

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Inhaltsverzeichnis | I |
| Abkürzungen | III |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Grundlagen und Stand der Technik | 2 |
| 2.1 Energieeffizienz im industriellen Sektor | 2 |
| 2.1.1 Gebäudetechnik | 5 |
| 2.1.2 Werkzeugmaschinen | 6 |
| 2.2 Zerspanung | 9 |
| 2.2.1 Grundlagen | 9 |
| 2.2.2 Spanbildung | 12 |
| 2.2.3 Wärmeentstehung und -ausbreitung beim Zerspanen | 14 |
| 2.2.4 Räumen | 16 |
| 2.3 Warmzerspanung | 25 |
| 2.4 Wärmebehandlung | 28 |
| 2.4.1 Grundlagen | 28 |
| 2.4.2 Einsatzhärten von 16MnCr5 | 31 |
| 2.4.3 Induktives Härteln | 36 |
| 2.5 Strahlen (Verfestigungsstrahlen) | 40 |
| 3 Zielsetzung und Vorgehensweise | 44 |
| 3.1 Zielsetzung | 44 |
| 3.2 Vorgehensweise | 46 |
| 3.2.1 Energiebilanz | 46 |
| 3.2.2 Ableiten von Effizienzmaßnahmen | 49 |
| 3.2.3 Zerspanungsuntersuchungen | 50 |
| 3.2.4 Zusammenfassung und Ergebnisdiskussion | 50 |
| 4 Prozesskettenanalyse und energetische Bewertung | 51 |
| 4.1 Demonstrator-Bauteil | 51 |

| | |
|--|------------|
| 4.2 Prozesskettenanalyse | 55 |
| 4.3 Weichräumen | 57 |
| 4.4 Einsatzhärten | 63 |
| 4.5 Induktionshärten | 74 |
| 4.6 Harträumen | 79 |
| 4.7 Strahlen | 84 |
| 4.8 Zusammenfassung der Energieaufwände | 86 |
| 4.9 Kosten - Einbeziehen von Energie- und Werkzeugkosten | 89 |
| 5 Effizienzmaßnahmen | 92 |
| 5.1 Warmzerspanung | 93 |
| 5.2 Anpassen der Prozesskette | 96 |
| 5.3 Versuchsdurchführung | 98 |
| 5.4 Versuchsergebnisse | 105 |
| 5.5 Auswirkung auf Energie- und Kosteneffizienz | 123 |
| 6 Zusammenfassung und Ausblick | 126 |
| 6.1 Zusammenfassung | 126 |
| 6.2 Ausblick | 128 |
| 7 Literaturverzeichnis | 129 |
| 8 Anhang | 136 |
| 9 Beruflicher / wissenschaftlicher Werdegang | 153 |