Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

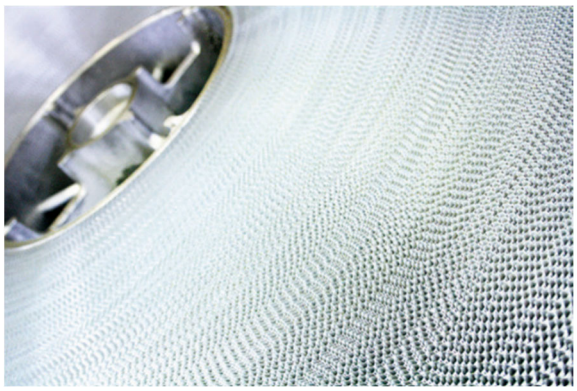
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Zwischenbericht vom 13. Dezember 2022

RePPER

Reduktion von Leistungsspitzen durch Enthalpierückgewinnung

Reduction of Power Peaks by Enthalpy Recovery



Bildquellen: Polybloc AG (CH) (links), Recuperator SpA (IT)

Datum: 13.12.2022

Ort: Bern

Subventionsgeberin:
Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:
Stadt Zürich
Amt für Hochbauten
Lindenhofstrasse 21, CH-8021 Zürich
http://www.stadt-zuerich.ch/hochbau

Subventionsempfänger/innen:
Hochschule Luzern
Institut für Gebäudetechnik und Energie
6048 Horw
www.hslu.ch

FREI WÜEST EXPERT
Ingenieurbüro
Gutachten – Expertisen – Forschung – Normierung
6130 Willisau
www.frei.expert

EQUA Solution AG
6300 Zug
www.equa.ch

Autoren:
Heinrich Huber, HSLU, heinrich.huber@hslu.ch
Beat Frei, FREI WÜEST EXPERT, beat.frei@frei.expert
Michael Näf, HSLU, michael.naef@hslu.ch
Moritz Bienz, HSLU, moritzrene.bienz@hslu.ch

BFE-Projektbegleitung:
Nadège Vetterli, nadege.vetterli@anex.ch
Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502513-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Zusammenfassung

Steigende Aussentemperaturen und die damit verbundene steigende Luftfeuchtigkeit führen zu einem zusätzlichen Energie- und Leistungsbedarf für die Entfeuchtung in raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen). Darüber hinaus führt das Bedürfnis für höhere Raumluftfeuchten im Winter zu einem zusätzlichen Leistungsbedarf bei tiefen Aussentemperaturen. Das Projekt RePPER untersucht, inwieweit eine kombinierte Feuchte- und Wärmerückgewinnung (sog. Enthalpie-rückgewinnung, abgekürzt ERG) den Mehrbedarf, insbesondere die Leistungsspitzen, reduzieren kann und wie weit sich das nach dem Stand der Technik sowie den zu erwartenden Entwicklungen und Anforderungen umsetzen lässt. Für Fachleute aus Planung und Betrieb wird dargelegt, welche Auswirkungen die ERG auf die Auslegung und den Betrieb von neuen und bestehenden RLT-Anlagen und statischen Kühlsystemen hat. Für Normenschaffende und Energiestandards wird aufgezeigt, wie die ERG berücksichtigt werden kann, um Leistungsspitzen und einen zusätzlichen Energiebedarf infolge Klimawandel und den erhöhen Komfortanforderungen zu minimieren.

Im Berichtsjahr wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Projektstart im Oktober und 1. Sitzung mit dem Projektteam
- Aufarbeitung und Zusammenstellung der Grundlagen in einem Arbeitsdokument
- Modifizierung der Simulationsmodelle im Simulationsprogramm IDA ICE auf Basis der im Arbeitsdokument zusammengefassten Grundlagen

Résumé

La hausse des températures extérieures et l'augmentation de l'humidité qui en découle entraînent une demande supplémentaire d'énergie et d'électricité pour la déshumidification. En outre, la demande d'une plus grande humidité de l'air intérieur en hiver entraîne des pics de puissance supplémentaires lorsque les températures extérieures sont basses. Le projet étudie dans quelle mesure la récupération combinée de l'humidité et de la chaleur (appelée récupération d'enthalpie, abréviation ERC) peut réduire la demande supplémentaire, en particulier les pics de puissance, et comment cela peut être mis en œuvre compte tenu de l'état de la technique, des développements et des exigences. Pour les spécialistes de la planification et de l'exploitation des bâtiments, les effets de l'ERC sur la conception et l'exploitation des centrales de traitement d'air et des systèmes de refroidissement statique nouveaux et existants sont expliqués. Pour les normes énergétiques, il est montré comment l'ERC peut être pris en compte pour prévenir les pics de puissance et la demande énergétique supplémentaire due au changement climatique et aux exigences accrues en matière d'humidité intérieure.

Les travaux suivants ont été réalisés au cours de l'année sous revue :

- Lancement du projet en octobre et 1ère réunion avec l'équipe du projet.
- Préparation des bases dans un document de travail
- Modification des modèles de simulation dans le logiciel de simulation IDA ICE sur la base des principes de base.

Summary

Increasing outdoor temperatures and the linked rising humidity lead to additional energy and power demand for dehumidification. In addition, the demand for higher indoor air humidity in winter leads to additional power peaks at low outdoor temperatures. The project investigates to what extent combined humidity and heat recovery (so-called enthalpy recovery, abbreviation ERC) can reduce the additional demand, especially the power peaks, and how this can be implemented with the state of the art, developments and requirements. For experts in planning and operation of buildings, the effects of ERC on the design and operation of new and existing air handling units and static cooling systems are explained. For energy standards, it is shown how ERC can be taken into account to prevent power peaks and additional energy demand due to climate change and increased indoor humidity requirements.

The following work was carried out in the year under review:

- Project launch in October and 1st meeting with the project team
- Preparation of the basics in a working document
- Modification of the simulation models in the IDA ICE simulation software on the basis of the fundamentals.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ... **3**
Résumé ... **3**
Summary ... **4**
Inhaltsverzeichnis ... **5**
Abkürzungsverzeichnis ... **6**
1 Einleitung ... **7**
1.1 Ausgangslage und Hintergrund ... 7
1.2 Motivation des Projektes ... 7
1.3 Projektziele ... 7
2 Vorgehen und Methode ... **9**
2.1 Grundlagen ... 9
2.2 Bedarfsabklärung Sommer, «Ingenieurmethoden» ... 10
2.3 Bedarfsabklärung Winterfall mit Simulation ... 10
2.4 Simulation Leistungs- und Energiebedarf ... 11
2.5 Nationale Relevanz und Handlungsempfehlungen ... 12
3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse ... **12**
3.1 Administratives ... 12
3.2 Grundlagen ... 12
3.3 Simulation Leistungs- und Energiebedarf ... 13
4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse ... **13**
5 Weiteres Vorgehen ... **14**
5.1 Administratives ... 14
5.2 Arbeitspakte ... 14
6 Nationale und internationale Zusammenarbeit ... **14**
7 Publikationen ... **15**
8 Literaturverzeichnis ... **15**

Abkürzungsverzeichnis

Akronym	Beschrieb
AP	Arbeitspaket
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BFE	Bundesamt für Energie
EN	Europäische Norm
ERG	Enthalpierückgewinnung
MB	Merkblatt (im Zusammenhang mit SIA-Merkblatt)
MFH	Mehrfamilienhaus
prSIA	Entwurf einer SIA-Norm
RCP	repräsentativer Konzentrationspfad, engl. *representative concentration pathway*
RCP2.6	RCP, der für einen Strahlungsantrieb durch anthropogene Treibhausgase von 2.6 Watt pro Quadratmeter im Jahre 2100 im Vergleich zu 1850 steht. Gemäss [1] repräsentativ für ein Szenario, das darauf abzielt, die globale Erwärmung wahrscheinlich unter 2 K über den vorindustriellen Temperaturen zu halten.
RCP2.6 (2035)	Klimaszenario bei RCP2.6 im Jahr 2035
RCP8.5	RCP, der für einen Strahlungsantrieb durch anthropogene Treibhausgase von 8.5 Watt pro Quadratmeter im Jahre 2100 im Vergleich zu 1850 steht. Wird in [1] als “business as usual”, “high emissions” oder “worst-case”-Szenario bezeichnet.
RCP8.5 (2035)	Klimaszenario bei RCP8.5 im Jahr 2035
RCP8.5 (2060)	Klimaszenario bei RCP8.5 im Jahr 2060
RLT	Raumlufttechnik, raumlufttechnisch
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (in Zusammenhang mit SIA-Normen)
SN	Schweizer Norm
TABS	Thermisch aktives Bauteilsystem
WRG	Wärmerückgewinnung

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Die Klimaerwärmung führt neben steigenden Aussenlufttemperaturen auch zu höheren Taupunktemperaturen. Damit wird zunehmend Schwüleempfinden auftreten, was einen Entfeuchtungsbedarf für die Deckung der Komfortanforderungen auslöst. Der Bemessungswert für Entfeuchtung, der in europäischen und auch in schweizerischen Normen zwischen 15 °C bis 18 °C Taupunkttemperatur festgelegt ist, hat einen erheblichen Einfluss auf den Energie- und Leistungsbedarf von raumlufttechnischen Anlagen (RLT-Anlagen). Kampagnen aus dem Ausland (insbesondere Deutschland) mit derzeit deutlich tieferen Sollwerten für Taupunkttemperaturen könnten das Problem verschärfen, falls diese Anforderungen auch von Schweizer Bestellenden und Gebäudebetreibenden übernommen werden.

Gleichzeitig nimmt der Bedarf an sensibler Kühlung von Räumen zu. Bei einer Kühlung der Zuluft (sei es zur aktiven Raumkühlung oder zur Reduktion des Wärmeeintrags) wird die Zuluft vermehrt geregelt oder ungeregelt (bedingt durch die Temperatur des Kühlmediums) entfeuchtet. Aber auch Systeme mit statischer Kühlung (Kühldecken, TABS) sind betroffen. Hier führt eine zu hohe Taupunkttemperatur dazu, dass die Kühlleistung reduziert oder gar unterbrochen werden muss. In der Folge muss auch in Räumen mit statischer Kühlung die Raum- oder Zuluft mind. zeitweise entfeuchtet werden.

Im Winter steigt das Bedürfnis nach höheren Raumluftfeuchten. So gibt es Bestrebungen, die eine minimale relative Raumluftfeuchte von 40 % fordern [2]. Zudem bieten die neuen Normen SN EN 16798-1:2019 [3] und prSIA 382/1:2022 [4] die Möglichkeit, dass bei Projekten zwischen verschiedenen Innenraumqualitäten (Kategorien) für die Raumluftfeuchte gewählt werden kann.

1.2 Motivation des Projektes

Die Enthalpie-Rückgewinnung (ERG) überträgt neben sensibler Wärme auch Feuchte von der Abluft an die Zuluft. Die ERG kann damit einen wesentlichen Beitrag leisten, um Leistungsspitzen für Be- und Entfeuchtung markant zu reduzieren. Im Winter kommt dazu, dass die ERG, je nach Grad der Feuchteübertragung, den Vereisungsschutz der Wärmerückgewinnung ganz oder teilweise übernehmen kann.

Die ERG mit Rotationswärmerückgewinnern (Rotoren) ist seit gut 25 Jahren eingeführt. Da das Risiko der Abluftübertragung grösser ist als bei anderen WRG-Arten, können sie aber nicht überall eingesetzt werden. Die zweite Bauform sind Platten-ERG, bei denen Feuchte über eine Membran ausgetauscht wird. Bei Kleingeräten, wie bei Wohnraumlüftungsgeräten, wird diese Bauart seit rund 20 Jahren eingesetzt. Durch neue Materialien und Produktionsverfahren kommt sie zunehmend auch bei mittelgrossen Lüftungs- und Klimaanlagen zum Zuge.

Die ERG ist also heute bekannt und wird in der Praxis eingesetzt, aber in Berechnungsnormen und Modellen für Simulationsprogramme ist sie nur rudimentär abgebildet. Zudem fehlen heute Kennzahlen oder Richtwerte, die es erlauben, die Auswirkung der ERG auf den Energie- und Leistungsbedarf bei den künftigen Klimaszenarien und in Abhängigkeit des Lüftungs- und Klimatisierungskonzepts abzuschätzen. Vor allem fehlen aber aus Sicht der nationalen Energiepolitik Aussagen, welches Potential in der ERG steckt, um Leistungsspitzen im Sommer und im Winter zu reduzieren. Damit besteht im Bereich von Normen und Energiestandards keine Grundlage, um allenfalls die ERG zu fördern und zu fordern.

1.3 Projektziele

Im Projekt werden folgende Hypothesen untersucht:

1) Die Klimaerwärmung erhöht die Taupunkttemperaturen so weit, dass in den grossen schweizerischen Siedlungsgebieten bei einer geforderten Innenraumqualität «mittel» (Kategorie II) die Auslegungskriterien für die Luftfeuchte nach SN EN 16798-1:20197 [3] nicht mehr ohne Entfeuchtung erreicht werden.

2) Die Klimaerwärmung erhöht die Taupunkttemperaturen so weit, dass in den grossen schweizerischen Siedlungsgebieten eine statische Kühlung mit den gängigen wasserseitigen Auslegetemperaturen nicht mehr ohne Entfeuchtung ausgelegt werden kann, resp. dass die Leistung zeitweise reduziert werden muss.

3) Die Auslegungskriterien der Luftfeuchte der Innenraumqualität Kategorie II können im Winterfall nicht ohne Befeuchtung erreicht werden, auch wenn eine Feuchterückgewinnung (Enthalpie-Rückgewinnung) vorhanden ist. Für die Innenraumqualität «moderat» (Kategorie III) muss entweder eine effiziente Feuchterückgewinnung oder eine Befeuchtung eingesetzt werden.

4) Ohne ergänzende Massnahmen nimmt die elektrische Spitzenlast für die Entfeuchtung im Sommerfall in einem Ausmass zu, das für die nationale Energieversorgung von Bedeutung ist.

5) Wenn sich für die Auslegungskriterien der Luftfeuchte die Innenraumqualität Kategorie II durchsetzt, nimmt die elektrische Spitzenlast für die Befeuchtung ohne ergänzende Massnahmen in einem Ausmass zu, das für die nationale Energieversorgung von Bedeutung ist.

6) Die Enthalpie-Rückgewinnung (ERG) hat das Potential, den zusätzlichen Energie- und Leistungsbedarf bei neuen Anlagen stark abzumindern und bei bestehenden Anlagen teilweise zu reduzieren.

Damit die Datenmengen und Berechnungsfälle in einem überschaubaren und händelbaren Mass liegen, und zudem der Bearbeitungsaufwand verhältnismässig bleibt, werden für die Bestätigung resp. Widerlegung der Hypothesen folgende Rahmenbedingungen festgelegt:

- Klimaszenarien und Klimadaten: Für den Sommerfall wird mit den Daten der Klimaszenarien RCP2.6 (2060) und RCP8.5 (2035/2060) von 10 Klimastationen gearbeitet. Im Winterfall wird nur das Klimaszenario RCP8.5 für das Jahr 2035 verwendet. Der Grund ist, dass für 2060 keine Zunahme für den Energie- und Leistungsbedarf für die Befeuchtung zu erwarten ist. Zudem werden im Winterfall nur 4 Klimastationen (Mittelland, Region Genfersee, Südschweiz, alpine Lage) betrachtet, da im Winter die Unterschiede der absoluten Feuchte der Aussenluft zwischen Klimastationen innerhalb einer Klimaregion geringer sind als im Sommer.
- Bedarfsermittlung: In Anlehnung an die prSIA 382/1:2022 [4] wird bei Hypothese 1 der Bedarf für eine Entfeuchtung als gegeben erachtet, wenn der obere Grenzwert während mehr als 10 % der jährlichen Nutzungszeit überschritten wird. Analog wird bei Hypothese 3 der Bedarf für eine Befeuchtung als gegeben erachtet, wenn der untere Grenzwert während mehr als 10 % der jährlichen Nutzungszeit unterschritten wird und alle anderen Massnahmen wie Volumenstromreduktion ergriffen worden sind. Bei Hypothese 2 wird davon ausgegangen, dass die Taupunkttemperatur nur während einer bestimmten Zeit (z. B. 10 Stunden pro Jahr) über der Vorlauftemperatur der statischen Kühlung liegen darf, da ansonsten die Funktion nicht gegeben ist. Diese Dauer wird im AP Grundlagen festgelegt.
- Nutzungen: Im Winterfall wird eine Büro- und Wohnnutzung betrachtet. Der Sommerfall beschränkt sich auf eine Büronutzung, da vorausgesetzt wird, dass im Wohnbau auch in absehbarer Zukunft die Kombination von Lüftungsanlage (mit Potenzial einer ERG) und aktiver Kühlung eine kleine Verbreitung hat, und damit für das Projekt von geringem Interesse ist. Das heisst nicht, dass sich künftig dezentrale Klimageräte (z. B. Splitgeräte) nicht stark verbreiten könnten. Diese liegen aber ausserhalb des Scopes des Projekts.
- Enthalpierückgewinnung (ERG): Es wird mit Daten von einem Rotor und einer Platten-ERG gearbeitet, die dem State-of-the-Art entsprechen.

- Weitere Rand- und Rahmenbedingungen zur Überprüfung der Hypothesen (Referenzgebäude, RLT-Anlagen, Befeuchtungsarten) werden in den Arbeitspaketen definiert.

Aus den Ergebnissen und Folgerungen werden Handlungsempfehlungen abgeleitet, damit der Energie- und Leistungsbedarf für die Be- und Entfeuchtung in einem vertretbaren Mass bleibt.

2 Vorgehen und Methode

2.1 Grundlagen

Der State-of-the-Art der Enthalpierückgewinnung (ERG) mit Rotoren und Plattenübertragern wird dargestellt. Dabei werden die sensible Wärmeübertragung, Feuchteübertragung, Abluftübertragung und der Druckverlust berücksichtigt. Es wird dargestellt, wie sich die Kennwerte auf die Auslegung von Anlagen und die Energieeffizienz (Ventilatorenergie, Nettoertrag der Wärmerückgewinnung) auswirken.

Als Basis dienen die SN EN 13053:2019 [7] und die Eurovent-Empfehlung 6/15 – 202110 [8]. Dabei geht es auch um eine Gegenüberstellung mit der klassischen WRG ohne Feuchterückgewinnung. So weisen Platten-ERG tendenziell eine geringere sensible Wärmeübertragung und höhere Druckverluste auf als klassische Platten-Wärmeübertrager, die für einen gleichen Luftvolumenstrom bestimmt sind und die gleiche Baugrösse aufweisen.

Als Grundlage für die Berechnungen in den weiteren Arbeitspaketen wird ein vereinfachtes Modell entwickelt, um die Feuchteübertragung von ERG-Komponenten bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen zu bestimmen. Dazu wird eine Näherungsformel verwendet, die auf der dimensionslosen Kennzahl NTU (Number of Transfer Units) für Feuchte beruht. Der in einem Fachartikel von Huber und Kaup [10] beschriebene Ansatz für sensible Wärmeübertragung wurde in der Bachelorthesis von Baratto [10] erfolgreich für eine Platten-ERG angewandt. Für Platten-ERG sind aber zu wenig Daten vorhanden, um die Näherungsgleichung allgemein einzuführen. Daher werden im Labor Gebäudetechnik der HSLU Messungen an einer Platten-ERG mit einer auf dem Markt weit verbreiteten Membrane durchgeführt. Als Referenz, insbesondere für den Vergleich der sensiblen Wärmeübertragung und der Druckverluste, werden Messungen an einem Platten-Wärmeübertrager ohne Feuchterückgewinnung mit gleicher Baugrösse durchgeführt. Die beiden Wärmeübertrager werden vom Industriepartner Polybloc AG zur Verfügung gestellt. Für die Feuchteübertragung von Rotoren stehen verschiedene frei verfügbare Auslegungsprogramme von Herstellern zur Verfügung, mit denen nach Eurovent zertifizierte Produkte berechnet werden können. Diese Programme werden als ausreichend zuverlässig erachtet, um damit die Näherungsgleichung für Rotoren zu überprüfen.

Ein weiterer Aspekt ist der Vereisungsschutz der WRG. Bei einer ERG liegt die Vereisungsgrenze tiefer als bei einer klassischen WRG. Aus einer Arbeit von Ammann und Keller [11] sowie der Bachelorarbeit von Stahel und Agiro [12] kann eine Näherungsformel abgeleitet werden, mit der sich die Vereisungsgrenze für Platten-ERG ableiten lässt. Die Näherungsformel kann in Simulationsprogrammen verwenden werden. Analog wie bei der Näherungsformel für die Feuchteübertragung sind auch hier für Platten-ERG Kontrollmessungen erforderlich und für Rotoren können Herstellerprogramme verwendet werden.

Für die weiteren AP werden die Nutzungsdaten definiert. Für die Büronutzung wird von den Zielwerten der Standardnutzungsbedingungen SIA 2024:2021 [13] für ein Grossraumbüro ausgegangen. Bei der Wohnnutzung sind es analog die Daten für Mehrfamilienhäuser. Die Standardnutzungsdaten werden im Hinblick auf neue Normen überprüft und bei Bedarf modifiziert. Dies betrifft insbesondere die internen Feuchtelasten. Mit den Erkenntnissen aus dem BAG-Projekt von Frei und Haldi [6] kann der Auf Basis von Fachliteratur, Herstellerangaben und Fachgesprächen werden die zulässigen Taupunkttemperaturen für den Betrieb von Kühldecken und TABS bestimmt. Als Grundlage für die Simulationen werden RLT-Anlagen und Mustergebäude definiert und dokumentiert.

Die Anforderungen an die thermische Behaglichkeit, speziell Feuchte, werden aus den aktuellen Normen und Normentwürfen, spez. nationaler Anhang zur SN EN 16798-1:2019 und neue prSIA 382/1:2022 zusammengestellt und kommentiert.

Am Schluss dieses Arbeitspaketes wird eine Testberechnung und Validierung der Modelle durchgeführt. Die Feuchteproduktion mit unterer und oberer Grenze in Nicht-Wohngebäuden wird aus Literaturwerten approximativ abgeschätzt. Weiter werden die Luftvolumenströme und Temperaturen so angepasst, dass sie den verwendeten Innenraumqualität-Kategorien der SN EN 16798-1:2019 entsprechen.

2.2 Bedarfsabklärung Sommer, «Ingenieurmethoden»

Diess AP liefert die Grundlagen für die Hypothesen 1 und 2.

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- Für 10 schweizerische Klimastationen werden die projektrelevanten Feuchteparameter für die ausgewählten Klimaszenarien RCP8.5 (2035), RCP8.5 (2060) und RCP2.6 (2060) aufbereitet.
- Die Kriterien für die Überschreitung der Grenzwerte bei Schwüle (10 % der Nutzungszeit) und bei der Nutzung von Kühldecken (z.B. 10 h) werden unter Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse überprüft und gegebenenfalls neu formuliert.
- Das Risiko von Grenzwertüberschreitungen wird bei sommerlichen Bedingungen ermittelt. Dies wird bei den ausgewählten Klimaszenarien und Klimastationen für die Innenraumqualität Kategorie II für die Nutzung Büro durchgeführt. Bezüglich Schwüle sind es die Taupunktüberschreitungen der Raumluft der erwähnten Innenraumqualität Kategorie. Bei der statischen Kühlung sind es die Taupunktüberschreitungen, die an Oberflächen von Installationen von Kühldecken und TABS zu einem Kondensationsrisiko führen können. Die Stunden mit Grenzwertüberschreitungen werden auf EXCEL-Basis ermittelt. Es wird beurteilt, ob die Kriterien für die zulässige Überschreitungsdauer eingehalten werden.
- Die Entfeuchtungsgrammstunden werden für die Innenraumqualität Kategorie II, für die Nutzung Büro, als Abschätzung in der Vorprojektphase für die ausgewählten Klimaszenarien und Klimastationen auf EXCEL-Basis ermittelt. Dabei wird die ERG nicht berücksichtigt (für eine Abschätzung für die Wirkung der ERG kann mit einem konstanten Feuchterückgewinnungsgrad gerechnet werden). Als Nebenprodukt werden bei diesen Berechnungen Befeuchtungsgrammstunden für den Winterfall geliefert.
- Als Sensitivitätsanalyse für den Entfeuchtungsbedarf werden bei einer Klimastation im Mittelland bei der Innenraumqualität die Kategorien von I bis III variiert. Zudem wird das Risiko der Taupunkttemperaturunterschreitung bei statischer Kühlung bei dieser Klimastation bei einer zusätzlichen wasserseitigen Temperatur beurteilt.
- Als Referenz zum heutigen Klima wird für eine Klimastation im Mittelland (voraussichtlich Zürich) ein Berechnung mit den heutigen Klimadaten durchgeführt.

Die Arbeiten von diesem AP umfassen insgesamt 70 Berechnungsfälle (3 Klimaszenarien, 10 Klimastationen, 1 Nutzung, 1 Feuchtegrenze für Schwüle und 1 Feuchtegrenze für statische Kühlung, plus Sensitivitätsanalyse).

2.3 Bedarfsabklärung Winterfall mit Simulation

Dieses AP liefert die Grundlagen für Hypothese 3.

Für die im AP Grundlagen definierten Nutzungen Büro und Wohnen wird für jeweils 4 Klimastationen der Bedarf für Befeuchtung ermittelt. Dazu werden Berechnungen mit dem Programm IDA ICE durchgeführt.

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- Die Kriterien für die Unterschreitung der Grenzwerte für zu trockene Raumluft (10 % der Nutzungszeit) werden überprüft und gegebenenfalls neu formuliert.
- Die in den Grundlagen definierten Nutzungen werden überprüft und als Grundeinstellungen für die Berechnungen festgelegt. Dabei werden insbesondere die Massnahmen betrachtet, die zur Vermeidung von zu tiefen Raumluftfeuchten führen (Regelung/Steuerung der RLT-Anlagen).
- Die ERG wird auf Basis des AP Grundlagen mit den in der Software verfügbaren Möglichkeiten definiert und modelliert.
- Die Berechnungsszenarien werden auf Basis der Rahmenbedingungen von Hypothese 3 definiert. Vorgesehen sind: 4 Klimastationen, Klimaszenario RCP8.5 für 2035, Nutzungen Büro und Wohnen, Innenraumqualität Kategorien II und III, RLT-Anlage ohne ERG/mit Rotor/mit Platten-ERG. Zudem wird für eine Klimastation für die Nutzung Büro die Kategorie I gewählt. Damit sind 51 Berechnungsszenarien vorgesehen.
- Mit dem Programm IDA ICE werden die Unterschreitungsstunden für die Szenarien berechnet und in Tabellen und/oder Grafiken zusammengefasst.

2.4 Simulation Leistungs- und Energiebedarf

Dieses AP liefert Grundlagen für die Hypothesen 4, 5 und 6.

Für die in AP2 definierten Mustergebäude werden für eine repräsentative Klimastation Berechnungen mit dem Programm IDA ICE durchgeführt. Dabei wird der Leistungs- und Energiebedarf für verschiedene Szenarien ermittelt.

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- Die im AP Grundlagen definierten Gebäude und RLT-Anlagen werden überprüft und als Grundeinstellungen für die Berechnungen festgelegt.
- Die Berechnungsszenarien für den Sommerfall werden auf Basis der Rahmenbedingungen von Hypothese 4 definiert. Vorgesehen sind: 1 Klimastation, Klimaszenarien RCP 8.5 (2035), RCP8.5 (2060) und RCP2.6 (2060), Nutzung Büro, Innenraumqualität Kategorie II, RLT-Anlage ohne ERG/mit Rotor/mit Platten-ERG, Einhaltung der Anforderungen für die Schwüle und statische Kühlung. Um den Einfluss der Innenraumqualität zu untersuchen, wird zudem beim Klimaszenario RCP8.5 (2035) bei einer Anlage ohne ERG die Kategorien von I bis III variiert. Um eine Referenz zum heutigen Klima zu haben, wird bei einer Anlage ohne ERG ein Fall mit den heutigen Klimadaten berechnet. Damit sind 21 Szenarien für den Sommerfall vorgesehen.
- Die Berechnungsszenarien für den Winterfall werden auf Basis der Rahmenbedingungen Hypothese 5 definiert. Vorgesehen sind: 1 Klimastation, Klimaszenario RCP8.5 (2035), Nutzungen Büro und Wohnen, Innenraumqualität Kategorien II und III, RLT-Anlage ohne ERG/mit Rotor/ mit Platten-ERG, Einhaltung der Anforderungen für tiefe Raumluftfeuchte. Um den Einfluss der Innenraumqualität zu untersuchen, wird zudem für die Nutzung Büro bei einer Anlage ohne ERG die Kategorie I gewählt. Um eine Referenz zum heutigen Klima zu haben, wird bei einer Anlage ohne ERG ein Fall mit den heutigen Klimadaten berechnet. Damit sind 14 Szenarien für den Winterfall vorgesehen, wobei 8 davon auch für den Sommerfall konfiguriert werden.
- Mit dem Programm IDA ICE werden der Energie- und Leistungsbedarf für die Szenarien berechnet. Die Resultate werden in Tabellen und Grafiken zusammengefasst.

2.5 Nationale Relevanz und Handlungsempfehlungen

In diesem AP wird beurteilt, ob und wieweit die Hypothesen bestätigt und widerlegt werden können. Zudem

werden aus den Ergebnissen und Folgerungen Handlungsempfehlungen abgleitet.

Die Hypothesen 1, 2 und 3 werden aufgrund der Resultate der AP3 und AP4 beurteilt und diskutiert.

Die Hypothesen 4, 5 und 6 werden überprüft, indem auf Basis von Modellannahmen die Differenz des Energie- und Leistungsbedarfs zwischen Anlagen mit und ohne ERG für das jährliche Neubauvolumen und den Gebäudebestand abgeschätzt wird. Für die Befeuchtung wird ein Mix zwischen adiabatischen und isothermen Befeuchtern festgelegt. Die aufsummierten Leistungen werden in Bezug zu den nationalen elektrischen Verbrauchsspitzen im Sommer und im Winter gestellt. Bei Hypothese 5 wird zudem betrachtet, wie gross der Unterschied zwischen den Innenraum Kategorien II und III jeweils mit und ohne ERG ist.

Handlungsempfehlungen: Für Fachleute aus Planung und Betrieb wird dargelegt, welche Auswirkungen die ERG auf die Auslegung und den Betrieb von neuen und bestehenden RLT-Anlagen und statischen Kühlsystemen hat. Neben den Vorteilen der ERG, wird auch auf die Nachteile und Einsatzgrenzen eingegangen.

Für Normenschaffende und Energiestandards wird aufgezeigt, wie die ERG berücksichtigt werden kann, um Leistungsspitzen und einen zusätzlichen Energiebedarf infolge Klimawandel und erhöhten Komfortanforderungen an die Raumluftfeuchte vorzubeugen.

Folgende Arbeitsschritte werden durchgeführt:

- Beurteilung und Diskussion der Hypothesen.
- Ermittlung von Daten für die Abschätzung des jährlichen Volumens von RLT-Anlagen im Neubau und im Retrofit-Bereich (Gebäudedatenbank Minergie, Angaben von Projektpartnern, Anfragen Fachverbände), inkl. Abschätzung des heutigen Anteils von ERV und Befeuchtungssystemen.
- Modellbildung für die Ermittlung der nationalen Relevanz von Leistung und Energie.
- Rechnerische Abschätzung der nationalen Relevanz für den Sommerfall mit allen drei verwendeten
- Klimaszenarien und für den Winterfall für RCP 8.5 (2035). Abschätzung des Beitrags der Be- und Entfeuchtung mit und ohne ERG zu den sommerlichen und winterlichen elektrischen Leistungsspitzen.
- Erarbeitung der Handlungsempfehlungen und Diskussion mit den Projektpartnern und der Projektsteuerung.

3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

3.1 Administratives

Das Projekt wurde am 1. Oktober 2022 planmässig gestartet.

Am 10. Nov. 2022 fand eine erste Sitzung mit dem Projektteam statt.

3.2 Grundlagen

In einem Arbeitsdokumente wurden die Grundlagen zu folgenden Themen aufbereitet:

1. Allgemeine Festlegungen und Annahmen
    a. Grundlagendokumente
    b. Klimastationen
    c. Klimaszenarien
    d. Raumnutzung
    e. Gebäude
2. Auslegung und Anforderungen
    a. CO_2-Gehalt Aussenluft
    b. Raumlufttemperaturen
    c. Raumluftqualität und Aussenluftvolumenstrom
    d. Allgemeine Auslegungswerte
    e. Infiltration
    f. Steuerung und Regelung Wohnen
    g. Steuerung und Regelung Büro
    h. Bemessungswerte der Raumluftfeuchte
    i. Gewählte Innenraum-Kategorien
3. Feuchtelasten
    a. Büro
    b. Wohnen

Weitere Themen, wie die exakte Definition der RLT-Anlagen und die Modelle der ERG, sind in Bearbeitung.

Am 25. Nov. wurden die Entwürfe der prSIA 382/1 und der nationalen Elemente zur SN EN 16798-1:2019 zur Vernehmlassung publiziert. Das Projektteam hat daher entschieden auf diese Dokumente zu referenzieren und nicht auf den im Antrag aufgeführten Anhang B SN EN 16798-1:2019 (noch ohne nationale Elemente). Der Grund dafür ist, dass davon auszugehen ist, dass die für das Projekt RePPER relevanten Grundlagen und Anforderungen der erwähnten Vernehmlassungsentwürfe auch in den definitiven Versionen dieser Normen bestehen werden. Diese Abweichung vom Antrag ist aber noch mit dem BFE zu klären.

Es ist vorgesehen, das Grundlagendokument in den Schlussbericht (teilweise in dessen Anhang) zu übernehmen.

Weiter wurden im Rahmen des Arbeitspaktes erste Messungen an einem Platten-ERG des Projektpartners Polybloc AG durchgeführt. Dabei wurde die Charakteristik der Wärme- und Feuchteübertragung bei Winter- und Sommerbedingungen aufgenommen. Danach wurden Versuche durchgeführt, um das Vereisungsverhalten zu untersuchen. Diese Versuche sind noch nicht abgeschlossen.

3.3 Simulation Leistungs- und Energiebedarf

Auf Basis der Festlegungen im AP Grundlagen wird das Simulationsmodell gegenüber den Standardwerten modifiziert. Diese Arbeiten sind im Gange.

4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Es wird Wert darauf gelegt, dass das Projekt einen hohen Bezug zur schweizerischen Gebäudetechnikpraxis hat, speziell in den Bereichen Energie und Komfort. Daher wird stark auf den nationalen Normen aufgebaut. Die Normen, inkl. ergänzende Dokumente wie SIA-Merkblätter (SIA MB) werden analysiert und mit anderen Quellen verglichen.

Für die Feuchtelasten ist das SIA MB 2024:2021 wesentlich. Gemäss Literaturvergleich und eigenen Überlegungen sind jedoch die Daten für die Nutzungen MFH und Grossraumbüro im Projekt RePPER nur bedingt nutzbar. Bei der Nutzung MFH wird in SIA MB 2024:2021 nicht thematisiert, dass die Personen in der Nacht eine tiefere metabolische Aktivität haben als am Tag. Bei der Nutzung Grossraumbüro wird für den Feuchteanfall, der nicht von Personen stammt (sog. übrige Feuchtequellen), mit hohen Werten operiert. Zudem wird zu wenig auf den Zusammenhang von Raumtemperatur und Feuchteabgabe der Personen eingegangen. Falls mit den Werten von SIA MB 2024:2021 gearbeitet würde, wäre mit nicht repräsentativen Aussagen zum Bedarf für Be- und Entfeuchtung zu rechnen. Zudem würden auch die Prognosen zum Energiebedarf verzerrt. Daher werden im Projekt eigene Profile für den Feuchteanfall definiert.

Die SIA 380/2:2022 [15] bietet eine gute Grundlage für die Definition von Referenzanlagen und von Regel-/Steuerstrategien. Es ist ein glücklicher Umstand, dass diese Norm gerade zum Projektstart neu erschienen ist.

Bereits bei der Projektdefinition war klar, dass sich die SIA 382/1:2014 in Revision befindet. Der Vernehmlassungsentwurf prSIA 382/1:2022 steht seit 25. Nov. zur Verfügung. Dieser Entwurf weist im Bereich Feuchte deutliche Änderungen und Neuerungen gegenüber der noch gültigen Version SIA 382/1:2014 auf. Das ist u.a. bedingt durch die Einführung der nationalen Elemente zur SN EN 16798-1:2019. Das Projekt RePPER bietet die Möglichkeit einige Neuerungen zu testen. Ein relevantes Beispiel ist die Verknüpfung des Nachweises für Be- und Entfeuchtung mit der Reduktion der Aussenluftvolumenströme bei hohen und tiefen Aussen-temperaturen.

5 Weiteres Vorgehen

5.1 Administratives

Am 12. Januar 2023 ist die nächste Sitzung des Projektteams geplant.

Bis Mitte Februar soll die Startsitzung mit der Projektbegleitung stattfinden.

Das Projektende ist im Oktober 2023 geplant.

5.2 Arbeitspakte

Die Arbeiten in den Arbeitspakten werden gemäss der Beschreibung in Kapitel 3 weitergeführt.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Durch das Mitwirken von Minergie besteht ein guter Austausch mit dem national führenden Baustandard.

Am EUROVENT Summit vom Oktober 2022 wurde in der Produktegruppe Wärmerückgewinnung auf das Projekt hinwiesen. Neben den beiden Industriepartnern, die beide Mitglieder von EUROVENT sind, bestehen Kontakte mit einer weiteren Firma, die konkretes Interesse am Projekt angemeldet hat. EUROVENT beabsichtigt eigene Aktivitäten im Bereich Enthalpierückgewinnung aufzunehmen. Das Projektteam wird diesbezüglich den Kontakt aufrechterhalten.

7 Publikationen

Bisher wurden noch keine Publikationen veröffentlicht.

Es besteht die Absicht, einen Beitrag für den TGA-Kongress 2023 in Berlin einzureichen.

8 Literaturverzeichnis

[1] IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

[2] Kampagne "Mindestfeuchte 40 %" des deutschen Fachverbandes FGK (https://mindestfeuchte40.de)

[3] SN EN 16798-1:2019 Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik - Module M1-6

[4] Vernehmlassungsentwurf prSIA 382/1:2022-11 Mechanische Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen

[5] MeteoSchweiz, SIA und Hochschule Luzern, 2022: Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» Fachbericht MeteoSchweiz, 279, 124 pp.

[6] Frei B., Haldi F.: Nutzungs- und zeitabhängige Feuchteproduktion mit unterer und oberer Grenze Phase I. BAG Projekt Nr. 142004514. Bern, 2021

[7] SN EN 13053:2019 Lüftung von Gebäuden - Zentrale raumlufttechnische Geräte - Leistungskenndaten für Geräte, Komponenten und Baueinheiten. Ziffer 6.5

[8] Eurovent-Empfehlung 6/15 – 2021 Luftleckagen in Lüftungsanlagen: Richtlinien zur Verbesserung der Raumluftqualität und zur Korrektur der Leistung. Eurovent, Brüssel 2021

[9] Huber H., Kaup Ch.: Näherungsgleichungen zur Vorhersage von Temperaturübertragungsgraden an Wärmeübertragern – insbesondere zur Wärmerückgewinnung. HLH BD. 72 (2021) NR. 06, Seiten 18 - 24

[10] Baratto Ch.: Feuchterückgewinnung: Einsatzgrenzen und Berechnungshilfen. Bachelorthesis. HSLU, Horw, 2021

[11] Ammann J., Keller P.: Effizienter Vereisungsschutz bei Lüftungsanlagen, insbesondere Komfortlüftungssystemen. Schluss-bericht des BFE-Projekts Nr. 810001346. Energie-Cluster, Bern, 2015

[12] Stahel, Corinna; Argiro S.: Einfrierverhalten und Geruchsübertragung von Enthalpie-Plattentauscher. Bachelorthesis der Hochschule Luzern, Horw, 2014

[13] SIA MB 2024:2021 Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik

[14] Software IDA Indoor Climate and Energy der Fa. EQUA Simulation AB, Stockholm

[15] SIA 380/2:2022 Energetische Berechnungen von Gebäuden – Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf