

Von der Fermenterüberwachung zur Anlagenautomatisierung

Die OptProC GmbH, ein Start-up der Universität Ulm entwickelt optische Messsysteme zur direkten Überwachung des Gärprozesses. Seine Eignung für die Erkennung von Prozessstörungen und zur Kontrolle der flexiblen Substratzufuhr hat das Messsystem bereits bewiesen. Nun wurde erstmalig das CO₂ im Gärsubstrat als Parameter für eine automatisierte Substratzufuhr verwendet.

Von Prof. Dr.-Ing. Marian Kazda, Dr. Sharif Ahmed und M.Sc. Lars Seisser

So lange Biogasanlagen wochenlang mit einer konstanten Leistung arbeiten und immer die gleichen Substrate einsetzen konnten, hat die Prozessstabilität meist wenig Sorgen bereitet. Der Maisdeckel, wechselnde Substrate und die Anforderungen an eine flexible Stromproduktion machen jedoch eine laufende Prozessüberwachung zu einem unerlässlichen Bestandteil des Anlagenbetriebs. Für die Prozessstabilität ist das Gleichgewicht zwischen den ersten drei Abbaustufen Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese einerseits und der Methanbildung andererseits entscheidend. Das CO₂ im Gärsubstrat bildet dieses Gleichgewicht ab. Mit einem europaweit patentierten Verfahren wird über den CO₂-Partialdruck in der Fermentermaische die Prozessbelastung ermittelt und von Handy/PC des Anlagenbetreibers beziehungsweise über die Anlagensteuerung aus dem Cloudspeicher abgerufen. Das Messprinzip und die ersten Anwendungen wurden bereits im BIOGAS Journal 5_2023 ausführlich beschrieben. In diesem Beitrag berichten wir über weitere Praxisanwendungen sowie über die Verwendung der Messdaten zur Automatisierung der Substratzufuhr.

Vorteile des Verfahrens

Der wesentliche Vorzug des OptProC-Verfahrens ist, dass direkt im Gärsubstrat gemessen wird. Somit werden unmittelbar aus dem Gärprozess die wichtigsten Kennzahlen wie Gärtemperatur und Kohlenstoffumsatz halbstündlich abgebildet. Damit konnten wir vielfältige Optimierungsmöglichkeiten des Gärprozesses aufdecken. Das Messsys-

tem zeichnet sich durch Einfachheit und Robustheit für den Einsatz in Biogasanlagen aus. Der kleine Messkopf am Ende der Messlanze muss (als einzige Wartung, auch vom Anlagenbetreiber selbst zu erledigen) spätestens alle sechs Mo-

nate beziehungsweise nach Anzeige in der App getauscht werden. Durch das 30-minütige Messintervall erhält der Anlagenbetreiber die Echtzeitdaten zum Gärprozess. Darüber hinaus werden die Messdaten im Cloudspei-

Tabelle 1: Meldungen über Schwankungen und Abweichungen der pCO₂-Daten vom bisherigen Verlauf (eine ähnliche Hintergrundauswertung läuft auch für die Gärtemperatur)

Code	Meldung
W22	Starke CO ₂ -Zunahme mit großen Schwankungen
W21	Starke CO ₂ -Zunahme mit Schwankungen
W20	Starke CO ₂ -Zunahme im Gärsubstrat
W12	CO ₂ -Zunahme im Gärsubstrat mit großen Schwankungen
W11	CO ₂ -Zunahme im Gärsubstrat mit Schwankungen
W10	CO ₂ -Zunahme im Gärsubstrat
W2	Starke CO ₂ Schwankungen
W1	Schwankungen von CO ₂ im Gärsubstrat
W0	Gleichmäßiger Fermentationsverlauf
-W10	Abnahme von CO ₂ im Gärsubstrat
-W11	Abnahme von CO ₂ im Gärsubstrat mit Schwankungen
-W12	Abnahme von CO ₂ im Gärsubstrat mit großen Schwankungen
-W20	Starke Abnahme von CO ₂ im Gärsubstrat
-W21	Starke Abnahme von CO ₂ im Gärsubstrat mit Schwankungen
-W22	Starke Abnahme von CO ₂ mit großen Schwankungen

Tabelle 2: Interpretation der Messwerte im Gärsubstrat

Messwert bzw. Verlauf	Bedeutung für die Prozessbelastung und die Prozessführung
Einzelne CO ₂ -Spitzen.	Zu schneller Umsatz zugeführter Substrate. Dabei entweicht zu viel CO ₂ in den Gasraum und ist für die Methanbildung nicht mehr nutzbar.
Steigende pCO ₂ -Werte.	Zunehmende Prozessbelastung. Die CO ₂ Produktion in den ersten Stufen des Abbaus übersteigt allmählich den CO ₂ -Verbrauch in der Methanbildung.
CO ₂ im Gärsubstrat liegt Stunden bis Tage über 200 hPa.	Die hohe Prozessbelastung wird von einer Säureakkumulation im Gärsubstrat begleitet. Damit wird der Karbonatpuffer zunehmend belastet und setzt CO ₂ frei, der FOS/TAC Wert steigt.
CO ₂ -Werte im Gärsubstrat waren hoch und sinken aktuell.	Die Prozessbelastung nimmt ab. Bei stark verminderter Substratzufuhr werden Säuren abgebaut, was zum Anstieg der Methangehalte führt.
Langsam abnehmende CO ₂ -Werte.	Verringerte Substratzufuhr.
Schnell fallende CO ₂ Werte.	Unterbrechung der Substratzufuhr.
Gleichzeitiger pCO ₂ -Anstieg und fallende Temperaturwerte.	Bildung einer Sinkschicht. Bei fehlender Durchmischung kann das Biogas aus dem Substrat nicht entweichen (pCO ₂ -Anstieg) bei gleichzeitig schlechter Wärmeleitung.
Kurzfristiger Temperaturabfall um einige °C.	Einbringung kalter Gülle o.Ä. bei unzureichender Durchmischung. Solche Temperaturschocks treffen die Methanbildner hart, dadurch wird der Prozess durch schlechte Gasqualität ineffizient.

cher bei jedem neuen Messwert einer statistischen Analyse unterzogen. Diese vergleicht die aktuellen Messwerte mit den bisherigen und erstellt zweistufige Warnmeldungen bei Schwankungen und Abweichungen. Die Tabelle 1 zeigt die Meldungen zum pCO₂ im Gärsubstrat. Die pCO₂ Messung im Gärsubstrat ist ein schnelles Überwachungsverfahren. Für ein neues Messverfahren ist es allerdings auch wichtig, die Bedeutung der Messwerte zu erklären (siehe Tabelle 2).

Beispiele aus der Praxis:
Zu viel ist zu viel

Viele Anlagen mit strompreisorientierter Vermarktung beziehungsweise mit Wär-

menetzen verschieben ihre Produktion in die kalte Jahreszeit. Die meisten Anlagen wurden aber für eine gleichbleibende Substratzufuhr ausgelegt, was zu einer überdurchschnittlichen Prozessbelastung im Winterhalbjahr führt. Das Beispiel in Abbildung 1 zeigt den monatlichen Verlauf der pCO₂-Werte. Der Fermenter wurde seit Mitte Dezember einer zunehmenden Belastung vor allem durch die Fütterung von Zuckerrüben ausgesetzt. Die kleineren Anstiege zeigen tageweise Belastungen durch eine teilflexible Fütterung, die sehr hohen Einzelwerte einen zu schnellen Substratumsatz. Mitte Januar kam es zu einem raschen Anstieg der pCO₂-Werte beglei-

tet von Methangehalten um 48 Prozent, ein deutliches Zeichen für Übersäuerung. Nach einem intensiven Austausch mit dem Anlagenbetreiber wurde die Substratzufuhr (insbesondere Zuckerrübe und Getreideschrot) stark reduziert und die pCO₂-Werte stabilisierten sich wieder. Eine nachträgliche wirtschaftliche Bewertung der Ertragseinbußen wegen niedriger Methangehalte als Folge von Überfütterung und Versauerung wurde mit mehr als 3.000 Euro beziffert. Wenn man die Anzeigen des Messsystems rechtzeitig befolgt hätte, hätte man dies vermeiden können, ohne das Messsystem wäre der Schaden möglicherweise noch größer geworden. ►

Dunkelflauten aussteuern

Um den 12. Dezember 2024 führte die Wetterlage mit kaum Wind- und Solarenergie zu sehr hohen Strompreisen. Wie die Abbildung 2 zeigt, hat der Anlagenbetreiber durch eine stark erhöhte Substratzufuhr (vor allem durch Zuckerrübe) die Biogasproduktion angeschoben, um die Strompreisspitzen auszunutzen. Für die Prozessstabilität blieb dies ohne Folgen, da später die Substratzufuhr wieder zurückgenommen wurde. Die $p\text{CO}_2$ -Werte stabilisierten sich im Bereich zwischen 160 und 180 hPa.

Die Abbildung 3 zeigt einen Screenshot des Werteverlaufs von drei Tagen aus der OptProC-App. Hinzugefügt wurden die Mengenänderungen an Substratzufuhr jeweils um 1 Uhr (Reduktion) sowie eine Aufstockung um 12 Uhr, jeweils um etwa 1/3 der stündlichen Menge. Diese Mengengaben wurden jeweils für sechs Stunden beibehalten.

Diese Fahrweise hat sich bewährt, um für die abendlichen Strompreise zeitgerecht genügend Gas zu haben. Aus der Abbildung 3 ist ersichtlich, dass die $p\text{CO}_2$ -Werte diese variable Substratzufuhr gut abbilden. Darüber hinaus zeigt sich, dass ein deutlicher Anstieg der Prozessaktivität in rund vier Stunden nach der Einbringung von Maissilage einsetzt. Die hier dargestellte Reaktion der CO_2 -Werte im Gärsubstrat auf die Substratzufuhr ermöglicht umgekehrt, diese Zufuhr nach einem $p\text{CO}_2$ -Sollwert zu steuern.

Substratzufuhr über das CO_2 im Gärsubstrat automatisieren

Eine Automatisierung soll den Zeitaufwand für den Betreiber reduzieren und den Anlagenbetrieb gleichzeitig stabiler und effizienter machen. Das Hauptsubstrat der mit dem OptProC-System überwachten Biogasanlage waren stärkehaltige pumpbare Einsatzstoffe von unterschiedlicher Qualität und Abbaugeschwindigkeit. Dadurch war der Gärprozess oft sehr instabil, mit Mindererträgen einerseits und Fermenterübersäuerung und schlechter Gasqualität andererseits. Unser Messsystem wurde so konfiguriert, dass der $p\text{CO}_2$ -Messwert in ein Spannungssignal umgesetzt und von der Anlagensteuerung übernommen wird. Nach diesem Spannungssignal wird dann die Pumpleistung angepasst. Bei steigenden $p\text{CO}_2$ -Werten wird die Subs-

Abbildung 1: $p\text{CO}_2$ im Gärsubstrat einer 1,3-MW_{el}-Anlage bei steigender Prozessbelastung. Die Einzelspitzen von mehr als 240 hPa zeigen zusätzliche Effizienzverluste durch überschüssiges CO_2 aus schnell abbaubaren Substraten

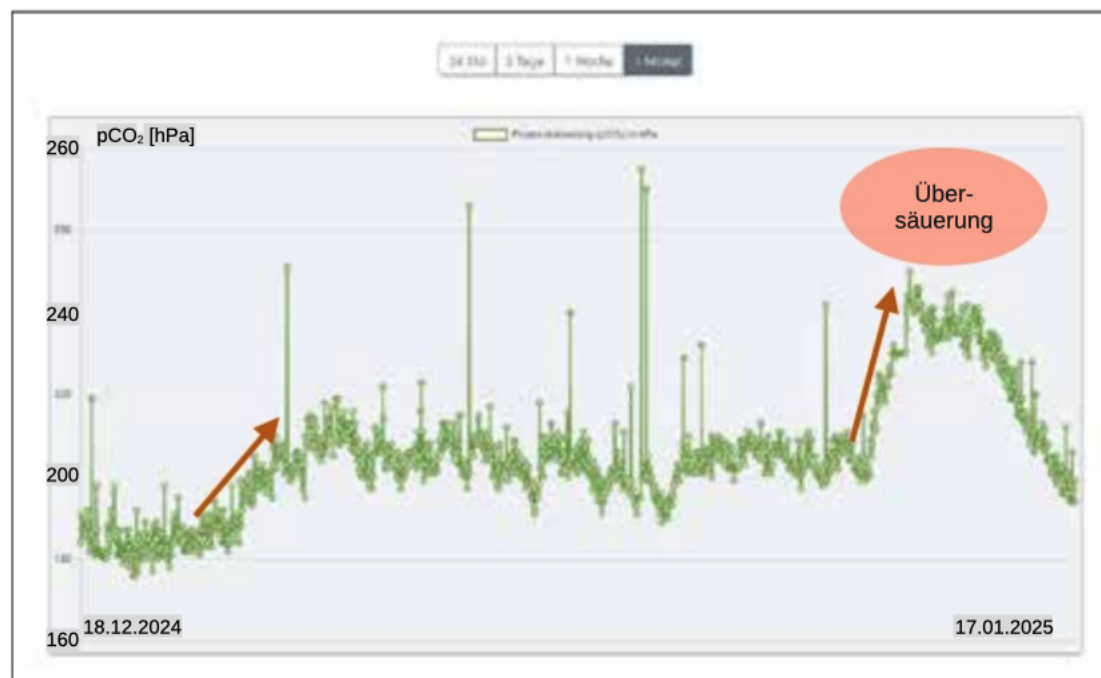
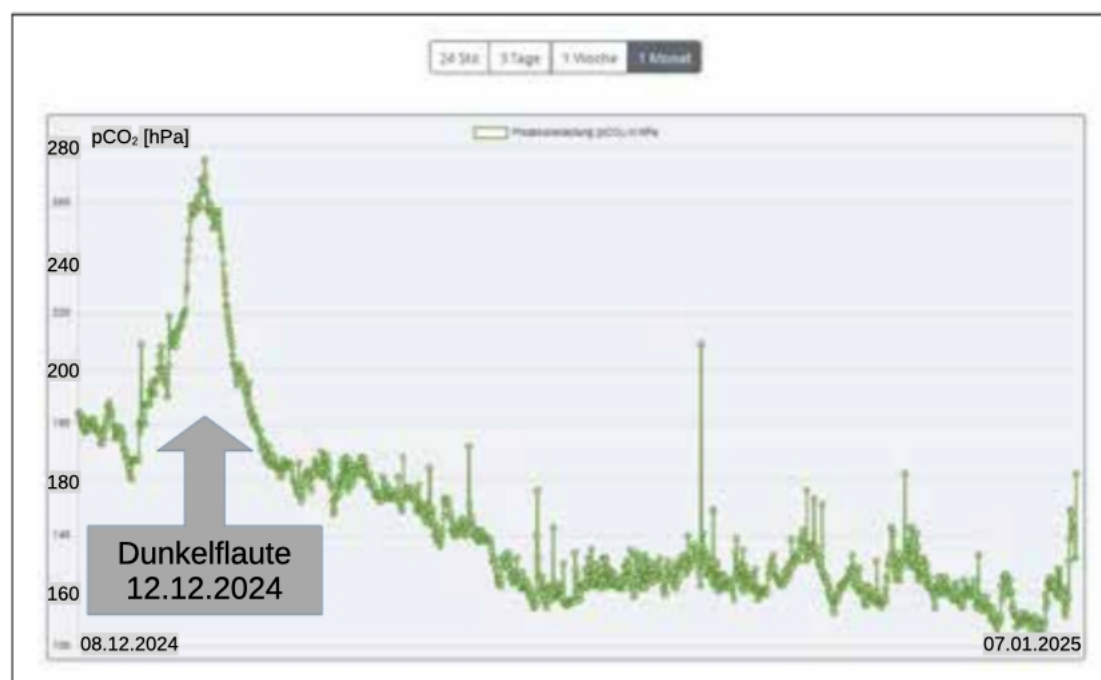


Abbildung 2: $p\text{CO}_2$ im Gärsubstrat während der Spitzenbelastung bei der Dunkelflaute am 12. Dezember 2024 in einer hochflexiblen 3,5-fach überbauten Anlage (installierte Leistung 3,5 MW_{el})



tratzufuhr stufenweise reduziert, und umgekehrt. So läuft die Vergärung trotz schwankender Substratqualität deutlich gleichmäßiger, wie es aus der beiliegenden Darstellung der Monatsmesswerte ersichtlich wird (siehe Abbildung 4).

Die starken Ausschläge der CO_2 -Werte im Gärsubstrat bei manueller Steuerung der Substratpumpe führen immer wieder zu höheren CO_2 -Gehalten im Biogas und dadurch verminderter BHKW-Leistung. Wird dann die Substratzufuhr zu stark beziehungsweise zu spät re-

duziert, hat die Fermenterbiologie zu wenig Substrat, was andersherum den Gasertrag mindert.

Über die OptProC-Messung im Gärsubstrat wird halbstündlich (also 48 Mal am Tag) die Pumpleistung über die $p\text{CO}_2$ -Werte angepasst. Dadurch läuft die Vergärung gleichmäßiger und deutlich effizienter. Nach Aufzeichnungen des Anlagenbetreibers konnten durch die Automatisierung die BHKW im Vergleich zu vorher mit einer um etwa 15 Prozent höheren Leistung betrieben werden. ►

Der Weg zur Automatisierung

Die halbstündige Erfassung der Prozessaktivität und der Gärtemperatur hat offensichtlich einen Mehrwert für den Betreiber. Effiziente Prozessführung senkt Substratkosten, reduziert Störungen und den Zeitaufwand für den Anlagenbetreiber. Letzteres insbesondere dann, wenn die Messwerte in die Prozesssteuerung Eingang finden und Teile des Anlagenbetriebs automatisieren können. Wie ist der Weg dorthin?

Der Einbau des pCO_2 -Messsystems erfolgt über eine Lanze, die in den flüssigen Fermenterinhalt eintaucht. Danach wird über WLAN die Verbindung zum Cloudspeicher hergestellt und die Software aktiviert. Damit beginnt eine vierwöchige Testphase. Danach kommt die Entscheidung über den Kauf und ob die Implementierung in die Anlagensteuerung angestrebt oder das Messsystem inklusive Warnungen weiterhin eigenständig betrieben wird. Der einfachere Weg in die Anlagensteuerung ist über den direkten Abruf aus dem Cloudspeicher, der auch die Warnmeldungen (siehe Tabelle 1) mit einschließen kann. Alternativ kann ein Spannungssignal aus der Auswerteeinheit des pCO_2 -Messsystems in die Anlagensteuerung geleitet werden.

Während der ganzen Zeit werden halbstündlich Daten zum Fermenterbetrieb gesammelt, die für die Parametrisierung des PID-Controllers der Anlagensteuerung verwendet werden. Die eigentliche Implementierung erfolgt dann über den Hersteller der Anlagensteuerung. In der Cloud werden weiterhin Daten im Hintergrund ausgewertet, was eine Nachjustierung der Steuerung nach Erfordernissen des Anlagenbetriebs ermöglicht. Die Zielgröße ist dabei ein pCO_2 -Sollwert, der für bestimmte Betriebszustände (=Anlagenleistung) typisch ist.

Die OptProC strebt eine automatisierte Anlagensteuerung an, die die künftige Strompreisentwicklung berücksichtigt und mit einem entsprechenden Vorlauf (siehe Abbildung 3) die Substratzufuhr auf der Grundlage des pCO_2 -Sollwertes regelt. Die Expertise von OptProC liegt in der Prozessüberwachung mittels optischer Sensorik. Für eine Weiterentwicklung zu einer automatisierten Biogasanlage sind wir offen für Kooperationen mit Anlagenbauern sowie Herstellern von Anlagensteuerungen. ●

Abbildung 3: Reaktion der Prozessbelastung auf die flexible Substratzufuhr in einer 2,5-fach überbauten Biogasanlage. Zu beachten ist die Verzögerung zwischen der erhöhten Zufuhr von Maissilage und dem CO_2 -Anstieg im Gärsubstrat

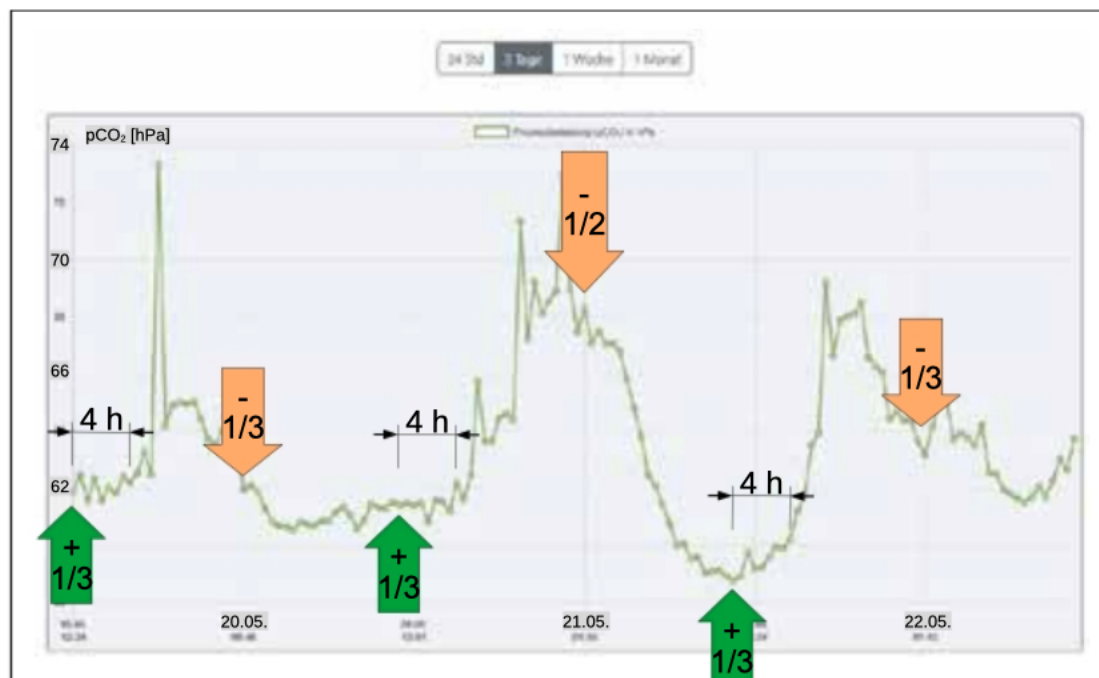
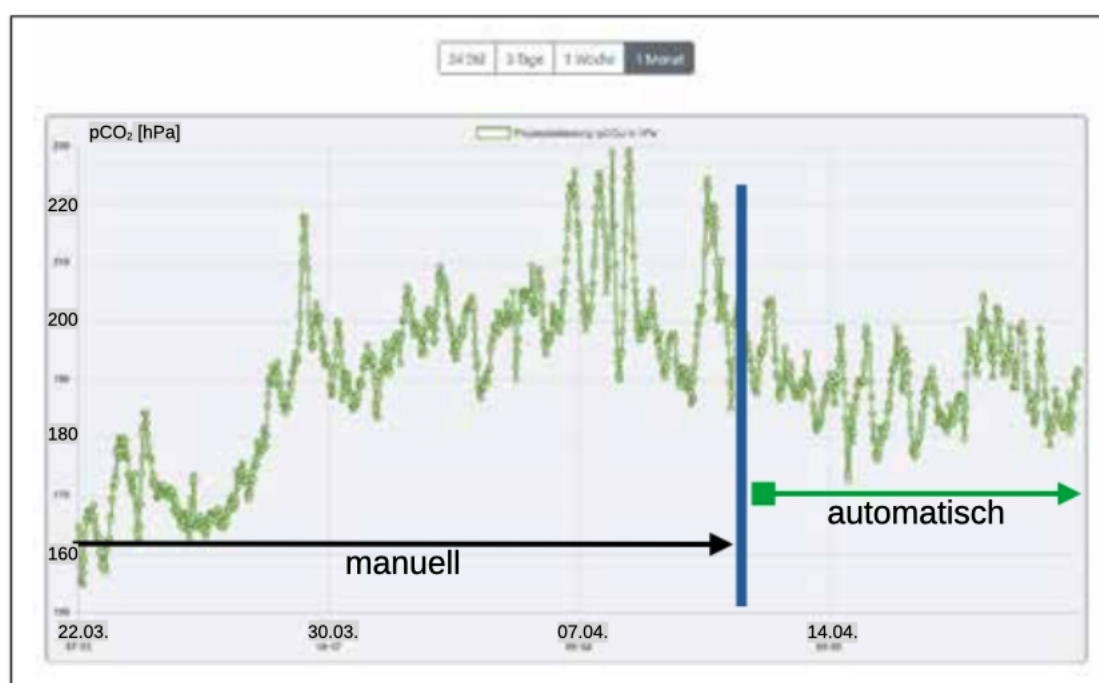


Abbildung 4: Verlauf der pCO_2 -Werte im Fermenter einer Biogasanlage mit manueller bzw. automatisierter Steuerung der Einbringpumpe



AUTOREN

Prof. Dr.-Ing. Marian Kazda

Dr. Sharif Ahmed

M.Sc. Biologie Lars Seisser

OptProC GmbH

Kelternweg 75 · 89075 Ulm

☎ 01 74/19 41 857

✉ info@optproc.de

🌐 www.OptProC.de