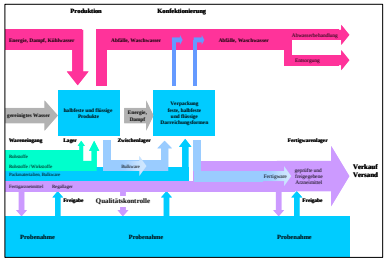
Nachhaltigkeitsbewertung eines neuen Verfahrens zum produktionsintegrierten Umweltschutz

am Beispiel des Hot/Cold-Verfahrens

Anlass und Ziel der Arbeit

Momentan liefert die Verbrennung von Öl, Erdgas und Kohle 85 % der industriellen Energie auf der Welt und verursacht 80 % der Kohlendioxid-Emissionen. Die Nachfrage hat sich in den letzten drei Jahrzehnten fast verdoppelt und soll bis zum Jahr 2020 um 60 % steigen.
Aktuellen Prognosen zur Folge, erfährt die Atmosphäre selbst nach sehr erfolgreicher Reduktion der klimarelevanten Substanzen für den Zeitraum bis 2100 einen Temperaturanstieg von 1,4 bis 5,8 °C. Es gilt als sicher erwiesen, dass Kohlendioxid ein in diesem Zusammenhang beachtliches Schadpotential aufweist. Auf dem Gebiet des Klimaschutzes muss die langfristige Reduzierung des globalen Kohlendioxid-Ausstoßes daher als eines der Hauptziele angesehen werden.
Das Unternehmen *Dr. August Wolff GmbH & Co.* in Bielefeld hat sich diesem Ziel im Rahmen ihrer Umweltpolitik verstärkt angenommen.
Eine Maßnahme besteht in der Einführung des Hot/Cold-Verfahrens. Mit diesem Verfahren kann voraussichtlich ein wesentlicher Teil an Energie gegenüber dem derzeitig eingesetzten Hot/Hot-Verfahren eingespart werden. Mit der Einsparung an Energie ist auch eine unmittelbare Reduktion der indirekten Umweltauswirkungen in Form von Kohlendioxid-Emissionen verbunden.
Im Rahmen dieser Arbeit war das Hot/Cold-Verfahren sowohl auf die Einsparpotentiale gegenüber dem Hot/Hot-Verfahren als auch auf die mögliche Verfahrensumstellung und deren Auswirkungen zu untersuchen und zu bewerten.

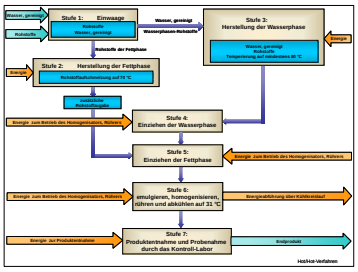


Vorstellung des Unternehmens *Dr. August Wolff GmbH & Co.*

Das Unternehmen *Dr. August Wolff GmbH & Co.* ist Hersteller und Vertreiber von Arzneimitteln, sowie Präparaten zur medizinischen Pflege der Haut. In verfahrenstechnischer Hinsicht ist das Unternehmen ausschließlich darauf spezialisiert als Wirk- und Hilfsstoffen entsprechende Arzneiformen herzustellen, wie z. B. Cremes oder Salben.
Das Unternehmen produziert heute ausschließlich Emulsionen und Liquida. Andere Arzneiformen werden entweder als Fertigarzneimittel oder aber als "Bulkware" bezogen. „Bulkware" ist die letzte mögliche Herstellungsstufe auf dem Weg zum Arzneimittel.
Eingesetzte Verfahren zur Herstellung der im Unternehmen produzierten Arzneiformen sind Lösen oder Suspendieren von Arznei- und Hilfsstoffen in Wasser oder wässrigen Grundlagen und das Emulgieren von fett- oder wachsartigen, arzneistoffhaltigen Mischungen in Wasser.
Diese Vorgänge werden in Mischanlagen zum Teil unter Erwärmung durchgeführt, eine erforderliche Emulgierung findet in Spezialmischern statt.
Die fertige Arzneiform wird einer eingehenden qualitativen und quantitativen Qualitätsprüfung unterzogen. Das geprüfte und freigegebene Produkt wird in z. B. Tuben abgefüllt und anschließend in Umlauf gebracht.

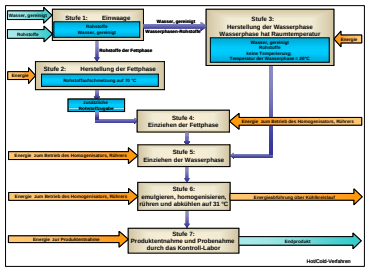
Das Hot/Hot-Verfahren

Das Hot/Hot-Verfahren wird zur Zeit zur Herstellung der im Unternehmen produzierten Emulsionen angewandt. Zum Einsatz in der Herstellung kommen Homogenisier-Mischer mit je zwei separaten Vorphasenbehältern.
Der Herstellungsprozess lässt sich in verschiedene Stufen einteilen. Die benötigten Roh- und Hilfsstoffe werden eingewogen und den Vorphasen zugeordnet. Anschließend werden die Vorphasen bis zu einem bestimmten Temperaturniveau aufgeheizt, dieses Niveau wird 30 Minuten gehalten. Nach Ablauf der Haltezeit wird erst die Wasserphase und dann die Fettphase in den Mischer eingezogen. Die vereinigten Phasen werden unter Homogenisation und Rühren emulgiert und kaltgerührt, zudem erfolgen im Prozessverlauf einige Umpumpschritte. Der Abkühlungsprozess wird unter Anwendung eines Kühlkreislaufes beschleunigt. Die abschließende Produktentnahme erfolgt nach Erreichen der Endtemperatur durch Ausbringung des Endproduktes mittels Homogenisator in bereitgestellte Behältnisse.



Das Hot/Cold-Verfahren

Das Hot/Cold-Verfahren soll zukünftig zur Herstellung der im Unternehmen produzierten Emulsionen angewandt werden. Eine Änderung der Anlagentechnik ist nicht erforderlich. Zum Einsatz in der Herstellung kommen die vorhandenen Homogenisier-Mischer mit je zwei separaten Vorphasenbehältern.
Der Herstellungsprozess lässt sich in verschiedene Stufen einteilen. Die benötigten Roh- und Hilfsstoffe werden eingewogen und den Vorphasen zugeordnet. Anschließend wird die Fettphase bis zu einem bestimmten Temperaturniveau aufgeheizt und 30 Minuten auf diesem Niveau gehalten. Die Wasserphase wird 5 Minuten gerührt, auf eine Aufheizung wird verzichtet. Nach Ablauf der Haltezeit der Fettphase wird erst die Fettphase und dann die Wasserphase in den Mischer eingezogen. Die vereinigten Phasen werden unter Homogenisation und Rühren emulgiert und kaltgerührt, zudem erfolgen im Prozessverlauf einige Umpumpschritte. Der Abkühlungsprozess wird unter Anwendung eines Kühlkreislaufes beschleunigt. Die abschließende Produktentnahme erfolgt nach Erreichen der Endtemperatur durch Ausbringung des Endproduktes mittels Homogenisator in bereitgestellte Behältnisse.



Untersuchungsergebnisse der Versuchsanlage

Die Untersuchungen zu beiden Verfahren wurden mittels der Versuchsanlage BECOMIX RW 50 anhand von drei Chargen durchgeführt und anschließend einer Mittelung unterzogen.

Mittlerer Gesamtenergieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 23,85 kWh (0,48 kWh/kg)
- Hot/Cold-Verfahren: 11,60 kWh (0,23 kWh/kg)

→ Einsparung: 12,25 kWh → Reduktionspotential: 51,4 %

Mittlerer elektrischer Energieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 2,46 kWh
- Hot/Cold-Verfahren: 1,97 kWh

→ Einsparung: 0,49 kWh → Reduktionspotential: 20 %

Mittlerer thermischer Energieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 21,40 kWh
- Hot/Cold-Verfahren: 9,63 kWh

→ Einsparung: 11,77 kWh → Reduktionspotential: 55 %

Mittlere Zeitdauer:

- Hot/Hot-Verfahren: 154 min
- Hot/Cold-Verfahren: 113 min

→ Einsparung: 41 min → Reduktionspotential: 26,6 %

Untersuchungsergebnisse der Produktionsanlage

Die Untersuchungen zum Hot/Hot-Verfahren wurden unter Anwendung der Produktionsanlage BECOMIX RW 500 anhand von drei Chargen vollzogen. Hinsichtlich des Hot/Cold-Verfahrens wurde ein Scaling Up auf Basis der Versuchanlage durchgeführt.

Mittlerer Gesamtenergieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 249,78 kWh (0,50 kWh/kg)
- Hot/Cold-Verfahren: 143,17 kWh (0,29 kWh/kg)

→ Einsparung: 106,61 kWh → Reduktionspotential: 42,6 %

Mittlerer elektrischer Energieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 48,33 kWh
- Hot/Cold-Verfahren: 34,32 kWh

→ Einsparung: 14,01 kWh → Reduktionspotential: 29 %

Mittlerer thermischer Energieverbrauch:

- Hot/Hot-Verfahren: 201,45 kWh
- Hot/Cold-Verfahren: 108,86 kWh

→ Einsparung: 92,59 kWh → Reduktionspotential: 46 %

Mittlere Zeitdauer:

- Hot/Hot-Verfahren: 167 min
- Hot/Cold-Verfahren: 133 min

→ Einsparung: 34 min → Reduktionspotential: 20,4 %

Das „worst case"-Szenario

Beim „worst case"-Szenario wird davon ausgegangen, dass der vom Unternehmen als sicher Hot/Cold geeignet eingeschätzte Anteil der mittleren jährlichen Emulsionsproduktion auf das Hot/Cold-Verfahren umgestellt werden kann, dies wären 190,933 Mg/a. Der verbleibende Anteil von 318,720 Mg/a wird weiterhin unter Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens produziert.

Die Verfahrensumstellung auf Hot/Cold unter Anwendung des „worst case"-Szenarios birgt ein Potential der Energieeinsparung von 16,5 % gegenüber der Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens. Die mittlere jährliche Einsparung liegt bei 42,006 MWh/a; sie setzt sich zusammen aus der jährlichen Stromeinsparung von 17,184 MWh/a und der jährlichen Erdgaseinsparung von 24,822 MWh/a.

In Bezug auf die Kohlendioxid-Emissionen ist ein Einsparungspotential von 16,8 % gegenüber dem Hot/Hot-Verfahren zu verzeichnen. Die mittlere jährliche Einsparung der Kohlendioxid-Emission liegt bei 9,281 Mg/a, diese setzt sich zusammen aus der Einsparung durch die Strombereitstellung um 3,523 Mg/a und die Erdgasbereitstellung um etwa 5,759 Mg/a.

Hinsichtlich des Einsparungspotentials der finanziellen Aufwendungen zur Deckung des Energiebedarfes ist festzustellen, dass, käme das Hot/Cold-Verfahren zur Anwendung, dieses mit 14,9 % bei 1.626,57 €/a gegenüber dem Hot/Hot-Verfahren läge. Diese Einsparungen setzen sich zusammen aus einem Betrag von 936,52 €/a über die Strombereitstellung zum einen und zum anderen aus dem Betrag von 690,05 €/a über die Erdgasbereitstellung.

Für die Verfahrensumstellung unter der Annahme des „worst case"-Szenarios müssen Investitionen in einer Höhe von 53.509,89 € getätigt werden. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten für die Machbarkeitsprüfung, die Entwicklung der Herstellungsverfahren sowie die Herstellungsvalidierung und Stabilitätsprüfung. Es fallen keine Kosten hinsichtlich der Anlagentechnik an, da Änderungen nicht erforderlich sind.

Zusätzlich zu den Einsparungen auf dem Sektor der Energiekosten ist mit einer Senkung der Wartungs- und Reparaturkosten der Flow Ice Anlage um 944,5 €/a, durch verminderte Betriebslaufzeiten zu rechnen. Somit betragen die jährlichen finanziellen Einsparungen unter der Annahme des „worst case"-Szenarios 2.571,07 €/a.

Die Verfahrensumstellung von Hot/Hot nach Hot/Cold unter Annahme des „worst case"-Szenarios würde sich nach 55 Jahren amortisieren.

Verfahrensumstellung von Hot/Hot auf Hot/Cold unter Annahme des "worst case"-Szenarios	
Betrachtung:	mittleres Geschäftsjahr
herangezogene Daten:	Jahresproduktion über den Geschäftszeitraum 1999 bis 2002
Annahme:	Jahresproduktion wird komplett mittels BECOMIX RW 500 umgesetzt

Aufgliederung der Emulsionsprodukte nach Anwendbarkeit des Hot/Cold-Verfahrens über den Geschäftszeitraum 1999 bis 2002			
Geschäftsjahr	Emulsionsprodukte, gesamt [Mg]	Emulsionsprodukte, Hot/Cold sicher geeignet [Mg]	Emulsionsprodukte, Hot/Cold eventuell ungeeignet [Mg]
1999/2000	557,894	208,500	349,394
2000/2001	452,544	151,650	300,944
2001/2002	518,521	212,300	306,221
mittleres Geschäftsjahr	509,653	190,933	318,720

Berechnungsergebnisse hinsichtlich Energieverbrauch, Kohlendioxid-Emissionen und Energiekosten ("worst case"-Szenario)							
		Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens	Anwendung des Hot/Cold-Verfahrens		Einsparung		
		gesamt	Anteil Heißluft	Anteil Kälte	Absolutwert	Prozentwert
Energieverbrauch [MWh/a]	gesamt [MWh/a]	254,827	212,823	159,360	53,463	42,006 MWh/a	16,5%
	elektrisch [MWh/a]	142,703	125,519	88,242	36,277	17,184 MWh/a	12,0%
	thermisch [MWh/a]	112,124	87,303	71,118	17,186	24,822 MWh/a	22,1%
Kohlendioxid-Emissionen [Mg/a]	gesamt [Mg/a]	55,267	45,985	34,561	11,424	9,282 Mg/a	16,8%
	elektrisch [Mg/a]	29,254	25,731	18,264	7,467	3,523 Mg/a	12,0%
	thermisch [Mg/a]	26,013	20,254	16,297	3,957	5,759 Mg/a	22,1%
Energiekosten [€/a]	gesamt [€/a]	10894,36	9267,79	8817,97	2450,69	1626,57 €/a	14,9%
	elektrisch [€/a]	7777,31	6840,79	6863,69	1977,63	936,52 €/a	12,0%
	thermisch [€/a]	3117,05	2427,00	1954,28	473,06	690,05 €/a	22,1%

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Annahme des "worst case"-Szenarios		
Investitionskosten [€]	gesamt [€]	53509,89
	Machbarkeitsprüfung [€]	3196,36
	Entwicklung des Herstellungsverfahrens [€]	11506,77
	Herstellungsvalidierung und Stabilitätsprüfung [€]	38806,77
Finanzierungskosten [€/a]		1655,3
Einsparungen [€/a]	gesamt [€/a]	2571,07
	Energiekosten [€/a]	1626,57
	Wartungs- und Reparaturkosten der Flow Ice Anlage [€/a]	944,5
Kostenersparnis [€/a]		915,77
Amortisation [a]		55

Das „best case"-Szenario

Beim „best case"-Szenario wird davon ausgegangen, dass der vom Unternehmen als eventuell Hot/Cold geeignet eingeschätzte Anteil der mittleren jährlichen Emulsionsproduktion auf das Hot/Cold-Verfahren umgestellt werden kann, dies wären 464,653 Mg/a. Der verbleibende Anteil von 45 Mg/a wird als nicht Hot/Cold geeignet eingeschätzt und somit weiterhin unter Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens produziert.

Die Verfahrensumstellung auf Hot/Cold unter Anwendung des „best case"-Szenarios birgt ein Potential der Energieeinsparung von 40,1 % gegenüber der Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens. Die mittlere jährliche Einsparung liegt bei 102,224 MWh/a; sie setzt sich zusammen aus der jährlichen Stromeinsparung von 41,819 MWh/a und der jährlichen Erdgaseinsparung von 60,405 MWh/a.

In Bezug auf die Kohlendioxid-Emissionen ist ein Einsparungspotential von 40,9 % gegenüber dem Hot/Hot-Verfahren zu verzeichnen. Die mittlere jährliche Einsparung der Kohlendioxid-Emission liegt bei 22,587 Mg/a, diese setzt sich zusammen aus der Einsparung durch die Strombereitstellung um 8,573 Mg/a und die Erdgasbereitstellung um etwa 14,014 Mg/a.

Hinsichtlich des Einsparungspotentials der finanziellen Aufwendungen zur Deckung des Energiebedarfes ist festzustellen, dass, käme das Hot/Cold-Verfahren zur Anwendung, dieses mit 36,3 % bei 3.958,39 €/a gegenüber dem Hot/Hot-Verfahren läge. Diese Einsparungen setzen sich zusammen aus einem Betrag von 2279,13 €/a über die Strombereitstellung zum einen und zum anderen aus dem Betrag von 1679,26 €/a über die Erdgasbereitstellung.

Für die Verfahrensumstellung unter der Annahme des „best case"-Szenarios müssen Investitionen in Höhe von 70.281,07 € getätigt werden. Diese setzen sich zusammen aus den Kosten für die Machbarkeitsprüfung, die Entwicklung der Herstellungsverfahren sowie die Herstellungsvalidierung und Stabilitätsprüfung. Es fallen keine Kosten hinsichtlich der Anlagentechnik an, da Änderungen nicht erforderlich sind.

Zusätzlich zu den Einsparungen auf dem Sektor der Energiekosten ist mit einer Senkung der Wartungs- und Reparaturkosten der Flow Ice Anlage um 2.297,02 €/a, durch verminderte Betriebslaufzeiten zu rechnen. Somit betragen die jährlichen finanziellen Einsparungen unter der Annahme des „best case"-Szenarios 6.255,41 €/a.

Die Verfahrensumstellung von Hot/Hot nach Hot/Cold unter Annahme des „best case"-Szenarios würde sich nach 17 Jahren amortisieren.

Verfahrensumstellung von Hot/Hot auf Hot/Cold unter Annahme des "best case"-Szenarios	
Betrachtung:	mittleres Geschäftsjahr
herangezogene Daten:	Jahresproduktion über den Geschäftszeitraum 1999 bis 2002
Annahme:	Jahresproduktion wird komplett mittels BECOMIX RW 500 umgesetzt

Aufgliederung der Emulsionsprodukte nach Anwendbarkeit des Hot/Cold-Verfahrens über den Geschäftszeitraum 1999 bis 2002			
Geschäftsjahr	Emulsionsprodukte, gesamt [Mg]	Emulsionsprodukte, Hot/Cold geeignet [Mg]	Emulsionsprodukte, Hot/Cold nicht geeignet (Pauschalwert) [Mg]
1999/2000	557,894	512,894	45,000
2000/2001	452,544	407,544	45,000
2001/2002	518,521	473,521	45,000
mittleres Geschäftsjahr	509,653	464,653	45,000

Berechnungsergebnisse hinsichtlich Energieverbrauch, Kohlendioxid-Emissionen und Energiekosten ("best case"-Szenario)							
		Anwendung des Hot/Hot-Verfahrens	Anwendung des Hot/Cold-Verfahrens		Einsparung		
		gesamt	Anteil Heißluft	Anteil Kälte/Cold	Absolutwert	Prozentwert
Energieverbrauch [MWh/a]	gesamt [MWh/a]	254,827	152,603	22,020	130,183	102,224 MWh/a	40,1%
	elektrisch [MWh/a]	142,703	100,884	12,600	88,284	41,819 MWh/a	29,3%
	thermisch [MWh/a]	112,124	51,719	9,900	41,819	60,405 MWh/a	53,9%
Kohlendioxid-Emissionen [Mg/a]	gesamt [Mg/a]	55,267	32,680	4,980	27,700	22,587 Mg/a	40,9%
	elektrisch [Mg/a]	29,254	20,681	2,560	18,086	8,573 Mg/a	29,3%
	thermisch [Mg/a]	26,013	11,999	2,297	9,702	14,014 Mg/a	53,9%
Energiekosten [€/a]	gesamt [€/a]	10894,36	6535,97	961,92	5574,05	3958,39 €/a	36,3%
	elektrisch [€/a]	7777,31	5498,18	686,70	4811,48	2279,13 €/a	29,3%
	thermisch [€/a]	3117,05	1437,79	275,22	1162,57	1679,26 €/a	53,9%

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unter Annahme des "best case"-Szenarios		
Investitionskosten [€]	gesamt [€]	70281,07
	Machbarkeitsprüfung [€]	2196,36
	Entwicklung des Herstellungsverfahren [€]	15362,36
	Herstellungsvalidierung und Stabilitätsprüfung [€]	51742,36
Finanzierungskosten [€/a]		2108,63
Einsparungen [€/a]	gesamt [€/a]	6255,41
	Energiekosten [€/a]	3958,39
	Wartungs- und Reparaturkosten der Flow Ice Anlage [€/a]	2297,02
Kostenersparnis [€/a]		4146,08
Amortisation [a]		17

Diplomarbeit

von Michael Theune, Matr.-Nr. 13593037

Betreuer:

Herr Prof. Dr. phil. nat. M. Sietz

Herr Prof. Dr.-Ing. K.-H. Henne

im September 2002

Fachhochschule Lippe und Höxter
University of Applied Sciences