

BMU-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben

„EPPI: Energieeffizienter Prozess zur Herstellung von hochreinem Isobuten“

NKa3 - 003423

Zuwendungsempfänger/-in

OMV Deutschland Operations GmbH&Co.KG

Umweltbereich

Klimaschutz

Laufzeit des Vorhabens

vom 13.06.2019 bis 31.10.2020

Autor

Jürgen Popp

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare
Sicherheit**

Datum der Erstellung

01.10.2021

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 90030/141	Projekt-Nr.: 3423
Titel des Vorhabens: „EPPI: Energieeffizienter Prozess zur Herstellung von hochreinem Isobuten“	
Autor: Popp, Jürgen	Vorhabenbeginn: 13.06.2019
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.10.2020
Zuwendungsempfängerin: OMV Deutschland Operations GmbH & Co. KG Haiminger Strasse 1 84489 Burghausen	Veröffentlichungsdatum:
	Seitenzahl: 20
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Bei dem von BASF und OMV neu entwickelten Prozess ist das Ziel, hochreines Isobuten zu gewinnen, das einen bedeutenden Grundstoff der chemischen Industrie darstellt. Isobuten ist ein Nebenprodukt aus der Mineralölverarbeitung, das in einem Gemisch anderer Komponenten ähnlicher Struktur (sog. C4-Gemische) anfällt. Aus diesem Gemisch muss Isobuten bisher in zwei wesentlichen Schritten gewonnen werden, da die direkte Gewinnung in der erforderlichen Reinheit effizient nicht möglich ist. Es wird ein Zwischenprodukt reaktiv erzeugt, das leicht abzutrennen ist, aber wieder aufgespalten werden muss. Der neue Prozess hat das Ziel, aus dem bei OMV anfallenden C4-Gemisch die für die Qualität kritischen Komponenten in chemisch so zu verändern, dass im folgenden Trennschritt Isobuten mit der erforderlichen Reinheit gewonnen werden kann. Das neu entwickelte Verfahren benötigt weniger Energie als bisherige Verfahren (ca. 10%) und arbeitet auf einem deutlich niedrigeren Energieniveau. So war es möglich, eine Wärmeintegration mit der vorgelagerten Anlage zu realisieren und damit die Energieaufwendung für den Prozess auf mehr als 80% gegenüber den bisher bekannten Verfahren zu reduzieren. Dadurch kann der CO ₂ Ausstoß bei einer Anlage mit einer Kapazität von 60.000 Tonnen Isobuten um ca. 20.000 Tonnen verringert werden. BASF wird als Lizenzgeber und Verarbeiter des Isobuten mit dem Produkt aus diesem Verfahren andere Hersteller von hochreinem Isobuten ersetzen, die mit dem bisherigen Verfahren erzeugen, und so den CO ₂ -Footprint der Isobuten-Herstellung deutlich senken.	
Schlagwörter: Isobuten, Energieeffizienz, Wärmekopplung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: Elektronischer Datenträger:	Sonstige Medien: Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite:

Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 90 030/141	Project–No.: 3423
Report Title: „EPPI: Energieeffizienter Prozess zur Herstellung von hochreinem Isobuten“	
Author: Popp, Jürgen	Start of project: 13.06.2019
	End of project: 31.10.2020
Performing Organisation: OMV Deutschland Operations GmbH & Co. KG Haiminger Strasse 1 84489 Burghausen	Publication Date:
	No. of Pages: 20
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
<p>Summary (max. 1.500 characters):</p> <p>BASF and OMV developed a process to produce High Purity Isobutene which represents an important feed for chemical industry.</p> <p>Isobutene is a by-product from crude oil processing that is part of a mixture of other similar components (so called C4 Hydrocarbon mixture).</p> <p>Isobutene is traditionally extracted out of this mixture with an intermediate process step, because direct extraction is impossible due to inseparable contaminants that violate the purity of the product.</p> <p>So up to now it is necessary to form an intermediate product via etherification that can be easily removed from the C4 hydrocarbon mixture. This intermediate product needs to be split up again in a following process step.</p> <p>BASF and OMVs new process is using the mixture of C4 Hydrocarbons out of an existing process and modify critical components chemically so that Isobutene in high purity quality can be achieved via a distillation step.</p> <p>The newly developed process basically requires (app. 10%) less energy than the currently used technologies, it also operates at a significant lower energy level. This enables the use of existing heat source to be integrated to cover most of the energy demand and thus results in a total of 80% less energy consumption versus existing technologies.</p> <p>So a plant of a capacity of 60.000 tons of Isobutene achieves a reduction of app. 20.000 tons CO₂ emissions per year.</p> <p>BASF is both licensor and processor of high purity Isobutene. The newly at OMV site Burghausen produced Isobutene will replace product from traditional producers and thus significantly reduce the CO₂-Footprint of BASF product chain.</p>	
Keywords: Isobuten, energy efficiency, thermal coupling	

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einleitung	4
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	4
1.2. Ausgangssituation	4
2. Vorhabenumsetzung	8
2.1. Ziel des Vorhabens	8
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	9
2.3. Umsetzung des Vorhabens	10
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	11
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	11
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung	11
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung	11
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	12
3.3. Umweltbilanz	13
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse	14
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	15
4. Übertragbarkeit	16
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung	16
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	16
4.3. Kommunikation der Projektergebnisse	16
5. Zusammenfassung/ Summary	17

1. Einleitung

1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Die OMV Deutschland Operations GmbH mit Unternehmenssitz in Burghausen ist ein wichtiger Versorger von Mineralölprodukten und petrochemischen Grundstoffen in Süddeutschland. Sie ist eine 100%-Tochter des OMV Deutschland GmbH, einer Tochter der OMV Refining GmbH, einem integrierten, internationalen Öl- und Gaskonzern mit Sitz in Wien, Österreich. Die Aktivitäten umfassen das Raffineriegeschäft. Das Unternehmen betreibt am Standort Burghausen eine petrochemische Raffinerie zur Herstellung von Mineralölprodukten im sogenannten Mitteldestillatbereich (Diesel, Heizöl, Kerosin) und petrochemischen Produkten. Die Raffinerie Burghausen verfügt über eine jährliche Verarbeitungskapazität von rund 3,8 Mio. Tonnen Rohöl. Über Pipelines ist die Raffinerie Burghausen mit den Tanklagern Steinhöring und Feldkirchen verbunden. Die OMV Deutschland Operation GmbH erwirtschaftet mit durchschnittlich 400 Mitarbeitern Umsatzerlöse von 4.067 Mio. € (inkl. Energiesteuer). Das Unternehmen ist nach ISO 50 001 zertifiziert.

1.2. Ausgangssituation

Situation am Standort der OMV Raffinerie Burghausen

Die OMV Deutschland Operation GmbH betreibt am Standort Burghausen eine petrochemische Raffinerie. Dort sind unter anderem eine Anlage zur Erzeugung von Ethylen und Propylen über Naphtha-Spaltung, sogenannte Steam-Cracker und Ethylen Anlage im Einsatz. Eine Anlage zur Erzeugung von Butadien aus einer C⁴¹-Fraktion und eine Metathese Anlage zur Erzeugung von Propylen und eine Aromaten-Anlage zur Benzol-Erzeugung sind installiert. Untenstehende Abbildung 1 bildet diesen petrochemischen Komplex vereinfacht ab.

¹ Kohlenwasserstoffe mit vier Kohlenstoffmolekülen, wie Butadien, 1-Buten, 2-Buten, Isobuten und Butanen

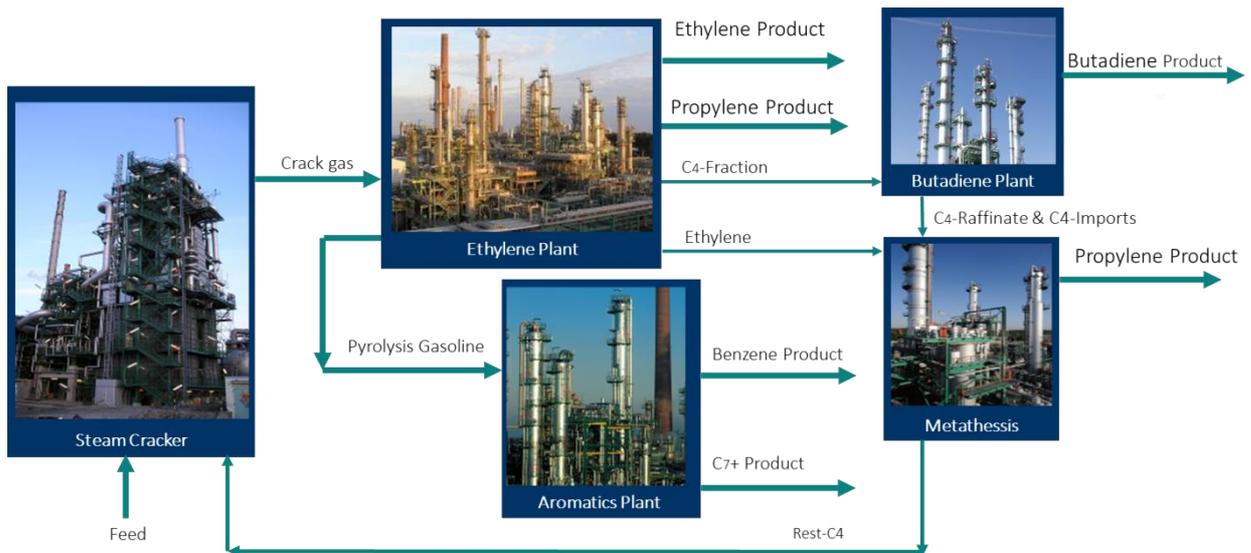


Abbildung 1 - Übersicht über den petrochemischen Komplex (Quelle OMV Deutschland Operations)

In die Steam-Cracker wird überwiegend Naphtha, aber auch leichte Gase und LPG (ein C3-/C4-Gemisch) als Feed (Einsatz) gefahren. Das gespaltene („gecrackte“) Produkt wird in der Ethylen-Anlage überwiegend zu Ethylen und Propylen umgewandelt. Als Nebenprodukte entstehen unter anderem eine C4-Fraktion und eine Pyrolyse-Benzin Fraktion. Für dieses Vorhaben liegt der Fokus in der Wertschöpfung des C4-Gemisches.

Da dieses Gemisch aus verschiedenen C4-Kohlenwasserstoffen wie Butadien, 1-Buten, 2-Buten, Isobuten und Butanen besteht, werden diese Komponenten in den nachgeschalteten Anlagen zu verkaufsfähigen hochreinen Produkten umgewandelt.

Als erstes kann Butadien extraktiv aus dem Gemisch entfernt werden. In der Metathese wird aus 1-Buten und 2-Buten per Umlagerung mit Ethylen ein hochreines Propylen erzeugt. Es verbleibt ein Gemisch, hier als Rest-C4 Strom bezeichnet, der wiederum als Einsatz zu den Steam-Crackern recycelt wird. Dieses Gemisch enthält einen sehr hohen Anteil an Isobuten-Molekülen von mehr als 50%.

Isobuten ist in hochreiner Form ebenfalls ein Grundstoff der chemischen Industrie, vergleichbar Ethylen, Propylen und Butadien. Es wird unter anderem zur Erzeugung von Klebstoffen, Schmierstoffen und als Vorprodukt zur Vitamin-Erzeugung verwendet.

In der vorliegenden Mischung ist das Produkt nicht verkaufsfähig und muss deshalb in eine verkaufsfähige Reinform („Hochreines Isobuten“) umgewandelt werden.

Situation der Herstellung von hochreinem Isobuten:

Zurzeit wird hochreines Isobuten aus C4-Gemischen aus Ethylen Anlagen über die Zwischenstufe der Etherbildung und Ether Spaltung gewonnen (bei OMV wurde dieses Zwischenprodukt bisher wieder als Einsatz in die Steam-Cracker verwendet und nicht aufbereitet).

Dabei findet die Etherbildung durch chemische Reaktion von Isobuten mit einem Alkohol, zum

Beispiel Methanol zu MTBE² statt. MTBE kann durch seinen höheren Siedepunkt destillativ abgetrennt werden. Es verbleibt ein Gemisch an C4-Komponenten. Das MTBE ist als Zwischenprodukt wiederum der Einsatz für eine katalytische Spaltung, bei dem hochreines Isobuten entsteht und das rückgewonnene Methanol wieder für die Etherbildung verwendet wird.

Diese Prozesse sind energieintensiv, da in beiden Schritten eine erhebliche Energiezufuhr erforderlich ist, um die chemischen Reaktionen und die Prozessführung zu ermöglichen.

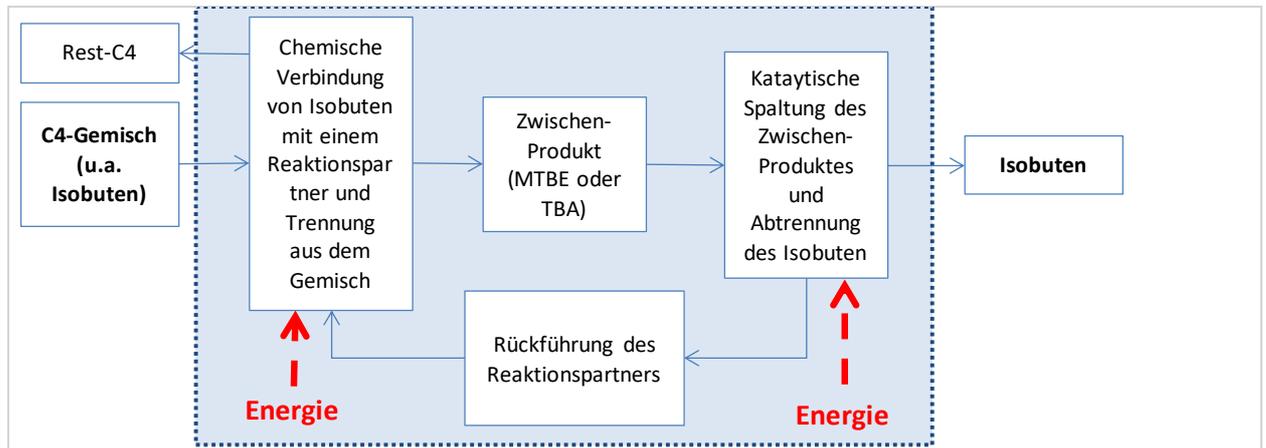


Abbildung 2 - Fließschema für bestehenden Prozess zur chemischen Umwandlung von Buten-1

Projekt- Initiative der OMV:

Die Kooperation von BASF und OMV entstand durch die Initiative der OMV, mit dem Ziel ein Gemisch von C4-Kohlenwasserstoffen, das einen hohen Anteil an Isobuten enthält, zu hochreinem Isobuten aufzuwerten.

Da die Bildung von MTBE zur chemischen Abtrennung des Isobutens von kritischen Verunreinigungen nicht erwünscht war, musste eine anderer Prozess Schritt für die Entfernung kritischer Verunreinigung gewählt werden.

Alternativ zur Umwandlung in MTBE gibt es die Option, dass die kritische Verunreinigung in diesem C4-Gemisch, das Molekül 1-Buten in die weniger kritische Komponente 2-Buten umgewandelt wird. Diese sogenannte Isomerisierung ist ein bekannter Reaktionsmechanismus, der in selektiven Hydrierungen als Nebenreaktion auftritt. Hierbei wurde deshalb die Kernkompetenz der BASF als Hersteller der Katalysatoren für C4-Hydrierungen genutzt, um für die selektive Isomerisierung von 1-Buten einen geeigneten Katalysator und die optimalen Prozessbedingungen zu erarbeiten.

BASF hat zu diesem Zweck Versuche mit Produkt von OMV im Technikum durchgeführt, um die Wirkungsweise der chemischen Umwandlung zu testen. Das erhaltene Produkt wurde in einer Prozess Simulation destillativ aufgetrennt. Das erhaltene Isobuten Produkt konnte die von BASF geforderte Spezifikation erfüllen. Die Energie zur Auftrennung wurde aber mit ca.

² Methyl-tert-butylether

15 MW als zu hoch eingeschätzt, um eine wirtschaftliche Herstellung von Isobuten zu erhalten. OMV hat auf Basis der Produkteigenschaften und Katalysatoreffizienz eigene erweiterte Simulationen angestrengt, die die Isobuten-Destillation wärmetechnisch mit einer vorhandenen Kolonne der Metathese-Anlage verschalten hat.

Die wärmetechnische Verschaltung der beiden Kolonnen ergab, dass die Prozesswärme aus der bestehenden Kolonne als Wärmequelle der neuen Isobuten-Kolonne von Menge und Niveau ausreichend ist, und damit ca. 80% des Wärmebedarfes gedeckt werden können. Die verbleibenden ca. 20% sind zur Stabilisierung des Wärmehaushaltes beider Kolonnen als externe Quelle in Form von Niederdruckdampf gedeckt.

Ein großer Teil des nutzbaren Wärmepotentials konnte dadurch erreicht werden, dass der Druck im neuen IsoC4-Splitter minimiert wurde. Dadurch kann mehr Wärme übertragen werden, es sind jedoch größere Apparate erforderlich, um die Wärme zu transportieren.

Auf Basis der Verknüpfung von chemischer Umwandlung und Energie optimierter Destillation entstand ein Prozess-Konzept zur Erzeugung von hochreinem Isobuten mit einem Energie-Bedarf, der um mehr als 80% unter dem Bedarf bestehender Technologien liegt.

Im folgenden Kapitel, der technologischen Beschreibung der Projekt-Idee, ist ein Fließschema des neuen Prozesses von und OMV abgebildet.

Der Vergleich der spezifischen CO₂-Emissionen pro Tonne Produkt lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Gemäß TEHG und der DEHSt wird für die Produktion von High Value Chemicals aus Steam-Crackern Prozessen ein Emissionswert von 0,702 t CO₂ / t Produkt als Benchmark zugeteilt.

Bei bisherigen Verfahren zur Isobuten-Erzeugung liegt die Emission bei ca. 0,380 t CO₂ / t Produkt, im beiliegenden Vergleich liegt der Wert für das geplante Verfahren bei ca. 0,063 t CO₂ / t Produkt.

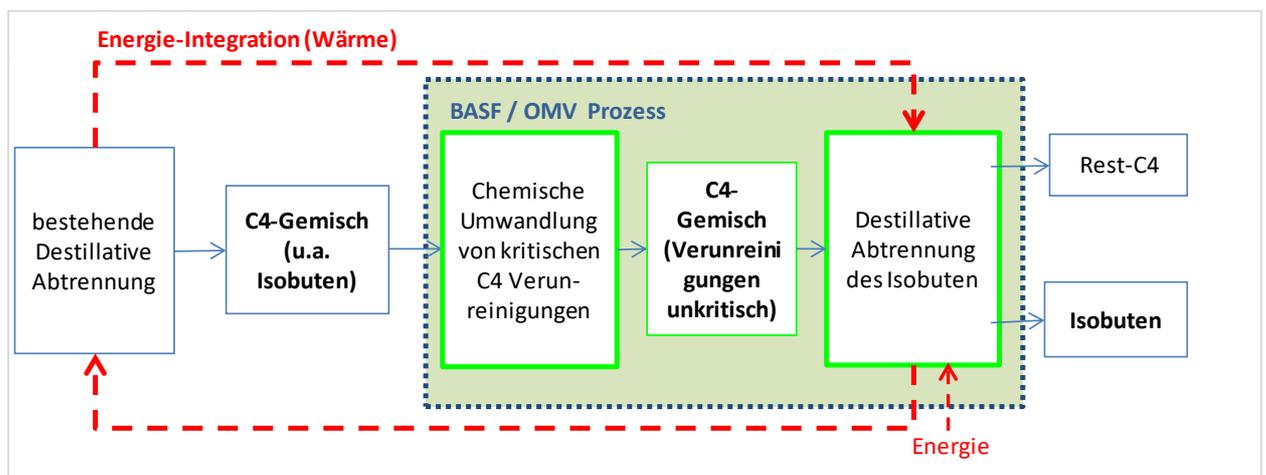


Abbildung 3 - Fließ-Schema für den neuen Prozess zur Erzeugung von Isobuten

2. Vorhabenumsetzung

2.1. Ziel des Vorhabens

Energie-Einsparung und verbleibender Energie-Bedarf durch den neuen Prozess von BASF und OMV:

Wie oben beschrieben, wurde die Prozess-Variante, ein Zwischenprodukt (MTBE) zu erzeugen und danach wieder zu spalten, aus Gründen des bekannten Energie-Bedarfes nicht gewählt. Die als Alternative zur Verfügung stehende Isomerisierung ist ein Prozess, der bei niedrigen Temperaturen läuft und daher einen sehr niedrigen Energiebedarf hat. Die Menge an Dampf zur Steuerung der Temperatur ist daher sehr gering und wird im Gesamtverbrauch des Dampfes miterfasst.

Der Hauptteil der Energie ist in der destillativen Trennung des C4-Gemisches in einer Superfraktionierung notwendig. Diese besteht aus zwei kombinierten Kolonnen mit je ca. 100 Trennböden und einer Höhe von je 60 Metern. Dort sind ca. 15 MW thermische Energie erforderlich, um die Heizleistung der Aufkocher bereitzustellen. Im Fall der OMV Anlage wären dies ca. 18,6 Tonnen Dampf pro Stunde.

Durch die Auslegung der Trennkolonne bei sehr niedrigem Druck sollte das Temperaturniveau dieses Apparates gesenkt werden, sodass Prozesswärme aus einer benachbarten Kolonne der Metathese-Anlage genutzt werden kann.

Dabei soll das gasförmige Kopfprodukt direkt aus dem Kolonnenkopf der Metathese-Anlage zum Aufkocher der Isobuten Kolonne geleitet werden und dient so als Heizmedium. Der so abgekühlte Metathese Produktstrom wird wieder direkt zurück in das Kopfsystem der Kolonne der Metathese geleitet. Da es dort bereits gekühlt ankommt wird entsprechend weniger Energie an Kühlmedium benötigt.

Das Kühlmedium ist Kühlwasser, das in einem Rückkühlwerk mit Luftkühlern im Umlauf betrieben wird.

Die Reduzierung an Kühlwassermenge wurde mit ca. 900 Tonnen pro Stunde veranschlagt, die weniger zirkuliert und gekühlt werden müssen. Die Einsparung an elektrischem Strom für die Pumpen und die Kühler wurden in der ersten Energiebetrachtung nicht berücksichtigt, da sie im Kühlturmsystem schwer zu bilanzieren sind.

Eindeutig messbar und bilanzierbar ist jedoch die Menge an Dampf, die für den Betrieb der neuen Kolonne erforderlich ist.

Die direkte Wärmeintegration in den bestehenden Metathese Prozess bewirkt also, dass Energie aus dem vorgeschalteten Prozess entnommen wird und nicht per Dampf aus einer mit Erdgas befeuerten Dampferzeugung benötigt. Dadurch können ca. 80 % des Wärmebedarfes gedeckt werden. Eine damit verbundene Einsparung von ca. 16 Tonnen Dampf pro Stunde wird angestrebt. Bei Erzeugung dieser Wärmemenge in einem Dampfkessel, würden ca. 20.000 t CO₂ pro Jahr entstehen.

Es verbleibt gemäß Auslegung ein Restbedarf von ca. 2,4 Tonnen Dampf pro Stunde.

2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Prinzip der direkten Wärme-Integration:

Basis für die Energieeinsparung ist eine direkte Nutzung von vorhandener Prozesswärme als Wärmeenergie.

Im Zuge des Vorhabens wurde ein großer Anteil des warmen Gases aus dem Kopf der Metatheseanlage (in Abbildung 4 linksoben) umgeleitet und, statt mit Kühlwasser kondensiert zu werden, direkt zu den Aufkochern der neue Isobutenkolonne geleitet (in Abbildung 4 halb-rechts). Dort wird flüssiges Produkt aus dem Sumpf der Kolonne verdampft. Das kondensiert Produkt wird wieder zurück zur Kolonne in der Metathese Anlage gefahren und in flüssiger Form als Rückfluß der Kolonne genutzt.

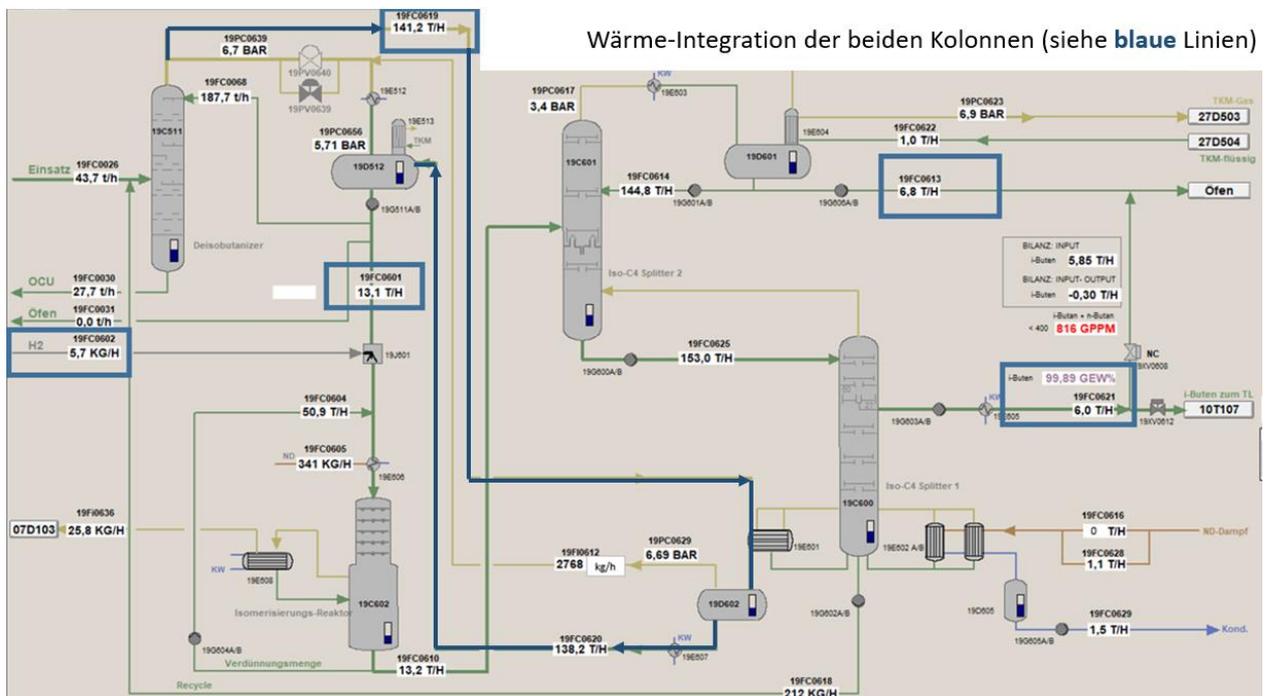


Abbildung 4 - Fließ-Schema für die Abbildung der Wärme-Integration (Quelle: OMV)

Auslegungsdaten:

Die im Betrieb befindliche Kolonne arbeitet bei ca. 7 Bar Druck und liefert Prozesswärme in Form von über 200 Tonnen pro Stunde Kopfdämpfe bei einer Temperatur von ca. 65°C. Diese Dämpfe werden mit Kühlwasser der Temperatur 20 bis 24 °C kondensiert und gekühlt.

Die neue Isobutenkolonne arbeitet bei einem Druck von ca. 4 bar. Dadurch liegt die Sumpftemperatur dieser Kolonne bei lediglich 50 °C. Es entsteht dadurch ein Temperaturgefälle von ca. 10°K, das für die Übertragung der Wärme zur Verfügung steht. Die auf ca. 55°C gekühlten und kondensierten Kopfgase werden als Kondensat wieder zurück in die ursprüngliche Ko-

lonne in den Rückflussbehälter geführt. Da dieses Produkt bereits gekühlt ist, entfällt der entsprechende Anteil an Kühlung durch das Kühlwasser.

Die Dimensionen des neuen Isobuten Splitters sind wegen des für die Energie-Rückgewinnung optimierten Designs erheblich vergrößert worden. Es mussten die Wärmeübertrager im Isobuten-Kolonnen-System in einer speziellen Bauart mit aufwendigem Bündeldesign gewählt werden, das die Wärmeübertragung bei einem derart geringen Temperaturgefälle ermöglicht. Das war erforderlich, um das Ziel der Energie-Einsparung realisieren zu können.

2.3. Umsetzung des Vorhabens

Nach Genehmigung der vorzeitigen Vorhabenbeginnes im Juni 2019 konnte mit der Realisierung des Vorhabens begonnen werden.

Im Fokus standen in der ersten Phase des Vorhabens die Detailauslegung der Hauptapparate (z.B. der beiden großen Kolonnen und der Wärmeübertrager), sowie die Einbindung des Vorhabens in die Bestandsanlage. Gründe dafür waren die erwarteten langen Lieferzeiten und ein mögliches Zeitfenster für eine Realisierung von Arbeiten an der laufenden Anlage.

Im weiteren Ablauf wurden die weiteren erforderlichen Apparate ausgelegt und bestellt, sowie die Aufstellungskonzept der Apparate im Anlagenbaufeld entwickelt. Daraus wurde die Basis für die Planung und Ausführung der erforderlichen Elemente zur Einbindung der Anlage in die Raffinerie abgeleitet.

Im Baufeld konnte somit die Vorbereitung der Aufstellungsfläche und die Erstellung der Apparate Fundamente erfolgen. Zeitgleich wurde die Detailplanung der Anlage, also die die Apparate verbindenden Rohrleitungen und Auslegung und Anordnung der Messinstrumente abgewickelt.

Im Frühjahr 2020 begannen die Auswirkungen der Corona-Pandemie auf die Abwicklung des Vorhabens.

Durch die Corona Pandemie bedingt wurde die Lieferung von Materialien und Montagearbeiten beeinträchtigt. Es jedoch konnte durch geeignete Überwachung der Montage negative Auswirkungen auf den Ablauf vermieden werden. Entscheidend hierfür war, dass fast alle kritischen Bestellvorgänge zum Ende des Jahre 2019 abgeschlossen waren.

So wurde im Laufe des Jahres das gelieferte Material in der neuen Anlage verbaut, wobei Montagearbeiten in reduzierten Teamgrößen und versetzten Arbeitszeiten und mit erweiterter Sicherheitsausrüstung (z.B. Masken) durchgeführt wurden, um die Anforderungen der Corona Pandemie einzuhalten.

Dadurch wurde die Inbetriebnahme mit wenigen Wochen Verspätung erfolgreich gemäß der geplanten Strategie umgesetzt.

Die Inbetriebnahme erfolgte hierzu im Zeitraum Oktober 2020 in drei Stufen:

- Inbetriebnahme des neuen Reaktors zur Isomerisierung

- Inbetriebnahme der Destillation
- Inbetriebnahme der Wärme-Integration

Durch die fehlerfreie Planung und Montage der Anlage konnte diese nach der Erstinbetriebnahme seit diesem Zeitraum ohne Modifikation kontinuierlich ohne technische Probleme weiter betrieben werden.

Die Mehraufwendungen auf Seiten der Lieferanten konnten einvernehmlich bewertet und unter Einhaltung des Budgets für das Vorhaben beglichen werden. Die dazu erforderlichen Klärungen wurden in einem für ein Projekt dieser Größe zeitlich akzeptablen Rahmen abgewickelt.

2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

In Zuge der Projekt-Abwicklung wurde ein Genehmigungsverfahren gemäß BImSchG durchlaufen, das eine entsprechende Betriebsgenehmigung für die neu errichtete Anlage erwirkte.

2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die neu errichtete Anlage wurde mit einer für die Belange des Betriebes und der Betriebssicherheit erfüllenden Anzahl von Messungen ausgestattet, die eine vollautomatische Anzeige und Speicherung der Daten bewirkt.

Das bedeutet, dass alle Messwerte von Mengen, Drücke, Temperaturen, Stände in Behältern, Produktqualitäten, Laufmeldungen von Pumpen etc., die kontinuierlich über Messinstrumente in der Anlage erzeugt werden in eine zentrale Messwarte übertragen werden. Dort sitzen fachlich umfänglich ausgebildete Mitarbeiter, die die Anlage steuern.

Die Technologie der Firma Honeywell der Bauart Experion PKS ist für alle Anlagen der Raffinerie Burghausen einheitlich gewählt, sodass auch die bestehenden Anlagen in derselben Konzeption überwacht werden.

Die Speicherung der Daten erfolgt auf einer Plattform, die alle Messwerte für den Betrieb der Raffinerie Burghausen überwacht.

Sämtliche Messwerte aus den Produktionsprozessen werden im Minutentakt erfasst und gespeichert. Die Struktur der Datenerfassung liefert eine Historie über die gesamte Betriebsdauer der relevanten Anlagenbereiche. Die Abfrage kann sowohl graphisch (als Trendkurve) als auch in Form einer z.B. EXCEL-Abfrage aus der Datenbank extrahiert werden.

Für die Ermittlung und Auswertung der Energie-Bilanz der Anlage wurden Mengenmessungen für alle relevanten Produktströme und Energie-Einspeisungen installiert.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung

Da das Prozess-Konzept der BASF und der OMV im Wesentlichen aus Modulen und Apparaten

besteht, die in der Industrie bekannt sind, konnte das Vorhaben wie in der Konzeptionierung geplant realisiert werden.

Sowohl in der Auslegung und Beschaffung der Materialien waren die Ingenieurpartner und Lieferanten in der Lage, die Anforderungen erfolgreich umzusetzen.

Durch die sich im Jahr 2020 ausbreitende Corona Pandemie wurden jedoch die Montagearbeiten stark beeinträchtigt. Es entstanden zusätzliche Anforderungen an die Firmen bezüglich Ausrüstung, Ablauf und Überwachung der Arbeiten, die zu einigen Wochen längerer Montage Tätigkeit führte, jedoch durch eine reibungslose Inbetriebnahme der Anlage weitestgehend kompensiert wurde.

Es konnte somit ein Monat später als ursprünglich geplant im Oktober 2020 mit der Inbetriebnahme und dem Probetrieb begonnen werden. Da sowohl die Planungsfirmen als auch das Betriebspersonal mit dem Betrieb der neu installierten Apparate Erfahrung hatten, konnte schon nach kurzer Zeit Isobuten mit der geforderten Reinheit zur Bemusterung durch unsere Kunden ausgeliefert werden.

Die Energieintegration konnte wenige Tage später ebenfalls gestartet werden. Dabei wurde die Menge an Kopfgas, die zur Heizung in die nachfolgende Kolonne eingesetzt wird, in kontrollierten Schritten angehoben, ohne dass es zu Störungen im Betrieb gekommen ist.

Positiv überraschend ist, dass das neue Verfahren in einem sehr großen Bereich an Produktionsmengen sehr stabil die erforderliche Produktqualität liefern kann. Industrie üblich ist ein sogenannter „Turn-Down“ Betrieb bis ca. 70% der Auslegungsmenge, der neue Prozess kann flexibel zwischen 30 % und 110% der Designmenge Produkt erzeugen. Auch die Steuerung des Energie-Bedarfes über die installierte Wärmeintegration ist in diesen Situationen stabil zu betreiben.

Durch die Corona Pandemie bedingte geringe Nachfrage an Mineralölprodukten konnte die Anlage bis zum Zeitraum der Berichterstellung nicht voll ausgelastet werden. Daher wurde ein Zeitraum im ersten Quartal dieses Jahres gewählt (siehe oben), der dem Design der Anlage mit einer Auslastung von >85% über die Dauer eines Monats sehr nahekommt und daher als repräsentative Basis angesetzt wurde.

3.2. Stoff- und Energiebilanz

Für die Messungen der Stoff- und Energieströme liegen Daten aus einer vollkontinuierlichen Überwachung der Anlage vor, die schon im Zuge der Abnahmetests gegenüber dem Lizenzgeber BASF und Lieferanten geprüft und als geeignet eingestuft wurden.

Dieses Messprinzip umfasst alle Produktströme, sowie die Dampfmengen, die dem Prozess als Wärme-Energie zugeführt werden.

Es wurde zur Darstellung der Anlagenbilanzierung (Mengen- und Energiebilanz) ein Zeitraum von 31 Kalendertagen, vom 28.01.2021 bis 27.02.2021 mit dem Betrieb der Isobuten Anlage

in einem vergleichbaren Zeitraum des Vorjahres verglichen, also 21.03.2020 bis 20.04.2020, um den Effekt saisonaler Einflüsse und temporärer Einflüsse im vernachlässigbaren Rahmen zu halten.

Die Dauer des Testbetriebes ist damit signifikant länger als der in der Industrie üblichen Zeitraum für Garantieläufe gegenüber Lizenzgebern und Lieferanten.

Im Zeitraum der Bilanzierung wurde eine Produktion von 6,04 Tonnen pro Stunde Isobuten erzielt, bei einem Dampfverbrauch von ca. 1,6 Tonnen pro Stunde.

Bezogen auf die in der Auslegung der Anlage erzielbare Menge an Isobuten von 6,95 Tonnen pro Stunde wurde ein Dampfverbrauch von 2,4 Tonnen pro Stunde erwartet.

Somit konnte sowohl im absoluten Verbrauch eine Unterschreitung von 0,7 Tonnen pro Stunde erzielt werden, als auch relativ ein Wert von 0,27 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt bilanziert werden gegenüber dem Erwartungswert von 0,34 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt. Somit kann der Erwartungswert der Energieeinsparung schon nach wenigen Monaten Probetrieb erreicht werden.

Die Menge an Einsparung von Kühlwasser in der Metathese liegt bei ca. 700 t/h und damit unter dem Erwartungswert von 900 t/h.

Zeitgleich wird ein mittlerer Verbrauch von Kühlwasser von ca. 1.400 t/h über eine eigens für die Bilanzierung des Verfahrens installierte Messung erfasst. Dieser liegt tiefer als der Erwartungswert für Kühlwasserverbrauch von ca. 2.200 t/h. Da die beiden Anlagen aus dem gleichen Kühlwasser System gespeist werden resultiert dort ein zusätzlicher Bedarf an elektrischer Leistung an den Pumpen mit ca. 88 kW. Dieser ist im gesamten Energiebedarf mitberücksichtigt (siehe Abschnitt 3.3).

Eine weitere Steigerung der Energieeffizienz wurde, wie schon im Antrag beschrieben, an den Steam-Crackern der Ethylen-Anlage beobachtet mit einer weiteren Reduzierung der CO₂-Emissionen (siehe Abschnitt 3.3).

3.3. Umweltbilanz

Gegenüberstellung CO₂-Bilanz der beiden Verfahren:

Für den klassischen Weg der Isobuten-Erzeugung via Etherbildung und Spaltung sind aus Studien folgende Kennzahlen bekannt: Für die Etherbildung (exotherme Reaktion) liegt der Dampfbedarf ca. 0,82 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt und die Etherspaltung (endotherme Reaktion) benötigt ca. 2,24 Tonne Dampf pro Tonne Produkt, das resultiert in Summe zu ca. 3,06 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt. Wie oben beschrieben beträgt der Dampfverbrauch aus dem neuen Prozess ca. 0,27 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt. Die Einsparung von 2,79 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt führt zu einem reduzierten Erdgasbedarf von 0,125 t Erdgas pro Tonne Produkt und damit zu einer Einsparung von ca. 7.500 Tonnen Erdgas.

Daraus resultieren in Analogie zur Methan-Umsetzung mit einem Emissionsfaktor von 2,75

Tonnen CO₂ pro Tonne Methan eine Reduzierung von ca. 20.600 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Der Stromverbrauch für das neue Verfahren ist vergleichbar mit den bisher bekannten Prozessen, so dass eine Einsparung von mehr als 20.000 Tonnen CO₂ pro Jahr bestätigt werden konnte.

Gegenüberstellung CO₂-Bilanz am Standort:

Es wird durch den verbliebenen Bedarf an Dampf von ca. 1,6 t/h bei einer Erzeugung in einem mit Erdgas befeuerten Dampfkessel ein anteiliger Erdgas Bedarf von ca. 0,074 Tonnen Erdgas pro Stunde erzeugt. Pro Jahr werden für die Dampferzeugung damit ca. 700 Tonnen Erdgas benötigt und daraus resultieren mit einem Emissionsfaktor von 2,75 Tonnen CO₂ pro Tonne Methan ca. 2.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Aus dem bilanzierten Strombedarf von 373 kW (Summe aus Verbraucher Prozess-Anlage und Kühlwasserversorgung) und einem Strom-Mix basierenden Emissionsfaktor von 500 g CO₂ pro kWh eine CO₂ Emission aus der Stromerzeugung von ca. 1.600 Tonnen CO₂. (bei einer Betriebszeit von ca. 8.600 Stunden pro Jahr). Die gesamte verbliebene CO₂-Erzeugung liegt in Summe bei ca. 3.600 Tonnen pro Jahr.

Wie in Kapitel 1.2 beschrieben, wird das Isobuten derzeit in einem Steam-Cracker zu Ethylen verarbeitet. Die Ausbeute von erzielbarem Ethylen aus Isobuten beträgt dabei weniger als 10%. Wenn Isobuten als Produkt abgetrennt wird, wird an dessen Stelle Naphtha als Einsatz zu den Steam Crackern gefahren. Naphtha hat eine Ausbeute an Ethylen von mehr als 25%. Dadurch wird bei gleichbleibender Produktion an Ethylen (resultierend aus der Limitierung in der Ethylen-Anlage) weniger Einsatz zu den Steam-Crackern erforderlich.

Der Effekt besserer Ethylen-Ausbeute konnte an den Analysengeräten, die die Spaltgaszusammensetzung messen und Konzentrationen der wichtigsten Komponenten auswerten, quantifizierbar nachgewiesen werden. Es resultierte eine um ca. 18% höhere Ausbeute an Ethylen aus Spaltöfen, wodurch es möglich ist, die Menge an Einsatz zu den Spaltöfen um mehr als 4 Tonnen pro Stunde zu reduzieren. Da der Spaltvorgang sehr energieintensiv ist (ca. 0,145 Tonnen Erdgas pro Tonne Einsatz), kann die Heizgasbefuerung um ca. 0,6 Tonnen pro Stunde reduziert werden. Unter der Berücksichtigung, dass ca. 1/3 der Feuerungsenergie energetisch rückgewonnen wird, verbleibt eine Reduzierung von ca. 0,4 Tonnen pro Stunde Erdgas, entsprechend ca. 3.200 Tonnen weniger Erdgasbedarf und mit dem oben genannten Emissionsfaktor von 2,75 eine Einsparung von mehr als 8.600 Tonnen CO₂ pro Jahr.

Damit sinkt die absolute Emission an CO₂ am Standort der OMV durch das Vorhaben um ca. 5.000 Tonnen CO₂ pro Jahr. Diese Reduzierung ist additiv zur Einsparung von CO₂ durch die Wärmeintegration zu werten. Somit addiert sich die CO₂-Einsparung durch das Projekt der OMV zu ca. 25.000 Tonnen CO₂ pro Jahr.

3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Bereitstellung von Energie in den bekannten Prozessen wird durch Dampf, der in Dampfkesseln mit Erdgas betriebenen Feuerungen erzeugt wird, gewährleistet.

Die dominanten Kosten für den Betrieb dieser Feuerungen liegt in den Kosten für den Brennstoff Erdgas und den aus den Feuerungen resultierenden Kosten aus der CO₂-Emission.

Die Plankosten für die Beschaffung von Erdgas im industriellen Umfeld sind mit 300 € pro Tonne angenommen, die Kosten für CO₂ für die Jahre 2021 und folgende mit ca. 25 € pro Tonne CO₂ mit stark ansteigender Tendenz.

Die Erzeugung des ursprünglichen Bedarfes von 18,6 Tonnen pro Stunde Dampf ohne Wärme-Integration hätte zu einem jährlichen Bezug mit Kosten in Höhe von 2,65 Millionen € pro Jahr bedeutet. Durch den reduzierten Bedarf von 1,6 Tonnen pro Stunde Dampf ergeben sich somit verbliebene Energiekosten von ca. 0,23 Millionen € pro Jahr.

Die geplante Reduzierung des Bedarfes an Dampf um mehr als 80% und die dadurch reduzierte Feuerung in den Dampfkesseln führt so zu einer Einsparung an Energie von ca. 2,4 Millionen Euro und leistet einen erheblichen Beitrag zur Wirtschaftlichkeit des Vorhabens.

Die Kosten von ca. 14 Millionen € haben sich durch die Förderung auf ca. 11,2 Millionen € reduziert. Insgesamt hat sich damit die Amortisationszeit um ein Jahr verkürzt.

3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

In konventionellen Verfahren wird die Energie für den Betrieb der Anlagen ebenfalls über Dampf bereitgestellt, der in Erdgas befeuerten Dampfkesseln erzeugt wird.

Für den klassischen Weg der Isobuten-Erzeugung via Etherbildung und Spaltung sind wie oben beschrieben in Summe ca. 3,06 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt erforderlich.

Im Verfahren von BASF und OMV wird die Wärme aus dem Produktstrom der vorgeschalteten Kolonne als Energiequelle direkt in die Wärme-Übertragung eingespeist. Die direkte Verschaltung ergibt einen sehr hohen Nutzungsgrad der Energie aus dem Produktstrom, und damit eine sehr effiziente Energie-Versorgung. Die besondere Verschaltung und Führung der Prozess-Energie führen zu einem vergleichbar stabilen Betrieb der Anlage.

Daher stellen sich die vergleichbaren relevanten Kennzahlen beim Verfahren von OMV und BASF bei 2,7 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt OHNE Wärmeintegration und 0,27 Tonnen Dampf pro Tonne Produkt gemäß der nachgewiesenen Effizienz der Wärmeintegration dar.

Technologisch besitzen die beiden Verfahren mit den Reaktoren für Etherbildung und Spaltung, bzw. Isomerisierung jeweils spezifische Prozess-Schritte, die aber in bekannten Apparate-Typen realisiert werden können. Daher ist die Komplexität für die Auslegung und den Bau der Anlagen als ähnlich hoch einzustufen. Der innovative Ansatz für das neue Verfahren von BASF und OMV liegt im eingesetzten Katalysator und der Reaktionsbedingungen. Des Weiteren sind für die erfolgreiche Auslegung der Destillation sehr exakte Daten zum Produktverhalten und des Wirkungsgrades der eingebauten Böden erforderlich.

4. Übertragbarkeit

4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Es hat sich bei der Planung der Anlage, Auslegung und Beschaffung der Apparate als sehr hilfreich erwiesen, dass das neue Verfahren von OMV und BASF auf eine neue Kombination bekannter Prozess-Schritte basiert.

Die geforderten Betriebsparameter konnten somit mit akzeptablem Risiko in spezifische Apparate-Dimensionierungen umgesetzt werden.

Ebenso war es sehr hilfreich bei der Auswahl von Partnerfirmen und Lieferanten, die OMV schon von anderen Projekten bekannt waren und somit konnten bewährte Wege der Zusammenarbeit beschritten werden.

Somit konnte trotz der erschwerten Rahmenbedingungen durch die Coronapandemie das Vorhaben mit einer leichten Budget-Unterschreitung und weitestgehend im Zeitplan abgewickelt werden.

Die Anlage wurde ohne Problem in Betrieb genommen, lieferte nach wenigen Tagen bereits ein verkaufsfähiges Produkt und musste seit der Erstinbetriebnahme nicht zur Behebung von Mängeln wieder abgestellt werden.

Sämtliche Prozess-Garantie Werte konnten mit großer Stabilität eingehalten oder sogar weit übertroffen werden.

Vor dem Hintergrund einer erstmaligen Installation eines neuen Verfahrens sind diese Ergebnisse als „Erfolg in allen Belangen“ einzustufen.

4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Da das Prozess-Konzept der BASF und der OMV im Wesentlichen aus Modulen und Apparaten besteht, die in der Industrie bekannt sind, kann das Konzept der direkten Wärmeübertragung in ähnlichen Anlagenkonfigurationen in der Industrie angewandt werden. Ein Patent, das die Vermarktung der Lizenz durch BASF absichern soll, ist derzeit eingereicht und in Prüfung.

Besonders in Petrochemischen Prozessen, wo eine große Menge an Energie auf einem relativ niedrigen Energieniveau umgesetzt wird, sind vergleichbare Wärmepotentiale vorhanden.

Diese mit geeigneten Übertragungskonzepten nutzbar zu machen durch eine direkte Verschaltung ist daher in einem vergleichbaren Maßstab möglich.

Deutschland weit werden derzeit mehr als 10 Ethylen Anlagen betrieben und Europa weit sind mehr als 40 Anlagen in Betrieb.

4.3. Kommunikation der Projektergebnisse

Es wurden im Zusammenhang mit der Öffentlichkeitsabteilung der OMV zahlreiche Artikel in der Presse und einige Filme in öffentlich zugänglichen Portalen publiziert. Auch interne Artikel

und Blogs sind publiziert worden.

Die Vielzahl dieser Veröffentlichungen kann in diesem Bericht nicht dargestellt werden, ein sehr einfacher Zugang ist das Suchwort „iso c4 burghausen“ in einer Internetsuche einzugeben.

Beispiele:

Gemeinsame Pressemitteilung BASF & OMV: <https://www.basf.com/global/de/media/news-releases/2021/03/p-21-162.html>

Teil einer Filmreihe über das Projekt: <https://www.youtube.com/watch?v=8FAerWKzsk>

5. Zusammenfassung/ Summary

– Einleitung

OMV hat innerhalb der Petrochemischen Anlagen ein Isobuten reiches Nebenprodukt identifiziert, das sich für die Aufbereitung und Herstellung von hochreinem Isobuten eignet.

Der bisher bekannte Prozess, Isobuten über einen Zwischenschritt der Etherbildung und Spaltung zu gewinnen, ist mit einem erheblichen apparativen und energetischen Aufwand verbunden. Daher entwickelten OMV und BASF ein neues Verfahren, das eine wesentlich vereinfachte Prozessführung bedeutet und durch das niedrige Energie-Niveau die Möglichkeit bietet, vorhandene Prozesswärme aus einer bestehenden Anlage zu verwenden. Für die Entfernung der kritischen Komponenten erforderliche chemische Umwandlung entwickelte BASF einen sehr selektiven Isomerisierungsreaktor.

– Vorhabenumsetzung

Es entstand somit ein Prozess, der aus einer chemischen Umwandlung (Isomerisierung) und anschließender Destillation besteht. Mehr als 80% der Wärme-Energie wird dabei über direkte Wärmtintegration mit einer vorhandenen Kolonne gedeckt. Es war daher im ersten Schritt die Entwicklung des Prozesses und die Integration des Wärmeverbundes zu bewältigen. Dabei musste die neue Destillationskolonne so ausgelegt werden, dass der Energietransfer aus der bestehenden Prozesswärme gesichert für den neuen Bedarf zur Verfügung gestellt werden konnte und das Wärmepotential optimal genutzt werden kann. Für die Auslegung des Reaktors fanden bei BASF Versuche im Labor statt, bei denen Produkt aus der Anlage der OMV eingesetzt wurde.

Das so entwickelte Prozess Design konnte in das Anlagenkonzept der OMV in Burghausen integriert werden. Es besteht in den wesentlichen Prozess Schritten aus Apparate-Typen (Reaktoren, Kolonnen, Wärmeaustauscher, etc.), die schon mehrfach bei OMV eingesetzt wurden. Daher waren die Auslegung des neuen Verfahrens und die Beschaffung und Montage ohne große technische Risiken möglich.

Die Anlage konnte wie geplant gebaut und in Betrieb genommen werden.

- Ergebnisse

Die Inbetriebnahme erfolgte in drei Schritten. Zuerst wurde der Isomerisierungsreaktor in Betrieb genommen, danach die Destillationskolonne und zum Abschluss die Wärmeintegration. Es konnten alle Prozess Ziele ohne Nachbesserung des Anlagendesigns erreicht oder sogar übererfüllt werden. Durch die erfolgreiche Wärmeintegration wurde der Bedarf an Energie, der über Dampf zur Verfügung gestellt werden muss, signifikant reduziert.

Somit konnte das Ziel der CO₂ Einsparung von 20.000 Tonnen erreicht werden.

Durch Effizienzsteigerung an den Spaltöfen konnten zusätzlich ca. 5.000 Tonnen CO₂ am Standort der OMV eingespart werden.

- Ausblick

Das neue Verfahren konnte wie oben beschrieben bei der ersten großtechnischen Anwendung problemlos alle Erfolgskriterien erfüllen. Somit steht für weitere potenzielle Interessenten eine Referenz Anlage zur Verfügung, die für weitere Anwendungen positive Impulse setzen kann. Dabei stehen in erster Linie Petrochemische Anlagen im Fokus, die eine hohe Ähnlichkeit mit der bei OMV in Burghausen in Betrieb befindlichen Technologien hat, also z.B. Ethylen Anlagen. Es sind derzeit in Deutschland 10 Anlagen und europaweit ca. 40 Anlagen dieses Typs in Betrieb.

Summary

- Introduction

OMV operates petrochemical plants and has identified an intermediate product that is suitable for high purity Isobutene production.

Existing processes to produce Isobutene via etherification and cracking are connected to a high demand on equipment and energy. So OMV and BASF developed a new process that reduces process complexity and operates at a very low energy level. This enables the use of available process heat from an existing unit. BASF developed an isomerization reactor to chemically convert critical components with a very high selectivity.

- Project implementation

So, a process was developed, mainly consisting in a combination of chemical conversion and distillation. More than 80% of the heat energy demand can be covered via direct heat integration from an existing column. The first step was to design the process and heat integration in a way that energy transfer was secured and optimized. This impacted the design of the new column and all involved equipment. BASF's reactor design was based on laboratory test with original product from OMV's plant.

The newly developed process design could be integrated into the plant set-up of OMV on site.

The main equipment types (reactor, column, heat exchanger...) were already operated by OMV in very similar applications. So, the design of the new process, procurement and erection could be realized without very high technical risks.

The plant could be realized as planned and taken into operation without any impact on existing units.

- Project results

The start-up of the plant was done in three steps. First step was that the Isomerisation reactor was taken in operation to provide on-spec feed for the following distillation column, as this column was operated stable the heat integration could be added. All process success criteria were met or even exceeded on first try, so no need for any process modifications. The performance of the heat integration reduced the steam demand significantly, even below expectations. The impact of direct heat integration was demonstrated and the target of saving 20.000 tons per year of CO₂ could be achieved.

Furthermore, the increased efficiency in the Steam Cracker area could provide additional 5.000 tons of CO₂ on site of OMV.

- Prospects

The new process could as described above meet all success criteria in the first commercial scale application. This is an excellent reference unit for potential interested companies. Main areas for further implementation are companies that operate petrochemical units. Currently 10 ethylene plants are operated in Germany and app. 40 in total in Europe.