



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Energie BFE**  
Sektion Energieforschung und Cleantech

**Schlussbericht vom 23.11.2022**

---

## **Elektrozylinder als Pneumatikzylinder-Ersatz**

**Der smarte und flexible 1:1 Ersatz von Pneumatikzylindern**

---





Datum: 23.11.2022

**cyltronic**

Ort: Bern

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger/innen:**

Cyltronic AG  
Technoparkstrasse 2  
CH-8406 Winterthur  
<https://www.cyltronic.ch/>

**Autoren:**

Benjamin Schellenberg, Cyltronic AG, [b.schellenberg@cyltronic.ch](mailto:b.schellenberg@cyltronic.ch)  
Jeremias Wehrli, Cyltronic AG, [j.wehrli@cyltronic.ch](mailto:j.wehrli@cyltronic.ch)

**BFE-Projektbegleitung:**

Men Wirz, [men.wirz@bfe.admin.ch](mailto:men.wirz@bfe.admin.ch)  
Roland Brüniger, [roland.brueniger@brueniger.swiss](mailto:roland.brueniger@brueniger.swiss)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/502180-01

**Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.**



## Zusammenfassung (DE)

Wenn es darum geht, lineare Bewegungen - beispielsweise in Produktionsanlagen - auszuführen, werden Status quo üblicherweise noch immer Pneumatikzylinder eingesetzt: Allein in der Schweiz sind schätzungsweise 2 Millionen solcher Aktuatoren in Betrieb. Der grösste Teil der aufgewendeten Energie in Druckluftsystemen geht ungenutzt verloren: So beläuft sich die mechanisch nutzbare Leistung auf lediglich rund 6% der Ausgangsleistung. Die Tatsache, dass allein die Drucklufterzeugung für 1.5% des gesamten Stromverbrauchs verantwortlich ist, verdeutlicht ein beachtliches Energieeinsparpotential beim Verzicht auf Druckluft.

Aufgrund des aktuell stark ansteigenden Energiepreises gewinnen Möglichkeiten zur Energieeinsparung zusätzlich an Relevanz.

Die Cyltronic AG entwickelte einen Elektrozylinder als Ersatz für Pneumatikzylinder. Das Ziel des in diesem Bericht erläuterten Projektes war in erster Linie, die Vorteile des entwickelten Elektrozylinders in der Praxis nachzuweisen. Zu diesem Zweck wurden Industriepartner wie COOP, Ricola, MIGROS, STIHL, etc. für Pilotprojekte akquiriert, um in deren Produktionsanlagen Druckluftzylinder durch Cyltronic-Elektrozylinder eins-zu-eins zu ersetzen. Durch Messung des Luftverbrauchs vor dem Umbau und Energieverbrauchsmessungen nach der Umrüstung konnten die erzielten Strom- und Kosteneinsparungen ermittelt werden. In den Projekten konnte eindrücklich gezeigt werden, dass es mit dem Cyltronic-Zylinder möglich ist bestehende Druckluftzylinder zu ersetzen und dies sogar, ohne die Maschinensteuerung anzupassen.

Die Anschaffungskosten von Pneumatikzylindern im Verhältnis zu Elektrozylindern von Cyltronic fallen gemäss Ermittlungen zirka drei Mal tiefer aus. Die Betriebskosten hingegen können unter Einsatz des Cyltronic Elektrozylinders teilweise um einen Faktor grösser hundert gesenkt werden.

Das Ergebnis zeigt, dass der von Cyltronic entwickelte Elektrozylinder im Vergleich zu herkömmlichen Pneumatikzylindern deutlich energieeffizienter ist: Durchschnittlich 93% der Energie können durch den Einsatz dieses Elektrozylinders eingespart werden.

Als unerwarteter Vorteil hat sich erwiesen, dass die Geräuschemissionen stark reduziert werden. Dies führt daher, dass im Elektrozylinder keine Luft durch Schalldämpfer entweicht und der Elektrozylinder auf die Endlagen hin verzögert.

Unter Betrachtung des isolierten Zylinder-Systems wird ein positiver Return on Investment (ROI) des Zylinders bei Ersatz in einer bereits bestehenden Anlage nach sechs bis neun Jahren erreicht. Wenn hingegen das Gesamtsystem miteinbezogen wird und eine Vollkostenrechnung gemacht wird (TCO: Total Cost of Ownership), verkürzt sich diese Zeitspanne um rund die Hälfte - Bei einigen hier dokumentierten Pilotprojekten sogar noch mehr. Die Wartungskosten der Kompressoren sowie die Druckluftzuführung und Leckagen stellen also relevante Parameter der durch Druckluftsysteme aufkommenden Kosten dar. In dem Projekt wurde für die ROI-Berechnungen von einem Strompreis von CHF 0.21/kWh ausgegangen. Bei einem höheren Strompreis würde sich die Zeit zu einem positiven ROI entsprechend verkürzen. Zudem muss erwähnt werden, dass die betriebswirtschaftlichen Kennzahlen stark abhängig sind von den jeweiligen Anwendungen der Zylinder: So wird bei einer hohen Taktzahl des Aktuators eine Investition in den elektrisch angetriebenen Zylinder besonders lohnend.

An dieser Stelle ist noch das Förderprogramm des Bundesamtes für Energie zu erwähnen, welches in hocheffiziente Technologien investiert (*Förderprogramm ProKilowatt*) und hierbei bis zu 30% der Investitionskosten übernimmt.

Der Cyltronic-Zylinder überzeugt insbesondere dann, wenn er von Beginn weg in die Maschinen eingebaut wird. Neben den beträchtlichen Energieeinsparungen ergeben sich nämlich bedeutsame Vorteile in Bezug auf die Inbetriebnahme, die Wartung und den Betrieb. Zudem besteht durch die Positionierfähigkeit eine höhere Flexibilität und der Prozessablauf kann durch die smarte Schnittstelle «IO-Link» besser überwacht und optimiert werden.

Die durchgeföhrten Interviews zeigen auf, dass das Bedürfnis der Endanwender nach energieeffizienten Aktoren höher zu gewichten ist im Vergleich zu Maschinenbau-Unternehmungen. Daher wird von der Cyltronic AG empfohlen, dass Endanwender Elektrozylinder in deren Lastenheft aufnehmen. Die Interviews zeigen ebenfalls auf, dass die Einsparung von Kosten höher gewichtet wird als die Einsparung von Energie.



## Résumé (FR)

Quand il s'agit d'exécuter des mouvements linéaires - par exemple dans des installations de production - le statu quo veut que l'on utilise encore des vérins pneumatiques : Rien qu'en Suisse, on estime que 2 millions de ces actionneurs sont en service. La majeure partie de l'énergie utilisée dans les systèmes à air comprimé est perdue sans être utilisée : la puissance mécaniquement utilisable ne représente qu'environ 6% de la puissance de sortie. Le fait que la production d'air comprimé représente à elle seule 1,5% de la consommation totale d'électricité met en évidence un potentiel d'économie d'énergie considérable si l'on renonce à l'air comprimé.

En raison de la forte augmentation actuelle du prix de l'énergie, les possibilités d'économie d'énergie gagnent encore en importance.

Cyltronic AG a développé un vérin électrique pour remplacer les vérins pneumatiques. L'objectif du projet décrit dans ce rapport était en premier lieu de démontrer les avantages du vérin électrique développé dans la pratique. Dans ce but, des partenaires industriels tels que COOP, Ricola, MIGROS, STIHL, etc. ont été acquis pour des projets pilotes afin de remplacer un à un les vérins pneumatiques par des vérins électriques Cyltronic dans leurs installations de production. En mesurant la consommation d'air avant la transformation et la consommation d'énergie après la transformation, il a été possible de déterminer les économies d'électricité et de coûts réalisées. Les projets ont démontré de manière impressionnante qu'il est possible de remplacer les vérins pneumatiques existants avec le vérin Cyltronic, et ce même sans adapter la commande de la machine.

Les coûts d'acquisition des vérins pneumatiques par rapport aux vérins électriques de Cyltronic sont environ trois fois moins élevés. En revanche, les coûts d'exploitation peuvent être réduits d'un facteur supérieur à cent en utilisant un vérin électrique Cyltronic.

Le résultat montre que le vérin électrique développé par Cyltronic est nettement plus efficace sur le plan énergétique que les vérins pneumatiques traditionnels : en moyenne, 93% de l'énergie peut être économisée grâce à l'utilisation de ce vérin électrique.

Un avantage inattendu s'est avéré être la forte réduction des émissions sonores. Cela vient du fait que dans le vérin électrique, l'air ne s'échappe pas à travers des silencieux et que le vérin électrique décèle vers les positions finales.

Si l'on considère le système de vérins isolé, un return on Investment (ROI) positif du vérin est atteint après six à neuf ans en cas de remplacement dans une installation déjà existante. Cependant, si l'on considère l'ensemble du système et que l'on effectue un calcul du coût total de possession (TCO : Total Cost of Ownership), cette période est réduite de moitié environ - et même plus dans certains des projets pilotes documentés ici. Les coûts de maintenance des compresseurs ainsi que l'alimentation en air comprimé et les fuites constituent donc des paramètres importants des coûts engendrés par les systèmes d'air comprimé. Dans le cadre du projet, les calculs de ROI ont été effectués sur la base d'un prix de l'électricité de 0,21 CHF/kWh. Si le prix de l'électricité était plus élevé, le temps nécessaire pour obtenir un return on Investment positif serait réduit d'autant. En outre, il convient de mentionner que les chiffres clés de la gestion d'entreprise dépendent fortement des applications respectives des vérins : Ainsi, si le nombre de cycles du servomoteur est élevé, il est particulièrement rentable d'investir dans un vérin à entraînement électrique.

Il faut encore évoquer le programme d'encouragement de l'Office fédéral de l'énergie qui investit dans des technologies à haut rendement (programme d'encouragement ProKilowatt) et qui, dans ce cas, prend en charge jusqu'à 30% des coûts d'investissement.

Le vérin Cyltronic est particulièrement convaincant lorsqu'il est installé dans des machines dès le début. Outre des économies d'énergie considérables, il offre en effet des avantages significatifs lors de la mise en service, de la maintenance et de l'exploitation. De plus, sa capacité de positionnement offre plus de flexibilité et le déroulement du processus peut être mieux surveillé et optimisé grâce à l'interface intelligente "IO-Link". Les entretiens menés montrent que le besoin des utilisateurs finaux en actionneurs efficaces sur le plan énergétique est plus important que celui des entreprises de construction mécanique. Cyltronic SA recommande donc aux utilisateurs finaux d'inclure des vérins électriques dans leur cahier des charges. Les interviews montrent également que l'économie de coûts est plus pondérée que l'économie d'énergie.



## Summary (EN)

When it comes to executing linear movements - for example in production plants - status quo pneumatic cylinders are still typically used: In Switzerland alone, an estimated 2 million such actuators are in operation. Most of the energy expended in compressed air systems goes lost unused: the mechanically usable power amounts to only about 6% of the output power. The fact that compressed air generation alone is responsible for 1.5% of total power consumption illustrates the considerable potential for energy savings if compressed air is dispensed with.

Due to the current sharp rise in energy prices, possibilities for saving energy are gaining additional relevance.

Cyltronic AG developed an electric cylinder to replace pneumatic cylinders. The aim of the project discussed in this report was primarily to demonstrate the advantages of the developed electric cylinder in practice. For this purpose, industrial partners such as COOP, Ricola, MIGROS, STIHL, etc. were acquired for pilot projects to replace pneumatic cylinders with Cyltronic electric cylinders on a in their production facilities. By measuring the air consumption before the retrofit and energy consumption measurements after the retrofit, the achieved electricity and cost savings could be determined. In the projects, it was clearly shown that it is possible to replace existing pneumatic cylinders with the Cyltronic cylinder - even without modifying the machine control system.

The purchase costs of pneumatic cylinders in relation to electric cylinders from Cyltronic are approximately three times lower. The operating costs, on the other hand, can be reduced by a factor of more than one hundred when operating the Cyltronic electric cylinder.

The results show that the electric cylinder developed by Cyltronic is significantly more energy-efficient than conventional pneumatic cylinders: on average, 93% of the energy can be saved by using this electric cylinder.

An unexpected advantage has proven to be that noise emissions are greatly reduced. This is due to the fact that no air escapes through silencers in the electric cylinder and the electric cylinder decelerates towards the end positions.

Considering the isolated cylinder system, a positive return on investment (ROI) of the cylinder is achieved after six to nine years when replacing it in an existing plant. If, on the other hand, the entire system is taken into account and a full cost calculation is made (TCO: Total Cost of Ownership), this period is reduced by around half - in some pilot projects documented here, even more. The maintenance costs of the compressors as well as the compressed air supply and leakages thus represent relevant parameters of the costs incurred by compressed air systems. In the project, an electricity price of CHF 0.21/kWh was assumed for the ROI calculations. With a higher electricity price, the time to a positive ROI would be shortened accordingly. In addition, it must be mentioned that the economic key figures are strongly dependent on the respective applications of the cylinders: For example, an investment in the electrically driven cylinder becomes particularly worthwhile if the actuator runs a high number of cycles.

At this point, the support program of the Swiss Federal Office of Energy should be mentioned, which invests in highly efficient technologies (ProKilowatt support program) and covers up to 30% of the investment costs.

The Cyltronic cylinder is particularly convincing when it is installed in the machines right from the start. In addition to the considerable energy savings, there are also significant advantages in terms of commissioning, maintenance and operation. In addition, there is greater flexibility thanks to the positioning capability, and the process flow can be better monitored and optimized thanks to the smart "IO-Link" interface.

The interviews conducted indicate that the need of end users for energy-efficient actuators is to be weighted higher compared to mechanical engineering companies. Therefore, Cyltronic AG recommends that end users include electric cylinders in their specifications. The interviews also indicate that cost savings are weighted higher than energy savings.



## Take Home Messages

- Der Energiebedarf von Produktionsanlagen kann durch den Ersatz von Pneumatik stark reduziert werden, da durch den Cyltronic Zylinder rund 93% Energie eingespart werden kann.
- Das Umrüsten einer Anlage lohnt sich, denn es kann ein deutlicher ROI (Return on Investment) erzielt werden.
- Die Kosten- und Ressourceneffizienteste Vermeidung von Pneumatik ist, wenn die Neumaschinen schon ganz ohne Druckluftaktoren geliefert werden.
- Durch den Ersatz der Pneumatikzylinder durch den Cyltronic Elektrozylinder während der Konstruktion können insbesondere die Inbetriebnahme, die Wartung und der Betrieb der Anlage stark optimiert werden.
- Durch Elektrozylinder und deren intelligente Schnittstellen können im Gegensatz zu Pneumatikzylinder einfach unterschiedliche Positionen angefahren werden. Des Weiteren kann die Anlage smarte Funktionen übernehmen. Daten generieren und nutzen wird möglich gemacht.
- Das Umrüsten einer Anlage wird durch den positionierfähigen Elektrozylinder deutlich schneller.
- Geräuschemissionen von Anlagen werden durch den Ersatz von Pneumatikzylindern durch Cyltronic-Elektrozylinder deutlich reduziert, was eine bessere Arbeitsatmosphäre für Mitarbeiter bedeutet.
- Energieeinsparen ist bei vielen Kunden nicht die höchste Priorität: Die Einsparung von Kosten wird höher gewichtet.
- Das Förderprogramm *ProKilowatt* unterstützt Firmen beim effizienter werden und hilft, die nicht amortisierbaren Kosten zu decken.



# Inhaltsverzeichnis

**ZUSAMMENFASSUNG (DE)** ..... III

**RÉSUMÉ (FR)** ..... IV

**TAKE HOME MESSAGES** ..... VI

**1 EINLEITUNG** ..... 1

**1.1 Ausgangslage und Hintergrund** ..... 1

**1.2 Motivation des Projekts** ..... 2

**1.2.1 Geschichte** ..... 2

**1.3 Marktrecherche** ..... 3

**1.3.1 Strategische Relevanz** ..... 3

**1.3.2 Markt** ..... 3

**1.3.3 Kostenstruktur** ..... 3

**1.3.4 Fazit** ..... 4

**1.3.5 Zielsetzung** ..... 5

**2 ANLAGENBESCHRIEB** ..... 7

**2.1 Abmessungen des Cyltronic Elektrozylinders und Kompatibilität zu Pneumatikzylindern** 7

**2.2 Bauteile des Zylinders und dessen Funktionsweise** ..... 8

**2.3 Bedienung des Zylinders** ..... 9

**2.4 Ansteuerung des Zylinders** ..... 9

**2.5 Vorteile des Zylinders** ..... 10

**2.6 Kennwerte des Zylinders** ..... 10

**2.7 Produktpotfolio** ..... 11

**3 VORGEHEN UND METHODE** ..... 12

**3.1 Detaillierte Beschreibung der Ziele** ..... 12

**3.1.1 Testen eines Elektrozylinders als Pneumatikzylinder Ersatz im Labor** ..... 12

**3.1.2 Testen der Zylinder direkt vor Ort bei Kunden** ..... 12

**3.1.3 Die Überprüfung der Hypothesen mithilfe von Interviews** ..... 13

**3.2 Geplante Begleitmassnahmen** ..... 13

**3.2.1 Fachjournale** ..... 13

**3.2.2 LinkedIn-Kampagnen** ..... 13

**3.2.3 Publikation Cyltronic AG** ..... 13

**3.3 Pilotprojekte – Ermittlung des Energieeinsparpotentials** ..... 13

**3.3.1 Aufbau der Projekte** ..... 13

**3.3.2 Berechnung des Einsparpotentials** ..... 13

**3.3.2.1. Energie** ..... 14

**3.3.2.2. Kosten** ..... 14



3.3.3 Aufbau der Projekte bei den Pilotkunden.....	15
3.3.3.1. Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG .....	15
3.3.3.2. Reismühle Nutrex (Division der COOP-Genossenschaft) .....	19
3.3.3.3. Mibelle Group .....	23
3.3.3.4. Micarna SA .....	25
3.3.3.5. Kubrix AG .....	25
3.3.3.6. Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG .....	26
3.3.3.7. Weitere Projekte.....	27
<b>3.4 Vorgehensweise zur Analyse der Interviews .....</b>	<b>30</b>
3.4.1 Hypothesen .....	30
<b>4 ERGEBNISSE.....</b>	<b>30</b>
<b>4.1 Ergebnisse der Pilotprojekte.....</b>	<b>30</b>
4.1.1 Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG .....	30
4.1.1.1. Ausführliche Beschreibung der Messung.....	32
4.1.2 Reismühle Nutrex .....	36
4.1.2.1. Ausführliche Beschreibung der Messung.....	38
4.1.3 Weitere Projekte .....	40
4.1.3.1. Mibelle Group .....	40
4.1.3.2. Micarna SA .....	40
4.1.3.3. Kubrix AG .....	43
4.1.3.4. Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG .....	43
4.1.3.5. JOWA AG – Mühle Wildegg .....	44
4.1.3.6. Delica AG (Riseria) .....	44
4.1.3.7. Weitere kleine Projekte.....	44
4.1.4 Fazit der Pilotprojekte.....	44
<b>4.2 Ergebnisse der Interviews .....</b>	<b>46</b>
4.2.1 Distributoren .....	46
4.2.2 Maschinenbauer .....	47
4.2.3 Endanwender .....	49
4.2.4 Fazit zu den Interviews.....	51
<b>5 DISKUSSION .....</b>	<b>53</b>
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNGEN.....</b>	<b>55</b>
<b>6.1 Ausblick .....</b>	<b>56</b>
<b>6.2 Empfehlung an Maschinen Endanwender .....</b>	<b>57</b>
<b>6.3 Ziele und deren Schlussfolgerungen.....</b>	<b>57</b>
<b>7 NATIONALE UND INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT .....</b>	<b>59</b>
<b>8 KOMMUNIKATION .....</b>	<b>59</b>
<b>9 PUBLIKATIONEN .....</b>	<b>59</b>
<b>9.1 Motor Summit.....</b>	<b>59</b>



<b>9.2</b>	<b>Fachzeitschrift Aktuelle Technik .....</b>	<b>60</b>
<b>9.3</b>	<b>ZHAW Sustainability Safari .....</b>	<b>60</b>
<b>9.4</b>	<b>Zürcher Handelskammer.....</b>	<b>60</b>
<b>9.5</b>	<b>Handelskammer Winterthur.....</b>	<b>60</b>
<b>9.6</b>	<b>Wirtschaftsraum Zürich .....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>61</b>
<b>11</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>62</b>
<b>12</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>63</b>
<b>13</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>64</b>



## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
<b>TCO</b>	Total Cost of Ownership / Vollkostenrechnung
<b>ROI</b>	Return on Investment
<b>K10 / K05</b>	Spindelsteigung K10 entspricht 10mm pro Umdrehung, K05 5mm pro Umdrehung
<b>CTC</b>	CTC steht für Cyltronic (CT) Cylinder (C)
<b>EMV</b>	Elektromagnetische Verträglichkeit



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Hintergrund

In der Industrie werden heute für einfache Linearbewegungen vorwiegend Pneumatikzylinder eingesetzt. Diese sind, bedingt durch den schlechten Wirkungsgrad der Drucklufterzeugung (45%) (Gloor, 2020), der Verluste im Leitungssystem und der Tatsache, dass bei jeder Bewegung die komprimierte Luft im Zylinder an die Umgebung abgegeben wird, enorm ineffizient (Wirkungsgrad unter 10%, siehe Abbildung 1). Die Tatsache, dass trotzdem 1.5% der gesamten in der Schweiz produzierten Energie für die Drucklufterzeugung aufgewendet wird (Gloor, 2000) zeigt die hohe Relevanz der Thematik.

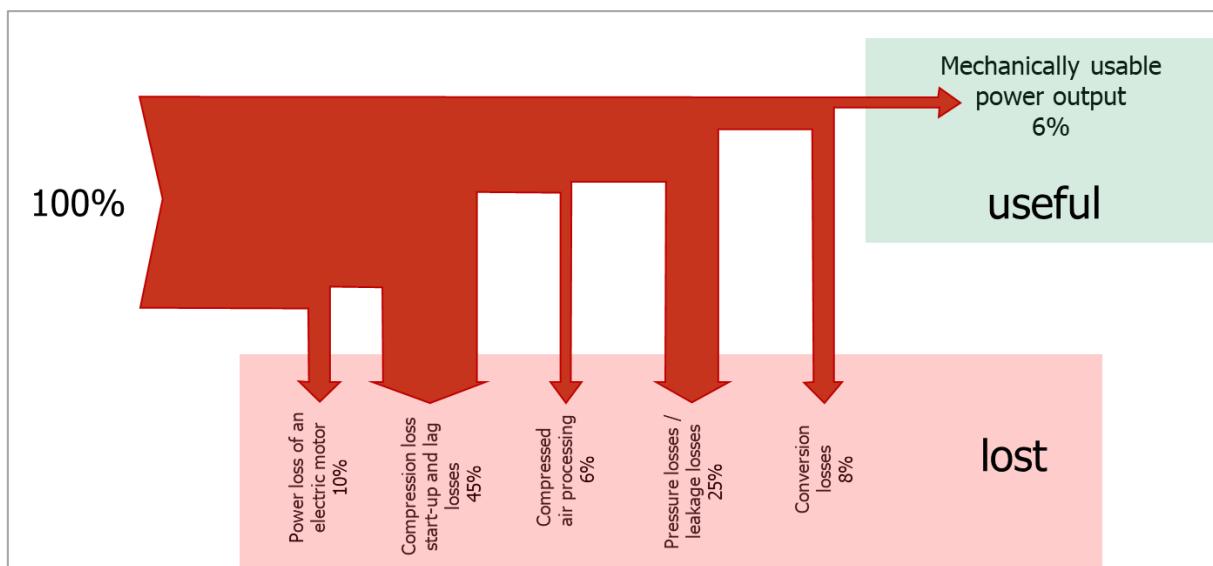


Abbildung 1: Energieverlust von Druckluftsystemen (Brechten, 2006)

Aktuell sind bereits einige Elektrozylinder auf dem Markt verfügbar. Diese sind jedoch hinsichtlich Komplexität, Kosten und Grösse keine Alternative für Pneumatikzylinder. Meistens wird ein Zylinder ohne inkludierten Servomotor verwendet. Dies führt dazu, dass üblicherweise ein Getriebe zwischen den Zylinder und den Servomotor eingebaut und zusätzlich ein externer Kontroller entwickelt wird. Diese Varianten sind als Pneumatik-Ersatz für den Massenmarkt, insbesondere aufgrund der Komplexität und der Diskrepanz in den Dimensionen, meistens nicht tragbar.

In dieser Hinsicht fehlte ein Produkt, welches die Lücke zwischen «einfachen» Pneumatikzylindern und teuren, komplexen und grossen Servoantriebe zu schliessen vermochte.

Dies führt zur Motivation des Projekts der Entwicklung eines Elektrozylinders, welcher auf dem Markt signifikante Mehrwerte bietet im Vergleich zum herkömmlichen Pneumatikzylinder und gleichzeitig günstiger, einfacher und kleiner als die herkömmlichen Servoantriebe ist.



We know there are other electric cylinder in the market, but ...

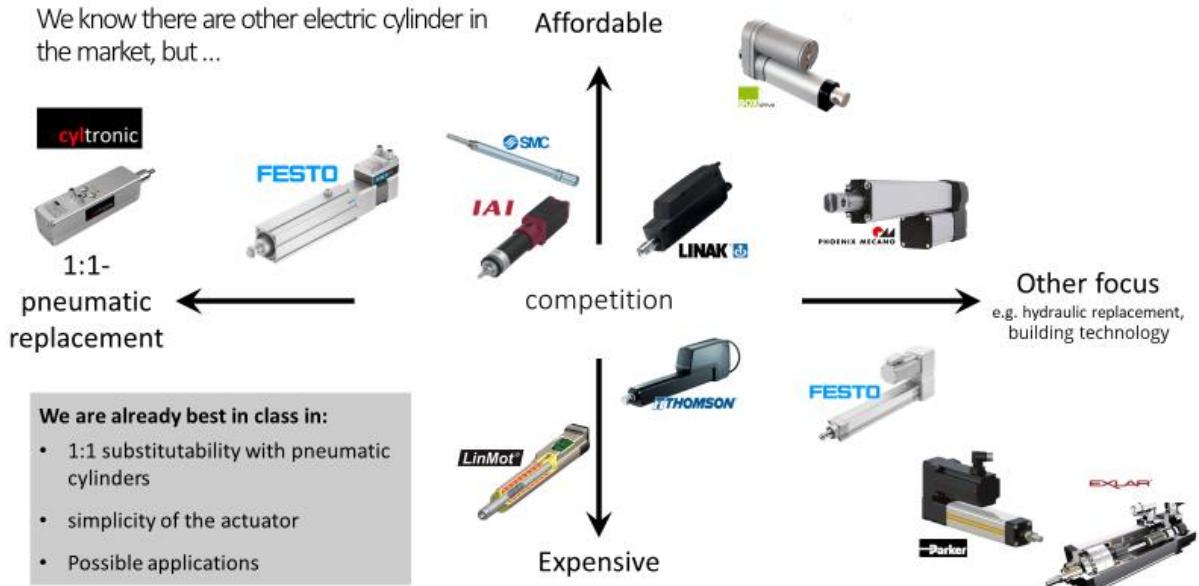


Abbildung 2: Konkurrenzanalyse (Seite 13 aus dem Pitch Deck der Cyltronic AG)

## 1.2 Motivation des Projekts

Die Motivation der Gründer von der Cyltronic AG besteht zum einen darin, ein nachhaltiges und energieeffizientes Produkt zu entwickeln. Natürlich möchte die Cyltronic AG die gewonnenen Erkenntnisse auch nutzen und umsetzen, um so erfolgreich einen Elektrozylinder als Ersatz von pneumatischen Alternativen im Markt zu lancieren.

### 1.2.1 Geschichte

Die Gründer von der Cyltronic AG beschäftigen sich mit der Thematik schon seit 2017, wo diesbezüglich sowohl eine Projektarbeit als auch eine Bachelorarbeit an der ZHAW in Auftrag gegeben wurden. Der Ursprung jedoch war, als einer der Gründer und jetziger CEO Jermias Wehrli selbst als Ingenieur tätig war. Gemäss Jermias Wehrli war bereits zu dieser Zeit «allgemein bekannt», dass Druckluft sehr ineffizient ist. Um Pneumatikzylinder an seiner Anlage ersetzen zu können, recherchierte er nach Elektrozylindern. Nach einer tiefen Recherche realisierte er etwas enttäuscht, dass es keine adäquate Elektrozylinder gibt, welche einfach einen Pneumatikzylinder ersetzen könnten.

Daraufhin wurde durch die späteren Gründer der Cyltronic AG ein Prototyp eines Elektrozylinders entwickelt, welcher anschliessend zu einem Serienprodukt ausgereift wurde. Bei der Entwicklung wurde darauf geachtet, dass der Zylinder die wichtigsten Eigenschaften eines Pneumatik-Normzylinders mit Baugrösse 32 nach ISO15552 einhält. Dies beinhaltete das Erreichen derselben Kraft und Geschwindigkeit, Lebensdauer, sowie harmonisierte Elektronikanschlüsse und Abmessungen.

Die Cyltronic AG hat in den Jahren 2019 bis 2022 den Zylinder vom Prototyp zum serienfertigen Zylinder weiterentwickelt. Aktuell sind Rahmenverträge für eine Serie von 3000 Zylindern laufend.



## 1.3 Marktrecherche

### 1.3.1 Strategische Relevanz

Die Tatsache, dass für die Drucklufterzeugung 1.5% der jährlichen Schweizer Stromproduktion aufgewendet wird (Gloor, 2000), zeigt die grosse Relevanz dieser Technologie. Auch die Grösse des Pneumatikmarkts in der Schweiz mit einem Gesamtvolume von CHF 218.- Mio. (exkl. Armaturen) unterstreicht das.

Ein zusätzlicher Aspekt zeigt sich in Anbetracht des schlechten Gesamtwirkungsgrads der pneumatischen Aktoren insbesondere in der Tatsache, dass ein enormer (25%) Teil der Energie über Leckagen ungenutzt verloren geht (Siehe Abbildung 1). Somit liegt ein enormes Einsparpotential vor.

Dieses Projekt kann dem BFE und anderen behördlichen und politischen Institutionen als Grundlage dienen, um Ziele genauer zu definieren, oder neue Regulaien geltend zu machen. Private Unternehmungen profitieren gleichzeitig von einem stark reduzierten Energiebedarf bei der Verwendung dieser Zylinder und somit durch eine Kostenreduktion. Ebenfalls bietet dieser Bericht den Unternehmungen eine Grundlage für interne Gespräche und daraus folgend die Möglichkeit, Ziele und/oder Prioritäten zu justieren.

### 1.3.2 Markt

#### Marktgrösse

Die Zahlen zum Elektrozylindermarkt sind aufgrund seiner Diversifizierung sehr schwer zu ermitteln. Denn Elektrozylinder werden heute auch ausserhalb der Maschinenindustrie in der Gebäudetechnik, bei Stehpulten, Spitalbetten, etc. eingesetzt. Diese Zylinder lassen sich oft aber nur schwer mit Zylindern vergleichen, die in der Industrie eingesetzt werden können. Bekannt ist, dass der Pneumatikmarkt in der Schweiz ein Volumen von CHF 218.- Mio. umfasst (GOP Gesellschaft für Fluidtechnik Schweiz, 2019). Weltweit beläuft sich der Pneumatikmarkt im 2021 auf CHF 13.57 Mia und soll sich auf 23.85 Mia wachsen (MAXIMIZE Market Research PVT. LTD., 2022).

#### Marktwachstum

Laut einer unabhängigen Studie werden Vollast-Dauerantriebe (High-Performance-Elektrozylinder) in den nächsten Jahren ein Wachstum von jährlich 13% verzeichnen können. Hierbei würde die Hälfte des Wachstums der Umwandlung von pneumatischen zu elektrischen Zylindern geschuldet (Lansen Julia, 2015). Nichtsdestotrotz wächst auch der Pneumatikmarkt weiterhin. Das jährliche Wachstum betrug über die letzten Jahre rund 6%, wobei dieses auf die verstärkte Automatisierung zurückzuführen ist (Report Buyer, 2016).

#### Marktsegmentierung und Mitbewerber

Die Auswahl an industriell einsetzbaren Zylinder im Markt, wie etwa Parker Hannifin, UniMotion, Thomson Linear oder Exlar zeigt, dass im Hydraulikersatzmarkt viele Lösungen angeboten werden. Diese Elektrozylinder zeichnen sich durch ihre hohen Kräfte aus, brauchen aber oft viel Platz und benötigen zusätzliche Elektronikkomponenten wie Kontroller und Servomotoren. Im Pneumatikersatzmarkt können folgende Akteure genannt werden: FESTO, SMC, Phoenix Mecano und Linak. Hier zeigt sich, dass jährlich neue Lösungen auf den Markt kommen und dieses Marktsegment somit noch stark im Wandel ist. Eine Spezialform der Elektrozylinder sind Linearmotoren. Also Elektrozylinder, die nicht über einen Spindelantrieb verfügen. Da ist insbesondere LinMot als Produzent zu nennen. Auch in diesem Produktsegment kommen zurzeit viele neue Lösungen auf den Markt (z.B. KOMP ACT aus Lausanne).

### 1.3.3 Kostenstruktur

Die Kosten von Elektrozylindern weisen eine sehr grosse Bandbreite auf. Für sehr einfache Stellantriebe mit geringer Einschaltzeit können Exemplare bereits ab CHF 50.- aus Asien bezogen werden. Industriell einsetzbare Aktoren, mit einer im Vergleich zum Pneumatikzylinder geringen Lebensdauer



wie etwa Zylinder von LINAK oder Phoenix Mecano, finden sich ab einem Preis von rund CHF 250.-. Volllast-Dauerantriebe, die einen Pneumatikzylinder hinsichtlich seiner Kraft, Geschwindigkeit und Lebensdauer zu ersetzen vermögen, gibt es wenige im Markt. Die Preise für diese Aktoren belaufen sich auf rund CHF 800.- bis CHF 1500.-. Elektrozylinder im Hydraulikersatzmarkt sind ab CHF 1000.- erhältlich, wobei der Preis nach oben je nach Komplexität und Grösse offen ist. In allen genannten Beispielen wurden Zusatzkomponenten wie Kontroller, Kabel, Sensoren etc. nicht eingerechnet.

#### 1.3.4 Fazit

Die Cyltronic AG stellt die Hypothese auf, dass Pneumatikersatzlösungen, vorwiegend Elektrozylinder, zwar an Relevanz gewinnen, aber aus den folgenden Gründen noch nicht standardmäßig eingesetzt werden.

Die gängigen Elektrozylinder auf dem Markt sind:

- **Zu kompliziert:** Die meisten Elektrozylinder auf dem Markt verwenden einen Servomotor, welcher über einen externen Kontroller angesteuert wird. Für die Inbetriebnahme eines Servomotors (oder auch andere ähnliche Motoren) sind Softwarekenntnisse, Kenntnisse über Bus-Systeme sowie das Auslegen von Reglern usw. von Nöten. Dies hat zur Folge, dass für die Inbetriebnahme zusätzlich zum Mechaniker ein Softwareingenieur benötigt wird. Außerdem muss der externe Motorkontroller im Schaltschrank untergebracht werden und teure Kabel werden zwischen Kontroller und Motor angebracht.
- **Zu gross:** Die meisten Elektrozylinder setzen auf eine Kombination aus Motor und Spindel. Hierbei gibt es zwei gängige Varianten:
  - Der Motor wird axial an der Spindel befestigt, um mittels einer Kupplung das Drehmoment vom Motor auf die Spindel zu übertragen.
  - Die Motoren werden parallel zur Spindel angebracht, wobei das Drehmoment über eine mechanische Umlenkung auf die Spindel übertragen wird.

Beide Bauarten verlangen einen enormen Platzbedarf im Vergleich zum Pneumatikzylinder und würden bei einer Umrüstung auf Elektrozylinder in den meisten Fällen eine komplette Neukonstruktion der Maschine bedeuten.

Die weitere Variante auf dem Markt sind Linearmotoren. Diese verfügen über eine Kolbenstange, welche Magnete enthält. Im Zylindergehäuse befinden sich Spulen, die so magnetisiert werden, dass sich die Kolbenstange in gewünschter Richtung und Geschwindigkeit bewegt. Das Gehäuse dieser Bauart kann sehr kompakt gestaltet werden. Das Problem ist aber, dass die Kolbenstange immer der doppelten Hublänge entsprechen muss, was den Zylinder vergleichsweise lang macht.



Abbildung 3: Mögliche Varianten bestehender Zylinder

- **Zu teuer:** Ein Pneumatikzylinder ist bedingt durch seinen simplen Aufbau sehr günstig. So kostet ein Zylinder ohne Anbauteile und Ventil ca. CHF 100.-. Werden noch Anbauteile, Ventile und Sensoren dazugerechnet, kommt ein Pneumatikzylinder bei ca. CHF 300.- zu liegen. Demgegenüber kosten Elektrozylinder in der gleichen Leistungsklasse (Vergleich mit 32er-Normzylinder) etwa CHF 1000.- bis CHF 2000.-.
- **Zu Leistungsschwach:** Pneumatikzylinder sind, bedingt durch ihren vergleichsweise simplen Aufbau, sehr robust und weisen eine hohe Lebensdauer auf. Elektrozylinder hingegen verursachen aufgrund ihrer Komplexität einen grösseren Wartungsaufwand (kürzere Schmierintervalle)



und halten aufgrund hoher Abnutzung etwa durch Reibung oft weniger lang stand. Während es ein breites Angebot an Zylindern für höhere Kraftbereiche gibt (etwa als Hydraulikzylinderersatz), ist die Auswahl an Zylindern für Anwendungen im niedrigen Kraftbereich sehr begrenzt. Es sind zudem kaum Alternativen vorhanden, welche Geschwindigkeitswerte von Pneumatikzylindern erreichen.

- **Nicht 1:1 ersetzbar:** Die fehlende Möglichkeit, Standard-Zylinderanbauteile wie Schwenkflansche verwenden zu können, die Dimensionsunterschiede und die Ansteuerungsunterschiede verhindern einen 1:1 Ersatz von Pneumatikzylindern mit Elektrozylindern.

### 1.3.5 Zielsetzung

Folgend werden die vier Haupt-Ziele erläutert, welche vor dem Projektstart definiert wurden.

Ziel 1: Testen des von der Cyltronic AG entwickelten CTC060 Elektrozylinders als Pneumatikzylinder-Ersatz im Labor

Der Zylinder wurde für dieses Projekt in Form einer Nullserie beschafft und in verschiedenen Ausführungen getestet (Tests siehe unten). Die Ausführungen unterscheiden sich a) in der Steigung der Kugelumlaufspindel (5mm oder 10mm) und in der Steigung der Trapezspindel (4mm oder 5mm). Außerdem wurden unterschiedliche Hübe bis zu einem Maximalhub von 1000mm beschafft und getestet.

Anhand der genannten modifizierbaren Elemente konnte a) die Machbarkeit von grossen Hublängen abgeschätzt und b) der Einfluss der Spindelart und -steigung auf die Kraft und die Energieeffizienz getestet werden. Des Weiteren sollte mit den Test folgende Grenzwerte ermittelt werden.

- Maximale Hublänge
  - Hierfür wurde bis zu einer maximalen Länge von 1000mm getestet
- Maximale Leistungen
  - Hier wurde getestet, ob der Controller bei 24V und 48V funktionstauglich ist
- Wärmeverhalten
  - Hier wurde getestet, unter welcher Last, Geschwindigkeit und Spannung der Zylinder zu welchem Zeitpunkt überhitzt
- Verschleiss
  - Hier wurden Dauertests gefahren, um den Zylinder 500km, 1'000km, 3'000km, 5'000km und 10'000km zu untersuchen

Zudem sollte der CTC060 die CE-Konformität erreichen. Hierfür ist in einem externen Labor eine EMV-Zertifizierung notwendig.

Ziel 2: Industriepartner finden für Pilotprojekte

Um dem CTC060 in realen, industrierelevanten Anwendungen zu testen, war das Ziel namhafte Kunden zu akquirieren und Pneumatikzylinder durch den CTC060 Elektrozylinder zu ersetzen.

Ziel 3: Energieeinsparpotential vom Elektrozylinder in der Praxis ermitteln

- Im Rahmen der Pilotprojekte wurden jeweils zwei Messungen durchgeführt. Eine Messung (Volumenstrommessung) jeweils vor dem Ersetzen der Zylinder, die zweite Messung (Strommessung) jeweils nach dem Ersatz der Zylinder. Die Differenz der zwei Messungen ergibt das Einsparpotential. Des Weiteren wurden folgende Themen in diesem Ziel bearbeitet:

- Festhalten aller auftretenden Probleme und Schwierigkeiten
- Kosten-Nutzen-Rechnung und dessen Dokumentation
- Publikation der Resultate



Ziel 4: Hypothesen, «warum Elektrozylinder heute nicht standardmässig eingesetzt werden», sollen bestätigt, widerlegt oder ergänzt werden.

- Stimmen die Hypothese (siehe Kapitel 3.4.1) zu den Aspekten, warum Elektrozylinder nicht standardmässig eingesetzt werden?
- Bringen die mit dem Prototypen einhergehenden Eigenschaften den entscheidenden Vorteil, sodass Maschinenbauer gewillt sind, vermehrt Elektrozylinder einzusetzen?
- Bringt die 1:1-Ersatzmöglichkeit des Cyltronic-Zylinders die nötigen Vorteile, um Maschinenanwender zu einer Umrüstung zu bewegen?
- Werden weitere Eigenschaften des Zylinders von den Marktteilnehmern verlangt, um die Wende von Pneumatik zu Elektrik zu bewerkstelligen?
- Für dieses Ziel sind folgende Interviews geplant:
  - Interview mit 30 Maschinenbau-Firmen
  - Interview mit 20 Produkte-Produzenten (Maschinenendanwendern)
  - Interview mit 5 potenziellen Vertriebspartnern



## 2 Anlagenbeschrieb

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Zylinders beschrieben. Dies beinhaltet die Einzelteile, welche der Zylinder enthält sowie dessen Funktionsweise.

### 2.1 Abmessungen des Cyltronic Elektrozylinders und Kompatibilität zu Pneumatikzylindern

Der CTC-060 Elektrozylinder ist ein elektromechanischer Spindelantrieb für Linearbewegungen und erfüllt im Wesentlichen die Funktionsweise eines Pneumatikzylinders. Des Weiteren entsprechen die wichtigsten Abmasse wie die Länge (siehe Abbildung 4) und die Anbauschnittstellen der ISO 15552 Norm also der weitverbreitetsten Art von Pneumatikzylindern.

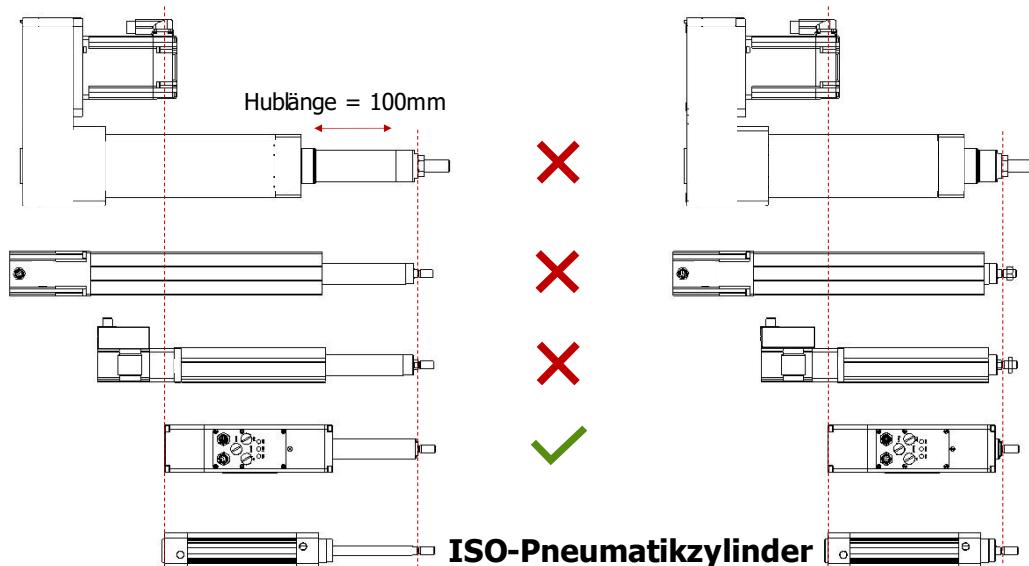


Abbildung 4: Längenvergleich CTC-Elektrozylinder zu ISO-Pneumatikzylindern und anderen elektrischen Alternativen

Die Konformität des CTC-Zylinders mit der ISO 15552 Norm erlaubt des Weiteren die Integration jeglicher Anbauteile, wie z.B. Schwenkflansche, die für die Integration des Aktors in die Anlagen verwendet werden (siehe Abbildung 5).

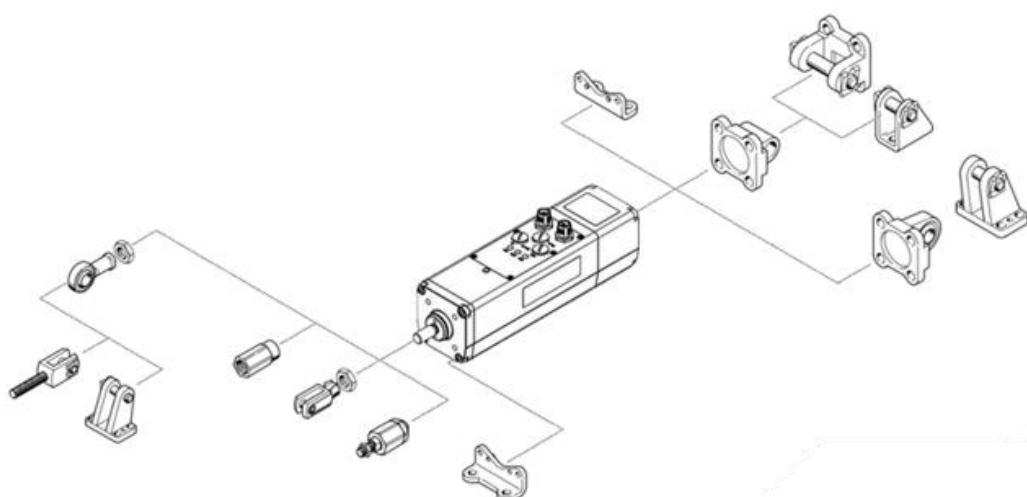


Abbildung 5: Vielfältige Anbaumöglichkeiten durch gleiche Befestigungsdimensionen wie die eines 32er Pneumatikzylinders (Seite 30 aus dem Pitchdeck der Cyltronic AG)



## 2.2 Bauteile des Zylinders und dessen Funktionsweise

Eines der Hauptalleinstellungsmerkmale des Cyltronic CTC-Zylinders ist, dass sich sämtliche Komponenten für den Betrieb Zylinders in einem Gehäuse kombiniert sind. Der Zylinder ist also eine All-In-One Lösung. Die Hauptkomponenten sind der vollintegrierte Synchron-Servomotor, die Kugelumlaufspindel sowie die integrierte Servoregler-Elektronik (siehe Abbildung 6). Durch den integrierten Servo-Kontroller ist die Intelligenz bereits im Zylinder. Dies ermöglicht dem Benutzer eine einfache Inbetriebnahme und setzt keine Programmierkenntnisse voraus. Die Ansteuerung des Zylinders kann so beispielsweise auf gleiche Weise umgesetzt werden wie die Ansteuerung eines Pneumatikventils also über einfache digitale Signale.

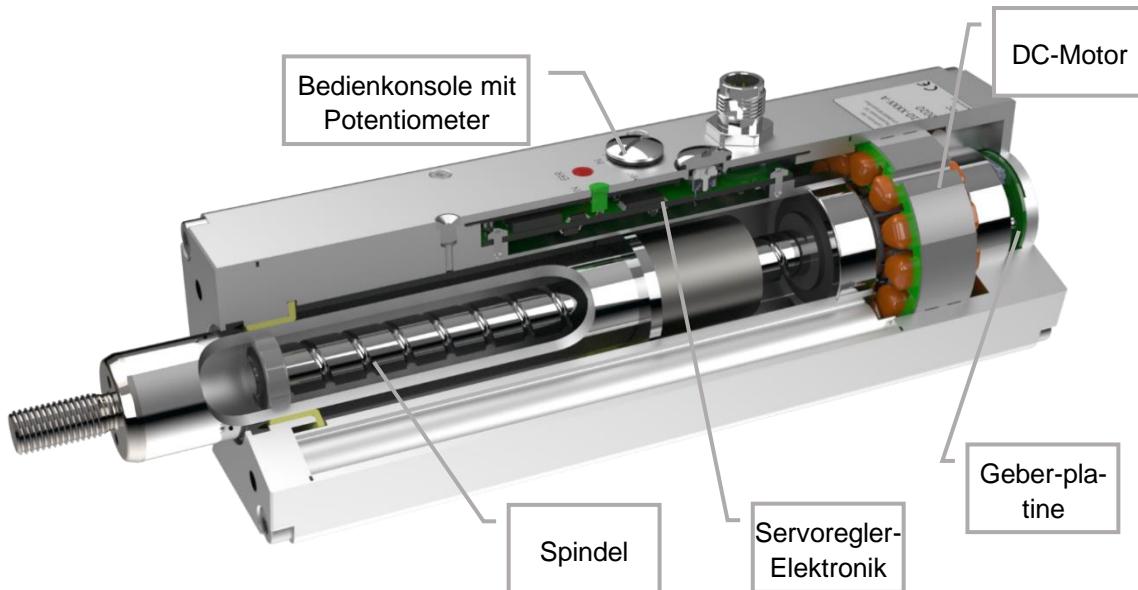


Abbildung 6: Viertelschnitt des Elektrozyliners CTC060 von Cyltronic

Bei herkömmlichen Elektrozylin dern (siehe Abbildung 7) wird meist eine Spindelinie mit einem Servomotor kombiniert. Dies braucht wiederum eine Kupplungseinheit, um die beiden Elemente miteinander zu verbinden. Außerdem braucht es einen separaten Servoregler, der meist im Maschinen-Schalschrank untergebracht ist, um den Motor ansteuern und regeln zu können. Für die Verbindung von Servo-Regler und Motor müssen teuer Kabel für die Leistungs- und Ist-Positionsübertragung eingesetzt werden.

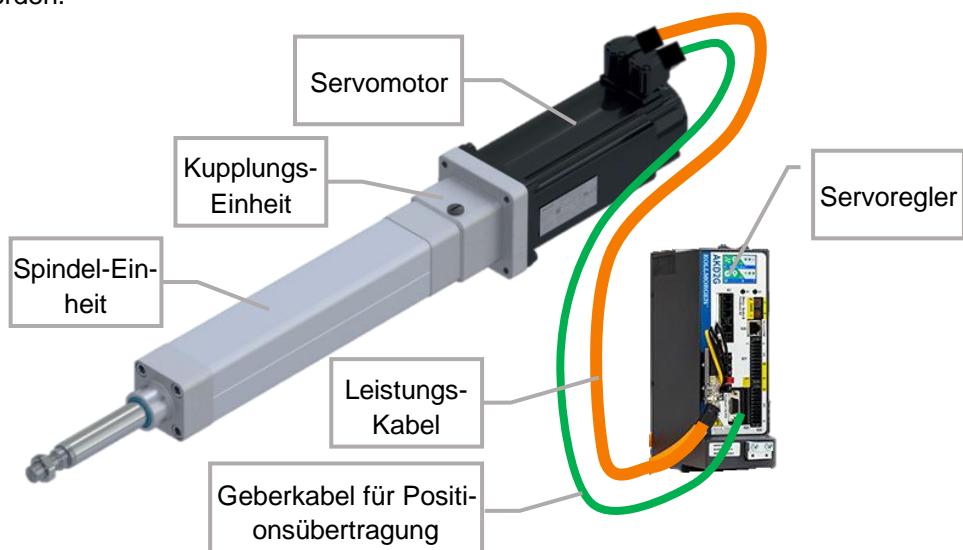


Abbildung 7: Beispiel herkömmlicher Elektrozylinger



## 2.3 Bedienung des Zylinders

Die Bedienkonsole am Zylinder lässt die Verstellung der Aus- und Einfahrgeschwindigkeit wie auch der maximalen Kraft mittels über Potentiometer zu. Die Geschwindigkeit vom Elektrozylinder kann also genau gleich eingestellt werden wie bei einem Pneumatikzylinder (siehe Abbildung 8). Beim Elektrozylinder gestaltet sich besonders die Krafteinstellung einfach und komfortabel, da im Gegensatz zu Luftdruckzylindern kein externer Druckregler benötigt wird. Stattdessen sind alle Einstellparameter auf der übersichtlichen Bedienkonsole angeordnet:



Abbildung 8: Bedienkonsole und Einstellmöglichkeiten am CTC-Elektrozylinder

Die Lebensdauer des Elektrozylinders übersteigt die des Pneumatikzylinders (10'000 km) dank der Verwendung hochwertiger Komponenten wie einer Kugelumlaufspindel und einem bürstenlosen Motor sowie der Reduktion der Anzahl Komponenten.

## 2.4 Ansteuerung des Zylinders

Für Maschinenbauer, die den Zylinder nicht nur zum Fahren auf Endlagen einsetzen wollen, ist zusätzlich zu der digitalen Ansteuerung, die smarte Kommunikationsschnittstelle «IO-Link» integriert. Diese Schnittstelle erlaubt es, durch eine Anbindung an eine SPS (speicherprogrammierbare Steuerung) oder einen Computer, mit dem Zylinder jegliche Zwischenhubpositionen anzufahren und dabei die Geschwindigkeit und Kraft in Echtzeit anzupassen. Die Ist-Werte der Position, Geschwindigkeit und Kraft können wiederum in Echtzeit ausgelesen werden.

Damit schliesst der CTC-Zylinder die Lücke zwischen Pneumatikzylinder und der heute gängigen Lösung für den Pneumatikzylinder den Servo-Aktuatoren:





Abbildung 9: Lücke zwischen Pneumatikzyylinder und Servoantrieben wird geschlossen durch CTC-Elektrozyylinder

## 2.5 Vorteile des Zylinders

Die vollintegrierte Bauweise stellt einen deutlichen Unterschied zu den aktuellen Konkurrenzprodukten (siehe Abbildung 2) dar. Im Gegensatz zu den Alternativen müssen keine externen Sensoren, Servo-Kontroller oder Servomotoren angebaut werden (siehe Abbildung 10).

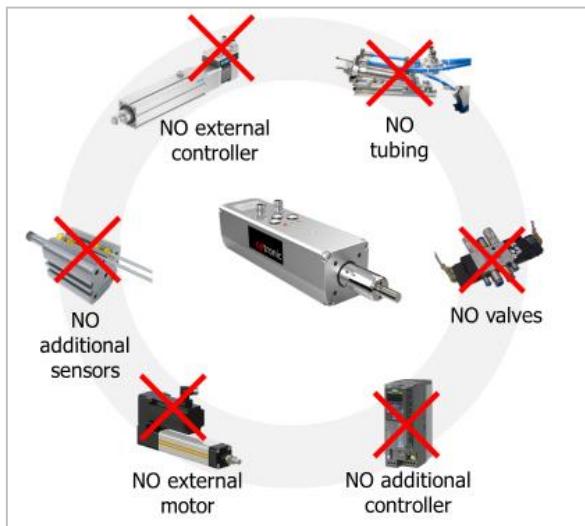


Abbildung 10: Der Vorteil des Cyltronic Zylinders

## 2.6 Kennwerte des Zylinders

Der CTC-Elektrozyylinder orientiert sich sowohl an Baugröße, Kraft als auch Geschwindigkeit am 32er-Normzyylinder. Also einem Pneumatikzyylinder nach ISO 15552 mit einem Kolbendurchmesser von 32mm. Die genauen Kennwerte können dem Datenblatt in Anhang Absatz 13 entnommen werden.

Besonders zu erwähnen ist der IP-Schutz von IP65, dies bedeutet, dass der Zylinder gegen Staub und Spritzwasser aus allen Richtungen geschützt ist.

**Der Cyltronic CTC-Elektrozyylinder**

**flexibel** wie ein Servoantrieb  
**einfach** wie ein Pneumatikzyylinder

**integrierter Servokontroller**

**Hochleistungs - Kugelgewindespindel**

**integrierter Servomotor**

**Patent angemeldet**

- ✓ Positionierbar via IO-Link
- ✓ Geschwindigkeit bis 600 mm/s
- ✓ Kraft bis 800N
- ✓ 24V - 48V Spannungsversorgung
- ✓ IP65 geprüft
- ✓ Hohe Lebensdauer 20'000h (10'000km)



## 2.7 Produktpportfolio

Da die Pneumatikzylinder in diversen Varianten vorkommen hat auch Cyltronic mehrere Ausführungen und wird ihr Sortiment stetig erweitern. Die neuste Entwicklung ist dabei die CTL Linearachse, welche ebenfalls auf der Technologie des CTC-Zylinders beruht. Mit der CTL-Achse lassen sich nun auch Kolbenstangenlose Pneumatikzylinder ersetzen. Die CTL ist aber nicht im Umfang dieses Projekts entstanden und wird hier nur der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Im Folgenden ist das aktuelle Sortiment ersichtlich:

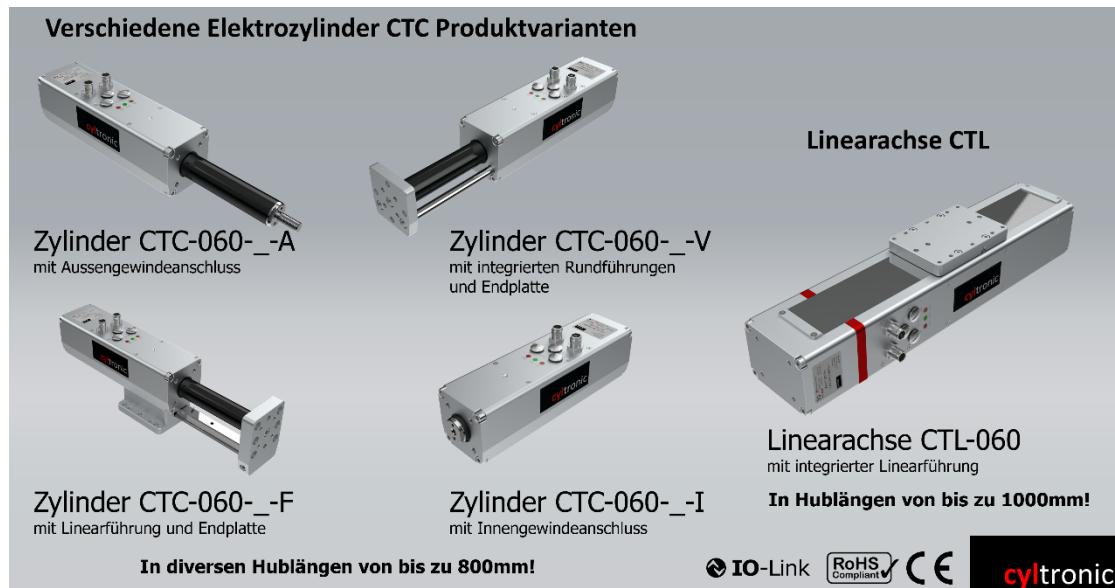


Abbildung 11: aktuelles Produktsortiment der Cyltronic AG



## 3 Vorgehen und Methode

Im folgenden Kapitel wird das Vorgehen aufgrund der in Kapitel 1.3.5 gesetzten Ziele detailliert beschrieben.

### 3.1 Detaillierte Beschreibung der Ziele

Während der Entwicklung des Cyltronic Zylinders CTC060 wurden die Zielwerte eines 32er Normzylinders verwendet (*Normzylinder DSBC / Festo CH, n.d.*).

- Lebensdauer von 10'000km
- Geschwindigkeit 1000 m/s
- Abmasse (Länge, Verschraubungen, Gewindeaufsatz)
- Kraft von 483N

Um diese Zielwerte überprüfen zu können, sind in einem ersten Schritt diverse Tests von Nöten. Einige davon können in einem dafür selbst errichteten Labor durchgeführt werden. Für die EMV-Zertifizierung müssen Werte erreicht werden, welche externe Einrichtungen benötigen. Des Weiteren gilt es auch, die Zylinder direkt bei Kunden in deren Anlagen einzubauen und im Rahmen eines Pilotprojekts zu überprüfen. Damit sichergestellt wird, dass das Produkt am Markt auf Interesse stösst, werden Interviews durchgeführt. Zum Schluss werden die Ergebnisse in Fachzeitschriften, Social Media, Wissensplattformen, Handelskammern und Events publiziert und kommuniziert.

#### 3.1.1 Testen eines Elektrozylinders als Pneumatikzylinder Ersatz im Labor

Um Werte wie maximale Hubkraft, Hublänge, Geschwindigkeit, Wärmeverhalten und Lebensdauer messen zu können, wurde ein interner Teststand aufgebaut. Die Ergebnisse können dem Datenblatt (siehe Anhang 13.1) entnommen werden.

Zudem wurde der Zylinder auf Beständigkeit gegen Staub und Spritzwasser (IP65) zertifiziert und der EMV-Test (Elektromagnetische Verträglichkeit) wurde durchgeführt. Beide Prüfungen wurden in externen Einrichtungen vorgenommen.

#### 3.1.2 Testen der Zylinder direkt vor Ort bei Kunden

In einem ersten Schritt werden die Anlagen des Industriepartners analysiert und der Projektumfang respektive die zu ersetzenenden Zylinder definiert. Dann wird der Energiebedarf dieser Zylinder ermittelt. Dies beinhaltet auch Leckagen im System. Diese Leckagen werden mittels eines spezifischen Suchgeräts identifiziert und deren Energieverlust quantifiziert. Der Energiebedarf der Zylinder wird mittels Volumenstrommessungen ermittelt.

In einem zweiten Schritt werden die konstruktiven und baulichen Massnahmen an den Anlagen des Industriepartners, die für den Wechsel nötig sind, ermittelt.

Diese Massnahmen werden in einem weiteren Schritt zusammen mit dem Industriepartner bewertet, sodass entschieden werden kann, welche Zylinder ersetzt werden sollen.

Im vierten Schritt werden die Massnahmen konstruktiv umgesetzt und die Bestellung der dafür benötigten Bauteile ausgelöst. Auch werden die Elektrozylinder beschafft, welche als Substitut für die Pneumatikzylinder eingesetzt werden. Zur Risikominimierung wird ein Vorrat an Ersatzzylindern mitbeschafft, um das Risiko einer erhöhten Stillstandzeit der Anlage auf ein Minimum zu reduzieren. Durch dieselben Anschlüsse des Elektrozylinders wie diejenigen des Pneumatikzylinders, kann die Inbetriebnahme, respektive die Stillstandzeit der Anlage auf ein Minimum reduziert werden.



### 3.1.3 Die Überprüfung der Hypothesen mithilfe von Interviews

Die Cyltronic AG stellt, wie in Kapitel 1.3.5 erläutert, diverse Hypothesen auf, diese gilt es zu bestätigen, zu widerlegen oder zu ergänzen. Hier werden diese nochmals zusammengefasst. So sind auf dem Markt anzutreffende Elektrozylinder

- Zu gross
- Zu kompliziert
- Zu teuer
- Zu Leistungsschwach
- Nicht 1:1 ersetzbar

Um Einblicke bedeutender Marktteilnehmer zu gewinnen, werden Maschinenbauer, Endanwender und potenzielle Vertriebspartner (Distributoren) befragt.

## 3.2 Geplante Begleitmassnahmen

### 3.2.1 Fachjournale

Mittels einschlägiger Fachjournalen (aktuelle Technik AT, Technische Rundschau, TECHNIK UND WISSEN) werden die Erkenntnisse aus dem Projekt publiziert. Das Ziel soll sein, über die Einsparmöglichkeiten aufzuklären und sowohl Maschinenbauer als auch Produktproduzenten dafür zu sensibilisieren.

### 3.2.2 LinkedIn-Kampagnen

Um mehrere Publikationskanäle zu nutzen und die Fachpersonen zu erreichen, werden diese über eine Social-Media-Kampagne gezielt angesprochen.

### 3.2.3 Publikation Cyltronic AG

Cyltronic AG wird die Ergebnisse für Werbe- und Aufklärungszwecke nutzen und diese auf ihrer Website und Social-Media-Kanälen sowie via Printmedien und Messen publizieren.

## 3.3 Pilotprojekte – Ermittlung des Energieeinsparpotentials

### 3.3.1 Aufbau der Projekte

Die jeweiligen Pilotprojekte folgen demselben Ablauf. Wie in Abbildung 12 ersichtlich ist, wurden vorerst Firmen akquiriert. Für die Akquise wurden bis zu drei Besuche vereinbart. Für diese Besuche wurden Berichte vorbereitet, welche den Mehrwert der Zylinder aufzeigten. Nach der Projektvereinbarung wurden individuelle Lösungen für die jeweiligen Anlagen entwickelt und anschliessend montiert. Wie das Energiesparpotential bemessen wird, ist in der Berechnung im folgenden Kapitel 3.3.2 erläutert.



Abbildung 12: Projektablauf

### 3.3.2 Berechnung des Einsparpotentials

Um das Einsparpotential unter Einsatz von Elektrozylindern gegenüber Pneumatikzylindern ermitteln zu können, wird vorerst der jeweilige Energieaufwand pro Hub verglichen, um in einem zweiten Schritt die dadurch möglichen Kosteneinsparnisse aufzeigen zu können. Hierfür werden die Zylinder mit den



Anzahl Hüben pro Jahr verglichen. Mit dieser Grundlage besteht die Möglichkeit, die Kosteneinsparung auf der Basis von Investitions- und Betriebskosten zu berechnen.

### 3.3.2.1. Energie

Um zwischen den zwei unterschiedlichen Technologien vergleichen zu können, wird in der Basiseinheit Joule gerechnet.

#### **Pneumatikzylinder**

Bei den Pneumatikzylindern wird der Energieverbrauch über dem Luftverbrauch berechnet. Die Umrechnung ist anhand folgender Formel ersichtlich:

$$\text{Energie pro } m^3 = \frac{kWh}{m^3}$$

wobei

$$3.6MJ = 1kWh$$

Gemäss Angaben der Firma Festo (Billep, 2014) liegt dieser Wert (Energie pro  $m^3$ ) bei modernen Kompressorstationen zwischen 0.1 und 0.12 kWh/ $m^3$ .

Um den gesamthaften Luft- (bzw. Energie-)verbrauch der Pneumatikzylinder zu erfassen, müssen zwei Zustände berücksichtigt werden:

1. In Bewegung (1 Takt entspricht einmal aus- und einfahren des Zylinders)
2. Während dem Stillstand (Zylinder bleibt in Position)

Unter Betrachtung von Zustand 1 wird ersichtlich, wie hoch das genutzte Normalvolumen in  $m^3$  während der Bewegung ist. Im Zustand 2 können insbesondere die Leckagen des Zylinders aufgezeigt werden. Die Messungen beider Zustände werden jeweils vor den Ventilen getätig, wodurch Leckagen von Zuleitungen nicht berücksichtigt werden. Die gemessene Luft hat 6bar und muss für die Energieberechnung ins Normalvolumen umgerechnet werden. Das gemessene Gesamtvolumen aus Zuständen 1 und 2 kann nun auf die Betriebsstunden pro Jahr hochgerechnet werden. Die Multiplikation mit der Energie pro  $m^3$  ergibt anschliessend die jährlich aufgewendete Energie.

#### **Elektrozylinder**

Bei den Elektrozylindern kann der Energieverbrauch durch den Strom und die Spannung während einer Zeitdauer gemessen und berechnet werden. Hierbei gilt folgende Formel:

$$1J = 1VAs$$

Auch hier müssen 2 Zustände einbezogen werden:

1. In Bewegung (1 Takt entspricht einmal aus- und einfahren des Zylinders)
2. Während dem Stillstand (Zylinder bleibt in Position)

Im Gegensatz zum Pneumatikzylinder sind beim Elektrozylinder keine Leckagen zu verzeichnen. Jedoch muss der Zylinder auch in der Halteposition bestromt werden, damit er die Position halten kann. Diese Energie wird, analog zum Pneumatikzylinder, auf die jährlichen Betriebsstunden hochgerechnet, um die aufgewendete Energie pro Jahr zu ermitteln.

In einigen Pilotprojekten wird zusätzlich der Energieverbrauch bei abgeschalteter Anlage miteinbezogen. Dies aufgrund der Tatsache, dass beim Abschalten der Anlage kein Strom mehr fließt. Die für pneumatische Systeme nötige Luftaufbereitung wird jedoch häufig nicht ausgeschaltet, wodurch aufgrund von Leckagen beträchtliche Energiemengen verloren gehen.

### 3.3.2.2. Kosten

Abschliessend stehen die Kosten im Vordergrund. Konkret bedeutet dies, dass die jeweiligen Investitions- und die Betriebskosten verglichen werden müssen.



Gemäss Statista belaufen sich in der Schweiz die durchschnittlichen Kosten pro Kilowattstunde auf rund 21.2 Rappen im Jahr 2022 (Statista, 2021). Gemäss dem Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (2022) können Grosskonsumenten seit 2009 mit einem Verbrauch von über 100'000kWh/Jahr ihren Stromlieferanten frei wählen und handeln oft einen günstigen Strompreis aus, welcher deutlich unter den 21.2 Rappen zu liegen kommt. Diese Preise wurden uns von den Pilotkunden teilweise mitgeteilt, dürfen jedoch nicht weiter kommuniziert werden. In diesen Fällen wird mit dem erwähnten Durchschnittswert von 21.2 Rappen pro kWh gerechnet.

Der gemäss Kapitel 3.3.2.1 berechnete Energieverbrauch pro Jahr kann nun mit den Kosten pro kWh multipliziert und den Investitionskosten addiert werden, um so die Gesamtkosten abzubilden.

### 3.3.3 Aufbau der Projekte bei den Pilotkunden

Als Pilotkunden konnten die Firmen Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG in Wil, Reismühle Nutrex aus Brunnen, Mibelle Group aus Buchs, Micarna SA aus Bazenheid, Kubrix AG aus Pfungen und Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG aus Laufen gewonnen werden.

#### 3.3.3.1. Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG

Bei der Firma Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG wurden vier Pneumatikzylinder durch drei Elektrozylinder ersetzt.



Abbildung 13: Pneumatikzylinder Z1.1 und Z1.2, welche durch CTC060 Zylinder ersetzt wurden

Das Projekt wird durch das schnelle Erreichen eines positiven Return on Invest (ROI) begründet. So wird begründet, dass wenn die Pneumatikzylinder ersetzt, diese mit Anschaffungskosten von CHF 560.- berechnet werden müssen. Zusätzlich werden die jährlichen Druckluftkosten der Zylinder mit CHF 1293.- berechnet. Im Gegenzug sind die Elektrozylinder zwar in der Anschaffung teuer (CHF 3710.-), die Betriebskosten jedoch belaufen sich auf CHF 13.90. Wie in der Abbildung 14 ersichtlich ist, wird der positive ROI gemäss dieser Berechnung nach nur knapp zwei Jahren erreicht.



In den nachfolgenden Tabellen (Tabelle 1, Tabelle 2, Tabelle 3, Tabelle 4) sind die Parameter, welche in die Berechnung der Luftaufbereitungs-Kosten eingeflossen sind. Im Anschluss werden die Berechnungen aufgeführt.

#### Berechnung von Betriebs- und Investitionskosten der Pneumatikzylinder

Pneumatikzylinder			
Systemdruck (p1)	6.3	bar	
Druck auf Anlage (p2)	4	bar	
Betriebsstunden pro Jahr	6'000	h	
Schlauchinnendruckmesser	7	mm	
Schlauchlänge Ventil - Zylinder	1'200	mm	

Tabelle 1: Allgemeine Systemmessungen

	Durchmesser	Hub	Kolbenstange n- durchmesser	Takte pro Min 1 Takt = Ausfahren und Einfahren
	[mm]	[mm]	[mm]	[1/min]
Zylinder 1.1: Ofen-Klappe 1	50	50	16	10
Zylinder 1.2: Ofen-Klappe 2	50	50	16	10
Zylinder 1.2: Ofen-Klappe 2	50	50	16	10
Zylinder 1.3: Ofen-Klappe 3	50	165	16	10

Tabelle 2: 1/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder

Takte pro Jahr	Luft-Volumen pro Takt	Volumen pro Jahr	Druckluft Kosten	Wirkungsgrad Druckreduzier- ventil	Verlust durch Leckagen
[1/Jahr]	[mm <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]	[Fr./m <sup>3</sup> ]	von 6.3 bar auf 4 bar	-
3'600'000	1'393'296	5'016	0.03	62%	25%
3'600'000	1'393'296	5'016	0.03	62%	25%
3'600'000	1'393'296	5'016	0.03	62%	25%
3'600'000	3'535'705	12'729	0.03	62%	25%

Tabelle 3: 2/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder

Druckluftkosten pro Jahr	Investitionszeit punkt	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]
322.8	140	463	786	1108	1431	1754
322.8	140	463	786	1108	1431	1754
322.8	140	463	786	1108	1431	1754
819.1	140	959	1778	2597	3417	4236
<b>1787.5</b>	<b>560</b>	<b>2348</b>	<b>4135</b>	<b>5923</b>	<b>7710</b>	<b>9498</b>

Tabelle 4: 3/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder (Felder in blau sind die auf die Jahre kumulierten Kosten)



Folgend werden die angewandten Formeln beschrieben.

- Als Takt wird einmal Ausfahren und einmal einfahren definiert.
- Das Ausfahren des Zylinders benötigt aufgrund der Kolbenstange weniger Luftvolumen. In folgender Berechnung werden daher die Volumina gemittelt.

#### **Takte pro Jahr**

$$= \text{Betriebsstunden pro Jahr [h]} * \text{Takte pro Minute (nur Ausfahren)} \left[ \frac{1}{\text{min}} \right] * 60 [\text{min}]$$

#### **Luftvolumen pro Takt**

$$= \left[ \left( \left( \frac{\left( 2 * \left( \frac{\text{Durchmesser}^2 * \pi}{4} \right) - \left( \frac{\text{Kolbenstangendurchmesser}^2 * \pi}{4} \right) \right)}{2} * \text{Hub} \right) + \frac{\text{Schlauchinnendurchmesser}^2 * \pi}{4} \right) * (\text{Druck auf der Anlage} + 1\text{bar}) \right]$$

$$\text{Volumen pro Jahr} = \frac{\text{Takte pro Jahr} * \text{Luftvolumen pro Takt}}{10^9}$$

$$\text{Druckluftkosten} = 0.03 \left[ \frac{\text{Fr.}}{\text{m}^3} \right] \text{ (Blumer Ernst, 2014)}$$

$$\text{Wirkungsgrad Druckluftreduzierventil} = \frac{\text{Druck auf der Anlage}}{\text{Systemdruck}} = \frac{4\text{bar}}{6.3\text{bar}} = 62\%$$

$$\text{Verlust durch Leckagen} = 25\% \text{ (Berchten & Ritz, 2006)}$$

$$\text{Druckluftkosten pro Jahr [Fr.]} = \frac{\text{Volumen pro Jahr} * \text{Druckluftkosten}}{\frac{\text{Wirkungsgrad Reduzierventil}}{1 - \text{Verlust durch Leckagen}}}$$

$$\text{Investitionskosten} = 140.-(\text{Gemäss STIHL})$$

In den folgenden Jahren werden nun die Druckluftkosten pro Jahr auf den Investitionskosten aufaddiert. In blau (Tabelle 4) werden die Kosten für den Ersatz aller Zylinder aufgeführt.

Berechnung von Betriebs- und Investitionskosten des Elektrozylinders

<b>Elektrozylinder</b>	
<b>Gesamtwirkungsgrad Elektrozylinder</b>	<b>80%</b>
<b>Strompreis</b>	<b>0.210</b> Fr./kWh

Tabelle 5: Allgemeine Systemangaben



	Kraft [F]	Hub [mm]	Energie pro Takt [J]	Takt pro Jahr [1/Jahr]	Energie pro Jahr [kWh/Jahr]
Zylinder 1.1: Ofen-Klappe 1	100	50	12.5	3'600'000	12.5
Zylinder 1.2: Ofen-Klappe 2	100	50	12.5	3'600'000	12.5
Zylinder 1.3: Ofen-Klappe 3	100	165	41.25	3'600'000	41.25

Tabelle 6: 1/2 Berechnung Energieverbrauch Elektrozylinder

Kosten pro Jahr [Fr./Jahr]	Elektrozylinder Beschaffung [Fr.]	Elektrozylinder Jahr 1 1237	Elektrozylinder Jahr 2 1239	Elektrozylinder Jahr 3 1242	Elektrozylinder Jahr 4 1245	Elektrozylinder Jahr 5 1247
2.625	1237	1239	1242	1245	1247	1250
2.625	1237	1239	1242	1245	1247	1250
8.6625	1237	1245	1254	1263	1271	1280
<b>13.9</b>	<b>3710</b>	<b>3724</b>	<b>3738</b>	<b>3752</b>	<b>3766</b>	<b>3780</b>

Tabelle 7: 2/2 Berechnung Energieverbrauch Elektrozylinder (Felder in Orange sind Kosten aufaddiert auf die Jahre (zu vergleichen mit den blauen Feldern der Tabelle 4)

**Gesamtwirkungsgrad Elektrozylinder = 80% (konservative Annahme)**

$$\text{Strompreis} \left[ \frac{\text{CHF}}{\text{kWh}} \right] = 0.21 \text{ (Statista, 2021)}$$

**Kraft = 100N (gemäss Einstellung auf dem Zylinder)**

**Hub = 50mm ; (distanz Ausfahren), (gemäss Einlernen des Zylinders)**

$$\text{Energie pro Takt} = \frac{\frac{\text{Kraft} * 2\text{Hub}}{\text{Gesamtwirkungsgrad}}}{1000\text{mm}} \text{ [Nm = J]}$$

**Takte pro Jahr = Takte pro Jahr unter Verwendung von Pneumatikzylinern**

$$\text{Energie pro Jahr} = \frac{\text{Energie pro Takt} * \text{Takte pro Jahr}}{1000 * 3600} \left[ \frac{\text{kWh}}{\text{Jahr}} \right]$$

**Kosten pro Jahr = Strompreis \* Energie pro Jahr**

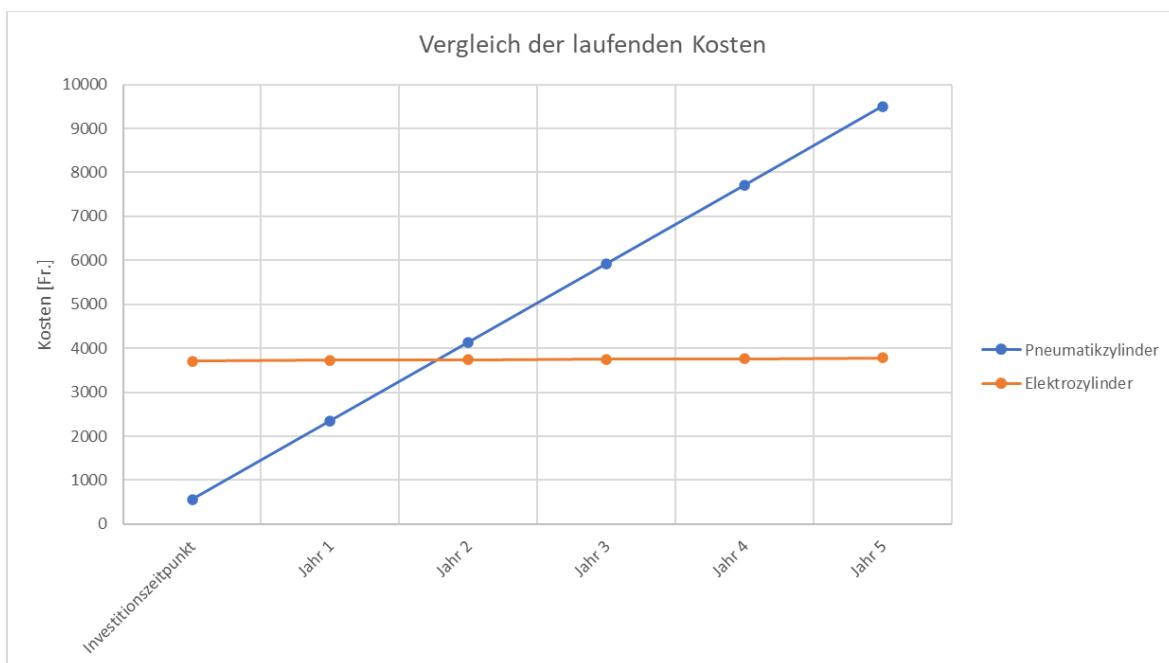


Abbildung 14: Kumulierte Betriebs- und Investitionskosten anhand der Berechnung vor dem Umbau der Pneumatik- und Elektrozylinder

### 3.3.3.2. Reismühle Nutrex (Division der COOP-Genossenschaft)

Bei der Firma Reismühle Nutrex wurden drei Pneumatikzylinder ersetzt. Genauer handelt es sich um folgenden Projektumfang:

- Z1.1\_Abschieber auf Plattenkette

Mit dem Abschieber werden Reispakete von der zuführenden Plattenkette abgeschoben auf die rechtwinklig ablaufende Plattenkette umgeworfen. Der Zylinder macht pro Monat ca. 200t Hübe. Er ist dabei nicht dauernd im Einsatz, sondern nur bei bestimmten Formaten. Beim Zylinder handelt es sich um einen 20er-Rundzylinder mit 125mm Hub.

- Z2.1\_Masek Andrückter (Abbildung 16/Abbildung 16)

Auf der Masek-Maschine ist eine Andrückstation im Einsatz. Diese drückt die zuvor abgefüllten Reisportionen leicht an und verleiht ihnen damit die gewünschte Form. Da sich die verschiedenen produzierten Produkte im Format unterscheiden, müssen regelmässige Formatwechsel unternommen werden, was mit einem Zeitaufwand verbunden ist.

- Z4.1\_Bühlerwaage Zulaufklappe

In der Bühler Waage befindet sich eine Zuführklappe, die den Silo verschliesst, sobald keine Produkte mehr durchfliessen sollen.



Abbildung 15: Projekt bei der Firma Reismühle Nutrex, zu ersetzernder Zylinder Z2.1\_Masek Andrück Zylinder

Abbildung 16: Projekt bei der Firma Reismühle Nutrex, zu ersetzernder Zylinder Z2.1\_Masek Andrück Zylinder

Durch die tiefe Stillstandzeit dieser Anlage wurde bei diesem Projekt besonders auf eine rasche Rückbaubarkeit geachtet, um das Projektrisiko für den Pilotkunden so gering wie möglich zu halten. Der Vorteil der Cyltronic Zylinder besteht hier insbesondere darin, dass der Zylinder mit denselben Signalen wie ein Pneumatik-Ventil angesteuert wird. Gleichzeitig hat er dieselben normierten Montagemöglichkeiten, womit ein Rückbau innert Kürze und ohne Mehrkosten möglich ist.

Das Ziel dieses Projektes ist es, die errechnete Energieeinsparung durch den Elektrozylinder in der Praxis zu messen. Durch die hohe Anzahl der Takte dieser Anlage erreichen sowohl Elektro- als auch Pneumatikzylinder bei dieser Anlage das Ende der Lebensdauer. Aus diesem Grund wird in diesem Projekt eine Berechnung über die Lebensdauer der Zylinder gemacht. Dabei wird vorausgesetzt, dass beide Zylinder, CTC060 und der Pneumatikzylinder dieselbe Lebensdauer von rund 10'000km Hub Weg aufweisen.



### Berechnung der Lebensdauerkosten des Pneumatikzylinders

In unserer Berechnung (siehe Tabelle 8 / Tabelle 9 / Tabelle 10) wurde ermittelt wie viel Kubikmeter Luft über die Lebensdauer (10'000km) eines Pneumatikzylinders verbraucht werden. Dabei wurde in dieser Berechnung auch das Schlauchvolumen für den Schlauch von Ventil bis Zylinder miteinbezogen.

#### **Druckluftvolumen (V) [m<sup>3</sup>]**

$$= (\text{Zylindervolumen pro Hub} + \text{Schlauchvolumen Ventil bis Zylinder}) \\ * \text{Anzahl Hübe über Lebensdauer} * 10^{-9} \rightarrow [\text{mm}^3 \rightarrow \text{m}^3]$$

Die Berechnung zum Zylinder- und Schlauchvolumen ist in Kapitel 3.3.3.1 ersichtlich.

Um die Mechanische Energie (bei 100% Wirkungsgrad) zu berechnen, wird das erhaltene Volumen mit dem Druck multipliziert.

$$\text{Mechanische Energie (E}_{\text{mech},W100\%}\text{)}[\text{kWh}] = \frac{\text{Druck (p)}[\text{Pa}] * \text{Druckvolumen (V)}[\text{m}^3]}{3600 * 1000}$$

"zu beachten: [1WS = 1Pa \* m<sup>3</sup> | 1bar = 10<sup>5</sup>Pa]"

Da die elektrische Energie gleich der mechanischen ist, wird der Wirkungsgrad miteinbezogen:

$$E_{\text{el}} = E_{\text{mech}} = E_{\text{mech},W100\%} * \text{Gesamtwirkungsgrad}$$

Dies ergibt die Resultate in Orange aus der Tabelle 10. Um die Kosten in Blau (siehe Tabelle 10) zu berechnen, wird nun die elektrische Energie mit dem Strompreis multipliziert.

$$\text{Kosten über Lebensdauer} = E_{\text{el}} * \text{Strompreis}$$

### Berechnung der Lebensdauerkosten des Elektrozylinders

Werden die Kosten auf der Seite des Elektrozylinders berechnet, sieht dies aus wie aufgeführt in Tabelle 11 und Tabelle 12.

$$\text{Energieverbrauch über Lebensdauer [kWh]} = \frac{\text{Kraft (F)}[\text{N}] * \text{Lebensdauer}[\text{mm}]}{3600 * 1000}$$

Abschliessend lässt sich dadurch berechnen, dass sich die Kosten für den Energieverbrauch der drei Pneumatikzylinder bei einem Strompreis von 0.21 CHF/kWh auf CHF 9'349.- belaufen. Im Gegenzug belaufen sich die Kosten für den Stromverbrauch beim Elektrozylinder auf CHF 496.-. Dabei resultiert eine Differenz von CHF 8'853.- sowie einem eingespartem CO<sub>2</sub> von 7'125kg (siehe auch Tabelle 13).

<b>Pneumatikzylinder</b>				
Gesamtwirkungsgrad von Elektrisch bis max. mechanischer Energie	=	10%		
Druck (p)	=	6	bar	
Lebensdauer	=	10'000	km	
Schlauchinnendruckmesser	=	6	mm	
Schlauchlänge Ventil - Zylinder	=	1'000	mm	
Strompreis	=	0.210	Fr./kWh	

Tabelle 8: 1/2 Grundlagen für die Berechnung des Luftvolumens in Kubikmeter entlang der gesamten Lebensdauer

	Durchmesser [mm]	Hub [mm]	Kolbenstangen-durchmesse r [mm]	max. Kraft [N]	benötigte Kraft [N]	tatsächlicher Wirkungsgrad (Ausnutzung möglicher Kraft) [%]
Zylinder 1.1: Abschieber auf Plattenkett	20	125	8	156	100	6.4%
Zylinder 2.1: Masek Andräcker	25	100	12	235	180	7.7%
Zylinder 4.1: Bühlerwaage Zulaufklappe	40	100	16	624	400	6.4%



## Schlussbericht P+D Projekt «Elektrozylinder als Pneumatikersatz»

Tabelle 9: 2/2 Grundlagen für die Berechnung des Luftvolumens in Kubikmeter entlang der gesamten Lebensdauer

Anz. Hübe über Lebensdauer	Zylindervolumen pro Hub (Volumen im Zylinder innenraum)	Schlauchvolumen im Ventil-Zylinder	Druckluftvolumen über Lebensdauer inkl. Schlauch (V)	Max mögliche mechanische Energie (Emech=p x V)	Aufgewandte elektrische Energie (Eel=Emech/Wirkungsgrad)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)
[ - ]	[mm³]	[mm³]	[m³]	[kWh]	[kWh]	[Fr.]
80'000'000	36'128	28'274	5'152	858.702	8'587	1'803
100'000'000	43'433	28'274	7'171	1'195.114	11'951	2'510
100'000'000	115'611	28'274	14'388	2'398.082	23'981	5'036
				Summe =	44'519	9'349

Tabelle 10: Berechnung der Kosten und des Energieverbrauchs der gesamten Lebensdauer des Pneumatikzylinders

Elektrozylinder				
Gesamtwirkungsgrad Elektrozylinder		=	80%	
Lebensdauer		=	10'000	km

Tabelle 11: Grundlagen für die Berechnung der Kosten über die gesamte Lebensdauer des CTC060 Elektrozylinders.

	Hub	Kraft	Energie Verbrauch über Lebensdauer (10'000km)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)
	[mm]	[F]	[kWh]	[Fr.]
Zylinder 1.1: Abschieber auf Plattenkett	125	100	347	73
Zylinder 2.1: Masek Andräcker	100	180	625	131
Zylinder 4.1: Bühlerwaage Zulaufklappe	100	400	1'389	292
			Summe =	2'361
				496

Tabelle 12: Berechnung der Kosten und des Energieverbrauchs über die gesamte Lebensdauer des CTC060 Elektrozylinders.

Ersparnis gegenüber Pneumatik-zylinder	Energie Verbrauch über Lebensdauer (10'000km)	Eingespartes CO2 (0.169kg CO2/kWh)
[Fr.]	[kWh]	[kg]
-1'730	-8'240	1'393
-2'378	-11'326	1'914
-4'744	-22'592	3'818
<b>-8'853</b>	<b>-42'158</b>	<b>7'125</b>

Tabelle 13: Differenz in Kosten und Energie vom Pneumatik zum Elektronikzylinder sowie das eingesparte CO2



### 3.3.3.3. Mibelle Group

Bei der Firma Mibelle Group sollen fünf Zylinder einer Kartonfaltanlage ersetzt werden. Die Elektroinstallationen sollen von den Mibelle-Mitarbeitern selbst durchgeführt werden, der mechanische Einbau der Zylinder jedoch soll von der Cyltronic übernommen werden.

Ziel soll es sein, dass der positive ROI aller Zylinder zusammengefasst bereits nach zwei Jahren eintrifft (Abbildung 17). Die Grundlage zur Berechnung ist in Tabelle 14, Tabelle 15, Tabelle 16 und Tabelle 17 zu finden. Die Berechnungsgrundlage kann am Beispiel des Projekts bei der Firma Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG (Kapitel 3.3.3.1) angeschaut werden. Der attraktive ROI in diesem Projekt wird besonders durch die hohe Taktzahl der Zylinder errechnet.

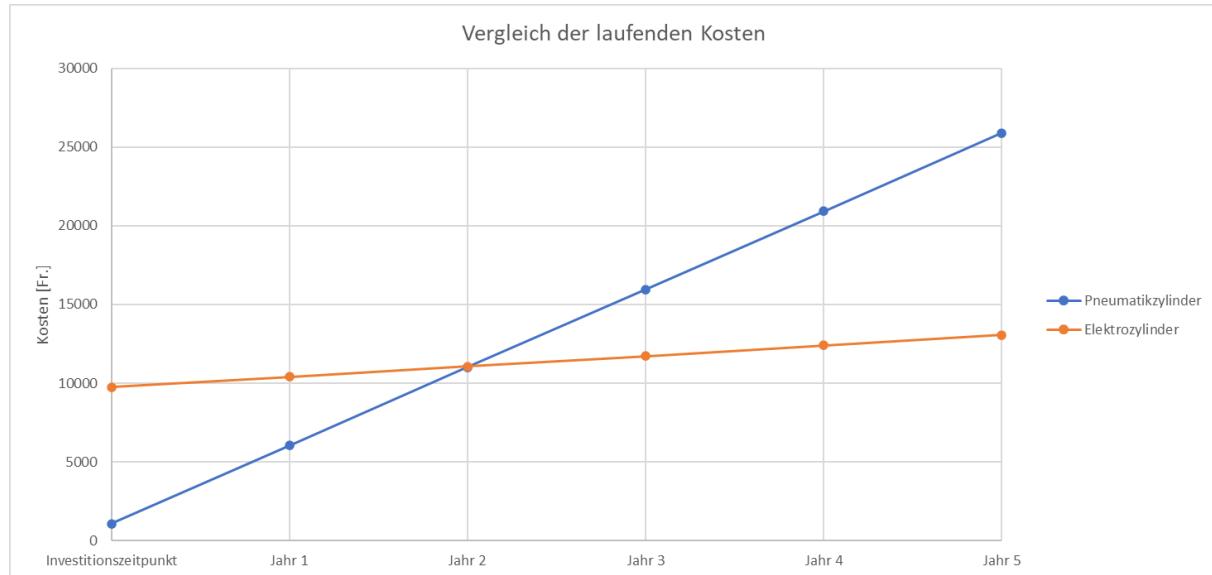


Abbildung 17: Vergleich zwischen kumulierten Fix- und variablen Kosten zwischen einem Pneumatik und dem Elektrozylinder bei der Mibelle Group

Pneumatikzylinder									
								Takte pro Min 1 Takt = Ausfahren und Einfahren	Takte pro Jahr
Beschreibung		Durchmesser	Hub	Kolben-stangen-durchmesser					
		[mm]	[mm]	[mm]		[1/min]		[1/Jahr]	
Flap-Niederhalter oben (Flachzylinder)	DZH-25-100-PPV-A	25	100	10	10			3'300'000	
Führungszyliner - Flaps anpressen	DNC-40-400-PPV-A	40	400	16	10			3'300'000	
Vertikal Hub - Karton holen	DNC-40-550-PPV-A	40	550	16	10			3'300'000	
Längshub	DNC-40-800-PPV-A	40	800	16	10			3'300'000	
Karton-Aufzuklapplzyliner unten	DNC-32-80-PPV-A	32	80	12	10			3'300'000	

Tabelle 14: 1/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Pneumatikzylinder

Luft-Volumen pro Takt	Volumen pro Jahr	Druckluft Kosten	Wirkungsgrad Druckreduzier- ventil	Verlust durch Leckagen	Druckluft- kosten pro Jahr	Investitionszeitpunkt	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5
						von 7 bar auf 6 bar	-	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]	[Fr.]
[mm³]	[m³]	[Fr./m³]									
896'139	2'957	0.03	87%	25%	136.5	221	358	494	631	767	904
6'738'088	22'236	0.03	71%	25%	1248.6	160	1409	2657	3906	5155	6403
9'165'911	30'248	0.03	87%	25%	1396.4	250	1646	3043	4439	5835	7232
13'212'282	43'601	0.03	87%	25%	2012.8	280	2293	4306	6318	8331	10344
1'101'317	3'634	0.03	87%	25%	167.8	170	338	506	673	841	1009
					4962.1	1081	6043	11005	15967	20929	25891

Tabelle 15: 2/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Pneumatikzylinder



<b>Elektrozylinder</b>						
Gesamtwirkungsgrad Elektrozylinder		=	70%			
Strompreis		=	0.210	Fr./kWh		
				Energie pro		
Kraft		Hub	Energie pro Takt	Takt pro Jahr	Jahr	
[F]		[mm]	[J]	[1/Jahr]	[kWh/Jahr]	
CTC-060-K10-0100-A		265	100	75.73	3'300'000	69.4
CTC-060-K10-0400-A		565	400	646.27	3'300'000	592.4
CTC-060-K10-0600-A		679	550	1066.35	3'300'000	977.5
CTC-060-K10-0800-A		679	800	1551.05	3'300'000	1421.8
CTC-060-K10-0100-A		434	80	99.27	3'300'000	91.0

Tabelle 16: 1/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Elektrozylinder

Kosten pro Jahr	Elektro-zylinder Beschaffung	Elektro-zylinder Jahr 1	Elektro-zylinder Jahr 2	Elektro-zylinder Jahr 3	Elektro-zylinder Jahr 4	Elektro-zylinder Jahr 5
[Fr./Jahr]	[Fr.]					
14.6	1950	1964	1979	1993	2008	2022
124.4	1950	2074	2198	2323	2447	2572
205.3	1950	2155	2360	2565	2771	2976
298.6	1950	2248	2547	2845	3144	3442
19.1	1950	1969	1988	2007	2026	2045
<b>661.9</b>	<b>9748</b>	<b>10410</b>	<b>11072</b>	<b>11734</b>	<b>12396</b>	<b>13058</b>

Tabelle 17: 2/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Elektrozylinder

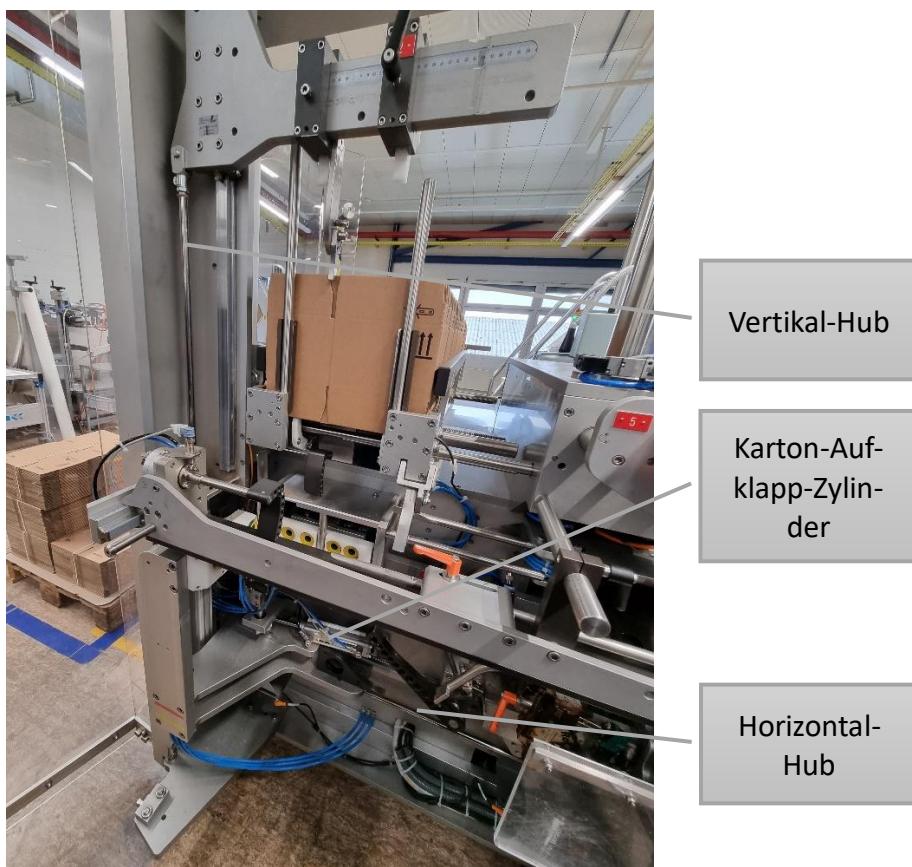


Abbildung 18: Karton-Kaltanlage bei der Mibelle Group



### 3.3.3.4. Micarna SA

Bei der Micarna SA aus Bazenheid werden Pneumatikzylinder vor allem im Intralogistiksystem eingesetzt. Auf Warenbahnen werden über angetriebene Rollen Gebinde transportiert. Diese werden über Stopper angehalten und aufgestaut, eingetaktet etc.

Ein anderer Anwendungsbereich ist das Stapeln und Entstapeln von Gebinden in den Lagerräumlichkeiten eingesetzt.

Bei Micarna wurden sieben Zylinder umgebaut. Dabei handelt es sich jeweils um vier Stoppzylinder im «weissen Gebinde Lager» sowie um drei Stoppzylinder im «B-Gebinde Lager».



Abbildung 19: Beispiel eines zu ersetzenen Pneumatikzylinders im «B-Gebinde Lager»

Die Cyltronic hat der Firma Micarna SA die Garantie für eine Rückbaubarkeit zu Pneumatikzylindern angeboten. Dies um das Projektrisiko für den Pilotkunden so gering wie möglich zu halten. Aus diesem Grund wurden die Umbauten so ausgeführt, dass ein Rückbau zur Pneumatik innerhalb kürzester Zeit möglich ist. Da die Cyltronic-Zylinder mit denselben Signalen wie die Pneumatik Ventile angesteuert werden können und die normierten Schnittstellen flexible Einbaumöglichkeiten bieten, ist dies ohne Mehrkosten möglich.

### 3.3.3.5. Kubrix AG

Die Firma Kubrix AG ist ein Backsteinproduzent. Um die Backsteine zu palettieren, wird eine Hebevorrichtung für Paletten verwendet. Die Pneumatikzylinder fahren ein, um die gelben Schaufeln (Abbildung 20) unter die Paletten zu bringen. Diese sind dreieckig, um das jeweilige Palett auszurichten. Da die Hubanzahl unklar ist, ist auch die Berechnung des Energieaufwands schwierig. Das Ziel dieses Pilotprojekt ist, dass der Elektrozylinder einer harschen Umgebung standhalten soll. Die Paletten liegen jeweils versetzt zueinander; Somit wird der Zylinder unterschiedlichen Situationen ausgesetzt.



Abbildung 20: Zwei auszutauschende Pneumatikzylinder bei der Firma Kubrix AG

### 3.3.3.6. Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG

Die Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG hat einen ausgezeichneten Ruf in der Schweizer Produktion. Beim Gewinn dieses Pilotprojekts handelt es sich somit auch um ein Prestigeprojekt. Gleichzeitig hat die Produktion etliche Pneumatikzylinder, welche unter hoher Taktzahl Abbildung 21 agieren (Abbildung 21), was sich positiv auswirkt auf den ROI. Da bei solch hohen Taktfrequenzen die Lebensdauer der Zylinder von 10'000 km erreicht werden, kann die Ersparnis der Energiekosten bei beiden Produkten über die Lebensdauer errechnet werden. Somit wird berechnet, dass sich die Ersparnis der Energiekosten des Elektrozylinders gegenüber des Pneumatikzylinders auf CHF 3'593.- belaufen wird (siehe Tabelle 18, Tabelle 19, Tabelle 20).

Pneumatikzylinder								
Gesamtwirkungsgrad von Elektrisch bis max. mechanischer Energie	=	10%						
Druck (p)	=	4	bar					
Lebensdauer	=	10'000	km	=	10'000'000'000 mm			
Schlauchinnendurchmesser	=	4	mm					
Schlauchlänge Ventil - Zylinder	=	600	mm					
Strompreis	=	0.21	Fr./kWh					
	Durchmesser	Kolbenstangen-durchmesse	max. Kraft	benötigte Kraft	tatsächlicher Wirkungsgrad (Ausnutzung möglicher Kraft)	Anz. Hübe über Lebensdauer		
	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[%]		
Zylinder 1 Abschieber	32	140	12	269	30	1.1%	71'428'571	

Tabelle 18: 1/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder

Zylindervolumen pro Hub (Volumen im Zylinder innenraum)	Schlauchvolumen in Ventil-Zylinder	Druckluftvolumen über Lebensdauer inkl. Schlauch (V)	Max mögliche mechanische Energie (Emech=p x V)	Aufgewandete elektrische Energie (Eel=Emech/Wirkungsgrad)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)
[mm^3]	[mm^3]	[m^3]	[kWh]	[kWh]	[Fr.]
209'356	7'540	15'493	1'721.393	17'214	3'615
			Summe =	17'214	3'615

Tabelle 19: 2/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder



Elektrozylinder									
Gesamtwirkungsgrad	=	80%							
Elektrozylinder	=	10'000		km					
Lebensdauer	=			Energie Verbrauch über Lebensdaue r (10'000km)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)	Ersparnis gegenüber Pneumatik- zylinder	Energie Verbrauch über Lebensdauer (10'000km)	Eingespartes CO2 (0.169kg CO2/kWh)	
Hub	Kraft	[mm]	[F]	[kWh]	[Fr.]	[Fr.]	[kWh]	[kg]	
Zylinder 1	140	30	104	22	-3'593	-17'110	2'892		
		Summe =		104	22	-3'593	-17'110	2'892	

Tabelle 20: Berechnung der Kosten für die Elektrozylinder

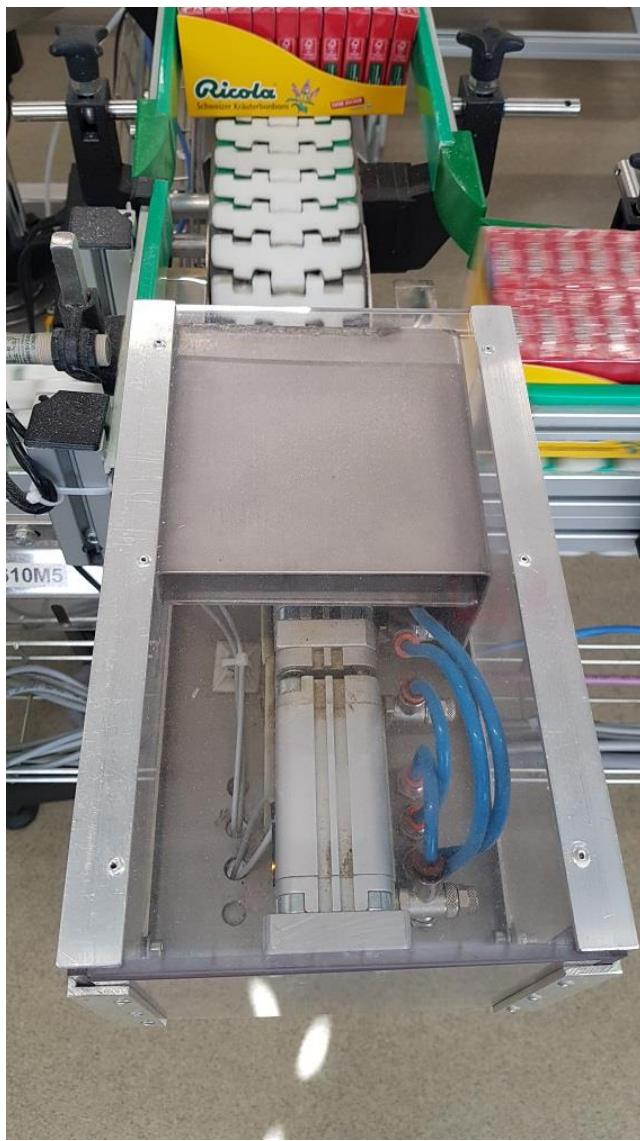


Abbildung 21: Einer der zu ersetzenen Pneumatikzylinder - Abschieber

### 3.3.3.7. Weitere Projekte

JOWA AG – Mühle Wildegg

Bei der Firma JOWA AG sind sieben Zylinder als Ersatz bei drei Waagen gedacht. Das Projekt soll in zwei Schritten ablaufen. So soll vorerst bei einer Wage zwei Zylinder ersetzt werden und sobald dies funktioniert, sollen die restlichen fünf Zylinder nachgerüstet werden. Die Dauer zur Erreichung des



positiven ROI in diesem Projekt wird auf knapp 6.5 Jahre berechnet (Abbildung 22). Die Zylinder haben eine hohe Taktfrequenz, jedoch eine deutlich tiefere als beim Projekt von zum Beispiel der Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG. Spannend zu sehen in diesem Projekt sind die ersparten Stromkosten über die Lebensdauer der sieben Zylinder. So belaufen sich diese auf Total CHF 22'088.- (Tabelle 21, Tabelle 22 und Tabelle 23).

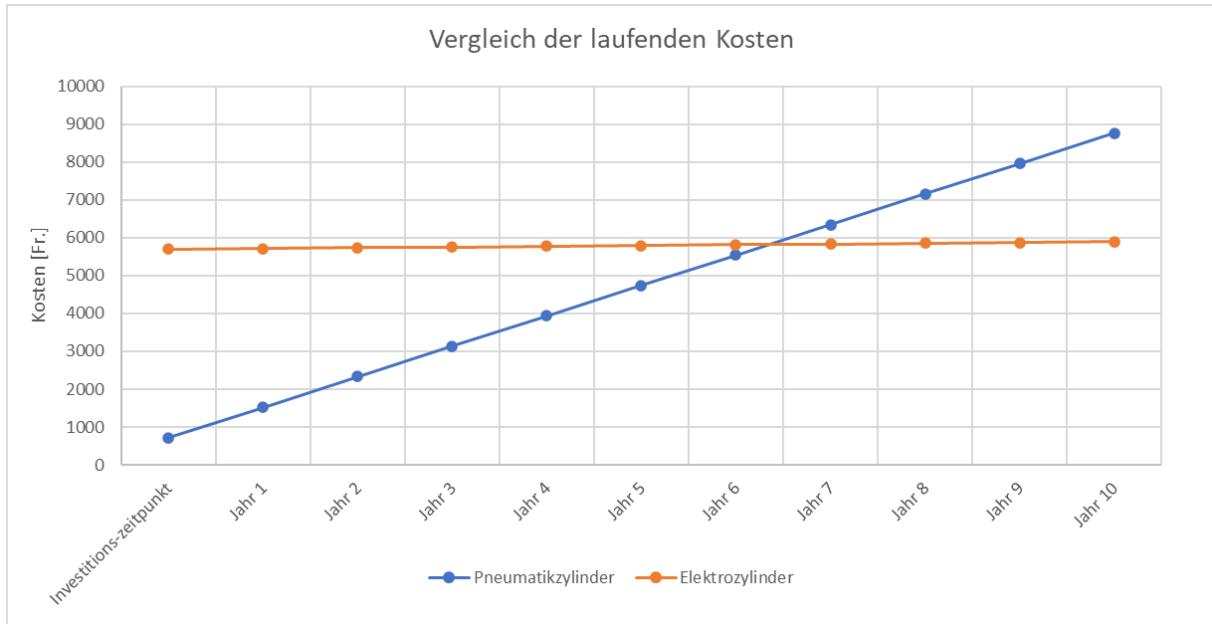


Abbildung 22: Vergleich zwischen kumulierten Fix- und variablen Kosten zwischen dem Pneumatik und dem Elektrozyylinder bei der JOWA AG

Pneumatikzylinder							
Gesamtwirkungsgrad von Elektrisch bis max. mechanischer Energie	=	12%					
Druck (p)	=	6	bar				
Lebensdauer	=	10'000	km	=	10'000'000'000	mm	
Schlauchinnendurchmesser	=	6	mm				
Schlauchlänge Ventil - Zylinder	=	500	mm				
Strompreis	=	0.21	Fr./kWh				
						tatsächlicher Wirkungsgrad (Ausnutzung möglicher Kraft)	Anz. Hübe über Lebensdauer
		Durchmesser	Hub	Kolbenstangen-durchmesser	max. Kraft	benötigte Kraft	[ - ]
		[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[N]	[%]
MNG-Waage Bodenlappe (Z1)	Zylinder 1	40	125	16	624	312	6.0%
MNG-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 2	40	125	16	624	312	6.0%
MNG-Waage Einlauf (Z2)	Zylinder 3	40	100	16	624	312	6.0%
Gries-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 5	32	80	12	404	202	6.0%
Gries-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 5	32	80	12	404	202	6.0%
Gries-Waage Einlauf (Z2)	Zylinder 6	32	100	12	404	202	6.0%
B1-Waage (Z3)	Zylinder 7	40	100	16	624	312	6.0%

Tabelle 21: 1/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder



Zylindervolumen pro Hub (Volumen im Zylinder innenraum)	Schlauchvolumen Ventil-Zylinder	Druckluftvolumen über Lebensdauer inkl. Schlauch (V)		Max mögliche mechanische Energie (Emech=p x V)	Aufgewendete elektrische Energie (Eel=Emech/Wirkungsgrad)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)
[mm <sup>3</sup> ]	[mm <sup>3</sup> ]	[m <sup>3</sup> ]		[kWh]	[kWh]	[Fr.]
144'513	14'137	12'692		2'115.339	17'628	3'702
144'513	14'137	12'692		2'115.339	17'628	3'702
115'611	14'137	12'975		2'162.463	18'021	3'784
59'816	14'137	9'244		1'540.689	12'839	2'696
59'816	14'137	9'244		1'540.689	12'839	2'696
74'770	14'137	8'891		1'481.785	12'348	2'593
115'611	14'137	12'975		2'162.463	18'021	3'784
				Summe =	109'323	22'958

Tabelle 22: 2/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder

Elektrozylinder								
Gesamtwirkungsgrad Elektrozylinder	=	80%						
Lebensdauer	=	10'000 km						
		Hub	Kraft	Energie Verbrauch über Lebensdauer (10'000km)	Kosten über Lebensdauer (mit 0.21Fr/kWh)	Erspartis gegenüber Pneumatikzylinder	Energie Verbrauch über Lebensdauer (10'000km)	Eingespartes CO2 (0.169kg CO2/kWh)
		[mm]	[F]	[kWh]	[Fr.]	[Fr.]	[kWh]	[kg]
MNG-Waage Bodenlappe (Z1)	Zylinder 1	125	312	1'084	228	-3'474	-16'544	2'796
MNG-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 2	125	312	1'084	130	-3'572	-16'544	2'796
MNG-Waage Einlaug (Z2)	Zylinder 3	100	312	1'084	130	-3'654	-16'937	2'862
Gries-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 4	80	202	701	84	-2'612	-12'138	2'051
Gries-Waage Bodenklappe (Z1)	Zylinder 5	80	202	701	84	-2'612	-12'138	2'051
Gries-Waage Einlauf (Z2)	Zylinder 6	100	202	701	84	-2'509	-11'647	1'968
B1-Waage (Z3)	Zylinder 7	100	312	1'084	130	-3'654	-16'937	2'862
				Summe =	6'438	870	-22'088	-102'885
								17'388

Tabelle 23: Berechnung der Kosten für die Elektrozylinder

### Delica AG (Riseria)

Bei der Firma Delica AG ist aktuell eine Projektanfrage hängig, bei der zehn Zylinder nachgerüstet werden sollen. Das Ziel gemäss den Berechnungen von diesem Retrofit soll sein, dass die Investitionskosten sich nach 3.5 Jahren ausbezahlt haben.

### Telsonic AG

Die Firma Telsonic AG ist nach der Anfrage für ein Pilotprojekt mit einer Bestellung auf die Cyltronic AG zugekommen. Im Gegensatz zu den anderen in diesem Dokument erwähnten Kunden ist die Energieersparnis nicht das einzige Ziel der Telsonic AG. Die Firma hat den Einsatz der Zylinder in ihren eigengefertigten Maschinen getestet. Es stellte sich heraus, dass eine Umrüstung resp. eine Elektrifizierung der Maschinen mit dem Cyltronic Zylinder ohne um Konstruktion der Maschine möglich ist. Die Telsonic internen Untersuchungen zeigten, dass ein Elektrozylinder gut einsetzbar ist für Ultraschallschweissung. Es stellte sich aber auch heraus, dass für den breiten Einsatz von Elektrozylindern in dieser Branche weitere Baugrössen mit grösseren Kräften verfügbar sein müssen.

Dies war eine wichtige Erkenntnis für die weitere Ausrichtung von Cyltronic und zeigt, dass der Fokus auf den Portfolioausbau gelegt werden muss.

Ausserdem zeigte sich beim Einsatz in den Telsonic-Anlagen ein deutlicher Mehrwert über eine Positionier-Funktion des Zylinders erzielt werden könnte. Diese war zu diesem Zeitpunkt noch nicht im Cyltronic-Elektrozylinder integriert.



### 3.4 Vorgehensweise zur Analyse der Interviews

Für das Vorgehen wurde die Induktive Forschungsmethode angewandt. Die Forschenden sind Experten im Bereich der Maschinenindustrie und kennen diese aus der Praxis. Sie stellen dadurch einige Hypothesen auf, welche es zu belegen gilt. Als Verfahren wird die qualitative Forschungsmethode mit semistrukturierten Interviews gewählt. Die semistrukturierten Interviews sind notwendig, um bereits eine erste Quantifizierung der Aussagen zu erhalten. Auf die Ergebnisse wird im Kapitel 4.2 eingegangen.

Für die Cyltronic AG ist die Unterscheidung zwischen Distributor, Maschinenbauer und Endanwender von grosser Bedeutung, da diese Gruppen unterschiedliche Bedürfnisse aufweisen. Aus diesem Grund wurden drei unterschiedliche semistrukturierte Leitfäden zu den Interviews erstellt.

#### 3.4.1 Hypothesen

1. Elektrozylinder sind eher von Endanwendern gefragt als von Maschinenbauern. Mehr noch, Mehrwert für Maschinenbauer ist wenig ersichtlich. Der Wechsel zu Elektrozylindern bedeutet für Ihn Aufwand, während von den Einsparnissen primär der Endanwender profitiert.
2. Die aktuellen auf dem Markt vorhandenen Elektrozylinder sind zu gross, zu teuer und zu kompliziert
3. Der Mehrwert für Endanwender und Maschinenbauer liegt im «eins-zu-eins-Ersatz».
  - a. Für Endanwender kann somit die Standzeit der Anlage während der Umrüstung stark reduziert werden
  - b. Der Maschinenbauer muss keine zusätzlichen Anbauteile oder andere Hilfs-Konstruktionen entwickeln

## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden zuerst die Ergebnisse der Pilotprojekte und danach die Ergebnisse der Interviews aufgezeigt. Zum Schluss ist die Diskussion aufgeführt.

Das Kapitel hat im Aufbau folgende Eigenschaften:

- Um den Umfang des Berichts in Grenzen zu halten, wird die genaue Messung und deren Berechnung für den Energieverbrauch nur von zwei Pilotkunden aufgeführt. Die restlichen Projekte werden zusammengefasst aufgeführt
- Die Ergebnisse sind der Beschreibung der Messungen und Berechnungen in den einzelnen Kapiteln vorgelagert. Der Grund dafür ist, dass die Ergebnisse als wichtigerer Content eingestuft werden, besteht dennoch das Interesse für den Vorgang, ist dieser nachgelagert aufgeführt.

### 4.1 Ergebnisse der Pilotprojekte

#### 4.1.1 Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG

Die folgenden Tabellen zeigen die Ergebnisse der Energie- und Druckluftmessungen. Die detaillierte Beschreibung der Messungen kann dem Kapitel 4.1.1.1 auf Seite 32ff entnommen werden. Die Berechnung für den jeweiligen Energieverbrauch wird nachfolgend aufgezeigt und zum Schluss das Fazit aufgeführt.



## Schlussbericht P+D Projekt «Elektrozylinder als Pneumatikersatz»

Energie pro m^3	0.11	kWh/m^3			Betriebsstunden pro Jahr
Zylinder	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch [J]	Einsparung	Verbrauch [kWh]
Pneumatik Klappe Z1	d50 H50	1.7	673		0.00023
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	MSFG-24/42-50/60	-	162		
Elektro Klappe Z1	CTC-060-K10-0100-I	-	148	82%	0.00004
Pneumatik Klappe Z2.1&Z2.2	25tk. d50 H50	2.5	990		0.00028
Stromverbrauch Magnetspule	MSFG-24/42-50/60	-	23		
Elektro Klappe Z2.1	CTC-060-K10-0100-I	-	115	89%	0.00003
Pneumatik Klappe Z3	d50 H165	28.97	11'473		0.00326
Stromverbrauch Magnetspule			279		
Elektro Klappe Z3	CTC-060-K10-0200-I	-	181	98%	0.00005

Tabelle 24: 1/2 Messung bei der Firma Stihl. In Blau jeweils die Pneumatikzylinder, in Grau die Elektrozylinder.

4576		Kosten pro kWh:	0.21				
Taktanzahl pro Jahr	Leckageverlust in restlicher Zeit [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsprung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]	Bemerkung
265'703		61.64	12.95	50.75	10.66	0.93	
		10.89	2.29				
265'703		74.73	15.69	66.23	13.91	1.21	2 Stk. 50er Zylinder ersetzt
		8.50	1.79				
265'703	828.432 (0.5l/s Leckage im Zyl.)	1'695.76	356.11	1'682.39	353.30	30.79	Leckage im Ausgefahrenen
		13.37	2.81				
			Summe =	1'799.37	377.87	32.93	

Tabelle 25: 2/2 Messung bei der Firma Stihl, in Grün ist die Einsparung von Betriebskosten

Kosten pro Jahr	Investition 27.07.2021	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4
Pneumatikzylinder Z1-Z3	560	944.75	1'329.50	1'714.24	2'098.99
Elektrozylinder Z1-Z3	3710	3'716.88	3'723.76	3'730.64	3'737.52

Tabelle 26: 1/2 Kosten pro Jahr mit Investitions- und Betriebskosten

Jahr 5	Jahr 6	Jahr 7	Jahr 8	Jahr 9	Jahr 10
2'483.74	2'868.49	3'253.23	3'637.98	4'022.73	4'407.48
3'744.40	3'751.29	3'758.17	3'765.05	3'771.93	3'778.81

Tabelle 27: 2/2 Kosten pro Jahr mit Investitions- und Betriebskosten

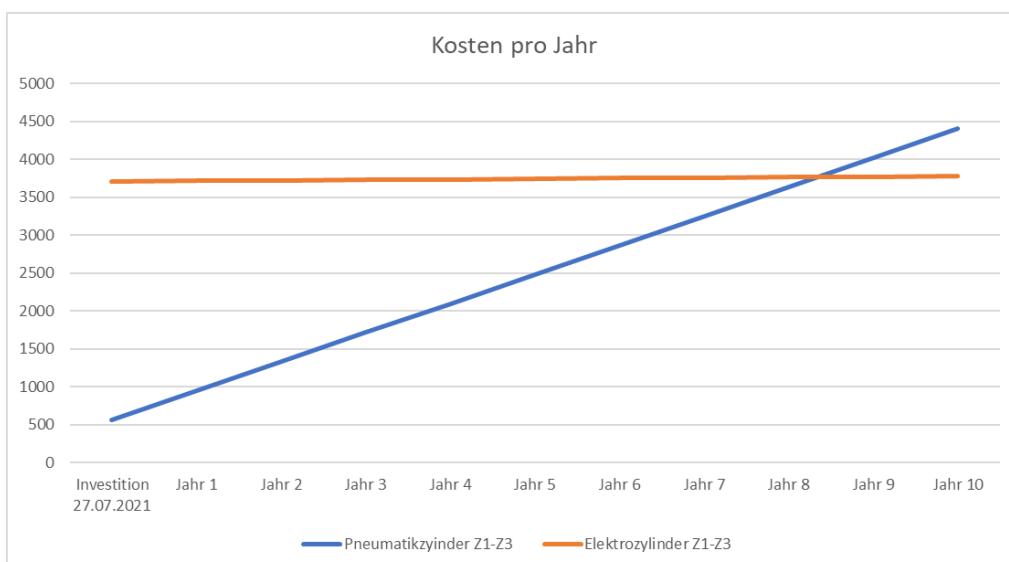


Abbildung 23: Kumulierte Kosten pro Jahr mit Investitions- und Betriebskosten, aufgezeigt im Diagramm



*Luftverbrauch pro Takt wurde gemessen*

$$\text{Verbrauch in Joule (Pneumatik)} = \text{Luftverbrauch pro Takt} * \text{Energie pro m}^3 * 3600$$

$$\text{Einsparung} = 1 - \frac{\text{Verbrauch (Elektro)}}{\text{Summe Verbrauch (Pneumatik)}}$$

$$\text{Umrechnung Verbrauch [kWh]} = \frac{\text{Verbrauch [J]}}{\frac{3600}{1000}}$$

$$\text{Taktanzahl pro Jahr} = \text{Betriebsstunden} * \text{Taktzeit [h]}$$

→ Betriebsstunden gemäss STIHL, Taktzeit 62s gemessen

$$\text{Jahresverbrauch [kWh]} = \text{Verbrauch [kWh]} * \text{Taktanzahl pro Jahr}$$

$$\text{Jahresverbrauch [Fr.]} = \text{Jahresverbrauch [kWh]} * \text{Kosten pro kWh}$$

## Fazit

Die Energieeinsparung durch die Umrüstung liegt zwischen 82% und 98% (siehe Tabelle 24). 89% davon sind darauf zurückzuführen, dass mit einem Elektrozylinder zwei Pneumatikzylinder ersetzt wurden. Die Gesamt-Einsparung von 98% ist auf eine erhebliche Leckage des Pneumatikzylinders zurückzuführen. Im ausgefahrenen Zustand verlor der Zylinder 0.5l/s (!) Druckluft. Ebenfalls auffällig ist, dass bei den Zylindern 1 und 3 allein der Stromverbrauch der Magnetspule bereits grösser ist als derjenige des Elektrozylinders. Durch den Ersatz der 4 Pneumatikzylinder kann somit ein Total von jährlich CHF 377.87 eingespart werden.

Werden die Investitionskosten und die jährlichen Betriebskosten in einem Diagramm abgebildet, ist ersichtlich, dass der positive Return of Investment (ROI) nach knapp neun Jahren erreicht werden wird (Abbildung 23). Gemäss der vorhergehenden Berechnung (Kapitel 3.3.3.1) sollte der positive ROI jedoch bereits vor zwei Jahren erreicht werden. Dies ist auf die Taktzahl zurückzuführen, welche in der Realität bedeutend tiefer ist als für die Berechnung angenommen wurde. Wichtig zu erwähnen ist, dass auch diese Berechnung seine Limitationen mit sich bringt. So wurde zum einen die Messung des Luftverbrauchs direkt vor dem Ventil unternommen, womit weitere Leckagen an der Anlage sowie Druckreduzier- und Leitungsverluste nicht erfasst sind. Zum anderen wird mit statistischen Stromkosten pro Kilowattstunde gerechnet, welche bei STIHL durch den Strombezug am freien Markt (siehe Kapitel 3.3.2.2) womöglich tiefer sind.

### 4.1.1.1. Ausführliche Beschreibung der Messung

Die Messung zum Luftverbrauch wurde, wie bereits beschrieben, vor dem Umbau vorgenommen. Die Messung zum Energieverbrauch der Elektrozylinder dementsprechend nach dem Umbau. Die Pneumatik-Zylinder Z1 und Z2 werden durch ein gemeinsames Ventil angesteuert. Da das Messgerät für die Messung zum Luftverbrauch jeweils vor dem Ventil angeschlossen wird, mussten hier die Zylinder Z1 und Z2 zusammen gemessen werden.

#### Messung zum Luftverbrauch

Die Zylinder Z1 und Z2 werden in Ihrer Funktion jeweils folgendermassen angesteuert:

- Z1 – Ausfahren (Z1 AF)
- Z2 – Ausfahren (Z2 AF)
- Z1 und Z2 – Gleichzeitig einfahren (Z1/2 EF)

Diese Abfolge ergibt einen Zyklus.

In Abbildung 24 ist der gemessene Volumenstrom aufgezeigt und in Abbildung 25 ist der integrierte Volumenstrom ersichtlich. Konkret bedeutet dies, dass die Abbildung 24 das verwendete Luftvolumen



darstellt. Die Abbildung 24 und Abbildung 25 zeigen einen Abschnitt der Messung von der Sekunde 29 bis zur Sekunde 200.

Den Luftverbrauch pro Takt (Tabelle 24) berechnet sich daher folgendermassen:

$$\begin{aligned} Z1\ AF &= 3.36l - 2.51l = 0.85l \\ Z2\ AF &= 4.61l - 3.36l = 1.25l \\ Z1/2\ EF &= 6.63l - 4.61l = 2.02l \\ Z1\ EF &= \frac{Z1\ AF}{Z1\ AF + Z2\ AF} * Z1/2\ EF = 0.817l \\ Z2\ EF &= \frac{Z2\ AF}{Z1\ AF + Z2\ AF} * Z1/2\ EF = 1.202l \\ Z1 &= Z1\ AF + Z1\ EF = 1.667 \approx 1.7l \\ Z2 &= Z2\ AF + Z2\ EF = 2.452 \approx 2.5l \end{aligned}$$

In der Berechnung ist die Kolbenstange ersichtlich. Durch das Volumen der Kolbenstange verringert sich das zu verwendende Luftpolumen im Zylinder. So ist beim Einfahren der Luftverbrauch marginal tiefer. Dieser Unterschied wird durch die Rundung wieder ausgeglichen und ist somit vernachlässigbar.

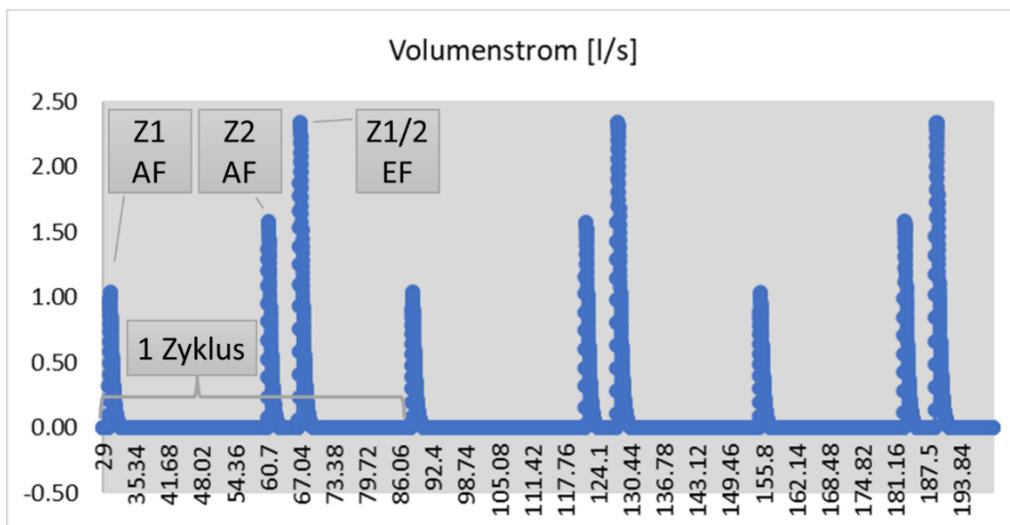


Abbildung 24: Gemessener Volumenstrom der Pneumatikzylinder Z1 und Z2.

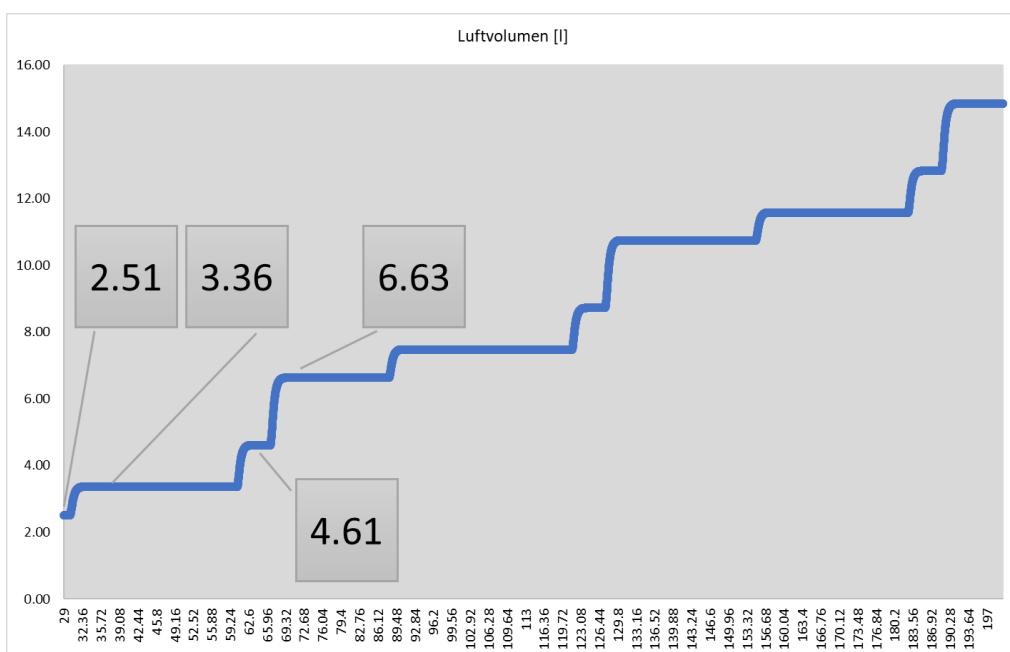


Abbildung 25: Integrierter Volumenstrom - Diese Abbildung zeigt das aufsummierte Luftpolumen



Interessantes zeigt auch die Messung des Zylinders Z3. In der Abbildung 26 ist der Zyklus gut erkennbar. Das Ausfahren, welches durch die Kolbenstange einen etwas kleineren Volumenstrom als das Einfahren zeigt. Zudem wird in dieser Abbildung eine Leckage von 0.44l/s ersichtlich. In Abbildung 27 ist der Volumenstrom ersichtlich. Spannend zu sehen ist, wie wenig die Hübe des Zylinders im Verhältnis zur Leckage ausmachen. Den Luftverbrauch über einen Zyklus in der Abbildung 27 zu entnehmen, führt aufgrund der sichtbaren Leckage zu einer ungenauen Analyse. Deshalb wird wie in Abbildung 28 ersichtlich, das Volumen über zehn Takte, respektive Zyklen genommen und anschliessend in der Berechnung durch diese zehn Zyklen geteilt.

Der Luftverbrauch pro Takt (Tabelle 24) berechnet sich somit folgendermassen:

$$10 * Z3 = 294.93l - 5.22l = 289.71l$$

$$Z3 = \frac{289.71l}{10} = 28.971l \approx 28.97l$$

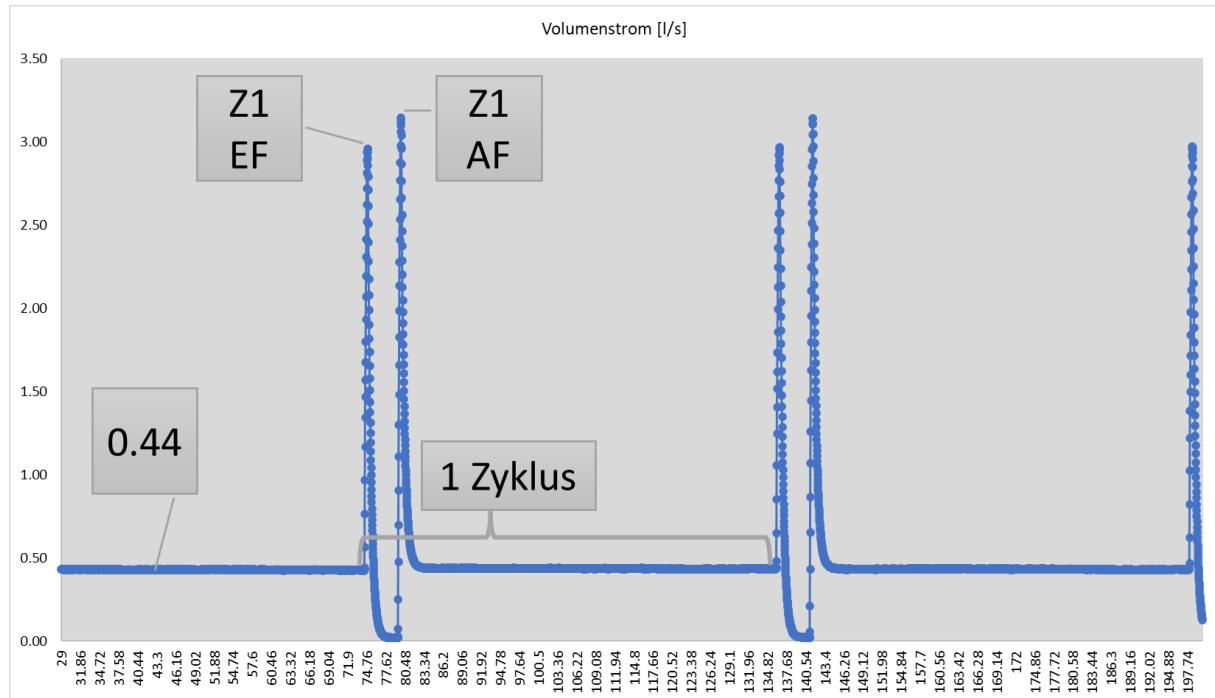


Abbildung 26: Volumenstrom Zylinder Z3

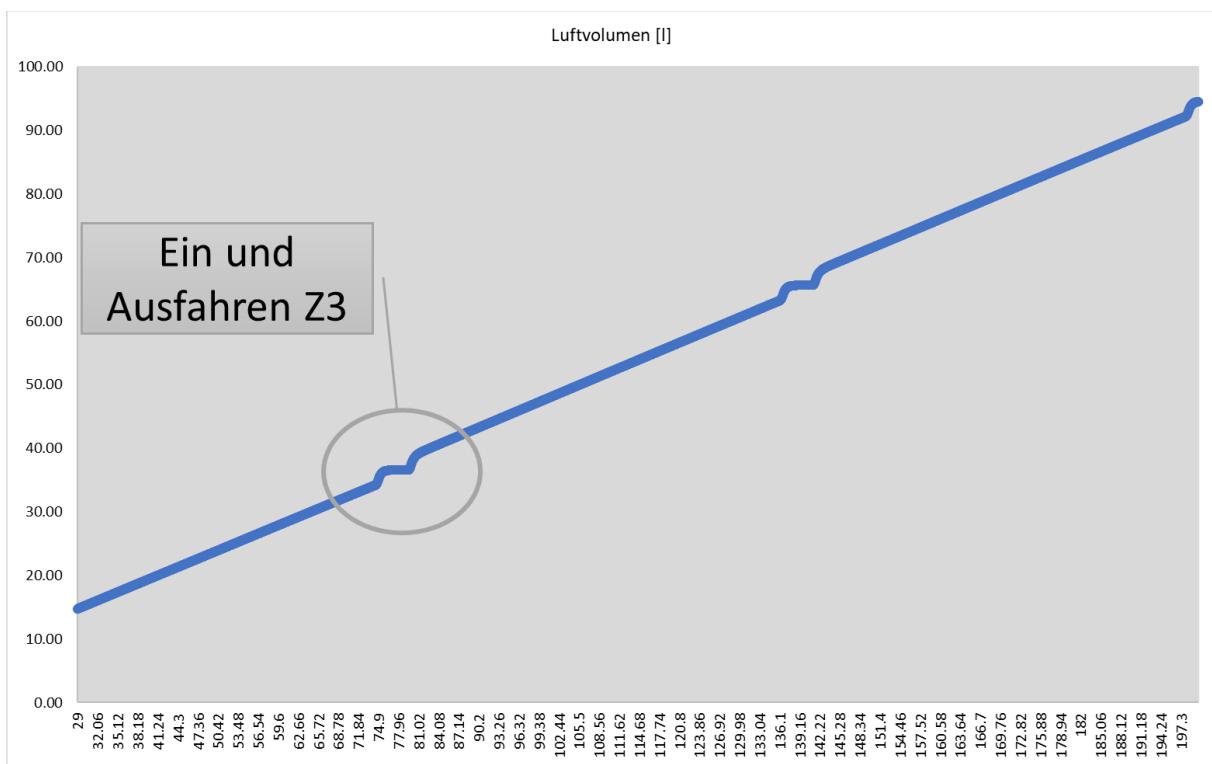


Abbildung 27: Luftvolumen Z3

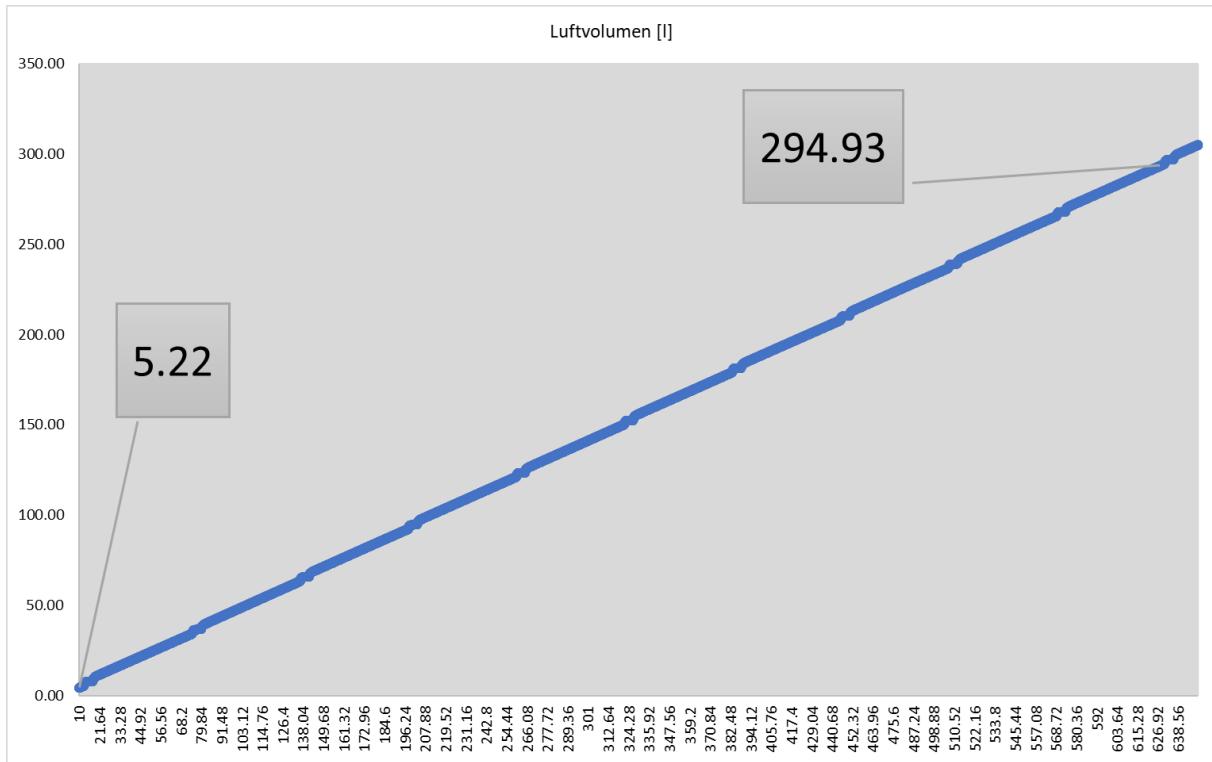


Abbildung 28: Luftvolumen Z3 über 10 Takte

#### Messung zum Luftverbrauch der Magnetspule

Wie in der Tabelle 24 ersichtlich ist und im Fazit beschrieben wurde, benötigt alleine die Magnetspule der Zylinder Z1 und Z3 bereits mehr Energie [J] als der Elektrozylinder. Folgend werden die zugehörigen Berechnungen aufgeführt.



Gemäss dem Datenblatt von Festo benötigt die Magnetspule bei 24V DC 4.5W Leistung (FESTO Katalog, 2022). Wird also die Einschaltzeit mit der Leistung multipliziert, ergibt dies die aufzuwendende Energie pro Takt in Joule.

$$\text{Verbrauch}_{\text{MagnetspuleZ1}} [\text{J}] = 4.5\text{W} * 36\text{s} = 162\text{Ws} = 162\text{J}$$

#### 4.1.2 Reismühle Nutrex

Wie im Vorgehen beschrieben, wurden jeweils zwei Messungen für den Vergleich durchgeführt. Eine Messung wurde vor dem Umbau – die Luftpumpe – und eine nach dem Umbau – die Strommessung – durchgeführt.

Die folgenden Tabellen zeigen die Resultate der Messungen. Die detaillierte Beschreibung der Messungen ist in Kapitel 4.1.2.1 auf Seite 38ff ersichtlich. Die Berechnung wird nachfolgend aufgezeigt und das Fazit wird am Schluss aufgeführt.

Zylinder	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung
Pneumatik Masek Andrücker	d25 H100	0.63	249	
Elektro Masek Andrücker	CTC-060-K10-0100-A	-	20	
Pneumatik Abschieber	d20 H125	0.64	255	
Elektro Abschieber	CTC-060-K10-0150-V	-	22	91%
Pneumatik Böhler Waage	d40 H100	1.80	713	
Elektro Böhler Waage	CTC-060-K10-0100-I	-	166	77%

Tabelle 28: 1/2 Resultate der Messungen bei der Firma Reismühle Nutrex

Verbrauch [kWh]	Taktanzahl pro Jahr	Jahresverbrauch [kWh]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung CHF pro Jahr
0.00007	2'400'000	166.32		
0.00001		13.39	152.93	
0.00007	1'200'000	84.92		
0.00001		7.33	77.59	105.85
0.00020	1'800'000	356.40		
0.00005		82.88	273.52	

Tabelle 29: 2/2 Resultate der Messungen bei der Firma Reismühle Nutrex

Berechnung der Kosteneinsparung der obenstehenden Tabelle 28 und Tabelle 29.

Die Berechnung für den Energieverbrauch bei den Pneumatikzylindern besteht aus dem gemessenen Luftverbrauch pro Takt und dem berechneten Verbrauch pro Takt.

#### Verbrauch pro Takt [J]

$$= \text{Luftverbrauch pro Takt [liter}(\text{dm}^3)\text{]} \\ * \text{Energie pro m}^3 \left( 0.12 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}, \text{siehe Kapitel 3.3.2.1} \right) * 3600$$

Der Energieverbrauch pro Takt beim Elektrozylinder hingegen kann direkt gemessen werden, und so in die Berechnung der Energieeinsparung einbezogen werden kann.

$$\text{Einsparung} = 1 - \left( \frac{\text{Verbrauch pro Takt El. Zyl.}}{\text{Verbrauch pro Takt Pneu. Zyl.}} \right)$$

$$\text{Verbrauch [kWh]} = \text{Verbrauch pro Takt} * 3600 * 1000$$



Die Taktanzahl pro Jahr wurde anhand der Betriebsstunden pro Jahr und Takten pro Minute hochgerechnet

$$\text{Jahresverbrauch [kWh]} = \text{Taktanzahl pro Jahr} * \text{Verbrauch [kWh]}$$

Die Differenz des Jahresverbrauchs ergibt die Einsparung pro Jahr in kWh und die Summe aller dreier Zylinder multipliziert mit den Stromkosten (0.21CHF/kWh) ergibt die Kosten-Einsparung pro Jahr.

#### Fazit

In der Berechnung wird folgendes ersichtlich: Wenn man die Elektrozylinder den Pneumatikzylindern gegenüberstellt, dass der Elektrozylinder durchschnittlich etwa zehn Mal effizienter ist. Dies geht einher mit jährlichen Kosten-Einsparungen von rund CHF 105.85. Zudem ist zu beachten, dass die Firma Reismühle Nutrex womöglich bessere Konditionen bei einem Stromproduzenten aushandeln konnten, wobei sich die Einsparungen weiter reduzieren dürften.

Ein Feedback der Produktionsmitarbeiter war, dass sich der Lärmpegel nach dem Umbau stark reduziert habe. Zum einen pfeife die Luft nicht mehr von Pneumatikzylindern und zum anderen prallt der Zylinder Z1, der Abschieber nicht mehr in die Endanschläge. Die aufzubringende Zeit für Formatänderungen konnte dank dem Ersatz der pneumatischen durch den cyltronic-Elektrozylinder von 20 Minuten auf 5 Minuten reduziert werden.



#### 4.1.2.1. Ausführliche Beschreibung der Messung

Um den Bericht im Rahmen zu halten, wird hier nur auf die Messung des zweiten Pneumatikzylinders, des Masek Andrückers, eingegangen.

In den folgenden Abbildungen (Abbildung 29 / Abbildung 30 / Abbildung 31) ist die Luftstrommessung des Zylinders Z2 zu sehen. In Abbildung 29 ist der Abschnitt der Luftstrommessung von Sekunde 180.9 bis 195.9 ersichtlich. Erkennbar ist, dass entlang dieser Zeit von 15s zehn Zyklen stattfinden, womit sich der Zylinder mit vierzig Zyklen pro Minuten bewegt. Der Andrücker drückt die Reispakete in die gewünschte Form. Dies bringt mit sich, dass beim Ausfahren (AF) der Endanschlag (das Reispaket) sich stets bewegt und der Druck somit nicht final aufgebaut wird. Dadurch reduziert sich der minimale Volumenstrom beim Ausfahrzyklus auf nicht tiefer als ca. 0.3 Liter pro Sekunde. Beim Einfahren ist ersichtlich, dass ein fester Anschlag vorhanden ist, womit sich der Volumenstrom weiter reduziert wird, jedoch ist die Zeit nicht ausreichend, um den vollen Druck aufzubauen, ehe der nächste Zyklus startet (Siehe Abbildung 29 und Abbildung 31). In Abbildung 30 ist die integrierte Fläche des Volumenstroms ersichtlich, was das Luftvolumen ergibt.

$$\text{Luftvolumen pro Hub} = \frac{\Delta \text{Luftvolumen}(\text{Abbildung 30})}{\text{Anzahl Hübe}} = \frac{17.4l - 11l}{10} = 6.4l = 0.0064m^3$$

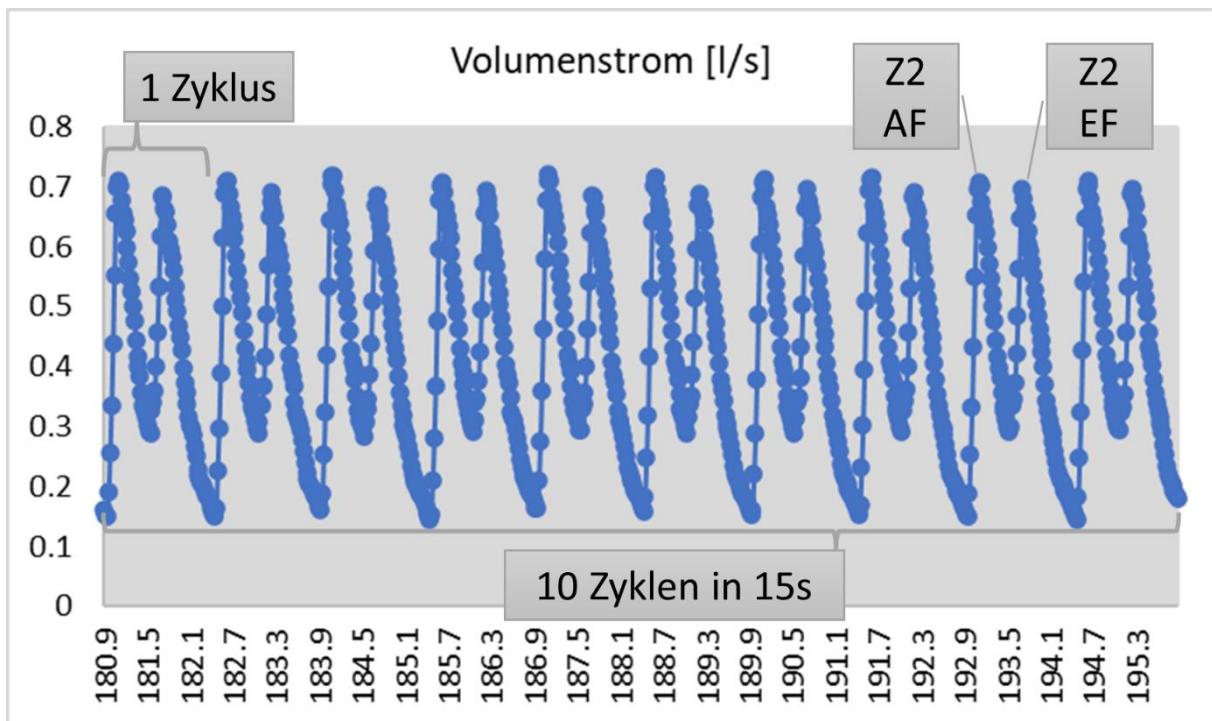


Abbildung 29: Volumenstrom der Firma Reismühle Nutrex an 10 Zyklen abgebildet

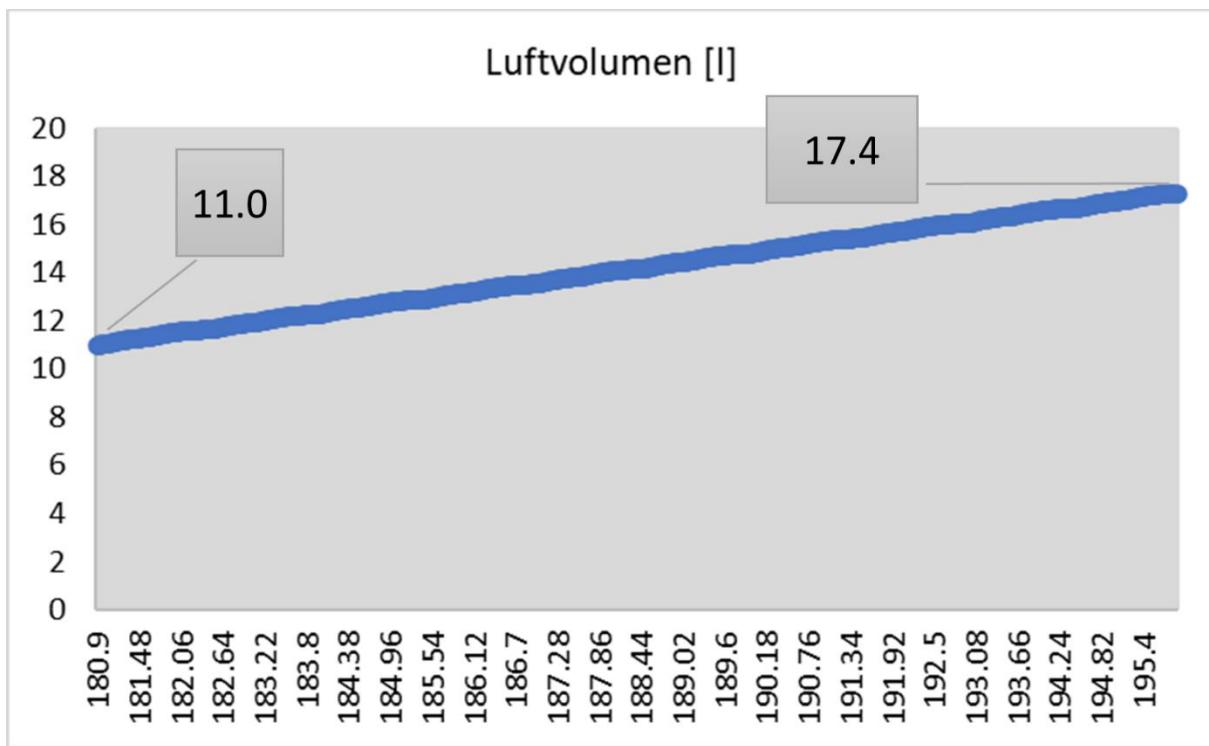


Abbildung 30: Luftvolumen der Firma Reismühle Nutrex integriert über die 10 Zyklen

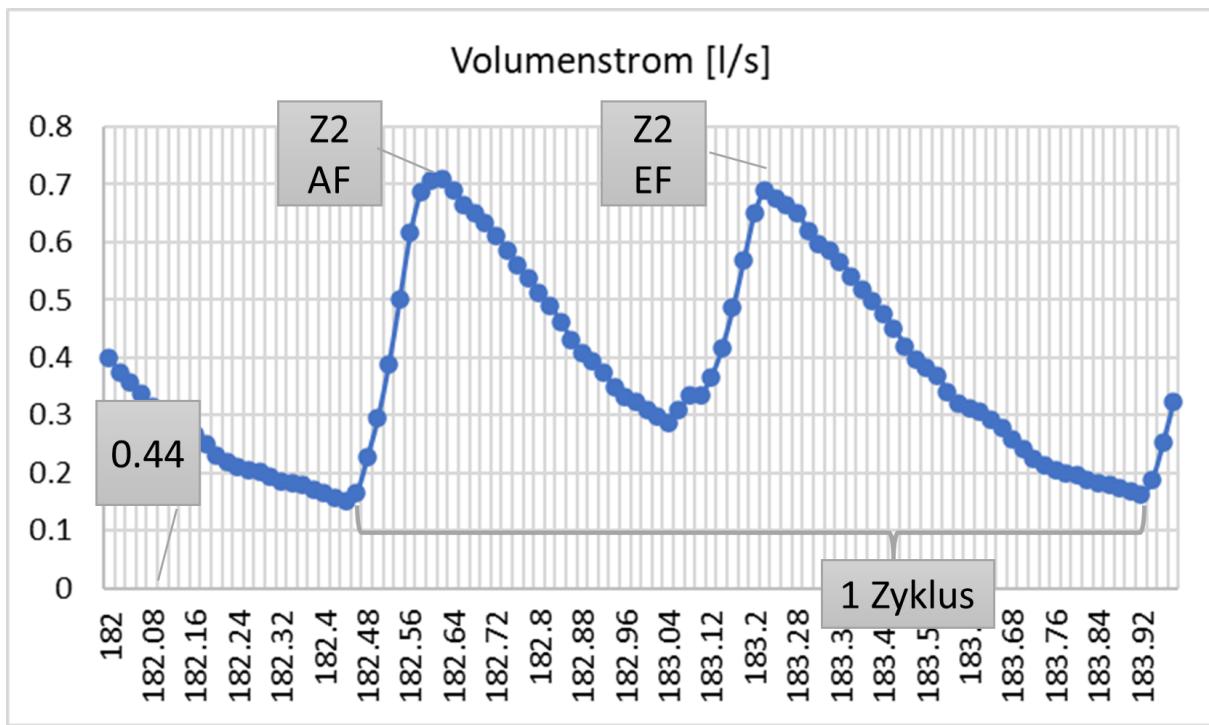


Abbildung 31: Volumenstrom des Zylinders Z2 eingebaut bei der Firma Reismühle Nutrex angezeigt an einem Zyklus



#### 4.1.3 Weitere Projekte

Folgend werden die Ergebnisse weiterer Projekte aufgezeigt und ein Fazit gezogen. Aufgrund des umfangreichen Berichts werden jedoch die Berechnungen sowie die detaillierte Messung aussenvor gelassen.

##### 4.1.3.1. Mibelle Group

Das Projekt bei der Firma Mibelle Group ist noch nicht umgesetzt. Dieses sollte bis Mitte Juli realisiert werden. Nadelöhr ist Mibelle selbst, da die Zylinder direkt in der Produktionslinie eingebaut werden. Damit die Zylinder ersetzt werden können, muss ein Produktionsstopp vorgenommen werden, was mit grösserem Aufwand verbunden ist und daher nur selten der Fall ist.

##### 4.1.3.2. Micarna SA

Bei der Firma Micarna SA konnten sieben Zylinder ersetzt werden. In diesem Beispiel wurde zum einen der Energieverbrauch über eine gewisse Zeitspanne der Zylinder sowie der Logik gemessen und auf das gesamte Jahr hochgerechnet. Ein Pneumatikzylinder braucht im Gegensatz zum Elektrozylinder keine «Halteenergie». Konkret bedeutet dies, dass wenn ein Pneumatikzylinder ein Gewicht anhebt und keine Leckage besteht, kann der Druck einmalig aufgebaut werden. Der Elektrozylinder hingegen muss das Gewicht in der entsprechenden Position regeln, womit ein «Haltestrom» vom Zylinder benötigt wird. Je höher das Gewicht, welches zu heben ist, desto höher der entsprechende Energieverbrauch. Um diesem Szenario gerecht zu werden, wurde daher nicht nur der Energieverbrauch vom Takt verglichen, sondern wie oben erwähnt, wurde der Vergleich des Energieverbrauchs auch über eine Zeit gezogen. Somit haben wir den vollumfänglichen Energieverbrauch des Elektrozylinders berücksichtigt, wobei auf der Gegenseite der Energieaufwand für die Luftaufbereitung nicht miteinbezogen wird. In der Tabelle 30 ist ersichtlich, wie hoch die Energieeinsparung pro Takt im Vergleich zwischen den Zylindern ist und in Tabelle 31 (ganz unten) wird der durchschnittliche Wert inklusive der Halteenergie aufgezeigt. Ersichtlich ist da, dass der durchschnittliche Wert pro Takt von 96% auf 84% abnimmt.

#### Fazit

Beim Pilotprojekt der Firma Micarna SA fällt auf, dass trotz hoher Taktzahl und sehr hoher Einsparung pro Takt die wirtschaftlichen Kosten moderat bleiben (siehe Tabelle 31). Zum einen ist zusätzlich davon auszugehen, dass der Firma ein tieferer Energiepreis als 0.21 CHF/kWh zur Verfügung steht, zum anderen ist der Energieverbrauch der Total Cost of Ownership (TCO) zu wenig abgebildet. Die gesamte Aufbereitung und Zuführung der Druckluft zum Pneumatikzylinder werden nicht berücksichtigt.



## Schlussbericht P+D Projekt «Elektrozylinder als Pneumatikersatz»

Zylinder 1	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Stopper 1.1 Gebindelager Weiss	Parker d40 H25	0.744	321		0.00009
Leckage		-	4		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	VUVB-S-M42-AZD-QX-1T1L	-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	14.96	96%	0.000004
Elektrozylinder Logik					
		48.2112			
Zylinder 2	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Stopper 1.2 Gebindelager Weiss	Parker d40 H25	0.744	321		0.00009
Leckage		-	4		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	VUVB-S-M42-AZD-QX-1T1L	-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	14.96	96%	0.000004
Elektrozylinder Logik					
		48.2112			
Zylinder 3	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Stopper 2 Gebindelager Weiss	Parker d40 H25	0.744	321		0.00009
Leckage		-	4		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	VUVB-S-M42-AZD-QX-1T1L	-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	6.55	98%	0.000002
Elektrozylinder Logik					
		48.2112			
Zylinder 4	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Stopper 3 Gebindelager Weiss	Parker d40 H25	0.744	321		0.00009
Leckage		-	4		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	VUVB-S-M42-AZD-QX-1T1L	-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	8.63	97%	0.000002
Elektrozylinder Logik					
		48.2112			
Zylinder 5	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Wippe vorne Gebindelager grau	Festo DNC 40-25	0.998	431		0.00012
Leckage		-	8		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil		-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	14.00	97%	0.000004
Elektrozylinder Logik					
		64.69619982			
Zylinder 6	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Wippe hinten Gebindelager grau	Festo DSW 32-30	0.929	401		0.00011
Leckage		-	5		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil		-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	12.36	97%	0.000003
Elektrozylinder Logik					
		60.181704			
Zylinder 7	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh]
Klemmer seitlich Gebindelager grau	Festo ADVU 40-40	1.24118	536		0.00016
Leckage		-	23		
Stromverbrauch Magnetspule Ventil		-			
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0100-A	-	34.84	94%	0.000010
Elektrozylinder Logik					

Tabelle 30: 1/2 Berechnung, Messung und Auswertung der sieben Zylinder bei Micarna SA



## Schlussbericht P+D Projekt «Elektrozylinder als Pneumatikersatz»

Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		195.18	40.99	158.69	33.32	2.90
	22.74					
	4.78	36.50	7.66			
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		195.18	40.99	158.69	33.32	2.90
	22.74					
	4.78	36.50	7.66			
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		195.18	40.99	104.38	21.92	1.91
	428.3136					
	82.125	90.81	19.07			
	4.75					
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		195.18	40.99	143.52	30.14	2.63
	41.72					
	4.77	51.67	10.85			
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		263.28	55.29	235.86	49.53	4.32
	14.22					
	4.8	27.42	5.76			
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		243.97	51.23	211.29	44.37	3.87
	20.47					
	4.79	32.68	6.86			
Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsparung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
2'160'000		335.21	70.39	298.15	62.61	5.46
	11.35					
	4.81	37.06	7.78			
Einsparung:		84%		1'310.58	275.22	23.98

Tabelle 31: 2/2 Berechnung, Messung und Auswertung der sieben Zylinder bei Micarna SA



#### 4.1.3.3. Kubrix AG

Bei der Firma Kubrix AG wurden zwei Zylinder ersetzt. Die Messung (siehe Tabelle 32) zeigt die Einsparung eines der zwei Zylinder. Die Herausforderung bei diesem Pilotprojekt lag in der rustikalen Art und Weise des Produktes. Der Palettenstapler muss die Paletten in die gewünschte Position drücken, um sie anschliessend heben zu können. In diesem Projekt wurden vorerst Zylinder mit der Spindelsteigung K10 verwendet. Aufgrund der notwendigen Kraft, welche für das Positionieren der Paletten benötigt wird, überhitzte der Elektrozylinder. Somit ist der Austausch des Zylinders auf eine Spindel K05 angedacht. Aus diesem Grund ist dieses Projekt noch nicht abgeschlossen. Die Messung des Zylinders mit K10 hat dennoch bereits gezeigt, dass mit dem Elektrozylinder 94% der Energie eingespart werden kann (siehe Tabelle 32)

#### Fazit

Die Energieeinsparung bei der Kubrix AG beläuft sich auf 94% im Vergleich zu den Pneumatikzylindern.

Zylinder	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch [J]	Einsparung
Pneumatik Masek Andrücker	d25 H100	8.2	3'247	
Elektro Masek Andrücker	CTC-060-K10-0100-A	-	183	94%

Tabelle 32: Messung, Berechnung und Auswertung eines von zweien Zylindern bei der Kubrix AG

#### 4.1.3.4. Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG

Bei der Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG konnten für das Pilotprojekt zwei Zylinder ersetzt werden. In der Messung der Tabelle 33 und Tabelle 34 ist der erste Zylinder aufgeführt. Das Projekt ist noch im Gange, wobei die Analyse des zweiten Zylinders noch bevorsteht. Analog zur Messung bei der Firma Micarna SA, wurde zum einen der Energieverbrauch pro Takt und zum anderen der Verbrauch während einer Zeiteinheit gemessen, um die Halteenergie miteinzuberechnen. Genaueres zum Ablauf ist in Kapitel 4.1.3.2 zu finden.

#### Fazit

Die Messung ergibt, dass der Elektrozylinder 92% effizienter ist als der Pneumatikzylinder. Wird die Halteenergie miteinbezogen, schrumpft dieser Wert um wenige 3% auf 89%. Mit dieser Effizienzsteigerung können jährlich CHF 80.71 pro Zylinder an Energie eingespart werden.

Zylinder 1	Typ	Luftverbrauch pro Takt [l]	Verbrauch pro Takt [J]	Einsparung pro Takt	Verbrauch [kWh] pro Takt
Abschieber	Festo ADVUL-32-140	0.96	414		0.00012
Stromverbrauch Magnetspule Ventil	MSZE-3-24 DC	-	1		
Elektrozylinder Leistung	CTC-060-K10-0150-V	-	34.80	92%	0.000010
Elektrozylinder Logik		-			

Tabelle 33: 1/2 Messung, Berechnung und Auswertung eines von zwei Zylindern bei der Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG

Taktanzahl pro Jahr	Dauerverluste (Leckage / Grundversorgung) [kWh]	Jahresverbrauch [kWh]	Jahresverbrauch Strom [Fr.]	Einsprung pro Jahr [kWh]	Einsprung pro Jahr [Fr.]	CO2-Ersparnis [kg CO2]
3'750'000	-	432.38	90.80	384.31	80.71	7.03
	8.094	48.07	10.09			
	3.723					
	Gesamt-Einsparung:	89%				

Tabelle 34: 2/2 Messung, Berechnung und Auswertung eines von zwei Zylindern bei der Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG



#### 4.1.3.5. JOWA AG – Mühle Wildegg

Bei der Firma JOWA AG wurden sieben Elektrozylinder als Ersatz für Pneumatikzylinder vorgesehen. Dabei handelt es sich um drei Waagen von Bühler. Pro Waage fungiert jeweils einer der Zylinder, als Sicherheitszylinder. Dieser sorgt dafür, dass im Falle eines Stromausfalls die Schliessung der Klappe gewährleistet ist, damit das Silo nicht ausläuft. Dies wurde umgesetzt mithilfe eines Federmechanismus. Tritt also ein Stromausfall ein, drückt die Feder auf die zu schliessende Klappe und stellt sicher, dass das Silo nicht weiter ausläuft.

Die Mühle in Wildegg hat ein Potential von mehr als hundert Pneumatikzylindern, welche nachgerüstet werden könnten.

Das Projekt war bereits sehr weit fortgeschritten, als der Firma Cyltronic AG die Schliessung des Standorts mitgeteilt wurde und somit das Projekt nicht abgeschlossen werden konnte.

#### 4.1.3.6. Delica AG (Riseria)

Das Projekt ist zu wenig fortgeschritten, um bereits Resultate vorzuweisen.

#### 4.1.3.7. Weitere kleine Projekte

Aufgrund von Anfragen für Pilotprojekte sind weitere Bestellungen eingegangen, welche bei den Kunden gerne begleitet wurden, in diesem Bericht jedoch keine Relevanz für eine genauere Beschreibung geniessen. So haben folgende Firmen einen Zylinder aufgrund unserer Anfrage für ein Pilotprojekt bestellt:

- OSK-Kiefer GmbH
- Swissmill, eine Division der COOP-Genossenschaft
- Barry Callebaut AG

#### 4.1.4 Fazit der Pilotprojekte

Über alle Pilotprojekte hinweg zeigt sich eine Energieeinsparung von durchschnittlich 93% sowie eine durchschnittliche Kosteneinsparung von einem Elektrozylinder gegenüber einem Pneumatikzylinder pro Jahr von CHF 51.61 (siehe Tabelle 35). Zu beachten ist, dass der durchschnittliche Wert in Schweizer Franken nicht als repräsentativ behandelt werden kann, da das Einsparpotential stark von den Anzahl Hüben der Zylinder abhängig ist. Spannend in Tabelle 35 ist zudem die Auswirkung von Leckagen. Im Verhältnis bewegen sich die Zylinder der Firma Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG und der Reismühle Nutrex etwa 1 zu 6.8 (bei den Zylindern Z3). Trotz dieser starken Mehrbewegung des Zylinders bei der Firma Reismühle Nutrex ist die Kosteneinsparung höher und womit die Kosten rund vier Mal tiefer sind. Des Weiteren gilt zu beachten, dass solche Leckagen oft zwischen den Kompressoren und den Zylindern liegen, welche hier nicht aufgeführt werden.



## Zusammenfassung

Projekt	Zylinder	Ein-sparung [%J]	Einsparung pro Jahr [0.21 CHF/ Jahr]	Einsparung Total pro Jahr [0.21 CHF/kWh]	Zylinder Total im Projekt	Kommentar
Stihl	φ	90%	CHF 77.97	CHF 233.92	3	
	Z1	82%	CHF 6.60			
	Z2	89%	CHF 8.61			
	Z3	98%	CHF 218.71			Leckage 0.5l/s
Reismühle	φ	87%	CHF 35.28	CHF 105.85	3	
	Z1	92%	CHF 32.12			
	Z2	91%	CHF 16.29			
	Z3	77%	CHF 57.44			
Mibelle	φ			CHF 0.00	5	
	Z1					
	Z2					
	Z3					
	Z4					
	Z5					
Micarna	φ	96%	CHF 39.32	CHF 275.22	8	
	Z1	96%	CHF 33.32			
	Z2	96%	CHF 33.32			
	Z3	98%	CHF 21.92			
	Z4	97%	CHF 30.14			
	Z5	97%	CHF 49.53			
	Z6	97%	CHF 44.37			
	Z7	94%	CHF 62.61			
Kubrix	φ	94%		CHF 0.00	2	
	Z1	94%				Unklare Hubanzahl
Ricola	φ	92%	CHF 80.71	CHF 80.71	2	
	Z1	92%	80.71			
JOWA					7	eingestellt
Delica AG (Riseria)				(10)		Anfrage Laufend
OSK-Kiefer GmbH					1	
Swissmill					1	
Barry Callebaut AG					1	
Telsonic					1	Anderweitige Messungen
<b>Durchschnitt Total</b>		<b>93%</b>	<b>CHF 51.61</b>	Summe	<b>34</b>	

Tabelle 35: Zusammenfassung Pilotprojekte



## 4.2 Ergebnisse der Interviews

Wie in Kapitel 3.4 erwähnt, werden hier die wichtigsten Ergebnisse aus den Interviews mit den drei Zielgruppen, Distributoren, Maschinenbauer und Endanwender aufgezeigt. Die Mehrheit der Interviewpartner möchte, dass die Informationen vertraulich behandelt werden, weshalb von allen die Namen entfernt und die Position in der Unternehmung vereinfacht dargestellt werden.

### 4.2.1 Distributoren

Total wurden vier Interviews mit folgenden Distributoren geführt.

- Oxni GmbH
- Girmatic AG
- Parkem AG
- HIWIN Schweiz GmbH

*Welche Faktoren müssen Elektrozylinder erfüllen, damit Firmen Ihre Anlagen von Pneumatik auf Elektrozylinder retrofitten:*

- Einfach adaptierbar / austauschbar
- Kosten/Nutzen
- Umweltbedingungen (weniger Energieverbrauch)
- Erhöhte Energiepreise

*Welche Kunden/Branchen interessieren sich vorwiegen für Elektrozylinder?*

- Maschinenbauer mit hohen Zyklen
- Automobil- und Uhrenindustrie
- Verpackungs- und Lebensmittelindustrie
- Schweißen
- Spritzguss
- Automatisierungen

*Wie wichtig die Energieeinsparung Ihrer Kunden in Punkt Pneumatik Ersatz*

- Zunehmend
- Klein bis gross
- Schwierig bei Maschinenbauer, da der Nutzen klein ist
- Steigend bei Endanwendern, da Energieeinsparung ein steigendes Argument ist.

*Warum ausser Energieeinsparung kaufen Kunden Elektrozylinder*

- Kein Öl
- Keine Wartung
- Erhöhte Sicherheit (kein Bersten der Schläuche)
- Flexibilität → Das Anfahren von mehreren Positionen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Kräften



*Wo liegen Ihrer Erfahrung nach die höheren TCO (Total cost of Ownership)*

- Für den Maschinenbauer ist es der Elektrozylinder, für den Anwender der Pneumatikzylinder

*Wie lange darf die Dauer bis zu einem positiven ROI sein für den Ersatz eines Pneumatikzylinders durch einen Elektrozylinder*

- 1-5 bis max. 4-5 Jahre

#### Fazit

Bei den Distributoren ist man sich einig, dass der Cyltronic Elektrozylinder zukunftsorientiert ist und grosse Chancen auf dem Markt hat. So liegen besonders die Vorteile im Betrieb und nicht zwingend in der Entwicklung von Anlagen. Gleichzeitig bringt der Zylinder eine höhere Flexibilität, weniger Wartung und eine höhere Sicherheit mit sich. Gleichzeitig bringt der Zylinder höhere Investitionskosten mit sich. Somit muss stets das Kosten/Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die Investitions- und Betriebskosten betrachtet werden.

#### 4.2.2 Maschinenbauer

Es wurden insgesamt zwölf Interviews mit Maschinenbauern geführt.

- Telsonic AG
- Städler Automation AG
- Mettler Toledo Schweiz GmbH
- Brinox d. o. o.
- Bühler Group
- ESP-Engineering GmbH
- Kalt Maschinenbau AG
- FlexLink Switzerland GmbH
- Robatech AG
- Pamatech System AG
- Zaugg Maschinenbau AG
- Walair AG

*Wie viele Pneumatikzylinder sind heute bei Ihnen in Betrieb pro Jahr?*

- Die Varianz zwischen den Maschinenbauern ist sehr hoch. So spricht beispielsweise die Telsonic AG von sechshundert bis siebenhundert Zylindern pro Jahr.
- Im Gegenzug spricht die Städler Automation sowie die ESP-Engineering von nur fünf bis zehn Stück pro Jahr.

*Wieviel Elektrozylinder setzen Sie pro Jahr ein?*

- Spannend zu sehen ist, dass der mehrheitliche Einsatz von Elektrozylindern bei Schweizer Maschinenbauern noch sehr spärlich vertreten ist. So gibt die befragte Abteilung der Bühler Group als einzige an, zirka hundert Stück pro Jahr zu verwenden.
- Die Mettler Toledo Schweiz AG nutzt «erst» fünf bis zehn Stück.
- Die restlichen Firmen nutzen gemäss Befragung keine Elektrozylinder

*Welchen Stellenwert nehmen Elektrozylinder bei Ihnen heute ein in Ihren Maschinen?*

- Aus der obigen Frage lässt sich dadurch auch diese ableiten. So gibt die Bühler Group trotz der genannten hundert Zylinder an, dass der Elektrozylinder bei Ihnen einen kleinen Stellenwert habe.



- Nur die Mettler Toledo Schweiz GmbH gibt an, dass die elektrischen Antriebe im Unternehmen dominierend seien.
- Bei den anderen Firmen haben elektrische Antriebe keinen Stellenwert.

*Was sind Ihrer Meinung nach die Kaufargumente für einen Elektrozylinder?*

Bei dieser Frage werden sehr viele unterschiedliche Vorteile genannt

- «Safety Themen» können leichter abgefangen werden
- Die Dynamik ist höher
- Prozesskontrolle ist höher
- Präzision bei der Bewegung ist höher
- Flexibilität ist höher → Das Anfahren von mehreren Positionen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Kräften
- Rohrverlegung der Pneumatik fällt weg
- Energieeinsparung
- Tiefere Wartungskosten
- Geringerer Installationsaufwand

*Finden Sie, dass Elektrozylinder zu kompliziert sind?*

*Wenn ja, warum?*

*Wenn nein, wie ist das Knowhow in ihre Firma verteilt?*

- Die Mehrheit beantwortet diese Frage klar mit Nein. Elektrozylinder sind nicht kompliziert. Folgend sind die meistgenannten Antworten, wo allfällige Schwierigkeiten liegen
  - Das Knowhow fehlt in der Firma
  - Normalerweise kann der Mechaniker einen Elektrozylinder nicht mehr in Betrieb nehmen
  - Mechanik ist einfach, Programmierung ist anspruchsvoll
  - Zu wenig Elektrozylinder am Markt

*Welche Faktoren müsste ein Elektrozylinder erfüllen, damit Sie bereit wären, Ihre Maschinen nur noch mit Elektrozylindern auszustatten und auf Pneumatik komplett zu verzichten?*

Die Bedürfnisse der Maschinenbauer gehen in dieser Frage stark auseinander

- Unterschiedliche Kraftstufen der Zylinder (100N – 10kN)
- Gleichbleibende Kosten
- Breitere Palette an Lösungen (Varianz der Zylinder)
- ROI muss gegeben sein
- Qualität und Langlebigkeit ist zentral
- Das Anfahren von mehreren Positionen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Kräften muss möglich sein

*Ist Energieeinsparung in Ihren Maschinen ein Thema für Sie?*

*Wenn ja, was machen Sie heute, um Energie einzusparen?*

- Energieeinsparung wäre ein guter Seiteneffekt
- Teilweise wird von Kunden danach gefragt
- Ziel ist es, CO<sub>2</sub> Neutral zu sein
- Kein oder nur ein kleines Thema



*Wurde in Ihrem Unternehmen festgestellt, dass Pneumatik energietechnisch sehr negativ eingestuft wird?*

Die Aussagen bei dieser Frage sind, auch innerhalb der Firmen, sehr stark streuend.

- Kein Thema
- Kleines Thema
- Ja ist der Firma bewusst
- Ist allgemein bekannt

*Welchen Preis würden sie für einen Zylinder bezahlen, der positionieren kann.*

- Der Mehrheit der Interviewpartner ist bewusst, dass ein Elektrozylinder mehr kostet. So wird CHF 1500.- bis CHF 3000.- genannt. Gleichzeitig wird bemerkt, dass dieser Aufpreis auch weitere Nutzen mit sich ziehen müssen, damit ihr Kunde bereit ist, diesen Aufpreis zu bezahlen.

## Fazit

Bei der Analyse fällt auf, dass sich die Maschinenbauer durchaus vieler Vorteile von Elektrozylindern bewusst sind. So bringt der Ersatz von Pneumatikzylindern durch Elektrozylinder eine höhere Sicherheit, tiefere Wartungs- und Installationskosten, mehr Flexibilität und Präzision sowie eine höhere Prozesskontrolle mit sich. Trotzdem werden diese Zylinder zurzeit noch wenig genutzt. Es scheint, als ob die Umstellung von Pneumatik auf Elektrozylinder eine allgemeine Hürde darstelle, welche mit den höheren Investitionskosten argumentiert wird. Gleichzeitig wird zwischen den Zeilen deutlich, dass ein reiner eins-zu-eins-Ersatz der Pneumatikzylinder durch herkömmliche Elektrozylinder einen zu tiefen Mehrwert bietet, weshalb zukünftig der Vorteil der Positionierfähigkeit mit dem Elektrozylinder gegeben sein muss.

Ebenfalls spannend ist ein Blick auf das Thema der Energiekosten respektive der Energieeinsparung unter Verwendung von Elektrozylindern. Es scheint, als ob die Befragten sich auf unterschiedlichem Informationsstand befinden: Teilweise wird die Tatsache bereits als Allgemeinwissen eingestuft, wobei bei anderen keine Kenntnisse vorherrschen. Hier wäre daher mehr Aufklärung notwendig.

### 4.2.3 Endanwender

Bei den Endanwendern wurden insgesamt 16 Interviews durchgeführt

- Micarna SA (2x)
- Reismühle Nutrex (2x)
- Mibelle AG
- HUBER+SUHNER AG
- Model AG
- W. Schneider & Co AG
- VICTORINOX AG
- Nyco Flexible Packaging GmbH
- Sia Abrasives Industries AG
- Stihl Kettenwerk GmbH Will
- Sersa Group AG
- Oxiphen AG
- Fresh Drink AG
- ÖBB-Holding AG

*Wie viele Elektrozylinder setzen Sie pro Jahr neu ein?*



- Die einzige Firma, welche ca. 10 Stück angibt, ist die Firma Sersa Group AG
- Den anderen Unternehmen wurde die Frage nicht gestellt oder sie haben diese mit «keine» beantwortet.

*Wie viele Pneumatikzylinder ersetzen Sie jährlich durch neue?*

- Die Antworten streuen stark:
  - So gibt Micarna SA an, dass ca. hundert Zylinder pro Jahr ersetzt werden.
  - Die Reismühle Nutrex gibt zehn bis 15 Stück an.
  - VICTORINOX bereits 150 Stück,
  - Und die Nyco Flexible Packaging GmbH sogar 200 – 300 Stück.
  - Viele andere Endanwender haben keine zu ersetzen

*Was sind Ihrer Meinung nach die Kaufargumente für einen Elektrozylinder?*

- Die Reduzierung der Energiekosten wird am häufigsten genannt.
- Des Weiteren werden andere Vorteile genannt:
  - Niedrige Wartungsarbeiten
  - Einfacher Austausch bei defekt
  - Geringere Geräuschemissionen
  - Keine Leckagen
  - Höhere Flexibilität (Hub, Kraft, etc.)

*Finden Sie, dass Elektrozylinder zu kompliziert sind?*

*Wenn ja, warum?*

*Wenn nein, wie ist das Knowhow in ihrer Firma verteilt?*

- Kompliziert sei die Programmierung
- Ansonsten wird häufig fehlendes Knowhow genannt, oder dass Elektrozylinder nur für einfache Anwendungen eingesetzt würden.
- Besonders die Inbetriebnahme sei kompliziert
- Dies sei sicherlich eine Gewohnheitssache, wobei der Maschinenbauer noch nicht die Sicht der Endanwender teile

*Haben Sie schon pneumatische Zylinder mit elektrischen Zylindern ersetzt in Ihrem Betrieb? Wenn nicht wieso nicht?*

- Keine der befragten Firmen hat bis anhin einen pneumatischen Zylinder mit einem elektrischen ersetzt. Die Argumente hierfür sind
  - Mangelnde Ressourcen
  - Keine Anwendung
  - Bestehendes, Funktionierendes sollte nicht geändert werden

*Wie schätzen Sie den zukünftigen Stellenwert von Elektrozylindern in Ihrer Firma ein?*

- Keine der Befragten gab zur Antwort, dass der Stellenwert abnimmt oder gleich bleibt. Jegliche Antworten sind von «hat Potential» bis zu «hohem Stellenwert».
- Ebenfalls häufig genannt wird, dass für die Geschwindigkeit der Zunahme des Stellenwerts wohl die Trägheit der Maschinenlieferanten entscheidend sei.

*Ist Energieeinsparung in Ihren Maschinen ein Thema für Sie?*

*Wenn ja, was machen Sie heute, um Energie einzusparen?*



- Eine Firma nennt hier, dass die Energieeinsparung für die Unternehmung keine grosse Rolle spielt.
- Bei allen anderen Unternehmen scheint dies ein grosses Thema zu sein. Folgendes sind Beispiele
  - Die Stihl Kettenwerk GmbH Wil hat ein Unternehmensziel formuliert, um Energie zu reduzieren
  - Die Model AG hat ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 eingeführt
  - Die Micarna SA hat ein gesamtheitliches Monitoring aufgebaut
  - Die Firma W. Schneider & Co AG führt externe Audits durch, um potenzielle Einsparungen zu finden.

*Würden Sie ihren Maschinen-/Sondermaschinenbauer dazu anhalten, Elektrozylinder zu verbauen? Wenn ja; Dürfte die Maschine mehr kosten, da Sie im Unterhalt günstiger wäre? Haben Sie das in der Vergangenheit schon gemacht?*

- Mehrheitlich würde für die Maschine mehr bezahlt werden. Gleichzeitig muss sich die Investition über die Zeit lohnen.
- Gemäss Offerten der Maschinenbauer rechnen sich Elektrozylinder aus finanzieller Perspektive nicht.

*Wurde in Ihrem Unternehmen festgestellt, dass Pneumatik energietechnisch sehr negativ eingestuft wird?*

- Hier gehen die Antworten der Firmen stark auseinander.
  - Nein, nicht bekannt
  - Luftdruck ist bekanntlich ein aufwändiges, aber nicht teures Medium
  - Luftdruck ist allgemein bekannt als aufwändig

*Welchen Preis würden sie für einen Zylinder bezahlen, der positionieren kann.*

- Der Preis darf höher sein. Dieser muss sich anderweitig jedoch kompensieren. Wenn der Mechaniker während der Inbetriebnahme dadurch vier bis sechs Stunden einspart, ist es dies Wert.
- Unter CHF 500.-
- Zwischen CHF 1000.- und CHF 2000.-

## Fazit

Besonders auffallend bei der Analyse ist, dass die Energieeinsparung bei den Produktionsfirmen einen sehr hohen Stellenwert geniesst. Gleichzeitig ist das Knowhow bezüglich der aufwändigen Druckluftproduktion sehr durchzogen und die Verwendung von Elektronikzylindern damit rar vertreten. Zusätzlich ist den Befragten bewusst, dass ein Elektrozylinder weitere Vorteile wie beispielsweise eine geringere Geräuschemission mit sich bringt. Obwohl die Produktionsanlage viele unterschiedliche Kriterien zu erfüllen hat, ist zwischen den Zeilen zu lesen, dass die Betriebs- und Inbetriebnahme Kosten einen hohen Stellenwert geniessen, weshalb sich die Umstellung auf Elektrozylinder auch in finanzieller Hinsicht lohnen müsste. Es wurde auch aufgezeigt, dass die Angebote der Maschinenbauer für vollelektrischen Maschinen zu hoch sind und so kaum solche bestellt werden von den Endanwendern.

### 4.2.4 Fazit zu den Interviews

In diesem Kapitel wird das Fazit über alle Interviews und Zielgruppen geführt. So lassen sich aus diesen Interviews folgende Punkte herauskristallisieren:

1. Vorteile des Elektrozylinders gegenüber des Pneumatikzylinders.



2. Unterschiedliches Verständnis für die Wichtigkeit der Energieeinsparung zwischen Endanwendern und Maschinenbauern.
3. Aufpreis, welcher ein Elektrozylinder gegenüber einem Pneumatikzylinder haben darf.
1. Vorteile des Elektrozylinders gegenüber des Pneumatikzylinders

Die Vorteile des Elektrozylinders gehen weit über Energieeinsparung hinaus. So nehmen Inbetriebnahme- wie auch Unterhaltskosten ab. Der Elektrozylinder bringt durch die Positionierfähigkeit (wenn vorhanden) eine höhere Flexibilität in die Anlagen

Tiefere Geräuschemissionen sind ebenfalls ein Vorteil und röhren daher, dass beim Elektrozylinder keine Luft durch Schalldämpfer entweicht und die Bewegungen auf die Endlagen hin verzögert wird. Ein weiterer Vorteil durch die Verzögerung ist, dass keine Endlagendämpfer mehr verwendet werden müssen.

## 2. Unterschiedliches Verständnis

Spannend ist die Erkenntnis, dass die Distributoren bezüglich der Wichtigkeit der Energieeinsparung zwischen Endanwendern und Maschinenbauern stark unterscheiden. So sind sie der Meinung, dass die Energieeinsparung für den Endanwender viel zentraler ist als für den Maschinenbauer. Die Endanwender und Maschinenbauer bestätigen mit Ihren Aussagen diese Beurteilung. Zusätzlich wird in den Interviews mit den Maschinenbauern und den Endanwendern das Ausmass dieser Diskrepanz intensiviert. Die Maschinenbauer schätzen den Mehrwert der Energieeinsparung als eher gering ein, wobei dieser Aspekt für die Endanwender immer zentraler wird.

## 3. Aufpreis

Die Interviewpartner aller Zielgruppen sind sich mehrheitlich einig, dass ein Pneumatikzylinder Ersatz teurer sein darf, dieser jedoch in einem Bereich von CHF 500.- bis CHF 1500.- zu liegen kommen muss, damit sich die Mehrkosten in einem Return on Investment (ROI) bezahlt machen.



## 5 Diskussion

### Energieeinsparung

Die Untersuchungen in Rahmen dieses Projekts haben gezeigt, dass mit dem Ersatz von Pneumatikzylinder durch Elektrozylinder viel Strom eingespart werden kann. Im Schnitt lag die Energieeinsparung bei 93%. Diese fast schon unwirklich hohe Einsparung kann damit begründet werden, dass die Produktion der Druckluft sehr ineffizient ist und somit schon im Kompressor ein Grossteil der aufgewendeten elektrischen Energie als Wärme verloren geht. Ausserdem haben gewisse Zylinder oder die Leitungen von den Ventilen zum Pneumatikzylinder Leckagen aufgewiesen, welche das Einsparpotential beim Austausch zum Elektrozylinder deutlich erhöhen.

### Return on Investment

Die Berechnungen zum Return on Investment auf Grund der Messungen vielen auf den ersten Blick ernüchternd aus. So dauert es bei den ersetzen Zylindern zwischen sechs bis neun Jahren, bis die Kosten des Umbaus durch die eingesparten Energiekosten gedeckt werden können. Die Berechnung umfasst aber nur die von den Pneumatikzylindern unmittelbar verbrauchte Druckluft. Druckluft, die über Leckagen auf dem Weg vom Kompressor durch das Druckluftsystem bis hin zum Zylinder verloren ging, wurde in den Messungen nicht berücksichtigt. In den Kalkulationen, die vor den Messungen gemacht wurden, wurde die Leckage sowie Verluste durch Druckreduzierventile miteinbezogen. Dies führte zu einem deutlich höheren ROI als dies aus den Messungen hervor ging. Die Berechnungen zeigen, wenn diese Kosten miteinbezogen werden, kann die Zeit zu einem positiven ROI oft halbiert werden.

Neben den Leckagen müssten in eine Vollkostenrechnung (TCO Total Cost of Ownership) weitere Kosten des Druckluftsystem miteinfließen. So verursachen die Amortisation der Kompressoren, der Druckluftaufbereitungsanlagen und deren Wartung ebenfalls enorme personelle und materielle Kosten, die in so eine Berechnung miteinfließen sollten. Diese Kosten konnten aufgrund der hohen Komplexität in diesem Projekt nicht ermittelt werden. Ausserdem sind diese sehr stark abhängig vom jeweiligen Unternehmen und dessen System.

Ein wesentlicher Bestandteil der Dauer bis zu einem positiven ROI ist gegeben durch die Stromkosten und die Anzahl Zyklen, die die ausgetauschten Zylinder pro Zeit machen. Die Stromkosten wurden für die Betrachtung in diesem Bricht über alle Zylinder hin egalisiert auf 0.21 CHF/kWh. Gewisse Projektpartner hatten zum Messungszeitpunkt die Möglichkeit deutlich günstiger einzukaufen, andere bezahlten mehr. Es ist ausserdem anzumerken, dass die Erhebungen vor dem Ukraine Krieg gemacht wurden und die dadurch ausgelösten Strompreiserhöhungen hier somit nicht eingerechnet wurden. Die Betrachtung in der heutigen Situation würde also den Einsatz von Elektrozylindern noch deutlich befürworten. Zu den Anzahl Zyklen, welche die ersetzen Zylinder pro Jahr machen ist zu sagen, dass diese stark variiert haben zwischen 266'000 Zyklen bei STIHL und 3.7Mio. Zyklen bei Ricola. Verständlicherweise haben sich die Projektpartner Zylinder für dieses Projekt ausgewählt, die nicht in hoch kritischen Prozessen enthalten sind und daher verhältnismässig oft eher weniger Zyklen aufweisen. Schlussendlich gilt; Je mehr Zyklen ein Zylinder pro Zeit macht, desto mehr Energie verbraucht er und umso schneller wird ein positiver ROI erzielt beim Ersatz mit einem Elektrozylinder. So gibt es viele potentiell ersetzbare Pneumatikzylinder, bei denen die Umbaukosten schon nach ca. einem Jahr gedeckt würden.

### Austauschbarkeit

Ziel dieser Untersuchung war nicht nur, das Einsparpotential zu ermitteln, sondern auch herauszufinden, ob der von Cyltronic entwickelte CTC-Elektrozylinder als eins zu eins Ersatz für Druckluftzylinder eingesetzt werden kann und die bisherigen Lösungen am Markt dahingehend übertrifft. Die in diesem Projekt betrachteten Zylinder wurden alle durch die Cyltronic-Zylinder ersetzt ohne, dass eine Anpassung der Maschinensteuerung nötig gewesen ist. So wurden mit den elektrischen Signalen, mit welchen vorher die Pneumatikventile angesteuert wurden, jetzt einfach die Elektrozylinder angesteuert. In den Maschinen musste auf der elektrischen Seite lediglich eine zusätzliche Spannungsversorgung



mit 24 Volt oder 48 Volt für die Leistung der Zylinder eingebaut werden. Die Eins-zu-Eins-Ersetzbarkeit konnte vor allem in den Telsonic und Stihl Projekten aufgezeigt werden: Der Umbau wurde da vorgenommen bei Pneumatikzylindern nach ISO 15552 Norm, auf welche sich auch der Cyltronic Zylinder abstützt. Bei allen anderen Projekten wurden andere Arten und Grössen von Pneumatikzylindern verwendet. Trotzdem konnten die Pneumatikzylinder mit kleinen konstruktiven Massnahmen durch Cyltronic Elektrozylinder ersetzt werden. Es zeigt aber eindrücklich, dass künftig ein grösseres Produktpotential nötig sein wird, um die Druckluftzylinder in der Industrie grossflächig ablösen zu können. Ein grosser Vorteil der Cyltronic Zylinder ist die direkt am Zylinder einstellbare Kraft und Geschwindigkeit. So konnten die jeweiligen Parameter bequem über das Potentiometer am Zylinder auf die jeweilige Applikation angepasst werden.

Bei der Reismühle Brunnen zeigte sich ein unerwarteter Vorteil dadurch, dass mit dem Cyltronic-Zylinder sehr einfach eine neue Hublänge definiert werden kann. Wo ursprünglich der Pneumatikzylinder über mechanische Stellschrauben verstellt werden musste, kann nun das neue Format per Knopfdruck eingelernt werden. So konnte bei der Verpackungsmaschine die Formatwechselzeit (von 0.5kg Reispakungen zu 1kg Reispakungen) von 20 Minuten auf unter 5 Minuten reduziert werden.

#### Interviews

Ziel der Interviews war es herauszufinden, ob die drei aufgestellten Thesen stimmen und somit erstmals Elektrozylinder zu gross, zu kompliziert und zu teuer sind, zweitens die Endanwender ein grösseres Interesse haben, auf Elektrozylinder zu wechseln als Maschinenbauer und drittens ein Eins-zu-eins-Ersatz den entscheidenden Vorteil bietet für den Umstieg.

Zur ersten These ist zu sagen, dass diese teilweise bestätigt werden kann. Denn ein Grossteil der Befragten gab an, dass die Kosten für sie einer der entscheidensten Faktoren sind. Die Maschinenbauer achten hierbei weniger auf einen ROI, Denn der ROI wird erst beim Endanwender erzielt, welcher wiederum mehr darauf achtet. Für die Maschinenbauer sind vor allem die Investitionskosten, welche sie möglichst gering halten möchten, von Bedeutung. Die reduzierten Betriebskosten sind für sie oft eher irrelevant. Für Maschinenbauer wird es besonders interessant, wenn sie durch das Angebot an Elektrozylindern am Markt die Druckluft gänzlich von ihren Maschinen verbannen können. Denn hiermit fielen Aufwendungen, welche Druckluftsysteme mit sich bringen (Komponenten wie Wartungseinheit, Sicherheitsventile, Verschlauchung, Druckluftüberwachung, etc.) weg. Die Grösse der Elektrozylinder wird von mehreren Befragten als kritisch empfunden, aber nicht durchs Band. Das gleiche gilt für die Komplexität. Da kam zum Vorschein, dass die Maschinenbauer weniger ein Problem haben mit der höheren Komplexität der Elektrozylinder im Markt. Für die Endanwender hingegen wirkt die Komplexität eher abschreckend.

Die zweite These konnte anhand der Interviews deutlich bestätigt werden. Die Endanwender haben ein deutlich grösseres Interesse die Pneumatikzylinder loszuwerden als die Maschinenbauer. Dies wurde ebenfalls durch die Erfahrungen von Distributoren untermauert.

Die dritte These kann nicht vollständig bejaht werden, denn die Eins-zu-Eins-Ersetzbarkeit allein reicht weder den Maschinenbauern noch den Endanwendern als Argument für den Ersatz von Pneumatikzylindern. Die Endanwender wollen in möglichst kurzer Zeit einen positiven ROI erzielen, schauen also auf das Verhältnis der Betriebs- zu den Anschaffungskosten. Die Maschinenbauer hingegen können durch einen Eins-zu-Eins-Ersatz alleine kaum überzeugt werden, respektive nur dann, wenn auch die Kosten identisch wären. Für die Mehrkosten der Elektrozylinder fordern Maschinenbauer zwingend auch mehr technische Vorteile. Der grösste Vorteil wurde hier in der grösseren Flexibilität der Akteure durch Positionierbarkeit und der flexiblen Verstellung der Geschwindigkeit und der Kraft gesehen.



## 6 Schlussfolgerungen

Mit dem vorliegenden Pilot - und Demonstrations - Projekt «Elektrozylinder als Pneumatikersatz» sollten vorwiegend drei Aspekte untersucht werden. Erstens sollten mittels Pneumatikzylinder-Ersatzprojekten in der Praxis der Energie-Nutzen von Elektrozylinder gegenüber Pneumatikzylindern eruiert und aufgezeigt werden und zweitens wurde die Fragestellung untersucht, warum Elektrozylinder heute nicht schon standardmässig eingesetzt werden. Dieser Fragestellung wurden drei Hypothesen zugrunde gelegt, nämlich, dass die heutigen Elektrozylinder im Markt zu kompliziert, zu teuer und zu gross sind. Drittens sollte untersucht werden, ob die Eins-zu-eins-Ersatzmöglichkeit des Cyltronic-Elektrozylinders die nötigen Vorteile bringt, um Endanwender und Maschinenbauer zu einer Umrüstung zu bewegen.

Bei diversen namhaften Projektpartnern aus der Praxis wurden Ersatzprojekte durchgeführt. Bei Kunden wie dem Migros Betrieb Micarna, bei dem Coop Betrieb Reismühle Nutrex, dem Sägekettenhersteller STIHL, usw. wurden dafür in deren Produktionsanlage ausgewählte Pneumatikzylinder durch die Cyltronic CTC-Elektrozylinder ersetzt. Außerdem wurden Interviews mit Maschinenbauern, Maschinen-Endanwendern und Distributoren geführt.

Die Resultate und Erkenntnisse, die aus den Praxisprojekten gewonnen wurden, sind sehr erfreulich. Es konnte nicht nur aufgezeigt werden, dass bei einem Austausch von Pneumatikzylindern durch Elektrozylinder im Schnitt bis zu 93% Energie (in Form von Strom) eingespart werden kann, sondern auch, dass ein Eins-zu-eins-Ersatz mit dem neuartigen Cyltronic-Elektrozylinder möglich und verhältnismässig einfach umzusetzen ist. Beispielsweise konnten alle Zylinder ersetzt werden, ohne dass das Programm der Maschinensteuerung dafür angepasst werden müssen. Was den Umbau zum Teil erschwerte waren die Vielzahl an unterschiedlichen Pneumatikzylindern, die in den Maschinen vorkommen. Diese unterscheiden sich nicht nur in der Grösse und Länge, sondern auch in der Form.

Die Hypothese, dass die Elektrozylinder im Markt zu teuer sind, konnte bestätigt werden. Durch die Interviews wurde herausgefunden, dass die Kosten einer der entscheidendsten Faktoren sind, wenn es um den Ersatz von Pneumatikzylindern in Maschinen geht. Es zeigte sich auch, dass sich die Betrachtungsweise der Kosten von Maschinenbauern und Endanwendern grundlegend unterscheidet. Die Endanwender beachten in ihrer Berechnung vor allem den ROI (Return on Investment), den sie erzielen können durch die Einsparungen im Verhältnis zu den Mehrkosten. Ein positiver ROI sollte hierbei für die meisten Endanwender innerhalb von drei bis maximal fünf Jahren erreicht sein. Für die Maschinenbauer zählen meist einzige Investitionskosten, wenn es um den Eins-zu-Eins-Ersatz geht. Es zeigte sich, dass die Maschinenbauer einen technischen Vorteil brauchen, um die Mehrkosten der Elektrozylinder gegenüber der Pneumatikzylinder rechtfertigen. sodass sie bereit sind, diese in ihren Maschinen einzusetzen. Dieser Erkenntnis aus diesem Projekt wurde Rechnung getragen da Cyltronic schon während dem Projekt die digitale Ansteuerungsmöglichkeit IO-Link als zweite Kommunikationsschnittstelle in ihren Elektrozylinder integriert hat. Damit ist der Zylinder neu frei positionierbar und die Geschwindigkeit sowie die Kraft können über die Maschinensteuerung in Echtzeit angepasst werden. Es zeigte sich ausserdem, dass Maschinenbauer aus unterschiedlichen Gründen die Mehrkosten nicht vor ihren Kunden den Endanwendern rechtfertigen können oder wollen. Ein möglicher Grund ist, dass die Endanwender selbst zu sehr auf die Investitionskosten fokussiert sind und die Kosten unzureichlich in ihrer Gesamtheit betrachtet werden. Zudem ist es sehr schwierig, die Betriebskostenvorteile kundenspezifisch zu erheben und aufzuzeigen. Auch ungeklärt aber denkbar ist, dass schlichtweg das Interesse oder die Zeit fehlt, sich mit anderen Technologien auseinanderzusetzen und stattdessen das Altbekannte (der Pneumatikzylinder) eingesetzt wird.

Der ROI wurde bei den Projektpartnern ebenfalls ermittelt. Es stellte sich heraus, dass die Investitionskosten, durch die erzielten Einsparungen bei der reinen Betrachtung des unmittelbaren Energieverbrauchs der ersetzen Zylinder, nach sechs bis neun Jahren gedeckt werden können. Werden weitere Verluste wie Druckluftleckagen und Umwandlungsverluste miteinbezogen, halbiert sich die Dauer bis zu einem positiven ROI auf drei bis sechs Jahre. Die in diesem Projekt betrachteten Zylinder führten oft eine verhältnismässig geringe Anzahl von Zyklen pro Minute aus. Je mehr Zyklen



ein Zylinder pro Minute resp. pro Jahr macht, desto schneller kann bei einem Umtausch auch ein positiver ROI erzielt werden. Auch der Strompreis hat einen bedeutenden Einfluss auf die ROI-Rechnung. Die Berechnungen im Rahem dieses Projekts wurden mit einem über alle Partner egalisierten Strompreis von CHF 0.21 /kWh ausgeführt. Schon während der Projektdauer haben sich die Strompreise aufgrund des Ukraine-Kriegs und der Strommangellage stark erhöht. Erhöhte Strompreise können bei den oben genannten ROI-Berechnung linear eingerechnet werden und den ROI entsprechend verkürzen (doppelter Strompreis  $\approx$  halbe Zeit zu einem positiven ROI).

Die Ergebnisse zeigen, dass es sich nicht generell lohnt, Pneumatikzylinder durch Elektrozylinder zu ersetzen respektive die Dauer bis zu einem positiven ROI für Endanwender zum Teil zu lang ist. Es wird aber deutlich, dass vor allem Zylinder, die eine hohe Taktzahl ausführen, unbedingt ersetzt werden sollten, um die Energiekosten zu senken und einen finanziell lukrativen ROI zu erhalten. Wird bereits beim Bau von Maschinen auf Pneumatikzylinder verzichtet, fallen die Mehrkosten geringer aus, als dies der Fall ist bei einem Austausch. Dies bedeutet wiederum, dass die Mehrkosten einer Neumaschine ohne Druckluft sich schnell auszahlen würden in Form der Energiekostenersparnis.

Aus den Interviews und den Praxisprojekten konnte folgende Erkenntnis gewonnen werden. Damit die Maschinenbauer auf elektrische statt pneumatische Aktoren setzen, müssen folgende Randbedingungen gegeben sein. Es muss sich für den Maschinenbauer selbst lohnen, es braucht ein Produktpotfolio, welches den kompletten Verzicht von Druckluft ermöglicht, und der Endanwender muss es auch wollen, respektive bereit sein, einen Mehrpreis dafür zu bezahlen. Die Eins-zu-Eins-Ersetzbarkeit ist dabei kein kritisches Merkmal bei Neumaschinen, da die Konstruktion entsprechend angepasst werden kann. Somit muss die Hypothese, dass die Cyltronic-Zylinder mit Ihrer Eins-zu-Eins-Ersetzbarkeit den entscheidenden Vorteil bringen für Maschinenbauer als nicht bestätigt betrachtet werden. Dass Cyltronic für dieses Projekt aber namhafte Partner finden konnte und bei diesen einen positiven ROI erzielen kann mit den Projekten zeigt, dass diese Eigenschaft der Cyltronic-Zylinder vor allem von Endanwendern geschätzt wird.

Die Hypothese, dass die Elektrozylinder im bestehenden Markt zu gross sind und dies Maschinenbauer und Endanwender gleichermaßen daran hindert, Elektrozylinder statt Pneumatikzylinder einzusetzen, konnte anhand der Interviews bestätigt werden. Die Hypothese, dass die Elektrozylinder im Markt zu kompliziert sind ist für beide, Endanwender und Maschinenbauer, ein Thema, wobei die Endanwender sich mit der steigenden Komplexität schwerer tun als Maschinenbauer. Die hier zugrundeliegende These ist also nur zum Teil bestätigt.

## 6.1 Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass die von Cyltronic entwickelte All-In-One-Technologie (integrierte Spindel, Servomotor und Servokontroller) entscheidende Vorteile für Maschinenbauer und Endanwender bringt. Auch das gewaltige Energieeinsparungspotential von durchschnittlich 93% konnte aufgezeigt werden. Durch Teilerkenntnisse in diesem Projekt konnte die Technologie bereits verbessert werden. So wurde, unter anderem, IO-Link als zweite Kommunikationsschnittstelle in den Cyltronic-Elektrozylinder integriert. Das Produkt geht somit über einen einfachen Druckluftzylinder-Ersatz hinaus und wird zur frei positionierbaren und parametrierbaren Servo-Achse. Diese Eigenschaften liefern den Maschinenbauern die kritischen Vorteile, sodass künftig mehr Elektrozylinder durch sie eingesetzt werden und die Anzahl an Pneumatikaktoren verringert wird.

Für Cyltronic wurde aus diesem Projekt klar, dass auf der entwickelten Technologie aufbauend das Produktpotfolio erweitert werden muss. Das Ziel dahinter ist, den Maschinenbauern einen gänzlichen Verzicht auf die Druckluft zu ermöglichen: Auf diese Weise können nicht nur Kosten gespart werden, auch die Komplexität der Maschine reduziert sich dadurch.

In erster Linie bedeutet dies, dass Cyltronic eine weitere Produktkategorie lancieren wird: Die CTL Linearachse. Danach wird Cyltronic das Produktpotfolio in den Leistungsklassen als grössere und kleinere Aktoren ausbauen.



Da sich gezeigt hat, dass Ersatzprojekte weniger kosteneffizient sind gegenüber der Ausrüstung von Neumaschinen mit Elektrozylindern, konzentriert Cyltronic sich inskünftig auf die Bearbeitung des Maschinenbau-Markts. Dennoch werden auch Endnutzer angegangen, um diese über die Produkte zu informieren und so einen Pull-Effekt auszulösen. Der Fokus wird aber auf Maschinenbauer gelegt mit grossen Stückzahlen. Um die Verbreitung der Cyltronic-Produkte weiter zu erhöhen, wird durch die Firma ein nationales und internationales Distributoren-Netz aufgebaut.

## 6.2 Empfehlung an Maschinen Endanwender

Im Zusammenhang mit der Reduzierung von Energiekosten empfehlen die Autoren den Endanwendern, dass diese Elektrozylinder als Pneumatikzylinder-Ersatz in deren Pflichtenheft aufnehmen. Ebenfalls soll von den Endanwendern ein Vergleich zwischen Pneumatik- und Elektrozylinder gefordert werden, in denen Inbetriebnahme-, Umrüst- und Wartungskosten verglichen werden. Gleichzeitig soll ein Antrag beim Förderprogramm «Pro Kilowatt» eingereicht werden, um Investitionskosten zu senken: Das Programm investiert in hocheffiziente Technologien und übernimmt hierbei bis zu 30% der Investitionskosten.

## 6.3 Ziele und deren Schlussfolgerungen

Folgend werden nochmals die Ziele des Projekts und anschliessend die daraus hervorgehenden Schlussfolgerungen aufgeführt.

Ziel 1: Testen eines Elektrozylinders als Pneumatikzylinder-Ersatz im Labor

Tests der von Cyltronic entwickelten Nullserie

- *Maximale Hublänge (Internes Labor)*
  - Die Hublänge 350mm wurde vom Sortiment gestrichen, da der Mehrwert gemäss Rückfragen von Kunden vernachlässigbar war. Die Längen 300mm und 400mm genügen. Die Länge 1000mm wurde gestrichen, da die auftretende Querkraft vom Schubrohr zu gross war. Die Länge von 800mm wurde somit als maximale Hublänge definiert.
- *Welche Leistungen sind möglich (Internes Labor)*
  - Der Zylinder wurde so aufgebaut, dass er mit 48Volt und 24Volt zu betreiben ist. Dies wurde erreicht. Restliche Infos sind der Betriebsanleitung zu entnehmen.
- *Wärmeverhalten (Internes Labor)*
  - Die entstehende Wärme wird über das Gehäuse abgeleitet. Der Regelung wurden diverse Temperatursensoren eingebaut, welche bei Überhitzung zur Abschaltung des Zylinders führt. Genaue Infos sind der Betriebsanleitung zu entnehmen.
- *Verschleiss (Internes Labor)*
  - Der Zylinder wurde auf eine Lebensdauer von 10'000km ausgelegt. Der Dauertest ist noch im Gange, aktuell beläuft sich dieser auf 6'000km und hält den Bedingungen noch stand. Die vorgängigen Kontrollen wurden bestanden.
- *CE-Konformität (externes Labor)*
  - Die EMV-Zertifizierung wurde bestanden
  - Andere für die CE-Konformität nötigen Nachweise wurden intern verfasst.



## Ziel 2: Industriepartner finden für Demonstrationsprojekt

Es wurden zwölf Industriepartner gefunden, wobei:

- Fünf Projekte abgeschlossen wurden
- Ein Projekt aufgrund der Einstellung der Produktion abgebrochen wurde
- Ein Projekt aktuell am Laufen ist
- Ein Projekt anderweitige Messungen durchgeführt hat (Messungen und deren Ergebnisse werden vertraulich behandelt).
- Bei einem Partner die Anfrage pendent ist
- Drei Partner die Pilotstudie selbst durchführen.

## Ziel 3: Energieeinsparpotential von Elektrozylindern in der Praxis ermitteln.

Die durchschnittliche Einsparung der Energie während des Betriebs beträgt 93% gegenüber einem herkömmlichen Pneumatikzylinder. In dieser Kalkulation ist der «Eins-zu-eins-Ersatz» des Aktuators aufgezeigt. Der Wert der «Total Cost of Ownership» ist nicht einbezogen, was bedeutet, dass die Effizienzsteigerung durch den Einsatz von Cyltronic-Elektrozylindern in Realität noch höher ist.

Ziel 4: Hypothesen, «warum Elektrozylinder heute nicht standardmäßig eingesetzt werden», sollen bestätigt, widerlegt oder ergänzt werden.

- *Stimmen die Hypothese zu den Aspekten, warum Elektrozylinder nicht standardmäßig eingesetzt werden?*
  - Diese Frage ist nicht eindeutig zu beantworten. Die Hypothese war, dass aktuelle Elektrozylinder zu gross, zu kompliziert und zu teuer sind. Gemäss den Interviews wird klar: Ein Elektrozylinder als Pneumatik-Ersatz...
    - ...sollte unter CHF 2000.- kosten.
    - ...muss rasch im Umbau sein, sodass der Stillstand der Anlage auf ein Minimum reduziert wird.
    - ...ist in der Programmierung kompliziert, nicht in der Anwendung.
- *Bringen die in den Prototypen eingebauten Features den entscheidenden Vorteil, sodass Maschinenbauer gewillt sind, auf Elektrozylinder umzusteigen?*
  - Für Maschinenbauer ist die Energieersparnis kein Schlüsselkriterium. Elektrozylinder müssen daher anderweitige Vorteile, wie zum Beispiel die Positionierbarkeit oder die Prozesskontrolle, aufweisen. Mit der Schnittstelle «IO-Link» wird beim Cyltronic Elektrozylinder dieser Mehrwert erbracht.
- *Bringt die 1:1-Ersatzmöglichkeit des Cyltronic-Zylinders die nötigen Vorteile, um Endanwender zu einem Retrofit zu bewegen?*
  - Für Endanwender ist die Energiereduzierung ein zentrales Thema. Gleichzeitig muss der Retrofit auch finanziell begründbar sein. Durch tiefe Energiekosten für den Endanwender, wird der ROI teils nach zehn Jahren erreicht. An dieser Stelle ist das Förderprogramm des Bundesamtes für Energie zu erwähnen, welches in hocheffiziente Technologien investiert (*Förderprogramm ProKilowatt*) und hierbei bis zu 30% der Investitionskosten übernimmt.



- *Werden weitere Features vom Markt verlangt, um die Wende von Pneumatik zu Elektrik zu bewerkstelligen?*
  - Wie bereits implementiert wurde insbesondere die Positionierfähigkeit gefordert. Mit der Schnittstelle IO-Link ist dies gegeben.

## 7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Die Strategie der Cyltronic fundiert auf einer ersten Markteinführung in der Region DACH-I und umfasst somit die Länder Deutschland, Österreich, Schweiz und Italien. Der Vertrieb in den Ländern ausserhalb der Schweiz wird mittels Distributoren aufgebaut. So übernimmt GM-Industrieautomation den Vertrieb für Deutschland, die Firma Berger Positec GmbH den für Österreich und die Firma BalTec AG jenen für Italien. In der Schweiz beinhaltet die Vertriebsstrategie zum einen Grosskunden und zum anderen der Verkauf über Distributoren.

## 8 Kommunikation

Die Ergebnisse der Pilotprojekte wurden mittels LinkedIn kommuniziert. So wurden vier Berichte über den Social Media-Kanal veröffentlicht.

	Impressions	Kommentare	Likes
Reismühle Nutrex	3653	0	36
Reismühle Nutrex	4441	4	44
Kubrix AG	1857	2	11
Stihl Kettenwerk GmbH & Co KG	2579	1 Share	28
<b>Total</b>	<b>12'530</b>	<b>6+1 Share</b>	<b>119</b>

Tabelle 36: Anzahl der Impressionen, Kommentare und Likes von den veröffentlichten Berichten via LinkedIn

## 9 Publikationen

Die Cyltronic AG hat nebst einer intensiven LinkedIn Kampagne ebenfalls auf unterschiedlichen Plattformen die Ergebnisse publiziert.

### 9.1 Motor Summit

*«Der Motor Summit bringt Fachleute, Hersteller und Anwender aus der Industrie mit Vertretern aus Politik und Hochschulen zusammen und bietet eine Plattform für einen direkten Wissensaustausch.»* (Motor Summit | TOPMOTORS, 2022)

Jeremias Wehrli nahm am 03. November 2021 am Motor Summit als Referent teil und hat den Cyltronic Zylinder innert gut 20 Minuten vorgestellt. Darunter sind auch die Erkenntnisse dieses Projekts geflossen.

<https://motorsummit.ch/ms2021/>



## 9.2 Fachzeitschrift Aktuelle Technik

Die Internetseite [aktuelle-technik.ch](http://aktuelle-technik.ch) ist bekannt als Fachportal für die Automatisierung und Digitalisierung. Auf diesem Portal wurde ein Bericht veröffentlicht, in dem unter anderem die Resultate aus diesem Projekt aufgeführt wurden.

<https://www.aktuelle-technik.ch/neue-flexibilitaet-im-maschinenbau-a-1081096/>

## 9.3 ZHAW Sustainability Safari

An der ZHAW, Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaft hat am 28.September 2022 die ZHAW Sustainability Safari stattgefunden. Diese ermöglicht den Studierenden einen Einblick in erfolgreiche und nachhaltige Startups. Jeremias Wehrli war vor Ort und hat unter anderem über die Messergebnisse des Cyltronic Zylinders gesprochen.

<https://www.zhaw.ch/de/engineering/ueber-uns/veranstaltungen/veranstaltung/event-news/sustainability-safari-bei-der-cyltronic-ag/>

Zudem publiziert die ZHAW einen Artikel mit dem Titel «Elektrozylinder für die Industrie 4.0»

<https://www.zhaw.ch/de/engineering/studium/bachelorstudium/maschinentechnik/karriere/elektrozylinder-fuer-die-industrie-40/>

## 9.4 Zürcher Handelskammer

Die Zürcher Handelskammer baut Brücken zwischen der Wirtschaft und Politik. Am 20.05.2022 wurde für die Kapitalerhöhung publiziert, am 25.08.2022 wurde ein weiterer Artikel in Bezug auf den innovativen Elektrozylinder publiziert.

<https://www.zhk.ch/de/wirtschaft-und-politik/news/cyltronic-bietet-weltweit-einzigsten-11-ersatz-fuer-pneumatikzylinder.html>

<https://www.zhk.ch/de/wirtschaft-und-politik/news/cyltronic-sammelt-12-millionen-franken-ein.html>

## 9.5 Handelskammer Winterthur

Die Handelskammer in Winterthur publiziert einen Artikel am 20.05.2022 in Bezug auf die Kapitalerhöhung der Cyltronic AG.

<https://www.haw.ch/haw-erfolgsgeschichten/cyltronic-sammelt-12-millionen-franken-f%C3%BCr-expansion-ein>

## 9.6 Wirtschaftsraum Zürich

Um über die erste Kapitalerhöhung der Firma Cyltronic AG zu berichten, publizierte der Wirtschaftsraum Zürich einen Artikel am 29.06.2021.

<https://www.wirtschaftsraum-zuerich.ch/cyltronic-kann-mit-frischem-kapital-wachsen/>



## 10 Literaturverzeichnis

- Berchten, Dr. S., & Ritz, C. (2006). *ERSATZ VON PNEUMATISCHEN UND HYDRAULISCHEN ANTRIEBEN DURCH ELEKTROANTRIEBE POTENTIALANALYSE*. Im Auftrag Des Bundesamt Für Energie, Forschungsprogramm Elektrizität . <https://docplayer.org/17904442-Ersatz-von-pneumatischen-und-hydraulischen-antrieben-durch-elektroantriebe-potentialanalyse.html>
- Billep, J. (2014). *Energiekosten in Druckluftsystemen bis zu 60% senken.* [https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/300856/WhitePaper\\_EnergySavingServices\\_DE.pdf](https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/300856/WhitePaper_EnergySavingServices_DE.pdf)
- Blumer Ernst. (2014). *Elektrische Antriebe im Vergleich zu Pneumatikzylindern: ein Rechenbeispiel.* <https://www.all-electronics.de/market/elektrische-antriebe-im-vergleich-zu-pneumatikzylindern-einrechenbeispiel.html>
- Brechten, R. (2006). *Replacement of pneumatic and hydraulic drives by electric drives - potential analysis*. 16.
- FESTO Katalog. (2022). Magnetspulen. *Datenblatt*, 5. [www.festo.com/de/ex](http://www.festo.com/de/ex)
- Förderprogramm ProKilowatt. (n.d.). Retrieved October 19, 2022, from <https://www.prokw.ch/de/>
- Gloor, R. (2000). Energieeinsparungen bei Druckluftanlagen in der Schweiz. *Energieeinsparungen Bei Druckluftanlagen in Der Schweiz.*
- Gloor, R. (2020). *Kompressoren.* <Https://Energie.Ch/Kompressoren/>
- GOP Gesellschaft für Fluidtechnik Schweiz. (2019). *Marktdaten - GOP Verband.* <https://www.gop-verband.ch/marktdaten/>
- IO-Link im Durchblick. (2022). [https://io-link.com/de/Technologie/Was\\_ist\\_IO-Link.php](https://io-link.com/de/Technologie/Was_ist_IO-Link.php)
- Lansen Julia. (2015). *Pneumatisch oder elektromechanisch antreiben?* Das Zukunftsmagazin Für Den Maschinen- Und Anlagenbau.
- MAXIMIZE Market Research PVT. LTD. (2022, March). *Pneumatic Cylinder Market: Industry Analysis and Forecast 2021-2027.* <https://www.maximizemarketresearch.com/market-report/global-pneumatic-cylinder-market/34349/>
- Motor Summit | TOPMOTORS. (2022). <https://www.topmotors.ch/de/motorsummit>
- Normzylinder DSBC | Festo CH. (n.d.). Retrieved October 19, 2022, from [https://www.festo.com/ch/de/p/normzylinder-id\\_DSBC/](https://www.festo.com/ch/de/p/normzylinder-id_DSBC/)
- Report Buyer. (2016). *The global market for pneumatic equipment should reach \$113.9 billion by 2022 from \$82.5 billion in 2017 at a compound annual growth rate (CAGR) of 6.7%, from 2017 to 2022.* <Https://Www.Prnewswire.Com/News-Releases/the-Global-Market-for-Pneumatic-Equipment-Should-Reach-1139-Billion-by-2022-from-825-Billion-in-2017-at-a-Compound-Annual-Growth-Rate-Cagr-of-67-from-2017-to-2022-300608185.Html>.
- Statista. (2021). *Schweiz - Durchschnittlicher Strompreis 2022* | Statista. De.Statista.Com. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/329740/umfrage/haushaltstrompreis-in-der-schweiz/>
- Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. (2022). *Strompreise* | VSE. Strom.Ch. <https://www.strom.ch/de/energiewissen/produktion-und-handel/strompreise>



## 11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieverlust von Druckluftsystemen (Brechten, 2006).....	1
Abbildung 2: Konkurrenzanalyse (Seite 13 aus dem Pitch Deck der Cyltronic AG).....	2
Abbildung 3: Mögliche Varianten bestehender Zylinder .....	4
Abbildung 4: Längenvergleich CTC-Elektrozylinder zu ISO-Pneumatikzylinder und anderen elektrischen Alternativen .....	7
Abbildung 5: Vielfältige Anbaumöglichkeiten durch gleiche Befestigungsdimensionen wie die eines 32er Pneumatikzylinders (Seite 30 aus dem Pitchdeck der Cyltronic AG) .....	7
Abbildung 6: Viertelschnitt des Elektrozylinders CTC060 von Cyltronic.....	8
Abbildung 7: Beispiel herkömmlicher Elektrozylinder .....	8
Abbildung 8: Bedienkonsole und Einstellmöglichkeiten am CTC-Elektrozylinder .....	9
Abbildung 9: Lücke zwischen Pneumatikzylinder und Servoantrieben wird geschlossen durch CTC-Elektrozylinder .....	10
Abbildung 10: Der Vorteil des Cyltronic Zylinders .....	10
Abbildung 11: aktuelles Produktsortiment der Cyltronic AG.....	11
Abbildung 12: Projektablauf.....	13
Abbildung 13: Pneumatikzylinder Z1.1 und Z1.2, welche durch CTC060 Zylinder ersetzt wurden.....	15
Abbildung 14: Kumulierte Betriebs- und Investitionskosten anhand der Berechnung vor dem Umbau der Pneumatik- und Elektrozylinder .....	19
Abbildung 15: Projekt bei der Firma Reismühle Nutrex, zu ersetzennder Zylinder Z2.1_Masek Andrücker Zylinder.....	20
Abbildung 16: Projekt bei der Firma Reismühle Nutrex, zu ersetzennder Zylinder Z2.1_Masek Andrücker Zylinder.....	20
Abbildung 17: Vergleich zwischen kumulierten Fix- und variablen Kosten zwischen einem Pneumatik und dem Elektrozylinder bei der Mibelle Group.....	23
Abbildung 18: Karton-Kaltanlage bei der Mibelle Group .....	24
Abbildung 19: Beispiel eines zu ersetzenenden Pneumatikzylinder s im «B-Gebinde Lager».....	25
Abbildung 20: Zwei auszutauschende Pneumatikzylinder bei der Firma Kubrix AG .....	26
Abbildung 21:Einer der zu ersetzenenden Pneumatikzylinder - Abschieber .....	27
Abbildung 22: Vergleich zwischen kumulierten Fix- und variablen Kosten zwischen dem Pneumatik und dem Elektrozylinder bei der JOWA AG .....	28
Abbildung 23: Kumulierte Kosten pro Jahr mit Investitions- und Betriebskosten, aufgezeigt im Diagramm .....	31
Abbildung 24: Gemessener Volumenstrom der Pneumatikzylinder Z1 und Z2.....	33
Abbildung 25: Integrierter Volumenstrom - Diese Abbildung zeigt das aufsummiert das verwendete Luftvolumen .....	33
Abbildung 26: Volumenstrom Zylinder Z3 .....	34
Abbildung 27: Luftvolumen Z3 .....	35
Abbildung 28: Luftvolumen Z3 über 10 Takte.....	35
Abbildung 29: Volumenstrom der Firma Reismühle Nutrex an 10 Zyklen abgebildet .....	38
Abbildung 30: Luftvolumen der Firma Reismühle Nutrex integriert über die 10 Zyklen.....	39
Abbildung 31: Volumenstrom des Zylinders Z2 eingebaut bei der Firma Reismühle Nutrex angezeigt an einem Zyklus.....	39



## 12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Systemmessungen .....	16
Tabelle 2: 1/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder.....	16
Tabelle 3: 2/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder.....	16
Tabelle 4: 3/3 Berechnung des Aufwands für die Luftaufbereitung für Pneumatikzylinder (Felder in blau sind die auf die Jahre kumulierten Kosten).....	16
Tabelle 5: Allgemeine Systemangaben.....	17
Tabelle 6: 1/2 Berechnung Energieverbrauch Elektrozylinder .....	18
Tabelle 7: 2/2 Berechnung Energieverbrauch Elektrozylinder (Felder in Orange sind Kosten aufaddiert auf die Jahre (zu vergleichen mit den blauen Feldern der Tabelle 4).....	18
Tabelle 8: 1/2 Grundlagen für die Berechnung des Luftvolumens in Kubikmeter entlang der gesamten Lebensdauer .....	21
Tabelle 9: 2/2 Grundlagen für die Berechnung des Luftvolumens in Kubikmeter entlang der gesamten Lebensdauer .....	22
Tabelle 10: Berechnung der Kosten und des Energieverbrauchs der gesamten Lebensdauer des Pneumatikzylinders .....	22
Tabelle 11: Grundlagen für die Berechnung der Kosten über die gesamte Lebensdauer des CTC060 Elektrozylinders.....	22
Tabelle 12: Berechnung der Kosten und des Energieverbrauchs über die gesamte Lebensdauer des CTC060 Elektrozylinders.....	22
Tabelle 13: Differenz in Kosten und Energie vom Pneumatik zum Elektronikzylinder sowie das eingesparte CO2.....	22
Tabelle 14: 1/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Pneumatikzylinder .....	23
Tabelle 15: 2/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Pneumatikzylinder .....	23
Tabelle 16: 1/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Elektrozylinder .....	24
Tabelle 17: 2/2 Berechnung der Betriebs- und Investitionskosten für die Elektrozylinder .....	24
Tabelle 18: 1/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder.....	26
Tabelle 19: 2/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder.....	26
Tabelle 20: Berechnung der Kosten für die Elektrozylinder .....	27
Tabelle 21: 1/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder.....	28
Tabelle 22: 2/2 Berechnung der Kosten für die Pneumatikzylinder.....	29
Tabelle 23: Berechnung der Kosten für die Elektrozylinder .....	29
Tabelle 24: 1/2 Messung bei der Firma Stihl. In Blau jeweils die Pneumatikzylinder, in Grau die Elektrozylinder. .....	31
Tabelle 25: 2/2 Messung bei der Firma Stihl, in Grün ist die Einsparung von Betriebskosten .....	31
Tabelle 26: 1/2 Kosten pro mit Investitions- und Betriebskosten.....	31
Tabelle 27: 2/2 Kosten pro Jahr mit Investitions- und Betriebskosten.....	31
Tabelle 28: 1/2 Resultate der Messungen bei der Firma Reismühle Nutrex.....	36
Tabelle 29: 2/2 Resultate der Messungen bei der Firma Reismühle Nutrex.....	36
Tabelle 30: 1/2 Berechnung, Messung und Auswertung der sieben Zylinder bei Micarna SA .....	41
Tabelle 31: 2/2 Berechnung, Messung und Auswertung der sieben Zylinder bei Micarna SA .....	42
Tabelle 32: Messung, Berechnung und Auswertung eines von zweien Zylindern bei der Kubrix AG ...	43
Tabelle 33: 1/2 Messung, Berechnung und Auswertung eines von zwei Zylindern bei der Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG.....	43
Tabelle 34: 2/2 Messung, Berechnung und Auswertung eines von zwei Zylindern bei der Firma Ricola Group AG & Ricola Schweiz AG.....	43
Tabelle 35: Zusammenfassung Pilotprojekte .....	45
Tabelle 36: Anzahl der Impressionen, Kommentare und Likes von den veröffentlichten Berichten via LinkedIn .....	59



## 13 Anhang

### 1. Datenblatt CTC060

CTC			
Datenblatt CTC-060			
Baugrösse		CTC-60	
Ansteuerung / Parametrierung		IO-Link / digital I/O z.B. Positionieranwendungen / z.B. einfache Hubbewegung	
Einstellung Kraft & Geschwindigkeit		IO-Link / Bedienkonsole	
Hub	[mm]	100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 800	
Spindelsteigung	[mm/U]	5	10
Max. Vorschubkraft (Spitze))	[N]	800	400
Max. Vorschubkraft (Dauerbetrieb))	[N]	400	200
Max. Geschwindigkeit			
Im 24V-Betrieb	[mm/s]	150	300
Im 48V-Betrieb		300	600
Max. Beschleunigung	[m/s <sup>2</sup> ]	15	15
Positioniergenauigkeit	[mm]	+/- 0.1mm	
Wiederholgenauigkeit	[mm]	+/- 0.02mm	
Spindelart		Kugellumlauf	
Einbaulage		Beliebig	
Kolbenstangengewinde		M10 x 1.25 aussen / M6 innen / Endplatte	
Umgebungstemperatur	[°C]	0...+40	
Hinweis zur Umgebungstemperatur		Bei Umgebungstemperaturen über 25° C muss mit einer Leistungsreduktion gerechnet werden.	
Lagertemperatur	[°C]	-20...+60	
Schutzart		IP65 nach EN 60529 (Im Stillstand)	
Relative Luftfeuchtigkeit	[%]	0...90 (nicht kondensierend)	
Motorart		Synchron-Servomotor	
Rotorlagegeber		Absolut, single turn, 12bit	
Verdreh sicherung		Gleitführung (kein externes Drehmoment)	
CE-Zeichen (siehe Konformitätserklärung))		Nach EU-RoHS-RL	
		Nach EU-EMV-Richtlinie	



CTC

**Anschlüsse, Signale, Ansteuerung**

<b>Statusanzeige</b>	3x LED	
<b>Leistungsschnittstelle, Anschlussart</b>	Stecker 4-Polig, M12x1, T-codiert nach EN 61076-2-111	
<b>Nennspannung Leistungskreis</b>	[V DC]	24 - 48
<b>Nennstrom Leistung</b>	[A]	5
<b>Max. Stromaufnahme Leistung</b>	[A]	10
<b>Signalschnittstelle, Anschlussart</b>	Stecker 8-polig, M12x1, A-codiert nach EN 61076-2-101	
<b>Arbeitsbereich Signaleingang</b>	[V DC]	24
<b>Zulässige Spannungsschwankungen</b>	%	+/- 15
<b>Max. Strom digitale Signalausgänge</b>	[mA]	100 / Ausgang
<b>Anzahl digitale Signaleingänge</b>	3	Ausfahren, Einfahren, Teach
<b>Anzahl digitale Signalausgänge</b>	3	Ausgefahren, Eingefahren, Bereit
<b>Eigenschaften Signaleingang</b>	Nicht galvanisch getrennt	
<b>Max. Leitungslänge</b>	[m]	20, für Ein- und Ausgänge
<b>Schaltlogik Ausgänge</b>	Push-Pull	
<b>Schaltlogik Eingänge</b>	Positivschaltend	
<b>Referenzieren</b>	Ausfahren	Festanschlag intern / Anschlag extern
	Einfahren	Festanschlag intern / Anschlag extern

**Gewicht (+/- 10%)**

<b>Bei 100 mm Hub</b>	[g]	1600
<b>Pro 10mm Hub zusätzlich</b>	[g]	45
<b>Zuschlag bewegte Masse / 10 mm Hub</b>	[g]	5.85

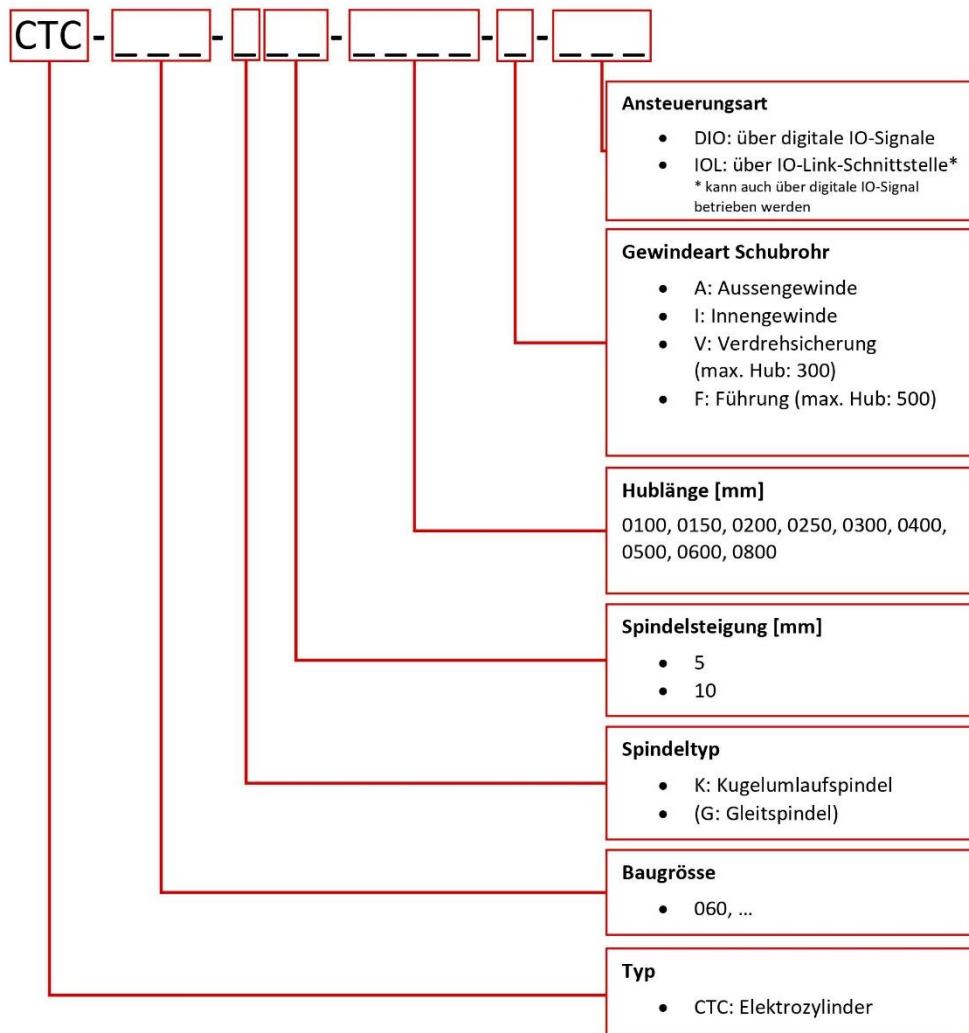
**Werkstoffe**

<b>Gehäuse, Deckel</b>	Aluminium farblos anodisiert
<b>Schubrohr</b>	Aluminium, hartanodisiert
<b>Dichtungen</b>	NBR / EPDM
<b>Gewindeaufsatz</b>	Stahl rostfrei
<b>Schrauben</b>	Verzinkt blau
<b>Spindel</b>	Vergütungsstahl
<b>Spindelmutter</b>	Wälzlagerstahl
<b>Abdeckungen Drehknöpfe</b>	Stahl rostfrei
<b>Schmiernippel</b>	Verzinkt blau
<b>Steckerverschraubungen</b>	Zink vernickelt
<b>Werkstoffhinweis</b>	RoHS konform



CTC

Konfigurationsschlüssel

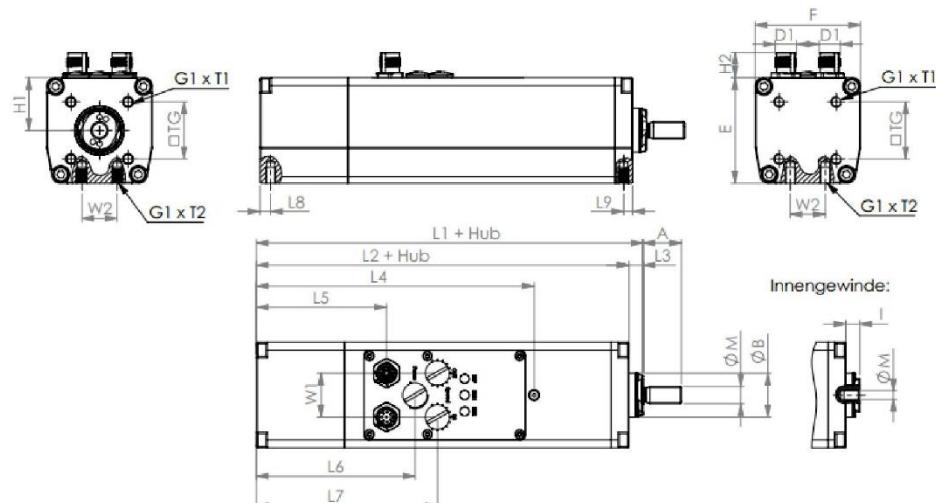


Beispiel: CTC-060-K10-0100-A-DIO

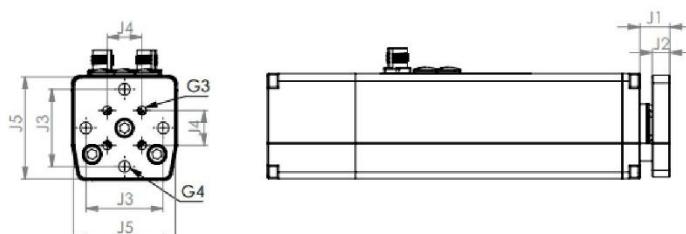
**Abmessungen**

Die Grundabmessungen sind angelehnt an ISO 15552.

Die Anschluss- und Zubehörabmessungen entsprechen vollumfänglich ISO 15552.



mit Verdrehssicherung:



	L1*	L2*	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	H1	H2	D1
CTC-060	120	112	8	158	74	90	103	6	5	30	14.3	M12

	TG**	G1	T1	T2	A	B	E	F	I	M	W1	W2
CTC-060	32.5	M6	12	9	22	25	60	60	9	12	25	20

	J1	J2	J3	J4	J5	G3	G4					
CTC-060	17	10	44	19.8	58	M6	6.6					

Alle Abmessungen in mm.

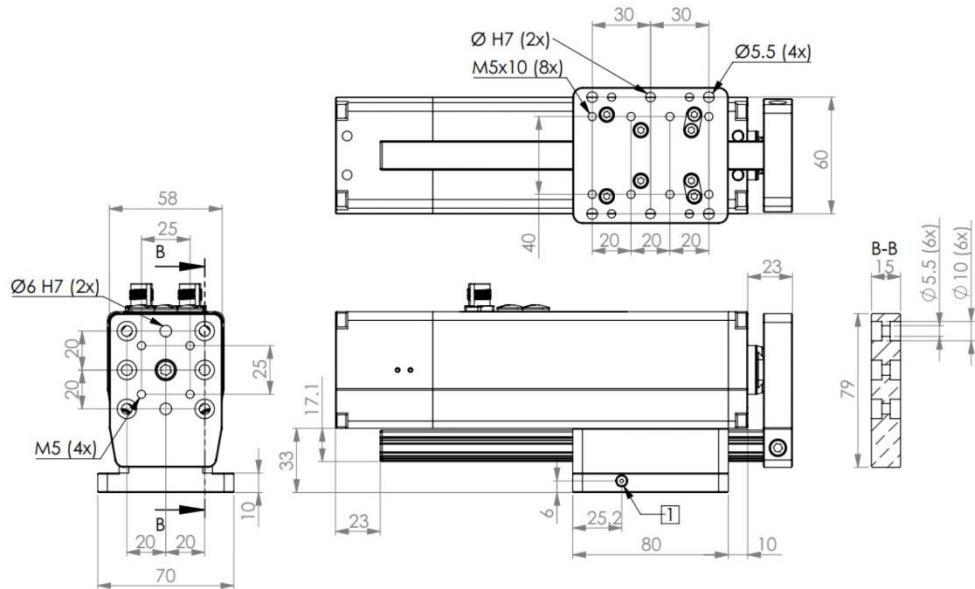
\* Hubabhängige Abmessungen

\*\* Gewinde bei Version mit Verdrehssicherung nur auf Gehäuse-Hinterseite



CTC

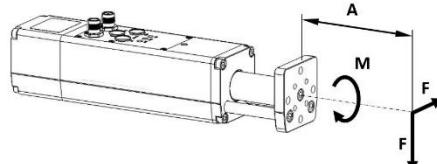
## Ergänzende Abmessungen für CTC-060-\_\_-\_\_-F



[1] Kegel-Schmiernippel zur Schmierung der Führung (beidseitig)

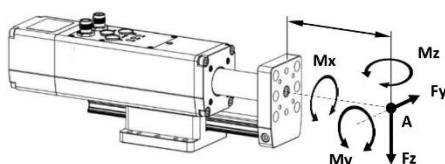
## Maximale Momenten-Belastung M und Nutzlast F für CTC-060-\_\_-\_\_-V

Hub	F [N]	M [Nm]
100	29.96	1.26
150	12.45	0.75
200	6.31	0.54
250	3.63	0.45
300	2.28	0.40



## Maximale Momenten-Belastung M und Nutzlast F für CTC-060-\_\_-\_\_-F

Hub	Fy [N]*	Fz [N]*	Mx [Nm]*	My [Nm]*	Mz [Nm]*
100	84.6	182.7	11.3	8.2	3.8
150	77.8	168.1	10.4	7.5	3.5
200	74.1	160.1	9.9	7.2	3.3
250	71.8	155.0	9.6	6.9	3.2
300	70.2	151.5	9.4	6.8	3.1



\*Die maximal zulässige Belastung gilt im eingefahrenen Zustand und nimmt mit ausgefahrener Länge ab.  
Detaillierte Auslegung gemäss Diagrammen in der Betriebsanleitung.