

**BMUB - UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht**

**zum Vorhaben:**

NKa3-001966: Gesenkschmiedehammer mit Linearantrieb

**Fördernehmer/-in:**

RUD -SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH

**Umweltbereich**

(Ressourceneffizienz, Energie)

**Laufzeit des Vorhabens**

**Autor**

Michael Mette, ib mette, Warstein

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau  
und Reaktorsicherheit**

**Datum der Erstellung**

25.08.2015

## **Berichts-Kennblatt**

Aktenzeichen: UBA: 70441-5/40

Vorhaben-Nr.: 20244

Titel des Vorhabens:

Gesenkschmiedehammer mit Linearantrieb

Autor(en); Name(n), Vorname(n)

Vorhabensbeginn: 17.07.2013

Mette, Michael

Vorhabensende: 31.12.2014

(Abschlussdatum): 31.12.2014

Fördernehmer/-in (Name, Anschrift)

Veröffentlichungsdatum:  
30.11.2015

RUD--SCHÖTTLER  
Umformtechnik & Systemlieferant GmbH  
Südstraße 5  
D-58135 Hagen

Seitenzahl: 35

Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des  
Bundesumweltministeriums

Kurzfassung/Summery

Die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH produziert als Gesenkschmiedebetrieb, am Standort Hagen, in Nordrhein–Westfalen, Schmiedestücke aus unlegierten, legierten- hitze-, rost- und säurebeständigen Stählen, sowie aus Sonderwerkstoffen. Mit einer Neuinvestition wurde der vorhandene konventionelle hydraulische Schmiedehammer durch einen innovativen material-, energiesparenden und umweltschonenden Schmiedehammer mit Linearantrieb ersetzt.

Produziert werden die Bauteile bei der Firma RUD-SCHÖTTLER mit verschiedenen Schmiedehämmern und den klassischen vor- und nachgelagerten Prozessen. Das Rohmaterial wird dabei in Öfen, durch Strom oder Gas, auf eine Temperatur von ca. 1100 °C erwärmt und kann, je nach Schmiedegeometrie, anschließend direkt im Schmiedegesenk bearbeitet, oder erst durch Vorwalzen und/oder Biegen in Form gebracht und anschließend geschmiedet werden.

Durch die Toleranz beim Schmieden mit den konventionellen Hämmern, entsteht, prozessbedingt ein großer Materialausschuss und ein hoher Energiebedarf. Mit der Investition in einen Schmiedehammer mit neuer linearer Antriebstechnik, wird dieser Ressourcenverschwendung entgegengewirkt. Mit einer Gesamtinvestition von ca. 870.000 Euro und einem Innovationszuschuss aus dem Umweltinnovationprogramm in Höhe von ca. 167.500 Euro wurde dieses Vorhaben realisiert.

Kern des neuartigen Antriebskonzepts ist ein, mittels Linearmotor realisierter Elektro-Direktantrieb, der es ermöglicht, eine flexible Geschwindigkeits- und Kraftwegsteuerung zu erzeugen. Hierdurch lässt sich die benötigte Schlagenergie sehr präzise steuern und ermöglicht so eine genaue Schmiedung mit sehr kleinen Toleranzen.

Das neuartige, energiesparende und umweltschonende Antriebskonzept des Linearhammers reduziert den Materialverbrauch der Firma RUD-SCHÖTTLER um ca. 14 %, die Energie um ca. 337.500 kWh/a und den CO<sub>2</sub> – Ausstoß um ca. 130.000 kg CO<sub>2</sub>/a.

## Summary

RUD-SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH is a drop forge, located in Hagen/North Rhine-Westphalia, producing forged parts made of non-alloy, alloy, heat resistant, corrosion and acid-resistant steels as well as special material. A new investment replaced an existing conventional hydraulic forging hammer by an innovative forging hammer with linear drive reducing material consumption, saving energy, environmentally compatible.

The components are being manufactured by RUD-SCHÖTTLER using various forging hammers and traditional pre- and postprocesses. Rawmaterial is being tempered in ovens - either by electrical power or gas - to a temperature of appr. 1100°C and depending on forged geometry processed directly in the forging die or preformed by rolling and/or bending followed by forging.

The tolerance at forging with traditional forging hammers is leading to process-related increased scrap of material and high energy demand. The investment in a forging hammer with new linear drive technology is counteracting the waste of resources. This project has been implemented through a total investment of appr. € 870.000 and an innovation grant by the Programme for Environmental Innovation of appr. € 167.500.

An electric-direct-drive realised by a linear motor is the core of the new drive system enabling a flexible control of speed and force. Hereby the required impact energy can be regulated precisely and thus enables accurate forging with very low tolerances.

This new, energy saving and environmentally friendly drive concept of the linear hammer is reducing material consumption of RUD-SCHÖTTLER by appr. 14%, power consumption by appr. 337.500 kWh/a and CO<sub>2</sub> emissions by appr. 130.000 kg CO<sub>2</sub>/a.

Schlagwörter

Linearhammer, Gesenkschmiede, Industriebereich, Umformtechnik, Schmiede, Lasthaken, Ösenhaken.

Anzahl der gelieferten Berichte  
Papierform: 5

Sonstige Medien: ---  
Veröffentlichung im Internet geplant auf der  
Homepage: [www.rud-schoettler.de](http://www.rud-schoettler.de)

## **Inhaltsverzeichnis zum Abschlussbericht**

<b>1. Einleitung</b>	<b>6</b>
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	6
1.2 Ausgangssituation	7
<b>2. Vorhabensumsetzung</b>	<b>9</b>
2.1. Ziel des Vorhabens	9
2.2. Darstellung der technischen Lösung	11
2.3. Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	14
2.4. Behördliche Anforderungen	17
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	17
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>18</b>
3.1. Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	18
3.2. Bewertung der Vorhabensdurchführung	26
3.3. Stoff- und Energiebilanz	27
3.4 Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO2- Reduzierung (t/a, t/je t Produkt)	27
3.5. Wirtschaftlichkeitsanalyse	29
<b>4. Empfehlungen</b>	<b>30</b>
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	30
4.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)	30
4.3 Zusammenfassung	30
<b>5. Anhang</b>	<b>32</b>
5.1 Technische Daten Linearhammer	32
5.2 Referenzdaten	34
5.2 Veröffentlichungen	35

## 1. Einleitung

### 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens



Bild 1: RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH in Hagen

Die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH produziert als Gesenkschmiedebetrieb, am Standort Hagen in Nordrhein–Westfalen, Schmiedestücke aus unlegierten, legierten-, hitze-, rost- und säurebeständigen Stählen, sowie aus Sonderwerkstoffen.

Die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH wurde im Jahre 1840 gegründet und hat seit über 100 Jahren ihren Sitz in Hagen. Als 100%ige Tochter der RUD Gruppe aus Aalen, werden mit etwa 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern ca. 400 Kunden aller Industriezweige im In- und Ausland betreut.

Gefertigt werden über 1200 verschiedene Schmiedestücke, größtenteils als Sicherheitsteile, wie Lashaken und Anschlagmittel, aber auch als Kundensonderwünsche. Das Stückgewicht liegt dabei zwischen 0,1 kg und 40 kg, die Losgrößen zwischen 2 Stück und 10.000 Stück. Hierzu stehen der Firma RUD--SCHÖTTLER verschiedene Fall- und Oberdruckhämmer mit einem Arbeitsvermögen von 9 kJ bis 55 kJ zur Verfügung.

Neben der Gesenkschmiede verfügt die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH über einen eigenen Werkzeugbau und einer mechanischen Werkstatt, in der die Produkte auf Kundenwunsch weiterbearbeitet werden können.

## 1.2 Ausgangssituation

Als Hersteller von Schmiedeteilen, produziert die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH ihre Bauteile mit verschiedenen Schmiedehämmern und den klassischen vor- und nachgelagerten Prozessen. Der Produktionsprozess startet mit dem Zuschnitt. Hier werden die Vormaterialien, die in Stangen von ca. 6m angeliefert werden, auftragsbezogen auf die benötigte Länge gesägt, oder nach einer Erwärmung des Materials auf die entsprechende Schmiedelänge abgeschert.

In einem Zwischenlager werden die Behälter mit den geschnittenen Vormaterialien den verschiedenen Schmiedehämmern zugeordnet und bis zum Schmieden eingelagert.

Anschließend wird das Rohmaterial in Öfen, durch Strom oder Gas, auf eine Temperatur von ca. 1100 °C erwärmt und kann, je nach Schmiedegeometrie, anschließend direkt im Schmiedegesenk bearbeitet, oder erst durch Vorwalzen und/oder Biegen in Form gebracht und anschließend geschmiedet werden.

Die, bei der Firma RUD--SCHÖTTLER, eingesetzten Schmiedehämmer, sind zum größten Teil hydraulische Hämmer.



Bild 2/3: konventionelle Schmiedehämmer mit Hydraulikantrieb

Diese Technik des hydraulischen Schmiedehammers ist ein bewährtes Umformaggregat für die Schmiedeindustrie. Beim Schmiedehammer wird ein Bär mittels Kolbenstange, die beim Abwärts- und Rückhub über ein mit 200 bar vorgespanntes Hydrauliksystem angesteuert wird, beschleunigt. Beim Aufschlag auf das auf 1100°C erwärmte Schmiedeteil, wird dieses umgeformt.

Nach dem Vorgang des Schmiedens, wird der durch das Schmieden entstandene Schmiedegrat, im nächsten Arbeitsschritt durch ein Werkzeug abgegratet, benötigte Bohrungen oder Löcher werden ausgestanzt.

Die Schmiedeteile, die einer Wärmebehandlung unterzogen werden, gehen zur auswärtigen Bearbeitung außer Haus.

Nach dem Schmieden, bzw. nach der Warmbehandlung werden alle Teile durch das Verfahren des Sandstrahlens gereinigt.

Da es sich bei den meisten Schmiedeteilen um Sicherheitsbauteile handelt, werden alle Schmiedeteile einer Rissprüfung unterzogen. Festgestellte Risse werden bis zu einem tolerierten Grad heraus geschliffen. Anschließend werden die nachgeschliffenen Artikel nochmals rissgeprüft. Bei Unterschreitung der Toleranz werden diese Teile als fehlerhaft entsorgt.

Die geprüften Artikel werden je nach Fertigungsvorgabe entweder zum Verkauf eingelagert, oder intern oder extern einer mechanischen Bearbeitung unterzogen. Anschließend werden einige Artikel zum auswärtigen Beschichten weggeschickt. Nach der Montage von Anbauteilen sind die Artikel versandfertig.

#### **Ist – Daten:**

(Basis Geschäftsjahr 01.07.2010 – 30.06.2011)

##### Gesamtproduktion:

- Materialeinsatz: 2.419 t/a
- Ausschussmaterial: 654 t/a  
(Gratschrott, Späne, fehlerhafte Teile)
- Ausschuss durch fehlerhafte Teile: 121 t/a

##### Auszutauschender Schmiedehammer:

- Materialeinsatz: 725,7 t/a
- Ausschussmaterial(Gratschrott, Späne, fehlerhafte Teile) : 196,3 t/a
- Ausschusses durch fehlerhafte Teile: 36,3 t/a
- Stromverbrauch des  
auszutauschenden Schmiedehammers: 115.650 kWh/a
- Öleinsatz für das Hydraulikaggregat des  
auszutauschenden Schmiedehammers: 1200 Liter / ½ Jahr

## 2. Vorhabensumsetzung

### 2.1 Ziel des Vorhabens

Mit der Anschaffung eines neuen Gesenkschmiedehammers mit Linearantrieb für ihre Produktion, wollte die Firma Peter Schöttler einen Schmiedehammer in ihre Produktion integrieren, der mit einem neuartigen, energiesparenden und umweltschonenden Antriebskonzept ausgerüstet ist.

Kern des neuartigen Antriebskonzepts sollte ein, mittels Linearmotor realisierter Elektro-Direktantrieb, sein, der es ermöglichen würde, eine flexible Geschwindigkeits- und Kraftwegsteuerung zu erzeugen, die in diesem Produktionssegment bisher noch nicht eingesetzt wurde.

Ziel sollte eine deutliche Erhöhung des Wirkungsgrades des Antriebes sein und damit eine Reduzierung der eingesetzten Energie und die Erhöhung der Teilegenauigkeit zur Reduzierung der Ausschussquote und somit dem verminderten Einsatz von Material.

Die Firma RUD--SCHÖTTLER wollte hierzu einen Gesenkschmiedehammer der Firma Schuler einsetzen, der die Nachteile des konventionellen Schmiedeprozess deutlich reduzieren soll. Entwickelt wurde der Linearhammer von der Firma Schuler AG mit Sitz in Göppingen, die Firma RUD--SCHÖTTLER will diesen erstmalig im großtechnischen Einsatz einsetzen.

Linearantriebe arbeiten prinzipiell wie Elektromotoren, nur dass die Spule nicht im Motor gewickelt ist, sondern über die Strecke linear ausgerollt wird. Er besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten: dem Wicklungspaket, das am statischen Teil der Maschine fixiert ist und dem Läufer, der den bewegten Teil der Maschine darstellt. Auf ihm sind die Magnete in abwechselnder Polarität montiert.

Ein wesentlicher Vorteil von Linearantrieben gegenüber den konventionellen hydraulischen Systemen ist die flexible Anpassung an die Schmiedeprozessanforderungen: Kraft, Weg und Geschwindigkeit sind flexibel steuerbar und können dem umzuformenden Material individuell angepasst werden. Dies ist mit hydraulischen Schmiedehämmern in diesem Umfang nicht möglich.

Vorhabensziele:

- Der Wirkungsgrad des hydraulischen Antriebs beträgt systembedingt nur ca. 35%. Das bedeutet, dass ein größerer Teil der eingesetzten Energie im System verloren geht. Im Vergleich zum hydraulischen Hammer beträgt der Wirkungsgrad über 60% und hat sich so nahezu verdoppelt. Es wird mit etwa 50% geringerem Energiebedarf für den Schmiedeprozess gerechnet.

- Im Gegensatz zu hydraulisch betriebenen Hämmern ist ein Linearhammer insgesamt deutlich wartungsärmer. Das liegt auch daran, dass Linearantriebe elektromagnetisch in einem berührungslosen Schwebezustand arbeiten. Dadurch kann auch der Verschleiß der Antriebskomponenten auf ein Minimum reduziert werden.
- Der sog. Läufer kann nach der Beschleunigung kraftlos gemacht werden und kurz vor dem Aufprall vom Stößel getrennt werden, was zur Reduzierung von Gegenkräften und somit zur Reduzierung von Schwingungen, Vibrationen, Verschleiß, etc. führt.
- Konventionelle Schmiedehämmer sind aufgrund ihres hydraulischen Antriebs auf Basis von Öl sehr wartungsintensiv. In regelmäßigen Abständen muss das Öl gewechselt werden. Das macht pro Hammer einen Verbrauch von rund 2400 Litern Öl im Jahr aus. Häufig werden auch die Steuerblöcke undicht, was Leckagen erzeugt. Diese entstehen dadurch, dass in kurzen Abständen viel Öl mit hohem Druck durch die Ventile gepresst wird. Da sich der Antrieb im Kopfstück des Hammers befindet, kann sich austropfendes Öl auf dem heißen Zunder beim Schmieden über Funkenflug leicht entzünden. Für den Linearantrieb ist kein Öl mehr erforderlich, was ihn umweltfreundlicher gestaltet als den Hydraulikantrieb und zusätzlich kann sich kein auslaufendes Hydrauliköl aus dem Aggregat mehr entzünden.
- Die fertigungsbedingten Toleranzen der Ventile und Antriebskomponenten verursachen eine Streuung, der in den Schmiedeprozess eingeleiteten Energie des Hammers von ca. 5%. Diese ist bei den steigenden Anforderungen an die Teilegenauigkeit nachteilig und führt zu erhöhtem Ausschuss und entsprechend viel unnötigem Materialeinsatz und Nacharbeit. Linearantriebe arbeiten mit sehr hoher Präzision. Im Vergleich zu konventionellen Gesenkschmiedehämmern bedeutet dies, dass mit der verbesserten Stößelkinematik eine sehr hohe Wiederhol- und Teilegenauigkeit erzielt werden kann. Hierbei entstehen ca. 50% weniger Ausschussware und weniger Nacharbeit an den Schmiedeteilen.
- Durch den ruhigen Lauf entstehen geringere Lärmemissionen.

## 2.2 Darstellung der technischen Lösung

Die wesentlichen Bestandteile der Innovation des Linearhammers bestehen aus dem linearen Direktantrieb und der flexiblen Hubsteuerung mit flexiblem Geschwindigkeits- / Kraftverlauf.

Hauptkomponenten:

1 – Kopfstück / Antrieb

2 – Bär

3 – Schabotte

4 – Schabotteneinsatz

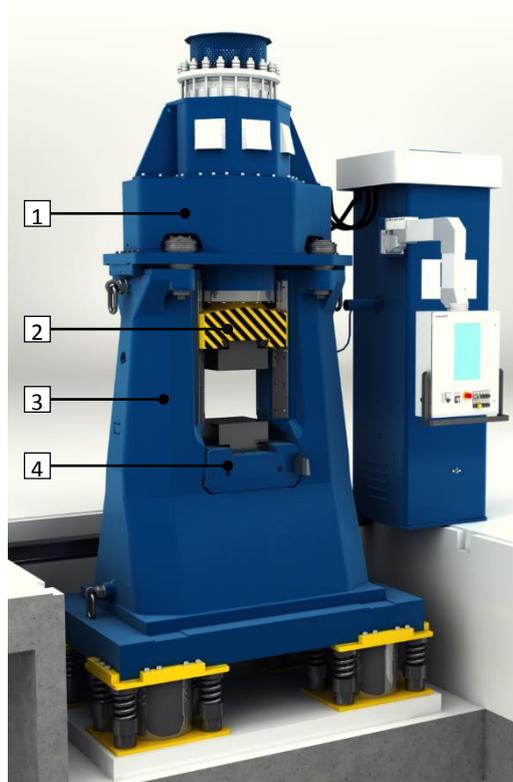


Bild 4: Linearhammer / Hauptkomponenten

### **Linearer Direktantrieb**

Linearantriebe arbeiten prinzipiell wie Elektromotoren, nur dass die Spule nicht im Motor gewickelt ist, sondern über die Strecke linear ausgerollt wird. Der Linearmotor besteht im Wesentlichen aus zwei Komponenten: dem Wicklungspaket, das am statischen Teil der Maschine fixiert ist und dem Läufer, auf dem die Magnete in abwechselnder Polarität montiert sind der den bewegten Teil der Maschine darstellt. Die Kupferwindungen führen den gesamten Strom des Linearmotors. Die Magnete erzeugen das magnetische Feld senkrecht zum Träger, deren Kraft zur Beschleunigung der Masse genutzt wird. Über den Läufer wird durch das elektromagnetische Feld der Stößel angetrieben, bzw. beschleunigt. Der Stößel hält dabei einen gewissen Abstand zum elektromagnetischen Feld.

Dies erfolgt durch einen elektromagnetisch geregelten Schwebezustand, daher wird diese Art des Antriebes auch berührungsloser Antrieb genannt.

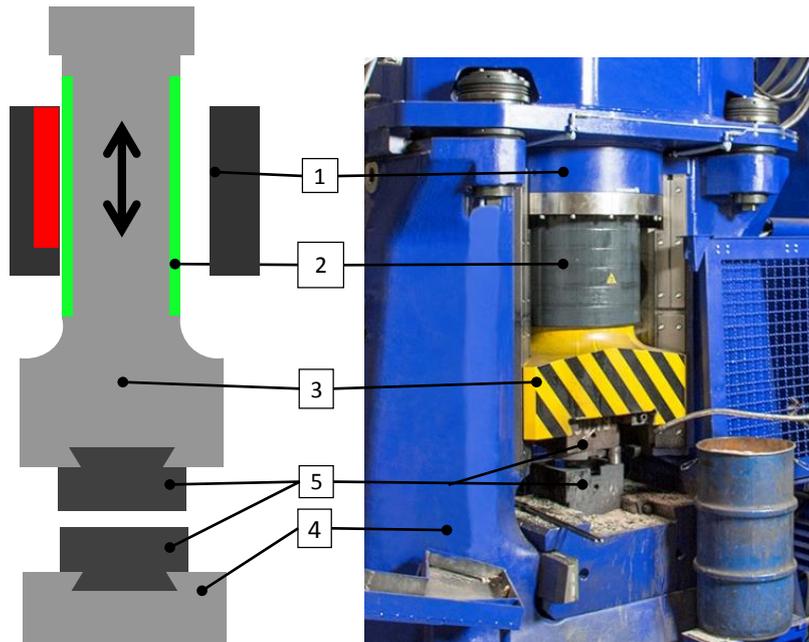


Bild 5: Linearantrieb

Antrieb des Linearhammers:

- 1 – Linearmotor (Stator)
- 2 – Permanentmagneten (Läufer)
- 3 – Bär
- 4 – Schabotte
- 5 – Gesenke (Werkzeuge)

Der lineare Direktantrieb hat für den Schmiedehammer folgende Vorteile:

- Hohe Beschleunigungen von bis zur sechsfachen Fallbeschleunigung
- Verfahrensgeschwindigkeiten bis 800 m/min
- Sehr hohe Präzision durch die unmittelbare und schwingungsfreie Krafteinspeisung in die zu umformende Masse, die es ermöglicht, mit höchster Bahn- und Wiederholgenauigkeit zu arbeiten und dabei eine sehr hohe Teilegenauigkeit zu erzielen.
- Wartungs- und Verschleißarm. Das liegt auch daran, dass Linearantriebe elektromagnetisch in einem berührungslosen Schwebезustand arbeiten. Dadurch kann auch der Verschleiß der Antriebskomponenten auf ein Minimum reduziert werden.

## Flexible Hubsteuerung mit flexiblem Geschwindigkeits- / Kraftverlauf

Beim Abwärtshub beim Schmieden, wird der Stößel je nach Schlagenergieauswahl vor dem Schlag auf eine variable Endgeschwindigkeit mit einem variablen Wegverlauf (Kurve oder Gerade) beschleunigt. Dabei soll der Linearantrieb vor dem Erreichen des unteren Umkehrpunktes des Stößels ohne Krafteinsatz von einer Regelungseinheit geschwindigkeits- oder wegabhängig frei programmierbar geregelt werden. So ist es möglich, nur die Energie für das Schmiedeteil einzusetzen, die hierfür auch benötigt wird. Der Rückhub (die Aufwärtsbewegung) erfolgt dann wiederum über die Kraftumkehr (über Invertieren des Magnetfeldes) durch den Linearantrieb.



Bild 6 / 7: Linearhammer

Eine Besonderheit dieser Innovation ist, das Magnetfeld des Linearmotors schon vor dem Schlag des Stößels auf ein Schmiedeteil umzukehren, bzw. kraftfrei zu schalten, so dass der Linearmotor sofort nach dem Schlag die Rückhubbewegung einleiten kann. Alternativ soll das Magnetfeld erst nach dem Schlag des Stößels auf das Schmiedeteil invertiert werden. Hierdurch kann bei einem vorhersehbaren starken Rückprall ein größeres Zeitfenster genutzt werden, da der zurückspringende Stößel von dem Linearmotor auf einer bereits angehobenen Stellung mitgenommen wird. Dies ist jedoch abhängig von der Härte des zu formenden Schmiedeteils: je härter das Material, bzw. je niedriger der Umformgrad ist, desto stärker ist der Rückprall.

Mit einem derartigen Verfahren ist es möglich, auch Hämmer mit einer Stoßelmasse im Tonnenbereich so zu betreiben, dass der Linearmotor, bzw. die mit ihm verbundenen Bauteile durch die abrupte Bewegungsumkehr keinen Schaden nehmen, bzw. dass die Bewegungsumkehr regelungstechnisch sauber durchführbar ist.



Bild 8: Linearhammer im Testbetrieb

### 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Nach Vorstellung der Idee eines, durch Linearmotoren angetriebenen, Schmiedehammers, durch die Firma Schuler im Hause RUD--SCHÖTTLER (ehemals Firma Peter Schöttler GmbH), startete das Vorhaben Ende 2011 mit dem Einreichen der Projektskizze. Nach der positiven Bewertung wurde im Mai 2012 der Antrag auf Förderung im Umweltinnovationprogramm gestellt und im September 2012 wurde dieser Antrag mit dem Zuwendungsbescheid bewilligt.

Der Beginn der offiziellen Laufzeit im Umweltinnovationsprogramm (UIP) startete am 17. Juli 2013 und endete am 31. Dezember 2014.

Begonnen wurde das Vorhaben „Linearhammer“ mit dem Kauf des Schmiedehammers. Zu diesem Zeitpunkt wurden verschiedene Finanzierungsmodelle geprüft. Für die Firma RUD--SCHÖTTLER wurde der Mietkauf als am besten geeignetste Lösung gewählt.

Mit einigen Bauarbeiten, wie die Verlegung von Leerrohren für die Zuleitungen die Verrohrung für die Wasserversorgung, konnte begonnen werden. Zusätzlich

wurde eine Netzanalyse durchgeführt und die Blindstromkompensation ist als Auftrag vergeben worden.



Bild 9/10: Entladen und Montage des Linearhammers

Anfang 2014 wurden von der Firma Schuler bereits einige Komponenten fertiggestellt, zu diesem Zeitpunkt war der Linearmotor das kritische Bauteil, was zu Verzögerungen des Vorhabens geführt hat.



Bild 11/12: Fundament mit Dämpfungselemente und Grundplatte

Die Demontage des alten hydraulischen Hammers wurde in der KW 23/2014 durchgeführt, mit dem Abriss des alten und Erstellung des neuen Fundamentes wurde in der KW 18/2014 begonnen und in der KW 30/2014 abgeschlossen. Mit der Montage und der Installation des Linearhammers wurde dann KW 31/2014 begonnen.



Bild 13/14: Aufstellung des neuen Linearhammers

Am 26.09.2014 wurde der Linearhammer in einer feierlichen Präsentation der Öffentlichkeit vorgestellt.



Bild 15: Präsentation des neuen Schmiedehammers



Bild 16: offizielle Inbetriebnahme durch Herrn Dr. Peter Jahns (Leiter Effizienz-Agentur NRW), Herr Jochen Früh (Geschäftsführer Schuler Pressen Weingarten), Dr. Jörg Rieger (Geschäftsführer RUD Ketten Rieger & Dietz), Dr. Hansjörg Rieger (Geschäftsführer RUD Ketten Rieger & Dietz)

## 2.4 Behördliche Anforderungen

An die Firma RUD--SCHÖTTLER wurden, in Bezug auf den neuen Linearhammer, keine behördlichen Anforderungen gestellt

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Firma Schuler hat während der Testphase Energieverbrauchsmessungen am Linearhammer durchgeführt. Zusätzlich wurden die Messungen an einem konventionellen Hammer durchgeführt (siehe Abschnitt 3.4). Aus diesen Vergleichsmessungen wurde das Energieeinsparpotential ermittelt.

Um die Materialeinsparung zu ermitteln, wurden Schmiedeversuche mit Bauteilen durchgeführt. Dabei wurden an gleichen Bauteilen, ausgehend vom Istzustand, der Rohmaterialdurchmesser und die Rohmateriallänge kontinuierlich verringert, um eine Gewichtsreduzierung und damit eine mögliche Materialeinsparung zu ermitteln.

Aus diesen Werten wurde dann das Gesamteinsparpotential an Energie, Material und die CO<sub>2</sub> – Reduzierung abgeleitet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Konzeption, Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

##### a) Energieeinsparung:

Zur Überprüfung des Energieeinparpotentials wurden am neuen Linearhammer verschiedene Versuche durchgeführt.

##### 1. Messreihe

In der ersten Versuchsreihe wurden die Versuche unter realen Schmiedebedingungen durchgeführt. Dabei wurden der neue Linearhammer KGE und ein hydraulischer Schmiedehammer KGH verglichen.

Ein normaler Schmiedevorgang besteht aus mehreren Vorschmiedungen (VS) und Fertigschmiedungen (FS). Bei dem Schmiedeteil handelt es sich um einen Lastbock, ein typisches Fertigungsteil der Fa. RUD – -SCHÖTTLER.



Bild 17: Schmiedeteile aus der Versuchsreihe



Bild 18: fertiger Lastbock



Bild 19: Schmiedegesenk mit eingelegtem Teil im KGE

Die erste Messreihe die Versuche unter folgenden Voraussetzungen durchgeführt:

- Der Lastbock wird in einem festgelegten Prozess auf einem hydraulischen Schmiedehammer (neueste Bauart) sowie dem Linearhammer abgeschmiedet.
- Das Teil wird jeweils mit der **gleichen Anzahl an Schlägen** sowie der **gleichen Schlagenergie je Schlag** umgeformt (d.h. Fertigteil beinhaltet bei beiden Hämmern nach dem Schmieden dieselbe Umformenergie).
- Das identische Werkzeug (Ober- + Untergesenk) wird bei beiden Hämmern verwendet.
- Um eine verlässliche Aussage des Energieverbrauchs ableiten zu können werden über den Messzeitraum pro Hammer 5 Teile abgeschmiedet.
- Die Umformung findet im zweistufigen Schmiedegesenk (Vor- & Fertigschmiedegesenk) statt.
- Die Schlagfolge ist identisch, drei Schläge Vorschmieden + ein Schlag Fertigschmieden.

MESSINHALT:

- Vergleich der Einzelprozesse von der Zuführung des Schmiedeteiles in den Hammer bis zum Fertigschmieden und Entnehmen.
- Schmiedeablauf für jeweils 5 Schmiedeteile wurden einzeln gemessen und die IST-Werte gemittelt (Durchschnitt).

KGE					KGH					
Einzel-Prozess-Betrachtung	Teil 1	Prozess	Schlag	Wert	Delta	Teil 1	Prozess	Schlag	Wert	Delta
		Start		0,025	0,100		Start		0,152	0,121
		VS	1				VS	1		
		VS	2				VS	2		
		VS	3				VS	3		
		FS	4	0,111			FS	4	0,257	
	Ende		0,125	Ende		0,273				
	Teil 2	Prozess	Schlag	Wert	Delta	Teil 2	Prozess	Schlag	Wert	Delta
		Start		0,147	0,105		Start		0,271	0,113
		VS	1				VS	1		
VS		2	VS				2			
VS		3	VS				3			
FS		4	0,239	FS			4	0,367		
Ende		0,252	Ende		0,384					
Teil 3	Prozess	Schlag	Wert	Delta	Teil 3	Prozess	Schlag	Wert	Delta	
	Start		0,252	0,101		Start		0,387	0,115	
	VS	1				VS	1			
	VS	2				VS	2			
	VS	3				VS	3			
	FS	4	0,341			FS	4	0,485		
Ende		0,353	Ende		0,502					
Teil 4	Prozess	Schlag	Wert	Delta	Teil 4	Prozess	Schlag	Wert	Delta	
	Start		0,348	0,097		Start		0,503	0,118	
	VS	1				VS	1			
	VS	2				VS	2			
	VS	3				VS	3			
	FS	4	0,435			FS	4	0,605		
Ende		0,445	Ende		0,621					
Teil 5	Prozess	Schlag	Wert	Delta	Teil 5	Prozess	Schlag	Wert	Delta	
	Start		0,445	0,098		Start		0,635	0,120	
	VS	1				VS	1			
	VS	2				VS	2			
	VS	3				VS	3			
	FS	4	0,533			FS	4	0,736		
Ende		0,543	Ende		0,755					
Mittelwert Linearhammer KGE: <b>0,100</b> kWh					Mittelwert KGH: <b>0,117</b> kWh					

Bild 20: Messergebnisse Linearhammer KGE und hydraulischer Hammer KGH

### Energieverbrauch in kWh

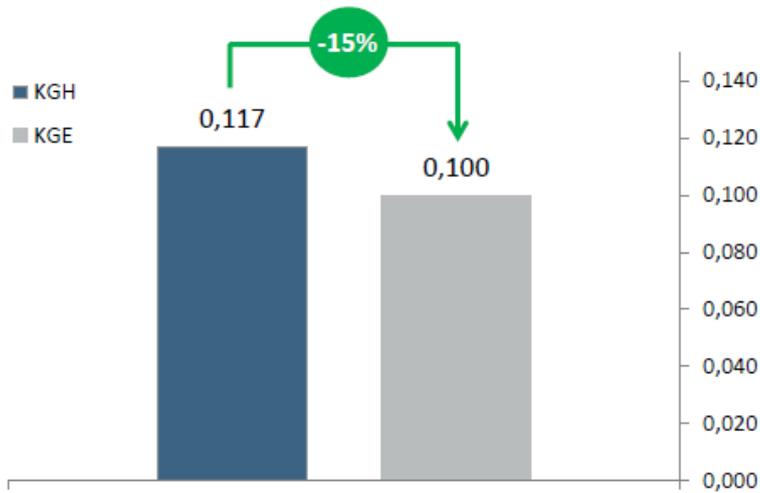


Bild 21: Energieeinsparung unter realen Bedingungen

### 2. Messreihe:

In dieser Messreihe wird der Energieverbrauch über die gesamte Sequenz des Schmiedens ermittelt. Bei einer festgelegten Zeitdauer werden auf beiden Hämmern sechs Teile geschmiedet.

### Energieverbrauch in kWh

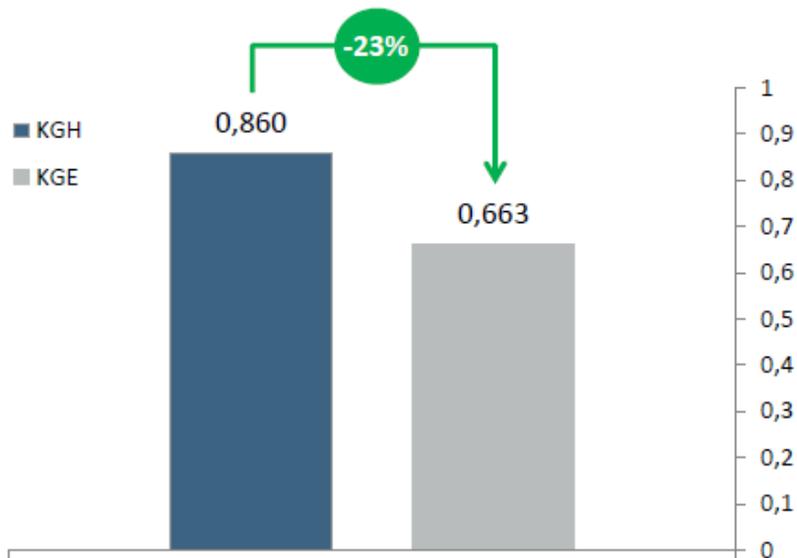


Bild 22: Energieeinsparung über die gesamte Schmiedesequenz

### 3. Messreihe:

In dem letzten Versuch sollten die Energieverbräuche bei unterschiedlicher Schlagenergie ermittelt werden. Dazu wurde die Energie der einzelnen Schläge und der Ruhestellung ermittelt. Für jede Schlagenergie wurden 22 Schläge ohne Pausenzeiten durchgeführt.

#### Energieverbrauch in kWh

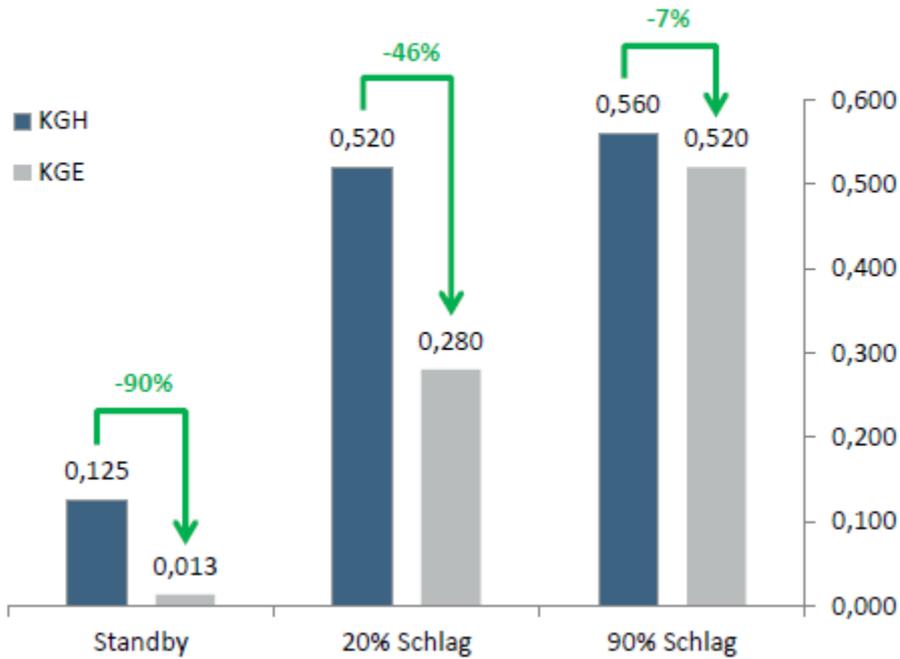


Bild 23: Vergleich der Hammerschläge bei unterschiedlichen Schlägen

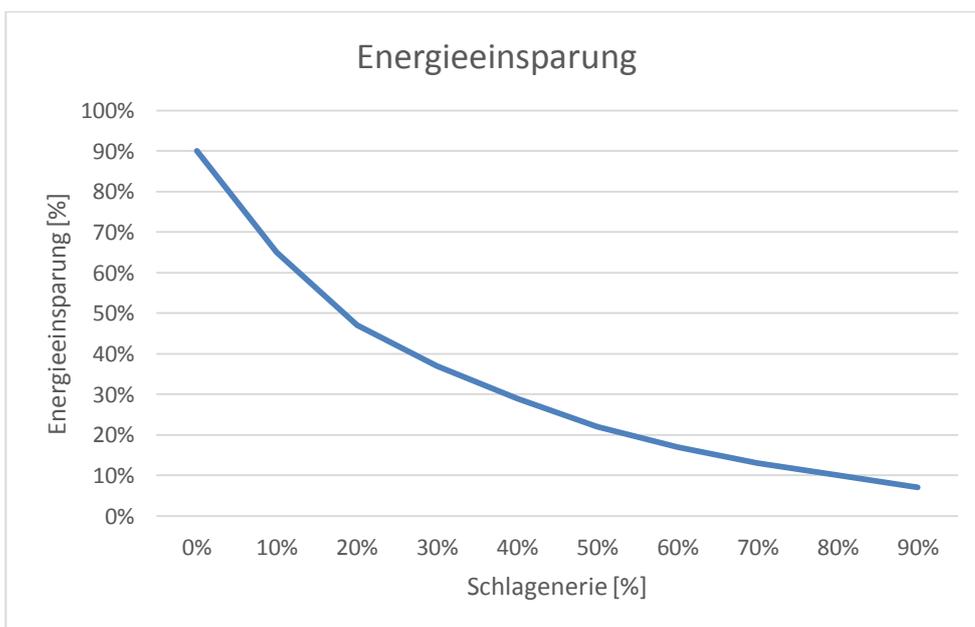


Diagramm 1: Abhängigkeit zwischen Energieverbrauch und Schlagenergie

### Ergebnis Energieeinsparung:

Aus dem Diagramm 1 kann man ablesen, dass, je geringer die Schlagenergie ist, desto größer ist beim Linearhammer die Energieeinsparung. In der Ruhestellung bzw. im Standbybetrieb ist die Energieeffizienz sehr hoch.

Der berechnete arithmetische Mittel aus den in Tabelle 1 ermittelten Werten ergibt ein durchschnittliches Energieeinsparpotential von ca. 33,7%. Dieser Wert wird auch für die Ermittlung der Kosteneinsparungen herangezogen.

### b) Materialeinsparung

In dieser Versuchsreihe wurde das Ausgangsmaterial (Einsatzgewicht) eines Ösenlasthakens in mehreren Schritten reduziert.



Bild 24: Versuchsreihe S1 bis S3

### Ausgangswerte:

- Einsatzgewicht: 1,74 kg
- Durchmesser: Ø 40,0 mm
- Länge: 176 mm

Der Versuch umfasst drei Messreihen, Serie S1 – S3 mit jeweils 5 Teilen.

- Serie 1: Reduzierung des Durchmessers des Rohlings
- Serie 2: Reduzierung der Länge
- Serie 3: Reduzierung des Durchmessers und der Länge
-

Dabei wird der Durchmesser beginnend bei 40mm in 0,5mm Schritten geändert; die Länge in 1mm Schritten, beginnend bei 176mm. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse des Versuchs:

Teil	Länge [mm]	Durchmesser [mm]	Masse [kg]	Einsparung [%]
S1 – T1	176,0	39,5	1,675	3,52
S1 – T2	176,0	39,0	1,635	5,83
S1 – T3	176,0	38,5	1,595	8,13
S1 – T4	176,0	38,0	1,555	10,44
S1 – T5	176,0	37,5	1,510	13,03
S2 – T1	175,0	40,0	1,700	2,08
S2 – T2	174,0	40,0	1,690	2,66
S2 – T3	173,0	40,0	1,680	3,24
S2 – T4	172,0	40,0	1,665	4,10
S2 – T5	171,0	40,0	1,650	4,96
S3 – T1	175,0	39,5	1,670	3,81
S3 – T2	174,0	39,0	1,600	7,84
S3 – T3	173,0	38,5	1,570	9,57
S3 – T4	172,0	38,0	1,520	12,45
S3 – T5	171,0	37,5	1,480	14,75

Bild 25: Ergebnisse - Ausgangsmaterialreduktion

Aufgrund der durch den Antrieb bedingten Präzision des Aggregates, kann der Ungenauigkeitsfaktor, der durch Zugabe beim Material neutralisiert wird, entfallen. Die Abmessung kann wesentlich genauer auf das Teil angepasst werden. Dadurch, dass die Schlagenergie, dauerhaft mit einer Abweichung von 0,05% reproduziert werden kann, entsprechen alle Teile den Toleranzfeldern der Konstruktion. Reduziert werden kann daher, wie im Versuch dargestellt, nicht nur die Länge, sondern auch der Durchmesser des Vormaterials.

Die Versuchsanordnung hat gezeigt, dass die Bestimmung des Vormaterials, je nach Abmessung, Gewicht und Schwierigkeitsgrad des Produktes, für linear angetriebene Gesenkschmiedehämmer völlig neu überdacht werden muss.

Als Ergebnis kann mit einer Reduzierung des Einsatzmaterials, je nach Beschaffenheit des Bauteiles, von ca. 10 bis 15% gerechnet werden.

### c) Energieeinsparung durch Materialreduktion

Durch die Reduzierung der Einsatzgewichte wird auch die benötigte Schlagenergie zur Verformung der Bauteile verringert.

Mit den Gewichtsdaten des Ösenlasthakens aus Bild 25 wird über ein Berechnungsprogramm der Fa. Schuler die Schlagarbeit ermittelt.

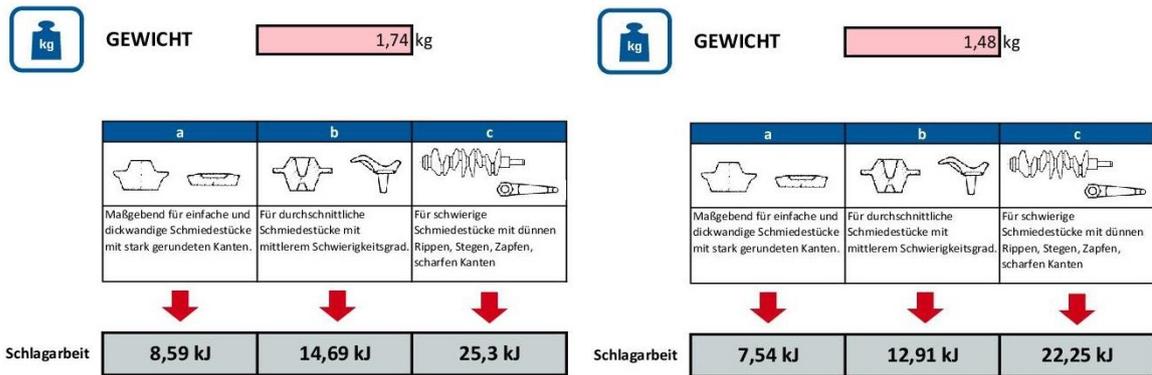


Bild 26/27: Berechnungsprogramm der Fa. Schuler für den Ösenlasthaken bei 1,74 kg und 1,48 kg

Ausgehend von der Geometrie des Ösenlasthakens wird die Schlagarbeit der Spalte „b“ zugrunde gelegt, so dass bei einem Ausgangsgewicht von 1,74 kg pro Teil, eine Schlagarbeit von 14,69 KJ benötigt wird. Nach der Verringerung des Durchmessers und der Ausgangslänge, beträgt das Einsatzgewicht noch 1,48 kg und die benötigte Schlagarbeit reduziert sich auf 12,91 KJ.

Dies entspricht einer Reduzierung der Schlagenergie um 12,1 %

Nach Diagramm 1 aus Abschnitt 3.1 ist die Energieeinsparung von der benötigten Schlagenergie abhängig. Zur Vereinfachung der Berechnung wird bei der Energieeinsparung mit einem berechneten Mittelwert von 33,7% ausgegangen.

Mit der reduzierten Schlagenergie von 12,1 %, wird mit dem Diagramm 1 die weitere durchschnittliche Energieeinsparung ermittelt. Diese liegt ca. 9% über den bisher berechneten Durchschnittswert und beträgt 42,7 %.

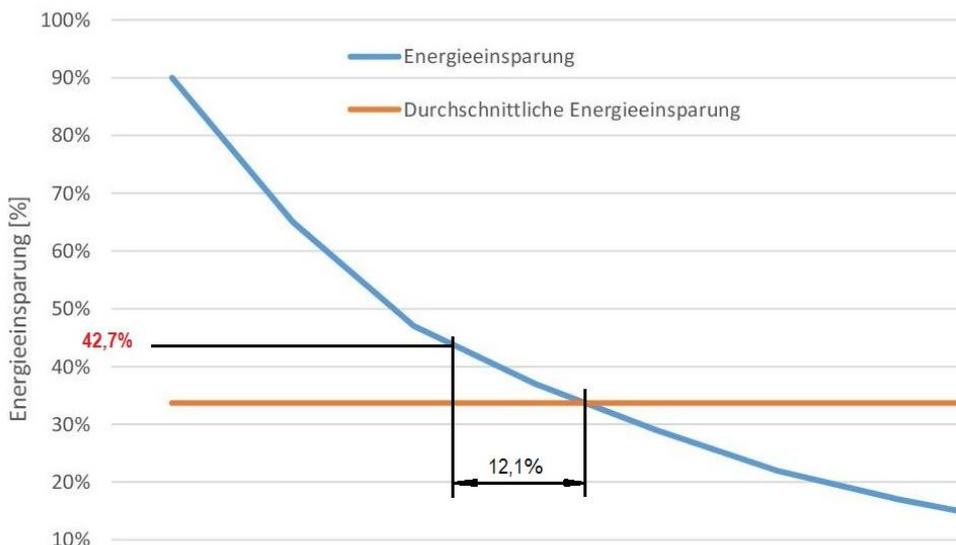


Diagramm 2: Energieeinsparung mit optimierten Bauteilen

Zusätzlich wurden noch die gleichen Artikel verglichen, die 2014 auf einem konventionellen hydraulischen Hammer und 2015 auf dem Linearhammer produziert wurden.

Ausschussquote durch fehlerhafte Teile:

- hydraulischer Hammer: 4,4 %
- Linearhammer: 2,6 %

---

Differenz: 1,8 %

Da der Ausschuss der fehlerhaften Teile nicht allein vom Schmiedehammer abhängt, sondern in der gesamten Prozesskette entsteht, liegt dieser trotz der geringen Toleranzen des Linearhammers noch bei 2,6 %. Ein Grund hierfür ist die Schlacke, die sich durch den Sauerstoff im Ofen bildet. Bauartbedingt lässt sich diese an diesem Gasofen nicht unterdrücken, so dass hier noch erhöhter Ausschuss entsteht, der nicht auf den Linearhammer zurückzuführen ist.

Anmerkung:

Zum Vergleich der Messergebnisse, werden die ermittelten Werte bei der Antragstellung zu Grunde gelegt und so das Einsparpotential ermittelt. Basierend auf den heutigen Werten und Kosten, wird das Ergebnis noch günstiger ausfallen.

### 3.2 Bewertung der Vorhabensdurchführung

In dem neuen Linearhammer steckt ein enormes Potential. Sowohl die eingesetzte Energie, als auch der Materialeinsatz lassen sich deutlich reduzieren. Die ersten Versuche haben einen sehr positiven Trend in die richtige Richtung aufgezeigt. Das, in der Antragsphase, ermittelte Materialeinsparpotential ist durch die präzise Führung weitaus höher, da die Toleranzabweichungen reproduzierbar niedriger ausfallen.

Zusätzlich ist noch eine Einsparung an den Gesenken zu erwarten, da auch hier, bedingt durch die reduzierten Ausgangsmaterialien und die präzise Schmiedung, der Werkzeugverschleiß minimiert werden kann.

Es ist davon auszugehen, dass die im Antrag angenommenen Einsparungen verbessert werden und das Gesamteinsparpotential bei Material, Energie und CO<sub>2</sub> – Ausstoß nochmals erhöht wird.

### 3.3 Stoff- und Energiebilanz

Ausgehend von den im Antrag ermittelten Ist-Werten beim Material und Energiebedarf, wurde das Einsparpotential anhand der Tests und Messwerte aus Abschnitt 3.1 ermittelt. Beim Material wurde im Versuch (Bild 25) eine Materialeinsparung von 14,75 % ermittelt. Eine Abschätzung über alle Teile wurde mit 10-15% bewertet, so dass für die Berechnung ein Mittelwert von 12,5 % als Einsparung zu Grunde gelegt wird. Die Werte der Energieeinsparung wurden mit dem Durchschnittswert von 42,7 % berechnet.

Einsparung Einsatzmaterial: 90.700 kg/a  
Einsparung durch Ausschussreduzierung: 11.400 kg/a

**Gesamtmaterialeinsparung pro Jahr: 102.100 kg/a**

Energieeinsparung (Strom) durch  
- energieeffizienteren Linearhammer: 57.666 kWh/a  
(durch 42,7% energieeffizienteren Linearhammer)  
- Materialreduktion: 65.957 kWh/a  
(Reduzierung des Einsatzgewichtes (12,5%) und  
der Einsatzmenge (1,8%) in den vor- und nachgelagerten  
Prozessen)

Energieeinsparung (Gas) durch  
- Materialreduktion: 147.535 kWh/a  
(durch Rohteilerwärmung)  
- weniger Material in der externen Wärmebehandlung: 66.365 kWh/a

**Gesamtenergieeinsparung pro Jahr: 337.523 kWh/a**

**Einsparung Hydrauliköl pro Jahr: 2400 l/a**

### 3.4 Umweltbilanz (bei Klimaschutzvorhaben: stets Angabe der CO<sub>2</sub>-Reduzierung (t/a, t/je t Produkt))

Die Umweltbilanz umfasst, neben der Materialreduktion und der daraus resultierenden Energieeinsparung, auch die Einsparungen durch die Reduzierung bei der Stahl- und Hydraulikölherstellung.

### a) jährliche interne Einsparung

i) Energieeinsparung durch	
- energieeffizienteren Linearhammer (Strom):	57.666 kWh/a
- Materialreduktion (Strom):	65.957 kWh/a
- Materialreduktion (Gas):	147.535 kWh/a
- weniger Material in der Wärmebehandlung (Gas):	66.365 kWh/a
ii) Materialeinsparung (Stahl) durch	
- Reduzierung des Einsatzmaterials):	90.700 kg/a
- Einsparung durch Ausschussreduzierung:	11.400 kg/a
iii) CO <sub>2</sub> – Einsparungen durch	
- energieeffizienteren Linearhammer	34.427 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>1)</sup>
- Energieeinsparung durch Materialreduktion(Strom):	39.376 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>1)</sup>
- Energieeinsparung durch Materialreduktion(Gas):	38.551 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>2)</sup>
- weniger Material in der Wärmebehandlung:	17.341 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>2)</sup>
iv) jährliche Hydrauliköleinsparung	2.400 l/a

### b) jährliche externe Einsparung

(durch Herstellung von Stahl und Hydrauliköl)

i) Energieeinsparung durch	
- Reduzierung bei der Stahlherstellung:	724.706 kWh/a <sup>5)</sup>
ii) CO <sub>2</sub> – Einsparungen durch	
- Stahlherstellung:	178.675 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>3)</sup>
- Hydraulikölherstellung:	624 kg CO <sub>2</sub> /a <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> CO<sub>2</sub> – Produktion Strom: 0,597 kg CO<sub>2</sub>/kWh Strom - (Angaben GEMIS-Datenbank)

<sup>2)</sup> CO<sub>2</sub> – Produktion Gas: 2,613 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Gas - (Angaben GEMIS-Datenbank)

<sup>3)</sup> CO<sub>2</sub> – Produktion Stahl: 1,75 kg CO<sub>2</sub>/kg Stahl- (Angaben GEMIS-Datenbank)

<sup>4)</sup> CO<sub>2</sub> – Produktion Öl: 0,26 kg CO<sub>2</sub>/l Öl (keine Werte für Mineralöl verfügbar, daher Verwendung von Diesel (Quelle: <http://biodieselproject.de/oekobilanz.html>))

<sup>5)</sup> Energiebedarf Stahlherstellung: Ø 7.098 kWh/t (Quelle: UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ)

## Zusammenfassung

Stoff	Einsparung pro Jahr
	[absolut]
<b>Stahl</b>	<b>102,1 t/a</b>
<b>Energie</b>	<b>intern Strom: 123,6 MWh/a</b> <b>intern Gas: 213,9 MWh/a</b> (inkl. externer Wärmebehandlung)  <b>extern Strom: 724,7 MWh/a</b> (für Stahlherstellung)
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>intern 129,7 t CO<sub>2</sub>/a</b> (inkl. externer Wärmebehandlung)  <b>extern 179,3 t CO<sub>2</sub>/a</b>
<b>Hydrauliköl</b>	<b>2.400 l/a</b>

### 3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die erreichten Einsparungen beim Material, Energie und Personalkosten, wurden mit den gesamten Projektkosten des neuen Linearhammers ins Verhältnis gesetzt, um so die Amortisation der Investition zu ermitteln. Dabei ergeben sich folgende jährliche Einsparungen:

Kosteneinsparungen:

Materialeinsparung:	ca. 86.000 €
Stromkosten:	ca. 15.900 €
Gaskosten:	ca. 10.800 €
Hydrauliköl:	ca. 9.600 €
Lohnkosten:	ca. 48.000 €
<u>Einsparung in der Wärmebehandlung:</u>	<u>ca. 12.250 €</u>
<b>Summe pro Jahr:</b>	<b>ca. 182.550 €</b>

Die Amortisationszeit der gesamten Projektkosten für den Linearhammer (837.959 € lt. Förderantrag) beträgt:

Amortisationszeit<sub>ohne Förderung</sub> = 4,59 Jahre

Die Amortisationszeit reduziert sich mit der Förderung (Förderbetrag 167.592 €) nochmals und beträgt dann:

Amortisationszeit<sub>mit Förderung</sub> = 3,67 Jahre

## 4. Empfehlungen

### 4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Der Linearhammer wurde als Prototyp entwickelt und erstmalig bei der Firma RUD-SCHÖTTLER eingesetzt. Die Schwierigkeiten lagen eher in der erstmaligen Entwicklung und Produktion eines derartigen Linearmotors, die, mit der verzögerten Lieferung des Motors, die gesamte Projektlaufzeit verlängert haben. Direkt nach der Aufstellung des neuen Linearhammers konnte aber mit der Produktion begonnen werden.

Um das gesamte Potential des Linearhammers auszuschöpfen, sollten alle Gesenke und Ausgangsmaterialien optimiert werden. Diese Umstellung ist immer noch nicht abgeschlossen, wird aber kontinuierlich vorangetrieben. Der Einsatz des neuen Linearhammers hat in der Summe schon heute die erwarteten Einsparungen erreicht. Die endgültige Einsparmenge lässt sich erst nach Umstellung aller Materialien und Gesenke angeben.

### 4.2 Modellcharakter (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/ Anlage/ Produkt)

Der Linearhammers ist in Gesenkschmiedebetrieben direkt einsetzbar. Der eigentliche Schmiedeprozess wird bei diesem Verfahren nicht verändert, so dass eine 100%ige Übertragbarkeit der Technik gewährleistet ist.

Durch die präzise einsetzbare Schlagenergie, abhängig von der Bauteilgröße, kann der Linearhammer eine große Bandbreite an Bauteilen bearbeiten. Da sich auch bei kleineren Bauteilen die einzusetzende Energie optimal einstellen lässt, arbeitet der Hammer in allen Bereichen sehr effizient.

Ein weiteres Einsatzgebiet ist die sehr gute Automatisierbarkeit des Linearhammers. Durch die Steuerung können die Zuführung und die Entnahme der Bauteile, mittels Signalaustausch von Robotern und Bär, präzise aufeinander abgestimmt werden.

### 4.3 Zusammenfassung

Die Firma RUD--SCHÖTTLER Umformtechnik & Systemlieferant GmbH aus Hagen hat, durch eine Neuinvestition, einen vorhandenen hydraulischen Schmiedehammer durch einen neuen, innovativen Schmiedehammer mit elektrischen Linearantrieb ersetzt.

Kern des neuartigen Antriebskonzeptes ist ein, mittels Linearmotor realisierter Elektro-Direktantrieb, der es ermöglicht, eine flexible Geschwindigkeits- und Kraftwegsteuerung zu erzeugen. Hierdurch lässt sich die benötigte Schlagenergie sehr präzise steuern und ermöglicht so eine genaue Schmiedung mit sehr kleinen Toleranzen.

Mit der Anschaffung eines neuen Gesenkschmiedehammers mit Linearantrieb für ihre Produktion, verfügt die Firma Peter Schöttler über einen Schmiedehammer, der mit einem neuartigen, energiesparenden und umweltschonenden Antriebskonzept ausgerüstet ist.

Mit dem neuen Linearhammer kann der Materialverbrauch um ca. 14%, die Energie um ca. 337.500 kWh/a und der CO<sub>2</sub> – Ausstoß um ca. 130.000 kg CO<sub>2</sub>/a reduziert werden.

## 5. Anlagen

### 5.1 Technische Daten des Linearhammers:

#### **BECHE Linearhammer Typ KGE 2.0 B**

##### **Arbeitskenngrossen**

Arbeitsvermögen,		max. 20 kJ
Max. Schlagfrequenz bei Nennarbeitsvermögen und Prellschlägen		120 min <sup>-1</sup>
Davon nutzbare Schläge bei Nennarbeitsvermögen		50 min <sup>-1</sup>
Max. Schlagfrequenz bei Rollschlag		122 min <sup>-1</sup>

##### **Abmessungen Werkzeugraum**

Bärhub:	min.	455 mm
	max.	665 mm
Gesenkhöhe ohne Schwalbe (gesamt):	min.	135 mm
	max.	345 mm
Lichte Weite zwischen den Führungen, ca.		570 mm
Bärtiefe, ca.		450 mm

##### **Weitere Abmessungen und Gewichte**

Bauhöhe über Flur, ca.		4500 mm
Schabottenfuß:	Breite	2000 mm
	Tiefe	1300 mm
Gesamtgewicht Hammer, ca.		28000 kg

##### **Anschlussdaten**

Hauptantrieb Bemessungsleistung		190 kW
Schmierung		0,18 kW
Gesamtanschlußwert		450 kVA
Betriebsspannung / Frequenz		400/50 V/Hz
Steuerungsspannung / Frequenz		230/50 V/Hz
		24 V DC

Wasserkühlung

Leitungslänge zum Kühler, max.	20 m
Vorlauftemperatur Kühlwasser	25 °C
Anschlussquerschnitt Wasser	1 "DN

## 5.2 Referenzdaten

Die Referenzdaten wurden als Basis für die Berechnungen zugrunde gelegt.

Stromverbrauch pro kg Stahl:	0,805 kWh/kg
Stromkosten pro kg Stahl:	0,1284 €/kg
Gasverbrauch pro kg Stahl:	1,445 kWh/kg
Gaskosten pro kg Stahl:	0,0732 €/kg
Stahlkosten:	850 €/t
Lohnkosten pro kg Stahl:	0,475 €/kg
Wärmebehandlungskosten pro kg Stahl:	0,121 €/kg

Energiebedarf Stahlherstellung: Ø 7.098 kWh/t

(Quelle: UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ)

### **Berechnungsgrundlage für Energiebedarf und CO<sub>2</sub> - Produktion**

Wärmebehandlung Stahl: Ø 650 kWh/t

CO<sub>2</sub> – Produktion Stahl: 1,75 kg CO<sub>2</sub>/kg Stahl

CO<sub>2</sub> – Produktion Öl: 0,26 kg CO<sub>2</sub>/l Öl \*\*

CO<sub>2</sub> – Produktion Strom: 0,597 kg CO<sub>2</sub>/kWh Strom

CO<sub>2</sub> – Produktion Gas: 2,613 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> Gas

(CO<sub>2</sub>-Äquivalente aus Angaben GEMIS-Datenbank)

\*\*keine Werte für Mineralöl verfügbar, daher Verwendung von Diesel (Quelle:  
<http://biodieselproject.de/oekobilanz.html> )

### 5.3 Veröffentlichungen

Der Linearhammer wurde von der Firma RUD-Schöttler und der Firma Schuler u.a. in folgenden Fachzeitschriften veröffentlicht:

- **Schmiede Journal**, Ausgabe September 2014
- **Schmiede Journal**, Sonderheft 1/2015
- **Fluid**, Ausgabe 1-2/2015
- Div. Regionale Medien, wie
  - *Radio Hagen* (26.09.2014)
  - **Wirtschaft Regional, Wirtschaftszeitung für die Region Ostwürttemberg**, Ausgabe 10, Oktober 2014
  - **Südwestfälische Wirtschaft**, SIHK, November 2014