Hessisches Ministerium für Wirtschaft,
Energie, Verkehr und Landesentwicklung

www.hessen-umwelttech.de

HESSEN

Praxisleitfaden:
Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse



An Hessen führt kein Weg vorbei.

Hessen Umwelttech

Praxisleitfaden:

Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse

**Band 17 der Schriftenreihe
der Technologielinie Hessen-Umwelttech**

Impressum

Praxisleitfaden:
Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse

Eine Veröffentlichung im Rahmen der Schriftenreihe der
Technologielinie Hessen-Umwelttech des Hessischen Ministeriums für
Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung

Herausgeber:
Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinerallee 9
65189 Wiesbaden
Telefon 0611/95017-8636, Fax -8620
www.htai.de

Erstellt von:
Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek, Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrom-management und Ressourcenwirtschaft (SUR), TU Darmstadt
Prof. Dr. Ing. Eberhard Abele, Institut Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW), TU Darmstadt
Alessio Campitelli M.Sc., Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, TU Darmstadt
Beatrix Becker M.Sc., Institut IWAR, Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft, TU Darmstadt
Mihir Joshi M.Sc., Institut Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen, TU Darmstadt

Redaktion
Dagmar Dittrich, Dr. Felix Kaup
Hessen Trade & Invest GmbH, Technologielinie Hessen-Umwelttech
www.hessen-umwelttech.de

© Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung
Kaiser-Friedrich-Ring 75
65185 Wiesbaden
www.wirtschaft.hessen.de

Vervielfältigung und Nachdruck – auch auszugsweise – nur nach vorheriger schriftlicher Genehmigung.

Gestaltung: Piva & Piva, Darmstadt
Druck: Druckerei Lokay e. K., Reinheim



Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit und Genauigkeit der Angaben sowie die Beachtung privater Rechte Dritter.

April 2016

Inhalt

Vorwort 1

1. Einleitung 2

1.1 Wie Sie als Unternehmen diesen Leitfaden nutzen können 2
1.2 Ausgangssituation: Ressourceneffizienz im Unternehmen 3
1.3 Modellprojekt – TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion 4

2. Was ist Ressourceneffizienz und wie kann sie in der Zerspanung umgesetzt werden? 5

2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienz 5
2.2 Bewertung von Ressourceneffizienz 6
2.3 Erfassung und Bewertung „natürlicher Ressourcen" 8
2.3.1 Überblick zum Vorgehen im vorliegenden Leitfaden 8
2.3.2 Systemgrenzen 8
2.3.3 Bewertung auf der betrieblichen Ebene 9
2.3.4 Bewertung auf der gesellschaftlichen Ebene 9
2.4 Zerspanungsprozesse: Stand der Technik 10
2.4.1 Stand der Technik: Von der Überflutungskühlung zur Minimalmengenschmierung 11
2.4.2 Versuchsanlagen und Werkzeuge zur Ermittlung von Kenngrößen für den Stand der Technik 14
2.5 Potenziale der Ressourceneffizienz in der Zerspanung 15

3. Vorgehensweise zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Unternehmen 17

3.1 „Plan": Beschreibung des Ist-Zustands und Einschätzung von Potenzialen 18
3.2 „Do": Entwicklung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz 19
3.3 „Check": Bewertung der Maßnahmen 20
3.4 „Act": Entscheidung, Umsetzung und Erfolgskontrolle 20

4. Werkzeugkasten der betrieblichen Ressourceneffizienz 21

4.1 Referenzprozesse Bohren und Fräsen 21
4.2 Kenngrößen für den Ressourcenverbrauch der Referenzprozesse nach dem Stand der Technik. 23
4.3 Ermittlungen von prozessbezogenen Kenngrößen im Betrieb 26
4.3.1 Kenngröße „Energie“ 27
4.3.2 Kenngröße „Schmierstoffe: KSS-Verbrauch“ 28
4.3.3 Kenngröße „Schmierstoffe: MSS-Verbrauch“ 31
4.3.4 Kenngröße „sonstige Betriebsstoffe“ 31
4.3.5 Berechnung des Ressourceneffizienzpotenzials 31
4.4 Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz 32
4.4.1 Betriebliche Optimierung KSS (MK1 bis MK3) 32
4.4.2 Umstellung von KSS auf MMS (MM1 und MM2). 34
4.4.3 Betriebliche Optimierung MMS (MM3). 35
4.4.4 Schmierstoffunabhängige Maßnahmen (MU1 und MU2) 35
4.5 Kostenrechnung 36
4.6 Indikatoren für natürliche Ressourcen 37
4.7 Aspekte der Praxistauglichkeit 42
4.7.1 Arbeits- und Gesundheitsschutz 42
4.7.2 Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld 43
4.8 Bewertungsmatrix: Beispiel Umstellung von KSS auf MMS (Maßnahme MM1/R6) 43
4.8.1 Bewertung der Kosten. 44
4.8.2 Bewertung der natürlichen Ressourcen. 45
4.8.3 Bewertung der praxistauglichen Aspekte 45
4.9 Vorstellung von Fördermöglichkeiten zur Umsetzung von Maßnahmen der Ressourceneffizienz. 48

5. Schulungskonzept und Softwaretool 49

5.1 Konzept der Schulung „TU Darmstadt Lernfabrik“ 49
5.3 Softwaretool „ZerRess“ 49

6. Ansprechpartner 50

Die Technologielinie Hessen-Umwelttech und Hessen-PIUS 51

Schriftenreihe 54

Vorwort



Bei Unternehmen der Metallindustrie entfallen über 55 Prozent der Kosten auf Rohstoffe und Materialien. Diese Zahl macht deutlich, dass Ressourceneffizienz nicht nur die Umwelt schont, sondern sich auch in der Bilanz rechnet. Wirksame Ansatzpunkte dafür hat das mit Landes- und EU-Mitteln geförderte Projekt „Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion" an der TU Darmstadt ermittelt. Aus der Analyse von Zerspanungsprozessen – die in der Metallbearbeitung eine Schlüsselrolle spielen – wurden Maßnahmen zur Optimierung von Fertigungsabläufen entwickelt. So zeigte sich zum Beispiel, dass man beim Fräsen von Aluminium mit weniger als einem Prozent der üblichen Schmierstoffe auskommen und verschmutzte Altemulsionen sowie Filter vollständig vermeiden kann – und das alles zu 40 Prozent der Kosten herkömmlicher Frästechniken.

Dieser Praxisleitfaden soll Unternehmen als Anleitung dienen, Kenngrößen für eigene Prozesse zu ermitteln und diese mit den Referenzprozessen der Lernfabrik zu vergleichen. Daraus ergeben sich konkrete Einsparpotenziale, zu denen der Leitfaden Handlungsmöglichkeiten aufzeigt. Natürlich lässt sich die im Praxisleitfaden vorgestellte Methode in die in vielen Unternehmen üblichen Energie- und Umweltmanagementsysteme einbeziehen.

Ich wünsche Ihnen viele neue Anregungen für die Praxis.



Tarek Al-Wazir
Hessischer Minister für Wirtschaft, Energie,
Verkehr und Landesentwicklung

1. Einleitung

1.1 Wie Sie als Unternehmen diesen Leitfaden nutzen können

Dieser Leitfaden richtet sich an Unternehmen im Bereich der spanenden Bearbeitung, welche die Bearbeitungsverfahren Bohren und Fräsen anwenden und das Ziel haben, ihren Ressourcenverbrauch zu minimieren beziehungsweise zu ermitteln, ob bei den eigenen Bearbeitungsprozessen Potenziale einer Verminderung bestehen. Unter Ressourcen werden im Rahmen dieses Leitfadens insbesondere Rohstoffe und Materialien wie Betriebsstoffe verstanden. Dieser Material- und Rohstoffverbrauch ist gerade in der Metallindustrie ein wesentlicher Kostenfaktor: Über 55 Prozent[1] der Kosten von Unternehmen dieser Branche entfallen auf Rohstoffe und Materialien, wie beispielsweise Werkstücke, Betriebs- und Hilfsstoffe. Auf der anderen Seite belastet der Verbrauch von Rohstoffen und Materialien auch die natürliche Umwelt, und der Zugang zu Rohstoffen ist zunehmend internationaler Konfliktstoff. Aus diesen Gründen hat auch die deutsche Politik dieses Thema im Blickfeld, und die gesamtwirtschaftliche Verringerung des Rohstoffverbrauchs ist als Teilziel der deutschen Nachhaltigkeitspolitik definiert.

Im Bereich der spanenden Bearbeitung entfällt der größte Verbrauch an Materialien auf die Kühlschmiermittel. Diese stehen daher im Mittelpunkt dieses Leitfadens. Die Perspektive der Ressourceneffizienz geht aber über den unmittelbaren Verbrauch an Kühlschmierstoffen hinaus: Zum einen haben Prozesse der spanenden Bearbeitung einen erheblichen Energieverbrauch, der mittelbar ebenfalls zum Verbrauch energetischer und anderer Ressourcen führt. Zum anderen kann eine Veränderung von Prozessen im eigenen Unternehmen den Ressourcenverbrauch vorgelagerter oder nachgelagerter Prozesse, auch bei Lieferanten oder Abnehmern, beeinflussen. Im Sinne einer gesamtgesellschaftlichen Steigerung der Ressourceneffizienz müssen auch solche Effekte erfasst werden. Der vorliegende Leitfaden bietet Ihnen Informationen, Kenngrößen und Vorgehensweisen, mit denen Sie unter Berücksichtigung der genannten Aspekte die Ressourceneffizienz Ihrer spanenden Bearbeitungsverfahren im Sinne der Cleaner Production Strategie[2] erhöhen können. Die dabei verwendeten Vorgehensweisen und Konzepte sind darüber hinaus auch dazu geeignet, in Energiekonzepte nach DIN ISO 16247 beziehungsweise Energiemanagementsysteme nach ISO 50001 integriert zu werden. Zudem können sie für das betriebliche Umweltmanagement, auch im Rahmen von Auditierungen nach EMAS[3] und DIN ISO 14001 oder hinsichtlich des Produktintegrierten Umweltschutzes „PIUS" nach VDI 4075, genutzt werden.

Was ist Cleaner Production?

Cleaner Production ist eine Strategie, welche das Ziel hat, Bearbeitungsprozesse ressourceneffizienter zu gestalten. Alle Bemühungen, die den Ressourcenverbrauch minimieren, den Einsatz Erneuerbarer Energien fördern und eine Vermeidung der Arbeits- und Umweltrisiken von Bearbeitungsprozessen hervorrufen, können hierunter gezählt werden.[2]

weiterführende Literatur:
Fresner et al. (2014): Ressourceneffizienz in der Produktion. Kosten senken durch Cleaner Production. 2. Auflage. Symposion. Düsseldorf.

[1] *Abhängig von der Unternehmensgröße (Daten aus 2012). Statistisches Bundesamt: Produzierendes Gewerbe. Kostenstruktur der Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Fachserie 4, Reihe 4.3. Wiesbaden. 2014.*

[2] *Fresner et al.: Ressourceneffizienz in der Produktion. Kosten senken durch Cleaner Produktion. 2. Auflage. Symposion. Düsseldorf. 2014.*

[3] *Eco Management und Audit Scheme (EMAS) (www.emas.de).*

1.2 Ausgangssituation: Ressourceneffizienz im Unternehmen

Effizienz in der Produktion ist im Zielsystem eines jeden Unternehmens verankert, denn der effiziente Umgang mit Ressourcen spart Kosten. Häufig ist es in der Praxis aber nicht einfach zu erkennen, ob sich bestimmte Maßnahmen für die eigenen Produktionsprozesse eignen, wie hoch tatsächlich die eingesparten Rohstoffe und Materialien sind und ob Kostenersparnisse vorliegen. Darüber hinaus stehen Unternehmen einer Vielzahl von Teilaufgaben gegenüber: Es geht nicht nur um die Rohstoffe und Materialien, sondern auch die Energieeffizienz soll erhöht, der Wasserverbrauch verringert und im Rahmen des betrieblichen Umweltmanagements sollen generell Umweltbelastungen vermindert werden. Dem gegenüber stehen noch Aspekte in Bezug auf den Arbeits- und Gesundheitsschutz, die durch die Umsetzung von Maßnahmen nicht vernachlässigt werden dürfen.

Angesichts dieser Vielzahl von Teilzielen können Zielkonflikte nicht ausgeschlossen werden (siehe auch Abbildung 1).

Unter Berücksichtigung dieser Ausgangssituation von Unternehmen unterstützt Sie dieser Leitfaden in einer ganzheitlichen Betrachtung der Ressourceneffizienz. Er liefert Hilfestellung zu Vorgehensweisen, mit denen Sie einerseits prozessbezogene Kenngrößen zur Entscheidungsunterstützung generieren, andererseits aber auch eine gesamtheitliche Bewertung der Ressourceneffizienz durch Betrachtung weiterer unternehmensrelevanter Aspekte wie Kosten und Praxistauglichkeit vornehmen können. Zudem können Sie Synergien mit Energie- und Umweltmanagementsystemen nutzen.

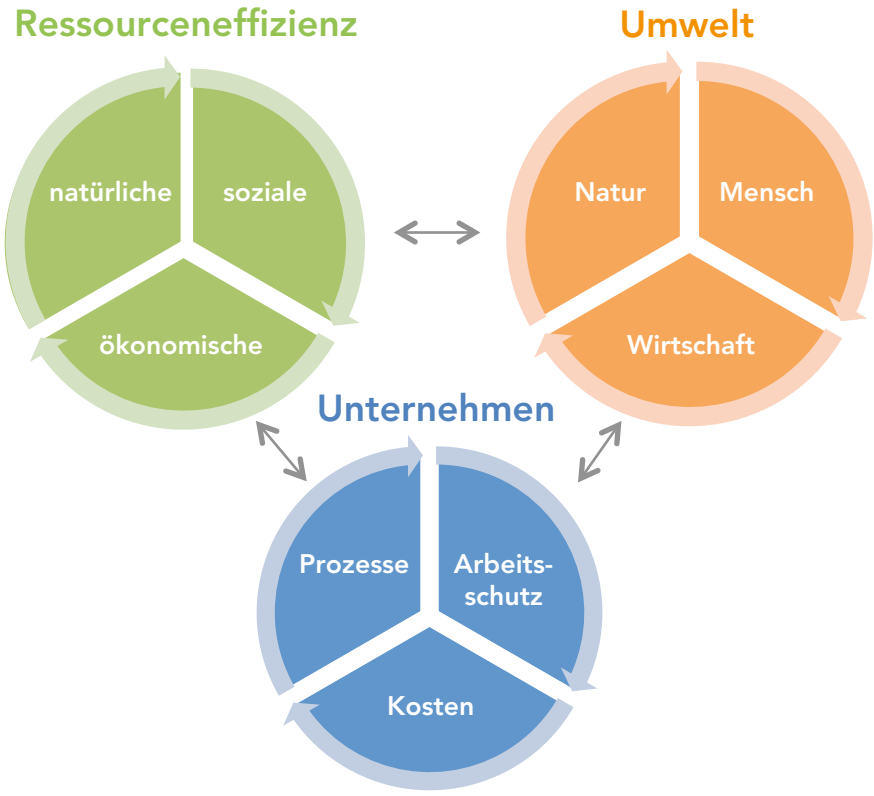


Abbildung 1: Wirtschaftliches Handeln im Spannungsfeld von Ressourceneffizienz und Umwelt

1.3 Modellprojekt – TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion

Das Modellprojekt TU Darmstadt Lernfabrik: Ressourceneffizienz in der Produktion – Pilotprojekt Zerspanungsprozesse wurde aus Mitteln des Landes Hessen gefördert und von der Europäischen Union kofinanziert. Die Durchführung des Projektes lag bei der TU Darmstadt in Zusammenarbeit des Fachgebiets Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (SuR) am Institut IWAR und des Instituts für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) sowie unter Mitwirkung von Partnern aus der Industrie. Unterstützt wurde das Modellprojekt durch einen Projektbeirat, der mit Vertretern aus Unternehmensverbänden, Gewerkschaften, Berufsgenossenschaften, Wissenschaft und dem Umweltbundesamt besetzt war. In diesem Modellprojekt konnten daher die unterschiedlichen Kompetenzen der Beteiligten einfließen:

Förderung des Modellprojekts

Dieses Projekt wurde aus Mitteln des Landes Hessen gefördert, kofinanziert aus Mitteln der Europäischen Union (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung – EFRE).

EUROPÄISCHE UNION: Investition in Ihre Zukunft – Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.

HESSEN

- Auf den experimentellen Anlagen des Instituts PTW wurden für unterschiedliche Prozesse der spanenden Bearbeitung – sogenannte Referenzprozesse – Kenngrößen des Verbrauchs von Rohstoffen und Energie ermittelt, mit denen der Stand der Technik beschrieben wird. Auf dieser Grundlage wurde eine Anleitung erarbeitet, wie Unternehmen der spanenden Bearbeitung Kenngrößen der eigenen Prozesse im Betrieb aufnehmen können, um sie mit den Referenzprozessen zu vergleichen.
- Unter Nutzung der Expertise der beteiligten Partner aus Wissenschaft und Praxis wurden Maßnahmen entwickelt, mit denen die Ressourceneffizienz in der spanenden Bearbeitung verbessert werden kann. Diese Maßnahmen sind anhand von Kenngrößen beschrieben. Insbesondere wurden die Potenziale der Minimalmengenschmierung (MMS) und die Randbedingungen einer Umstellung unter Berücksichtigung praxisnaher Erfahrungen herausgearbeitet.
- In Zusammenführung technologischer Expertise des Instituts PTW und mit der Erfahrung des Fachgebiets SuR hinsichtlich der Entwicklung von Indikatoren wurde eine Methode ausgearbeitet, wie Unternehmen anhand der im eigenen Betrieb bestimmten prozessbezogenen Kenngrößen die Eignung von Maßnahmen unter ökonomischen, ökologischen und praktischen Kriterien bewerten können. Die Ergebnisse dieser Bewertung können auch für Energie- und Umweltmanagementsysteme verwendet werden.
- Auf Basis der Erfahrungen der TU Darmstadt Lernfabrik wurde eine Schulung konzipiert und ein Softwaretool „ZerRess" entwickelt, womit Unternehmen eine Anleitung zur umfassenden Ermittlung von Ressourcen- und Energieeffizienz spanender Verfahren erhalten können.

Die im Modellprojekt durchgeführten Arbeitsschritte sind im Überblick in Abbildung 2 dargestellt.

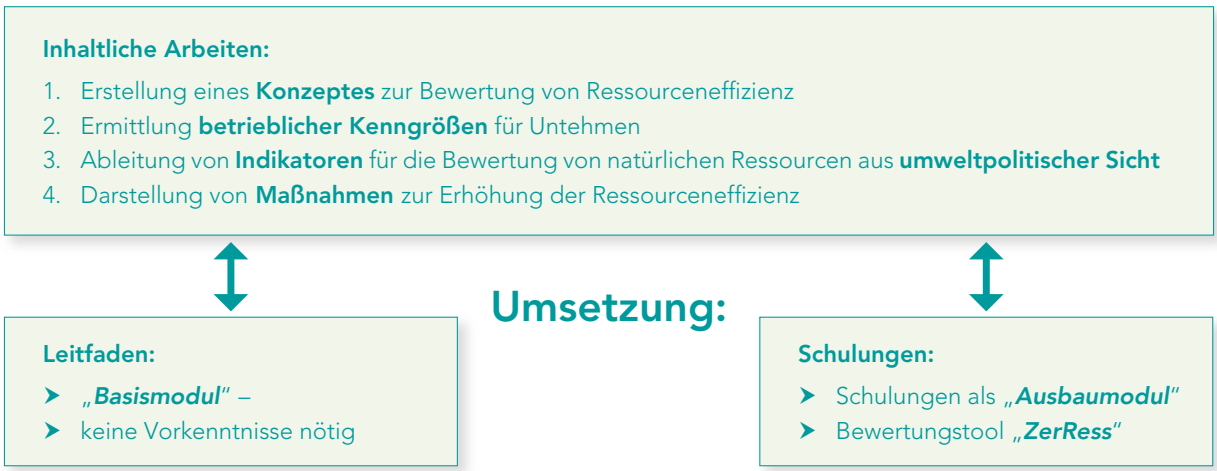


Abbildung 2: Darstellung der Arbeitsschritte im Modellprojekt „LernRess"

2. Was ist Ressourceneffizienz und wie kann sie in der Zerspanung umgesetzt werden?

2.1 Ressourcen und Ressourceneffizienz

Was sind Ressourcen?

Aus Sicht eines Unternehmens können als Ressourcen Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal, Know-how und Zeit angesehen werden. Die deutsche und europäische Umweltpolitik interpretiert den Begriff Ressource als „natürliche Ressource". Diese wird nach der Definition des Umweltbundesamts beschrieben als:

„Ressource, die Bestandteil der Natur ist. Hierzu zählen erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, physischer Raum (Fläche), Umweltmedien (Wasser, Boden, Luft), strömende Ressourcen (z.B. Erdwärme, Wind-, Gezeiten- und Sonnenenergie) sowie die Biodiversität. Es ist hierbei unwesentlich, ob die Ressourcen als Quellen für die Herstellung von Produkten oder als Senken zur Aufnahme von Emissionen (Wasser, Boden, Luft) dienen."[4] *(Siehe Abbildung 3)*

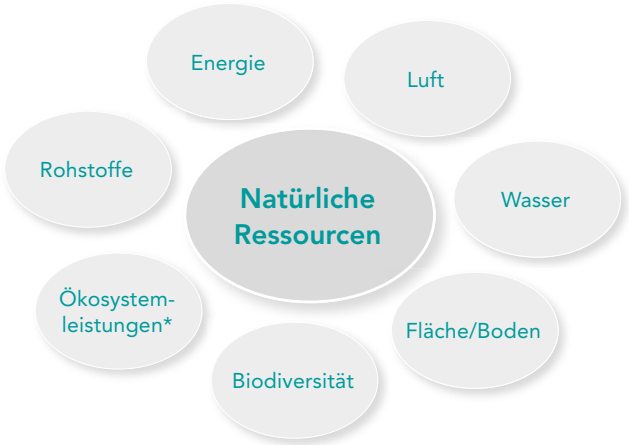


Abbildung 3: Natürliche Ressourcen nach der Definition des Umweltbundesamts und in Anlehnung an den Entwurf der VDI Richtlinie 4800[5]

*) *Ökosystemleistungen: Darunter werden Leistungen der Umwelt verstanden, die zum Beispiel für saubere Luft oder fruchtbare Böden sorgen.*[6]

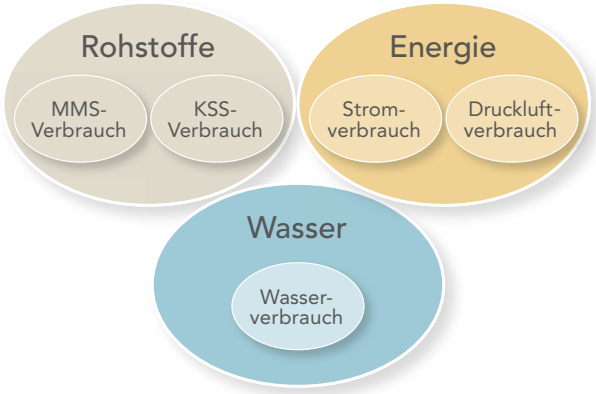


Abbildung 4: Natürliche Ressourcen in Zerspanungsprozessen auf betrieblicher Ebene

Auf Grundlage dieser Definition kann festgehalten werden, dass die Unternehmen bei den zerspanenden Prozessen unmittelbar auf die natürlichen Ressourcen Rohstoffe, Energie und Wasser Einfluss nehmen können (siehe Abbildung 4). Mittelbar könnten in vor- und nachgelagerten Prozessen aber auch andere Umweltaspekte beeinflusst werden. Darüber hinaus sind aus der betrieblichen Sicht selbstverständlich auch die sonstigen Ressourcen, insbesondere monetäre Ressourcen, Arbeitszeit und andere von Bedeutung. Im vorliegenden Leitfaden wurde daher eine Bewertungsmatrix entwickelt, die unterschiedliche Aspekte der Ressourceneffizienz betrachtet.

[4] *Umweltbundesamt: Glossar zum Ressourcenschutz. Dessau, 2012.*
[5] *VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. (Entwurf). Juli 2014.*
[6] *BAFU: Indikatoren für Ökosystemleistungen. Systematik, Methodik und Umsetzungsempfehlungen für eine wohlfahrtsbezogene Umweltberichterstattung. Hrsg. Bundesamt für Umwelt (BAFU). Bern. 2011.*

Was ist Ressourceneffizienz?

Unter Ressourceneffizienz wird „[…] das Verhältnis eines bestimmten Nutzens oder Ergebnisses zum dafür nötigen Ressourceneinsatz."[7] verstanden. Somit wird eine Steigerung der Ressourceneffizienz wie folgt erreicht (siehe auch Abbildung 5):

1. durch eine Minderung des Ressourceneinsatzes bei gleichbleibendem Ergebnis

2. durch einen gleichbleibenden Ressourceneinsatz mit verbessertem/erhöhtem Ergebnis

Um Ressourceneffizienz zu quantifizieren, müssen daher Bezugsgrößen definiert werden, die das erreichte Ergebnis oder den Nutzen quantifizieren. Entsprechende Bezugsgrößen[8] werden in diesem Leitfaden spezifisch für Prozesse der spanenden Bearbeitung dargestellt (siehe Kapitel 4.2).

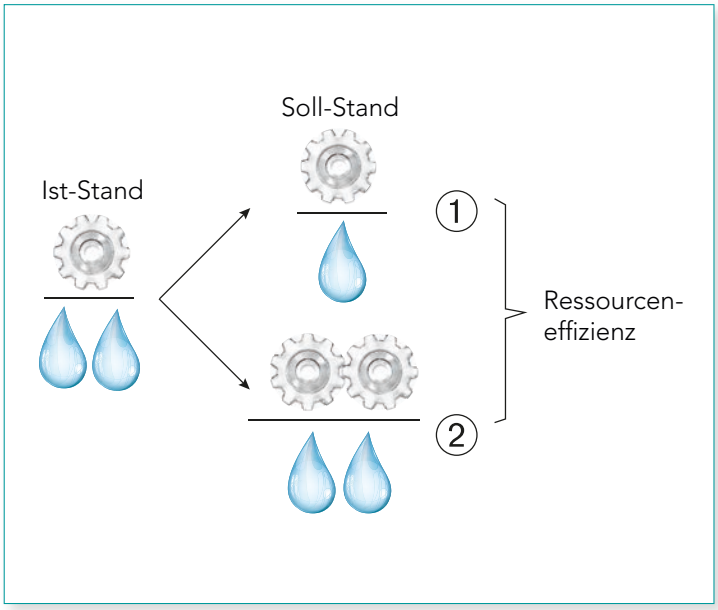


Abbildung 5: Steigerung der Ressourceneffizienz

2.2 Bewertung von Ressourceneffizienz

Das im Projekt LernRess entwickelte Vorgehen zur Bewertung von Ressourceneffizienz trägt der Tatsache Rechnung, dass für Betriebe verschiedene Arten von Ressourcen von Bedeutung sind: Dies sind zum einen Ressourcen im engeren Sinne, das heißt der Verbrauch „natürlicher Ressourcen" (Rohstoffe, Energie etc.), aber auch monetäre Ressourcen und sonstige betriebliche Ressourcen, die für ein Unternehmen relevant sind, wie zum Beispiel die Arbeitssicherheit des Personals.

Der vorliegende Leitfaden bietet ein Vorgehen, um die Veränderungen, die durch betriebliche Maßnahmen erreicht werden können, für die genannten Arten von Ressourcen zu bewerten. Die Bewertung dieser Ressourcen erfolgt durch Ermittlung prozessbezogener Kenngrößen, aus denen quantitative Indikatoren für die Bereiche Kosten, natürliche Ressourcen und Praxistauglichkeit abgeleitet werden. Für viele praxisrelevante Aspekte ist allerdings eine quantitative Bewertung nicht möglich beziehungsweise nicht sinnvoll, da sie hochgradig betriebsspezifisch sein können. Hierfür wird im Leitfaden ein Vorgehen zur qualitativen Bewertung von Veränderungen vorgeschlagen. Für die übersichtliche Zusammenstellung der Auswirkungen potenzieller betrieblicher Maßnahmen im Sinne einer Entscheidungsgrundlage wurde eine Bewertungsmatrix entwickelt, in der alle Kenngrößen, Indikatoren und Aspekte zusammengefasst werden. In Tabelle 1 sehen Sie eine vereinfachte Darstellung der Bewertungsmatrix.

[7] *VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. (Entwurf). Juli 2014.*

[8] *Diese Bezugsgrößen entsprechen der „funktionellen Einheit" eines Prozesses entsprechend der Methodik der Ökobilanz nach DIN EN ISO 14040.*

Bewertungsbereiche												
	Kosten		Natürliche Ressourcen						Praxistauglichkeit			
			Betriebliche Kenngrößen			Gesellschaftliche Indikatoren			Arbeits- & Gesundheitsschutz		Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld	
	Ist / Soll in Euro	Einsparung in Prozent	**Kenngrößen**	Ist / Soll	Einsparung in Prozent	**Indikatoren**	Ist / Soll	Einsparung in Prozent	**Aspekte**	Auswirkungen positiv; neutral; negativ	**Aspekte**	Auswirkungen positiv; neutral; negativ
			Stromverbrauch (kWh)			Energieindikator (kWh)			Luftemissionen		Qualifizierung der Anwender	
			Druckluftverbrauch (Nm^3)			Rohstoffindikator (kg RME)			Lärmemissionen		Einbettung in das Arbeitsumfeld	
			Schmierstoffverbrauch (g)									

Tabelle 1: vereinfachte Darstellung der Bewertungsmatrix (Auszug)

Die ausführliche Matrix finden Sie in Tabelle 22 auf Seite 47. Im nachfolgenden Kapitel wird der Bewertungsbereich der natürlichen Ressourcen näher erläutert, da die Verminderung des Verbrauchs dieser Ressourcen im Fokus dieses Leitfadens steht.

2.3 Erfassung und Bewertung „natürlicher Ressourcen“

2.3.1 Überblick zum Vorgehen im vorliegenden Leitfaden

Die Verringerung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen steht im Mittelpunkt der Nachhaltigkeitspolitik. Vor diesem Hintergrund wurden verschiedene Vorgehensweisen zur Bewertung von Ressourceneffizienz im Sinne natürlicher Ressourcen entwickelt, insbesondere die VDI Richtlinie 4800 Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien[9]. Trotzdem ist die Bewertung von Ressourceneffizienz gerade für den Bereich der natürlichen Ressourcen nicht einfach. Dies liegt zum einen an der sehr breiten Definition der natürlichen Ressourcen, welche Roh- und Betriebsstoffe genauso wie Emissionen in die Umwelt umfasst. Zum anderen können Maßnahmen in einem Betrieb nicht nur direkte Auswirkungen auf den Verbrauch von Ressourcen haben, sondern auch indirekte: So verursacht beispielsweise ein Elektromotor keine direkten Emissionen, die dazu notwendige Stromerzeugung im Kraftwerk aber sehr wohl. Aus diesem Grund wird heute zur Bewertung von Umweltwirkungen meist ein sogenannter Lebenszyklusansatz (vgl. VDI 4800) verwendet. Dies bedeutet, dass alle Wirkungen vor- und nachgelagerter Prozesse in der Prozesskette von der Entnahme von Rohstoffen aus der Natur über alle Prozesse der Herstellung und Nutzung bis hin zur Entsorgung erfasst werden. Das methodische Vorgehen dazu ist die Ökobilanz (Life Cycle Assessment, LCA) nach DIN EN ISO 14040/14044[10]. Ein solcher Lebenszyklusansatz ist in Bezug auf die vollständige Erfassung von Umweltwirkungen unbedingt notwendig, macht jedoch die Bewertung komplexer.

Um die Bewertung der Ressourceneffizienz zu vereinfachen und gleichzeitig auf die für Anwender aus dem Bereich der spanenden Bearbeitung wichtigen Aspekte zu fokussieren, wurde für den vorliegenden Leitfaden ein Vorgehen erarbeitet, das die vorhandenen allgemeinen Ansätze spezifisch auf den Anwendungsbereich der spanenden Bearbeitung überträgt. Die methodischen Grundlagen dieses Vorgehens werden im Folgenden beschrieben. In den späteren praktischen Handlungsanleitungen werden die dafür notwendigen Daten und Informationen generiert (vgl. 4.3), die zur Ermittlung von Indikatoren für natürliche Ressourcen dienen (vgl. 4.6) und am Ende in die Bewertungsmatrix eingetragen werden können.

2.3.2 Systemgrenzen

Die Bewertung der Ressourceneffizienz soll so weit wie möglich zu quantitativen Aussagen führen. Dafür ist es unerlässlich, den Bezugsrahmen zu definieren, in dem entsprechende Daten und Informationen zu ermitteln sind. Im Rahmen von Bewertungsmethoden spricht man hier von der Festlegung von Systemgrenzen. Die Systemgrenzen werden entsprechend der Fragestellung der Bewertung festgelegt. Wie bereits erwähnt, können in Bezug auf die natürlichen Ressourcen zwei Bewertungsebenen unterschieden werden: Für Betriebe ist es in erster Linie wichtig zu wissen, welche Mengen an Ressourcen im Betrieb verbraucht werden und gegebenenfalls eingespart werden können, wie dies kostenmäßig zu bewerten ist und welche praktischen Randbedingungen zu beachten sind. Aus der umweltpolitischen Sicht ist dagegen von Interesse, welche Ressourcen über den gesamten Lebenszyklus verbraucht beziehungsweise eingespart werden. Aus diesem Grund werden im vorliegenden Leitfaden zwei Systemgrenzen zur Erfassung des Ressourcenverbrauchs unterschieden:

- **Betriebliche Systemgrenze:** Diese umfasst den durchgeführten Zerspanungsprozess im Betrieb, sprich das entsprechende Bearbeitungszentrum bildet die Systemgrenze.

- **Erweiterte Systemgrenze im Lebenszyklus:** Diese beinhaltet über den Zerspanungsprozess hinaus auch die dazugehörigen Vorketten, wie die Herstellung von Betriebsstoffen, und Nachketten, wie die Behandlung/Entsorgung der entstehenden Abfälle.

[9] *VDI 4800 Blatt 1: Ressourceneffizienz – Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien. (Entwurf). Juli 2014.*

[10] *DIN EN ISO 14040/14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. 2009.*

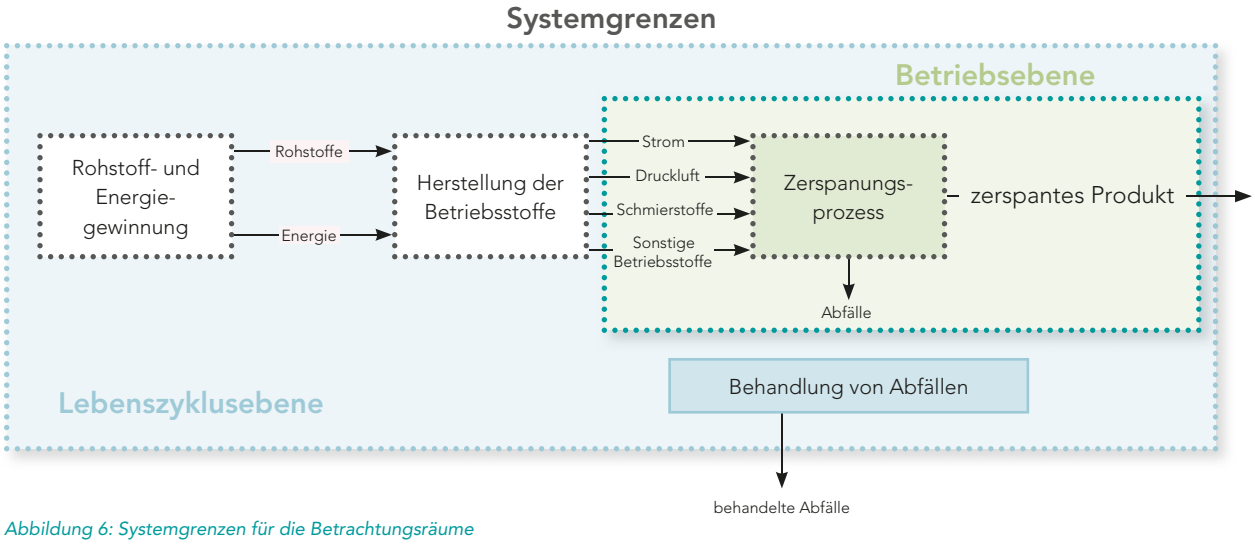


Abbildung 6: Systemgrenzen für die Betrachtungsräume „Betriebsebene" und „Lebenszyklusebene"

2.3.3 Bewertung auf der betrieblichen Ebene

Aus Abbildung 6 geht unmittelbar hervor, welche Ressourcen bei spanenden Bearbeitungsverfahren eine Rolle spielen: Betriebsstoffe, Energie und Abfälle. Auf der betrieblichen Ebene wird ermittelt, in welchem Umfang eine Maßnahme den Verbrauch dieser Ressourcen vermindert. Die genannten Aspekte werden im vorliegenden Leitfaden als quantitative **prozessbezogene Kenngrößen** definiert.

2.3.4 Bewertung auf der gesellschaftlichen Ebene

Ressourceneffizienz ist, wie bereits gesagt, ein Kernziel der Nachhaltigkeitspolitik, für die mehrere gesellschaftliche Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie[11], wie beispielsweise der Primärenergieverbrauch, von Bedeutung sind. Darüber hinaus stehen auch die Zielsetzungen weiterer Politikfelder, wie der Klimapolitik, in Bezug zur Ressourceneffizienz. Für Betriebe, die ein Umweltmanagementsystem haben und Maßnahmen der Ressourceneffizienz dort einordnen wollen, ist daher auch die Frage interessant: Wie stehen die ermittelten prozessbezogenen Kenngrößen in Verbindung mit solchen „gesellschaftlichen" Indikatoren?

Um diese Frage zu beantworten, wurde im Modellprojekt LernRess wie folgt vorgegangen: Die untersuchten Bearbeitungsverfahren wurden in einer Ökobilanz daraufhin analysiert, welche prozessbezogenen Kenngrößen den maßgeblichen Einfluss auf die natürlichen Ressourcen ausüben. Es konnte gezeigt werden, dass dies die Kenngrößen Strom, Druckluft und Schmierstoffe sind (näheres dazu in Kapitel 4.6). Diese Kenngrößen lassen sich aggregieren zu den betrieblichen Indikatoren Energie- und Rohstoffverbrauch, die sich wiederum Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie zuordnen lassen (siehe Abbildung 7).

[11] *Bundesregierung: Perspektiven für Deutschland. Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. 2002.*

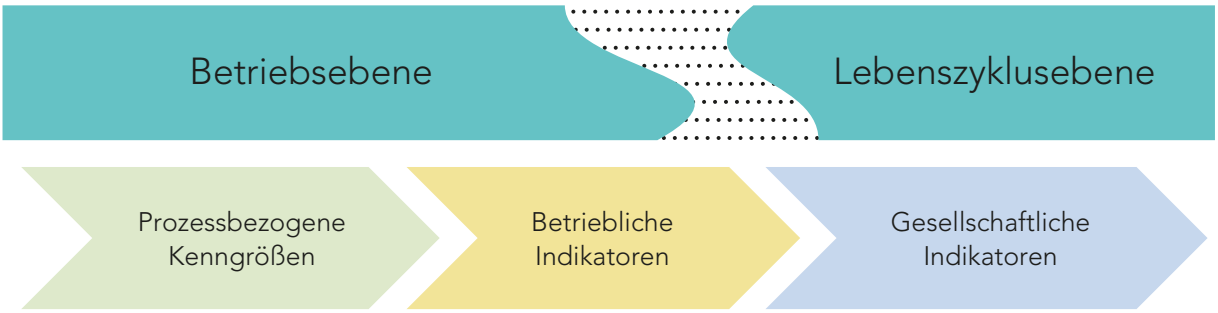


Abbildung 7: Zusammenhang der Kenngrößen und Indikatoren zu den Systemgrenzen

Mit den im Modellprojekt ermittelten Faktoren lassen sich so auf Basis prozessbezogener Kenngrößen Beiträge zu gesellschaftlichen Indikatoren berechnen. Diese können beispielsweise für die Dokumentation der Verbesserung der Umweltleistung eines Betriebes im Rahmen von Umweltmanagementsystemen verwendet werden.

2.4 Zerspanungsprozesse: Stand der Technik und Aufbau einer Versuchsanlage

Spanende Fertigungsverfahren nehmen im Bereich der Fertigungstechnik eine Schlüsselposition ein. Sie umfassen die Bearbeitungsprozesse Bohren, Fräsen und Drehen. Im Jahr 2014 waren nach Angaben des Vereins Deutscher Werkzeugmaschinenfabriken (VDW) circa zwei Drittel aller in Deutschland produzierten Werkzeugmaschinen für die spanende Bearbeitung vorgesehen[12]. Im Bereich der Bearbeitung mit geometrisch bestimmter Schneide zeigt eine vom Institut PTW durchgeführte Anwenderbefragung[13], dass die Bearbeitungsverfahren Bohren und Fräsen mit zusammen 62 Prozent Zeitanteil knapp zwei Drittel aller durchgeführten Zerspanungsprozesse ausmachen (vgl. Abbildung 8). Die Fertigungsverfahren Bohren und Fräsen können in der gleichen Werkzeugmaschine durchgeführt werden. Im Unterschied dazu werden für das Drehen eine andere Achskinematik und deshalb auch eine andere Werkzeugmaschine benötigt. Der vorliegende Leitfaden konzentriert sich daher nur auf die Prozesse Bohren und Fräsen.

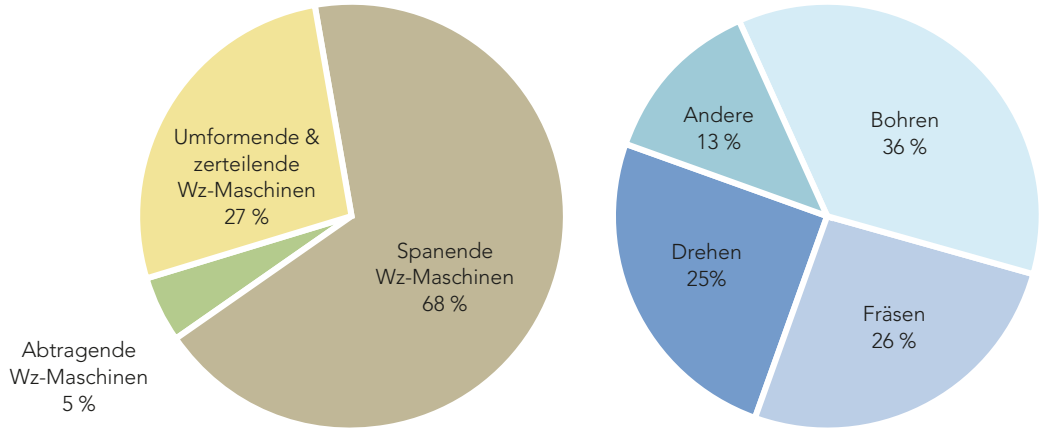


Abbildung 8: Anteile der in Deutschland produzierten Werkzeugmaschinen (links); Zeitanteile der verschiedenen spanenden Bearbeitungsverfahren aus Anwenderbefragung (rechts)[14]

[12] *VDW,VDMA: Deutsche Werkzeugmaschinenindustrie, Daten und Fakten 2014.*

[13] *Elzenheimer et al.: Noch viel ungenutztes Potenzial beim Bohren, Werkstatt und Betrieb, 11/2003, S.55ff.*

[14] *VDW,VDMA: Deutsche Werkzeugmaschinenindustrie. Daten und Fakten 2014.*



Abbildung 9: Wassermischbare KSS

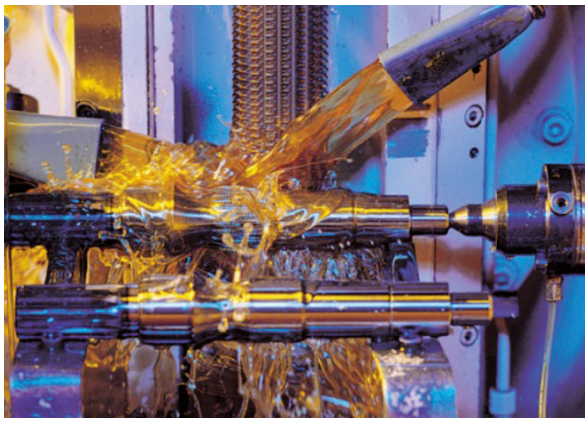


Abbildung 10: Nichtwassermischbare KSS

2.4.1 Stand der Technik: Von der Überflutungskühlung zur Minimalmengenschmierung

Bei der Zerspanung dringt das Werkzeug mit einer bestimmten Relativgeschwindigkeit in den Werkstoff ein. Dabei findet eine Energieübertragung statt, der Werkstoff wird zunächst elastisch, dann plastisch verformt und schließlich findet eine Abtrennung von Werkstoffschichten in Form von Spänen durch das Werkzeug statt[15]. Das Werkzeug ist dabei hohen mechanischen und thermischen Belastungen ausgesetzt. Diese Belastungen spiegeln sich in Form von Verschleiß an den Werkzeugschneiden wider. Um den Werkzeugverschleiß zu verringern und damit die erreichbare Standzeit zu erhöhen, hat sich der Einsatz von Überflutungskühlschmierung bewährt[16]. Nach der VDI Richtlinie 3397[17] erfüllt der **Kühlschmierstoff (KSS)** dabei die Funktionen **Kühlen, Schmieren und Spülen**. Er dient somit der Wärmeabfuhr aus der Schnittstelle Werkzeug-Werkstoff, reduziert die Reibung in der Kontaktzone von Werkzeug und Werkstoff. Zugleich gewährleistet er den Abtransport der Späne aus der Bearbeitungszone und dem Maschinenraum.

Zur Erfüllung der oben genannten Aufgaben werden die physikalischen Eigenschaften des Kühlschmierstoffs auf den spezifischen Anwendungsfall abgestimmt. Prinzipiell werden diese nach VDI Richtlinie 3397 in zwei Hauptgruppen unterteilt:

- Wassermischbare Kühlschmierstoffe, zum Beispiel Öl-in-Wasser-Emulsion
- Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe, zum Beispiel Basisöle, Mineralöle, Polyglykole

Die Kühlschmierstoffe beinhalten neben den Basisölen auch weitere Inhaltsstoffe wie zum Beispiel Korrosionsinhibitoren, Schauminhibitoren und Konservierungsmittel.

Wenn Überflutungskühlschmierung in der Zerspanung eingesetzt wird, entstehen Abfälle, welche entsorgt werden müssen[18]. Die hierbei entstehenden Abfälle sind nachfolgend aufgelistet:

- Altöl
- Altemulsionen
- verbrauchtes Filtervlies
- Schlamm, zum Beispiel Schleifschlamm oder Gemisch aus Feinmetallstäuben
- Späne

Das eben erwähnte Filtervlies wird zur Trennung des Kühlschmierstoffs von den Metallspänen, die während des Zerspanungsprozesses entstehen, verwendet.

Der Einsatz der **Überflutungskühlschmierung** wirkt sich einerseits positiv auf die Bauteilqualität und die Werkzeugstandzeit aus, anderseits werden in erheblichem Ausmaß Ressourcen verbraucht, und die Inhaltstoffe stellen eine Gefahr für die Umwelt und die Gesundheit der Mitarbeiter dar[19]. Auch fallen hohe Kosten für die fachgerechte Aufbereitung und Entsorgung der Kühlschmierstoffe an. Daher rückt eine alternative Technologie in den Vordergrund: die **Minimalmengenschmierung (MMS)**[20]. Bei dieser werden nur geringe Mengen an

[15] *Heisel et al.: Handbuch Spanen. Carl Hanser Verlag. München. 2014.*
[16] *Ebd.*
[17] *VDI Richtlinie 3397 Blatt 1: Kühlschmierstoffe für spanende und umformende Fertigungsverfahren. Beuth Verlag, Mai 2007.*
[18] *Dopatka et al.: Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren: Kühlschmierstoffe: zerspanende Fertigung in Großbetrieben. ABAG-Abfallberatungsagentur. 1992.*
[19] *Dettmer, T.: Nichtwassermischbare Kühlschmierstoffe auf Basis nachwachsender Rohstoffe. IFW Braunschweig. 2006.*
[20] *In der Literatur wird MMS häufig in die Kategorie der trockenen Zerspanung eingeordnet. Im Leitfaden werden jedoch die MMS-Bearbeitung und die trockene Zerspanung getrennt voneinander betrachtet.*

Schmierstoffen eingesetzt, häufig Fettalkohole oder Esteröle.[21] Die Minimalmengenschmierung kann heute als Stand der Technik bezeichnet werden[22]. Im Unterschied zur Überflutungskühlschmierung mit einer Durchflussmenge von mehreren hundert Litern pro Stunde benötigt die MMS-Technologie je nach Anwendungsfall nur etwa 5 bis 200 Milliliter Öl pro Stunde[23]. Durch den Einsatz der Minimalmengenschmierung entfallen zum einen die hohen Kosten zur Entsorgung des Kühlschmierstoffs, da die geringen Mengen des eingesetzten Öls nahezu vollständig verdunsten[24] und nicht entsorgt werden müssen. Zum anderen reduziert sich die benötigte Produktionsfläche durch den Wegfall der Vorratsbehälter für den Kühlschmierstoff und die Hochdruckpumpen. Die Umrüstung einer bestehenden Produktionsanlage ist jedoch mit Investitionskosten verbunden. Ebenso muss bei einer Umrüstung berücksichtigt werden, dass die Spanabfuhr im Vergleich zur Überflutungskühlschmierung schlechter ist[25]. Die Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren ist daher nach wirtschaftlichen und technischen Gesichtspunkten durchzuführen. Eine Übersicht der Eigenschaften der KSS-Technologie im Vergleich zur MMS-Technologie ist in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt.

Eine dritte Alternative ist der komplette Verzicht auf jegliche Art von Schmierstoffen. Dies wird auch als **Trockenbearbeitung** bezeichnet. Hinsichtlich des Ressourceneffizienzaspektes ist der komplette Verzicht auf Schmierstoffe aufgrund des geringeren Einsatzes von natürlichen Ressourcen und möglichen Vorteilen in den Reinigungsvorgängen im Vergleich zur KSS- oder MMS-Bearbeitung positiver zu bewerten. Mit der stetigen Entwicklung von Hochleistungsschneidstoffen wie beispielsweise Vollhartmetall konnte sich die Trockenbearbeitung bei einigen Anwendungen bereits etablieren. Die Trockenbearbeitung ist vor allem beim Hartfräsen beziehungsweise beim Fräsen von Werkstoffen mit einer Härte von bis zu 65 HRC problemlos möglich, wobei die Spanabfuhr hierbei auch durch Druckluft erreicht werden kann[26,27]. Es gibt jedoch Werkstoffe, wie Aluminium oder Titanlegierungen, die sich nicht für Fertigungsverfahren,

Tabelle 2: Eigenschaften von KSS und MMS

Kühlschmierstoff (KSS)	Minimalmengenschmierung (MMS)
Kühlschmierstoff: Aufgaben im Kühlen sowie im Schmieren	Minimalmengenschmierung: Aufgabe nur in Schmierung, keine Kühlung
Überflutung des gesamten Werkstückes mit Emulsion	Zuführung des Mediums nur an die Bearbeitungsstelle
Nasse Bearbeitung	Nahezu trockene Bearbeitung
Spanabfuhr wird durch Emulsion unterstützt	Spanabfuhr muss durch Werkzeug und Werkzeugmaschine realisiert werden
Nachgelagerte Reinigung erforderlich	Nachgelagerte Reinigung unter Umständen erforderlich

[21] *Abele, E. et al.: Trockene Zeiten stehen an. Trendbericht WB, Ausgabe 7-8/2012. S. 20-28.*

[22] *Ebd.*

[23] *Ebd.*

[24] *Eine mögliche Belastung am Arbeitsplatz durch die Verdunstung von Öl kann entweder durch den Ersatz mineralölbasierter Schmierstoffe durch synthetische Ester oder Fettalkohole (Vgl. BGI/GUV-I 718) oder durch die Anwendung geeigneter Absauganlagen erzielt werden. Eine Abluftbehandlung durch Filter zur Verringerung der Emissionen in der Luft ist empfehlenswert.*

[25] *Bauteil: Antriebsstrang – Vgl. Abele, E. et al.: Trockene Zeiten stehen an. Trendbericht WB, Ausgabe 7-8/2012. S. 20-28.*

[26] *MAV: Trockenbearbeitung – Chance oder Irrweg?. Online verfügbar: http://www.mav-online.de/home/-/article/46701/26904044/Trockenbearbeitung---Chance-oder-Irrweg/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (zuletzt abgerufen am 4.12.2015).*

[27] *Arntz, K.: Technologie des Mehrachsfräsens von vergütetem Schnellarbeitsstahl. Apprimus Verlag. Aachen. 2013.*

wie beispielsweise das Tieflochbohren[28] [29], trocken zerspanen lassen. Einige Untersuchungen weisen auf eine geringere Standzeit bei der trockenen Zerspanung im Vergleich zur Überflutungskühlung beim Drehen von Stahllegierungen[30], beim Drehen von Gusseisen[31] sowie beim Bohren und Drehen von Gusseisen mit Kugelgrafit[32] hin. Beim Bohren und Fräsen von Aluminiumlegierungen unter der Anwendung von MMS und dem kompletten Verzicht auf Kühl- oder Schmiermittel wurde festgestellt, dass sowohl die Standzeit als auch die Bauteilqualität eine signifikante Verbesserung unter der Anwendung von MMS zeigen[33]. Durch den Einsatz von Hochleistungsschneidstoffen kann gänzlich auf den Einsatz von Kühlschmierstoffen verzichtet werden. Jedoch hilft die Anwendung von KSS beim Vermeiden der Ausbreitung von Gussstaub, welcher während der Bearbeitung entsteht. Die resultierenden Staubemissionen können negative Auswirkungen einerseits auf die Gesundheit des Personals und andererseits auf die Lebensdauer der Werkzeugmaschine haben.[34] Diese Staubemissionen können durch geeignete Maßnahmen, wie beispielsweise den Einbau einer Absauganlage in der Werkzeugmaschine, vermindert werden.

Der Kühlschmierstoff sorgt dafür, dass nicht nur eine Schmierwirkung an der Bearbeitungsstelle gegeben ist, sondern auch die Wärmeabfuhr gewährleistet wird. Wenn die Fertigungsstrategie nicht auf die Trockenbearbeitung angepasst wird, können sich vermehrt Späne auf dem Maschinentisch oder auf anderen Maschinenkomponenten ansammeln. Dies führt zu einer Ausdehnung der Maschinenkomponenten, welche sich negativ auf die Genauigkeit beziehungsweise die Qualität der Bauteile auswirkt. Dies kann durch eine speziell angepasste Maschinenraumgestaltung vermieden werden. Deshalb ist bei der trockenen Zerspanung auch auf die Gestalt der Werkzeugmaschine zu achten[35]. Im Vergleich zur konventionellen Fertigung ist bei der Trockenbearbeitung mit einem engeren Prozessfenster beziehungsweise einem schmaleren Bereich der anwendbaren Prozessparameter zu rechnen[36].

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die trockene Zerspanung grundsätzlich Stand der Technik ist, ihre Einsatzmöglichkeiten im konkreten Fall jedoch stärker von den individuellen Randbedingungen und Anforderungen des jeweiligen Prozesses abhängen, als dies bei KSS und MMS der Fall ist. Aus diesem Grund wurde darauf verzichtet, im vorliegenden Leitfaden die trockene Zerspanung als Maßnahme zu beschreiben. Wenn jedoch im Betrieb über eine Umstellung weg von der Überflutungsschmierung nachgedacht wird, dann sollte auch eine individuelle Prüfung der Möglichkeiten einer Trockenbearbeitung durch Beratung von Experten oder Kontakt mit entsprechenden Herstellern stattfinden.

Die **kryogene CO_2-Schneestrahlkühlung** stellt eine neue Kühlstrategie in der Zerspanung dar, bei der flüssiges Kohlendioxid bis zur Werkzeug-Werkstückschnittstelle zugeführt wird. Am Düsenaustritt kommt es zur Expansion des flüssigen Kohlendioxids. Dadurch wird der Zerspanstelle ein Gemisch aus festem und gasförmigem Kohlendioxid zugeführt. Aufgrund der ausgezeichneten Kühlwirkung können gerade die Prozesse mit schwer spanbaren Werkstoffen produktiver ausgelegt werden. Diese Kühlstrategie zeigt großes Potenzial bei der Zerspanung von schwer zerspanbaren Werkstoffen wie beispielsweise Titanlegierungen, welche eine geringere Wärmeleitfähigkeit darstellen[37]. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist diese Technologie jedoch noch nicht in der industriellen Anwendung.

[28] *VDI-Z: Trends in der Fräsbearbeitung Teil 1. (Special Werkzeuge 2). Ausgabe II. 2006. Online verfügbar: http://vdi-z.de/VDI-Z/article.php ?data[article_id]=31598 (zuletzt abgerufen am 4.12.2015).*

[29] *MAV: Trockenbearbeitung – Chance oder Irrweg?. Online verfügbar: http://www.mav-online.de/home/-/article/46701/26904044/Trockenbearbeitung---Chance-oder-Irrweg/art_co_INSTANCE_0000/maximized/ (zuletzt abgerufen am 4.12.2015).*

[30] *Isik, Y.: An Experimental Investigation on Effect of Cutting Fluids in Turning with Coated Carbides Tool. Strojniški vestnik. Journal of Mechanical Engineering, 56(3), S. 195-201. 2010.*

[31] *Pfeiffer, P. S.: Technologische Prozessauslegung für die Zerspanung von Gusseisen mit Vermiculargrafit unter kontinuierlichen Schnittbedingungen. Aachen. Shaker. 2014.*

[32] *Klöpper, C. F.; Klocke, F.: Untersuchungen zur Zerspanbarkeit von austenitisch-ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI). Lehrstuhl für Technologie der Fertigungsverfahren. 2006.*

[33] *Klocke, F.; Eisenblätter, G.: Dry cutting. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 46(2), S. 519-526. 1997.*

[34] *Döpper, F.: Staubemissionen bei der Trockenbearbeitung von Gusseisenwerkstoffen. Aachen. Shaker. 2000.*

[35] *Weinert, K.; Inasaki, I.; Sutherland, J. W.; Wakabayashi, T.: Dry machining and minimum quantity lubrication. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 53(2), S.511-537. 2004*

[36] *Kißler, H.: Trockenbearbeitung in der Praxis: Vorteile; Stand der Technik; Umsetzung im Betrieb; Arbeitskreis Trockenbearbeitung. Stuttgart. 2004.*

[37] *Abele, E.; Sieber, M.: CO2 fördert den Klimaschutz. Werkstatt und Betrieb, 144(10), S. 26. 2011.*

2.4.2 Versuchsanlagen und Werkzeuge zur Ermittlung von Kenngrößen für den Stand der Technik

Im Rahmen des Modellprojektes LernRess wurden Messungen von Kenngrößen durchgeführt, durch die der Stand der Technik für sogenannte Referenzprozesse unter Nutzung von KSS oder MMS beschrieben wird. Diese Messungen wurden auf den Anlagen des Instituts PTW der TU Darmstadt durchgeführt. Die Versuche sowie entsprechende Messungen erfolgten an einem Bearbeitungszentrum (BAZ) G350 der Firma Grob (siehe Abbildung 11). Das BAZ wurde mit Dreiphasenwechselstrom versorgt. Die Kühlschmierstoffzufuhr wurde mittels einer Hochdruckpumpe ermöglicht, die ein Bestandteil des BAZ ist. Die Werkzeugmaschine entspricht insgesamt dem neuesten Stand der Technik. Da sie als Versuchsanlage betrieben wird, bestehen jedoch in der Praxis weitergehende Potenziale der Optimierung in Bezug auf einzelne Komponenten. In der Werkzeugmaschine ist beispielsweise keine Komponente enthalten, welche die Rückgewinnung der durch die Späne ausgetragenen KSS ermöglicht.

Für die Nutzung der MMS-Technologie wurde ein MMS 1-Kanal-System Testequipment der Firma bielomatik benutzt. Das System besteht aus einem Aerosolsystem der Firma bielomatik, einem Druckminderer und einer Steuerung, welche die Zufuhr des Luft-Öl-Gemischs bei der spanenden Bearbeitung gewährleistet. Wie beim BAZ entspricht das MMS-System dem neusten Stand der Technik. Analog zur Werkzeugmaschine sind auch bei dieser Technologie noch Optimierungspotenziale in der Praxis vorhanden. Für die MMS-Versuche wurde ein synthetisches Esteröl basierend auf nachwachsenden Rohstoffen verwendet. Bei dem Öl handelt es sich um einen Bioschmierstoff.

Für den Bohrprozess wurde ein Vollhartmetall-Wendelbohrer eingesetzt. Bei der Fräsbearbeitung kam ein Fräser mit Wendeschneidplatten zum Einsatz. Auch die verwendeten Werkzeuge beziehungsweise Wendeschneidplatten aus Hartmetall entsprechen dem aktuellen Stand der Technik[38]. Für die Bearbeitung von Aluminium wurden statt Hartmetall-Wendeschneidplatten solche aus polykristallinem Diamant (PKD) eingesetzt, welche eine höhere Produktivität ermöglichen[39]. Alle im Rahmen dieses Projektes eingesetzten Werkzeuge kommen auch in der Industrie zum Einsatz. Die eingesetzten Werkzeuge sind in Tabelle 3 dargestellt.



Abbildung 11: Ausgewählte Werkzeugmaschine zur Durchführung der Experimente

[38] *Trent, E.; Wright, P.: Metal Cutting. 2000.*
[39] *Hohenstein, J.: Oberflächengestalt beim Messerkopffräsen. Dissertation. Aachen, 2012.*

Tabelle 3: Eingesetzte Werkzeuge für die Versuchsdurchführungen im Modellprojekt

Werkzeuge	Fräser mit Wendeschneidplatten		Wendelbohrer	Wendelbohrer mit Wechselkopf	
					
Durchmesser	80 mm	63 mm	8,5 mm	13,6 mm	22,5 mm
Bohrtiefe			5xD = 42,5 mm	2xD = 112,5 mm	5xD = 112,5 mm
Drallwinkel			30°		
Anzahl der Schneiden	10	5			
Zustellung $A_{p,max}$	3,0 mm	6,0 mm			
Drehzahl	29.900 rpm	14.400 rpm			
Schneidstoff	PKD	Vollhartmetall	Vollhartmetall	Vollhartmetall	Vollhartmetall
KKS-Zufuhr	mittels Verteil-schraube	Durch interne Kühlkanäle			
Einsatzwerkstoff	AlSi7MgCu0	GJL250 / 42CrMo4	AlSi7MgCu0 / GJL250 / 42CrMo4	GJL250 / 42CrMo4	GJL250

2.5 Potenziale der Ressourceneffizienz in der Zerspanung

Für den Bereich der Zerspanungsprozesse wird von einem Verbrauch an Kühlschmierstoffen in der metallverarbeitenden Industrie in Deutschland von gegenwärtig jährlich über 80.000 Tonnen Mineralöl ausgegangen.[40] Dies entspricht in etwa 115.000 Tonnen CO_2-Äquivalenten[41] und einen monetären Wert von circa 320 Millionen Euro[42]. Bei der Analyse der Kostenstruktur eines Bauteils in der spanenden Massenfertigung wurde deutlich, dass der Anteil der KSS-Kosten mit etwa 15 Prozent für die klassische Emulsionsüberflutungskühlung an den Fertigungskosten circa dreimal so hoch ist wie der Anteil der Werkzeugkosten[43]. Andere Untersuchungen sprechen sogar von einem Anteil der KSS-bezogenen Kosten an den Fertigungskosten von bis zu 30 Prozent[44]. Verfahren der spanenden Bearbeitung haben darüber hinaus einen erheblichen Energiebedarf.

Relevant ist auch der Aspekt der Gesundheitsgefährdung von Mitarbeitern. Eine Untersuchung der Metallberufsgenossenschaft von 2001 ergab, dass durch KSS ausgelöste Krankheiten zu 80 Prozent die Haut und zu einem Anteil von zehn Prozent die Atemwege betreffen. So ist der Einsatz von KSS an verschiedenen Berufskrankheiten[45] beteiligt, wie zum Beispiel allergische Hautreaktionen oder Atemwegserkrankungen wie allergisches Bronchialasthma oder Augenreizungen.[46] Wenn Prozesse der Zerspanung

[40] *Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (Bafa): Vgl. R. Ahrens: Neues Kühlschmierstoffmittel verzichtet auf Öl. Ingenieur.de, präsentiert von VDI Nachrichten, 2012.*

[41] *Die Menge an CO_2-Äquivalenten wurde mithilfe der Schweizer Datenbank Ecoinvent 3.2 und dem Ökobilanzierungsprogramm openLCA errechnet.*

[42] *Für die Errechnung dieser Summe wurde ein durchschnittlicher Preis von 4€/kg KSS angenommen.*

[43] *Bauteil: Antriebsstrang - Vgl. Abele, E. et al.: Trockene Zeiten stehen an. Trendbericht WB, Ausgabe 7-8/2012. S. 20-28.*

[44] *Klocke, F.; Lung, D.; Krämer, A.: Podiumsdiskussion: Kryoverfahren – Stand von Forschung und Technik. VSI Schmierstoffseminar, Frankfurt, 5.-6. September 2012.*

[45] *Studie der Metall-Genossenschaften, vgl. VDI 3397 Blatt 1: Kühlschmierstoffe für spanende und umformende Fertigungsverfahren. Mai 2007.*

[46] *DGUV Regel: Tätigkeiten mit Kühlschmierstoffen (BGR/GUV-R 143). Hg. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung DGUV). Berlin (143). 2011.*

im Hinblick auf eine Erhöhung der Ressourceneffizienz überprüft werden, sollten diese Probleme berücksichtigt und auch Verbesserungen im Arbeitsschutz realisiert werden.

Neben einer Verringerung des KSS-Verbrauchs bestehen auch Potenziale in der Nutzung von Bioschmierstoffen. Für Bioschmierstoffe gibt es zurzeit keine einheitliche Definition. In der DIN SPEC 51523[47] wird eine Empfehlung für die Terminologie „Bioschmierstoffe" gegeben. Laut dieser Empfehlung müssen Bioschmierstoffe folgende Mindestanforderungen einhalten:

- **erneuerbar:** mindestens zu 25 Prozent aus nachwachsenden Rohstoffen bestehen
- **biologisch abbaubar:** zu mehr als 60 Prozent nach OECD 301 biologisch abbaubar sein
- **toxikologisch unbedenklich:** nicht als „umweltgefährdend" (Symbol N) nach CLP-Richtlinie 1272/2008/EG eingestuft werden
- **gebrauchstauglich:** für bestimmte Anwendung geeignet sein

In 2011 betrug der Anteil der Bioschmierstoffe am Schmierstoffgesamtmarkt bis zu 3 Prozent.[48] In einer Analyse des Fraunhofer-Instituts wurde laut Industrieangaben angenommen, dass 90 Prozent aller Schmierstoffe durch Bioschmierstoffe ersetzt werden könnten.[49] Zu Bioschmierstoffen können beispielsweise Schmierstoffe aus pflanzlichen Ölen oder Fetten sowie zum Teil auch aus nicht nachwachsenden Rohstoffen hinzugezählt werden, welche den oben genannten Mindestanforderungen entsprechen. Aus diesem Grund wurde für die in diesem Projekt durchgeführten MMS-Versuche ein Bioschmierstoff angewendet.

Tabelle 4 stellt die im Projekt LernRess untersuchten Maßnahmen im Überblick sowie die möglichen Einsparpotenziale dar. Die ausführliche Beschreibung der Maßnahmen findet sich in Kapitel 4.4.

Tabelle 4: Überblick zu möglichen Einsparpotenzialen durch ressourceneffiziente Maßnahmen für die spanende Bearbeitung

Maßnahme	Einsparpotenziale	
Betriebliche Optimierung KSS	KSS-Austrag:	bis zu 90 %
	Stromverbrauch Werkzeugmaschine:	bis zu 25 %
Umstellung KSS auf MMS (bezogen auf 1-Kanal-System)*	Stromverbrauch Werkzeugmaschine: Schmierstoffverbrauch: Filtervlies, gefährliche Abfälle & Altöle:	bis zu 25 % bis zu 99 % bis zu 100 %
Betriebliche Optimierung MMS	MMS-Verbrauch:	bis zu 25 %
Schmierstoffunabhängige Maßnahmen	Erhöhte Werkzeugstandzeit:	bis zu 80 %

**) mögliche Zunahmen im Druckluftverbrauch bis zu 80 %*

[47] *DIN SPEC 51523: Flüssige Mineralöl-Erzeugnisse – Bio-Schmierstoffe – Empfehlungen für die Terminologie und Charakterisierung von Bio-Schmierstoffen und biobasierten Schmierstoffen; Deutsche Fassung CEN/TR 16227:2011. Beuth-Verlag. Berlin, 2011.*

[48] *Böttger, M.: Marktanalyse für den Bereich der Bioschmierstoffe. Tagungsbeitrag Bioschmierstoff-Kongress. Hrsg. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Hagen, 2014.*

[49] *Wydra, S.; Hüsing, B.; Kukk, P: Analyse des Handlungsbedarfs für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) aus der Leitmarktinitiative (LMI) der EU-Kommission für biobasierte Produkte außerhalb des Energiesektors. Fraunhofer ISI. Karlsruhe, 2010.*

3. Vorgehensweise zur Verbesserung der Ressourceneffizienz im Unternehmen

Die Verbesserung der Ressourceneffizienz ist – genauso wie die Verbesserung der Effizienz von Prozessen allgemein – Teil des betrieblichen Managements. Die hier vorgestellte Vorgehensweise orientiert sich daher an den allgemeinen Prinzipien von Managementsystemen, insbesondere an der „Philosophie" des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (KVP): Eine Verbesserung wird hier nicht als einmaliges Ereignis betrachtet, sondern der Betrieb eignet sich Kenntnisse, Arbeitsweisen und Organisationsabläufe an, mit denen er laufend den Ist-Stand von Prozessen nachverfolgen und mit seinen Zielen oder externen Standards abgleichen kann. Kennzeichnend für den kontinuierlichen Verbesserungsprozess ist eine iterative Abfolge der Schritte: **Plan** (Planen), **Do** (Tun), **Check** (Prüfen), **Act** (Aktion). Diese Vorgehensweise liegt allen Managementsystemen zu Grunde, sei es Qualitätsmanagement, Umweltmanagement oder Energiemanagement. Die in diesem Kapitel erläuterten Schritte können daher unmittelbar in vorhandene Managementsysteme integriert werden, speziell in das Umweltmanagement nach ISO 14001 oder EMAS und das Energiemanagement nach DIN ISO 16247 beziehungsweise ISO 50001. Umgekehrt können Betriebe, die bislang noch kein Umwelt- oder Energiemanagementsystem etabliert haben, diese Vorgehensweise auch als ersten Einstieg in den Aufbau solcher Systeme nutzen.

Abbildung 12 zeigt im Überblick, wie die Vorgehensweise zur Verbesserung der Ressourceneffizienz an Hand der vier Arbeitsschritte des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses strukturiert ist.

Im Folgenden werden die Inhalte der vier Schritte im Einzelnen erläutert. Für die Umsetzung dieser Schritte wurden im Projekt LernRess Vorgehensweisen und Kenngrößen für die Praxis entwickelt, die in Kapitel 4 als „Werkzeugkasten der betrieblichen Ressourceneffizienz" ausführlich vorgestellt werden. Ergänzende allgemeine Informationen zu Umweltmanagementsystemen und der Etablierung des PDCA-Prinzips im Kontext der Cleaner Production-Strategie sind der Literatur[50 51 52] zu entnehmen.

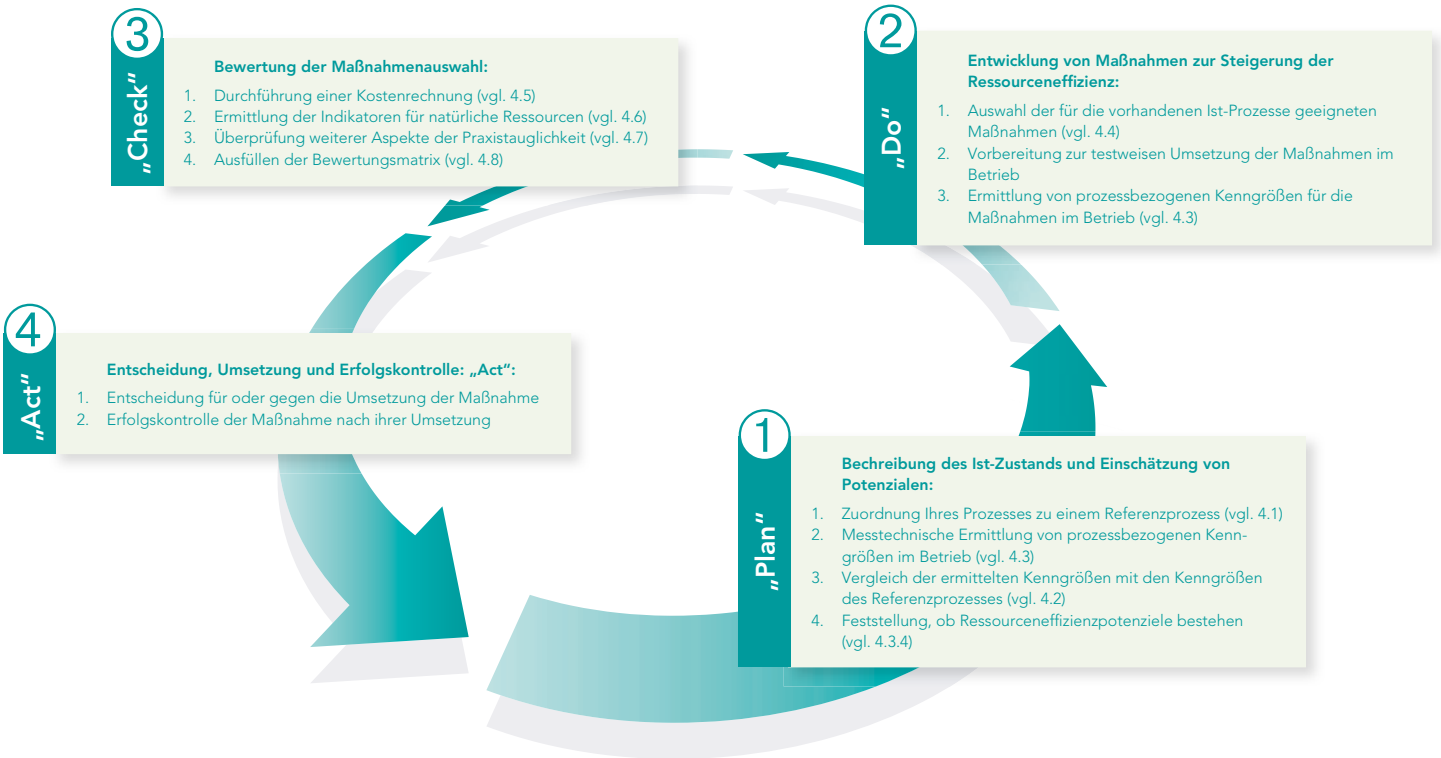


Abbildung 12: Vorgehensweise zur Ausschöpfung von Ressourceneffizienzpotenzialen (PDCA-Zyklus) für die spanende Bearbeitung

[50] *Fresner et. al.: Ressourceneffizienz in der Produktion. Kosten senken durch Cleaner Produktion. 2. Auflage, Symposion, Düsseldorf. 2014.*

[51] *Janson-Mundel, O.; Reimann, G.: Erfolgreiches Umweltmanagement nach DIN EN ISO 14001 und EMAS. Lösungen zur praktischen Umsetzung – Textbeispiele, Musterformulare, Checklisten. Beuth Verlag. 2016.*

[52] *Institut für Ecopreneurship: Was ist Cleaner Production? Online verfügbar: http://www.fhnw.ch/lifesciences/iec/forschungsfelder-und-projekte/ressourcenmanagement-und-cleaner-production/cleaner-production (zuletzt überprüft am 22.12.2015)*

3.1 „Plan“: Beschreibung des Ist-Zustands und Einschätzung von Potenzialen

Im Abschnitt „**Plan**“ erfahren Sie, wie Sie für Ihre Prozesse der Zerspanung Kenngrößen für den Verbrauch von Rohstoffen und Energie ermitteln und diese mit Kenngrößen für den Stand der Technik vergleichen können. Am Ende dieses Arbeitsschritts haben Sie eine Einschätzung gewonnen, ob für Ihren Zerspanungsprozess Potenziale für die Verbesserung der Ressourceneffizienz existieren oder ob Ihre Prozesse bereits dem Stand der Technik entsprechen.

Im ersten Schritt Plan geht es um die Frage, ob in Ihrem Betrieb Potenziale zur Steigerung der Ressourceneffizienz bestehen und es damit Handlungsbedarf zur Verbesserung gibt. Ziel dieses Arbeitsschritts ist daher ein Vergleich Ihrer eigenen Prozesse mit dem Stand der Technik. Dazu finden Sie im Abschnitt 4.2 **Kenngrößen**, die im Projekt LernRess ermittelt wurden und die den Stand der Technik für die untersuchten Zerspanungsverfahren beschreiben. In der Praxis werden sehr unterschiedliche Zerspanungsprozesse durchgeführt. Für einen aussagekräftigen Vergleich mit den Kenngrößen wurden daher sogenannte Referenzprozesse für Bohren und Fräsen definiert. Diese Referenzprozesse wurden so ausgewählt, dass sie die am häufigsten in der industriellen Praxis vorkommenden Bearbeitungen abdecken[53].

Für jeden **Referenzprozess** ist eine „Bezugsgröße“ definiert, die einen quantitativen Vergleich erlaubt und den „Nutzen“ des Arbeitsvorgangs beschreibt: Dies ist beispielsweise eine Bohrung mit einer bestimmten Tiefe in einem bestimmten Material. Die Bezugsgröße ist somit die daraus resultierende Menge an Spänen. Die Bezugsgröße kann später auch dafür genutzt werden, um Ressourcenverbräuche oder andere Kenngrößen auf einen Bezugszeitraum, zum Beispiel ein Jahr, hochzurechnen.

Nachdem Sie Ihren Prozess einem passenden Referenzprozess zugeordnet haben, können Sie die entsprechenden Kenngrößen Ihrer eigenen Anlagen ermitteln. In Kapitel 4.3 wird erläutert, wie Sie mit einfachen messtechnischen Vorgehensweisen reale Verbräuche von Energie und anderen Betriebsstoffen ermitteln beziehungsweise wie Sie aus vorliegenden betrieblichen Dokumentationen Kennwerte errechnen können. Um Ihre Ressourceneffizienzpotenziale zu bestimmen, vergleichen Sie die ermittelten prozessbezogenen Kenngrößen mit den Kenngrößen zum Stand der Technik (siehe auch Abbildung 13). Als Ergebnis beurteilen Sie, ob relevante Einsparungspotenziale vorliegen und welches die Zielgrößen für eine Optimierung sind – ist der Austrag von KSS über die Späne zu hoch, sollte der Energieverbrauch gesenkt werden oder gibt es ein Problem mit der Druckluft? Dementsprechend legen Sie fest, ob und mit welchen Zielsetzungen Sie die nächsten Arbeitsschritte durchführen wollen.

Was ist ein Referenzprozess?

Ein Referenzprozess stellt den Stand der Technik dar. Dieser ist anhand der wichtigsten Fertigungsverfahren, Werkzeuge und Werkstoffe sowie Kühl- und Schmierstrategien definiert. Auf Basis dieser Referenzprozesse sollen die Ressourceneffizienzpotenziale untersucht und identifiziert werden.

[53] *Anhaltspunkt für die Auswahl der Referenzprozesse war die vom PTW durchgeführte Anwenderbefragung: Elzenheimer et al.: Noch viel ungenutztes Potenzial beim Bohren. Werkstatt und Betrieb, Ausgabe 11, S. 55ff. 2003.*

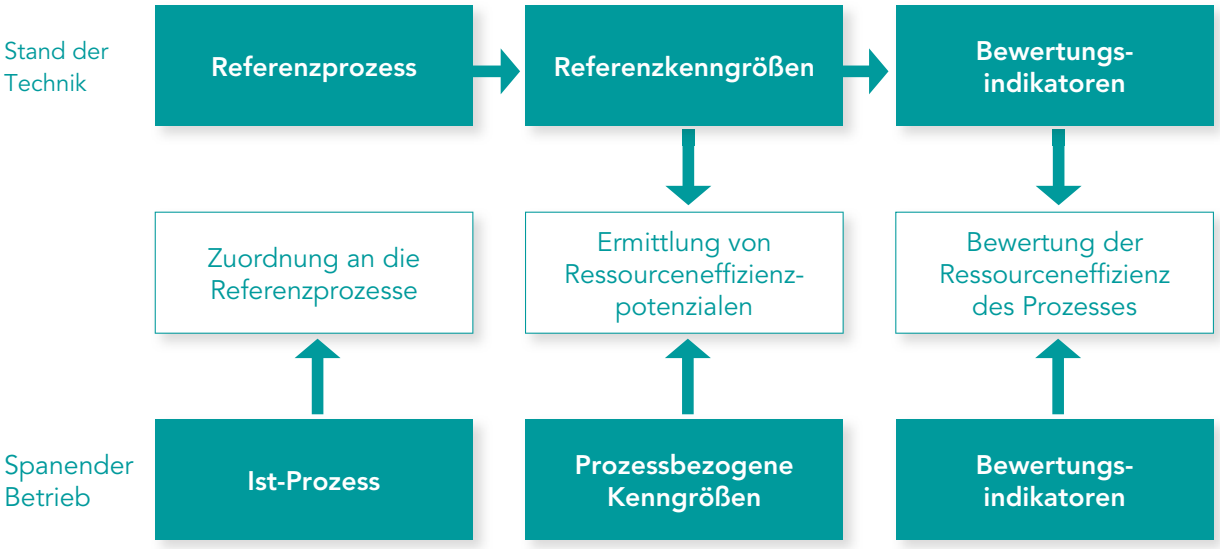


Abbildung 13: Vergleich der Referenzprozesse mit einem Ist-Prozess eines Metallbearbeitungsbetriebs

3.2 „Do": Entwicklung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Im Abschnitt „**Do**" wird erläutert, wie Sie geeignete Maßnahmen nutzen können, um die ermittelten Ressourceneffizienzpotenziale auszuschöpfen.

Nachdem Sie die relevanten Parameter im Abschnitt Plan identifiziert haben, können Sie nun im Abschnitt Do auswählen, welche Maßnahmen für Ihren Prozess in Frage kommen, um diesen ressourceneffizienter zu gestalten. Die ausführliche Beschreibung möglicher Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz finden Sie in Kapitel 4.4.

Danach können Sie eine Bewertung jeder Maßnahme – im Folgenden als „Soll-Zustand" bezeichnet – vornehmen. Dazu benötigen Sie die prozessbezogenen Kenngrößen des Soll-Zustands, um diese den Kenngrößen des Ist-Zustands gegenüberzustellen. Zur Ermittlung der Kenngrößen des Soll-Zustands gibt es verschiedene Möglichkeiten:

Was sind Maßnahmen?

Maßnahmen beschreiben Veränderungen an technologischen Prozessen, zum Beispiel zur Herstellung eines definierten Produktes. Ein Beispiel für eine Maßnahme kann der Einsatz eines neuen Schmierstoffes oder Werkzeuges sein.

- Sie setzen eine Maßnahme probeweise um und ermitteln nach den in 3.1 angesprochenen Vorgehensweisen die entsprechenden prozessbezogenen Kenngrößen. Je nach Maßnahme kann der Aufwand für die testweise Umsetzung verschieden hoch ausfallen. Bei Eingriffen in den Bearbeitungsprozess muss gewährleistet sein, dass der normale Arbeitsbetrieb ungestört bleibt. Dafür ist es wichtig, die Maschinenbediener sowie andere Fertigungstechniker bei der probeweisen Umsetzung miteinzubeziehen.

- Sie beschaffen sich weitergehende Informationen durch Kontakte zu Herstellern oder Experten. Insbesondere bei größeren Maßnahmen, wie der Umstellung von KSS auf MMS, wird empfohlen, Unternehmen zu kontaktieren, die speziell für solche Umstellungen qualifiziert sind. Hierfür können sowohl Werkzeughersteller, MMS-Geräte-Hersteller als auch Schmierstoffhersteller zu Rate gezogen werden.

- Sollten Sie zunächst nur eine grobe Abschätzung benötigen, so können Sie sich alternativ an den Ihnen in Kapitel 4.4 zur Verfügung gestellten Angaben zu den Einsparpotenzialen der jeweiligen Maßnahmen orientieren. Naturgemäß können Sie damit jedoch nicht spezifische Randbedingungen Ihres Prozesses oder Betriebes erfassen.

3.3 „Check“: Bewertung der Maßnahmen

In der Phase „**Check**“ führen Sie auf Grundlage der ermittelten prozessbezogenen Kenngrößen eine Bewertung möglicher Maßnahmen durch und stellen die Ergebnisse anhand der Bewertungsmatrix dar.

In den vorigen Abschnitten haben Sie prozessbezogene Kenngrößen für den Ist- und Soll-Zustand ermittelt. Diese lassen bereits eine erste Einschätzung der Wirkungen von Maßnahmen zu. Zur Vorbereitung einer Entscheidung sind aber weitergehende Informationen zu den Bewertungsbereichen Kosten, Natürliche Ressourcen und Praxistauglichkeit erforderlich. Diese werden im Schritt Check auf Grundlage der Kenngrößen zu Ist- und Sollzustand abgeleitet. Anleitungen dazu sind ebenfalls in Kapitel 4.3 enthalten.

Das Vorgehen der Kostenrechnung sowie orientierende Preisangaben finden Sie in Kapitel 4.5. Wie Sie die Umrechnung der prozessbezogenen Kenngrößen für die Indikatoren zu natürlichen Ressourcen unternehmen, erfahren Sie in Kapitel 4.6. Weiterhin sollten Sie auch eine qualitative Bewertung von praxisrelevanten Aspekten für Ihren Betrieb vornehmen. Diese Bewertung betrifft insbesondere Aspekte der Praxistauglichkeit. Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 4.7.

Um einen vollständigen Überblick zu erlangen, können Sie abschließend alle Ergebnisse für eine Maßnahme in eine Bewertungsmatrix eintragen (siehe Tabelle 22), die für jeden Bewertungsbereich den Vergleich Ist zu Soll darstellt. Diese Matrix können Sie als Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von Maßnahmen nutzen.

3.4 „Act“: Entscheidung, Umsetzung und Erfolgskontrolle

In „**Act**“ wird anhand der Ergebnisse der Bewertungsmatrix entschieden, ob die Maßnahme im Betrieb umgesetzt wird. Zudem erfahren Sie, was Sie bei der Umsetzung beachten müssen und wie der Erfolg der Maßnahme kontrolliert werden kann.

Im Schritt Act wird die Entscheidung getroffen, eine oder mehrere Maßnahmen umzusetzen. Dazu können gegebenenfalls noch weitere Informationen notwendig sein, insbesondere Angebote von Herstellern, aber auch die Prüfung von vorhandenen Fördermaßnahmen, welche die Umsetzung von Ressourceneffizienzmaßnahmen begünstigen. Ein Überblick zu entsprechenden Förderprogrammen finden Sie in Kapitel 4.9.

Mit der Umsetzung einer Maßnahme sollte gleichzeitig ein Vorgehen für die Erfolgskontrolle etabliert werden, um eine kontinuierliche Verbesserung der Bearbeitungsprozesse zu gewährleisten. Auch hier können Sie die im vorliegenden Leitfaden erläuterten Vorgehensweisen für Messungen im Betrieb oder Auswertung von Dokumenten einsetzen. Gleichzeitig können Sie hierdurch eine Dokumentation der erzielten Steigerung der Ressourceneffizienz erhalten, die Sie für das betriebliche Umweltmanagement nutzen können.

4. Werkzeugkasten der betrieblichen Ressourceneffizienz

4.1 Referenzprozesse Bohren und Fräsen

Referenzprozesse dienen dazu, die Vergleichbarkeit betrieblicher Prozesse mit dem Stand der Technik zu ermöglichen. Sie sind definiert als Kombination aus Zerspanungsprozessen, Werkstoffen und Kühlschmiermittel-Technologien. In Tabelle 5 und Tabelle 6 werden die Referenzprozesse sowie die jeweiligen Bezugsgrößen, welche dem Spanvolumen gleichzusetzen sind, vorgestellt. Diese Bezugsgrößen stellen die quantitative Einheit des Nutzens dar, auf die alle in den nachfolgenden Abschnitten vorgestellten Kenngrößen bezogen werden.

Tabelle 5: Prozessparameter der definierten Referenzprozesse (Bohren)

Bohren (3 Bohrungen)							**Schmierstrategie: KSS + MMS**
Kürzel Referenz-prozess	Werkzeug-durchmesser	bearbeiteter Werkstoff	Schnitt-geschwindig-keit	Vorschub pro Umdrehung	Bohrtiefe	Bearbeitungs-dauer	Span-volumen/ Bezugs-größe d. Referenz-prozesses
	D [mm]		v_c [m/min]	f [mm]	t_b [mm]	s	mm^3
R1	8,5	Aluminium (AlSi7MgCu0)	70	0,13	42,5	44	2.411
R2		Stahl (42CrMo4)	70	0,13	42,5	58	2.411
R3		Guss (GJL250)	70	0,13	42,5	61	2.411
R4	13,6	Stahl (42CrMo4)	70	0,15	27,2	55	3.951
R5	22,5	Guss (GJL250)	70	0,25	112,5	132	44.730

Tabelle 6: Prozessparameter der definierten Referenzprozesse (Fräsen)

Fräsen (Gleichlauf)									**Schmierstrategie: KSS + MMS**
Kürzel Referenz-prozess	Werk-zeug-durch-messer	Anzahl d. Schneiden	bearbeiteter Werkstoff	Schnitt-geschwin-digkeit	Vorschub	Zustellung		Bearbei-tungs-dauer	Span-volumen/ Bezugs-größe d. Referenz-prozesses
						axial	radial		
	D [mm]	z		v_c [m/min]	f_z [mm]	a_p [mm]	a_e [mm]	s	mm^3
R6	80	10	Aluminium (AlSi7MgCu0)	1500	0,013	0,2	70	65	5.250
R7	63	5	Stahl (42CrMo4)	210	0,2	0,2	31	70	469
R8		5	Guss (GJL250)	225	0,2	0,2	31	61	469

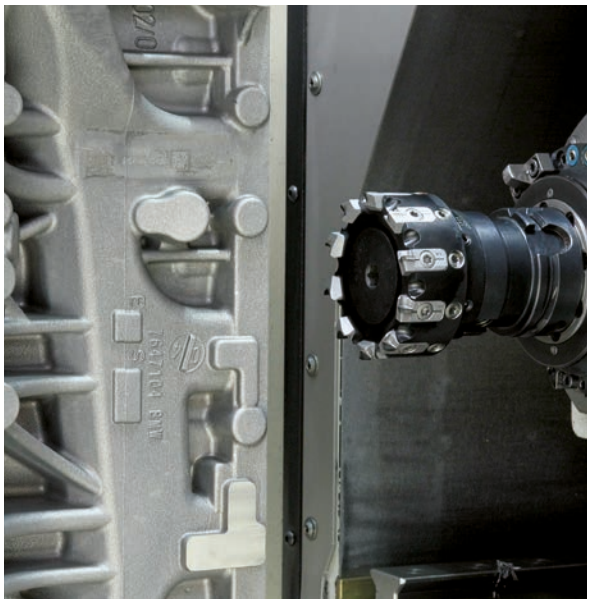


Abbildung 14: Referenzprozess R6

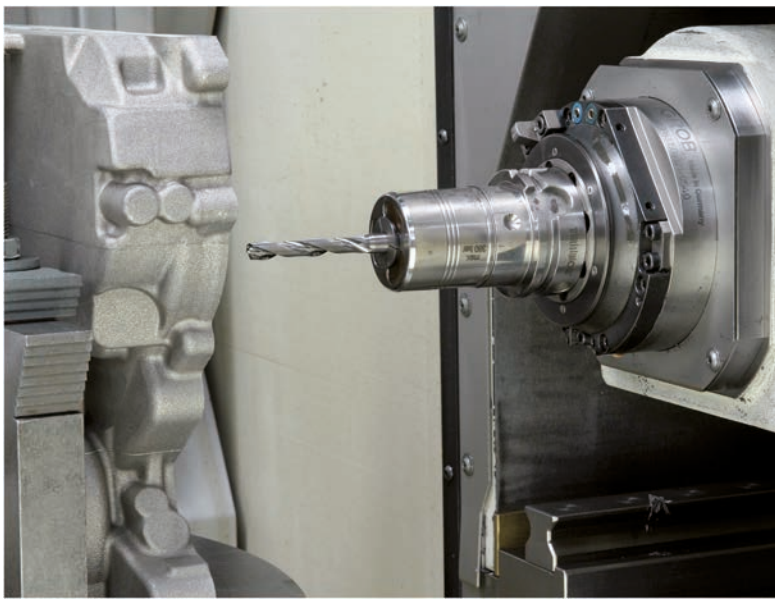


Abbildung 15: Referenzprozess R1

Für jeden der bearbeiteten Werkstoffe wurden typische Parameter des Bohrens und Fräsens festgelegt. Diese beinhalten insbesondere die Schnittgeschwindigkeit und den Vorschub. Die Prozesse sind weiterhin durch die Spanmenge und die Bearbeitungsdauer charakterisiert. Diese Parameter ermöglichen Ihnen die Überprüfung, ob Ihr eigener Prozess technisch mit diesen Referenzprozessen weitgehend übereinstimmt. Ist dies der Fall, so können Sie die im nächsten Kapitel 4.2 angegebenen Kenngrößen für das Benchmarking Ihrer Prozesse einsetzen. Weichen Ihre Parameter von den oben genannten Prozessparametern deutlich ab, so ist Ihr Prozess nicht direkt mit den Referenzprozessen vergleichbar. In diesem Fall müssen Sie die definierten Prozessparameter aus Tabelle 5 und Tabelle 6 an Ihrer Anlage einstellen.

Von besonderer Relevanz für den Kenngrößenvergleich sind die beiden Parameter *Bearbeitungsdauer* und *Menge an Spänen*. Für den Vergleich mit realen Prozessen ist dabei Folgendes zu beachten:

Bearbeitungsdauer: Die Bearbeitungsdauer bestimmt die Produktivität eines Zerspanprozesses. Die Angaben in Tabelle 5 und Tabelle 6 beziehen sich nur auf die Zeit zwischen dem Start und dem Ende des Zerspanungsprozesses. Im Serienbetrieb ist die Zeit für das Be- und Entladen eines Bauteiles konstant und stellt somit einen konstanten Bestandteil der Bearbeitungsdauer dar. Aufgrund der Versuchsumgebung der Lernfabrik, in der diese Vorgänge nicht in konstanter Zeit durchgeführt werden konnten, wurden diese nicht ermittelt. Bei den Untersuchungen der definierten Referenzprozesse wird somit die Zeit zum Be- und Entladen nicht betrachtet. Die Bearbeitungsdauer ist maßgeblich von den Prozessparametern abhängig und kann durch deren Variation diese verändern, beispielsweise nimmt die Bearbeitungsdauer beim Bohren mit einer konstanten Bohrtiefe mit zunehmendem Vorschub ab.

Menge an Spänen: Bei der Zerspanung entstehende Späne können auch als Bezugsgröße des Prozesses betrachtet werden, da sie sich vom Spanvolumen direkt ableiten lassen. Wenn der Wert der Dichte eines Werkstoffes vorliegt, kann die Masse der Späne berechnet werden. Dabei ist zu beachten, dass die berechnete Masse nur die trockene Masse der Späne beschreibt. Im Folgenden wird eine Beispielrechnung für die Ermittlung der Spanmenge erläutert.

Annahme: Es wird eine Sacklochbohrung in Stahl (Dichte 7.800kg/m³) mit einer Bohrtiefe von 42,5 mm und einem Bohrdurchmesser von 8,5 mm gefertigt. Die Form der Bohrung kann als Zylinder angenommen und das Volumen sowie die Masse der Späne wie folgt berechnet werden:

$$\text{Volumen } (m^3) = \pi * (8{,}5/(2*1000))^2 * (42{,}5/1000)$$
$$\text{Masse (kg)} = \text{Volumen } (m^3) * \text{Dichte } (kg/m^3)$$
$$= \pi * (8{,}5/(2*1000))^2 * (42{,}5/1000) * 7800$$
$$= 0{,}019 \text{ kg}$$

Die Spanmenge beträgt somit 19 g.

4.2 Kenngrößen für den Ressourcenverbrauch der Referenzprozesse nach dem Stand der Technik

Für die definierten Referenzprozesse wurden prozessbezogene Kenngrößen ausgewählt, mit denen sich der Ressourcenverbrauch beziehungsweise die Ressourceneffizienz charakterisieren und vergleichen lassen. Diese Kenngrößen umfassen Betriebsstoffe wie Schmierstoffe und sonstige Betriebsstoffe sowie Energie und Abfälle. Sie werden in Tabelle 7 dargestellt und näher erläutert:

Tabelle 7: Übersicht der betrieblichen Kenngrößen

Ressourcenart	Kenngröße	Quantifizierbar über	Einheit / Bezugsgröße	Erläuterung
Energie	Stromverbrauch (Werkzeugmaschine)	Verbrauch	kWh	**Für die Referenzprozesse R1 bis R8 mit KSS gilt:** Stromverbrauch der Werkzeugmaschine plus Stromverbrauch für die KSS-Hochdruckpumpe. **Für die Referenzprozesse R1 bis R8 mit MMS gilt:** Stromverbrauch der Werkzeugmaschine plus Stromverbrauch für das MMS-Gerät
	Druckluft	Verbrauch	Nm^3	Verbrauch an Pressluft während des Referenzprozesses.
Schmierstoffe	KSS-Emulsion	Verbrauch	g	Menge an Kühlschmierstoffemulsionen während des Referenzprozesses.
	MMS-Öl	Verbrauch	g	Menge an Ölen für die Minimalmengenschmierung während des Referenzprozesses.
Sonstige Betriebsstoffe	Filtervlies	Verbrauch	g	Verbrauchte Menge an Filtervliesen für die Reinigung von KSS während des Referenzprozesses.
	Werkzeug	Verbrauch	%	Der Werkzeugverbrauch sagt aus, wie hoch der prozentuale Anteil des Verbrauchs pro Bohrung beziehungsweise pro Fräsfläche zur gesamten Standzeit des Werkzeuges ist.
Abfall *	Gefährliche Abfälle[51] „Filtervlies“	Anfall	g	Filtervliese, die durch verbrauchte KSS verunreinigt wurden.
	Gefährliche Abfälle „Altemulsion“	Anfall	g	Verbrauchte Kühlschmierstoffe, die aus zwei Teilbeiträgen bestehen: Die entsorgten Mengen, die durch Austausch des KSS entstehen, plus die Mengen, die durch die Späne ausgetragen werden.

**) Zudem sind Späne nach dem Abfallrecht (Abfallverzeichnis-Verordnung, AVV) als Abfälle anzusehen. Da ihr Anfall jedoch durch den Prozess vorgegeben ist und nicht beeinflusst werden kann, stellen sie die Bezugsgröße des Prozesses dar und keine Kenngröße, die veränderbar ist.*

[54] *Gefährliche Abfälle sind Abfälle, die nach der Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) § 3 als gefährlich deklariert werden. (Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV): Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis. Stand: 24.2.2012.)*

Für diese Kenngrößen wurden im Rahmen des Modellprojekts LernRess in den in Abschnitt 2.4.2 beschriebenen Anlagen Daten für die Referenzprozesse nach dem Stand der Technik ermittelt, die zum Benchmarking mit betrieblichen Prozessen herangezogen werden können. Diese finden Sie für die jeweiligen Referenzprozesse in den nachfolgenden Tabellen 8 bis 10. Diese Werte entsprechen dem Stand der Technik in der zerspanenden Bearbeitung. Über die durch Messungen am Institut PTW ermittelten Daten hinaus, gingen auch Informationen und Erfahrungen, der am Projekt beteiligten Unternehmen, in diese Werte mit ein.

Tabelle 8: Prozessbezogene Kenngrößen für die Referenzprozesse R1 bis R3 (Bohren)

		Aluminium (R1)		Stahl (R2)		Guss (R3)	
	Einheit	KSS	MMS	KSS	MMS	KSS	MMS
Stromverbrauch Werkzeugmaschine	kWh	0,055	0,045	0,066	0,057	0,141	0,114
Druckluftverbrauch	Nm³	0,17	0,32	0,26	0,35	0,30	0,40
KSS-Verbrauch	g	14,5	–	193,7	–	11,6	–
MMS-Öl-Verbrauch	g	–	0,039	–	0,052	–	0,056
Filtervlies	g	0,008	-	0,022	–	0,027	–
VHM-Bohrer	%	0,00008	0,00008	0,0006	0,0006	0,00009	0,0003
gefährliche Abfälle „Filtervlies“	g	0,008	–	0,022	–	0,027	–
gefährliche Abfälle „Altemulsion“	g	12,9	–	172,4	–	10,3	–
davon Austrag über Späne	g	8	–	107	–	6,4	–

Tabelle 9: Prozessbezogene Kenngrößen für die Referenzprozesse R4 und R5 (Bohren)

		Stahl (R4)		Guss (R5)	
	Einheit	KSS	MMS	KSS	MMS
Stromverbrauch Werkzeugmaschine	kWh	0,071	0,057	0,313	0,231
Druckluftverbrauch	Nm³	0,28	0,35	0,56	0,84
KSS-Verbrauch	g	316,8	–	215,4	–
MMS-Öl-Verbrauch	g	–	0,055	–	0,175
Filtervlies	g	0,04	–	0,38	–
VHM-Bohrer	%	0,0012	0,0012	0,0008	0,0008
gefährliche Abfälle „Filtervlies“	g	0,04	–	0,38	–
gefährliche Abfälle „Altemulsion“	g	281,9	–	191,7	–
davon Austrag über Späne	g	175	–	120	–

Tabelle 10: Prozessbezogene Kenngrößen für die Referenzprozesse R6 und R8 (Fräsen)

		Aluminium (R6)		Stahl (R7)		Guss (R8)	
	Einheit	**KSS**	**MMS**	**KSS**	**MMS**	**KSS**	**MMS**
Stromverbrauch Werkzeugmaschine	kWh	0,103	0,081	0,072	0,065	0,062	0,058
Druckluftverbrauch	Nm^3	0,31	0,40	0,20	0,23	0,23	0,40
KSS-Verbrauch	g	130,3	–	59,5		60,3	–
MMS-Öl-Verbrauch	g	–	0,074	–	0,083	–	0,064
Filtervlies	g	0,011	–	0,003	–	0,003	–
Fräser	%	0,0003	0,0003	0,0001	0,0001	0,0001	0,0003
gefährliche Abfälle „Filtervlies“	g	0,011	–	0,003	–	0,003	–
gefährliche Abfälle „Altemulsion“	g	116	–	44,9	–	45,7	–
davon Austrag über Späne	g	72	–	0		0,8	–

Die oben aufgeführten Kenngrößen zum Austrag von Spänen zeigen, dass die Spanform einen enormen Einfluss auf den KSS-Austrag haben kann. Zum Beispiel wurde beim Fräsen von Stahl kein KSS-Austrag ermittelt (siehe Tabelle 10).

4.3 Ermittlungen von prozessbezogenen Kenngrößen im Betrieb

Zum Vergleich Ihrer Prozesse mit den Referenzprozessen können Sie die prozessbezogenen Kenngrößen durch praktische Messungen im Betrieb erheben oder aus betrieblichen Dokumentationen ableiten. Tabelle 11 gibt einen Überblick, mit welchen Methoden die benötigten prozessbezogenen Kenngrößen sowie die Bezugsgröße des Prozesses in Ihrem Unternehmen ermittelt werden können.

Tabelle 11: Geeignete Methoden zur Ermittlung von prozessbezogenen Kenngrößen

Ressourcenart	Kenngröße		Relevant für		Wird verwendet für		Zu ermitteln durch
		Einheit	KSS	MMS	Betriebliche Kenngrößen	Kosten-rechnung	
Bezugsgröße	*Spanmenge*	*g*	*x*	*x*	*(x)*	–	*Messung*
Energie	**Stromverbrauch (Werkzeugmaschine)**	kWh	x	x	x	x	Messung
	Druckluftverbrauch	Nm^3	x	x	x	x	Messung
Schmierstoffe	**KSS-Verbrauch**	g	x	–	x	x	Messung/Dokumente
	MMS-Öl-Verbrauch	g	-	x	x	x	Messung
Sonstige Betriebsstoffe	**Filtervliesverbrauch**	g	x	–	x	x	Dokumente
	Werkzeugverbrauch	%	x	x	x	x	Dokumente
Abfälle	**gefährliche Abfälle „Filtervlies"**	g	x	–	x	x	Dokumente
	gefährliche Abfälle „Altemulsion" *	g	x	–	x	x	Dokumente

*) *Wird im Abschnitt „KSS-Verbrauch" beschrieben*

Hinweis!
Achten Sie bei der Datenerhebung immer auf die Verwendung der richtigen Einheit!

Im Folgenden erhalten Sie Anleitungen, wie Sie die Kenngrößen zu den jeweiligen Ressourcenarten ermitteln, in dem Sie praktische Messungen durchführen und/oder indem Sie Informationen aus betrieblichen Unterlagen ermitteln. Als Ergebnis können Sie am Ende aus den generierten Kenngrößen eine Bewertung von Potenzialen vornehmen.

Bei der Datenerhebung zur Ermittlung von Kenngrößen ist Folgendes zu beachten: Alle Kenngrößen müssen, um sie vergleichen zu können, denselben Bezug haben. Dieser unterscheidet sich jedoch im Allgemeinen, je nachdem ob Daten gemessen oder aus Unterlagen ermittelt werden. Bei der Messung am Bearbeitungszentrum können die Messergebnisse direkt dem Bearbeitungsprozess, das heißt der in oben genannter Tabelle ausgewiesenen Bezugsgröße „Spanmenge" zugewiesen werden. Im Unterschied dazu weisen Angaben, die Sie zum Beispiel Unterlagen aus dem Einkauf oder Abrechnungen von Entsorgern entnehmen, üblicherweise einen Bezug zu einer Zeitperiode auf, zum Beispiel die im Zeitraum von drei Monaten eingekaufte KSS-Emulsion. Damit Sie beide Informationsquellen nutzen können, müssen die Daten also umgerechnet werden. Dazu müssen Sie die Anzahl von Bearbeitungsvorgängen pro Zeitperiode kennen. Am einfachsten geht dies, wenn Sie wissen, wie viel Späne pro Prozess, Produkt, Maschine oder im kompletten Jahr im Unternehmen anfallen. Bei der Auswertung von Abrechnungen ist es wichtig zu überprüfen, ob die eingekauften Mengen tatsächlich in der entsprechenden Zeitperiode verbraucht wurden oder ob sie lediglich größere Mengen an Lagerbeständen umfassen.

4.3.1 Kenngröße „Energie"

4.3.1.1 Messung des Stromverbrauchs

Für die Messungen des Stromverbrauchs während der Zerspanung werden Signale der Spannung und der Stromstärke benötigt. Die Erfassung des Signals für die Spannung erfolgt durch eine Strommesszange (siehe Abbildung 16) und einen Spannungstastkopf. Jede Phase benötigt ihren eigenen Spannungstastkopf und ihre eigene Strommesszange. Für eine Messung eines 3-phasigen Anschlusses benötigten Sie vier Spannungstastköpfe (Null-Leiter) und drei Strommesszangen. Mit diesem Verfahren können Sie die Stromverbräuche der Werkzeugmaschine, der KSS-Hochdruckpumpe, des MMS-Geräts oder auch des Druckluftkompressors messen.

Hinweis!
Die Erfassung des Stromverbrauchs darf nur durch ausgebildete Betriebselektriker erfolgen.

Ein Data-Akquisition-System (DAQ) kann weiterhin benutzt werden, um die gemessenen analogen Signale in digitale Signale umzuwandeln. Dafür wird eine Datenerfassungskarte benötigt. Die Ausgangssignale der Datenerfassungskarte können beispielsweise mit USB-Anschluss an einem PC weitergegeben und gespeichert werden. Die Messfrequenz der Karte soll mindestens zehn Hertz betragen. Dies ermöglicht die Aufnahme von Impulsspitzen, die während des Eilganges oder Werkzeugwechsels auftreten und eine Dauer von wenigen Millisekunden haben.

Bei den Referenzprozessen wurden die Leistungsverbräuche mittels Strommesszangen der Firma Chauvin Arnoux (siehe auch Abbildung 16) aufgenommen. Dabei wurden die Strommesszangen des Typs MN 21 und MINI 02 benutzt. Die Eingangssignale wurden mittels eines DAQ-Systems der Firma National Instruments erfasst. Hierbei wurde das Analogeingangsmodul NI 9225 für die Spannungssignale und die Stromeingangsmodule NI 9217 und NI 9227 für die Stromsignale angewendet.

4.3.1.2 Messung des Druckluftverbrauchs

Der Druckluftverbrauch kann mittels eines Durchflussmengensensors gemessen werden. In Abbildung 17 ist ein System zur Messung des Druckluftverbrauchs schematisch dargestellt. Das System besteht aus zwei Sensoren. Ein Sensor misst den Druck, der zweite die Durchflussmenge. Bei den Referenzversuchen wurde ein Sensor zur Messung der Durchflussmenge von der Firma Höntzsch mit der Modellnummer TA-Di/U10a benutzt. Bei der Messung des Druckluftverbrauchs oder der Durchflussmenge wird das Signal als Spannung zwischen null und zehn Volt (Gleichstrom) herausgegeben. Die Umrechnung der Spannung in eine Durchflussmenge ist in Abbildung 18 beschrieben. Bei der Umrechnung ist es äußerst wichtig, die Einheit der Durchflussmenge zu beachten. Der Sensor gibt die Spannung in Volt aus. Diese muss von Volt in die Durchflussmenge mit der Einheit Normalkubikmeter pro Stunde (Nm^3/h) umgerechnet werden. In der Definition des Normalkubikmeters nach DIN 1343 werden die Temperatur, der Druck und die Luftfeuchtigkeit berücksichtigt. Um den gesamten Verbrauch bei einem Zerspanungsprozess zu messen, wurde das Messsystem vor der Werkzeugmaschine sowie dem MMS-Gerät installiert.



MINI 02 MN 21

Abbildung 16: Strommesszangen

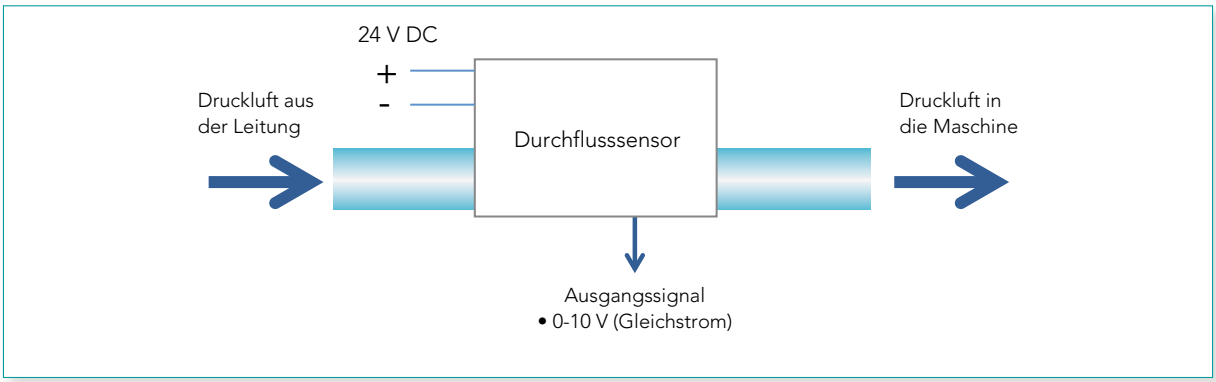


Abbildung 17: Messung des Druckluftverbrauchs

Berechnung der Durchflussmenge:

$$Q = (U-1{,}6 \cdot \frac{22}{6{,}4}\ [Nm^3/h]$$

Q = Durchflussmenge [Nm^3/h]
U = Spannung [V]

Abbildung 18: Umrechnung der Spannung in die Durchflussmenge

4.3.2 Kenngröße „Schmierstoffe: KSS-Verbrauch"

4.3.2.1 KSS-Bilanz

Die Ermittlung von KSS-Verbräuchen kann sich je nach Betrieb, Anlagenausstattung oder KSS-Versorgungssystemen als sehr schwierig erweisen. Jedoch setzt die Ermittlung von Maßnahmen für die Verringerung des KSS-Verbrauchs voraus, dass die wesentlichen Teilbeiträge des KSS-Verbrauchs bekannt sind.

Diese Teilbeiträge sind:

- der Austrag durch die Späne,
- der Austrag durch die bearbeitenden Bauteile,
- die Verdampfung während der Bearbeitung,
- die Verdunstung während des Stillstands der Maschine,
- Leckagen,
- Anhaftungen an der Maschine und im Tank.

Die Zusammenhänge zwischen den Ein- und Austrägen sind am einfachsten über eine KSS-Massenbilanz zu erkennen. Abbildung 19 zeigt eine solche Massenbilanz, die anhand der im Modellprojekt LernRess ermittelten Daten beispielhaft für den Referenzprozess R6 mit KSS erstellt wurde. Systemgrenze ist dabei das Bearbeitungszentrum. Als eingehender Stoffstrom ist die Menge der KSS-Emulsion zu betrachten. Diese besteht zum allergrößten Teil aus Wasser mit einem Anteil von sieben Prozent des KSS-Konzentrates. Die KSS-Emulsion wird durch mehrere Stoffströme ausgetragen: Der mengenmäßig größte Stoffstrom ist häufig der KSS-Austrag durch die Späne; allerdings zeigte Tabelle 10, dass dies sehr stark vom jeweiligen Referenzprozess abhängt. Ein weiterer Verlustfaktor ist der Austausch der KSS-Emulsion am Ende der Lebensdauer, die im Allgemeinen drei Monate beträgt. Weiterhin gehen Teile der Emulsion durch Verdunstung und Verdampfung verloren.

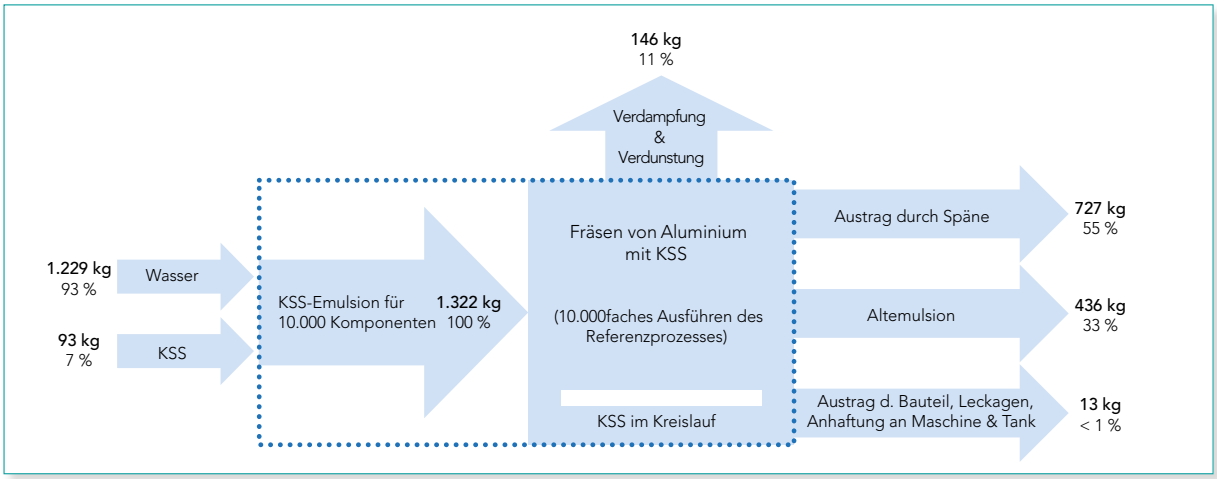


Abbildung 19: Beispielhafte Darstellung einer KSS-Massenbilanz für den Referenzprozess R6 mit KSS

In den weiteren Abschnitten wird Ihnen gezeigt, wie Sie die Massenströme der einzelnen Teilbeiträge ermitteln und anhand der Werte eine Massenbilanz nach Abbildung 19 erstellen können. Dabei können Sie wie folgt vorgehen:

- Liegen Ihnen bereits Informationen zu einzelnen Massenströmen vor, so können Sie sich an den Kenngrößentabellen (Tabelle 8 bis Tabelle 10) Ihres Referenzprozesses orientieren. Ist Ihnen beispielsweise die pro Jahr eingekaufte Menge an Emulsion und die pro Jahr entsorgte Menge an Altemulsionen bekannt, so können Sie feststellen, ob das prozentuale Verhältnis etwa dem des Referenzprozesses entspricht. Ist der prozentuale Anteil der entsorgten Altemulsion zum Beispiel sehr viel geringer, so deutet dies auf höhere Austräge, sozusagen Verluste, über andere Teilströme hin. Dies gibt Anlass zur konkreten Überprüfung auf mögliche Leckagen oder Verdampfungsverluste.

- Liegen Ihnen noch keinerlei Informationen vor, so sollten Sie als erstes den KSS-Verbrauch und den Austrag durch die Späne überprüfen. Auch hier gibt Ihnen das Verhältnis einen ersten Hinweis, ob gegebenenfalls erhöhte Verluste auftreten und gezielt die weiteren Teilbeiträge ermittelt werden sollten.

4.3.2.2 Ermittlung des KSS-Verbrauchs aus Dokumenten

Die Gesamtmenge an verbrauchten KSS kann aus Dokumenten des Einkaufs ermittelt werden. Auch hier ist die Zuordnung der Verbräuche zu einer Zeitperiode, also zum Beispiel einem Jahr, wichtig – es darf also nicht geschehen, dass zum Beispiel im Lager befindliche Mengen hinzugerechnet werden! Darüber hinaus ist zu beachten, dass die eingekauften Mengen das Konzentrat darstellen, in die oben genannte Massenbilanz aber die fertige Emulsion eingeht. Weiterhin muss aus der ermittelten Menge pro Zeitperiode eine klare Zuordnung zur Bezugsgröße „Spanmenge" des Prozesses hergestellt werden.

4.3.2.3 Messung des KSS-Austrags über die Späne

Beim Einsatz von Überflutungskühlschmiermittel bleibt KSS an den Spänen haften, welche durch die Späne aus dem Kreislauf ausgetragen werden und somit einen Verlust darstellen. Um die Menge des ausgetragenen Kühlschmierstoffs zu messen, werden die Späne unmittelbar nach der Bearbeitung in einem Behälter gesammelt. Das Gewicht des Behälters mit den Spänen wird gewogen. Die Späne werden anschließend in einem Behälter für 24 Stunden getrocknet. Nachdem die Späne an der Luft getrocknet sind, wird das Gewicht noch einmal bestimmt (siehe Abbildung 20). Anhand der entstandenen Gewichtsdifferenz kann der ausgetragene Kühlschmierstoff ermittelt werden. Da das Sammeln aller Späne meist nicht möglich ist, muss der ausgetragene KSS auf das gesamte abgetragene Spanvolumen hochgerechnet werden.

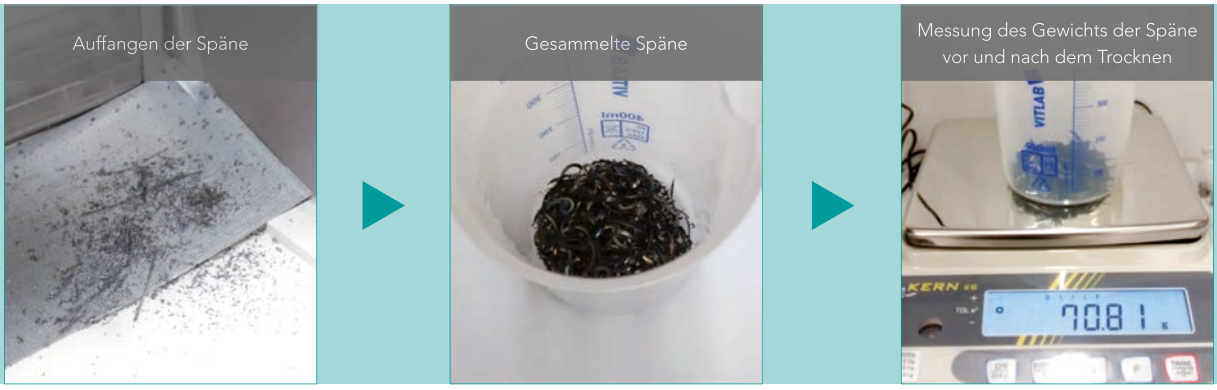


Abbildung 20: Messung des KSS-Austrags

4.3.2.4 Messung der Verdunstung von Emulsion im Maschinentank

Die Menge der Emulsion, welche durch Verdunstung aus dem Kreislauf verloren geht, kann wie folgt berechnet werden. In der Werkzeugmaschine, in der Wasser und Kühlschmierstoff im Tank nachgefüllt werden, ist ein Sensor enthalten, der die Füllstandmenge der Emulsion im Tank prüft. Durch eine tägliche Überwachung der Füllstandhöhe des Tanks kann der Austrag des Kühlschmierstoffs ermittelt werden. Über einen Zeitraum von zwei bis vier Wochen ergibt sich durch Verdunstung eine deutlich geringere Menge der Emulsion im Tank. Damit kann der KSS-Verlust über die Luft berechnet werden.

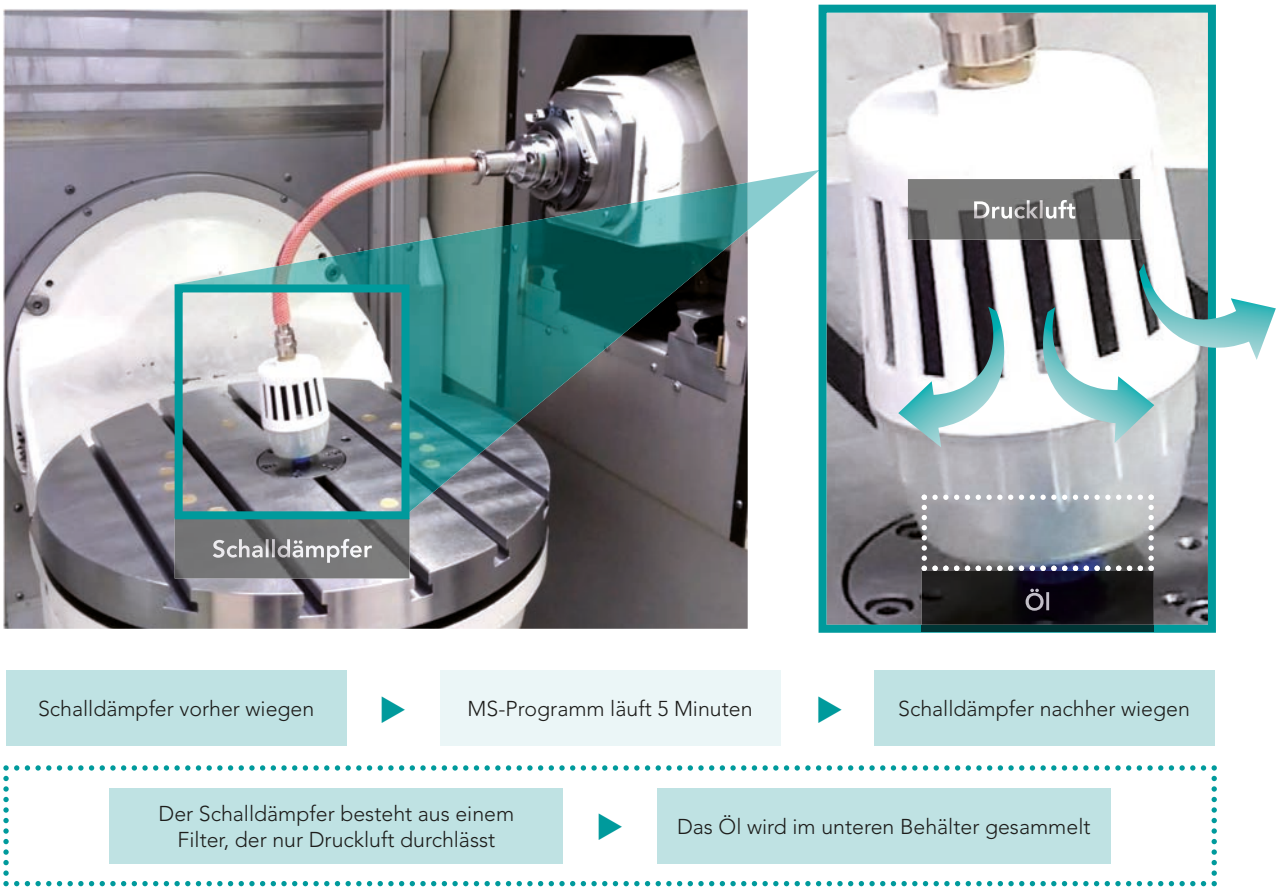
4.3.2.5 Ermittlung der Menge an Altemulsion

Die Menge an Altemulsionen kann auf Basis der entsorgten Mengen ermittelt werden. Diese sind den Abrechnungen des Entsorgers zu entnehmen und müssen auf eine Zeitperiode, die der Bilanz zu Grunde liegt, zum Beispiel ein Jahr, bezogen werden. Alternativ beziehungsweise zur Überprüfung ist jedoch die direkte Ermittlung zu empfehlen, in dem beim Austausch der Emulsion die Menge durch Wiegen überprüft wird. Falls eine Gewichtsangabe der Altemulsion nicht möglich ist, soll der Anwender das Gewicht des Produktes aus dem Volumen und der Dichte berechnen.

4.3.2.6 Austrag durch Leckagen

Nachdem alle vorigen Teilströme ermittelt wurden, ergibt sich aus der Differenz zwischen dem eingehenden Massenstrom und der Summe der ausgehenden Massenströme der Austrag durch Leckagen, Anhaftungen und andere kleinere Verluste. Sollte die errechnete Differenz deutlich höher als 1 Prozent sein, so kann das ein Hinweis auf größere Leckagen sein und Sie sollten eine individuelle Überprüfung Ihrer Anlage vornehmen.

Abbildung 21: Vorgehensweise zur Ermittlung des MMS-Verbrauchs



4.3.3 Kenngröße „Schmierstoffe: MMS-Verbrauch“

Um den Verbrauch des MMS-Öls beim Einsatz der MMS-Technologie zu messen, wird ein Filter benötigt. Hierfür kann ein sogenannter Schalldämpfer angewendet werden (siehe Abbildung 21). Dieser Schalldämpfer wird nach Angabe des Herstellers zur Reinigung von Druckluft verwendet. Zur Messung des MMS-Öls mithilfe des Schalldämpfers ist es notwendig, den Schalldämpfer vor Ausführung des Versuches zu wiegen. Danach ist der Schalldämpfer an den Druckluftschlauch und das andere Ende des Druckluftschlauchs an das Werkzeug anzuschließen. Hierbei ist zu beachten, dass die Verbindung vom Werkzeug bis hin zum Schalldämpfer luftdicht ist, um Streuungsverluste zu vermeiden. Nachdem Sie das Werkzeug in die Spindel aufgespannt haben, soll das zu untersuchende Programm im MMS-Gerät gestartet werden. Es genügt, wenn das Programm für fünf Minuten läuft. Nach dem Durchlauf müssen Sie den Schalldämpfer erneut wiegen. Nun kann anhand des Gewichts des Schalldämpfers vor und nach dem Durchlauf des MMS-Programms ermittelt werden, wie hoch die Durchflussmenge des MMS-Öls war.

4.3.4 Kenngröße „sonstige Betriebsstoffe“

4.3.4.1 Filtervlies

Wie bei 4.3.2.2 kann auch bei dieser Betriebskenngröße die Menge an benötigtem Filtervlies anhand von Dokumenten des Einkaufs ermittelt werden. Wichtig ist hierbei, dass die Filtervliesmenge pro Zeitperiode der Bezugsgröße „Spanmenge“ des untersuchten Prozesses zugeordnet wird.

4.3.4.2 Werkzeuge

Aus der Standzeit des Werkzeuges und der Bohrtiefe beziehungsweise des Fräsweges des jeweiligen Referenzprozesses, welche in Meter angegeben werden, kann der prozentuale Anteil einer Bohrung zur gesamten Standzeit berechnet werden. Die Standzeit eines Werkzeuges kann durch den Werkzeughersteller in Erfahrung gebracht werden.

4.3.5 Berechnung des Ressourceneffizienzpotenzials

Sind alle Daten erfasst, können Sie Ihre eigenen ermittelten Kenngrößen „Ist“ dem Stand der Technik (vgl. Kenngrößen in Kapitel 4.2 und Tabelle 8 bis Tabelle 10) gegenüberstellen. Verwenden Sie hierzu die im Kasten stehende Formel zur „Ermittlung des Ressourceneffizenzpotenzials“. Aus dem Ergebnis können Sie ableiten, für welche Kenngrößen die größten Potenziale zur Verbesserung der Ressourceneffizienz bestehen.

Ermittlung des Ressourceneffizienzpotenzials:

$$\text{Kennwert}_{\text{Ist}} - \text{Kennwert}_{\text{Stand der Technik Referenzprozess}} = +\Delta \rightarrow \text{Ressourceneffizienzpotenzial}$$

4.4 Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Tabelle 12 stellt Maßnahmen zusammen, die zur Verbesserung der Ressourceneffizienz und Verringerung der Kosten beitragen können. Ersetzen mit: Die Einsparpotenziale der Maßnahmen zusammen mit den betroffenen Kenngrößen und die Eignung für die Referenzprozesse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln näher erläutert.

Sofern Ihre eigenen Prozesse noch nicht dem Stand der Technik entsprechen, sind Ihre Einsparungspotenziale höher. Eine individuelle Abschätzung der Einsparpotenziale können Sie durch die in Abschnitt 4.3 aufgezeigte Ermittlung eigener Kenngrößen bei probeweiser Umsetzung im Betrieb erhalten.

Tabelle 12: Ressourceneffiziente Maßnahmen mit Ziel und Eignung für Referenzprozesse

Schmierstrategie	Kürzel	Maßnahme	Ziel / betroffene Kenngrößen	Einspar-potenziale	Eignung für Referenzprozess
Betriebliche Optimierung KSS	**MK1**	Erhöhung der Lebensdauer/ Vermeidung von Verlusten	KSS-Lebensdauer erhöhen; KSS-Verluste vermeiden	Individuelle Potenziale	Alle Bohr- und Fräsprozesse mit KSS
	MK2	Verringerung des KSS-Austrags	KSS-Austrag senken	bis zu 90 %	
	MK3	Reduzierung des Energiebedarfs der KSS-Hochdruckpumpe	Stromverbrauch senken	bis zu 25 %	
Umstellung KSS auf MMS (bezogen auf R6)	**MM1**	Umstellung von KSS auf MMS-System (1-Kanal)	Energieverbrauch Schmierstoffverbrauch Filtervlies, Abfälle & Altöle	25 % 99 % 100 %	Alle Bohr- und Fräsprozesse mit MMS
	MM2	Umstellung von KSS auf MMS-System (2-Kanal)	Energieverbrauch Schmierstoffverbrauch Filtervlies, Abfälle & Altöle	66 % 99 % 100 %	
Betriebliche Optimierung MMS	**MM3**	Verbesserung der Schmierwirkung des Mediums der MMS-Technologie	Verbrauch des MMS-Schmieröls senken	bis zu 25 %	
Schmierstoff-unabhängige Maßnahmen	**MU1**	Werkzeugoptimierung (z.B. Polieren der Spannuten zum besseren Spanabtransport)	Werkzeuglebensdauer erhöhen	bis zu 50 %	Alle Bohrprozesse mit KSS und MMS
	MU2	Nachschleifen von Werkzeugen	Werkzeuglebensdauer erhöhen	zwischen 60 bis 80 %	

4.4.1 Betriebliche Optimierung KSS (MK1 bis MK3)

Maßnahme MK1: Erhöhung der Lebensdauer/ Vermeidung von Verlusten

Die in 4.2 aufgeführten Kenngrößen zeigen den Stand der Technik des Verbrauchs von KSS an. Liegt der Verbrauch des Prozesses über diesen Kenngrößen, kann anhand der in Kapitel 4.3.2.1 vorgestellten KSS-Massenbilanz identifiziert werden, wie der hohe Verbrauch zustande kommt. Mögliche Ursachen eines hohen KSS-Verbrauchs werden nachfolgend erläutert. Zu den Verlusten zählen die Verdunstung, der Austrag durch die Späne und der Verwurf der Altemulsion. Die Frequenz des Verwurfs des KSS hat einen direkten Zusammenhang mit ihrer Lebensdauer. Im Fall der Schaumbildung ist der KSS auszutauschen, weil der Schaum ein guter Isolator ist und eine negative Auswirkung auf die Kühlleistung des Kühlschmierstoffes hat. Ein weiterer Grund für einen Austausch des KSS resultiert aus gesundheitlichen Gefährdungen, welche durch die Entstehung von Bakterien und Schimmelpilzen verursacht wird. Diese Ursachen sind auf eine nicht fachgerechte Wartung des KSS zurückzuführen, die wiederum eine frühzeitige Entsorgung der

Emulsion hervorrufen. Diese Ursachen können wie folgt beseitigt werden:

- Die Entstehung von Bakterien und Schimmelpilzen kann durch die Anwendung von Bioziden vermieden werden.
- Die Schaumbildung kann durch die Anwendung von Antischaummittel behoben werden.
- Eine mangelnde Schmierleistung kann durch die Einstellung der Sollkonzentration oder durch die Zugabe von Stabilitätsadditiven korrigiert werden.
- Durch die Steuerung der Eigenschaften des KSS, welche sich auf die Verdunstung auswirken, könnte die Verdunstung kontrolliert werden. Unter Eigenschaften sind der Dampfdruck des KSS, der Oberfläche des KSS im Tank und die Temperatur zu verstehen. Die Umgebungstemperatur und die Luftfeuchtigkeit können zudem auch eine maßgebliche Auswirkung auf die Verdunstung haben.
- Der Austrag über Späne ist zu hoch. Für diese Ursache, die in der Praxis häufig auftritt, gibt es eine gesonderte Maßnahme (MK2), die im nächsten Abschnitt beschrieben wird.

Wenn Zusatzstoffe in Kühlschmierstoffen angewendet werden, um die Lebensdauer zu erhöhen, sind schon bei ihrer Anschaffung die davon ausgehenden potenziellen negativen Auswirkung auf die Gesundheit des Personals zu beachten.

Potenzialabschätzung: Reduzierung des KSS-Verbrauchs in Bezug auf die jeweiligen Kennwerte der Referenzprozesse.

Maßnahme MK2: Verringerung des KSS-Austrags

Eine signifikante Menge der in der Produktion eingesetzten KSS wird nach der Bearbeitung durch Späne ausgetragen und wird somit dem KSS-Kreislauf entzogen. Die Menge des KSS-Austrags durch Späne variiert je nach Werkstoff und Prozess. Eine Rückgewinnung des Öls kann nur durch eine Trennung des Öls von den Spänen erreicht werden. Die KSS-Rückgewinnung kann durch verschiedene Ansätze realisiert werden:

- Durch ein Gebläse können die Späne getrocknet werden, sodass der KSS dem Kreislauf zurückgeführt werden kann.
- Der KSS kann auch durch den Einsatz von Zentrifugen von den Spänen getrennt werden.

Potenzialabschätzung: Reduzierung des Austrags des KSS-Mediums durch Späne unter Verwendung von Zentrifugen bis zu 90% gegenüber dem Referenzprozess.

Maßnahme MK3: Reduzierung des Energiebedarfs der KSS-Hochdruckpumpe

Die Hochdruckpumpe setzt den Kühlschmierstoff unter einen bestimmten Druck, um den Kühlschmierstoff durch die Innenkanäle der eingesetzten Werkzeuge zu leiten. Grundsätzlich werden zwei Varianten von Hochdruckpumpen unterschieden:

- Die erste Variante liefert einen konstanten, von dem Werkzeugmaschinen-System vorgegebenen Versorgungsdruck.
- Die zweite Variante ermöglicht die manuelle Einstellung des Drucks und stellt somit einen optimalen Druckzustand an der Werkzeug-Werkstück-Schnittstelle her.

Wird die Hochdruckpumpe auf einem konstanten Druckniveau betrieben, kann es zu einem Überschuss bei der Durchflussmenge kommen. Die nicht benötigte Menge an KSS wird dann in den KSS-Behälter zurückgepumpt. Ein effizienter Ressourcenverbrauch ist mit folgenden Ansätzen möglich:

- Durch den Einsatz einer regulierbaren Hochdruckpumpe können Einsparungen im Ressourcenverbrauch realisiert werden.
- Eine angepasste NC (Numerical Control)-Programmierung führt zu weiteren Einsparungen.

Allerdings sind hierfür Kenntnisse über die eingesetzte Maschinensteuerung erforderlich, um das volle Potenzial der Pumpe ausnutzen zu können. Eine falsche Einstellung des Druckes kann zum Versagen der eingesetzten Werkzeuge führen.

Potenzialabschätzung: Reduzierung des Energiebedarfs der Hochdruckpumpe um 25% gegenüber dem Referenzprozess durch die angepasste Ansteuerung der KSS-Hochdruckpumpe.

4.4.2 Umstellung von KSS auf MMS (MM1 und MM2)

Gerade bei der Umstellung von der KSS-Technologie auf die MMS-Technologie sind die erheblichen Einsparungen von Energie und weiteren Stellgrößen zu beachten, welche im Folgenden aufgelistet sind:

- Ein Minimalmengenschmiersystem (MMS-System) braucht deutlich weniger Strom als eine KSS-Hochdruckpumpe. Wo eine KSS-Hochdruckpumpe circa 25.000 kWh/a Strom verbraucht, wird beim Einsatz der MMS-Technologie weniger als ein Prozent an Strom (200kWh) im Jahr benötigt[55].
- Trotz des deutlich höheren Druckluftverbrauchs beim Einsatz von KSS und dem damit einhergehenden hohen Energieverbrauch für die Drucklufterzeugung, ist der gesamte Energieverbrauch durch den Einsatz der MMS-Technologie geringer.
- Durch den Verzicht des KSS können Einsparungen bei den Entsorgungskosten erzielt werden, weil Altemulsionen und weitere gefährliche Abfälle vermieden werden.
- Der benötigte Zeit- und Kostenaufwand für die Wartung der KSS-Anlagen, wie beispielsweise des KSS-Tanks oder der Hochdruckpumpe, ist gegenüber den MMS-Systemen aufwändiger.

Die Umstellung der Zerspanung unter Verwendung der Kühlschmiertechnologie auf die MMS-Technologie besitzt hohes Potenzial in der Einsparung von Schmierstoffen und Energie. Zudem werden Filtervlies und Abfälle eingespart.

Um das komplette Einsparpotenzial der MSS-Technologie auszunutzen, ist ein tieferes Verständnis dieser Technologie notwendig, weshalb Schulungen von Mitarbeitern zum optimalen Umgang mit der MMS-Technologie zu empfehlen sind. Nur mit diesem Wissen kann eine erfolgreiche Umstellung auf die MMS-Technologie gelingen.

Eine Querschnittserweiterung innerhalb der Leitung ist für das Luft-Öl-Gemisch ungünstig, da die Zusammensetzung des Gemisches durch die Bildung sogenannter „Versackungsräume" gestört wird. Deswegen ist ein weiterer wichtiger Aspekt beim Einsatz der MMS-Technologie die Verwendung geeigneter Spannfutter und Werkzeuge, welche die Querschnittsänderung an der Werkzeug-Spannfutter-Schnittstelle und der Spannfutter-Spindel-Schnittstelle vermeiden.

Beim Zerspanungsprozess wird die Wärme überwiegend über die entstehenden Späne abgeführt. Obwohl die MMS-Technologie die Prozesswärme durch die verminderte Reibung reduziert, entwickelt sich bedingt durch Materialumformungen während des Materialabtrags noch immer eine erhebliche Prozesswärme. Erfolgt die Abfuhr dieser Wärme ausschließlich über die Späne, so besteht im Falle von Kontakt mit Maschinenkomponenten die Gefahr von deren Ausdehnung. Die Spanabfuhr kann mittels Druckluft an der Werkzeug-Werkstück-Schnittstelle erfolgen. Schwierig gestaltet sich die Spanabfuhr bei Verfahren wie beispielsweise dem Tieflochbohren, hierfür wird eine tendenziell höhere Druckluftmenge benötigt. Um eine Verpuffung des Mediums und somit eine Beschädigung der Werkzeugmaschine auszuschließen, ist bei der Auswahl des Schmiermittels zu beachten, dass der spezifische Flammpunkt deutlich über der Temperatur an der Eingriffsstelle liegen muss.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass, bevor diese Maßnahme umgesetzt wird, die Vor- und Nachteile für das eigene Unternehmen gegenübergestellt werden sollten.

Die MMS-Technologie verwendet ein Luft-Öl Gemisch, das durch die Zerstäubung eines Schmieröls mit Druckluft entsteht und der Schnittstelle zugeführt wird. MMS-Systeme können, in Bezug auf die Stelle der Erzeugung des Luft-Öl-Gemischs, in 1- und 2-Kanal-Systeme untergliedert werden.

- 1-Kanal-Systeme erzeugen das Luft-Öl-Gemisch im MMS-System und leiten dieses über die Aerosolleitung, die Drehdurchführung und die Spindel zum Werkzeug.
- Mit 2-Kanal-Sytemen werden Druckluft und Schmiermedium durch eine Zweikanal-Drehdurchführung getrennt zugeführt und erst an der Zerspanstelle gemischt.

[55] *Kuchenmeister, R.: Minimalmengenschmierung versus Nassbearbeitung. Kosten- und Qualitätsvorteile. In: Werkstatt und Betrieb, Ausgabe 6, S. 75 – 77. 2012. Online verfügbar: http://www.bielomatik.com/sixcms/media.php/27/WB_2012_06_MMS_Artikel.pdf (zuletzt geprüft am 22.12.2015).*

Die Vorteile der 2-Kanal-Technik gegenüber dem 1-Kanal-System liegen in der Möglichkeit, höhere Drehzahlen einzusetzen sowie in kurzen Reaktionszeiten das System an- und auszuschalten, sodass der Einsatz des Systems in vollautomatisierten Werkzeugmaschinen ermöglicht wird. Der Einsatz von 2-Kanal-Systemen geht allerdings mit einigen Einschränkungen einher. So ist die Umrüstung bestehender Werkzeugmaschinen auf 2-Kanal-Systeme aufwändiger als die Umrüstung auf 1-Kanal-Systeme. Des Weiteren sind beim Einsatz von 2-Kanal-Systemen speziell geeignete Werkzeuge notwendig, während 1-Kanal-Systeme mit Standardwerkzeugen (KSS-geeignet) angewendet werden können. Weitere Nachteile des 2-Kanal-Systems bestehen in der aufwändigen Einstellung der Werkzeugspannfuttersysteme sowie im intensiven Wartungsbedarf und in den Anschaffungskosten der 2-Kanal-Anlagen.

Potenzialabschätzung für MM1 und MM2: Kompletter Verzicht auf KSS durch die Einführung der MMS-Technologie sowie das Vermeiden des Aufwandes von Wartungsarbeiten und Reduzierung der Kosten bei der Entsorgung gefährlicher Abfälle und Altemulsionen.

- **Potenzialabschätzung nur für MM1: Durch die Umsetzung der MMS-Technologie (1-Kanal) ist eine Stromersparnis von bis zu 25% gegenüber dem Referenzprozess unter Verwendung von KSS möglich.**

- **Potenzialabschätzung nur für MM2: Durch die Umsetzung der MMS-Technologie (2-Kanal) ist eine Stromersparnis von bis zu 66% gegenüber dem Referenzprozess unter Verwendung von KSS möglich.**

4.4.3 Betriebliche Optimierung MMS (MM3)

Maßnahme MM3: Verbesserung der Schmierwirkung des MMS-Mediums

Beim Einsatz der MMS-Technologie liegt der Fokus auf der Reduzierung des Reibkoeffizienten zwischen Werkstück und Werkzeugschneide. Eine geringere Reibung zwischen der Schneide und dem Werkstück bewirkt eine verringerte Wärmeentwicklung während des Prozesses. Um die Schmierwirkung des MMS-Mediums zu optimieren, müssen die physikalischen Eigenschaften des Öls betrachtet werden. Verbesserungen sind zu erzielen durch:

- Ein höherviskoses Öl
- Additive wie beispielsweise SiO_2

Potenzialabschätzung: Reduzierung des Ölverbrauchs um 25% durch verbesserte Schmierwirkungen des Mediums gegenüber den Referenzprozessen unter Verwendung von MMS.

4.4.4 Schmierstoffunabhängige Maßnahmen (MU1 und MU2)

Maßnahme MU1: Werkzeugoptimierung

Die Optimierung der Werkzeuge kann auf folgende Weise zur Steigerung der Ressourceneffizienz beitragen:

- Ein Ziel der Werkzeugoptimierung ist beispielsweise die Verbesserung der Spanabfuhr beim Bohren. Dies kann durch **das Polieren von Spannuten** erreicht werden, wodurch die Reibung zwischen Spänen und Werkzeug minimiert sowie die Spanförderung erleichtert wird. Der Einsatz von Werkzeugen mit unpolierten Nuten kann hingegen zu Werkzeugversagen führen, falls es zur Klemmung von Spänen zwischen Werkzeug und Werkstück kommt.
- Auch **der Einsatz von Kombinationswerkzeugen** kann als eine Art der Werkzeugoptimierung verstanden werden. Wenn beispielsweise mehrere Bohroperationen mit Werkzeugen unterschiedlichen Durchmessers durchzuführen sind, kann der Einsatz von Kombinationswerkzeugen zur direkten Einsparung von Zeit und Energie beim Werkzeugwechsel führen. Da beispielsweise weniger Werkzeuge und Spannfuttersysteme benötigt werden, fällt die Zeit zum Einmessen der Werkzeuge aus, wodurch das Unternehmen auch betriebswirtschaftliche Vorteile erzielen kann.

Potenzialabschätzung: Erhöhung des Werkzeugstandwegs auf bis zu 50% gegenüber den Werkzeugen, welche keine polierten Spannuten besitzen. Erhöhung der Produktivität durch die Verwendung von Kombinationswerkzeuge.

Maßnahme MU2: Nachschleifen der Werkzeuge

Eine Maßnahme zur Senkung der Werkzeugkosten besteht darin, Bohrwerkzeuge nachzuschleifen. Je nach Hersteller und Werkzeuggröße können Werkzeuge mehrmals nachgeschliffen werden. Diese Maßnahme ermöglicht immense Einsparpotenziale, da die Kosten für das Schleifen von Werkzeugen nur einem Bruchteil der Anschaffungskosten neuer Werkzeuge entsprechen. Durch das Nachschleifen kann beispielsweise der Werkzeugstandweg kostspieliger Vollhartmetallwerkzeuge deutlich erhöht werden.

Potenzialabschätzung: Erhöhung der Lebensdauer von Werkzeugen durch Nachschleifen von 60% bis 80% – je nach Werkzeugart. Eine Reduzierung der Kosten von bis zu 50% gegenüber der Anschaffung neuer Werkzeuge ist realisierbar.

4.5 Kostenrechnung

Die Bewertung der Kosten wird mit einer statischen Kostenrechnung durchgeführt. Hierbei werden für den Ist-Zustand und den durch die Maßnahme realisierten Soll-Zustand die monatlichen entstehenden Kosten ermittelt und vergleichend gegenübergestellt. Hierfür benötigen Sie Informationen zu Betriebskosten sowie Anschaffungskosten.

Betriebskosten umfassen die Kosten zur Beschaffung der einzelnen Betriebsstoffe sowie die Entsorgungsgebühren. Angaben zu Betriebskosten können durch Abrechnungen der eingesetzten Betriebsstoffe sowie der Entsorgungsgebühren der Abfälle in der betriebseigenen Buchhaltung ermittelt und auf den jeweiligen Referenzprozess bezogen werden.

Falls Sie für die Umsetzung einer Maßnahme aufgrund fehlender Daten die Änderung der Betriebskosten nicht berechnen können, können Sie die Angaben in Tabelle 13 verwenden. Diese Preisspannen dienen als Referenz. Die große Spannweite bei den Werkzeugkosten lässt sich dadurch erklären, dass die Werkzeugpreise für die Bearbeitung bestimmter Werkstoffe sehr stark variieren können. Ein weiterer Grund sind Spezialwerkzeuge, die für bestimmte Bearbeitungen extra angefertigt werden müssen.

Anschaffungskosten entstehen, wenn Sie zur Umsetzung einer Maßnahme in neue Komponenten oder Anlagen investieren müssen. Die Erhebung der Anschaffungskosten kann anhand von Angebotsabfragen für Technologiekomponenten oder Umrüstungen individuell bei den jeweiligen Anbietern durchgeführt werden. Ein wichtiger Faktor bei der Berechnung der Anschaffungskosten ist die Abschreibung[56] der Anschaffung.

Tabelle 13: Preisspannen für die einzelnen Betriebs- und Abfallstoffe

Preise in Euro		
Strom	kWh	0,12 – 0,18
Druckluft	Nm^3	0,02 – 0,05
KSS-Konzentrat	kg	3 – 7
Bohrer (typabhängig)	Stück	20 – 1.000
Fräser (typabhängig)	Stück	1.000 – 3.000
MMS-Öl	kg	2 – 10
Wasser	m^3	1,5 – 4
Altölentsorgung	kg	0,1 – 0,2
Entsorgung gefährlicher Abfälle	kg	0,06 – 0,38
Filtervliese	kg	1 – 5

[56] *Die Dauer für die Abschreibung von Maschinen beziehungsweise Anlagen ist von den Investitionskosten und von der Unternehmensgröße abhängig und außerdem sind die Vorgaben des Handelsgesetzbuchs (HGB) zu befolgen. Aus diesen Gründen kann eine pauschale Aussage über die Abschreibung der Anlagen ohne weitere Information nicht getroffen werden. Die Kosten für Abschreibungen müssen aufgrund der einzelnen spezifischen Rahmenbedingungen von den Betrieben selbst berechnet werden.*

Wenn Ihnen die spezifischen betrieblichen Werte und Randbedingungen Ihres Prozesses vorliegen und Sie eine eigene Kostenrechnung durchführen möchten, können Sie Tabelle 14 nutzen, um die Kosten verschiedener Prozesse gegenüberzustellen. In Unterkapitel 4.8.1 finden Sie eine beispielhafte Kostenrechnung für die Maßnahme MM1.

Tabelle 14: Beispielhafte Matrix zur Gegenüberstellung von Kosten verschiedener Prozesse

	Ausgangsprozess		Neuer Prozess (Maßnahme)	
	Einmalige Kosten (€)	Kosten (€/Monat)	Einmalige Kosten (€)	Kosten (€/Monat)
Anschaffungskosten	0 Alle Komponenten vorhanden			
Betriebskosten				
Schmierstoffverbrauch				
durch Verwurf/Austausch des Schmierstoffs				
Energieaufwand				
Druckluftverbrauch				
Personal				
Betriebsaufwand				
Entsorgung				
Gesamtkosten				

4.6 Indikatoren für natürliche Ressourcen

In diesem Kapitel werden die Indikatoren für die Bewertung der natürlichen Ressourcen für die spanende Bearbeitung vorgestellt.

Grundsätzlich lassen bereits die prozessbezogenen Kenngrößen eine Einschätzung des Verbrauchs natürlicher Ressourcen zu. Allerdings berücksichtigen diese prozessbezogenen Kenngrößen nicht die Ressourcenverbräuche im Lebenszyklus, und sie stehen nicht in einer unmittelbar quantifizierbaren Beziehung zu gesellschaftlichen Indikatoren des Ressourcenverbrauchs. Darüber hinaus ist die Zahl unterschiedlicher prozessbezogener Kenngrößen relativ hoch, was eine eindeutige Beurteilung der Veränderung der Ressourceneffizienz schwierig macht. Aus diesem Grund wurden im Projekt LernRess die untersuchten Bearbeitungsverfahren im Rahmen einer Ökobilanz gemäß DIN EN ISO 14040 [57] dahingehend analysiert, welche prozessbezogenen Kenngrößen einen maßgeblichen Einfluss auf die natürlichen Ressourcen haben. Hierzu wurden insgesamt 14 Wirkungskategorien[58] untersucht, darunter Klimawandel, abiotischer Rohstoffverbrauch, Flächenverbrauch sowie Wirkungskategorien für Emissionen in Luft und Wasser. Mit diesen Wirkungs-

[57] *DIN EN ISO 14040/14044: Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. 2009.*

[58] *In der Ökobilanz nach DIN EN ISPO 14040/14044 werden wichtige Umweltthemen, wie zum Beispiel Klimawandel, Flächenverbrauch, Verbrauch abiotischer Ressourcen und weitere durch sogenannte Wirkungskategorien repräsentiert. Im Projekt LernRess wurde die Wirkungsabschätzungsmethode CML 2001 entsprechend der Ecoinvent Version 3.1 verwendet.*

kategorien wurden die entsprechend Unterkapitel 2.1 definierten natürlichen Ressourcen abgebildet; mit Ausnahme des Verbrauchs von Wasser und der Kategorie Biodiversität.

Als Ergebnis der Ökobilanz zeigte sich, dass in nahezu allen untersuchten Wirkungskategorien mindestens 90% des Gesamtbeitrags auf die prozessbezogenen Kenngrößen Strom, Druckluft und KSS-Schmierstoffe entfallen. Umgekehrt machen die sonstigen Betriebsstoffe und die Abfälle in der Summe einen Beitrag von unter 10% aus. Um sowohl für die betriebliche als auch für die gesellschaftliche Ebene wenige, aber aussagekräftige Indikatoren zu erhalten, konnte die Bewertung daher auf die prozessbezogenen Kenngrößen Strom, Druckluft und KSS-Schmierstoffe beschränkt werden. Die im Unterkapitel 2.3.2 dargestellte Abbildung 6 vereinfacht sich daher wie folgt (Abbildung 22):

Die Kenngrößen Strom, Druckluft sowie Schmierstoffe, folglich KSS-Emulsionen beziehungsweise MMS-Öle, können zwei Kategorien von Ressourcen zugeordnet werden: dem Verbrauch von Energie (Strom und Druckluft) sowie dem Verbrauch von Betriebsstoffen beziehungsweise Materialien (KSS oder MMS-Öl). Mit diesem Vorgehen können die prozessbezogenen Kenngrößen zu zwei betrieblichen Indikatoren aggregiert werden: dem Endenergieverbrauch in Kilowattstunden und dem Materialverbrauch in Kilogramm.

Diese betrieblichen Indikatoren können wiederum in Beziehung gesetzt werden zu gesellschaftlichen Indikatoren, genauer zu den Indikatoren der deutschen Nachhaltigkeitsstrategie:[59] Primärenergieverbrauch und Rohstoffproduktivität (siehe Abbildung 23).

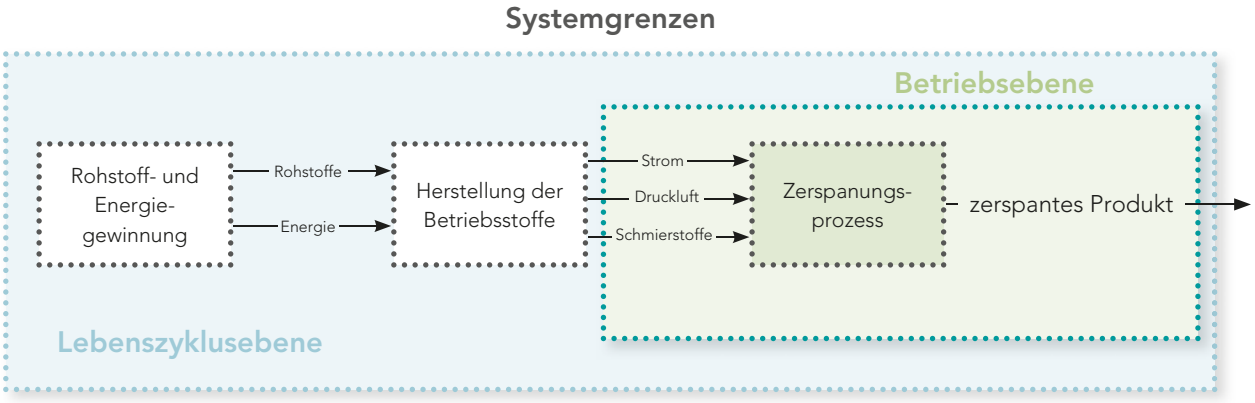


Abbildung 22: Angepasste Systemgrenze mit den relevanten prozessbezogenen Kenngrößen

Indikator 1b Primärenergieverbrauch

„Zielsetzung: Senkung des Primärenergieverbrauchs von 2008 bis 2020 um 20 % (entspricht dem Wert von 76,3% […], bezogen auf 1990 = 100) und von 2008 bis 2050 um 50 % (entspricht 47,7 % bei 1990 = 100).“

Quelle: Bundesregierung. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. S.64.

Indikator 1c Rohstoffproduktivität

„Die Bundesregierung verfolgt das Ziel, die Rohstoffproduktivität bis zum Jahr 2020 bezogen auf das Basisjahr 1994 zu verdoppeln. Die Rohstoffproduktivität drückt aus, wie viel Bruttoinlandsprodukt (in Euro, preisbereinigt) je eingesetzter Tonne an abiotischem Primärmaterial erwirtschaftet wird. Zum abiotischen Primärmaterial zählen die im Inland aus der Natur entnommenen Rohstoffe – ohne land- und forstwirtschaftliche Erzeugnisse – und alle importierten abiotischen Materialien (Rohstoffe, Halb- und Fertigwaren).“

Quelle: Bundesregierung. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012. S.66.

Abbildung 23: Gesellschaftliche Indikatoren der Nachhaltigkeitsstrategie[60]

[59] *Bundesregierung. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012.*

[60] *Bundesregierung. Nationale Nachhaltigkeitsstrategie. Fortschrittsbericht 2012.*

Der gesellschaftliche Indikator **Primärenergieverbrauch** bildet konzeptionell den „Lebenszyklusgedanken" ab, in dem die Vorkette der Erzeugung der im Betrieb genutzten Endenergie erfasst wird.

Im Fall des Indikators der **Rohstoffproduktivität** ist ein Bezug grundsätzlich nur zur Größe des abiotischen Primärmaterials möglich. Diese Größe ist jedoch methodisch umstritten, da sie inländische Rohstoffverbräuche mit Materialimporten zusammenfasst. Das Vorgehen im Modellprojekt LernRess orientiert sich daher an einem neuen Indikator, dem Rohmaterialeinsatz (RMI = Raw Material Input)[61], welcher derzeit als Alternative zum abiotischen Rohstoffverbrauch in der politischen Diskussion gilt. Der RMI betrachtet neben abiotischen Rohstoffen wie Erzen, Salzen, fossilen Energieträgern und mineralischen Rohstoffen auch biotische Rohstoffe[62] und weist den Verbrauch von Rohstoffen durch die Bereitstellung von Materialien oder Produkten als sogenannte Raw Material Equivalents (RME) aus. RME stellen die Menge an Rohstoffen dar, die für die Erzeugung der entsprechenden Materialien oder Produkte benötigt wurde[63]. Analog zum Indikator Primärenergie wird so ebenfalls der „Lebenszyklusgedanke" umgesetzt, in dem die Vorkette der Erzeugung der im Betrieb genutzten Materialien erfasst wird. Um die politische Zielsetzung des bestehenden Indikators der Rohstoffproduktivität beizubehalten, wurde in LernRess der abiotische Anteil der Rohstoffe in RME berechnet. Dies bedeutet, dass nachwachsende Rohstoffe, zum Beispiel biogene Öle, nicht erfasst werden.

Auf dieser Grundlage können aus den prozessbezogenen Kenngrößen Indikatoren für natürliche Ressourcen nach dem in Abbildung 24 gezeigten Vorgehen berechnet werden. Die entsprechenden Arbeitsschritte sind im Folgenden beschrieben.

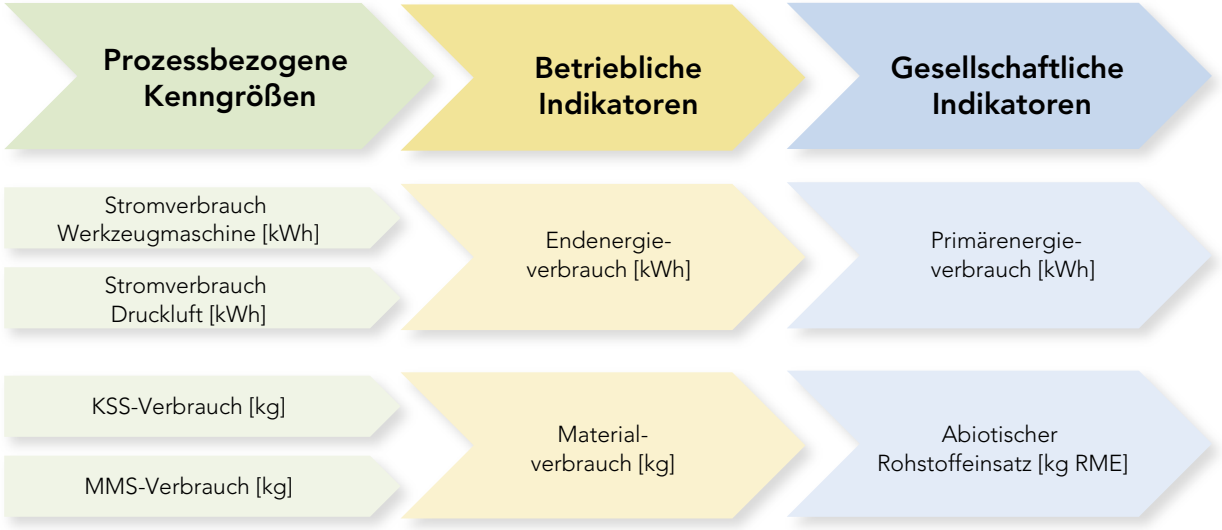


Abbildung 24: Übersicht der Indikatoren zur Bewertung der natürlichen Ressourcen

[61] *Hirschnitz-Garbers, M. et al.: Further Development of Material and Raw Material Input Indicators – Methodological Discussion and Approaches for Consistent Data Sets. Input paper for expert workshop. 26. May 2014.*

[62] *Umweltbundesamt: Glossar zum Ressourcenschutz. Dessau. 2012.*

[63] *Eurostat: Glossary: Material flow indicators. Online verfügbar unter: http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Glossary:Material_flow_indicators (Stand: 2. Juli 2015).*

Berechnung der betrieblichen Indikatoren

Zur Ermittlung des betrieblichen Indikators „**Endenergieverbrauch [kWh]**" werden die folgenden Stromverbräuche zusammengefasst:

- Stromverbrauch *Werkzeugmaschine*[64]
- Stromverbrauch *Druckluftkompressor*.

Dieser Indikator ergibt sich aus der Addition der prozessbezogenen Kenngrößen *Stromverbrauch Werkzeugmaschine* und *Stromverbrauch Druckluftkompressor*.[65] Die ermittelte Kenngröße Druckluftverbrauch beschreibt die benötigte Druckluft eines Referenzprozesses, jedoch nicht den entsprechenden Stromverbrauch. Deswegen muss der Druckluftverbrauch mit dem Umrechnungsfaktor 0,15kWh/Nm³[66] multipliziert werden, um den Stromverbrauch für die benötigte Druckluft zu berechnen.

Der betriebliche Indikator „**Materialverbrauch [kg]**" ergibt sich direkt aus der Menge an verbrauchten KSS oder MMS in Bezug auf den jeweiligen Referenzprozess.

Berechnung der gesellschaftlichen Indikatoren

Die gesellschaftlichen Indikatoren werden durch Multiplikation der in Tabelle 15 angegebenen Faktoren mit den betrieblichen Indikatoren gebildet.

Tabelle 15: Faktoren für die Leitindikatoren

Betriebsstoff	Leitindikator	Faktor
Stromverbrauch[67] [kWh]	Primärenergieverbrauch [kWh]	2,66[68]
KSS-Verbrauch [kg]	Abiotischer Rohstoffeinsatz [kg RME] für KSS	0,93
MMS-Verbrauch [kg]	Abiotischer Rohstoffeinsatz [kg RME] für MMS	1,48

Die in Tabelle 15 enthaltenden Faktoren für die jeweiligen Leitindikatoren wurden wie folgt ermittelt:

1. Leitindikator Primärenergieverbrauch in kWh:

Der Faktor für den Primärenergieverbrauch entspricht dem anerkannten Primärenergiefaktor nach DIN V 18599-1: 2011-12 für den allgemeinen Strommix, wie er für die energetische Bewertung von Gebäuden nach der Energieeinsparverordnung, kurz EnEV, genutzt wird. Jedoch kann dieser Faktor auch angewendet werden, um andere Prozesse energetisch zu bewerten. Durch Multiplikation des Primärenergiefaktors mit dem betrieblichen Indikator Endenergieverbrauch kann ermittelt werden, wie viel Primärenergie über die gesamte Wertschöpfungskette für die Herstellung, Umwandlung und Verteilung der Energie benötigt wurde.

Formel für die Berechnung des Leitindikators Primärenergieverbrauch:

*Endenergieverbrauch [kWh] * Primärenergiefaktor = Primärenergieverbrauch [kWh]*

Hinweis: Sollte für die Berichterstattung im Rahmen Ihres Umweltmanagementsystems die Ausweisung von Kohlendioxid-Emissionen aus der Stromerzeugung von Interesse sein, so können Sie diese auf einfache Weise berechnen: Das Umweltbundesamt veröffentlicht jährlich den aktuellen Kohlendioxid-Emissionsfaktor für den deutschen Strommix; dieser weist die CO_2-Emissionen in g pro kWh Endenergieverbrauch aus. Für das Jahr 2014 betrug dieser Wert 569 g/kWh.[69]

[64] *Die Kenngrößen des Stands der Technik enthalten je nach Schmierstrategie den Stromverbrauch der KSS-Hochdruckpumpe oder des MMS-Geräts.*

[65] *Hinweis: Aus Gründen der methodischen Konsistenz wird der Energieverbrauch für die Herstellung der KSS oder MMS nicht zum Indikator Endenergieverbrauch hinzugerechnet, da der Nachhaltigkeitsindikator Primärenergieverbrauch aus der Addition der direkten Verbräuche gebildet wird.*

[66] *Dieser Umrechnungsfaktor wurde aus der Ecoinvent-Datenbank entnommen. Er beschreibt die Menge an Strom, die benötigt wird, um ein Normalkubikmeter Druckluft zu nutzen. Der Stromverbrauch ist als Mittelwert verschiedener Druckluftkompressoren (6bar; >30kW) zu verstehen.*

[67] *Der Faktor für den Stromverbrauch bezieht sich auf den allgemeinen Strommix von Deutschland.*

[68] *Dieser Wert entspricht der DIN 18599-1 bzw. DIN V 4701-10 zu Grunde liegenden Berechnungsmethodik zur Berechnung von Primärenergiefaktoren. Anstatt des in der DIN 18599-1 angegebenen Wertes von 2,8 wurde jedoch der mit dem realen Wert angegebene Faktor für 2014 verwendet. Die Berechnung des Wertes 2,66 kann der Kurzstudie von Fritsche, U. und Greß, H. („ Der nichterneuerbare kumulierte Energieverbrauch des deutschen Strommix im Jahr 2014 sowie Ausblicke auf 2015 und 2020". Hrsg. IINAS. Darmstadt, 2015) entnommen werden.*

[69] *Icha, P.: Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2014. Hrsg. Umweltbundesamt. 2015.*

2. Leitindikator abiotischer Rohstoffeinsatz in kg RME:

Für die Ermittlung des Faktors abiotischer Rohstoffeinsatz für KSS und MMS wurde die Schweizer Ökobilanz-Datenbank Ecoinvent als Grundlage genutzt.[70] Aus den dort hinterlegten Datensätzen wurden im Projekt LernRess mithilfe der prozessspezifischen Kenngrößen und Informationen der Projektpartner spezifische Datensätze für die untersuchten Bearbeitungsprozesse erstellt. Anhand dieser wurden die benötigten Mengen an abiotischen Rohstoffen über den Lebensweg des KSS beziehungsweise MMS ermittelt.

Formel für die Berechnung des Leitindikators abiotischer Rohstoffeinsatz:

*Materialverbrauch [kg] *
Faktor abiotischer Rohstoffeinsatz
= Abiotischer Rohstoffeinsatz [kg RME]*

Mittels der vorgestellten Schritte können so die im Betrieb ermittelten prozessbezogenen Kenngrößen auf einfache Weise in Indikatoren für die Relevanz der Umweltbelastung auf Grundlage eines Lebenszyklusansatzes umgerechnet werden. Für weitergehende Berechnungen wurde das Software-Tool ZerRess entwickelt (vgl. Kapitel 5.2), das Teil der Schulung zur Ressourceneffizienz ist (vgl. Kapitel 5.1).

Im Tool „ZerRess" wird darüber hinaus eine weitere Bewertungsmöglichkeit für den Verbrauch natürlicher Ressourcen durch die Nutzung sogenannter „Ökofaktoren" bereitgestellt. Diese Faktoren beruhen auf der Methode der ökologischen Knappheit[71], die hier kurz erläutert wird:

Die Methode der ökologischen Knappheit ist eine in der Schweiz entwickelte Bewertungsmethode[72], die sogenannte *Ökofaktoren* für die Gewichtung verschiedener Umweltwirkungen bereitstellt. Die Ökofaktoren werden errechnet, indem quantitative politische Zielsetzungen in Relation zu den tatsächlichen Belastungen gesetzt werden. Hierfür wird zum Beispiel der Zielwert von Treibhausgasemissionen für ein Land zu den gegenwärtigen Treibhausgasemissionen desselben Landes ins Verhältnis gebracht. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass politische Zielsetzungen in die Bewertung integriert werden können. Durch die Multiplikation der betrieblichen Kenngröße, zum Beispiel des Stromverbrauchs, mit dem zugehörigen Ökofaktor wird beispielsweise der verbrauchte Strom in Bezug zu den Politikzielen gesetzt und bewertet. Dies ist für mehrere Kenngrößen möglich. Die Ergebnisse können in eine einheitliche Punkteskala überführt werden. Im Tool ZerRess werden Ökofaktoren für Deutschland verwendet. Diese wurden in einem vorangegangenen Forschungsvorhaben[73] erarbeitet, in dem die verwendeten Politikziele für Deutschland in einem Arbeitsprozess mit dem Umweltbundesamt abgestimmt wurden.

[70] *Primärenergiefaktor nach DIN V 18599-1: 2011.*
[71] *Frischknecht, R.; Büsser-Knöpfel, S.: Ökofaktoren Schweiz 2013 gemäß der Methode der ökologischen Knappheit. Methodische Grundlagen und Anwendung auf die Schweiz. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1330. 2013.*
[72] *Ebd.*
[73] *Weitere Informationen zu den Ökofaktoren für Deutschland können Sie der Studie „Methode der ökologischen Knappheit für Deutschland" entnehmen: http://syrcon-wi.de/projekte/VOLKSWAGEN_SYRCON_Methode_der_okol._Knappheit_f%C3%BCr_Deutschland.pdf*

4.7 Aspekte der Praxistauglichkeit

Über Kosten und Betriebsstoffe hinaus können weitere Bereiche für die Anwendbarkeit einer Maßnahme in der betrieblichen Praxis von Wichtigkeit sein: Dies sind insbesondere der Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie mögliche Auswirkungen einer Maßnahme auf den Prozess. Durch Expertengespräche wurden im Projekt LernRess die relevanten Aspekte innerhalb dieser Bereiche identifiziert. Sie sind Tabelle 16 zu entnehmen.

Tabelle 16: Aspekte für die Bewertung der Praxistauglichkeit von Maßnahmen

Arbeits- und Gesundheitsschutz *Wie wirkt sich die Maßnahme auf die Gesundheit und den Schutz des Personals aus?*	**Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld** *Wie wirkt sich die Maßnahme auf die Prozesse aus?*
1. *Minderung/ Vermeidung von Luftemissionen* 2. *Minderung von Lärmemissionen*	1. *Qualifizierung der Anwender* 2. *Einbettung in das Arbeitsumfeld* 3. *Rüst- und Wartungszeit* 4. *Risiken* 4.1. *Produktqualität* 4.2. *Prozesssicherheit*

Die genannten Aspekte werden im Folgenden beschrieben.

4.7.1 Arbeits- und Gesundheitsschutz

Luftemissionen:

Laut der Deutschen Gesellschaft für Unfallversicherung (DGUV) führt eine Umstellung von KSS auf MMS zu einer Reduzierung der Luftemissionen.[74] Eine pauschale Aussage zur Gesundheitswirkung von Luftemissionen ist aber nicht möglich, da diese stark vom Schmierstoff abhängen. Jedoch kann anhand anerkannter Kriterien (siehe Tabelle 17) ein emissionsarmer Schmierstoff ausgewählt und für eine Verminderung von Luftemissionen gesorgt werden. Die hierfür benötigten Informationen können Sie den Datenblättern des Schmierstoffes entnehmen. Falls diese Informationen nicht vorhanden sind, wenden Sie sich an Ihren Schmierstoffhändler.

Tabelle 17: Kriterien zur Auswahl eines emissionsarmen Schmierstoffes nach DGUV, 2010[75]

Viskosität bei 40°C DIN 51 562 [mm²/s]	*Flammpunkt offener Tiegel DIN EN ISO 2592 [°C]*	*Verdampfungsverlust nach Noack 250°C DIN 51581-01 [%]*
> 10	> 150	< 65

Für die Auswahl eines emissionsarmen Schmierstoffs ist es wichtig, dass die Viskosität und der Flammpunkt über den angegebenen Werten liegen und der Verdampfungsverlust den angegebenen Wert unterschreitet. Ein niedriger Verdampfungsverlust bedeutet eine geringere Abgabe des Schmierstoffs an die Umgebungsluft. Hingegen dämmen ein hoher Flammpunkt und eine hohe Viskosität die Brand- und Explosionsgefahr ein.[76] Als Beispiele für emissionsarme Schmierstoffe für die Minimalmengenschmierung können synthetische Esteröle und Fettalkohole genannt werden, da sie den Anforderungen von Tabelle 17 entsprechen und zudem laut einem Bericht des DGUV sehr gut biologisch abbaubar und toxikologisch unbedenklich sind.[77]

Lärmemissionen:

Zur Ermittlung der Lärmemissionen im Bearbeitungsprozess müssen Lärmpegelmessgeräte eingesetzt werden, welche die Geräuschwellen in Dezibel aufnehmen. Der gemessene Wert sollte hierbei den Zielwert von maximal 80dB (A)[78] nach DIN EN ISO 11690 Teil 1 nicht überschreiten. Faktoren, welche die Lärmemissionen bei der Zerspanung beeinflussen können, sind beispielsweise die Werkzeugmaschine, das Bearbeitungsverfahren an sich oder die eingestellten Prozessparameter. Als geeignete lärmmindernde Maßnahmen können die Abschirmung der Werkzeugmaschine, Gehörschutz für das Personal oder lärmgeminderte Geräte genannt werden. Weitere Informationen zum Thema Lärm und zu Lärmminderungsmaßnahmen können Sie der Broschüre der Berufsgenossenschaft Holz und Metall entnehmen.[79]

[74] *DGUV (2010): Information. Minimalmengenschmierung in der spanenden Fertigung. Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung (DGUV). BGI/GUV-I 718. Berlin.*

[75] *Ebd.*

[76] *DGUV (2012): Information Brand- und Explosionsschutz an Werkzeugmaschinen Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung (DGUV). BGI/GUV-I 719. Berlin.*

[77] *BGI/GUV-I 718: Information. Minimalmengenschmierung in der spanenden Fertigung. Hrsg. Deutsche Gesellschaft für Unfallversicherung (DGUV). Berlin. November 2010. S. 20.*

[78] *Geräuschwellen, die für das menschliche Ohr hörbar sind.*

[79] *DGUV (2013): BG-Information Lärm am Arbeitsplatz. Hrsg. Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM). BGI 688. Mainz.*

4.7.2 Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld

Der Bewertungsbereich Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld listet Aspekte auf, die wichtig für die praktische Anwendbarkeit, aber gleichzeitig sehr spezifisch für jedes Unternehmen sind. Diese Aspekte sind daher als Checkliste (siehe Tabelle 18) zu verstehen, die Sie in Ihrem eigenen Betrieb untersuchen sollten. Da es sich hierbei um eine subjektive Bewertung handelt, ist es empfehlenswert, die Einschätzung von mehreren Mitarbeitern, die mit dem Bearbeitungsprozess vertraut sind, einzuholen. Hierzu können Maschinenbediener, Fertigungsplaner oder – je nach Größe des Unternehmens – auch die Betriebsleiter befragt werden.

Tabelle 18: Indikatoren für die Bewertung der Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld

Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld *Wie wirkt sich die Maßnahme auf die Prozesse aus?*

• ***Qualifizierung der Anwender:***
Welches zusätzliche Wissen müssen Anwender bei der Durchführung der Maßnahme haben?
• ***Einbettung in das Arbeitsumfeld:***
Inwiefern müssen die vorhanden Prozesse umstrukturiert werden, um die neue Maßnahme umzusetzen?
• ***Rüst- und Wartungszeit:***
Ergeben sich aus der Maßnahme Rückwirkungen auf die Rüst- und Wartungszeit?
• ***Risiken:***
Welches Risiko birgt die Änderung durch die Maßnahme in Bezug auf:
  • *die Produktqualität oder*
  • *die Prozesssicherheit (Stabilität und Beherrschbarkeit des Prozesses)?*

4.8 Bewertungsmatrix: Beispiel Umstellung von KSS auf MMS (Maßnahme MM1/R6)

Die Bewertungsmatrix dient dazu, alle Ergebnisse, die Sie für die drei Bewertungsbereiche ermittelt haben, vergleichend für den Ist-Stand und den Soll-Zustand, also die ausgewählte Maßnahme, gegenüberzustellen. Im Folgenden werden die Ermittlung der notwendigen Informationen für die drei Bewertungsbereiche und die ausgefüllte Bewertungsmatrix beispielhaft für die Maßnahme MM1 Umstellung von KSS auf MMS mit 1-Kanal-System, bezogen auf den Referenzprozess R6 Fräsen in Aluminium mit KSS und MMS, vorgestellt. Alle Ergebnisse beruhen auf den im Projekt LernRess ermittelten Kenngrößen und Informationen.

4.8.1 Bewertung der Kosten

Für die Umstellung von KSS auf MMS sind sowohl Betriebs- als auch Anschaffungskosten zu berücksichtigen. Die beispielhafte Kostenrechnung ist in Tabelle 19 dargestellt. Alle Angaben wurden für einen Monat berechnet unter der Annahme, dass in dieser Zeitperiode die 10.000fache Durchführung des Referenzprozesses R6 stattfindet, das heißt, dass in einem Monat 10.000 Komponenten hergestellt werden. Weitere Annahmen, die in die Kostenrechnung eingingen, sind die folgenden: Als Abschreibungsdauer wurde der Zeitraum von sechs Jahren angenommen, was der Durchführung von 720.000 Referenzprozessen entspricht. Bei den Personalkosten wurden nur die Arbeitsstunden einbezogen, die für die Wartung der KSS-Anlage und die Überwachung des KSS benötigt werden. Im Fall des MMS-Systems ist der Wartungsaufwand für die Hochdruckpumpe so gering, dass dieser für die vereinfachte Berechnung vernachlässigt wurde.

Tabelle 19: Kostenrechnung für die Umstellung KSS- auf MMS-Technologie – MM1, Referenzprozess R6[80]

10.000fache Durchführung des Referenzprozesses R6	**KSS**		**MMS**	
	Kosten (€)	**Annahme**	**Kosten (€)**	**Annahme**
Anschaffungskosten (pro Monat über 6 Jahre)	*Alle Komponenten vorhanden*		**167**	**6.000 € (Anschaffung 1-Kanal System) + 6.000 € (Umrüstung)**
	Kosten (€ / Monat)	**Annahme**	**Kosten (€ / Monat)**	**Annahme**
Schmierstoffverbrauch (gesamt)	375(1)	*(Verlust durch Späne, Verdampfung, Verwurf, usw.) 1.322 kg*	*4*	*5 € / kg MMS-Öl 740 g*
davon Verwurf/ Austausch des Schmierstoffs	124(1)	*33 % / Monat (Lebensdauer ist 3 Monate) 436 kg*	*entfällt*	
Energieaufwand	155	*15 Cent/kWh*[78] *1.030 kWh*	*122*	*15 Cent / kWh 810 kWh*
Druckluft	31	*1 Cent / Nm³ 3.100 Nm³*	*40*	*1 Cent / Nm³ 4.000 Nm³*
Personal	90(2)		*entfällt*	
Betriebsaufwand	216(3)		*36*(3)	
Entsorgung	65(4)		*entfällt*	
Gesamtkosten	932		*369*	

(1) angenommen 7% Konzentration. Kühlschmierstoff kostet ca. 4€/kg und Wasser 2,5€/m³.
(2) Stundensatz: 30€/Stunde; Zeitaufwand: 3 Stunden/Monat.
(3) Maschinenstillstand: BAZ 575€/Tag (8 Stunden); Zeitaufwand für die Wartung des KSS: 3 Stunden/Monat.
(4) Austausch des KSS-Tanks nach 3 Monaten (laut Oemeta 100€/Tonne).

[80] *Kißler, H.: Trockenbearbeitung in der Praxis: Vorteile; Stand der Technik; Umsetzung im Betrieb; Arbeitskreis Trockenbearbeitung. Stuttgart. 2004.*
[81] *Eurostat: Industriestrompreise in Deutschland in den Jahren 2000 bis 2014 (in Euro-Cent pro Kilowattstunde). 2014. Online verfügbar unter: http://de.statista.com/statistik/daten/studie/155964/umfrage/entwicklung-der-industriestrompreise-in-deutschland-seit-1995/ (zuletzt geprüft am 21.12.2015).*

4.8.2 Bewertung der natürlichen Ressourcen

Für die Bewertung der natürlichen Ressourcen müssen zunächst die betrieblichen Indikatoren ermittelt werden, um anschließend die gesellschaftlichen Indikatoren zu berechnen. Im Folgenden werden die Berechnungen der betrieblichen und gesellschaftlichen Indikatoren am Beispiel von Maßnahme MM1 Umstellung von KSS auf MMS für den Referenzprozess R6 aufgezeigt (siehe Tabelle 20).

Tabelle 20: Bewertung der natürlichen Ressourcen für die Umstellung KSS- auf MMS-Technologie – MM1, Referenzprozess R6

KSS	MMS
Endenergieverbrauch [kWh] *Stromverbrauch + Druckluftverbrauch * Umrechnungsfaktor Druckluft = Endenergieverbrauch*	
0,103 kWh + (0,31 Nm^3 * 0,15 kWh / Nm^3) = 0,150 kWh	0,081 kWh + (0,4 Nm^3 * 0,15 kWh / Nm^3) = 0,141 kWh
Leitindikator Primärenergieverbrauch [kWh] *Endenergieverbrauch [kWh] * Faktor Primärenergieverbrauch = Primärenergieverbrauch [kWh]*	
0,150 kWh * 2,66 = 0,399 kWh	0,141 kWh * 2,66 = 0,375 kWh
Materialverbrauch [kg]	
KSS-Konzentrat = 0,130 kg	MMS-Öl = 0,000074 kg
Leitindikator Abiotischer Rohstoffeinsatz [kg RME] *Materialverbrauch [kg] * Faktor abiotischer Rohstoffeinsatz = Abiotischer Rohstoffeinsatz [kg RME]*	
0,130 kg * 0,93 = 0,121 kg	0,000074 kg * 1,7 = 0,00011 kg

4.8.3 Bewertung der praxistauglichen Aspekte

Für die Bewertung der Praxistauglichkeit müssen, wie schon zuvor erwähnt, sowohl qualitative als auch quantitative Aspekte berücksichtigt werden. Für die vergleichende Bewertung von Maßnahmen wird empfohlen, aus den gewonnenen Informationen eine qualitative Einschätzung in Form eines einfachen ABC-Schemas zu verwenden und eine Einstufung in die folgenden drei Kategorien zu treffen: Verbesserung, keine Veränderung, Verschlechterung. Die Bewertung anhand des ABC-Schemas für die praxistauglichen Aspekte ist in Tabelle 21 zusammengefasst.

ABC-Bewertungsschema:

- ☺ positiv (Verbesserung durch die umgesetzte Maßnahme)
- 😐 neutral (keine Veränderung durch die umgesetzte Maßnahme)
- ☹ negativ (Verschlechterung durch die umgesetzte Maßnahme)

Tabelle 21: Bewertung der praxistauglichen Aspekte für die Umstellung KSS- auf MMS-Technologie – MM1, Referenzprozess R6

Bewertung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes		Bewertung
Luftemissionen	Das eingesetzte MMS-Öl entspricht den Anforderungen eines emissionsarmen Schmierstoffs. Eine vergleichende Aussage zu Luftemissionen von KSS kann aus der vorliegenden Literatur nicht abgeleitet werden.	😐
Lärmemissionen	Bei den Lärmmessungen während des Fräsprozesses betrugen für die Bearbeitung mit KSS und MMS die Lärmemissionen jeweils 75dB (A). Dadurch konnte jeweils der Zielwert von 80dB (A) bei beiden Prozessen unterschritten werden.	😐
Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld [82]		
Qualifizierung der Anwender	Für den optimalen Einsatz der MMS-Technologie ist es sinnvoll, das Personal zu schulen. Je nachdem, wie komplex die Prozesse sind, kann der Schulungsaufwand unterschiedlich ausfallen. Wichtig ist, dass der Bediener lernt, dass bei der MMS-Technologie andere Anforderungen bestehen als bei der KSS-Technologie. Die Maßnahme erfordert einerseits Zeit für die Schulung, führt aber andererseits zu einer höheren Qualifizierung des Personals. Sie wurde daher mit „neutral" bewertet.	😐
Einbettung in das Arbeitsumfeld	Um die MMS-Technologie anzuwenden, ist die Umsetzung eines Gesamtkonzepts (Linie, Insel etc.) im Hinblick auf Durchgängigkeit unerlässlich. Es ist wichtig, dass die vor- und nachgelagerten Prozesse auf die MMS-Technologie angepasst werden, da dies sonst Auswirkungen auf die Reinigung des Bauteils haben kann. Zudem müssen unter Umständen neue Werkzeuge mit anderen Prozessparametern eingesetzt werden. Da die Einbettung in das Arbeitsumfeld nicht ohne weiteres möglich ist, aber dies nicht unbedingt eine Verschlechterung des Prozesses durch die umgesetzte Maßnahme bedeutet, wurde MM1 hier mit „neutral" bewertet.	😐
Rüstzeit/ Wartungszeit	Der Umbau von vorhandenen Bearbeitungszentren auf die MMS-Technologie kann bis zu vier Tage pro BAZ in Anspruch nehmen. Andererseits fallen im laufenden Betrieb Wartungszeiten für die KSS-Hochdruckpumpe und für das Ansetzen, Pflegen und Entsorgen von KSS weg. Somit kann die Maßnahme insgesamt mit „positiv" bewertet werden.	☺
Risiko I – Produktqualität	Bei Umstellung auf die MMS-Technologie bestehen Risiken bezüglich der Beeinträchtigung der Produktqualität, insbesondere in Bezug auf die Gefahr von Werkzeugbruch und einer schlechteren Oberflächenqualität. Dies kann jedoch durch die richtige Einstellung des Prozesses vermieden werden.	😐
Risiko II – Prozesssicherheit	In Bezug auf die Prozesssicherheit bestehen ähnliche Risiken wie bei der Produktqualität. Falsche Parameter und falsche Einstellungen können die Sicherheit des Prozesses stark negativ beeinflussen. Ein weiterer Aspekt ist, dass der Prozess mit MMS im Gegensatz zu KSS anspruchsvoller ist, da mehrere Parameter, wie Ölmenge, Druckluftmenge etc. den Prozess sensibler machen. Diese Risiken können aber durch sorgfältige Kontrolle der Prozessparameter minimiert werden.	😐

[82] *Die untersuchte Maßnahme MM1 wurde von den im Modellprojekt beteiligten Experten aus der Praxis bewertet. Die Tabelle fasst die Ergebnisse der ausgefüllten Bewertungsbögen zusammen.*

Die Ergebnisse aus den vorherigen Bewertungen sind in der nachfolgenden Bewertungsmatrix zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 22: Beispielhafte Anwendung der Bewertungsmatrix für die Umstellung KSS- auf MMS-Technologie – MM1, Referenzprozess R6

Referenzprozess: R6												
	Bewertungsbereiche											
	Kosten		**Natürliche Ressourcen**						**Praxistauglichkeit**			
	10.000fach den Referenzprozess		**Betriebliche Kenngrößen**			**Gesellschaftliche Indikatoren**			**Arbeits- & Gesundheitsschutz**		**Umsetzbarkeit im betrieblichen Umfeld**	
Maßnahme	Ist / Soll in €	Einsparung in Prozent		Ist / Soll	Einsparung in Prozent		Ist / Soll	Einsparung in Prozent		Auswirkung / Änderung		Auswirkung / Änderung
MM1: Umstellung von KSS auf MMS (1-Kanal)	932 € / 369 €	60 %	Stromverbrauch (kWh)	0,103 / 0,081	21 %	Leitindikator „Primärenergie" (kWh)	0,399 / 0,375	6 %	Luftemissionen	😐	Qualifizierung der Anwender	😐
			Druckluftverbrauch (Nm³)	0,31 / 0,4	Zunahme um 28 %	Leitindikator „abiotischer Rohstoffeinsatz" (kg RME)	0,121 / 0,0001	99,91 %	Lärmemissionen	😐	Einbettung in das Arbeitsumfeld	😐
			Schmierstoffverbrauch (g)	130 / 0,074	99,94 %						Rüstzeit/ Wartungszeit	☺
			Filtervlies (g)	0,011 / 0	100 %						Risiko I – Produktqualität	😐
			Werkzeugverbrauch (%)	0,0003 / 0,0003	keine signifikante Änderung						Risiko II – Prozesssicherheit	😐
			Gef. Abfälle „Filtervlies" (g)	0,011 / 0	100 %							
			Gef. Abfälle „Altemulsion" (g)	116 / 0	100 %							

Auswirkungen sind: ☺ positiv; 😐 neutral; ☹ negativ

4.9 Vorstellung von Fördermöglichkeiten zur Umsetzung von Maßnahmen der Ressourceneffizienz

Zur Unterstützung bei der Durchführung von Ressourceneffizienzmaßnahmen werden verschiedene Förder-, Beratungs- und Informationsprogramme angeboten. In der nachfolgenden Tabelle 23 sind einige Programme und Institutionen des Landes Hessen, des Bundes und der Europäischen Union aufgelistet:

Tabelle 23: Fördermöglichkeiten für Unternehmen

Programme und Institutionen		Beschreibung
Hessen	Hessen-PIUS: Ressourceneffizienz-Beratung	Hessen-PIUS ist eine Initiative des hessischen Wirtschaftsministeriums zur Förderung des Produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS). Zentraler Bestandteil der Initiative ist ein finanziell gefördertes Beratungsprogramm für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) in Hessen aus Produktion, Handel und Dienstleistung. → www.hessen-pius.de
	HA Hessen Agentur GmbH; Hessen Trade & Invest GmbH	Die HA Hessen Agentur GmbH und ihre Tochtergesellschaft, die Hessen Trade & Invest GmbH fungieren als Wirtschaftsentwickler des Landes. Sie setzen Projekte, Kampagnen und Förderaktivitäten um und beraten und vernetzen Akteure aus Wirtschaft und Wissenschaft. → www.hessen-agentur.de; www.htai.de
	Hessen ModellProjekte	Das Programm zur Förderung angewandter Forschungs- und Entwicklungsprojekte richtet sich an kleine oder mittlere Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen in Hessen. Im Rahmen der beiden Maßnahmen LOEWE – Landes-Offensive zur Entwicklung wissenschaftlich-ökonomischer Exzellenz und KMU-Modell- und Pilotprojekten werden nachhaltige Innovationen gefördert. → www.innovationsfoerderung-hessen.de
	WIBank Hessen	Die WIBank bietet Förderprogramme besonders für kleine und mittlere Unternehmen an, zum Beispiel zu Forschung, Entwicklung und Innovation sowie Wissens- und Technologietransfer. → www.wibank.de
Bund	Förderdatenbank	Mit der Förderdatenbank des Bundes im Internet gibt die Bundesregierung einen umfassenden und aktuellen Überblick über die relevanten Förderprogramme des Bundes, der Länder und der Europäischen Union. → www.foerderdatenbank.de
	PIUS-Internetportal	Das Portal bietet einen umfassenden Überblick über die Möglichkeiten des Produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS) in verschiedenen Branchen und dazugehörige Branchenleitfäden sowie Experten-Netzwerke. → www.pius-info.de
	VDI Zentrum für Ressourceneffizienz	Das VDI ZRE bietet im Auftrag des Bundesumweltministeriums Beratung, Forschung, Publikationen und Schulungen zum Thema Ressourceneffizienz im Betrieb und Produktionsprozessen an. → www.ressource-deutschland.de
EU	Enterprise Europe Network Hessen	In Hessen bietet das Enterprise Europe Network Hessen Unternehmen Hilfestellung bei Fragen rund um das Thema EU-Förderung. Das Netzwerk informiert über aktuelle Ausschreibungen, vermittelt Forschungskooperationen und unterstützt in Antragsverfahren. → www.een-hessen.de

5. Schulungskonzept und Softwaretool

Im Rahmen des Modellprojektes wurde ein Schulungskonzept entwickelt und mit hessischen Unternehmen im Rahmen einer Pilotschulung erfolgreich erprobt. Darüber hinaus wurde das Softwaretool „ZerRess" entwickelt, mit dem auf einfache Weise die Bewertung von Maßnahmen hinsichtlich der Ressourceneffizienz möglich ist. Dieses Tool wird im Rahmen der Schulungen verwendet. Im Folgenden werden das Schulungskonzept und das Tool kurz vorgestellt.

5.1 Konzept der Schulung „TU Darmstadt Lernfabrik"

Die Schulung ist als eine ganztätige Veranstaltung konzipiert und findet in den Räumlichkeiten des Instituts PTW an der TU Darmstadt statt. Sie richtet sich vor allem an interessierte Ingenieure und Techniker, deren Tätigkeitsfeld im Bereich Fertigungsplanung und Arbeitsvorbereitung liegt. Ziel dieser Schulung ist es, ein vertieftes Verständnis der Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen zu erhalten, Messverfahren zu erlernen und sich die Nutzung des Bewertungstools „ZerRess" anzueignen. Im Theorieteil werden umfassende Informationen zum Stand der Technik der Zerspanung, insbesondere zur MMS-Technologie, vermittelt und die Methodik der Bewertung von Ressourceneffizienz erläutert. Der Praxisteil beinhaltet die Durchführung von experimentellen Zerspanungsversuchen an einem Bearbeitungszentrum. Anhand definierter Referenzprozesse und Maßnahmen werden Messdaten erhoben. Diese werden unter Zuhilfenahme des Bewertungstools „ZerRess" ausgewertet, um Ressourceneffizienzpotenziale zu bestimmen und Maßnahmen auf Grundlage der Bewertungsmatrix zu vergleichen. Das anschließende Expertencafé ermöglicht den Austausch zwischen den Schulungsteilnehmern und den Experten aus der Praxis und bietet die Möglichkeit, Kontakte und Netzwerke zu knüpfen.

Durchführung von Messungen zur Erhebung von Daten

Theorie und Praxis – Ermittlung von Ressourceneffizienzpotenzialen

Hintergrundwissen zum Thema Ressourceneffizienz und zum Stand der Technik der MMS-Technologie





Abbildung 25: Eindrücke aus der LernRess-Schulung

5.2 Softwaretool „ZerRess"

Das Bewertungstool „ZerRess" unterstützt die Bearbeitung der Schritte des PDCA-Zyklus (vgl. Kapitel 3). Die notwendigen Kenngrößen und Informationen aus Kapitel 4 sind hier hinterlegt. Zusätzlich bietet es die Möglichkeit, komplexere Prozesse und eine ganzheitliche Lebenswegbetrachtung für einen definierten Nutzen oder ein Ergebnis durchzuführen.

Insbesondere verfügt das „ZerRess"-Tool über eine interne Datenbank, die Lebenszyklusbetrachtungen von vor- und nachgeschalteten Prozessen der Zerspanung ermöglicht und die Anwendung der Methode der ökologischen Knappheit unterstützt. Die Auswertung der Indikatoren erfolgt automatisch mithilfe von übersichtlichen Grafiken. Zudem können durch das Bewertungstool auch die Änderungen der prozessbezogenen Kenngrößen verglichen und in diesem Zusammenhang die Betriebskosten errechnet werden. Das „ZerRess"-Tool wird Teilnehmern der LernRess-Schulungen für ein Jahr kostenfrei zur Verfügung gestellt.

6. Ansprechpartner

Fachgebiet Stoffstrommanagement und Ressourcenwirtschaft (FG SuR)

Fachgebietsleitung:
Prof. Dr. rer. nat. Liselotte Schebek
Franziska-Braun-Str. 7
64287 Darmstadt

Tel.: 06151 / 16 20720
Fax: 06151 / 16 20305
E-Mail: l.schebek@iwar.tu-darmstadt.de

Weitere Infos zu unseren Tätigkeiten und Projekten finden Sie hier:

http://www.iwar.tu-darmstadt.de/sur/fg_sr/startseite_4/index.de.jsp

Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Institutsleitung:
Prof. Dr.-Ing. Eberhard Abele
L1|01 109, Otto-Berndt-Straße 2
64287 Darmstadt

Tel: 06151 / 16-20080
Fax: 06151 / 16-20087
E-Mail: info@ptw.tu-darmstadt.de

Weitere Infos zu unseren Tätigkeiten und Projekten finden Sie hier:

http://www.ptw.tu-darmstadt.de

Die Technologielinie Hessen-Umwelttech und Hessen-PIUS

Die Technologielinie Hessen-Umwelttech ist die zentrale Plattform des Hessischen Wirtschaftsministeriums für die Umwelttechnologiebranche. Sie stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und Innovationskraft von hessischen Herstellern und Dienstleistern der Umwelttechnik und fungiert – insbesondere im Hinblick auf die Themen Ressourceneffizienz und Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) – als Schnittstelle zu Umwelttechnologie-Anwendern.

Die Technologielinie bietet Informationen, Kommunikationsangebote und Kooperationsmöglichkeiten für Umwelttechnologieanbieter und -anwender, z. B. aus den Segmenten Abfalltechnologie, Wasser- und Abwassertechnologie und Energietechnologie. Sie berät Unternehmen, fördert den Technologietransfer und stellt die Kompetenzen der hessischen Umwelttechnologie dar.

Folgende Angebote können Unternehmen bei Hessen-Umwelttech nutzen:

- **Aktuelle Brancheninfos** im Print-Newsletter Hessen-Umwelttech NEWS und in den E-Mail NEWS Hessen-Umwelttech
- **Themenspezifische Informationsbroschüren und Leitfäden**
- **Fachtagungen und Workshops** zum Informationsaustausch und Kontaktknüpfen
- **Teilnahme an Messeständen**, die von Hessen-Umwelttech organisiert werden
- **Hessen-PIUS**: Vermittlung von Informationen und geförderten Beratungen zum Produktionsintegrierten Umweltschutz in Hessen
- **Unterstützung bei Außenwirtschaftsaktivitäten** für Umwelttechnologieunternehmen in Zusammenarbeit mit den Exportinitiativen des Bundes
- **Zentraler Ansprechpartner und Lotse** für alle Fragen aus dem Bereich Umwelttechnologie

Mit der Durchführung der Technologielinie Hessen-Umwelttech ist die Hessen Trade & Invest GmbH betraut. Aufgabe der Wirtschaftsentwicklungsgesellschaft des Landes Hessen ist es, den Wirtschafts- und Technologiestandort Hessen nachhaltig weiterzuentwickeln, um seine Wettbewerbsfähigkeit zu festigen und auszubauen. Die Technologielinie Hessen-Umwelttech stellt für den Bereich Umwelttechnik die zentrale Schnittstelle dar und arbeitet im Rahmen ihrer Lotsenfunktion unter anderem mit folgenden Einrichtungen eng zusammen:

- Hessen ModellProjekte,
- Förderberatung Hessen,
- Hessische Anlaufstelle für das „Enterprise Europe Network“,
- Transferstelle für Klimaschutz und Emissionshandel Hessen,
- Wasserstoff- und Brennstoffzellen Initiative Hessen und
- Exportinitiativen des Bundes im Bereich der Umwelttechnologien.

KONTAKT:





Technologielinie Hessen-Umwelttech
Dr. Felix Kaup, Projektleiter
Dagmar Dittrich, Projektmanagerin

Hessen Trade & Invest GmbH
Konradinerallee 9, D-65189 Wiesbaden

Tel.: 0611 / 95017-8636, -8645,
Fax: 0611 / 95017-58636, -58645
felix.kaup@htai.de
dagmar.dittrich@htai.de
www.hessen-umwelttech.de

Hessen-PIUS: Umwelt schützen – Kosten senken
Für Unternehmen wird es immer wichtiger, Ressourcen wirtschaftlich einzusetzen. Der Produktionsintegrierte Umweltschutz (PIUS) bietet hier ein wirksames Instrument und eröffnet sowohl Umwelttechnik-Anbietern als auch -Anwendern interessante Chancen. Aus diesem Grund hat das Hessische Wirtschaftsministerium ein PIUS-Beratungsprogramm für kleine und mittlere Unternehmen in Hessen gestartet. Ziel ist es, durch die Optimierung unternehmensinterner Prozesse einen effizienten Umgang mit Ressourcen wie Energie, Wasser, Luft, Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffen zu erreichen und damit Kosten einzusparen. Die Projektdurchführung des PIUS-Beratungsprogramms liegt bei der RKW Hessen GmbH.

Die Technologielinie Hessen-Umwelttech koordiniert alle weiteren Aktivitäten zu Hessen-PIUS und ist seit 2008 Kooperationspartner am mit rund 25.000 Einzelzugriffen pro Monat meistgenutzten PIUS-Portal Deutschlands www.pius-info.de. Betrieben und finanziert wird das PIUS-Portal gemeinsam mit der Effizienz-Agentur NRW (EFA) in Duisburg, der Sonderabfall-Management-Gesellschaft Rheinland-Pfalz mbH (SAM) in Mainz sowie dem VDI Zentrum Ressourceneffizienz (ZRE).

Geförderte Beratung:
Die Förderung des Hessischen Wirtschaftsministeriums und des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung für eine PIUS-Beratung kann pro kleinem oder mittlerem Unternehmen bis zu 8.000 Euro (9.000 Euro in EFRE-Vorranggebieten) innerhalb von 3 Jahren betragen. Dabei deckt das Programm nicht nur die Verbesserung von Produktionsprozessen ab, sondern zeigt auch Chancen für eine umweltfreundliche und effiziente Ausrichtung von Dienstleistungs- und Handelsunternehmen auf.

Kontakt:
RKW Hessen GmbH
Kay Uwe Bolduan, Roland Nestler
Düsseldorfer Str. 40, 65760 Eschborn
Tel.: 06196 / 9702-40, Fax: -99
pius@rkw-hessen.de
www.rkw-hessen.de
www.hessen-pius.de

Schriftenreihe

der Technologielinie Hessen-Umwelttech des Hessischen Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Verkehr und Landesentwicklung

- **Band 1**
  Einsatz von Nanotechnologie in der hessischen Umwelttechnologie
  Innovationspotenziale für Unternehmen

- **Band 2**
  Mittel- und Osteuropa – Zukunftsmärkte für hessische Umwelttechnologie
  Beispiel Abwassermarkt der Slowakei

- **Band 3**
  Auslandsmärkte – Zukunftspotenziale für hessische Umwelttechnologieunternehmen

- **Band 4**
  Unternehmenskooperation am Beispiel des Recyclings gemischter Bau- und Abbruchabfälle

- **Band 5**
  Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) für KMU in Hessen
  Umwelt schützen – Kosten senken

- **Band 6**
  Umwelttechnologie-Anbieter in Hessen Bestandsaufnahme 2007
  – Zusammenfassung –

- **Band 7**
  Umwelttechnologieforschung für die Unternehmenspraxis – Beispiele anwendungsnaher Forschung an hessischen Hochschulen

- **Band 8**
  Praxisleitfaden – Energieeffizienz in der Produktion

- **Band 9**
  Strömungssimulation in der Umwelttechnologie
  Effiziente Versuchsplanung mit CFD (Computational Fluid Dynamics)

- **Band 10**
  Kompetenzatlas Wasser
  Wassertechnologie und Wassermanagement in Hessen

- **Band 11**
  Kompetenzatlas Abfall
  Abfallwirtschaft, Abfalltechnologie und Ressourceneffizienz in Hessen

- **Band 12**
  Nachhaltiges Bauen
  Umwelttechnologieeinsatz und Ressourceneffizienz bei Sanierung und Neubau

- **Band 13**
  Umweltindustrie in Hessen – Bestandsaufnahme 2012

- **Band 14**
  Kompetenzatlas Erneuerbare Energien in Hessen

- **Band 15**
  Mit Ecodesign zu einer ressourcenschonenden Wirtschaft

- **Band 16**
  Stoffkreisläufe in Hessen – Praxisbeispiele und Potenziale

- **Band 17**
  Praxisleitfaden: Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse

Informationen / Download / Bestellungen:
www.hessen-umwelttech.de

HESSEN
TRADE & INVEST

Hessen Umwelttech

www.hessen-umwelltech.de

EUROPÄISCHE UNION:
Investition in Ihre Zukunft
– Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung.

Das Projekt wird kofinanziert aus
Mitteln der Europäischen Union.