
EINSATZ VON PHASENWECHSELMATERIALIEN IM HOCHTEMPERATURBEREICH



Daniela Dommel*, Sandra Arroyave, Andreas Krieger, Lars Komogowski,
Clemens Schmetterer, Patrick Masset

AGENDA

1. Einführung
2. Überblick in das Gebiet der PCM
3. Entwicklung eines PCM-Tools
 - Datenbank
 - Kosten-Nutzen-Analyse
 - PCM-Tool
4. Anwendungsbezogenes Konzeptbeispiel für den Einsatz von PCM
5. Zusammenfassung und Ausblick

EINFÜHRUNG

- Energiewende hat sich zum Ziel gesetzt den Anteil an Erneuerbaren Energien zu erhöhen
- Der Sektor Wärme besitzt den höchsten Anteil am Endenergieverbrauch
- Erneuerbare Energien unterliegen meteorologischen Faktoren
- Industrielle Prozesse besitzen unterschiedliche Ab-/Wärmepotentiale bei verschiedenen Temperaturbereichen

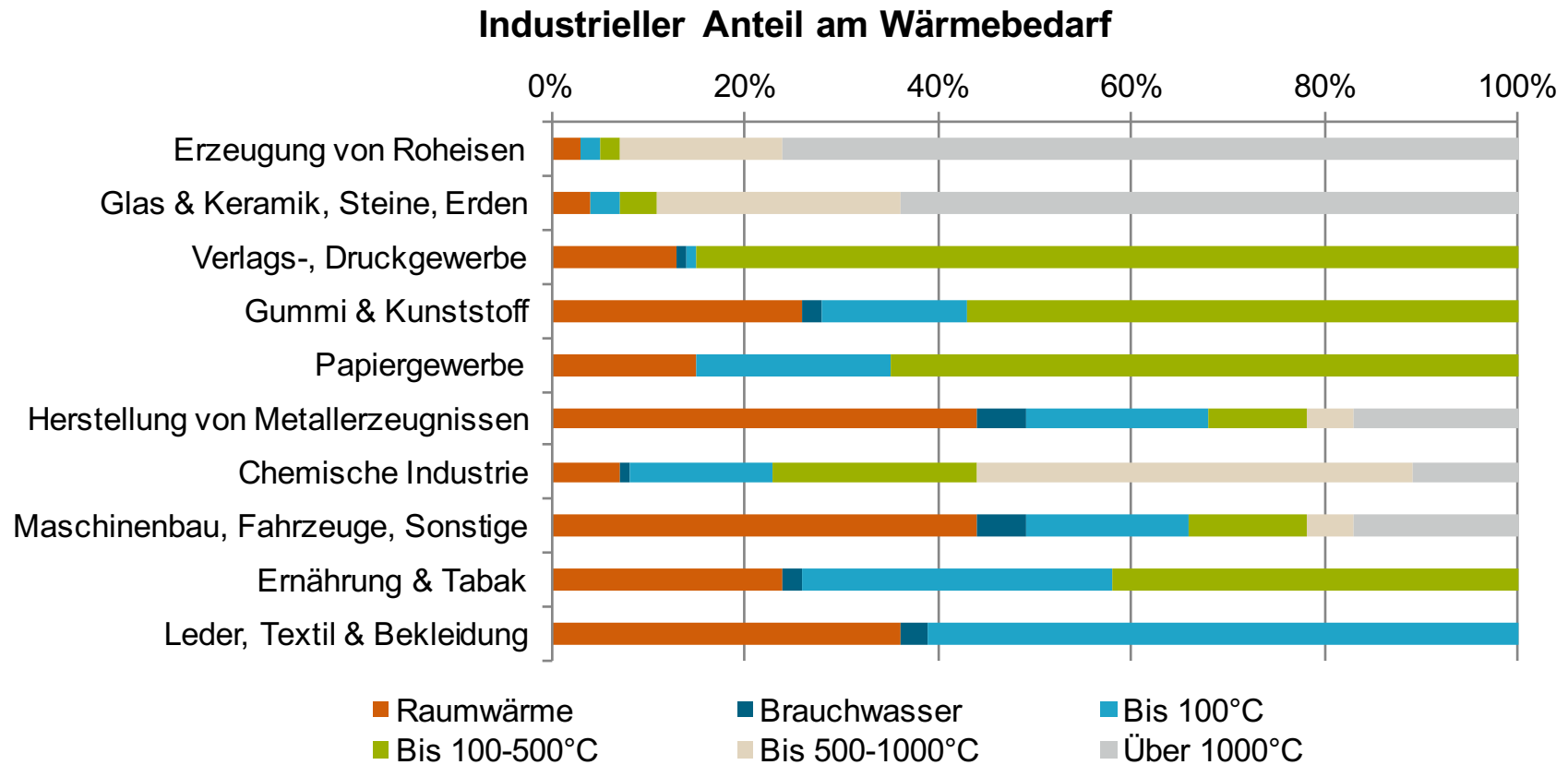
Beschluss des Welt-Klima-Vertrages in der UN-Klimakonferenz von Paris 2015, mit 195 Staaten und der EU.



- 1,5-Grad-Ziel
- Vermeidung von Treibhausgasemissionen
- Bilanzieren des CO₂-Cycle
- Startdatum 2020, nach Ablauf des Kyoto-Protokolls

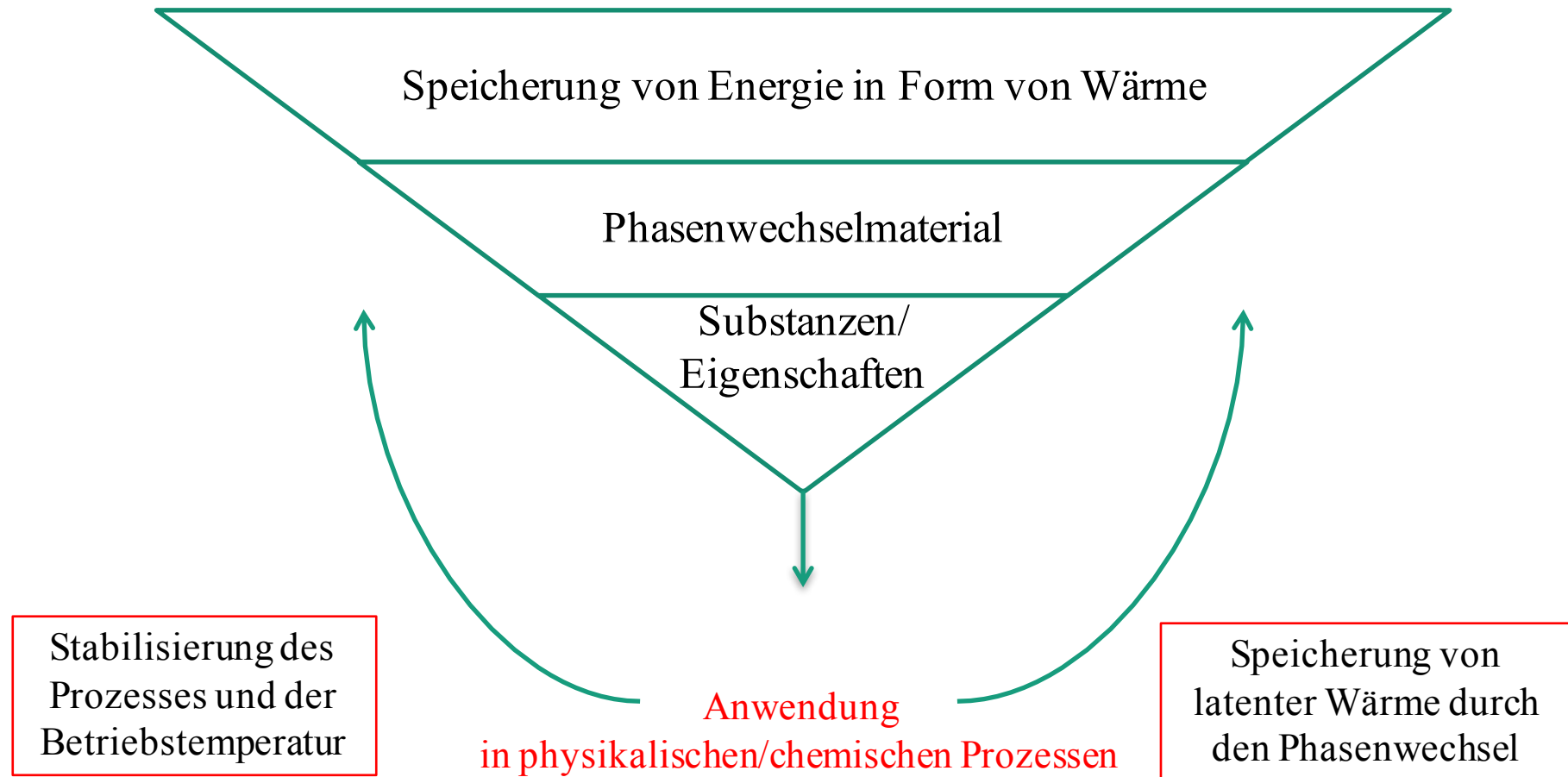
[1]

EINFÜHRUNG



[15]

EINBLICK IN DAS GEBIET DER PCM - MOTIVATION

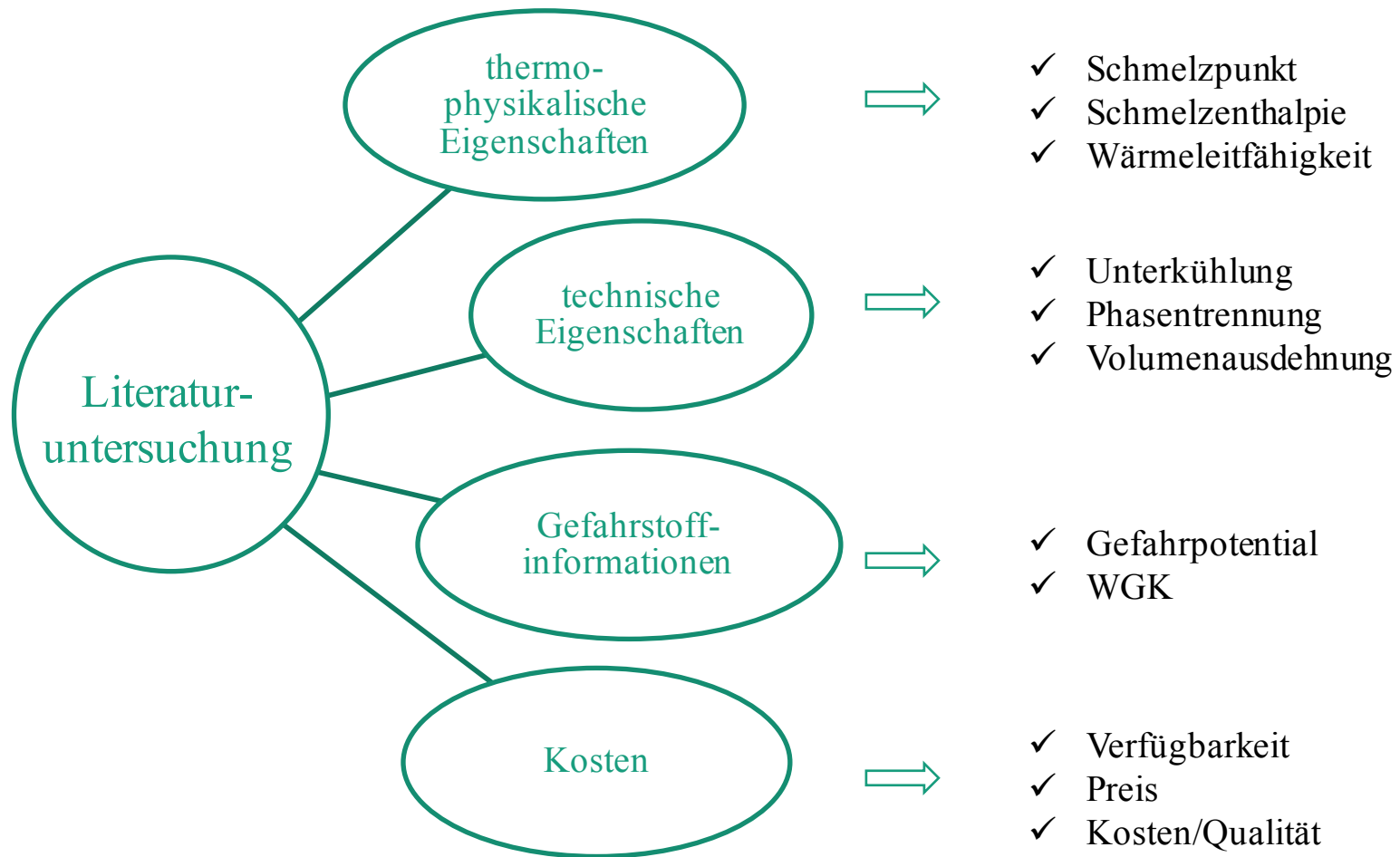


EINBLICK IN DAS GEBIET DER PCM

- Materialien, die Energie in Form von latenter Wärme speichern und freisetzen können
- Keine Temperaturänderung während des Phasenwechsels
- Große Energiemengen können gespeichert/freigesetzt werden
- Breites Anwendungsgebiet:
 - Baumaterialien
 - Funktionsmaterial zum Hitze- und Kälteschutz
 - Wärmespeicher
- PCM-Materialklassen können in Salze, Paraffine, Fettsäuren, Zuckeralkohole, Salzhydrate, Metalle und eutektische Mischungen eingeteilt
- Für den Einsatz als PCM wird oft eine spezielle Verkapselung benötigt

[4,5,6,7,8,9]

ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS - **DATENBANK**



ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS - **DATENBANK**

- Nutzwert-Analyse
 - Unterstützt bei der Entscheidungsfindung
 - Basiert auf dem Vergleich von verschiedenen Alternativen
- Alternativen werden mit den Kriterien und Teilergebnissen gewichtet zur Gesamt-/Endbewertung in Punkte übertragen
- Durch Multiplikation eines Bewertungsfaktors eines bestimmten Teilkriteriums eines PCMs wird die Gewichtung der Unterkriterien berechnet
- Ermittlung der optimalen PCM durch Erstellung einer Rangliste auf Grundlage der Wertung

Übersicht der Materialien in der Datenbank



Gesamtbestand der Materialien	345
Nicht Metalle	311
Vom PCM-Tool ausgewählt	108

[10, 11, 12]

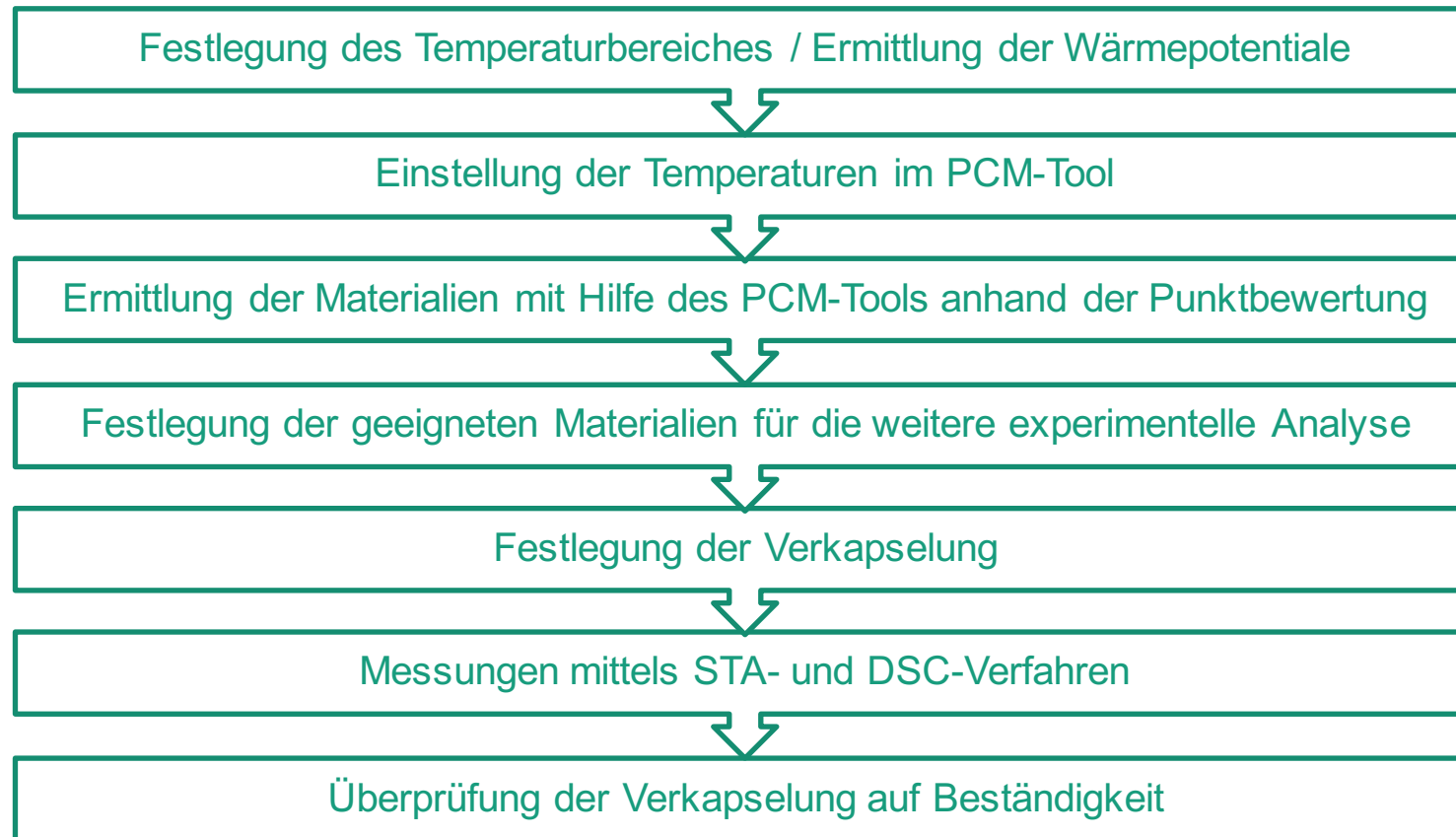
ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS – KOSTEN- NUTZEN-ANALYSE

Position	Materialbezeichnung	Punkte	T _m in °C	$\Delta_{\text{fus}}H$ in J/g
Range: 120-250				
1	POLYWAX™ 2000 polyethylene	64,01	120	221
2	POLYWAX™ 3000 polyethylene	62,76	124	236
3	High density polyethylene (HDPE)	59,80	123	202
4	C ₅ H ₁₂ O ₄	58,63	208	295
5	Licocene PE 4201 P	54,90	128	240
Range: 250-450				
1	KNO ₃	59,26	335	94
2	NaNO ₃	54,26	307	176
3	KCl+MgCl ₂ (wt%: 61/39)	53,23	435	351
4	NaOH+NaNO ₃ (mol%: 81,5/18,5)	51,47	257	292
5	MgCl ₂ +NaCl+KCl (wt%: 63/22,3/14)	51,39	385	461
Range: 450-650				
1	Li ₂ CO ₃ + Na ₂ CO ₃ (wt%: 44/56)	54,83	496	369
2	CaCl ₂ +KCl+NaCl (wt%: 66/5/29)	54,70	504	279
3	NaCl+CaCl ₂ (wt%: 33/67)	53,87	500	281

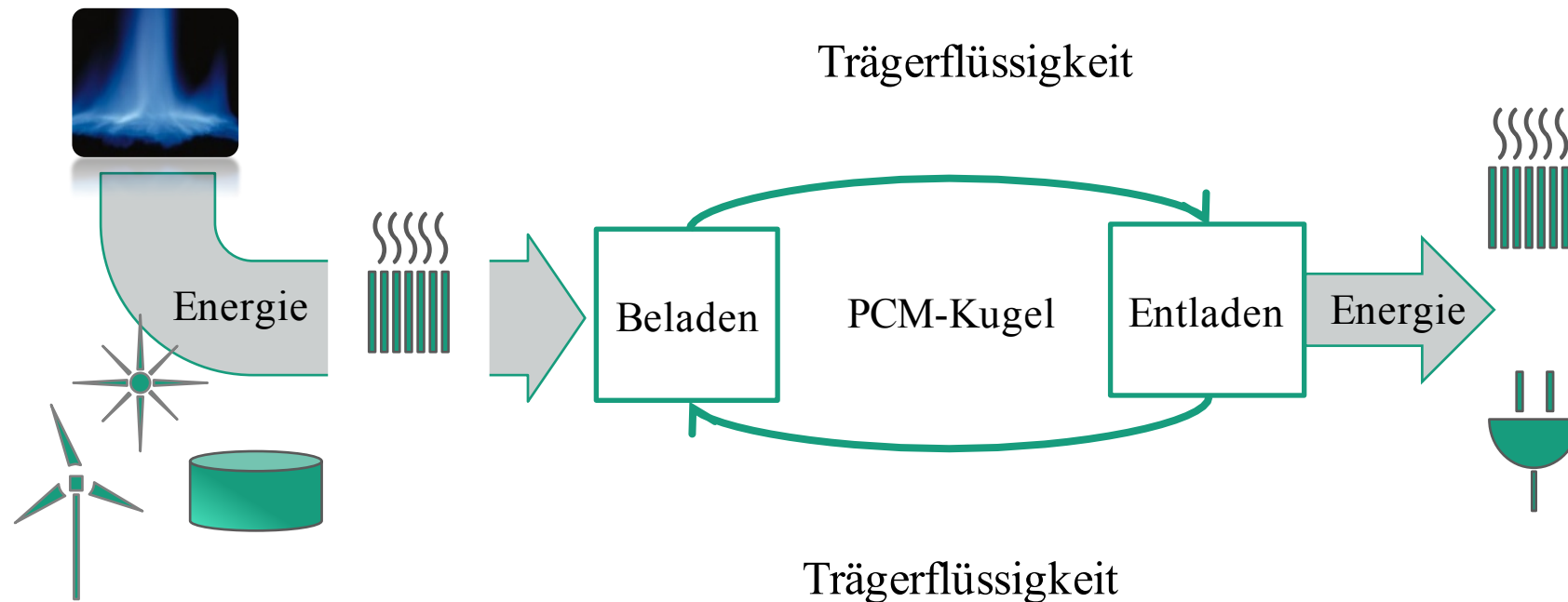
ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS – KOSTEN- NUTZEN-ANALYSE

Position	Materialbezeichnung	Punkte	T _m in °C	$\Delta_{\text{fus}}H$ in J/g
Range: 450-650				
4	NaCl+MgCl ₂ (wt%: 48/52)	52,40	450	430
5	Li ₂ CO ₃ +Na ₂ CO ₃ +K ₂ CO ₃ (wt%: 22/16/62)	52,22	565	288
Range: 650-850				
1	NaCl	60,03	801	485
2	KCl	55,74	771	353
3	Na ₂ CO ₃	55,13	856	277
4	CaCl ₂	50,55	773	253
5	KBr	49,71	733	215

ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS – VORGEHENSWEISE BEI DER AUSWAHL EINES PCM



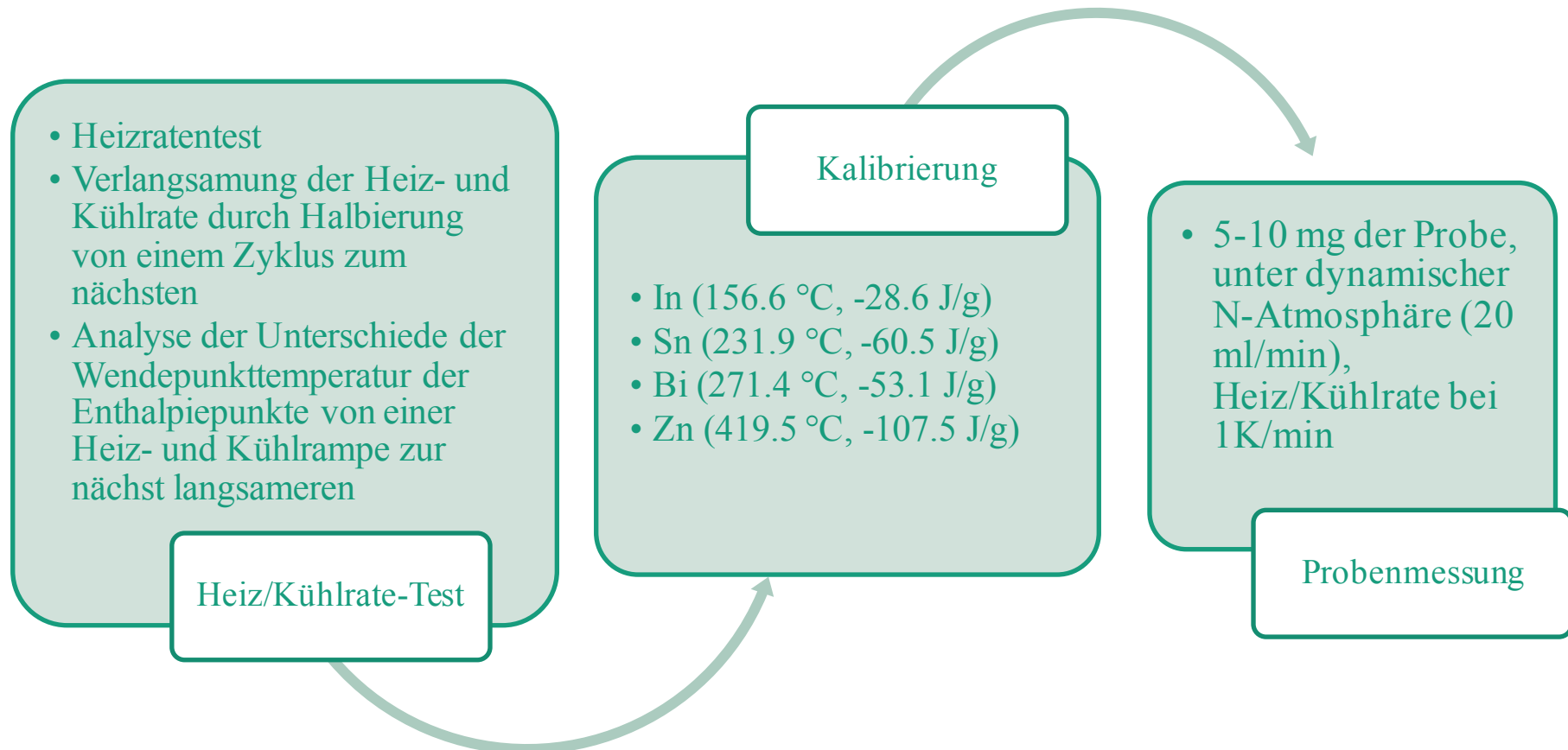
ANWENDUNGSBEZOGENES KONZEPTBEISPIEL FÜR DEN EINSATZ VON PCM



- Temperaturbereich von 285 – 335 °C
- kontrollierte Steuerung der Temperaturbedingungen

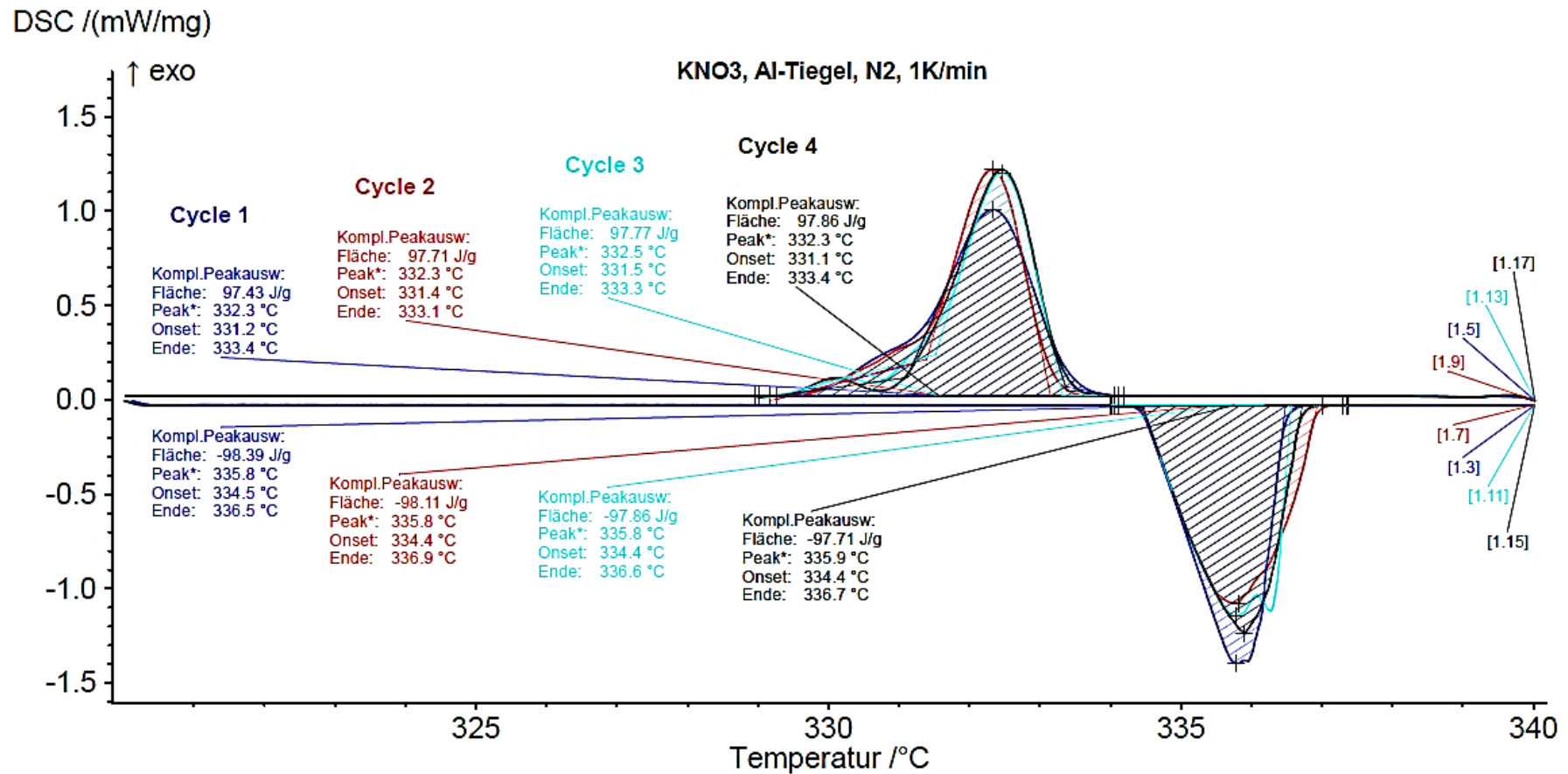
- KNO_3
- NaNO_3
- Eutektikum aus $\text{NaNO}_3 + \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$

ANWENDUNGSBEISPIEL– DSC

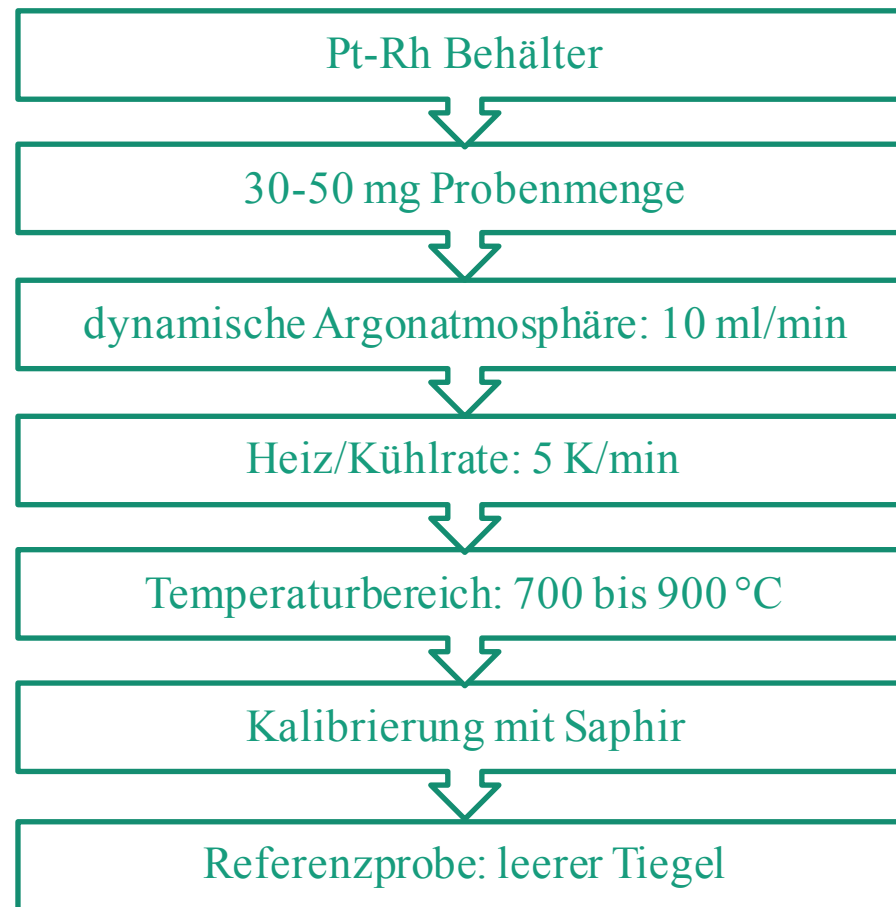


[13]

ANWENDUNGSBEISPIEL: DSC

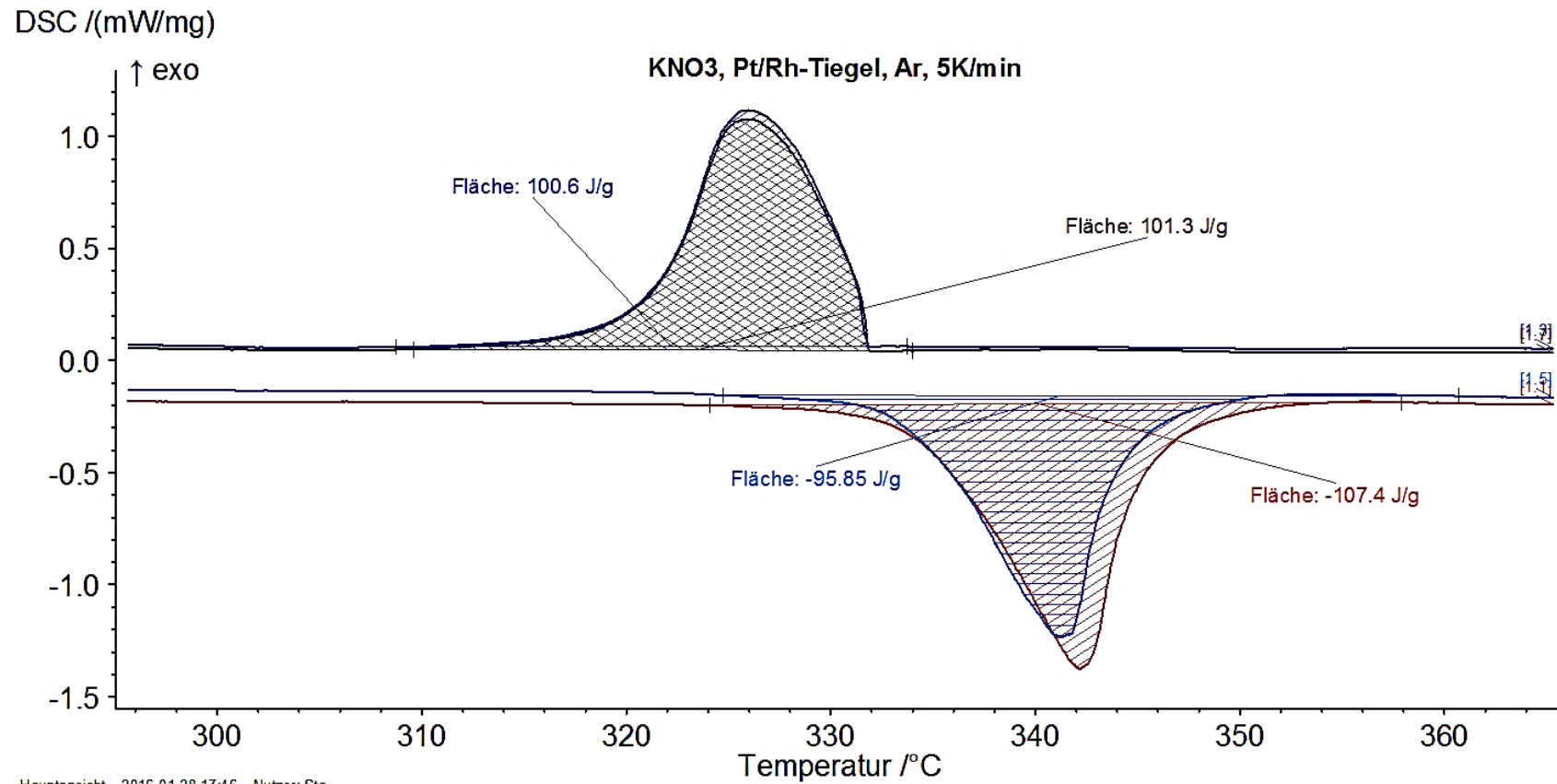


ANWENDUNGSBEISPIEL: STA



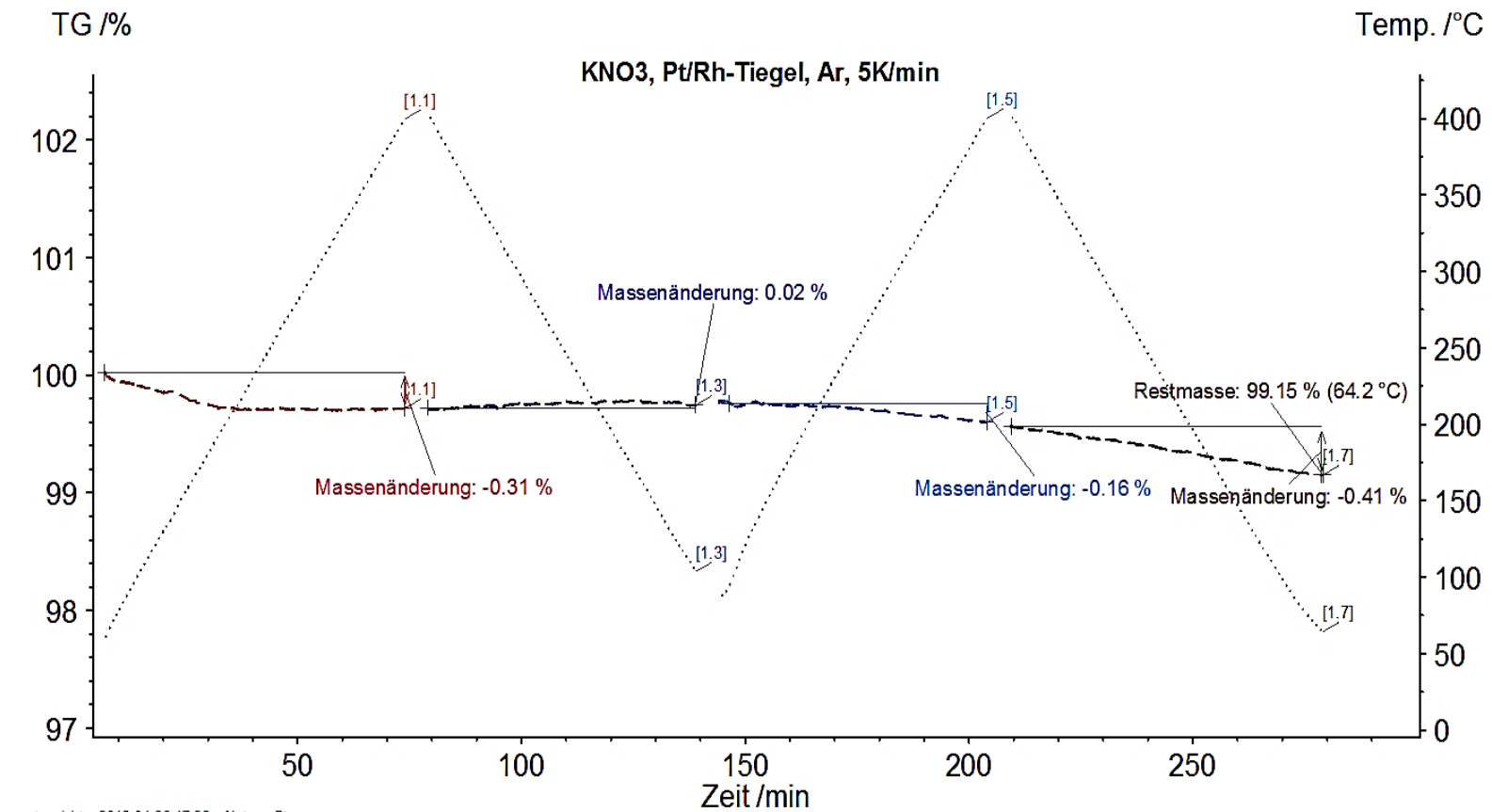
[14]

ANWENDUNGSBEISPIEL: STA



Hauptansicht 2016-01-28 17:46 Nutzer: Sta

ANWENDUNGSBEISPIEL: STA

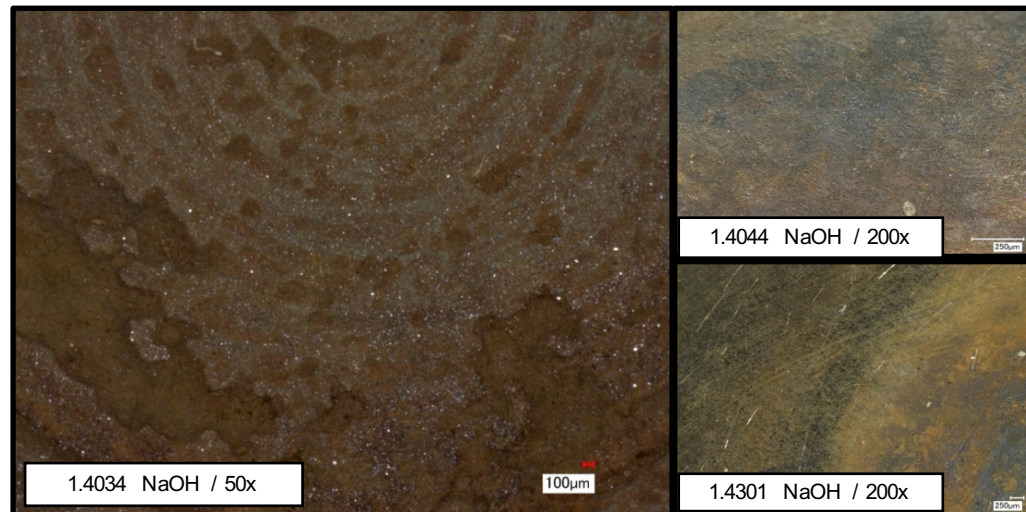


auptansicht 2016-01-28 17:22 Nutzer: Sta

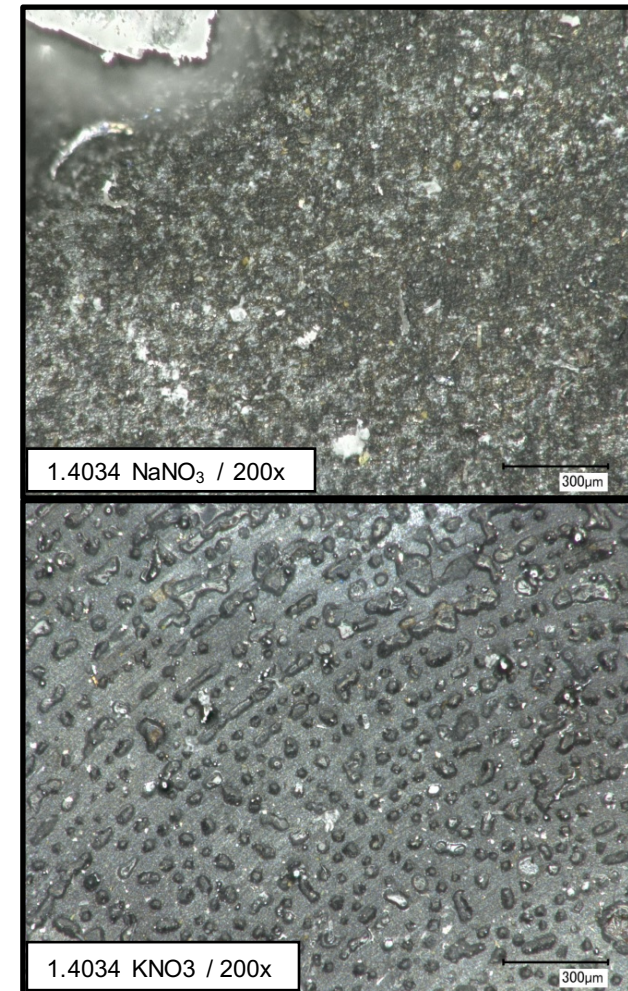
ANWENDUNGSBEISPIEL: VERKAPSELUNG



Gemäß des PCM – Tools wurden die Materialien NaNO_3 , KNO_3 , $\text{NaNO}_3 + \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ ermittelt



NaOH ist stark korrosiv



ZUSAMMENFASSUNG

- Materialdatenbank im Temperaturbereich von 125 – 850 °C
- Entwicklung eines PCM-Tools anhand der Kosten-Nutzen-Analyse zur Materialauswahl
 - Objektive Entscheidungsunterstützung
 - Große Auswahl an potentiell geeigneten Materialien
 - Flexibilität bei verschiedenen Parametern
 - Erreichung hoher Qualität zu geringen Kosten
- Unterstützung bei bedarfsgerechten Wärmekonzepten im Rahmen der Einsatzpotentialüberprüfung von PCM
- Individuelle Konzepte können bereitgestellt werden u. a. Kopplung mit ORC oder Stirling-Prozess



Beitrag zur Energiewende und den Klimazielen

FRAUNHOFER UMSICHT

Institutsteil Sulzbach-Rosenberg

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Kontaktdaten:

Daniela Dommel, M. Sc.
Centrum für Energiespeicherung
Fraunhofer UMSICHT
Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
An der Maxhütte 1
92237 Sulzbach-Rosenberg

E-Mail: daniela.dommel@umsicht.fraunhofer.de
Internet: <http://www.umsicht-suro.fraunhofer.de>



QUELLEN

- [1] Bojanowski, A. (2015): Kampf gegen Erderwärmung: Die Welt einigt sich auf historischen Klimavertrag. Online verfügbar: <http://www.spiegel.de/wissenschaft/natur/uno-beschliesst-welt-klimavertrag-historisches-abkommen-a-1067513.html>, abgerufen am 22.01.2016
- [2] Bundesregierung Deutschland (2015): *Energiesicherheit international stärken*. Online verfügbar: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/05/2015-05-12-g7-energieministertreffen.html>, abgerufen am 18.09.2015
- [3] Kalus, J. (2013): Bachelorthesis - Untersuchung der Fließeigenschaften von Paraffin/Wasser-Dispersionen und Erstellung eines rheologischen Modells, Hochschule Dortmund.
- [4] Oriwol, D. (2008): Natriumacetat als Latentwärmespeicher. Online verfügbar unter: http://www.geo.tu-freiberg.de/Hauptseminar/2008/Daniel_Oriwol.pdf, zuletzt abgerufen am 06.07.2015
- [5] BINE (2015): Latentwärmespeicher. Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Themen-Infos/IV_2002/themen0402internetx.pdf, zuletzt geprüft am 27.01.2015.
- [6] Abdel Hakim, M. A. H. (2011): Dissertation - Experimental and Numerical Analysis of a PCM-Supported Humidification-Dehumidification Solar Desalination System, TU München.
- [7] Lemke, J.; Lemke, N.; Köhler, J. (2011): Einsatz von Phasenwechselmaterialien in Sekundärkreisläufen von Pkw-Klimaanlagen, DKV-Tagung, Aachen 2011.

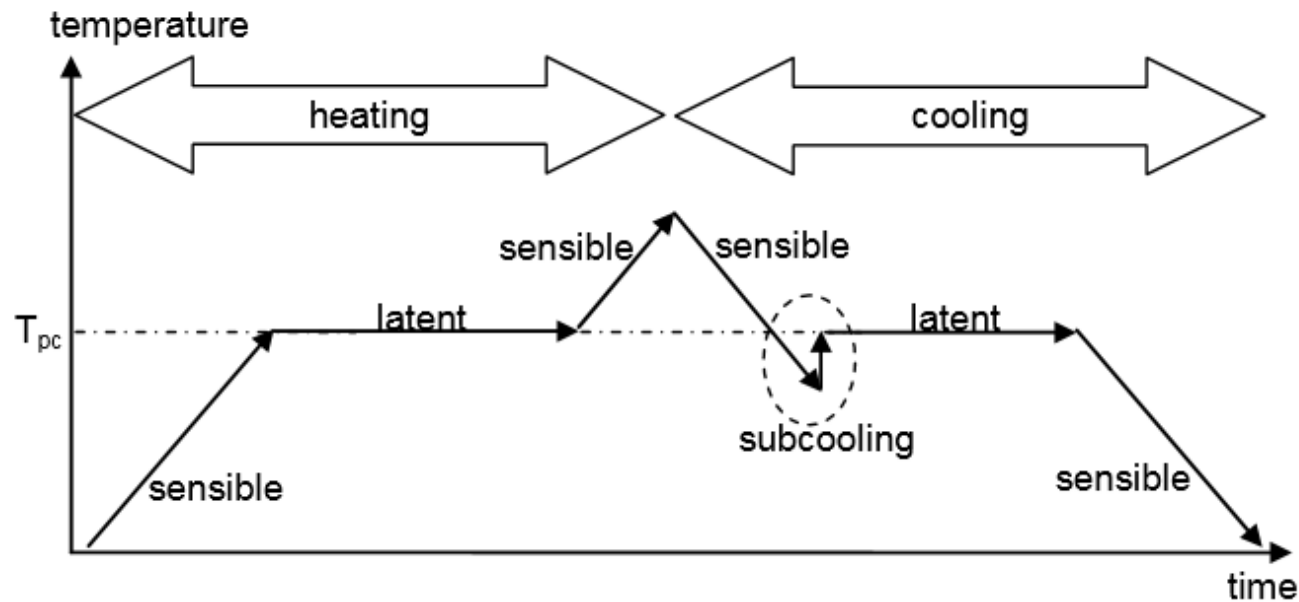
QUELLEN

- [8] H.-M. Henning (2007): Präsentation - Phasenwechselmaterialien in Baumaterialien und Leitungssystemen, Fraunhofer Institut ISE.
- [9] RAL Gütezeichen (2013): Phase Change Material. Online verfügbar unter: http://www.pcm-ral.de/uploads/media/RAL_GZ_896_Phase_Change_Material_Edition_November_2013_.pdf, zuletzt abgerufen am 08.09.2015.
- [10] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinrich (2007): Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg (Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung Methoden und Anwendung).
- [11] Jung, Hans (2007): Controlling. 2., überarb. und aktualisierte Aufl. In *München [ua]: Oldenbourg*.
- [12] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (1999): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Wasserhaushaltsgesetz über die Einstufung wassergefährdender
- [13] Gschwander, Stefan; Haussmann, Thomas; Hagelstein, Georg; Sole, Aran; Diarce, Gonzalo; Hohenauer, Wolfgang et al. (2015b): Standard to determine the heat storage capacity of PCM using hf-DSC with constant heating/cooling rate (dynamic mode): IEA Solar Heating and Cooling Programme
- [14] PerkinElmer (2010): A Beginner's Guide to Thermogravimetric Analysis, checked on 1/19/2016.

QUELLEN

[15] Pehnt, M.; Bödeker, J.; Arens, M.; Jochem, E.; Idrissova, F. (2010): Die Nutzung industrieller Abwärme – technisch-wirtschaftliche Potenziale und energiepolitische Umsetzung. Bericht im Rahmen des Vorhabens „Wissenschaftliche Begleitforschung zu übergreifenden technischen, ökologischen, ökonomischen und strategischen Aspekten des nationalen Teils der Klimaschutzinitiative“. Heidelberg: Institut für Energie- und Umweltforschung (ifeu).

DEVELOPMENT OF A PCM-TOOL - DATABASE



[3]

ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS – KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE

Guiding criteria	Criteria	Type of criteria	Definition exclusion criteria	Weighting [%]	Weighting guiding criteria [%]
Physical and chemical properties	Density ρ_s (solid)	Exclusion criterion	< 900 kg/m ³		37,50
		Evaluation criterion		4,17	
	Spec. Melting enthalpy $\Delta_{fus}h$	Evaluation criterion		11,46	
	Melting temperature T_m	Exclusion criterion	Range 1: 280 °C < x < 330 °C; Range 2: 400 °C < x < 550 °C; Range 3: 750 °C < x < 850 °C		
	Boiling temperature T_b	Exclusion criterion	$T_b - T_m > 30$ °C		
	Volume change $\Delta(V_s/V_l)$	Exclusion criterion	> 25 Prozent		
	Spec. heat capacity $c_{p,s}$ (solid)	Evaluation criterion		4,17	
	Spec. heat capacity $c_{p,l}$ (liquid)	Evaluation criterion		4,17	
	Thermal conductivity λ_s (solid)	Evaluation criterion		9,38	
Technical characteristics	Thermal conductivity λ_l (liquid)	Evaluation criterion		4,17	25,00
	Decomposition temperature T_{dc}	Exclusion criterion	$T_{dc} - T_m > 30$ °C		
	Hygroscopic (hy)	Evaluation criterion		1,56	
	Phase separation (ps)	Evaluation criterion		4,69	
	Sublimation (su)	Exclusion criterion	If applicable		
	Thermal stability (ts)	Evaluation criterion		9,38	
Hazard identification	Subcooling (sc)	Evaluation criterion		9,38	25,00
	Radioactive (Ra)	Exclusion criterion	If applicable		
	Explosive (E)	Exclusion criterion	If applicable		
	Highly flammable (F+)	Exclusion criterion	If applicable		
	Flammable (F)	Exclusion criterion	If applicable		
	Oxidising (O)	Evaluation criterion		7,00	
	Very toxic (T+)	Exclusion criterion	If applicable		
	Toxic (T)	Exclusion criterion	If applicable		
	Harmful (Xn)	Evaluation criterion		5,00	
	Corrosive (C)	Exclusion criterion	If applicable		
	Irritant (Xi)	Evaluation criterion		3,00	
Costs	Dangerous for the environment (N)	Evaluation criterion		9,00	12,50
	WGK	Evaluation criterion		1,00	
	Cost per 500 g	Exclusion criterion	> 100 €		
		Evaluation criterion		12,50	

ENTWICKLUNG EINES PCM-TOOLS – KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE

Guiding criteria	Criteria	Type of criteria	Definition exclusion criteria	Weighting [%]	Weighting guiding criteria [%]
Physical and chemical properties	Density ρ_s (solid)	Exclusion criterion	$< 900 \text{ kg/m}^3$		37,50
		Evaluation criterion		4,17	
	Spec. Melting enthalpy Δ_{fush}	Evaluation criterion		11,46	
	Melting temperature T_m	Exclusion criterion	Range 1: $280^\circ\text{C} < x < 330^\circ\text{C}$; Range 2: $400^\circ\text{C} < x < 550^\circ\text{C}$; Range 3: $750^\circ\text{C} < x < 850^\circ\text{C}$		
	Boiling temperature T_b	Exclusion criterion	$T_b - T_m > 30^\circ\text{C}$		
	Volume change $\Delta(V_s/V_l)$	Exclusion criterion	$> 25 \text{ Prozent}$		
	Spec. heat capacity $c_{p,s}$ (solid)	Evaluation criterion		4,17	
	Spec. heat capacity $c_{p,l}$ (liquid)	Evaluation criterion		4,17	
	Thermal conductivity λ_s (solid)	Evaluation criterion		9,38	
	Thermal conductivity λ_l (liquid)	Evaluation criterion		4,17	
	Decomposition temperature T_{dc}	Exclusion criterion	$T_{dc} - T_m > 30^\circ\text{C}$		

PCM-TOOL

		Physical and chemical properties			
Physical and chemical properties		Density ρ_s (solid)	Spec. Melting enthalpy $\Delta_{fus}h$	Spec. heat capacity $c_{p,s}$ (solid)	Spec. heat capacity $c_{p,l}$ (liquid)
	Density ρ_s (solid)	1	2	1	1
	Spec. Melting enthalpy $\Delta_{fus}h$	0	1	0	0
	Spec. heat capacity $c_{p,s}$ (solid)	1	2	1	1
	Spec. heat capacity $c_{p,l}$ (liquid)	1	2	1	1
	Thermal conductivity λ_s (solid)	0	2	0	0
	Thermal conductivity λ_l (liquid)	1	2	1	1