

## **Abschlussbericht**

### **zum Vorhaben:**

Innovative Anlagenkombination in der Kettenfertigung

### **Zuwendungsempfänger/-in:**

Röttgers Ketten GmbH und Co. KG

### **Umweltbereich**

(Umweltschutz, Energie- und Ressourceneffizienz)

### **Laufzeit des Vorhabens**

14. Januar 2021 – 30. April 2024

### **Autoren**

Max Röttgers, Torsten Rothhöft, Daniela Derißen

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

### **Datum der Erstellung**

14.02.2025

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen UBA:</b>	<b>Vorhaben-Nr.</b> NKa3-003568
<b>Titel des Vorhabens:</b> Innovative Anlagenkombination in der Kettenfertigung	
<b>Autoren:</b> Max Röttgers, Torsten Rothhöft, Röttgers Ketten GmbH & Co. KG  Daniela Derißen, delta consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	<b>Vorhabensbeginn:</b> 14. Januar 2021
	<b>Vorhabensende (Abschlussdatum):</b> 30. April 2024
<b>Zuwendungsempfänger:</b> Röttgers Ketten GmbH & Co. KG Zollhausstraße 30 58640 Iserlohn	<b>Veröffentlichungsdatum:</b> 30. Februar 2025
	<b>Seitenzahl:</b> 66
<b>Gefördert im BMUV-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz</b>	
<p><b>Kurzfassung:</b></p> <p>Die Röttgers Ketten GmbH &amp; Co. KG hat im Rahmen des Umzugs an einen neuen Standort (Zollhausstr. 30) in Iserlohn eine innovative Anlagenkombination in der Kettenfertigung erstmals großtechnisch umgesetzt.</p> <p><b>Ziel des Vorhabens:</b> Innovative, großtechnische Umsetzung einer Anlagenkombination von Rollbiegemaschine und Widerstandpressstumpfschweißen. Durch diese Kombination ergibt sich ein vollautomatisierter Kettenfertigungsprozess, welcher durch modernste Schnittstellen hohe Prozesssicherheiten bei gleichzeitig geringen Rüstzeiten und Werkzeugkosten ermöglicht. Durch diese innovative Anlagenkombination ergeben sich enorme Einsparungspotenziale sowohl im Material als auch bezüglich des Energieverbrauchs. Die modernen Mensch-Maschinen-Schnittstellen bzw. Maschine-Maschine-Schnittstellen sorgen für eine deutlich gesteigerte Reproduzierbarkeit qualitativ hochwertigere Produkte, trotz stetig sinkender Qualität des Vormaterials Draht. Mit Umsetzung unsers Vorhabens sollte die erste servomotorgesteuerte Rollbiegemaschinenlinie und Kettenschweißmaschine für Drahtdurchmesser von 10-18 mm und Drahtfestigkeiten von bis zu 1300 N/mm<sup>2</sup> in die Serienfertigung gehen.</p> <p><b>Ergebnis des Vorhabens:</b> Mit Inbetriebnahme und Überführung in den Serienbetrieb konnten wir zeigen, dass die Rollbiegemaschine für Drahtdurchmesser von 10-18 mm und Drahtfestigkeiten bis zu 1000 N/mm<sup>2</sup> geeignet ist, aber darüber bis von 1000 bis 1300 N/mm<sup>2</sup> nicht prozesssicher und serientauglich. Dies liegt an den Qualitätseinbusen bei aktuell verfügbaren Draht-Qualitäten, die bei Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> zu Rissen, Materialabsplitterungen und Rückfederungen führen, was bei Antragstellung nicht vorhersehbar war. Die Serienfertigung</p>	

von Drähten mit Festigkeiten bis 1000N/mm<sup>2</sup> ist messtechnisch belegt und schreibt den Stand der Technik deutlich fort.

Unter dem Abschnitt Ergebnisdarstellung, Unterpunkt Stoff- und Energiebilanz stellen wir die Umwelteffekte im Vorhaben anhand nachfolgender Parameter dar:

- Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl)
- Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl)
- Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl)
- Energieeinsatz Kettenproduktion (kWh)
- Nacharbeitsaufwand
- Rüstaufwand

Auch wenn die im Projektantrag angestrebte Substitution durch kleinere Durchmesser bisher noch nicht erfolgreich umgesetzt werden konnte, so können für vier der sechs oben genannten Punkte in den Bereichen Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl), Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl), Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl), Nachbearbeitungs- und Rüstaufwand Erfolge erzielt werden. Die Reduktion der Kettendurchmesser scheitert dabei an den zum heutigen Stand verfügbaren Drahtqualitäten sowie den normativen Anforderungen an die zulässigen Kettendimensionen. Sobald bessere Drahtqualitäten verfügbar sind oder der Markt der Rohrförderketten auch Kettendimensionen außerhalb der Norm akzeptiert, kann eine Substitution durch kleinere Durchmesser realisierbar sein.

Die durchgeführten Energiemessungen bestätigen, dass eine hochgerechnete jährliche Stromeinsparung in Höhe von 48.181 kWh sowie eine Stahleinsparung von 11,945 Tonnen erreicht werden kann und damit 51,39 t CO<sub>2</sub> bei einem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 0,537 kg CO<sub>2</sub>/kWh und 2,137 kg CO<sub>2</sub>/t<sub>Stahl</sub> eingespart werden (bezogen auf eine Jahreskapazität von 300 Tonnen Kette).

**Schlagwörter:** Fördertechnik, Kettenfertigung, Schweißtechnik, Biegetechnik

**Anzahl der gelieferten Berichte**

**Papierform: 1**

**Elektronischer Datenträger: 1**

**Sonstige Medien**

Veröffentlichung in der Loseblattsammlung der Effizienz Agentur NRW und im Internet geplant auf der Homepage:

[Kompetenzzentrum für Ressourcenschonung - efa NRW](#)

## Report-Coversheet

<b>Reference-No. Federal Environment Agency:</b>	<b>Project-No.:</b> NKa3-003568
<b>Report Title:</b> Innovative system combination in chain production	
<b>Authors:</b> Max Röttgers, Thorsten Rothhöft, Röttgers Ketten GmbH & Co. KG  Daniela Derißen, delta consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	<b>Start of project:</b> 14. Januar 2021
	<b>End of project:</b> 30. February 2025
Röttgers Ketten GmbH & Co. KG Zollhausstraße 30 58640 Iserlohn	<b>Publication Date:</b> 30. February 2025
	<b>N of Pages:</b> 66
<b>Funded in the Environmental Innovation Programme of Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and Consumer Protection</b>	
<b>Summary:</b>  As part of its move to a new location (Zollhausstr. 30) in Iserlohn, Röttgers Ketten GmbH & Co. KG has implemented an innovative combination of systems in chain production on an industrial scale for the first time.  <b>Aim of the project:</b> Innovative, large-scale implementation of a combination of roll bending machine and resistance butt welding equipment. This combination results in a fully automated chain manufacturing process, which enables high process reliability with low set-up times and tooling costs thanks to state-of-the-art interfaces. This innovative combination of systems offers enormous savings potential in terms of both material and energy consumption. The modern human-machine interfaces and machine-machine interfaces ensure significantly increased reproducibility and higher-quality products, despite the steadily declining quality of the raw material wire. With the implementation of our project, the first servo motor-controlled roll bending machine line and chain welding machine for wire diameters of 10-18 mm and wire strengths of up to 1300 N/mm <sup>2</sup> should go into series production.  <b>Project results:</b> With commissioning and transfer to series production, we were able to demonstrate that the roll bending machine is suitable for wire diameters of 10-18 mm and wire strengths of up to 1000 N/mm <sup>2</sup> , but is not reliable and suitable for series production for strengths above 1000 to 1300 N/mm <sup>2</sup> . This is due to the loss of quality in currently available wire grades, which leads to cracks, material chipping and springback at strengths above 1000 N/mm <sup>2</sup> , which was not foreseeable at the time of application. The series production of wires with strengths up to 1000 N/mm <sup>2</sup> has been verified by measurement and clearly represents the state of the art.	

In the section on results, under the subheading Material and energy balance, we present the environmental effects of the project based on the following parameters:

- Material use in chain production (steel)
- Material used in tool production (steel)
- Reduction in scrap in chain production (steel)
- Energy used in chain production (kWh)
- Rework effort
- Set-up effort

Even though the substitution with smaller diameters envisaged in the project proposal has not yet been successfully implemented, successes have been achieved in four of the six points mentioned above in the areas of material use in chain production (steel), material use in tool production (steel), reduction of scrap in chain production (steel), and reworking and set-up costs. The reduction in chain diameters has failed due to the wire qualities available at present and the normative requirements for permissible chain dimensions. As soon as better wire qualities are available or the market for tubular conveyor chains also accepts chain dimensions outside the norm, substitution with smaller diameters may be feasible.

The energy measurements carried out confirm that an extrapolated annual electricity saving of 48,181 kWh and a steel saving of 11.945 tonnes can be achieved, thus saving 51.39 tonnes of CO<sub>2</sub> with a CO<sub>2</sub> emission factor of 0.537 kg CO<sub>2</sub>/kWh and 2.137 kg CO<sub>2</sub>/ t steel (based on an annual capacity of 300 tonnes of chain).

**Keywords:**

Conveyor technology, chain production, welding technology, bending technology

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>12</b>
1.1	Kurzbeschreibung des Unternehmens .....	12
1.2	Ausgangssituation.....	13
1.2.1	<i>Plattenbiegen und Rollbiegen</i> .....	13
1.2.2	<i>Drahtfestigkeiten und Leistungsfähigkeit</i> .....	15
1.2.3	<i>Kettendimensionen von 10 – 18 mm Drahtdurchmesser und höherfeste Drähte</i> 15	
<b>2</b>	<b>Vorhabensumsetzung</b> .....	<b>16</b>
2.1	Ziel des Vorhabens .....	16
2.1.1	<i>Einsparungen im Material durch Substitution</i> .....	18
2.1.2	<i>Einsparungen in der Produktion durch Substitution</i> .....	19
2.1.3	<i>Einsparungen durch die Reduktion der Nacharbeit</i> .....	20
2.1.4	<i>Zusammenfassung des Einsparungspotenzials</i> .....	22
2.1.5	<i>Einsparungen durch geringere Werkzeuggewichte</i> .....	22
2.2	Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	23
2.2.1	<i>Rollbiegemaschine KER 7.2</i> .....	23
2.2.2	<i>Die Maschinen KER 7.2 und KEH 7.2 für Kaltbiegen und Pressstumpfschweißen</i> 23	
2.2.3	<i>Drahtqualität</i> .....	24
2.2.4	<i>Produktion</i> .....	24
2.3	Umsetzung des Vorhabens .....	31
2.4	Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	42
2.5	Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	42
2.6	Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle .....	42
<b>3</b>	<b>Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung</b> .....	<b>43</b>
3.1	Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	44
3.2	Stoff- und Energiebilanz .....	49
3.2.1	<i>Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl)</i> .....	49
3.2.2	<i>Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl)</i> .....	49
3.2.3	<i>Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl)</i> .....	49
3.2.4	<i>Energieeinsatz Kettenproduktion (kWh)</i> .....	51
3.2.5	<i>Nacharbeitsaufwand</i> .....	54
3.2.6	<i>Rüstaufwand</i> .....	57
3.3	Umweltbilanz .....	57
3.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	59
3.5	Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	60

<b>4</b>	<b>Übertragbarkeit.....</b>	<b>61</b>
4.1	Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	61
4.2	Modellcharakter/Übertragbarkeit.....	62
4.3	Kommunikation der Ergebnisse.....	62
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung/Summary.....</b>	<b>63</b>
5.1	Zusammenfassung.....	63
	Einleitung.....	63
5.2	Summary.....	65
	Introduction.....	65
	Project.....	66
	Prospects.....	66

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Standort Zollhausstraße 30, 58640 Iserlohn .....	13
Abbildung 2: Fotos vom Plattenbiegeverfahren (Stand der Technik) .....	14
Abbildung 3: Plattenbiegeverfahren in schematischer Darstellung .....	14
Abbildung 4: Darstellung eines Rohrkettenförderers.....	17
Abbildung 5: Substitutionspotenzial anhand der 20x100 zur 16x100 in Bezug auf die Produktion.....	25
Abbildung 6: Darstellung eines Werkzeugsatzes einer Plattenbiegemaschine (ca. 90 kg) .....	26
Abbildung 7: Darstellung eines Werkzeugsatzes der servomotorgesteuerten Rollbiegemaschine (ca. 22,5 kg) .....	27
Abbildung 8: Einstellvorgang konventionelles Plattenbiegen .....	28
Abbildung 9: Einstellvorgang Servomotorgesteuertes Rollbiegen.....	29
Abbildung 10: Die Vorteile der neuen KER 7.2 im Überblick.....	31
Abbildung 11: Projektplan.....	32
Abbildung 12: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 - Richtwerk (Foto aus Februar 2022)...	34
Abbildung 13: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 Ablängeinheit (Foto aus Februar 2022)	34
Abbildung 14: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 – Rollbiegeeinheit (Foto aus Februar 2022).....	35
Abbildung 15: Kettenbiegemaschine KER 7.2 Foto vom 17.03.2023 links – Richtwerk; rechts - Rollbiegeeinheit.....	35
Abbildung 16: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 – Rückseite (Foto aus Februar 2022)..	36
Abbildung 17: Kettenbiegemaschine KER 7.2 Foto vom 17.03.2023: Richtwerk .....	36
Abbildung 18: Mensch-Maschinen-Interface, Foto vom 17.03.2023.....	37
Abbildung 19: Kettenschweißmaschine KEH 7.2 Foto vom 17.03.2023.....	37
Abbildung 20: Kettenschweißmaschine KEH 7.2 Foto vom 17.03.2023.....	38
Abbildung 21: Kettentransport am Ende der Anlage Foto vom 17.03.2023.....	38
Abbildung 22: Gefertigte Kette 13x65 mm am Ausgang der Anlage, Foto vom 17.03.2023 .....	39
Abbildung 23: Effektive Laufquote der Anlage in % im Zeitraum KW 01 (2024) bis KW51 (2024), Verarbeitungsmenge 176.438 m .....	42
Abbildung 24: Ausschnitt aus der Norm DIN 762-2.....	46
Abbildung 25: Spanabplatzer bei Überwalzungen im Draht. Je besser die Drahtqualität desto seltener Überwalzungen im Draht (Foto aus 2024).....	47
Abbildung 26: Wieder Materialaufplatzer bei hochfesten Drähten (Foto aus 2024).....	47
Abbildung 27: Materialaufplatzer bei einer 16x80 Kette (Foto aus 2024).....	48

Abbildung 28: Riss / Bruch im Radius der Kette bei einer 16x48 Kette (Foto aus 2024) ..	48
Abbildung 29: Beispielhafter Auszug aus dem ERP System - Abbuchungen der Materialverbräuche.....	50
Abbildung 30: Beispielhafter Auszug aus dem ERP System - Buchungen der gefertigten Mengen .....	50
Abbildung 31: Leistungsmessung KEH 7.2 (ohne Zoom).....	52
Abbildung 32: Leistungsmessung KEH 7.2 (mit Zoom 1).....	52
Abbildung 33: Leistungsmessung KEH 7.2 (mit Zoom 2).....	52
Abbildung 34: Leistungsmessung KEH 7.2 (Zoom 3) .....	53

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umwelteffekte bezogen auf das Produkt Rohrförderketten (Jahreskapazität 59.750 m/a).....	18
Tabelle 2: Materialeinsparungen in t/Jahr.....	19
Tabelle 3: Stromeinsparungen.....	20

Werkzeug	Komplexität/ Materialeinsatz	Plattenbiegen Klassisch & Servo	Rollbiegen Klassisch	Rollbiegen Servo
Biegestähle	Mittel	X		
Vorbiegestähle	Mittel	X		
Fertigbiegestähle	Mittel	X		
Festhalter	Gering	X (hohe Kraftaufnahme nötig)	X	X
Wendezange	Gering	X	X	X
Kerbmesser	Gering	X	X	X
Biegedorn	Mittel	X	X	X
Prägestähle	Gering		X	X
Abdrückbuchse	Gering	X	X	X
Rollenhebel	Gering		X	X
Kurvenplatte	Hoch		X	
Richtwerk	Mittel	X	X	X
Matrize	Hoch	X		

Tabelle 4: Vergleich der Werkzeugkosten und Werkzeugkomplexität der Biegeverfahren grün = gering, orange = mittel, rot = hoch, X: Werkzeug wird bei dem entsprechenden Verfahren benötigt.....	26
Tabelle 5: Vergleich der Metergewichte potenzieller Substitutionsprodukte.....	30
Tabelle 6: Gefertigte Artikel und Mengen bis Dezember 2024.....	40
Tabelle 7: Gefertigte Abmessungen bis Dez. 2024.....	41
Tabelle 8: Fertigungsdaten der Anlagen im Vergleich   Gewicht der produzierten Kette, Gewicht des verbrauchten Materials   Ausschuss und Abbrand.....	51
Tabelle 9: Kilowatt pro Glied Auswertung - Durchschnitt über alle Messungen unabhängig der Kettenabmessung.....	53
Tabelle 10: Fotodokumentation zur Oberflächenqualität.....	56
Tabelle 11: Umwelteffekte bezogen auf das Produkt Rohrförderketten (Jahreskapazität Ketten 59.750 m/a).....	57
Tabelle 12: Gemessene Umwelteffekte Messprogramm bezogen auf eine Jahreskapazität von 300 Tonnen Ketten.....	58



# 1 Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Seit 1919 ist Röttgers Ketten ein anerkannter Hersteller von Güteketten. Aus der Abkürzung des Firmengründers August Röttgers entwickelte sich der Markenname aRö zu einem Inbegriff für Ketten höchster Qualität. Die ständige Weiterentwicklung ist unser Markenzeichen. Im Jahr 2017 wurde die Entwicklung einer der weltweit modernsten Kettenfertigungslinie in Partnerschaft mit dem Maschinenbauer Wafios umgesetzt.

Am Standort in Iserlohn in Nordrhein-Westfalen fertigt das Familienunternehmen auf vollautomatischen Anlagen der neuesten Generation unter anderem Förderketten, Schlachthausketten, Anschlagketten, Pumpenketten, Hebezeugketten, Ankerketten, Schlossketten sowie Ketten für Spielplätze. Jährlich verlassen insgesamt 2 Millionen Meter Ketten die Iserlohner Fertigung im Sauerland.

Ansprechpartner für das Vorhaben ist Herr Max Röttgers:

Tel.: + 49 (2374) 9794-12, E-Mail: [m.roettgers@roettgersketten.de](mailto:m.roettgers@roettgersketten.de)

Die Röttgers Ketten GmbH Co.KG beschäftigte (Jahr 2024) 124 Mitarbeiter (davon 12 Auszubildende) und hat in 2024 einen Umsatz von 16.918.786 € und eine Bilanzsumme von 12.510.325 € erwirtschaftet. Die Gesellschaftsverhältnisse der Röttgers Ketten GmbH Co.KG stellen sich wie folgt dar:

Persönlich haftender Gesellschafter:

August Röttgers Beteiligungs-GmbH, Iserlohn (AG Iserlohn HRB 2348)

Kommanditisten:

Mias, Christian            Anteil 24,00%

Röttgers, Max            Anteil 68,40%

Röttgers, Peter           Anteil 7,60%

Vor Durchführung des Vorhabens war das Unternehmen in der Untergrüner Str. 72-76 in Iserlohn ansässig, die Umsetzung des Vorhabens erfolgte am Standort Gewerbegebiet Zollhaus, 58640 Iserlohn: Zollhausstraße 30.



Abbildung 1: Standort Zollhausstraße 30, 58640 Iserlohn

## 1.2 Ausgangssituation

### 1.2.1 Plattenbiegen und Rollbiegen

In der Serienproduktion von Rundstahlketten kommen im Wesentlichen zwei Verfahren, Plattenbiegeverfahren und Rollbiegeverfahren, zum Einsatz. Sowohl bei konventionellen Rollbiege-, als auch Plattenbiegemaschinen werden dabei alle erforderlichen Bewegungen für die Umformung vom Draht zur Kette von einer Steuerwelle über Kurvenscheiben und Hebelübersetzungen erzeugt. Das Rollbiegeverfahren kam bisher bei Röttgers nicht zum Einsatz.

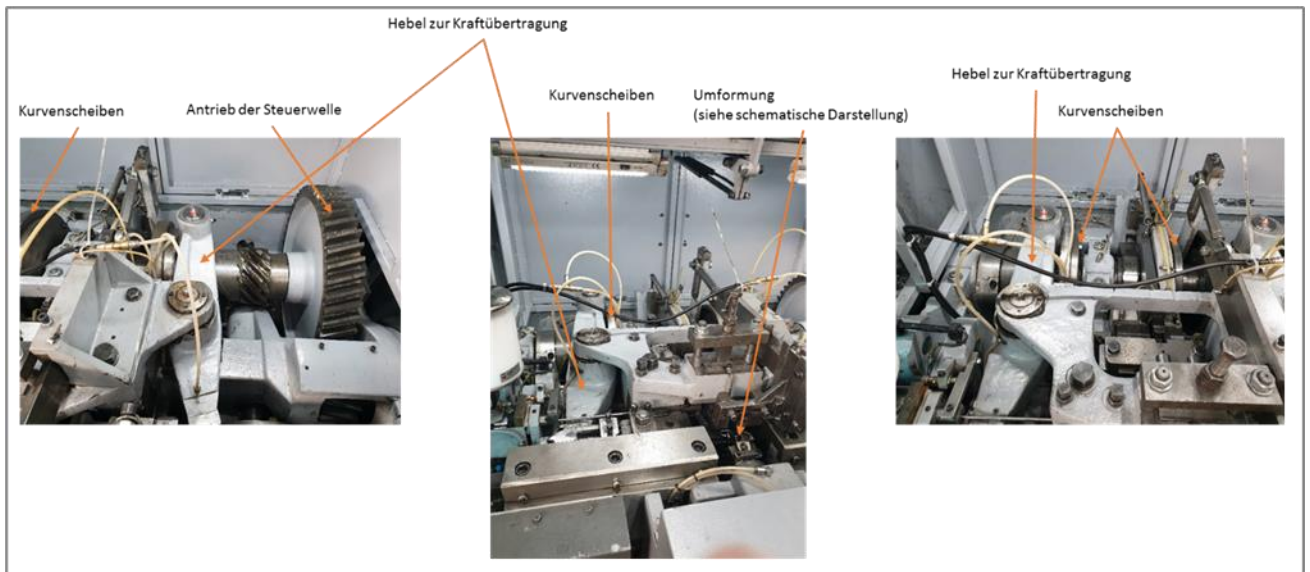


Abbildung 2: Fotos vom Plattenbiegeverfahren (Stand der Technik)

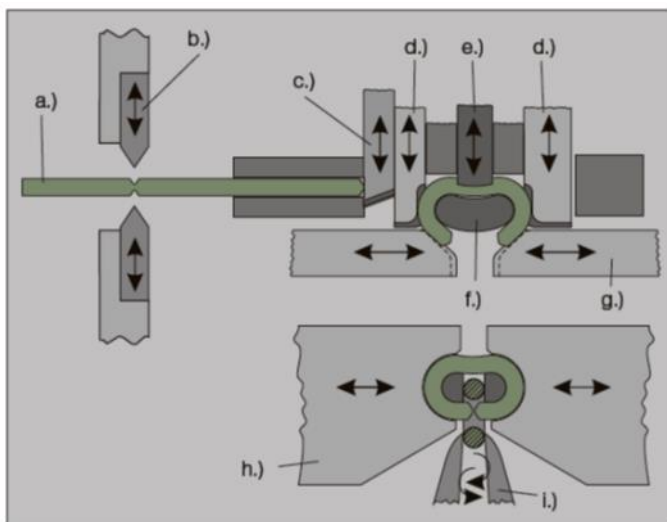


Abbildung 3: Plattenbiegeverfahren in schematischer Darstellung

#### Erläuterung zu Abbildung 3: Plattenbiegeverfahren in schematischer Darstellung

- |                      |                         |                           |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| a.) Draht            | d.) hintere Biegestähle | g.) seitliche Biegestähle |
| b.) Kerbmesser       | e.) Festhalter          | h.) Einrollstähle         |
| c.) Abschneidemesser | f.) Biegedorne          | i.) Wendezange            |
|                      | j.) Einrolldorne        |                           |

Auf der innovativen Anlagenkombination sollen 25 verschiedene Kettenabmessungen gefertigt werden. Für 25 verschiedene Abmessungen sind 25 Werkzeugsätze erforderlich, sowohl im konventionellen als auch im innovativen Verfahren. Da sich das Gewicht der Werkzeugsätze in der

innovativen Fertigung erwartet um durchschnittlich 75% im Vergleich zur konventionellen reduzieren wird, ist die Kapital- und Materialbindung im Vergleich zur konventionellen Fertigung bedeutend geringer. Nach dem Stand der Technik werden für das Plattenbiegen sehr aufwändige und materialintensive Werkzeugsätze benötigt. Ursächlich hierfür sind die massiven und schweren Biegestähle (6 Stück), die beim Plattenbiegeverfahren zum Einsatz kommen. Ein solcher Werkzeugsatz wiegt für einen Drahtdurchmesser von 10 mm ca. 90 kg und kostet ca. 46.700 €. Auf der innovativen Fertigungslinie entfallen solch schwere Werkzeugteile, sodass das Gewicht um durchschnittlich 75% (auf 22,5 kg) reduziert wird. Die Anschaffungskosten reduzieren sich auf ca. 26.000 €.

Der Rüst- und Einstellaufwand ist beim konventionellen Verfahren mit ca. 8 Stunden pro Rüstvorgang sehr hoch. Das ist zum einen auf das hohe Werkzeuggewicht, zum anderen aber auch auf viele händisch, mit großem Kraftaufwand zu justierende Verfahrenwege und Feineinstellungen zurückzuführen. Aus den vielfältigen manuellen Arbeitsschritten resultiert naturgemäß eine begrenzte Wiederholgenauigkeit, so dass eine hohe Varianz des Anfahrscrottes und der Fehleranteile gegeben ist.

### **1.2.2 Drahtfestigkeiten und Leistungsfähigkeit**

Der Stand der Technik erlaubt in den gängigen derzeit verfügbaren Verfahren Drahtfestigkeiten von bis zu 800 N/mm<sup>2</sup> zu verarbeiten. Man spricht bei Drahtfestigkeiten zwischen 400 und 700 N/mm<sup>2</sup> von hoch-festen Stählen. Drahtfestigkeiten zwischen 700 N/mm<sup>2</sup> und 1200 N/mm<sup>2</sup> bezeichnet man als höherfeste Stähle. Sowohl klassische Platten- und Rollbiegeverfahren sind in ihrer Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Drahtfestigkeit eingeschränkt. Liegt die Drahtfestigkeit höher als 800 N/mm<sup>2</sup> ist die Fertigung nur im energieintensiven Warmbiegeverfahren möglich.

In der Regel werden Ketten nach den drei Werten Tragfähigkeit [kg], Prüfkraft [kN] und Bruchkraft [kN] eingekauft. Soll eine Kette also durch eine Kette geringeren Durchmessers substituiert werden, muss dem Kunden die gleiche Produktleistung bescheinigt werden. Die oben erwähnten höheren Drahtfestigkeiten sollen es möglich machen, die Drahtdurchmesser so zu reduzieren, dass die Kette mit reduziertem Durchmesser die gleichen Kennwerte erreicht, wie eine Kette mit größerem Durchmesser.

### **1.2.3 Kettendimensionen von 10 – 18 mm Drahtdurchmesser und höherfeste Drähte**

Ketten der Dimensionen 10 – 18 mm Drahtdurchmesser mussten bisher auf langsamen Anlagen mit 4 bis 20 Gliedern pro Minute gefertigt werden. Diese arbeiten noch konventionell vollmechanisch bzw. hydraulisch. Sollen höherfeste Drähte (insbesondere Edelstähle und Duplexstähle) verarbeitet werden, werden diese warmgebogen, das heißt die für die Kettenglieder benötigten Drahtpinne werden konduktiv oder induktiv auf bis zu 850°C erwärmt und anschließend gebogen.

Um die bei hochwertigen Ketten geforderte Schweißqualität zu erreichen, wird in der Praxis heute bei kritischen Anwendungen oft bereits ab Drahtdurchmesser 16 mm das prozesssicherere, aber wesentlich langsamere, Abbrennstumpfschweißen eingesetzt.

Mit bisherigem Stand der Technik zu erreichende Stückleistungen für o.g. Ketten mit Durchmesser 16 mm:

- Mechanisch kalt gebogen, pressstumpfgeschweißt: max. ca. 16-18 Glieder/min
- Hydraulisch warm gebogen, abbrennstumpfgeschweißt: max. 5-6 Glieder/min

## 2 Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Das innovative Projekt fokussierte eine signifikante Ressourceneinsparung durch die Implementierung einer innovativen Anlagenkombination in der Kettenfertigung. Über die erstmalige, intelligente Verknüpfung einer Biegemaschine mit einer Schweißmaschine sollte bei der Firma Röttgers Ketten die Fertigung so angepasst werden, dass gegenüber dem konventionellen Prozess Material eingespart und der Anteil an Ausschuss reduziert wird. Es sollte die weltweit erste Kettenlinie umgesetzt werden, welche es ermöglicht, Kettendimensionen von 10 – 18 mm Drahtdurchmesser mit Drahtfestigkeiten von über 800 N/mm<sup>2</sup> herzustellen.

Ein wesentlicher Innovationskern besteht darin, das oberflächenschonende Rollbiegeverfahren mit programmierbaren Servomotoren zu steuern und diese mit einer auf Drahtdurchmesser, Drahtfestigkeit und Taktzeit abgestimmten Schweißmaschine in einer Linie zusammen zu fügen.

Insbesondere durch die höhere Leistungsfähigkeit in Bezug auf die Drahtfestigkeit, die durch die innovative Anlagenkombination im Produktionsverfahren erreicht werden soll, wird Röttgers dem Anwender in Zukunft innovative Produkte anbieten können. Besonders hervorzuheben ist, dass die innovative Anlagenkombination geeignet sein soll, Materialeffizienzeffekte nicht nur beim Anlagenbetreiber, sondern auch beim Kunden zu realisieren, da die Produktleistung bezogen auf den Durchmesser erhöht wird. Dieser profitiert von einer spezifischen Material- und Gewichtseinsparungen bei gleichbleibender Leistungsfähigkeit des Produktes und kann somit Ketten mit geringerem Querschnitt als Substitution einsetzen. Zusätzlich ergeben sich ein geringerer Platzbedarf sowie ein reduzierter Transportaufwand. Im Einsatz wird zudem durch das geringere produktspezifische Gewicht der Kette weniger Masse bewegt, was zu einer relevanten Energieeinsparung bei den Antrieben der Anlagen führen wird.

Die neue Technologie soll weiterhin die Werkzeuggewichte pro Kettenabmessung um 75% reduzieren.

Röttgers fertigt jährlich 2 Millionen Meter Ketten in den unterschiedlichsten Güteklassen und Größen (von 10–18 mm Drahtdurchmesser). Diese Ketten kommen unter anderem in sogenannten Rohrkettenförderern zum Einsatz (vergl. Abbildung 4). Solche Anlagen werden zum Transport von Schüttgütern oder auch zum Transport von klebrigen und schlammigen Produkten eingesetzt. Dabei werden der Kette häufig Mitnehmer aus Kunststoff aufgespritzt. Alternativen sind verschraubte Mitnehmer aus Kunststoff oder Metall. Ketten für diesen Einsatzzweck müssen hohen Ansprüchen an Verschleißfestigkeit, Zugfestigkeit, Maßhaltigkeit und Oberflächenqualität genügen. Wir fertigen von diesem Produkt für einen Kunden jährlich ca. 59.750 m/a und beziehen uns für die Darstellung der Umwelteffekte im Vorhaben auf dieses Produkt „Rohrförderketten“, da dieses Produkt, wie dargestellt, hohe Ansprüche an Produktqualität und Fertigung stellt.



Abbildung 4: Darstellung eines Rohrkettenförderers

In der herkömmlichen Produktion war dafür ein Stahleinsatz von 170 t/a und ein Energieeinsatz von 207.861 kWh/a erforderlich. Es wird erwartet, dass durch Umsetzung des Vorhabens alleine bei der Produktion der Jahresnachfrage für diesen Beispielskunden Einsparungen in Höhe von **64,4 t/a Stahl und ca. 160.000 kWh/a** realistisch erreicht werden können. Hochgerechnet auf den deutschen Markt für Rohrförderkettenanlagen mit einem Kettendurchmesser von 10-20 mm ergeben sich Einsparungen von **213 t/a Stahl und 398.000 kWh/a** (bezogen auf den Gesamtmarkt Rohrförderkettenanlagen mit Kettendurchmessern von 10 bis 20 mm in Deutschland).

Weiteres enormes Potenzial liegt in dem Markt der Ankerkette. Allein der deutsche Markt der Yachten und Sportboote bietet Einsparungspotenziale von **800 t/a Stahl und 530 GWh/a**. Zusätzlich besitzen die innovativ gefertigten Ketten aufgrund der Verarbeitung einen längeren Produktlebenszyklus im Vergleich zu konventionellen Ankerketten, was erneut relevante Material- und Energieeinsparungen zu Folge haben wird.

In Tabelle 1 sind die bei Antragstellung erwarteten Einsparpotenziale und Umweltentlastungen unter Berücksichtigung der Material- und Energiebedarfe in Fertigung und Nachbearbeitung dargestellt.

	Stand der Technik	Innovative Fertigung	Einsparung/a	CO <sub>2</sub> Einsparung/a
Stahl [t]	170,2	105,8	64,4	137,60 t <sup>1</sup>
Energie (Strom) [kWh]	207.861	50.159	157.702	84,69 t <sup>2</sup>

Tabelle 1: Umwelteffekte bezogen auf das Produkt Rohrförderketten (Jahreskapazität 59.750 m/a)

Die Berechnung der Einsparpotenziale wird in den Unterkapiteln 2.1.1-2.1.5 im Detail dargestellt. Die hohen Einsparungspotenziale werden durch die erwartete Produktsubstitution (höhere Produktleistung bezogen auf den Querschnitt) erreicht. Die folgende Betrachtung zeigt lediglich die Einsparungen bei Röttgers.

### 2.1.1 Einsparungen im Material durch Substitution

Nachfolgend stellen wir dar, wie sich die angestrebten Materialeinsparungen zu Projektbeginn bei uns im Hause berechnet haben. Wir berechnen dies anhand des Produktes Rohrförderketten, die wir für einen Kunden fertigen: Ein Kunde von Röttgers Ketten gibt an insgesamt 4.500 Rohrförderanlagen produziert zu haben. Pro Jahr werden 250 Neuanlagen gefertigt. Die durchschnittliche Kettenlänge pro Anlage beträgt 50 m.

Der Bedarf durch die Neuanlagen ergibt sich wie folgt:

$$\text{Neuanlagen} \times \text{Kettenlänge/Anlage} = \text{Jahresbedarf durch Neuanlagen}$$

$$250 * 50 \text{ m} = \mathbf{12.500 \text{ m}} \quad (1)$$

Das Verhältnis aus den Anlagen, die einen Kettentausch benötigen zu der Anzahl aller produzierten Anlagen, strebt gegen 25%. Bei 4.500 Anlagen fällt der Quotient nicht mehr unter 21%

$$\frac{\text{Anlagen mit Tauschbedarf}}{\text{Ausgelieferte Anlagen}} > 21\% \quad \Rightarrow \quad 4.500 * 21\% * 50 \text{ m} = \mathbf{47.250 \text{ m}} \quad (2)$$

Daraus ergibt sich ein Gesamtbedarf von mindestens **59.750 m / Jahr**.

Weiterhin macht die Firma folgende Angaben:

- Verteilung des Einsatzmaterials
  - Carbonstahl 40%
  - Edelstahl 60%
- Verteilung der Kettenabmessungen
  - 20x100 20%
  - 16x80 50%

<sup>1</sup> 1 kg Stahl-Coil emittiert 2,137 kg/CO<sub>2</sub>äq. Quelle: Gemis 5 für "Metall\Stahl-Coils-Warmwalz-EU-2005".

<sup>2</sup> Strom Inland tCO<sub>2</sub>/MWh, Kohlenstoffdioxidfaktor 0,537. Quelle: KfW, Anlage zum Merkblatt Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft, Modul 4, Seite 5 (Stand 15.02.2020).

- 13x65      30%

Im Folgenden wird die erwartete Materialeinsparung für die nachfolgenden Substitutionen ermittelt. Die Werte beziehen sich auf den Bedarf an Edelstahlketten:

Maße	Bedarf			⇒	Bedarf			Einsparung	
	kg/m	m	t		Maße	kg/m	m		t
20x100	7,2	7.170	51,6		16x100	4,4	7.170	31,3	<b>20,3</b>
16x80	4,7	17.925	84,2		13x80	3,2	17.925	57,3	<b>26,9</b>
13x65	3,2	10.755	34,4		10x65	1,6	10.755	17,2	<b>17,2</b>
			170,2					105,8	<b>64,4</b>

Tabelle 2: Materialeinsparungen in t/Jahr

Bezüglich Rohrförderanlagen der genannten Abmessungen gibt der Kunde an einen Marktanteil von 30% zu erreichen. Rechnet man diesen Anteil mit der Annahme hoch, dass andere Marktteilnehmer ähnliche Bedarfsverteilungen haben, kommt man auf ein **Gesamteinsparungspotenzial** im Markt der Rohrförderanlagen mit Kettendurchmessern von 10 bis 20 mm von:

$$\frac{64,4 \text{ t/Jahr}}{30\%} = 213,3 \text{ t/Jahr} \quad (3)$$

### 2.1.2 Einsparungen in der Produktion durch Substitution

Die erwarteten Substitutionsmöglichkeiten auf kleine Durchmesser führen in der Produktion zu erheblichen Einsparungen im Stromverbrauch. Zusätzlich reduzieren sich die Ausschussquoten beim Rollbiegeverfahren aufgrund der besseren Oberflächenqualität. Bezogen auf den Bedarf des oben aufgeführten Kunden ergibt sich ein Einsparungspotenzial von **99.272 kWh/ Jahr**. Dabei findet folgende Formel Anwendung:

$$kWh/Jahr = Bedarf [m] * \frac{Leistungsaufnahme [kW]}{Taktzahl \left[\frac{1}{h}\right] * Teilung [m] * (1 - Ausschuss)} \quad (4)$$

Die folgende Übersicht stellt den Vergleich der alten Maße und Fertigung zu den neuen Maßen auf der neuen Linie dar:

	Konventionell	Innovativ	Konventionell	Innovativ	Konventionell	Innovativ
	<b>20x100</b>	<b>16x100</b>	<b>16x80</b>	<b>⇒ 13x80</b>	<b>13x65</b>	<b>⇒ 10x65</b>
Bedarf [m]:	7.170	7.170	17.925	17.925	10.755	10.755
Glieder pro min:	4	20	20	25	25	35
Taktzahl [1/h]	240	1200	1200	1500	1500	2100
Teilung [m]	0,1	0,1	0,085	0,085	0,065	0,065
Ausschuss	5%	5%	15%	5%	15%	5%
Leistungsaufnahme der Linie [kW]	257,2	191,6	191,6	146,6	146,6	91,9
<b>Stromverbrauch [kWh / Jahr]</b>	<b>80.882</b>	<b>⇒ 12.050</b>	<b>42.088</b>	<b>⇒ 23.050</b>	<b>19.024</b>	<b>⇒ 7.622</b>
<b>Einsparungen [kWh / Jahr]</b>		<b>68.832</b>		<b>19.038</b>		<b>11.402</b>
<b>Einsparungen [kWh / m]</b>		<b>9,6</b>		<b>1,06</b>		<b>1,06</b>
<b>Gesamtersparnis [kWh / Jahr]</b>			<b>99.272</b>			

Tabelle 3: Stromeinsparungen

Bezogen auf den gesamten Markt der Rohrförderanlagen mit Kettendurchmessern von 10 bis 20 mm folgt daraus ein erwartetes Einsparungspotenzial von:

$$\frac{99.272 \text{ kWh/Jahr}}{30\%} = 330.906 \text{ kWh/Jahr} \quad (5)$$

### 2.1.3 Einsparungen durch die Reduktion der Nacharbeit

Zwei Effekte führen zu einer geplanten Energieeinsparung bei der Nacharbeit der Ketten. Zum einen ermöglicht die innovative Anlagentechnologie die Umstellung auf geringere Drahtdurchmesser. Sowohl die Strahlanlage als auch die Rollanlage haben ein maximales Füllgewicht. Die Substitutionsprodukte – also Ketten mit geringerem Durchmesser – sind leichter, sodass mit einer Füllung mehr Meter Kette bearbeitet werden können. Der Energieverbrauch pro Charge ist nicht signifikant gewichtsabhängig. Dadurch ergibt sich bei den leichteren Substitutionsprodukten ein geringerer spezifischer Energieverbrauch (kWh/m). Zum zweiten führt eine höhere Oberflächenqualität zu einem geringeren Aufwand in der Nacharbeit. Aktuell müssen die auf der Plattenbiegeline hergestellten Ketten **3h gestrahlt** und **15h gerollt** werden. Aufgrund der besseren Oberflächenqualität der Rollbiegeanlage sind zukünftig **0,5h Strahlen** und **3h Rollen** als ausreichend zu erwarten.

Die folgende Rechnung stellt den Energieverbrauch in der Nacharbeit von konventionell gefertigten Ketten und Ketten aus der innovativen Fertigung gegenüber. Der Rechnung liegen die folgenden Werte zugrunde:

- Leistung Strahlanlage: 18,7 kW
- Leistung Rollanlage: 4 kW
- Dauer Strahlbehandlung (konventionell) 3 h
- Dauer Strahlbehandlung (innovativ) 0,5 h
- Dauer Rollbehandlung (konventionell) 15 h
- Dauer Rollbehandlung (innovativ) 3 h
- max. Chargengewicht Strahlen/Rollen 0,3t

Aus Tabelle 1 kann entnommen werden, dass im konventionellen Verfahren 170,2 t Kette benötigt werden, um den Bedarf des Kunden zu decken. Im innovativen Verfahren erwarten wir aufgrund der Substitution nur 105,8 t Kettenbedarf.

Der Energieverbrauch der Nacharbeit wurde wie folgt berechnet:

$$\text{konventionell} \quad \frac{3 \text{ h} * 18,7 \text{ kW} + 15 \text{ h} * 4 \text{ kW}}{0,3 \text{ t}} = 387 \text{ kWh/t} \quad (6)$$

$$\text{innovativ} \quad \frac{0,5 \text{ h} * 18,7 \text{ kW} + 3 \text{ h} * 4 \text{ kW}}{0,3 \text{ t}} = 71,2 \text{ kWh/t} \quad (7)$$

Daraus ergeben sich die folgenden Stromeinsparungen:

	Kon- ventio nell	Innova- tiv	Kon- ventio nell	Inno- vativ	Kon- ventio nell	Inno- vativ
	<b>20x100</b>	⇒ <b>16x100</b>	<b>16x80</b>	⇒ <b>13x80</b>	<b>13x65</b>	⇒ <b>10x65</b>
Bedarf [m]:	7.170	7.170	17.925	17.925	10.755	10.755
Spezifisches Ge- wicht [kg/m]	7,2	4,4	4,7	3,2	3,2	1,6
Strahlbehandlung [h]	3	0,5	3	0,5	3	0,5
Rollbehandlung [h]	15	3	15	3	15	3
<b>Stromverbrauch [kWh / Jahr]</b>	<b>19.978</b>	⇒ <b>2.245</b>	<b>32.604</b>	⇒ <b>4.082</b>	<b>13.319</b>	⇒ <b>1.225</b>
<b>Einsparungen [kWh / Jahr]</b>	<b>17.733</b>		<b>28.522</b>		<b>12.094</b>	
<b>Gesamtersparnis [kWh / Jahr]</b>				<b>58.349</b>		

Das erwartete Gesamteinsparungspotenzial beträgt **58.349 kWh / Jahr** für den obigen Kunden. Und erneut hochgerechnet auf den gesamten Markt der Rohrförderanlagen mit Kettendurchmessern von 10 bis 20 mm bezogen:

$$\frac{58.349 \text{ kWh/Jahr}}{30\%} = 194.497 \text{ kWh/Jahr} \quad (8)$$

#### 2.1.4 Zusammenfassung des Einsparungspotenzials

	Beispielkunde	Gesamter Markt (Rohr- förderanlagen mit Kettendurchmessern von 10 bis 20 mm)
Materialeinsparungspoten- zial	<b>64,4 t / Jahr</b>	<b>213,3 t / Jahr</b>
Stromeinsparungspoten- zial	<b>157.702 kWh / Jahr</b>	<b>525.673 kWh / Jahr</b>

#### 2.1.5 Einsparungen durch geringere Werkzeuggewichte

Es wird erwartet, dass sich das Werkzeuggewicht im innovativen Fertigungsprozess um durchschnittlich 75% im Vergleich zur konventionellen Fertigung reduzieren lässt. Röttgers plant auf der innovativen Anlagenkombination 25 verschiedene Kettenabmessungen zu produzieren. Die Werkzeuggewichte konventioneller Fertigungslinien für Ketten zwischen 10 mm und 18 mm

Drahtdurchmesser liegen im Schnitt bei 90 kg. Daraus resultieren hochgerechnete Materialeinsparungen von:

$$25 * 90 \text{ kg} * 75\% = 1687,5 \text{ kg} \quad (9)$$

## 2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die Innovative Anlagenkombination aus Rollbiegemaschine und Widerstand-Pressstumpfschweißen soll weltweit als erste Kettenproduktionslinie dieser Art konfiguriert werden, welche Drahtdurchmesser von 10-18 mm mit Drahtfestigkeiten von bis zu 1300 N/mm<sup>2</sup> in der industriellen Produktion verarbeiten kann.

### 2.2.1 Rollbiegemaschine KER 7.2

In der KER 7.2 Rollbiegemaschine kommen modernste Servo- und Steuerungstechnik zum Einsatz. Durch diese Technologie ist es möglich, die sehr komplexe Steuerwellen-Mechanik zu ersetzen. Die Rüst- und Einstellzeiten reduzieren sich dadurch von 8h auf 2h, also um 75%. Die begrenzte Wiederholgenauigkeit durch die vielen händischen Einstellvorgänge bei dem Plattenbiegeverfahren haben hohe Anfahrschrotte und Stillstandzeiten während eines Umrüstvorganges zur Folge. Durch die programmierbaren Servomotoren folgen auf die deutlich kürzeren Rüstzeiten auch erheblich geringere Anfahrschrotte sowie weniger Stillstandzeiten der Maschine beim Nachjustieren. Die Anfahrschrotte sollen so im Durchschnitt auf die Hälfte reduziert werden. Am Beispiel einer 10x65 mm Kette erwarten wir, dass die Anfahrschrotte von 20 m bei konventioneller Fertigung auf 10 m auf der innovativen Anlagenkombination reduziert werden.

Die neue Maschinenlinie erhält eine moderne Mensch-Maschine-Schnittstelle über einen PC mit 24" Touchscreen. Nach Eingabe der Kettengliederabmessungen werden alle erforderlichen Verfahrenswege und Positionen der Aggregate berechnet. Die Bahn der Biegerollen wird durch jeweils 2 Antriebe links und rechts erzeugt. Die Ansteuerung der Motoren und alle erforderlichen Parameter für den Biegeprozess werden automatisch berechnet. Eine mechanische Einstellung ist für den Biegeprozess nicht nötig. Dadurch ergeben sich eine deutlich höhere Flexibilität und eine erhöhte Prozesssicherheit. Durch den Entfall des Kurven- und Biegeplattenwechsels und die automatischen Berechnungen erwarten wir eine Verkürzung der Rüst- und Einstellzeiten um 45% ±5% im Vergleich zum Stand der Technik.

### 2.2.2 Die Maschinen KER 7.2 und KEH 7.2 für Kaltbiegen und Pressstumpfschweißen

Gemeinsam werden die beiden Maschinen zu einer Maschinenlinie so ausgelegt, dass eine vollautomatische Fertigung für Rundstahlgliederketten der modernsten Technik entsteht. Sie ist dabei geplant ausgelegt für die folgenden Ketten:

#### **Kettendimensionen von 10 – 18 mm Drahtdurchmesser und höherfeste Drähte:**

- Rundgliederketten aus Stahldrähten bis Nenndurchmesser 18 mm (für Ketten nach DIN EN 818, mit zulässigem Drahtdurchmesser bis 18,9 mm) und Drahtzugfestigkeiten bis 800 N/mm<sup>2</sup>, mit Teilung (= innere Kettengliedlänge) bis 100 mm

- Ketten (d x t) 16 x 45 mm (t = 2,8xd) mit Drahtzugfestigkeiten bis 1.000 N/mm<sup>2</sup>  
*Anmerkung:* hierbei soll die Möglichkeit der Verarbeitung von höherfesten Edelstählen und sog. Duplexstählen im Kaltbiegeverfahren und Pressstumpfschweißen das Ziel sein.
- höherfesten Förderketten (d x t) 16 x 100 mm mit Drahtzugfestigkeiten bis 1.000 N/mm<sup>2</sup>
- höherfesten Förderketten (d x t) 10 x 65 mm mit Drahtzugfestigkeiten bis 1.300 N/mm<sup>2</sup>
- kleinste Kettenabmessung (d x t) 10 x 28 mm

#### **Angestrebte Stückleistung:**

- max. 50 Glieder/min (bei kleinster Kette)
- bei Kette 16 x 45 aus höherfesten Drähten Auslegung auf 20 – 25 Glieder/min

Wir erwarten und planen, dass es möglich sein wird, eine 13x65mm Kette durch eine 10x65mm Kette zu ersetzen. Dies führt zu einer hochgerechneten Materialeinsparung von 50% bei sonst gleichen Produkteigenschaften. Eine langgliedrige 20x100 mm wird nach dem Stand der Technik warmgebogen, sie kann zukünftig durch eine kaltgebogene 16x100 mm Kette ersetzt werden. Die führt zu einer Materialeinsparung von 40% bei einem gleichzeitig ressourcenschonenderen Verfahren.

#### **2.2.3 Drahtqualität**

Röttgers kann in den letzten Jahren eine stetige Verschlechterung der Drahtqualität beobachten. Es wird vermutet, dass durch die Verlagerung der Produktion des Stahls nach Asien ursächlich für die Verschlechterung der Vormaterialqualität sind. Infolgedessen weist der Draht vermehrt Inhomogenität bezüglich der Festigkeiten auf. Ebenso wird eine stellenweise verhältnismäßig weiche Oberfläche beobachtet.

Im konventionellen Fertigungsverfahren wirken sich die Inhomogenität sowie die weiche Oberfläche negativ auf das Produkt Kette aus. Eine fein eingestellte Plattenbiegemaschine kann nur händisch auf variierende Drahtfestigkeiten in einem Coil eingestellt werden. Dies ist, wie oben beschrieben sehr aufwändig und nicht wiederholgenau. Die weiche Oberfläche hat Oberflächenfehler in den äußeren Radien zur Folge. Dort wo die Biegewerkzeuge den Draht verformen, entstehen bei weichen Drahtoberflächen Deformationen, welche Nacharbeit oder ggf. Ausschuss zur Folge haben.

Die innovative Anlagenkombination kann durch die programmierbare Servosteuerung schnell über den Touchscreen auf Inhomogenitäten im Draht eingestellt werden. Ebenso erwarten wird, dass die Oberfläche der Kette durch das oberflächenschonende Rollbiegeverfahren nicht durch eine weiche Drahtoberfläche beeinflusst wird.

#### **2.2.4 Produktion**

Das servomotorgesteuerte Rollbiegen bringt gegenüber dem Stand der Technik und hinsichtlich Ressourcenschonung deutliche Vorteile in der Kettenfertigung. Die Röttgers Ketten GmbH möchte zukünftig diese Technik in Ihrer Kettenproduktion weiter ausbauen und mit der KER 7.2 in Verbindung mit der KEH 7.2 die weltweit erste servomotorgesteuerte Rollbiegemaschinenlinie für Drahtdurchmesser von 10-18 mm und Drahtfestigkeiten von bis zu 1300 N/mm<sup>2</sup> einsetzen.

Nach dem Stand der Technik muss bei höherfesten Drähten in diesem Durchmesserbereich warmgebogen werden. Ebenso wird häufig auf das langsame und energieaufwändige Abbrennstumpfschweißen zurückgegriffen. Die neue Maschinenlinie soll eine energieeffizientere und gleichzeitig schnellere Kettenfertigung ermöglichen. Die Substitution großer Kettendurchmesser durch geringere Kettendurchmesser bei gleicher Tragfähigkeit schlägt sich ebenso in dem Energieaufwand in der Fertigung nieder, wie wir erwarten.

Insbesondere ist an dieser Stelle die geringere Schweißenergie bei kleineren Durchmessern zu nennen.

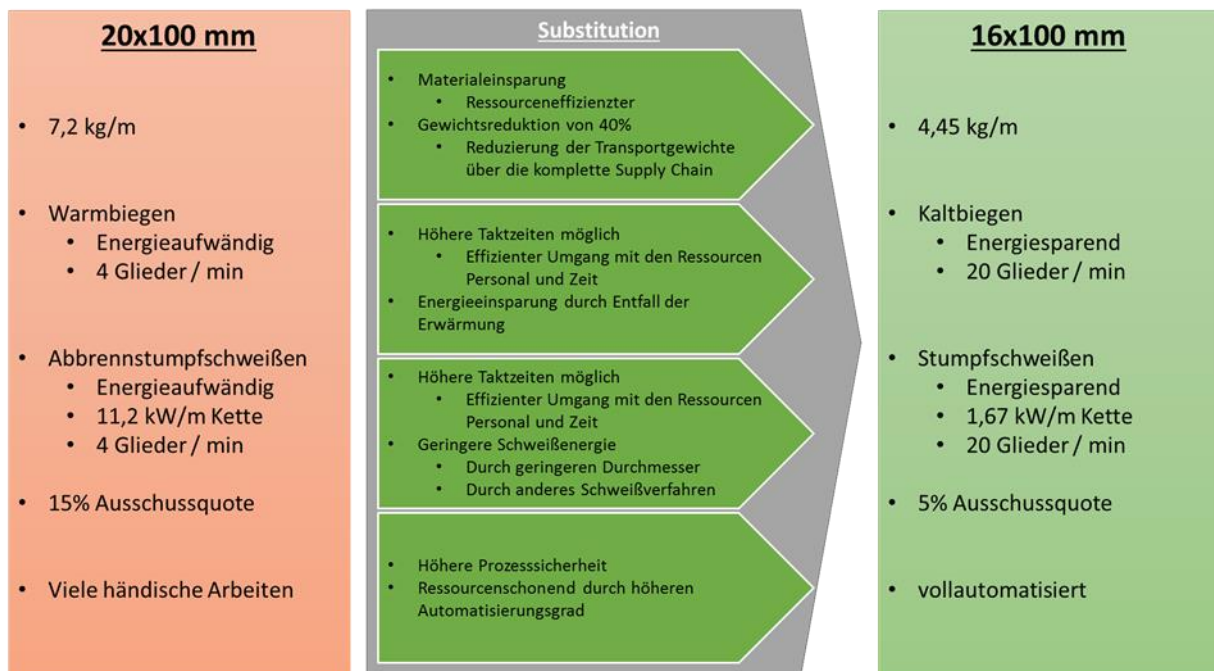


Abbildung 5: Substitutionspotenzial anhand der 20x100 zur 16x100 in Bezug auf die Produktion

Weiterhin ist die neue Technik bezüglich des Werkzeugaufwands deutlich ressourceneffizienter. Die komplexesten und schwersten Teile des Werkzeugsatzes der konventionellen Verfahren entfallen bei der servomotorgesteuerten Rollbiegetechnik. Die Vorteile durch den geringen Umfang der Werkzeugsätze sind der folgenden Tabelle zu entnehmen:

Werkzeug	Komplexität/ Materialeinsatz	Plattenbiegen Klassisch & Servo	Rollbiegen Klassisch	Rollbiegen Servo
Biegestähle	Mittel	X		
Vorbiegestähle	Mittel	X		
Fertigbiegestähle	Mittel	X		
Festhalter	Gering	X (hohe Kraftaufnahme nötig)	X	X
Wendezange	Gering	X	X	X
Kerbmesser	Gering	X	X	X
Biegedorn	Mittel	X	X	X
Prägestähle	Gering		X	X
Abdrückbuchse	Gering	X	X	X
Rollenhebel	Gering		X	X
Kurvenplatte	Hoch		X	
Richtwerk	Mittel	X	X	X
Matrize	Hoch	X		

Tabelle 4: Vergleich der Werkzeugkosten und Werkzeugkomplexität der Biegeverfahren  
grün = gering, orange = mittel, rot = hoch, X: Werkzeug wird bei dem entsprechenden Verfahren benötigt

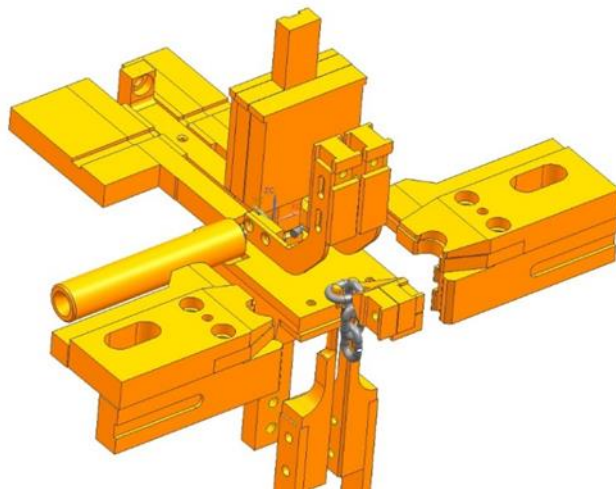


Abbildung 6: Darstellung eines Werkzeugsatzes einer Plattenbiegemaschine (ca. 90 kg)



Abbildung 7: Darstellung eines Werkzeugsatzes der servomotorgesteuerten Rollbiegemaschine (ca. 22,5 kg)

Die Vorteile der servomotorgesteuerten Rollbiegelinie verglichen mit konventionellen Maschinen werden in den folgenden Abbildungen 8-9 verdeutlicht und visualisiert:

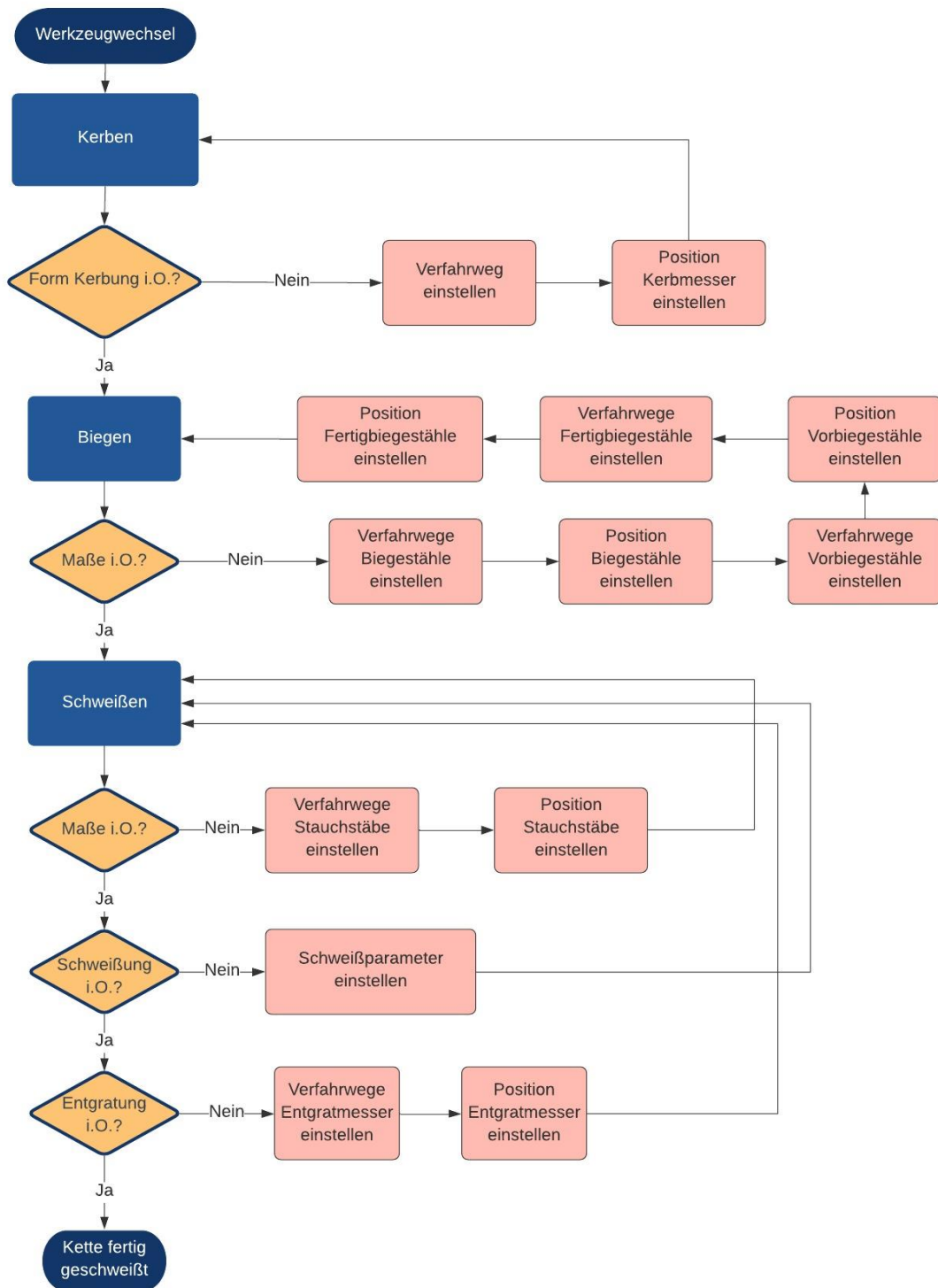


Abbildung 8: Einstellvorgang konventionelles Plattenbiegen

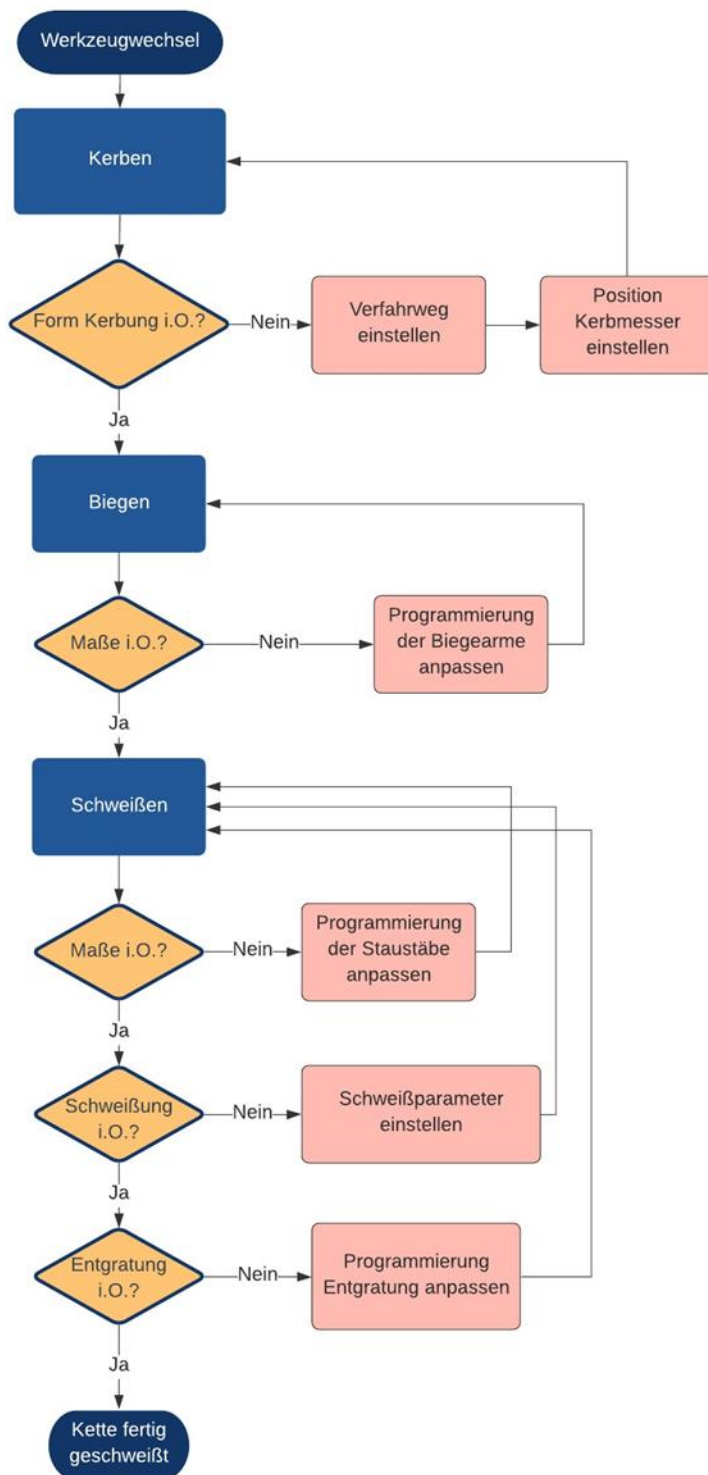


Abbildung 9: Einstellvorgang Servomotorgesteuertes Rollbiegen

Neben den ressourcenschonenden Vorteilen aus der Tabelle, erwarten wir noch weitere nennenswerte Vorteile der neuen Technologie. Zum einen ist die erheblich bessere Oberfläche der Kette bei Verwendung des Rollbiegeverfahrens ein Vorteil mit direktem Kundennutzen. Verletzte Oberflächen sind nicht nur für die Optik störend, sondern stellen Schwachstellen bei der weiteren

Verarbeitung und bei der Verwendung der Kette dar. Eine raue und verletzte Oberfläche bietet Angriffspunkte für Korrosion und beispielsweise für unzureichende Beschichtungen.

Wir erwarten folgende Effekte durch die geplanten Substitutionen in den Abmessungen.

10x65 mm	1,6 kg/m	16x100 mm	4,45 kg/m
13x65 mm	3,2 kg/m	20x100 mm	7,3 kg /m

Tabelle 5: Vergleich der Metergewichte potenzieller Substitutionsprodukte

Beispielhaft für eine solche erwartete Substitution ist der Einsatz einer Kette in einer Rohrförderanlage. Neben dem Materialersparnis ergeben sich auch weitere Ersparnisse durch geringere Transportgewichte und somit auch weniger Emissionen. Leichtere Ketten schlagen sich auch im Einsatz der Kette mit geringerem Energieverbrauch nieder. Eine Rohrförderanlage beispielsweise muss 50% weniger Eigengewicht der Kette fördern. Auch in weiteren Bereichen eröffnet die Verarbeitung höherfester Drähte Substitutionsmöglichkeiten von großen Kettendurchmessern auf kleinere und folglich Material- und Energieersparnisse im Transport und in der Anwendung. Die neue KER 7.2 soll durch das oberflächenschonende Verfahren hoch korrosionsbeständige und gleichzeitig höherfeste Ketten herstellen. Eine höherfeste, korrosionsbeständige und somit langlebige 16x45 mm Duplex Ankerkette hat Potenzial sich im Markt durchzusetzen und weist Einsparungspotenzial hinsichtlich Material-, Gewichts-, Standzeit und Platzbedarf auf.

Die Vorteile, die sich aus dem neuen Fertigungsprozess ergeben, wenden nachfolgend noch einmal in Abbildung 10 zusammengefasst und visualisiert.

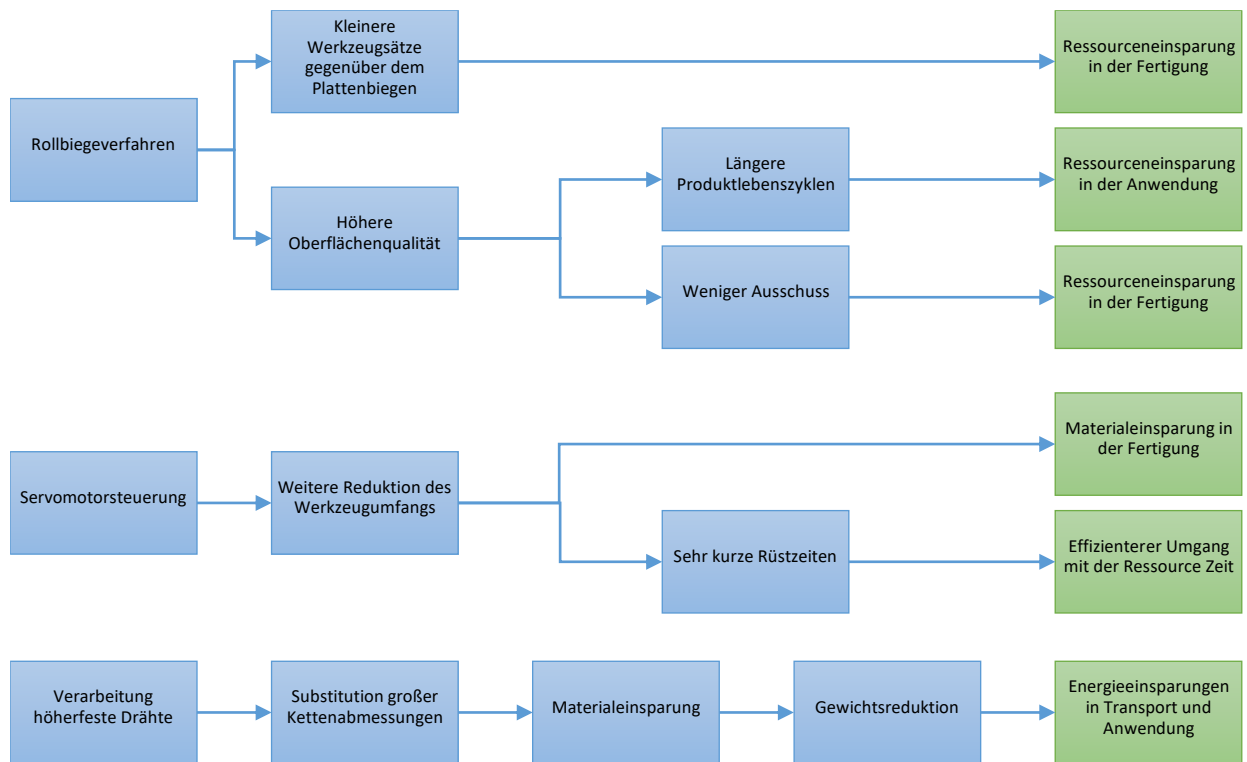


Abbildung 10: Die Vorteile der neuen KER 7.2 im Überblick

### 2.3 Umsetzung des Vorhabens

Die Umsetzung des Vorhabens erfolgte zeitlich mit folgenden Meilensteinen, die nachfolgend beschrieben werden.

Vorzeitiger Maßnahmenbeginn: 14.01.2021

Bestellung: 19.04.2021

1. Vorabnahme: 15.09.2022

2. Vorabnahme: 17.10.2022

Anlieferung: 03.11.2022

Inbetriebnahme: 07.11.2022-18.11.2022

Erfolgskontrolle: 30.11.2023 – 31.12.2024

Nachfolgende Abbildung 11 visualisiert den Projektplan.

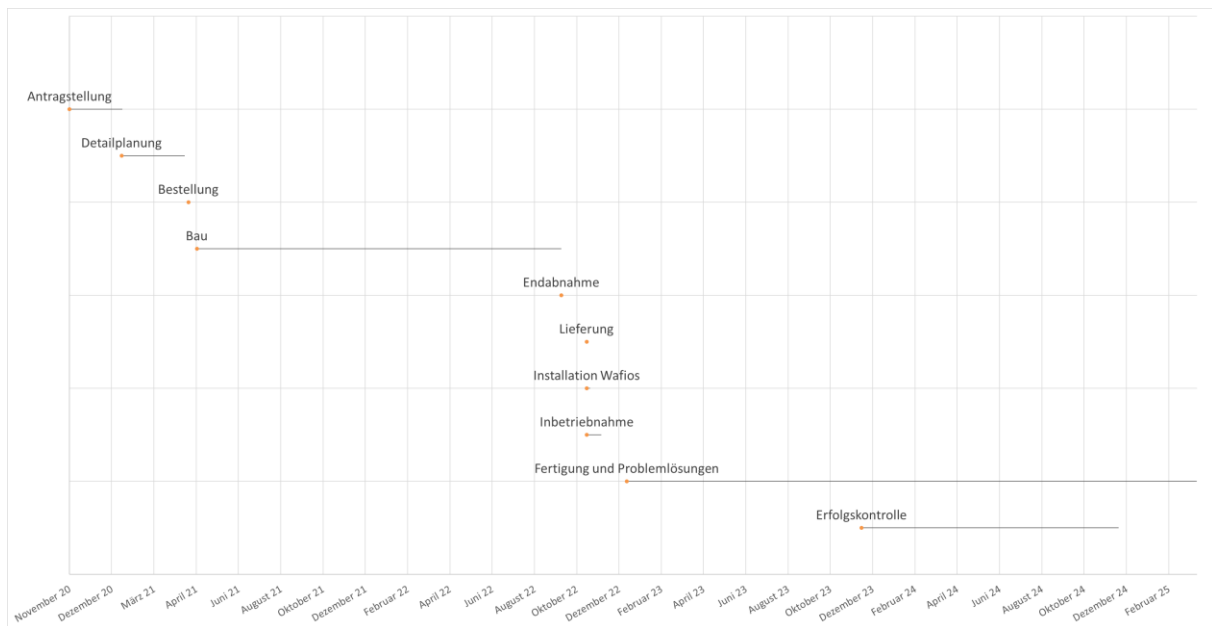


Abbildung 11: Projektplan

Die Genehmigung des förderunschädlichen vorzeitigen Maßnahmenbeginns wurde am 14.01.2021 erteilt und die Detailplanung zum Vorhaben intensiviert. Am 19.04.2021 wurde die Bestellung beim Anlagenbauer Wafios ausgelöst.

Mit Schreiben vom 21.05.2021 haben wir den Zuwendungsbescheid zur Förderung unseres Vorhabens „Innovative Anlagenkombination in der Kettenfertigung“ erhalten. Der Bau der innovativen Anlagenkonfiguration erfolgt beim Anlagenbauer Wafios in Wuppertal. Bei Bestellauslösung war eine Lieferung der Anlagentechnik für Februar 2022 und die Inbetriebnahme für März 2022 geplant. Aufgrund der damaligen Coronasituation und sich daraus ergebenden Lieferschwierigkeiten verzögerte sich die Auslieferung der Anlagentechnik.

Ursprünglich sollte die Errichtung der Anlagentechnik (Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 und Pressstumpf-Kettenschweißmaschine KEH 7.2) im April 2022 abgeschlossen und die Auslieferung im Mai 2022 an uns erfolgt sein. Aufgrund der damaligen schwierigen Liefersituation hatten sich auch bei Wafios Verzögerungen in der Errichtung der Anlagentechnik ergeben. Ein Servomotor der im Juli (26. KW) ersetzt werden musste, wurde erst in der KW 32 geliefert.

Ursprünglich sollte der zweite Werkzeugsatz von der Fa. Wafios gefertigt werden. Diese Planung wurde jedoch verworfen da, da Wafios keine freien Kapazitäten mehr zur Verfügung hatte. Somit haben wir die Werkzeugsätze in Eigenleistung erstellt, was letztlich ein Vorteil war, da wir so sicherstellen konnten, dass die Werkzeugsätze und die Maschine sauber auf unser Produktportfolio eingestellt werden konnten. Gleichzeitig konnten wir Know-How in den eigenen Reihen aufbauen.

Die Auslieferung der Anlagentechnik sollte im September 2022 erfolgen, bei einer Vorabnahme der Anlage am 15.09.2022 beim Anlagenbauer Wafios gab es jedoch Probleme mit verdrehten Gliedern in der Schweißmaschine KEH 7.2. Die Kettenauslaufkontrolle musste optimiert werden, um ein Verdrehen der Kettenglieder zu verhindern. Dazu wurde eine Halterung für den Ultraschallsensor neu justiert und ein Softwareupdate aufgespielt, um bei Störungen des Präsenzscharter am Kettenauslauf, die letzte Position der Zange speichern zu können.

Die Vorabnahme erfolgte dann ohne Beanstandungen erneut am 17.10.2022. Anschließend erfolgte die Auslieferung der Anlagentechnik. Am 03.11.2022 wurde die Anlagentechnik an den Standort (Gewerbegebiet Zollhaus, 58640 Iserlohn: Zollhausstraße 30) angeliefert.

Die Inbetriebnahme und das Einfahren der Anlagentechnik erfolgten vom 07.11.2022 bis zum 18.11.2022. Hierbei gab es keine nennenswerten Probleme. Während des Probetriebes wurden die ein oder anderen kleineren Mängel, aufgedeckt, die aber schnell durch einen Servicetechniker behoben werden konnten. Die Anlagenkombination wurde mit Abmessungen von 13 mm und 10 mm Ketten eingefahren. Bis zum Ende des Jahres 2022 wurden auch Werkzeuge für 16 mm Ketten hergestellt: In den Abmessungen 16x45 und 16x48.

Beim Einfahren wurde viel Wert daraufgelegt, mit Edelstählen zu beginnen, um die Anlage schnell so einzufahren, dass hochfeste Güten verarbeitet werden können. Die erhofften Materialeinsparungen können hauptsächlich durch die Verarbeitung hochfester Edelstähle erreicht werden. Carbon-Stähle sind generell leichter zu verarbeiten, da diese erst durch eine Wärmebehandlung ihre endgültigen mechanischen Eigenschaften erreichen. Bei Edelstählen ist dies anders. Ketten aus Edelstählen erreichen höhere Festigkeiten, wenn Draht mit hohen Festigkeiten verarbeitet wird. Eine Wärmebehandlung, die die Festigkeiten im Anschluss an den Herstellungsprozess verbessern, ist bei Ketten aus Edelstahl in der Regel nicht möglich. Aus diesem Grund wurde beim Einfahren der Anlage viel Wert auf die Verarbeitung von Edelstahl gelegt.

Dies ist auch der Grund, warum die Anfahrkosten höher als geplant ausgefallen sind. Die hohen Preissteigerungen im Draht und in den Legierungszuschlägen haben zusätzlichen Einfluss auf die gestiegenen Anfahrkosten.

Nachfolgende Abbildungen stellen den wachsenden Fertigungsstand der Anlagentechnik bis zur durchgeführten Erfolgskontrolle dar.

Zunächst Abbildungen der Roll-Kettenbiegemaschine KER 7.2:



Abbildung 12: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 - Richtwerk (Foto aus Februar 2022)

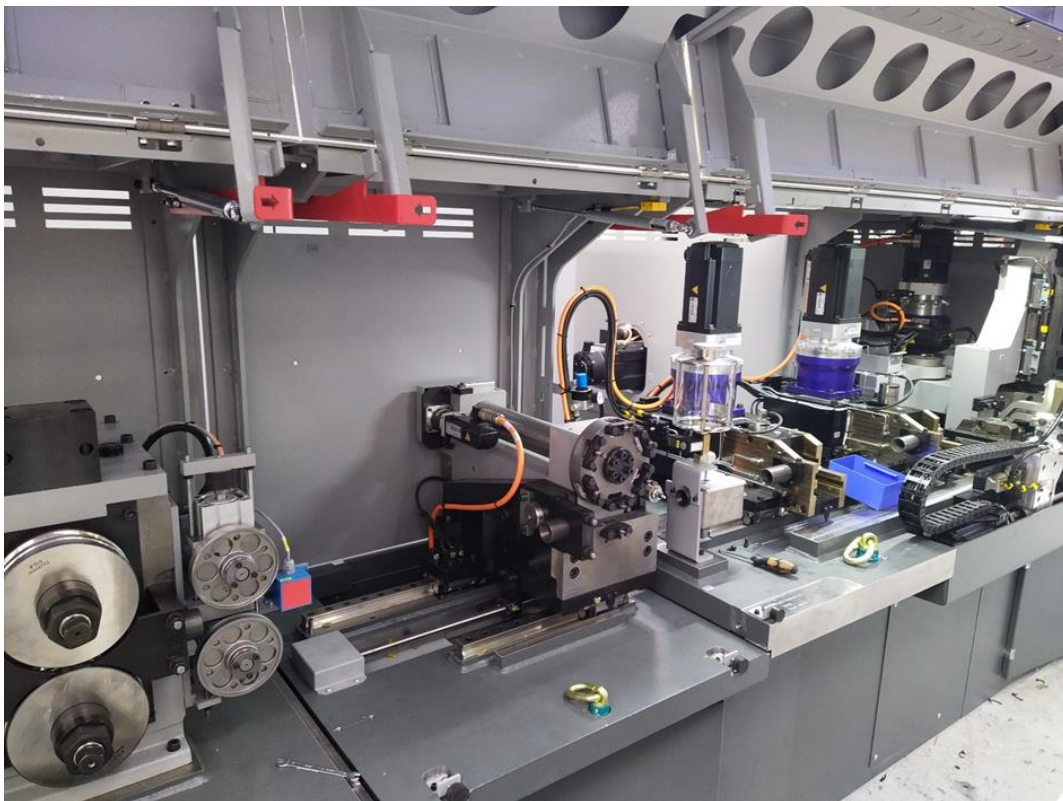


Abbildung 13: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 Ablängeinheit (Foto aus Februar 2022)

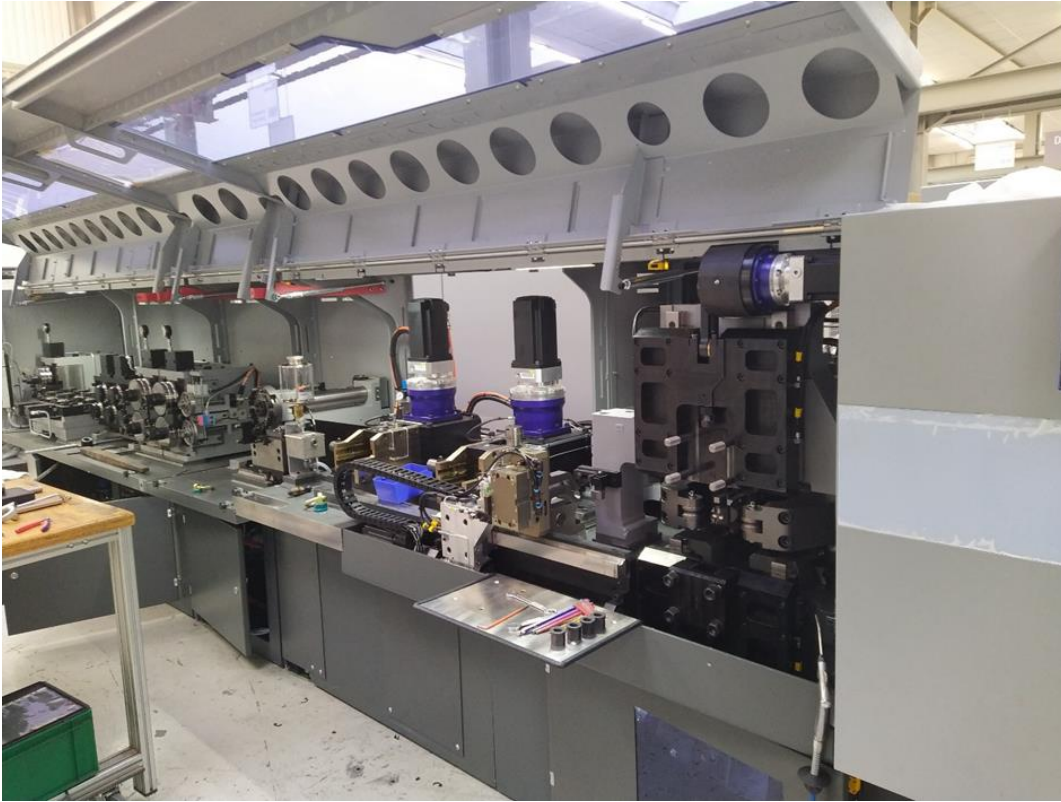


Abbildung 14: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 – Rollbiegeeinheit (Foto aus Februar 2022)



Abbildung 15: Kettenbiegemaschine KER 7.2 Foto vom 17.03.2023 links – Richtwerk; rechts - Rollbiegeeinheit



Abbildung 16: Kettenrollbiegemaschine KER 7.2 – Rückseite (Foto aus Februar 2022)

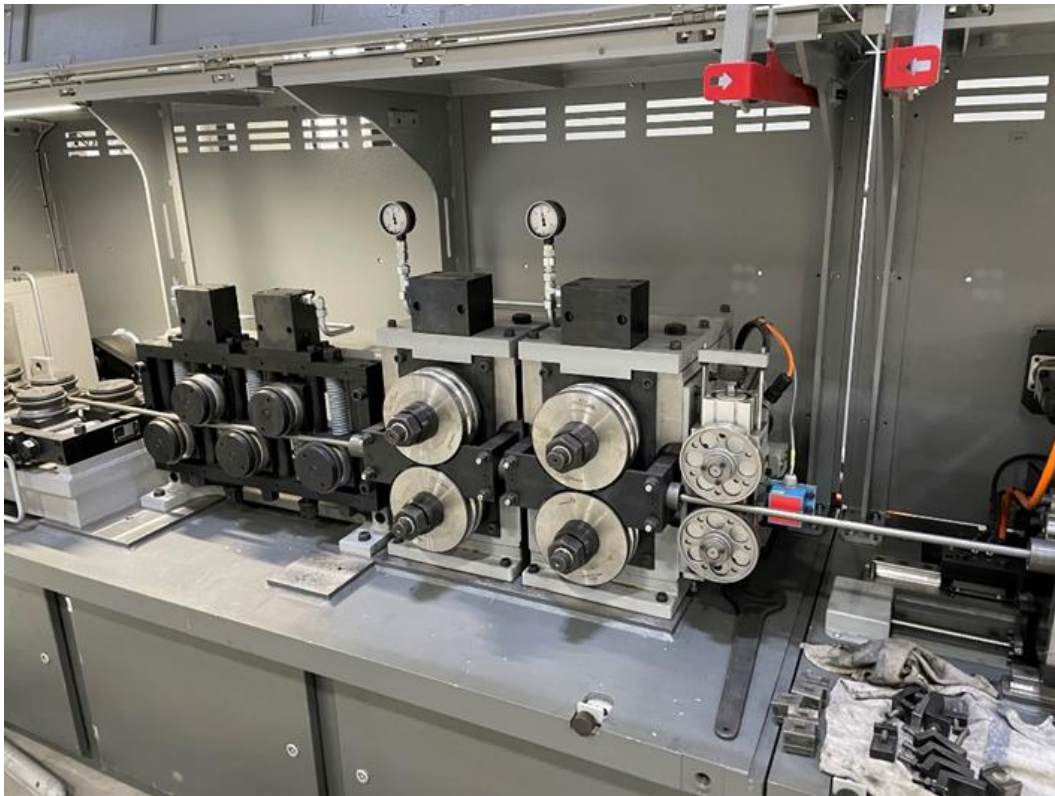


Abbildung 17: Kettenbiegemaschine KER 7.2 Foto vom 17.03.2023: Richtwerk

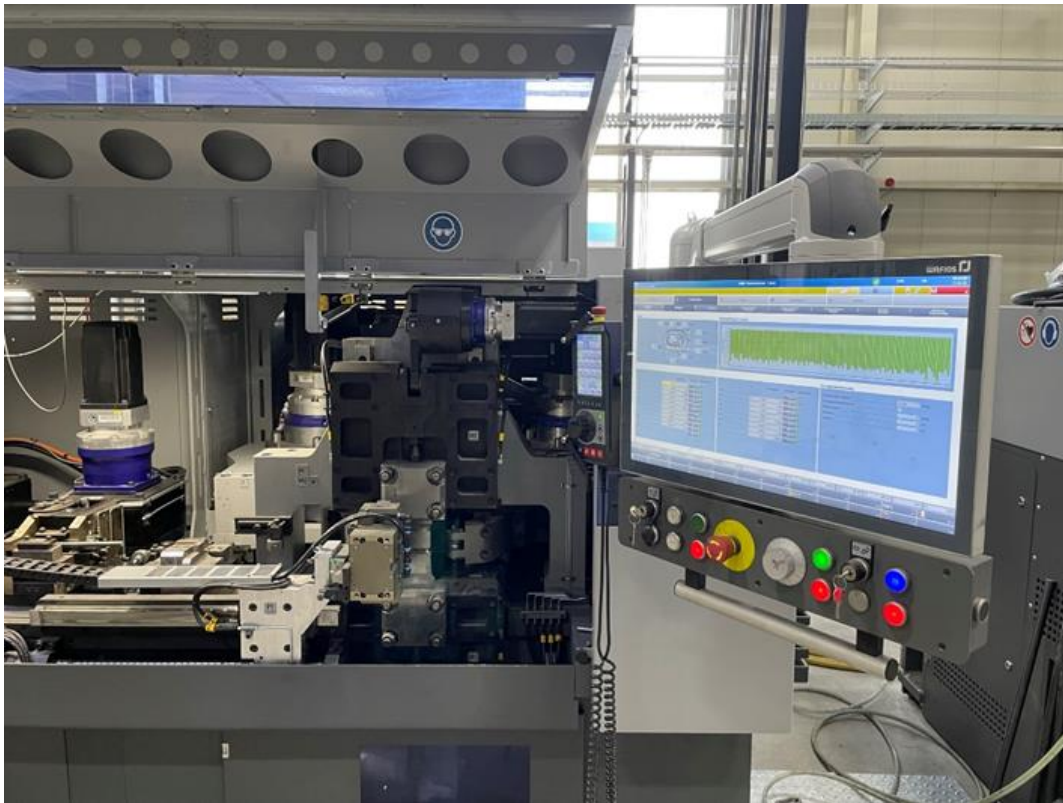


Abbildung 18: Mensch-Maschinen-Interface, Foto vom 17.03.2023

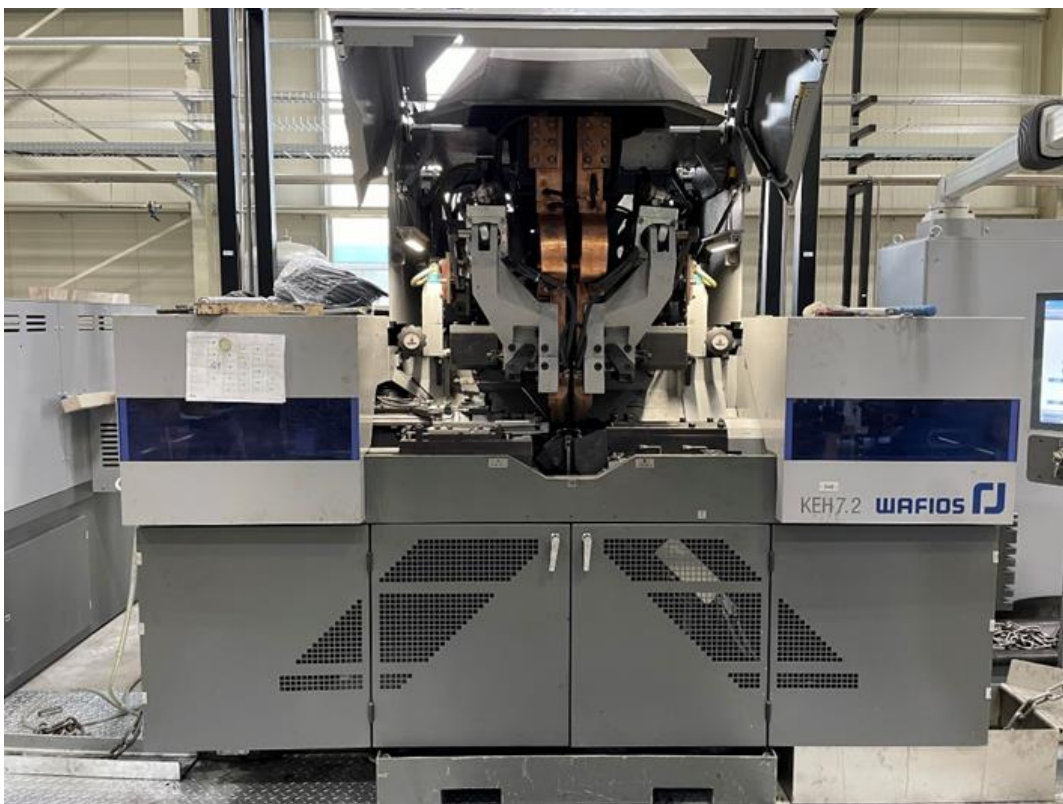


Abbildung 19: Kettenschweißmaschine KEH 7.2 Foto vom 17.03.2023



Abbildung 20: Kettenschweißmaschine KEH 7.2 Foto vom 17.03.2023



Abbildung 21: Kettentransport am Ende der Anlage Foto vom 17.03.2023

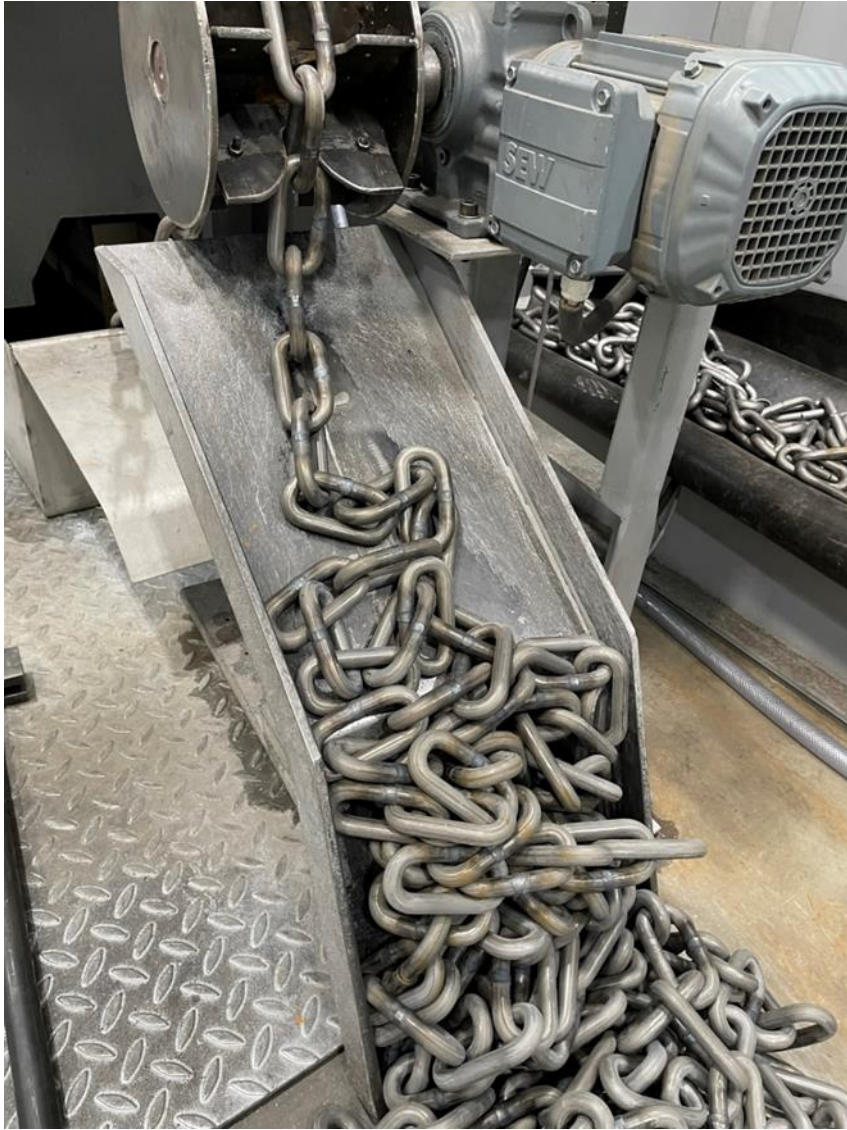


Abbildung 22: Gefertigte Kette 13x65 mm am Ausgang der Anlage, Foto vom 17.03.2023

Nachfolgend eine Übersicht der gefertigten Abmessungen:

Artikel Nummer	Artikel Bezeichnung	Abmessung	Werkstoff	Meter
1076221600000001.ROH	Kette DIN 762-2-16x80, 19MnB4 - ROH	16x80	Mn-Stahl	4588
1076321000000000	Kette DIN 763-10x65mm,	10x65	Mn-Stahl	348
1076321000000001	Kette 10x65, USA Werkstoff 19MnB4	10x66	Mn-Stahl	2340
1076321000000N10	Kette ähnl. DIN 763-10x65, NIRO 1.4310,	10x65	1.4310	5925
1076471600000000.ROH	Kette DIN 764-7-16x56 mm, Mn-Stahl	16x56	Mn-Stahl	499
1076621000000H01	Kette DIN 766-2-10x28, hitzebeständig,	10x28	1.4828	343
1076621000000H02	Kette DIN 766-2-10x28, hitzebeständig,	10x29	1.4841	5542
1076621000000N04	Kette DIN 766-2-10x28,	10x28	1.4404	3608
1076621300000000	Kette DIN 766-3-13x36	13x36	Mn-Stahl	1528
1076621300000H02	Kette maßl. DIN 766, 13x36mm,	13x36	1.4841	212
1076621300000N04	Kette DIN 766-2-13x36,	13x36	1.4404	994
1076651400000N24	Ankerkette maßl. DIN 766 14x41, ROXMA	14x41	1.4404	378
1076661000000N26	Ankerkette DIN 766-6-10x28,	10x28	1.4462	1215
1076661300000N26	Ankerkette DIN 766-6-13x36,	13x36	1.4462	476
1076661400000N26	Ankerkette maßl. DIN 766 14x41mm, ROXMA	14x41	1.4462	328
1456541000000000	Ankerkette 10x30 maßl. DIN ISO 4565,	10x30	Mn-Stahl	2059
1456551000000N24	Ankerkette DIN ISO 4565-10x30,	10x30	1.4404	998
1456561000000N26	Ankerkette DIN ISO 4565-10x30,	10x30	1.4462	1889
1818251000000N04	Kette maßl. EN 818-2-10x30	10x30	1.4404	1747
1818251600000N04	Kette maßl. EN 818-2-5-16x48, GK5	16x48	1.4404	217
1818261000000N04	Kette maßl. EN 818-2-6-10x30, GK6	10x30	1.4404	3074
1818261300000N04	Kette maßl. EN 818-2-6-13x39,	13x39	1.4404	2680
1818261600000N04	Kette maßl. EN 818-2-6-16x48, GK6	16x48	1.4404	1113
1818281600000001	Kette 16x48 mm, maßl. DIN EN 818-2	16x48	Mn-Stahl	1000
21028000.ROH	Kette 10x28, Ladewagen, 19/20MnB4,	10x28	Mn-Stahl	918
21030N14	Kette 10x30, ähnl. DIN 5684-5	10x30	1.4404	497
21131N04	Kette 11x31 mm, NIRO 1.4404, BK min. 100	11x31	1.4404	340
21134N04	Kette 11x34 mm, NIRO 1.4404,	11x34	1.4404	1029
21336003	Kette 13x36, 19MnB4	13x36	Mn-Stahl	1576
21336003.ROH	Kette 13x36, 19MnB4	13x36	Mn-Stahl	41004
21336003.VG	Kette für Verbindungsglieder 13x36 mm	13x36	Mn-Stahl	275
21339000	Kette 13x39, Werkstoff 19MnB4,	13x39	Mn-Stahl	4296
21339000.ROH	Kette 13x39, Werkstoff 19MnB4,	13x39	Mn-Stahl	33559
21339KSBN04	Kette maßl. EN 818-2-13x39, NIRO	13x39	1.4404	1219
21365000	Kette 13x65, 19MnB4, Mn-Stahl	13x65	Mn-Stahl	17643
21365000.ROH	Kette 13x65, 19MnB4, Mn-Stahl	13x65	Mn-Stahl	10928
21365003	Kette 13x65, 1.6758	13x65	1.6758	3512
21680001	Kette 16x80, 20/23MnB4	16x80	Mn-Stahl	2362
21680001.SCHRAGE	Kette 16x80, 20/23MnB4	16x80	Mn-Stahl	2822
21680002.LUXME	Kette 16x80, 1.6758	16x80	1.6758	774
21680003	Kette 16x80, 1.6758	16x80	1.6758	725
21680N01.SCHRAGE	Kette 16x80, NIRO 1.4301	16x80	1.4301	5139
21680N04	Kette 16x80, NIRO 1.4404	16x80	1.4404	1719
21680N05	Kette 16x80, Lean-Duplex	16x80	1.4362	2312
21680N05	Kette 16x80, Lean-Duplex	16x80	1.4362	688

Tabelle 6: Gefertigte Artikel und Mengen bis Dezember 2024

Bis Dezember 2024 wurden demnach die folgenden 14 unterschiedlichen Abmessungen gefertigt:

16x80
10x65
10x28
13x36
14x41
10x30
16x48
13x39
13x65
10x66
16x56
10x29
11x31
11x34

Tabelle 7: Gefertigte Abmessungen bis Dez. 2024

Die Abmessungen wurden in unterschiedlichen Werkstoffen und kleinen Detailunterschieden gefertigt, sodass sich aus diesen 14 Abmessungen 45 unterschiedliche Artikel ergeben. In Tabelle 6 sind die gefertigten Mengen und die Artikelbezeichnungen aufgeführt.

In der Zeit vom 30.11.2023 bis 30.04.2024 wurde die Erfolgskontrolle durchgeführt, die aber bis zum 31.12.2024 verlängert werden musste, da es Schwierigkeiten in der Aufnahme der Messparameter als auch in der Prozesssicherheit der gefertigten Produkte gab. Es hat sich in der Erfolgskontrolle herausgestellt, dass hochfeste Stähle bis 1000 N/mm<sup>2</sup> verarbeitet werden können.

In der Verarbeitung von Stählen mit Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> entstehen in Abhängigkeit von Stahlqualität und Zusammensetzung weiterhin Fertigungsschwierigkeiten, die eine prozesssicheren Serienfertigung noch verhindern.

Bis einschließlich Dezember 2024 wurden 176.438 Meter auf der innovativen Anlage gefertigt. Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Entwicklung der effektiven Laufquote der Anlage im Jahr 2024. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Anlage nach den geschilderten Schwierigkeiten aus 2023 im Jahr 2024 stetig wachsende Laufquoten erzielen konnte.

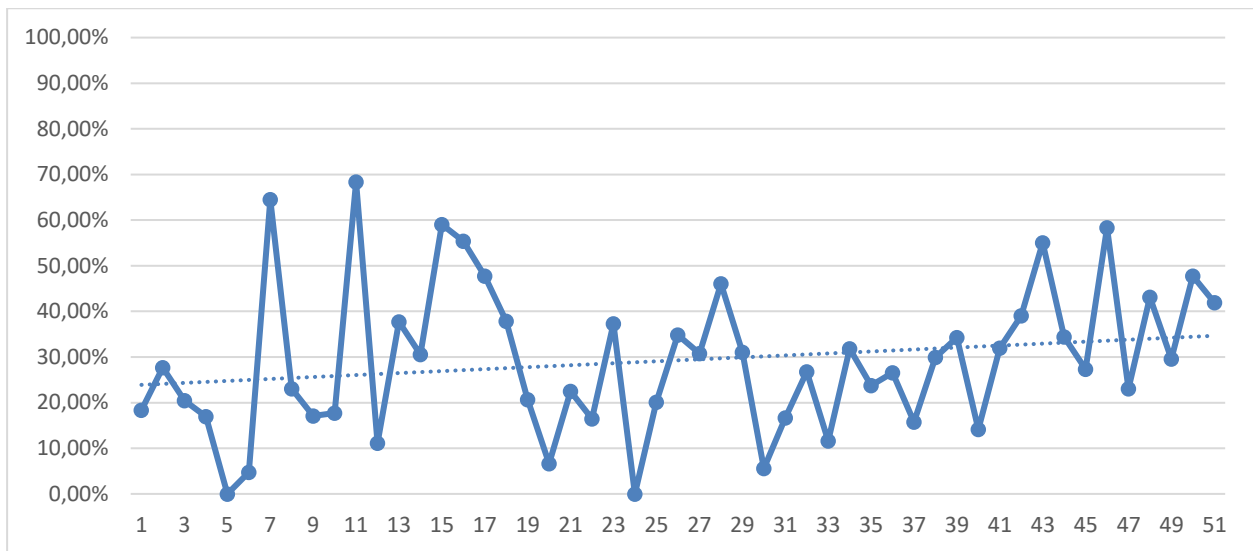


Abbildung 23: Effektive Laufquote der Anlage in % im Zeitraum KW 01 (2024) bis KW51 (2024), Verarbeitungsmenge 176.438 m

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlagen waren keine behördlichen Genehmigungen erforderlich, es bestanden auch keinerlei Auflagen. Die für den Betrieb der Anlage erforderliche Konformitätserklärung des Herstellers liegt vor.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die für die Erfolgskontrolle relevanten Messparameter wurden im Vorfeld mit dem Umweltbundesamt abgestimmt. Die Erfassung der Parameter erfolgte zunächst über einen Zeitraum von 6 Monaten, wurde dann aber um weitere 6 Monate verlängert.

## 2.6 Konzeption und Durchführung der Erfolgskontrolle

Die sechsmonatige Erfolgskontrolle wurde zunächst in der Zeit vom 30.11.2023 bis 30.04.2024 durchgeführt und dann bis zum 31.12.2024 verlängert, da es Schwierigkeiten in der Aufnahme der Messparameter als auch in der Prozesssicherheit der gefertigten Produkte gab.

Die Abstimmung der Erfolgskontrolle erfolgte im Vorfeld mit Dr. Kahrl (UBA) und umfasste die folgenden Erfolgsparameter:

- Materialeinsatz Fertigung: Festigkeit, Tragfähigkeit, Materialeinsatz
- Materialeinsatz Werkzeug: Menge eingesetzter Werkzeugstahl bezogen auf Referenz- vs. Innovativer Anlage
- Ausschussreduzierung: Differenz der Gewichte aus Anfahrscrott, Ausschuss während der Produktion, Materialverlust beim Schweißprozess (Abbrand, Entgratung Schweißung)
- Energieeinsatz Kettenproduktion

### 3 Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

Bei Antragstellung war ein wesentlicher Bestandteil die erwarteten Einsparungspotenziale bezogen auf Material- und Energieeinsparungen durch die Substitution einer Kettenabmessung durch eine Kettenabmessung geringeren Durchmessers, bei gleicher Leistungsfähigkeit. Zwingende Voraussetzung für eine solche Durchmesserreduktion ist die Verarbeitung hochfester Edelmessstähle mit Festigkeiten nahe der 1300 N/mm<sup>2</sup>.

Im folgenden Abschnitt werden wir erläutern, dass eine prozesssichere Verarbeitung bis 1000 N/mm<sup>2</sup> möglich ist, Festigkeiten die über 1000 N/mm<sup>2</sup> liegen aber noch nicht prozesssicher in der Serienfertigung verarbeitet werden können. Allerdings liegen wir mit der prozesssicheren Verarbeitung von Festigkeiten bis 1000 N/mm<sup>2</sup> über dem Stand der Technik, mit dem bisher nur Festigkeiten bis 800 N/mm<sup>2</sup> prozesssicher verarbeitet werden kann.

In der nachfolgenden Ergebnisdarstellung müssen daher die aus der Substitution erwarteten Einsparpotenziale bezogen auf die Rohrförderkette ausgeklammert werden. Nachfolgend werden die weiteren bei Projektantrag erwarteten Einsparungen mit den Ergebnissen aus der Erfolgskontrolle abgeglichen und bewertet.

Die erwarteten Einsparpotenziale bei Antragsstellung beziehen sich auf eine Jahresmenge von ca. 60.000 m Rohrförderkette. Im Jahr des Messprogramms 2024 hat die Anlage ML-14 (Stand der Technik) 303 Tonnen Kette produziert. Die innovative Anlagenkombination (ML-17) produzierte 249 Tonnen Kette. Wir gehen davon aus, dass ML-17 mindestens den gleichen Jahresoutput produzieren kann wie ML-14, sobald die sie in einem geregelten Serienbetrieb fertigt. Wir nehmen daher die Jahresmenge von 300 Tonnen als Referenz für den Soll-Ist-Vergleich im Messprogramm und rechnen auf diese Vergleichsmenge hoch.

Während der Durchführung des Projektes und auch während der Durchführung des Messprogramms waren wir mit Herausforderungen konfrontiert, die nicht vorhersehbar waren.

Für einen kleinen Mittelständler mit etwas mehr als 100 Mitarbeitern zeigte sich, dass das Messprogramm immer wieder im Konflikt mit einer wirtschaftlichen Fertigung, Fachkräftemangel und Termindruck stand. Insbesondere als Auftragsfertiger, der nur selten Produkte ohne Auftragsbezug herstellt, war eine exakte Steuerung und Durchführung des Messprogramms oft schwierig. Für ein ideales Messprogramm hätten wir auf beiden Anlagen die gleichen Produkte fertigen müssen, um eine 100%ige Vergleichbarkeit herzustellen. Dies ist in der Praxis aufgrund der beschriebenen wirtschaftlichen Herausforderungen eines kleinen KMU nicht möglich gewesen.

Dennoch haben wir viele Energie- und Produktionsdaten erfasst und ausgewertet, um die Ergebnisse in der Erfolgskontrolle so gut wie möglich herausarbeiten zu können. Die Ergebnisse werden wir in dem Abschnitt 3.2 Stoff- und Energiebilanz darstellen. Die von der Datenerfassung losgelösten Herausforderungen haben wir im Abschnitt 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung genauer dargestellt.

### 3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Die Umsetzung unseres innovativen Vorhabens als auch die Errichtung des neuen Produktionsstandortes stand im Zeichen der schwierigen „Coronazeit“. Bedingt durch Kontaktbeschränkungen, schwierigen Marktbedingungen und langen Lieferzeiten gab es viele Verzögerungen in der Umsetzung des Vorhabens. Insbesondere die Lieferschwierigkeiten sorgten dafür, dass Angebote eine sehr kurze Annahmefrist hatten und die Preise oft nicht zu kalkulieren waren.

Auch hatten wir große Probleme Handwerker und Baufirmen für den neuen Standort zu finden. Dies in Kombination mit kurzen Angebotsfristen und nicht zu kalkulierenden Kosten hat am Ende für eine deutliche längere Projektlaufzeit im Vorhaben gesorgt. Hinzu kam, dass langjährige Mitarbeiter, die im Projekt eingebunden waren, das Unternehmen verlassen hatten und eine Neueinarbeitung in das innovative Vorhaben und die Förderabwicklung, ein Standortwechsel und das Tagesgeschäft das Unternehmen stark forderte.

Im Rahmen der Erfolgskontrolle bei Aufnahme der Serienproduktion entstanden die nachfolgenden Probleme und Schwierigkeiten:

Wir mussten feststellen, dass es bei der Verarbeitung der eingesetzten hochfesten Edelstähle zu einer starken Rückfederung kam, sodass wir bei allen Geometrien unsere Ketten nicht in den erforderlichen Toleranzen und Qualität fertigen konnten. Neben der Rückfederung hatten wir bei hochfesten Edelstählen mit Aufsplitterung und Rissen zu kämpfen. Beim Rollenbiegen wird im Vergleich zum Plattenbiegen das Glied in einem Arbeitsschritt gebogen, statt in vier Schritten. Die Qualität des gebogenen Glieds wird also über die Programmierung der Biegekurven und den Biegedorns beeinflusst. Allerdings gibt es beim Rollbiegeverfahren weniger Spielraum für Korrekturen, da weniger Platz zum „Überbiegen“ der Glieder ist und auch kein Endformen, wie beim letzten Schritt im Plattenbiegeverfahren, stattfinden kann. Bei Stählen mit normaler Festigkeit entstehen dadurch keine Probleme, aber gerade bei den hochfesten Drähten kommt es hierbei immer wieder zum „Aufsplittern“, Brechen und Rückfedern des Materials.

Wir konnten im Zeitraum des Messprogramms bis Ende Dezember 2024 keine Gesetzmäßigkeit oder Verbindung zwischen dem Verhältnis der Radien und der eingestellten Werte an der Maschine ermitteln, die es uns ermöglichen, die hochfesten Drähte bis 1300 N/mm<sup>2</sup> produktionssicher herzustellen. Teilweise haben wir Einstellungen gefunden, die bei einer bestimmten Charge funktioniert haben, konnten diese aber beim Chargen- oder Abmessungswechsel nicht wieder reproduzieren, da wir mit derselben Herangehensweise nicht dasselbe Ergebnis erzielt haben. Für Stähle bis 900 N/mm<sup>2</sup>, für einige Abmessungen sogar bis 1000 N/mm<sup>2</sup>, haben wir prozesssichere Einstellungen finden können. Das sind im Vergleich zum Stand der Technik eine Erhöhung der Festigkeit von 12,5 % bzw. 25 %.

Bei Antragstellung sind wir davon ausgegangen, dass wir hochfeste Edelstähle bis 1300 N/mm<sup>2</sup> verarbeiten können. Dies war uns bis Ende April 2024 noch nicht prozesssicher gelungen. Das Problem schien jedoch nicht an der neuen Anlagentechnik in Form einer fehlenden Prozesssicherheit zu liegen, sondern an den Materialgegebenheiten. Generell ist das Problem nicht die Kraft, welche die Anlagentechnik aufbringen kann. Problematisch ist das sehr kleine Prozessfenster, das es bei der Umformung hochfester Edelstähle gibt. Kleinste Abweichungen in der Drahtqualität (ggfs. bereits vorhandene Eigenspannungen im Gefüge, zu geringe Reinheitsgrade, bereits existierende Oberflächenfehler) führen dazu, dass sich dieses kleine Prozessfenster zur Umformung sehr schnell schließt.

Wie schon auf im Abschnitt Drahtqualität (Seite 24) beschrieben, ist die Drahtqualität häufig so niedrig, dass eine prozesssichere Verarbeitung nicht möglich ist. Die KER + KEH 7.2 Maschine ist in Bezug auf die Kräfte in der Lage, hochfeste Drähte mit Festigkeiten bis zu 1300 N/mm<sup>2</sup> zu verarbeiten, leider jedoch noch nicht in der Güte, Qualität, Gleichmäßigkeit und Materialbeschaffenheit, die wir zu Projektbeginn erwartet hatten. Beim Biegen der hochfesten Materialien kam es immer wieder zu Materialaufplatzern, zu Brüchen beim Biegen.

Mit der neuen Anlagentechnik erzeugte Ketten verfügen, wie in der Planung bereits erwartet, generell über eine bessere Oberflächenqualität als auf dem Stand der Technik gefertigte Ketten. Diese kommen jedoch nur bei Festigkeiten bis 1000 N/mm<sup>2</sup> zum Tragen, da sie bei höheren Festigkeiten von den zuvor genannten Fehlern überlagert werden.

Wir haben mit unterschiedlichen Material Chargen und Herstellern Optimierungen durchgeführt, aber noch kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielen können. Durch die geringen Mengen, die wir für die Versuche benötigen, können unsererseits keine spezifischen Vorgaben hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung des Drahtes an die Hersteller gemacht werden.

Weiterhin fehlen uns noch die metallurgischen Kenntnisse, wie die benötigte Zusammensetzung und anschließende Bearbeitung aussehen muss. Dadurch sind wir gezwungen, verfügbare Drähte weiter auszuprobieren, bis wir eine vertiefte Eingrenzung vornehmen können, um die Herstellung der im Durchmesser reduzierten Förderketten zu gewährleisten. Es ist offensichtlich, dass das Material von höchster Qualität sein muss, damit der hochfeste Stahl bei der Verformung nicht reißt. Diese Schwierigkeit hatten wir im Vorfeld nicht antizipiert.

Aufgrund der beschriebenen Schwierigkeiten mit den hochfesten Stählen über 1000 N/mm<sup>2</sup> war es nicht möglich, den Fokus der Projektumsetzung weiterhin auf die Energieeinsparungen durch Substitution im Bereich Rohrförderketten zu legen. Zwar können wir im Vergleich zum Stand der Technik Drähte mit höheren Festigkeiten verarbeiten (bis zu 900 N/mm<sup>2</sup> bzw. 1000 N/mm<sup>2</sup>), jedoch erreichen wir dadurch nicht den nötigen Anstieg in den mechanischen Eigenschaften der fertigen Kette. Eine Durchmesserreduktion und damit eine Substitution ist erst möglich, wenn die Leistungsfähigkeit der Kette soweit angehoben wird, dass eine Kette kleineren Durchmessers die gleichen Belastungen aushält, wie eine Kette mit größerem Durchmesser. Aufgrund von Normen ist es nicht möglich eine stufenlose Durchmesserreduktion durchzuführen. Unsere Produkte müssen den zugrundeliegenden Normen entsprechen, wodurch eine Kette mit Nenndurchmesser 13 mm nicht durch eine verbesserte 12 mm Kette substituiert werden kann, sondern mit der lauten Norm nächst kleineren Nenndurchmesser: 10 mm (Abbildung 24).

Die Festigkeit der Kette muss daher eine gewisse Grenze überschreiten, um eine Substitution zu ermöglichen.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Nenngröße  $d \times t$	Durchmesser		Teilung			Breite		Messlänge <sup>b</sup>			Masse/ Meter  kg/m
	$d$	Grenz- abmaße	$t$	Grenzabmaße		innere $b_1^a$ min.	äußere $b_2$ max.	$l$	Grenz- abmaße		
10 × 50	10	± 0,4	50	+0,9	-0,5	14,0	36	550	+3	-1	1,8
13 × 65	13	± 0,5	65	+1,2	-0,6	18,0	47	715	+4	-2	3,1
16 × 80	16	± 0,6	80	+1,4	-0,7	22,5	58	880	+5	-2	4,7
18 × 90	18	± 0,9	90	+1,6	-0,8	25,0	65	990	+5	-3	5,9
20 × 100	20	± 1,0	100	+1,8	-0,9	28,0	72	1100	+6	-3	7,3
23 × 115	23	± 1,2	115	+2,1	-1,0	32,0	83	1265	+7	-3	9,7

Abbildung 24: Ausschnitt aus der Norm DIN 762-2

Die Firma Wafios bestätigt uns mit Schreiben vom 17.02.2025, dass der Einsatz von Drähten mit einer Festigkeit größer 1.000N/mm<sup>2</sup> nicht prozesssicher stattfinden kann. Wafios wird zukünftig nur noch Drähte unter dieser Festigkeit für die Bearbeitung in einer WAFIOS KEH/KER x.2 angeben.

Das entspricht nicht unseren Erwartungen bei Antragstellung, aber es bleibt festzuhalten, dass die Kettenmaschinen der Baureihe WAFIOS KEH/KER x.2 mit Festigkeiten bis zu 900 N/mm<sup>2</sup> und bei kleineren Drahtstärken bis zu 1.000 N/mm<sup>2</sup> den Stand der Technik in der Bearbeitung um etwa 20% hebt.

Die folgende Foto-Dokumentation veranschaulicht die Probleme bei einer Fertigung mit Drähten über 1000 N/mm<sup>2</sup>.



Abbildung 25: Spanabplatzer bei Überwalzungen im Draht. Je besser die Drahtqualität desto seltener Überwalzungen im Draht (Foto aus 2024)



Abbildung 26: Wieder Materialaufplatzer bei hochfesten Drähten (Foto aus 2024)



Abbildung 27: Materialaufplatzer bei einer 16x80 Kette (Foto aus 2024)



Abbildung 28: Riss / Bruch im Radius der Kette bei einer 16x48 Kette (Foto aus 2024)

Neben den beschriebenen Misserfolgen in Bezug auf die Substitution können wir auch von Erfolgen in Bezug auf eine bessere Oberflächenqualität, geringere Werkzeuggewichte und weniger Ausschuss berichten. Weiterhin konnten die Rüstzeiten an der innovativen Anlage im Vergleich zur Anlage nach dem Stand der Technik reduziert werden.

## 3.2 Stoff- und Energiebilanz

In der Erfolgskontrolle (30.11.2023 - 30.12.2024) sollten in Abstimmung mit dem Umweltbundesamt die nachfolgenden Parameter gemessen und in Bezug auf die bei Antragstellung erwarteten Umwelteffekte ausgewertet werden (Stand der Technik vs. Innovative Kettenfertigung):

- Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl)
- Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl)
- Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl)
- Energieeinsatz Kettenproduktion (kWh)

### 3.2.1 Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl)

In dem Abschnitt 2.1.1 Einsparungen im Material durch Substitution auf Seite 18 und 2.1.2 Einsparungen in der Produktion durch Substitution auf Seite 19 beschreiben wir die Einsparungspotenziale aufgrund der erwarteten Substitution einer Kette durch eine Kette mit kleinerem Durchmesser. In den Abschnitten auf Seite 15 und 16 zeigen wir folgende Potenziale auf, wie sie bei Antragstellung prognostiziert wurden:

- Stahleinsparung: 64,4 t/Jahr
- Stromeinsparung: 99.272 kWh/ Jahr

Wie oben beschrieben ist die Voraussetzungen für eine Durchmesserreduktion, die sichere Verarbeitung hochfester Edelstähle mit Festigkeiten von 1000 bis 1300 N/mm<sup>2</sup>, noch nicht prozesssicher gegeben. Zwar können wir hochfeste Edelstähle bis zu 1000 N/mm<sup>2</sup> verarbeiten, dadurch aber keine Durchmesserreduktion erreichen (siehe 3.1) Wir können in Bezug auf die Ziele „Einsparungen im Material durch Substitution“ und „Einsparungen in der Produktion durch Substitution“ demnach keine Erfolge im Messprogramm vorweisen.

### 3.2.2 Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl)

Im Abschnitt 2.1.5 auf Seite 22 stellen wir ein Einsparungspotenzial durch geringere Werkzeuggewichte von  $25 * 90 \text{ kg} * 75\% = 1687,5 \text{ kg}$  dar. Die Annahmen der Reduktion der Werkzeuggewichte haben sich als richtig erwiesen und können über unsere Konstruktionszeichnungen verifiziert werden. Anders als bei Antragstellung angenommen, haben wir statt 25 unterschiedlichen Abmessungen nur 14 verschiedene Abmessungen auf der innovativen Anlage gefertigt. Dadurch können wir eine Einsparung von  $14 * 90 \text{ kg} * 75\% = 945 \text{ kg}$  erzielen.

Perspektiv ist das Ziel die angestrebten 25 und bei Bedarf weitere Abmessungen auf der Anlage zu fertigen.

### 3.2.3 Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl)

Der Materialeinsatz für die Kettenfertigung wurde im ERP System erfasst. Für jeden Fertigungsauftrag werden jedes verbrauchte Drahtcoil als Materialverbrauch auf den jeweiligen Auftrag gebucht. Auf diese Weise können wir auftragsbezogen unseren Materialeinsatz überwachen.

Betriebsauftrag 109355 (2145... x)

Kopfdaten Arbeitsfolgen Stückliste Termine DMS Struktur Rückmeldungen/Nachkalkulation

**Selektion**

AFO-Rückmeldungen

STL-Rückmeldungen

Fertigmeldungen

UE-Bewertung

MRP Fehlteile

Nachkalkulation

Übersicht

**FIFO Kalkulationen**

Sollkalkulation ▶

HK/Stck. Sollkalk ▶

Nachkalkulation ▶

HK/Stck. Nachkalk ▶

Sollkalkulation: Basis für UE-Bewertung und Soll-Kosten

Nachkalkulation: Basis für Ist-Kosten

Material-Rückmeldungen										
RM-MAT-Nr.	Datum	AFO	STL-Pos.	Artikel	Suchwort	Menge	C/S-Nr.	Gebinde	Lager	
78077	20.11.2024 11:20:52	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.923,00	181220	51490	ML-14	
78150	21.11.2024 11:08:24	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.928,00	181220	51488	ML-14	
78181	21.11.2024 15:47:17	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.422,00	181220	51492	ML-14	
78194	22.11.2024 06:43:35	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.410,00	181220	51489	ML-14	
78252	22.11.2024 14:36:31	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.936,00	181220	51487	ML-14	
78353	26.11.2024 09:57:15	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.418,00	181220	51491	ML-14	
78382	26.11.2024 15:25:40	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.924,00	181220	51485	ML-14	
78401	27.11.2024 00:38:56	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.926,00	181220	52347	ML-14	
78415	27.11.2024 07:54:43	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.917,00	181220	52348	ML-14	
78494	27.11.2024 19:31:42	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.925,00	181220	52388	ML-14	
78546	28.11.2024 13:01:51	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.910,00	181220	52387	ML-14	
78572	28.11.2024 19:59:49	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.420,00	181220	52386	ML-14	
78578	29.11.2024 00:53:36	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.918,00	181220	52346	ML-14	
78603	29.11.2024 10:47:34	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.931,00	181220	52439	ML-14	
78620	29.11.2024 17:50:37	10	23	D138.5523	DRAHT 13,8 MM, 19/20/23MNB4 (1.5523)	1.421,00	181220	52389	ML-14	

Abbildung 29: Beispielhafter Auszug aus dem ERP System - Abbuchungen der Materialverbräuche

Neben den Materialverbräuchen werden auch die gefertigten Mengen im ERP-System erfasst (Abbildung 30). Da unser ERP System die Kette in Metern führt, müssen die gefertigten Mengen mit den Stückgewichten multipliziert werden, um die gefertigte Tonnage zu erhalten.

Betriebsauftrag 109355 (2145... x)

Kopfdaten Arbeitsfolgen Stückliste Termine DMS Struktur Rückmeldungen/Nachkalkulation

**Selektion**

AFO-Rückmeldungen

STL-Rückmeldungen

Fertigmeldungen

UE-Bewertung

MRP Fehlteile

Nachkalkulation

Übersicht

**FIFO Kalkulationen**

Sollkalkulation ▶

HK/Stck. Sollkalk ▶

Nachkalkulation ▶

HK/Stck. Nachkalk ▶

Sollkalkulation: Basis für UE-Bewertung und Soll-Kosten

Nachkalkulation: Basis für Ist-Kosten

Fertigmeldungen										
Lfd-Nr.	Typ	AFO	Artikel	Suchwort	Menge	C/S-Nr.	Gebinde	Packmittel		
31203	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	380,00	109355	52657	Gitterbox groß		
31226	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	380,00	109355	52677	Gitterbox groß		
31238	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	380,00	109355	52693	Gitterbox groß		
31257	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	380,00	109355	52729	Gitterbox groß		
31305	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52851	Gitterbox groß		
31328	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52889	Gitterbox groß		
31339	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52909	Gitterbox groß		
31345	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52915	Gitterbox groß		
31347	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52917	Gitterbox groß		
31384	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	52987	Gitterbox groß		
31395	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53004	Gitterbox groß		
31421	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53073	Gitterbox groß		
31431	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53088	Gitterbox groß		
31437	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53094	Gitterbox groß		
31443	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53100	Gitterbox groß		
31459	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53202	Gitterbox groß		
31462	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	362,00	109355	53205	Gitterbox groß		
31479	Fertigartikel	10	21450000.ROH	KETTE ÄHNL. DIN 22252-1-14X50 W...	327,00	109355	53231	Gitterbox groß		

Abbildung 30: Beispielhafter Auszug aus dem ERP System - Buchungen der gefertigten Mengen

Im Anschluss werden der Materialeinsatz und die gefertigte Tonnage gegenübergestellt, um den Ausschuss und den Abbrand zu bestimmen.

Maschinenlinie	Gewicht produzierte Menge [t]	Gewicht verbrauchtes Material [t]	Ausschuss und Abbrand [t]	Ausschuss und Abbrand %
ML-14 (Stand der Technik)	303,42	329,23	25,81	7,84%
ML-17 (innovativ)	249,01	261,29	12,28	4,70%

Tabelle 8: Fertigungsdaten der Anlagen im Vergleich | Gewicht der produzierten Kette, Gewicht des verbrauchten Materials | Ausschuss und Abbrand

In Tabelle 8 ist ersichtlich, dass der Ausschuss von 7,84 % auf 4,70 % reduziert werden konnte. Um die Materialersparnis durch die Reduktion des Ausschusses zu bestimmen, muss eine Annahme für den Output getroffen werden. Sobald die innovative Anlage in einem geregelten Serienbetrieb fertigt, können wir mindestens den gleichen Output wie an der ML-14 annehmen. Gehen wir also von einer Jahrestonnage von 300 Tonnen aus errechnet sich die Ersparnis wie folgt:

$$\text{Materialeinsatz} = \frac{\text{produzierte Tonnage}}{(1 - \text{Ausschuss in \%})}$$

$$\text{Materialeinsatz}_{\text{innovativ}} = \frac{300}{(1 - 0,047)} = 314 \text{ Tonnen}$$

$$\text{Materialeinsatz}_{\text{Stand der Technik}} = \frac{300}{(1 - 0,0784)} = 325 \text{ Tonnen}$$

$$\text{Einsparung} = 325 - 314 = 11 \text{ Tonnen}$$

Die innovative Anlage verursacht bei einem Output von 300 Tonnen pro Jahr 11 Tonnen weniger Ausschuss.

### 3.2.4 Energieeinsatz Kettenproduktion (kWh)

Die Messung des Energieeinsatzes während der Kettenproduktion war deutlich komplexer als zunächst angenommen. Abbildung 31 zeigt beispielhaft eine Leistungsmessung an der Schweißmaschine der innovativen Anlagenkombination.

Die Ausschläge in der Leistung zeigen Zeiträume an, in denen die Maschine Kette produziert hat. Es ist zu erkennen, dass auch in den Bereichen zwischen den Produktionszeiten eine Grundlast anliegt. In Abbildung 31 ist der gesamte Zeitraum dargestellt, zoomt man herein, ist die Grundlast besser erkennbar (Abbildung 32 + Abbildung 33). Zoomt man noch weiter herein, sind die Ausschläge pro Kettenglied erkennbar (Abbildung 34).



Abbildung 31: Leistungsmessung KEH 7.2 (ohne Zoom)

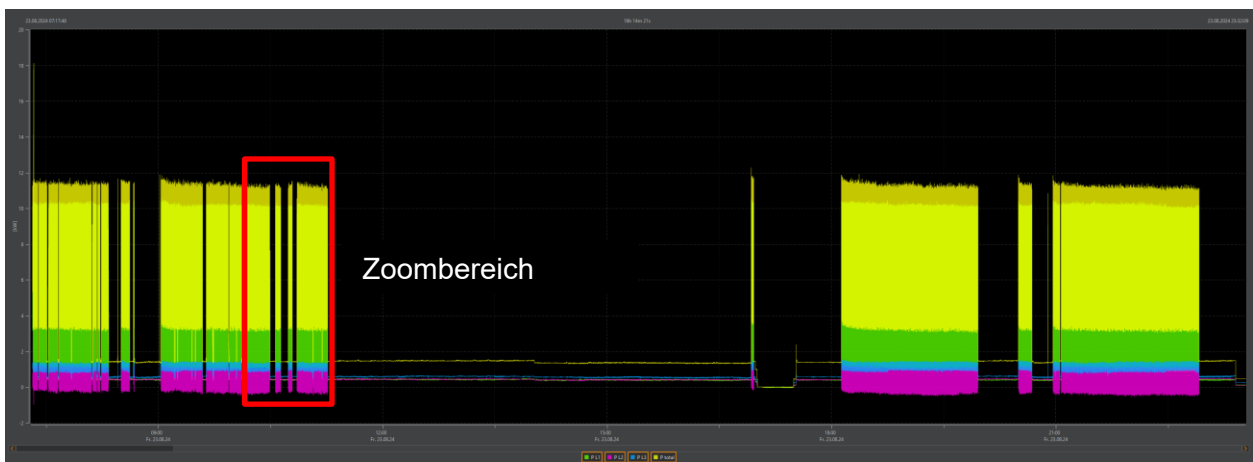


Abbildung 32: Leistungsmessung KEH 7.2 (mit Zoom 1)

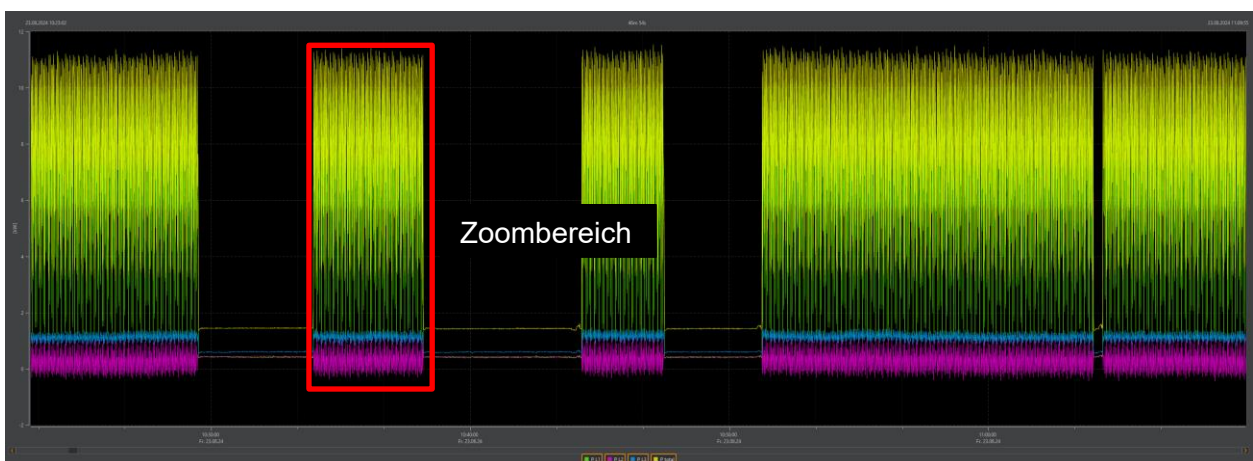


Abbildung 33: Leistungsmessung KEH 7.2 (mit Zoom 2)

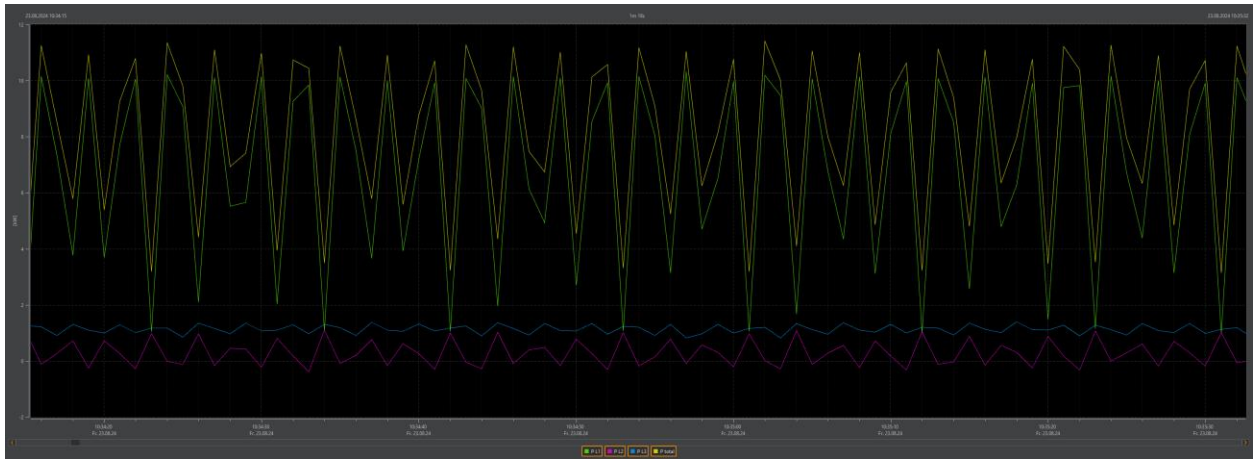


Abbildung 34: Leistungsmessung KEH 7.2 (Zoom 3)

Es ist naheliegend, dass wir den Energieverbrauch über einen definierten Zeitraum messen und am Ende die Grundlast heraus rechnen, um den Anteil der Energie zu erhalten, der während der Kettenproduktion für die Kettenproduktion benötigt wird. Diese Vorgehensweise ist nur dann sinnvoll, wenn für diesen Zeitraum auch genau ermittelt werden kann, wie viel Meter Kette wir hergestellt haben. Dies gibt die Datenerfassung in unserem ERP-System leider nicht her.

Um dennoch den variablen Energieanteil der Kettenproduktion zu ermitteln, haben wir ein Python Skript geschrieben, welches in einem Messzeitraum die Hochpunkte zählt. Jeder dieser Hochpunkte definiert genau ein Kettenglied. Mithilfe des Skripts konnten wir also feststellen, wie viele Glieder während des Messzeitraums gefertigt wurden. Dazu wurde der Energielogger sowohl an der konventionellen, als auch an der innovativen Linie verwendet.

Über die Anzahl der Glieder und die Teilung (Länge eines Glieds) kann dann bestimmt werden wie viel Meter Kette in dem Messzeitraum gefertigt wurden.

Als Kennzahl zur Beurteilung der Energieeffizienz haben wir dann die Leistung pro Glied ermittelt.

Linie	Maschine	kW pro Glied
ML-14	KEB 7.2 (Stand der Technik)	1,77
	KEH 7.2 (Stand der Technik)	3,59
ML-17	KER 7.2 (innovativ)	3,66
	KEH 7.2 (innovativ)	6,44

Tabelle 9: Kilowatt pro Glied Auswertung - Durchschnitt über alle Messungen unabhängig der Kettenabmessung

Ein direkter Vergleich der Leistungsaufnahme pro Kettenglied bei identischen Abmessungen ist auf Grundlage der vorliegenden Messdaten nicht möglich. Aufgrund des hohen Liefer- und Kostendrucks konnte keine Fertigungsplanung umgesetzt werden, bei der identische Abmessungen auf beiden Anlagen jeweils unter Einsatz des Energieloggers produziert wurden.

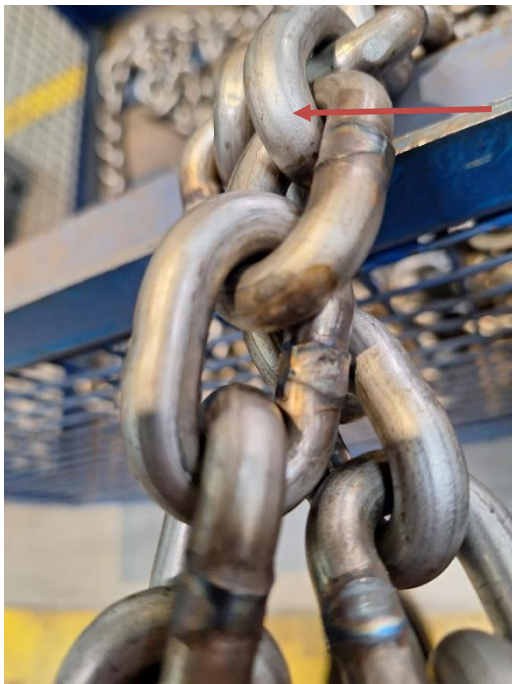
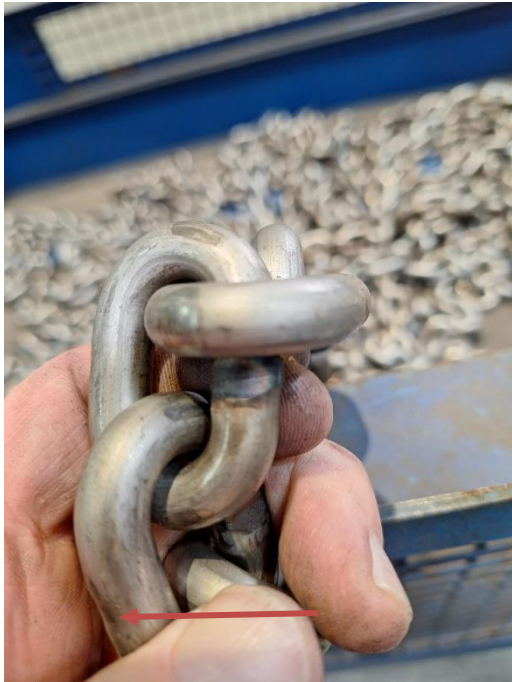
Betrachtet man die Leistung pro Glied im Durchschnitt über alle Messungen so hat die innovative Anlagenkombination eine höhere Leistungsaufnahme pro Glied als die Anlage nach Stand der Technik.

In Bezug auf die Kettenproduktion können wir keine energieeffizientere Produktion im Messprogramm nachweisen. Im Gegensatz zu den Erwartungen ist die Leistungsaufnahme Watt pro Glied bei der innovativen Anlagenkombination höher als bei ML-14. Die Ursachen hierfür werden wir in der Zukunft weiter ergründen. Wir werden den Energielogger weiterhin an der innovativen Anlage verbaut lassen, um zukünftig noch höhere Datenqualitäten zu erhalten. Die Leistungsaufnahme pro Glied hängt in der Theorie stark vom Produktmix ab (Lang-, Kurzgliedrigkeit und Werkstoff).

### **3.2.5 Nacharbeitsaufwand**

Einen weiteren Erfolg konnten wir bei der Nacharbeit erzielen. Die Kettenoberfläche auf der innovativen Anlage ist deutlich besser als auf der alten. Die folgende Fotodokumentation veranschaulicht das.

ML-17 (innovativ)



ML-14 (Stand der Technik)

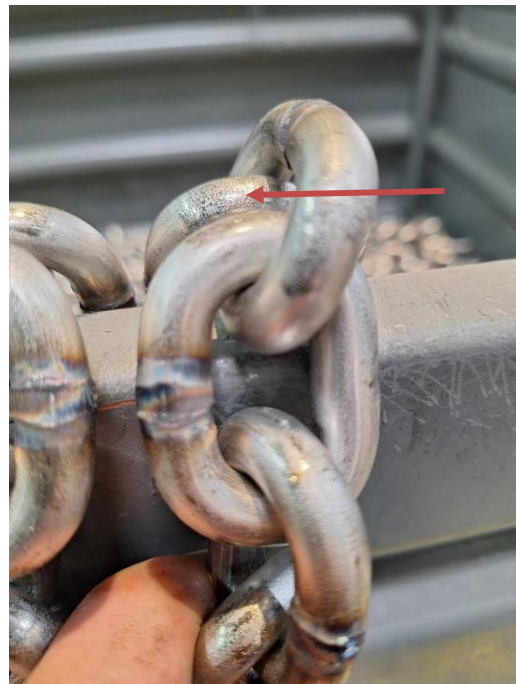




Tabelle 10: Fotodokumentation zur Oberflächenqualität

Durch die verbesserte Oberflächenqualität konnten wir den Arbeitsaufwand in der Nachbearbeitung halbieren.

Im Abschnitt Einsparungen durch die Reduktion der Nacharbeit auf ein Einsparungspotenzial von 58.349 kWh pro Jahr abgeschätzt. Darauf bezogen können wir durch die Halbierung des Nacharbeitersaufwandes eine Einsparung von 48.181 kWh erzielen.

Die Unterschreitung des bei Projektbeginn erwarteten Ziels liegt wieder in der nicht erreichten Durchmesserreduktion begründet. Da wir aber alle Ketten, die auf der innovativen Anlage, nicht

nur die hochfesten Edelstahlketten, weniger nacharbeiten müssen, verfehlen wir das Ziel jedoch nur um ca. 10.000 kWh.

### 3.2.6 Rüstaufwand

Seid Antragstellung haben wir uns in der Kommunikation der Rüstzeiten unternehmensintern auf eine „Brutto-Rüstzeit“ geeinigt, da genaue Erfassung der „Netto-Rüstzeit“ nicht möglich ist. Mitarbeiter, die für die Rüstung einer Anlage verantwortlich sind, werden auch immer wieder zum „Nachrüsten und Nachjustieren“ an andere produktive Anlagen gerufen. Die Maschinenrüster müssen die Rüstarbeit also immer wieder unterbrechen. Wir sprechen daher von einer „Brutto-Rüstzeit“, die die Zeit von Beginn der Rüstung bis zum finalen Abschluss der Rüstung meint.

Eine höhere Personaldeckung aufzubauen ist nicht möglich, da die Position des Einrichters sehr schwer zu besetzen ist und einer sehr langen Einarbeitung bedarf. Der Fachkräftemangel erschwert diese Situation zusätzlich. Eine genaue Erfassung der tatsächlichen Rüstzeit ist daher für uns aktuell nicht wirtschaftlich und kann im Tagesablauf nicht geleistet werden.

Bei Antragsstellung hatten wir im Abschnitt 2.2.1 auf Seite 23 eine Reduktion der Rüstzeiten von 8 Stunden auf 2 Stunden in Aussicht gestellt, was einer Reduktion der Rüstzeiten um 75% entspricht. Diese Angaben beziehen sich auf eine „Netto-Rüstzeit“

Der „Brutto-Rüstaufwand“ auf der innovativen Anlage hat sich nach Aussagen der Schichtführer von 4 Schichten auf 1 Schicht reduziert. Die angenommene Reduktion um 75% hat sich demnach als richtig erwiesen.

Fazit: Bei 465 min/Schicht können wir eine Reduktion der Rüstzeiten von 1860 min bei der ML-14 auf 465 min auf der innovativen Anlage beobachten.

### 3.3 Umweltbilanz

Nachfolgende Tabelle stellt die prognostizierten Umwelteffekte vor Projektbeginn dar.

	Stand der Technik	Innovative Fertigung	Einsparung/a	CO <sub>2</sub> Einsparung/a
Stahl [t]	170,2	105,8	64,4	137,60 t <sup>3</sup>
Energie (Strom) [kWh]	207.861	50.159	157.702	84,69 t <sup>4</sup>

Tabelle 11: Umwelteffekte bezogen auf das Produkt Rohrförderketten (Jahreskapazität Ketten 59.750 m/a)

Die in Tabelle 11 dargestellten Umwelteffekte stammen aus der Antragstellung. Wie in den Abschnitten oben beschrieben ist die genannte Bezugsgröße von ca. 60.000 m/a Rohrförderkette nicht mehr sinnvoll. Um die dargestellten Erfolge sinnvoll aufzeigen zu können stellen wir die erzielten Einsparungen aus der Erfolgskontrolle im Folgenden in Bezug auf einen Jahresoutput

<sup>3</sup> 1 kg Stahl-Coil emittiert 2,137 kg/CO<sub>2</sub>äq. Quelle: Gemis 5 für "Metall\Stahl-Coils-Warmwalz-EU-2005".

<sup>4</sup> Strom Inland tCO<sub>2</sub>/MWh, Kohlenstoffdioxidfaktor 0,537. Quelle: KfW, Anlage zum Merkblatt Bundesförderung für Energieeffizienz in der Wirtschaft, Modul 4, Seite 5 (Stand 15.02.2020).

von 300 Tonnen Kette dar (ohne Berücksichtigung des erhöhten Energiebedarfs für die neue Linie).

	Stahl [t]	Energie (Strom) [kWh]	CO <sub>2</sub> Einsparung [t]
Einsparungen im Material durch Substitution	-	-	-
Einsparungen in der Produktion durch Substitution	-	-	-
Einsparungen durch die Reduktion der Nacharbeit		48.181	25,87
Einsparungen durch geringere Werkzeuggewichte	0,945		2,02
Ausschussreduzierung Kettenfertigung	11		23,50
<b>Summe</b>	<b>11,945</b>	<b>48.181</b>	<b>51,39</b>

Tabelle 12: Gemessene Umwelteffekte Messprogramm bezogen auf eine Jahreskapazität von 300 Tonnen Ketten

Die Umsetzung der innovativen Anlagenkombination führt zu einer nachgewiesenen CO<sub>2</sub>-Einsparung von 51 t/a bezogen auf eine hochgerechnete Jahreskapazität von 300 Tonnen Kette.

Um eine gewisse Vergleichbarkeit der Ergebnisdarstellung zu erzielen, haben wir die CO<sub>2</sub> Parameter bei Antragstellung genutzt (vergl. Fußnoten 3, 4).

Wie in Tabelle 9 dargestellt, weist die innovative Anlagenkombination im Durchschnitt über alle Messungen eine höhere Leistungsaufnahme pro Kettenglied auf als die konventionelle Anlage (10,10 kW vs. 5,36 kW, Summe aus Biege- und Schweißmaschine). Die Mehrleistung beträgt 4,74 kW pro Glied.

Um den daraus resultierenden Mehrenenergiebedarf abzuschätzen, wird im Folgenden eine konservative Hochrechnung auf Basis der Fertigungsdaten vorgenommen. Die drei häufigsten Kettenabmessungen auf der innovativen Anlage waren 13x36 (46.065 m), 13x39 (41.754 m) und 13x65 (32.083 m), die zusammen rund 68 % der Gesamtproduktion ausmachen. Aus dem tatsächlichen Produktmix ergibt sich eine gewichtete Durchschnittsteilung von ca. 43 mm und ein durchschnittliches Metergewicht von 1,41 kg/m. Für die folgende Abschätzung werden konservativ ein Metergewicht von 1,5 kg/m und 20 Glieder pro Meter angenommen. Bei einer Jahreskapazität von 300 Tonnen Kette ergeben sich damit rund 200.000 Meter bzw. ca. 4 Millionen Glieder pro Jahr.

Bei einer angenommenen Taktzeit von 45 Gliedern pro Minute ergibt sich eine Mehrenergie von 1,76 Wh pro Glied (4,74 kW × 1,33 s). Hochgerechnet auf 4 Millionen Glieder entspricht dies einem Mehrenenergiebedarf von ca. 7.000 kWh/a bzw. zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 3,8 t/a.

Dieser Mehrverbrauch wird durch die in Tabelle 12 dargestellten Einsparungen – insbesondere die Reduktion des Nacharbeitsaufwands um 48.181 kWh/a – bei weitem kompensiert. Auch unter Einbeziehung des höheren Energiebedarfs in der Kettenproduktion verbleibt eine **Netto-CO<sub>2</sub>-Einsparung von ca. 47,6 t/a**.

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Unser Vorhaben „Innovative Anlagenkombination in der Kettenfertigung“ wurde am neuen Standort Gewerbegebiet Zollhaus, 58640 Iserlohn: Zollhausstraße 30 umgesetzt.

Die Rentabilität des Vorhabens wird von uns mit den bei Antragstellung erwarteten Prognosen bewertet. Sowohl in Bezug auf den Strompreis, als auch hinsichtlich des Stahlpreises bewerten wir die Rentabilität des Vorhabens mit den bei Antragstellung angenommenen Strom- und Stahlpreisen. Der Stahlpreis ist seit Antragstellung zunächst stark gestiegen und in den letzten Monaten wieder gefallen. Aus unserer Sicht ist eine Vergleichbarkeit besser gegeben, wenn wir uns daher beim Stahlpreis die gleichen Preise, wie bei Antragstellung zugrunde legen. Am Energiemarkt kaufen wir immer zu Tagespreisen zu, außerdem haben wir am neuen Standort eine PV-Anlage installiert. Demnach beziehen wir uns auch beim Strompreis auf die gleichen Annahmen, wie bei Antragstellung.

Für die wirtschaftliche Planung werden die folgenden Daten zur Kalkulation herangezogen:

- Anlagentechnik ohne zweiten Werkzeugsatz: 1.319.690 €
- Notwendige Peripherie + Anschlussarbeiten: 20.500 €
- Materialkosten Inbetriebnahme / Anfahren: 15.000 €
- Personalkosten laut Verwendungsnachweis: 93.276 €
- Stromkosten: 0,14 €/kWh
- Stahl: 2.400 €/t
- Rüstzeiten: 90 €/h
- Nacharbeit: 40 €/h<sup>5</sup>

Bezogen auf die Material- und Energieeinsparungen ergeben sich folgende monetäre Einsparungen:

$$11,945 \text{ t/Jahr} * 2.400 \text{ €/t} + 48.181 \text{ kWh/Jahr} * 0,14 \text{ €/kWh} = 35.413 \text{ €/Jahr}$$

Unter der Annahme, dass einmal pro Woche die Maschine umgebaut wird, folgt bei einer Reduktion der Rüstzeiten von 8 auf 2 Stunden eine weitere Ersparnis von:

$$6 \text{ h} * 90 \text{ €/h} * 50 \text{ Wochen} = 27.000 \text{ €/Jahr}$$

Hinweis: für die tatsächlichen monetären Ersparnisse bei den Rüstzeiten müssen wieder die „Netto-Rüstzeiten“ herangezogen werden, da nur eine „Netto-Zeiterparnis“ einen Kosteneinsparungseffekt hat.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung hatten wir eine weitere Ersparnis von 11.472 €/Jahr dargestellt, die durch den Wegfall händischer Nacharbeit entsteht. Die händische Nacharbeit hatten wir zum Zeitpunkt der Antragstellung auf der Anlage nach dem Stand der Technik, während der

---

<sup>5</sup> Der Stundensatz für Rüstzeiten und Nacharbeit enthält Personalkosten (teils mehrere Arbeiter), Kosten für Stillstand, innerbetriebliche Transportkosten, etc. jedoch ohne den zusätzlichen Energiebedarf der neuen Linie.

Erfolgskontrolle haben wir weder an Kette von ML-14 noch von ML-17 händische Oberflächen-nacharbeiten durchgeführt.

In der Antragstellung nicht berücksichtigt ist die monetäre Ersparnis durch geringere maschinelle Nacharbeit. Pro Tonne haben wir einen Nacharbeitsaufwand von 3 h Stunden bei konventionell hergestellter Kette, der sich bei der Kette von der innovativen Anlage auf 1,5 h reduziert. Dadurch ergibt sich die monetäre Einsparung wie folgt:

$$1,5 \text{ h} * 300 \text{ t} * 40 \text{ €} = 18.000 \text{ €}/\text{Jahr}$$

Zusammenfassend konnten wir im Zuge der Erfolgskontrolle jährliche Einsparungen von 80.413 € aufzeigen. Damit amortisiert sich das Vorhaben unter den oben dargestellten Annahmen unter Berücksichtigung einer einfachen statischen Amortisationsrechnung nach knapp 4,5 Jahren.

### 3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Vorteile der Produktion und Anwendung werden nachfolgend noch einmal kurz zusammengefasst:

- Innovative, weltweit erstmalige, intelligente Verknüpfung einer servomotorgesteuerten Rollbiegemaschine mit einer servomotorgesteuerten Schweißmaschine (Widerstand-Pressstumpfschweißverfahren) für Drahtdurchmesser 10-18 mm
  - ✓ Die Anlage konnte für Festigkeiten unter 1000 N/mm<sup>2</sup> prozesssicher in einen Serienbetrieb überführt werden
- Reduktion des Werkzeugumfanges
  - ✓ Die Werkzeuggewichte konnten, wie bei Antragstellung angenommen um 75% reduziert werden.
  - ✓ Die Fertigung der Werkzeuge ist durch den geringeren Umfang deutlich schneller und weniger ressourcenintensiv
- Sehr kurze Rüstzeiten
  - ✓ Die Rüstzeiten konnten erfolgreich um 75% reduziert werden
  - ✓ Ebenso ist die Bedienung durch die modernen Mensch-Maschinen-Schnittstellen deutlich komfortabler
  - ✓ Rüstvorgänge sind durch die modernen Mensch-Maschinen-Schnittstellen besser reproduzierbar
- Verarbeitung höherfester Drähte möglich
  - ✓ Prozesssichere Verarbeitung hochfester Drähte bis 1000 N/mm<sup>2</sup> ist gelungen

Was wurde mit Projektumsetzung erreicht:

- Verarbeitung von Drahtfestigkeiten bis 1300 N/mm<sup>2</sup> theoretisch möglich, allerdings bei Drahtfestigkeiten höher als 800 N/mm<sup>2</sup> ist die Fertigung bisher nur im energieintensiven Warmbiegeverfahren möglich
  - ✓ Für Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> konnten keine prozesssicheren Einstellungen gefunden werden
  - ✓ Anlage ist in Bezug auf die Kräfte zwar in der Lage Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> zu verarbeiten, der begrenzende Faktor ist allerdings die Stahlqualität

- ✓ Stähle über 1000 N/mm<sup>2</sup> erleiden bei der Verarbeitung Risse, Aufplatzer und schlechte Schweißnähte
- Material- und Energieeinsparung in signifikanter Größenordnung
  - ✓ Die deutlich bessere Oberflächenqualität führt zu geringerem Nacharbeitsaufwand
  - ✓ Verlässlichere Rüstvorgänge führen zu weniger Ausschuss bei der Produktion
  - ✓ Besser Oberflächenqualität führt zu weniger Ausschuss bei der Produktion

## 4 Übertragbarkeit

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Die Zusammenarbeit mit dem Anlagenlieferanten Wafios war vertrauensvoll und konstruktiv. Schwierigkeiten in der Projektumsetzung ergaben sich durch die Coronapandemie, die für erhebliche Verzögerungen sorgte: fehlende und zeitnahe Materiallieferungen und ganz erheblich - nicht zu bekommende Handwerker. Ausgaben- und Budgetplanungen wie wir dies aus vergangenen Projekten kannten, waren vielfach nicht wie üblich möglich, weil Angebote und Kostenkalkulationen nicht lange genug fixiert werden konnten und Handwerker ihre Termine nicht verbindlich halten konnten.

Die Verzögerungen in der Bauphase und die enormen Preissteigerungen haben dazu geführt, dass der zweite Werkzeugsatz im eigenen Haus hergestellt wurde, als Nebeneffekt wurde damit gleichzeitig Know-How in der Konstruktion und Fertigung der neuen Werkzeuge aufgebaut. Auch die prozesssichere Fertigung stellte uns bei Drähten mit einer Festigkeit größer als 1000 N/mm<sup>2</sup> vor Probleme. Wie in Abschnitt 3 ausgiebig dargestellt treten bei aktuell verfügbaren Drähten mit Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> Risse, Materialabsplitterungen und Rückfederungen auf, die zu Projektbeginn nicht vorhersehbar waren.

Unter dem Abschnitt Ergebnisdarstellung, Unterpunkt Stoff- und Energiebilanz stellen wir die Umwelteffekte im Vorhaben anhand nachfolgender Parameter dar:

- Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl)
- Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl)
- Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl)
- Energieeinsatz Kettenproduktion (kWh)
- Nacharbeitsaufwand
- Rüstaufwand

Auch wenn die in der Projektskizze dargestellte Substitution durch kleinere Durchmesser noch nicht erfolgreich umgesetzt werden konnte, so können für vier der sechs der Parameter in den Bereichen Materialeinsatz Werkzeugfertigung (Stahl), Materialeinsatz Kettenfertigung (Stahl), Ausschussreduzierung Kettenfertigung (Stahl), Nacharbeitung- und Rüstungsaufwand Erfolge erzielt werden. Dazu sei gesagt, dass die bisher ausbleibenden Erfolge in Bezug auf eine Durchmesserreduktion an der zum heutigen Stand verfügbaren Drahtqualität scheitert. In Verbindung mit den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Hintergründen der Normativen Anforderungen kann noch kein Erfolg bei der Durchmesserreduktion ausgewiesen werden. Sobald bessere Drahtqualitäten verfügbar sind oder der Markt der Rohrförderketten auch Kettendimensionen außerhalb der Norm akzeptiert, kann eine Substitution durch kleinere Durchmesser realisierbar sein.

Neben der Substitution können Erfolge bei der Reduktion der Nacharbeit, bei den Werkzeuggewichten und den Rüstzeiten erzielt werden. Weiterhin produziert die innovative Anlage weniger Ausschuss und Anfahrscrott als die Anlage nach dem Stand der Technik. Wir schätzen, dass diese Vorteile in Laufe der Jahre weiter ausgebaut werden können, da Mitarbeiter immer besser geschult und Prozesse an der innovativen Anlage immer weiter verbessert werden.

Für einen kleinen mittelständischen Betrieb mit etwas mehr als 100 Mitarbeitern stellte sich heraus, dass das Messprogramm wiederholt in Konflikt mit einer wirtschaftlichen Fertigung, dem Fachkräftemangel und dem hohen Termindruck stand. Insbesondere als Auftragsfertiger, der nur selten Produkte ohne Auftragsbezug herstellt, gestaltete sich die exakte Steuerung und Durchführung des Messprogramms oft als Herausforderung. Um ein ideales Messprogramm zu gewährleisten, hätten wir auf beiden Anlagen die gleichen Produkte fertigen müssen, um eine 100-prozentige Vergleichbarkeit herzustellen. Dies war jedoch in der Praxis aufgrund der beschriebenen wirtschaftlichen Herausforderungen eines kleinen KMU nicht möglich.

#### **4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit**

Eine große technische und wirtschaftliche Bedeutung des innovativen Verfahrens ist aufgrund der großen Verbreitung der Produkte gegeben: Förderketten, Schlachthausketten, Anschlagketten, Pumpenketten, Hebezeugketten, Ankerketten, Schlossketten sowie Ketten für Spielplätze etc.

Europaweit gibt es 70 Kettenhersteller, davon sind 14 Hersteller in Deutschland ansässig. Die gezeigte Innovative Fertigungslinie kann potenziell zukünftig in allen Werken eingeführt werden. Auch bei den anderen Marktteilnehmern ergeben sich ähnliche Einsparungspotenziale in Bezug auf den Stromverbrauch und die Materialeinsparung.

#### **4.3 Kommunikation der Ergebnisse**

Die Ergebnisse wurden bzw. werden in folgenden Medien kommuniziert:

Zusammen mit der Effizienzagentur NRW werden wir unser Vorhaben als Best-Practice-Beispiel in einem Loseblatt veröffentlichen und auch auf der Website der Effizienz Agentur NRW veröffentlichen ([Kompetenzzentrum für Ressourcenschonung - efa NRW](#)).

## **5 Zusammenfassung/Summary**

### **5.1 Zusammenfassung**

#### **Einleitung**

Röttgers Ketten ist seit 1919 ein anerkannter Hersteller von Güteketten. Aus der Abkürzung des Firmengründers August Röttgers entwickelte sich der Markenname aRö zu einem Inbegriff für Ketten höchster Qualität wobei die ständige Weiterentwicklung unser Markenzeichen ist.

Am Standort in Iserlohn in Nordrhein-Westfalen werden auf vollautomatischen Anlagen der neuesten Generation unter anderem Förderketten, Schlachthausketten, Anschlagketten, Pumpenkettens, Hebezeugketten, Ankerketten, Schlossketten sowie Ketten für Spielplätze gefertigt (ca. 2 Millionen Meter Ketten pro Jahr). Mit diesem Vorhaben wurde eine innovative großtechnische Anlagenkombination von Rollbiegemaschine und Widerstandpresstumpfschweißen an dem neu errichteten Standort in der Zollhausstr. 30 in Iserlohn umgesetzt.

Mit Umsetzung dieser Innovation kann durch einen vollautomatisierter Kettenfertigungsprozess (modernste Schnittstellen, hohe Prozesssicherheiten bei gleichzeitig geringen Rüstzeiten und Werkzeugkosten) gefertigt werden. Unsere Erwartungen waren dadurch erzielbare Einsparungspotenziale sowohl im Material als auch bezüglich des Energieverbrauchs. Die modernen Mensch-Maschinen-Schnittstellen bzw. Maschine-Maschine-Schnittstellen soll zudem für eine deutlich gesteigerte Reproduzierbarkeit qualitativ hochwertigere Produkte, trotz stetig sinkender Qualität des Vormaterials Draht sorgen. Mit Umsetzung unsers Vorhabens sollte die erste servomotorgesteuerte Rollbiegemaschinenlinie und Kettenschweißmaschine für Drahtdurchmesser von 10-18 mm mit Drahtfestigkeiten von bis zu 1300 N/mm<sup>2</sup> in die Serienfertigung gehen.

#### **Vorhabensumsetzung**

Sowohl die Umsetzung unseres innovativen Vorhabens als auch die Errichtung des neuen Produktionsstandortes stand im Zeichen der schwierigen „Coronazeit“. Bedingt durch Kontaktbeschränkungen, schwierigen Marktbedingungen und langen Lieferzeiten gab es viele Verzögerungen in der Umsetzung des Vorhabens. Insbesondere die Lieferschwierigkeiten sorgten dafür, dass Angebote eine sehr kurze Annahmefrist hatten und die Preise oft nicht zu kalkulieren waren.

Auch hatten wir große Probleme Handwerker und Baufirmen für den neuen Standort zu finden. Dies in Kombination mit kurzen Angebotsfristen und nicht zu kalkulierenden Kosten hat am Ende für eine deutliche längere Projektlaufzeit im Vorhaben gesorgt. Hinzu kam, dass langjährige Mitarbeiter, die im Projekt eingebunden waren, das Unternehmen verlassen hatten und eine Neueinarbeitung in das innovative Vorhaben und die Förderabwicklung, ein Standortwechsel und das Tagesgeschäft das Unternehmen stark forderte.

Im Rahmen der Erfolgskontrolle bei Aufnahme der Serienproduktion entstanden Probleme und Schwierigkeiten bei der Verarbeitung der eingesetzten hochfesten Edelstähle. Es kam zu starken Rückfederungen, sodass wir bei allen Geometrien unsere Ketten nicht in den erforderlichen Toleranzen und Qualität fertigen konnten. Neben der Rückfederung hatten wir bei hochfesten Edelstählen mit Aufsplitterung und Rissen zu kämpfen. Beim Rollenbiegen wird im Vergleich zum

Plattenbiegen das Glied in einem Arbeitsschritt gebogen, statt in vier Schritten. Die Qualität des gebogenen Glieds wird also über die Programmierung der Biegekurven und den Biegedorns beeinflusst. Allerdings gibt es beim Rollbiegeverfahren weniger Spielraum für Korrekturen, da weniger Platz zum „Überbiegen“ der Glieder ist und auch kein Endformen, wie beim letzten Schritt im Plattenbiegeverfahren, stattfinden kann. Bei Stählen mit normaler Festigkeit entstehen dadurch keine Probleme, aber gerade bei den hochfesten Drähten kommt es hierbei immer wieder zum „Aufsplintern“, Brechen und Rückfedern des Materials.

Bei Antragstellung sind wir davon ausgegangen, dass wir hochfeste Edelstähle bis 1300 N/mm<sup>2</sup> verarbeiten können. Dies war uns bis Ende April 2024 noch nicht prozesssicher gelungen. Das Problem schien jedoch nicht an der neuen Anlagentechnik in Form einer fehlenden Prozesssicherheit zu liegen, sondern an den Materialgegebenheiten. Generell ist das Problem nicht die Kraft, welche die Anlagentechnik aufbringen kann. Problematisch ist das sehr kleine Prozessfenster, dass es bei der Umformung hochfester Edelstähle gibt. Kleinste Abweichungen in der Drahtqualität (ggfs. bereits vorhandene Eigenspannungen im Gefüge, zu geringe Reinheitsgrade, bereits existierende Oberflächenfehler) führen dazu, dass sich dieses kleine Prozessfenster zur Umformung sehr schnell schließt.

## **Ergebnisse**

Mit Inbetriebnahme und Überführung in den Serienbetrieb konnten wir zeigen, dass die Rollbiegemaschine für Drahtdurchmesser von 10-18 mm und Drahtfestigkeiten bis zu 1000 N/mm<sup>2</sup> geeignet ist, aber darüber bis von 1000 bis 1300 N/mm<sup>2</sup> nicht prozesssicher und serientauglich. Dies liegt an Fertigungsschwierigkeiten beim Einsatz von aktuell verfügbaren Draht-Qualitäten, die bei Festigkeiten über 1000 N/mm<sup>2</sup> zu Rissen, Materialabsplitterungen und Rückfederungen führen, was bei Antragstellung nicht vorhersehbar war. Die Serienfertigung von Drähten mit Festigkeiten bis 1000N/mm<sup>2</sup> ist messtechnisch belegt und schreibt den Stand der Technik deutlich fort.

Die durchgeführten Energiemessungen bestätigen, dass eine hochgerechnete jährliche Stromersparung in Höhe von 48.181 kWh sowie eine Stahleinsparung von 11,945 Tonnen erreicht werden kann und damit 51,39 t CO<sub>2</sub> bei einem CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor von 0,537 kg CO<sub>2</sub>/kWh und 2,137 kg CO<sub>2</sub>/t<sub>Stahl</sub> eingespart werden (bezogen auf eine Jahreskapazität von 300 Tonnen Kette).

## **Ausblick**

Die Reduktion der Kettendurchmesser scheitert aktuell an den verfügbaren Drahtqualitäten sowie den normativen Anforderungen an die zulässigen Kettendimensionen. Sobald bessere Drahtqualitäten verfügbar sind oder der Markt der Rohrförderketten auch Kettendimensionen außerhalb der Norm akzeptiert, kann eine Substitution durch kleinere Durchmesser realisierbar sein.

## 5.2 Summary

### Introduction

Röttgers Ketten has been a renowned manufacturer of high-quality chains since 1919. The abbreviation of the company founder's name, August Röttgers, developed into the brand name aRö, which has become synonymous with chains of the highest quality, with continuous development being our trademark. At our site in Iserlohn in North Rhine-Westphalia, we manufacture conveyor chains, slaughterhouse chains, sling chains, pump chains, hoist chains, anchor chains, lock chains and chains for playgrounds (approx. 2 million metres of chains per year) on fully automatic, state-of-the-art equipment. This project involved the implementation of an innovative large-scale plant combination of roll bending machines and resistance butt welding at the newly built site at Zollhausstr. 30 in Iserlohn.

With the implementation of this innovation, production can be carried out using a fully automated chain manufacturing process (state-of-the-art interfaces, high process reliability combined with low set-up times and tooling costs). Our expectations were that this would result in achievable savings potential in terms of both material and energy consumption. The modern human-machine interfaces and machine-machine interfaces should also ensure significantly increased reproducibility and higher-quality products, despite the steadily declining quality of the raw material wire. With the implementation of our project, the first servo motor-controlled roll bending machine line and chain welding machine for wire diameters of 10-18 mm and wire strengths of up to 1300 N/mm<sup>2</sup> should go into series production.

### Project implementation

The implementation of our innovative project and the construction of the new production site took place during the difficult 'corona period'. Due to contact restrictions, difficult market conditions and long delivery times, there were many delays in the implementation of the project. In particular, delivery difficulties meant that offers had a very short acceptance period and prices were often impossible to calculate.

We also had great difficulty finding tradespeople and construction companies for the new location. This, combined with short offer deadlines and unpredictable costs, ultimately resulted in a significantly longer project duration. In addition, long-standing employees who were involved in the project had left the company, and the company was under considerable strain due to the need to familiarise new employees with the innovative project and the subsidy process, a change of location and day-to-day business.

During performance testing at the start of series production, problems and difficulties arose in the processing of the high-strength stainless steels used. Severe springback occurred, meaning that we were unable to manufacture our chains in the required tolerances and quality for all geometries. In addition to springback, we also had to contend with splintering and cracks in high-strength stainless steels. In roll bending, compared to plate bending, the link is bent in one step instead of four. The quality of the bent link is therefore influenced by the programming of the bending curves

and the bending mandrel. However, there is less scope for corrections in the roll bending process, as there is less space to 'overbend' the links and no end forming can take place, as in the last step in the plate bending process. This does not cause any problems with steels of normal strength, but with high-strength wires in particular, this repeatedly leads to 'splintering', breaking and springback of the material.

When submitting the application, we assumed that we would be able to process high-strength stainless steels up to 1300 N/mm<sup>2</sup>. However, by the end of April 2024, we had not yet achieved this with process reliability. However, the problem did not seem to lie in the new plant technology in the form of a lack of process reliability, but rather in the material conditions. In general, the problem is not the force that the plant technology can exert. The problem is the very small process window that exists when forming high-strength stainless steels. The smallest deviations in wire quality (e.g. existing internal stresses in the structure, insufficient purity, existing surface defects) cause this small process window for forming to close very quickly.

## **Project results**

With commissioning and transfer to series production, we were able to demonstrate that the rolling machine is suitable for wire diameters of 10-18 mm and wire strengths of up to 1000 N/mm<sup>2</sup>, but that it is not process-reliable and suitable for series production for strengths above 1000 to 1300 N/mm<sup>2</sup>. This is due to the loss of quality in currently available wire grades, which leads to cracks, material chipping and springback at strengths above 1000 N/mm<sup>2</sup>, which was not foreseeable at the time of application. The series production of wires with strengths up to 1000 N/mm<sup>2</sup> has been verified by measurement and clearly represents the state of the art.

The energy measurements carried out confirm that an extrapolated annual electricity saving of 48,181 kWh and a steel saving of 11.945 tonnes can be achieved, thus saving 51.39 tonnes of CO<sub>2</sub> with a CO<sub>2</sub> emission factor of 0.537 kg CO<sub>2</sub>/kWh and 2.137 kg CO<sub>2</sub>/ t steel (based on an annual capacity of 300 tonnes of chain).

## **Prospects**

The reduction in chain diameter is currently hampered by the available wire qualities and the normative requirements for permissible chain dimensions. As soon as better wire qualities become available or the market for tubular conveyor chains accepts chain dimensions outside the norm, substitution with smaller diameters may be feasible.