

- MODELLIERUNG, SIMULATION UND EXPERIMENTE ZU SIEDEVORGÄNGEN IM DRUCKWASSERREAKTOR -
Experimentelle Untersuchung von Siedevorgängen mit optischen Verfahren und Parameterbestimmung für CFD-Rechnungen an kleinskaligen Versuchsständen

ZIELE DES PROJEKTES

Untersuchung verschiedener Wärmeübergangsphänomene bei unterschiedlichen Siedezuständen und Parametern

Erfassung der lokalen und globalen Oberflächentemperatur beim Blasensieden

Gewinnung von experimentellen Daten zur Auswertung des Wärmestromes in der beheizten Wand
→ Infrarot- Temperaturmessung der Heizoberfläche bei Blasenentstehung und Ablösung im Versuchsstand „unterkühltes Sieden“

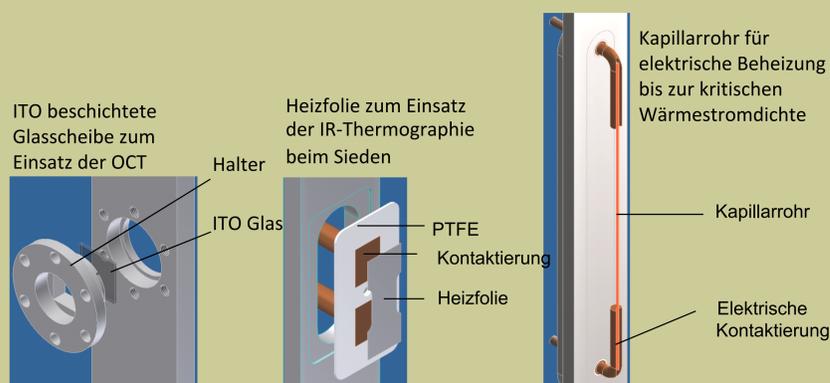
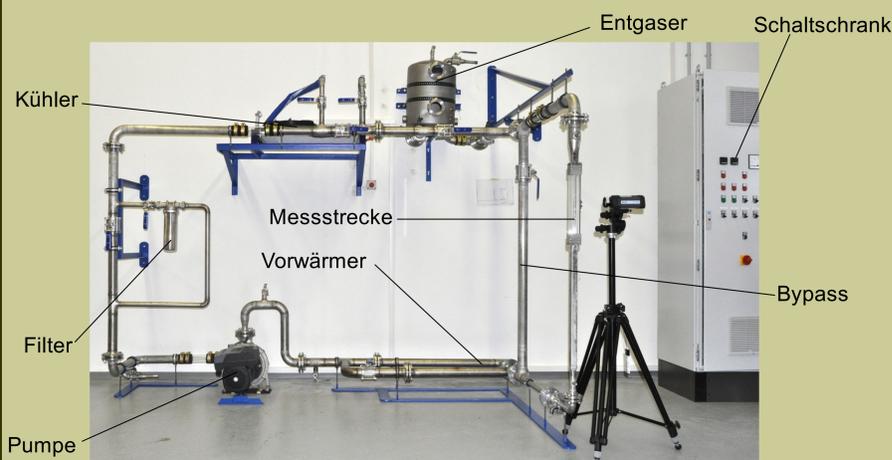
Erfassung geometrischer Parameter und Blasendynamik bei Entstehung, Verdampfung und Ablösung

Auswertung mittels Digitaler Bildverarbeitung zur Bestimmung wichtiger Kenngrößen zur Reproduktion des Wärme- und Stofftransportes
→ Blasenablösefrequenz
→ Ablösedurchmesser
→ Verdampfungs- und Kondensationsrate

Phänomenologische Untersuchung der 3- Phasen Kontaktlinie und des Blasenfuß

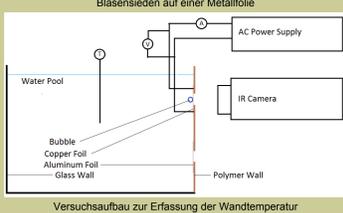
Einsatz der Optischen Kohärenztomographie (OCT) in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Fakultät der TU Dresden
→ zeitaufgelöste Darstellung der Grenzschicht zwischen optisch transparenter Heizschicht und Blase
→ Sekundärströmungen bei Ablösung und Aufstieg der Blase

- o Austauschbare Messstrecke mit unterschiedlichen Heizgeometrien zur Analyse des Blasensiedens
- o Sieden auf einer optisch transparenten, elektrisch leitenden ITO- Beschichtung



Aufbau der Versuchsanlage „unterkühltes Sieden“

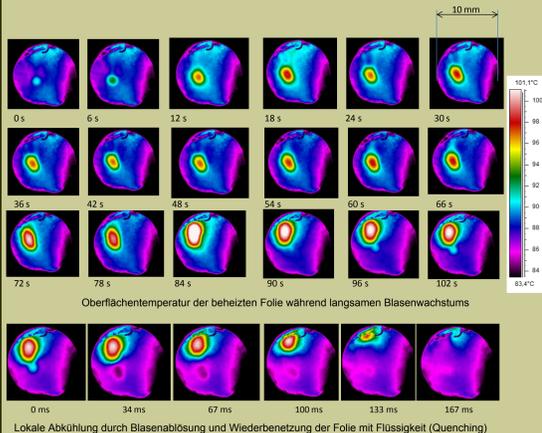
- o Blasensieden auf elektrisch beheizten Metallfolien
- o Erfassung der Wandtemperatur mit Infrarot-Thermographie bei unterschiedlichen Siedezuständen
- o Bestimmung des lokalen und globalen Wärmestroms auf der Metallfolie



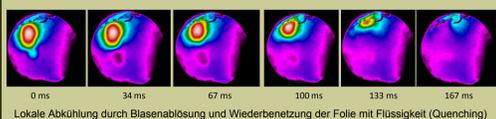
$$\delta_{HF} \rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \delta_{HF} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \dot{q}_{el} - \dot{q}_B$$

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{T_{k+1} - T_k}{\Delta \tau}$$

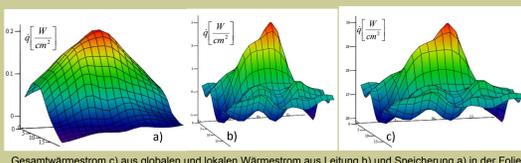
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \approx \frac{T_{i+1} - 2T_i + T_{i-1}}{(\Delta x)^2}$$



Oberflächentemperatur der beheizten Folie während langsamen Blasenwachstums



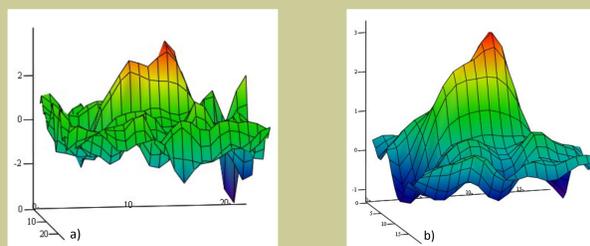
Lokale Abkühlung durch Blasenablösung und Wiederbenetzung der Folie mit Flüssigkeit (Quenching)



Gesamtwärmestrom c) aus globalen und lokalen Wärmestrom aus Leitung b) und Speicherung a) in der Folie

Experimente bei unterkühltem Behältersieden

- o Glättung des Signalrauschens der Infrarot-Bilder bei der Ermittlung des Wärmestroms durch Wärmeleitung



Lokaler Wärmestrom bei Blasenbildung durch Wärmeleitung vorher a) und nach Anwendung der Glättung nach GAUSS

$$G(x, y) = \frac{1}{N} \sum_{u=0}^{L-1} \sum_{v=0}^{K-1} (B_{x-1+u, y-k+v} h_{u,v})$$

$$N = \sum_{u=0}^{L-1} \sum_{v=0}^{K-1} h_{u,v}$$

$$h = \begin{pmatrix} 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \\ 4 & 1 & 24 & 16 & 4 \\ 6 & 24 & 26 & 24 & 6 \\ 4 & 16 & 24 & 16 & 4 \\ 1 & 4 & 6 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

- o Bestimmung räumlicher und zeitlicher Blasenparameter in Abhängigkeit differierender Randbedingungen



File	Edit	Font	Results							
Area	BX	BY	Width	Height	Circ.	%Area	AR	Round	Solidity	
1	0.026	1	2.675	0.250	0.200	0.486	100	1.586	0.631	0.651
2	0.001	1.275	2.725	0.050	0.025	1	100	2	0.500	1
3	0.164	1.075	2.900	0.450	0.425	0.954	100	1.042	0.959	0.955
4	0.052	1.225	3.350	0.300	0.225	0.913	100	1.223	0.818	0.917
5	0.121	0.475	4	0.375	0.400	0.942	100	1.062	0.941	0.933

Selektion geometrischer Blasenparameter beim Blasensieden auf einer ITO-Beschichtung

1. Hintergrundsubtraktion
2. Kontrasterhöhung
3. Threshold (Umwandlung in Binärbild)
4. Auffüllen der Blasenkonturen
5. Watershed (Abtrennen verbundener Partikel)
6. Partikel Analyse
7. Auswertung

Datenauswertung mit Digitaler Bildverarbeitung (DBV)