



Keywords

- Kohlendioxid
- Direct Air Capture (DAC)
- Abscheidung, Verfahren
- Messtechnik

Kohlendioxid aus der Atmosphäre entfernen

Messtechnik für die Direct Air Capture-Technologien

Direct Air Capture (DAC) ist eine aufstrebende Technologie, die das Potenzial hat, den Klimawandel zu bekämpfen, indem sie direkt Kohlendioxid (CO₂) aus der Atmosphäre entfernt. DAC-Technologien verwenden verschiedene Ansätze, um CO₂ aus der Luft zu extrahieren. Eine gängige Methode besteht darin, Luft durch chemische Lösungen zu leiten, die CO₂ absorbieren können. Das absorbierte CO₂ wird dann isoliert und entweder zur Speicherung oder zur Nutzung in verschiedenen Industrieprozessen verwendet. Messtechnik von Endress+Hauser sorgt für die Effizienz und Sicherheit der Prozesse – und unterstützt dabei, die Verfahren zur Erreichung ihrer Wirtschaftlichkeit möglichst zügig weiterzuentwickeln.

Um Klimaneutralität bis 2050 zu erlangen und den globalen Temperaturanstieg durch den Treibhauseffekt seit Beginn der Industrialisierung auf 1,5 Grad zu begrenzen, sind grundlegende Maßnahmen in allen Sektoren notwendig. Das Hauptaugenmerk der von fossilem Kohlenstoff abhängigen Industrien liegt dabei auf der Dekarbonisierung durch das Vermeiden oder Reduzieren von Emissionen und dem Einsatz von erneuerbaren Energien, grünem Wasserstoff, Steigerungen der Effizienz und der Stärkung der Kreislaufwirtschaft. Allerdings wird das nicht genügen: Laut Weltklimarat lässt sich die Erderwärmung nur entsprechend begrenzen, wenn es zu negativen Emissionen kommt, also der Atmosphäre dauerhaft CO₂ entzogen wird. „Ohne das Abscheiden und anschließende Speichern oder Nutzen des Gases sind die Klimaziele nicht erreichbar“,

betont Oliver Seifert, Mitglied des strategischen Industriernetzwerks Energie und Kraftwerke bei Endress+Hauser.

Von der Theorie in die großtechnische Anlage

Kohlendioxid ist auf diversen Wegen aus der Atmosphäre entfernbar. Zu den naturbasierten Lösungen gehören Aufforstung, Kohlenstoffbindung durch spezielle Landwirtschaft im Boden oder die Pyrolyse von Biomasse zu Biokohle, die dann als Bodenverbesserer wiederum in die Erde eingebracht wird. Da hier der Landverbrauch groß ist, entwickeln etliche Unternehmen aktuell neue technische Lösungen zur Abtrennung von CO₂ direkt aus der Umgebungsluft – so genannte Direct Air Capture-Verfahren (DAC). Das auf diese Weise gewonnene hochreine CO₂ wird dann in geo-

logischen Formationen eingelagert (Carbon Direct Removal) oder direkt als klimaneutraler Rohstoff zur Herstellung synthetischer Kraftstoffe (SAF), von Chemikalien oder als Kohlensäure in der Getränkeindustrie genutzt (CCU – Carbon Capture and Utilization). 2022 waren laut der Internationalen Energieagentur (IEA) weltweit 18 kleinere DAC-Anlagen in Betrieb. Gerade befindet sich der DAC-Markt jedoch an der Schwelle zum großtechnischen Bereich: 2024 soll die erste Anlage mit einer Abscheidungskapazität von bis zu 1 Mio. t CO₂ jährlich in den USA starten.

In der Regel bestehen die bislang eingesetzten Verfahren zur direkten Luft-Abscheidung von CO₂ aus zwei Hauptschritten:

- Zuerst wird die Umgebungsluft mittels Ventilatoren in Kollektoren gesaugt, in denen das CO₂ von den übrigen Luft-Kompo-

nenten separiert und chemisch an ein Trägermaterial gebunden wird (Capture). Bei Solid-Air-Capture-Verfahren (S-DAC) sind das feste Amine auf Filtern, flüssigkeitsbasierte Liquid-Air-Capture-Technologien (L-DAC) nutzen dazu Amin- oder Hydroxidlösungen (Alkalilaugen). Die restliche Luft wird wieder in die Umgebung entlassen.

- Danach wird das CO₂ im so genannten Regenerationsschritt durch erhebliche Energiezufuhr in Form von Wärme vom jeweiligen Sorptionsmittel getrennt, so dass dieses für einen neuen Zyklus bereitsteht und das abgeschiedene Gas nachfolgend gelagert oder weiterverwendet werden kann.

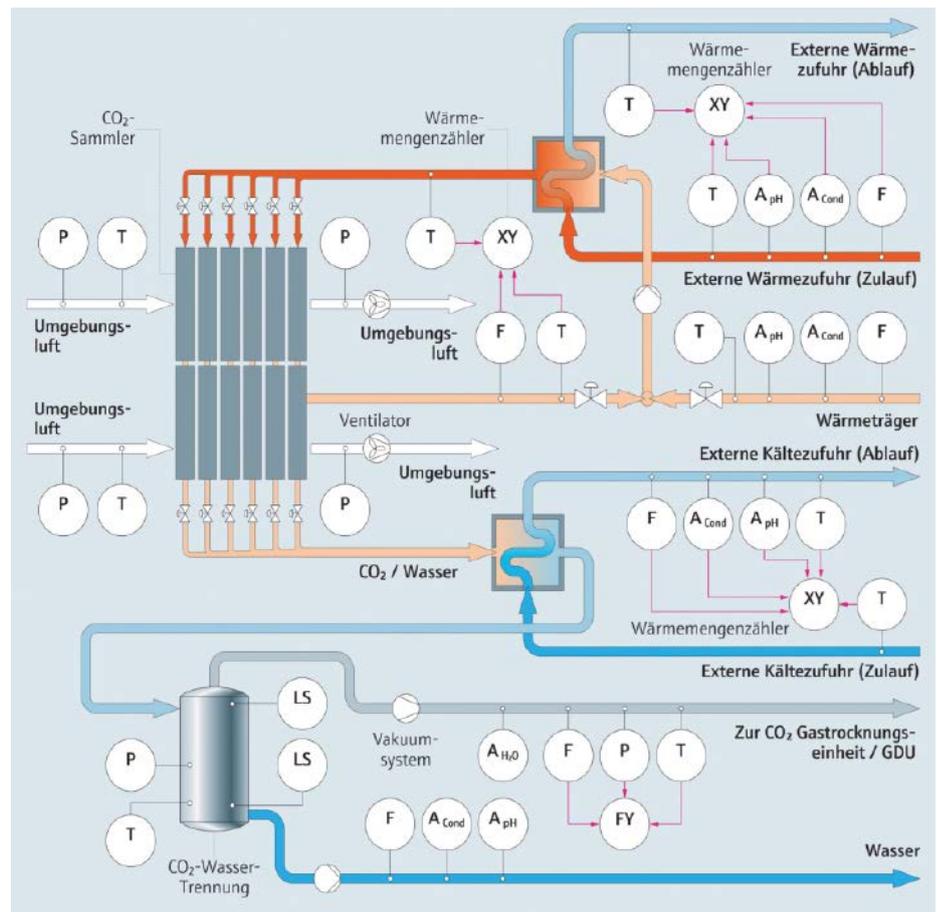
Endress+Hauser hat die Entwicklung dieser Verfahren von Anfang an begleitet: „Wir verfügen heute über ein breites Know-how in diesem Anwendungsbereich mit Tausenden von installierten Sensoren“, sagt Seifert. „Genaue Messungen sind nötig, um die auf chemischen Verfahren basierenden Prozesse sicher und effizient zu machen und ihren besonderen Herausforderungen zu begegnen.“

Die Bedeutung des Drucks: Verfügbarkeit erhöhen

Beispiel Solid-Air-Capture (S-DAC): Hier bindet sich das Kohlendioxid an festen Aminen auf Filtern im Inneren der Kollektoren. Sind diese nach rund zwei bis drei Stunden gesättigt, werden die Kollektoren von der Umgebungsluft getrennt und der Regenerationszyklus beginnt. „Der Differenzdruck steigt durch die zunehmende Sättigung der Filter, daher ist eine Überwachung dieses Prozesswertes entscheidend“, so Seifert. Zu diesem Zweck kann eine Differenzdruckmesszelle wie die Deltabar PMD55B verwendet werden, die den Differenzdruck (DP) direkt liefert. In anderen Anwendungen wird der Druck mit einer Druckmesszelle sowohl am Eingang als auch am Ausgang aller Kollektoren gemessen. Wenn der Differenzdruck einen bestimmten Wert überschreitet, startet die Desorptionsphase.

Die Bedeutung der Temperatur: Effizienz bestimmen

Viele Prozesse rund um Direct Air Capture beinhalten Heizen und Kühlen. „Hier ist die genaue Messung der Temperatur zur Überprüfung der Menge der weitergeleiteten Energie wichtig, um die Effizienz zu überwachen und Energiebilanzen zu erstellen“, sagt Oliver Seifert. Bei S-DAC wird eine heiße Flüssigkeit auf Wasserbasis durch die Filter geleitet, um diese auf circa 100 °C zu erhitzen. Dadurch wird das CO₂-Gas freigesetzt. Dieses und die Feuchtigkeit werden abgesaugt, abgekühlt und der CO₂-Wasser-Trennung zugeführt. L-DAC-Verfahren arbeiten hingegen bei der Desorption



Feststoffbasierter Direct Air Capture (S-DAC) Prozess: CO₂ wird mit Filtern unter Verwendung von festen Aminen aus der Umgebungsluft herausgefiltert. Wenn die Filter gesättigt sind, werden die Filterelemente isoliert. Durch Erhitzen auf Temperaturen von ca. 100 °C wird das abgeschiedene CO₂ wieder abgegeben. Anschließend wird das Gas heruntergekühlt und kondensierendes Wasser wird abgeschieden. Nun wird das produzierte CO₂ weiter behandelt.

mit weitaus höheren Temperaturen. Hier wird das CO₂ im Kollektor z.B. mit Kaliumhydroxid (KOH) aus der Luft ausgewaschen. Die so entstandene Kaliumcarbonat (K₂CO₃)-Lösung wird in einen Reaktor geleitet, in dem Pellets aus Calciumhydroxid (Ca(OH)₂) mit ihr reagieren und festes, feuchtes Calciumcarbonat (CaCO₃) bilden. Im Zyklonvorwärmer wird durch Trocknung der Pellets Kalkstein (trockenes Calciumcarbonat). Dieser wird in einen Kalzinierer überführt, dort auf rund 900 °C erhitzt, wodurch Branntkalk entsteht und das eingefangene CO₂ wieder freigesetzt wird. Danach wird der Branntkalk (CaO) mit Wasser zur Reaktion gebracht, wobei wiederum Calciumhydroxid entsteht, das zurück zum Pellets-Reaktor für den neuen Zyklus gelangt. „Für die vibrierenden Umgebungen der Kalzinier-Anlagen werden typischerweise Thermometer mit iTherm StrongSens-Technologie eingesetzt, selbst Stoß- und Schwingungsfestigkeit von > 60 g können diesen nichts anhaben“, sagt Seifert.

Die Bedeutung der Wasserqualität: Abschaltungen vermeiden

Das bei DAC-Prozessen genutzte Kühl- und Heizungswasser muss überwacht werden, um Probleme mit Korrosion und so kostspie-

lige Abschaltungen der DAC-Anlagen zu vermeiden. Zu diesem Zweck werden Parameter wie pH-Wert, Leitfähigkeit und gelöster Sauerstoff (DO) überwacht. „Bei flüssigkeitsbasierten Ansätzen ist die Überwachung des pH-Werts auch ein wichtiger Parameter, um die Menge des aus der Atmosphäre ausgewaschenen CO₂ zu bestimmen“, erklärt Seifert. Memosens-2.0-Sensoren digitalisieren den Messwert im Sensor und transferieren ihn kontaktlos zum Messumformer. Das verhindert eine Verfälschung der Messwerte durch Feuchtigkeit und Korrosion, sorgt für eine erhöhte Verfügbarkeit der Messstellen und damit störungsfreie Prozesse. Neu können Memosens-Sensoren jetzt das Achtfache an Daten speichern, damit ebnet sie den Weg für vorausschauende Wartung und IIoT-Services.

Die Bedeutung des Füllstandes: Vorräte verwalten

„Der Füllstand spielt bei der Verwaltung des erzeugten CO₂ eine Rolle, das in der Regel in flüssiger Form gelagert wird. Hinzu kommt die Bestandsüberwachung der in den L-DAC-Verfahren verwendeten Lösungen“, erklärt Oliver Seifert. Vibronik-Grenzschalter wie Liquiphant bieten eine zuverlässige Überfüllsicherung, für

kontinuierliche Füllstände werden sowohl Differenzdrucksensoren als auch Radarmesstechnik verwendet.

Die Bedeutung des Durchflusses:

Erfassung der CO₂-Menge

„Die aus der Atmosphäre gewonnene CO₂-Menge ist der wichtigste Leistungsindikator von Direct Air Capture-Anlagen“, sagt Oliver Seifert. Für deren Erfassung gibt es eine Vielzahl von Möglichkeiten: Liegt das CO₂ vor der Abtrennung von Wasser als feuchtes Gas vor, werden Wirbelstrommessgeräte eingesetzt. Der Prowirl F 200 etwa verfügt über eine Druck- und Temperaturkompensation, um Massendurchfluss und Normvolumendurchfluss (z.B. in Nm³) zu erzeugen. Liegt das CO₂ als trockenes Gas vor, werden häufig thermische Massedurchflussmessgeräte wie t-mass 300/500 verwendet. Diese liefern direkt Massen- und Normvolumendurchflüsse. Für die Messung von flüssigem oder überkritischem CO₂ ist Coriolis die beste Technologie, welche den Massendurchfluss bzw. die Dichte mit guter Genauigkeit misst. „Die Dichte ist ein besonders nützlicher Parameter, da sie es ermöglicht, die Qualität

des erzeugten CO₂ zu bestimmen. Die Verschleppung von unerwünschten Komponenten wie Wasser kann so leicht erkannt werden“, erklärt Oliver Seifert.

Investoren und Nationen sehen Direct Air Capture als Zukunftsfeld im Kampf gegen den Klimawandel. Seit 2020 haben Regierungen fast 4 Mrd. USD an Fördermitteln für DAC bereitgestellt; eines der führenden DAC-Startups hat jüngst 500 Mio. EUR in einer Finanzierungsrunde eingesammelt. Bis zur Wirtschaftlichkeit der Technologie gibt es allerdings noch viele Herausforderungen zu lösen: Noch liegt der Preis pro abgeschiedener Tonne CO₂ laut Aussagen der führenden DAC-Unternehmen je nach Verfahren bei 125 bis 800 USD. „Das rührt daher, dass die Konzentration von Kohlendioxid in der Atmosphäre mit 0,04 Vol.% weitaus niedriger ist als in Punktquellen wie im Strom von Rauchgasen. Dadurch ist das Abscheiden entsprechend aufwendiger und energieintensiver“, erläutert Seifert. Schätzungen zufolge benötigen DAC-Technologien 1.400 bis 2.500 kWh an erneuerbarer Energie, um 1 t CO₂ aus der Atmosphäre zu gewinnen. Bis 2050 wollen die Unternehmen den Ton-

nen-Preis auf 41 bis 82 USD senken. Geschehen soll das durch den großskaligen Aufbau der Verfahren, durch Energieoptimierungen und weitere Prozessverbesserungen. „Auch hier bilden hochpräzise Messungen die Basis: Sie helfen, die Prozesse besser zu verstehen und so die Wirkungsgrade der Anlagen zu erhöhen“, sagt Seifert.

Die Autorin

Christine Böhringer,

freie Journalistin, für Endress+Hauser

Wiley Online Library



Endress+Hauser (Deutschland) GmbH+Co. KG,
Weil am Rhein

Tel.: +49 7621 975-01

info.de@endress.com · www.de.endress.com

Taupunktsensoren vor Ort kalibrieren

Viele Taupunktsensoren müssen einmal pro Jahr neu kalibriert werden. In Verbindung mit hochgenauen Kühlspiegelhygrometern ermöglichen Taupunktkalibratoren eine Vor-Ort Kalibrierung von Sensoren und Handgeräten. So müssen die Sensoren nicht ausgetauscht und extern kalibriert werden und hohe Kosten und Stillstände in der Produktion können vermieden werden. Besonders einfach und schnell kalibriert der Taupunktgenerator ADG400 von Process Sensing Technologies (PST). Er basiert auf der volumetrischen Mischung von trockenen und feuchten Gasen und sein Leistungsbereich umfasst -80 °Cdp bis +20 °Cdp Taupunkt. Da das gesamte Gehäuse isoliert und temperaturgesteuert ist, ist die Sättigung und damit die Leistung stabil und reproduzierbar. Das Vollfarb-Touchscreen vereinfacht und beschleunigt die Einrichtung sowie die Bedie-

nung. Es zeigt nicht nur die Status- und Diagnoseinformationen an, sondern erlaubt auch die Auswahl der Betriebsmodi „Manuell“, „Profil“ oder „Fern“. Manuell lassen sich die Sollwerte per Tastendruck ändern. Werkseitig sind elf Sollwerte in 10 °C-Intervallen vorprogrammiert, wodurch Standardkalibrierungen schnell und einfach durchgeführt werden können. Im Profilmodus sind unbeaufsichtigte Kalibrierungen möglich, wenn das Gerät zusammen mit einem Referenz-Kühlspiegelhygrometer Michell S8000 RS oder S8000-100 zum Einsatz kommt. Im Fernbedienungsmodus kann es serielle Befehle über den USB-Anschluss annehmen, um Sollwerte zu ändern. Dadurch lässt sich der Taupunkt-Generator vollständig in ein Software-Kalibrierungssystem des Anwenders integrieren.

www.processsensing.com



© Michell