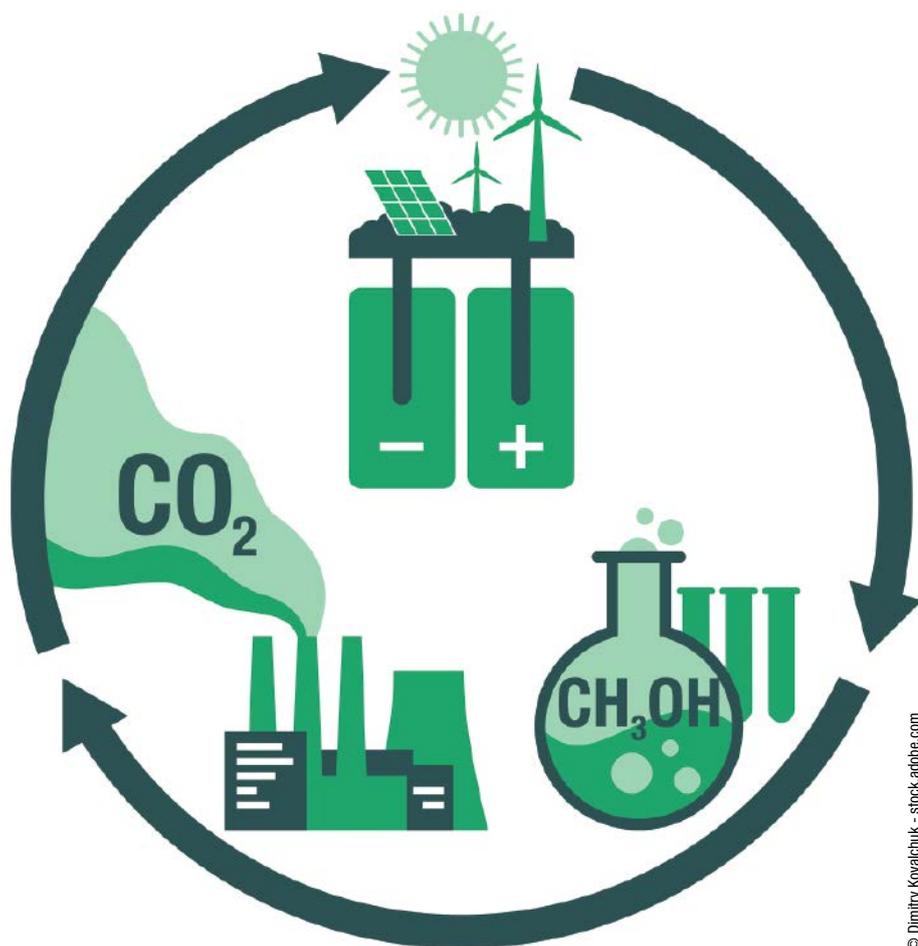


e-Methanol – aber bitte flexibel!

Die (kosten-)effiziente Strategie zur CO₂-Wertschöpfung mittels erneuerbarer Energien



Keywords

- *e-Methanol*
- *CO₂, H₂*
- *erneuerbare Energien*

Die fluktuierende Bereitstellung von erneuerbarem Strom hat einen signifikanten Einfluss auf die Auslegung und den Betrieb von e-Methanol-Anlagen. Air Liquide hat techno-ökonomische Untersuchungen mit einem eigens dafür entwickelten Simulations-Framework durchgeführt, um den Bedarf und den Nutzen des flexiblen Betriebs der Methanolsynthese zu analysieren. Im Ergebnis ist ein flexibler Betrieb von enormem Vorteil, ab einem gewissen Grad ist jedoch kein Mehrwert mehr erkennbar.

e-Methanol, hergestellt aus CO₂ und erneuerbarem H₂, nimmt auf dem Gebiet der Carbon Capture and Utilisation (CCU) eine zentrale Rolle ein. Das benötigte H₂ wird mittels Elektrolyse unter Einsatz erneuerbarer Energien gewonnen und macht einen signifikanten Kostenanteil am e-Methanol aus. Im Unterschied zu konventionellen Methanolanlagen, welche i.d.R. auf maximale Produktion bei konstant hoher Verfügbarkeit der Einsatzstoffe ausgelegt sind, spielen die variierenden Stromkosten daher eine zentrale Rolle. Daher bietet ein flexibler Betrieb der e-Methanol-Anlage – mittels opportunistischer H₂-Produktion und -Nutzung je nach Verfügbarkeit kostengünstigen erneuerbaren Stroms – attraktive Einsparpotenziale. Kann die Gesamtanlage dem fluktuierenden Stromangebot der Erneuerbaren nicht folgen, drohen Einbußen bei der Produktion oder es wird Methanol erzeugt, welches nicht mehr den durch Verordnungen vorgegebenen Kriterien entspricht und daher zu einem geringeren Preis verkauft werden muss.

Air Liquides flexible Methanoltechnologie zur CO₂-Wertschöpfung

Als globaler Marktführer bei gasbasierten Methanolanlagen mit insgesamt mehr als 50 gebauten und in Betrieb genommenen Lurgi-Methanol-Referenzanlagen zwischen 15 und 11.000 Tagesstonnen verfügt Air Liquide über eine jahrzehntelange Innovationshistorie in den Methanoltechnologien. Anlagen mit besonders CO₂-reichem Synthesegas wurden bereits seit den 70er-Jahren gebaut und in Betrieb genommen. In den 90er Jahren begann die gezielte Forschung und das Prozessdesign für ausschließlich CO₂- und H₂-basierte Methanolanlagen. Seitdem wurden anhand tausender Versuchsstunden in den Air Liquide-Pilotanlagen die proprietären kinetischen Modelle für die CO₂- und H₂-basierte Methanolsynthese weiterentwickelt und optimiert.

Das damit einhergehende und tiefgreifende Prozessverständnis vereint Air Liquide mit Engineering- und Designkompetenzen sowie der Inbetriebnahme- und Betriebserfahrung

aus regelmäßig realisierten Methanolprojekten zu einer technologischen Expertise in der CO₂-basierten Methanolproduktion. Diese wird durch die marktführende Rolle von Air Liquide auf den Gebieten der Gaserzeugung und -behandlung komplementiert, sodass Air Liquide das einzige Unternehmen ist, welches alle zentralen Bausteine für CO₂-basiertes Methanol aus einer Hand anbieten kann^[1]:

- Methanolsynthese und Methanoldestillation (Lurgi Methanol),
- PEM-Elektrolyse aus eigener Produktion (im Joint Venture mit Siemens Energy),
- CO₂-Abscheidung (Cryocap, Rectisol, Recticap, Amine wash),
- H₂-Rückgewinnung (PSA, Membrantechnologien).

In der Air Liquide-Strategie für CO₂-basiertes Methanol nehmen Energie- und Kosteneffizienz eine zentrale Stellung ein^[2]. Dabei steht ein flexibler Betrieb der Methanolanlage immer dann im Mittelpunkt, wenn die H₂- bzw. CO₂-Ver-

sorgung zeitlichen Schwankungen unterliegt (z.B. infolge der Übersetzung von Schwankungen einer erneuerbaren Energiequelle oder des Strompreises in Fluktuationen der H₂-Produktion in der Elektrolyse).

Flexibles Prozessdesign

Zentraler Baustein eines flexiblen Prozessdesigns ist die Entkopplung der Prozesseinheiten Elektrolyse, CO₂-Abscheidung, Methanolsynthese und Methanoldestillation mittels entsprechender Speichereinheiten. Eine komplett flexible Power+CO₂-to-Methanol-Anlage ist in Abb. 1 dargestellt. Dabei können die i.d.R. unvermeidlichen H₂- bzw. CO₂- sowie Methanolspeicher auch durch ein Flexibilitätskonzept aus elektrischem und thermischem Energiespeicher erweitert werden.

Im Folgenden wird die Gaszischenspeicherung betrachtet, welche kritische Vorteile für den flexiblen Betrieb bietet:

- 1. Entkopplung der Methanolsynthese von den Fluktuationen der H₂- und CO₂-Quelle, z.B. infolge der schwankenden Verfügbarkeit erneuerbaren Stroms, oder eines veränderlichen CO₂-Gehalts in einem Rauchgasstrom.
- 2. Minimierung der LCOM (levelized cost of Methanol) mittels Optimierung der Anlagenauslastung unter Beachtung der schwankenden CO₂- bzw. H₂-Versorgung.

Modellbasierte Optimierung

Um eine e-Methanol-Anlage optimal für die projektspezifischen Rahmenbedingungen auszulegen, nutzt das Unternehmen ein selbst entwickeltes Simulations-Framework. Dieses Framework besteht aus Submodellen wie bspw. Elektrolyse, Synthese, H₂/CO₂-Speicher, etc., welche die jeweiligen funktionalen Eigenschaften wie Wirkungsgrade, Betriebsbereiche und Lastwechselraten beinhalten.

Das funktionale Modell ist in ein techno-ökonomisches Gesamtmodell eingebettet, welches in einem gegebenen Suchraum die optimale Konfiguration mit Blick auf die Methanolgestehungskosten ermittelt.

Für den optimierten Betrieb jeder untersuchten Konfiguration kommt ein prädiktives Verfahren zum Einsatz, das unter Einbezug der prognostizierten Verfügbarkeit von (erneuerbarem) Strom und (biogenem) CO₂, sowie unter Berücksichtigung des Anlagenzustands (z.B. aktuelle Anlagenlast, Füllstand des Wasserstoff-, CO₂ und Rohmethanol-Speichers) das optimale Betriebsprofil der Anlage ermittelt.

Kann die Methanolsynthese keinerlei Flexibilität zur Verfügung stellen, so muss der H₂-Speicher alle kurz- und langfristigen Fluktuationen auffangen. Wie in Abb. 2 gezeigt, führt dies zu Speichergößen, die ohne Zugang zu einem

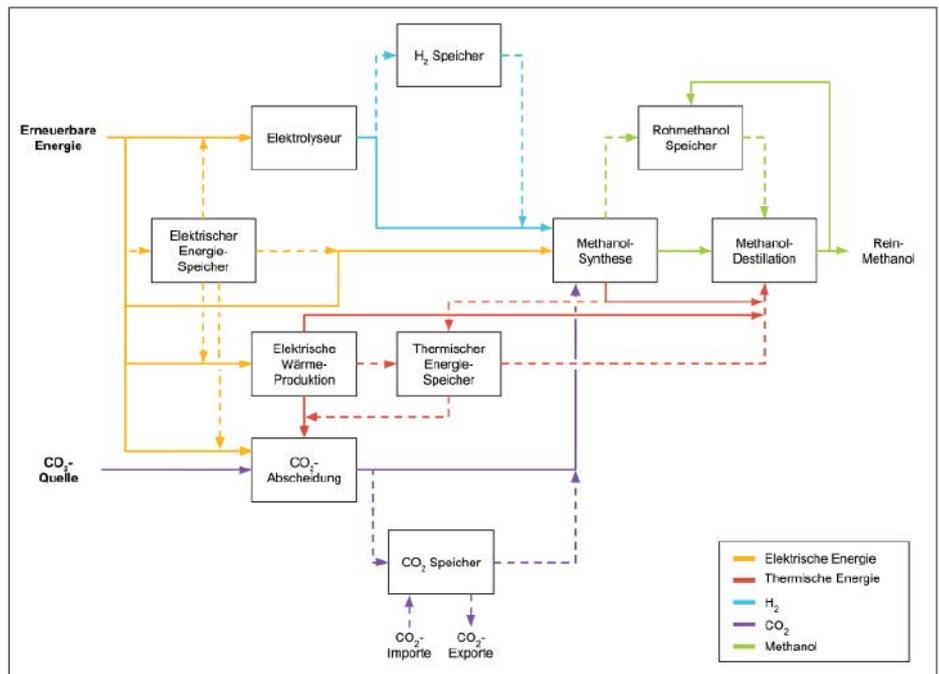


Abb. 1: Bausteine einer komplett flexibilisierten CO₂+H₂-zu-Methanolanlage

Untergrundspeicher nicht mehr realistisch darstellbar sind. Der Abbildung liegt eine generische Fallstudie für einen Standort in Europa zu Grunde, deren Rahmenbedingungen in Tab. 1 zusammengefasst sind. Das Anlagenkonzept

wurde mittels des oben beschriebenen Simulationsframework hinsichtlich der Methanolgestehungskosten optimiert. Dabei wurde insbesondere das optimale Verhältnis zwischen Wind- und PV-Strom (65 % Onshore Wind



Powerful, efficient, innovative

Lutz Pumpen & Lutz-Jesco: Ihr Hersteller für Förder- und Messtechnik

www.lutz-pumpen.de
www.lutz-jesco.com

safety is our concern

ACHEMA2024
Besuchen Sie uns vom 10. – 14.06. in Frankfurt
Halle 8.0 Stand K86

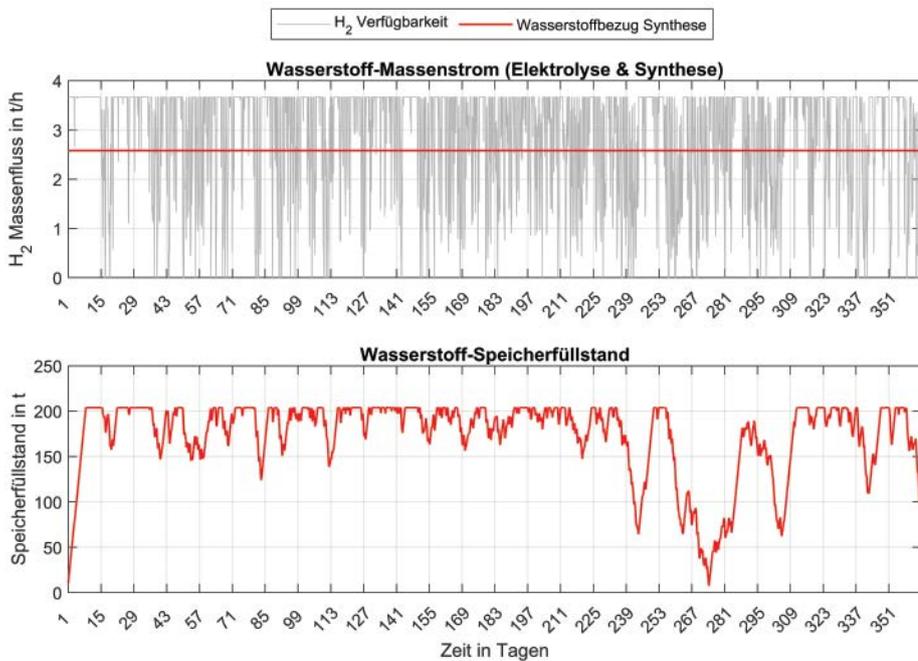


Abb. 2: Jahressimulation einer unflexiblen Methanolsynthese

und 35 % Photovoltaik), sowie die optimale Gesamtleistung der erneuerbaren Energieanlagen bestimmt.

Ist eine höhere Flexibilität immer besser?

Der Anlagenbauer hat das Zusammenwirken von Vorhersagen (der erneuerbaren Energiequellen), H₂-Zwischenspeicherung und Flexibilität in der Methanolsynthese intensiv untersucht. Die Flexibilität der Methanolsynthese wird in erster Näherung durch die minimale Teillast und die maximalen Laständerungsraten beschrieben. In Tab. 2 werden die Auswirkungen verschiedener Werte für die minimale Teillast und die maximale Laständerungsrate auf die Jahresproduktion und die Methanolgestehungskosten einer e-Methanol-Anlage gezeigt.

Eine gewisse Flexibilität der Methanolproduktion ist der Schlüssel zu signifikanten Kostensenkungen. Bereits mit einer Teillastfähigkeit von 50 % und einer Laständerungsrate von nur 10 %-Punkten pro Stunde kann der Kostenindex signifikant reduziert werden. Hierzu sei angemerkt, dass wahrscheinlich alle sich im Betrieb befindlichen Methanolanlagen grundsätzlich eine gewisse Flexibilität vorweisen können, jedoch wurden sie nie explizit darauf ausgelegt, diese auch kontinuierlich einzusetzen. Die hohen Kosten einer unflexiblen Lösung liegen zum einen in den Kosten für den großen

| Merkmal | Wert |
|--------------------------------------|---------------|
| Elektrolysekapazität | 200 MW |
| H ₂ -Speicher (gasförmig) | 1 – 200 t |
| Methanolkapazität | 460 t pro Tag |

Tab. 1: Setup der hier verwendeten e-Methanol Anlage

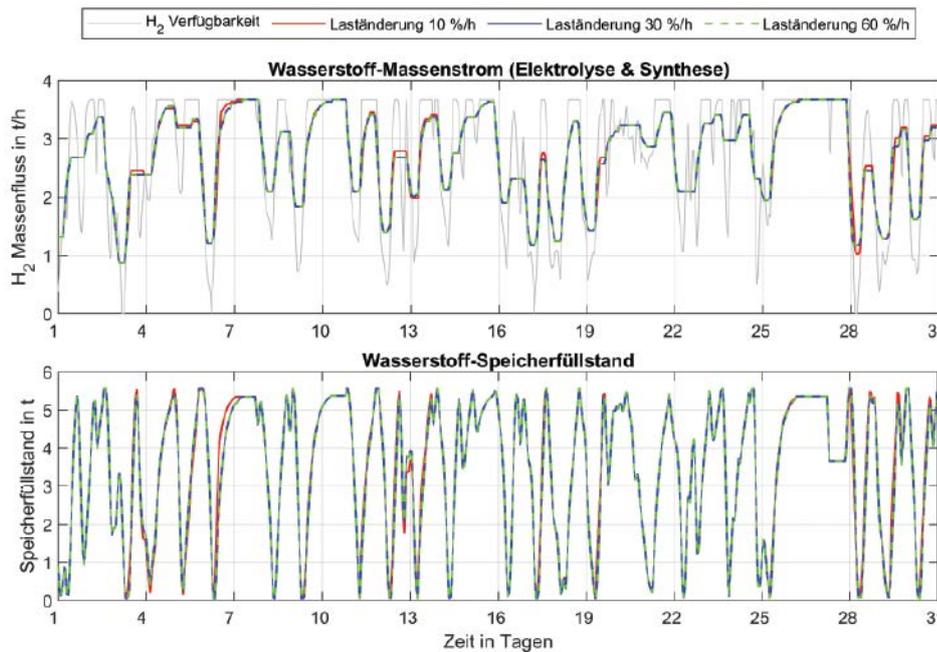


Abb. 3: Vergleich verschiedener Laständerungsraten

| Szenario | Min. Teillast | Laständerungsgeschwindigkeit | Optimale H ₂ Speichergröße | Jahresproduktion | Kostenindex |
|----------|---------------|------------------------------|---------------------------------------|------------------|-------------|
| 1 | 100 % | 0 % / h | 200 t | 117 kt/a | 100 % |
| 2 | 50 % | 10 % / h | 14.8 t | 130 kt/a | 68 % |
| 3 | 20 % | 30 % / h | 5.6 t | 130 kt/a | 67 % |
| 4 | 20 % | 60 % / h | 5.6 t | 130 kt/a | 67 % |
| 5 | 10 % | 30 % / h | 5.6 t | 130 kt/a | 67 % |
| 6 | 10 % | 60 % / h | 5.6 t | 130 kt/a | 67 % |

Tab. 2: Auswirkung von verschiedenen Flexibilitätsoptionen auf die e-Methanol-Produktion.

H₂-Speicher, zum anderen in der geringeren Produktionsmenge begründet.

Erhöht man die Flexibilität weiter, so entstehen kaum zusätzliche Einsparungen, solange ein prädiktiver Ansatz im Prozessleitsystem genutzt wird, der die Vorhersage der erneuerbaren Stromerzeugung in die Bestimmung des Betriebspunktes der Anlage mit einfließen lässt. In diesem Fall wurde ein Vorhersagehorizont von 6 Stunden angenommen.

Auf Abb. 3 ist zu sehen, weshalb sich ab einer gewissen Flexibilität keine signifikanten Verbesserungen mehr einstellen: Im Vergleich zwischen den Profilen des H₂-Massenstroms (oben), sowie des H₂-Speicherfüllstands (unten) für verschiedene Laständerungsgeschwindigkeiten wird deutlich, dass die intelligente Einbindung eines H₂-Speichers kombiniert mit einem prädiktiven Betriebsführungsansatz dazu führt, dass schnelle Laständerungen in der

Methanolsynthese keinen Mehrwert bringen. Der prädiktiven Betriebsoptimierung gelingt es weiterhin, die starken Fluktuationen im Wasserstoff-Massenstrom des Elektrolyseurs durch einen intelligenten Einsatz des zur Verfügung stehenden H₂-Speichervolumens sehr effektiv zu dämpfen. Voreilige Änderungen des Betriebszustands der Methanolsynthese können dadurch weitgehend vermieden werden.

Zusammenfassung

Die fluktuierende Bereitstellung des Einsatzstoffs "erneuerbarer Strom" hat einen signifikanten Einfluss auf die Auslegung, Betriebsweise und Kosteneffizienz von e-Methanol-Anlagen. Air Liquide's modellbasierte Untersuchungen unter Nutzung der jahrzehntelangen Erfahrung in der Entwicklung, Auslegung, Lieferung und Inbetriebnahme von Methanolanlagen haben gezeigt, dass eine flexible Fahrweise von e-Methanol-Anlagen wesentliche Vorteile bringt. Mit einem moderaten Maß an Flexibilität in Kombination mit einem vergleichsweise kleinen, intelligent und prädiktiv betriebenen H₂-Speicher können Methanolproduktionsmenge gesteigert und Methanolgestehungskosten signifikant reduziert werden. Gegenüber einem moderat dynamischen

Betrieb der Methanolsynthese bietet ein hochdynamischer Betrieb jedoch keinen erkennbaren zusätzlichen Vorteil.

Quellen:

[1] Air Liquide Engineering & Construction technology handbook: <https://engineering.airliquide.com/sites/engineering/files/2022-09/technohandbook11oct.pdf>

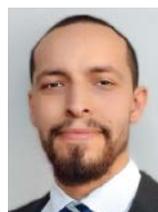
[2] CIT 2022 AL "New development in the synthesis of methanol by Air Liquide to minimize carbon footprint of large scale plants and to valorize unconventional feedstocks with small scale units" (2022, Haag et al.)



Dr.-Ing. Sebastian König,
Director Sales Electrolysis,
Air Liquide Engineering &
Construction



Dr. Stéphane Haag,
Group Manager Analytics &
Operations, Innovation Campus
Frankfurt, Air Liquide Forschung &
Entwicklung



Vincent Peña,
Process Engineer, Syngas and
Methanol Product Line
Air Liquide Engineering
& Construction



Veronika Gronemann,
Head of Methanol, Syngas and
Methanol Product Line
Air Liquide Engineering
& Construction

Wiley Online Library



Air Liquide Engineering & Construction,
Frankfurt am Main

Tel.: +49 69 5808 - 0 · chemicals@airliquide.com
www.engineering.airliquide.com

Bilder © Air Liquide

Pumplösungen für anspruchsvolle Medien

Vogelsang präsentiert Drehkolbenpumpen der EP-Serie für anspruchsvolle Bedingungen und hohe Drücke. Ein Hochleistungsgetriebe ermöglicht einen Differenzdruck von bis zu 18 bar. Die Pumpen bestehen aus einem einteiligen Gehäuse und fördern Medien bis zu 200 °C. Aufgrund der hohen Druckleistung und Temperaturgrenze sowie der Dichtungsvielfalt eignet sich die Serie z.B. für die Öl- und Gas- sowie die petrochemische Industrie und Tanklager. Eine konstante Förderleistung, Langlebigkeit, reduzierte Lebenszyklus-Kosten und ein geringerer Energiebedarf zeichnet die konische Exzentrerschneckenpumpe HiCone aus. Entsteht durch Verschleiß ein Spalt zwischen Rotor und Stator, lässt sich dies im laufenden Betrieb kompensieren. Der Rotor wird axial nachgestellt und die Pumpe befindet sich anschließend wie im Neuzustand. Ein kosten- und zeitintensiver Teilewechsel entfällt. Durch

ein spezielles Einstellsystem lässt sich die Pumpe individuell an die jeweiligen Betriebsparameter wie Druck und Temperatur anpassen. Aufgrund der intelligenten Anfahrautomatik und der einstellbaren Klemmung zwischen Rotor und Stator reicht ein kleinerer Motor als bei herkömmlichen Exzentrerschneckenpumpen aus. Dadurch reduziert sich das Drehmoment der Pumpe auf ein Minimum für eine höhere Energieeffizienz. Eine integrierte Verschleißanzeige informiert jederzeit über den Zustand der Pumpe. Mit dem neuen Überströmdeckel präsentiert das Unternehmen ein im Pumpendeckel integriertes Überströmventil. Dieses löst aus, wenn der eingestellte Öffnungsdruck überschritten wird. Der sich aufbauende Druck vergrößert dabei den Abstand zwischen der Verschlussplatte und den Drehkolben. Aufgrund des vergrößerten Spalts baut sich der Druck wieder ab – das schützt die Drehkolbenpumpe vor Überdruck und Beschä-

© Vogelsang



digungen durch Druckstöße. Wird der eingestellte Öffnungsdruck unterschritten, schließt die Verschlussplatte automatisch. Das integrierte QuickService-Konzept, eine bewegliche Dichtung sowie eine Bewegungsanzeige und ein optionaler Öffnungssensor sind weitere Features des Überströmdeckels. Automatic Supply Unit (ASU) ist ein Dichtungsversorgungssystem, das die Dichtung kontinuierlich mit dem geeigneten Sperrmedium versorgt und den notwendigen Druck in der Sperrkammer aufrecht hält, um die Gleitflächen zu schützen. Das System ist deutlich kleiner als herkömmliche und kann auch in engen Einbauräumen installiert werden. Es erhöht die Lebensdauer der Dichtung um bis zu 100 %.



© Vogelsang

Achema | Halle 8.0 – Stand F64

www.vogelsang.info