

Mikroprojekt „TheChNe“

Vorbereitung eines Verbundprojekts zu Anwendungstechnologien für Offene Thermo-Chemische
Netzwerke durch Ermittlung von Pilotvorhaben und Vorplanung in Zusammenarbeit mit
zukünftigen Anwendern und Partnern der wissenschaftlichen Begleitung“

Förderkennzeichen: 03ENM0008

Endbericht (öffentliche Version)

Fördermittelgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)
Fördermittelnehmer: Watergy GmbH, Siedlerweg 19, 16303 Schwedt / Oder

„Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.“

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Mikroprojekt „TheChNe - Vorbereitung eines Verbundprojekts zu Anwendungstechnologien für Offene Thermo-Chemische Netzwerke durch Ermittlung von Pilotvorhaben und Vorplanung in Zusammenarbeit mit zukünftigen Anwendern und Partnern der wissenschaftlichen Begleitung“

Förderkennzeichen: 03ENM0008

Endbericht, Öffentliche Version

1. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

1.1. Bekannte Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden,

- Eine ausführliche Analyse zum Bereich LDAC, Liquid Desiccant supported Air conditioning wurde im als Anhang beigefügten EU Antrag zu diesem Bereich unter dem Punkt 1.2. Novelty verfasst.
- Offene Sorptionssysteme sind schon seit Mitte des 20. Jahrhunderts bekannt (z. B. Fa. Kathabar³). Die Technik hatte aber nie einen breiten Durchbruch, da technische Detailprobleme wie Korrosion und Salzaustrag an die Luft, die schwierige Integration in konventionelle Klimasysteme und Probleme bei der Regeneration im Wege standen. Luftentfeuchter auf Basis von hygroskopischen Sorptionsmedien mit örtlich getrennter Regeneration als Beispiel für offene Absorptionsprozesse sind aus der Gewächshaustechnik als Nischentechnologie bekannt (z. B. Fa. Agam Greenhouse⁴) Diese wurden aber bisher nicht auf die Verwendung von Niedrigtemperaturquellen, Solar- oder Abwärme hin optimiert. Der Stand der Forschung wurde bereits durch die Beteiligung von Watergy an unterschiedlichen Grundlagen- und Forschungsprojekten mitgestaltet. (Siehe Antragssteller und Vorarbeiten).^{5 6 7} Hierbei steht die Erfindung der Thermo-Chemischen Netzwerke (EU Projekt H-DisNets⁸, BMWi Projekt Energienetz Adlershof⁹) und die Erschließung von Abwärme und fluktuierender regenerativer Wärmequellen im Mittelpunkt.
- Geschlossene Sorption: Eine geschlossene, hybride thermische und thermo-chemische Anwendung wurde in einer industriellen Pilotanlage der Hochtemperatur-Brennwerttechnik mit thermo-chemischem Speicher im Heizkraftwerk Berlin Buch über sechs Jahre in Betrieb und kann als Stand der Technik gelten¹. Anlagen zur thermo-chemischen Saisonspeicherung mit Natronlauge sind etwa aus der Pilotanlage der EMPA in Dübendorf bekannt². Hier konnte ebenfalls ein kontinuierlicher Betrieb nachgewiesen werden.

1.2. Verwendete Fachliteratur sowie benutzte Informations- und Dokumentationsdienste

1.2.1. Literatur: (1) **Zhang, F, Ying, Y, Zhang, Z.** Performance analysis of a novel liquid desiccant evaporative cooling; (2) **Buker, M. S., Riffat, S.B.:** Recent developments in solar assisted liquid desiccant evaporative cooling technology in: Energy and Buildings 96(2015) 95–108; (3) **Jeong, Liu:** Energy Performance Comparison between Two Liquid Desiccant and Evaporative Cooling-Assisted Air Conditioning Systems in: Energies 13(3): 522202; (4) **Bergmann, T.:** Hochtemperatur (HT)-Brennwerttechnik,“ Euroheat & Power 29, 6, pp. 38-44, 2000; (5) **Ostertag, A.:** Über Möglichkeiten des Wärmepumpeneinsatzes bei der Städtefernheizung in: Schweizerische Bauzeitung, Band (Jahr): 92 (1974), Heft 31

1.2.2. Internetquellen: (1) <https://www.technologyreview.com/2023/07/26/1076731/materials-air-conditioning/>; (2) <https://www.alfalaval.us/products/heat-transfer/dehumidification/liquid-desiccant-dehumidification/>; (3) <http://agam-greenhouses.com/>; (4) [https://www.empa.ch/de/web/s604/naoh-heat-storage](https://www.empa.ch/de/web/s604/naoh-heat-storage;);

2. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die unter Punkt 3. beschriebenen Ergebnisse wurden in Kooperation mit den folgenden Institutionen erarbeitet. Leibniz Universität Hannover, FG Nachhaltige Gebäudesysteme, Prof. P. Geyer; Technische Universität Berlin, FG Energieübertragung und Energiewandlung (Prof. S. Elbel, Prof. F. Ziegler) und ZHAW Winterthur IEFÉ, FG Energiespeicher (Prof. T. Bergmann); ZHAW Winterthur, *National research Institute of rural engineering, Water and Forests (INRGREF)*, Prof. Thameur Chaibi; Tunis, Tunesien

JBP -Janßen, Bär Partnerschaft mbB, Architekten; Nordseeheilbad Cuxhaven GmbH; Wolf + Partner TGA Planer

Kontakte, die zunächst keine weitere Zusammenarbeit ergaben: LEUPA Schwedt (Papierhersteller), Unternehmensnetzwerk Marienfelde, Berlin; ENTRACT Energy Berlin (Energy Contracting), Kubus Berlin (Technologietransfer); Gewächshausbetriebe Havelia, Landgut Pretschen (beide Brandenburg) und Sven Jacobsen, Neumünster

3. Wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, die erreichten Nebenergebnisse und die gesammelten wesentlichen Erfahrungen

3.1. Raumklimatisierung, LDAC Kühlung als Grundfunktion für urbane Wärme- und Kältenetze

3.1.1. EIC Pathfinder Challenge „Clean and Efficient Cooling“

Zusammen mit dem Partner INRGREF Tunesien und der LU Hannover wurde ein Antrag im Rahmen des EU Programms EIC Pathfinder Challenge, Clean and Efficient Cooling vorbereitet und am 25.10.2023 eingereicht. In diesem Antrag wird ein innovativer Ansatz für ein LDAC Gerät (Liquid Desiccant Assisted Air Conditioning) zur kombinierten Verdunstungskühlung mit sorptiver Lufttrocknung mit Einsatz in Gebäudesystemen vorgestellt. Eine Verfahrensvariante sieht den Einsatz eines neuen Absorberprototyps als Kühlaggregat in geschlossenen Produktionsgewächshäusern vor. Hierfür soll ein Gewächshausprototyp bei dem Projektpartner INRGREF aus dem laufenden EU Projekt „TheGreefa“ verwendet werden. Details zu diesem Antrag sind im Anhang 1 (EU Antrag) ausgeführt.



Abb. 1 und 2: Gewächshausprototyp beim Partner INRGREF

3.1.2. Projektantrag im IraSME Netzwerk (ZIM International)

Vergleich unterschiedlicher Ansätze von LDAC Systemen

Ausgehend von dem unter 3.1.1. genannten LDAC Absorptionssystem (Watergy) sollen zusammen mit den Partnern TU Berlin und ZHAW Winterthur verschiedene LDAC Systeme verglichen werden und gemeinsame Berechnungs- und Simulationstools entwickelt werden. Diese dienen dem Vergleich von Konzepten, aber auch als Grundlage für zukünftige Auslegungswerkzeuge und Kontrollstrategien.

Dabei geht konkret es um den Vergleich des Watergy Gerätes mit einem sorptiv unterstützten Kühlaggregat unter Verwendung von ionischen Flüssigkeiten (TU Berlin, FG Wärmeübertragung und Wärmewandlung) und der Kühlung mit Füllkörperkolonnen (Industriestandard) und einem angepassten Speicherkonzept mit Integration in Solenetze, welches von der ZHAW Winterthur (CH) und einem Schweizer KMU N.N. (CH) verfolgt wird.

Die Einreichung des Antrags ist für den 31.03.2024 vorgesehen. Eine alternative Einreichungsfrist ist für Ende September 2024 angekündigt.

3.2. Erweiterte Raumklimatisierung mit einem Gerät, LDAC Kühlung + Heizung mit Luftfeuchteregulierung, Nassfilter zur Luftreinigung

Ein von Watergy entwickeltes Klimagerät zur Heizung, Kühlung, Feuchteregulierung und Luftreinigung soll in einem Verbundprojekt als Komponente eines industriell vorgefertigten Fassadenmoduls entwickelt werden. Hierbei geht es nicht um ein neues Absorptionsgerätes, sondern um die Verkleinerung der Technik bei engstem Raum, sowie um die Interaktion mit einem Zentralheizungs- / Kühlungsnetz. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Interaktion mit einem außenliegenden Hybridsolarkollektor.

3.2.1. Projektantrag „Archland-Zero“,

Antragssteller der Projektinitiative im 8. Energieforschungsrahmenprogramm (BMWK) ist die Leibniz Universität Hannover. Die Projektskizze wurde bereits eingereicht. Momentan ist der Antrag in der Überarbeitungsphase nach einem Skizzengespräch mit dem Projektträger vom 23.02.24. Schwerpunkte in dem Projekt sind ein dezentrales Lüftungssystem für den anliegenden Raum, die Anschlüsse an Zentralheizung und Solenetz, die automatisierte Zuluft-, Abluft- und Umluftführung, die Feuchteregulierung sowie Regelungsvarianten.

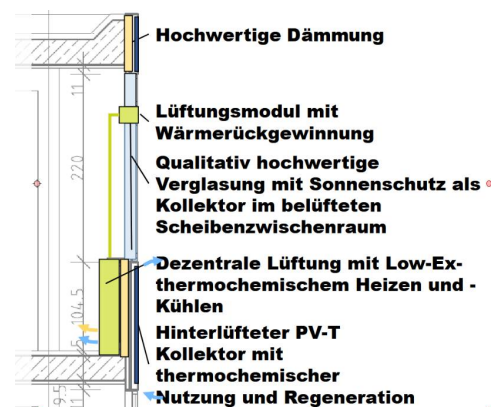


Abb. 3: Watergy Klimagerät aus dem EU Projekt „H-Disnet“

Abb. 4: Beispiel eines integrierten und vorfertigten Fassadenmoduls für Neubau und Renovierung von Skelettkonstruktionen. (Quelle: Leibniz Universität Hannover)

3.2.2. Wissenschaftlicher Austausch, Zürich Meets Berlin, Workshop „Entwicklung von Solenetzen“ 04.- 05.11.2023 an der TU Berlin

Watery GmbH mit TU Berlin, FG Energieübertragung und Energiewandlung (Prof. S. Elbel, Prof. F. Ziegler, MA T. Meyer) und ZHAW Winterthur IEF, FG Energiespeicher (Prof. T. Bergmann)

Die Idee der Thermochemischen Netzwerke bildet einen Ausgangspunkt für weitere Forschungsaktivitäten der beteiligten Partner. Hierbei werden die Vorteile der offenen Absorption (hohe Energieeinsparungen bei der Kühlung, Komfortgewinne bei der Heizung mit Energieeinsparungen bei der Luftbefeuchtung sowie perspektivisch verbesserte Hygienebedingungen durch sorptive Luftwäsche) kombiniert mit möglichen, geschlossenen Solenetzen auf Basis von angepassten Hochtemperatur-Brennwerttechnik-Anlagen, Nutzung industrieller Abwärme und Integration von Solarthermie mit Thermo-Chemischen Speichern.

Durch diesen integrierten Ansatz wird eine Alternative zu Wärmenetzen auf Basis von elektrisch betriebenen Kompressionswärmepumpen aufgezeigt.

Der Workshop wurde über einen Arbeitsaufenthalt bei ZHAW im Zeitraum 11.-13.09.2023 vorbereitet.

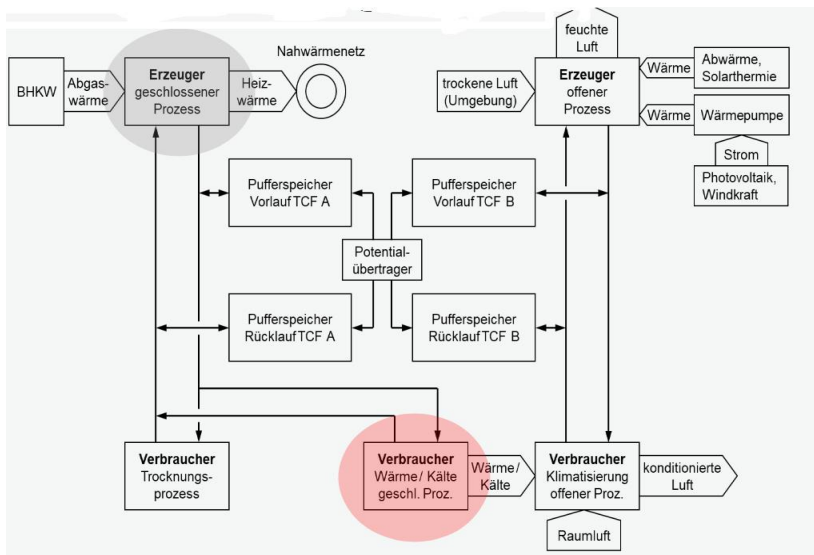


Abb 5: Systemkonzept für kombinierte, geschlossene und offene Sorptionsnetzwerke auf Basis von Abwärme als übergeordnete Energiequelle (Quelle: ZHAW Winterthur)

3.3. Gewerbliche Lufttrocknung und Luftfeuchteregulierung: Luftentfeuchtung, Luftreinigung und Temperaturanhebung in Hallenbädern

Die Entfeuchtung und Reinigung von Raumlufte in Hallenbädern bietet eine interessante Anwendung von innovativer, offener Sorptionstechnik. Die Luftentfeuchtung in Bädern ist sehr Energieaufwendig, da mit dem vorhandenen Technikansatz des Luftaustausches hohe Lüftungsenergieverluste verbunden sind. (vgl. Abb.). Durch Absorption in ein flüssiges Sorptionsmedium kann die Raumlufte Verlustfrei entfeuchtet werden, wobei die latente Energie wieder in sensible Wärme umgewandelt wird.

Zusammen mit den Partnern JBP -Janßen, Bär Partnerschaft mbB, Architekten; Wolf + Partner TGA Planer und Leibniz Universität Hannover wurde ein Konzept für das Nordseeheilbad und Freizeitbad Ahoi! Cuxhaven erarbeitet. Hierbei wurde die Regeneration der Sorptionslösung durch Abwärme aus Ablufte der benachbarten Saunaanlage untersucht. Die Kombination Hallenbad und Sauna ist sehr verbreitet, so dass ein hoher Replikationsperspektive für die Technologie vorliegt.

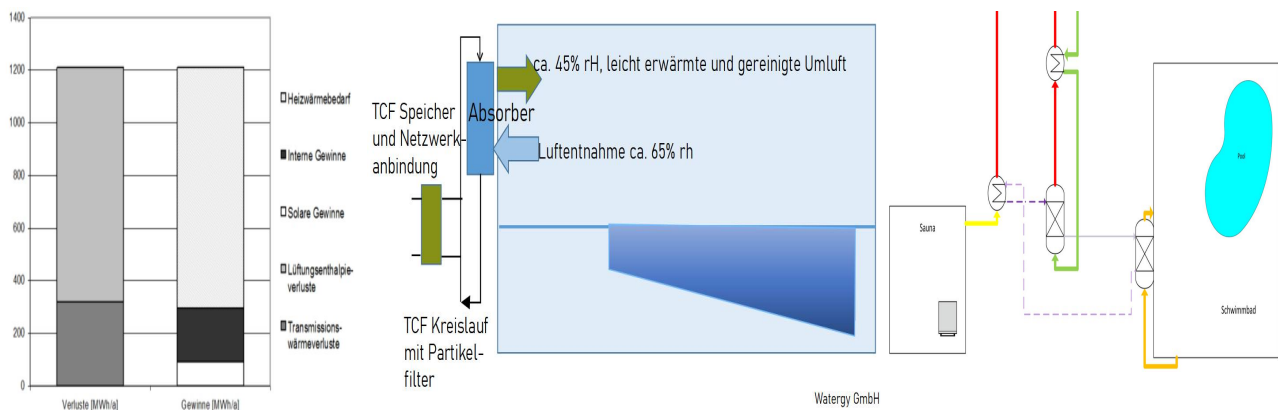


Abb. 6: Energieverluste in Hallenbädern (hellgrauer Balken: Lüftungsenthalpieverluste), Quelle Öko Institut Darmstadt

Abb. 7: Konzept für sorptive Trocknung in Hallenbädern

Abb. 8: Regeneration durch Saunaabluft

Die Projektinitiative wurde durch ein Vortrag von Watergy auf dem Bäderkongress zu Energieeffizienz der Internationalen Akademie für Bäder-, Sport- und Freizeitbauten in Deutschland (IAB) am 8. und 9.05.23 in Bremen eingeleitet.

Das Projekt soll Ende 2024 / Anfang 2025 analog zu den anstehenden Renovierungsarbeiten in diesem Bad beginnen. Es ist beabsichtigt, einen umfassenderen Antrag beim BMWK im 8. Forschungsrahmenprogramm einzureichen, der möglichst auch noch mindestens eine Anwendung aus dem Bereich der industriellen Trocknung von Materialien (vgl. Punkt 3.4.) enthält.

3. 4. Industrielle Trocknung von Materialien

Im Rahmen des Projektes wurden unterschiedliche Trocknungsanwendungen untersucht und unterschiedliche Anwender kontaktiert. Hierbei konnte bisher noch keine konkrete Projektinitiative initiiert werden. Das Resümee der Partnerkontakte kann wie folgt zusammengefasst werden:

Papiertrocknung (LEIPA GmbH, Schwedt) und **Wäschetrocknung** (Wäscherei Dörschel, Berlin): Ein Sorptionssystem ist nicht nachträglich in bestehende (sehr komplexe) Systeme integrierbar. Vielmehr muss auf der Ebene des Maschinenbaus eine integrierte Trocknungsalternative entwickelt werden. Evtl. kommt somit eine Kooperation mit einem Maschinenbauer zum Bau von kleineren Technikumanlagen / Prototypen in Frage.

Holz Trocknung: Hier gab es wenig Interesse, da Holzabfälle als Energierohstoff weiterhin kostengünstig verfügbar sind. Evtl. ergibt sich durch verringerte Emissionswerte bei Verbundprodukten ein letztlich ausschlaggebender Zusatznutzen.

Nahrungsmitteltrocknung: Hier gibt es hohe Anforderungen an die Produktqualität. Ein Eintrag von Sole in das Produkt wird befürchtet.

Lack Trocknung: Bisher keine Partnerkontakte, ggf. ergeben sich Probleme bei der Kontamination der Sorptionsmittel durch lösliche Chemikalien.

4. Voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Verwertbarkeit durch Projektinitiativen: Durch die unter Punkt 3 aufgeführten Projektinitiativen ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten, das vorhandene, und bisher nur in Prototypen

nachgewiesene offene Sorptionssystem zu verbessern und in Richtung eines vermarktbaren Produkts weiterzuentwickeln.

5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen,

Im Bereich der LDAC Systeme gibt es inzwischen sehr ambitionierte und mit viel Kapital ausgestattete Start-Ups. Insbesondere sind die Firmen 7AC und BlueFrontier zu nennen. Eine genauere Beschreibung der Wettbewerbssituation ist im EU Antrag (vgl. 3.1.1. und Anhang) aufgeführt.

6. Erfolgte bzw. geplante Veröffentlichung der Ergebnisse

Publikationen zu Gewächshaussystemen (3.1.1.) beschreiben die Grundlage von geschlossenen Gewächshaussystemen und deren Klimatisierung durch sorptive Kühlung. Im Projektzeitraum wurden zwei Veröffentlichungen zusammen mit den Partnern aus Nordafrika vorbereitet. Die Texte sind im Status des Peer Reviews bei den Zeitschriften „Sustainability“ und „Energies“

In Folge der Patentanmeldungen sind auch wissenschaftliche Veröffentlichungen mit den aufgeführten Forschungseinrichtungen vorgesehen.

7. Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen des 7. Energieforschungsprogramms (EFP)

7.1. Bereich Gebäude und Quartiere, Versorgung mit Wärme und Kälte (EFP 3.1.1, 3.1.3)

Der Schwerpunkt des Projekts lag in der **Weiterentwicklung von Materialien, Komponenten und Einzeltechnologien**. Das neuartige Luft-Luft Wärmetauscher System vereint die bisherigen Komponenten des Raumwärmetauschers (Heiz-/bzw. Kühlkörpers) und des Luft-Luft Wärmetauschers aus der Wärmerückgewinnung. Er ermöglicht auf der Nutzerseite den Gebrauch von Sorptionslösungen als innovatives Energietransport- und -speichermaterial. Das System ist zudem geeignet für Niedrigtemperaturanwendungen und zielt auf die Integration in den Gebäudebestand mit vermindertem Aufwand beim Einbau, etwa zu Fußbodenheizungen.

7.2. Industrielle Trocknung

Anwendungen der **industriellen Trocknung** (EFP, 3.2.10) und Potenziale bei der Speicherung und Nutzung solarer Wärme in der Trocknung (EFP, 3.2.11), die in einem der Folgeprojekte genauer untersucht werden sollen, betreffen weitere Förderziele. Für das anvisierte Folgeprojekt ist die Durchführung von **Demonstrationsvorhaben** mit dem Schwerpunkt der **Systemintegration und der Vernetzung von Energie- und Wärmeversorgung** in Gebäuden und in der Industriellen Trocknung vorgesehen. Der Absorber als Luft-Luft Wärmetauscher mit benetzbaren Oberflächen soll dabei in unterschiedlichen Anwendungsvarianten erstmals auch außerhalb des Labors in realen Umgebungen erprobt und Anwendungsvarianten demonstriert werden. Hierbei steht die **Integration in die zugehörigen Gesamtsysteme** im Mittelpunkt, wobei die Systemgrenzen entweder auf der Gebäude- bzw. Anlagenebene mit zugehörigen Speichersystemen liegen oder auch auf der Ebene von umfassenden Energienetzen.

7.3. Übergeordneten Zielsetzungen

Übergeordneten Zielsetzungen betreffen die **Minderung des Primärenergiebedarfs und die deutliche Reduktion von Treibhausgasemissionen** durch die Inwertsetzung von Abwärme im Bereich 20-60°C durch thermo-chemische Speicher- und Transportvorgänge. Aspekte der Netzentkopplung von solaren und gebäudeinternen Wärmequellen sowie die Integration von Energiespeicherung und Wärmepumpenbetrieb sind insbesondere für den Bereich der Sektorkopplung von Bedeutung. (EFP 3.1.4.)

8. Fortschreibung des Verwertungsplans bzw. Verweis auf ein Anschlussvorhaben.

8.1. Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende

Die unter Punkt 3.1.1 und 3.1.2. dieses Berichts beschriebenen LDAC Projekte haben noch einen relativ niedrigen ~ TRL 3. Die erfolgten Projektinitiativen können die Entwicklung eines lauffähigen Prototypen ermöglichen. Zusammen mit der Patentanmeldung unter 4.2.1 und den bestehenden Watergy Patenten ergibt sich für den Zeithorizont bis 2026/2027 die Möglichkeit der Zusammenarbeit mit einem größeren Partner der Klima- und Kältetechnik bzw. der Gebäudeenergiesysteme auf Basis von Lizenzvereinbarungen. Die Vermarktung eignet sich vor allem für den Mittelmeerbereich, aber auch international für zahlreiche große Industrienationen mit heiß-feuchten Klimaregionen.

Ein ähnliches Bild besteht bei der sorptiven Trocknung von Materialien. Hier sind wegen fehlender Partner allerdings noch keine konkreten Projekte in Aussicht. Systeme der Raumklimatisierung mit den Funktionen Heizen, Kühlen, Feuchteregulierung und hygienische Luftreinigung sind bereits näher an der Anwendungsreife (TRL 5-6). In den meisten Fällen müssen hier allerdings Formen der Sorption und der Regeneration zusammengeführt werden, wodurch zunächst nur begrenzte Einsatzmöglichkeiten mit relevanten Energieeinsparungen bestehen.

8.2. Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende

Im Bereich der Wissenschaftlichen Verwertung sind insbesondere die Aktivitäten zu Sorptionsnetzen und Sorptionsspeichern interessant. Hierbei handelt es sich um eine innovative Technologieplattform, die bisher kaum Beachtung findet. Gemeinsame Publikationen, insbesondere mit dem Partner ZHAW sind hier angedacht. Mittelfristig sollte ein größeres, vorzugsweise EU finanziertes Projekt die Netzwerke als Gesamtsystem im Zeitrahmen 2024 und 2025 untersuchen und technische sowie wirtschaftliche Potenziale des Konzeptes konkretisieren. Auch die sorptive Klimatisierung von geschlossenen Gewächshäusern ist eine Technologieplattform, die im weiteren Verlauf mit Konzepten der Biotechnologie und der Lebenswissenschaften weiterentwickelt werden kann. Dies betrifft dann wegen der Komplexität einen langen Zeithorizont von 10 bis 15 Jahren. Die energetische Dimension der Kühlung stellt allerdings bisher eindeutig die gravierendste Hürde dieser Technologie.

8.3. Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit für eine mögliche notwendige nächste Phase bzw. die nächsten innovatorischen Schritte zur erfolgreichen Umsetzung der FE-Ergebnisse

Die nächste Phase der Weiterentwicklung ist durch die unter Punkt 3 genannten Projektinitiativen und durch die Natur des Microprojekts zum Projektanschub vorgegeben.

Schwedt, 29.02.2024, Martin Buchholz