

Induktives Härten von Lenkstangen für Elektrolenkungen

von **Dirk M. Schibisch, Martin Bröcking**

„Power-on-Demand“, minimaler Kraftstoffverbrauch und mehr Funktionalität – alle diese Eigenschaften müssen moderne Kraftfahrzeuglenksysteme erfüllen und dabei möglichst wartungsfrei und vor allem von geringem Gewicht sein. Die meisten Fahrzeuge verfügen bereits heute zur Unterstützung der Lenkbewegung über eine elektrisch angetriebene Servolenkung, die vor allem im Stand oder mit kleiner Geschwindigkeit scheinbar müheloses Rangieren erlaubt. Kern dieser komplexen Lenksysteme sind Zahnstangen, die einer hohen Belastung ausgesetzt werden. Zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit und Verlängerung der Lebensdauer werden die Zahnstangen heute induktiv gehärtet. Der vorliegende Beitrag geht im Weiteren auf die unterschiedlichen Bauformen elektromechanischer Antriebe und die daraus entstehenden Anforderungen an Zahnstangen ein. Es werden unterschiedliche Induktionsverfahren sowie verschiedene Maschinenkonzepte vorgestellt.

Induction hardening of steering racks for electric power steering systems

„Power-on-Demand“, maximum mileage, and more functionality – all this must be realized by modern automotive steering systems, while additionally they shall be maintenance free and of low weight. Most vehicles already use an electrical power steering system for supporting the steering movement, allowing for easy manoeuvring for parking or at low speeds. Core components of these complex steering systems are steering racks, which are heavily loaded in use. Induction hardening increases the wear resistance as well as the life time of steering racks. This article describes design features of electromechanical steering systems and the resulting demands on the steering racks. Various induction methods will be presented, followed by reference machining systems.

Die Servolenkung (lat. servus = Diener) dient der Reduzierung der Kraft, die zur Betätigung des Lenkrads eines Kraftfahrzeugs vorwiegend bei kleineren Geschwindigkeiten oder im Stand nötig ist. Dabei wird die vom Fahrer aufgebrachte Lenkkraft durch ein Hydrauliksystem oder einen Elektromotor unterstützt. Obwohl beide Systeme jeweils ihre Vorteile haben, hat sich in der letzten Zeit die Elektrolenkung durchgesetzt.

Die elektromechanische Servolenkung ist eine geschwindigkeitsabhängig geregelte elektrische Hilfskraftlenkung, die nur dann arbeitet, wenn sie vom Fahrer benötigt wird. Sie kommt ganz ohne hydraulische Kom-

ponenten aus. Der Vorteil gegenüber einer hydraulischen Servolenkung besteht im reduzierten Kraftstoffverbrauch und neuen Komfort- und Sicherheitsfunktionen: Eine aktive Rückstellung der Lenkung in die Mittellage verbessert das Mittengefühl und die Seitenwindkompensation entlastet den Fahrer bei einseitig geneigter Fahrbahn oder konstantem Seitenwind [1].

Bei der elektromechanischen Servolenkung unterstützt und überlagert ein programmgesteuerter Elektrostellmotor an der Mechanik der Lenkung (Lenksäule oder Lenkgetriebe) die Lenkbewegungen des Fahrers. Hier entfällt die Hydraulik, also die Servopumpe, die Schläuche von der

Servopumpe zum Lenkgetriebe und zurück, sowie die Hydraulikflüssigkeit. Im Falle einer mechanischen Beschädigung, z. B. bei einem Unfall, kann somit kein Öl austreten, da elektro-motorische Lenkgetriebe lediglich mit Fetten geschmiert werden. Stattdessen bewirkt ein Elektromotor die Überlagerung der mechanischen Lenkbewegung durch den Fahrer mit einer unterstützenden Hilfskraft.

Man unterscheidet wiederum verschiedene Bauformen von elektromechanischen Lenksystemen. Die Positionierung der Servoeinheit (Motor, Steuergerät) und die Ausführung des Reduktionsgetriebes führen zu folgender Unterteilung [2]:

- C-EPS = Column type Electric Power Steering; Positionierung der Servoeinheit im Lenkstrang, Getriebeart Schneckenrad/welle, z. B. im BMW Z4
- P-EPS = Pinion type Electric Power Steering; Positionierung der Servoeinheit am Lenkgetrieberitzel, auch Dual-Pinion Antrieb über eine zweite, separate Ritzelwelle, Getriebeart Schneckenrad/welle, z. B. in der Mercedes-Benz CLA-Klasse
- R-EPS = Rack type Electric Power Steering; Positionierung der Servoeinheit parallel oder konzentrisch um die Zahnstange, Getriebeart Riemen und Kugelumlaufgewindetrieb bei achsparalleler Anordnung, z. B. im VW Tiguan

Tabelle 1: Vorteile elektromechanischer Lenksysteme bei PKW [3]

Merkmals	Vorteil	
Sicherheit	Stabilisierungsfunktion	
	Spurverlassenswarnung	
	Ausweichassistent	
Komfort	Geradeauslaufkorrektur	
	Einparkassistent	
	Spurhalteassistent	
Lenken	Lenkgefühl	
	Lenkleistung	
	Akustik	
Emissionen	Einsparungen CO ₂	10 g/km*
		20 g/km**
Verbrauch	Einsparung Kraftstoff	0,4 l/100 km*
		0,8 l/100 km**

* NEFZ (Neuer Europäischer Fahrzyklus) mit 2 Liter Ottomotor,

** nur Stadtverkehr

Je nach Fahrzeugtyp verbraucht eine elektromechanische Lenkung über 90 % weniger Energie als hydraulische Lösungen. Das bedeutet für PKW gemäß dem Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) bis zu 0,4 l/100 km und im Stadtverkehr bis zu 0,8 l/100 km weniger Verbrauch, denn die Lenkung verbraucht nur dann Energie, wenn tatsächlich gelenkt wird und kein permanenter hydraulischer Druck aufrechterhalten werden muss [3].

Bei leichten Nutzfahrzeugen fällt die Ersparnis noch größer aus. Hier spart die Elektrolenkung gegenüber einer hydraulisch unterstützten Servolenkung gemäß NEFZ 0,6 l/100 km ein. Bei einer Laufleistung von 25.000 km/a bedeutet das eine Einsparung von 150 l Kraftstoff, allein durch die Lenkung. Daraus ergeben sich rund € 210 bei einem Literpreis von € 1,40 für Diesel. Auch hinsichtlich der CO₂-Emissionen ergibt sich ein erhebliches Einsparpotenzial. Im Vergleich zu einer hydraulischen Servolenkung produziert eine elektromechanische Lenkung 16,1 g/km weniger CO₂. Bei einer jährlichen Laufleistung von 25.000 km ergibt das eine Ersparnis von rund 0,4 t CO₂. Zudem hat der Gesetzgeber die Einführung einer EU-weiten CO₂-Strafsteuer für Nutzfahrzeuge beschlossen, die mehr als 147 g/km CO₂ emittieren. Bereits 2014 tritt sie mit einem Grenzwert von 175 g/km in Kraft, eine Staffelung sorgt schrittweise für die Erreichung des Grenzwertes von 147 g/km in 2020 [4]. **Tabelle 1** fasst die Summe der Vorteile elektromechanischer Lenkungen gegenüber hydraulischen Lösungen zusammen.

Nachdem nun die Vorteile der elektromechanischen Lenkungen hinreichend gewürdigt wurden, bedarf es der weiteren Untersuchung der Belastungen auf die Zahnstangen. **Bild 1** zeigt eindrucksvoll die unterschiedlichen Einsatzbereiche der drei wesentlichen Bauformen elektromechanischer Lenkungen, nämlich der C-EPS, der P-EPS und der R-EPS. Je höher die Fahrzeugklasse, desto höher ist auch die Belastung der Zahnstange. Während bei Kleinstwagen bis in die Mittelklasse mit Zahnstangenkräften von 3 bis 10 kN zu rechnen ist, muss bei der oberen Mittelklasse bis zur Oberklasse von 9 bis 13 kN und in der Luxusklasse, SUVs oder leichten Nutzfahrzeugen von 13 bis 16 kN ausgegangen werden. In der niederen Belastungsstufe wird die Servoeinheit häufig an der Lenksäule befestigt (C-EPS), in der mittleren an einem zweiten Ritzel (P-EPS) und bei hohen Anforderungen an die Zahnstangenkraft achsparallel zur Zahnstange (R-EPS).

Mit zunehmender Belastungsstufe wird die durch die Zahnstange zu übertragende Kraft größer, was zur Notwendigkeit einer entsprechenden Verschleiß- und Dauerfestigkeit dieser Komponente führt. Hier kommen zwei Aspekte die Induktion betreffend ins Spiel: die Verwendung entsprechend vergüteten Grundmaterials und das induktive Härten der Zahnstange nach dem mechanischen Bearbeitungsvorgang.

INDUKTIONSVERFAHREN FÜR ZAHNSTANGEN

Dieser Beitrag befasst sich vornehmlich mit dem zweiten Aspekt, also der induktiven Randschichthärtung der mechanisch bearbeiteten Zahnstange. An dieser Stelle sei nur kurz auf den vorgelagerten induktiven Quench & Temper-Prozess zur Vergütung von Stangenmaterial verwiesen, auf den in früheren Fachberichten ausführlich eingegangen wurde [5].

Induktives Härten von Zahnstangen

Das induktive Härten dient im Wesentlichen der Verbesserung der Werkstoffeigenschaften. Durch die beim Härten auftretende Gefügeumwandlung lassen sich die Verschleißfestigkeit, die Dauerfestigkeit und damit verbunden auch die statische Festigkeit verbessern [6].

Dabei beschränkt sich das induktive Härten auch bei Zahnstangen auf die besonders stark belasteten Bereiche des Werkstücks (**Bild 2**). Diese sind die eigentliche Verzahnung und je nach Zahnstangentyp der Schaftbereich, der nach dem Härten als Kugelrollspindel ausgebildet wird. Die zu erwärmenden Bereiche werden dem Einfluss eines elektromagnetischen Wechselfelds ausgesetzt, wodurch ein elektrischer Strom induziert wird. Der Stromfluss bewirkt die Erwärmung des Metalls auf ca. 900 °C, anschließend wird direkt mit einer speziellen Polymer-Emulsion abgeschreckt und somit gehärtet. Die Eindringtiefe des induzierten Stromes im Werkstück ist frequenz- und werkstoffabhängig. Bei Zahnstangen wird in der Regel eine Einhärtetiefe von wenigen Millimetern gefordert, die mit einer Arbeitsfrequenz im Bereich von 3 bis 20 kHz erreicht wird.

Für den induktiven Härteprozess haben sich zwei unterschiedliche Verfahren herausgebildet, die unter den Begriffen „Vorschubhärtung“ und „Gesamtflächenhärtung“ bekannt sind. Bei der Vorschubhärtung wie in **Bild 3** (auch Vorschubumlaufhärtung) erfolgen das Aufheizen und Abschrecken gleichzeitig, wobei eine kontinuierliche Relativbewegung zwischen der fest eingebauten Induktor-Brause-Einheit und dem Werkstück oder vice versa erforderlich ist. Bei Zahnstangen wird in der Regel die Induktor-Brauseeinheit entlang der eingespannten Zahnstange geführt. Beim Gesamtflächenhärten erfolgt das Aufheizen und Abschrecken dagegen nacheinander in einer oder mehreren Stationen. Gesamtflächenverfahren werden für größere Einhärtetiefen oder hohe Durchsätze eingesetzt (**Bild 4**).

Beide Verfahren haben Vor- und Nachteile, die anhand der Härteaufgabe und der Durchsatzforderung gegeneinander abzuwägen sind, soweit beide Verfahren überhaupt technisch gegeneinander austauschbar sind. Generell stehen beim Gesamtflächenverfahren deutlich kürzere Prozesszeiten dem höheren Leistungsbedarf gegenüber,

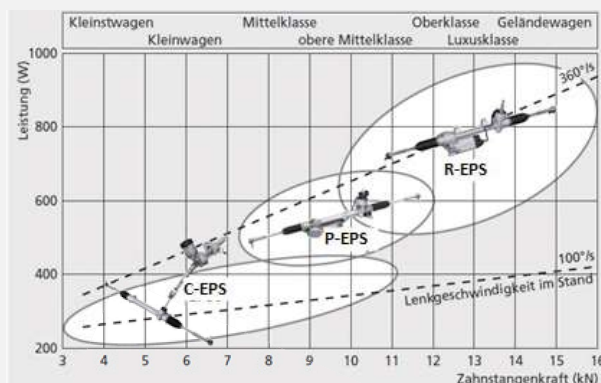


Bild 1: Richtwerte für Zahnstangenkraft und mechanischer Leistung für alle Fahrzeugklassen; angelehnt an [3]



Bild 2: Schnitt des induktiv gehärteten Verzahnungsbereiches einer Zahnstange (Quelle: SMS Elotherm)



Bild 3: Vorschubhärtung einer Zahnstange in vertikaler Einspannung (Quelle: SMS Elotherm)



Bild 4: Aufheizen mit dem Gesamtflächenverfahren (Quelle: SMS Elotherm)

während beim Vorschubhärten mit geringerer Leistung auch geringere Durchsätze zu erreichen sind. Es gibt sogar Anwendungsfälle, bei denen beide Verfahren an unterschiedlichen Stellen des Werkstücks nacheinander eingesetzt werden können.

Die Induktionshärtung von Zahnstangen findet vielfach unter einer Schutzgasatmosphäre statt. Während es bei Temperaturen im Austenitisierungsbereich durch den Sauerstoff in der Umgebung zur Bildung von Zunder kommt, der aufwendig wieder von den Zahnstangen entfernt werden müsste, verhindert die Schutzgasflutung der Induktionskammer diese unerwünschte Reaktion. Ergebnis sind Oberflächen nahezu ohne entsprechende Verzunderungsrückstände.

Bei Zahnstangen muss dem Härteprozess ein Anlassvorgang folgen, um die durch die Härtung eingebrachten Spannungen innerhalb der Zahnstange abzubauen und weil in der Regel die final einzustellende Randschichthärte unterhalb des Wertes liegt, der sich gemäß dem Kohlenstoffgehalt des Stahles bei einem optimalen Induktionshärtvorgang ergibt. Dies geschieht durch die Wiedererwärmung der Zahnstange auf eine Temperatur von 150 bis 200 °C. Alternativ zum induktiven Anlassen kann die Zahnstange auch in einem elektrisch beheizten Anlassofen erwärmt und angelassen werden. Die Höhe der Anlass-temperatur und die Dauer haben Einfluss auf den Abbau der Härte, d. h. eine hohe Temperatur und eine kurze Zeit können den gleichen Anlasseffekt haben wie eine niedrigere Temperatur und längere Haltezeit.

BEARBEITUNGSSYSTEME

In den folgenden Abschnitten werden nun die einzelnen Maschinenkonzepte vorgestellt und erläutert, welche zur Zahnstangenhärtung zum Einsatz kommen.

Härtung von Zahnstangen im Vorschub mit vertikaler Werkstückpositionierung

Für die Fertigung kleiner Lose kommen hier im Wesentlichen Härtemaschinen mit einer Vorschubachse zum Einsatz. Zur Erhöhung der Produktivität sind Maschinen mit mehreren vertikalen Achsen entwickelt worden. In den Härtestationen wird der gesamte zu härtende Bereich im Vorschub abgefahren (Scanning). Ein Umspannen der Werkstücke, wenn z. B. Schaft und Verzahnung gehärtet werden, ist nicht erforderlich.

Die Werkstücke werden mit einer Spannvorrichtung mit Werkstückantrieb und mit einem Gegenhalter eingespannt. Am Gegenhalter ist eine Rotationskontrolle angebaut, sodass die Rotation der Werkstücke prozesssicher überwacht werden kann. Der Gegenhalter ist so ausgeführt, dass die Zahnstange sich frei, d. h. ohne nennenswerten Gegendruck während des Erwärmungsvorgangs ausdehnen kann, um den Verzug zu minimieren.

Da der Verzahnungsbereich in der Regel ohne Rotation gehärtet wird, muss die Zahnstange in der Härtemaschine ausgerichtet eingespannt werden oder die Maschine muss mit einer manuellen Ausrichthilfe, alternativ einer vollautomatischen Ausrichteinheit, ausgestattet sein. Alternativ hierzu kann das Werkstück auch in einer externen Station ausgerichtet werden und orientiert mit einer Automatisierung, z. B. einem Roboter, in die Härtemaschine gebracht werden. Die externe Ausrichtung bietet den Vorteil, dass sie parallel zum Prozess stattfindet und nicht in die Taktzeit des Härteprozesses eingeht.

Die Härtung der Zahnstangen kann mit Rund- oder formangepassten Induktoren erfolgen, die mit einer oder mehreren Windungen ausgeführt sind. Die Härtespezifikation und der geforderte Durchsatz entscheiden letztlich über die Ausführungsform des Induktors. Mit mehrwindigen Induktoren kann man in der Regel größere Vorschubgeschwindigkeiten fahren, da hier der Bereich, in dem Leistung in das Werkstück induziert wird, länger ist als bei einem einwindigen Induktor.

Die Erhöhung der Verschleiß- und Dauerfestigkeit wird im Bereich der Verzahnung im Wesentlichen nur für die eigentliche Verzahnung benötigt. Wird nur die Verzahnung einschließlich des Zahngrundes gehärtet, entsteht erheblicher Härteverzug und der Richtaufwand sowie die Richtzeit verlängern sich deutlich. Zudem erhöht sich die Gefahr, dass durch das Richten Risse in der Härtezone entstehen. Zur Reduzierung des Verzuges wird auch der Rücken der Zahnstange im Bereich der Verzahnung gehärtet. Um ein gleichmäßiges Härtebild in diesem Bereich zu erzielen, muss die Zahnstange im Induktor positioniert werden können. Dazu ist es erforderlich, diesen horizontal zu verfahren. Jede Härtestation ist deshalb mit einer zusätzlichen NC-Achse zum horizontalen Verstellen des Induktors ausgestattet. Somit kann die Härtetiefe im Bereich der Verzahnung und im Rücken der Verzahnung exakt eingestellt werden.

Die Härtung im Schaftbereich erfolgt unter Rotation der Werkstücke. In diesem Bereich wird zu einem späteren Zeitpunkt eine Rollierung für den Kugelgewindeantrieb eingebracht. Hierfür muss das Werkstück mittig im Induktor stehen.

Ist eine solche Härtemaschine mit mehreren Härtestationen ausgestattet, können die Stationen im Wechsel betrieben werden. Auf einer Station wird das Werkstück gewechselt, während auf einer anderen Station gehärtet wird. Die Leistungsversorgung der Stationen erfolgt mit einem gemeinsamen Umrichter, der wechselweise zwischen den Stationen umgeschaltet wird. Sollten die Prozesszeiten deutlich länger als die Werkstückwechselzeit sein, welches bei Schaft- und Verzahnungshärtung der Fall ist, wird ein zweiter Umrichter eingesetzt. In den Stationen kann dann parallel gehärtet werden, wobei die

Prozessparameter für jede Station individuell einstellbar sind. Da die Stationen entkoppelt voneinander arbeiten, ist die Produktivität der Anlage entsprechend hoch.

Um wie zuvor bereits beschrieben die Zahnstangen zunderarm zu härten, wird der Induktor in ein Gehäuse eingebaut, das möglichst eng am Werkstück abschließt. Dieses Gehäuse wird mit Stickstoff geflutet, um den Luft-sauerstoff zu verdrängen. Die Erwärmung bzw. Härtung findet somit in einer sauerstoff-reduzierten Umgebung statt und die Bildung von Zunder wird deutlich minimiert.

Die Verkettung der vertikalen Härtemaschinen erfolgt oft mit einem Roboter. Somit lassen sich komplexe Härtezellen konfigurieren, in denen mehrere Bearbeitungsschritte stattfinden (**Bild 5**).

Härtung von Zahnstangen im Vorschub mit horizontaler Werkstückpositionierung

Die zuvor beschriebenen Baugruppen für eine vertikale Härtemaschine können im Prinzip auch in eine horizontale Härtemaschine eingebaut werden. Ein ganz wesentlicher Unterschied bei einem horizontalen Maschinenkonzept besteht darin, dass diese Maschinen einen internen Werkstücktransport haben und in eine Linienfertigung integriert werden können. Auch bei diesem Maschinenkonzept lassen sich verschiedene Bearbeitungsgänge in einer Anlage realisieren. So können die Werkstücke zum Beispiel in einer Station gehärtet, in der nächsten angelassen und in einer weiteren gerichtet werden. Der Werkstücktransport zwischen den einzelnen Positionen erfolgt jeweils mit einem Hubbalken-Transport. Be- und Entladen des Hubbalkens erfolgt über ein Portal.

Ein Unterschied zwischen dem horizontalen und dem zuvor beschriebenen vertikalen Anlagenkonzept ist die Abschreckmittelführung (**Bild 6**). Während beim vertikalen Härteprozess der untere Teil der Zahnstange über die ganze Prozesszeit gekühlt wird und mit zunehmendem Vorschub die Kühlzeit relativ abnimmt, ist bei der horizontalen Induktor-Brause-Anordnung die Einwirkzeit des Kühlmediums über die gesamte Härtezone gleich. Dadurch kann sich einerseits ein gleichmäßigeres Gefüge ausbilden, andererseits besteht das Risiko, dass bei einer ungünstigen Anordnung der Brausen oder einem Defekt derselben Abschreckmedium in den Induktor läuft und die Erwärmung ungleichmäßig wird, was zu Weichfleckigkeit führen kann.

Auch auf diesen Maschinen kann der Härteprozess in einer Stickstoffatmosphäre erfolgen, sodass die Werkstücke den weiteren Bearbeitungen zunderarm zugeführt werden.

Härtung von Zahnstangen im Gesamtflächenverfahren mit Schalttellertransport

Zur Senkung der Produktionskosten gibt es Anlagenkonzepte, bei denen der Schaftbereich im Gesamtflächenverfahren gehärtet wird. In diesem Bereich wird zu einem



Bild 5: EloShaft™: Integrierte Fertigungszelle (Quelle: SMS Elotherm)



Bild 6: Induktor-Brause-Anordnung in horizontaler Doppelstation (Quelle: SMS Elotherm)

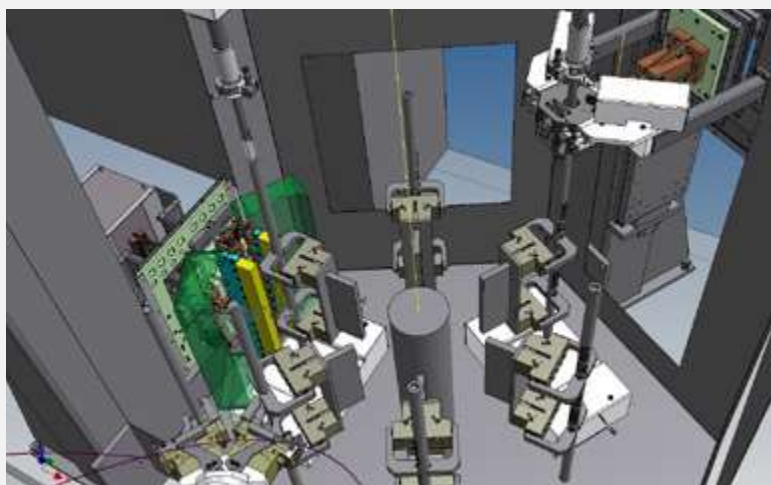


Bild 7: Schaltteller-Härtemaschine mit zwei Härtestationen zum Gesamtflächen- und Vorschubhärten (Quelle: SMS Elotherm)

späteren Zeitpunkt die Rollierung eingebracht. Zur Reduzierung der Handlingszeiten und um die Anlagen optimal auszulasten, wird bei diesem Anlagenkonzept ein Schaltteller für den internen Werkstücktransport eingesetzt.

In einer Station wird Be- und Entladen, in der nächsten wird der Schaftbereich im Gesamtflächenverfahren gehärtet. In einer weiteren Position wird der Verzahnungsbereich wie zuvor beschrieben im Vorschub gehärtet. Auf dem Schaltteller können optional weitere Stationen zum induktiven Härten vorgesehen werden (**Bild 7**).

Der Schaftbereich kann sehr gut im Gesamtflächenverfahren gehärtet werden, da es sich hier um eine zylindrische Geometrie handelt und der Härteverzug dementsprechend minimal ist. Bei der Einspannung der Zahnstange ist zu beachten, dass eine Unwucht, welche durch das Einbringen der Verzahnung entstehen kann, kompensiert wird.

Bei diesem modularen Maschinenkonzept sind der interne Werkstücktransport und die Werkstückeinspannung in den Härtestationen entkoppelt. Dieses bietet für den Betreiber den Vorteil, dass nur ein Werkstück für die Qualitätsfreigabe untersucht und ausgewertet werden muss. Bei konventionellen Schalttellerkonzepten muss ein Werkstück pro Spannstation auf dem Schaltteller untersucht und ausgewertet werden, da die Position des Werkstücks zum Induktor im Rahmen der Fertigungstoleranzen in jeder Spannstation anders ist. Der entsprechende Freigabeaufwand ist um ein Vielfaches höher.

Auch bei der Gesamtflächenhärtung des Schaftes kann der Härteprozess in einer Schutzgasatmosphäre erfolgen. Hierzu wird eine geteilte Kammer um den Induktor gebaut. Im Prozess wird der Induktor mit der geöffneten Kammer horizontal zugestellt und anschließend die Kammer geschlossen sowie mit Stickstoff geflutet.

FAZIT

Der aktuelle Trend zum Downsizing von automobilen Bauteilen schließt auch die Zahnstange mit ein. Aktuell zielen die technischen Verbesserungen der elektrischen Servolenkung im Wesentlichen auf eine Optimierung des Wirkungsgrades und der Leistungsdichte, um ihr Einsatzspektrum bis hin zu leichten Nutzfahrzeugen zu erweitern [7]. Während einerseits die Anforderungen bezüglich Dauerfestigkeit und Verschleißverhalten immer weiter steigen, dürfen aus Gewichtsgründen die Bauteile selber nicht größer oder schwerer werden.

Das induktive Härten besonders belasteter Stellen dieser Zahnstangen sowie die Nutzung von entsprechend hochwertigem, induktiv wärmebehandeltem Vormaterial, stellen Möglichkeiten dar, diesem Dilemma zu entkommen. So hat die Industrie ausgereifte Bearbeitungslösungen entwickelt, die es den Betreibern ermöglichen, entsprechend den Anforderungen reproduzierbare Härteergebnisse zu erzielen.

Alle vorgestellten Maschinenkonzepte verwenden bereits weitgehend standardisierte und erprobte Baugruppen. So lassen sich flexibel weitere kundenspezifische Lösungen konfigurieren und mit in der Praxis bewährten und erprobten Baugruppen realisieren.

Mit modularen Induktionsanlagen in horizontaler oder vertikaler Bauweise zum induktiven Härten von Zahnstangen sind die Betreiber auf aktuelle und zukünftige Anforderungen dementsprechend gut vorbereitet. Angefangen bei handbeladenen Maschinen für kleine Stückzahlen, über automatisierte Härtemaschinen in Fertigungslinien bis hin zu komplexen Fertigungszellen, die neben der eigentlichen Induktion auch andere Prozesse integrieren – moderne Induktionslösungen bieten immer optimal zugeschnittene Lösungen für jede Anforderung.

LITERATUR

- [1] www.volkswagen.de/de/Volkswagen/InnovationTechnik/techniklexikon/elektromechanische_servolenkung.html
- [2] wikipedia: servolenkung
- [3] Presseinformation ZF Lenksysteme iaa 2011 10 Elektrolenkung d, September 2011
- [4] Presseinformation ZF Lenksysteme PT IAA 12 01 d, Juni 2012
- [5] Vorteile der induktiven Vergütung von Rohr- und Stabmaterial, EWI 01/12, Vulkan-Verlag
- [6] Pfeifer, H.; Nacke, B.; Beneke, F. (Hrsg.): Praxishandbuch Thermoprozesstechnik, Vulkan-Verlag, 2011, S. 386ff.
- [7] Servolenksysteme für PKW und Nutzfahrzeuge, Verlag Moderne Industrie 2012, S. 79

AUTOREN



Dipl.-Wirtsch.-Ing. **Dirk M. Schibisch**
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-300
d.schibisch@sms-elotherm.com



Dipl.-Ing. **Martin Bröcking**
SMS Elotherm GmbH
Remscheid
Tel.: 02191 / 891-412
m.broecking@sms-elotherm.com