

Textiler Wärmeübertrager zur Feuchterückgewinnung in KVS-Systemen

Hannes Rosenbaum

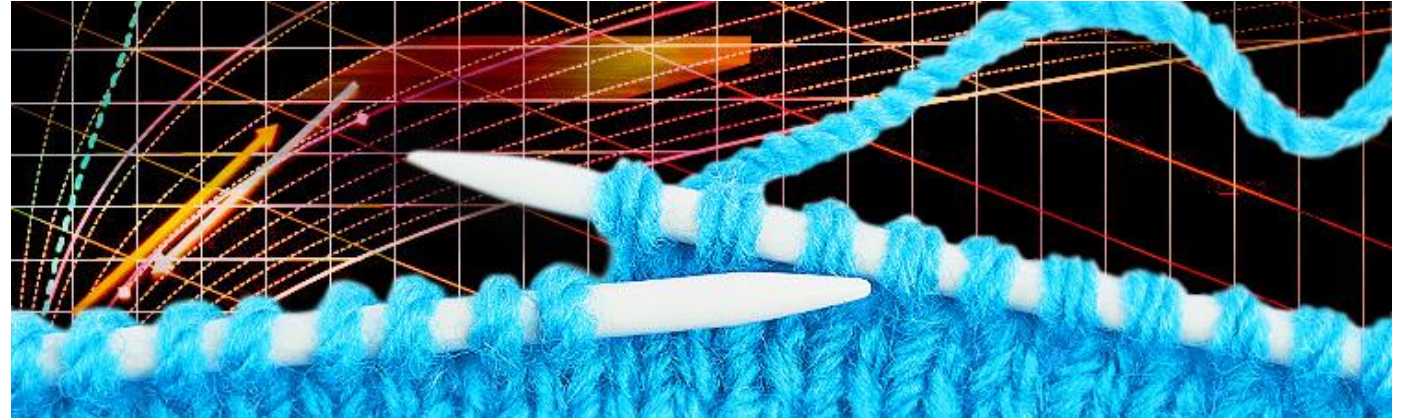
wiss.-techn.-Mitarbeiter im Bereich Klimatechnik

ILK Dresden



28./29. Januar 2021

Textiler Wärmeübertrager zur Feuchterückgewinnung in KVS-Systemen



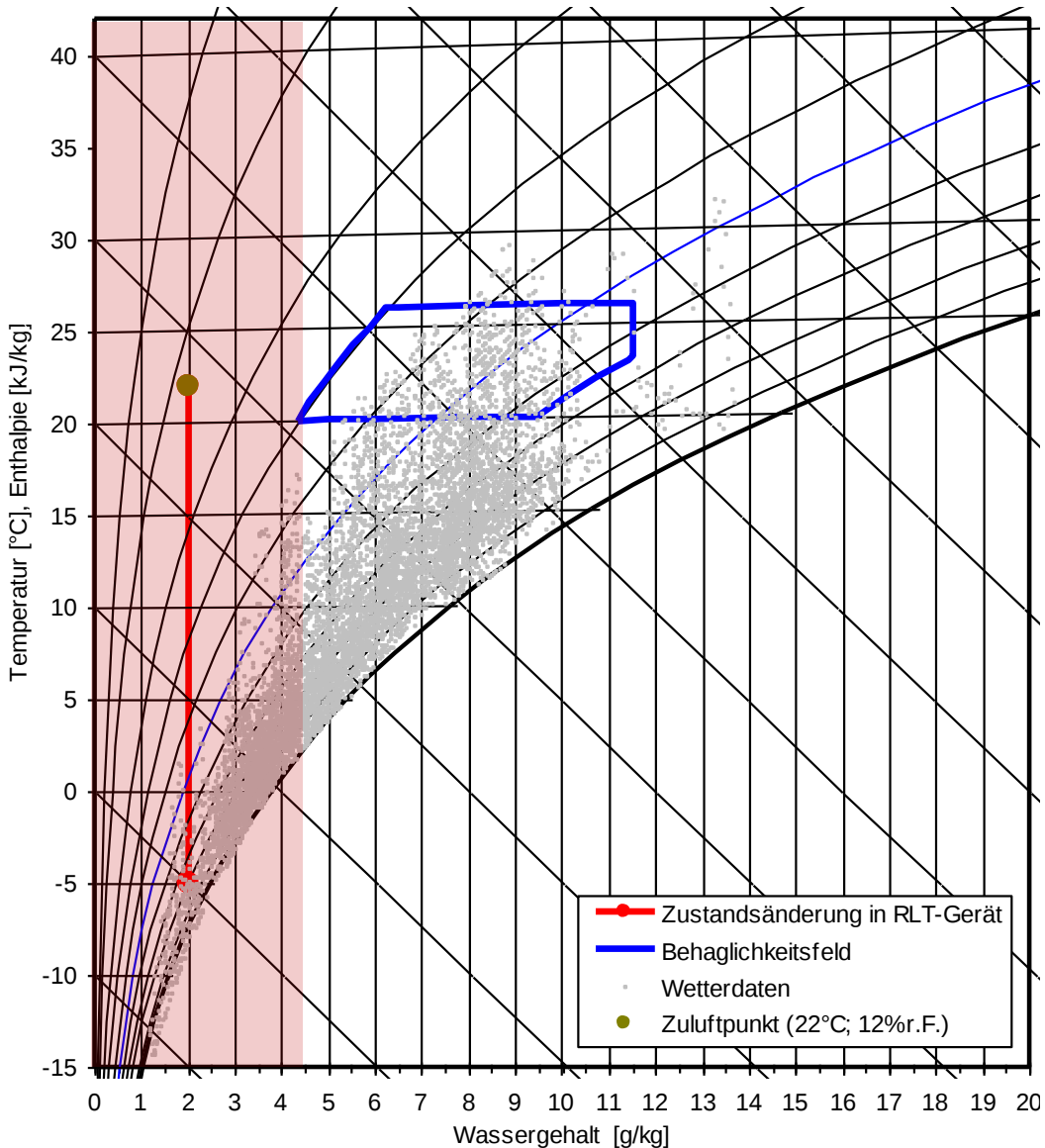
- **Motivation**
- **Feuchterückgewinnung bei örtlich getrennten Luftströmen**
 - Lösungsansatz
 - Aufbau – konstruktive Entwicklung der textilen Membran-Wärmeübertrager
 - 2-fluidiger Prototyp
 - 3-fluidiger Prototyp
- **Zusammenfassung der Ergebnisse**
- **Fazit und Ausblick**

Gefördert durch:

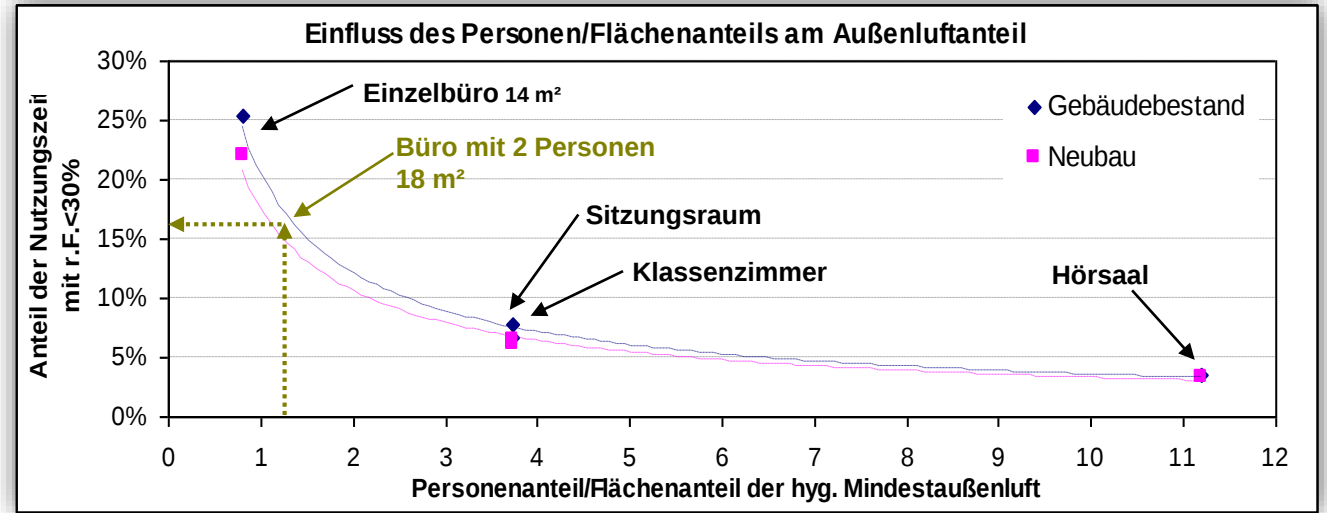


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Probleme durch zu trockene Luft (v.a. im Winter)

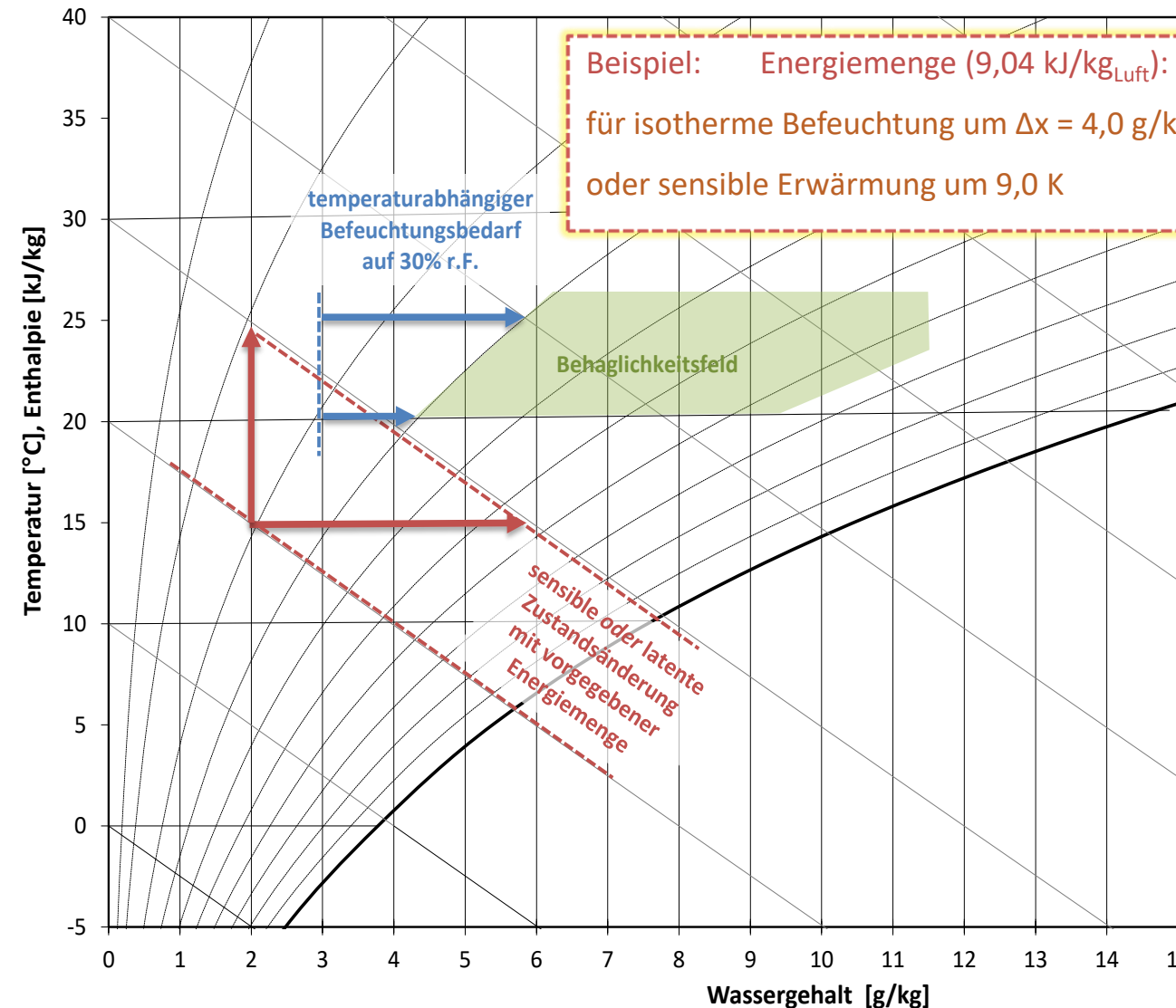


H. Rosenbaum, 3



- ➔ kann gesundheitliches Wohlbefinden beeinträchtigen:
(trockene Augen, trockene Schleimhäute in Mund, Nase, Rachen)
- ➔ Viren + Bakterien besitzen geringste Lebensdauer zw. 40 ... 60 % r.F.
(medizinisch belegt)
- ➔ Zu trockene Luft erhöht Infektionsrisiko für Atemwegserkrankungen
- ➔ Begründete Empfehlung einer „Mindestluftfeuchte von 40 %“ (FGK)

Energieaufwand Befeuchtung und lückenhafte Feuchterückgewinnung



➔ Verdampfungsenthalpie des (Befeuchtungs-)Wassers: 2260 kJ/kg (Systemunabhängig!)

➔ Betriebs- und Wartungskosten nicht unerheblich

*Im Kontext der Klimakrise müssen Luftbefeuchtung und Feuchterückgewinnung (FRG) enger zusammenwachsen !
= „echte“ Energieeffizienz !*

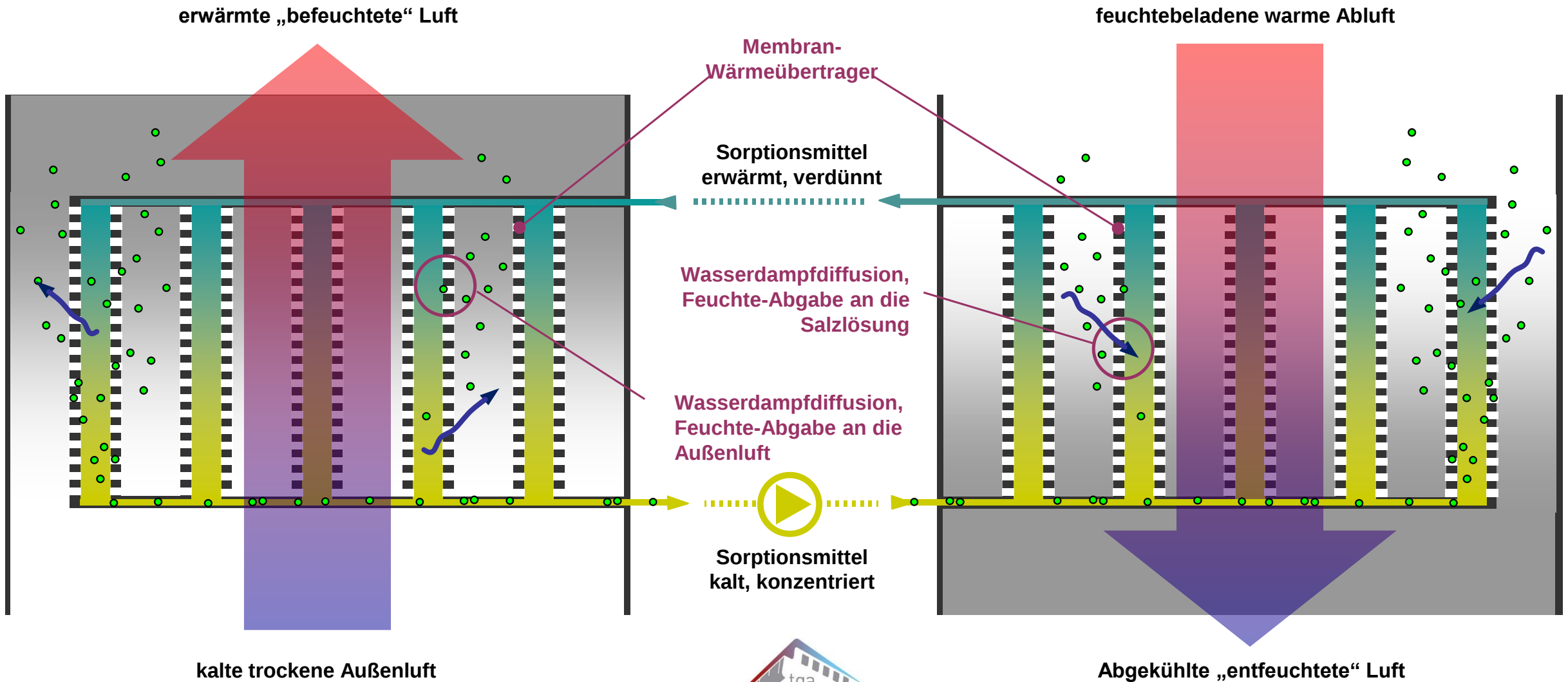
ABER:

➔ FRG funktioniert nicht ohne vorherigen Feuchteeintrag (Befeuchtung, Feuchtelasten)

➔ Voraussetzung für FRG: unmittelbar benachbarte oder sich kreuzende Luftströme (rotierende Speichermassen, Kunststoff-Platten-WÜ,...)

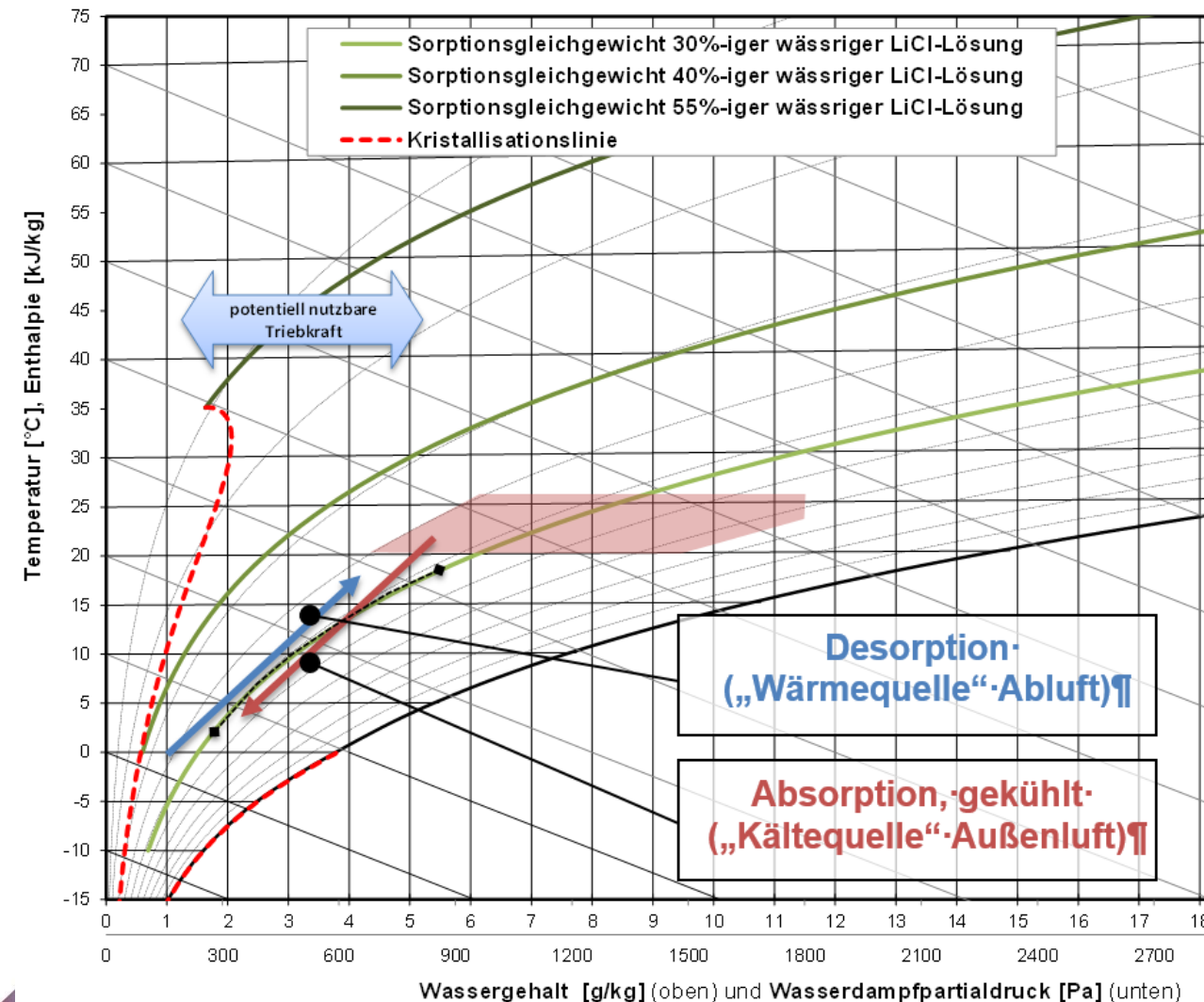
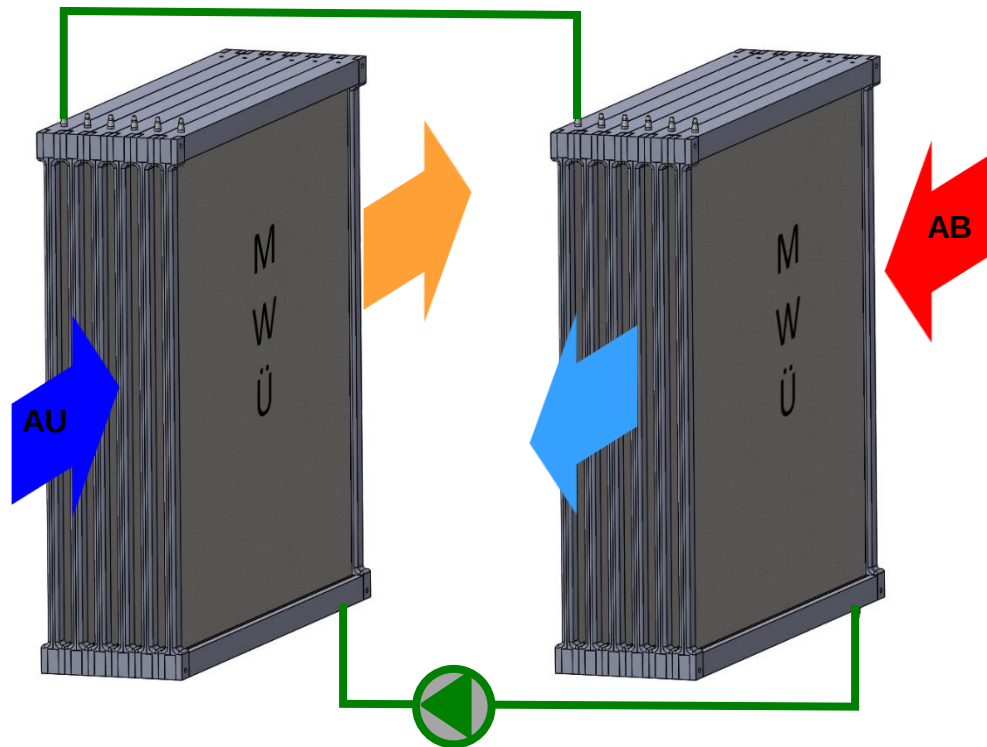
Für Anlagen mit örtlicher Trennung von Zu- und Abluft existiert KEINE LÖSUNG zur Feuchterückgewinnung

Lösungsansatz Feuchterückgewinnung bei örtlich getrennten Luftströmen: textile (Membran-)Wärmeübertrager in Flüssigsorptionskreislauf



Lösungsansatz Feuchterückgewinnung bei örtlich getrennten Luftströmen:

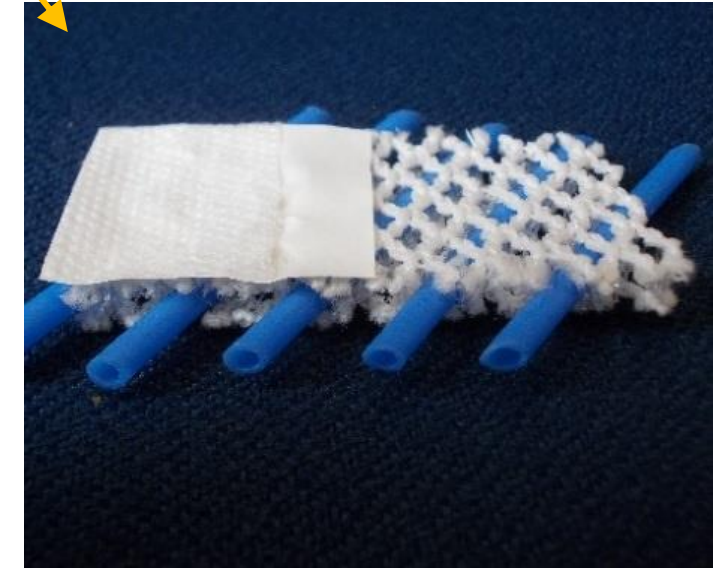
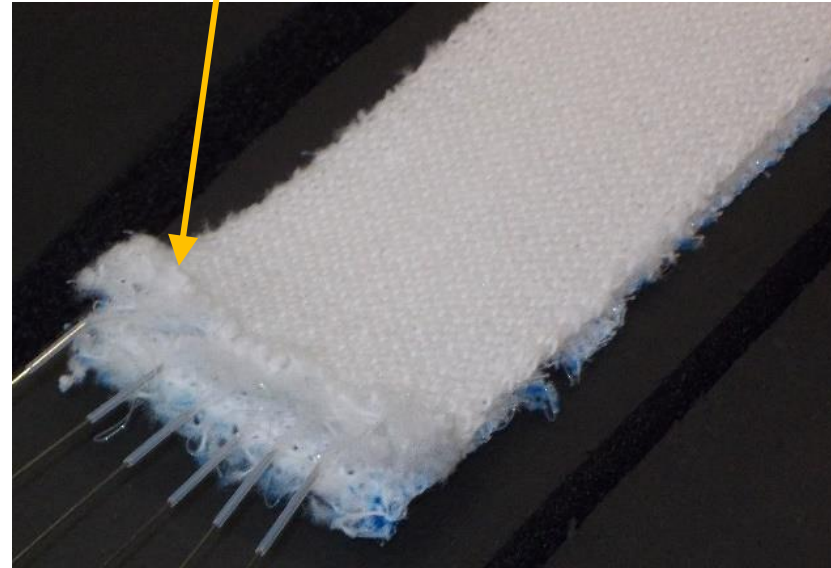
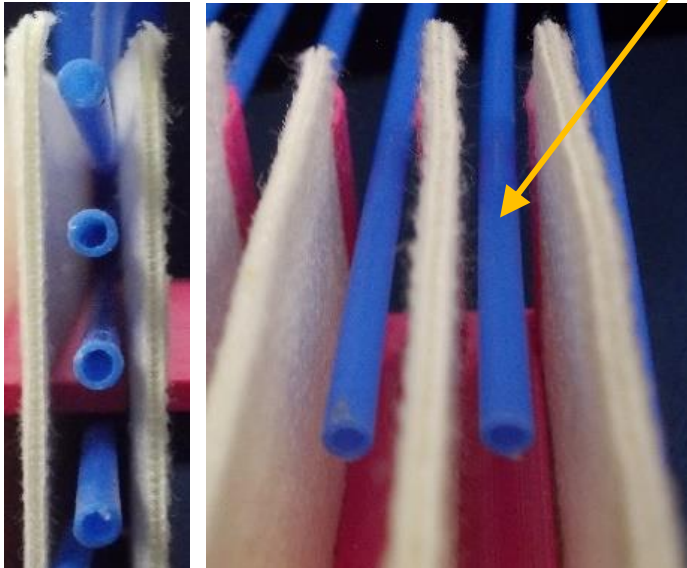
- ➔ KVS-System mit Flüssigsorptionsprozess
- ➔ zwei textilen (Membran-) Wärme- und Stoffübertrager als zentrale Bauelemente



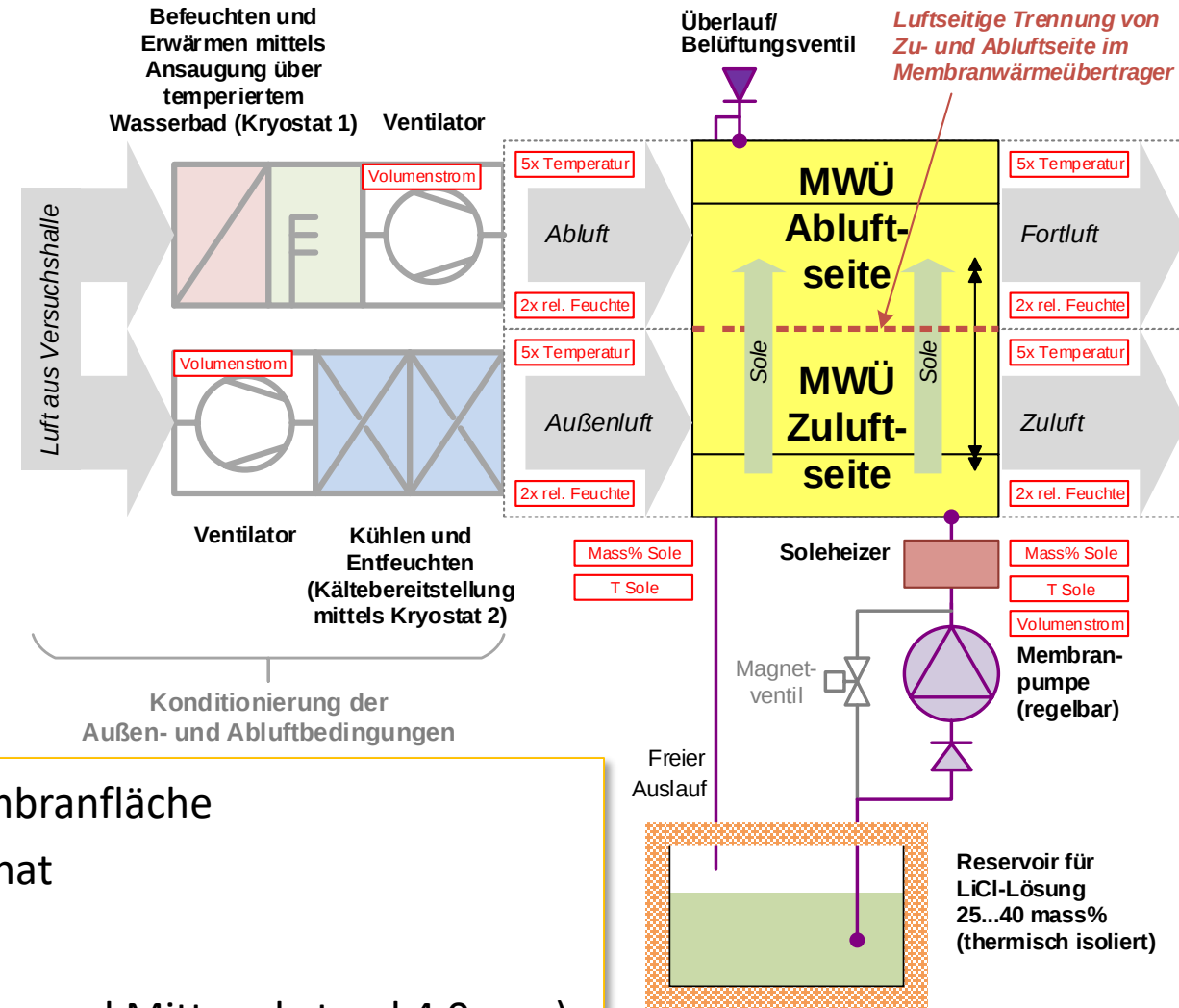
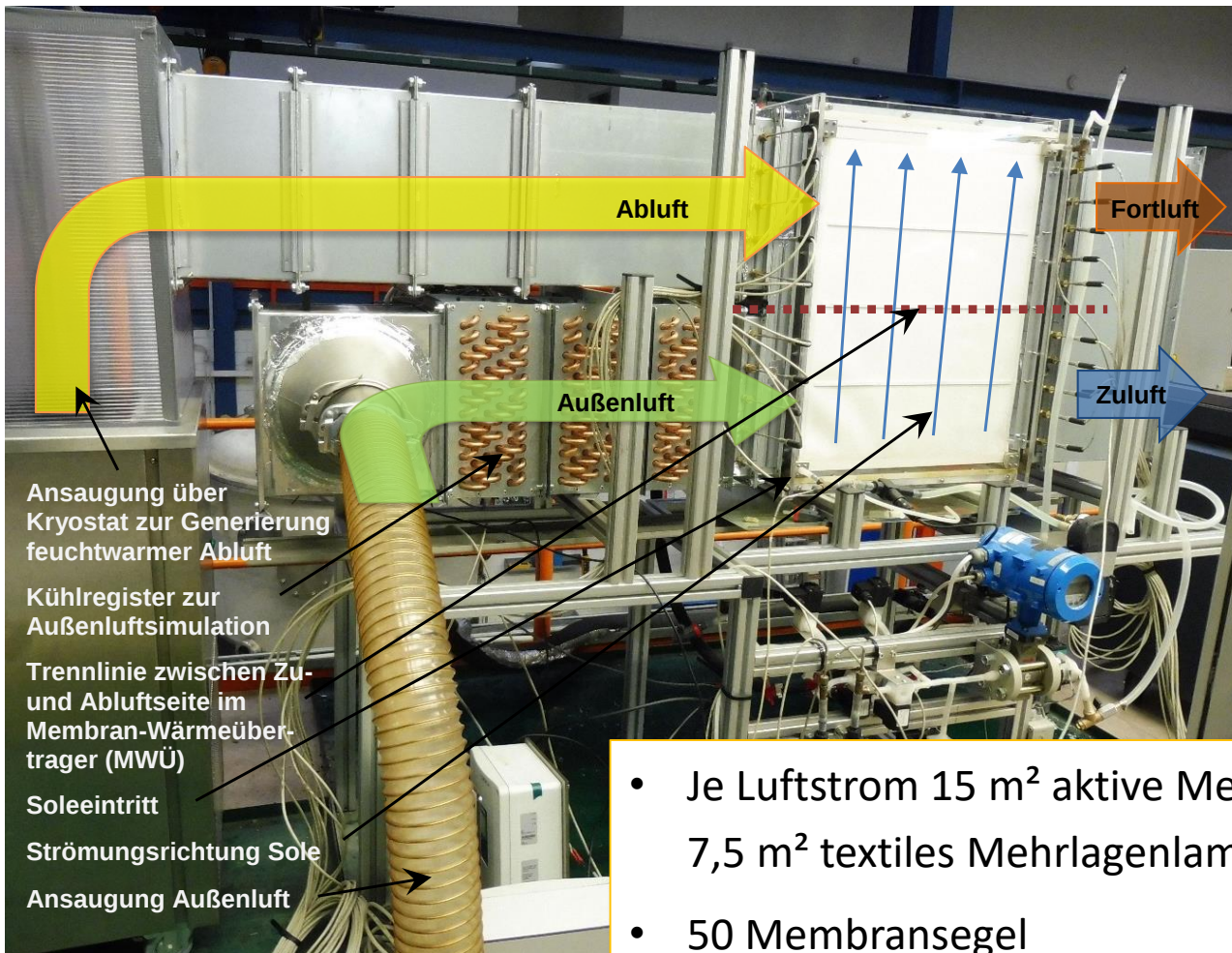
Aufbau – konstruktive Entwicklung der Membran-WÜ



- Textiles Membransegel ($< 1,0 \text{ mm}$), bestehend aus durchströmbarem Abstandstextil mit beidseitig aufkaschierter Membran (hier in 2-fluidigem Membran-WÜ)
- Kapillarrohre in Luftspalten als durchströmbare Abstandshalter zwischen durchströmbar Membransegeln $\rightarrow$ 3-fluidiger Membran-WÜ
- Durchströmbares Abstandstextil mit maschinell eingearbeiteten Kapillarschläuchen $\rightarrow$ für 3-fluidige Membran-WÜ
- Ansichtsmuster 3-fluidiges Segel (Abschnitt)



2-fluidiger Prototyp (Kreuzströmer für je 50 m³/h Zu- und Abluft)



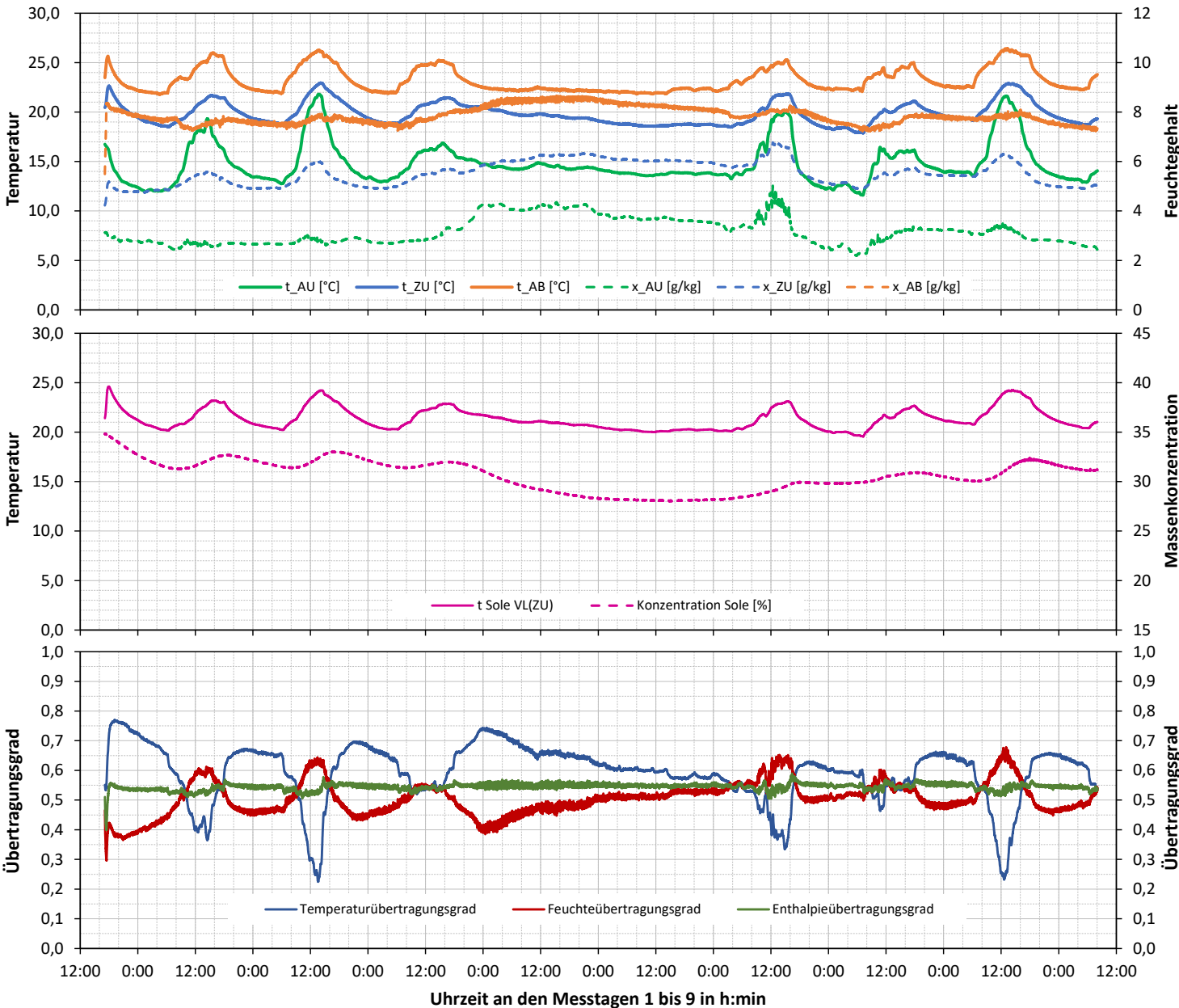
- Je Luftstrom 15 m² aktive Membranfläche
- 7,5 m² textiles Mehrlagenlaminat
- 50 Membransegel (Materialstärke jeweils 0,85 mm und Mittenabstand 4,0 mm)
- Kanalmaß (H x B): 300 x 200 mm, Durchströmlänge 500 mm

2-fluidiger Prototyp – Übertragungsgrade (statisch und dynamisch)

Übertragungsgrade und –verhältnisse bei verschiedenen Kapazitätsstromverhältnissen													
Volumenströme	Außenluft [m³/h]	49,8		50,7		51,0		51,1		50,7		50,6	
	Abluft [m³/h]	50,2		50,3		50,4		50,0		50,6		50,0	
	Sole ZU [l/h]	19,0		23,0		29,7		38,1		49,6		54,8	
Kapazitätsstromverhältnis Sole/Außenluft		1,1		1,3		1,6		2,1		2,7		3,1	
Luftzustände	Zuluftseite	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU
	t [°C]	8,5	17,4	7,7	16,7	7,8	18,6	7,9	19,8	8,0	19,4	8,1	19,9
	x [g/kg]	4,2	7,6	3,1	7,3	3,0	8,4	3,4	9,4	3,3	9,0	3,5	9,5
	rel. Feuchte [%]	58,7	60,0	46,6	60,9	45,6	62,8	50,2	63,4	49,7	63,4	50,9	63,9
	Abluftseite	AB	FO	AB	FO	AB	FO	AB	FO	AB	FO	AB	FO
	t [°C]	27,1	20,2	26,6	17,0	26,9	16,3	27,4	16,9	27,1	17,1	27,4	17,8
	x [g/kg]	17,3	10,2	15,1	7,7	15,9	7,1	16,9	7,6	15,9	7,5	17,0	8,1
	rel. Feuchte [%]	74,2	67,0	68,0	63,1	70,5	61,4	71,9	61,7	69,3	61,2	72,2	62,3
Sole (VL)	ξ [%]	24,3		24,4		24,5		24,4		24,4		24,4	
	t [°C]	26,9		25,0		24,7		24,0		22,1		22,2	
Temperaturübertragung		0,48		0,47		0,57		0,61		0,60		0,61	
Feuchteübertragung*		0,26		0,35		0,42		0,44		0,45		0,44	
Enthalpieübertragung*		0,34		0,40		0,47		0,50		0,51		0,50	

*Übertragungsgrade bezogen auf Zuluftseite

- Statische Messungen
- Dauerversuch mit variablen Luftzuständen
- Zulufttemperaturregelung via Solekreis möglich



3-fluidiger Prototyp (Gegenströmer für je 100 m³/h Zu- und Abluft)

2-Fluidiges System (Kreuzstrom):

- Temperatur-Übertragungsgrad könnte höher sein
 - Feuchte- und Temperaturübertragung nur begrenzt unabhängig voneinander regulierbar
- ➔ Deshalb Versuchsaufbau mit ergänztem Fluidkreislauf (wasserdurchströmte Abstandshalter zwischen Membransegln)



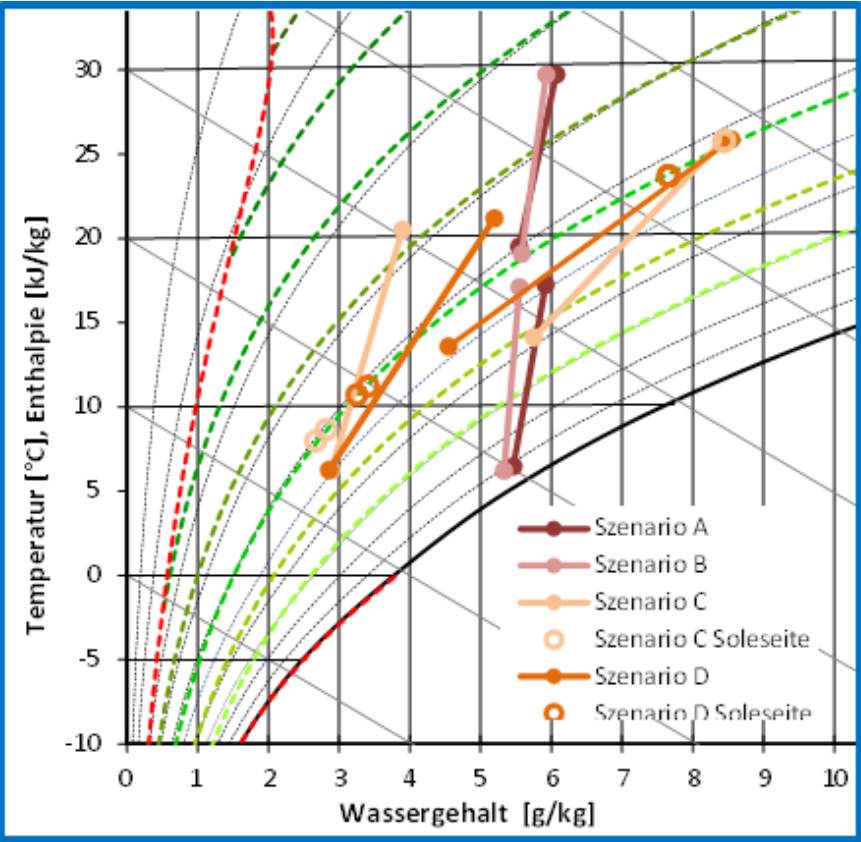
3-Fluidiges System (Gegenstrom):

- Je Luftstrom 20 m² aktive Membranfläche (10 m² Mehrlagenlaminat)
- Je Luftstrom 50 Membransegl; Mittenabstand 4,0 mm
- Je Luftstrom 51 durchströmte Schlauchmatten als Abstandshalter
- Kanalmaß (H x B): 438 x 202 mm, Durchströmlänge 630 mm



3-fluidiger Prototyp (Gegenströmer für je 100 m³/h Zu- und Abluft)

- exemplarische Erprobung (4 Szenarien, statisch)
- bessere Temperaturübertragung (Gegenstrom)
- Temperatur- und Feuchteübertragung getrennt voneinander regulierbar



Übertragungsgrade / –verhältnisse im 3-fluidigen KVS-System									
Szenario:		A: Soleseite deaktiv		B: Soleseite deaktiv		C: Wasserseite deaktiv		D: 3-Fluide	
Volumenströme	Außenluft [m³/h]	99,8		99,7		100,6		100,5	
	Abluft [m³/h]	101,0		101,0		101,1		101,1	
	Sole [l/h]	--		--		33,2		33,6	
	Wasser [l/h]	30,3		57,9		--		28,1	
Kapazitätsstromverhältnis Sole/Luft		1,0		1,9		0,9		1,8	
Luftzustände	Zuluftseite	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU	AU	ZU
	t [°C]	6,4	17,1	6,1	16,9	6,2	20,4	6,2	21,0
	x [g/kg]	5,5	5,9	5,3	5,5	2,9	3,9	2,9	5,2
	rel. Feuchte [%]	91,0	48,7	90,5	46,1	49,6	26,5	49,0	33,9
	Abluftseite	AB	FO	AB	FO	AB	FO	AB	FO
	t [°C]	29,4	19,3	29,4	18,9	25,5	14,0	25,5	13,5
	x [g/kg]	6,1	5,5	5,9	5,6	8,4	5,8	8,5	4,5
	rel. Feuchte [%]	23,7	39,7	23,1	41,0	41,7	58,5	42,3	47,8
Solekreis	Zuluftseite	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
	ξ [%]	--	--	--	--	29,9	29,9	29,5	29,8
	t [°C]	--	--	--	--	25,4	7,9	23,4	10,7
	Abluftseite	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
	ξ [%]	--	--	--	--	29,7	30,0	29,6	29,6
	t [°C]	--	--	--	--	8,6	25,4	11,2	23,4
Wasser-kreis	Zuluftseite	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
	t [°C]	21,7	12,4	19,9	15,0	22,0	19,6	20,7	25,7**
	Abluftseite	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf	Vorlauf	Rücklauf
	t [°C]	13,6	21,0	15,4	19,9	19,1	23,1	13,3	19,9
Temperaturübertragung*		0,46		0,46		0,73		0,77	
Feuchteübertragung*		--		--		0,18		0,41	
Enthalpieübertragung*		0,48		0,46		0,50		0,61	
Wärmeverhältnis*		0,43		0,43		0,68		0,71	
Feuchteverhältnis*		--		--		0,17		0,38	
Enthalpieverhältnis*		0,45		0,43		0,47		0,57	

*Übertragungsgrade bezogen auf Zuluftseite ** Sensordefekt oder Luфтеinschluss: somit keine Wasserbeaufschlagung des Sensors

Zusammenfassung der Ergebnisse (Kennzahlen)

Zielparameter zu Projektbeginn	2-fluidiges System	3-fluidiges System
Luftvolumenstrom 100 m³/h Luftgeschwindigkeit 1,0...2,0 m/s	jeweils 50 m³/h Außen- und Abluft 15 m² aktive Membranfläche je Luftstrom → spezifische Membranfläche 0,30 m²/(m³/h)	jeweils 100 m³/h Außen- und Abluft 20 m² aktive Membranfläche je Luftstrom → spezifische Membranfläche 0,20 m²/(m³/h)
Übertragungsgrade: $\eta_t \geq 0,68$ $\eta_x \geq 0,68$	$\eta_h = 0,50 \dots 0,55$ $\eta_t = 0,25 \dots 0,70$ $\eta_x = 0,40 \dots 0,65$	$\eta_h = 0,57 \dots 0,61$ $\eta_t = 0,71 \dots 0,77$ $\eta_x = 0,38 \dots 0,41$
Luftseitiger Druckverlust ≤ 250 Pa je MWÜ	Luftseitiger Druckverlust je MWÜ ≈ 5 Pa	Luftseitiger Druckverlust je MWÜ 11,5 Pa
Ökodesign-Bewertung nach ErP (DIN EN 13053)		
Elektrische Hilfsenergie WRG	• 0,5 W Ventilatoren (klein durch sehr niedrigen Druckverlust) • 11 W Pumpe im Solekreis	• 2,1 W Ventilatoren (klein durch sehr niedrigen Druckverlust) • 2x 11 W Pumpen im Sole- bzw. Wasserkreis
Leistungsziffer ε WRG	311 W* / 11,5 W = 27,0	690 W / 24,1 W = 28,6
Energieeffizienz WRG: $\eta_e = \eta_t \cdot (1 - 1 / \varepsilon)$	67,4 %** Wärmerückgewinnungsklasse H2	74,3 %** Wärmerückgewinnungsklasse H1
Luftgeschwindigkeit im MWÜ	$\approx 0,30$ m/s Luftgeschwindigkeitsklasse V1	$\approx 0,45$ m/s Luftgeschwindigkeitsklasse V1
Energieeffizienzklasse nach RLT Herstellerverband (nur Anteil WRG)	A	A+

Fazit und Ausblick

→ **Textile Wärmeübertrager ermöglichen nachweislich Feuchterückgewinnung zw. örtlich getrennten Luftströmen**

- Folglich Energieeinsparung bei der Luftbefeuchtung
- Potentiell auch Einsatzmöglichkeiten auch in Werkstätten und Laboren (belastete Abluft)
- Marktlücke kann geschlossen werden

→ **Sorptionskreislauf und zugehörige Komponenten bilden Grundlage für ganzjährig nutzbare Synergieeffekte und maximale Nutzung regenerativer Energien**

- Multifunktionale RLT-Komponente (HKBE)
- Sorptive Luftentfeuchtung in Flüssigsorptionskreislauf
- Indirekte Verdunstungskühlung

→ **Optimierungsbedarfe**

- Konstruktive Vereinfachung von Medienanschluss und -verteilung
- Langzeitstabilität einzelner Materialien
- Wirtschaftliche Fertigung

Global betrachtet größtes Anwendungspotential:

- in schwülwarmen Klimaregionen mit Einsparpotentialen von bis zu 38% gegenüber konventioneller Kältetechnik
- klimafreundliche und nachhaltige Alternative.

