

Ökonomie und Ökologie im Einklang – nachhaltige chemische Produktion am Beispiel des Lonza-Produktionsverbundes in Visp¹

Detlef Gerritzen²

Zusammenfassung:

Der Lonza-Produktionsverbund in Visp hat seinen Ursprung zu Beginn des letzten Jahrhunderts und wurde über viele Jahrzehnte bis zum heutigen Tage kontinuierlich bzgl. Ökonomie und Ökologie sowohl auf Stufe der einzelnen Produktionsprozesse wie auch bzgl. Verbund-Architektur und Produkte-Mix optimiert. Integrierte Produktionsstrukturen mit einem Acetylen/Ethylen-Cracker im Zentrum sind heute die Basis für lohnende Wertschöpfungsketten mit geringem Ressourcenverbrauch bei kleiner Umweltbelastung.

Neben allgemeinen Vorteilen chemischer Verbundproduktion besitzt die Makrostruktur des Lonza-Produktionsverbundes, welche durch die Rohstoffbasis, zusätzliche flexible Zukaufs- und Verkaufsoptionen von Zwischenprodukten mit Commodity-Charakter bzw. sonstige Pufferelemente und die Charakteristik der Schlüssel-Endprodukte gekennzeichnet ist, eine fundamentale Bedeutung für eine effiziente Produktion und damit für die gleichzeitige Erfüllung ökonomischer und ökologischer Ziele.

In der Entwicklung des Lonza-Produktionsverbundes spielte ferner der produktionsintegrierte Umweltschutz eine entscheidende Rolle. Seine Prinzipien werden an mehreren Beispielen näher erläutert: Verwertung von technischem CO₂ zur Herstellung einer Lebensmittelqualität (*Verwerten von Reststoffen*), Herstellungsverfahren von Niacin bzw. seiner Vorstufe (*Vermeiden bzw. Vermindern von Reststoffen*) und von Acetaldehyd (*Energierückgewinnung*).

¹ Beitrag zum **7. Freiburger Symposium 2005** der Division Industrielle Chemie / SWISS CHEMICAL SOCIETY, „Nachhaltige chemische Produktion“; 22. & 23. September 2005; Hochschule für Technik & Architektur Freiburg

² **Dr. Detlef Gerritzen**, Lonza AG; CH-3930 Visp, Schweiz; Tel. +41 (27) 948-5121; Fax +41 (27) 947-5121; E-mail: detlef.gerritzen@lonza.com; Internet: <http://www.lonza.com>

1. Einleitung

Auch wenn sich die Lonza in den letzten Jahren sehr stark auf ein Wachstum im Bereich Custom Manufacturing mit den Geschäftssektoren Exklusivsynthese und Biopharmazeutika konzentriert hat, trägt der Geschäftsbereich Organische Feinchemikalien & Performance Chemicals weiterhin wesentlich zur Profitabilität des Unternehmens bei. Einen bedeutenden Beitrag zur hohen Wertschöpfung leistet dabei der chemische Produktionsverbund in Visp.

Lonza hat sich in ihrer Geschäftspolitik für ihre industrielle Tätigkeit im chemisch-pharmazeutischen Sektor im Rahmen des Responsible Care Programms der chemischen Industrie zu einem verantwortungsvollen Umgang mit natürlichen Ressourcen bzw. zur Berücksichtigung der Grundsätze einer nachhaltigen Entwicklung und zu kontinuierlichen Verbesserungen auf diesem Gebiet verpflichtet. Der Lonza-Produktionsverbund in Visp repräsentiert dabei ein gutes Beispiel für die Umsetzung dieser Politik in der Praxis und eine Korrespondenz von ökonomischer und ökologischer Effizienz.



Abbildung 1: LONZA Visp um 1910



Abbildung 2: LONZA Visp um 1963 mit Cracker-Baustelle

2. Lonza-Produktionsverbund in Visp

Der Lonza-Produktionsverbund in Visp hat seinen Ursprung zu Beginn des letzten Jahrhunderts und wurde über viele Jahrzehnte bis zum heutigen Tage kontinuierlich bzgl. Ökonomie und Ökologie sowohl auf Stufe der einzelnen Produktionsprozesse wie auch bzgl. Verbund-Architektur und Produkte-Mix weiterentwickelt und optimiert (Abbildungen 1 bis 4).



Abbildung 3 und 4: LONZA Visp heute

Schon vergleichsweise früh wurde dabei nicht zuletzt aufgrund der sensiblen Lage in einem engen Bergtal des Oberwallis dem Umweltschutz Rechnung getragen. Integrierte Produktionsstrukturen mit einem Acetylen/Ethylen-Cracker im Zentrum und ein Netzwerk von kontinuierlich-betriebenen

Monoproduktanlagen sind heute die Basis für lohnende Wertschöpfungsketten (Abbildung 5). Die im Verbund anfallenden Zwischenprodukte stellen dabei Rohstoffe für höherwertige Produkte der Lonza-Geschäftssektoren „Organische Feinchemikalien“ bzw. „Exklusivsynthese“ und der DSM Nutritional Products AG (Werk Lalden) dar.

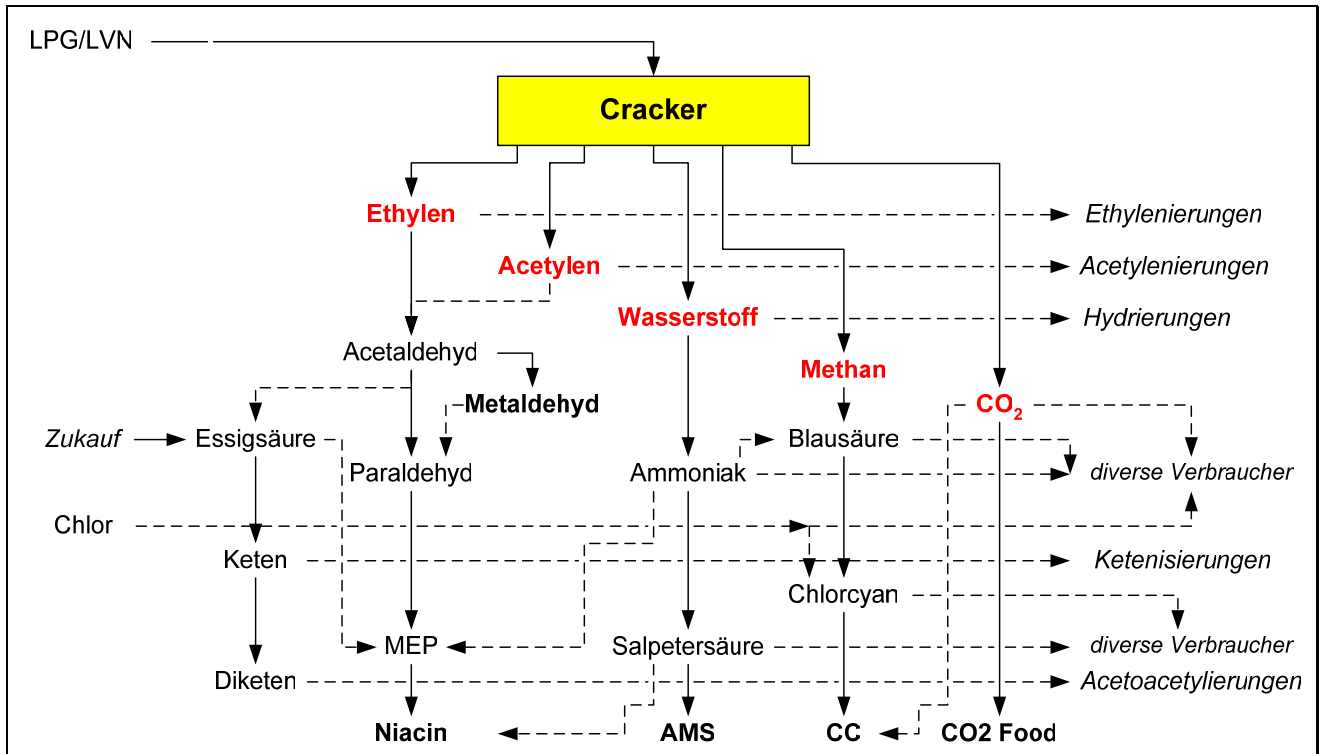


Abbildung 5: LONZA Produktionsverbund in Visp (schematisch)

3. Korrespondenz von Ökologie und Ökonomie durch produktionsintegrierten Umweltschutz

Eine nachhaltige Produktion verlangt u.a. sowohl ökonomische, wie auch ökologische Effizienz (Abbildung 6). Unter bestimmten Voraussetzungen (angemessene Internalisierung von externen Umweltkosten- und Nutzen-Elementen in der ökonomischen Rechnung) korrespondieren dabei Ökologie und Ökonomie.

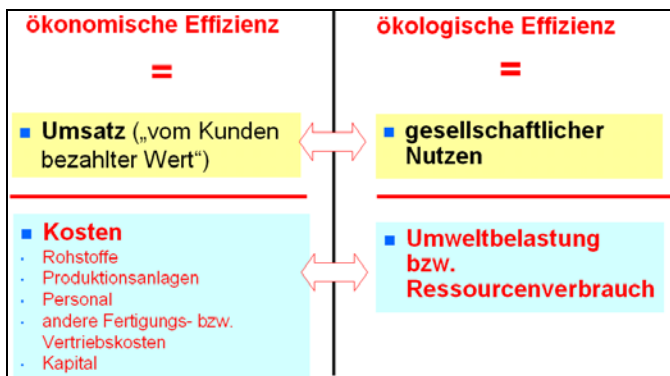


Abbildung 6: Korrespondenz von Ökonomie und Ökologie

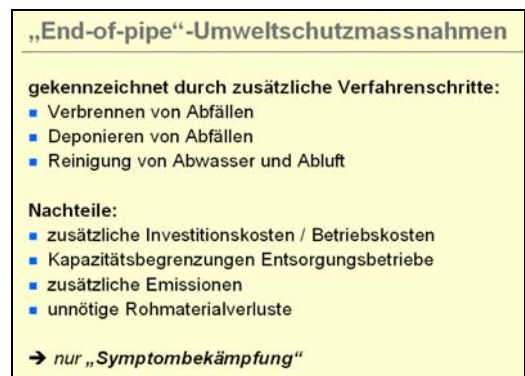


Abbildung 7: „End-of-pipe“-Umweltschutz

Im Gegensatz zu „End-of-pipe“-Umweltschutzmassnahmen (Abbildung 7), welche gravierende Nachteile aufweisen und vom Lösungsansatz her nur eine Symptombekämpfung darstellen, bietet der produktionsintegrierte Umweltschutz (PIUS) eine Lösung für das eigentliche Problem („root cause“) und steigert darüber hinaus die ökonomische Effizienz.

PIUS ist durch die folgenden Prinzipien gekennzeichnet [1, 2]:

1. „*Vermeiden von Reststoffen*“ (z.B. durch Wahl eines geeigneten Verfahrens)
2. „*Vermindern von Reststoffen*“ (z.B. durch Optimierung der Produktausbeute und Substitution / Eliminierung von umweltbelastenden Hilfsstoffen)
3. „*Verwertung von Reststoffen*“ (z.B. durch Aufarbeitung / Rückführung von nicht-umgesetzten Einsatzstoffen bzw. Hilfsstoffen und durch Verwertung von Nebenprodukten und Kuppelprodukten sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Verbundes)
4. „*Energieeinsparung*“ (durch Nutzung von Reaktionswärme, energetische Kopplung von Energieerzeugern und -Verbrauchern im Verbund und Aufwertung von Abfallenergien).

Der Lonza-Produktionsverbund in Visp liefert gute Beispiele für die gleichzeitige Verbesserung von ökonomischer und ökologischer Effizienz durch Steigerung von Produktwert bzw. durch Senkung von Produktionskosten, Ressourcenverbrauch und Umweltbelastung. Schlüsselemente, welche im Folgenden an Beispielen näher erläutert werden, sind dabei

- allgemeine Vorteile der Verbundproduktion
- spezifische Architektur bzw. Makrostruktur des Lonza-Produktionsverbundes
- Favorisierung des „produktionsintegrierten Umweltschutzes“ gegenüber „end-of-pipe“-Umweltschutzmassnahmen

4. Allgemeine Vorteile chemischer Verbundproduktion

Ein chemischer Produktionsverbund ist allgemein dadurch charakterisiert, dass Produktionsbetriebe, Energie- und Abfallströme, Logistik und Infrastruktur miteinander vernetzt sind. Dadurch ergeben sich verschiedene allgemeine Vorteile im Sinne einer nachhaltigen Produktion, welche auch für den Lonza-Verbund gelten:

- *vereinfachte Logistik*: Kosten, Aufwand und Risiko für Transport, Umschlag und Lagerung sind reduzier. Ein Netz von Rohrleitungen verbindet Produktionsanlagen und stellt schnelle, sichere und umweltfreundliche Transportwege für Rohstoffe und Energieträger (statt einem Transport per Bahn oder LKW). Im Fall Visp summieren sich Rohstoffe, Zwischenprodukte und Endprodukte gemäss Schema auf ca. 500'000 to/Jahr. Insbesondere können auch kritische Chemikalien mit vertretbarem Risiko verarbeitet werden.
- „*economies of scale*“: die Bündelung von Nachfrage ermöglicht wirtschaftlichere Betriebsgrössen
- *Wertschöpfungstiefe*: durch vertikale Verknüpfung von Produktionsanlagen entstehen effiziente Wertschöpfungsketten (von Grundchemikalien bis zu hoch veredelten Produkten)
- *verminderte Rohstoffabhängigkeit*: durch Rückwärtsintegration ist man auf einige wenige Schlüsselrohstoffe beschränkt (insbesondere von Relevanz für Standort Oberwallis)
- *Kuppelproduktverwertung* („*economies of scope*“): Nebenprodukte / Kuppelprodukte aus einem Produktionsprozess können im Produktionsverbund in einer anderen Produktionsanlage als Rohstoff verwertet werden (→ Reduktion Abfälle, Mehrwert, Reduktion der Produktionskosten für Hauptprodukte).
- *Energieverbund*: reduzierter Verbrauch fossiler Brennstoffe und elektrischer Energie durch
 - Nutzung der in einer Produktionsanlage entstehenden Abwärme zur Produktion im Nachbarbetrieb.
 - kalorische Verwertung (Verbrennung) nicht chemisch-nutzbarer Abfallstoffe zur Dampfproduktion

Auf der anderen Seite ist die Verbundproduktion natürlich auch mit gewissen Nachteilen bzw. Herausforderungen konfrontiert:

- grosse Austrittsbarrieren (hoher Anlagewert)
- Mangel an Flexibilität (z.B. gegenseitige Abhängigkeiten und Kapazitätsgrenzen von Hauptproduktionslinien)
- Abhängigkeit von Schlüsselrohstoffen / Schlüsselprodukten
- Forderung nach Auslastung der Schlüsselbetriebe.

Für einen erfolgreichen Betrieb müssen daher diese Nachteile durch ein spezielles Verbundmanagement und eine geeignete Architektur oder Makrostruktur des Verbundes kompensiert bzw. in Grenzen gehalten werden.

5. Spezifische Makrostruktur des Lonza-Produktionsverbundes

Die spezifische Makrostruktur des Lonza-Produktionsverbundes (siehe Schema in Abbildung 5) besitzt eine fundamentale Bedeutung für eine effiziente Produktion und damit für die gleichzeitige Erfüllung ökonomischer und ökologischer Ziele durch Nutzenmaximierung, Ressourcenschonung und Abfallminimierung. Folgende Aspekte sind dabei im Kontext einer nachhaltigen Produktion herauszustellen:

- *Rohstoffbasis*: Hauptrohstoff (wert-/mengenmässig) ist der Cracker Feed. Heute wird neben Leichtbenzin (LVN = light virgin naphtha) vor allem Flüssiggas (LPG = liquified petroleum gas) aus nahe gelegenen Raffinerien eingesetzt, welches für die Raffinerie nur ein beschränkt nutzbares Anfallprodukt darstellt und durch die Verwendung als chemischer Rohstoff für unseren Verbund einen grösseren Nutzen als eine alternative kalorische Verwertung in der Raffinerie generiert.
- *einzigartige Cracker-Technologie*: Der Lonza Acetylen-Cracker (prozesstechnologisch ein Unikat) gestattet trotz seiner vergleichsweise geringen Grösse eine ökonomische Acetylen-Herstellung. Voraussetzung dafür ist die weitgehende chemische Nutzung der weiteren Cracker Kuppel- bzw. Anfallprodukte (Ethylen, Wasserstoff, Methan und Kohlendioxyd =CO₂) innerhalb des Produktionsverbundes
- *„Wertgeneratoren“*: grossvolumige, langlebige Schlüsselprodukte mit hohem Marktwert aus Produktionsanlagen mit „world scale economy“, welche den grössten Teil der Haupt-Crackerprodukte konsumieren:
 - Niacin (Vitamin B3) konsumiert den grössten Teil der Ethylen-Produktion
 - wesentliche Volumina der Acetylen-Produktion werden in Form von Acetylen selbst oder eines Derivates für die Produktion von Vorstufen der Vitamine A, E und von Riechstoffen verwendet.
- *Kapazitätsauslastung und Verwertung von Kuppelprodukten durch „Kapazitätsfüller“*: die Herstellung von Produkten mit Commodity-Charakter dient zur wertschöpfenden Absorption von Zwischenproduktüberschüssen:
 - Verwertung von Überschüssen Ethylen / Acetylen via Acetaldehyd / Essigsäure zur Produktion von Essigsäureanhydrid oder bestimmter Diketenderivate
 - Absorption von Wasserstoff-Überschüssen zur Produktion von Ammoniak, Salpetersäure und Ammoniumnitrat (AMS)
- *Flexibilität / Versorgungssicherheit*: Nachfrageschwankungen und Defizite können durch flexible Zukaufs- und Verkaufsoptionen von Produkten mit Commodity-Charakter gepuffert werden (z.B. Essigsäure, Acetaldehyd, Ammoniak). Darüber hinaus existieren (wo sinnvoll) Pufferlager von Rohstoffen und Zwischenprodukten.
- *Synergie Metaldehyd / Nikotinsäure*: Bei der Herstellung von Metaldehyd, einem wichtigen und umweltverträglichen Molluskizid (Schneckenbekämpfungsmittel), fällt Paraldehyd als Hauptprodukt an, welches im Produktionsverbund als Rohstoff der MEP-Synthese (Niacin-Vorstufe) Verwendung findet.

6. Produktionsintegrierter Umweltschutz: Beispiele aus Lonza-Produktionsverbund

Im Folgenden wird die Idee des „produktionsintegrierten Umweltschutzes“ (PIUS) anhand einiger Beispiele aus dem Lonza-Produktionsverbund skizziert.

6.1 Herstellung von Kohlendioxid in Nahrungsmittelqualität

Ein Beispiel für die „*Verwertung von Reststoffen*“ ist die Herstellung von Kohlendioxid für die Getränkeindustrie („CO₂ food“) aus dem im Cracker anfallenden technischen CO₂ durch intensive

Reinigung (Abbildungen 8 und 9). Die kontinuierlich-betriebene und vollautomatisierte Produktionsanlage wurde 1995 in Betrieb genommen.

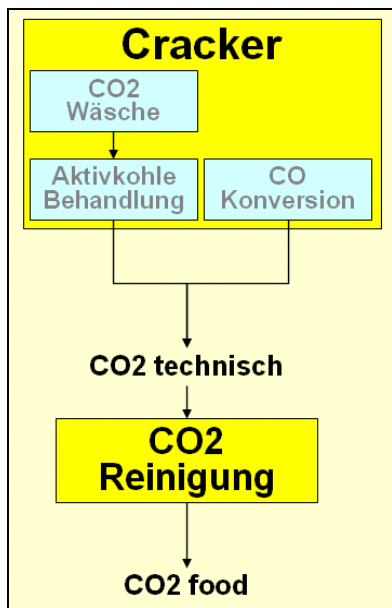


Abbildung 8: Verwertung von CO₂ ex Cracker

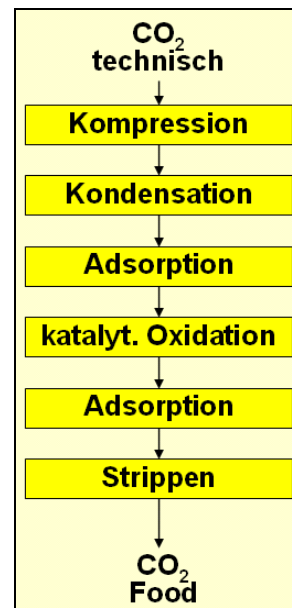


Abbildung 9: vereinfachtes Schema zur CO₂-Reinigung

Durch eine Sequenz verschiedener verfahrenstechnischer Einheitsoperationen (Abbildung 9) werden aus dem technischen CO₂ mit einer Reinheit von 99.0 % Spuren von Kohlenwasserstoffen, Schwefelhaltige Verbindungen und Inertgase entfernt und ein hochreines, flüssiges Produkt mit 99.99 % CO₂ in Lebensmittelqualität erhalten. Somit wird ein grosser Teil (ca. 50 %) des im Cracker anfallenden Treibhausgases CO₂ einer zusätzlichen Nutzung zugeführt.

6.2 Niacin-Herstellung

Ein überzeugendes Beispiel für die Realisierung sämtlicher PIUS-Prinzipien repräsentiert das Lonza-Produktionsverfahren für Niacin (Nikotinsäure = NS; Vitamin B₃) durch Oxidation von 5-ethyl-2-methyl-pyridin (MEP) mittels Salpetersäure [3, 4], welches über mehr als 50 Jahre bis zum heutigen Tag über mehrere Prozessgenerationen bzgl. Wirtschaftlichkeit, Produktqualität und Ökologie weiterentwickelt und optimiert wurde. Die kontinuierliche Produktionsanlage in Visp stellt heute die mit Abstand grösste Produktionsanlage der Welt (Niacin für Futter- / Nahrungsmittel und Pharmaprodukte) dar. Im Kontext des produktionsintegrierten Umweltschutzes sind folgende Punkte beim Produktionsverfahren (Abbildung 10) erwähnenswert:

- hohe Reaktorausbeuten dank Optimierung von Reaktionsbedingungen und Reaktordesign (→ reduzierter Rohmaterialverbrauch und verminderter Nebenprodukthanfall)
- hohe Anlagekapazität durch Leistungsoptimierung der Reaktionsstufe und Debottlenecking der Gesamtanlage (→ reduzierte Anlagekosten, → erhöhte thermische Prozesssicherheit)
- Einsatz des Eduktes (MEP) zur Neutralisation des Zwischenproduktes (NS*HNO₃) anstelle eines Neutralisationsmittels (→ Vermeiden von Salzlast aus Neutralisation und Verbrauch eines Hilfsstoffes durch geeignete Verfahrenswahl)
- Rückführung von Niacin- und Nebenprodukt-haltigen Mutterlaugen aus Kristallisationsstufen im Gegenstrom zum Produkt (→ reduzierter NS-Aufarbeitungsverluste; Konvertierung der Nebenprodukte im Reaktor durch Totaloxidation zu unkritischen Verbindungen (CO₂ und H₂O); reduzierter Wasserverbrauch und Abwassermenge)
- weitgehende Rückgewinnung von Salpetersäure (HNO₃) durch Absorption / Oxidation der in der Reaktionsstufe anfallenden nitrosen Gase NO_x (→ reduzierter Rohmaterialverbrauch und verminderter Nebenprodukthanfall).
- weitgehende Nutzung der Reaktionswärme zur Betreibung der Destillation der Rohproduktlösung und Erzeugung von Prozessdampf (→ Energieeinsparung; verminderter Verbrauch fossiler Brennstoffe)

- Brüdenkompression (Steigerung der Dampftemperatur durch adiabatische Verdichtung) bei destillativer Aufkonzentrierung von Roh- und Reinproduktlösung (→ Energieeinsparung durch Aufwertung von Abfallenergien; verminderter Verbrauch fossiler Brennstoffe)
- höherwertige Produktqualität: Nikotinsäure aus der Visper Produktionsanlage, welche den anspruchsvollen cGMP Anforderungen genügt, findet zunehmend auch Verwendung als Wirkstoff für pharmazeutische Produkte, z.B. zur Behandlung von Lipidstoffwechselstörungen (→ Steigerung Produktwert).

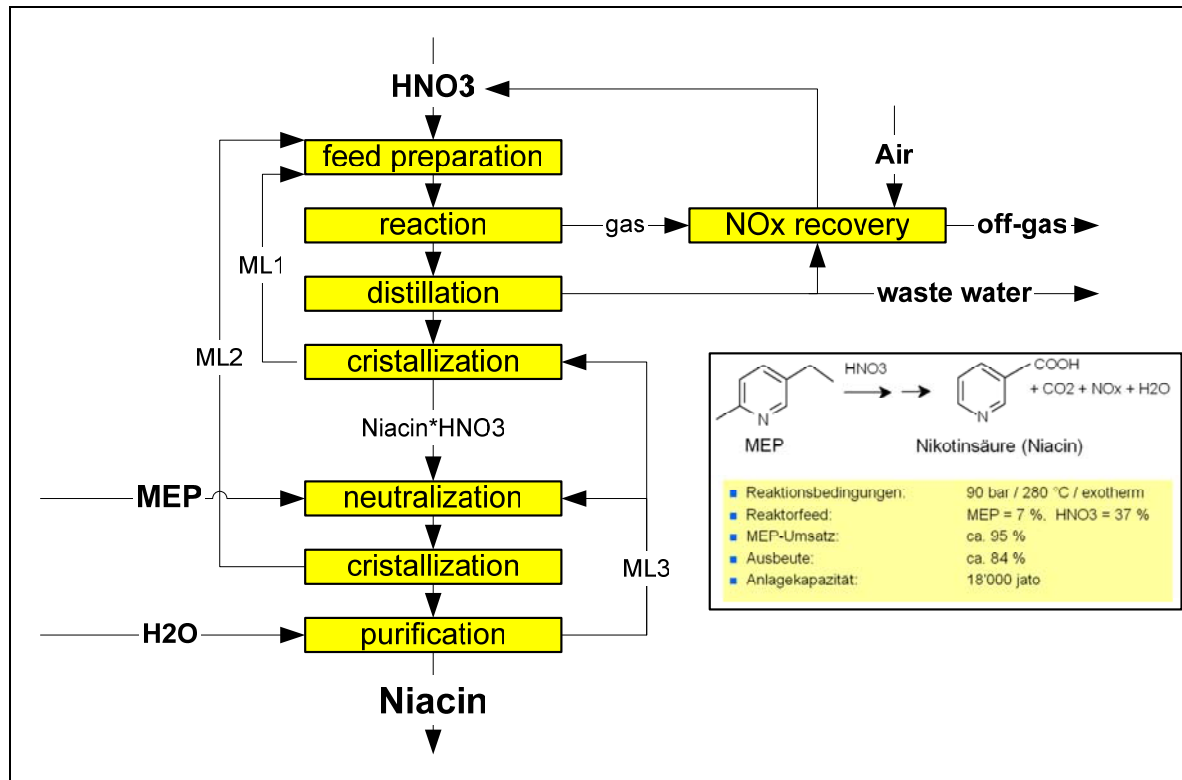


Abbildung 10: vereinfachtes Schema der Lonza Niacin-Herstellung

6.3 MEP-Prozess: Reduktion Abwasserfracht durch Katalysatorrückführung

MEP stellt im Visper Produktionsverbund ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Niacin dar. Paraldehyd und Ammoniak werden in einer Flüssigphasenreaktion im Rohrreaktor bei hohem Druck mit Essigsäure als Katalysator umgesetzt (Abbildung 11). Schwachpunkte des Prozesses waren bis vor wenigen Jahren extreme Abwasserfrachten (damals grösster TOC/N-Lieferant der Abwasserreinigungsanlage) und erhebliche Katalysatorverluste.

Die vertiefte Problemanalyse [5] lieferte als Ursache für die hohe TOC / N-Fracht im Abwasser die Bildung von Derivaten oder Nebenprodukten des Katalysators (Ammoniumacetat, Acetamid, N-Ethylacetamid und N-diethylacetamid; siehe Abbildung 12). Katalysator- und Katalysatornebenprodukte gelangten dabei über wässrige Phase aus einer Extraktionsstufe ins Abwasser. Beide Prozessschwachpunkte (Verbrauch Katalysator / Abwasserfracht) waren somit gekoppelt.

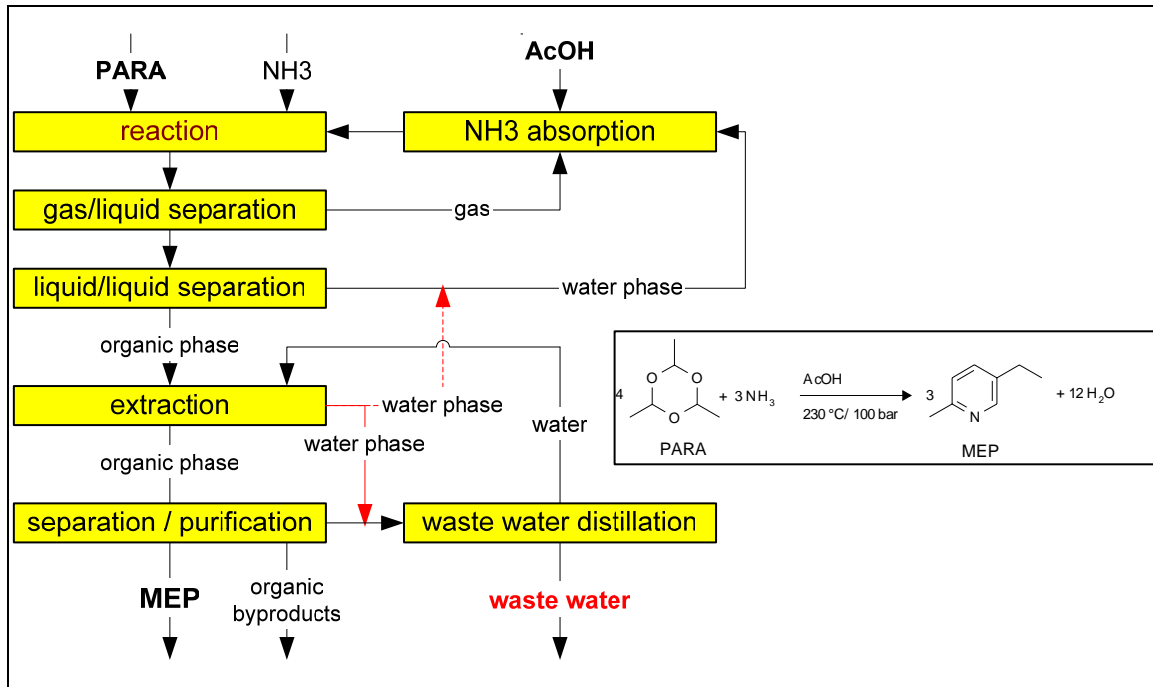


Abbildung 11: vereinfachtes Schema der Lonza MEP-Herstellung

Die eigentliche Ursache für alle Probleme war aber letztlich die Bildung der Ethylamine. Darüber hinaus sind diese Verbindungen auch für MEP-Ausbeuteverluste verantwortlich, da sie in Konkurrenz zu Ammoniak reagieren. Essigsäure wirkt letztlich im Prozess als „Abfangreagenz“ für diese störenden Komponenten.

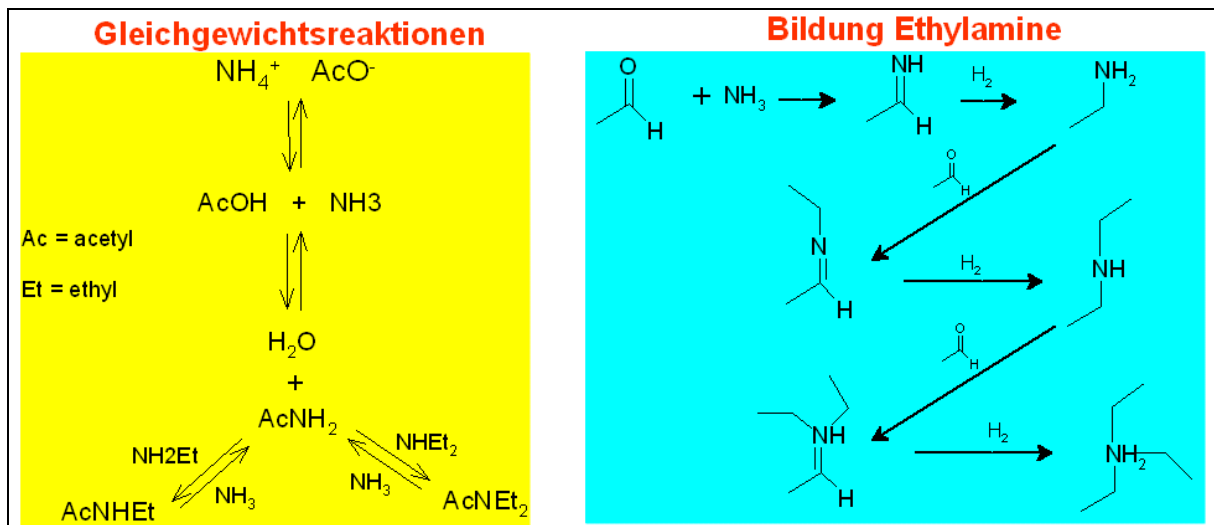


Abbildung 12: Nebenreaktion MEP Katalysator

Abwasserproblem und Katalysatorverlust konnten schliesslich wesentlich vermindert werden durch weitgehende Rückführung der Wasserphase aus der Extraktionsstufe in die Reaktionsstufe via NH₃-Absorption, Reduktion der Essigsäurezugabe auf ein kontrolliertes Ethylamin- bzw. Essigsäure- / Acetamid-Niveau im Prozess. Als ausschliesslicher Ausgang für Katalysator-Nebenprodukte (N-Ethylacetamid-Derivate) verblieb dann der Weg via organische Phase. Als Resultat ergab sich nach Realisierung der Massnahmen ein um ca. 30% verminderter Essigsäureverbrauch und eine bzgl. TOC/N um ca. 60% reduzierte Abwasserfracht und damit ein überzeugendes Beispiel für eine gleichzeitige Erhöhung von ökonomischer und ökologischer Effizienz.

6.4 Energieeinsparung im Produktionsverbund

Ein repräsentatives Beispiel für *Energierückgewinnung* im Lonza-Produktionsverbund stellt das Verfahren zur **Herstellung von Acetaldehyd** aus Ethylen dar. Insgesamt werden auf verschiedenen Prozessstufen (Abbildung 13) Prozessabwärme aus heissem Kreisgas und einer dezentralen Abfallverbrennung zur Erzeugung von Prozessdampf und Warmwasser (insgesamt pro Jahr mehr als 20 GWh) genutzt. Das Warmwasser wird dabei zum Teil für die Versorgung des Fernwärmesystems der Gemeinde Visp eingesetzt (→ verminderter Verbrauch fossiler Brennstoffe und geringere Emissionen von Treibhausgasen)

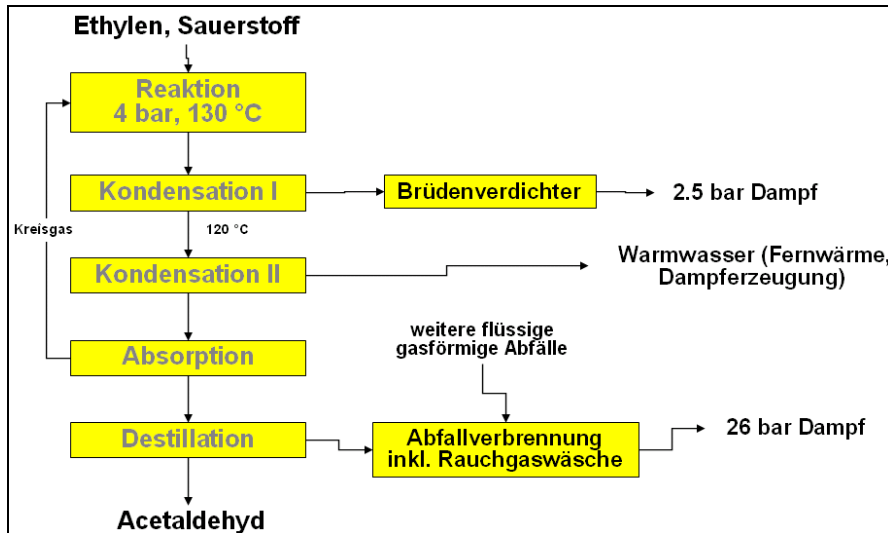


Abbildung 13: Energierückgewinnung beim Acetaldehyd-Prozess

Daneben werden **brennbare Abfälle**, welche anderweitig nicht verwertet werden können, im Dampfbetrieb oder in den Rückstandsverbrennungsanlagen zur Erzeugung von Prozessdampf genutzt. Auf diese Weise kann im **Lonza-Energieverbund** insgesamt ca. 80 % der Dampfenergie aus Abfallenergie oder aus Abfällen gedeckt werden (Abbildung 14), was einer Menge von ca. 65'000 to Heizöl entspricht.

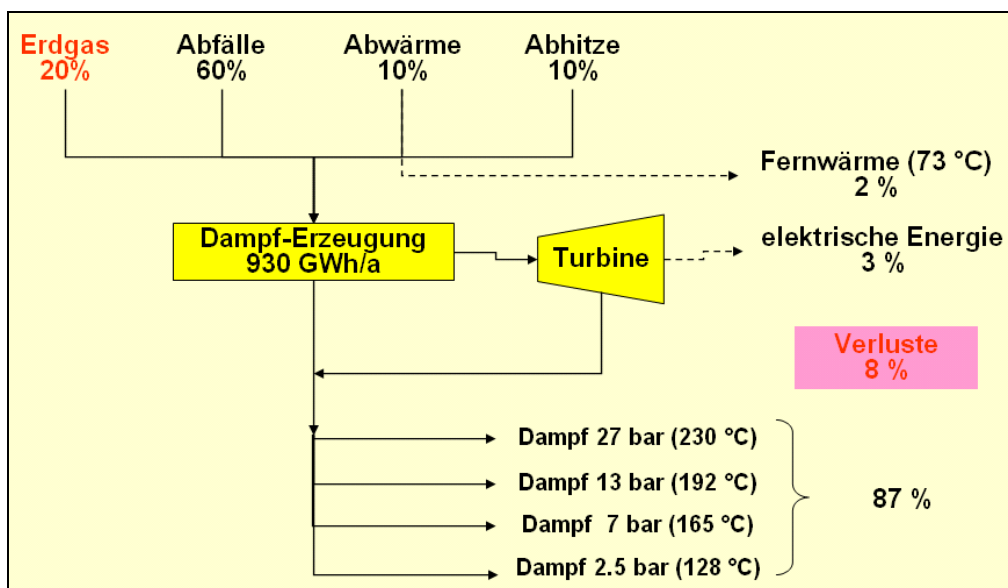


Abbildung 14: Abfallverwertung zur Dampferzeugung im Energieverbund (Lonza Visp)

7. Grenzen von PIUS und Korrespondenz von Ökonomie / Ökologie:

Selbstverständlich sind dem produktionsintegrierten Umweltschutz und einer gleichsinnigen Wirkung bzgl. Ökonomie und Ökologie im Rahmen des Lonza-Verbundes Grenzen gesetzt. Zu nennen sind dabei die folgenden Aspekte

- Abhängigkeit vom Erdöl (als nicht erneuerbarer Ressource)
- eine zunehmende Komplexität durch Einführung von PIUS-Massnahmen (z.B. Probleme durch prozess-interne Rückführungen: Kumulation von Spurenverunreinigungen bzw. Spurenelemente, verminderte Prozesstabilität)
- Paretoverteilung der Einzelpotentiale führt zu einem steigenden Aufwand/Nutzen-Verhältnis beim Erschliessen (z.B. unwirtschaftliche Aufarbeitung von verdünnte Abfalllösungen)
- Energierückgewinnung aus Abwärme/Verbrennung setzt Verbraucher voraus (z.B. saisonale Schwankungen)
- ungenügende Kosteninternalisierung von Umweltkosten / verzerrte Wertabbildung des gesellschaftlichen Nutzens in der ökonomischen Rechnung.
- wettbewerbsverzerrende politische Rahmenbedingungen

Es besteht daher ein Restbedarf für „end-of-pipe“-Massnahmen zur Entsorgung verbleibender Abfälle. Lonza Visp verfügt dazu über ein unabhängiges Entsorgungskonzept (Abbildung 15).

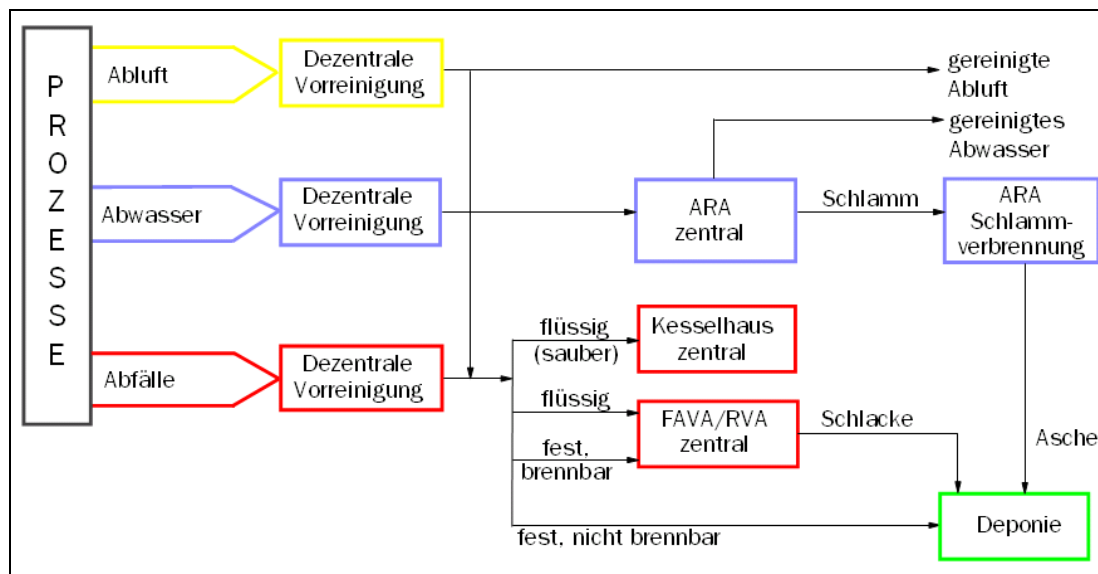


Abbildung 15: Entsorgungskonzept (Lonza Visp)

Literatur:

[1] Christ C., Chem. Ing. Tech. 72, 2000

[2] Righetti, B.; Vouillamoz, R.; Steinmann, B.; Bergamin, R.A; CHemie Plus 1992, 1(12), 4

[3] Bergamin, R. A., Lonza AG Visp, "Production-integrated environmental protection in the chemical industry, as illustrated by nicotinic acid production", Pharma Technologie Journal (1991), 12(3), 30-6

[4] Meister, M.; Dettwiler, H.-R., Swiss Chem 1984, 6(12a), 41

[5] Gerritzen, D.; CHIMIA 54 (2000), 520-523