

# 1 Einleitung

## *Introduction*

Das produzierende Gewerbe spielt eine zentrale Rolle in der deutschen Volkswirtschaft. Dies stützt sich insbesondere auf den von der Produktion ausgehenden Multiplikatoreffekt auf andere Industrien. [BREC 11] Werkzeugmaschinen stellen zentrale Produktionsmittel der in der Bundesrepublik starken metallverarbeitenden Industrie dar [BREC 17]. Ein Anteil von 15,2 % der weltweiten Werkzeugmaschinenproduktion stammte im Jahr 2020 von deutschen Herstellern [VDW 21]. Der Maschinengattung und der Wettbewerbsfähigkeit der Branche kommt somit eine wichtige Rolle für die deutsche Wirtschaft zu.

Das Leistungsvermögen von Werkzeugmaschinen ist charakterisiert durch die Produktivität, die Arbeitsgenauigkeit, das Umweltverhalten und die Zuverlässigkeit. Die Arbeitsgenauigkeit und die Produktivität wiederum sind u. a. durch das statische, dynamische, geometrische und thermo-elastische Verhalten, die Dynamik von Antrieben und Steuerung sowie die realisierbaren Drehzahlen, Drehmomente, umsetzbare Leistungen und Nebenzeiten bestimmt. [BREC 17]

Dabei werden bis zu 75% der geometrischen Fehler am Werkstück durch das thermo-elastische Verhalten des Maschinensystems und des Werkstücks bestimmt [MAYR 12]. Dies ist auf innere und äußere Wärmelasten zurückzuführen [BREC 17]. Eine Vielzahl an Branchen, aber insbesondere die Energietechnik, die Verfahrenstechnik, die Luftfahrtindustrie, die Medizintechnik, die Werkzeugmaschinenbranche sowie der Werkzeug- und Formenbau, haben einen Bedarf an gesteigerter Präzision von Maschinen [SCHW 08]; [FLOR 16]. Dabei ist eine energetisch ineffiziente und Betriebskosten steigernde Klimatisierung der Maschinenumgebung gegen die Kosten anderer Maßnahmen abzuwägen, die die Genauigkeit steigern [BRYA 68]. Für die präzise Kalibrierung und Zwischenüberprüfung von Standardmaschinen sind jedoch nur in begrenztem Maße wirtschaftliche Technologien verfügbar [FLOR 16].

Der mögliche, massive Einfluss auf die Maßhaltigkeit bzw. Qualität des Werkstücks macht die thermo-energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen zu einem wichtigen Forschungsfeld der Produktionstechnik. Dies spiegelt sich in Deutschland in der Einrichtung des Sonderforschungsbereichs ‚Thermo-energetische Gestaltung von Werkzeugmaschinen‘ im Jahr 2011 wider [GROS 15]. Diese Arbeit liefert einen Beitrag, die Lücke an 3-Achs Fräsmaschinen zu schließen.

## Introduction

The manufacturing sector plays a significant role in German economy. This is based in particular on multiplier effect production has on other industries. [BREC 11]

Machine tools represent central means of production for metalworking industry, which is strong in the Federal Republic of Germany [BREC 17]. A share of 15.2 % of worldwide machine tool production originated from German manufacturers in 2020 [VDW 21]. The machine class and the competitiveness of the industry thus play a key role for the German economy.

The performance of machine tools is characterized by productivity, machining accuracy, environmental behavior and reliability. The machining accuracy and the productivity in turn are among other things determined by the static, dynamic, geometric and thermo-elastic behavior, the dynamics of drives and controls as well as the realizable speeds, torques, convertible power and non-productive times. [BREC 17]

Up to 75% of the geometric workpiece errors are determined by the thermo-elastic behavior of machine system and workpiece [MAYR12]. This can be attributed to internal and external thermal loads [BREC 17]. A large number of industries, but especially energy technology, process engineering, aerospace industry, medical technology, machine tool industry as well as tool and die making, have a need for increased precision of machines [SCHW 08]; [FLOR 16]. Thereby, an energetically inefficient and operating cost-increasing air conditioning of the machine environment has to be weighed against the costs of other accuracy-increasing measures [BRYA 68]. However, there are limited economical technologies available for precise calibration and intermediate verification of standard machines [FLOR16].

The possible, massive influence on the dimensional accuracy or quality of the workpiece makes the thermo-energetic design of machine tools an important field of research in production engineering. In Germany, this is reflected in establishment of the Collaborative Research Center 'Thermo-energetic Design of Machine Tools' in 2011 [GROS 15]. This work provides a contribution to close the gap on 3-axis milling machines.