

# 1 Einleitung

## *Introduction*

Der Industriesektor ist mit einem Anteil von 21 % der zweitgrößte Verursacher von CO<sub>2</sub>-Emissionen in Deutschland. Ein großer und in den letzten Jahren steigender Anteil an diesen 21 % kommt aus der Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetallindustrie. Daneben ist der Verkehrssektor die drittgrößte Emissionsquelle mit einem Anteil von 17,7 %. Diese stammen zu 96 % aus dem Straßenverkehr [WDBB18]. Vor diesem Hintergrund muss die stahlverarbeitende Industrie insbesondere für die Automobilfertigung aktuell verstärkt in Bezug auf Umweltaspekte neue Wege finden. Insbesondere Masseeinsparungen in Neufahrzeugen müssen ihr Potenzial mit dem Ziel einer Verringerung von vermeidbaren Emissionen sowie der Schonung nicht erneuerbarer fossiler Ressourcen ausschöpfen. Dies ist insbesondere vor dem Hintergrund der Verkehrswende dringend erforderlich, da alternativ angetriebene Hybrid- und Batteriefahrzeuge regelmäßig eine antriebsbedingte Mehrmasse bis 250 kg aufweisen [TAB12]. Ressourcenknappheit und Emissionsbeschränkungen konterkariert nahmen Leistung und Masse deutscher Automobile seit dem zweiten Weltkrieg überproportional zu. Hierdurch werden technische Einsparpotenziale moderner Antriebstechnik zunichtegemacht [HELM15].

Trotz und aufgrund dieses Rebound-Effektes werden ungebrochen hohe Anstrengungen unternommen, um die Masse der Struktur- und Karosseriebauteile in Automobilen zu senken. Dies geschieht insbesondere im Wege des Strukturleichtbaus. Dabei kommt dem hochfesten Stahl eine besondere Rolle zu: Schätzungen zufolge wird er im Jahr 2030 je nach Fahrzeugklasse zwischen 45 und 48 % der im Automobil verbauten Werkstoffe betragen [TAB12].

Das Feinschneiden ist ein hochproduktives Verfahren der Blechbearbeitung und kommt wird insbesondere im Automobilbau zur Komponentenfertigung eingesetzt. Bei der Bearbeitung hochfesten Stahles erreicht das Feinschneiden jedoch eine Prozessgrenze. So zeigen diese Stähle häufig infolge erhöhten Werkzeugverschleißes eine geringe Qualität der Feinschnitteile [ZHEN19], insbesondere in Bezug auf Gratbildung und die Ausprägung des Glattschnittanteils [MUCH10], da die Kaltverfestigungseigenschaften des theoretisch idealen Feinschneidstahles denen eines auf Umformbarkeit optimierten Stahles nahezu entgegengesetzt sind [GRAM11]. Insbesondere Feinschneidstempel aus pulvermetallurgischem (PM-) Stahl geraten in der Phase der Blechtrennung an die Grenze ihrer Druckfestigkeit [FEUE16].

Eine Erhöhung der Blechtemperatur verringert die Fließspannung. Eine Kombination des Feinschneidens hochfester Stahlwerkstoffe mit erhöhter Blechtemperatur ist somit vielversprechend und bietet das Potenzial, Stähle von höherer Festigkeit als bisher zu verarbeiten. Die Erwärmung des Stahlwerkstoffes ist in der Umformtechnik bereits in verschiedenen Bereichen etabliert und gewinnt an Bedeutung [GEIG07]. Somit bietet sich auch für das Feinschneiden das Potenzial, durch eine Erwärmung des Blechwerk-

stoffes die Fließspannung eines gegebenen Stahles zu verringern und somit die Prozesskräfte zu senken. Untersuchungen zu Erwärmung beim Verfahren des Normalschneidens, das dem Feinschneiden verwandt ist, liegen bereits vor [EMON10]. Das Feinschneiden mit Erwärmung des Stahlwerkstoffes, obwohl von hoher industrieller Relevanz, war dagegen bislang nur vereinzelt Gegenstand wissenschaftlicher Forschung [GALD23].

Eine systematische Untersuchung der thermomechanischen Wechselwirkungen im Zusammenspiel von Stahlwerkstoff und Feinschneidprozess steht hingegen noch aus. Daraus leitet sich die Forschungshypothese dieser Arbeit ab. Um die Auswirkungen der Temperatur auf das Feinschneidergebnis bewerten zu können, ist ein Verständnis der werkstoffphysikalischen Gegebenheiten erforderlich. Dies wird anhand von Analogiever suchen erarbeitet. Um die Belastung des Werkstoffes bei erhöhten Temperaturen erforschen und die Auswirkungen von der Temperatur und der Schnittgeschwindigkeit auf das Feinschneidergebnis analysieren und bewerten zu können, wird das Feinschneiden von erwärmten Stahlblechen im Realversuch untersucht. Daraus wird ein dehnungs-, dehraten- und temperaturabhängiges Modell für die Fließspannung des Werkstoffes abgeleitet. Diese Untersuchungen dienen zur Ermittlung eines optimalen Prozessfensters, aus dem nach einer energetischen Bewertung Richtlinien für die Praxis erstellt werden. Eine Zusammenfassung und ein Ausblick schließen die Arbeit ab.

## Introduction

With a share of 21%, the industrial sector is the second largest emitter of CO<sub>2</sub> emissions in Germany. A large and in recent years increasing share of these 21% comes from the iron, steel and non-ferrous metal industry. In addition, the transport sector is the third largest source of emissions with a share of 17.7%. Road traffic accounts for 96% of these emissions [WDBB18]. Against this background, the steel-processing industry currently has to find new ways with regard to environmental aspects, especially for automobile production. In particular, weight savings in new vehicles must exploit their potential with the aim of reducing avoidable emissions and conserving non-renewable fossil resources. This is urgently required, especially against the background of the transport transition, since alternatively powered hybrid and battery vehicles regularly have a drive-related additional weight of up to 250 kg [TAB12]. Counteracting the scarcity of resources and emission restrictions, the performance and weight of german automobiles have increased disproportionately since the Second World War. This negates the technical savings potential of modern drive technology [HELM15].

In spite of and because of this rebound effect, great efforts continue to be made to reduce the weight of structural and body components in automobiles. This is done in particular by means of lightweight material construction. High-strength steel plays a special role in this: according to estimates, it will account for between 45 and 48% of the materials used in cars in 2030, depending on the vehicle class [TAB12].

Fineblanking is a highly productive sheet metal processing method and is used in particular in the automotive industry for component production. However, fineblanking reaches a process limit when machining high-strength steel. These steels often beget poor quality of the fine blanked parts [ZHEN19], since the work-hardening properties of the theoretically ideal fine blanked steel are almost opposite to those of a steel optimised for formability [GRAM11]. In particular, fine blanking punches made of powder metallurgical (PM) steel reach the limit of their compressive strength during the sheet separation phase [FEUE16].

Increasing the sheet temperature reduces the flow stress. A combination of fine blanking of high-strength steel materials with increased sheet temperature is promising and offers the potential to process steels of higher strength than before. Heating of the steel material is already established in various areas of forming technology [GEIG07]. There are also studies on heating in the shear cutting process, which is related to fine blanking [EMON10]. Fine blanking with heating of the steel material, although of high industrial relevance, has so far only been subject to few scientific research items [GALD23].

A systematic investigation of the thermomechanical interactions in the interaction of steel material and fine blanking process is still lacking. This will be remedied in the following. In order to be able to evaluate the effects of temperature on the fine blanking result, an understanding of the material-physical conditions is required. This is achieved by means of analogy experiments. The fine blanking of heated steel sheets

is being investigated in real-life experiments in order to study the stress on the material at elevated temperatures and to be able to analyze and evaluate the effects of temperature and cutting velocity on the fine blanking result. From this, a strain, strain rate and temperature-dependent model for the flow stress of the material is derived. These investigations serve to determine an optimal process window, from which, after an energetic evaluation, guidelines for practical application are drawn up. A summary and an outlook conclude the work.