

# **Simulation einen Antriebsstranges einer stationären Arbeitsmaschine**

Dipl.-Ing. Reinhard TOBER

Fachhochschule Kärnten, Standort Villach

## **Abstract.**

Arbeitsmaschinen müssen sich aufgrund der Betriebskosten, gesetzlich vorgegebenen Rahmenbedingungen sowie sozialer Akzeptanz seit geraumer Zeit der Herausforderung Energieeffizienz stellen. Um Antriebsstränge solcher Maschinen optimal auslegen zu können, möchte man sich auf Simulationen stützen, welche den erreichbaren Wirkungsgrad abschätzen können. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Simulation eines vorhandenen Shredderantriebes für die stationäre Vorzerkleinerung mit Hilfe der Software SimulationX von ESI ITI und den einhergehenden Problemen. Es werden Lösungsansätze gesucht, um Antriebskonfigurationen, im Speziellen Massenträgheiten oder auch Übertragungsglieder zu identifizieren, die zu höheren Wirkungsgraden führen. Darüber hinaus wird eine Vorschau auf weiterführende Tätigkeiten gegeben.

**Keywords:** Simulation, Antrieb, Shredder, SimulationX

## 1 Ausgangslage

Ein Shredder dient der Zerkleinerung von vorwiegend Müll, welcher im Anschluss für weiterführende Recyclingarbeiten, sei es einer weiteren und präziseren Sortierung oder auch einer Ersatzbrennstoffaufbereitung zugeführt werden soll. Dies geschieht über eine angetriebene Schneidwalze, welche verschiedene Messertypen aufweisen kann (je nach Aufgabegut und Ergebniswunsch), mit welcher dann das aufgegebene Gut zerkleinert wird. Während bei mobilen Shreddern das zu transportierende Gewicht erstgereiht und danach erst die Energieeffizienz betrachtet wird, ist bei Stationärmaschinen die Energieeffizienz von größter Bedeutung (24/7 Betrieb) und gemeinsam mit Wartungsfreundlichkeit eines der schlagenden Argumente im Verkauf.

Der zu betrachtende Shredder für die stationäre Vorzerkleinerung wird angetrieben von einem E-Motor mit 132kW Nennleistung bei einer Nenndrehzahl von 990rpm, welcher danach zweimal via Keilriemenbänder untersetzt wird zu einer Rotor-Nenndrehzahl von 112rpm.

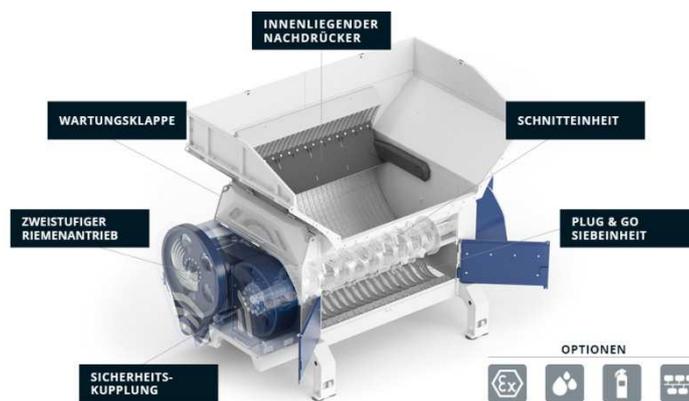


Abbildung 1: Stationärer Vorzerkleinerer Jupiter (Lindner Recyclingtech GmbH)

Es soll ein Modell gebildet werden, welches den oben beschriebenen Antriebsstrang simuliert um damit Aussagen treffen zu können, welcher Wirkungsgrad zu erwarten ist. Weitergehend soll das Modell so aufbereitet werden, dass eine Abänderung zu anderen Maschinenkonfigurationen (Antrieb, Messertypen, ...) oder auch anderen Übertragungselemente (wie etwa Getrieben) einfach möglich ist.

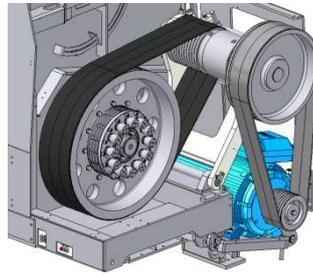


Abbildung 2: Schematischer Aufbau (Lindner Recyclingtech GmbH)

Als Datenbasis wird ein von dem Unternehmen aufgezeichneter Datensatz herangezogen, welcher im Wesentlichen die Daten (Drehzahl / Drehmoment) der E-Maschine widerspiegelt. Aufgezeichnet wurde mit einer Frequenz von 50 Hz ( $\Delta t = 20\text{ms}$ )

## 2 Ergebnisse:

Es wird von einem einfachen Modell, in welchem anstatt der Riemen konstante – idealisierte - Übersetzungen verwendet werden, ausgegangen. Die elektrische Maschine wird zunächst als simple Drehmomentquelle modelliert, am Abtrieb wird ein Drehzahlprofil (wie gemessen) vorgegeben – welches antriebsseitig wiederum ein Moment erforderlich macht. Dieses Antriebsmoment wird dem gemessenen Antriebsmoment der E-Maschine in der Auswertung gegenübergestellt.

Das übermittelte Drehzahlprofil zeigt regelmäßige, wengleich unterschiedlich stark ausgeprägte, Drehzahleinbrüche, welche auf den Leistenrotor (gleichmäßige verteilte Messerleisten am Umfang) zurückzuführen sind. Diese abrupten Beschleunigungen / Verzögerungen, führen noch zu Problemen wie unterhalb geschildert.

Da keine Abtriebsdaten bekannt sind, wurde zunächst der Ansatz gewählt, dass der Antrieb den Wirkungsgrad  $\eta=1$  für ein gewisses Zeitfenster aufweisen muss. (eingebrachte Leistung gleich der ausgebrachten Leistung)

Der Ansatz bringt das Problem mit sich, dass der Messdatensatz nicht mit der Drehzahl  $n=0$  rpm anfängt und auch nicht mit  $n=0$  rpm aufhört, weshalb der Wirkungsgrad über ein beliebiges Zeitfenster bereits ungleich 1 ist.

Ein weiteres Problem, das tatsächlich nachgebaute Modell in SimulationX schwingt sehr stark. Durch Dämpfungsglieder kann man Verluste im Modell platzieren, welche das Schwingverhalten verbessern, allerdings kann nicht validiert werden, ob diese Verluste der Realität entsprechen, zumal, wie oberhalb geschildert, keine Abtriebsdaten bekannt sind. Ein weiterer Versuch, das Schwingen zu minimieren, würde mit einem PT1 Glied gelingen [1]. Durch dieses bekommt man natürlich eine kleine Verzögerung (je nach T Einstellung) in den Ergebnisdaten, was aber für eine qualitative Aussage, bzw. eine erste Modellvalidierung keinen Unterschied macht, sehr wohl ist aber somit erster Ansatz den Wirkungsgrad  $\eta=1$  im Modell abzubilden nicht mehr

machbar, weil somit die errechneten Eingangsdaten zu den gemessenen um den T-Anteil versetzt sind.

Zur Veranschaulichung: Es gibt Bereiche wo innerhalb von 20ms ein Drehzahlabfall von 15 rpm in den Ausgangsdaten aufscheint. Ein solch schneller Drehzahlabfall bewirkt alleine aufgrund der wirksam werdenden Trägheitsmomente einen kurzzeitigen Drehmomentanstieg von rund 80.000 Nm an der Shredderwelle. Dazu sei auf folgende Formeln hingewiesen [2]:

$$\begin{aligned} J_{\text{red}} &= J_3 + i_{12}^2 \cdot J_2 + i_{13}^2 \cdot J_1 + \dots && (\sim 1055 \text{kgm}^2) \\ \alpha(t) &= d\omega(t)/dt && (\sim 1,57 \text{s}^{-2}) \\ M(t) &= J_{\text{red}} \cdot \alpha(t) && (\sim 80 \text{kNm}) \end{aligned}$$

Wobei:

$J_{\text{red}}$	...	reduziertes Massenträgheitsmoment auf Abtriebswelle	[kgm <sup>2</sup> ]
$i_{12}$	...	Übersetzungsverhältnis von Stufe 1 auf Stufe 2	[-]
$t$	...	Zeit	[s]
$\omega(t)$	...	Winkelgeschwindigkeit	[s <sup>-1</sup> ]
$\alpha(t)$	...	Winkelbeschleunigung	[s <sup>-2</sup> ]
$M(t)$	...	Drehmoment	[Nm]

### 3 Aussicht

In einem nächsten Schritt wird auch der Riemen mit den Kenndaten der Herstellerfirma modelliert. Diese Riemenuntersetzungen bringen allerdings zusätzliche Schwierigkeiten mit in das Modell – Stichwort Riemenrutschen.

Da abtriebsseitig keine Daten bekannt sind, diese aber für eine aussagekräftige Validierung unumgänglich sind, wird versucht, dass der Auftraggeber solche Daten an der Maschine erhebt.

Sobald diese Validierung geschehen ist, wir anstatt der rudimentären Drehmomentenquelle, eine simulierte Asynchronmaschine in das Modell eingepflegt.

So dies geschehen ist, werden dann verschiedene Massenträgheiten gegenübergestellt, ebenso werden auch andere Übertragungsglieder (z.B. Planetengetriebe o.ä. untersucht)

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Stationärer Vorzerkleinerer Jupiter .....	2
Abbildung 2: Schematischer Aufbau .....	3

## **Quellenangabe**

- [1] A. Laschet, Simulation von Antriebssystemen, Springer-Verlag, 1988.
- [2] H. F. A. Dresig, Schwingungen mechanischer Antriebssysteme, Springer Vieweg, 2014.