

DuoCondex-Verfahren

Abluftreinigung und Lösemittelrückgewinnung
durch Kryokondensation



Die Produktion chemischer Grundstoffe oder die Verwendung von Lösemitteln in der chemischen und pharmazeutischen Industrie haben häufig die Emission von Gasen und Dämpfen zur Folge.

Oft entstehen dabei Abgasströme von einigen $100 \text{ m}^3 / \text{h}$, die mit leichtflüchtigen organischen Substanzen (VOCs: volatile organic compounds) hoch beladen sind. Die Reinigung derartiger Abgasströme durch Absorptions- oder Adsorptionsverfahren führt zur Verlagerung der Schadstoffe vom Gasstrom in die verwendeten Waschflüssigkeiten oder Adsorbentien.

Auch die Abluftverbrennung ist oft problematisch, insbesondere bei Anwesenheit halogener (vorwiegend chlorierter) Substanzen.

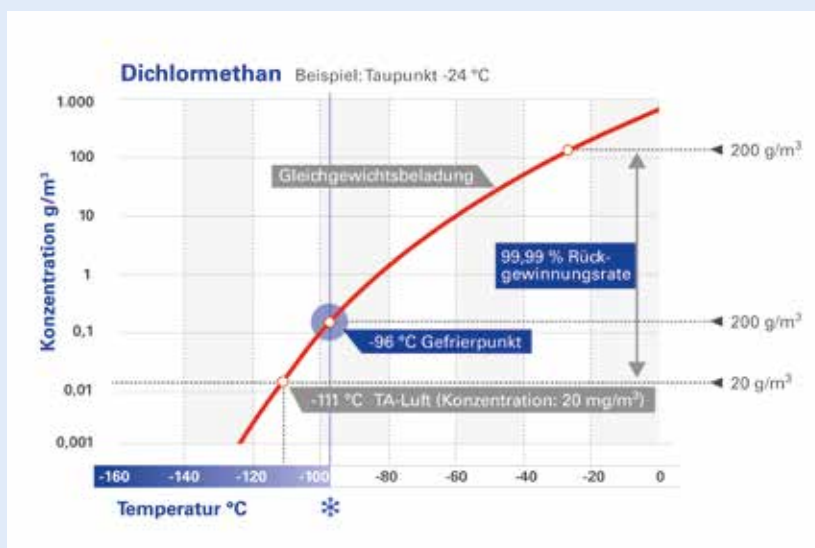
Kondensationsverfahren gehen einen umweltfreundlichen Weg. Eine Reduzierung der Emissionen bis auf die von der TA - Luft (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft; Bundesimmissionsschutzgesetz, Deutschland) geforderten Grenzwerte ist dabei aber nur möglich, wenn flüssiger Stickstoff (Siedetemperatur: $-196 \text{ }^\circ\text{C}$) zur Kühlung der Kondensatoren verwendet wird. Nur dann lassen sich die in der Abluft vorhandenen Lösemittel, Benzindämpfe oder Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) praktisch vollständig kondensieren oder ausfrieren und somit zurückgewinnen.

Beispielsweise muss für die Rückgewinnung des häufig verwendeten leichtflüchtigen Lösemittels Dichlormethan (CH_2Cl_2) aus einem Abgasstrom die Temperatur auf unter



$-111 \text{ }^\circ\text{C}$ abgesenkt werden, um die Reingaskonzentration auf $20 \text{ mg} / \text{m}^3$ zu reduzieren.

Da typischerweise die Rohgasbeladungen solcher Abgasströme mehrere $100 \text{ g} / \text{m}^3$ betragen sind Rückgewinnungsraten von über 99.99 % erreichbar.



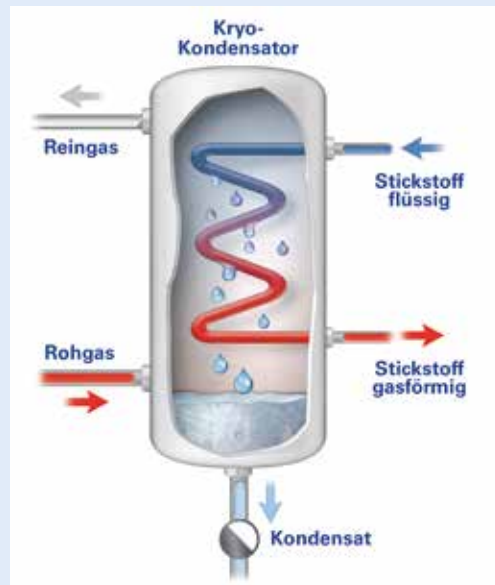
Beladungsdiagramm für Dichlormethan

- Typische Abgasströme weisen eine Beladung von mehreren $100 \text{ g} / \text{m}^3$ auf.
- Zur Erreichung einer Reingaskonzentration von $20 \text{ mg} / \text{m}^3$ wird das Lösemittel teilweise ausgefroren (Schmelzpunkt: $-96 \text{ }^\circ\text{C}$).
- Bei einem idealen Kondensationsprozess ist zum Unterschreiten des TA - Luft-Grenzwertes eine Prozessgastemperatur von $-111 \text{ }^\circ\text{C}$ erforderlich (Gleichgewichtstemperatur).
- Rückgewinnungsraten von über 99.99 % sind erreichbar.

Kryokondensator – gekühlt mit flüssigem Stickstoff: guter Ansatz, problematischer Einsatz

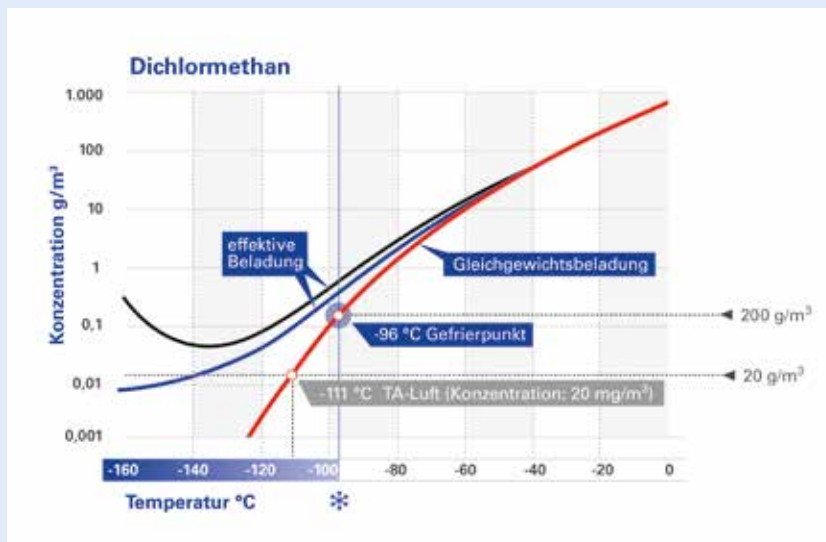
Im einfachsten Fall werden zur Kühlung der Abgasströme Wärmeaustauscher (Kryokondensatoren) verwendet, in denen das Prozessgas im Gegenstrom zu flüssigem Stickstoff auf Temperaturen von -100 °C bis -160 °C abgekühlt wird.

Der dabei verdampfende Stickstoff kühlt jedoch die Apparate so stark ab, dass die Schadstoffe grösstenteils ausfrieren und schnell den Gasweg blockieren. Ausserdem entstehen Aerosole, feinste Nebeltröpfchen, die im Kryokondensator kaum abgeschieden werden und deshalb die Reinigungswirkung des Apparates stark beeinträchtigen. Das führt dann dazu, dass die tatsächliche Prozessgasbeladung deutlich höher ist als man aufgrund von Dampfdruckberechnungen (Gleichgewichtsbeladung) erwarten würde.



Kryokondensation (schematisch)

- Beladenes Abgas durchströmt einen Wärmetauscher (Kondensator).
- Der Kondensator wird mit flüssigem Stickstoff gekühlt.
- Die Schadstoffe verflüssigen sich oder sie gefrieren an den kalten Wärmetauscherflächen und werden so vom Abgas getrennt.



Beladungsdiagramm für Dichlormethan

- **rot:** Gleichgewichtsbeladung (berechnet auf Basis des Dichlormethan - Dampfdrucks).
- **blau:** DuoCondex - Verfahren (praktisch erreichbare Beladung).
- **schwarz:** Anstieg der Prozessgasbeladung trotz weiterer Temperaturabsenkung bei zu schroffer Abkühlung (wegen der Aerosolbildung).

DuoCondex - Verfahren: sauber und effizient

Diese Nachteile werden durch das von Messer entwickelte und patentierte DuoCondex - Verfahren vermieden.

Der zur Abkühlung des Prozessgases erforderliche Wärmetauscher wird hier nicht durch flüssigen, sondern durch kalten, gasförmigen Stickstoff gekühlt.

Dadurch ist die Temperaturdifferenz zwischen Prozessgas und Kühlmedium im Inneren des Wärmetauschers viel geringer als bei der Kühlung mit flüssigem Stickstoff.

Dies bewirkt, dass die zu kondensierenden Stoffe sich hauptsächlich verflüssigen und kaum noch ausfrieren.

Ausserdem wird auf diese Weise die Nebelbildung effektiv vermieden und die Abgase lassen sich ohne weitere Behandlung bis auf die von der TA-Luft geforderten Grenzwerte reinigen.

Verfahrenstechnik: die Prozessführung macht den Unterschied

Die besondere Prozessführung beim DuoCondex - Verfahren ermöglicht die Kühlung des Wärmetauschers (Kryokondensator) mit gasförmigem Stickstoff bei vollständiger Ausnutzung der Verdampfungsenthalpie und der sensiblen Kälte des Kühlmediums. Dies geschieht durch die Vorschaltung eines Thermocontrollers.

Der Kryokondensator einer DuoCondex - Anlage ist auf der Kühlmittelseite in zwei getrennte Rohrbündelstränge unterteilt (Doppel - Kondensator).

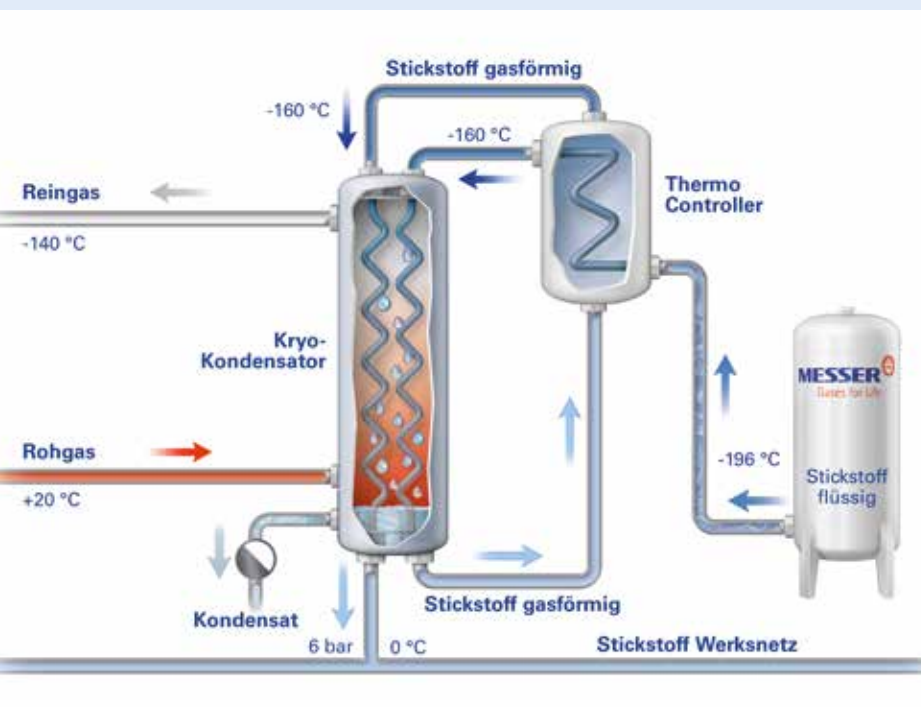
Der zur Kühlung erforderliche gasförmige Stickstoff wird über den vorgeschalteten Thermocontroller bereitgestellt.

In diesem Apparat verdampft der flüssige Stickstoff und wird dem ersten Strang des Kryokondensators zugeführt.

Die zur Verdampfung erforderliche Wärme erhält der Thermocontroller aus dem im Kryokondensator angewärmten Kühlgas des ersten Rohrbündelstranges.

Da die verfügbare Wärme etwa genauso gross ist wie die Verdampfungsenthalpie des Stickstoffs, lässt sich der Gasstrom aus dem ersten Rohrbündelstrang fast bis zur Stickstoff - Siedetemperatur abkühlen und dann dem zweiten Rohrbündelstrang zuführen.

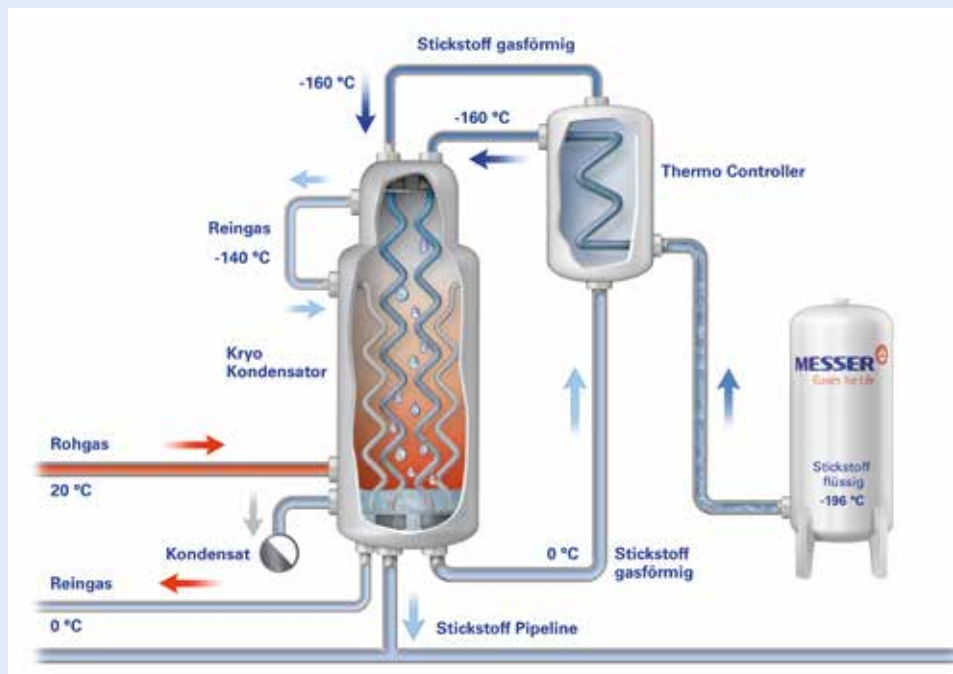
In einem dritten Rohrbündel kann die Kälte des gereinigten Abgases genutzt werden. Dieses Rohrbündel ist parallel zu den beiden Stickstoff - Rohrbündeln angeordnet und rekuperiert die Reingaskälte. Dadurch lassen sich der Flüssigstickstoffbedarf des Verfahrens erheblich reduzieren und der Kondensationsprozess weiter verbessern.



DuoCondex - Verfahren (Grundprinzip)

- Durch den Einbau von zwei getrennten Rohrbündeln in einen Apparat (Doppel - Kondensator) entsteht eine thermodynamische Parallelschaltung auf der Prozessgasseite bei gleichzeitiger Serienschaltung für die Strömung des Kühlstickstoffs.
- Aus jedem kg Flüssigstickstoff entstehen verlustfrei 2 kg kalter gasförmiger Stickstoff zur Kühlung des Apparates.

- In einem dritten Rohrbündel wird die wertvolle Kälte des gereinigten Abgases ideal rekuperiert.
- Der Flüssigstickstoffbedarf sinkt erheblich und der Kondensationsprozess nähert sich dem theoretischen Optimum an.



DuoCondex - Anlagen: individuell und wirtschaftlich

DuoCondex - Anlagen werden als individuelle Lösungen angeboten. Besonderer Wert wird dabei auf die Wirtschaftlichkeit der Installationen gelegt. Deshalb werden die Anlagen meist mit Rekuperatoren geliefert, in denen die Kälte des gereinigten Gasstromes rückgewinnbar und somit der Stickstoffbedarf sehr gering ist. Meist lässt sich auch der zur Kühlung benötigte flüssige Stickstoff als Gas in ein Stickstoff - Werksnetz einspeisen und somit doppelt verwenden.

Durch entsprechende Auslegung der Rekuperatoren lassen sich die Betriebskosten dann minimieren und die Investitionskosten optimieren.

In vielen Fällen können die auskondensierten Stoffe direkt zur Produktion zurückgeführt werden. Dies führt zu weiteren Einsparungen bei den Betriebskosten.

Optionen: so vielfältig wie Ihre Ansprüche

Bei besonders hohen Ansprüchen an die Reingasbeladung integrieren wir einen zusätzlichen Ausfrierapparat in den Prozessgasweg.

So lassen sich auch sehr tiefsiedende Stoffe (z.B. FCKW - Fluorchlorkohlenwasserstoffe) oder sogar gasförmige Substanzen aus dem Abgas entfernen.

Trotz idealer Prozessführung lässt sich die Eisbildung in den Kryokondensatoren in der Regel nicht vollständig vermeiden. Insbesondere wenn Wasserdampf (Luftfeuchtigkeit) im Abgas vorhanden ist, entsteht so viel Eis in den Apparaten, dass diese täglich (z.B. über Nacht) abgetaut werden müssen.

Für einen vollkontinuierlichen Betrieb sind dann zwei-strängige Anlagen erforderlich.

Während ein Strang im Reinigungsbetrieb arbeitet wird der andere Strang abgetaut.

Diese und viele weitere Optionen berücksichtigen wir bei der Gestaltung Ihrer Projekte.



DuoCondex - Doppelanlage

- Aufgrund der Eisbildung im Kondensator müssen Kryokondensationsanlagen in der Regel täglich abgetaut werden. Für einen vollkontinuierlichen Betrieb sind dann zwei-strängige Anlagen erforderlich. Während ein Strang im Reinigungsbetrieb arbeitet wird der andere Strang abgetaut.
- Das Bild zeigt eine zwei-strängige DuoCondex - Anlage mit einem in den Prozessgasweg integrierten Vorkondensator zur Reduzierung der Wasserdampfbeladung für die Kryokondensatoren.

Sonderfälle: z.B. Rückgewinnung von Methylchlorid (CH₃Cl)

Oft sind die Abgasreinigungsaufgaben so komplex, dass eine Kombination verschiedener Verfahren oder sehr individuell gestaltete Lösungen gefragt sind. Beispielsweise sind für die Rückgewinnung des gasförmigen Methylchlorids (CH₃Cl) hohe Kondensationsleistungen bei einer Temperatur in der Nähe seines Siedepunktes erforderlich. Ausserdem bildet dieser Stoff viel Eis wegen seines beim Schmelzpunkt von -98 °C immer noch sehr hohen Dampfdrucks.

Zusätzlich muss beachtet werden, dass der Stoff nach der Kondensation nicht wieder rückverdampft, was wegen seines tiefen Siedepunktes (-24 °C) leicht passiert. Beim Engineering für eine solche Anlage sind deshalb zusätzlich zum eigentlichen Kondensationsprozess auch noch das Kondensathandling und die verlustfreie Rückführung des kondensierten Gases zur Produktion oder zur Entsorgung zu berücksichtigen.



Rückgewinnungsanlage für Methylchlorid

- Die Anlage hat eine Kondensationsleistung von 2'000 kg / h CH₃Cl (Batch - Betrieb).
- Nachgeschaltete Ausfrierstufen reduzieren die Restgasbeladung auf TA - Luft Grenzwerte.
- Zwei gekühlte Vorlagebehälter ermöglichen die verlustfreie Rückführung des verflüssigten Lösemittels zur Produktion.
- Über die Anlage lassen sich die Produktionsbehälter evakuieren, sodass auch im Produktionsbetrieb keine unerwünschten Methylchlorid - Emissionen entstehen.

Die Anlage kann prozessgasseitig auch im Unterdruck betrieben werden.

Dadurch lassen sich die angeschlossenen Behälter evakuieren, und auch in der Produktionsanlage des Kunden entstehen keine unerwünschten Methylchlorid-Emissionen.

Pilotanlage: Testen Sie DuoCondex!

Der praktische Versuch ist der beste Weg, die Leistungsfähigkeit unter Beweis zu stellen. Gerne demonstrieren wir das Verfahren bei Ihnen vor Ort mit unserer für einen Gasstrom von 200 m³ / h ausgelegten mobilen Pilotanlage.

Unter realen Betriebsbedingungen lassen sich die für eine Projektierung erforderlichen Daten am sichersten ermitteln.



Pilotanlage für Kundenversuche

Ihre Vorteile auf einen Blick

- Abluftreinigung bei gleichzeitiger Rückgewinnung der Lösemittel.
- Kostenersparnis durch Wiederverwertung der Lösemittel.
- Einhaltung der Grenzwerte der TA - Luft.
- Volle Nutzung der latenten und sensiblen Kälte des flüssigen Stickstoffs.
- Doppelnutzung des flüssigen Stickstoffs: Im Prozess verdampfender Stickstoff wird als Inertisierungsgas weiterverwendet.
- Individuelle Anlagenauslegung mit vielen Optionen.
- Pilotanlage für Versuche in Ihrem Betrieb vorhanden.



MESSER 
Gases for Life

Messer Schweiz AG
Seonerstrasse 75
5600 Lenzburg
Telefon 062 886 41 41
info@messer.ch
www.messer.ch