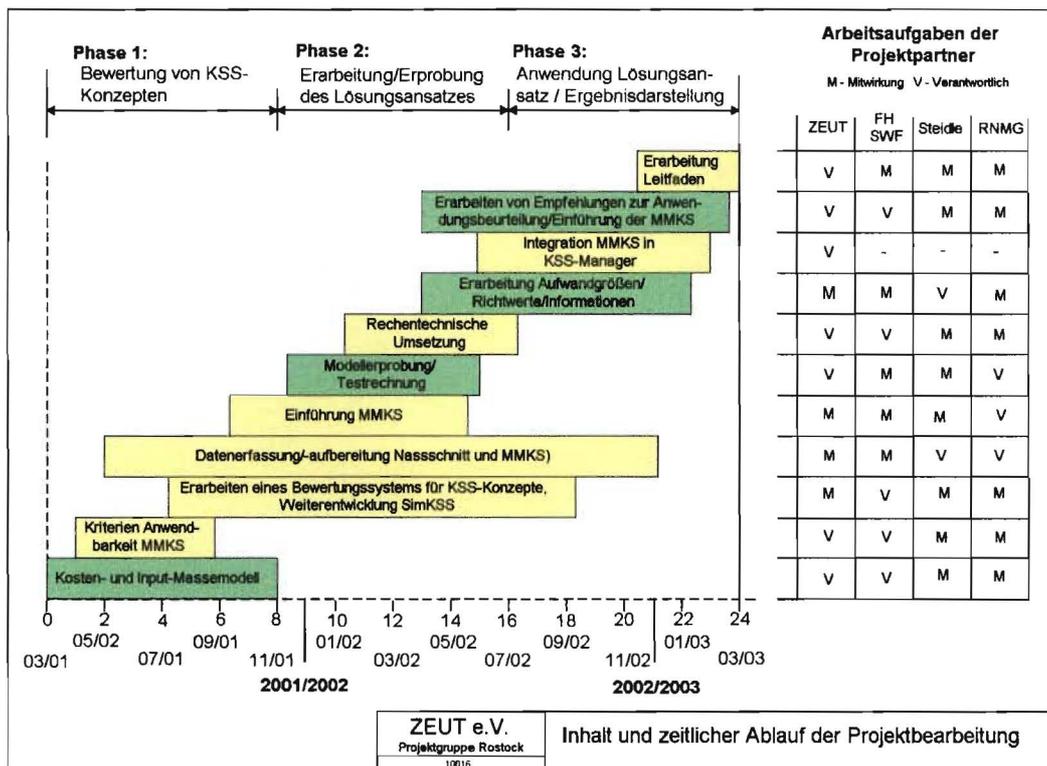


Bild 2

4. Vorhabensergebnisse

4.1 Überblick

Im Mittelpunkt des Vorhabens stand die Erarbeitung und Erprobung eines Lösungsansatzes zur Gestaltung wirtschaftlich-ökologisch optimierter KSS-Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der MMKS.

Die in den Lösungsansatz eingeordneten Software-Werkzeuge erleichtern das Entwickeln und Umsetzen unternehmensspezifisch optimierter KSS-Konzepte sowie das Überwachen der KSS-relevanten Prozessparameter und Kosten. Auf diese Weise können Kostensenkungs- und Abfallvermeidungspotentiale beim Einsatz von KSS systematisch identifiziert und ausgeschöpft werden.

Ziel, Ergebnisse und Nutzen des Projektes sind in **Bild 3** zusammenfassend dargestellt.

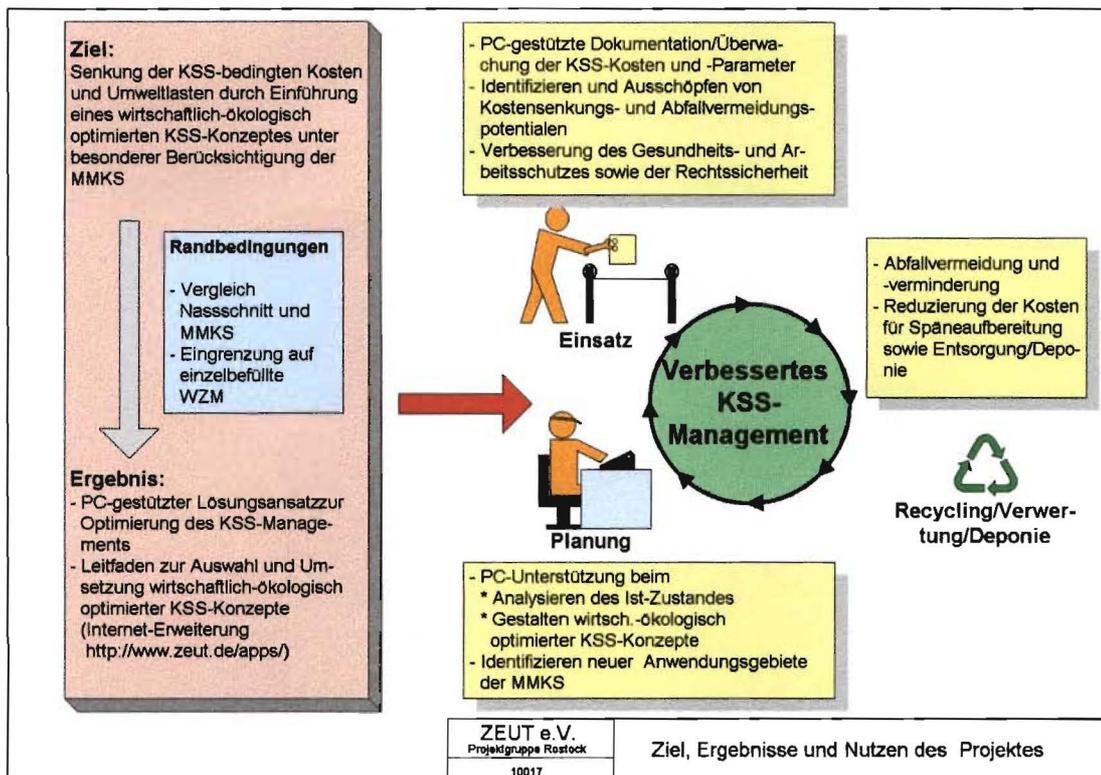


Bild 3

4.2 Lösungsansatz zur Auswahl und Gestaltung wirtschaftlich-ökologisch optimierter KSS-Konzepte

4.2.1 Gesamtdarstellung des Lösungsansatzes

Der Lösungsansatz (**Bild 4**) beinhaltet die zur Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements erforderlichen Arbeitsgänge und ordnet diese in eine für die Lösungsfindung optimale systematische Abfolge.

Der Lösungsansatz ist in der vorliegenden Form für das vergleichende Bewerten und Optimieren von Nassschnitt (Einsatz von wassermischbarem und nicht wassermischbarem KSS sowie Multifunktionsöl) und MMKS an einzelbefüllten Maschinen nutzbar.

Eine Erweiterung auf die Trockenbearbeitung sowie zentralversorgte Maschinengruppen ist möglich, erfordert jedoch weiterführende Untersuchungen.

Eine Gesamtdarstellung des Lösungsansatzes und der zu seiner Umsetzung entwickelten Software-Instrumente sowie ein Praxisbeispiel steht unter <http://www.zeit.de/apps/> oder http://www.fh-soest.de/fb12/einrichtungen/wzm/pages/ges_simkss.html zur Verfügung.

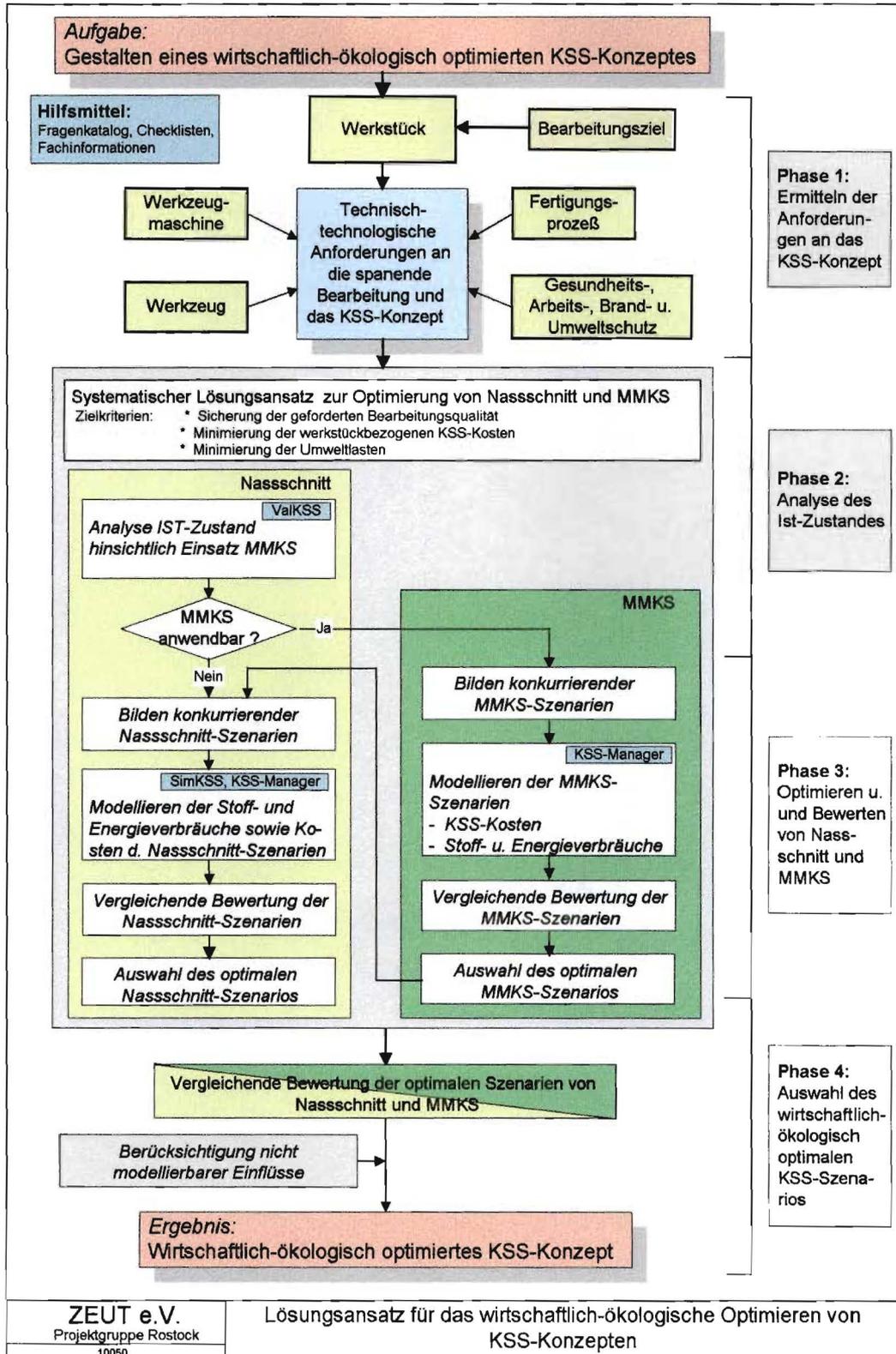


Bild 4

4.2.2 Phasen des Lösungsansatzes

Die einzelnen Arbeitsschritte des Lösungsansatzes können entsprechend ihrem Inhalt und ihrer Zielsetzung zu vier aufeinanderfolgenden Phasen zusammengefasst werden.

Die Abarbeitung einzelner Arbeitsschritte wird durch Softwarewerkzeuge (SimKSS, ValKSS, KSS-Manager) unterstützt, welche auch außerhalb des Lösungsansatzes autark zur Lösung bestimmter Teilprobleme nutzbar sind.

4.2.2.1 Phase 1: *Ermitteln der Anforderungen an das KSS-Konzept*

In Phase 1 des Lösungsansatzes (vgl. **Bild 4**, Phase 1) trägt der Anwender die relevanten Ist-Daten und Anforderungen an das zu gestaltende KSS-Konzept zusammen.

Diese werden von folgenden Einflüssen bestimmt:

- Fertigungsprozess mit Bearbeitungsziel,
- Werkstück (Werkstoff, Werkstückgeometrie),
- Werkzeugmaschine und Peripherie,
- Werkzeug und
- Bestimmungen des Gesundheits-, Arbeits-, Brand- und Umweltschutzes.

Die Charakterisierung des Fertigungsprozesses und Ableiten der Anforderungen an das KSS-Konzept erfolgt durch das Beantworten vorgegebener Fragen. Die auf diese Weise vom Anwender dargestellten Anforderungen an den Fertigungsprozess müssen unter Berücksichtigung der gesetzlichen Vorschriften nach einer möglichen Umstellung auf ein alternatives KSS-Konzept oder KSS-Szenario mindestens erfüllt bleiben. Das Formular mit den vom Anwender beantworteten Fragen kann wahlweise per Fax oder nach Betätigen einer entsprechenden Schaltfläche per Mail zur weiteren Bearbeitung an die FH Südwestfalen, Abteilung Soest, Labor für Werkzeugmaschinen übersandt werden. Diese Stelle setzt sich zur Abstimmung der weiteren Vorgehensweise mit dem KSS-Anwender in Verbindung.

Im Regelfall wird dieser Kontaktaufnahme eine detaillierte Analyse und Bewertung des vorhandenen KSS-Managements folgen.

Ergebnis von Phase 1 ist eine Auflistung der Anforderungen an das zu entwickelnde KSS-Konzept.

4.2.2.2 Phase 2: *Analyse des IST-Zustands und der Anwendbarkeit der MMKS*

Die Analyse des vorhandenen KSS-Kreislaufs und -Managements (vgl. **Bild 4**, Phase 2) dient zum einen der Entscheidungsfindung über die prinzipielle Möglichkeit des MMKS-Einsatzes und bildet zum anderen die Grundlage für die Optimierung des aktuellen KSS-Managements.

Die Entscheidungsfindung über die prinzipielle Möglichkeit des MMKS-Einsatzes erfolgt mit Hilfe eines von der FH Südwestfalen, Labor für Werkzeugmaschinen Soest, entwickelten Evaluierungsinstrumentes *ValKSS*. Zur Erfassung der für die Anwendung von ValKSS erforderlichen Informationen steht dem KSS-Anwender ein Formular in Papierform oder als Download-Dokument (<http://www.zeit.de/apps/>) zur Verfügung.

Die ausgefüllten Formulare können per Fax oder E-Mail zur Auswertung an die FH Südwestfalen, Abteilung Soest, Labor für Werkzeugmaschinen Soest übersandt werden.

Die Bewertung des KSS-Systems wird wie folgt durchgeführt:

Zunächst wird die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen MMKS-Anwendung auf der Grundlage einer Entscheidungsgröße ermittelt. Diese wird mit Hilfe eines Bewertungssystem ValKSS bestimmt, welches im Rahmen des Projektes entwickelt und softwaretechnisch umgesetzt wurde. Ausgangspunkt der Bewertung ist das Formular (**Bild 5**) mit den vom Anwender beantworteten Fragen. Im Ergebnis dieser mit Hilfe von ValKSS durchgeführten Beratung erhält der Anwender Hinweise auf mögliche Verbesserungspotentiale,

wie z.B. Möglichkeiten zur Optimierung des Nassschnittes und Voraussetzungen für eine Umstellung auf Minimalmengenkühlschmierung.

Nicht zutreffendes frei lassen.	
Bearbeitungsverfahren:	Schleifen
MMS Einsatz:	Vollstrahl
Späneablagerungen (Spänenester):	wenige
Spindelanordnung:	
Späneabsaugung:	ja
HSC-Bearbeitung	nein
Schmierung der Maschine:	nicht notwendig
Masse des Werkstücks:	2 g
Losgröße:	240 / min
Komplexität des Werkstücks:	gering
Zerspanbarkeit des Werkstücks:	gut
Formgenauigkeit	mittel
Maßgenauigkeit	mittel
Oberflächenqualität	hoch
Werkzeugmaterial:	Schleifscheibe
Spänebeseitigung des Werkzeugs:	gut
Beschichtung des Werkzeugs:	
Vergrößerte Spannuten:	
Querschneide:	
Vc:	mittel
Vf:	mittel
Bohrtiefe L/D:	
Aussparungen:	
Spanvolumen	gering
Anzahl der Überläufe:	wenig
Firmenname:	Rhein-Nadel Maschinennadel Gr
Adresse:	Reichsweg 19-24, 52068 Aachen
Kontaktperson:	Herr Mustermann
Telefonnummer:	01234/123456
E-Mail:	petuelli@fh-swf.de



Formblatt zur Erfassung der
Eingabedaten für ValKSS

Bild 5

Die Bewertung des KSS-Konzeptes aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht setzt voraus, dass der Anwender seine kühlenschmierstoffspezifischen Kosten sowie seinen Stoff- und Energiebedarf kennt. Um diese für eine bestimmte Maschine zu hinterfragen, werden ihm in einem von ZEUT e.V., Projektgruppe Rostock, entwickeltem **KSS-Manager** ein statisches Kostenmodell sowie statische Modelle zur Bilanzierung von Stoffstrom und Energieverbrauch angeboten. Das Offenlegen der Strukturen dieser Modelle (siehe Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes <http://www.zeit.de/apps/>) erleichtert dem Anwender das Ermitteln der erforderlichen Daten.

Bereits das Auswerten dieser Daten kann Optimierungspotentiale aufdecken. Kann der Anwender seine KSS-spezifischen Kosten für eine einzelne Maschine nicht hinreichend genau identifizieren, können entsprechende Informationen mit Hilfe des KSS-Managers über einen frei wählbaren Betrachtungszeitraum hinweg erfasst, dokumentiert und ausgewertet werden. Dem Anwender steht hierfür eine (auf 5 Maschinen) beschränkte Demo-Version des KSS-Managers zum Download zur Verfügung. Die Einbeziehung weiterer Maschinen sowie Einbindung des KSS-Managers in die IT-Umgebung des Unternehmens kann nach Kontaktaufnahme mit dem ZEUT e.V., Projektgruppe Rostock erfolgen.

Beim Ermitteln des Energiebedarfs und der daraus resultierenden Kosten sowie bei der Berechnung des Kühlschmierstoffbedarfes wird der Anwender durch das Simulationsprogramm **SimKSS** unterstützt. Die Nutzung dieses Systems kann mit dem Labor für Werkzeugmaschinen abgestimmt werden (petuelli@fh-swf.de) abgestimmt werden.

Ergebnis von Phase 2 ist eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Ablösung des Nassschnittes durch die MMKS und die daraus abgeleitete Entscheidung, ob die MMKS als alternatives KSS-Konzept in die weitere Optimierung einbezogen werden kann. Darüber hinaus werden Schwachstellen in Hinblick auf die Umstellung auf MMKS aufgezeigt und Lösungsansätze diskutiert.

4.2.2.3 Phase 3: Optimieren und Bewerten von Nassschnitt und MMKS

Ausgangspunkt für das Optimieren von Nassschnitt und MMKS ist das Bilden konkurrierender Szenarien innerhalb dieser KSS-Konzepte.

Dies kann durch Variieren der eingesetzten Kühlschmierstoffe und Serviceprodukte, Änderung der Organisation der KSS-Pflege sowie gerätetechnische Änderungen im KSS-Kreislauf erfolgen.

Die Bildung von KSS-Szenarien wird durch die im Bewertungssystem ValKSS, dem Simulationsprogramm SimKSS sowie den Kosten-, Masse- und Energiebilanzmodellen des KSS-Managers enthaltenen Informationen unterstützt.

Energieverbrauch, Input-Massen und Kosten dieser Konzepte sowie der Aufwand für die Umstellung vom IST-Zustand hin zu einem alternativen KSS-Szenario können mit Hilfe des KSS-Managers modelliert werden. Hierzu werden die gleichen statischen Modelle wie zur Analyse des Ist-Zustandes benutzt. Die Eingangsdaten für diese Modelle können entweder auf der Grundlage der mit Hilfe des KSS-Managers dokumentierten Daten geschätzt oder durch den Nutzer vorgegeben werden.

Darüber hinaus können für den Nassschnitt die Auswirkungen von Änderungen des KSS-Kreislaufes auf die Stoffinputs und Energieverbräuche der einzelnen Objekte des KSS-Systems mit dem Simulationsprogramm SimKSS berechnet werden.

Auf diese Weise liegt schließlich eine Zusammenstellung der bei Anwendung der betrachteten KSS-Szenarien entstehenden Kosten sowie Energie- und Stoffinputs vor.

Ergebnis von Phase 3 ist eine auf Grundlage dieser Zusammenstellung getroffene Auswahl des bei Anwendung des Nassschnittes und der MMKS jeweils optimalen KSS-Szenarios.

4.2.2.4 Phase 4: Auswahl des wirtschaftlich-ökologisch optimalen KSS-Szenarios

Als Zielkriterium für die Auswahl des optimalen KSS-Konzeptes dient im Regelfall die Minimierung der auf das Füllvolumen des KSS-Kreislaufes bezogenen Summe der KSS-relevanten Kosten. Diese monetäre Betrachtung wurde gewählt, weil zum einen unternehmerische Entscheidungen in aller Regel auf der Grundlage von Kostenbetrachtungen gefällt werden und zum anderen auch ökologische Effekte, wenn auch mit gewissen Einschränkungen, monetär bewertbar sind.

Die Verwendung des monetären Zielkriteriums führt zu dem Nachteil, dass in die ökologische Bewertung nicht nur die eigentlichen umweltrelevanten Größen, wie z.B. Masse der zu entsorgenden KSS-Emulsion, sondern auch monetäre Parameter, wie z.B. die spezifischen Beschaffungs- oder Entsorgungskosten, eingehen. Im vorliegenden Fall werden die monetären Größen deshalb durch Angabe der Input-Stoffmengen und des Energieverbrauches ergänzt.

Die Optimierungsentscheidung wird neben diesen quantifizierbaren Größen von Einflüssen bestimmt, welche entweder nicht oder nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand modellierbar sind (z.B. Preisentwicklung, Fachkompetenz der Mitarbeiter, usw.).

Die Optimierung sollte deshalb unter Einbeziehen von Spezialisten anderer Fachabteilungen (Fertigung, Umweltschutz, Einkauf usw.) erfolgen, so dass nicht oder nur ungenau modellierbare Einflüsse in die Optimierungsbetrachtung einfließen können.

4.2.3 Hilfsmittel zur Abarbeitung des Lösungsansatzes

Für das Abarbeiten ausgewählter Arbeitsschritte des Lösungsansatzes wurden die in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellten Softwarewerkzeuge erarbeitet.

4.2.3.1 Beurteilen der prinzipiellen Anwendbarkeit der MMKS (ValKSS)

Im Rahmen unterschiedlicher Forschungsaktivitäten im Bereich der Trockenbearbeitung bzw. der Zerspanung unter Einsatz der Minimalmengenschmierung wurden auf dem Gebiet der Bewertung der Einsetzbarkeit der Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung Informationen angesammelt, welche im Rahmen dieses Projektes zusammengefasst und in eine Programmform gebracht werden sollten. Dieses Programm soll es dem Anwender ermöglichen, seinen Bearbeitungsprozess anhand einiger Parameter zu definieren und durch eine programmgestützte Bewertung einen Erfüllungsgrad für die Trocken- oder Minimalmengenschmierung zu bestimmen. Dieser beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Prozess sicher umgestellt werden kann. Im Folgenden wird die Vorgehensweise bei der Nutzung des Bewertungssystems erläutert.

Im ersten Schritt wählt der Anwender über ein Pull-Down Menü (**Bild 6** links) das Bearbeitungsverfahren, das er im Hinblick auf eine Umstellung der KSS-Technologie prüfen will. Daraufhin werden die für dieses Bearbeitungsverfahren relevanten Prozessparameter im unteren Teil des Formulars angezeigt. Diese Parameter werden im zweiten Schritt vom Anwender, dem Prozess entsprechend, eingestellt, wie es im **Bild 6** rechts zu sehen ist.

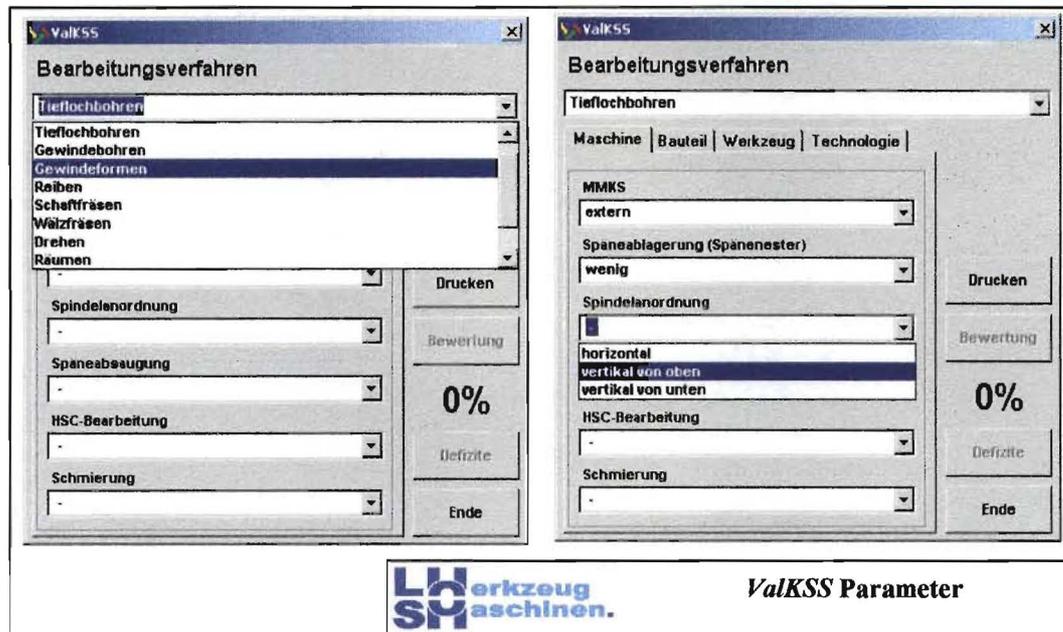


Bild 6

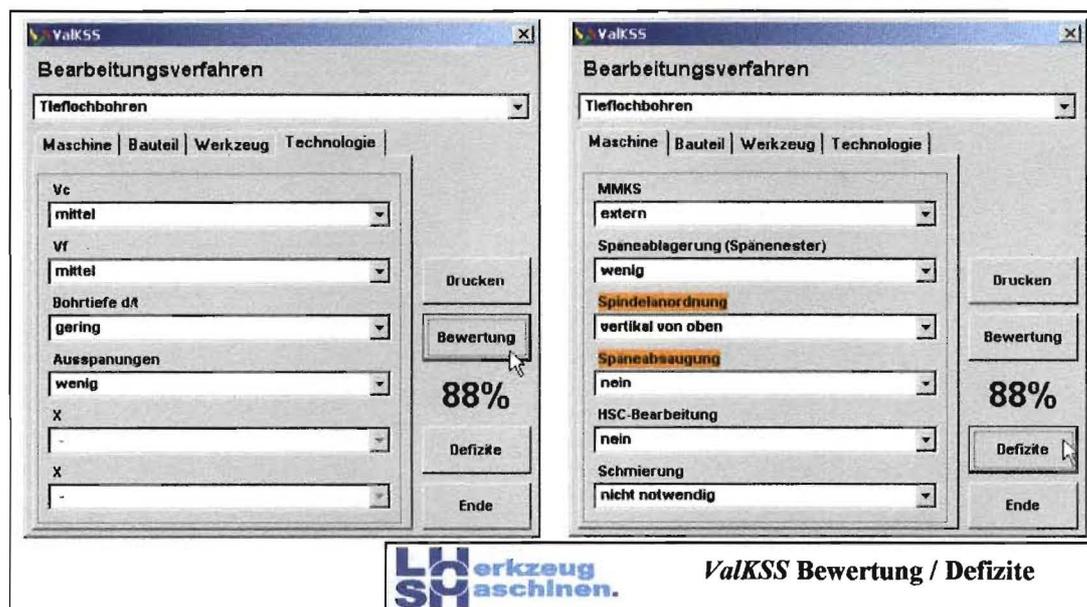


Bild 7

Sind Parameter in den vier relevanten Kategorien (Maschine, Bauteil, Werkzeug und Technologie) zu definieren. Nachdem die Parameter in den vier Kategorien prozessspezifisch eingegeben wurden, wird der Button „Bewertung“ aktiv (**Bild 7 links**) um den definierten Prozess durch ValKSS bewerten zu lassen. Der damit ermittelte Erfüllungsgrad wird als Prozentsatz angegeben. Bei unzureichendem Erfüllungsgrad besteht die Möglichkeit sich die Defizite des derzeitigen Prozesses in Bezug auf die Eignung für die Trockenbearbeitung oder für MMKS anzeigen zu lassen. Dies erfolgt durch Betätigen des Buttons „Defizite“. Alle Parameter, die einen schlechte Wert in Bezug auf die Eignung des Prozesses haben, werden nun orange hinterlegt (**Bild 7 rechts**), wobei die Bauteilparameter vollkommen ausgespart werden, da diese sich nicht ohne weiteres verändern lassen. Nicht immer hat eine Veränderung der Parameterwerte eine Verbesserung der Eignung zur Fol-

ge, da mitunter der Einfluss des veränderten Parameters sehr gering ist oder im Zusammenspiel mit anderen Parametern eine Verbesserung des einen Parameters eine Verschlechterung des anderen Parameters bedeutet.



Bild 8

Zur Erleichterung der Parameterwahl wurde eine Online-Hilfe realisiert, die beim Anklicken des Parameternamens angezeigt wird (**Bild 8**). Ebenso ist ein Ausdrucken sowohl des leeren Formulars als auch des ausgefüllten Formulars möglich.

4.2.3.2 Simulation der KSS-bedingten Stoffströme und Energieverbräuche (SimKSS)

Das am Labor für Werkzeugmaschinen entwickelte das Simulationssystem *SimKSS*, mit dem sowohl Stoffströme als auch Energieverbräuche und Kosten simuliert werden können, wurde in dieses Projekt integriert, hinsichtlich seiner Funktionalität erweitert und mit dem Bewertungssystem verknüpft. Im Folgenden wird kurz die Vorgehensweise bei der Modellierung und Simulation von bestehenden Fertigungsprozessen erläutert.

Der erste Schritt einer jeden Simulation ist die Modellbildung (**Bild 9**).

Zur Modellbildung wurde eine grafische Arbeitsoberfläche realisiert. Für jede Komponente des Fertigungsprozesses wird ein Symbol bereitgestellt, mit dem diese aufgerufen und definiert werden kann. Komponenten sind die Maschine und alle an die Maschine angeschlossenen peripheren Anlagen wie Absaugungen, Späne- und Werkstücktransportanlagen, Behälter, Filteranlagen und Werkzeuge.

Die einzelnen Symbole, die jeweils einen Anlagenteil repräsentieren und sequentiell durchnummeriert werden, sind über Verbindungen miteinander verknüpft, über die zu definierende Stoffe fließen. Jeder Stoff wird dabei in einer anderen Farbe dargestellt. Der Spänefluss wird beispielsweise rot, Werkzeugfluss grün, der Werkstückfluss schwarz, Aerosole gelb und KSS blau dargestellt. Fährt man mit dem Mauszeiger über eine der Linien, wird dem Anwender angezeigt, welcher Stoff über diese Verbindung läuft.

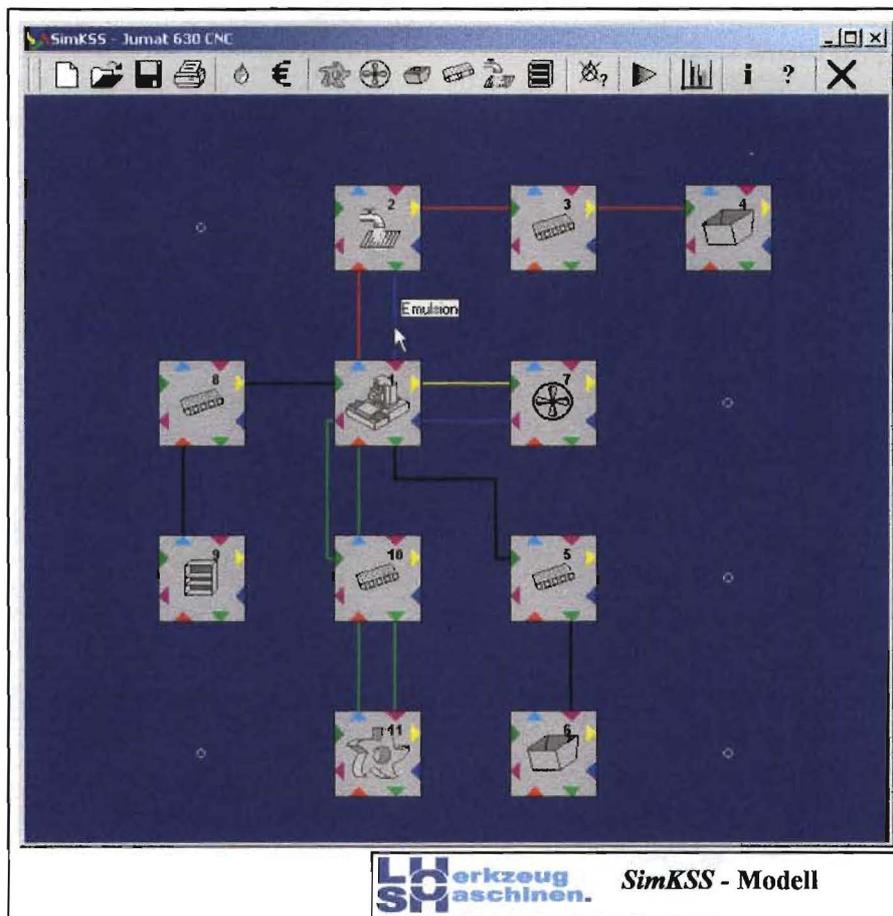


Bild 9

Den einzelnen Symbolen werden die Eigenschaften der entsprechenden Anlage mitgegeben, in dem man aus einer Datenbank (**Bild 10**) das entsprechende Gerät auswählt und gegebenenfalls die vordefinierten Eigenschaften und Parameter an die tatsächlichen anpasst.

ID	Maschinentyp	Name	Arbeitsspind	Leistung	Schnittgesch	Verfügba
5	Bohrmaschine vert.	Wölfel	6	6	6	100
6	Fräsmaschine vert.	Maho	1	9	4	100
7	Fräsmaschine hor.	Reckermann	1	13	5	100
8	Flachschleifmaschin	Schaudt	1	14	1200	100
9	Messerschleifmaschi	Sondermasc	1	7	1500	100
10	Bohrmaschine vert.	SSB 3	3	10	34	100
11	Schleifmaschine	Jumal 630	1	9	1250	100
12	Drehmaschine	Hitachi 20S21	1	7	120	100
13	Drehmaschine	Topper TNL	1	7	150	100
14	Fräsmaschine vert.	Matra jet 401	1	15	50	100
15	Flachschleifmaschi	Schaudt 611	1	14	1200	100

Bild 10

Nach Abschluss der Modellbildung wird die Simulation gestartet, deren Abarbeitung durch einen Fortschrittsanzeige angezeigt wird.

Die Ergebnisse der Simulation lassen sich durch eine Reihe unterschiedlicher Grafiken (**Bild 11**) darstellen und auswerten. Mit Hilfe diverser Tools ist es möglich, die Darstel-

lung der Diagramme und deren Inhalt den Anforderungen des Anwenders entsprechend anzupassen. In **Bild 11** wurde beispielsweise der Verlust je Stunde angezeigt.

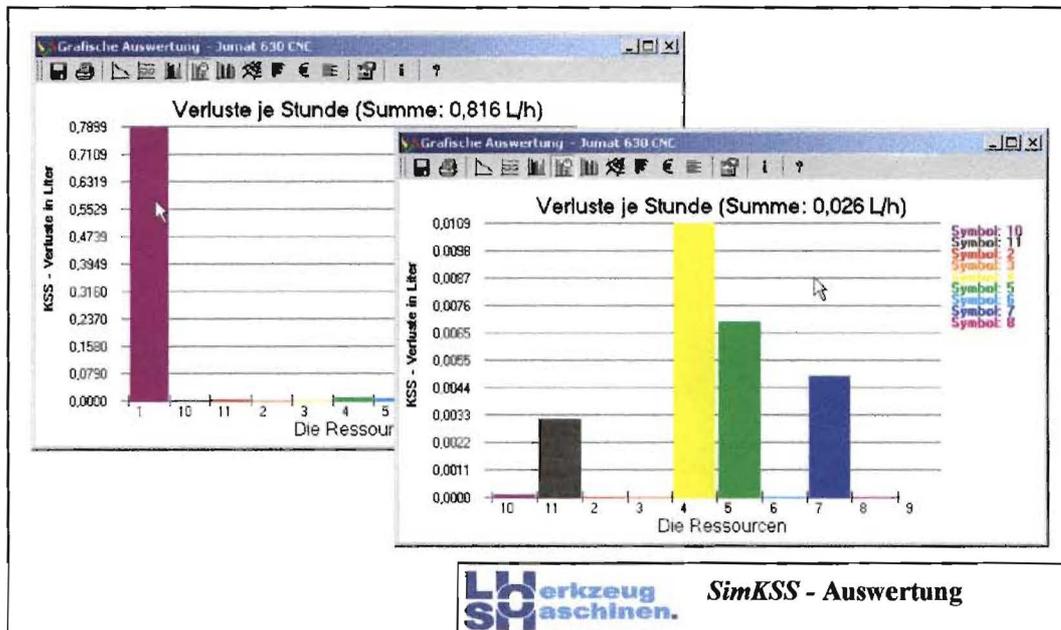


Bild 11

Da allerdings der Verlust der Maschine (Symbol Nr. 1 in **Bild 9**) derart hoch ist, dass die Verluste der anderen Anlagen nicht mehr angezeigt werden, wurden die Verluste der Maschine im rechten Teil von **Bild 11** nicht mehr angezeigt. Somit ist eine detailliertere Auswertung der Ergebnisse möglich.

Des Weiteren gibt es eine Aufstellung der Kosten (**Bild 12**), die bei der Umsetzung des definierten Fertigungsplanes entstehen.

Symbol-Nr.	Wasser (€)	Abwasser (€)	Strom (€)	KSS-Anschaffung (€)	Summe (€)
1	0,011	0,016	21	3,686	24,713
2	0	0	0,003	0,000	0,003
3	0	0	0	0,000	0
4	0	0	0	0,051	0,051
5	0	0	0	0,033	0,033
6	0	0	0	0,000	0
7	0	0	2,667	0,022	2,689
8	0	0	3,5	0,000	3,5
9	0	0	0	0,000	0
10	0	0	0	0,000	0
11	0	0	0	0,014	0,014
				Emulsionsentsorgung €:	10,938
				Putzmittelkosten €:	0,182
				Putzmittelentsorgung €:	0,137
				Schleifschlamm Entsorgung €:	0
				Personalkosten €:	116,667
				Maschinenkosten €:	1750
				Gesamt (€):	1908,93

Logo: **sh** Werkzeugmaschinen. **SimKSS - Kostenauswertung**

Bild 12

Die einzelnen Kostensätze werden vor der Simulation vom Anwender ebenso definiert wie die Art des eingesetzten KSS und die zu produzierenden Werkstücke (**Bild 13**).

Diese Daten haben Gültigkeit für das gesamte Modell.

The screenshot shows the SimKSS software interface. At the top, a window titled 'Zico Säge' contains a table with the following data:

Plan_ID	Reihenfolge	Werkstücktyp_ID	Lagergröße	Bearbeitungsdauer	Rüstzeit	Symbolnummer	Fertigteilegeometrie	Bemerkung
1	1	1	505	110	1	1	24	Zico Fertigung (Eval)

Below this table is a 'Datenbank - KSS' window with a table of parameters:

ID	Zentralversd	KSSTyp	Viskosität	Temperatur
1	Nein	Emulsion	0,48	20
2	Nein	Öl	1	20
3	Nein	Wasser	1	20

Overlaid on the right is the 'Festlegen der Kosten' dialog box, which contains the following cost configuration options:

- Wasserkosten je Liter: 0,0005 €/Liter
- Abwasserkosten je Liter: 0,00075 €/Liter
- Stromkosten je kWh: 0,08 €/Liter
- Altölentsorgung je Liter: 0,75 €/Liter
- Emulsionsentsorgung je Liter: 0,6 €/Liter
- Schleifschlammensorgung je kg: 1 €/kg
- Personalkosten je h: 20 €/h
- Schichtlänge in h: 8 h
- Schichten pro Tag: 2
- Putzmittel je Mann und Monat: 10 €
- Putzmittelentsorgung je Mann und Monat: 7,5 €
- Maschinenstundensatz: 300 €

At the bottom of the screenshot, there is a logo for 'LSP Werkzeugmaschinen' and the text 'SimKSS - Parametereingabe'.

Bild 13

Nach Abschluss der Simulation und Auswertung können alternative Systemkonfigurationen durch Austausch einzelner Geräte oder durch konstruktive Änderungen aufgebaut bzw. modelliert und in Hinblick auf Verbesserungen analysiert werden.

4.2.3.3 Erfassung/Dokumentation/Simulation der bei Anwendung von Nassschnitt und MMKS auftretenden KSS-bedingten Kosten sowie Stoff- und Energieverbräuche (KSS- Manager)

4.2.3.3.1 Modellierung der Kosten, Input-Massen und Energieverbräuche bei Nassschnitt und MMKS

Die bei der Anwendung konkurrierender KSS-Konzepte und -Szenarien innerhalb eines Betrachtungszeitraumes entstehenden Kosten und Input-Massen können mit Hilfe von Modellen beschrieben werden.

Inhalt und Bilanzgrenzen des Kostenmodells zeigt **Bild 14**.

Analoge Grenzen gelten für das Bilanzmodell der Input-Massen und Energieverbräuche.

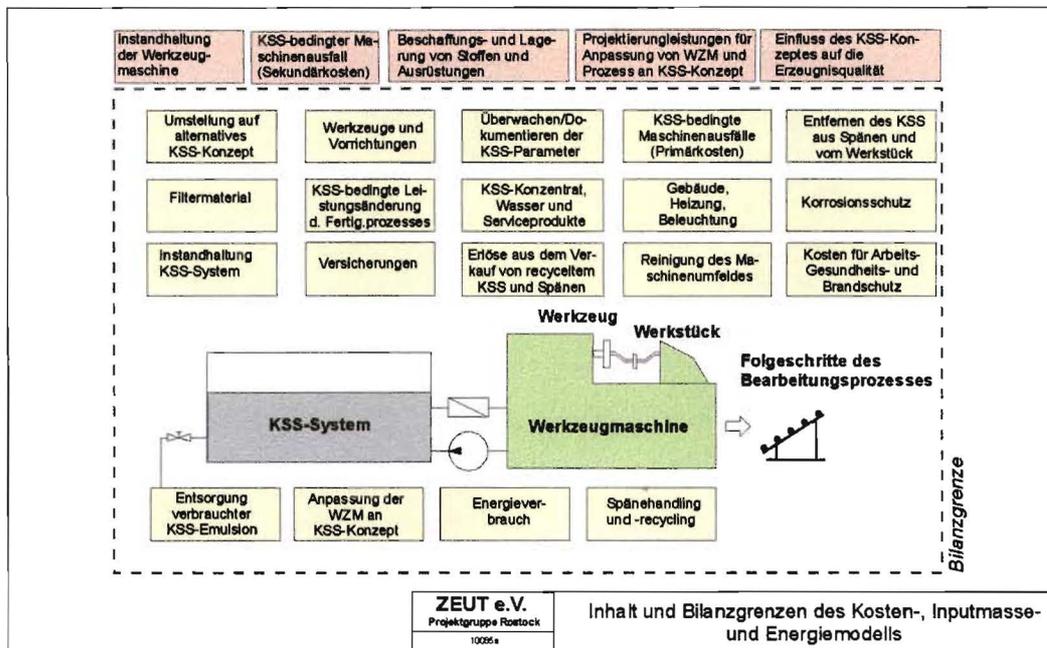


Bild 14

Die Modelle sind im nachfolgend beschriebenen KSS-Manager hinterlegt und bilden die Grundlage für das wirtschaftlich-ökologische Bewerten der KSS-Konzepte und -Szenarien.

4.2.3.3.2 Inhalt, Struktur und Funktionalitäten des KSS-Managers

Der im Rahmen des Projektes für das KSS-Konzept "MMKS" entwickelten KSS-Manager V 5.1 ist die Weiterentwicklung eines vom ZEUT e.V., Projektgruppe Rostock für den Nassschnitt entwickelten KSS-Managers.

Er verfügt über ein gegenüber der Ausgangsversion deutlich erweitertes Spektrum von Funktionalitäten:

- die Kosten-, Inputmassen- und Energiemodelle wurden hinsichtlich der MMKS erweitert. Dies erweitert das Sortiment der für die Optimierung des KSS-Managements nutzbaren KSS-Konzepte (siehe Modul "Planung/Simulation"),
- die softwaretechnische Umsetzung der Modelle wurde wesentlich verbessert und ermöglicht dem Nutzer eine problemlos Anpassung der Modelle an seine unternehmensspezifischen Bedingungen,
- über eine Schnittstelle kann zur Unterstützung der Modellierung eine Verbindung zum Simulationswerkzeug SimKSS hergestellt werden,
- der KSS-Manager steht als Internet-Erweiterung allen Interessenten in einer Demo-Version zur Verfügung.

Der KSS-Manager unterstützt das Erfassen, Dokumentieren und Auswerten der KSS-relevanten Stoffparameter und Kosten sowie das Optimieren des KSS-Managements (**Bild 15**).

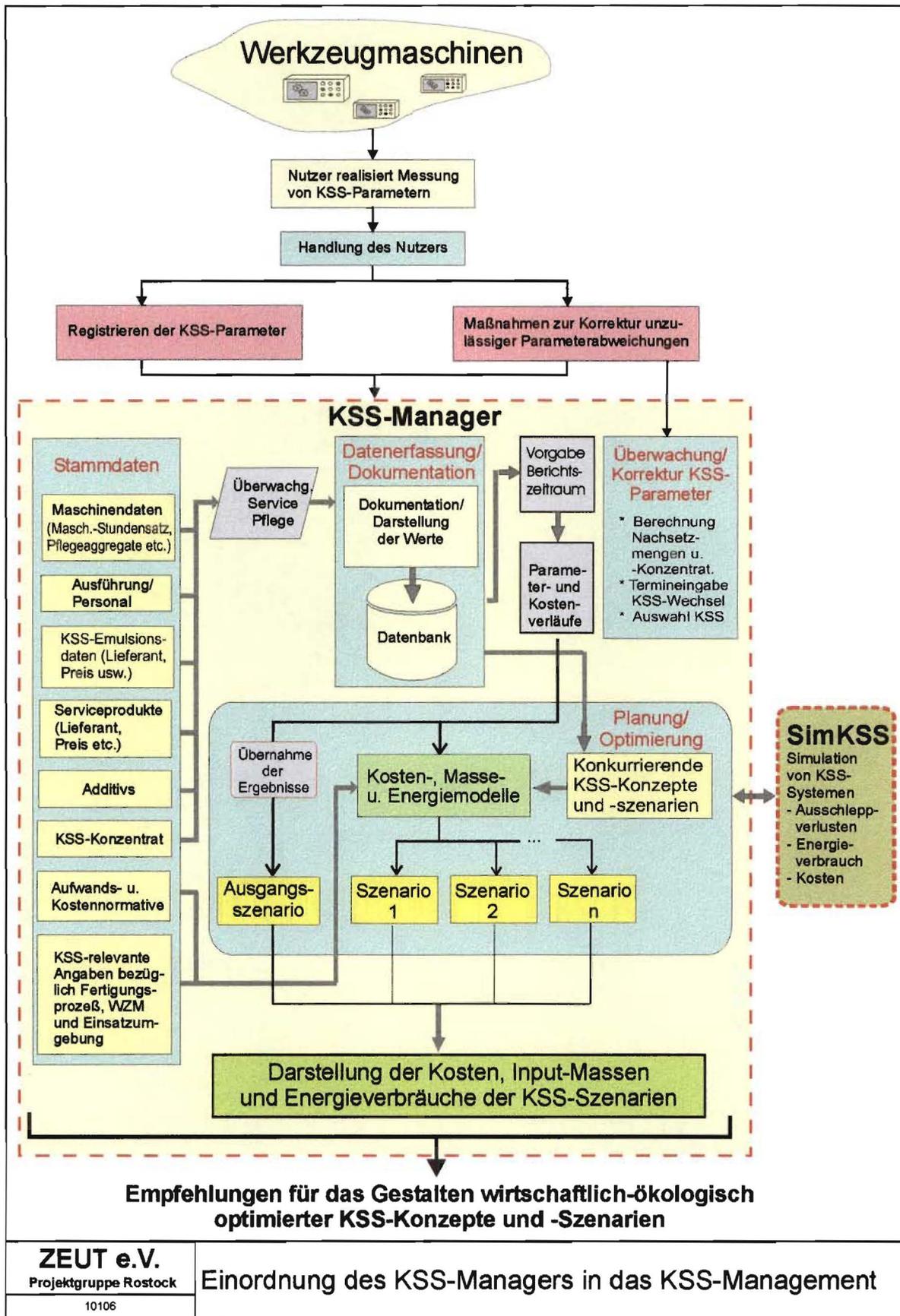


Bild 15

Der KSS-Manager (**Bild 16**) beinhaltet drei Module, welche folgende Funktionalitäten aufweisen:

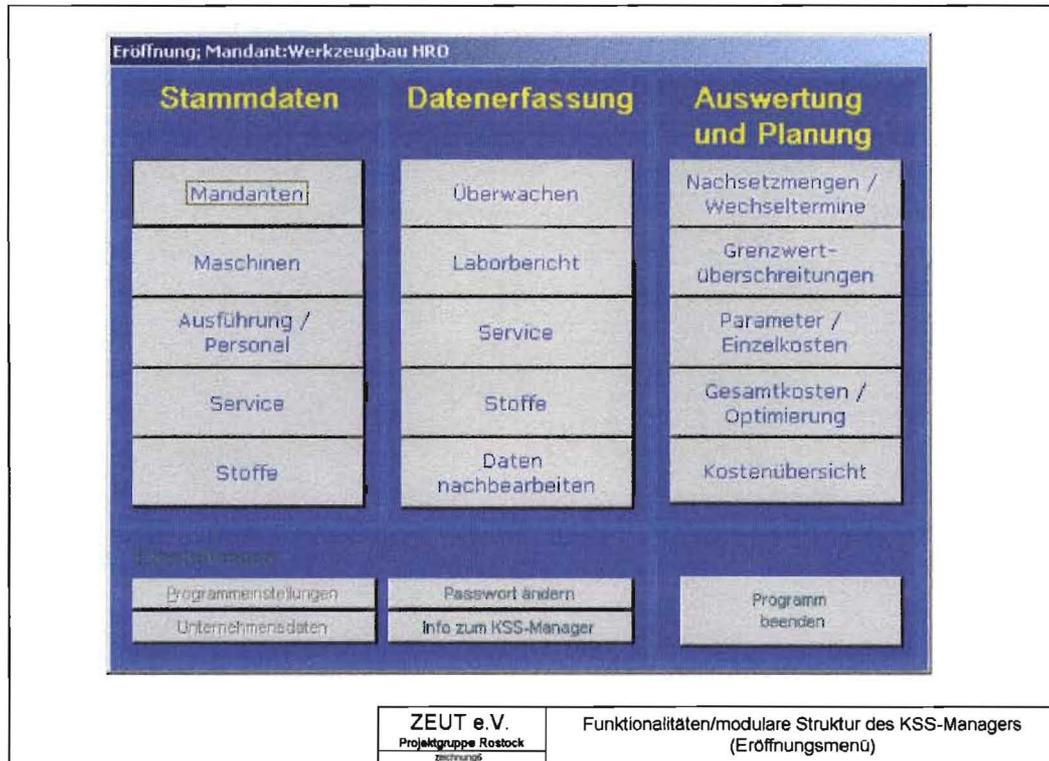


Bild 16

1. Stammdatenerfassung

Stammdaten sind längerfristig unveränderte Daten zur Charakterisierung von

- Werkzeugmaschine,
- Fertigungsaufgabe und -prozess,
- Werkstück,
- wirtschaftliche Rahmenbedingungen,
- Aufwands- und Kostennormative,
- Angaben zu den Eigenschaften und Kosten der eingesetzten KSS und Serviceprodukte,
- Angaben zur Datenauswertung (Zuordnung von Maschinen zu Maschinengruppen, Unternehmensbereichen u.a. für die Datenauswertung relevanten Strukturen).

Auf diese Daten wird bei der Ausführung weiterführender Auswertprozesse und Zuordnung der Ergebnisse zurückgegriffen.

2. Datenerfassung/Dokumentation

Das Modul "Erfassung/Dokumentation" dient der Erfassung/Dokumentation operativer Daten zur Beschreibung des aktuellen Zustandes des KSS, insbesondere der überwachungspflichtigen KSS-Parameter, sowie der Erfassung der Aufwendungen und Stoffverbräuche für Maßnahmen zur Pflege des KSS sowie Korrektur von KSS-Parametern.

3. Auswertung und Planung

Dieses Modul unterstützt das systematische Dokumentieren und Auswerten der Pflegemaßnahmen sowie KSS-Parameter und -kosten. Hierbei kann die Auswertung nach unterschiedlichen vom Nutzer wählbaren Optionen erfolgen.

Darüber hinaus steht ein Hilfsmittel zur Berechnung der für das Erreichen einer vorgegebenen Sollkonzentration erforderlichen Nachsetzmengen an Anmischwasser, KSS-Konzentrat und Additivs zur Verfügung.

Diese Funktionalität erleichtert insbesondere den Einsatz von Mehrkomponenten-KSS.

Die Funktionalität "Gesamtkosten/Optimierung" beinhaltet die

- Darstellung des maschinenbezogenen zeitlichen Verlaufes der KSS-Parameter sowie der KSS-Kosten (tabellarisch oder grafisch),
- Simulation und Darstellung der bei Anwendung unterschiedliche KSS-Konzepte und -Szenarien entstehenden Aufwandsgrößen.

Hierbei können die Daten von Einzelmaschinen, Maschinengruppen und Unternehmensbereichen entsprechend den Vorgaben in unterschiedlicher Weise zusammengefasst und dargestellt werden.

Die Funktionalität "Gesamtkosten/Optimierung" ermöglicht weiterhin das vergleichende Bewerten folgende KSS-Konzepte und -Szenarien:

- **Nassschnitt** unter Verwendung von
 - wassergemischtem KSS-Konzentrat
 - wassergemischtem KSS- Konzentrat + wassermischbarem Multifunktionsöl (Ein- und Mehrkomponenten-Öl)
 - nicht wassermischbarem KSS
 - nicht wassermischbarem KSS-Konzentrat + nicht wassermischbarem Multifunktionsöl (Ein- und Mehrkomponenten-Öl) sowie
- **MMKS** .

Innerhalb der einzelnen KSS-Konzepte können weitere Szenarien des KSS-Einsatzes gebildet und die zugehörigen Kosten, Stoff- und Energieverbräuche ermittelt werden.

Hierzu sind Kosten-, Masse- und Energiemodelle hinterlegt, welche die genannten Aufwandsgrößen für das jeweilige KSS-Konzept und KSS-Szenario abbilden.

Eine Modellierung der für das Ermitteln der Aufwandsgrößen ursächlichen technisch-physikalisch-biologischen Zusammenhänge ist beim gegenwärtigen Kenntnisstand mitunter nicht oder nur in grober Näherung möglich. Die bei Anwendung neuer KSS-Szenarien entstehenden Aufwandsgrößen können in diesen Fällen nur geschätzt werden und erfordert fundierte Fachkenntnisse. In dieser Situation kann der Nutzer des KSS-Managers über eine Schnittstelle auf SimKSS zu greifen und dieses Hilfsmittel zur Objektivierung der Modelleingabedaten nutzen.

Schnittstelle zum SimKSS

Die Einbindung von SimKSS über eine entsprechende Schnittstelle erweitert die Funktionalität des KSS-Managers und ermöglicht es, die Ausschleppverluste, Energieverbräuche und Kosten eines vorhandenen oder geplanten KSS-Systems zu ermitteln. Die Ergebnisse der Simulation können in der Funktionalität "Gesamtkosten/Optimierung" des KSS-Managers übernommen und dort weiterverarbeitet werden.

Auf diese Weise unterstützt SimKSS das Konzipieren alternativer KSS-Systeme und -Szenarien und objektiviert deren Bewertung.

Die Eingabegrößen der Modelle sind aufgelistet und zeigen, welche Parameter zur Bildung von KSS-Szenarien variiert werden können.

Grundsätzlich können zur Bildung von KSS-Szenarien die nachfolgend genannten Wirkkomplexe einzeln oder in Kombination miteinander verändert werden:

- KSS-Kreislauf (Änderung der Art und Anzahl von Geräten sowie der zeitlichen Folge ihrer Einordnung in den Fertigungsprozess),
- Sortiment eingesetzter KSS sowie Serviceprodukte und Additivs,
- Änderung der Organisation des KSS-Einsatzes
(z.B. Erhöhen oder Reduzieren der Maßnahmen zur KSS-Pflege, starre und relativ kurze Nutzungszeiträume des KSS bei gleichzeitiger drastischer Reduzierung der KSS-Pflege/-Überwachung und anschließender Entsorgung des KSS, usw.).

4.2.4 Anforderungen an die EDV-Umgebung zur Anwendung des Lösungsansatzes

4.2.4.1 Software-Anforderungen

Lösungsansatz (Internet-Erweiterung KSSMini)

Der Lösungsansatz ist in die Webanwendung KSSMini (<http://www.zeit.de/apps/>) eingebettet.

Zur Ausführung dieser Anwendung, wird ein Webbrowser benötigt, der den HTML-Standard v4.0, JavaScript ab Version 1.5 sowie das Document Object Model ab Version 1.0 unterstützt.

Der MS Internet-Explorer ab Version 5.0 sowie der Netscape Navigator ab Version 6.0 unterstützen diese Standards.

Der Lösungsansatz beinhaltet die Software-Instrumente KSS-Manager v5.1 sowie SimKSS und ValKSS. Für den Fall, dass diese Software-Instrumente im Rahmen des Lösungsansatzes angewendet werden sollen, müssen die genannten Voraussetzungen ebenfalls gegeben sein.

KSS-Manager v5.1

Der KSS-Manager v5.1 benötigt folgende Software-Voraussetzungen:

Betriebssysteme:

- Windows NT4.0 Service Pack 5 (oder höher) und Internet Explorer 4.01 SP2 oder höher
- Windows 2000
- Windows XP
- Windows 98 mit Jahr-2000-Update 2 und Microsoft Internet Explorer 4.01 Service-Pack 2 (SP2) oder höher
- Windows 98 SE
- Windows ME

Datenbanksysteme:

- MS Access 2000 oder MS Access 2000 Runtime
- MDAC v2.7 oder höher

ValKSS/SimKSS

SimKSS und ValKSS erfordern folgende Software-Voraussetzungen:

Betriebssysteme:

- Windows 98
- Windows 2000
- Windows NT4.0
- Windows XP.

Datenbanksysteme:

- MDAC v2.7 oder höher.

4.2.4.2 Hardware-Anforderungen

Die Hardware-Anforderungen sind vom eingesetzten Betriebssystem abhängig.

Tabelle 1: Mindestkonfiguration der Hardware

	Windows 98 / Windows 98 SE / Windows NT4.0 / Windows 2000	Windows ME / Windows XP
Prozessor	Intel-kompatibler Prozessor mit 133 MHz Taktfrequenz	Intel-kompatibler Prozessor mit 300 MHz Taktfrequenz
Speicher	64 MB RAM 650 MB Festplatte	128 MB RAM 1,5 GB Festplatte
Ausgabegeräte	Monitor mit Super-VGA-Auflösung (800x600)	
Eingabegeräte	Tastatur, Maus oder ähnliches Zeigegerät	

4.3 Erprobung des Lösungsansatzes am Beispiel "Industrienadel-Fertigung"**4.3.1 Formulieren der Aufgabenstellung**

Ziel der Untersuchungen war es, mit Hilfe des systematischen Lösungsansatzes für den im Rahmen der Fertigung von Industrienähneln (**Bild 17**) stattfindenden Arbeitsschritt "Runden" das optimale KSS-Konzept auszuwählen und umzusetzen.

Der Lösungsansatz ist in der vorliegenden Form für das vergleichende Bewerten und Optimieren von Nassschnitt (Einsatz von wassermischbarem und nicht wassermischbarem KSS sowie Multifunktionsöl) und MMKS an einzelbefüllten Maschinen nutzbar.

Das Abarbeiten dieses Lösungsansatzes wird nachfolgend am Fallbeispiel "Rundeprozess" der Industrienadel-Fertigung erläutert.

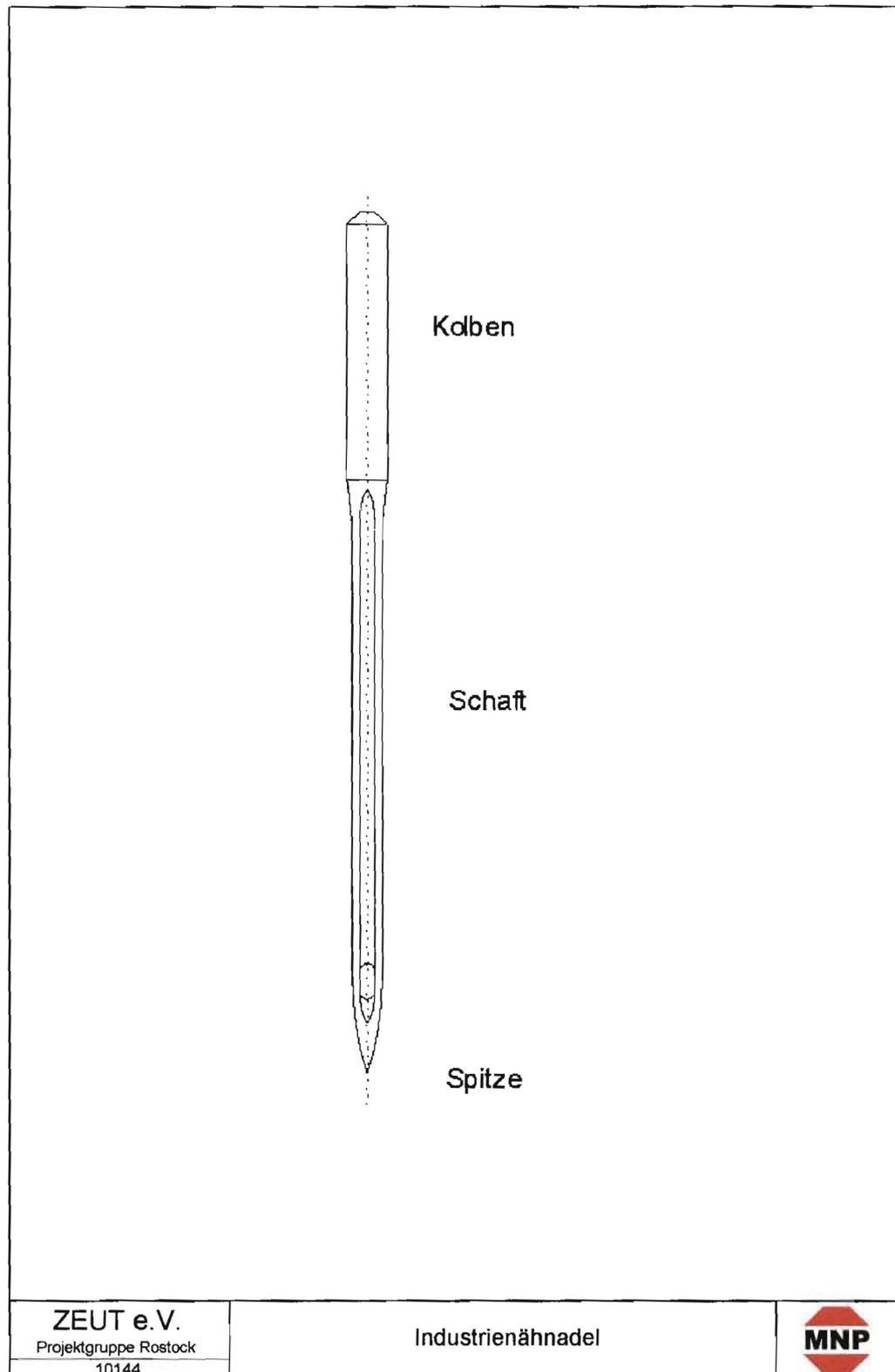


Bild 17

4.3.2 Phase 1: Ermitteln der Anforderungen an das KSS-Konzept

Inhalt von Phase 1 ist das Analysieren des Fertigungsprozesses.

Ziel von Phase 1 ist es, die an das KSS-Management gestellten Anforderungen zu formulieren und so zu beschreiben, dass im Rahmen von Phase 2 eine Bewertung der Anwendungsmöglichkeiten von Nassschnitt und MMKS möglich ist.

Der Arbeitsprozess "Runden" schließt sich an das Abschneiden und Richten des Nadelrohlings an (**Bild 18**).

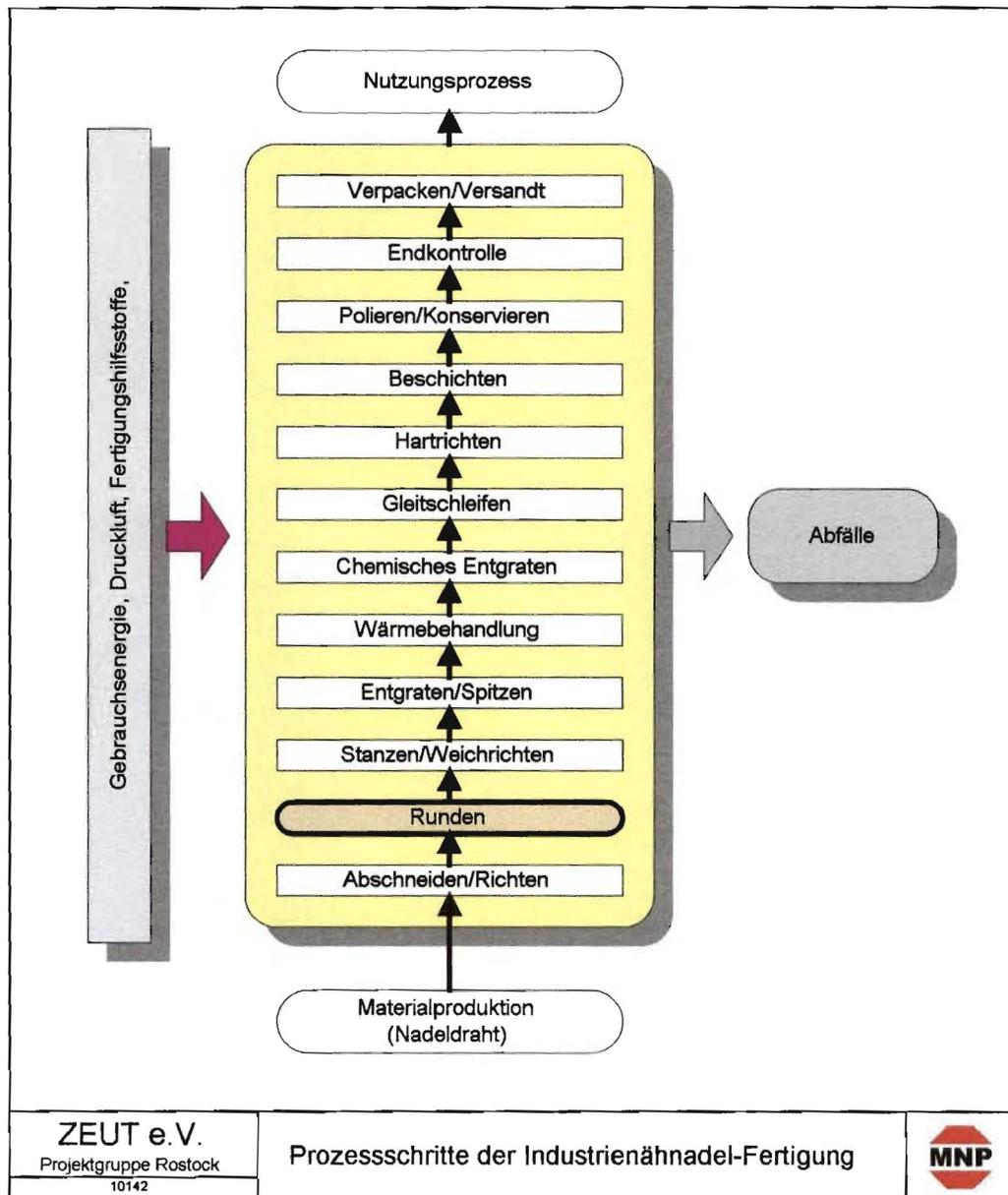


Bild 18

Das Runden erfolgte bisher im Nassschnitt unter Einsatz eines wassergemischten KSS. Hierbei wurde in zwei aufeinander folgenden Schleifprozessen zunächst eine eventuelle Überlänge der Nadelrohlinge beseitigt. Anschließend erfolgte das Entgraten der kolbenseitigen Stirnfläche des Rohlings (**Bilder 19** und **20**).

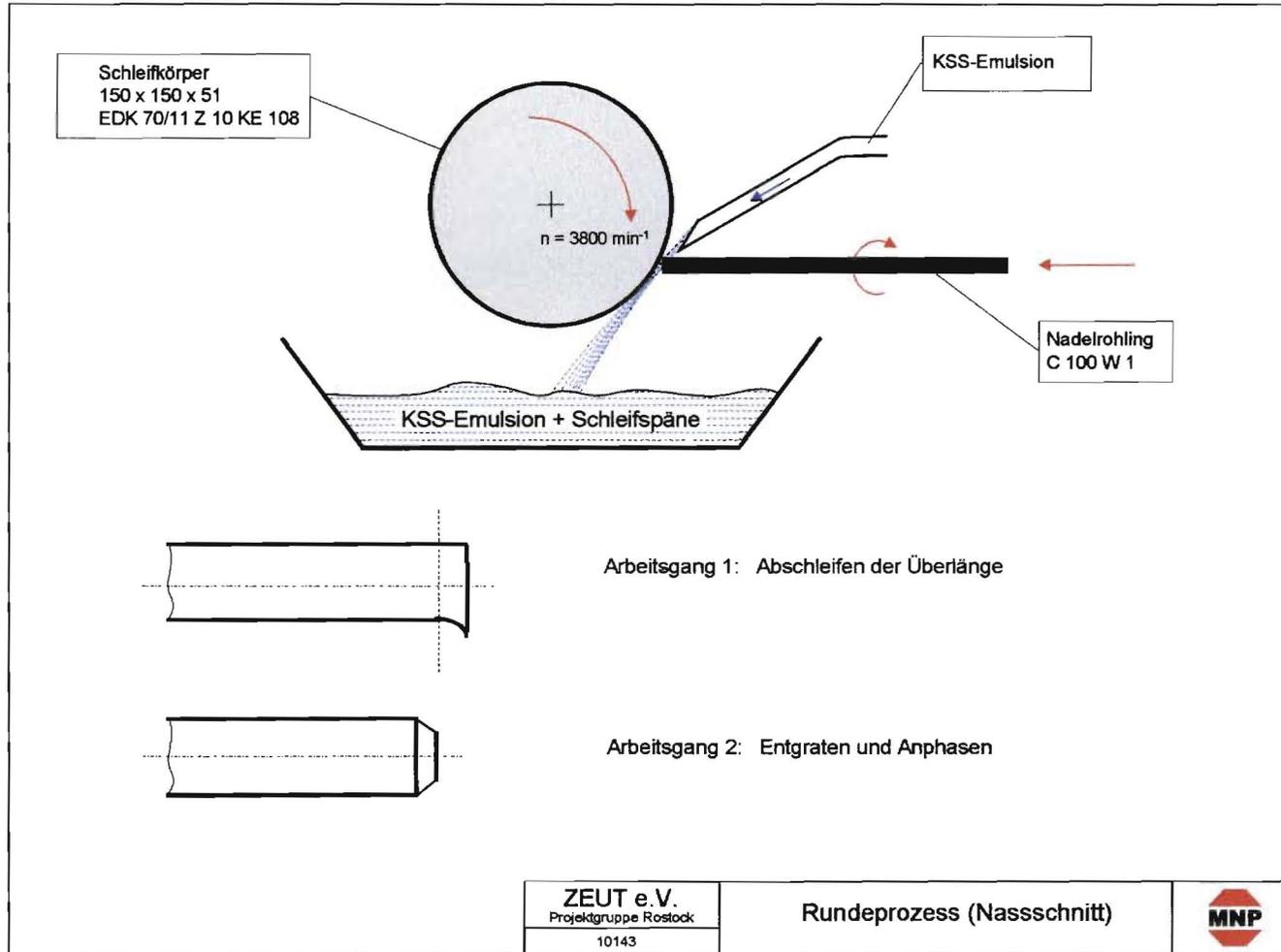


Bild 19

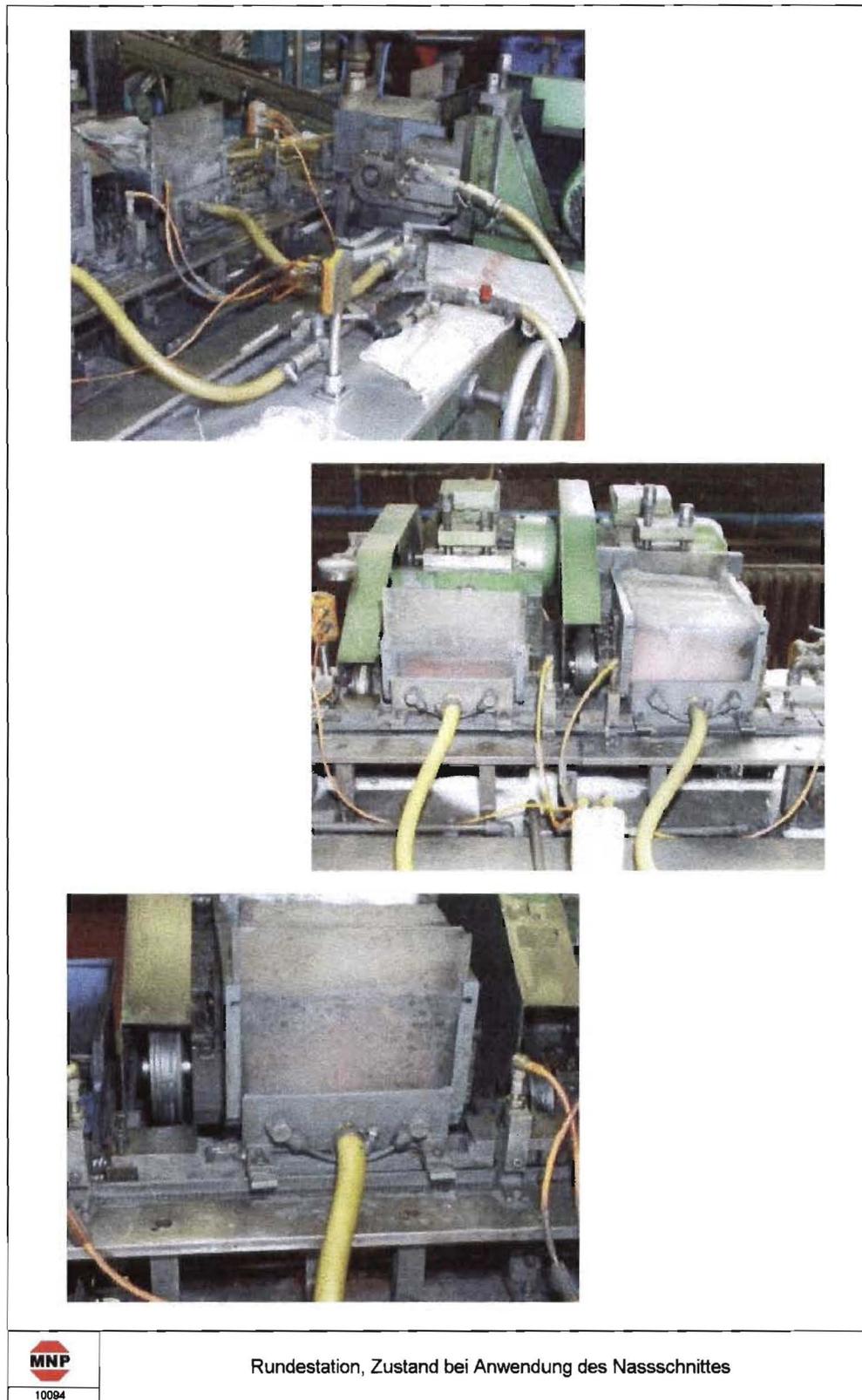


Bild 20

In Phase 1 des Lösungsansatzes analysiert der Anwender den Fertigungsprozess leitet die Anforderungen an das zu gestaltende KSS-Konzept ab. Hierfür steht ihm das Bewertungssystem ValKSS zur Verfügung.

Zur Anwendung des Bewertungssystems müssen eine Reihe von Anforderungen an das KSS-Konzept formuliert werden. Zur Unterstützung dieses Prozesses steht ein Formular (**Bild 21**) zur Verfügung, welches wahlweise per Fax (Fax-Nr. 02921/378300) oder per

Nicht zutreffendes frei lassen.	
Bearbeitungsverfahren:	Schleifen
MMS Einsatz:	Vollstrahl
Späneablagerungen (Spänenester):	wenige
Spindelanordnung:	
Späneabsaugung:	ja
HSC-Bearbeitung:	nein
Schmierung der Maschine:	nicht notwendig
Masse des Werkstücks:	2 g
Losgröße:	240 / min
Komplexität des Werkstücks:	gering
Zerspanbarkeit des Werkstücks:	gut
Formgenauigkeit:	mittel
Maßgenauigkeit:	mittel
Oberflächenqualität:	hoch
Werkzeugmaterial:	Schleifscheibe
Spänebeseitigung des Werkzeugs:	gut
Beschichtung des Werkzeugs:	
Vergrößerte Spannuten:	
Querschneide:	
Vc:	mittel
Vf:	mittel
Bohrtiefe L/D:	
Ausspaungen:	
Spanvolumen:	gering
Anzahl der Überläufe:	wenig
Firmenname:	Rhein-Nadel Maschinennadel Grr
Adresse:	Reichsweg 19-24, 52068 Aachen
Kontaktperson:	Herr Mustermann
Telefonnummer:	01234/123456
E-Mail:	petuelli@fh-swf.de



Ist-Daten Schleifprozess

Bild 21

Mail unter der Adresse petuelli@fh-swf.de sowie durch Betätigen einer entsprechenden Schaltfläche in der Internet-Erweiterung des KSS-Managers von der FH Südwestfalen, Abteilung Soest, Labor für Werkzeugmaschinen, abgefordert werden kann. Diese Stelle setzt sich zur Abstimmung der weiteren Vorgehensweise mit dem KSS-Anwender in Verbindung.

Ergebnis von Phase 1:

Aus der Analyse des Fertigungsprozesses folgt, dass der Bearbeitungsprozess "Runden" folgende Anforderungen an das KSS-Management stellt:

- Bearbeitung von mindestens 240 Nadelrohlingen/min.,
- Erwärmung des Werkstoffes auf max. 250 °C,
- Längentoleranz des bearbeiteten Nadelrohlings: Nennmaß $\pm 0,1$ mm,
- Minimieren der KSS-bedingten Verschmutzung des Arbeitsplatzes und seiner Umgebung,
- Einhalten der MAK-Werte der KSS-bedingten Luftverunreinigung und Beseitigung der Geruchsbelästigungen am Arbeitsplatz.

4.3.3 Phase 2: Analyse des Ist-Zustandes und der Erfolgsaussichten für eine MMKS-Anwendung

Inhalt von Phase 2 ist:

- das Quantifizieren der im Ist-Zustand auftretenden KSS-relevanten Stoff- und Energie-Inputs sowie Kosten,
- das Abschätzen der Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Einführung der MMKS.

Ziel von Phase 2 ist es, Verbesserungspotenziale des derzeit angewandte KSS-Konzeptes aufzudecken.

Der hier betrachtete Fertigungsprozess ist durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Typ:* Schleifmaschine (siehe **Bilder 19** und **20**)
- Einsatz:* Schleifen auf Länge gleichartiger Werkstücke mit einem Werkstoff ähnlich 1.1545 von bis zu 240 Teilen pro Minute.
- Kapselung:* Die Maschine ist teilweise gekapselt.
- Absaugung:* Dämpfe, Späne und Stäube werden direkt über der Zerspanstelle abgesaugt.
- KSS-Vorrat:* Der Kühlmittelkreislauf besteht aus einem zentralen Vorratsbehälter mit einem Fassungsvermögen von ca. 2000 Litern, der zwei Maschinen dieses Typs versorgt.
- KSS:* 3%-ige Emulsion
- Spänetransport:* Eine spezielle Einrichtung zum Spänetransport ist nicht vorhanden, da die Späne entweder mit abgesaugt oder mit dem KSS weggeschwemmt werden.
- Filter:* Zur Filterung des KSS wird ein Magnetabscheider eingesetzt.

Die entsprechenden Angaben werden in das Formular (siehe **Bild 21**) eingetragen (**Bild 22**)

Nicht zutreffendes frei lassen.	
Bearbeitungsverfahren:	Schleifen
MMS Einsatz:	extern
Späneablagerungen (Spänenester):	wenige
Spindelanordnung:	
Späneabsaugung:	ja
HSC-Bearbeitung:	nein
Schmierung der Maschine:	nicht notwendig
Masse des Werkstücks:	2 g
Losgröße	240 / min
Komplexität des Werkstücks:	gering
Zerspanbarkeit des Werkstücks:	gut
Formgenauigkeit:	mittel
Maßgenauigkeit:	mittel
Oberflächenqualität:	hoch
Werkzeugmaterial:	Schleifscheibe
Spänebeseitigung des Werkzeugs:	gut
Beschichtung des Werkzeugs:	
Vergrößerte Spannuten:	
Querschneide:	
Vc:	mittel
Vf:	mittel
Bohrtiefe L/D:	
Ausspaungen:	
Spanvolumen:	gering
Anzahl der Überläufe:	wenig
Firmenname:	Rhein-Nadel Maschinennadel Gr
Adresse:	Reichsweg 19-24, 52068 Aachen
Kontaktperson:	Herr Mustermann
Telefonnummer:	01234/123456
E-Mail:	Mustermann@rheinnadel.com



Soll-Daten Schleifprozess

Bild 22

Im betrachteten Anwendungsfall erfolgten bereits intensive Bemühungen zur Verbesserung des Nassschnittes (Installation eines Bandfilters sowie einer kompletten KSS-Aufbereitungsanlage Liqui Disk 0-26 mit integrierter Erfassung/ Korrektur der KSS-Konzentration (**Bild 23**).

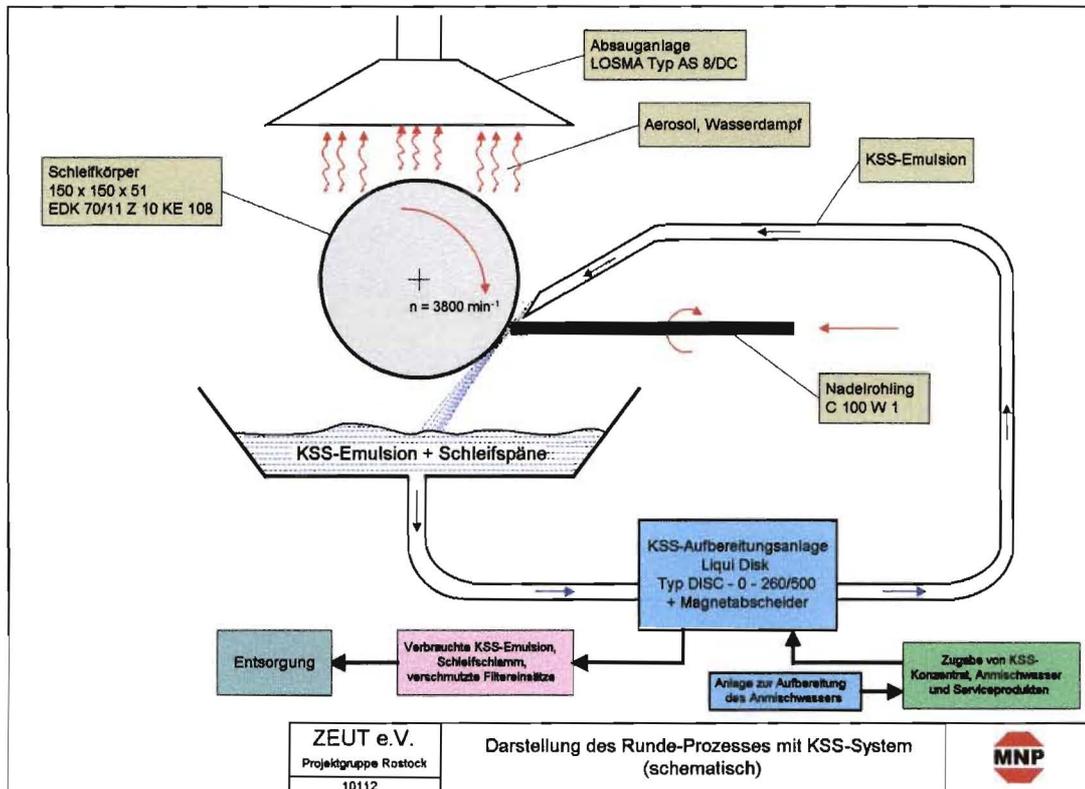


Bild 23

Die Untersuchungen konzentrierten sich deshalb nicht auf das Verbessern des Nassschnittes sondern waren auf das Analysieren der Möglichkeiten zur Einführung der MMKS gerichtet.

Hierbei war festzustellen, mit welcher Wahrscheinlichkeit das vorhandene KSS-Konzept "Nassschnitt" erfolgreich durch das Konzept "MMKS" abgelöst werden kann.

Zur Unterstützung dieses Validierungsprozesses kann das Software-Instrument "ValKSS" genutzt werden.

Hierzu wählt der Anwender zunächst über ein Pull-Down Menü (**Bild 24** links) das Bearbeitungsverfahren (im vorliegenden Fall "Schleifen"), welches in Hinblick auf eine Umstellung der KSS-Technologie geprüft werden soll. Daraufhin werden die für dieses Bearbeitungsverfahren relevanten Prozessparameter im unteren Teil des Formulars angezeigt. Diese Parameter werden im zweiten Schritt vom Anwender, dem Prozess entsprechend, eingestellt, wie es im **Bild 24** rechts zu sehen ist.

The image shows two side-by-side screenshots of the ValkSS software interface. Both windows are titled 'ValkSS' and 'Bearbeitungsverfahren'. The process selected is 'Schleifen'. The interface is divided into four tabs: 'Maschine', 'Bauteil', 'Werkzeug', and 'Technologie'. The left screenshot shows the 'Bewertung' button active, and the right screenshot shows it inactive. Both screenshots display a 68% fulfillment rate.

Parameter	Value
Vc	mittel
Vf	mittel
Spanvolumen	gering
Anzahl der Überläufe	wenig
X	-
X	-

Parameter	Value
MMKS	extern
Späneablagerung (Spänenester)	wenig
Späneabsaugung	ja
HSC-Bearbeitung	nein
Schmierung	nicht notwendig
X	-

Logo: LH Werkzeugmaschinen. Minimalmengeneignung

Bild 24

Sind die Parameter in allen vier Kategorien (Maschine, Bauteil, Werkzeug und Technologie) definiert, wird der Button „Bewertung“ aktiv (**Bild 24 links**) und man kann den definierten Prozess von ValKSS Bewerten lassen.

Im vorliegenden Fall beträgt der Erfüllungsgrad, d.h. die mit Hilfe des Validierungssystems ermittelte Wahrscheinlichkeit für einen erfolgreichen Einsatz der MMKS auf der Grundlage der dargestellten Parameter 68 % (**Bild 25**).

The image shows a screenshot of the ValkSS software interface. The window is titled 'ValkSS' and 'Bearbeitungsverfahren'. The process selected is 'Schleifen'. The interface is divided into four tabs: 'Maschine', 'Bauteil', 'Werkzeug', and 'Technologie'. The 'Bewertung' button is active, and the fulfillment rate is 68%.

Parameter	Value
Masse	gering
Komplexität	gering
Formgenauigkeit	mittel
Maßgenauigkeit	mittel
Oberflächenqualität	hoch
Zerspanbarkeit	gut

Logo: LH Werkzeugmaschinen. Parameter

Bild 25

Bei unzureichendem Erfüllungsgrad besteht die Möglichkeit, sich die Defizite des derzeitigen Prozesses in Bezug auf die Eignung für die Trockenbearbeitung oder für MMKS durch Betätigen des Buttons „Defizite“ anzeigen zu lassen.

Ein Problem in diesem konkreten Fall besteht darin, dass trotz des geringen Spanvolumens und der wenigen Überläufe wegen der geringen Masse des Werkstückes eine Überhitzung der Werkstücke an der Zerspanstelle eintritt. Dies ist ein grundsätzliches Problem beim Schleifprozess. Eine gute Positionierung der MMKS-Düsen ist hierbei von großer Bedeutung.

Das Bewertungssystem erkennt keine großen Defizite im Hinblick auf die Eignung zur Anwendung der MMKS. Das liegt daran, dass sich Schleifprozesse im Allgemeinen nicht gut für die Anwendung der Trockenbearbeitung oder MMKS eignen. Somit ist ein Erfüllungsgrad von 68% schon ein recht hoher Wert, der sich aber noch durch Ändern der beiden technologischen Eigenschaften

- Spanvolumen (gering → sehr gering) und
- Anzahl der Überläufe (gering → sehr gering)

erhöhen lässt. Das Problem dabei ist, dass diese beiden Parameter zum Teil bauteilbezogen sind und sich somit nur in den Bearbeitungsprozessen, die vor dem betrachteten Schleifprozess liegen, ändern lassen. Es ist jedoch festzustellen, dass das Spanvolumen sowie die Anzahl der Überläufe bereits gering sind und somit die Möglichkeiten zur Verkürzung der Bearbeitungszeit der Bauteile weitestgehend ausgeschöpft sind.

Als geeignete Alternative zum derzeit angewandten KSS-Konzept kommt die MMKS in Betracht. Die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Ablösung des Nassschnittes durch MMKS beträgt ca. 68 % und erscheint somit erfolversprechend, setzt jedoch eine sorgfältige Optimierung der Technologie voraus.

Im Anschluss an das Analysieren der Erfolgsaussichten einer MMKS-Anwendung erfolgte die Ermittlung der beim Ist-Zustand innerhalb eines Betrachtungszeitraumes entstehenden KSS-relevanten Input-Stoffströme und -Energien sowie Kosten.

Die Länge des Betrachtungszeitraumes sollte dem für die Entscheidungsfindung relevanten Planungshorizont entsprechen. Sie sollte deshalb entweder mit den zuständigen Abteilungen des Unternehmens abgestimmt oder von diesen vorgegeben werden. In gleicher Weise sind die zur Ermittlung der KSS-relevanten Kosten benötigten wirtschaftlichen Eckdaten mit den zuständigen Fachabteilungen abzustimmen.

Im vorliegenden Fall wurde ein Betrachtungszeitraum von 7,5 Jahren gewählt.

Die Bewertung des KSS-Konzeptes aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht setzt voraus, dass der Anwender seine kühlenschmierstoffspezifischen Kosten sowie seinen Stoff- und Energiebedarf kennt. Um diese für eine bestimmte Maschine zu hinterfragen, werden ihm in einem von ZEUT e.V., Projektgruppe Rostock, entwickeltem **KSS-Manager (KSS-Management@zeut.de)** ein statisches Kostenmodell sowie statische Modelle zur Bilanzierung von Stoffstrom und Energieverbrauch angeboten.

Falls die Daten zur Ermittlung des KSS-Verbrauches und der KSS-relevanten Kosten nicht zur Verfügung stehen, können diese mit Hilfe des KSS-Managers erfasst und über einen frei wählbaren Betrachtungszeitraum hinweg dokumentiert und ausgewertet werden.

Im betrachteten Fall lagen derartige Daten nicht vor. In dieser Situation ist es möglich, die entsprechenden Werte durch erfahrene Mitarbeiter des Unternehmens überschlägig zu ermitteln.

Hierfür stehen in der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes Modelle für das Ermitteln der KSS-relevanten Stoff- und Energiemengen sowie Kosten zur Verfügung, welche die Expertenschätzung erleichtern und objektivieren (**Bild 26**).

Bild 26: Ermittlung der laufenden KSS-relevanten Stoff- und Energiemengen sowie Kosten mit Hilfe der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes (Nassschitt)

Gewähltes Szenario: MNP Ist-Zustand (Wassermischbarer Kühlschmierstoff)

Betrachtungszeitraum [Monate]: 12

 Alle folgenden Eingabegrößen und Ergebnisse beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf diesen Betrachtungszeitraum!

Gesamt-Summe: 29208,6608 EUR [Neu berechnen](#)

Betriebsstoffe [EUR] $\Sigma \lll$	7063,4608	 	
KSS-spezifische Stoffverbräuche [EUR] $\Sigma \lll$	2303,8	 	 
KSS [EUR] $\Sigma \lll$	2182,4	 	 
Konzentrat [EUR] $\Pi \lll$	2092,2	 	
Menge [l] $\Sigma \lll$	660	 	
Nachsetzmenge [l]	<input type="text" value="600"/>	 	 
Wechselmenge [l]	<input type="text" value="60"/>	 	 
Preis [EUR/l]	<input type="text" value="3,17"/>	 	
Anmischwasser [EUR] $\Pi \lll$	90,2	 	
Preis [EUR/l]	<input type="text" value="0,004"/>	 	
Menge [l] $\Sigma \lll$	22000	 	
Nachsetzmenge [l]	<input type="text" value="2000"/>	 	 
Wechselmenge [l]	<input type="text" value="2000"/>	 	 
Additiv [EUR] \ggg	<input type="text" value="0"/>	 	 
Serviceprodukte [EUR] $\Sigma \lll$	121,4	 	
Bakterizid [EUR] \ggg	<input type="text" value="20"/>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
Fungizid [EUR] \ggg	<input type="text" value="50"/>	 	 
Inhibitor [EUR] \ggg	<input type="text" value="30"/>	 	 
Systemreiniger [EUR] $\Pi \lll$	21,4	 	
Menge [kg]	<input type="text" value="5"/>	 	
Spezifischer Preis [EUR/kg]	<input type="text" value="4,28"/>	 	
Kühl- und Schmiermittel für die Werkzeugmaschine [EUR] \ggg	<input type="text" value="0"/>	 	

Elektroenergie [EUR] $\Pi \lll$	3479,6608				
Energiepreis [EUR/kWh]	<input type="text" value="0,061"/>				
Energiebedarf (gesamt) [kWh] $\Sigma \lll$	56672				
Energiebedarf der KSS-Anlage [kWh] $\Sigma \lll$	9660				
Energiebedarf der Absauganlage [kWh] $\Pi \lll$	9660				
Leistungsaufnahme KSS-Anlage [kW]	<input type="text" value="3"/>				
Einschaltdauer [h]	<input type="text" value="3220"/>				
Energiebedarf für Einrichtungen/Anlagen zur Pflege von KSS und KSS-Anlage [kWh] $\Sigma \lll$	47012				
Energiebedarf der KSS-Filteranlage [kWh] $\Pi \lll$	35420				
Leistungsaufnahme [kW]	<input type="text" value="11"/>				
Einschaltdauer [h]	<input type="text" value="3220"/>				
Energiebedarf der Kühlwasserkühlanlage [kWh] $\Pi \lll$	11592				
Leistungsaufnahme [kW]	<input type="text" value="3,6"/>				
Einschaltdauer [h]	<input type="text" value="3220"/>				
Filtermedien und -einsätze [EUR]	<input type="text" value="1280"/>				
Servicemaßnahmen [EUR] $\Sigma \lll$	3781,2				
KSS-Pflege u. -Überwachung [EUR] $\Sigma \lll$	2616,2				
Geräte und Materialien [EUR]	<input type="text" value="18"/>				
KSS-/Ölpflege u. Parameterüberwachung [EUR] $\Sigma \lll$	2207				
Externe Überwachungsleistungen [EUR]	<input type="text" value="0"/>				
Laboruntersuchungen [EUR]	<input type="text" value="900"/>				
Personal- und Personalgemeinkosten [EUR] $\Sigma \lll$	1307				
Servicepersonal [EUR] \ggg	<input type="text" value="1307"/>				
KSS-Wechsel [EUR] $\Sigma \lll$	391,2				
Personal- und Personalgemeinkosten [EUR] $\Sigma \lll$	290				
Servicepersonal [EUR] \ggg	<input type="text" value="290"/>				
Kosten durch servicebedingten Maschinenausfall [EUR] \ggg	<input type="text" value="101,2"/>				
Externe Pflegemaßnahmen [EUR]	<input type="text" value="0"/>				
Instandhaltung KSS-Anlage sowie Pflegeeinrichtungen [EUR] $\Sigma \lll$	1165				

KSS-Anlage [EUR]	900		
Vorratsbehälter, Leitungen [EUR]	0		
Anlagen zum Entfernen von Fremddölen [EUR]	0		
Anlage zur Aufbereitung des Anmischwassers [EUR]	0		
KSS-bedingte Maßnahmen zur Gebäudeinstandsetzung [EUR]	175		
Sonstige KSS-bedingte Instandsetzungsmaßnahmen (Instandsetzung KSS-Filteranlage und Kühlwasserkühlanlage) [EUR]	90		
Anlagen Bauteilreinigung [EUR]	0		
Anlage Späneentfernung [EUR]	0		
Anlage zur Späne- und Schleifschlammaufbereitung und Rückgewinnung KSS [EUR]	0		
Anlagen zum Spänetransport aus Arbeitsraum der WZM [EUR]	0		
KSS-bedingte Schäden an der WZM [EUR]	0		
Entsorgungskosten [EUR] $\Sigma \lll$	204		
Entsorgung Schleifschlamm [EUR] \ggg	0		
Entsorgung KSS bzw. Alt-Emulsion [EUR] $\Pi \lll$	204		
Menge [l]	200		
Preis [EUR/l]	1,02		
Filtermedien/-einsätze [EUR] $\Pi \lll$	0		
Menge gebrauchter Filtermedien/-einsätze [kg]	5100		
Spezifischer Entsorgungspreis [EUR/kg]	0		
Menge gebrauchter Filtermedien/-einsätze [kg]	0		
Spezifischer Entsorgungspreis [EUR/kg]	0		
Späne [EUR] $\Pi \lll$	0		
Menge [kg]	0		
Preis [EUR/kg]	0		
Werkzeugkosten [EUR]	380		
Maßnahmen zur Sicherung des Gesundheits-, Arbeits-, Brand- und Umweltschutzes (Hautschutzmittel) [EUR]	100		
Versicherungen [EUR]	0		
Sonstige KSS-bedingte Kosten (KSS-bedingte Reinigungsmaßnahmen) [EUR]	7230		
Kalkulatorische Kosten [EUR] $\Sigma \lll$	10450		

Abschreibung für Kühlwasserkühlanlage	2550				
Abschreibung für Absauganlage	2550				
Abschreibungen für Einrichtungen/Anlagen zur Pflege von KSS und KSS-Anlage(KSS-Filteranlage) [EUR]>>	3250				
Raumkosten [EUR]	2100				

Eine weitere Möglichkeit zum Ermitteln der KSS-relevanten Stoff- und Energieströme bietet die Software *SimKSS*. Mit ihrer Hilfe können KSS-Kreisläufe simuliert und die entstehenden Stoff- und Energieverbräuche simuliert werden (**Bild 27**).

Die Nutzung dieses Systems kann von der FH Südwestfalen, Abteilung Soest, Labor für Werkzeugmaschinen abgestimmt werden.

Nr.	Typ	Bezeichnung	Name	Verlust (l)
1	Masch	Schleifmaschine	Rundesmaschine	0,000019
2	Filter	Magnetabscheider	Liqui Disk	0
3	Transp	Gefälle	Klappe	0
4	Behäl	Spänebehälter	Behälter	0
5	Transp	Gefälle	Schräge	0
6	Behäl	Werkstückbehälter	Behälter	0,000096
7	Absaug	Vakuumpumpe	Losma AS 8/DC	0,000667
8	Transp	Bandförderer	Band	0
9	Quelle	Materiallager	Materiallager	0
Gesamt:				0,000782

Symbol-Nr.	Wasser [€]	Abwasser [€]	Strom [€]	KSS-Anschaffung [€]	Summe [€]
1	0,001	0,002	0,553	0,044	0,6
2	0	0	0,675	0,000	0,675
3	0	0	0	0,000	0
4	0	0	0	0,000	0
5	0	0	0	0,000	0
6	0,005	0,01	0	0,221	0,236
7	0,037	0,068	0	1,537	1,642
8	0	0	0,043	0,000	0,043
9	0	0	0	0,000	0
Emulsionsentsorgung €:					2,125
Putzmittelkosten €:					0,031
Putzmittelentsorgung €:					0,023
Schleifschlamm Entsorgung €:					0
Personalkosten €:					20
Maschinenkosten €:					60
Gesamt [€]:					85,38

sh Werkzeugmaschinen. *SimKSS*- Ist-Modell Schleifprozess

Bild 27

Im vorliegenden Fall belaufen sich die KSS-Verluste beim Schleifen der Industrienähnadeln auf ca. 10,21 l/h. Sie sind im Wesentlichen auf die Absaugung (93,46%) direkt über der Zerspanstelle zurückzuführen (**Bild 28**).

Die durch den Schleifprozess entstehenden Emulsionsdämpfe und -partikel werden aus dem KSS-Kreislauf gesaugt. Die Verluste an der Maschine (2,68 %) und die Ausschleppung über die Werkstücke (3,24 %) sind dagegen vernachlässigbar. Der Gesamtverlust wurde mit Hilfe der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes erfasst und dokumentiert, alle anderen Daten wurden durch das Simulationssystem SimKSS ermittelt.

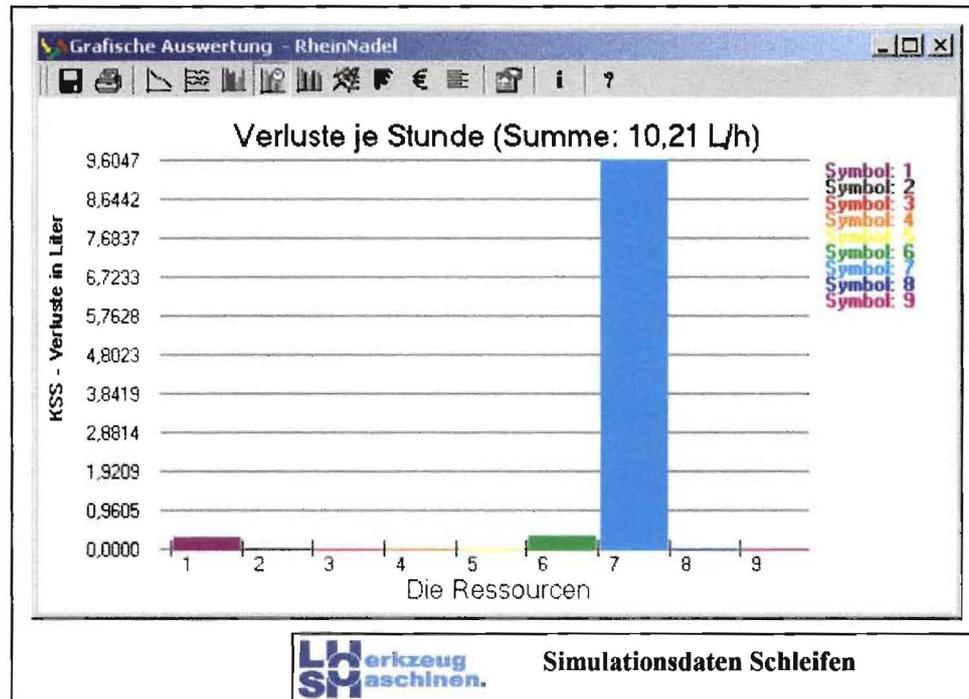


Bild 28

Ergebnisse von Phase 2:

- Das derzeitige KSS-Konzept "Nassschnitt" weist folgende Mängel auf:
 - * Verschmutzungen der Maschine und dadurch verursachte Maschinenausfälle,
 - * Geruchsbelästigung und Verschmutzung am Arbeitsplatz.
- Der Nassschnitt führt zu deutlich höheren Abfallmengen und Kosten als dies bei Anwendung der MMKS der Fall ist.
- Die Einführung der MMKS als Alternative zum Nassschnitt ist sinnvoll und angesichts des Erfüllungsgrades von 68 % bei Optimierung der Technologie erfolgversprechend.

4.3.4 Phase 3: Optimieren und Bewerten von Nassschnitt und MMKS

Inhalt: Optimieren der KSS-Konzepte Nassschnitt und MMKS, Ermitteln der bei Anwendung des jeweiligen KSS-Konzeptes entstehenden Kosten sowie Masse- und Energie-Inputs

Ziel: Bereitstellen der Informationen für das Bewerten von Nassschnitt und MMKS

Im vorliegenden Fall wurde der Nassschnitt bereits mehrfach optimiert. Das praktizierte KSS-Konzept wurde deshalb der Optimierung der KSS-Konzepte als optimales Szenario des KSS-Konzeptes Nassschnitt betrachtet und der Optimierung zugrunde gelegt.

Aus den gegebenen Daten und den Simulationsergebnissen lässt sich ableiten, dass eine Verringerung des KSS-Verbrauches vor allem durch eine Verbesserung der Absaugung

und Rückgewinnung des KSS gerichtet sein muss. Schon durch einen Ölabscheider in der Absaugung, der einen Abscheidegrad von 80% erreicht, kann der KSS-Verlust auf einen Wert von 2,52 l/h gesenkt werden.

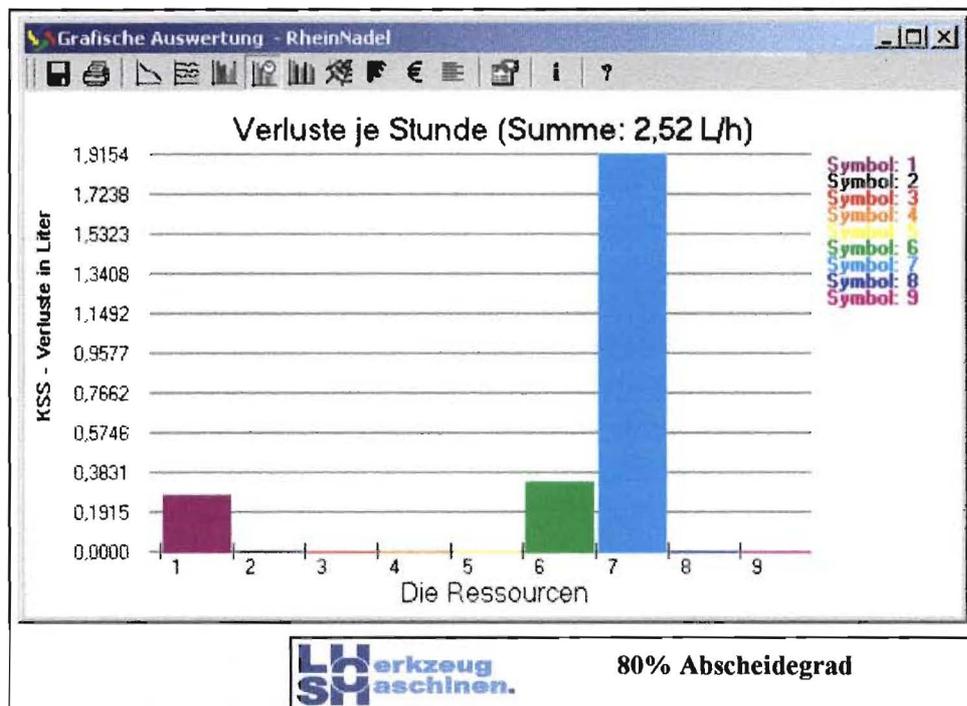


Bild 29

Durch eine Erhöhung des Abscheidegrades auf von 95 % ist eine Reduktion der KSS-Verluste auf 1,08 l/h erreichbar.

Aufgrund der Absaugung ohne Rückleitung muss nur ein geringer Teil des eingesetzten KSS entsorgt werden. Im Prinzip handelt es sich bei diesem Kreislauf um eine „Verlustschmierung“. Lediglich die Menge, die anfällt, wenn der KSS komplett neu angesetzt wird, muss entsorgt werden. Das Wechseln des KSS wird einmal im Jahr durchgeführt, somit ist auch die dadurch anfallende Menge an Alt-Emulsion und die entsprechenden Entsorgungskosten gering. Daraus folgt, dass alle Verbesserungsmaßnahmen nur eine Verringerung auf der Anschaffungsseite zur Folge haben, da auf dem ersten Blick schon eine hohe Standzeit des KSS vorhanden ist und somit nur geringe Entsorgungskosten anfallen. Fakt ist dagegen, dass jeder eingespeiste Liter KSS-Emulsion nur 200 Stunden im System verbleibt, bis er durch die Absaugung verloren geht. Nur jeder 100ste Liter wird entsorgt (200 Liter pro Jahr), wobei ca. 22.000 Liter Emulsion dem System zugeführt werden. Dieses Verhältnis und somit die Kosten für die Anschaffung neuen Kühlschmierstoffs kann, wie die Simulationen zeigen, durch einen Ölabscheider (zentral oder dezentral) erheblich verbessert werden. Bei Nutzung eines Ölabscheiders mit einem Abscheidegrad von 80 % reduziert sich die Menge des insgesamt (für ein Jahr) eingesetzten KSS von 22.660 Liter auf 5.592,87 Liter, bei 95 % auf 2.396,94 Liter. Geht man von der 80 % - Abscheidung und Rückführung aus, werden die Anschaffungskosten des KSS-Konzentrats (vorher 660 Liter für 3,17 €/l) und der dazugehörigen Menge Anmischwasser (vorher 22.000 Liter für 0,0041 €/l) von 2.182,4 € auf 554,13 € gesenkt. Im Hinblick auf die gesamten Kosten, die durch den Einsatz des Nassschnittes bei diesem Prozess entstehen, sind diese Einsparungen von ca. 1.600 € zu gering. Die gesamten KSS-bedingten Kosten belaufen sich derzeit

auf 29.208,66 € und könnten durch eine Absauganlage, ohne Berücksichtigung der Anschaffungskosten, der Wartung und Energiekosten dieser Abscheideanlage, lediglich um 1.600 € gesenkt werden. Da sich der MMKS-Einsatz mit einem Erfüllungsgrad von 68% als möglich heraus gestellt hat und die ermittelten Kosten für diese Alternative bei ca. 7.600 € pro Jahr liegen, ergeben sich bei Umstellung Einsparungen von ca. 21.600 € pro Jahr, was ein Vielfaches von dem ist, was durch Einsatz eines Ölabscheiders erreicht werden kann. Der Umstieg auf MMKS ermöglicht die Abschaffung der kompletten bisherigen KSS-Anlage und somit eine Kostenreduzierung, die über das Einsparen reinen Kühlschmierstoffes hinausgeht (**Bild 30**).

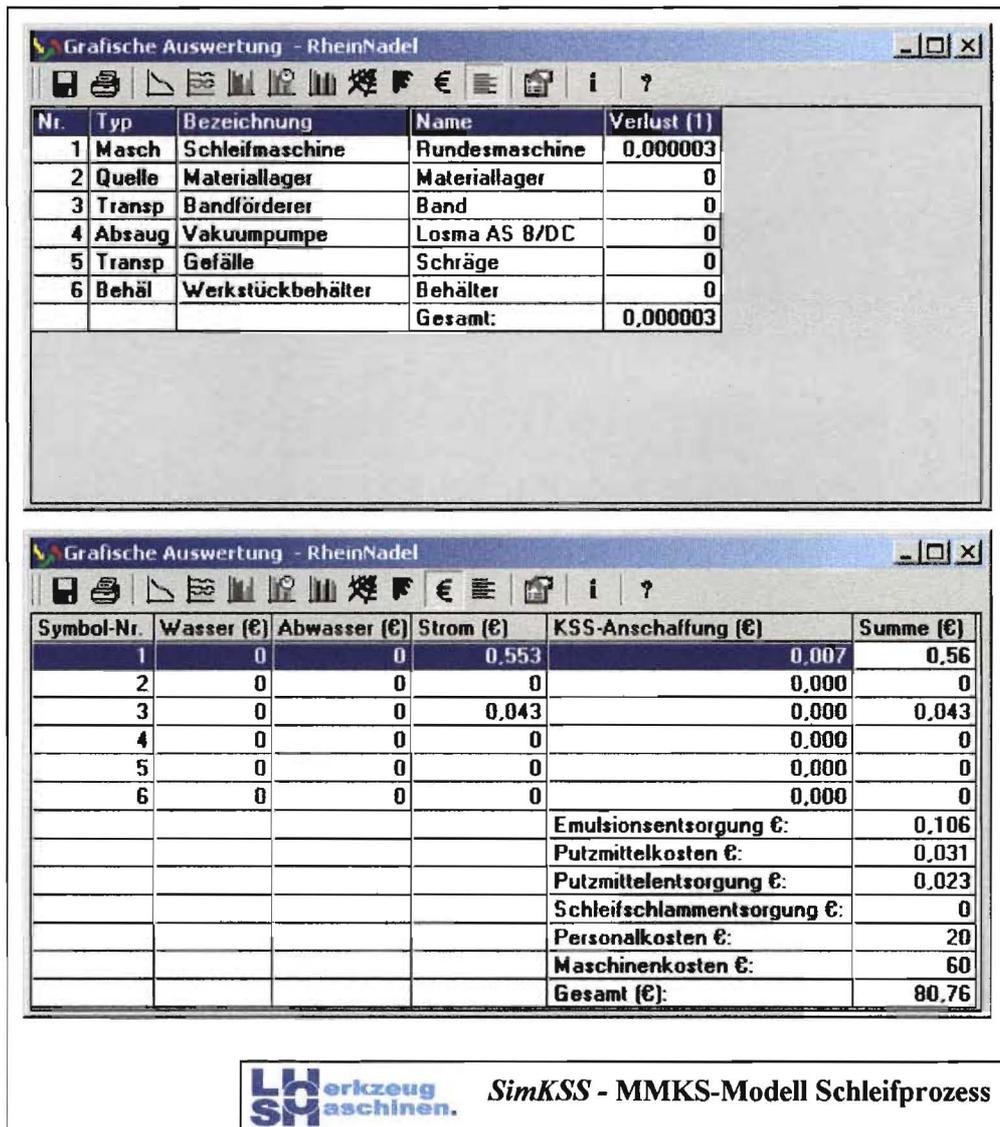


Bild 30

Die Angaben in den **Bildern 28 bis 30** beziehen sich auf die Simulationseinheit, in diesem Fall auf 3600 s bzw. eine Stunde. Im Vergleich zu den Personalkosten und dem Maschinenstundensatz fallen die KSS-Kosten nicht ins Gewicht. Bei Anwendung der MMKS gegenüber dem Nassschnitt ergeben sich folglich Einsparungen von ca. 5 € je Stunde.

Somit erweist sich die MMKS-Technologie im vorliegenden Fall gegenüber dem Nassschnitt sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch als deutlich vorteilhaftere Alternative.

Nachdem die Einführung der MMKS als erfolgversprechend erkannt wurde, sind nun die gerätetechnischen Voraussetzungen zu schaffen und die MMKS-Verfahrensparameter festzulegen. Diese Phase erfordert eine Reihe von Experimenten und kann durch die Einbeziehung erfahrener MMKS-Anwender und Fachberater der Hersteller von MMKS-Systemen verkürzt werden.

Folgende Aufgaben sind zu lösen:

- Anpassung des Fertigungsprozesses an die verfahrensspezifischen Erfordernisse der MMKS

Im vorliegenden Fall wurde in Vorbereitung der MMKS-Einführung die Ablänggenauigkeit der Drahtrohlinge erhöht und damit das abzuschleifende Werkstückvolumen deutlich verringert.

- Auswahl des KSS

Die Hersteller von MMKS-Geräten sowie einige KSS-Hersteller bieten spezielle, für die MMKS geeignete KSS an.

- Auswahl des MMKS-Gerätes sowie der Zufuhrdüsen und ihrer Anordnung

In Auswertung vorliegender Erfahrungen wurde ein Pumpen-MMKS-System mit äußerer KSS-Zufuhr gewählt. Die Einstellparameter des Gerätes sowie Anzahl und Anordnung der Düsen wurden experimentell optimiert.

- Ermitteln des Ablaufes sowie Kalkulation der Kosten für die Umstellung des Fertigungsprozesses von Nassschnitt auf MMKS

(Anordnung der MMKS-Technik sowie deren Versorgung mit Elektroenergie und Druckluft, Installation einer Absauganlage, Sichern des Abtransportes der Schleifspäne usw.).

Eine schematische Darstellung des Fertigungsprozesses nach Einführung der MMKS zeigt **Bild 31**.

Nach der Klärung dieser Fragen ist nun ein Vergleich der KSS-relevanten Kosten sowie der Masse- und Gebrauchsenergie-Inputs bei Nassschnitt (laufende Kosten) und MMKS (Summe der Kosten für Umstellung auf MMKS + laufende Kosten MMKS) durchzuführen.

Das Ermitteln der KSS-relevanten Kosten sowie Masse- und Gebrauchsenergie-Inputs wird durch die in der Internet-Erweiterung hinterlegten Kosten- sowie Masse- und Energiemodelle erleichtert.

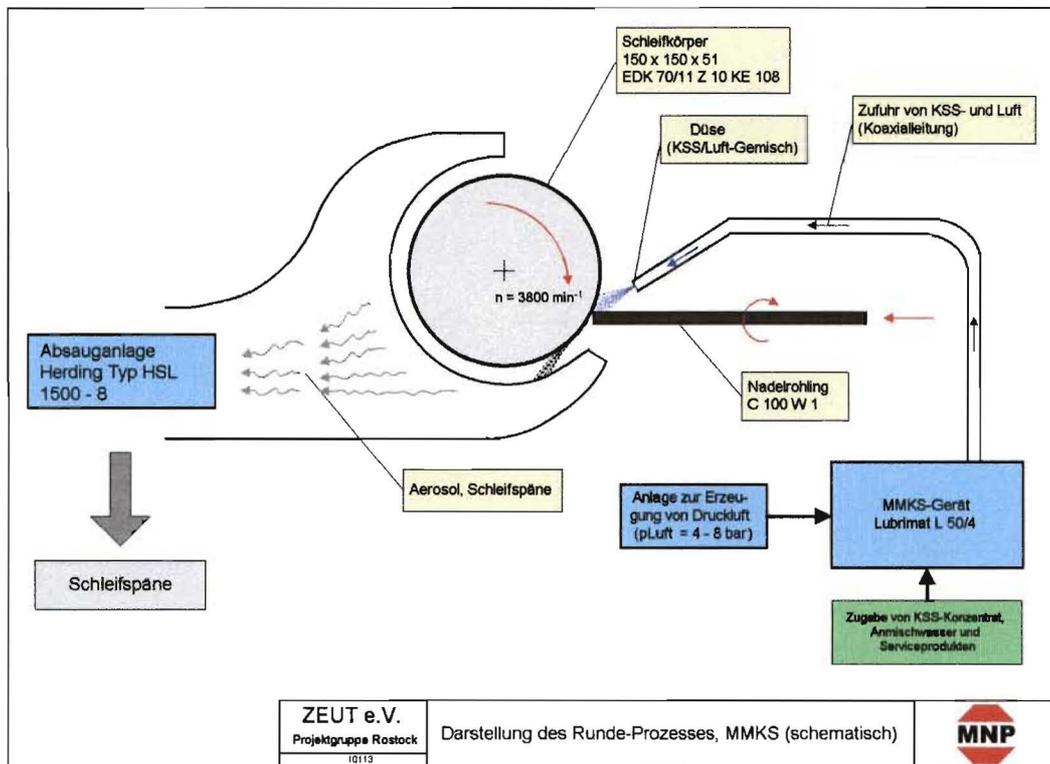


Bild 31

Hierbei sind folgende Arbeitsschritte auszuführen:

1. Ermitteln der laufenden Kosten sowie Masse- und Energieverbräuche bei Anwendung der MMKS (**Bild 32**),
2. Ermitteln der Summe aus laufenden Kosten sowie Masse- und Energieverbräuche bei Umstellung von Nassschnitt auf MMKS (**Bilder 33**).

Bild 32: Ermittlung der laufenden KSS-relevanten Stoff- und Energiemengen sowie Kosten mit Hilfe der Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes (MMKS)

Gewähltes Szenario: MNP MMKS-Anwendung (Minimalmengenkühlschmierung)

Betrachtungszeitraum [Monate]: 12

Alle folgenden Eingabegrößen und Ergebnisse beziehen sich, wenn nicht anders angegeben, auf diesen Betrachtungszeitraum!

Gesamt-Summe: 7573,8608 EUR [Neu berechnen](#)

Betriebsstoffe [EUR] $\Sigma \lll$	1246,1608		
KSS-spezifische Stoffverbräuche [EUR] $\Sigma \lll$	277,3916		
KSS [EUR] $\Sigma \lll$	277,3916		
Konzentrat [EUR] $\Pi \lll$	274,62		
Menge [l] \ggg	<input type="text" value="13,8"/>		
Preis [EUR/l]	<input type="text" value="19,9"/>		

Anmischwasser [EUR] $\Pi \lll$	2,7716	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Preis [EUR/l]	0,0041	<input type="checkbox"/>		
Menge [l] \gg	676	<input type="checkbox"/>		
Additiv [EUR]	(entfällt)		<input type="checkbox"/>	
Serviceprodukte [EUR]	(entfällt)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kühl- und Schmiermittel für die Werkzeugmaschine [EUR] \gg	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Elektroenergie [EUR] $\Pi \lll$	968,7692	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Energiepreis [EUR/kWh]	0,061	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Energiebedarf (gesamt) [kWh] $\Sigma \lll$	15778	<input type="checkbox"/>		
Energiebedarf der KSS-Anlage [kWh] $\Sigma \lll$	15778	<input type="checkbox"/>		
Energiebedarf MMKS-Gerät [kWh] $\Pi \lll$	1288	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Leistungsaufnahme KSS-Anlage [kW]	0,4	<input type="checkbox"/>		
Einschaltdauer [h]	3220	<input type="checkbox"/>		
Energiebedarf MMKS-Gerät (Druckluft) [kWh] $\Pi \lll$	4830	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Leistungsaufnahme KSS-Anlage [kW]	1,5	<input type="checkbox"/>		
Einschaltdauer [h]	3220	<input type="checkbox"/>		
Energiebedarf Absauganlage [kWh] $\Pi \lll$	9660	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Leistungsaufnahme KSS-Anlage [kW]	3	<input type="checkbox"/>		
Einschaltdauer [h]	3220	<input type="checkbox"/>		
Filtermedien/-einsätze [EUR] \gg	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Servicemaßnahmen [EUR] $\Sigma \lll$	1000	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
KSS-Pflege u. -Überwachung [EUR] $\Sigma \lll$	0	<input type="checkbox"/>		
Geräte und Materialien [EUR]	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
KSS-/Ölpflege u. Parameterüberwachung [Eur.] $\Sigma \lll$	0	<input type="checkbox"/>		
Externe Überwachungsleistungen [EUR]	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Laboruntersuchungen [EUR]	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Personal- und Personalgemeinkosten [EUR] $\Sigma \lll$	0	<input type="checkbox"/>		
Servicepersonal [EUR] $\Pi \lll$	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Anzahl der Überwachungen [n]	0	<input type="checkbox"/>		

Preis pro Überwachung [EUR/n]	0	<input type="checkbox"/>	
KSS-Wechsel [EUR]>>	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
KSS-Pflege u. -Überwachung [EUR]>>	0		
Instandhaltung KSS-Anlage sowie Pflegeeinrichtungen [EUR] $\Sigma \ll$	1000		
KSS-Anlage [EUR]	0		
Vorratsbehälter, Leitungen [EUR]	0		
Anlagen zum Entfernen von Fremdölen [EUR]	(entfällt)		
Anlagen Bauteilreinigung [EUR]	(entfällt)		
Anlage Späneentfernung [EUR]	0		
Anlage zur Späno- und Schleifschlammaufbereitung und Rückgewinnung KSS [EUR]	(entfällt)		
Anlagen zum Spänetransport aus Arbeitsraum der WZM [EUR]	0		
Anlage zur Aufbereitung des Anmischwassers [EUR]	0		
KSS-bedingte Schäden an der WZM [EUR]	0		
KSS-bedingte Maßnahmen zur Gebäudeinstandsetzung [EUR]	0		
Sonstige KSS-bedingte Instandsetzungsmaßnahmen [EUR]	0		
Absauganlage [EUR]	1000		
Entsorgungskosten [EUR]>>	0		
Werkzeugkosten [EUR]	0		
Maßnahmen zur Sicherung des Gesundheits-, Arbeits-, Brand- und Umweltschutzes [EUR]	0		
Versicherungen [EUR]	0		
Sonstige KSS-bedingte Kosten [EUR] $\Sigma \ll$	1807,7		
Kosten für die Reinigung des Arbeitsumfeldes	1807,7		
Kalkulatorische Kosten [EUR] $\Sigma \ll$	3520		
Abschreibungen für Komponenten/Aggregate der KSS-Anlage [EUR] $\Sigma \ll$	3220		
Abschreibung für MMKS-Gerät [EUR] (Kopie)	720		
Abschreibung für Absauganlage [EUR]	2500		
Abschreibungen für Einrichtungen/Anlagen zur Pflege von KSS und KSS-Anlage [EUR]>>	0		
Raumkosten [EUR]	300		

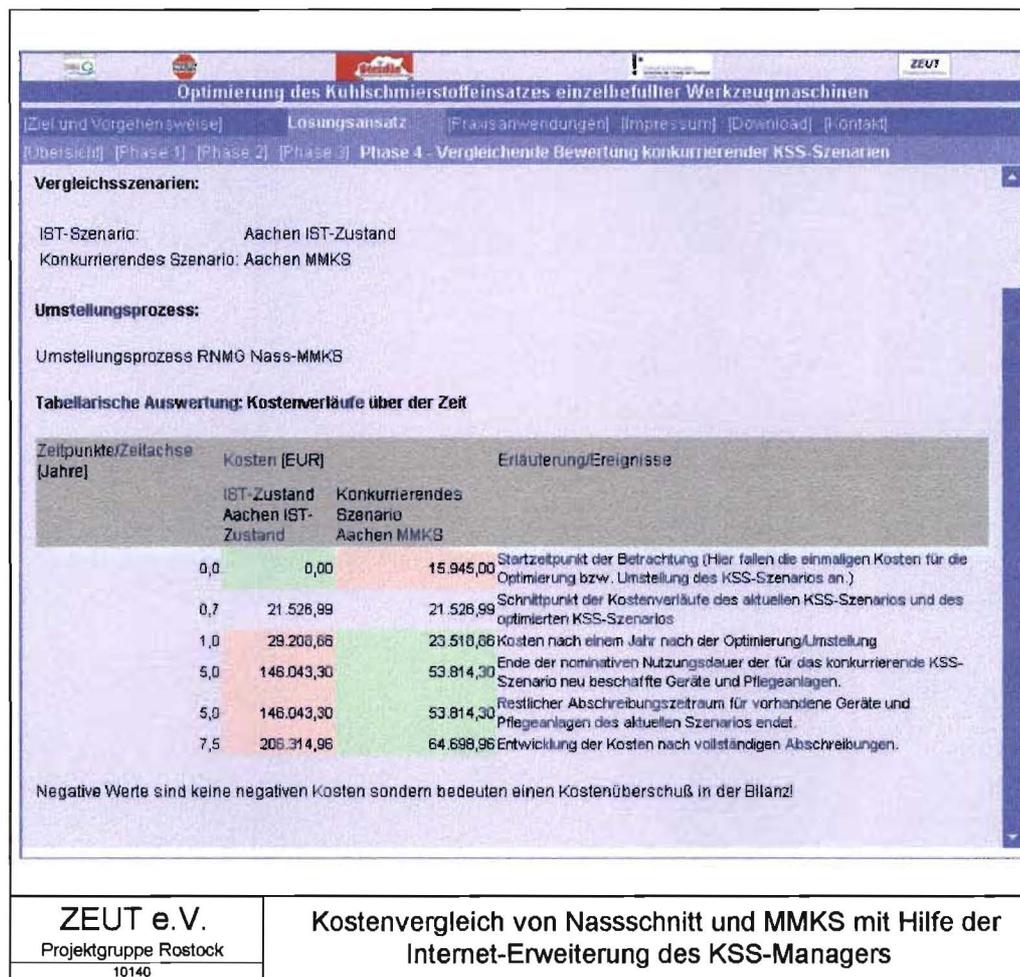


Bild 33

Ergebnisse von Phase 3:

- Anwendungsreifes MMKS-Konzept,
- Überschlägig ermittelte Kosten sowie Masse- und Energie-Inputs für die Anwendung der KSS-Konzepte Nassschnitt und MMKS.

4.3.5 Phase 4: Auswahl des wirtschaftlich- ökologisch optimalen KSS-Konzeptes

Inhalt: Vergleichende Bewertung der Kosten sowie Masse- und Energie-Inputs von Ist-Zustand (Nassschnitt) und MMKS unter Berücksichtigung der unternehmensspezifischen Bedingungen.

Ziele: Auswahl eines KSS-Konzeptes mit dem Ziel der Minimierung der KSS-relevanten Kosten sowie Masse- und Energie-Inputs

Grundlage und Voraussetzung für einen Vergleich von Ist-Zustand und MMKS war die Feststellung, dass die Einführung der MMKS keinerlei Qualitätsminderungen, Störungen des Fertigungsprozesses oder ein Anwachsen der Fertigungsstückkosten verursacht hat.

Zur Interpretation der Kostenverläufe der konkurrierender KSS-Konzepte über der Betriebsdauer wurden diese auf der Grundlage der in **Bild 33** ausgewiesenen Werte grafisch dargestellt (**Bild 34**).

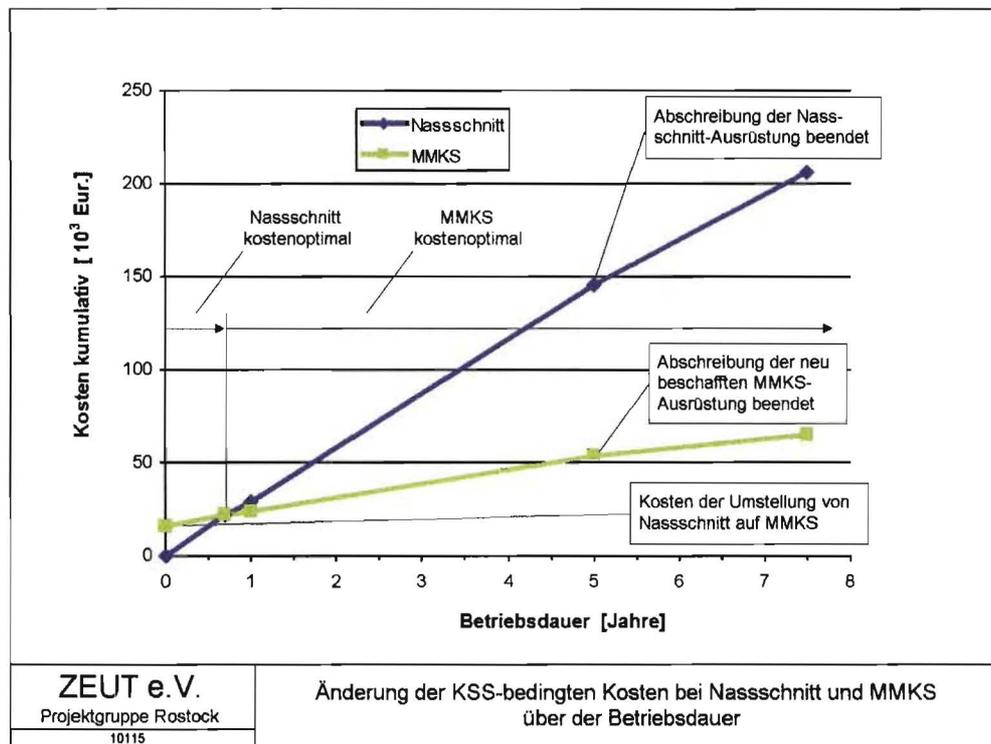


Bild 34

Bild 34 zeigt, dass die Umstellung auf MMKS zunächst Kosten verursacht. Die bei Anwendung der MMKS entstehenden laufenden Kosten betragen jedoch im vorliegenden Fall ca. 26 % der entsprechenden Aufwendungen beim Nassschnitt, so dass nach ca. 0,7 Jahren die kumulativen Kosten der MMKS die des Nassschnittes unterschreiten. Eine Umstellung auf MMKS ist somit im vorliegenden Fall nur wirtschaftlich, wenn auf der betreffenden Werkzeugmaschine über einen Zeitraum von mindestens 0,7 Jahren hinweg mit MMKS gearbeitet werden kann.

Die Anwendung der MMKS führt gegenüber dem Nassschnitt neben den dargestellten Kosteneinsparungen zu folgenden ökologischen Effekten (**Bild 35**):

- Reduzierung der jährlichen Input-Masse um ca. 95 %,
- Reduzierung der jährlichen Input-Gebrauchsenergie um ca. 70 %.

Die ökologische Effizienz der MMKS-Anwendung resultiert vor allem aus dem Wegfall der beim Nassschnitt zu entsorgenden KSS-Emulsion.

Auf der Grundlage der in den **Bildern 34** und **35** dargestellten Ergebnisse wurde die Entscheidung zur Einführung der MMKS getroffen.

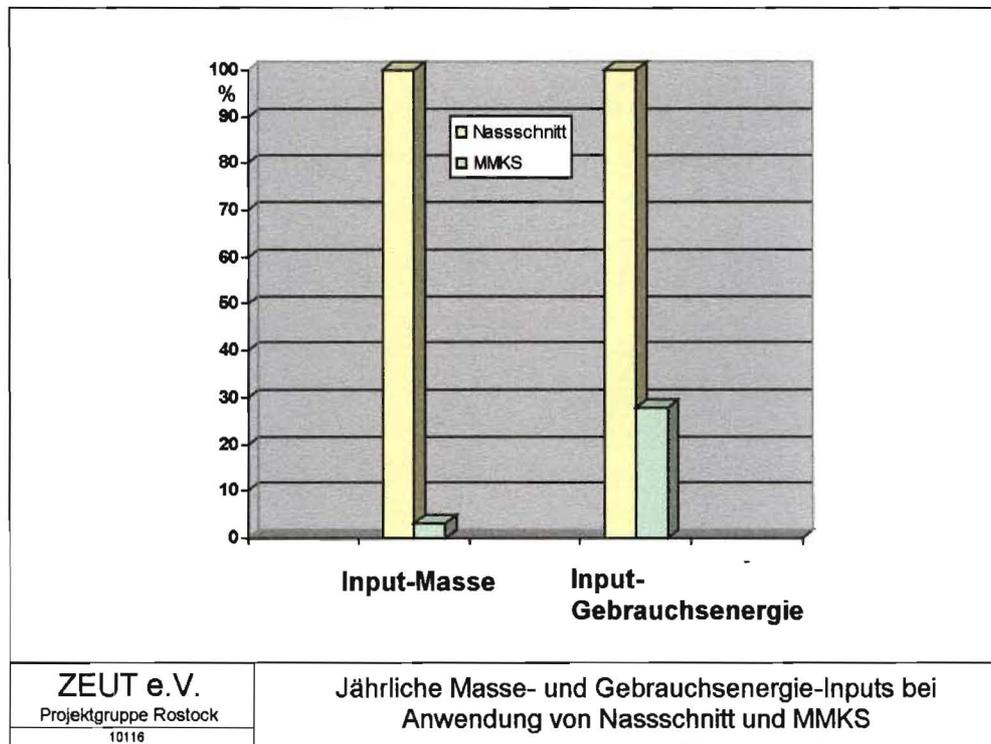
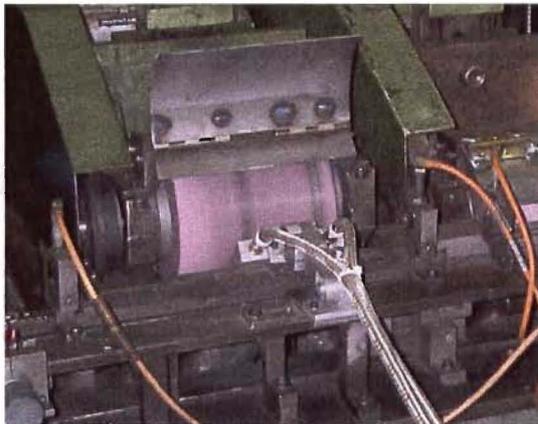
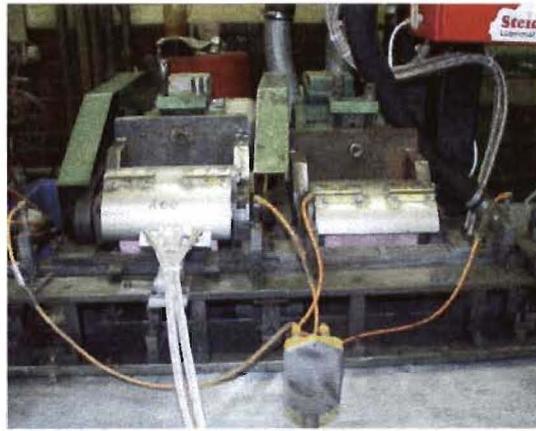
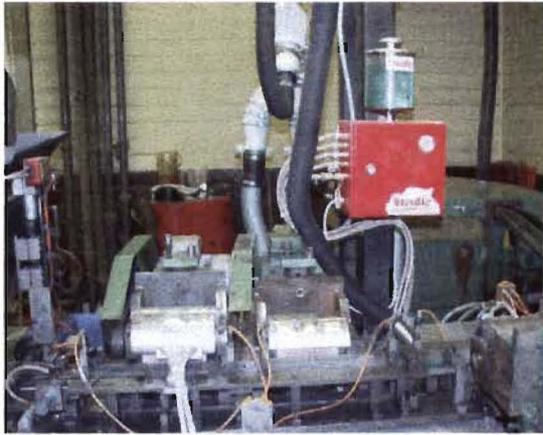


Bild 35

Bild 36 zeigt eine Rundestation nach Einführung der MMKS.

Es wird sichtbar, dass mit der Umstellung auf MMKS nicht nur eine mittelfristige Senkung der KSS-relevanten Kosten sondern auch eine Verbesserung der Sauberkeit am Arbeitsplatz und positiven Entwicklung der arbeitshygienischen Bedingungen erreichbar ist.



Rundestation, Zustand nach Einführung der MMKS

Bild 36

5 Zusammenfassende Einschätzung der Vorhabensergebnisse

5.1 Untersuchungsergebnisse

Die wesentlichen Ergebnisse des Vorhabens können in folgenden Punkten zusammengefasst werden:

- Entwicklung und Bereitstellung eines Lösungsansatzes für das Identifizieren und Ausschöpfen wirtschaftlicher und ökologischer Nutzenspotentiale bei der KSS-Anwendung,
- Bereitstellen des Lösungsansatzes als allgemein zugängliche Internet-Erweiterung,
- Erreichen und Überbieten der im Projektantrag genannten wirtschaftlichen und ökologischen Zielsetzungen,
- Schaffung eines Beispiels für das Harmonisieren wirtschaftlicher und ökologischer Unternehmensziele.

Der Lösungsansatz kann als allgemein anwendbares Werkzeug zur Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements genutzt werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigten, dass er ein geeignetes Werkzeug zur Analyse des IST-Zustandes sowie Ermittlung und Ausschöpfung von Kostensenkungs- und Abfallvermeidungspotenzialen darstellt.

Die Internet-Erweiterung des Lösungsansatzes erleichtert es den Entscheidungsträgern, sich über Inhalt und Leistungsparameter und der Software zu informieren. Auf diese Weise können bereits in einem frühen Stadium der Entscheidungsfindung Vor- und Nachteile der einzelnen KSS-Konzepte abgeschätzt und systematisch Informationen für die abschließende Bewertung erfasst und aufbereitet werden.

Potentielle Nutzer sind vor allem KSS-Anwender, Unternehmensberater und Anbieter KSS-relevanter Dienstleistungen.

Diese Nutzergruppe kann den Lösungsansatz zur Gestaltung eines unternehmensspezifisch wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements einsetzen.

Insbesondere für KSS-Anwender und Anbieter KSS-relevanter Dienstleistungen bietet der in den Lösungsansatz integrierte KSS-Manager die Möglichkeit zur systematischen Erfassung, Dokumentation und Auswertung von KSS-Daten.

Die Nutzung dieser Funktionalitäten ist eine grundsätzliche Voraussetzung zur Analyse der wirtschaftlichen und ökologischen Effekte des KSS-Einsatzes und ermöglicht das gezielte Verbessern des KSS-Managements.

Ein weiteres Einsatzgebiet des Lösungsansatzes ist die Beratung von KSS-Anwendern bei der Gestaltung wirtschaftlich-ökologisch optimierter KSS-Konzepte. Hier können mit Hilfe des Lösungsansatzes die durch den Einsatz bestimmter KSS-Ausrüstungen oder KSS erreichbaren Effekte vorgestellt und gemeinsam mit dem Kunden beraten werden.

5.2 Nutzen des Projektes

5.2.1 Nutzen in den Unternehmen Rhein-Nadel Maschinennadel GmbH Aachen sowie der Fa. Steidle GmbH Leverkusen

In der **Rhein-Nadel-Maschinennadel GmbH Aachen** führt die Ablösung des gegenwärtig angewandten Nassschnittes durch die MMKS bei einer mindestens gleichbleibenden Er-

zeugnisqualität und Fertigungszeit zu einer deutlichen Senkung der produktmengenbezogenen Kosten sowie Material- und Energieverbräuche.

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass in Vorbereitung der Einführung der MMKS eine Analyse des Rundeprozesses und des vorgelagerten Ablängprozesses erfolgte, welche beträchtliche Potenziale zur Kostensenkung, Materialeinsparung und Verbesserung der Fertigungsorganisation aufdeckte.

Als besonders verbesserungswürdig erwies sich die Genauigkeit und Gratbildung beim Ablängen der Nadelrohlinge.

Durch das Ersetzen der Messer durch gegenläufig bewegte Schneidbüchsen konnte die Ablänggenauigkeit verbessert und die Gratbildung deutlich reduziert werden.

Dies führte zur Senkung des Materialverbrauches um ca. 1.000 kg/a sowie zu einer Materialkosteneinsparung von ca. 5.000 Eur./a.

Von besonderer Bedeutung für die Einführung der MMKS erwies sich die Reduzierung der Gratbildung. Die dadurch verursachte Reduzierung von Bearbeitungsdauer, Energieverbrauch und Werkzeugverschleiß führt zu Einsparungen von insgesamt ca. 12.000 Eur./a.

Dieses Beispiel zeigt, dass die Anwendbarkeit der MMKS nicht allein auf der Grundlage vorhandener Fertigungsabläufe beurteilt werden sollte. Es erscheint vielmehr sinnvoll, die Entscheidung über die Anwendbarkeit der MMKS mit einer vorherigen Analyse und eventuellen Verbesserung der KSS-relevanten Abschnitte des Fertigungsprozesses zu verbinden.

Die mit Hilfe des KSS-Managers ermittelten betriebsdauerabhängigen Verläufe der KSS-relevanten Kosten von Nassschnitt und MMKS zeigen, dass die Umstellung auf MMKS zunächst Kosten verursacht. Die bei Anwendung der MMKS entstehenden laufenden Kosten betragen im vorliegenden Fall ca. 26 % der entsprechenden Aufwendungen beim Nassschnitt, so dass trotz der für die Umstellung auf MMKS erforderlichen Investitionen nach ca. 0,7 Jahren die kumulativen Kosten der MMKS die des Nassschnittes unterschreiten (**Bild 34**)

Eine Umstellung auf MMKS ist somit im vorliegenden Fall nur wirtschaftlich, wenn über einen Zeitraum von mindestens 0,7 Jahren mit MMKS gearbeitet werden kann.

Die Anwendung der MMKS führt gegenüber dem Nassschnitt neben den dargestellten Kosteneinsparungen zu folgenden ökologischen Effekten (**Bild 35**):

- Reduzierung der jährlichen Input-Masse um ca. 95 %,
- Reduzierung der jährlichen Input-Gebrauchsenergie um ca. 70 %.

Die ökologische Effizienz der MMKS-Anwendung resultiert vor allem aus dem Wegfall der beim Nassschnitt zu entsorgenden KSS-Emulsion. Verbrauchte KSS-Emulsionen können bei nicht sachgerechter Handhabung ein hohes Umweltgefährdungspotential aufweisen und verursachen erhebliche Entsorgungskosten. Für Unternehmen in ökologisch sensibler Umgebung kann deshalb die Einführung der MMKS insbesondere auch unter diesem Aspekt eine attraktive Alternative zum Nassschnitt darstellen.

Das hier betrachtete Fallbeispiel zeigt, dass die Zielsetzung nach einer Harmonisierung wirtschaftlicher und ökologischer Unternehmensziele keine realitätsferne Vision beschreibt, sondern in der Praxis durchaus umgesetzt werden kann.

Für die **Steidle GmbH** besteht der Nutzen des Projektes darin, dass den KSS-Anwendern Modelle zur Verfügung gestellt werden, mit deren Hilfe die wirtschaftlichen und ökologi-

schen Effekte unterschiedlicher KSS-Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der MMKS objektiv miteinander verglichen werden können. Diese Modelle sowie der gesamte Lösungsansatz steht als interaktives Softwarewerkzeug im Internet zur Verfügung. Interessenten können sich zunächst selbständig über die Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher KSS-Konzepte informieren. Hierbei werden insbesondere die Voraussetzungen zur Anwendung der MMKS dargestellt. Auf diese Weise sollen Vorbehalte und Unsicherheiten hinsichtlich der MMKS-Anwendung abgebaut und die Voraussetzungen für ein vertiefendes Gespräch potentieller MMKS-Anwender mit Fachberatern des Unternehmens verbessert werden.

5.2.2 Unternehmensübergreifender Nutzen

Der unternehmens- und branchenübergreifende Nutzen des systematischen Lösungsansatzes besteht vor allem in der Darstellung eines allgemein anwendbaren rationellen Lösungsweges zur wirtschaftlich/ökologischen Optimierung des KSS-Managements, dem Auflisten und systematischen Verknüpfen der hierbei zu beachtenden Einflussfaktoren sowie dem Quantifizieren ihrer monetären und ökologischen Wirkungen.

Der Lösungsansatz erleichtert es, KSS-Konzepte unter besonderer Berücksichtigung der Anwendungsmöglichkeiten der MMKS so an die prozess- und unternehmensspezifischen Bedingungen anzupassen, dass ein im Sinne des Entscheidungsträgers maximaler Nutzeffekt erreicht wird.

Auf diese Weise unterstützt das Projekt insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen beim Gestalten wirtschaftlich-ökologisch gestalteter KSS-Konzepte und fördert deren Wettbewerbsfähigkeit.

Der hierdurch erreichbare Nutzen ist beträchtlich, da die Anwendungsmöglichkeiten der MMKS bislang nur zu einem Bruchteil ausgeschöpft werden. Im Jahr 1997 wurden in Deutschland insgesamt 77.523 t KSS verbraucht, davon 46.171 t nicht wassergemischter KSS und 31.352 t wassergemischter KSS [BW97]. Dies entspricht bei einer KSS-Konzentration von 3 - 5 % einer Emulsionsmenge von 627.000-1.045.000 t, von der im Jahr 1997 ca. 350.000 t als Altemulsion entsorgt wurden.

Wird als Folge des zunehmendem Einsatzes der MMKS eine Reduzierung des KSS-Verbrauches um ca. 5 % unterstellt, so verringert sich der KSS-Verbrauch (Summe aus nichtwassermischbarem und wassermischbarem KSS) um ca. 3.870 t. Darüber hinaus könnte bei Einsatz einer 5 % igen Emulsion eine Reduzierung der zu entsorgenden Altemulsion um ca. 16.600 t erwartet werden. Bei erweiterter Anwendung der MMKS wäre somit insgesamt eine Reduzierung der jährlich anfallenden kühlenschmierstoffbedingten Abfallmenge um ca. 20.000 t erreichbar.

Die unter diesen Bedingungen mögliche Kosteneinsparung würde bei nicht wassermischbaren KSS bei einem Konzentratpreis von 3,00 Eur./kg ca. 14,0 Mio. Eur. Konzentratkosten zuzüglich ca. 0,3 Mio. Eur. Entsorgungskosten (Entsorgungskosten 125,00 Eur./t) betragen.

Bei wassergemischten KSS wäre bei einer durchschnittlichen Konzentration von 5 %, einem Konzentratpreis von 2,50 Eur./kg, einem Trinkwasserpreis von 1,30 Eur./m³ sowie Entsorgungskosten von 125 Eur./t eine jährliche Kosteneinsparungen in Höhe von ca. 6,3 Mio. Eur. erreichbar. Diese Einsparung kann als Minimalwert betrachtet werden, da nach Auskunft von Unternehmen [NN 98], die Anwendung eines vom Antragsteller für wassermischbare KSS entwickelten KSS-Managers [GLS 98] wesentlich zu einer Senkung der KSS-bedingten Kosten beitrug. Hierbei betrug die Senkung der KSS-bedingten Kosten im Mittel ca. 9 %, in einem Unternehmen wurde eine Einsparung von ca. 40 %, erreicht.

Die mit Einführung der MMKS erreichbare Kosteneinsparung dürfte diese Werte deutlich übersteigen, da in die bisherige Nutzensrechnung lediglich die durch die Reduzierung des KSS-Verbrauches verursachten Kosteneinsparungen eingingen, während weitere Einspar-effekte, wie z.B. Einsparung von Kosten für Filterhilfsstoffe und deren Entsorgung, ver-ringerte Kosten für Pflege, Überwachung und KSS-Wechsel, Kosteneinsparungen für KSS-Abscheidung aus Spänen usw., unberücksichtigt blieben.

5.2.3 Abweichungen von der Zielsetzung, Probleme , evtl. Veränderung der Vorhabensdurchführung

Das Vorhaben wurde in der geplanten Weise sowie unter Beibehaltung der ursprünglichen Zielsetzung und Inanspruchnahme der geplanten Mittel bearbeitet.

5.2.4 Maßnahmen zur Verbreitung der Untersuchungsergebnisse

Informationen über das Vorhaben sowie die Arbeitsergebnisse sind in der Homepage des ZEUT, Projektgruppe Rostock (<http://www.zeit.de>) veröffentlicht.

Die Ergebnisse des Projektes wurden im Rahmen des 5. Bremer Kühlschmierstoff-Workshops am 10. April 2003 vorgestellt.

Interessenten haben die Möglichkeit, sich in Abstimmung mit den Projektpartnern vor Ort über Anwendungsmöglichkeiten des Lösungsansatzes sowie die Vorgehensweise beim Umstellen von Nassschnitt auf MMKS zu informieren.

Der Lösungsansatz selbst steht als interaktives Software-Werkzeug im Internet unter Adresse <http://www.zeit.de/apps> oder http://www.fh-soest.de/fb12/einrichtungen/wzm/pages/ges_simkss.html zur Verfügung.

Eine über dieses Informationsangebot hinausgehende Unterstützung bei der Nutzung des Lösungsansatzes wird im Rahmen einer Beratungsleistung angeboten.

Folgende Veröffentlichungen befinden sich in Vorbereitung:

- Grey, D.; Jenak, F.; Petuelli, G.; Puschmann, J.
Optimierung des Kühlschmierstoff-Managements einzelbefüllter Werkzeugmaschinen unter besonderer Berücksichtigung der Minimalmengen Kühlschmierung, Berichte des Wrangell-Instituts für umweltgerechte Produktionsautomatisierung, Shaker Verlag
- Grey, D.; Jenak, F.; Petuelli, G.; Puschmann, J.
Wirtschaftlich-ökologische Optimierung des Kühlschmierstoff-Managements - Lösungsansatz und Ergebnisse,
1. Internationale Wissenschaftliche Konferenz der Ökologie der Grenzregion, EB '03 Łagów-Gorzów Wlkp.-Polen, 18./19. September 2003,
- Petuelli, G; Puschmann, J.
Integration von Validierung und Simulation zum Mindern von kühlsmierstoffbedingten Umweltbelastungen. ASIM, Magdeburg 16. - 19.09.2003,
- Petuelli, G; Puschmann, J.
SimCool-Simulation of Pollution Caused by coolant in Manufacturing Processes, IASTED Intern. Conf. Applied Simulation and Modeling, Sept. 2003, Spain (angemeldet).

6. Fazit

Das Vorhaben ordnet sich in die Arbeiten zur Optimierung des KSS-Managements ein. Wesentliches Arbeitsergebnis ist ein allgemein anwendbarer Lösungsansatz zur Gestaltung eines wirtschaftlich-ökologisch optimierten KSS-Managements.

Der Lösungsansatz stellt die fertigungstechnischen, wirtschaftlichen und ökologischen Zusammenhänge beim Optimieren von KSS-Konzepten in transparenter Weise dar.

Er erleichtert insbesondere kleinen und mittelständischen Unternehmen das Gestalten eines effizienten KSS-Managements und unterstützt das Erschließen weiterer Anwendungsgebiete für die MMKS.

Der Lösungsansatz steht als allgemein anwendbares interaktives Software-Werkzeug im Internet einem breiten Kreis von KSS-Anwendern aller Industriebranchen zur Verfügung.

Die Praxistauglichkeit des Lösungsansatzes wurde exemplarisch am Beispiel der Fertigung von Industrienähndeln nachgewiesen.

Im betrachteten Fallbeispiel "Fertigung von Industrienähndeln" führt die Ablösung des Nassschnittes durch die MMKS zu folgenden Effekten:

- Reduzierung der laufenden KSS-relevanten Kosten um ca. 74 %,
- Amortisation der für die Umstellung aufzuwendenden Kosten nach ca. 0,7 Jahren,
- Reduzierung der Input-Massen um ca. 95 %,
- Reduzierung des Gebrauchsenergie-Inputs um ca. 70 %.

Weiterführende Untersuchungen sollten auf folgende Problemfelder gerichtet sein:

- Einsatz und weitere Erprobung des Lösungsansatzes in anderen Branchen des Maschinen- und Anlagenbaues,
- Erweiterung des Lösungsansatzes auf die Trockenbearbeitung
- Weiterentwicklung des Lösungsansatzes für Maschinengruppen mit zentraler KSS-Versorgung,
- Weiterentwicklung von ValKSS in Hinblick auf die Anwendung in weiteren Bereichen der Materialverarbeitung,
- Weiterentwicklung von SimKSS durch Übertragen auf komplexe Fertigungssysteme.

Literaturverzeichnis

- [Kie 97] Kiechle, A.
Reduzierung von Reststoffen beim Einsatz von Kühlschmierstoffen in der Automobilindustrie. Umwelt Technologie Aktuell (UTA), 1997, Heft 5, S. 383 - 388
- [KF 92] Kiechle, A; Freiler, Emissionsarme Schmierstoffe. Abschlußbericht des BMFT- Projektes 01 ZH 8821/5, Projektteil 1, 1992
- [KB 98] Klocke, F.; Beck, T.
Gut geschmiert statt schlecht gekühlt. Werkstattstechnik 88 (1998), Heft 9/10, S. 400 - 404
- [JW 99] Janssen, R.; Walter, A.
Neue Trends in der Zerspantechnologie unter dem Aspekt des Kühlschmierstoffeinsatzes. NGS-Workshop „Neue Trends in der Zerspantechnik“, Hannover 28.04.1999
- [BW 96] Brinksmeier, B; Walter, A.
Einsatzbeispiele für Minimalmengenkühschmierung und Trockenbearbeitung. Ostfildern 1996, S. 23 - 43, Proc. Tribology-Solving Friction and Wear Problems. Technische Akademie Esslingen. 09. - 11.01.1996.
- [Wil 98] Wilk, C.
Unbeschwerter Blick nach vorn. Fertigung, Oktober 1998, S. 66 - 69
- [Göt 98] Götz, W.
Nur in Teilbereichen ist ein Verzicht auf Kühlschmierstoffe möglich. Industrieanzeiger 120 (1998), Heft 9, S. 26 - 29
- [Zie 96] Zielasko, W.
Werkzeugstandzeiten bei unterschiedlichen Kühlschmierstoff-Typen und Bearbeitungstechniken, Schriftenreihe „Praxis-Forum“, 1996, (10) Umwelttechnik, S. 254 - 273, Berlin. Technik und Kommunikationsverlag 1996
- [Tha 98] Thamke, D.
Ermittlung der Kosten für einen Wirtschaftlichkeitsvergleich unterschiedlicher Kühlschmierstoff konzepte; NGS-Workshop Kühlschmierstoffe, Hannover, 23.04.1998
- [Tha 98] Thamke, D.
Irgendwie und sowieso - Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum Kühlschmierstoffeinsatz, Fertigung, Heft Juni 1998, S. 82 - 83
- [KG 96] Klocke, F; Gerschwiler, K.
Trockenbearbeitung-Grundlagen,Grenzen,Perspektiven.VDI-Seminar „Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung-Herausforderung an die Fertigungstechnik“, Düsseldorf, 13.02.1996, VDI-Bericht 1240, VDI-Verlag 1996, S. 1-43, ISBN 3-18-091240-5
- [DS 99] Dörr, J.; Sahn, A.
Erfahrungen mit Minimalmengen-Schmierung. Werkstatt und Betrieb 132 (1999), Heft 4, S. 38-49
- [KS 98] Klaue, S.; Schulz, J.
Auch bei der Minimalmengenschmierung gilt: Es kommt immer auf die ganzheitliche Betrachtung an. Werkstattstechnik 88 (1998), Heft 9/10, S. 397 - 399
- [Wec95] Weck, M.; Groth, A.
Entwicklung einer dauergeschmierten CNC-Werkzeugmaschine, Band 1 und 2 (Vorphase eines gleichnamigen Projektes), Laboratorium für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre (WZL) der RWTH Aachen, 1995
- [WT 98] Weinert, K.; Thamke, D.
Wirtschaftlichkeit der Trockenbearbeitung. Werkstattstechnik 88 (1998), Heft 9/10, S. 392 - 396
- [WS 98] Weinert, K.; Schulte, K.
Minimalmengenkühschmierung in der Praxis. Werkstattstechnik 88 (1998), Heft 9/10, S. 387 - 391
- [NN 99] N.N.
Minimalmengenschmierung senkt Kosten beim Spanen. Maschinenmarkt 105 (1999), Heft 7, S. 40-43
- [PB 98] Petuelli, P.; Blum, G.
Gewindefurchen ohne Kühlschmierstoff. Abschlußbericht zum Forschungsprojekt, Paderborn; Soest: Univ., GH, Abt. Soest 1998
- [Kie 96] Kiechle, A.
Kostenbetrachtungen beim Einsatz von Kühlschmierstoffen; Praxis-Forum-Tagung 1996; 10 Umwelttechnik, Berlin: Technik und Kommunikationsverlag 1996

- [Spe 96] Specht, H.
Minimalmengenschmierung - eine abfallarme und kostengünstige Alternative zum Kühlschmierstoff. VDI-Bericht 1996
- [Mül 97] Müller, J.:
Luftgrenzwert von Kühlschmierstoffen am Arbeitsplatz - aktueller Stand der Gesetzgebung. Schriftenreihe Praxis-Forum 16/98: Tagung „Umwelttechnik „Kühlschmierstoffe im Wandel“ ; Bad Nauheim 1998
- [Wei 99] Weinert, K.
Trockenbearbeitung und Minimalmengen Kühlschmierung: Einsatz in der spanenden Fertigungstechnik. Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hongkong; London; Mailand; Paris; Singapur, Tokio: Springer 1999, ISBN 3-540-64793-7
- [GLS 98] Grey, D.; Löhner, L.; Steltner, W.
Gestaltung eines wirtschaftlichen und umweltverträglichen Kühlschmierstoffmanagements in Maschinenbaubetrieben. Abschlußbericht, Rostock 1998
- [KB 95] Karpuschewski, B.; Brunner, G.
Potentielle Grenzen von Minimalmengenschmierung und Trockenbearbeitung beim Schleifen. Institut für Fertigungstechnik und spanende Werkzeugmaschinen (IFW), Universität Hannover, 1995
- [KF 97] Kress, D.; Fleischer, R.
Feinbohren und Reiben mit Minimalmengenschmierung. MAPAL, Aalen 1997
- [Mü 96] Müller, P.
Bohren und Gewindebohren ohne Kühlschmiermittel.
Werkzeuge 1996, Heft 12, S. 28 - 30
- [PE 96] Popke, H.; Emmer, Th.; Semisch, Chr.; Specht, H.
Umweltschonende Zerspantechnik. Werkzeuge 1996, Heft 7, S. 52 - 55
- [KEZ 98] Klocke, F.; Eisenblätter, G.; Zinkam, V.
Verzicht auf Kühlschmierstoff aufgrund angepasster Prozesse. Werkstattstechnik 88 (1998), Heft 9/10, S. 379 - 386
- [NN 97] Weniger ist oft mehr-Minimalmengenschmierung auf dem Vormarsch
Fertigung 1997, Heft 1/2, S. 20 - 21
- [FSS 99] Feinauer, A.; Schirsch, R.; Stoll, A.
Kupplungsgehäuse prozesssicher trocken bearbeitet. Werkstatt und Betrieb 132 (1999), Heft 5, S. 82 - 84
- [KK 99] Klocke, F.; Kobialka, C.
Trockene Zahnradbearbeitung - eine Abschätzung von Potential und Risiko.
VDI-Zeitschrift, 141 (1999), Heft 6, S. 44 - 47
- [DFK 96] Döpfer, W.; Fabry, J., Kammermeier, D.
Umweltverträgliche Zerspanung aus der Sicht eines Werkzeugherstellers. VDI- Seminar „Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung-Herausforderung an die Fertigungstechnik“, Düsseldorf, 13.02.1996, VDI-Bericht 1240, VDI-Verlag 1996, ISBN 3-18-091240-5, S. 67 - 91
- [Fre 96] Freitag, R.
Umweltverträgliche Kühlschmierstoff-Systeme. VDI-Seminar „Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung-Herausforderung an die Fertigungstechnik“, Düsseldorf, 13.02.1996, VDI-Bericht 1240, VDI-Verlag 1996, S. 191 -207, ISBN 3-18-091240-5
- [KG 96] Klocke, F; Gerschwiler, K.
Trockenbearbeitung-Grundlagen,Grenzen, Perspektiven.VDI-Seminar „Auf dem Weg zur Trockenbearbeitung-Herausforderung an die Fertigungstechnik“, Düsseldorf, 13.02.1996, VDI-Bericht 1240, VDI-Verlag 1996, S. 1-43, ISBN 3-18-091240-5
- [MF 97] Mang, T.; Freiler, C.
Trends bei der Kühlschmierung , Spanende Fertigung. 2. Ausgabe, Vulkan-Verlag Essen 1997, S. 620 - 635, ISBN 3-8027-2916-1
- [WG 95] Weck, M.; Groth, A.
Entwicklung einer dauergeschmierten CNC-Werkzeugmaschine (Studie zur Projektvorbereitung), RWTH Aachen, Lehrstuhl für Werkzeugmaschinen, Aachen 1995
- [NN 98] Erklärung der Unternehmen
- Siemens AG, KWU Berlin,
- Wismarer Propeller- und Maschinenbau GmbH,
- Rostocker Maschinenbau und Technologie GmbH & Co. KG,
- Dieselmotorenwerk Rostock GmbH
zum Nutzeffekt des vom ZEUT Wismar e.V., Projektgruppe Rostock, erarbeiteten KSS-Managers

- [VDW96] Altersstruktur des industriellen Maschinenparks in Deutschland 94/95; Verein Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken e.V. (VDW); Frankfurt 1996
- [BW97] Bundesamt für Wirtschaft Eschborn: Mineralöl-daten 1997
- [TM99] Thamke, D.; Schirsch, R.
Wirtschaftlichkeit der Trockenbearbeitung. Düsseldorf, 31.03.1998, VDI-Bericht 1375, VDI-Verlag 1998, ISBN 3-18-091375-4
- [TOM99] Toussaint, D.; Michler, T.
Ökologische und ökonomische Aspekte der Trockenbearbeitung-Fallstudie, Düsseldorf 09.03.1999, VDI-Bericht 1458, VDI-Verlag 1999, ISBN 3-18-091458-0
- [VDI00] Trockenbearbeitung: Drehen, Fräsen, Bohren: Tagung Dortmund, 29./30. März 2000, Düsseldorf VDI-Verlag 2000. VDI-Berichte. 1532, ISBN 3-18-091532-3
- [VDI99] Praxis der Trockenbearbeitung: Tagung Karlsruhe, 8./9.März 1999, VDI-Verlag 1999. VDI-Berichte. 1548, ISBN 3-18-091458-0
- [SZ01] Optimierte Kühlschmierstoffdüsen für das Hochleistungsschleifen. VDI-Zeitschrift 143 (2001), Nr. 4 April, S. 74 - 7
- [Sch 00] Schirsch, S.
Neue Daten bezüglich eines Kostenvergleiches zwischen wassergemischten und nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffen in der Praxis. 10. Deutsches Kühlschmierstoff-Forum, Bad Nauheim 4./5. Dezember 2000
- [Pet02] Petuelli, G. (Hrsg.)
Simulation des Kühlschmierstoffkreislaufs zur Optimierung einer umwelt- und ressourcenschonenden Produktionstechnik, Berichte des Wrangell-Instituts für Umweltgerechte Produktionsautomatisierung, Bd 8, Shaker Verlag 2002, ISBN 3-8322-0120-3.
- [PP03a] Petuelli, G.; Puschmann, J.
SimCool – Simulation of Pollution Caused by coolant in Manufacturing Processes-, ange-meldet zur: IASTED Intern. Conf. Applied Simulation and Modeling, Sept. 2003, Spain.
- [PP03b] Petuelli, G.; Puschmann, J.
Integration von Validierung und Simulation zum Mindern von kühl-schmierstoffbedingten Umweltbelastungen, ASIM 2003, Magdeburg.
- [PH03a] Petuelli, G.; Heinemann, R.
HSC-Tieflochbohren mit Spiralbohrern, VDI-Z-Special Werkzeuge März 2003, S.16-18.
- [PH03b] Petuelli, G.; Heinemann, R.
Minimal geschmiertes Bohren bis 10XD, WB 3, Werkstatt und Betrieb 3 / 2003, S.56-58.
- [PH03c] Petuelli, G.; Heinemann, R.
Fast trocken in große Tiefen, HSC-Tieflochbohren mit Spiralbohrern und Minimalmengenschmiertechnik, wt Werkstattstechnik online, Jahrgang 93(2003) H. ½, S.97-101.
- [PH03d] Petuelli, G.; Heinemann, R.
Eine löchrige Herausforderung – Gut geschmiert in große Tiefen, MAV maschinen anlagen verfahren, 1-2 Februar 2003.
- [PMP02] Petuelli, G.; Müller, U.; Puschmann, J.
SimKSS – Simulation der Emission in Kühlschmierstoffkreisläufen, Proc. zum 8. Symposium Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: Neuere Werkzeuge und Anwendungen aus der Praxis, ISBN 3-930185-21-0, S 99-119.
- [PB99] Petuelli, G.; Blum, G.
Minimalmengenschmierung beim Bohren und Gewindebohren im Messing. Abschlußbericht zum DBU-Forschungsprojekt, DBU-Az 09416, 1999.
- [PB98] Petuelli, G.; Blum, G.
Gewindefurchen ohne Kühlschmierstoff, Abschlußbericht zum BMB+F-Forschungsprojekt, AiF-FKZ 1706996, 1998.
- [Pet00] Petuelli, G.
Kühlschmierstoffreduktion durch Minimalmengenschmierung beim Bohren und Gewindebohren in Messing, Tagungsband zu „Neue Wege zum integrierten Arbeits- und Umweltschutz im Betrieb“, 30./31. März 2000 DASA Dortmund, Schriftenreihe der DBU.
- [PM00] Petuelli, G.; Müller, U.
Simulationsgestütztes Mindern der KSS-bedingten Umweltbelastungen. Proc. zum 7. Symposium Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: Neuere Werkzeuge und Anwendungen aus der Praxis, 2000, ISBN 3-930185-18-0, S. 187-199.