

# **Innovationen in der Vakuumtechnik – ein Beitrag zur Reduzierung der Herstellkosten von Solarzellen**

## **Innovative Vacuum Technology – an important contribution to reduce the manufacturing cost of solar modules**

Dipl.-Ing. Uwe Gottschlich, Sterling SIHI GmbH

### **Kurzfassung:**

Die Mehrzahl der zur Herstellung von Solarzellen erforderlichen Verfahrensschritte arbeitet unter Vakuum. Zur Erzeugung des Vakuums werden überwiegend trockene Vakuumpumpen eingesetzt, bevorzugt auf Basis der Schraubenspindel Technik. Die Anschaffungskosten für Vakuumpumpen haben daher einen hohen Anteil an den Herstellkosten für Solarmodule.

Die Zielvorgaben für die Entwicklung neuer Produkte entstehen oftmals ohne detailliertes Wissen über die wirklichen Bedürfnisse des Kunden. Der massive Druck, die Kosten zur Herstellung von Solarzellen stetig zu senken, führt zwangsläufig zu der Wahrnehmung, alle dazu benötigten Komponenten müssten billiger werden. Als Folge wird von den Herstellern von Vakuumpumpen die Reduzierung der Herstellkosten als Hauptanforderung an die Entwicklung neuer Pumpen formuliert. An Hand konkreter Beispiele wird aufgezeigt, dass durch Verwendung gezielt auf die Kundenprozesse hin entwickelter Vakuumpumpen deutliche Kostenreduzierungen erreicht werden, auch wenn diese Pumpen in der Anschaffung teurer sind.

### **Abstract:**

Most of the processes involved in the production of Solar modules require vacuum. The total manufacturing cost for the production of solar modules is definitely strongly influenced by the purchase cost for vacuum pumps. The strong pressure of the solar industry on cost reduction creates the perception; all required components have to be as cheap as possible. Targets for the development of new products are often defined without detailed knowledge of the customer processes. As a result the target for the development of a new vacuum pump generation for the solar industry is simply given by cost reduction; the new pump must be cheaper than the old one. Using the example of two different applications within the solar industry it can be shown that the development of an innovative vacuum pump will result in significant cost reductions for the customer although the new vacuum pump itself is not cheap.

## **1. Einleitung**

Dank staatlicher Förderung war es möglich, trotz hoher Herstellkosten einen zunehmenden Bedarf an Solarzellen zu generieren. Ziel der produzierenden Unternehmen ist es nun, durch stetige Kostenreduzierung die preisliche Wettbewerbsfähigkeit des Solarstromes auch ohne Subventionen zu erreichen. Neben intensiven Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, durch verbesserte Herstelltechnologien den Wirkungsgrad von Solarzellen zu erhöhen, gibt es einen enormen Druck auf die Zulieferer von Prozessanlagen, die Herstellkosten der Anlagen massiv zu reduzieren.

Die meisten Prozesse zur Herstellung von Solarzellen arbeiten unter Vakuum, das Kristallziehen zur Herstellung von Wafern, die Beschichtung der Wafer zur Erzeugung der Antireflexschicht sowie das Laminieren zum Schutz der fertigen Solarmodule vor Witterungseinflüssen. Die Vakuumpumpen werden in der Regel vom Anlagenbauer beschafft und zusammen mit der Anlage an den Hersteller der Solarzellen geliefert. Vakuumpumpen zählen in den meisten Fällen zu den teuersten Einzelkomponenten einer Prozessanlage. Der enorme Druck, die Herstellkosten der Anlagen von Jahr zu Jahr weiter zu senken, führt zwangsläufig dazu, dass der Einkaufspreis zum Hauptkriterium bei der Auswahl einer Vakuumpumpe wird. Der Vertrieb des Pumpenherstellers möchte gern verkaufen, d.h. er fordert von seinem Unternehmen ebenfalls die stetige Reduzierung der Herstellkosten der anzubietenden Pumpen. Damit liegt die Zielvorgabe für die Entwicklungsabteilung fest; die Vakuumpumpe muss billiger werden. Neben den reinen Anschaffungskosten wird für die Auswahl von Vakuumpumpen auch das Kriterium Motorleistung als Haupteinflussfaktor für die Betriebskosten herangezogen. Neben der Aufgabe, die neue Pumpe muss billig sein, wird vom Entwickler daher zusätzlich gefordert, die Leistungsaufnahme möglichst niedrig zu halten.

## **2. Vergleich „billige“ Vakuumpumpe / „innovative“ Vakuumpumpe**

Auch eine trockene Schrauben-Vakuumpumpe kann billig sein. Die Verdränger werden auf beiden Seiten gelagert, die Synchronisation der Wellen erfolgt über ein mechanisches Getriebe, eine Welle wird direkt mit dem Antriebsmotor gekoppelt. Die Optimierung auf eine möglichst geringe Motorleistung bietet neben niedrigen Herstellkosten zudem den Vorteil der geringeren Leistungsaufnahme, was sich extrem positiv auf die Cost of Ownership Betrachtung der Pumpe auswirkt.

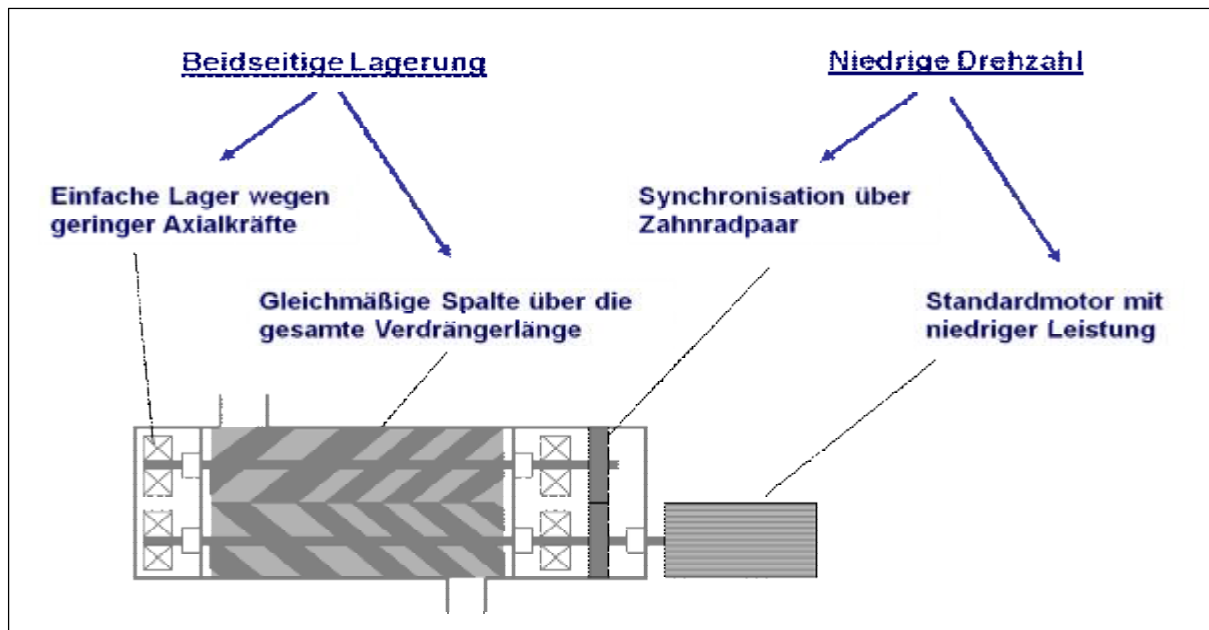
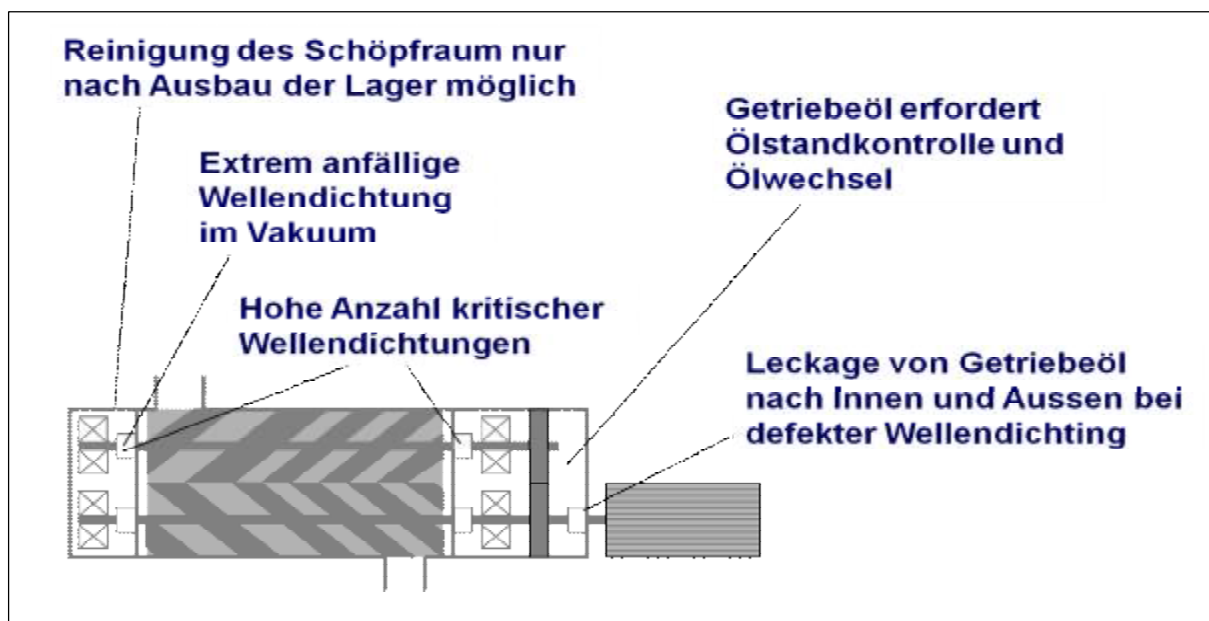


Abb.1.: Aufbau einer trockenen Schraubenspindelpumpe ausgerichtet auf Herstellkosten

Eine genaue Marktanalyse zeigt, dass die extrem hohen Kosten für Service und Wartung einen viel höheren Anteil zu den Herstellkosten für Solarzellen liefern als die Anschaffungskosten. Die Entwicklung einer innovativen Vakuumpumpe kann daher auch den Fokus auf die Reduzierung der Servicekosten legen.

Die oben gezeigte schematische Darstellung einer auf niedrigste Herstellkosten optimierten Konstruktion ist dafür keineswegs geeignet.



.Abb 2.: Nachteile einer trockenen Schraubenspindelpumpe ausgerichtet auf Herstellkosten

Eine wirklich innovative, auf die Reduzierung der tatsächlichen Cost of Ownership ausgerichtete Vakuumpumpe lässt sich vor Ort in der Anlage öffnen, um Prozessablagerungen in kürzester Zeit zu entfernen. Dazu darf das Abziehen des Pumpengehäuses nicht durch die Lagerung der Schraubenspindeln behindert werden. Ferner sind die Schraubenspindel senkrecht angeordnet, was das Fördern von Feststoffen erleichtert. Neben der Vermeidung hoher Servicekosten durch Prozessablagerungen, kann eine Vakuumpumpe auf absolut wartungsfrei arbeiten. Eine elektronische Synchronisation der Schraubenspindeln an Stelle eines mechanischen Getriebes erlaubt den vollständigen Verzicht auf Betriebsmedien wie Getriebeöl, dessen Füllstand stets kontrolliert und korrigiert werden muss.

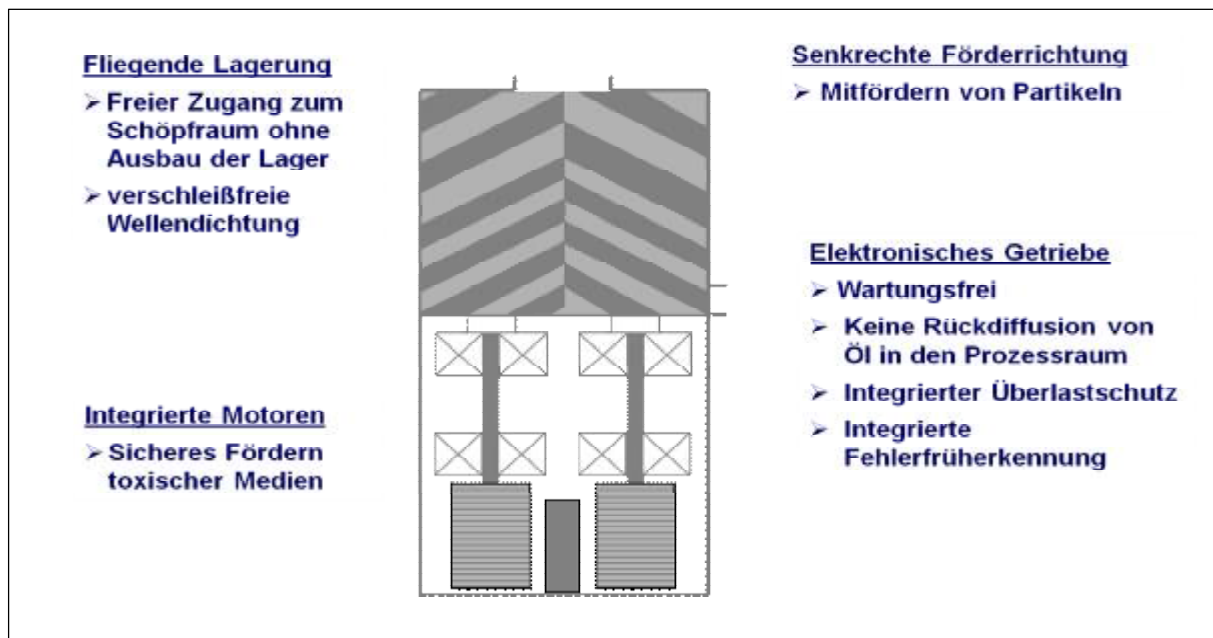


Abb 3.: Merkmale einer innovativen Schraubenspindelpumpe ausgerichtet auf den Prozess

Die aus Sicht des Betreibers einfache Konstruktion basiert auf komplexen, hochpräzise zu fertigenden Komponenten. Eine so gebaute Vakuumpumpe kann daher nicht billig sein.

Selbstverständlich lässt sich eine billige Vakuumpumpe mit niedriger Motorleistung scheinbar leichter verkaufen, aber nur, solange niemand den Blick auf das Gesamtsystem legt. Wer sich bei der Entwicklung eines neuen Produktes auf diese einfachsten Vorgaben beschränkt, vergibt möglicherweise Chancen. Diese Chancen lassen sich aber nur erkennen, wenn man im Vorfeld der Entwicklung genügend Aufwand treibt, die Prozesse des Zielkunden zu analysieren und daraus die Ziele des Entwicklungsauftrages ableitet. Dieses soll im Folgenden an Hand konkreter Beispiele verdeutlicht werden.

### 3. Anwendungsbeispiel „Kristallziehen“

Die Aufgabe einer Vakuumpumpe beim Kristallziehen ist es, das als Schutzgas verwendete Argon kontinuierlich unter Vakuum abzuführen. Es muss davon ausgegangen werden, dass das geförderte Gas Feststoffe enthält. Wichtig für den Prozess ist zudem, dass der gewünschte Vakuumdruck stets exakt auf dem vorgegebenen Wert gehalten wird.

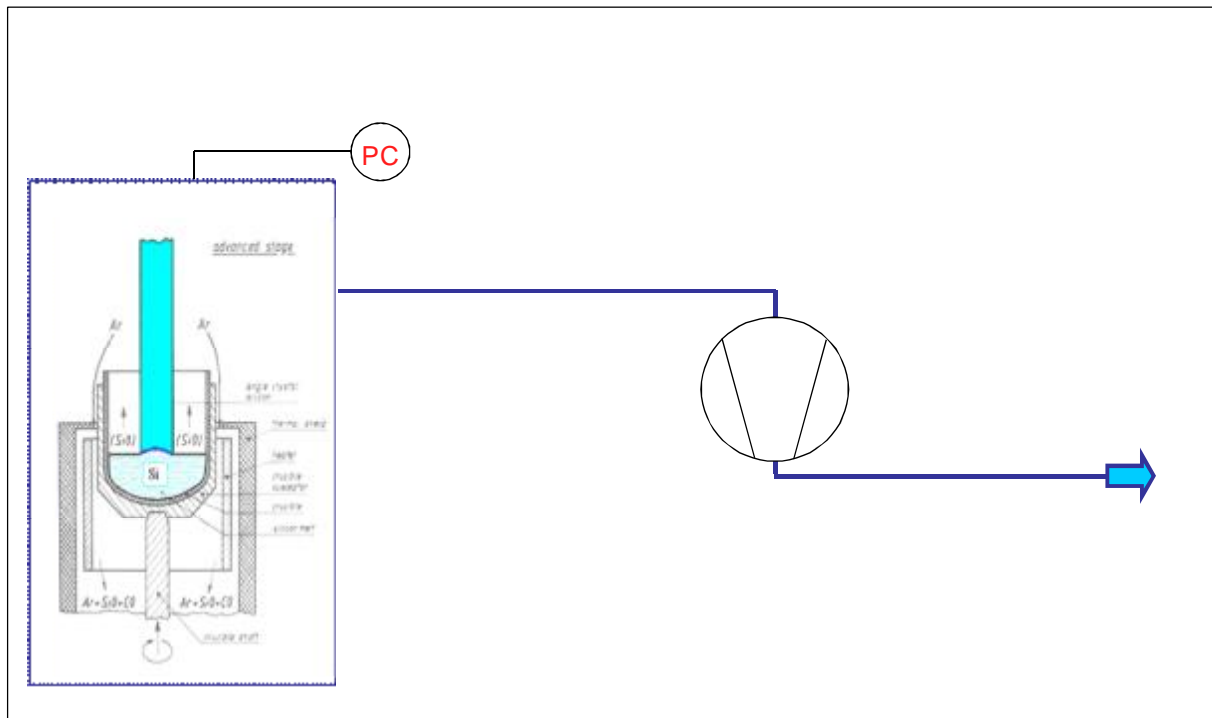


Abb 4.: Vakuumpumpe an einer Kristallziehanlage

Eine ausschließlich auf niedrigste Herstellkosten optimierte Vakuumpumpe ist nicht in der Lage, Feststoffe zu fördern. Diese würden sich in der Pumpe ansammeln, die Folge ist mindestens eine teure Demontage und Reinigung der Pumpe, meistens ist sogar eine Generalüberholung erforderlich, da massive Schäden an Wellendichtungen und Lagern vorliegen. Der Einsatz einer solchen Pumpe macht daher den Schutz der Pumpe durch einen saugseitig installierten, vakuumfesten Abscheider erforderlich. Dieser setzt sich mit zunehmender Prozessdauer zu, was einen erhöhten Druckverlust in der Ansaugleitung zur Folge hat. Um diesen zu überwinden, muss das Saugvermögen der Vakuumpumpe erhöht werden, meist durch Hinzufügen eines Vakuumgebläses als Boosterstufe. Das zur Druckregelung eingesetzte Regelventil sitzt hinter dem Filter, was einerseits Schutz vor Staubbelastung bietet, andererseits aber den Regelprozess durch den sich ständig verändernden Druckverlust erschwert.

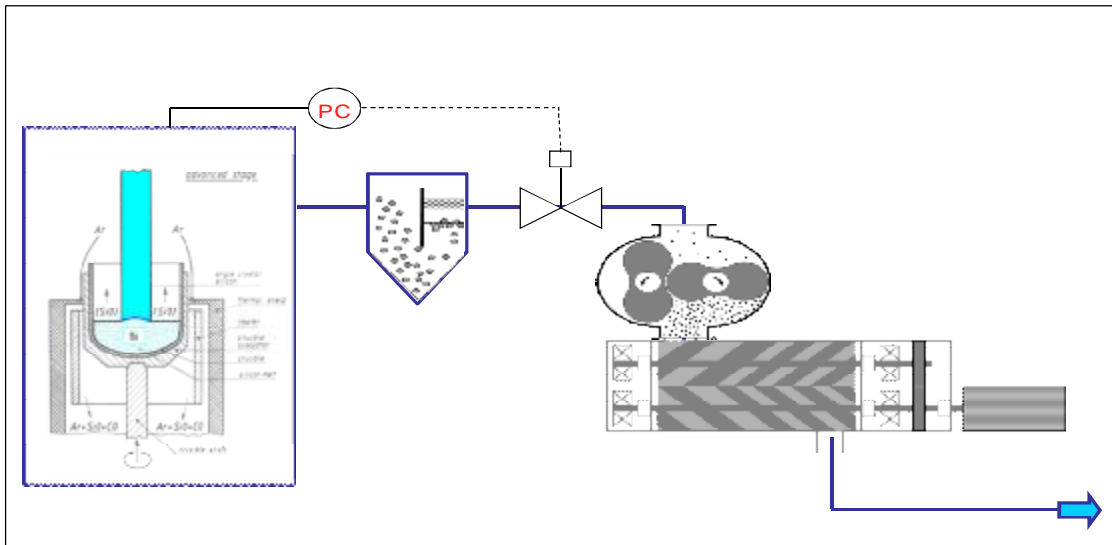


Abb 5.: Der Betrieb einer billigen Vakuumpumpe verlangt viele zusätzliche Komponenten

Eine im Hinblick auf diesen Prozess entwickelte Vakuumpumpe wäre in der Lage, Feststoffe zu fördern, d.h. ein teurer vakuumtauglicher saugseitiger Abscheider kann entfallen. Damit bleibt der Druckverlust gering, das sonst benötigte Gebläse ist daher ebenfalls nicht erforderlich. Als Problem zeigt sich nur noch das Regelventil, das nun der Staubbelastung ungeschützt ausgesetzt wäre. Dank einer innovativen Steuerelektronik, kann die Aufgabe der Druckregelung von der Vakuumpumpe übernommen werden, es ist daher kein Regelventil erforderlich. Eine auf den Kundenprozess ausgerichtete Entwicklung kann dem Kunden sehr viel Geld sparen, auch wenn die Pumpe selbst nicht billig ist.

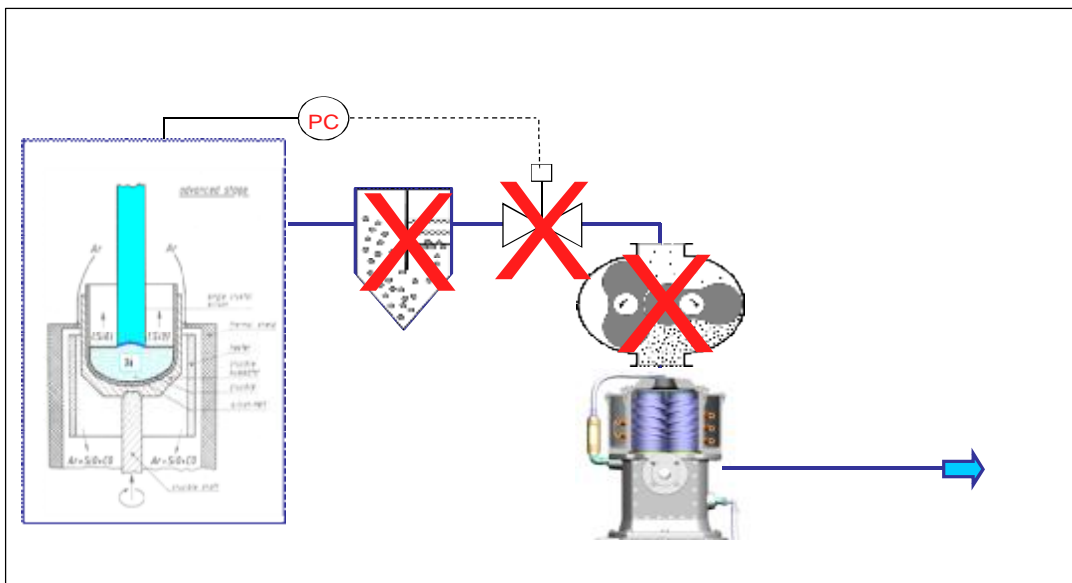


Abb 6.: Die innovative Vakuumpumpe benötigt diese Zusatzkomponenten nicht

#### 4. Anwendungsbeispiel „Schleusenevakuierung an Beschichtungsanlagen“

Die Aufgabe der Vakuumpumpe in dieser Anwendung ist das Evakuieren von Vakuumkammern auf den gewünschten Prozessdruck. Zur Reduzierung der Herstellkosten einer Solarzelle versuchen die Hersteller von Beschichtungsanlagen, die Produktivität ihrer Anlage dadurch zu steigern, dass sie zur Beschichtung erforderliche Zeit stetig reduziert wird. Die Evakuierung der Ein- und Austrittsschleusen muss im gleichen Takt erfolgen, d.h. mit kürzer werdenden Prozesszeiten muss auch die Evakuierungszeit verkürzt werden.

Eine auf niedrige Leistungsaufnahme optimierte Vakuumpumpe ist so konstruiert, dass sie im Bereich hoher Druckdifferenzen nur einen kleinen Volumenstrom anbietet. Das Evakuieren einer Schleuse startet aber bei Atmosphärendruck, d.h. hier wird viel Volumenstrom gefordert, aber nicht angeboten. Erst bei Erreichen eines tieferen Vakuumlevels steht das volle Saugvermögen an, durch Zuschalten eines großen Gebläses wird versucht, die verlorene Zeit wieder aufzuholen.

Eine gezielt für diesen Prozess ausgerichtete Vakuumpumpe bietet durch ein entsprechend ausgerichtetes Schraubenprofil das volle Saugvermögen bereits bei Atmosphärendruck an. Die dazu benötigte höhere Leistungsaufnahme erfordert einen hohen konstruktiven Aufwand, die entstehende Wärme abzuführen, was die Herstellkosten der Pumpe massiv nach oben treibt.

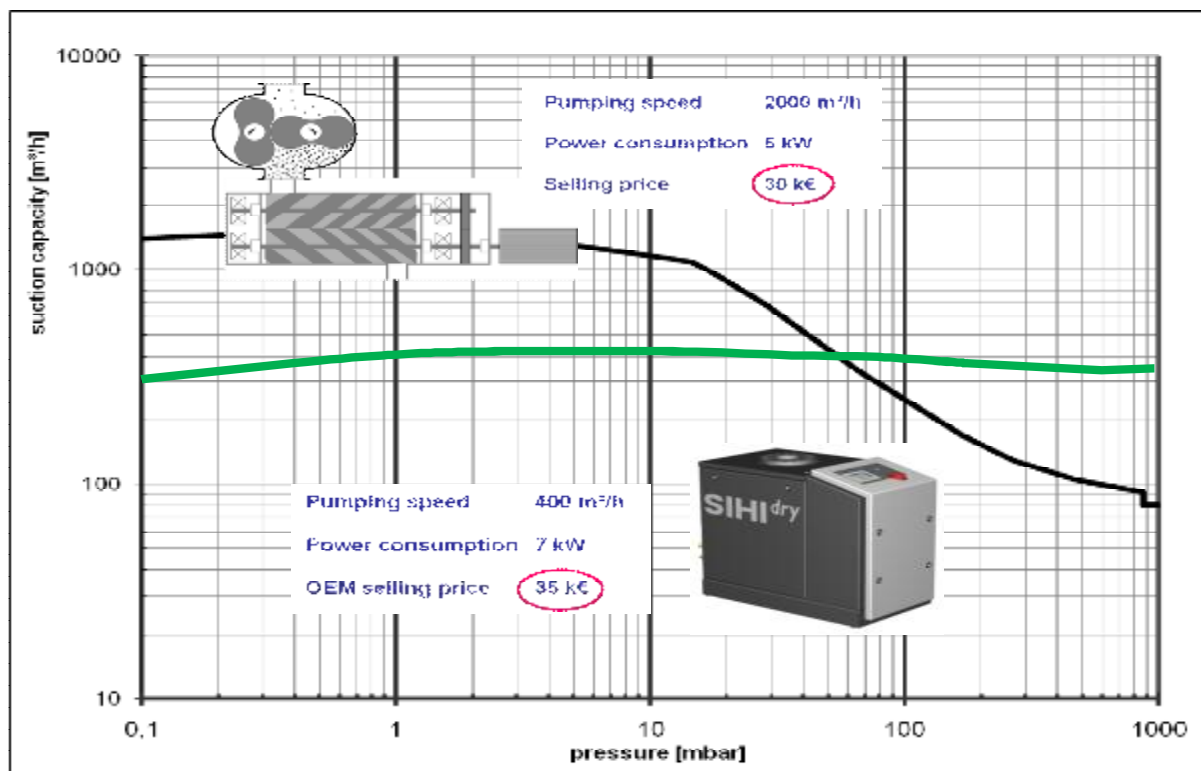


Abb 7.: Die innovative Vakuumpumpe erscheint unverkäuflich

Ein Vergleich ausschließlich über die technischen Daten lässt eine so konstruierte Pumpe unverkäuflich aussehen. Neben der höheren Leistungsaufnahme schlagen auch noch höhere Anschaffungskosten zu Buche, und das bei geringerem Saugvermögen. Die Entwicklung hat offensichtlich alles falsch gemacht. So etwas kann niemand verkaufen. Erst der Blick auf die individuelle Prozessanforderung zeigt die Stärken dieser Lösung. Durch die kürzere Auspumpzeit kann der Kunde die Produktivität seiner Anlage signifikant erhöhen und damit die Kosten seiner Anlage auf deutlich mehr Solarzellen umlegen.

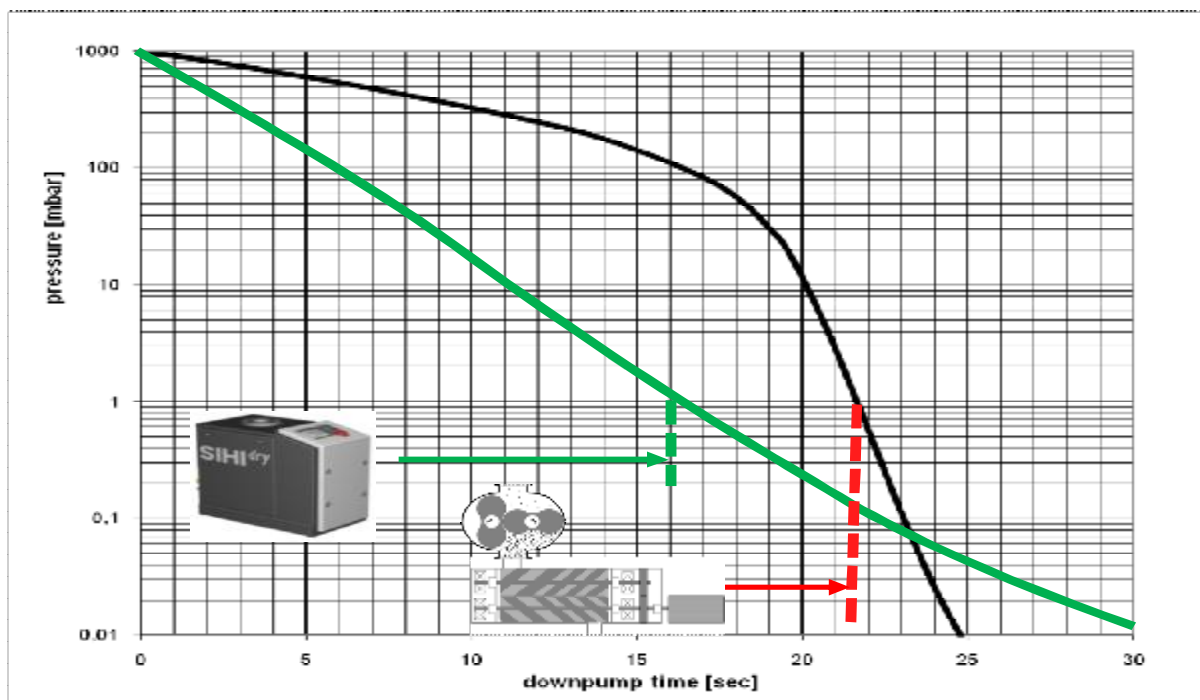


Abb 8.: Die innovative Vakuumpumpe ist ausgerichtet auf den Kundennutzen

## 5. Fazit

Kann es wirklich das Ziel eines deutschen Pumpenherstellers sein, die Entwicklung einer neuen Vakuumpumpe einzig auf die Herstellkosten zu fokussieren? Die genaue Beobachtung des Marktes zeigt im Fall der Solarindustrie auf, dass man sich durchaus durch technische Innovationen in eine führende Position bringen kann, auch wenn die Pumpe nicht billig ist. Die extrem hohen Kosten für Service und Wartung liefern einen viel höheren Anteil zu den Herstellkosten für Solarzellen, als die Anschaffungskosten.

Durch eine gezielt auf die Prozessanforderungen zugeschnittene Entwicklung können also deutliche Kostenvorteile erreicht werden, auch wenn die neue Vakuumpumpe selbst nicht billig ist und mehr Motorleistung benötigt. Einzige Voraussetzung dazu ist, der Blick aller Beteiligten auf den Gesamtprozess.