

1 Einleitung

Um die Beschaffung von Produktionsmitteln unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu optimieren, müssen für eine Beschaffungsentscheidung neben den Anschaffungskosten auch solche Kosten betrachtet werden, die aus den verschiedenen Lebenszyklen des Investitionsgutes resultieren [VDI05]. Hierfür hat sich in verschiedenen Branchen und bei technologischen Produkten die Lebenszykluskostenanalyse etabliert. Die Institutionalisierung im Maschinen- und Anlagenbau erfolgte beispielsweise anhand der VDI Richtlinie 2884 [VDI05], dem VDMA Einheitsblatt 34160 [VDMA06] oder der DIN EN 60300-3-3 [DIN 14]. Im Maschinen- und Anlagenbau wird zudem die Betrachtung der Lebenszykluskosten durch dessen steigende Integration in die Beschaffungsentscheidung der Automobilindustrie intensiviert [ABEL09; DENK06]. Für die Lebenszyklusbewertung von Maschinen und Anlagen werden üblicherweise die drei Kostengruppen Anschaffungsphase, Nutzungsphase und Nachnutzungsphase herangezogen [ABEL09]. Verschiedene Lebenszykluskostenanalysen von Werkzeugmaschinen machen deutlich, dass der Energieumsatz bereits heute einen Anteil von 20 bis 25 % an den Betriebskosten einer Werkzeugmaschine ausmacht, die Anschaffungskosten belaufen sich lediglich auf ca. 20 bis 30 % [MATT11; ABEL09; DERV11]. Unternehmen des produzierenden Gewerbes werden jedoch in Zukunft mit steigenden Strompreisen konfrontiert. Eine Studie zeigt, dass aufgrund des frühzeitigen Atomausstiegs die Kosten für elektrische Energie in den nächsten 20 Jahren um knapp 70 % steigen werden [ROLA11]. Die Betrachtung der vergangenen Strompreisentwicklung ergibt, dass der Strompreis für die Industrie seit dem Jahr 2000 um ca. 150 % gestiegen ist [BUND16]. Damit wird der Energiekostenanteil der Lebenszykluskosten in Zukunft ebenfalls erheblich steigen.

Andererseits müssen Produktionsmittelhersteller und -anwender mit einem verstärkten Eingreifen der Politik und folglich steigenden Anforderungen an die Energie- und Ressourceneffizienz rechnen. Die Steigerung der Energieeffizienz wird von der Bundesregierung als ein Kernelement der Energiewende angesehen. Auch die Internationale Energieagentur und die Vereinten Nationen weisen wiederholt auf die zentrale Rolle der Energieeffizienz im Kampf gegen den Klimawandel hin [FLE113]. Auf Grundlage dessen hat die Europäische Union verschiedene Gesetze und Richtlinien wie das Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie [EURO16] sowie die ErP-Richtlinie 209/32/EC [EURO09] eingeführt.

Die Energieeffizienz spielt zukünftig zudem eine große Rolle, um sich von Wettbewerbern abzugrenzen und somit Wettbewerbsvorteile zu realisieren [STAM12; MCKI09]. Die Steigerung der Energieeffizienz gewinnt auch bei den Kunden deutlich an Relevanz und wird sich aus Sicht der Anbieter in Zukunft zu einem zentralen Differenzierungsfaktor eines Unternehmens entwickeln [HENZ09]. Des Weiteren steigert die Energieeffizienz eines Unternehmens dessen Attraktivität als Arbeitgeber, prägt das Image und ist Teil der gesellschaftlichen Verantwortung [STRA13].

Das Thema Energie- und Ressourceneffizienz beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Reduzierung des Energiebedarfs. Auch die Reduzierung des Verbrauchs von

begrenzten Ressourcen, wie z. B. Mineralöl, ist von entscheidender Bedeutung. Im Metall verarbeitenden Gewerbe werden eine Vielzahl verschiedener Öle zur Schmier- und für den Betrieb von Maschinen und Maschinenelementen eingesetzt. Der Verbrauch von Mineralöl für Schmierstoffe in Deutschland lag im Jahr 2011 bei über 1 Mio. Tonnen. Der Anteil für Hydrauliköle lag bei ca. 13 % [BUND12]. Somit ließen sich in Deutschland durch Substitution der mineralölbasierten Hydraulikfluide etwa 132.000 Tonnen fossile Rohstoffe pro Jahr einsparen.

Zahlreiche Untersuchungen analysieren die Verteilung der Leistungsaufnahme innerhalb der Werkzeugmaschine für unterschiedliche Produktivzustände (s. Abschnitt 2.1). Alle Untersuchungen zeigen, dass die fixe Leistungsaufnahme von den Nebenaggregaten, d.h. Hydraulik, Kühlung und Kühlschmierstoff, dominiert wird. Daher wurden in verschiedenen Forschungsprojekten und wissenschaftlichen Arbeiten bereits energieeffiziente Aggregate und Strategien für Werkzeugmaschinen entwickelt und untersucht (s. Abschnitt 2). Mit den energieeffizienten Lösungen, die unterschiedliche Ansätze verfolgen, lassen sich zwar gute Energieeinsparungen erreichen, jedoch weisen nahezu alle Ansätze erhebliche Mehrkosten auf. Spezifische Amortisations- und Rentabilitätsrechnungen für die teureren, energieeffizienteren Aggregate und Komponenten sind nur sehr ungenau oder mit aufwendigen Simulationsmodellen zu realisieren, da diese extrem von den Einsatzbedingungen abhängig sind. Zudem sind die Unternehmen bestrebt, die Anlageninvestitionen so gering wie möglich zu halten. Die Kunden entscheiden sich darum häufig für die Alternativen mit den geringeren Investitionskosten und nicht für die energieeffiziente Variante. [MÜLL10; PYPE15]

Die Herausforderung liegt damit in der Verkürzung der Amortisationsdauer bzw. in der Vermeidung von Mehrkosten [DÜRR13]. Dieser Herausforderung stellt sich die vorliegende Arbeit, indem eine Strategie zur Energie- und Ressourceneffizienzsteigerung von Hydraulik- und Kühlaggregaten von Werkzeugmaschinen vorgestellt wird, die ohne Mehrkosten im Vergleich zu den ineffizienteren Lösungen auskommt. Somit kann die Amortisationszeit praktisch auf null reduziert werden. Zudem soll das mineralölbasierte Hydrauliköl durch ein auf Wasser basierendes Fluid substituiert und so der Verbrauch fossiler Rohstoffe reduziert werden.

Die vorliegende Arbeit basiert zum Großteil auf den Ergebnissen des Forschungsvorhabens „Entwicklung und Untersuchung eines neuartigen, kombinierten Hydraulik- und Rückkühlaggregates für Werkzeugmaschinen“, welches vom WZL (RWTH Aachen) gemeinsam mit der *BKW Kälte-Wärme-Versorgungstechnik GmbH* und *Carl Bechem GmbH* durchgeführt wurde. Das Forschungsprojekt wurde von der *Deutschen Bundesstiftung Umwelt* (DBU) unter dem Aktenzeichen Az: 31555/01 gefördert. Die vorliegende Arbeit wurde in Teilen bereits vorab in [BREC15; BREC16a; BREC16b; BREC17] veröffentlicht.