



## Zukünftige Prozesstechnologien für neue solarthermische Anwendungen

### Bettina Muster

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien  
A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19  
AUSTRIA

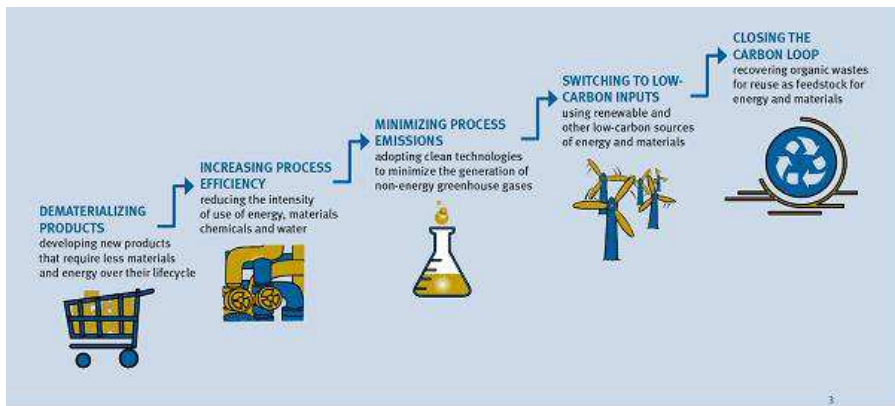


### Überblick

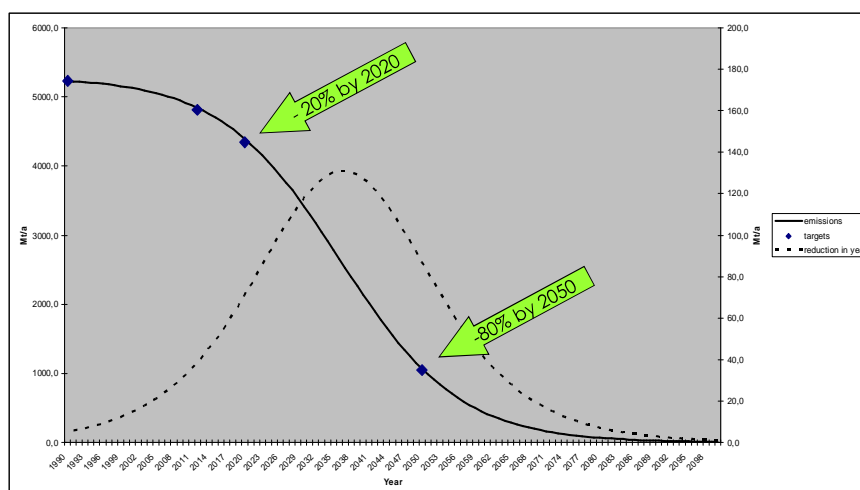


- **Prozessoptimierung als Baustein in der methodischen Vorgehensweise zu Solarintegration**
- **Notwendigkeit an neuen Technologien? Prozessintensivierung**
- **Strategien für verbesserte Einbindung von Solarthermie**

## ➤ Energieeffizienzschritte zentral wichtig



Source: UNIDO 2010

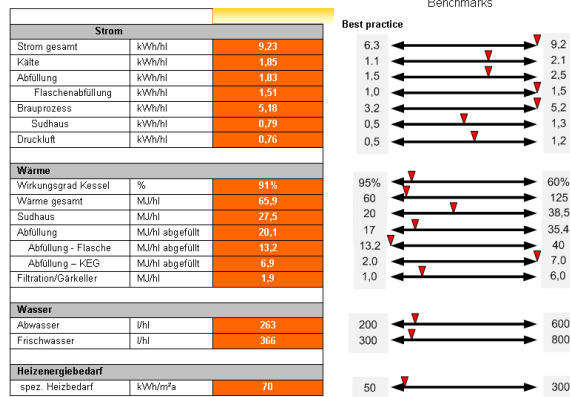


Schnitzer, TU Graz

## Optimierungen in der Industrie

### ➤ Wo sind Optimierungen sinnvoll?

⇒ Detailliertere Analyse der einzelnen Bereiche nötig



## Optimierungen in der Industrie

### ➤ Welche Optimierungen sind sinnvoll?

### ➤ Vielzahl an Maßnahmenkatalogen

⇒ IPPT Best Reference Documents

⇒ Manuals und Maßnahmenkataloge aus Projekte

			report	Estimated review start
	3.3.3	Chillers and cooling systems	174	
	3.4	Cogeneration	176	
	3.4.1	Different types of cogeneration	176	
	3.4.2	Trigeneration	184	
	3.4.3	District cooling	187	
	3.5	Electrical power supply	190	
	3.5.1	Power factor correction	190	
	3.5.2	Harmonics	192	
	3.5.3	Optimising supply	193	
	3.5.4	Energy efficient management of transformers	194	
	3.6	Electric motor driven sub-systems	196	
	3.6.1	Energy efficient motors (EEM)	200	2008
	3.6.2	Proper motor sizing	201	
	3.6.3	Variable speed drives	202	
	3.6.4	Transmission losses	203	
	3.6.5	Motor repair	203	
	3.6.6	Rewinding	203	
	3.6.7	Achieved environmental benefits, Cross media effects, Applicability, and other considerations for electric motor ENE techniques	204	
	3.7	Compressed air systems (CAS)	206	
	3.7.1	System design	212	
	3.7.2	Variable speed drives (VSD)	214	
	3.7.3	High efficiency motors (HEM)	216	
	3.7.4	CAS master control systems	216	
	3.7.5	Heat recovery	220	
	3.7.6	Reducing compressed air system leaks	221	
	3.7.7	Filter maintenance	223	
	3.7.8	Feeding the compressor(s) with cool outside air	224	
	3.7.9	Optimising the pressure level	226	
	3.7.10	Storage of compressed air near high-fluctuating uses	228	
	3.8	Pumping systems	228	
	3.8.1	Design and assessment of pumping systems	228	

## Methodische Vorgehensweise

### ➤ → Herausfinden von Maßnahmen erfordert methodische Vorgehensweise

		<ul style="list-style-type: none"> <li>Decide if potential for a solar process heat system is given</li> </ul>
4	Company visit	<ul style="list-style-type: none"> <li>Get overview of production site, heat consumers, and heat supply system together with responsible technical staff of company</li> <li>Find out about future plans and strategy of the company</li> <li>Collect, draw and discuss sketches (production flow, possible integration points, roof area, location for storages, etc.) with technical staff</li> </ul>
5	Analysis of status quo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Crosscheck gathered data with available benchmarks</li> <li>Draw energy balance and flow sheet of production, try to estimate energy consumption of single production sections or processes</li> </ul> <p><i>Actual depth of this analysis is based on available data and resources of auditor</i></p>
6	Process optimization & energy efficiency	<ul style="list-style-type: none"> <li>Check heat recovery potential within utilities (supply of heat, cold, compr. air)</li> <li>Investigate energy saving potential for processes (installations, control, etc.)</li> </ul> <p><i>Effort and depth of this step is based on the knowledge and resources of auditor</i></p>
7	Identification of integration points	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apply the following criteria to all production processes with heat demand: temperature level, load profile, amount of thermal energy consumed, effort for integration, sensitivity to changes, and possible solar fraction</li> <li>Rank heat consumers based on these criteria</li> </ul>
8	Analysis of integration points	<ul style="list-style-type: none"> <li>Identify suitable collector type, necessary area and storage volume, proposed solar fraction and yield, overall costs (solar heating system, integration and installation) for the integration points of your ranking from prior step</li> <li>Compare technical and economical facts of your ranking</li> <li>Create short report with overview of most suitable integration points</li> </ul> <p><i>Analysis can be done by simulations or estimative figures</i></p>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>Discuss possibilities for solar process heat system with company</li> </ul>

## Identifikation möglicher Solar-Integrationspunkte

Integration Guideline - IEA SHC Task 49/IV



IEA SHC TASK 49/IV

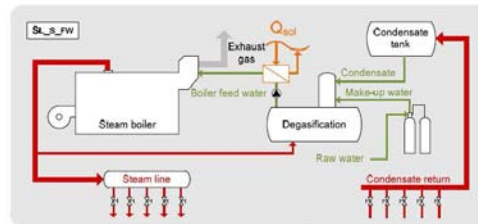
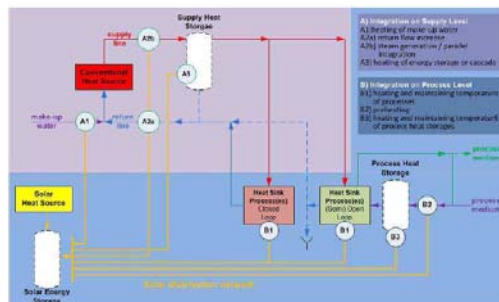
### Integration Guideline

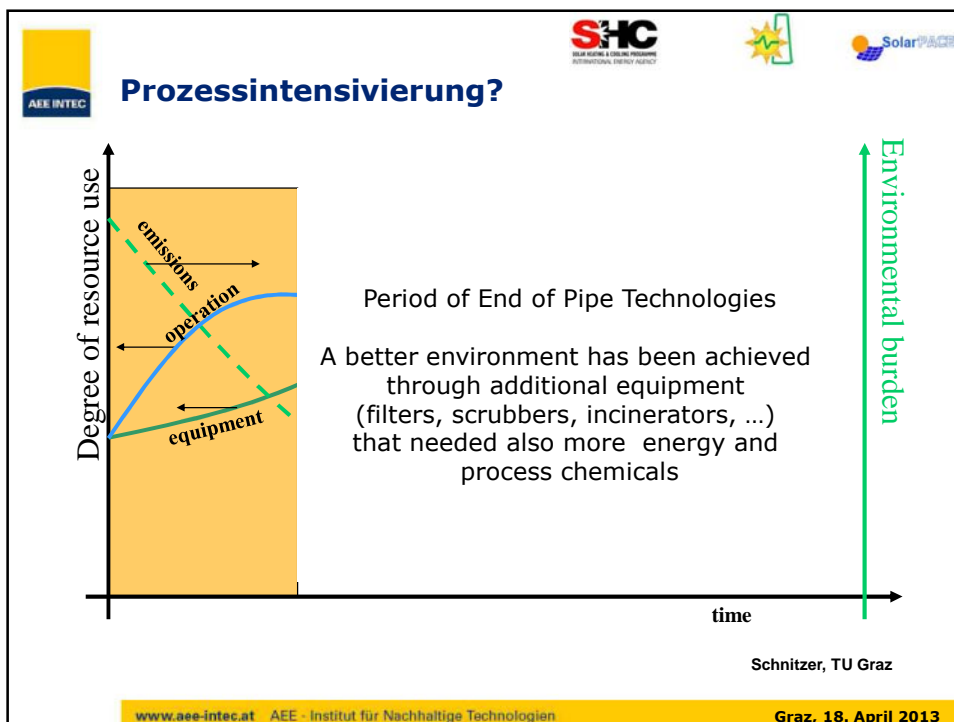
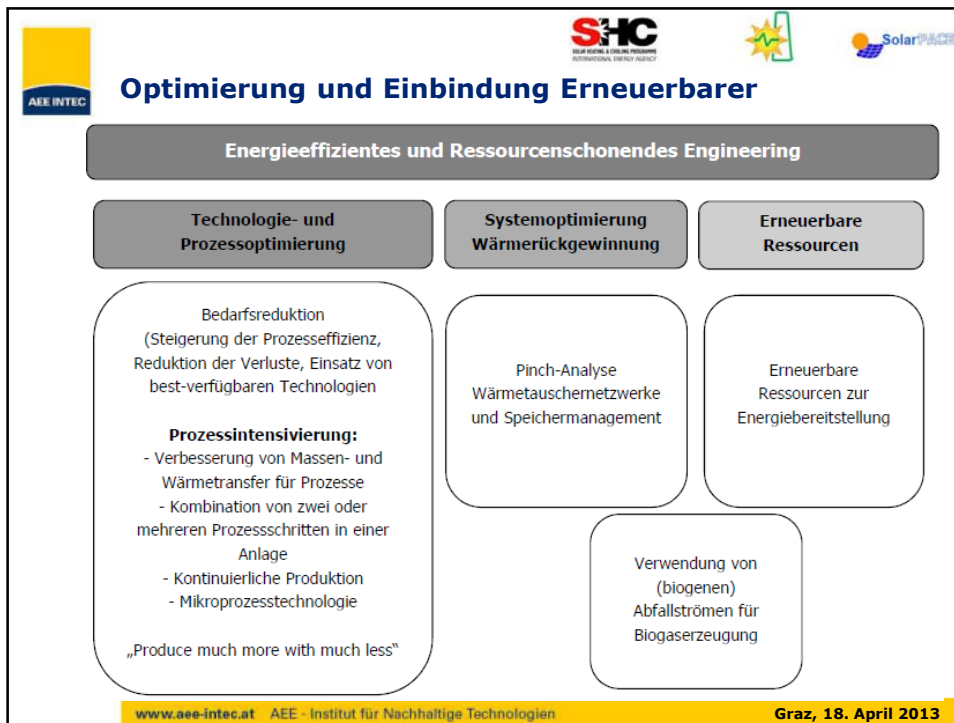
Guideline to solar planners, energy consultants and process engineers showing the general procedure for integrating solar heat in industry, basic steps for identifying suitable integration points and available integration concepts.

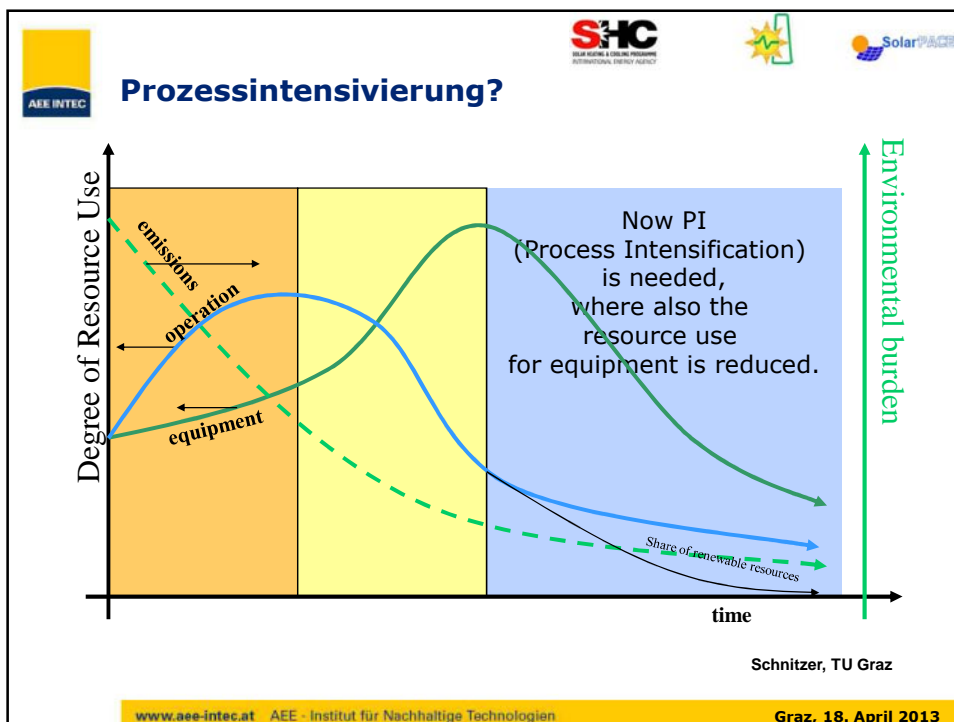
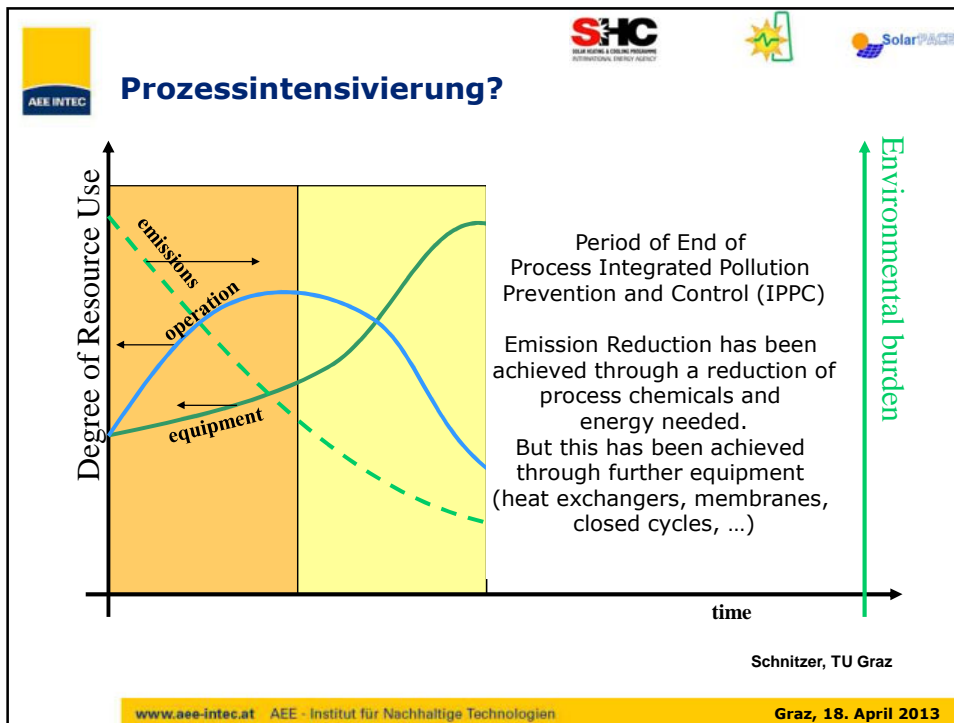
Authors: Bettina Muster, Bastian Schmitt, Pieme Krummenacher, Annabell Helmke, Eyal Ben Haim

This Guideline has been developed based on meetings and discussions of several experts. The authors therefore thank the all contributors for their scientific input, and the following experts for their reviews (in alphabetical order):

Christoph Brunner, Marco Calderini, Stefan Hell, Christoph Lauterbach, Detlev Sedler, Franz Mauthner, Sandrine Pelissier-Popay, David Noy









## Prozessintensivierung – Mischen und Wärmeübergang



### ➤ Traditionelle Prozesstechnologien

- **Rührkesseln mit Wandheizung**
- **Tunnelpasteure / Kammerpasteure**
- **Autoklaven**
- **Plattenwärmetauscher**
- **Etc.**



G. Agricola, *De Re Metallica*, 1556



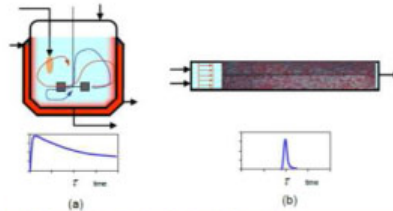
Chemical Process Industry, 2006

- **THIS IS NOT THE WAY TO BOOST EFFICIENCY**
- **PROCESS INNOVATION IS CLEARLY NEEDED**

Stankiewicz, TU Delft

## Warum Änderungen von Prozesstechnologien?

- **Von Batch-Prozessen zu kontinuierlichen Prozessen**
  - **Hohe Prozesseffizienz, kleine Verweilzeitverteilung, strukturierte Prozesse**
  - **Gute Prozesskontrolle**
  - **Geringe Energiedichten (keine Spitzen im Heiz/Kühlbedarf)**
  - **Geringerer Reinigungsbedarf**
  - **Geringere Energieverteilungsverluste durch kontinuierlichen Bedarf**



## Warum Änderungen von Prozesstechnologien?

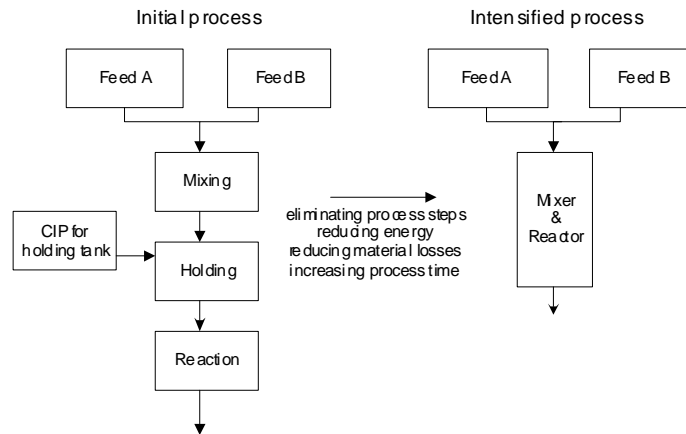
- **Verbesserter Wärme- und Massentransfer**

Wärmetauscher/ Reaktor	Spinning Disk	kompakter multifunktionaler Wärmetauscher- reaktor (mit versetzten Rippenrohren)	Platten- wärmetauscher	Oszillierender Rohrreaktor	Rohrreaktor	Batch betriebener Rührkessel mit externem Wärmetauscher	Batch betriebener Rührkessel mit Wand-beheizung
Schema							
Wärmetransfer- koeffizient $W/m^2K$	15000 [1]	5000 [2]	2000-4000 [3]	1500-2500 [4a]	500 [5]	1000 [5]	400-800 [5,b]
spezifische Wärmetauscher- flächen $m^2/m^3$		800 [2]		400 [4b]	400 [5]	1,0 [5]	2,5 [5]
Größenordnung der Verweilzeit	Sekunden	Sekunden - Minuten	Sekunden - Minuten	Minuten - Stunden	Sekunden - Minuten	Minuten - Stunden	Minuten - Stunden



## Warum Änderungen von Prozesstechnologien?

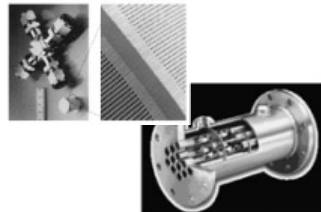
- **Prozesssynergien: Größenminimierung, verbesserter Wärme- und Massentransfer, weniger Reinigung...**



## PI Technologien?

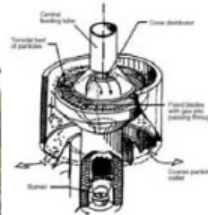
### Verbesserung von Wärme/Massentransfer

- **Passive Verbesserung durch Einbauten, größere Oberflächen etc.**



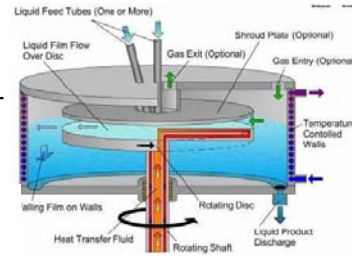
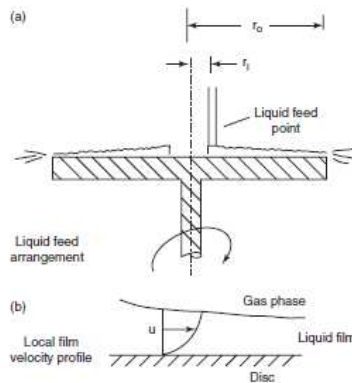
- **Aktive Verbesserung durch Rotation, Oszillation, elektromagnetische Effekte etc.**

(Chemineer Inc.; in Anxionnaz, 2008)

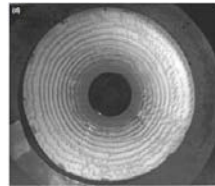


## Beispiel Rotation - Spinning disc

- Theoretischer k Wert  
43 kW/m<sup>2</sup>K;  
typischerweise 5-20 kW/m<sup>2</sup>K
- Sehr effektiv für Massentransfer  
zw. Gasen & Flüssigkeiten



C. Ramshaw, in: *Re-Engineering the Chemical Processing Plant*, Marcel Dekker, 2003



Graz, 18. April 2013

## Beispiel Rotation

### GASTRAN SYSTEMS DEAERATOR

The deaerator (upper right of facility) uses a rotating packed bed at a PepsiAmericas plant in Austin, USA, in conjunction with vacuum operation to remove dissolved oxygen – deaerating the water to canning or bottling lines.

Gets down to 0.3-0.6 ppm, lower than current deaeration practice, with less energy use, no CO<sub>2</sub> or N<sub>2</sub>, allowing consistent drink carbonation.



## Beispiel Rotation

### CUSTARD MAKING ON A SPINNING DISC



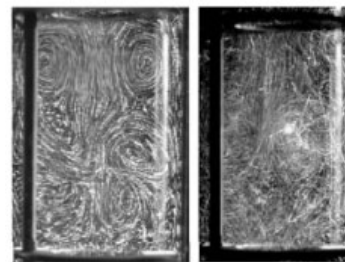
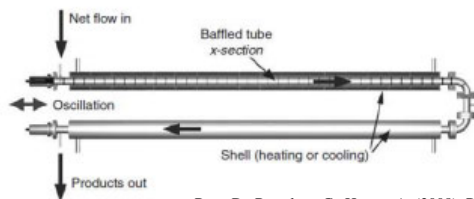
1-2 seconds residence time, 10 l/h feed at centre. 1000rpm. 150 deg. C disc surface T, diam. 100mm  
Leeds tested ice cream too.

Scale up to a 500mm disc could give 250 l/h



## Beispiel Oszillation - OBR

- Medium zwischen den Reaktoreinbauten strömt turbulent ( $Re$  1000-2000), Fließgeschwindigkeit insgesamt laminar ( $Re$  50-200)
- Fließgeschwindigkeit von der Verweilzeit entkoppelt
- Hohe Wärmetransferraten und ideale Durchmischung
- Hohe Massentransferraten



Reay D., Ramshaw C., Harvey A. (2008): Process Intensification - Engineering for efficiency, sustainability and flexibility.

## Mischen und Wärmeübergang

### ➤ Vielzahl an Beispielen für „PI“ Technologien

Technology / Unit Operation	pasteurization	sterilization	cooking	heating/ reaction
HEX reactors				
compact HX (plate HX; extended surface HX)	x	x		x
inserts (offset strip fins; metallic foams; vortex generators)				x
Spinning disc				x
ultrasound	x	x	x	x
PDX			x	x
microchannel reactors				x
static mixers in shell and tube HX				x
oscillatory flow reactors				x
ohmic heating	x	x		x
microwave heating	x	x	x	x
IR heating	x			
RF heating	x	x	x	x
UV irradiation/Pulsed Light	x	x		
Pulsed Electric Field	x	x		
High Hydrostatic Pressure	x	x		

## Energieeinsparungen in der LM Industrie

### ENERGY SAVING DUE TO PI-FOOD & DRINK SECTOR

#### SOME PI TECHNOLOGIES

- Multi-functional equipment
- Micro/milli reactors
- Oscillatory baffled reactors
- Electrical enhancement (Microwaves, ultrasound)
- High gravity (e.g. Spinning disc; rotating packed bed)
- Compact heat exchangers (CHEs)

#### APPLICATIONS & ENERGY SAVING\*

- Drying & crystallisation 10% of total (3-5 PJ)
- Ingredients etc. 1 PJ
- Drying 5%; product processing 10%. Total 2-3 PJ
- Emulsification/mixing – 10-20% Total 0.5 PJ/a (Neglects deaeration etc.)

\*Saving per annum

## Strategien der Prozessintensivierung mit Auswirkung auf die Solarintegration

Strategien für verbesserten Wärmeübergang:

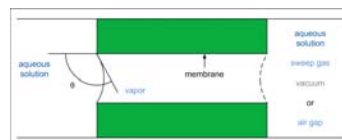
- Vergrößerung von WT Flächen
- Höhere Wärmetransferkoeffizienten
- Höhere Temperaturgradienten
- Energieversorgung ohne thermische Gradienten.

Wärmetauscher/Reaktor	Spinning Disk	kompakter multifunktionaler Wärmetauscher-Reaktor (mit versetzten Rippenrohren)	Plattenwärmetauscher	Oszillierender Rohrreaktor	Rohrreaktor	Batch betriebener Rührkessel mit externem Wärmetauscher	Batch betriebener Rührkessel mit Wandbeheizung
Schema							
Wärmetransferkoeffizient $W/m^2K$	15000 [1]	5000 [2]	2000-4000 [3]	1500-2500 [4a]	500 [5]	1000 [5]	400-800 [5,6]
spezifische Wärmetauscherfläche $m^2/m^3$		800 [2]		400 [4b]	400 [5]	10 [5]	2,5 [5]
Größenordnung der Verweilzeit	Sekunden	Sekunden - Minuten	Sekunden - Minuten	Minuten - Stunden	Sekunden - Minuten	Minuten - Stunden	Minuten - Stunden

## Strategien der Prozessintensivierung mit Auswirkung auf die Solarintegration

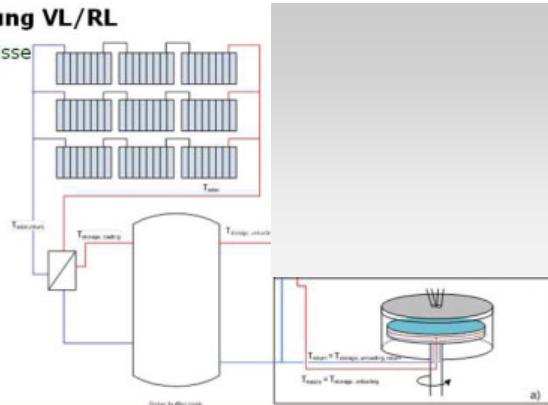
Strategien für Prozessoptimierung durch neue Triebkräfte:

- Höhere Selektivität in Trennprozessen (e.g. Membranunterstützte Verfahren statt atmosphärischer Verdampfung)
- Electromagnetische Wirkung auf Moleküle und Mikroorganismen (e.g. Wechsel von thermischer Inaktivierung von Mikroorganismen zu nicht-thermischen Verfahren, wie Mikrowellen oder pulsed electric fields)



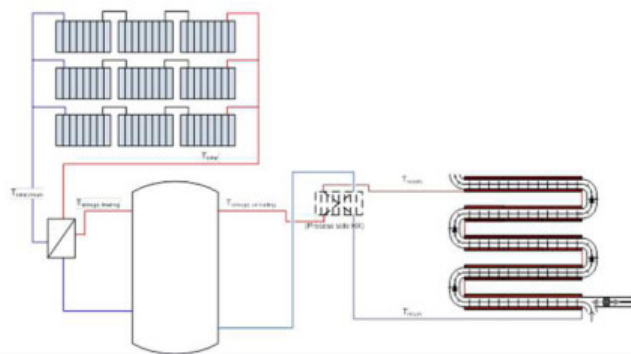
## Beispiel - Solarintegration mit Spinning Disc

- **Prozess, der auf Temperatur gehalten werden muss (zB 80°C)**
- **Hoher k-Wert → geringer Temperaturgradient möglich**
  - ⇒ Positiv für Niedertemperaturkollektoren, Arbeitstemperatur nahe Prozesstemperatur möglich
- **Geringe Spreizung VL/RL**
  - ⇒ Hohe Massenflüsse

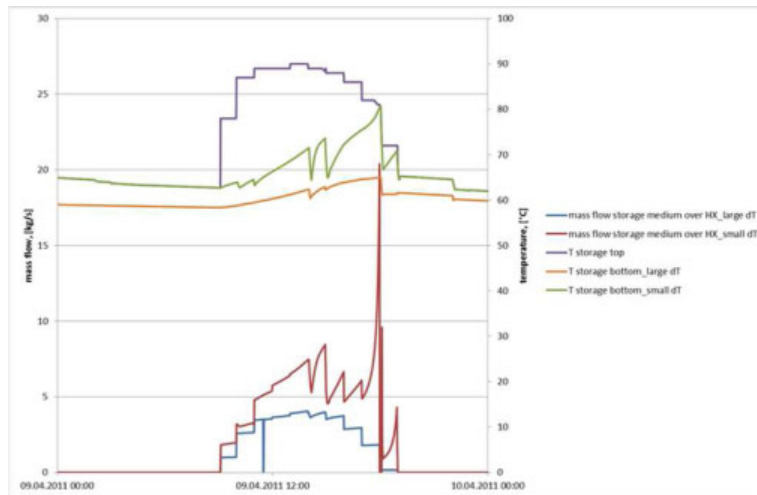


## Beispiel - Solarintegration mit OBR

- **Prozess, der graduell erwärmt werden muss (zB 60-80°C)**
- **Mittlerer-hoher k-Wert → geringer Temperaturgradient**
  - ⇒ Positiv für Niedertemperaturkollektoren
- **Größere Spreizung VL/RL**
  - ⇒ Geringe Massenflüsse



## Effekt des dT auf das Speichermedium



## Änderungen von Prozesstechnologien

- **Hohes Optimierungspotential in Industrie (Studien zeigen bis zu >20% Einsparpotential)**
- **Einbindung von Solarthermie von Temperaturprofil des Prozesses beeinflusst**
- **Optimierungen bestehender Technologien kann auch zu sehr guter Einbindung von erneuerbarer Energie führen**
  - Adaptierung von Wärmetauschern
  - Änderungen der Prozesskontrolle
  - Änderungen von Prozesstemperaturen
  - etc.
  - → Neue Lösungen beinhalten nicht zwangsweise Nutzung neuer Prozesstechnologien



## Zukünftige Prozesstechnologien für neue solarthermische Anwendungen

### Bettina Muster

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien  
A-8200 Gleisdorf, Feldgasse 19  
AUSTRIA