



## **Effizienz der Vakuumbereitstellung und Vakuumnutzung in der Extrusionstechnik**

Dr. Ing. Pierre Hähre  
Entwicklung Vakuumtechnik

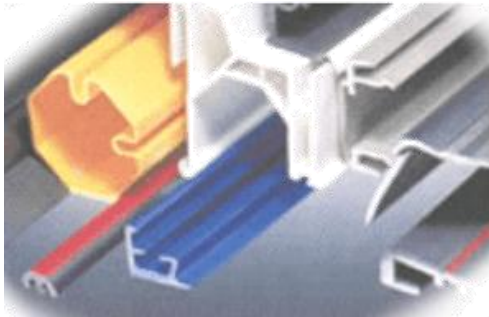


<b>1</b>	<b>Vakuumtechnik in der Profilextrusion</b>	<b>4</b>
1.1	Die Extrusion	4
1.2	Die Kalibrierung	5
<b>2</b>	<b>Entwicklung und Stand der Technik bei Endanwendern</b>	<b>7</b>
2.1	Anfänge der industriellen Vakuumkalibrierung	7
2.2	Optimierung durch getrennte Wasser-Luft-Absaugung	8
2.3	Optimierung der Vakuumpumpen für die Kalibrierung	9
<b>3</b>	<b>Neue Wege durch Vakuumregelung ohne Zusatzluft</b>	<b>10</b>
3.1	Zentrale Vakuumeinheit	10
3.1.1	Druckregelung durch Handventile	11
3.1.2	Druckregelung durch Regelventile	11
3.1.3	Einsparungspotential	11
3.1.4	Wasser-Luft-Trennung	11
3.2	Drehzahlregelung	12
3.2.1	Frequenzgeregelte Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen	12
3.2.2	Sinnvolle Saugvermögensregelung durch Frequenzänderung	13
3.2.3	Stabilität der Saugvermögensregelung durch Frequenzänderung	14
3.2.4	Energieeinsparungspotential der Regelung durch Frequenzänderung	14
3.2.5	Energieeinsparungspotential in der Profilextrusion	16
3.2.6	Wassermittförderung in geregelten Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen	17
3.2.7	Die Trenneinheit	17
<b>4</b>	<b>Symbolverzeichnis</b>	<b>19</b>

## 1 Vakuumtechnik in der Profilextrusion

Kunststoffprofile unterschiedlichster Geometrien haben sich seit Jahren in den verschiedensten Anwendungen bewährt. Im einfachsten Fall sind es Rohre, die heute fester Bestandteil sowohl der Gas- und Wasserversorgung als auch des Abwasserbereichs sind.

Auch im Automotivbereich dienen Kunststoffprofile als Leisten und Kabelkanäle. Am häufigsten jedoch finden wir heute Kunststoffprofile im Baugewerbe, angefangen bei Kabelkanälen, Handläufen, Bodenabschlussleisten bis hin zu den sehr komplex gestalteten Fenster- und Türprofilen.



### 1.1 Die Extrusion

Der Prozess der Kunststoffextrusion beginnt mit der Aufschmelzung des Kunststoffs in einem Extruder. Die Schmelze wird dann durch eine Form gepresst, welche das gewünschte Profil formt.

Infolge der Wärmezufuhr nimmt der Kunststoff einen pastösen Zustand an, wobei Gase aus dem Kunststoff ausgetrieben werden. Die zuvor durch den Kunststoff aufgenommene Feuchtigkeit verdampft. Eingeschlossene und entstehende Gase werden frei. Für ein geschlossenes Kunststoffprofil hoher Qualität muss jedoch ein homogener Kunststoff frei von Gasblasen vorliegen.

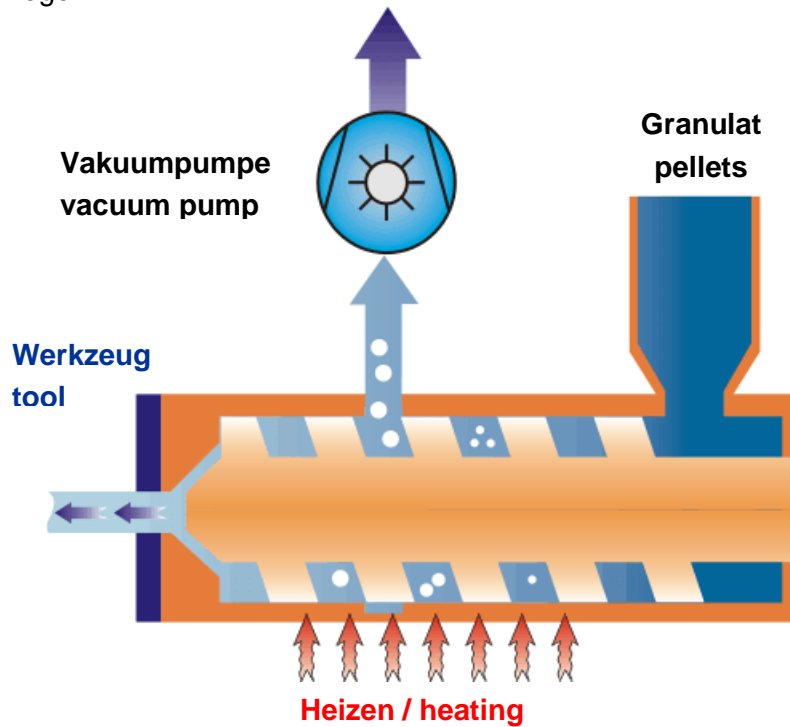


Abb.1: Funktionsschema der Kunststoffextrusion

Hier bedient man sich das erste Mal der Vakuumtechnik. Durch das Anlegen eines Unterdrucks an die Schmelze expandiert das Gas in der Schmelze und kann somit einfacher an Austrittsöffnungen des Extruderkanals gelangen. Von dort strömt es infolge eines Druckgefälles, erzeugt durch eine Vakuumpumpe, aus dem Kunststoff aus und wird letztendlich durch die Vakuumpumpe abgesaugt.

## 1.2 Die Kalibrierung

Bei der Rohr- oder Profilextrusion tritt das Kunststoffprofil zwar in der gewünschten Form aus dem Extruder aus, ist aber noch immer zu weich und somit forminstabil. Er muss deshalb nach der Extrusion abgekühlt und dabei in Form gehalten bzw. in seiner Form verbessert, also kalibriert werden.

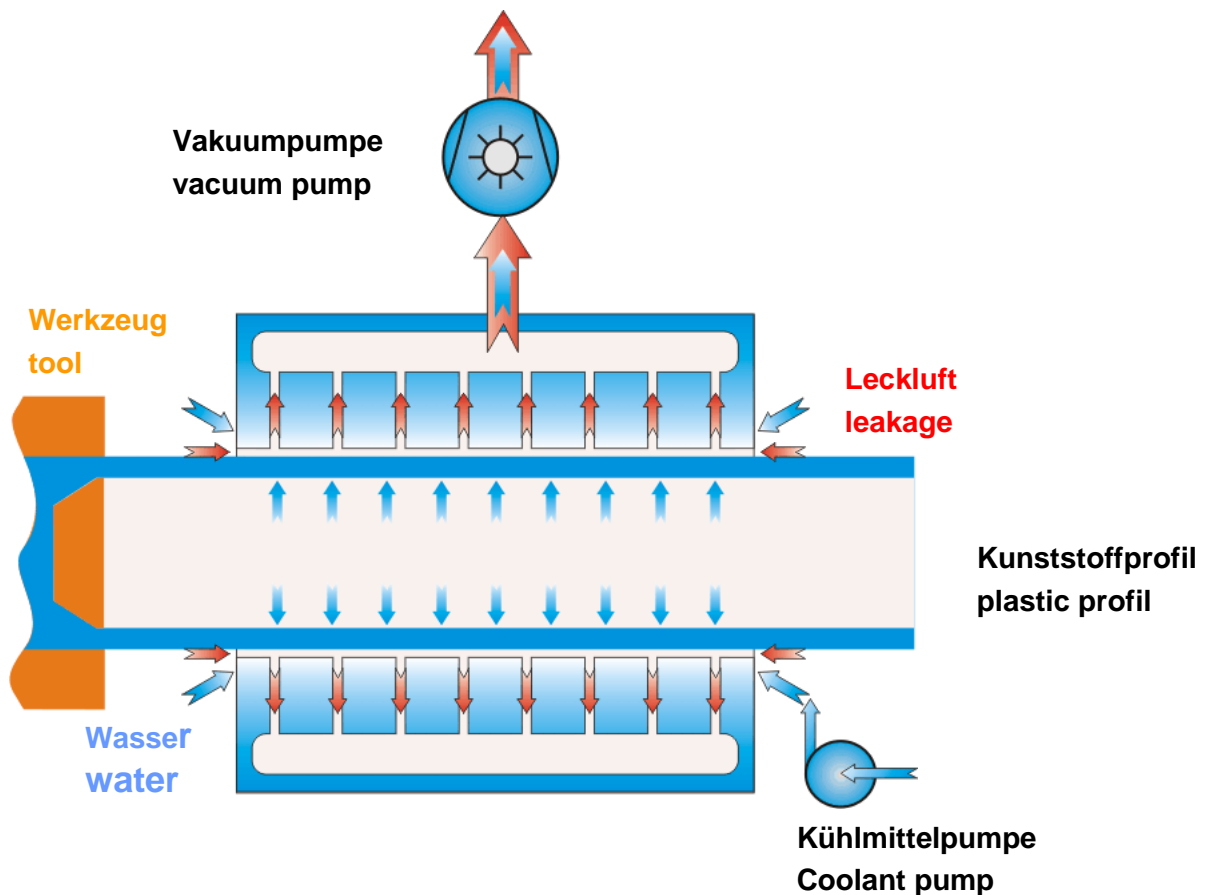


Abb.2: Funktionsschema der Kunststoffprofilkalibrierung

Hierbei bedient man sich erneut der Vakuumtechnik. Das Kalibrieren erfolgt in dem Kalibriertisch, der dem Extruder folgt. Man zieht hierbei das Kunststoffprofil durch Werkzeuge, welche in ihrer Innenkontur genau der Außenkontur des Profils entsprechen. Entweder ist die Innenkontur jedes Werkzeugs flächendeckend mit Kanälen versehen, welche unter Vakuum gesetzt werden oder die Werkzeuge befinden sich in einem Tank, der komplett unter Vakuum steht. Das Innere des Profils hingegen ist zur Umgebung hin offen, so dass dort der Umgebungsdruck herrscht. Infolge dessen liegt zwischen der Außen- und der Innenkontur des Profils eine Druckdifferenz an, welche letztendlich das Profil aufweitet und an die Innenkontur des Werkzeugs presst.

Damit der Kunststoff fest und somit formstabil werden kann, muss man diesen abkühlen. Hierzu temperiert man entweder das Werkzeug über Spülkanäle (Trockenkalibrierung) oder besprüht das Profil von außen mit Wasser bzw. setzt die gesamte Außenkontur unter Wasser (Nasskalibrierung). Das Wasser dient in diesem Falle gleichzeitig als Gleitmittel zwischen dem Kunststoffprofil und dem Werkzeug, was zu einer Verminderung der Reibleistung und Verbesserung der Oberflächenqualität führt.

## 2 Entwicklung und Stand der Technik bei Endanwendern

Die Branche der Profilextrusion entwickelte sich in den vergangenen Jahren wegen des immensen Marktpotentials rasant. Der Schwerpunkt wurde deshalb in den vergangenen Jahren darauf gelegt, die Prozesse so sicher wie möglich zu gestalten. Im Zuge der zunehmenden Sättigung des Mark und der Erhöhung der Kosten für Energie durchläuft die Branche aber derzeit einen Umgestaltungsprozess.

### 2.1 Anfänge der industriellen Vakuumkanibrierung

Die anfängliche Gestaltung der Werkzeuge verlangte mit nur wenig verteilten und engen Spülkanälen ein möglichst tiefes Vakuum an den Anschlüssen des Werkzeugs, auch wenn dieses an den Profilen selbst nicht mehr anlag. Es kamen in erster Linie 2-stufige Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen zur Anwendung, welche sich bei Drücken unterhalb von 200 mbar absolut als sehr robust und langlebig auszeichnen.



Abb.3: 2-stufige Vakuumpumpen für die Kunststoffprofilkalibrierung

Bei der vor allem bei komplexen Profilen verbreiteten Nasskalibrierung wurde die Größe der Vakuumpumpe jedoch oft von der Möglichkeit der Wassermittförderung und nicht von der erforderlichen Saugleistung bestimmt. Nicht selten installierte man deshalb Saugleistungen, welche durchaus fünfmal so hoch wie die tatsächlich benötigten Saugleistungen waren. Da jedoch ein zu tiefes Vakuum zu sehr großen Anpresskräften des Profils an das Werkzeug zu Lasten der Oberflächenqualität führen würde, regelte man das Vakuum durch Zufuhr von Umgebungsluft herunter.

Der Vorteil dieser Installation lag in ihrer Robustheit. Durch den hohen Luftanteil in den Rohrleitungen und Schläuchen entstand durch die Luft ein nahezu homogenes Gemisch mit hoher Fließgeschwindigkeit, welches Fehler bei der Rohr- und Schlauchverlegung kompensierte. Der Energiebedarf jedoch war beträchtlich, spielte aber auf Grund der Preisgestaltung von Endprodukt und Energie nur eine untergeordnete Rolle.

### 2.2 Optimierung durch getrennte Wasser-Luft-Absaugung

Mit zunehmender Optimierung der Werkzeuge wurden in diesen die Druckverluste reduziert, so dass die Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen nicht mehr ein so tiefes Vakuum erzeugen mussten. Die Arbeitspunkte der Vakuumpumpen bewegten sich in Richtung 150...250 mbar absolut. Damit sank auch das notwendige Saugvermögen. Vakuumpumpen mit weniger Saugvermögen können jedoch auch proportional weniger Wasser mitfördern. Die Schere zwischen der Fähigkeit, Wasser mitzufördern und der notwendigen Vakuumleistung wurde also größer.

Diesen neuen Anforderungen Rechnung tragend, konnte sich zuerst ein System, bestehend aus einer Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe und einer Wasseraustragspumpe, etablieren. Der Vakuumverteiler erhielt nun einen oberen Anschluss für die Vakuumpumpe und einen unteren für die Wasseraustragspumpe. Somit wurde das Wasser zum größten Teil mit der Wasserpumpe ausgetragen und die Vakuumpumpe entlastet. Die Wasserpumpe war so ausgeführt, so dass sie, wenn auch nur mit kleinem Saugvermögen, als Vakuumpumpe arbeiten konnte. Beide Pumpen waren mit einer Betriebswasserversorgung ausgestattet und liefen permanent mit.

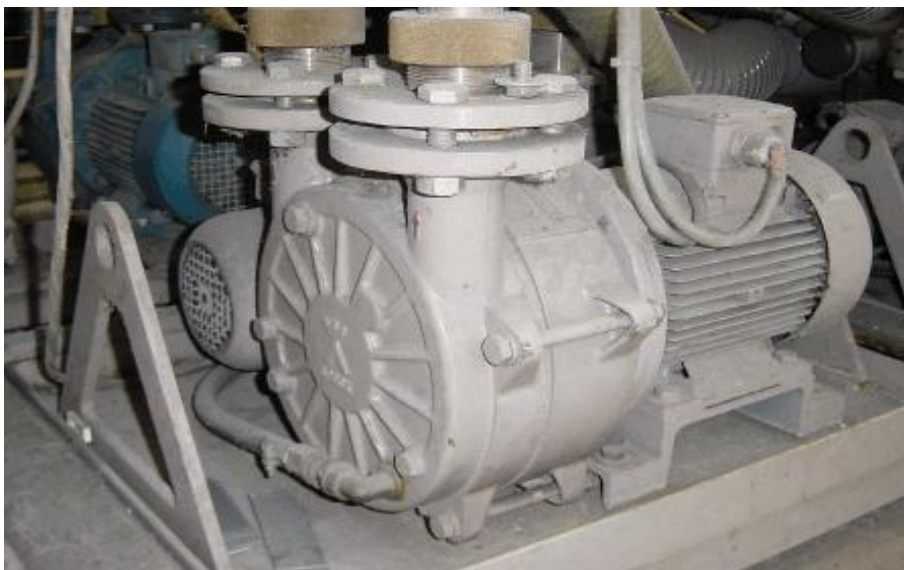


Abb.4: Pumpeneinheit bestehend aus 1-stufige Vakuumpumpen und Wasseraustragspumpe

Die weitestgehende Trennung von Wasser und Luft ermöglichte eine erste Anpassung des Saugvermögens an den Bedarf. Es wurde weniger Leckluft zugeführt. Somit konnte mit diesem System Energie gespart werden. Die Anlagenkosten jedoch erhöhten sich wegen der Installation zweier Pumpen.

Hinsichtlich der Installation ist jedoch auf eine optimale Verlegung der Rohrleitungen zu achten. Der geringere Anteil an Luft macht je nach Leitungsverlegung das Wasser-Luft-Gemisch inhomogen, was dann letztendlich zu Schlägen und daraus resultierend, zu einem stark schwankenden Vakuum im Werkzeug und am Profil führt.

### 2.3 Optimierung der Vakuumpumpen für die Kalibrierung

Der Nachteil der getrennten Wasser-Luft-Absaugung (hohe Investitionskosten) war der Ausgangspunkt für die Anpassungsoptimierung der Vakuumpumpen selbst. Neue Generationen von Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen zeichnen sich noch heute durch große Arbeitsöffnungen aus, so dass im Vergleich zu herkömmlichen Vakuumpumpen ca. fünfmal soviel Wasser zusammen mit der abzusaugenden Luft ausgetragen werden kann. Die Vakuumpumpen der VN-Reihe aus dem Hause Speck Pumpen zeichneten sich hierbei durch einen geringen Leistungsbedarf, selbst bei großen Wassermengen, aus.

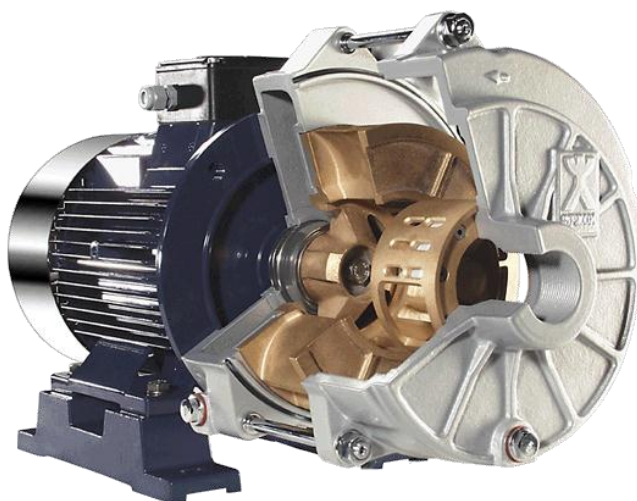


Abb.5: Schnittmodell einer optimierten Vakuumpumpe vom Typ VN

Funktionell, energetisch und anlagenbautechnisch war dieses System der getrennten Wasser-Luft-Absaugung einen Schritt voraus. Energie für den Wasseraustrag ist mit der neuen Pumpengeneration nur notwendig, wenn auch Wasser anfällt. Anlagentechnisch reduziert sich der Installationsaufwand wieder auf nur eine Pumpe.

Aber auch hier ist auf eine optimale Verlegung der Rohrleitungen zu achten, da sonst instabile Druckverhältnissen die Folge sind.

### 3 Neue Wege durch Vakuumregelung ohne Zusatzluft

Die bisher diskutierten Lösungen haben alle gemeinsam, dass die Vakuumregelung am Vakuumverteiler zu den Werkzeugen hin durch Zuführung von Umgebungsluft erfolgt. Der Bereich, in dem mitunter geregelt wird, ist sehr groß. In all den Lösungen wurden die Pumpen je Druckniveau fest installiert. Die installierte Vakuumleistung ist immer auf den größten Bedarf an dieser Stelle ausgerichtet. Je nach Erfahrungen und Philosophie des Unternehmens kann die Schere in diesem Bedarf sehr groß sein. Es kann also Vakuumleistung an ein und demselben Verteiler installiert sein, die zeitweise zu 100 %, zeitweise aber auch nur zu 5 % genutzt wird. Im zweiten Falle heißt dies, dass 95 % der Vakuumleistung unnötig erzeugt wird.

#### 3.1 Zentrale Vakuumeinheit

Eine in nur wenigen Unternehmen mit Erfolg praktizierte Variante ist die zentrale Vakuumerzeugung. Dabei wird das in einer oder mehreren Linien benötigte Vakuum durch ein unter Vakuum stehendes Rohrleitungsnetz zur Verfügung gestellt. In diesem Netz herrscht nur ein Druckniveau. Dieses Niveau ist etwas tiefer, als das aktuell tiefste benötigte Vakuum aller Abnehmer. Aus allen Abnehmern heraus erfolgt eine Drosselung der abgesaugten Luft in das gemeinsame Druckniveau hinein. Eine Anpassung der Vakuumleistung erfolgt hierbei durch das Zu- und Abschalten von Vakuumpumpen.

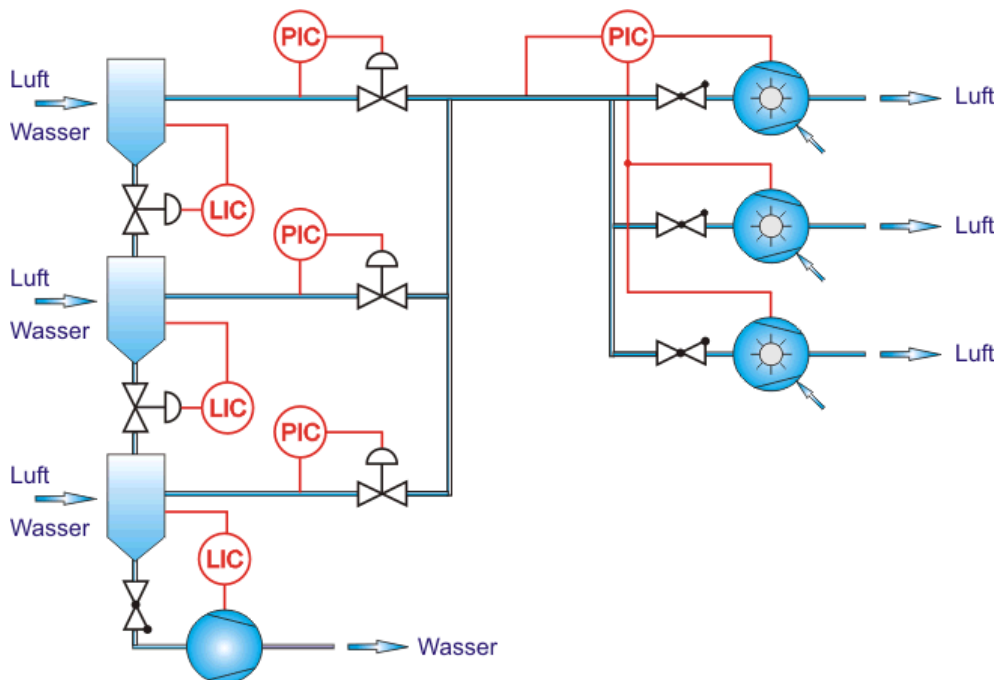


Abb.6: Schema einer zentralen Vakuumversorgung

### **3.1.1 Druckregelung durch Handventile**

Die Druckregelung am Verteiler zu den Werkzeugen hin selbst kann durch handeingestellte Drosselventile erfolgen. Voraussetzung hierfür ist ein konstantes Vakuum im Vakuumnetz. Einmal fixierte Ventilstellungen ermöglichen im Falle eines störungsfreien Betriebes auch ein konstantes Vakuum am Profil.

Die Konstanz des Vakuums im Vakuumnetz kann man zum Einen durch ein Regelventil sicherstellen, welches Vakuumschläge beim Zu- und Abschalten von Vakuumpumpen durch eine weitere Drosselung hin zu den Vakuumpumpen kompensiert. Eine andere Möglichkeit ist, die Vakuumpumpen über Frequenzumformer sanft zu- und abzuschalten und weitere Schwankungen über die Drehzahlregelung auszugleichen.

### **3.1.2 Druckregelung durch Regelventile**

Die Druckregelung am Verteiler zu den Werkzeugen hin kann aber auch durch Regelventile erfolgen. Diese regeln das einmal eingestellte Vakuum stetig nach. Schläge aus dem Zu- und Abschalten der Vakuumpumpen werden durch die Regelventile kompensiert.

Im Gegensatz zu der Handregelung bieten die Regelventile aber noch die Möglichkeit, die Produktqualität gleichbleibend zu gestalten und zu optimieren. Einmal gefundene, optimale Druckniveaus können immer wieder reproduziert werden; automatisch und unabhängig vom Maschinenbediener.

### **3.1.3 Einsparungspotential**

Im Vergleich zu den bisher diskutierten Aufstellungen lassen sich bei optimierten Werkzeugen in der Praxis Energieeinsparungen für die Vakuumerzeugung von bis zu 50 % realisieren. Das Einsparpotential schwindet jedoch, wenn sehr stark abweichende Druckniveaus an den Verteilern zu den Werkzeugen gefahren werden, da alle Druckniveaus auf das tiefste Vakuum gedrosselt werden müssen. So vervierfacht sich zum Beispiel das notwendige Saugvermögen, wenn man von 800 mbar (-0,2 bar) auf 200 mbar (-0,8 bar) drosselt.

### **3.1.4 Wasser-Luft-Trennung**

Befindet sich die Vakuumzentrale in größerer Entfernung zu den Druckniveaus oder sind mehrere Linien an eine Vakuumzentrale angeschlossen, dann ist es sinnvoll, das Wasser-Luft-Gemisch sofort am Verteiler zu trennen.

Zum Einen sind die Druckverluste eines Luft-Wasser-Gemisches beim Durchströmen von Rohrleitungen und Armaturen um ein Vielfaches höher, als bei reiner Gasströmung. Die Wassermittförderung verlangt somit ein tieferes Vakuum an der Vakuumzentrale.

Zum Anderen bedarf es bei Förderung eines Wasser-Luft-Gemisches einer sorgfältigen Rohrleitungsplanung, so dass sich keine Wassersäcke bilden können, welche das ganze System lahm legen könnten.

### 3.2 Drehzahlregelung

Alle vorangegangenen Ausführungen basieren mehr oder weniger auf der Akzeptanz Luft zur Regelung des Vakuums zu drosseln und damit mehr Energie als nötig zu verbrauchen. Mit der Installation einer Pumpeneinheit je Druckniveau regelt man durch Drosselung von Umgebungsluft in den Verteiler zu den Werkzeugen hinein. Bei der zentralen Vakuumversorgung bedient man sich der Drosselung der abgesaugten Luft aus dem Verteiler heraus.

Eine verlustärmere Methode der Regelung des Drucks ist die Regelung des Saugvermögens der Vakuumpumpe über die Drehzahl. Die folgenden Abschnitte 3.2.1 bis 3.2.5 widmen sich diesem Regelprinzip bei der Förderung von Luft. Das bedeutet, dass all diesen Untersuchungen eine Wasser-Luft-Trennung zu Grunde gelegt ist.

#### 3.2.1 Frequenzgeregelte Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen

Bei der Förderung von Luft lassen sich Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen über weite Bereiche durch Regelung der Drehzahl an das erforderliche Saugvermögen anpassen. Das maximale Saugvermögen der Vakuumpumpe verändert sich dabei weitestgehend proportional zur Drehzahl.

Liegt die mit einem Frequenzumformer eingestellte Frequenz im Bereich von 50...70 Hz, dann steigt über den gesamten im Katalog angegebenen Druckbereich das Saugvermögen direkt proportional zur Frequenz an.

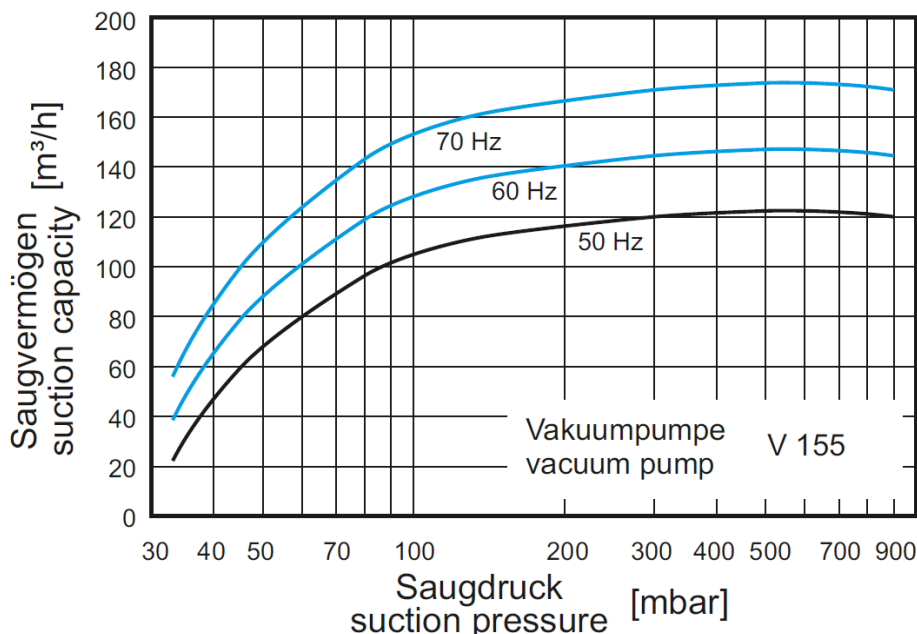


Abb.7: Einfluss von Frequenzen oberhalb der Nennfrequenz auf das Leistungsvermögen

Ist die eingestellte Frequenz jedoch geringer als 50 Hz, dann wird ab einer bestimmten, von der einzelnen Vakuumpumpe abhängigen Frequenz, die Umfangsgeschwindigkeit im Laufrad so klein, dass nicht mehr der gesamte Druckbereich abgedeckt werden kann. Das bedeutet, dass die geringst mögliche Frequenz, mit der man Vakuumpumpe betreiben kann, immer auch vom zu erzielenden Vakuum bestimmt wird.

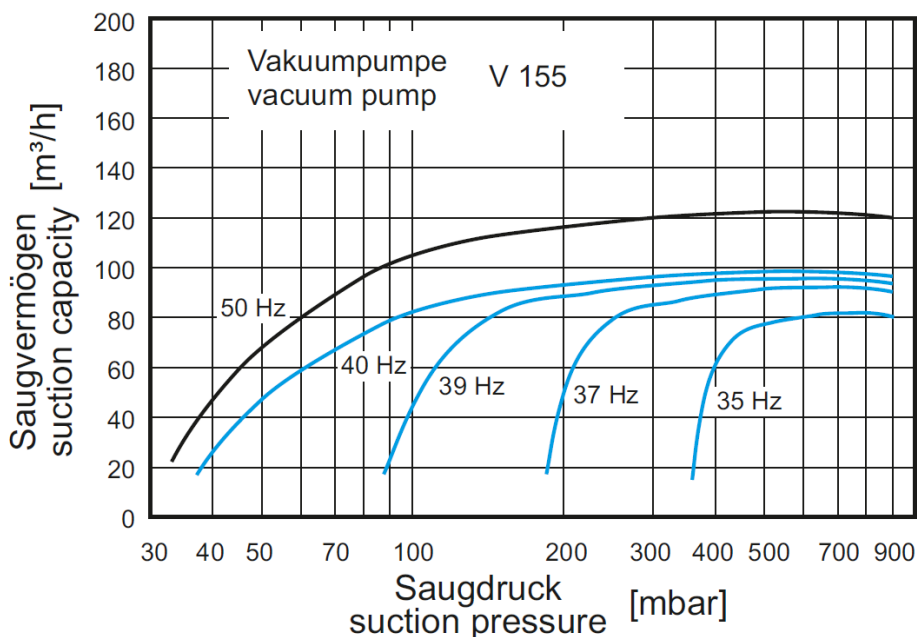


Abb.8: Einfluss von Frequenzen unterhalb der Nennfrequenz auf das Leistungsvermögen

### 3.2.2 Sinnvolle Saugvermögensregelung durch Frequenzänderung

Wie den vorangestellten Ausführungen zum Einfluss der Frequenz auf das Saugvermögen zu entnehmen ist, kann man keine Pauschalaussage zum Regelbereich machen. Der Regelbereich wird nach unten stets von dem zu erzielenden Vakuum bestimmt.

Analog einem Betrieb ohne Frequenzumformer kann man auch mit Frequenzumformer die Vakuumpumpen nicht unter einem Minimalsaugvermögen betreiben. Dies würde zu Abrisserscheinungen im Wasserring führen, die sich dann in dem bekannten Geräusch, weitläufig als Kavitationsgeräusch bezeichnet, äußern. Das minimal notwendige Saugvermögen liegt bei etwa 20 % des bei der eingestellten Frequenz maximalen Saugvermögens. Das maximale Saugvermögen wiederum ist direkt proportional der Frequenz:

$$\dot{V}_{\min} = \dot{V}_{\max} (50 \text{ Hz}) \cdot \frac{f}{50 \text{ Hz}} \cdot 0,2 \quad (1)$$

Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen sollte man mit Wasser als Betriebsflüssigkeit nicht oberhalb von 70 Hz betreiben, da die dann wirkenden Kräfte zu einer Überbelastung führen würden. Somit ergibt sich für das maximal mögliche Saugvermögen:

$$\dot{V}_{\max} = \dot{V}_{\max}(50 \text{ Hz}) \cdot \frac{70 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} = \dot{V}_{\max}(50 \text{ Hz}) \cdot 1,4 \quad (2)$$

Mit Bezug auf die Abbildungen 7 und 8 kommt man bei einem erforderlichen Saugdruck von 280 mbar (-0,72 bar) auf einen Regelbereich von:

$$\dot{V}_{\min} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \frac{35 \text{ Hz}}{50 \text{ Hz}} \cdot 0,2 = \underline{\underline{17 \text{ m}^3/\text{h}}} \quad (3)$$

$$\dot{V}_{\max} = 120 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1,4 = \underline{\underline{168 \text{ m}^3/\text{h}}} \quad (4)$$

### 3.2.3 Stabilität der Saugvermögensregelung durch Frequenzänderung

Über weite Bereiche kann das Saugvermögen stabil an die Erfordernisse durch eine Änderung der Frequenz angepasst werden. Der Abbildung 8 ist jedoch zu entnehmen, dass mit zunehmender Reduzierung der Frequenz der Einfluss der Frequenzänderung auf das Saugvermögen immer stärker wird. So bricht im angegebenen Beispiel bei einem Saugdruck von 270 mbar und einer Frequenzänderung von 37 Hz auf 35 Hz das Saugvermögen von fast 90 m<sup>3</sup>/h auf ca. 17 m<sup>3</sup>/h ein. Diesen Bereich zu beherrschen, ist regelungstechnisch eine Herausforderung. Besser ist es der Wahl der Größe der Vakuumpumpe mehr Aufmerksamkeit zu widmen, so dass durch die Wahl kleinerer Vakuumpumpen dieser zu Instabilität neigende Bereich vermieden werden kann.

### 3.2.4 Energieeinsparungspotential der Regelung durch Frequenzänderung

Wie bisher dargestellt, lassen sich die Saugvermögen der Vakuumpumpen recht gut an die Prozessbedingungen anpassen. Welches Potential der Energieeinsparung dabei besteht, lässt sich sehr gut durch die Darstellung des Leistungsbedarfs in Abhängigkeit vom Saugvermögen verdeutlichen. Abbildung 9 zeigt den Leistungsbedarf von Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen bei einem Saugdruck von 280 mbar. Die Änderung des Saugvermögens erfolgt durch eine Frequenzänderung am Motor.

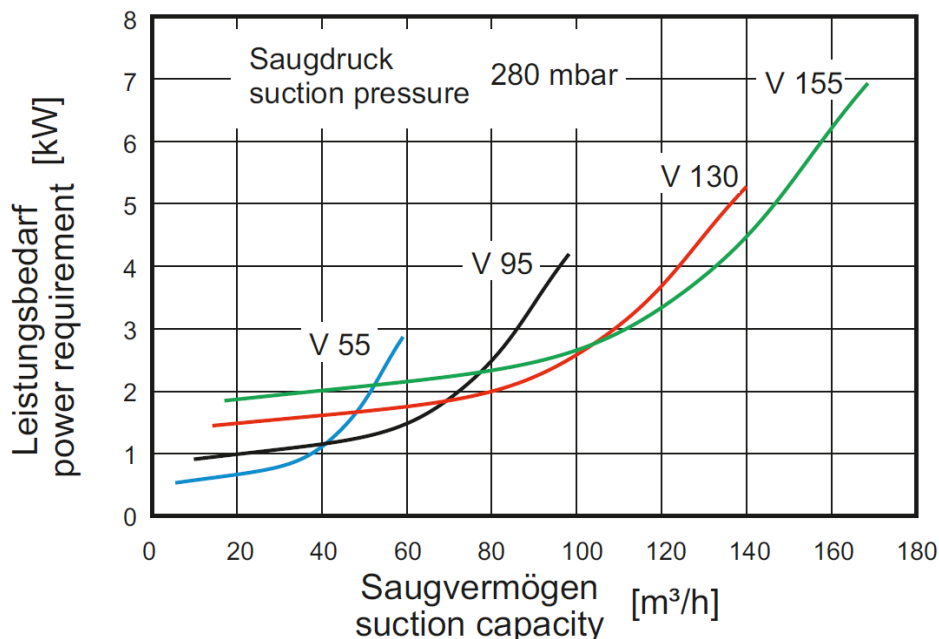


Abb.9: Leistungsbedarf verschiedener Baugrößen in Abhängigkeit vom Saugvermögen

Bleiben wir zunächst bei dem Beispiel der V 155. Diese stellt bei einer Frequenz von 50 Hz ein Saugvermögen von 125 m³/h zur Verfügung. Der Leistungsbedarf beträgt dabei 3,5 kW. Ist das vom Prozess benötigte Saugvermögen geringer, so kann man mit Hilfe eines Frequenzumformers das Saugvermögen bis auf ca. 17 m³/h reduzieren. Dabei sinkt der Leistungsbedarf auf nur noch 1,9 kW. Sinkt also der Saugvermögenbedarf unter Prozessbedingungen derart ab, dann besteht durch die Frequenzänderung ein Energieeinsparungspotential bis zu 45 %.

Die Abbildung 9 zeigt weiterhin, dass alle Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen ähnlich reagieren. Es wird mit der Grafik jedoch auch deutlich, dass kleinere Vakuumpumpen bei kleinen Saugvermögen noch einmal wesentlich weniger Energie benötigen, als große Vakuumpumpen. Allerdings steigt der Leistungsbedarf kleinerer Vakuumpumpen stärker bei größeren Saugvermögen. So nimmt z.B. eine V 130, heruntergeregelt auf 17 m³/h, nur ca 1,5 kW an Leistung auf. Betreibt man sie jedoch bei 125 m³/h, dann erhöht sich der Leistungsbedarf auf ca. 4,3 kW. Würde man also eine V 155 ohne Frequenzumformer durch eine V 130 mit Frequenzumformer ersetzen, dann würde die V 130 bei 125 m³/h ca. 22 % mehr Energie benötigen, bei 110 m³/h den gleichen Leistungsbedarf haben und bei 17 m³/h ca. 55 % weniger Energie benötigen.

### 3.2.5 Energieeinsparungspotential in der Profilextrusion

#### ***Das Einfahren des Profils***

In der Profilextrusion werden beim Einfahren des Kunststoffprofils weitaus größere Saugvermögen benötigt, als später im Prozess. Die Ursache hierfür ist, dass beim Einfahren die Spalte zwischen dem noch nicht fertig kalibrierten Kunststoffprofil und dem Werkzeug sehr groß sind. Die zur Erzeugung des notwendigen Unterdrucks zum Anlegen des Profils an das Werkzeug erforderlichen Saugvolumenströme sind sehr groß.

Jedoch ist dieses große Saugvermögen tatsächlich immer nur auf dem ersten Werkzeug notwendig. Das Profil wird durch alle Werkzeuge hindurchgezogen. Hat sich das Profil im ersten Werkzeug ausgebildet, dann verringern sich auch die Spalte zwischen Profil und Werkzeug in den folgenden Werkzeugen ebenso. Das bedeutet, dass beim Einfahren nicht sofort alle Werkzeuge mit Vakuum beaufschlagt werden müssen. Es genügt, nach und nach die Werkzeuge unter Vakuum zu setzen.

#### ***Das Kalibrieren des Profils***

Ist das Profil einmal eingefahren, dann verringert sich der notwendige Volumenstrom auf einen Bruchteil. Erfahrungen mit Versuchsanordnungen zur Energieeinsparung zeigen, dass das notwendige Saugvermögen bei ausgebildetem Profil auf ca. 30 % zurück geht.

#### ***Das Einsparungspotential***

Der Einfahrprozess, bei dem Vakuum zur Verfügung stehen muss, dauert ca. 15...30 Minuten. Danach läuft die Anlage für Stunden, teilweise sogar für Tage. Der Zeitraum, in dem das hohe Saugvermögen benötigt wird, ist also im Verhältnis zur gesamten Betriebszeit sehr kurz.

Das bestehende Einsparungspotential kann also optimal genutzt werden, wenn man eine kleinere Vakuumpumpe als bisher einsetzt. Diese benötigt zwar im Einfahrprozess etwas mehr Energie als üblich, was aber dann schon während der ersten Minuten des Kalibrierens durch den wesentlich geringeren Energiebedarf kompensiert wird.

Die Reduktion des Saugvermögensbedarfs nach dem Einfahrprozess um ca. 30 % erbringt jedoch weitere Möglichkeiten:

1. Es wäre sinnvoll, für alle dem ersten Werkzeug folgenden Werkzeuge nur Vakuumpumpen zu installieren, welche den Bedarf bei ausgebildetem Profil Rechnung tragen. Das führt in der Regel zu um 30 % kleineren Vakuumpumpen mit entsprechendem Einsparungspotential und zu diesem Zeitpunkt besserem Regelverhalten.
2. Auch die Vakuumpumpe am ersten Werkzeug könnte kleiner gewählt werden, wenn man diese zum Anfahrprozess durch Vakuum aus einem Vakuumnetz unterstützt.

Das Einsparungspotential kann somit durchaus in den Bereich von 65 % rücken, sofern die Werkzeuge dies zulassen.

### **3.2.6 Wassermittförderung in geregelten Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen**

Bis heute sind noch immer in den Extrusionslinien vorrangig Flüssigkeitsring-Vakuumpumpen verbaut, welche in der Lage sind, große Wassermengen mitzufördern. Aber auch hier richten sich die installierten Leistungen bisher nach dem Einfahrprozess.

Analoge Überlegungen zur Saugvermögensregelung wie sie zuvor bei reiner Luftförderungen angestellt wurden, führen bei der Absaugung von Wasser-Luft-Gemischen mit der Vakuumpumpe zu nicht unbedingt vergleichbaren Resultaten.

#### ***Regelverhalten***

Eine Regelung des Saugvermögens ist auch für das Absaugen von Wasser-Luft-Gemischen möglich. Allerdings sinkt mit fallender Drehzahl nicht nur das Vermögen, Luft abzusaugen, sondern auch das Vermögen, Wasser auszutragen. Ändern sich die Anteile von Wasser und Luft nur innerhalb der Grenzen der Vakuumpumpe, dann ist eine saubere Regelung möglich.

Bleibt jedoch die Wassermenge konstant oder steigt sogar, dann ist die Regelbarkeit des Saugvermögens über die Frequenz begrenzt und es muss wieder mit zusätzlich eingelassener Luft aus der Umgebung gearbeitet werden.

### **3.2.7 Die Trenneinheit**

Die Prozessbedingungen in der Profilextrusion unterscheiden sich in Abhängigkeit von der Profilgeometrie mitunter sehr stark. Eine sichere Aussage hinsichtlich des Anfalls des Wasser-Luft-Gemischs ist somit nicht möglich.

Wenn sowohl die auszutragende Wassermenge als auch die abzusaugende Luftmenge weitestgehend unabhängig voneinander sind, dann sollte im Interesse eines möglichst geringen Energiebedarfs auch die Regelung der zu fördernden Medien unabhängig voneinander erfolgen.

Eine solche Trenneinheit besteht dann aus einem Behälter, in dem das Wasser-Luft-Gemisch zunächst getrennt wird. Eine an diesen Behälter angeschlossene Vakuumpumpe saugt dann, geregelt über die Frequenz, die eingetragene Luft ab. Das Wasser muss mit einer eigenen Pumpe ausgetragen werden, welche im Interesse der Energieeinsparung, ebenfalls geregelt über die Frequenz, das Wasser austrägt und abschaltet, wenn kein Wasser anfällt.

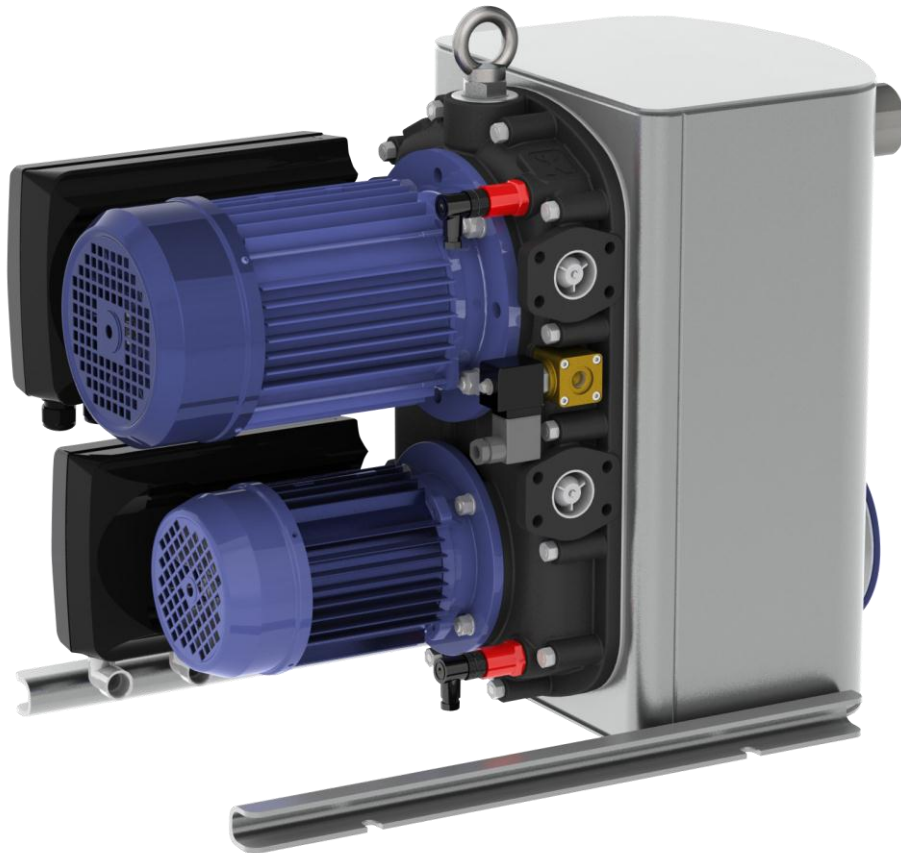


Abb. 10: Trenneinheit zur geregelten Absaugung von Wasser-Luft-Gemischen

Die Abbildung 10 zeigt eine kompakte Trenneinheit. Das über die Verteiler aus den Werkzeugen abgesaugte Wasser-Luft-Gemisch wird der Trenneinheit über Schläuche oder Rohrleitungen zugeführt. Es ist auf eine zur Trenneinheit stetig fallende Leitungsführung zu achten. Andernfalls kann es durch eine Siphonwirkung zu Schwankungen in der Förderung und somit auch zu Druckschwankungen am Profil kommen.

Neben Anschlüssen für die Absaugung des Wasser-Luft-Gemischs gibt es einen weiteren zum Anschluss an ein Vakuumnetz, um Leistungsspitzen beim Einfahren des Profils mit abdecken zu können.

Die Vakuumpumpe ist wie jede Flüssigkeitsring-Vakuumpumpe mit Betriebswasser zu versorgen. Das aus der Vakuumpumpe austretende Wasser-Luft-Gemisch sowie das mit der Flüssigkeitspumpe ausgetragene Wasser kann einem Abwassersystem zugeführt werden.

Künftig wird es eine solche Einheit geben, bei welcher die Frequenzumformer Bestandteil der Motoren sind. Diese werden durch eine am Behälter angebrachte SPS im Zusammenspiel mit integrierter Messtechnik für die Einhaltung eines vorgegebenen Vakuums sorgen und anfallendes Wasser austragen.

## 4 Symbolverzeichnis

<b>Symbole</b>	V	m <sup>3</sup>	Volumen
	f	Hz	Frequenz
<b>Indizes</b>		min	minimal
		max	maximal
<b>sonstige Kennzeichnung</b>		·	Zeitableitung



Speck Pumpen Vakuumtechnik GmbH

Postfach 1453 • 91142 Roth  
Regensburger Ring 6–8 • 91154 Roth

Tel.: +49 9171 809 0  
Fax: +49 9171 809 10

info@speck-pumps.de  
[www.speck-pumps.de](http://www.speck-pumps.de)

1096.1051 - 11/2011