

Energieeffizienz beim Rundschleifen am Beispiel der OMNIA G-300

MSc ETH Masch.-Ing. Florian Hännli

1 G-Elements GmbH, Wallisellen, Schweiz, florian.haenni@g-elements.ch

Zusammenfassung:

Mehrkanal-Leistungsmessungen an CNC Rundschleifmaschinen zeigen, dass in der Regel weniger als 20 % der Gesamtleistungsaufnahme für die eigentliche Zerspanungsleistung verwendet wird. Ein erheblicher Anteil der Gesamtleistungsaufnahme wird für Sperrluft, Kühlung und andere Hilfsaggregate verwendet. Leistungsaufnahmen im betriebsbereiten Zustand von 4 kW und mehr sind die Regel.

Hier schlummert somit ein Potenzial zur Energieoptimierung. Um dieses zu nutzen, muss man jedoch die bekannten Pfade verlassen. Das Konzept der CNC Rundschleifmaschine OMNIA G-300 wurde von Grund auf neu erstellt. Und zwar über alle Bereiche (Achsanordnung, Struktur, Programmierung der Steuerung, Schaltschrank, usw.). So ist eine CNC Rundschleifmaschine entstanden, welche in diversen Bereichen um Faktoren besser ist, verglichen mit bestehenden Maschinen – natürlich bei höchsten Genauigkeitsanforderungen an die produzierten Werkstücke.

Eine wichtige Eigenschaft von Präzisionsschleifmaschinen ist deren thermische Stabilität. Bestehende Maschinen erreichen diese mit separaten geregelten Kühlkreisläufen. Bei der OMNIA G-300 wird für die relevanten Bauteile Super Invar 32-5 – ein Material, welches eine um Faktor 30 geringere Wärmedehnung als Stahl aufweist, eingesetzt. So wird die thermische Stabilität ohne zusätzliche Kühlung erreichen.

Die OMNIA G-300 hat im betriebsbereiten Zustand einen Leistungsaufnahme von ca. 120 W. Vergleichbare Maschinen benötigen im betriebsbereiten Zustand bereits mehr denn 4 kW.

Pro OMNIA G-300 wird somit ca. 850 kg CO₂/Jahr eingespart. Nicht mitgerechnet sind die zusätzlichen Einsparungen durch den reduzierten Energiebedarf der Klimatisierung der Maschinenhalle, aufgrund der viel geringen Maschinenabwärme.

Des Weiteren werden die Maschinen nicht nur im betriebsbereiten Zustand betrieben. Die effektive Einsparung ist somit noch grösser.

Eine unabhängige Energiemessung bestätigt, dass die Leistungsaufnahme der OMNIA G-300 minimal ist (120 W im Standby - ca. Faktor 30 geringer als bestehende Maschinen) und dass aus technischer Sicht kein Optimierungsmöglichkeiten, in Bezug auf den Energieverbrauch, mehr bestehen.

Schlüsselwörter: Rundschleif, Energieeffizienz, Mehrkanal-Leistungsmessungen, CO₂-Reduktion

1. Einleitung

Der Energiebedarf einer Maschine wird gerade im Hinblick steigender Energiepreise aber auch im Hinblick auf gesellschaftlich/politische Entwicklungen z. B. «Netto 0» ein immer bedeutender Faktor. Eine Möglichkeit um den Energieverbrauch resp. die Leistungsaufnahme einer CNC-Maschine zu analysieren sind Mehrkanal-Leistungsmessungen. In einer Mehrkanal-Leistungsmessung, wie sie zum Beispiel die Firma SIGMAtools GmbH anbietet, wird von sämtlichen Verbrauchern einer Maschine die Leistungsaufnahme über die Zeit aufgezeichnet. In Abbildung 1 ist eine solche Messung dargestellt.

Die Messung erfolgte an einer realen CNC-Schleifmaschine, welche dem heutigen Stand der Technik entspricht. Auf der CNC-Schleifmaschine können ähnliche Werkstückdimensionen wie auf der OMNIA G-300 bearbeitet werden:

- Maximaler Werkstückdurchmesser 200 mm,
- Maximale Werkstücklänge 300 mm, beidseitig bearbeitbar.

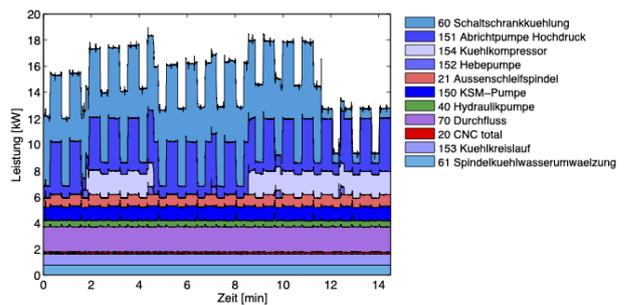


Abbildung 1: Zeit-Leistungsverlauf während der Bearbeitung einer typischen CNC Schleifmaschine.

Der Maschinentyp sowie der Hersteller werden hier nicht genannt. Auch spielt es im Hinblick auf den Energiebedarf keine grosse Rolle, von welchem der bekannten Hersteller die CNC-Schleifmaschine ist. Die Charakteristik des Zeit-Leistungsverlaufes ist bei CNC-Schleifmaschinen, welche dem heutigen Stand der Technik entsprechen und die oben genannten Werkstückdimensionen abdecken, jeweils sehr ähnlich.

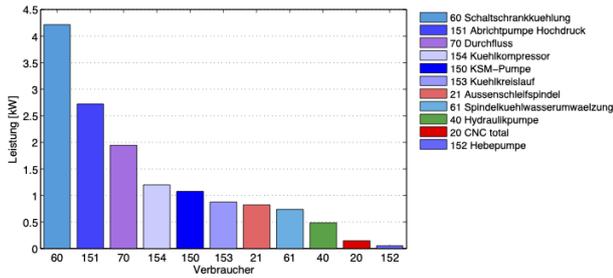


Abbildung 2: Mittlere Leistungsaufnahme während der Bearbeitung gemessen an einer typischen CNC Schleifmaschine.

In Abbildung 2 ist die mittlere Leistungsaufnahme einer typischen CNC-Schleifmaschine dargestellt. Die Schaltschrankkuehlung mit etwas mehr als 4 kW hat die grösste Leistungsaufnahme. Gefolgt von der Hochdruckpumpe und der Druckluft (Sperrluft). Die Leistungsaufnahme der Schleifspindel liegt bei ca. 800 W, die Leistungsaufnahme von den CNC Antrieben bei ca. 200 W.

Gemessen an der gesamten Leistungsaufnahme werden nur ca. 10 % für Spindel- und CNC-Antrieb verwendet. Die restlichen 90 % der Leistungsaufnahme entfallen auf Hilfsaggregate und thermische Stabilisierung. Gerade Aggregate, welche ohne eigenen Regelkreis betrieben werden, ist das Energieeinsparpotential besonders hoch. Des weiteren sind die Komponenten teilweise massig überdimensioniert.

2. OMNIA G-300, radikal Energieoptimiert

Die Firma SIGMAtools GmbH führt an der OMNIA G-300 während der Bearbeitung von einem Referenzwerkstück mit abrichtbarer Korundschleifscheibe und wasserbasiertem Kühlschmierstoff eine Mehrkanal-Leistungsmessung durch [1]. Da die OMNIA G-300 von Beginn der Entwicklung auf maximale Energieeffizienz ausgelegt wurde, ist die Anzahl Verbraucher sehr gering – denn am meisten Energie spart man dort ein, wo ein Verbraucher komplett weggelassen werden kann.

Die OMNIA G-300 hat die folgenden Verbraucher:

- 24 V DC Steuerspannung,
- Windowsbasierte PC-Steuerung,
- CNC Antriebe,
- Kühlschmiermittelpumpe,
- Schleifspindel.

Die OMNIA G-300 wird nur über einem einphasigen 230 V Anschluss (Haushaltssteckdose) mit Energie versorgt und benötigt weder Hydraulik- noch Pneumatik-Energieversorgung.

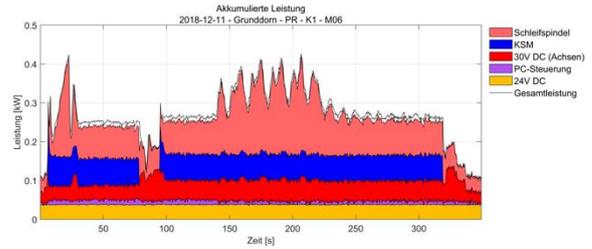


Abbildung 3: Zeit-Leistungsverlauf während der Bearbeitung gemessen an der OMNIA G-300.

In Abbildung 3 ist der gemessene Zeit-Leistungsverlauf der fünf Verbraucher dargestellt. Die ersten 90 Sekunden beinhalten das Beschleunigen der Schleifscheibe sowie das Abrichten. Ab Sekunde 100 wird mit aktivem Körperschallsensor auf das Werkstück gefahren (Suchvorschub 1 mm/min). Ab Sekunde 240 beginnt das Schlichten mit anschliessendem Ausfeuern. Nach Sekunde 320 wird die Kühlschmierstoffpumpe ausgeschaltet und die Maschine fährt auf die Beladepositionen.

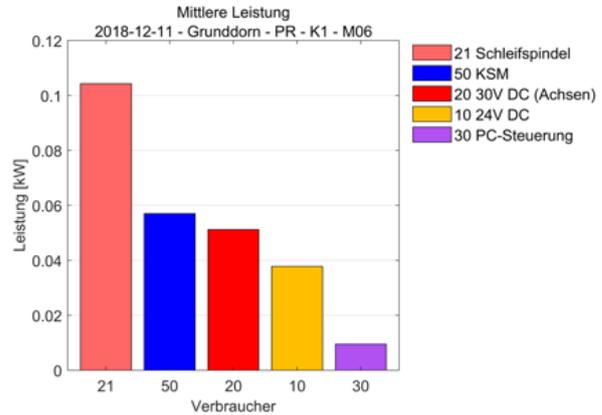


Abbildung 4: Mittlere Leistungsaufnahme während der Bearbeitung gemessen an der OMNIA G-300.

In Abbildung 4 ist die mittlere Leistungsaufnahme der Verbraucher während des Referenzprozesses dargestellt. Mit einer mittleren Leistungsaufnahme von etwas über 0.1 kW ist die Schleifspindel dominierend. An zweiter Stelle folgt die Kühlschmiermittelpumpe gefolgt von den CNC-Achsantrieben.

Die Experten von SIGMAtools GmbH kommen zum folgenden Schluss [1]: «Es zeigt sich, dass in produktiven Betriebszuständen die Schleifspindel dominiert. Die Achsen als auch die KSM sind ebenfalls in produktiven Betriebszuständen erhöht. In nicht-produktiven als auch produktiven Zuständen ist die 24 V Versorgung gegeben. Insgesamt zeigt die Anlage eine Gesamtleistung von rund 270 W in produktiven Maschinenzuständen und 100 W im Standby. Aufgrund der tiefen Leistungswerte als auch optimierter Maschinenauslegung können keine technischen als auch wirtschaftlichen Massnahmen [zur Optimierung] definiert werden.»

3. OMNIA G-300 in der Übersicht

Die OMNIA G-300 verfügt über zwei Linearachsen X und Z sowie eine rotative Achse C. Die drei Achsen sind interpolierend. Für die Anschliffkennung ist auf der Schleifspindel ein Körperschallsensor verbaut. Die von G-Elements entwickelte Steuerung umfasst die folgenden Bearbeitungszyklen:

- Abrichten zylindrisch,
- Konturabrichten,
- Einstechschleifen,
- Pendelschleifen,
- Pendelschleifen Expert (Stützpunkte über Länge),
- Schulterschleifen links,
- Schulterschleifen rechts,
- Unrundkontur,
- Konturschleifen,
- Konuspendeln,
- Schleifscheibe automatisch vermessen,
- Nullpunkt in Z-Richtung setzen mit Positionar,
- Nullpunkt in Z-Richtung setzen mit Körperschall.

In Abbildung 5 ist ein CAD Rendering der OMNIA G-300 dargestellt. Die Beladetür ist geöffnet und als grauer Zylinder ist die maximal bearbeitbare Werkstückdimension dargestellt.

Die gesamte Struktur der OMNIA G-300 ist rostfrei. Somit kann auf einen Farbanstrich verzichtet werden und die Maschine ist auch gegen aggressive Kühlschmierstoffe unempfindlich.



Abbildung 5: CAD Rendering der OMNIA G-300.

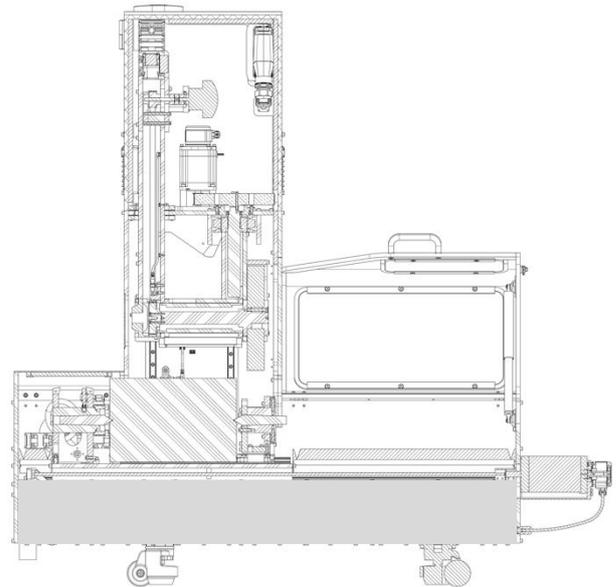


Abbildung 6: Schnittdansicht OMNIA G-300.

In Abbildung 6 ist eine Schnittdansicht entlang der Maschinenlängsachse dargestellt. Als Basis für die Z-Achse dient ein Träger aus Naturhartgestein. Auf diesem sind Schneeberger Linearführungen in der höchsten Qualitätsstufe G0 montiert. Die beiden Aussenplatten versteifen den Träger zusätzlich und bilden die Struktur des Portals. Der Schleifkopf stellt hängend in diesem Portal vertikal zu. Die Achsanordnung mit dem hängenden Schleifkopf hat den entscheidenden Vorteil, dass in sämtlichen Lagerstellen keine Umkehrung der Krafrichtung erfolgt. Eine Lagerstelle erfährt jeweils nur unterschiedlich grosse Druckkräfte oder unterschiedlich grosse Zugkräfte. Ein Wechsel von Druck auf Zug erfolgt jedoch nie. Die Nichtlinearitäten im Bereich des Nulldurchganges werden so gänzlich vermieden.

Die Achsanordnung ist zum Patent angemeldet (pat. pending).

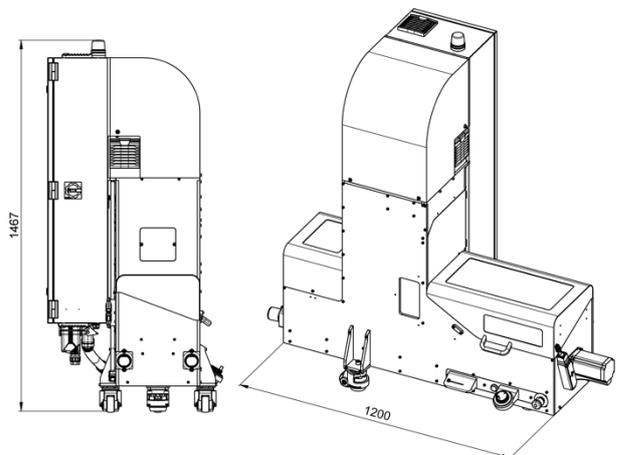


Abbildung 7: OMNIA G-300 in Seitenansicht und trimetrischer Ansicht.

Die OMNIA G-300 ist im Vergleich zu bestehenden Rundschleifmaschinen sehr kompakt. Das Gewicht der Maschine beträgt 475 kg. Die Aussenabmessungen sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt. Die Aufstellfläche beträgt nicht mehr als die Fläche einer Europalette. Über drei Standfüsse ist sichergestellt, dass die Maschine immer statisch bestimmt steht. Das aufwändige Ausrichten und nivellieren der Maschine entfällt somit.

Aus Gründen der Energieeffizienz hat die OMNIA G-300 keine zusätzliche Kühlung. Die thermische Stabilität wird durch den Einsatz einer Speziallegierung (Super Invar 32-5) im Bereich der Werkstückaufspannung erreicht. Super Invar 32-5 hat einen 30-fach geringeren Wärmegang als Stahl. So werden Wärmeeinflüsse ohne zusätzliche Kühlung eliminiert.

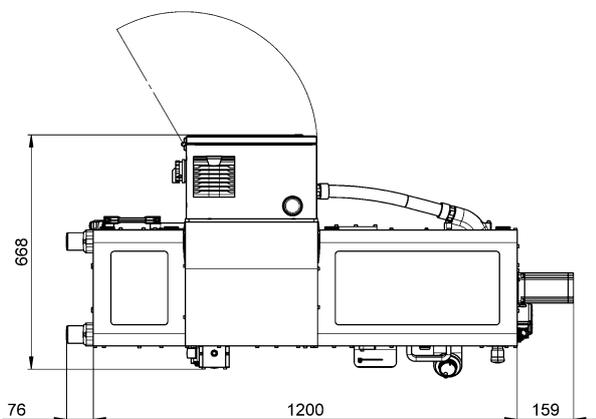


Abbildung 8: OMNIA G-300 in Seitenansicht und trimetrischer Ansicht.

4. Abschätzung Energie-Einsparpotential

Nachfolgend eine Abschätzung zum Energie-Einsparpotential. Es werden dazu folgende Annahmen getroffen:

Die OMNIA G-300 hat im Standby einen Leistungsaufnahme von ca. 120 W. Vergleichbare Maschinen benötigen im Standby bereits mehr denn 4 kW. Unter der Annahme, dass beide Maschinen 1720 h pro Jahr (einschichtiger Betrieb) nur im Standby betrieben werden, beträgt der CO₂ Ausstoss pro Maschine somit (Schweizer Strom Mix mit 128 g CO₂/kWh [2]):

- OMNIA G-300 von G-Elements
 $1720 \text{ h} \times 0.12 \text{ kW} = 206.4 \text{ kWh}$
 $206.4 \text{ kWh} \times 128 \text{ g CO}_2/\text{kWh} = 26.4 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}$
- State of the Art CNC-Schleifmaschine mit vergleichbarer Werkstückdimension
 $1720 \text{ h} \times 4 \text{ kW} = 6880 \text{ kWh}$
 $6880 \text{ kWh} \times 128 \text{ h CO}_2/\text{kWh} = 880.6 \text{ kg CO}_2/\text{Jahr}$

Pro Maschine wird somit ca. 850 kg CO₂/Jahr eingespart. Nicht mitgerechnet sind die zusätzlichen Einsparungen durch den reduzierten Energiebedarf der Klimatisierung der Maschinenhalle, aufgrund der viel geringen Maschinenabwärme. Des weiteren arbeiten die Maschinen nicht nur im Standby - die effektive

Einsparung ist somit noch grösser.

Aufgrund des massiv geringen Materialeinsatzes ist die Grauenergie ebenfalls viel geringer verglichen mit bestehenden Maschinen. Eine detaillierte Kalkulation dazu liegt jedoch nicht vor.

5. Fazit

Die OMNIA G-300 zeigt, dass es möglich ist, die Leistungsaufnahme beim Rundschleifen massiv zu reduzieren. Seit der ersten Patentanmeldung einer Präzisionsrundschleifmaschine aus dem Jahr 1877 von Brown Sharpe Manufacturing Co., Rhode Island, USA [3] wurde das Achskonzept von Rundschleifmaschinen nicht mehr geändert. Um das Potenzial zur Energieoptimierung zu nutzen, muss man jedoch die bekannten Pfade verlassen. Das Konzept der CNC Rundschleifmaschine OMNIA G-300 wurde deshalb von Grund auf neu erstellt. Und zwar über alle Bereiche (Achsanordnung, Struktur, Programmierung der Steuerung, Schaltschrank, usw.).

Das neue Maschinenkonzept der OMNIA G-300 überzeugt und bietet gerade mit dem äusserst geringen Platz- wie auch Energiebedarf entscheidende Vorteile. Rundschleifen wie es einfacher und wirtschaftlicher nicht sein könnte.

6. Referenzen

- [1] SIGMAtools GmbH, Gontarz A., Hampl D.: G-Elements OMNIA G-300 Energiemessung, www.sigmatools.ch, November 2018
- [2] Krebs, L., Frischknecht, R., Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018, Bundesamt für Umwelt
- [3] Brown Sharpe Manufacturing Co.: A Treatise on the Construction and Use of Universal and Plain Grinding Machines, for Cylindrical and Conical Surfaces, patents of 1877, 1885 and 1890