

D 3.1: ZUSAMMENFASSUNG DER ANALYSE DER ENERGIESEKTOREN



Robert Pratter

4ward Energy Research GmbH

30.06.2021



Cool down
Güssing

powered by klima+
energie
fonds

FFG
Forschung wirkt.

Titel: ZUSAMMENFASSUNG DER ANALYSE DER ENERGIESEKTOREN

Deliverable: D 3.1

Autoren: Robert Pratter (4ward Energy Research GmbH)
Christian Doczekal, Klaus Paar (Güssing Energy Technologies GmbH)
Peter Kerschenbauer (Reiterer & Scherling GmbH)

Status: finale Version

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Rahmenbedingungen Demogebäude	2
2.1	Ausgangslage der Betriebsgebäude	2
2.1.1	Vulcolor Naturfarben GmbH (A1).....	2
2.1.2	Guttomat Sektionaltore GmbH (A2)	4
2.1.3	Auto Doczekal GmbH (A3)	6
2.2	Ausgangslage der Wohngebäude	7
2.2.1	Einfamilienwohnhaus Doczekal (B3)	7
2.2.2	Wohnhausanlage Krottendorf (B1)	8
2.2.3	Einfamilienwohnhaus Scher-Deutsch (B2)	9
2.3	Ausgangslage der öffentlichen Gebäude.....	10
2.3.1	Kindergarten Güssing (C1)	10
2.3.2	Schule (BORG, ECOLE)	13
2.3.3	Feuerwehrhaus Güssing	15
3	Analyse Stromsektor	17
3.1	Öffentliches Netz.....	17
3.2	Dezentrale Versorgungsanlagen	19
3.3	Erneuerbare Energiegemeinschaften	20
3.3.1	Rechtsform.....	21
3.3.2	Beschränkung der Mitgliedschaft.....	22
3.3.3	Förderungen von Anlagen	22
3.3.4	Nähekriterium	22
3.3.5	Notwendige Informationen an den Netzbetreiber	23
3.3.6	Innergemeinschaftlichen Rahmenvertrag	23
3.3.7	Abrechnung	23
3.3.8	Vorteile durch die EEG	24
4	Analyse Kühltechnologien	25
4.1	Ausgeklügelte (Nacht)Lüftung	25
4.1.1	Intelligente Fensterlüftung	27
4.1.2	Teilautomatisierte Nachtlüftung.....	33
4.1.3	Dezentrales Lüftungssystem.....	35
4.1.4	Zentrales Lüftungssystem.....	37

4.2	Intelligente Verschattung.....	39
4.2.1	Sonnenschutzfolie	40
4.2.2	Außenliegende Verschattungsmöglichkeiten.....	41
4.3	Luft-Erd-Wärmetauscher	42
4.4	Wasserdurchströmter Erdwärmetauscher.....	45
4.4.1	Wasser(Sole)-Luft-Wärmetauscher	45
4.4.2	Passives Kühlen mit Wärmepumpe	46
4.4.3	Geeignete Kühlflächen.....	48
4.5	Sprühnebel	53
4.6	Eisspeicher	54
4.6.1	Best-Practice Beispiele	56
4.7	Deckenkühlung mit PCM	58
4.8	Passive Kühlung unter Schaffung von Flexibilitäten im übergeordneten Versorgungsnetz.....	60
4.9	Reduktion der inneren Lasten.....	60
4.10	Gebäudebegrünung.....	60
4.11	Stanford Ansatz.....	63
5	Analyse Hybridanwendungen.....	63
5.1	Aktive Kühlung mit Wärmepumpe.....	63
5.2	DC-basierende Klimaanlagen	65
5.3	Aktives Kühlen mit Photovoltaik	66
6	Öffentliche Kühlspots	67
7	Smart Home gegen sommerliche Überhitzung	69
7.1	Einführung.....	70
7.1.1	Smart Home	70
7.1.2	Smart Home gegen Überhitzung	71
7.1.3	Smart Home und Klimaanlage.....	73
7.1.4	Smart Home und Photovoltaik	74
8	Smartes Empfehlungssystem (Easy Energy Saver)	76
9	Spezielle Anwendungsbereiche	79
9.1	Gebäudekühlung in Kindergarten und Schule.....	79
9.2	Gebäudekühlung in Industriegebäude	82
10	Wirtschaftliche Grundlagen zur Geschäftsmodellentwicklung.....	83
10.1	Wesentliche Aspekte	83
10.2	Bewertung der möglichen Geschäftsmodelle	85

10.3 Nutzwertanalyse	85
10.3.1 Bewertungskriterien.....	85
10.3.2 Gewichtung.....	86
10.3.3 Nutzwertanalyse Gewerbliche Gebäude	86
10.3.4 Nutzwertanalyse Wohngebäude	87
10.3.5 Nutzwertanalyse öffentliche Gebäude	87
11 Rechtliche Grundlagen zur Geschäftsmodellentwicklung.....	88

1 Einleitung

Das gegenwärtige Deliverable befasst sich mit der Erhebung der technischen Rahmenbedingungen für das Projekt Cool-down Güssing. Dazu wurde im Kapitel 2 die technologische Ausgangssituation der Demogebäude dokumentiert. Die Ergebnisse der Stakeholderbefragungen zum NutzerInnenverhalten und zur empfundenen Behaglichkeit finden sich in Deliverable 2.1.

In Kapitel 4 wurde eine Analyse der am Markt befindenden Kühltechnologien mit Fokus auf passive Kühlmethoden durchgeführt. Diese reichen von verschiedenen Möglichkeiten zur Verschattung und zur intelligenten Lüftung über passive Kühlung mit Wärmepumpen bis hin zur Nutzung von Phasenübergangsmaterialien. Nur in letzter Instanz, wenn der Einsatz einer passiven Kühltechnologie nicht möglich bzw. aufwandstechnisch nicht vertretbar ist, soll auf aktive Kühltechnologien zurückgegriffen werden. In diesem Fall wird eine Kopplung mit lokalen Erneuerbaren Energieträgern angestrebt. Dazu wurde die Netzsituation in Güssing analysiert sowie die Gründung einer Erneuerbaren-Energie-Gemeinschaft geprüft. Die Rahmenbedingungen dazu finden sich in Kapitel 3. In Kapitel 5 wird explizit auf die intelligente Kopplung von elektrischen Kühltechnologien mit lokalen erneuerbaren Energieträgern eingegangen.

Darüber hinaus werden in Kapitel 6 die Rahmenbedingungen von öffentlichen Kühlspots erhoben. Diese können sich sowohl in einem öffentlich zugänglichen Raum eines Demogebäudes als auch auf einem öffentlichen Platz befinden, der mittels Begrünung oder durch Einsatz von Sprühnebel gekühlt wird.

Die Möglichkeiten und Potentiale der Kopplung der Kühltechnologien mit Smart Home Anwendungen, sowie der Einsatz intelligenter Empfehlungssystem wird in den Kapiteln 7 und 8 behandelt.

Kapitel 9 befasst sich mit den Spezifika von für das Projekt relevanten Anwendungsbereichen. So werden beispielsweise Best-Practice Beispiele für die Kühlung von Schulen, Kindergärten oder Industriebetrieben aufgezeigt und deren Besonderheiten hervorgehoben.

In den letzten beiden Kapiteln finden sich schließlich die wirtschaftlichen und rechtlichen Grundlagen zur Geschäftsmodellentwicklung.

2 Rahmenbedingungen Demogebäude

Als Demonstrationsobjekte für Cool-down Güssing sind 3 Betriebsgebäude (A1-A3), 3 Wohngebäude (B1-B3) sowie 3 öffentliche Gebäude (C1-C3) vorgesehen. Die Lage dieser Gebäude ist in Abbildung 1 dargestellt. Da es im städtischen Gebiet von Güssing eine Vielzahl an weiteren ähnlichen Objekten gibt, könnten die Erkenntnisse aus dem vorliegenden Projekt für weitere Demonstrationen verwendet werden, wodurch ein großer kommunaler Mehrwert besteht.



Abbildung 1: Lage der Demonstrationsobjekte in Güssing¹

2.1 Ausgangslage der Betriebsgebäude

2.1.1 Vulcolor Naturfarben GmbH (A1)

Die Vulcolor Naturfarben GmbH erzeugt Lebensmittelfarben und hat einige südseitige Büroräumlichkeiten am Hauptstandort in Güssing. Die sommerliche Überhitzung ist besonders zu den Bürozeiten enorm. Eine Abkühlung in der Produktion in der Nacht findet nur in geringem Ausmaß statt. Die Wärmeversorgung erfolgt durch eine eigene Fernwärmeleitung, direkt vom Heizwerk, mit über 120°C. Durchschnittlich sind etwa 29 Personen anwesend. Das Büro ist meist zwischen 7 und 16 Uhr besetzt, in der Produktion ist Schichtbetrieb.

¹ Google Maps, 2020. www.google.at/maps, abgerufen am 12.08.2020

Im Bürotrakt, Labor und Zubau ist eine Klimaanlage (Multisplitgeräte) vorhanden.

Das Raumklima wird in der Produktionshalle als verbesserungswürdig bezeichnet, bedingt durch hohe innere und äußere Lasten. Die heiße Zeit ist beginnend mit Juni bis September, zusätzlich bedingt durch die Erntezeit. Laut Geschäftsführung ist eine Klimaanlage für die Produktionshalle utopisch und aus Kostengründen auch nicht gewünscht. Am Abend werden teilweise Tore geöffnet, um die Halle zu lüften bzw. kühlen. Dies ist aus mikrobiologischer Sicht jedoch zeitweise problematisch. Die sogenannten „Filter“ laufen für etwa 4 Stunden täglich, wobei in dieser Zeit kein Lüften möglich ist. Ziel ist es die Produktionshalle zu kühlen, mit wenig Risiko für das Produkt.



Abbildung 2: Besonders bei höher gelegenen Arbeitsplätzen herrscht eine höhere Raumtemperatur

Ein Maische-Pasteur, der etwa 16 Stunden pro Tag in Betrieb ist, wurde bereits eingehaust, um den Wärmeeintrag in die Produktionshalle zu verringern.

An der Südwestseite der Produktionshalle, sowie am Bürotrakt wurden bereits Sonnenschutzfolien aufgebracht, mit denen die Geschäftsleitung sehr zufrieden ist.



Abbildung 3: Sonnenschutzfolien an der Südwestseite der Produktionshalle

Eine Erweiterung der Produktion ist geplant, jedoch ohne Zubau. Innerhalb der Projektlaufzeit wurde am Dach des Betriebes eine PV-Anlage errichtet.

2.1.2 Guttomat Sektionaltore GmbH (A2)

Das Unternehmen [Guttomat](#) erzeugt am Standort Güssing Sektionaltore für häusliche- und gewerbliche Anwendungen. Die Büroräumlichkeiten sind mit Multisplitgeräten klimatisiert. Die Produktionshallen wurden in mehreren Ausbaustufen errichtet. Die Wärmeversorgung erfolgt über Fernwärme. Derzeit wird einschichtig produziert, wobei die Beginnzeiten, bedingt durch die sommerliche Überhitzung, auf 06:00 Uhr vorverlegt wurden. Ab 13:00 Uhr sind die Hallen besonders heiß.



Abbildung 4: Firma Guttomat erzeugt Sektionaltore in mehreren Produktionshallen am Standort

Brandrauchentlüftungen mit elektrischer Bedienung, samt Regensor, werden teilweise zum Lüften genutzt. Zwischen 06:00 und 11:00 Uhr werden alle Tore zum Kühlen geöffnet. Teilweise sind kleine Tischventilatoren für die Arbeitsplätze vorhanden.



Abbildung 5: Die Produktionshallen sind besonders von der sommerlichen Überhitzung betroffen

Die Lackieranlage erhöht als innere Wärmelast zusätzlich die Raumtemperatur. Etwa 1/3 der Heizungsleitungen für die Zuleitung (Vorlauf ca. 100 °C) sind ungedämmt. An der Ostseite stehen 2 Speichertanks mit je 26.500 Liter Volumen ungenutzt zu Verfügung.

Die jährlichen Stromkosten belaufen sich auf ca. 40% der Fernwärmekosten. Etwa 1/3 des Stroms wird für die Beleuchtung benötigt, sowie 1/3 für den Kompressor. Die Beleuchtung soll schrittweise auf LED umgestellt werden.

Auf Initiative des Projekts soll eine PV-Anlage zwischen 300 und 1.000 kW_P errichtet werden, die auch den Eigenstrombedarf überwiegend decken soll.

2.1.3 Auto Doczekal GmbH (A3)

Das [Autohaus](#) mit seinem Hauptsitz in Güssing hat Büroräumlichkeiten, die an die Schauräume mit großer Fensterfassade angeschlossen sind. Die Bauweise besteht vorwiegend aus Sandwichpaneelen. Auch der Werkstatt- und Lagerbereich ist durch die alte Baukonstruktion sommerlich überhitzt. Teilweise sind bereits Ladestationen für E-Autos vorhanden. Eine PV-Anlage ist aktuell nicht vorhanden. Vereinzelt sind Multisplitgeräte für die Schauräume und Büros vorhanden. Das gesamte Gebäude wird mit einer zentralen Ölheizung beheizt.



Abbildung 6: Haupteingang und Schauräume bei Auto Doczekal

Die sommerliche Überhitzung ist insbesondere in der Werkstatt zu spüren, meist etwa ab 14 Uhr. Die Tore sind im Sommer meist offen. Verschattungseinrichtungen sind keine vorhanden. Der Wärmeeintrag über das Dach ist hoch.



Abbildung 7: Der Wärmeintrag durch die südseitige Glasfassade der Werkstatt ist besonders hoch

Im Lager wird in der Früh das nördliche Tor zum Kühlen geöffnet. Im Schauraum wird auf etwa 23 °C gekühlt.

2.2 Ausgangslage der Wohngebäude

Die Wohnstruktur in Güssing besteht vorwiegend aus mehrgeschossigen Wohnbauten und Einfamilienhäusern, und stellt damit den klassischen Mix einer Kleinstadt dar. Im Zuge des Projekts wurde daher sowohl ein Einfamilienhaus als auch eine Wohnhausanlage als Demogebäude gewählt.

2.2.1 Einfamilienwohnhaus Doczekal (B3)

Das Einfamilienhaus verfügt über eine Fußbodenheizung und besteht aus einer Holzriegelbauweise (Partner O.K. Energie Haus GmbH). Die Beheizung erfolgt mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe über Fußbodenheizung. Es sollen innovative Lösungsmöglichkeiten zur Kühlung gefunden werden, die insbesondere die Schwerpunkte Smart-Home, automatisierte Beschattung, Bauteilaktivierung und Einsatz erneuerbarer Energie (PV) beinhalten. Die Erkenntnisse sollen als Musterlösung für weitere Gebäude in Güssing, sowie dem Partner O.K. Energie Haus GmbH zur breiten Dissemination der Erkenntnisse dienen.

Das Einfamilienhaus ist bei allen Fenstern mit Außenjalouisen ausgestattet. Die Innenraumtemperaturen steigen im Sommer auf etwa 26°C, selten darüber. Im August 2020 betrug die maximale Raumtemperatur 25,9 °C, die maximale Luftfeuchtigkeit 80%. Das Gebäude wird über Fußbodenheizung in allen drei Geschoßen beheizt, bzw. besteht die Option zum Kühlen. Obwohl sich die Raumlufttemperatur in Grenzen hält, wird die hohe Luftfeuchte im Sommer durch die Bewohner als unangenehm empfunden, insbesondere bei körperlicher Aktivität.



Abbildung 8: EFH Doczekal von der Süd-West Ansicht

Zusätzlich ist eine kontrollierte Wohnraumlüftung in allen drei Geschoßen vorhanden, die frische Luft über ein Wärmerad (Wärme- und Feuchterückgewinnung) zu Verfügung stellt. Dachfläche für PV wäre vorhanden. Die Bewohner wünschen sich die sommerliche Überhitzung samt Luftfeuchte noch weiter zu reduzieren und dies mit einer Smart Home Lösung zu kombinieren.

2.2.2 Wohnhausanlage Krottendorf (B1)

Die Wohnhausanlage in Krottendorf 92 wurde 2005/06 in Niedrigenergiebauweise errichtet, insgesamt 15 Wohnung sind in zwei Häusern vorhanden. Die Wohnungsgrößen variieren dabei von ca. 50 m² bis ca. 100 m². Die Energie für Beheizung und Brauchwarmwassererzeugung stammt aus dem Fernwärmennetz Güssing, die Energieverteilung erfolgt standardmäßig mit Heizkörpern, wobei in manchen Wohnungen auf Kundenwunsch auch eine Fußbodenheizung installiert wurde. Der Luftaustausch erfolgt über Fensterlüftung, in den Nassräumen (WC, Bad) sind Abluftventilatoren vorhanden, die über Beleuchtung und Nachlaufrelais besteuert werden. Als Beschattungselemente sind außenliegende Jalousien vorhanden, die Bedienung dieser erfolgt händisch. Durch die Außenwandkonstruktion aus porosierte Ziegeln mit Vollwärmeschutz und betonierten Zwischendecken sind Speichermassen vorhanden, die sich positiv gegen sommerliche Überwärmung auswirken. Durch die ruhige Lage der Wohnhausanlage ist eine sommerliche Nachtlüftung über Fenster möglich.



Abbildung 9: Wohnhausanlage Krottendorf - Nordostansicht

2.2.3 Einfamilienwohnhaus Scher-Deutsch (B2)

Geplant und ausgeführt wurde das Wohngebäude als eingeschossiger Bungalow mit Walmdach. Das Objekt wurde als Holz-Riegelkonstruktion konzipiert und entspricht einer mittel-schweren Bauweise. Schutz vor Witterung als auch direkte Sonneneinstrahlung auf die Fassade gewährt ein konstanter Dachvorsprung von ca. 85cm. Der nicht ausgebauten Dachraum dient zusätzlich als Puffer („Luftposter“) zwischen Außenluft und Wohnraum. Eine Beschattung der Fensterflächen erfolgt grundsätzlich über elektrische Rollos bzw. Raffstore. Südwestlich ausgerichtet ist eine großzügige Fensterfront mit vorgelagerter Terrasse. Diese verfügt über eine schattenspendende Überdachung für die Sommermonate.



Abbildung 10: Visualisierung EFH Scher-Deutsch Süd-West Ansicht

Beheizt wird das Gebäude mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, wobei das Außengerät am Flachdach der Garage positioniert wurde. Die haustechnische

Anlage verfügt über die Möglichkeit zur aktiven Kühlung, per Wärmepumpe, über die Fußbodenheizung. SmartHome bzw. etwaige BUS Steuerungen sind zum jetzigen Zeitpunkt für die Hausherren wenig relevant. Daher wurde eine konventionelle Elektroinstallation vorgesehen. Jedoch besteht Interesse bzw. Bereitschaft eine Photovoltaik-Anlage nachzurüsten, sofern die finanziellen Mittel zur Verfügung stehen oder eine Investition in einen Batteriespeicher rentabel erscheint.

Die Belüftung sowie Luftfeuchtigkeitsregulierung erfolgt ausschließlich über Fensterlüftung und bei innenliegenden Räumen über mechanische Einzelraumlüftung.

Da das Objekt erst im Herbst 2020 errichtet wird gibt es noch keine Erfahrung über das Wohnklima und etwaige Temperaturspitzen. Auf Wunsch der Bewohner soll eine Luft-Klimaanlage jedenfalls vermieden werden. Dadurch könnte ein Konzept zur Nachtlüftung für die Nutzer umso interessanter werden.

Die Errichtung erfolgt vom Partner O.K. Energie Haus GmbH. Somit ist auch bereits während der Bauphase die Zugangsmöglichkeit gegeben. Während der Rohbauphase besteht die Möglichkeit diverse Sensoren zur Datenerhebung in den Aufbauten und der Konstruktion einzubauen, um Rückschluss auf z.B. wirksame Speichermassen, Phasenverschiebung, Raumklima, etc. ziehen zu können.

2.3 Ausgangslage der öffentlichen Gebäude

2.3.1 Kindergarten Güssing (C1)

Das Gebäude, das auch die Kinderkrippe beherbergt, wurde im Jahre 2005 modernisiert und erweitert. Der Kindergarten ist von Montag bis Freitag, jeweils von 6:30 Uhr bis 18:00, für ca. 160 Kinder geöffnet. Die Raumtemperaturen im Kindergarten sind bereits in der Vorsommersaison, als auch nach den Sommerferien sehr hoch. Des Weiteren gibt es auch eine Sommerbetreuung von Kindern, die bei sehr hohen Raumtemperaturen durchgeführt werden muss. Gesucht sind alternative Lösungen zur Reduktion der Raumtemperatur. Die Kühltechnik muss die sensible Gesundheit der Kinder berücksichtigen (keine Zugluft) und einen nachhaltigen Gedanken verfolgen. Die Akzeptanz der NutzerInnen (Pädagoginnen, Kinder, Eltern) ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt, der untersucht wird. Eine aktive Kühlung ist lt. Kindergartenleiterin nicht gewünscht, da Kinder verstärkt krank werden könnten.

Der Kindergarten besteht aus einem massiv gebauten Erdgeschoß, sowie einem Obergeschoß in Holzriegelbauweise. Das Gebäude wird mit Fernwärme über Radiatoren beheizt. Eine Klimaanlage ist nicht vorhanden.



Abbildung 11: Südansicht Kindergarten Güssing

Im EG ist nur eine innenliegende Verschattung (Rollo) vorhanden, im OG außenliegende Jalousien. Teilweise sind Bäume auf der Süd- und Westseite vorhanden, die Schatten auf das Gebäude werfen. Die maximale Raumtemperatur betrug im August 2020, im Gruppenraum Maria (EG) 26,9 °C. Trotz innenliegender Verschattung wird das EG im Sommer von den NutzerInnen, verglichen mit dem OG, als angenehmer empfunden. Die Auswertung zeigt, dass die Raumtemperaturen im EG (Ziegelwände) deutlich weniger stark schwanken, wie die Temperaturen im OG (Holzriegelwände).



Abbildung 12: Gruppenraum Maria im EG, ostseitige Fenster, innenliegende Verschattung

Die thermische Behaglichkeit in der Kinderkrippe (Westseite) im OG wird von den NutzerInnen als besonders unangenehm empfunden. Hier betrug im August 2020 die

maximale Raumtemperatur 28,2 °C. Der maximale CO₂ Gehalt der Raumluft im gleichen Zeitraum wurde mit 1.184 ppm verzeichnet.



Abbildung 13: Kinderkrippe im OG

Der Schlafraum der Kinderkrippe (OG, ostseitige Fenster) ist von der sommerlichen Überhitzung besonders betroffen. Die Raumtemperatur im August 2020 betrug hier maximal 30,1°C, bzw. 26,8 °C im Mittelwert.



Abbildung 14: Schlafräum der Kinderkrippe im OG, ostseitige Fenster

2.3.2 Schule (BORG, ECOLE)

Das BORG und die ECOLE HLW Güssing sind in einem großen Gebäudekomplex in Güssing untergebracht. Ca. 70 LehrerInnen und 450 SchülerInnen sind die Hauptnutzer des Gebäudes, wobei ca. 2/3 weiblich sind. Der Direktor Robert Antoni beschreibt die Situation, dass es im Sommer viel zu heiß ist, insbesondere an der Ost- und Südseite der Schule und es auch keine Luftbewegung im Haus gibt. Bereits ab Mai ist es oft schon zu heiß im Gebäude.



Abbildung 15: BORG und ECOLE Güssing, südseitige Fassade

Außenliegende Raffstores sind am gesamten Gebäude vorhanden (elektrisch bedienbar). Es kommt durch die Raffstores ein bisschen Licht hindurch, jedoch sind sie nicht sehr praktikabel (werden oft kaputt) und schützen auch nicht gut vor der Hitze (hier gibt es Bedarf an weiteren Lösungen). Im Festsaal, dem Raum daneben, in 3 Prüfungsräumen und in der Direktion/Lehrerzimmer gibt es eine Klimaanlage, ansonsten ist keine Kühlung im Gebäude vorhanden.



Abbildung 16: Außenliegende Raffstores (rechts) als Sonnenschutz, elektrisch betrieben

An der Nord-Westseite der Schule ist bedingt durch eine höhere Holzstaubbelastung der Luft (Nachbar) ein Öffnen der Fenster meist nicht möglich. In zwei Klassen wurde eine Sonnenschutzfolie an den Fenstern aufgebracht.



Abbildung 17: Verbindungsgänge ohne Sonnenschutz

2.3.3 Feuerwehrhaus Güssing

Das Feuerwehrhaus Güssing ist bereits über 40 Jahre alt, die inneren Lasten sind hoch und es gibt keine ausreichende Beschattung. Die meistgenutzten Räumlichkeiten sind südseitig. Weiterbildungen im Schulungsraum sind temperaturbedingt zeitweise unerträglich. Das Feuerwehrhaus wird mit Fernwärme beheizt. Das Gebäude ist teilweise feucht und ab Mai besteht Kühlbedarf. Die Personen halten sich unter der Woche am späten Nachmittag und am Wochenende teilweise ganztags im Gebäude auf.

Die Sommerüberhitzung befindet sich in den Räumen eher Richtung Süden. Es besteht jedoch in allen Räumen der Bedarf nach Kühlung. Nach Einsätzen wird die Überhitzung besonders spürbar. Ein weiteres Potential ist im Aufenthaltsraum vorhanden. Es ist der Wunsch vorhanden Aufenthaltsräume zu kühlen, damit das Klima nach einem Einsatz besser ist.

Es ist ein umfassender Umbau (Garagen, Schulungs- und Aufenthaltsräume) für das Feuerwehrhaus Güssing geplant. Dieser soll durch den Einbau von innovativen Kühlsystemen ergänzt werden. Das Projekt Cool-down Güssing wird hierzu Vorschläge bereiten.



Abbildung 18: Nordwestseitige Fassade des Feuerwehrhauses

3 Analyse Stromsektor

In diesem Kapitel wird die Netzsituation des Stromnetzes in Güssing erhoben und das Potential für die Gründung einer Erneuerbaren Energiegemeinschaft mit Fokus auf die Gebäudekühlung untersucht.

3.1 Öffentliches Netz

In diesem Kapitel wird der Aufbau des Stromnetzes in Güssing beschrieben. Diese Erkenntnisse bilden die Basis für die Konzeptionierung einer Kühl-EEG sowie für die Abschätzung der Potentiale einer Spitzenlastreduktion durch Kühlsysteme.

Der Netzplan von Güssing ist in Abbildung 19 dargestellt. Das Stadtgebiet kann dabei in mehrere Bereiche unterteilt werden: Bereich Mitte, Bereich Nord, Bereich Süd, Erweiterung Brunnengasse und Bereich Strem.

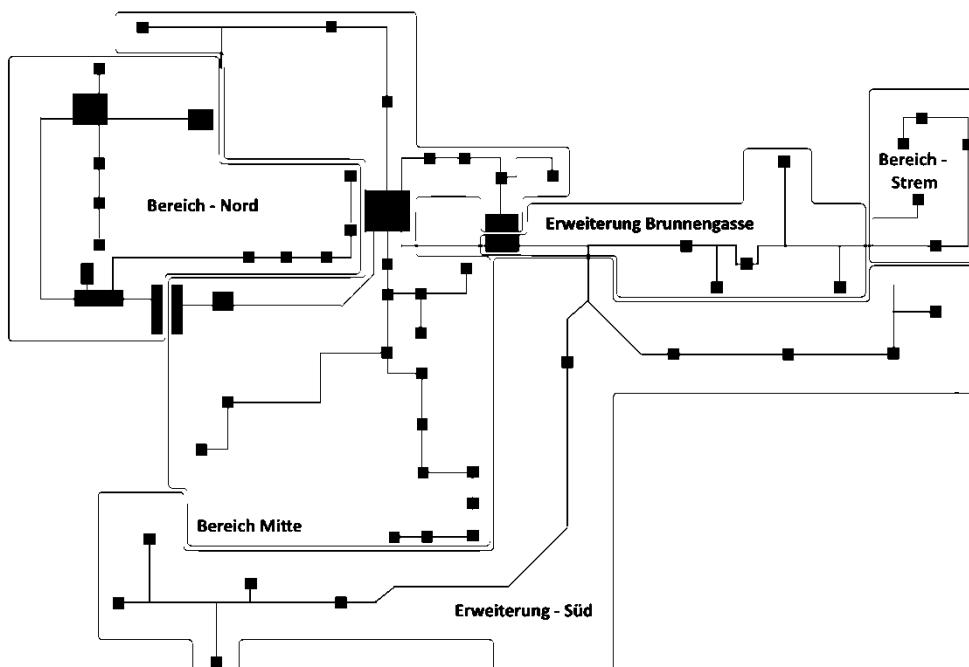


Abbildung 19: Darstellung des Netzes von Güssing mit der Einteilung in die Bereiche²

Der Bereich Nord weist den höchsten Verbrauch dieser fünf Bereiche auf. Das ist auf einige größere Industrieunternehmen zurückzuführen, die in diesem Bereich angesiedelt sind. Außerdem befinden sich im Bereich Nord drei thermische Erzeugungsanlagen, die in den vergangenen Jahren dafür sorgten, dass es sich bei diesem Bereich im Wesentlichen um einen ausgeglichenen Bereich, sogar mit einem leichten Erzeugungsüberschuss handelte. In den letzten Jahren wurden diese

² Hacker J., et al: MicroGrid Güssing - Publizierbarer Endbericht, Smart Cities - FIT for SET 3. Ausschreibung, Güssing, 2015

Kraftwerke aus wirtschaftlichen Gründen (ausgelaufene Ökostromförderung) allerdings sukzessive außer Betrieb genommen, so dass der Bereich Nord mittlerweile keine nennenswerten Erzeugungsanlagen mehr aufweist. Bei Bedarf bzw. bei einer Änderung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen könnten diese Anlagen allerdings wieder in Betrieb genommen werden. Der Bereich Mitte verfügt über den zweithöchsten Verbrauch im Netz Güssing, in diesem Bereich waren jedoch von jeher keine nennenswerten Energieerzeugungseinrichtungen vorhanden, wodurch eine deutliche Unterdeckung des Verbrauchs resultiert. Zu den Randgebieten Strem inklusive den beiden dargestellten Erweiterungen, wurde ermittelt, dass diese bezüglich Erzeugung und Verbrauch sehr gut ausgeglichen sind, wobei aus dem Netzbereich Strem ein großer Teil der Energieerzeugung kommt. Hier sind es vor allem die Biogasanlage sowie die Photovoltaikanlagen, die für die Erzeugung verantwortlich sind. Der Photovoltaikertrag setzt sich dabei aus mehreren Aufdachanlagen sowie einer großen Freiflächenanlage zusammen³:

- 170 kWp auf dem Dach des Pflegekompetenzzentrums Strem
- 65 kWp auf dem Dach des Hallengebäudes von Roland Marsch
- 45 kWp auf dem Dach des Hallengebäudes von Eduard Csencsits
- 30 kWp auf dem Dach des Heizwerkes der ÖKO Energie Strem
- 15,20 kWp auf dem Dach der Kläranlage Limpital
- 25,11 kWp auf dem Dach des Bauhofes Strem
- 29,96 kWp auf dem Dach des Hallengebäudes von Ernst Kopfer
- 1.340 kWp Freiflächenanlage neben der Biogasanlage Strem

Es ist bekannt, dass die Freiflächenanlage mit 1.340 kWp zu Spitzenertragszeiten das Netz an seine Grenzen bringt, auch wenn die resultierenden Werte die zulässigen Grenzwerte nicht überschreiten. Eine Reduktion der Spitzen durch flexible Verbraucher könnte hier Abhilfe schaffen. Kühleräte würden sich dafür aufgrund der Gleichzeitigkeit der benötigten Kühlleistung und des PV-Ertrags besonders gut eignen, allerdings müssten diese in der Nähe der Erzeugungsanlage positioniert sein. Das trifft auf die Demoobjekte des Projekts Cool-down Güssing leider nicht zu. Außerdem werden die meisten Demoobjekte voraussichtlich, aufgrund der primär adressierten passiven Kühlsysteme, keine entsprechend hohe Kühlleistung aufweisen, um die Ertragsspitzen nennenswert reduzieren zu können.

Die Zusammensetzung der PV-Erzeugung ist in Abbildung 20 dargestellt. Es ist ersichtlich, dass der überwiegende Teil (74 %) des PV-Ertrags in Güssing von der Anlage in Strem stammt. Weitere 15 % befinden sich im Bereich Mitte, während die restlichen Bereiche im niedrigen einstelligen Prozentbereich liegen. Eine Analyse der Verbrauchsstruktur im Zuge des Projekts Micro Grids Güssing² aus dem Jahr 2015 ergab, dass die größte Kundengruppe, die Haushalte nur für einen im Vergleich zur

³ <https://www.strem.co.at/system/web/sonderseite.aspx?menuonr=225046864&detailonr=225046864>

Kundenzahl geringen Anteil (etwa 20 %) am Gesamtstrombedarf verantwortlich sind. Als maßgeblich verantwortlich für den Gesamtstrombedarf (mit etwa 60 %) konnten die Verbraucher mit Lastprofilzählern, also Industrie- und Gewerbekunden ermittelt werden. Diese konnten zum größten Teil im Bereich Nord identifiziert werden. Analysen zum Bereiche Mitte sowie Süd-Ost ergaben, dass sich diese durch einen höheren Anteil an Haushaltskunden auszeichnen. In den Randgebieten konnten zusätzlich nennenswerte Anteile von Verbrauchern mit einer landwirtschaftlichen Charakteristik ermittelt werden.

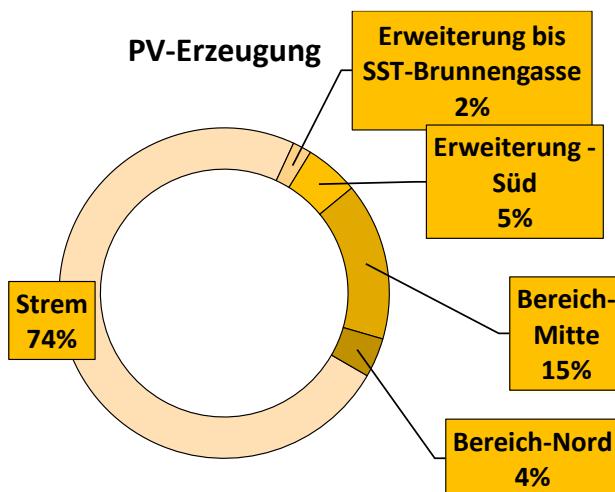


Abbildung 20: Erzeugung in den einzelnen Netzbereichen des MicroGrid Güssing²

3.2 Dezentrale Versorgungsanlagen

Bei diesen Anlagen handelt es sich um eine Aufzählung eventuell für das Projekt relevanter Anlagen, die bei Bedarf erweitert wird.

- Freiflächenanlage in Strem (1.340 kWp)
- Aufdachanlagen in Strem (in Summe 380 kWp)
- Güssinger Fernwärme GmbH, Wienerstraße, (105 kWp)
- Vulcolor Naturfarben GmbH, Europastraße, (225 kWp im Rahmen den Projektes geplant)

3.3 Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften

Um den Klimazielen und den Herausforderungen des zukünftigen Energiesystems gerecht zu werden, hat die Europäische Kommission in der Renewable Energy Directive II (RED II)⁴ die Schaffung von sogenannten Erneuerbaren-Energie-Gemeinschaften (EEG) vorgeschlagen. EEG ermöglichen es den dezentralen Stromproduzenten (z.B. mit einer Photovoltaikanlage), vor Ort die vorhandene Netzinfrastruktur zu nutzen, um Strom direkt mit anderen Verbrauchern innerhalb der Energiegemeinschaft zu teilen. In Österreich werden die EEG durch das im Juli 2021 verabschiedete Erneuerbaren Ausbau Pakets⁵ geregelt. Dieses Paket umfasst unter anderem das Erneuerbaren Ausbaugesetz⁶ sowie eine Novellierung des EIWO⁷.

EEG stellen eine Öffnung des Energiemarktes dar, die den neuen Eigenschaften eines dezentralisierten Energiesystems gerecht werden soll. Dies wird am besten anhand der aktuellen Situation von Verbrauchern und Prosumern im Energiesystem dargestellt. Als Verbraucher von Strom setzt sich der Gesamt tarif aus dem Energietarif (dieser geht an den Energieversorger), den Netztarifen (diese gehen an den Netzbetreiber) und den Steuern und Abgaben (diese gehen an den Staat) zusammen, siehe Abbildung 21. Im Regelfall kann Strom ausschließlich über das öffentliche Netz von einem Energieversorger zu einem vereinbarten Tarif bezogen werden.



Abbildung 21: Zusammensetzung Strompreis⁸

Durch die Nutzung dezentraler Erneuerbarer wurden ehemals passive Verbraucher zu aktiven Prosumern, doch waren deren Möglichkeiten zur Nutzung der erneuerbaren Erzeugung vor der Einführung der EEG beschränkt. Neben der Nutzung der Erzeugung zur Deckung des eigenen Verbrauchs, bestand lediglich die Möglichkeit, dass

⁴ European Commission, Renewable Energy Directive, online, abgerufen am 04.08.2021, [Link](#)

⁵ Republik Österreich, Erneuerbare-Ausbau-Gesetzespaket, online abgerufen am 04.08.2021, [Link](#)

⁶ RIS, Gesamte Rechtsvorschrift für Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz, 2021, online, abgerufen am 04.08.2021, [Link](#)

⁷ RIS, EIWO, online, abgerufen am 04.08.2021, [Link](#)

⁸ E-Control, Zusammensetzung Strompreis, online, abgerufen am 11.03.2021, [Link](#)

Überschüsse zu geförderten Tarifen, oder nach Auslaufen der Förderung zu Überschusstarifen in das öffentliche Netz eingespeist werden. Die EEG bieten nun darüber hinaus eine weitere Möglichkeit, nämlich diese Überschüsse lokal zu vorteilhaften Konditionen innerhalb der EEG zu vermarkten.

Konkret darf eine EEG erneuerbare Energie selbst erzeugen, eigenerzeugte erneuerbare Energie verbrauchen, speichern und an die Mitglieder verkaufen, als Aggregator tätig sein (In der Funktion als Aggregator ist es der EEG möglich, die erzeugte Energie der Mitglieder zu frei definierbaren Konditionen zu übernehmen) sowie weitere Energiedienstleistungen erbringen.

Wesentlich ist darüber hinaus, dass die EEG so auszurichten ist, dass ihr Ziel nicht die Erwirtschaftung eines finanziellen Gewinns für die Trägerorganisation ist. Vielmehr soll der Hauptzweck der EEG darin liegen, ökologische, wirtschaftliche und sozialgemeinschaftliche Vorteile für die Mitglieder zu erwirken. Dies ist, falls es nicht direkt aus der Rechtsform hervorgeht, in den Satzungen festzulegen. Weiters definiert das EIWOG, dass die Betriebs- und Verfügungsgewalt über die Erzeugungsanlagen der EEG bei der Trägerorganisation zu liegen haben. Die Trägerorganisation kann sich allerdings hinsichtlich der Betriebsführung und Wartung eines Dritten bedienen. Außerdem muss sich die EEG für den Betrieb des Netzes eines konzessionierten Netzbetreibers bedienen.

3.3.1 Rechtsform

Die EEG benötigt eine Trägerorganisation, die eine der folgenden Rechtsformen aufweisen muss:

- Verein
- Genossenschaft
- Kapitalgesellschaft
- Personengesellschaft
- ähnliche Vereinigung mit Rechtspersönlichkeit

Die dadurch entstehenden Kosten müssen im Geschäftsmodell berücksichtigt werden. Vereine eignen sich in erster Linie für EEG, deren Mitgliederstruktur sich stark ändert und bei der es ein geringes Investitions- oder Beteiligungsinteresse durch die Trägerorganisation gibt. Genossenschaften eignen sich besonders bei EEG, die über einen geschlossenen Mitgliederkreis verfügen und bei denen eine Gewinnbeteiligung für die Mitglieder überlegt wird. Die Energiegemeinschaft als GmbH ist dann relevant, wenn sich die Mitglieder nicht ändern und ein hohes wirtschaftliches Interesse der Gesellschafter vorliegt. Es gilt zu berücksichtigen, dass durch die im Vergleich zum Verein hohen Kosten für Genossenschaften und GmbH eine gewisse Menge an innergemeinschaftlichen Verbrauch in der EEG notwendig ist, um die Kosten decken zu können.

3.3.2 Beschränkung der Mitgliedschaft

Die Mitgliedschaft in der EEG ist auf Folgende natürliche und juristische Personen beschränkt:

- Natürliche Personen
- Gemeinden
- Rechtsträger von Behörden in Bezug auf lokale Dienststellen und sonstige
- Personen des öffentlichen Rechts
- KMUs (sofern der Handel mit Energie nicht die hauptsächliche Tätigkeit ist)

Das bedeutet, dass Großunternehmen von der Teilnahme an EEGs ausgeschlossen sind. Teilnehmer im Strommarktmodell, die laut EIWOG als Erzeuger zu definieren sind, können dagegen an einer EEG teilnehmen, wenn sie nicht von Versorgern, Lieferanten oder Stromhändlern kontrolliert werden

Darüber hinaus soll die Teilnahme eines Zählpunktes an mehr als einer gemeinschaftlichen Erzeugungsanlage, EEG oder Bürgerenergie-Gemeinschaft mit 01.01.2024 möglich sein.

3.3.3 Förderungen von Anlagen

Erneuerbare Erzeugungsanlagen, die durch die EEG errichtet werden, können eine Investitionsförderung erhalten. Eine Förderung der Erzeugung über die Marktprämie wird nur für resultierende Überschüsse nach der Verteilung innerhalb der EEG vergeben und das nur für Überschüsse, die kleiner als 50% der gesamten innergemeinschaftlichen Erzeugung sind. Damit soll ein Anreiz dafür geschaffen werden, einen möglichst großen Teil der Erzeugung innerhalb der EEG zu verbrauchen. Für innergemeinschaftliche Verbräuche wird es keine Marktprämie geben.

3.3.4 Nähekriterium

Für die EEG gilt ein sogenanntes Nähekriterium, das auf Basis der Netzebenen definiert wurde. Dabei wird zwischen zwei Arten von EEG unterschieden.

- Lokale Erneuerbare-Energie-Gemeinschaft: Zu einer lokalen EEG dürfen sich jene natürlichen oder juristischen Personen zusammenschließen, deren Netzanschlüsse über das Niederspannungs-Verteilnetz (Netzebene 7) und den Niederspannungsteil einer Transformatorstation (Netzebene 6) miteinander verbunden sind.
- Regionale Erneuerbare-Energie-Gemeinschaft: Zu einer regionalen EEG dürfen sich jene natürlichen oder juristischen Personen zusammenschließen, deren Netzanschlüsse über das Mittelspannungsnetz und die Mittelspannungs-Sammelschiene eines Umspannwerks verbunden sind. Regionale EEG umfassen also zusätzlich zu den Netzebenen 6 und 7 auch die Netzebene 5.

Informationen zur eigenen Anschluss situation müssen vom Netzbetreiber unentgeltlich und ohne bürokratische Hürden innerhalb von 14 Tagen zur Verfügung gestellt werden. Zum Teil können diese Informationen auch bereits online abgerufen werden.

3.3.5 Notwendige Informationen an den Netzbetreiber

Folgende Informationen müssen an den Netzbetreiber übermittelt werden:

- Beschreibung der Verbraucheranlagen inkl. Zählpunktnummern
- Beschreibung der Erzeugungsanlagen inkl. Zählpunktnummern
- ideeller Anteil der TeilnehmerInnen an der Erzeugungsanlage
- Aufteilung der erzeugten Energie
- Angabe des Überschusses (nicht von den TeilnehmerInnen verbrauchte Energieeinspeisung) pro Viertelstunde
- Aufnahme und Ausscheiden von teilnehmenden NetzbenutzerInnen;
- Beendigung oder Auflösung der EEG sowie die Demontage der Erzeugungsanlagen.

3.3.6 Innergemeinschaftlichen Rahmenvertrag

Folgende Punkte müssen laut EIWOG jedenfalls im innergemeinschaftlichen Rahmenvertrag geregelt werden:

- Verwaltung und Bearbeitung der Energiedaten der Erzeugungsanlagen und der Verbrauchsanlagen der teilnehmenden NetzbenutzerInnen durch den Netzbetreiber;
- Betrieb, Erhaltung und Wartung der Erzeugungsanlagen sowie die Kostentragung;
- Haftung;
- allfällige Versicherungen.

3.3.7 Abrechnung

Die Messung der für die Abrechnung herangezogenen Erzeugungs- und Verbrauchsdaten hat mit Lastprofilzählern oder Smart Metern zu erfolgen. Falls zum Zeitpunkt der Gründung der EEG noch keine Smart Meter verbaut, sind müssen diese innerhalb von 2 Monaten nachgerüstet werden.

Die Zuweisung der innergemeinschaftlichen Erzeugung auf die Zählpunkte der Mitglieder erfolgt durch den Netzbetreiber. Auch die für die Abrechnung oder Darstellung notwendigen Daten sind vom Netzbetreiber am Folgetag bereitzustellen. Die Daten müssen in maschinenlesbarer Form, online und kostenfrei zur Verfügung gestellt werden.

Für die innergemeinschaftliche Verteilung der Energie kommen Verteilschlüssel wie bei EIWOG §16a Anlagen zum Einsatz:

- Dynamische Zuweisung: Hierbei wird der Verteilschlüssel zu jeder $\frac{1}{4}$ -Stunde neu angepasst. Grundlage für die Anpassung ist der aktuelle Verbrauch je NutzerIn. Das hat den Vorteil, dass weniger Überschuss produziert wird, aber auch den Nachteil, dass NutzerInnen mit wenig Tageverbrauchs weniger Erzeugung zugewiesen bekommen.
- Statische Zuweisung: Es wird eine fixe Aufteilung gewählt, die sich nicht ändert. Bspw. wird ein Prozentsatz je NutzerIn festgelegt, welcher angibt, wieviel Prozent der Erzeugung diesem/r NutzerIn zugewiesen wird. Dabei ist es egal, wieviel Verbrauch die jeweilige NutzerIn zu diesem Zeitpunkt aufweist. Überschüsse werden durch den Anlagenbetreiber vermarktet.
- Mischform: Kombination aus statischer und dynamischer Zuweisung

3.3.8 Vorteile durch die EEG

- Reduzierte Netznutzungsentgelte für den aus der EEG bezogenen Strom⁹
 - Im Lokalbereich
 - 57 % für die Netzebenen 6 und 7
 - im Regionalbereich
 - 28 % für die Netzebenen 6 und 7 und
 - 64 % für die Netzebenen 4 und 5
- Entfall der Elektrizitätsabgabe für den innergemeinschaftlich verteilten Strom
- Entfall des Erneuerbaren-Förderbeitrags für den innergemeinschaftlich verteilten Strom

4 Analyse Kühltechnologien

In diesem Kapitel werden für das Projekt relevante Kühltechnologien angeführt und näher erläutert. Der Fokus liegt dabei auf den passiven Kühlmöglichkeiten. Die intelligente Koppelung von aktiven Systemen mit erneuerbaren Energien wird im Kapitel 5 thematisiert. Die aufgelisteten Technologien wurden auf Basis der Erfahrungen des Projektteams und der Relevanz für das Projekt ausgewählt und haben daher keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

4.1 Ausgeklügelte (Nacht)Lüftung

Das Verfahren der Nachtlüftung nutzt die kühle Nachtluft, um thermische Gebäudemassen während der Nacht zu kühlen. Dies geschieht dadurch, dass kühle Nachtluft durch offene Fenster und/oder Lufteinlassöffnungen das Gebäude entweder frei oder mechanisch unterstützt durchströmt und dabei dem Gebäude die in der Gebäudemasse angesammelte Wärme entzieht. Hierzu ist neben höheren nächtlichen Luftwechselraten ($> 2 \text{ h}^{-1}$) auch das Vorhandensein einer hohen Speicherkapazität des Gebäudes notwendig – d.h. die Hitze, die tagsüber durch Wände, Decken, Gebäudeeinrichtung gespeichert wird, soll durch die nächtliche Entwärmung wieder abgeführt werden. Dies setzt voraus, dass im Gebäude große Speichermaßen (Beton, ...) vorhanden sind und diese nicht durch Decken- oder Wandverkleidungen vom Rauminneren entkoppelt sind.¹⁰

Als Lüftungsverfahren werden die freie (natürliche), mechanische und hybride Nachtlüftung unterschieden. Bei den freien Lüftungsverfahren sind die natürliche Lüftung durch offene Fenster, sowie die Querlüftung über Fenster oder über automatisch betätigte Ein- und Auslassklappen an gegenüberliegenden Raumwänden zu nennen. Weiterhin wird auch in vielen freien Lüftungskonzepten der thermische Auftrieb im Gebäude genutzt. Die freie Lüftung wird durch Druckdifferenzen als Resultat von Temperaturdifferenzen zwischen der Gebäudeaußenhülle und dem Innenraum hervorgerufen, welche eine Luftbewegung herbeiführen. Oft arbeiten natürliche Lüftungssysteme zusätzlich mit Windströmungen oder nutzen die durch Temperatur induzierte Kaminwirkungen. Ob zusätzliche Windeffekte eingesetzt werden können, ist abhängig von der Gebäudeform, dem Standort des Gebäudes sowie von der vorherrschenden Windrichtung und -geschwindigkeit. Ein Kamineffekt entsteht, wenn im Inneren des Gebäudes die Temperatur höher ist als draußen. Warme Luft steigt im Innern des Gebäudes empor, nimmt die Gebäudehitze auf und entweicht schließlich im Bereich des Gebäudedachs. Im Gebäude steigt der Luftdruck somit nach oben an - hierdurch kann kältere Luft in die tieferen Gebäudeteile nachströmen.¹⁰

¹⁰ Heinze GmbH, 2019. Nachtlüftungskonzepte. www.baunetzwissen.de, abgerufen am 17.09.2019

Die Arbeitsstättenverordnung §26 Abs.2 schreibt für die natürliche Lüftung vor:¹¹

- Die Lüftungsöffnung muss direkt ins Freie führen.
- Der Lüftungsquerschnitt muss in Summe 2 % der Bodenfläche des Raumes aufweisen.
- Bei einer Raumtiefe von über 10 m müssen die Lüftungsöffnungen als Querlüftung angeordnet sein.

In mechanisch betriebenen Lüftungskonzepten wird der Luftwechsel über eine Lüftungsanlage (meist Abluftanlage) und definierte Lüftungsöffnungen fest eingestellt. Diese Lüftungssysteme nutzen ebenfalls die sommerliche Nachtkühle der Umgebungsluft aus. Mithilfe von Ventilatoren wird Luft über Fenster bzw. automatisch betriebene Lufteinlässe durch das Gebäude gespült, oftmals mit Hilfe eines zentralen Gebäudeautomationssystems. Für einzelne Zonen müssen oftmals individuelle Sequenzen programmiert werden, die auch Ausnahmeregelungen vorsehen, wie z.B. das Schließen der Fenster bei Regen, Feueralarm oder bei nächtlichen Aufenthalten der NutzerInnen im Gebäude.¹⁰

Die Vorteile eines mechanischen Systems liegen auf der Hand: Luftbewegungen innerhalb des Gebäudes können über weite Strecken kontrolliert werden. Im Vergleich zur rein natürlichen Lüftung ermöglicht die mechanische Nachtlüftung eine stabilere Temperatureinstellung. Die Probleme offener Fenster, insbesondere in den unteren Stockwerken des Gebäudes, wie z.B. Lärm- und Abgasbelastung sowie Sicherheitsbedenken, können durch geeignete Lufteinlässe vermieden werden.¹⁰

In Abbildung 22 sind verschiedene Nachtlüftungskonzepte und deren Auswirkung auf den Jahreskühlenergiebedarf aufgezeigt. Bei den Daten handelt es sich um eine Simulation eines Bürobaus mit mittleren Kühllasten von 50 W/m². Die Variante mit 3,5-fachen Luftwechsel führt zu einer Reduktion von 65 % des Jahreskühlenergiebedarfs. Die Fensterlüftung kann den Jahreskühlenergiebedarf um rund 50 % reduzieren. Es ist zu berücksichtigen, dass es sich, ausgenommen von der Fensterlüftung, um mechanische Lüftungskonzepte handeln. Der Primärenergieaufwand steigt mit den Luftwechselraten überproportional an. Aufgrund dieses Aspekts ist die Fensterlüftung die ökonomisch und ökologisch sinnvollere Variante.¹²

¹¹ Arbeitsstättenverordnung (2020) Gesamte Rechtsvorschrift für Arbeitsstättenverordnung, Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales, Link abgerufen am 25.05.2020

¹² C. Fink, E. Blümel, R. Kouba, R. Heimrath (2002): Passive Kühlkonzepte für Büro- und Verwaltungsgebäude mittels luft- bzw. wasserdurchströmten Erdreichwärmetauschern, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

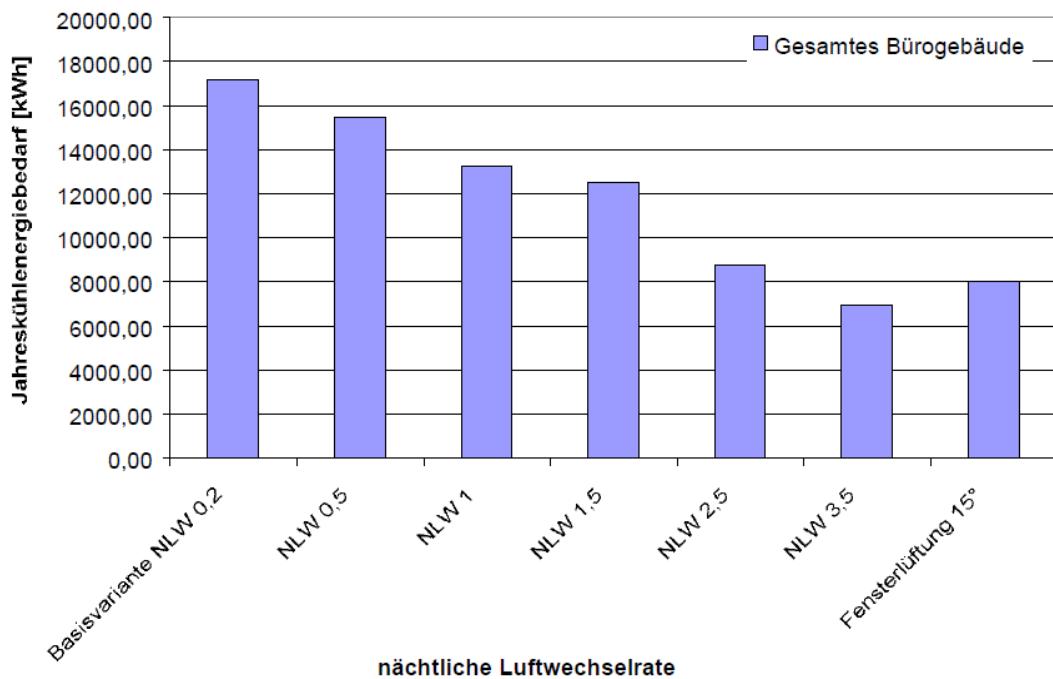


Abbildung 22: Einfluss der nächtlichen Luftwechselraten (h^{-1}) auf den Jahreskühlenergiebedarf¹²

Das auf Ventilation basierende Kühlungssystem, zu der auch die Nachtlüftung zählt, ist ein System von aufeinander abgestimmten Komponenten. Diese müssen ausreichend geplant und dimensioniert werden, um die gewünschte Funktion zu ermöglichen. Die Klimaerwärmung erschwert es ein normgerechtes Innenraumklima rein durch Ventilation bereitzustellen. Allerdings ist es in vielen Fällen sinnvoll das Potential dieser Kühlung soweit möglich auszunutzen, da der Primärenergieaufwand im Vergleich zu aktiven Kühlungssystemen sehr gering ist. Dadurch kann die notwendige Kühlenergie erheblich gesenkt werden. Die Abstimmung eines auf Ventilation basierenden Kühlungssystems mit einem Spitzenlastsystem ist ein wichtiges Kriterium, um ein normgerechtes Innenraumklima ganzjährig mit möglichst wenig Primärenergieaufwand bereitzustellen.¹³

4.1.1 Intelligente Fensterlüftung

Unter intelligenter Fensterlüftung wird hier eine automatische Fensterlüftung verstanden, die intelligent gesteuert wird, so dass die niedrigeren Temperaturen während den Nachtstunden zur Kühlung herangezogen werden können. Dazu werden häufig sogenannte Fensterlüfter verwendet. Fensterlüfter sind ein mit dem Fenster verbundenes Lüftungssystem, mit dessen Hilfe der Innenraum be- und entlüftet werden kann – oft ohne dafür das Fenster öffnen zu müssen. Neben der Kühlfunktion helfen diese außerdem die Feuchtigkeit zu regulieren, so dass Schimmel & Co. in Schach gehalten werden können und sorgen außerdem für die Aufrechterhaltung

¹³ P. Holzer, R. Hammer, P. Moherndl, G. Hofer, M. Grim (2017): IEA Energy in Buildings and Communities (EBC)“ Annex 62: Ventilative Kühlung, Nachhaltig Wirtschaften

einer hohen Luftqualität (CO₂-Konzentration, etc.). Im Winter trägt eine intelligente Lüftung außerdem wesentlich zur Reduktion der Heizkosten bei.¹⁴

Fensterlüfter stellen dabei über die Lüftungsklappen bei freier Querlüftung einen konstanten Luftaustausch sicher. Dabei werden Wind und Temperaturunterschiede genutzt, um die Luft einer Wohnung auszutauschen. Durch die Lüftungsklappen strömt frische Luft kontinuierlich auf einer der Fassadenseiten ein und verbrauchte Luft auf einer anderen wieder hinaus. Solche, auch Lüftungsfenster genannte Systeme, können zudem mit einem Ventilator unterstützt werden, sodass auch ohne freie Querlüftung für einen Luftaustausch gesorgt wird. Fenster und Fenstertüren können problemlos mit integrierten Fensterlüftern mit oder ohne ventilatorische Unterstützung versehen werden. Die Fensterlüfter können nachgerüstet werden oder sind bereits in besonderen Fenstermodellen eingebaut. Sie können unauffällig über, unter oder seitlich am Fenster und im Fensterprofil angebracht sein. Auch bei der Sanierung von Altbauten, bei denen z. B. aus Platz- oder Denkmalschutzgründen keine herkömmliche kontrollierte Lüftung eingebaut werden kann, bieten Fensterlüfter häufig eine gute Alternative.¹⁴

Grundsätzlich kann zwischen passiven und aktiven Fensterlüftern unterschieden werden. Die wichtigsten Vertreter der passiven Fensterlüfter sind sogenannte Fensterfalzlüfter, beschlagsgeregelte Fensterlüfter, sowie Aufsatzelemente für Blendenrahmen und Glasfalte. Bei aktiven Fensterlüftern wird der Luftaustausch mit einem Gebläse unterstützt.

Fensterfalzlüfter¹⁴

Fensterfalzlüfter werden am sogenannten Fensterfalz installiert- das ist jener Bereich des Fensters, wo Fensterrahmen und Fensterflügel aufeinandertreffen. Da es sowohl waagrechte Falzen als auch senkrechte gibt, ist auch die Montage eines Fensterfalzlüfters entsprechend variabel. Diese Systeme ermöglichen eine Lüftung bei geschlossenem Fenster. Viele solcher Fensterfalzlüfter sind heutzutage feuchtegeregelt. Das heißt, sie öffnen sich selbsttätig, wenn die Feuchtigkeit im Raum vom Sollwert abweicht. Diese Funktionalität lässt sich zum Beispiel mit einem einfachen hygrometrischen Sensor gewährleisten, der keine kostbare Hilfsenergie verbraucht. Für eine intelligente Regelung zur Nachtlüftung sind sie in dieser Ausführung daher allerdings weniger geeignet.

¹⁴ <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fenstertechnik/fensterluefter.html>



Abbildung 23: Beispiel eines Fensterfalzlüfters¹⁴

Beschlagsgeregelte Fensterlüfter¹⁴

Sogenannte beschlagsgeregelte Fensterlüfter realisieren eine Lüftung, indem der Fensterflügel regelmäßig automatisch um wenige Millimeter gekippt wird. Dabei handelt es sich um einfache, mechanische Fensterlüfter, zum Beispiel Spaltlüfter, die die Luft passieren lassen, ohne dass zusätzlich eine Ventilation stattfindet. Die Lüftung erfolgt Großteils wegen der unterschiedlichen Druckverhältnisse zwischen Innenraum und Außenraum. Alternativ kann man diese Fensterlüfter auch händisch (manuell) bedienen. Beschlagsgeregelte Lüfter realisieren dabei i.d.R. einen höheren Luftaustausch als Fensterfalzlüfter.

Häufig rüsten die Hersteller ihre beschlagsgeregelten Fensterlüfter mit gewissen automatischen Funktionen aus, zum Beispiel mit einem selbsttätigen Schließmechanismus bei zu hohen Windgeschwindigkeiten, so dass unkontrollierte Lüftung unterbunden wird. Nach Ablauf einer bestimmten Lüftungszeit schließt sich dann das Fenster automatisch und wird mit einer eigenen, vom Beschlag unabhängigen Verriegelung verschlossen.

Werden diese Funktionen um eine intelligente Nachtlüftung erweitert bzw. der Fensterlüfter mit einem Smart Home verbunden, stellt diese Technik eine gute Ausgangsbasis für die Implementierung einer intelligenten Nachtlüftung dar.



Abbildung 24: Beispiel eines beschlagsgeregelten Fensterlüfters¹⁴

Aufsatzelemente für Blendrahmen und Glasfalz

Daneben gibt es sogenannte Aufsatzelemente, die direkt in den Blendrahmen und/oder den Flügelrahmen und/oder das Glas des Fensters integriert werden oder welche, die direkt an den Blendrahmen des Fensters (seitlich, oben oder unten) montiert werden können. Die Hauptfunktion dieser Technik liegt darin zu Straßen hin gelegene Fenster vor Geräuschen zu schützen. Da die Aktivierung in den meisten Fällen manuell erfolgt, sind sie für eine intelligente Nachtlüftung nur sehr eingeschränkt nutzbar.

Aktive Fensterlüfter¹⁴

Mit elektrischen Fensterlüftern können die Belüftungsstufen in jedem Raum individuell eingestellt werden. Eine Gebläseunterstützung (Ventilation) sorgt für höhere Luftwechselraten beziehungsweise größere Volumenströme. Einige aktive Fensterlüfter bieten bereits die Möglichkeiten zum aktiven sommerlichen Hitzeschutz und darüber hinaus in den Wintermonaten die Möglichkeit einer Wärmerückgewinnung. Werden Fensterlüfter mit Wärmerückgewinnung installiert ist darauf zu achten, dass die Möglichkeit besteht, diese in den Sommermonaten zu deaktivieren (den Wärmetauscher zu umgehen) um keine ungewünschte Erwärmung der einströmenden Außenluft in den Sommermonaten zu verursachen.

Es gibt bereits einige interessante Technologien am Markt wobei die Kühlung in den Sommermonaten in den seltensten Fällen im Vordergrund steht. Besteht die Möglichkeit einer Kopplung mit einem Smart Home stellen diese Technologien allerdings eine ausgezeichnete Ausgangsbasis für weitere Überlegungen dar. Ein Beispiel für eine bereits sehr ausgeklügelte Technologie ist die voll in den Fensterrahmen integrierte I-tec Lüftung von Internorm, die mit einem Wärmetauscher ausgestattet ist, der laut Hersteller einen Wärmerückgewinnungsgrad von bis zu 93 %

erreicht. Die Intensität des Fenster-Luftaustausches lässt sich anhand unterschiedlicher Betriebsstufen individuell bestimmen. Zudem bietet das Fensterlüftungssystem einen intelligenten Automatik-Modus, in dem die Lüftung selbstständig Temperatur und Feuchtigkeitsgrad der Raumluft ermittelt und den Luftaustausch vollautomatisch regelt. Der optionale Einbau von Filtern verhindert das Eindringen von Feinstaub und Blütenpollen. Die baulichen Voraussetzungen für die Montage eines mit I-tec Lüftung ausgestatteten Fenstersystems sind minimal.

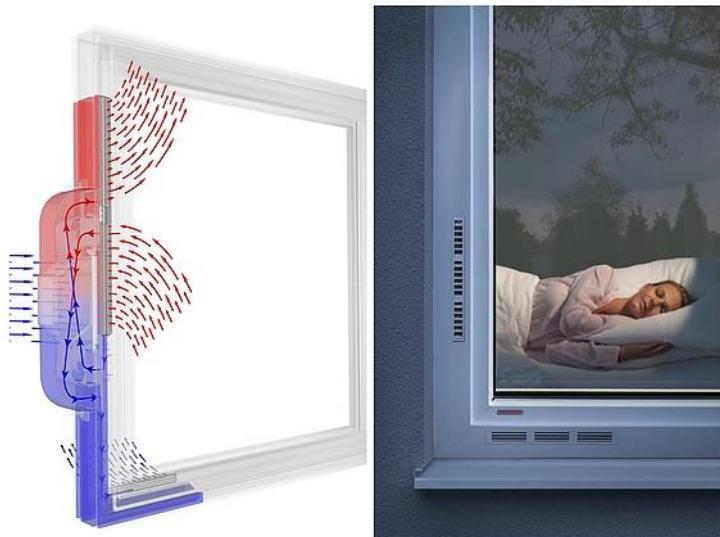


Abbildung 25: Die I-tec Lüftung ist mit einem effizienten Wärmetauscher ausgestattet und kann den Luftaustausch vollautomatisch nach Temperatur und Feuchtigkeitsgrad der Raumluft regeln¹⁵

Als weitere interessante Beispiele von aktiven Fensterlüftern können folgende Technologien genannt werden:

- Endura Twist von Renson¹⁶
- Weru-AeroTherm Lüfter¹⁷
- VentoTherm von Schüco¹⁸
- Hautau Ventra¹⁹
- GENEO INOVENT von Rehau²⁰
- VELUX Smart Ventilation²¹

¹⁵ Internorm International GmbH

¹⁶ <http://www.rendon.at/fensterluftungen-deutschland-endura-twist-dezentrale-fensterluftung-mit-w-rmeruckgewinnung.html>

¹⁷ <https://www.weru.com/de/themenwelten/detail/wie-sorgen-weru-fenster-fuer-ein-gutes-raumklima>

¹⁸ <https://www.schueco.com/de/verarbeiter/produkte/lueftungssysteme/lueftung/ventothermtwist>

¹⁹ <https://www.hautau.de/fensterautomation/ventra-dezentraler-fensterluefter/>

²⁰ <https://www.rehau.com/at-de/wohnraumloesungen/geneo-inovent>

²¹ <https://www.velux.at/produkte/lueftungsloesungen>

Best-Practice Beispiel "Cool Air"²²

Das Projekt „Cool Air“ von der Donau Uni Krems beschäftigt sich mit prädiktiver, ventilativer Lüftung und Verschattung bei Altbauten. Es handelt sich um ein Folgeprojekt von „Cool DUK“ (Cool Donau Uni Krems). Das Ziel von „Cool Air“ war es durch Kastenfenster Räume zu kühlen, ohne die Vorschriften des Ensembleschutzes des Gebäudes zu verletzen. Bei dem Objekt handelt es sich um ein ehemaliges Gebäude der Austrian Tabak Fabrik. Es wurde lediglich ein Raum herangezogen, dieser befindet sich im dritten Stock südseitig des Gebäudes. Die Umsetzung erfolgte durch ein Plug&Play Prinzip, um eine möglichst einfache Installation mit guter Reproduzierbarkeit und geringem Engineering Aufwand in der Praxis zu gewährleisten.

Für die Regelung wurde eine Nachtzeit zwischen 19:00 und 06:30 Uhr festgelegt in der das Komfortniveau nicht eingehalten werden muss und sich der Fokus auf die Entladung der thermischen Massen konzentriert. Aufgrund von Datenschutz und der Privatsphäre der Personen im Büro wurde auf Sensoren, die die Anwesenheit der Personen prüft, verzichtet. Bei der Auslegung der Fensterlüftung mit einfachen Parametern, wie zeit- und temperaturbasierter Steuerung, kann nicht das volle Potential der Fensterlüftung genutzt werden.

Erst durch komplexe Gebäudesimulationsmodelle, die Auftriebskräfte oder Querlüftung berücksichtigen, kann das Potential ausgeschöpft werden. Es handelt sich um einen prädiktiven Regler, der auf der Basis eines Raspberry Pi programmiert wurde. Dieser sammelt minütlich Daten, die über W-Lan an einen Sensorknoten verschickt werden. Die Sensoren wurden im Raum, Nachbarraum und Stiegenhaus installiert. Die prädiktive Regelung (model predictive control) entscheidet aufgrund von Messdaten der Sensoren im Gebäude und Klimadaten aus dem Internet. Stündlich fällt der Regler eine Entscheidung, ob der untere, obere oder beide Flügel des Fensters geöffnet werden. Mit diesem Konzept wurden nächtliche Luftwechselraten von 20 erreicht. Der Regler berechnet die Raumtemperatur eine Stunde voraus und lässt den Unterschied zur Realtemperatur in die Berechnung einfließen. Der Zielwert der Raumtemperatur liegt zwischen 18°C und 22°C. Die Zielwertvorgabe wurde für 08:00 Uhr gesetzt, damit zu Arbeitsbeginn behagliche Temperaturen vorherrschen. Im Rechenmodell wurde die Wiedererwärmung durch die in der Gebäudemasse gespeicherte Wärme mitberücksichtigt. Bei den Stellmotoren handelt es sich um eine Maßanfertigung, da in den Kastenfenstern nicht genügend Platz für Serienmodelle vorhanden war. Die Ketten der Stellmotoren sind steif und verhindern ein auf und zuschlagen bei stärkerem Wind.

²² D. Trauninger et al: CoolAIR - Prädiktiv geregelte passive Gebäudekühlung mittels natürlicher Nachlüftung und tageslichtoptimierter Verschattung, Department für Bauen und Umwelt, 2020, Donau-Universität Krems, Link

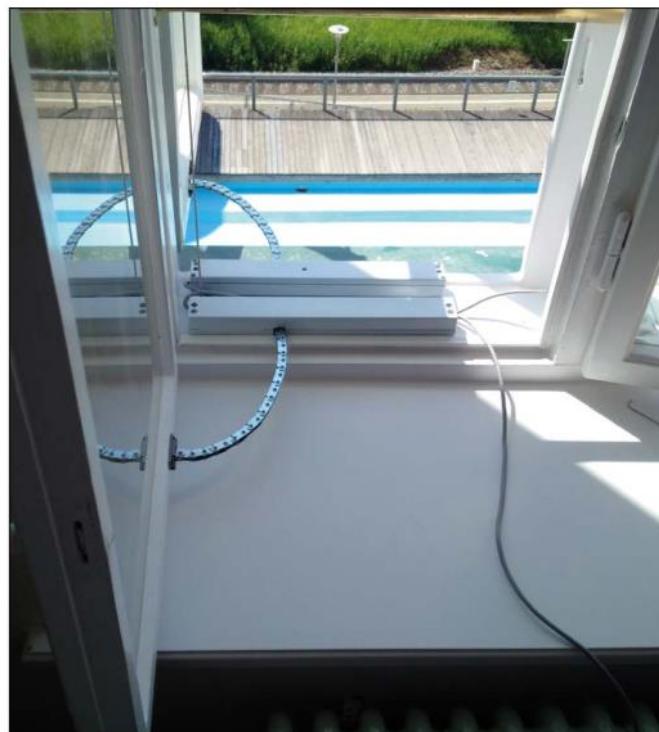


Abbildung 26: Stellmotor des Kastenfensters²³

Wind wurde bei den Sensoren und Wetterdaten nicht berücksichtigt, außer zur Schließung bei starkem Wind und Regen. Insektenschutz wurde keiner verbaut, es gab auch keine Probleme dahingehend. Als Folgeprojekt zu „Cool Air“ startete im Februar 2020 das Projekt „Cool Brick“. Dabei handelt es um zwei identische Gebäude bei denen unterschiedliche Methoden der Nachtlüftung getestet wurden und deren Auswirkung anhand des Referenzgebäudes deutlich sichtbar sind.

4.1.2 Teilautomatisierte Nachtlüftung

Eine weitere Möglichkeit die Intelligenz von Smart Home und der manuellen Tätigkeit von Nutzer*innen zu kombinieren ist die teilautomatisierte Nachtlüftung.

Die manuelle Nachtlüftung bei Wohnungen oder Häusern wird meist durch falsche Nutzer*innen-Anwendung unzureichend ausgeführt. Zu frühes Öffnen der Fenster am Abend, oder zu spätes Schließen der Fenster in der Früh führen nicht zum gewünschten Auskühleffekt der Wohnräume.

Eine teilautomatisierte Lösung durch Smart Home kann dem Abhilfe schaffen. Hier wird die Anwendung am Beispiel der Smart Home Lösung von www.hom.ee gezeigt (Abbildung 29). Dabei wird festgelegt, dass

- wenn die aktuelle Außenlufttemperatur unter 23 °C fällt (Temperatur am Standort ist durch die Internetanbindung bekannt / Wetterdaten)
- und die Zeit zwischen 18:00 Uhr und 20:45 Uhr ist

²³ D. Trauninger et al: Kastenfenster 2.0 - Intelligente Fenster zur passiven Kühlung von Gebäuden, Department für Bauen und Umwelt, 2019, Donau-Universität Krems

- die Nutzer*innen die Push-Nachricht am Smartphone „Bitte Fenster öffnen! Danke!“ bekommen (Abbildung 27)

Damit wissen die Nutzer*innen, dass die Fenster (möglichst Querlüftung) händisch zu kippen oder öffnen sind. Eine Außenlufttemperatur von unter 23 °C sollte als Startwert reichen, um die Räume zu kühlen. Dadurch wird verhindert, dass die Fenster zu früh geöffnet werden.

Umgekehrt wird für die Früh festgelegt, dass

- wenn die aktuelle Außenlufttemperatur über 21°C steigt
- und die Zeit zwischen 08:00 und 13:00 Uhr ist
- die Nutzer*innen die Push-Nachricht am Smartphone „Bitte Fenster schließen! Danke!“ bekommen (Abbildung 28)

Werden die Empfehlungen angenommen, wird dadurch verhindert, dass die Fenster am Vormittag zu lange geöffnet bleiben und warme Luft in die Räume eindringt.



Abbildung 27: Einstellung der Push-Nachricht zum Öffnen der Fenster via homee



Abbildung 28: Einstellung der Push-Nachricht zum Schließen der Fenster via homee



Abbildung 29: Homee als umfangreiche Smart Home Lösung

4.1.3 Dezentrales Lüftungssystem

Dezentrale Lüftungsgeräte sind insbesondere für die Belüftung von einzelnen Wohnräumen geeignet. Diese können in Fenster, Wand, Sturz und Brüstung installiert werden. Dezentrale Geräte überzeugen meist mit einer sehr einfachen Montage, in vielen Fällen genügen eine Kernlochbohrung durch die Außenfassade und ein Stromanschluss für das Lüftungsgerät. Damit können ein bis zwei Wohnräume energiesparend mit ausreichend Frischluft versorgen werden. Dezentrale Lösungen eignen sich also ideal für die preiswerte Nachrüstung, aber auch für raumweise Lösungen im Neubau.²⁴ Werden diese Geräte mit einer entsprechenden Intelligenz versehen, kann damit der Kühlbedarf signifikant verringert werden, außerdem bieten die Geräte die Möglichkeit im Winter durch den Einbau eines Kreuzwärmetauschers Abwärme zurückzugewinnen und somit Heizkosten zu sparen. Wichtig für die Kühlung ist, dass das Gerät in der Lage ist in den Sommermonaten den Wärmetauscher für die Wärmerückgewinnung zu umgehen.

²⁴ <https://www.energie-experten.org/haustechnik/wohnraumlueftung/kontrollierte-wohnraumlueftung.html>

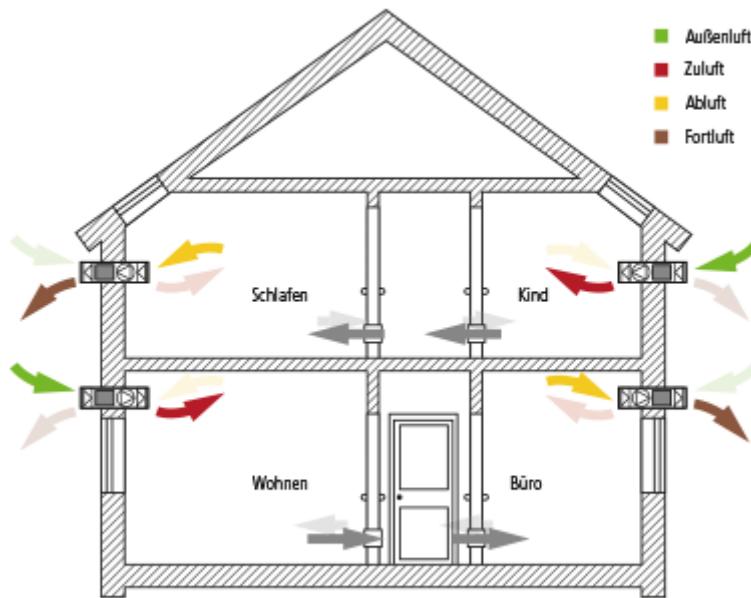


Abbildung 30: Beispiel dezentrales Lüftungssystem²⁵

Vorteile²⁶

- Installation ohne großen Aufwand: Der entscheidende Vorteil der dezentralen Wohnraumlüftung ist ihre einfache Installation. Anders als bei der zentralen Variante, die in der Regel einen großen Planungsaufwand voraussetzt, lassen sich dezentrale Lüftungsgeräte auch nachträglich einbauen. Ein Luftverteilungsleitungssystem ist nicht erforderlich. Die Geräte werden direkt mithilfe einer Kernbohrung in die Außenwand installiert. Aus diesem Grund kommen sie häufig bei der Sanierung von Bestands- bzw. Altbauten zum Einsatz.
- Gut für die Nachrüstung/Bestandsbau geeignet: Durch die geringen baulichen Maßnahmen, die zum Einbau notwendig sind, eignen sich die dezentralen Lüftungssysteme besonders gut für den Bestandsbau.
- Vielfältige Einsatzmöglichkeiten: Der geringe Planungsaufwand und der verhältnismäßig einfache Einbau ermöglichen Hausbesitzern ganz andere Gestaltungsmöglichkeiten. Sie können die Geräte gezielt in einzelnen Räumen einbauen, in denen beispielsweise ein Feuchteproblem aufgetreten ist. Aber auch komplette Wohneinheiten lassen sich mit dezentralen Geräten belüften. Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und die

25 <https://www.kermi.de/raumklima/produkte/wohnraumlueftung/dezentrales-system/>

26 https://www.viessmann.at/de/wohngebäude/wohnraumlueftung/dezentrale_wohnraumlueftung/vorteile.html

verhältnismäßig einfache Installation sind somit zwei entscheidende Vorteile der dezentralen Wohnraumlüftung.

- **Kostengünstige Anschaffung:** Wenn alle Kosten betrachtet werden, ist eine dezentrale Lüftungsanlage oft günstiger als eine zentrale Lüftungsanlage mit Luftverteilsystem. Zu den Vorteilen der dezentralen Wohnraumlüftung zählen auch die relativ einfache Reinigung und der unkomplizierte Wechsel der Filter. Diese Arbeit kann auch von den Nutzern selbst durchgeführt werden.
- Gefilterte Luft, somit geringerer Eintrag von Feststoffpartikeln
- Geringe Schallemissionen

4.1.4 Zentrales Lüftungssystem

Bei der zentralen Ablufttechnik wird die Abluft zentral aus den Wohnräumen abgeführt und die Zuluft dezentral zugeführt. Durch das Entlüften der belasteten Räume (Küche, Bad, WC) entsteht in der Wohnung ein leichter Unterdruck, der durch die zuströmende Außenluft, über die Außenwandventile in den bewohnten Räumen, wieder ausgeglichen wird. Damit ist der hygienisch erforderliche Luftaustausch in den Wohnräumen komfortabel sichergestellt. Eine zentrale Ab- und Zulufttechnik hingegen ent- und belüftet die Räume über zwei voneinander getrennte Rohrsysteme. Durch intelligente Belüftungssysteme, die vor allem in den kühlen Nachtstunden für eine verstärkte Lüftung sorgen, kann der Kühlbedarf signifikant gesenkt werden. Zudem erreichen zentrale Lüftungsanlagen in den Wintermonaten enorme Wärmerückgewinnungsraten von bis zu 95 % und arbeiten damit äußerst energieeffizient. Allerdings müssen bei dieser Lösung die Rohrleitungen für die Luftverteilung im gesamten Haus oder der kompletten Wohneinheit verlegt werden. Durch den höheren baulichen Aufwand kommen daher zentrale Wohnraumlüftungsanlagen eher bei Neubauten oder Kernsanierungen in Frage.²⁷

In der Praxis kommen häufig Wohnraumlüftungsanlagen zum Einsatz, die nicht nur die Abluft, sondern auch die Zuluft aktiv ansaugen. Die sogenannten kombinierten Ab- und Zuluftanlagen verfügen über eine Lüftungszentrale und ein Luftverteilsystem. Nicht nur verbrauchte Luft wird aktiv angesaugt und abgeführt, auch Frischluft gelangt auf aktive Weise ins Haus. Um unerwünschte Partikel aus der Luft, sowie Lärm am Eindringen zu verhindern, sind die meisten Anlagen mit Filtern ausgestattet.²⁷ Zentrale Lüftungsanlagen (insbesondere kontrollierte Wohnraumlüftung) decken meist nur den hygienischen Mindestluftwechsel (ca. 0,5-facher Luftwechsel) und können daher zur Reduktion der sommerlichen Überhitzung nur einen geringen Beitrag leisten.

²⁷ https://www.viessmann.at/de/wohngebaeude/wohnraumlueftung/zentrale_wohnraumlueftung/funktionsweise.html

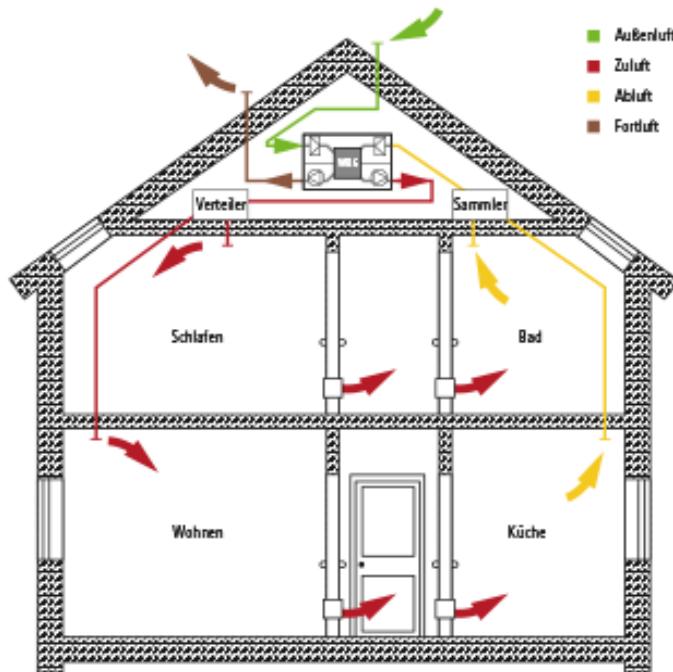


Abbildung 31: Beispiel zentrales Lüftungssystem²⁵

Verlegungsmöglichkeiten des Luftverteilssystems²⁷

Zu der Funktionsweise der zentralen Wohnraumlüftung zählt auch die Verlegung der Luftleitungen. Für die Montage stehen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Die bekanntesten Methoden sind:

- Verlegung im Fußbodenaufbau
- Verlegung im Beton
- Verlegung in einer abgehängten Decke

Die Verlegung im Fußbodenaufbau:

Diese Verlegungsart kommt häufig bei Neubauten vor. Hier werden flache Luftleitungen zunächst direkt auf den Rohfußboden gelegt. Anschließend erfolgt das Aufbringen der Schüttung/Dämmung. Darüber kommt gegebenenfalls die Verlegung einer Fußbodenheizung, bevor der Estrich als letzte Schicht aufgetragen wird. Die Luftleitungen sind danach nicht mehr sichtbar. Nur noch Boden- oder Deckenauslässe zeigen, dass darunter eine Lüftungsanlage installiert ist.

Die Verlegung in Beton:

Eine Alternative zur Verlegung der Luftleitungen auf dem Rohfußboden ist die sogenannte Betonverlegung. Hierzu werden in der Regel runde Luftleitungen noch

während der Rohbauphase in die Stahleinlage der Decken gelegt. Erst danach wird der Beton eingebracht. Diese Verlegeart eignet sich sowohl für Filigrandecken als auch für Ortbetondecken. Der Vorteil dieser Verlegung ist, dass kein zusätzlicher Fußbodenaufbau erforderlich ist. Jedoch ist im Vorfeld eine genaue Planung mit dem Baustatiker erforderlich.

Die Verlegung in einer abgehängten Decke:

Je nach Raumhöhe finden Lüftungsanlagen auch in einer abgehängten Decke ausreichend Platz. Hier eignen sich besonders sogenannte Deckenflachgeräte. Die Geräte können direkt an die Decke angebracht werden. Die Luftleitungen zu den einzelnen Räumen werden in die abgehängte Decke integriert, sodass sie auch optisch nicht mehr sichtbar sind.

Vorteile von zentralen Lüftungssystemen²⁷

- Leiser Betrieb: Der Geräuschpegel einer zentralen Wohnraumlüftung ist sehr gering, da die einzelnen Anlagenkomponenten aufeinander abgestimmt sind. Bei entsprechender Auslegung und Einregulierung treten keine Luftgeräusche auf. Für besonders sensible Räume werden in die einzelnen Luftleitungen Schalldämpfer installiert.
- Hohe Leistungen: Zentrale Lüftungsanlagen sind für die Belüftung eines kompletten Hauses ausgelegt. Das heißt, ein Lüftungsgerät versorgt ein komplettes Haus. Die erforderlichen Luftmengen für die einzelnen Räume werden vorher berechnet und an den Ventilen einreguliert. Am Lüftungsgerät selbst wird die gesamte Luftmenge eingestellt. Mit einer Steuereinheit hat der Nutzer zusätzlich die Möglichkeit, die einzelnen Lüftungsstufen nach Bedarf zu verstellen.
- Gute Filtermöglichkeiten: Zentrale Wohnraumlüftungsgeräte haben jeweils einen Filter auf der Außenluftseite und einen Filter auf der Abluftseite. Der Außenluftfilter verhindert das Eindringen von Schmutz aus der Außenluft. Für Allergiker können hier auch Pollenfilter eingesetzt werden. Der Abluftfilter schützt das Lüftungsgerät vor Verschmutzung von innen und sichert zudem eine dauerhaft hohe Wärmerückgewinnung.
- Temperierung/Kühlung durch Sommerbypass: Einer der zahlreichen Vorteile der zentralen Wohnraumlüftung ist die Möglichkeit zur Temperierung der Räume über einen automatischen Sommerbypass. Mit diesem wird in warmen Sommernächten der Wärmetauscher umgangen. Dadurch gelangt frische Nachtluft in die Räume und kann diese bis zu einem gewissen Maße temperieren.

4.2 Intelligente Verschattung

Während sich die Nachtlüftung mit der Abfuhr, der bereits in das Gebäude eingedrungenen Wärme befasst, hat die Verschattungstechnik die Minimierung des solaren Wärmeeintrags als Ziel. Dabei kann zwischen unterschiedlichen Techniken wie beispielsweise Sonnenschutzfolien, Jalousien, Markisen und anderen baulichen Maßnahmen unterschieden werden. Elektrisch betriebene Verschattungseinrichtungen können über Smart Home Systeme intelligent gesteuert werden.

4.2.1 Sonnenschutzfolie

Eine Sonnenschutzfolie (auch Hitzeschutzfolie genannt) ist meist eine aus Polyethylenterephthalat (PET) bestehende Folie, die auf Fenster aufgebracht (Adhäsion) oder geklebt wird. Licht und Wärme der Sonnenstrahlen werden durch Reflexion oder Absorption reduziert. Ein zusätzlicher Vorteil liegt darin, dass die Sonnenschutzfolie auch UV-A- und UV-B-Strahlung filtern und somit das Ausbleichen von Möbeln sowie Hautschädigungen reduzieren können. Sonnenschutzfolie aus PET werden mit Aluminium oder anderen Metallen im Vakuum bedampft. Eine weitere Variante ist das Sputtering, bei dem die Metall-Schicht mit Edelgas-Ionen auf die PET-Folie aufgebracht werden. Dieser Prozess mindert den Spiegeleffekt. Farbeffekte können durch die Wahl des Metalls variieren. Alu wirkt silbrig, während z. B. Kupfer der Sonnenschutzfolie einen Orangeton verleiht.²⁸

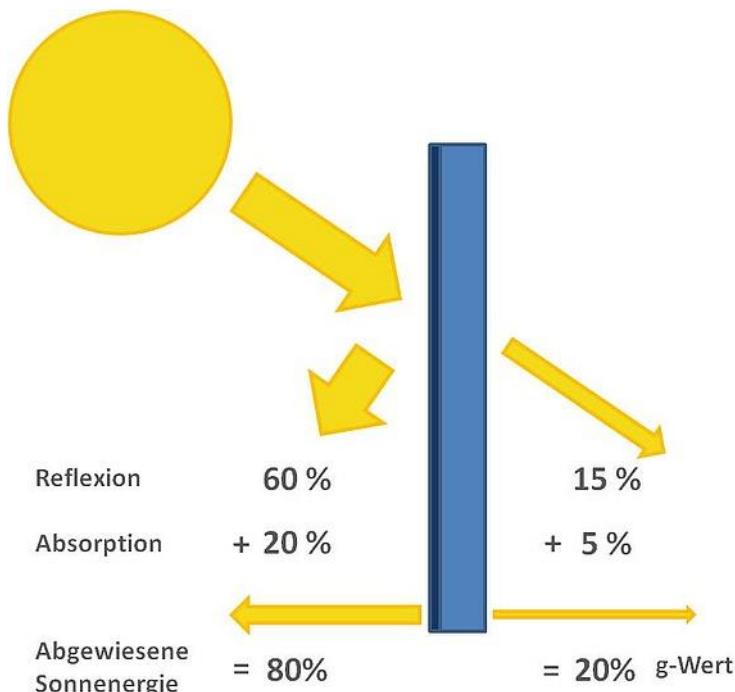


Abbildung 32: Durch Verwendung einer Hitzeschutzfolie können rund 80% des einfallenden Strahlenspektrums reflektiert und absorbiert werden²⁸

Moderne Sonnenschutzfolien sind für das Spektrum des sichtbaren Lichts durchlässig (hohe Transmission), während große Anteile der Infrarot- und UV-Strahlung reflektiert bzw. absorbiert werden.²⁹ Trotzdem besteht ein Zusammenhang zwischen der Licht-

²⁸ <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/fenster/fensterschutz/hitzeschutzfolie.html>

²⁹ <https://www.sonnenschutzfolien-fenster.de/wissen.html>

und der Wärmedurchlässigkeit der Sonnenschutzfolien. So wird mit helleren, nahezu transparenten Sonnenschutzfolien eine Reduktion der solaren Einstrahlung von bis zu 50 % erreicht, während dunkle Folien die solare Einstrahlung um bis zu 90 % reduzieren können. Der UV-Schutz beträgt im Allgemeinen für helle sowie für dunkle Folien über 90 %.²⁸

Sonnenschutzfolien können prinzipiell sowohl innen als auch außen montiert werden. Bei moderner Doppelverglasung oder Dreifachverglasung empfehlen allerdings einige Hersteller eine Montage auf der Außenseite, da sich der Zwischenraum der Verglasung bei einer Innenmontage stark aufheizt kann, was im schlimmsten Fall zu einer Schädigung der Scheibe führen kann. Aus ähnlichen Gründen wird auch von einer teilflächigen Montage abgeraten. In diesem Fall können unterschiedliche Temperaturen am Glas zu Problemen führen.³⁰

Der große Vorteil von Hitzeschutzfolien ist, dass sie auf flachem Glas sehr einfach selbstständig montiert werden können. Werden Adhäsionsfolien verwendet, die völlig ohne Kleber an den Fensterscheiben haften, dann ist nicht nur die Montage besonders einfach, sondern auch die Entfernung, wenn die Folie nicht mehr benötigt wird. Die Haftung der Adhäsionsfolien am Fensterglas kommt dadurch zustande, dass die Oberfläche des Glases und die Oberfläche der Folie eine lockere, molekulare Bindung eingehen.

Zudem sind Sonnenschutzfolien vergleichsweise günstig. Die mittleren Kosten für geklebte Innenfolien liegen bei ca. 20 € pro m². Die Kosten für außenliegende Klebefolien liegen mit rund 25 € pro m² geringfügig höher. Adhäsionsfolien sind ab rund 30 € pro m² erhältlich.²⁸

Es gibt allerdings auch Nachteile, die berücksichtigt werden müssen. Ist es drinnen heller als draußen, können die Folien den Blick ins Freie stören. Je weniger Sonnenenergie sie passieren lassen, desto deutlicher sinkt tendenziell auch die Lichtdurchlässigkeit. Räume werden dann schlechter mit Tageslicht versorgt, sodass öfter das Licht eingeschaltet werden muss. Da Hitzeschutzfolien auch im Winter Sonnenlicht aussperren, verursachen sie laut Stiftung Warentest zudem zusätzliche Heizkosten. Außerdem können Sonnenschutzfolien im gewerblichen Bereich keinen optimalen Blendschutz für Arbeitsplätze gewährleisten, sodass weiterhin Schattenspender wie Außenjalousien nötig werden.²⁸

4.2.2 Außenliegende Verschattungsmöglichkeiten

Unter außenliegende Verschattungsmöglichkeiten werden in diesem Deliverable Außenjalousien, Markisen und ähnliches eingestuft. Mit diesen Verschattungsmaßnahmen kann der Wärmeeintrag in die Innenräume maßgeblich reduziert werden. Zu beachten ist, dass diese, wenn möglich immer auf der Außenseite angebracht werden sollten, da außenliegende Verschattungsmaßnahmen bis zu dreimal so wirksam wie innenliegende Verschattungsmaßnahmen sind. Dazu müssen

³⁰ <https://www.folienmarkt.de/Sonnenschutzfolie>

diese allerdings auch zur richtigen Zeit, und zwar bevor es zur direkten Sonneneinstrahlung kommt, eingesetzt werden. Intelligente Steuerungen helfen heutzutage dabei, die Verschattung sonnenstandsabhängig zu aktivieren, auch wenn gerade niemand zu Hause ist. Details zur Kopplung von außenliegenden Verschattungsmöglichkeiten mit Smart Home Systemen sind im Kapitel 7 angeführt.

4.3 Luft-Erd-Wärmetauscher

Luft-Erd-Wärmetauscher (L-EWT) nutzen die Speicherfähigkeit des Erdreichs, um Temperaturunterschiede auszugleichen. Das Prinzip des L-EWT beruht darauf, dass die Temperatur des Erdreiches von ca. 7-12°C (ab etwa 1,50 m unter Geländeoberkante) über ein erdverlegtes Rohrleitungssystem im Winter zur Vorwärmung und im Sommer zur Abkühlung der angesaugten Außenluft genutzt wird. Erfahrungsgemäß kann mit einem L-EWT die Zulufttemperatur im Winter um bis zu 20 K angehoben und im Sommer um bis zu 13 K reduziert werden.³¹ Bei einem L-EWT wird diese vortemperierte Luft direkt einem Lüftungssystem zugeführt. Ein schematischer Aufbau eines solchen Systems im Sommerbetrieb (Kühlfall) ist in Abbildung 33 dargestellt.

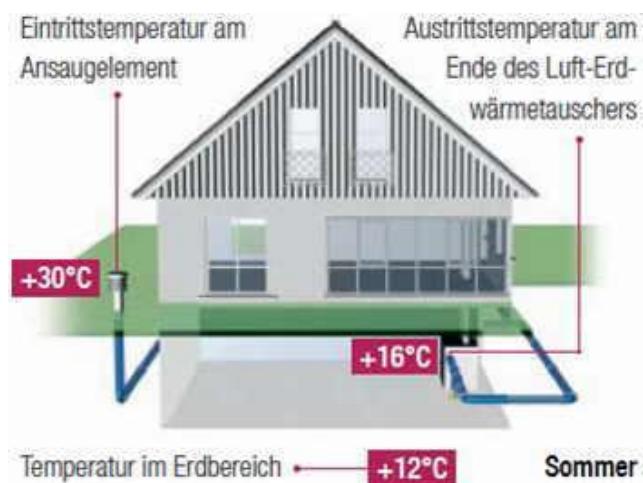


Abbildung 33: Funktionsprinzip eines Luft-Erd-Wärmetauschers im Sommerbetrieb³²

Wie in Abbildung 34 zu sehen ist steigt der nutzbare Temperaturunterschied mit zunehmender Tiefe an. Kurz auftretende Lastspitzen sind mit L-EWT gut ausgleichbar. Die ersten vier Meter Tiefe wirken sich am meisten auf den Temperaturunterschied zur Außentemperatur aus. Bei acht Meter Tiefe hält sich das Jahresmittel zwischen 8°C und 10°C.¹²

31 <https://inovatech.de/erdwärmetauscher/luft-erd-wärmetauscher/>

32 <http://www.bosy-online.de/Erdwärmetauscher-Luft.htm>

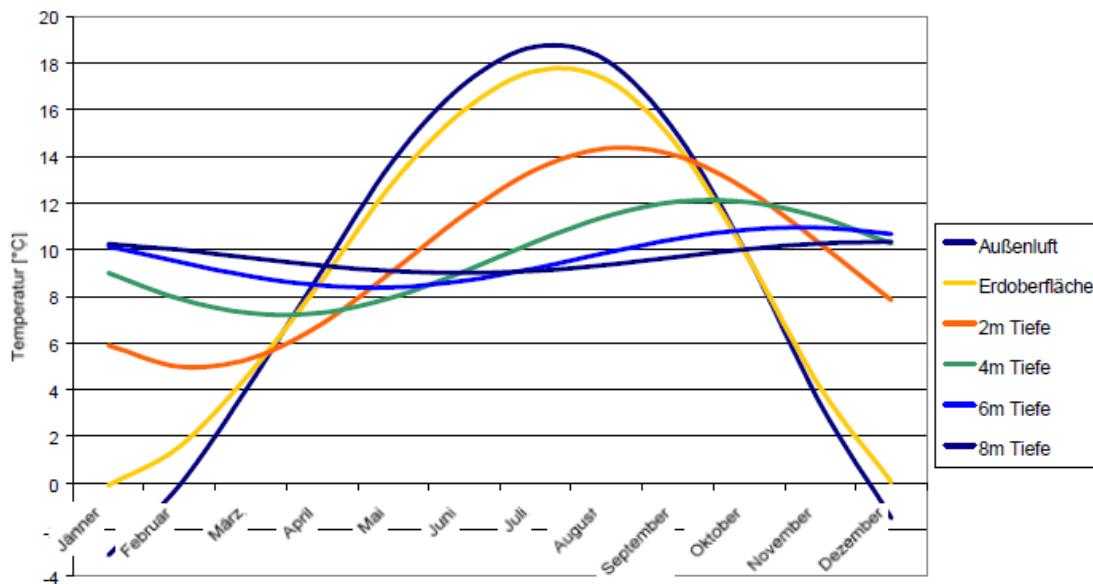


Abbildung 34: Mittlerer Jahrestemperaturverlauf des Erdreichs bei unterschiedlichen Tiefen¹²

In Abbildung 35 wurden mittels Sensitivanalyse verschiedene Parameter auf deren Einfluss auf den Kühlenergieertrag untersucht. Diese sind auf der Horizontalen aufgetragen, auf der vertikalen Achse ist die Änderung des Kühlenergieertrages zu sehen. Es ist ersichtlich, dass eine Änderung des Volumenstromes, der Leitungslänge und der Verlegtiefe den größten Einfluss auf den Kühlenergieertrag haben. Die Änderung der Beschaffenheit des Erdreichs wirken sich dagegen nur gering auf den Kühlenergieertrag aus. Rohrmaterial und Rohrdurchmesser haben eine vernachlässigbare Wirkung auf den Kühlenergieertrag.¹²

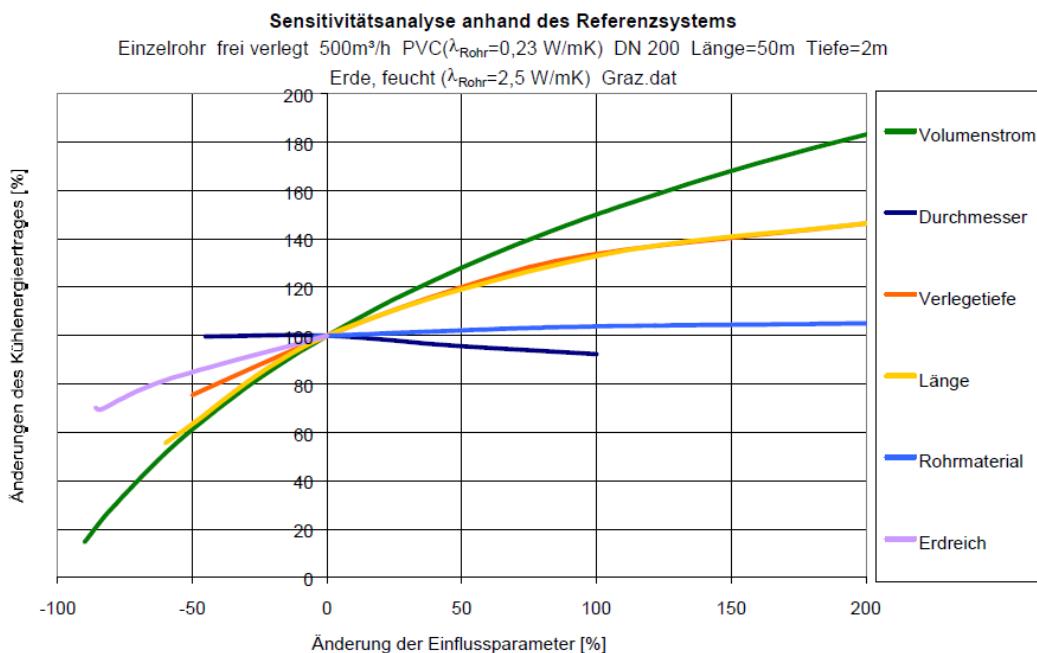


Abbildung 35: Sensitivitätsanalyse zur Änderung des Kühlenergieertrages¹²

Mit einem optimal dimensionierten L-EWT wird ein spezifischer Kühlenergieertrag von 300 Wh/m² pro Tag bzw. eine Kühlleistung von 40-60 W/m² erreicht.¹²

Vor und Nachteile:^{33 34}

- + Komfortgewinn durch Kühlung der Zuluft ohne zusätzliche Betriebskosten.
- + Kühlung der Zuluft auf angenehme Temperaturen zum Schutz vor Überhitzung des Gebäudes auch im Hochsommer.
- + Erhöhung der Raumluftqualität durch Entfeuchtung der Zuluft.
- + Für Allergiker geeignete Filter einsetzbar.
- + verhältnismäßig günstig (günstiger als Solewärmetauscher).
- Hygieneprobleme*
- Höherer Druckverlust als Sole-EWT
- wenig geeignet für stark radonbelastete Gebiete.

*Einige Hersteller raten aus hygienischer Sicht von der Installation eines L-EWT ab, da in den Rohren zum Teil eine erhöhte Anzahl an Bakterien bzw. eine Schimmelpilzbildung beobachtet wurde. Allerdings gibt es mittlerweile auch Produkte, die spezielle antimikrobielle Beschichtungen aufweisen, womit das Wachstum und die Verbreitung von Bakterien und Pilzen auf der Rohrinnenfläche maßgeblich reduziert werden kann. Eine alternative dazu stellen Sole-

33 <http://www.xn--komfortlftung-3ob.at/was-ist-eine-komfortlueftung/bestandteile/erdwaermetauscher/>

34 <https://www.rehau.com/at-de/luft-erdwaermetauscher-awadukt-thermo>

Erdwärmetauscher dar, die über einen Wärmetauscher mit dem Lüftungssystem verbunden sind (siehe Kapitel 4.4)

4.4 Wasserdurchströmter Erdwärmetauscher

Wasser- bzw. soledurchströmte Erdwärmetauscher können im Hinblick auf ihre Kühlfunktion grundsätzlich in zwei Gruppen unterteilt werden: Wasser(Sole)-Luft-Wärmetauscher und Wasser(Sole)-Wasser Wärmetauscher. Während Wasser(Sole)-Wasser-Wärmetauscher hauptsächlich in Kombination mit einer Erdwärmepumpe zum Einsatz kommen, und im Sommer in Kombination mit einem leitungsgebundenen Wärme(Kälte)-Abgabesystem zur passiven Kühlung (im Weiteren passives Kühlen mit Wärmepumpe genannt) genutzt werden können, diene Wasser(Sole)-Luft-Wärmetauscher (im Weiteren S-EWT genannt) zum Vorkühlen der Zuluft eines Lüftungssystems in den Sommermonaten.

4.4.1 Wasser(Sole)-Luft-Wärmetauscher

Der S-EWT basiert auf einem ähnlichen Funktionsprinzip wie der in Kapitel 4.3 beschriebene L-EWT, mit dem Unterschied, dass in diesem Fall die Zuluft nicht direkt über den Wärmetauscher angesaugt wird, sondern von einem entkoppelten Solekreislauf vorgewärmt/vorgekühlt wird. Wie in Abbildung 36 schematisch dargestellt, wird die Soleflüssigkeit über einen Erd-Kollektor oder eine Erdsonde durch den Soledefroster mit integriertem Wärmetauscher, welcher dem Lüftungsgerät vorgeschalten ist, geführt. Im Winterbetrieb wird die Erdwärme aufgenommen und über den Wärmetauscher an die angesaugte frische Außenluft wieder abgegeben. Bei -15 °C Außentemperatur und +7 °C im Erdreich werden beispielsweise +2 °C vor dem Lüftungsgerät erreicht. Im Sommerbetrieb wird dieses Prinzip umgekehrt genutzt, um mit dem kühleren Erdreich die Temperatur der Zuluft zu senken. Bei einer Erdreichtemperatur von +12 °C kann beispielsweise bei einer Außenlufttemperatur von 30 °C die Zulufttemperatur auf +18 °C gesenkt werden.³⁵

³⁵ <https://inovatech.de/erdwärmetauscher/sole-erd-wärmetauscher/>

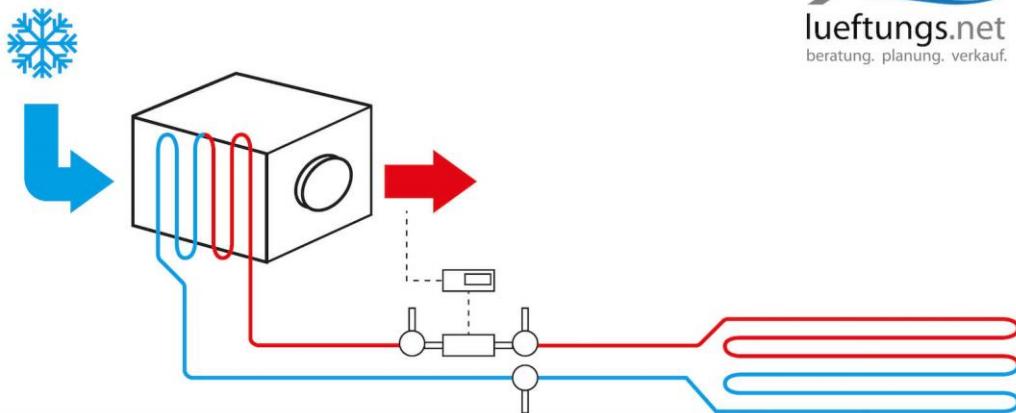


Abbildung 36: Schematisches Funktionsprinzip eines S-EWT im Winterfall³⁶

Vorteile im Vergleich zum L-EWT:

- + Bessere Hygiene
- + Leichtere Verlegung (geringerer Durchmesser, kein Gefälle)
- + Regelbarkeit über Pumpe
- + Geringer Druckverlust des Wärmetauschers
- + Außenluftfilter kann im Gebäude sein
- + Kostenvorteile bei größeren Gebäuden (MFH)

4.4.2 Passives Kühlen mit Wärmepumpe

Wenn ein Gebäude über eine Wärmepumpenheizung mit Erdwärmetauscher (Erdsonden, Flachkollektor, etc.) sowie über eine Flächenheizung oder Bauteilaktivierung verfügt, ist das passive Kühlen relativ einfach realisierbar. Der Wärmetauscher wird dazu genutzt, die Wärme des Hauses in die Erdsonden abzuführen. Hierzu bedarf es lediglich eines weiteren Ventils, das die Wärmepumpe sozusagen umgeht. Dadurch lässt sich das im Zentralheizungssystem umlaufende Wasser über einen Wärmetauscher abkühlen, ohne dass die Wärmepumpe aktiv betrieben werden muss. Die Böden oder aktivierte Bauteile werden unter die Raumtemperatur gekühlt, so dass sie den Räumen Wärme entziehen.³⁷

³⁶ <https://www.lueftungs.net/magazin/sole-luft-waermetauscher-fuer-eine-moderne-wohnraumlueftung/>

³⁷ <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/betrieb/kuehlen.html#c13512>

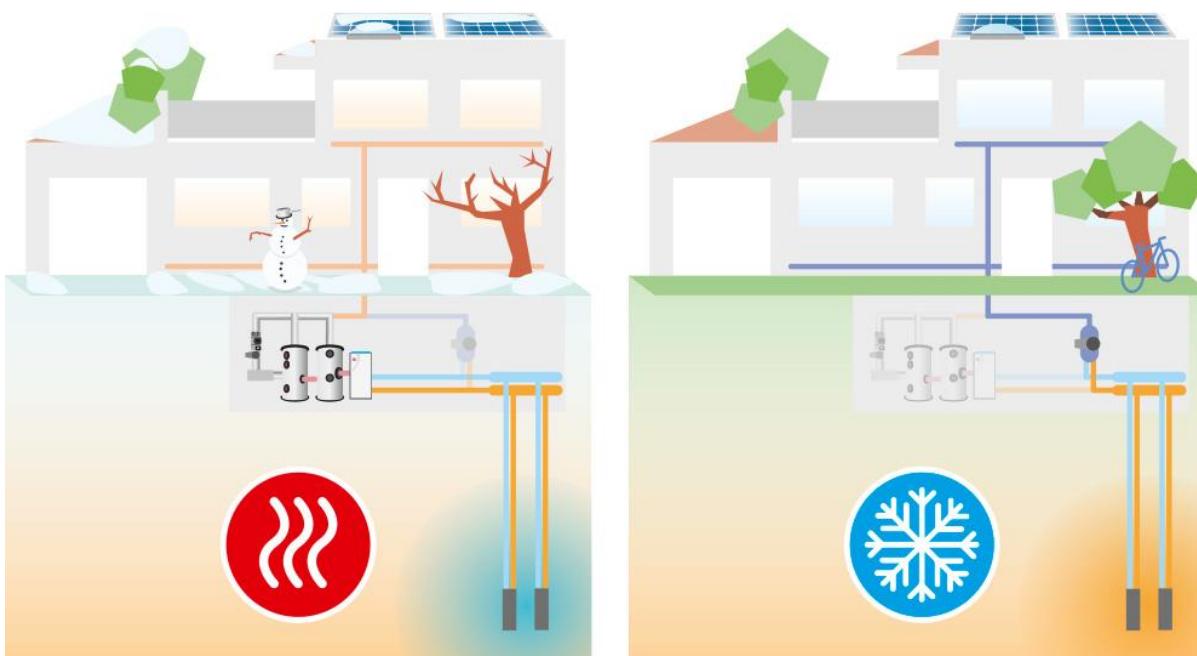


Abbildung 37: Links: Heizen mit Erdwärmepumpe, Rechts: Passives Kühlen mit Erdwärmepumpe³⁸

Letztlich beruht das passive Kühlen nur auf einer Regelung, die die Primärpumpe einschaltet, ohne dass der Verdichter der Wärmepumpe angetrieben wird. Betriebsenergie wird daher in der Regel nur für zwei Umwälzpumpen benötigt: eine für den Sole- und eine für den Heizkreislauf. Diese ist um ein Vielfaches geringer als die Betriebsenergie die für eine aktive Kühlung mit einer Wärmepumpe benötigt werden würde. Bei einer passiven Kühlung mit Erdsonden kann beispielsweise mit einer Leistung von rund 100 W eine Kälteleistung von über 2.000 W erzielt werden.³⁷

Bei diesem Kühlvorgang wird das Erdreich in der Umgebung der Erdwärmesonden aufgewärmt. Die Folge davon ist, dass die Wärmepumpe im späteren Heizbetrieb oder bei der Erzeugung von Warmwasser eine höhere Leistungszahl erzielt. Auf diese Weise kann unter Umständen im Mittel sogar mehr Energie eingespart werden, als der Betrieb der Kühlung benötigt.

An manchen Standorten ist viel kaltes Wasser z. B. aus einem nahegelegenen Fluss bzw. See oder auch Grundwasser verfügbar. (Wenn im Winter eine Wasser-/Wasser-Wärmepumpe betrieben wird, ist für das Vorhandensein des Wassers ohnehin schon gesorgt.) Solches Wasser ist für die Kühlung sehr nützlich. Wenn keine extrem großen Wärmemengen abgeführt werden müssen, ist die resultierende Aufwärmung eines Gewässers so gering, dass keine ökologischen Effekte zu befürchten sind.

Der Anlagenaufwand ist ebenfalls relativ gering. Es wird Wasser über eine geeignete Filteranlage, die gelegentlich gereinigt werden muss, angesaugt und nach

³⁸ <https://www.cta.ch/de-ch/waerme/free-cooling/?oid=2589&lang=de>

Aufwärmung in der Anlage anderswo wieder eingeleitet. Dieselbe Anlage kann im Winter über eine Wärmepumpe auch für Heizungszwecke genutzt werden.

4.4.3 Geeignete Kühlflächen

Herkömmliche Klimaanlagen geben gekühlte Luft über einen oder mehrere Kanäle bzw. Innengeräte wie Wand-, Kassetten-, Kanalgeräte oder Mini-Standtruhen an den zu kühlenden Raum ab. Reversible Wärmepumpen und passiv kühlende Wärmepumpen sind dagegen an ein Warmwasser-Heizsystem gebunden, welches an kalten Tagen die Wärme über Heizflächen an die Räume abgibt. Zur Raumkühlung können folgende Technologien genutzt werden:³⁷

- Fußbodenheizungen,
- Kühldecken,
- Gebläsekonvektoren (siehe Kapitel 4.4.1) und
- aktivierte Bauteile (Betonkernaktivierung).

Fußbodenheizung/kühlung

Ist ein Gebäude bereits mit Fußbodenheizung ausgestattet, liegt es nahe, die Fußbodenheizung im Sommer auch zur Kühlung zu nutzen. Die Fußbodenheizung ist in der Lage, in den Sommermonaten für mehr Wohlgefühl in den eigenen vier Wänden zu sorgen, indem sie die Temperatur moderat absenkt.³⁹ Bei großer Wärmebelastung stößt die Fußbodenkühlung allerdings an ihre Grenzen da die Oberflächentemperatur aus mehreren Gründen nicht zu stark abgekühlt werden darf. Einerseits wird ein zu kühler Boden als unbehaglich empfunden, und andererseits muss darauf geachtet werden, dass es zu keiner Taupunktunterschreitung kommt bei dem Kondenswasser entsteht. Der für die Heizung positive Effekt der aufsteigenden Wärme, wirkt sich bei der Kühlung negativ auf die Abgabeleistung aus.

Kühldecken

Der Einbau in der Decke bietet vor allem für die passive Kühlung über das großflächige und homogene Bauteil systemische Vorteile: Warme Raumluft steigt stets nach oben. An der kühleren Decke wird sie abgekühlt und „fällt“ zurück nach unten, wo sie allmählich erneut im Raum erwärmt wird. Diese Bewegung und der damit verbundene Wärmeentzug aus der Raumluft vollzieht sich rein physikalisch und langsam, aber dennoch stetig. Hinzu kommt, dass anders als herkömmliche Klimaanlagen, die die Wärme konvektiv mit Hilfe des Luftaustauschs aus dem Raum entziehen, Kühldecken die Küllast mittels Strahlung aus dem Raum abführen. Zuglufterscheinungen sind durch diesen Prozess ausgeschlossen und die gefühlte Behaglichkeit im Raum nimmt zu.⁴⁰

³⁹https://www.hoval.at/de_AT/K%C3%BChlen-mit-W%C3%A4rmepumpe%3A-die-nachhaltige-Alternative-zur-Klimaanlage/kuehlen-mit-waermepumpe

⁴⁰ <https://www.flaechenheizung.de/fachinformationen/kuehlung/>

Die Behaglichkeit ist ein wesentliches Argument für den Einsatz einer Heiz- und Kühldecke. Für den Menschen schafft sie ein subjektives Wohlgefühl, das bei jedem Bewohner sehr individuell ausfällt und von den Faktoren Temperatur, Feuchte und Luftgeschwindigkeit bestimmt wird. Darüber hinaus hat die Empfindungstemperatur einen besonderen Stellenwert. Sie setzt sich zusammen aus dem Mittelwert der Oberflächentemperatur der raumumschließenden Bauteile (also Wände, Boden und Decke) und der Raumlufttemperatur. Ist nun eine Kühldecke verbaut, wird die Oberflächentemperatur der Decke gegenüber der Lufttemperatur leicht abgesenkt. Bei gleicher empfundener Temperatur kann durch den Einsatz einer Kühldecke die Raumlufttemperatur jedoch bis zu 3 °C höher ausfallen als beim Einsatz von Nur-Luft-Kühlanlagen – und das, ohne dass die geistige Leistungsfähigkeit der Raumnutzer dabei abnimmt.⁴⁰

Das Funktionsprinzip einer Kühldecke ähnelt dem einer Fußbodenheizung. Sie besteht ebenfalls aus einem Rohrsystem, das jedoch in oder unter der Rohdecke verlegt wird. Je nach Ausführung werden die wasserführenden Rohre an der Oberfläche mit einem vollflächigen Deckenputz versehen, der die Wärme – bzw. bei einer Kühldecke die Kälte – im Raum verteilt.⁴⁰

Als Trockenbausystem kann eine Deckenkühlung auch im Bestandsbau nachgerüstet werden. Dazu werden Gipsfaserplatten auf eine Unterkonstruktion aus Holz oder Metall geschraubt. Die in der Rückseite eingelegten Kühlrohre werden am Kühl- und Heizkreisverteiler angeschlossen. Die Flächenkühlung im Trockenbau ist daher auch für denkmalgeschützte Gebäude sowie Räume, in denen der Fußboden erhalten bleiben soll, geeignet.⁴¹

Bauteilaktivierung⁴²

Eine der wichtigsten Eigenschaften der thermischen Bauteilaktivierung (TBA) besteht darin, dass mit dieser sowohl geheizt als auch gekühlt werden kann. Die Möglichkeit zum Kühlen erweist sich bereits jetzt – auch bei Wohngebäuden – als wertvoller, vielfach auch notwendiger Beitrag für die Sicherstellung eines über das ganze Jahr gesicherten hohen thermischen Komforts. Vor dem Hintergrund des derzeit ablaufenden Klimawandels wird die Bedeutung dieser Thematik bereits in naher Zukunft stark ansteigen. Die ganzjährige Temperierung von Wohngebäuden mittels TBA kann damit als wichtiger Bestandteil von Planungsansätzen in Bezug auf zukunftsgerechtes Bauen eingeordnet werden. Als TBA werden Systeme zum Heizen und Kühlen von Räumen bzw. ganzen Gebäuden bezeichnet, deren Besonderheit darin besteht, dass die Heiz- bzw. Kühlregister im Zuge der Errichtung des Gebäudes in Bauteile einbetoniert werden. Aufgrund der üblicherweise sehr großen Registerflächen wird ein solches Heiz- und Kühlensystem in die Kategorie „Flächenheizung“ eingestuft. Ein

⁴¹ <https://www.variotherm.com/de/wissen/alternative-klimaanlage.html>

⁴² https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/sdz_pdf/schriftenreihe-2016-9-energiespeicher-beton.pdf

nachträglicher Einbau eines solchen Systems gestaltet sich daher als schwierig und ist nur im Zuge von umfassenden Umbauarbeiten im Bestandsbau realisierbar.

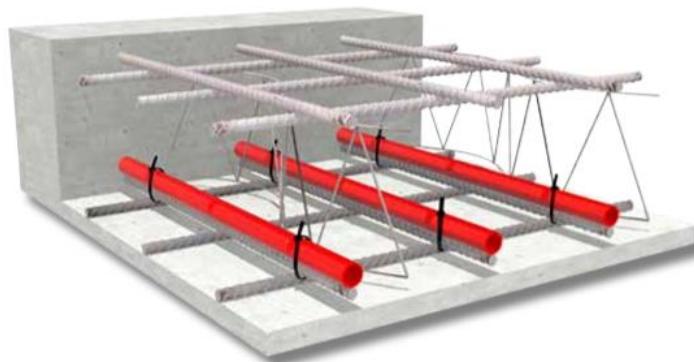


Abbildung 38: Schematische Abbildung der Bauteilaktivierung einer Geschoßdecke⁴²

Die gute Wärmeleitfähigkeit von Beton sorgt dafür, dass die Wärme ohne großen Widerstand und damit rasch vom Rohrregister in die thermisch aktivierte Decke eindringen kann. Die sehr gute Wärmespeicherfähigkeit von Beton bewirkt zudem, dass dem „Heizkörper“ – also der thermisch aktivierten Betondecke – relativ große Wärmemengen zugeführt werden können, ohne dass dadurch seine Temperatur stark erhöht wird. Dies ist für die TBA insofern von besonderer Bedeutung, als der thermische Komfort im beheizten Raum maßgeblich von den Temperaturen der dem Raum zugewandten Oberflächen bestimmt wird. Stark unterschiedliche Oberflächentemperaturen, wie sie z. B. bei konventionellen Heizkörpern mit Vorlauftemperaturen um und über 50 °C zwangsläufig auftreten, haben eine negative Auswirkung auf die Behaglichkeit im Raum. Große, moderat beheizte Flächen, wie z. B. eine thermisch aktivierte Decke, sorgen hingegen für nahezu einheitliche innere Oberflächentemperaturen der raumbildenden Bauteile und garantieren damit besten thermischen Komfort. Das gilt auch für die Kühlung über die Sommermonate.

TBA lassen sich außerdem ausgezeichnet mit erneuerbaren Energien kombinieren (Solarkollektoren, Wärmepumpen angetrieben mit Strom aus Photovoltaik oder Windkraftanlagen). Die Kühlung über die TBA kann dabei sowohl aktiv als auch passiv erfolgen. Bei der passiven Kühlung (siehe Abbildung 39) wird die niedrige Temperatur einer geeigneten Wärmesenke direkt zum Kühlen der Bauteile genutzt. Der Betrieb eines Verdichters (einer Wärmepumpe) ist nicht notwendig. Da die Außenluft in der Regel bei Wohnungsnutzung und gegebenem Kühlbedarf aufgrund zu hoher Temperaturen nicht für den Free-Cooling-Betrieb geeignet ist, müssen alternative Wärmesenken mit einem niedrigen Temperaturniveau erschlossen werden. Für diesen Zweck kommen Erdkörper, Grundwasser, Flusswasser etc. in Frage. In jedem Fall ist die Genehmigungssituation der Nutzung dieser Wärmesenken zu überprüfen.

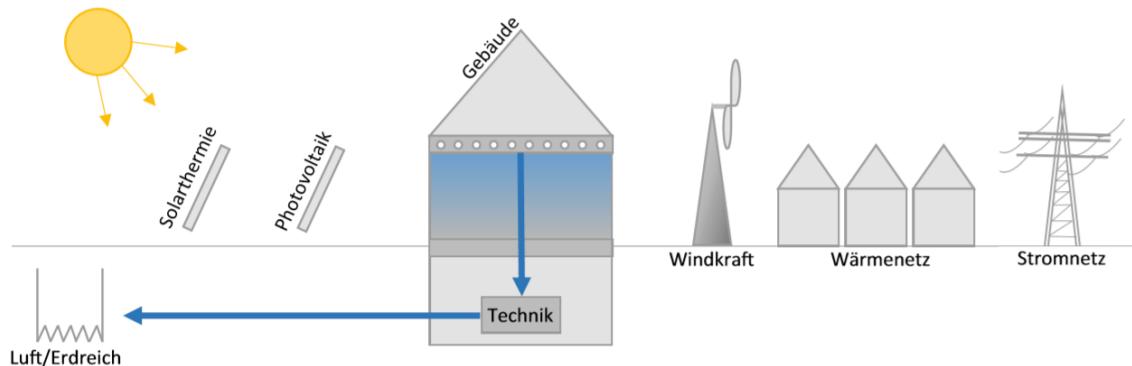


Abbildung 39: Nutzung von Umweltenergien zur passiven Kühlung mit einer Wärmepumpenheizung⁴²

Bei einer genügend hohen Anzahl von Gebäuden mit thermisch aktivierbaren Bauteilen kann außerdem die Übernahme von Spitzenstrom aus erneuerbaren Energien helfen, Angebotsspitzen zu glätten und im Gegenzug den Strombedarf zu Zeiten niedrigen Angebots zu drosseln.

Eine prädiktive Bauteilaktivierung nutzt Prognoseredaten um ein Gebäude vorausschauend auf die Wetterbedingungen der nächsten Stunden/Tage einzustellen. Da es sich bei der TBA um ein träges System handelt, kann so rechtzeitig auf (vorausgesagte) Änderungen der Außenlufttemperatur eingegangen werden so dass es zu keinen Komforteinbußen wegen zu später oder übermäßiger Kühlung kommt. Prädiktive Gebäudeautomation zielt ferner darauf ab, thermisch aktivierte Bauteilsysteme vorausschauend so zu beladen bzw. zu entladen, dass sie mit einem minimalen Zusatzenergiebedarf bei moderaten Betriebstemperaturen auskommen und die Potentiale des bauteilintegrierten Energie-Verteilsystems umfassend ausgenutzt werden können. Das Regelverhalten der massiven Bauteile ist geprägt durch hohe Zeitkonstanten beim Be- und Entladen der thermischen Masse, was eine schnelle Anpassung der Raumtemperaturen an die jeweiligen Außenbedingungen erheblich erschwert. Deshalb ist der Einsatz von (Wetter)Prognosen gerade bei der Bauteilaktivierung sehr hilfreich.

Einsatzgebiete⁴³

Da die TBA direkt im Betonkern des Bauwerks eingebaut werden, kommt das System fast ausschließlich im Neubau zum Einsatz. Bisher werden TBA vor allem im Bürobau eingesetzt, was hauptsächlich an der damit verbundenen komplizierteren Regelcharakteristik liegt. Im Einfamilienhaussektor wird häufig eine Einzelraumregelung gefordert. TBA können als Grundlastsystem gemeinsam mit einem zweiten „schnellen“ Heiz-/Kühlsystem oder für den monovalenten Betrieb dimensioniert werden. Ein monovalentes System (nur ein Heiz- bzw. Kühlsystem) stellt höhere Ansprüche an die

⁴³ https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/hdz_pdf/berichte/endbericht_2017-45_mpc-boxes.pdf

Planung und an die Regelung. TBA's müssen bereits in einer sehr frühen Phase des Bauablaufs installiert werden, was einen frühzeitigen Abstimmungsbedarf zwischen Installateur und Betonbaufirma erfordert.

Ein üblicher Verlege-Abstand zwischen den Rohren ist 150 mm bis 200 mm. Bezogen auf die Fläche eines Rohrleitungskreises ist die Grenze ca. 25 m² indirekt bestimmt durch den Rohrdurchmesser ($d=20$ mm maximale Länge 150 m, $d=17$ mm maximale Länge 120 m) und die sich ergebenden Druckverluste. Mehrere Kreise werden zu einer Zone zusammengefasst (Nord, Süd, Eckbüros, etc.), wobei sich die Zonen durch deren Vorlauftemperatur unterscheiden.

Aus bauphysikalischer Sicht ist es außerdem wichtig, dass die thermisch aktivierten Oberflächen tunlichst frei an den zu konditionierenden Raum grenzen und nicht durch wärmedämmende Schichten abgeschirmt werden. Bei der Decke ist dies leicht umsetzbar. Bei thermischer Aktivierung von Geschoßdecken zwecks Beheizung oder Kühlung der Fußböden ist diese Forderung hingegen in der Regel nur mit Inkaufnahme eines Rückgangs der Effektivität des Temperierungssystems zu erfüllen. Auch im Vergleich zu Wandheizungen hat die thermische Aktivierung der Decke ihre Vorteile: Der Einbau der Rohrregister ist ungleich einfacher. Zudem ist die Gefahr des Treffens von Registerrohren beim Bohren von Dübellöchern für Aufhängungen kaum noch gegeben. Überdies erübrigen sich Überlegungen in Hinblick auf die Zulässigkeit von Möblierungslösungen

Vor- und Nachteile

Da dieses System gewöhnlich sowohl für die Raumheizung in den Wintermonaten als auch für die Kühlung in den Sommermonaten verwendet wird adressieren die Vor- und Nachteile beide Einsatzzwecke

Vorteile⁴⁴:

- + Heizen und Kühlen ist möglich
- + Für die Kühlung von Räumen kann Grundwasser genutzt werden.
- + Beton kann Wärme zwischenspeichern und zeitversetzt abgeben
- + hoher thermischer Komfort übers Jahr (ohne aktive Kühlung)
- + Geringerer Energieverbrauch, hohe Behaglichkeit (geringe Temperaturunterschiede der Oberflächen)
- + Gut mit Wärmepumpen kombinierbar

⁴⁴https://www.ea-stmk.at/documents/20181/21043/AEE_INTEC_Bauteilaktivierung.pdf/f1b9991c-a476-4274-88a0-a63c2701a56e

Nachteile:

- aufwendige Nachrüstung im Bestandbau
- Die Installationskosten sind höher als bei der Konvektionsheizung
- Betonkernaktivierung reagiert langsam auf Veränderungen der Außentemperatur
- Für die Planung und Steuerung der Anlage ist das Know-how bzw. die Zusammenarbeit von Fachleuten frühzeitig gefragt.
- Akustik an der Decke nur eingeschränkt möglich!
- Hochwertige Gebäudehülle und geringe Lüftungsverluste erforderlich, geringe Heizlast

4.5 Sprühnebel

Luftkühlung mit Sprühnebel funktioniert so, dass mit einem Druck von rund 80 bar ein einzelner Wassertropfen in ungefähr 12.000.000 Nebeltröpfchen zerstäubt wird. Die Oberfläche wird vergrößert und erreicht den höchsten Wirkungseffekt (ähnlich zu Farbsprühsystemen). Die umgebende Luft nimmt diese Feuchtigkeit auf und lässt den Sprühnebel so rasch verdunsten, dass eine Kühlung von bis zu 10°C erreicht werden kann.⁴⁵

Sprühnebel-Ventilatoren besitzen die Funktion, dass sie einen Wassernebel produzieren, der über dem Wirkungsbereich des Ventilators liegt. Dieser Effekt wird durch kleine Düsen verursacht, die sich hinter Rotorblättern befinden. Wenn sie den Ventilator einschalten (ideal 50-80 W und 35 dB in geschlossenem Raum), besprühen die Düsen die rotierenden Blätter so, dass ein feiner Wassernebel entsteht. Die Wasserquelle kommt aus einem Wassertank (Verbrauch ca. 6 Liter je 8 Stunden, bei täglichem Normalbetrieb), welcher meist in Bodennähe am Gerät befestigt wird.⁴⁶

Es gibt auch Sprühnebelanlagen ohne Ventilatoren. Sanfter Sprühnebel wird über Düsenleitungen, die z.B. an Markisen, Sonnenschirmen oder einer Pergola befestigt sind, an die unmittelbare Umgebung abgegeben. In Verbindung mit den erhältlichen Sprühnebel-Ventilatoren kann die Kühlung im Freien noch weiter erhöht werden. Diese speziell für die Wassernebel-Kühlung konstruierten Sprühventilatoren⁴⁷ verfügen über einen vorgesetzten Düsenring aus Edelstahl zur Aufnahme von 5 - 20 Nebeldüsen. Je nach Größe des zu kühlenden Raums kann somit die Kühlleistung justiert und über den Nebelventilator auf eine Fläche von bis zu 40 m² verteilt werden.

Nachteil beim Einsatz von Sprühnebel in Innenräumen ist die ansteigende relative Luftfeuchtigkeit. Das eingedüste Wasser verdunstet in der Luft, das auch als adiabate

⁴⁵ <https://www.raintime.at/luftkuehlung-mit-spruehnebel-einfach-zu-installieren-kostenguenstig-effizient/>

⁴⁶ <https://deine-mobile-klimaanlage.de/spruehnebel-ventilatoren-die-klimaanlage-fuer-ihr-en-garten/>

⁴⁷ https://www.beiser-agrar.de/media/cct/PDF/0599000018_brumi_ventilateur_500W_DE.pdf

Kühlung bezeichnet wird. Dabei reduziert sich zwar die Lufttemperatur, jedoch steigt die relative Luftfeuchtigkeit an, wie in Abbildung 40 ersichtlich. Dies kann unter bestimmten Umständen dazu führen, dass sich die gekühlte Luft im Behaglichkeitsfeld befindet und für die Menschen ein behaglicheres Gefühl entsteht. Es ist jedoch anzumerken, dass diese kühlere, feuchtere Luft insbesondere bei körperlicher Tätigkeit verstärkt zum Schwitzen führen kann.

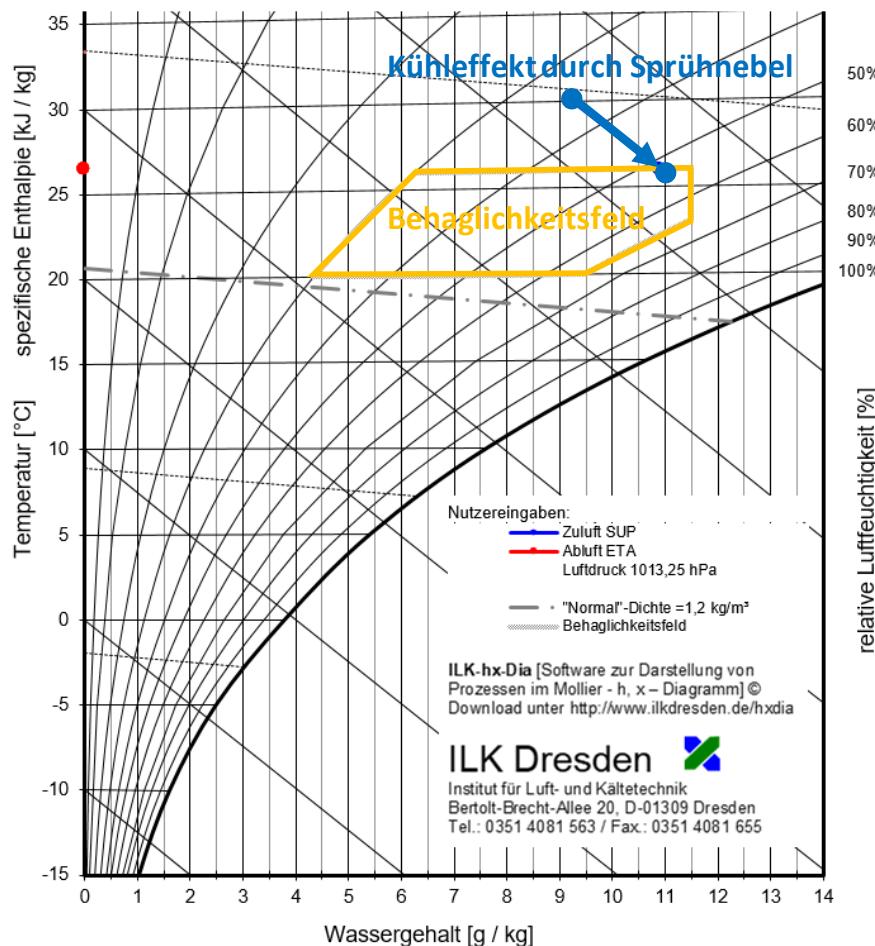


Abbildung 40: Kühleffekt durch Sprühnebel (blau: Temperaturreduktion; orange: Behaglichkeitsfeld), Quelle: GET

4.6 Eisspeicher

Eisspeicher sind eine Untergruppe der Latentwärmespeicher, bei denen Wasser als Speichermedium verwendet wird. Wie in Abbildung 41 dargestellt werden Eisspeicher zur Gebäudeheizung/kühlung in der Regel in Kombination mit Solarkollektoren und einer Wärmepumpe installiert. Im Winter entzieht die Wärmepumpe dem Eisspeicher so viel Wärme, sodass sich dieser im Winter auf 0 °C abkühlt. Bei weiterem Wärmeentzug gefriert das Wasser. Daher spricht man hierbei auch von sogenanntem "Solareis". Von da an kommt das Latentwärmprinzip zum Tragen, das beim Übergang vom flüssigen zum festen Zustand funktioniert. Mittels Solarkollektoren kann der

Eisspeicher in sonnigen Phasen wieder regeneriert werden. So kann der Wärmebedarf im Winter mit einem relativ kleinen Eisspeichervolumen gedeckt werden.⁴⁸

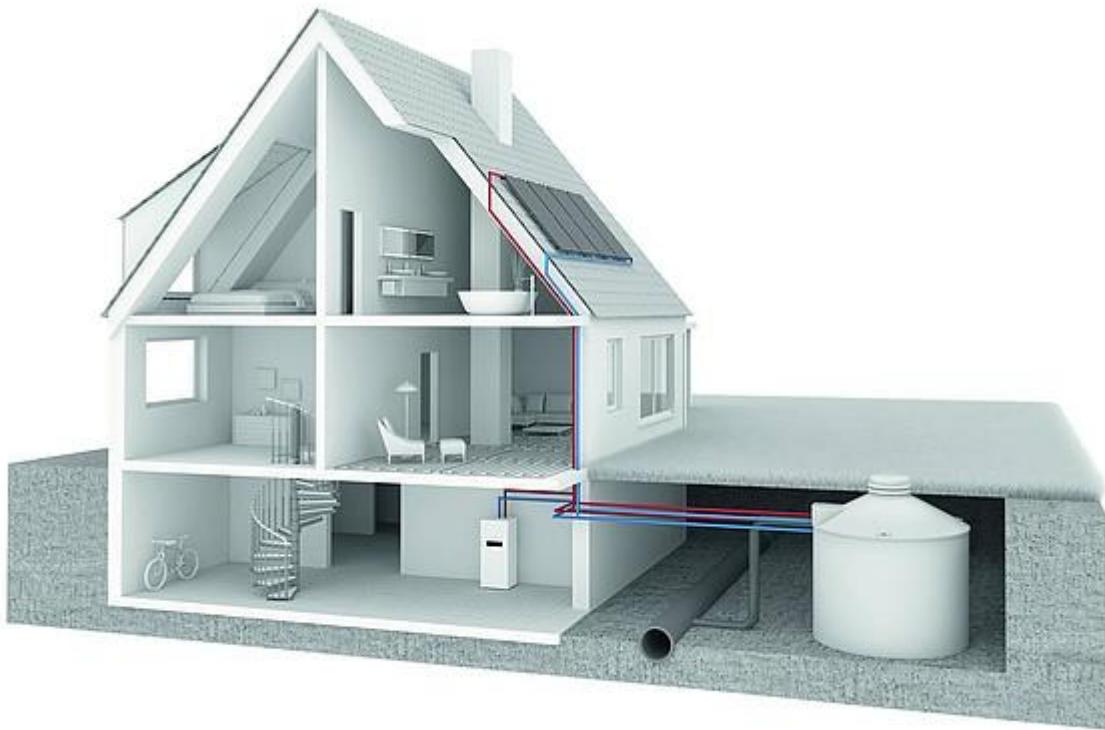


Abbildung 41: Schematische Darstellung der Anbindung eines Eisspeichers an eine Wärmepumpe als Wärmequelle und Speicher der Wärme der Solarkollektoren⁴⁹

Wenn ein Eisspeicher im Sommer auch zur Kühlung verwendet werden soll, muss die Erwärmung bzw. Regeneration des Eisspeichers ab einer bestimmten Temperatur im Frühling unterbrochen werden. Dafür werden die Solarkollektoren abgeschaltet und die Wärme aus dem Gebäude mittels Wärmetauscher abgeführt. Über einen Regenerationswärmetauscher wird der Schmelzprozess im Eisspeicher aktiviert. Grundsätzlich kann mit einem Eisspeicher sowohl passiv als auch aktiv gekühlt werden. Bei der passiven Kühlung wird der Regenerationswärmetauscher als Wärmesenke für das Wärmeabgabesystem (Flächenheizung) genutzt und damit den Räumen Wärme entzogen. Die Wärmepumpe kommt nicht zum Einsatz. So entstehen zur Kühlung kaum zusätzliche Kosten (nur die Umlaufpumpen müssen betrieben werden), da lediglich die vorhandene Energie aus dem Eisspeicher genutzt wird. Mit dem positiven Effekt, dass sich der Eisspeicher regeneriert und im Winter mehr Wärme entnommen werden kann. Allerdings ist die Kühlleistung eines Eisspeichers begrenzt, in puncto Kapazität ebenso wie bei der technischen Umsetzung. Mit einem herkömmlichen EFH-Eisspeicher mit 10 m³ können trotz hoher Leistungsdichte in der Regel nur zwei Räume über die gesamte Hitzeperiode gekühlt werden. Für die Kühlung eines gesamten EFH reicht die

⁴⁸ <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/arten/eisspeicher.html>

⁴⁹ <https://www.viessmann.de/de/wohngebäude/waermepumpe/eis-energiespeicher/eisspeichersystem.html>

gespeicherte Energie nicht aus, bzw. wäre sie wahrscheinlich in der Mitte der Kühlperiode aufgebraucht. Deshalb muss der Eisspeicher für die Kühlfunktion eigens dimensioniert werden, wenn der Kühlbedarf vollständig (mittels passiver Kühlung) gedeckt werden soll.⁵⁰

Werden höhere Kühlleistungen benötigt kann mittels Eisspeicher auch aktiv, also unter Einbeziehung der Wärmepumpe gekühlt werden. Der Eisspeicher wird über das vorhandene Regelsystem der Wärmepumpe zur Flächenkühlung genutzt. Der Strombedarf für eine aktive Kühlung liegt allerdings weit höher als bei der Passiven. Vor allem wenn der Eisspeicher komplett abgetaut ist, lässt die Effizienz der Wärmepumpe deutlich nach. Die Kühlung ist zwar weiterhin möglich, die Effizienz liegt dann aber im Bereich einer Luftwärmepumpe.

Eisspeicher sind mittlerweile auch als Standardlösung für normale Ein- und Zweifamilienhäuser erhältlich und helfen, die Effizienz von Wärmepumpen deutlich zu steigern. Im direkten Vergleich mit einem Flächenkollektor fallen die notwendigen Investitionen für ein Eisspeichersystem für gewöhnlich jedoch höher aus. Aus finanzieller Sicht ist daher kein entscheidender Kostenvorteil auf Seiten des Eisspeichers auszumachen. Bestehen allerdings Beschränkungen bei der Bohrtiefe, sind aus Gewässerschutzgründen keine Bohrungen erlaubt, oder ist das Grundstück zu klein, um einen Flächenkollektor auszulegen, so ist ein Eisspeicher eine aus praktischer Sicht attraktive Alternative zu einer herkömmlichen Erdwärmeheizung.⁵¹

4.6.1 Best-Practice Beispiele

HOT ICE Weiz⁵²

Das Projekt „HOT ICE“ befasst sich mit der Latentwärmemenutzung durch Eisspeicher und Wärmepumpe in Kombination mit Solarkollektoren und einer Photovoltaik-Anlage für ein Mehrfamilienhaus als Pilotprojekt für die dezentrale Wärmeversorgung in der Energiestadt Weiz.

Im Rahmen dieses Projektes errichtete die Fernwärme Weiz GmbH am Standort Bärentalweg eine Wärmepumpe auf Basis einer Eisspeichertechnologie für die Beheizung und Kühlung des Mehrparteienhauses, das sie nun betreibt. Seitens des Bauherrn, der gemeinnützigen Siedlungsgesellschaft ELIN GmbH, wurden anstelle von Radiatoren Flächenheizsysteme installiert, die neben der Beheizung der Räume in Kombination mit der Wärmepumpe auch eine Kühlung der Räume in den Sommermonaten ermöglichen. Der für den Betrieb der Wärmepumpe benötigte Strom wird soweit möglich mit einer Photovoltaikanlage produziert. Um die Stromproduktion maximal ausnützen zu können, erfolgte die Auslegung der

⁵⁰ <https://www.ikz.de/detail/news/detail/effizientes-kuehlen-mit-eisspeicher/#:~:text=Zus%C3%A4tzlich%20zur%20W%C3%A4rmepumpe%20werden%20spezielle,K%C3%BChlung%20des%20Geb%C3%A4udes%20genutzt%20werden>

⁵¹ <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/arten/eisspeicher.html>

⁵² <https://www.innovationszentrum-weiz.at/veranstaltungen-aktuelles/detail/projekt-hot-ice>

Wärmepumpe in Kaskadenform. Des Weiteren wurden im Bereich der Wechselrichter Leistungsschaltsysteme installiert, die den Direktbetrieb einzelner Abnehmer ermöglichen.



Abbildung 42: Links: Foto des mit Eisspeicher geheizt und gekühlten Wohngebäudes, rechts: Foto des noch leeren Eisspeichers⁵²

Ecolab⁵³

Eine andere Dimension stellt der Eisspeicher für einen Bürokomplex mit 900 Mitarbeitern der Firma Ecolab dar. Hier wurde mit einer Kapazität von 1,8 Millionen Litern das weltweit größte Eisspeichersystem verbaut. In dem 18 mal 25 Meter großen Behälter wird Wasser sowohl durch Solar-Luftabsorber als auch über das umgebende Erdreich erwärmt und von der Wärmepumpe in Heizwärme umgewandelt. Sinkt dabei innerhalb der Zisterne die Temperatur auf den Gefrierpunkt, wird allein durch die Vereisung des Wassers weitere Wärme gewonnen. Energie aus der Umgebungsluft taut den Eisspeicher wieder auf. Durch den kontinuierlichen Wechsel zwischen Gefrieren und Auftauen steht der Wasserinhalt des Eisspeichers quasi unbegrenzt als Wärmequelle zur Verfügung. Im Sommer kann der Eisspeicher außerdem zur Kühlung des Gebäudes genutzt werden. Die Kosten des Eisspeichersystems liegen dabei nicht wesentlich über jenen einer herkömmlichen Anlage.

⁵³ <https://www.viessmann.de/de/wohngebaeude/waermepumpe/eis-energiespeicher/eis-energiespeicher-systeme-grossanlagen.html/>

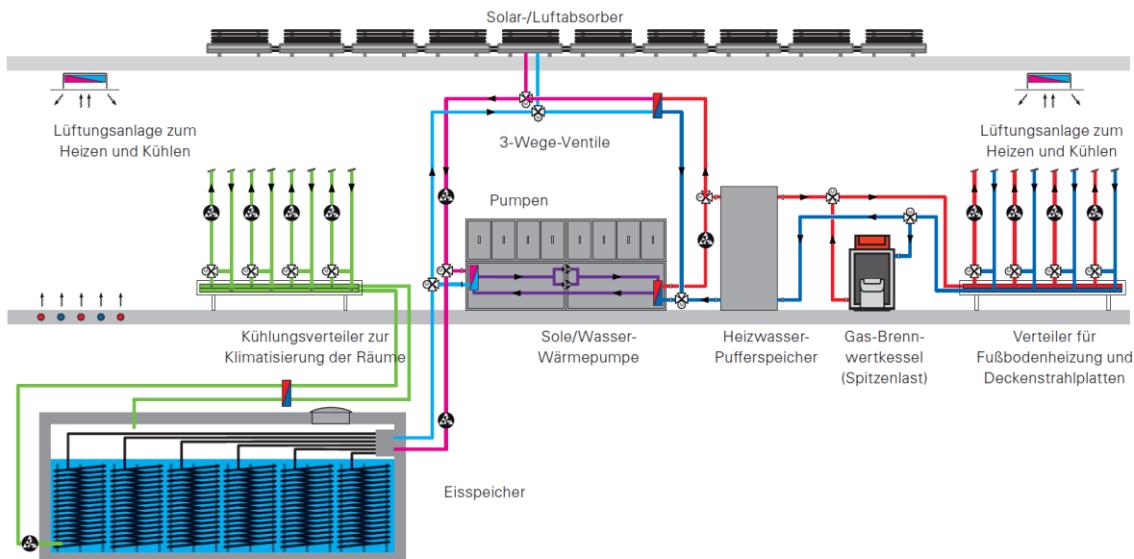


Abbildung 43: Hydraulics schema des Eisspeichersystems⁵³

4.7 Deckenkühlung mit PCM

PCM steht für „Phase Change Material“ und bezeichnet Materialien, welche einen Phasenwechsel (fest/flüssig) in einem für die technische Nutzung geeigneten (schmalen) Temperaturbereich vollziehen und dabei große Mengen an Wärmeenergie latent zu speichern vermögen. Latentwärmespeicher sind somit zur Wärme- bzw. Kältespeicherung vor allem bei kleinen verfügbaren Temperaturunterschieden hervorragend geeignet, so dass sie eine wichtige Rolle im Bereich der Gebäudeklimatisierung einnehmen können. Dazu können PCM u.a. in die Bausubstanz (z.B. in Gipsprodukte, Putze, Beton etc.) eingebracht werden, um die thermische Masse eines Gebäudes zu erhöhen und dabei für eine Phasenverschiebung und Verringerung von Temperaturschwankungen zu sorgen. Sie sorgen in dieser Form also für eine passive Temperaturstabilisierung. Problematisch ist hierbei häufig die Regeneration der Latentwärmespeicher, was ein durchdachtes und aufeinander abgestimmtes Kühl- bzw. Lüftungskonzept erforderlich macht. Ebenso ist ein Einsatz in Flächenkühlsystemen (z.B. Kühldecken) möglich. Hierbei sorgt das PCM für eine Glättung des Temperaturverlaufs im Raum und kann nachts durch einen Kaltwassersatz verlässlich regeneriert werden, was Vorteile bei der Effizienz der Kälteerzeugung bietet.⁵⁴

In Abbildung 44 ist ein beispielhafter Verlauf der Raumtemperatur an einem heißen Sommertag mit und ohne Kühldecke dargestellt. Es ist zu erkennen, dass durch den Einsatz von PCM-Kühldeckensystemen die Raumlufstemperaturen lange deutlich kühler und damit angenehmer verlaufen. Wichtig ist die Fähigkeit der PCM-Kühldecke den PCM-Speicher immer definiert regenerieren zu können. Das kann beispielsweise mittels wasserdurchströmter Rohre erfolgen. Das dazu nötige kühle Wasser wird entweder regenerativ aus der kalten Umgebungsluft während der Nachtzeit

⁵⁴ Weinläder H, et al; PCM-DEMO II: PCM in Demonstrationsanwendungen - Schlussbericht; Bayerisches Zentrum für Angewandte Energieforschung, 2019

gewonnen (passive Kühlung), oder maschinell erzeugt (aktive Kühlung). Die Regeneration ist dabei zeitlich vom Kühlbedarf entkoppelt, sodass diese (im Falle der aktiven Kühlung) dann erfolgen kann, wenn beispielsweise erneuerbarer Strom zur Verfügung steht.⁵⁵

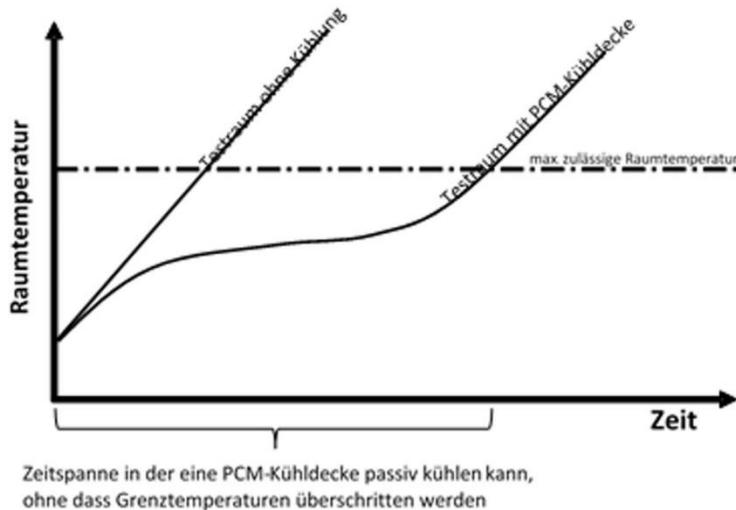


Abbildung 44: Raumtemperaturverlauf mit und ohne Kühndecke⁵⁵

In [54] wurden sieben verschiedene PCM-Systeme zur Gebäudekühlung und –heizung im realen Einsatz untersucht:

- PCM-Kühndecke hinterlüftet (Forschungsinstallation)
- PCM-Brüstungsmodule (Forschungsinstallation)
- PCM-Estrich (Forschungsinstallation)
- PCM-Kompaktspeichergeräte (Prototypeninstallationen)
- PCM-Wärmespeicher (Prototypeninstallationen)
- PCM-Kühndecke wasserdurchströmt (Kommerzielle Installationen)
- PCM-Wandelemente (Kommerzielle Installationen)

Insgesamt zeigte sich bei den Systemuntersuchungen eine große Bandbreite an Ergebnissen. Während manche PCM-Systeme äußerst effizient arbeiteten und gemessene mittlere Energie-Effizienz-Raten von bis zu 10 erreichen, führten andere sogar zu einem Mehrverbrauch an Energie. Dabei war diese enorme Bandbreite jedoch nicht dem unterschiedlichen Entwicklungsstand der Systeme geschuldet, sondern vielmehr Resultat einer ineffizienten oder suboptimalen Betriebsweise.⁵⁴

⁵⁵ <https://www.pcm-ral.org/pcm/wp-content/uploads/2016/08/K%C3%BChldecken-Diagramm.jpg>

4.8 Passive Kühlung unter Schaffung von Flexibilitäten im übergeordneten Versorgungsnetz

Werden mehrere Gebäude/Räume mit dem gleichen passiven Kühlsystem mit Kälte versorgt, kann durch die Schaffung von Flexibilität eine (zeitlich beschränkte) verstärkte Kühlung in einzelnen Gebäuden/Räumen erreicht werden. Benötigt z.B. ein Raum zu gewissen Tageszeiten keine Kühlung, dann kann zu diesen Zeiten das Kühlpotenzial für andere Räume verwendet werden. Dadurch könnte beispielsweise die notwendige Dimensionierung eines Eisspeichers reduziert werden (siehe Kapitel 4.9). Flexibilität kann auch generiert werden, indem die Behaglichkeitsgrenzen (PMV-Index beachten) in den einzelnen Räumen ausgereizt werden. Allerdings ist darauf zu achten, dass das Wärmeabgabesystem so ausgelegt werden muss, dass die Räume einzeln für die Kühlung freigeschalten werden können. Durch die Kopplung mit einem Smart Home (siehe Kapitel 7) kann das System mit der entsprechenden Intelligenz versehen werden.

Besonders interessant ist eine solche Spitzenlastreduktion des Kühlsystems für Fernkältenetzwerke. Da die Gründung eines Fernkältenetzwerks in Güssing allerdings kein Thema ist, werden diese an dieser Stelle nicht näher beschrieben.

4.9 Reduktion der inneren Lasten

Die Reduktion der inneren Lasten ist zwar kein Kühlsystem an sich, kann aber wesentlich dazu beitragen, den Kühlbedarf zu reduzieren, wodurch das Kühlsystem kleiner dimensioniert oder im Extremfall sogar ganz entfallen kann. Vor allem Elektrogeräte sorgen oft für eine wesentliche Wärmeentwicklung. Ein Ersatz alter Geräte durch neue energieeffiziente Geräte kann daher einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion der inneren Lasten liefern und verringert nebenbei auch die Betriebskosten (Stromkosten). Es wird also empfohlen vor der Installation/Dimensionierung von Kühlsystemen einen Blick auf die inneren Lasten zu werfen und diese gegebenenfalls zu reduzieren.

4.10 Gebäudebegrünung

Eine begrünte Fassade kann einen aktiven Sonnenschutz bieten. Die Fassadenbegrünung steht im unmittelbaren Zusammenhang mit der energetischen Optimierung des Gebäudes. Im Sommer soll die Fassade begrünt sein, während das Sonnenlicht im Winter die Glasfassade ungehindert passieren kann. Ein zweiter Effekt ist die Erzeugung von Verdunstungskälte zur Verbesserung des Mikroklimas innerhalb des Gebäudes und im unmittelbaren Gebäudeumfeld.⁵⁶ Verschiedene Fassadenbegrünungen (siehe Abbildung 45) haben unterschiedliche Umsetzungsformen. Grundsätzlich wird zwischen „boden gebundenen“ und „fassadengebundenen“ Systemen unterschieden. Außerdem gibt es Unterschiede zwischen Begrünungen mit

⁵⁶ http://www.bosy-online.de/passieve_gebaeudekuehlung.htm

Kletterpflanzen und Living Walls, die mit Stauden, Gräsern und Kräutern bepflanzt werden.⁵⁷

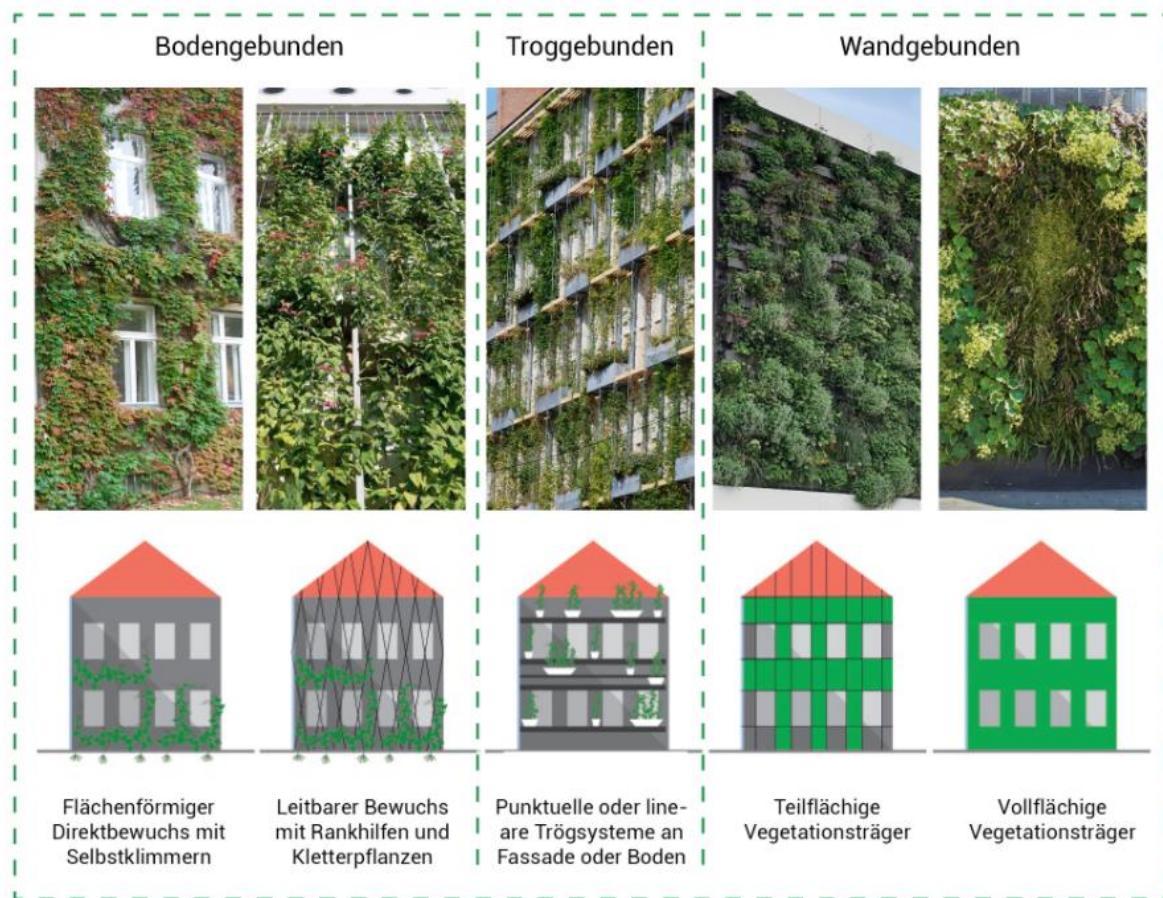


Abbildung 45: Verschiedene Arten der Fassadenbegrünung⁵⁷

In diesem Kontext ist auch das im Rahmen des FFG-Projektes „50 grüne Häuser“ entwickelte All-in-One Lösung BeRTA zu nennen. BeRTA steht für: Begrünung, Rankhilfe, Trog, All-in-One und ermöglicht so eine unkomplizierte und effektive Fassadenbegrünung.⁵⁸

Auch die Begrünung von Dächern hat ein großes Potenzial, durch Verdunstung die Oberflächentemperaturen zu reduzieren und damit das Mikroklima innerhalb und um das Gebäude zu verbessern. Bevor eine Dachbegrünung durchgeführt wird, sind einige technische Voraussetzungen zu überprüfen, damit ein einwandfreies Wachstum sichergestellt ist und keine Schäden am Bauwerk entstehen. Zur Begrünung muss die Tragfähigkeit des Daches für eine zusätzliche Lastaufnahme von 60 – 120 kg/m² geeignet sein. Außerdem müssen die Dächer mit wurzelfesten Schutzbahnen ausgestattet werden und es muss sichergestellt sein, dass die Dachkonstruktion einwandfrei abgedichtet ist.⁵⁶

⁵⁷ <https://gruenstadtgrau.at/urban-greening/technik/>

⁵⁸ <https://www.ffg.at/news/success-story-mauerkatzen-gegen-die-sommerhitze>

Folgende Dächer sind begrünbar:⁵⁷

- Kaltdach: durchlüftete zweischalige Konstruktion, deren obere Schale tragfähig ist
- Einschalige Konstruktion ohne Wärmedämmung
- Warmdach: einschalige Konstruktion mit Wärmedämmung unter der Abdichtung
- Umkehrdach: einschalige Konstruktion mit Wärmedämmung über der Abdichtung

Des Weiteren kann zwischen einer extensiven und einer intensiven Dachbegrünung unterschieden werden:⁵⁷

- Extensive Dachbegrünungen: beginnen bei einer Aufbauhöhe von 8 cm und haben ein geringes Gewicht. Niedrig wachsende Pflanzenarten, zumeist Sukkulente, Moose, Kräuter und Gräser bestimmen das Vegetationsbild. Extensive Dachbegrünungen erfordern wenig Pflegeaufwand. Da sie durch uns meistens nicht genutzt werden, bieten sie einen wertvollen Lebensraum für Pflanzen und Tiere.
- Intensive Dachbegrünungen: beginnen ab einer Aufbauhöhe von 20 cm und haben ein höheres Gewicht. Je nach Aufbauhöhe können fast alle Pflanzenarten eingesetzt werden, bis hin zu Bäumen die mindestens 80 cm Substrathöhe brauchen und gegen Windlasten gesichert werden. Eine intensive Dachbegrünung kann alle Funktionen eines Gartens übernehmen und wird dementsprechend gepflegt und bewässert. Sie wird durch uns natürlich genutzt, beispielsweise zur Erholung, Sport und dem Anbau von Gemüse.

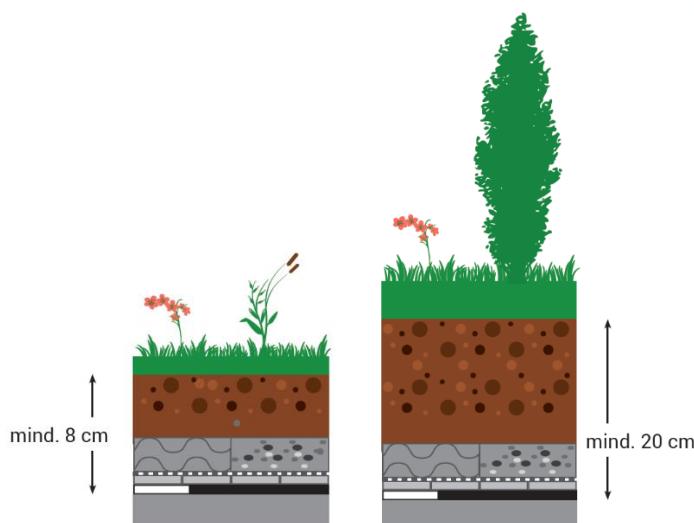


Abbildung 46: rechts: Aufbau einer extensiven Dachbegrünung, links: Aufbau einer intensiven Dachbegrünung⁵⁷

4.11 Stanford Ansatz⁵⁹

Ein neuartiges Kühlsystem wird zurzeit von Forschern der Stanford Universität untersucht. Dieses System soll in der Lage sein, Strom aus der solaren Einstrahlung zu gewinnen und zeitgleich Gebäude zu kühlen, indem ein Teil der Strahlung zurück in den Weltraum geschickt wird. Die obere Schicht des Geräts stellt dabei keine Neuheit dar. Sie besteht aus den gleichen Halbleitermaterialien, wie herkömmliche Photovoltaikanlagen. Die Innovation liegt in der unteren Schicht des Geräts, die aus Materialien besteht, die durch einen, als Strahlungskühlung bezeichneten Prozess in der Lage sind, Wärme vom Dach in den Weltraum abzugeben.

Die Kühltechnologie nutzt die Tatsache, dass die Atmosphäre Löcher aufweist, durch die eine bestimmte Wellenlänge von Infrarotlicht direkt in den Weltraum gelangen kann. Nun wurden Materialien entwickelt, die die z.B. von einem Gebäude abgestrahlte Wärme in eine bestimmte Infrarotwellenlänge umwandelt, sodass diese durch die Atmosphäre gelangen kann. Damit sind diese Materialien in der Lage Wärme an den Weltraum abzugeben und dadurch den Wärmeeintrag in Gebäude zu senken bzw. in weiter Folge die Kühlenergie, die für die Klimatisierung der Innenräume notwendig ist, zu reduzieren.

Da sich diese Technologie noch in einem sehr frühen Stadium befindet (Prototypenbau), ist ein Einsatz in den Demogebäuden in Güssing nicht realistisch, allerdings stellt diese Technologie eine interessante Kühlmöglichkeit der Zukunft dar.

5 Analyse Hybridanwendungen

5.1 Aktive Kühlung mit Wärmepumpe

Ein aktives Kühlen mit einer Wärmepumpe ist sowohl mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe als auch mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe ("Erdwärmepumpe") möglich. Bei beiden Systemen wird durch eine aktive Umkehr des Wärmepumpenkreislaufes im Sommer die Wärmepumpe als Kühlaggregat genutzt. Während mit einer Erdwärmepumpe auch passiv gekühlt werden kann, was, wie in Kapitel 4.4.2 beschrieben, deutliche energetische Vorteile aufweist und bei einem geeigneten Wärmeabgabesystem in den meisten Fällen auch ausreichend ist, um die notwendige Kühlleistung zu erbringen, kann mit einer Luftpumpe nur aktiv gekühlt werden. Anstatt wie beim Heizen die Wärme aus der Außenluft zu entziehen (Luftwärmepumpe) wird beim Kühlen die Wärme der Innenluft entzogen und nach draußen abgeführt. Dabei wird die über das Heizungssystem entzogene Wärme mit Hilfe des Kompressors aktiv auf die Wärmequelle übertragen.⁶⁰

⁵⁹<https://sciencesprings.wordpress.com/2018/11/12/from-stanford-university-stanford-researchers-develop-a-rooftop-device-that-can-make-solar-power-and-cool-buildings/>

⁶⁰ <https://www.energie-experten.org/heizung/waermepumpe/betrieb/kuehlen>

In technischer Hinsicht bedarf es dabei des Einbaus eines 4-Wege-Ventils und eines zweiten Expansionsventils im Kältemittelkreislauf. Das 4-Wege-Ventil sorgt dabei sowohl für die automatische Umschaltung der Fließrichtung als auch für das unabhängig voneinander funktionierende Heizen und Kühlen wie z. B. die Brauchwasserbereitstellung im Sommer.⁶⁰

Grundsätzlich wird im Kühlbetrieb der ursprüngliche Verflüssiger nun zum Verdampfer, der die Raumwärme über das eigentliche Heizwärmeabgabesystem auf das Kältemittel überträgt. Das gasförmige Kältemittel wird dann über das 4-Wege-Ventil zum Verdichter geführt und von dort zum Wärmetauscher, der die den Räumen entzogene Wärme an die Außenluft bzw. das Erdreich abgibt (schematische Darstellung siehe Abbildung 45). Beim aktiven Kühlen lassen sich so problemlos angenehm kühle Innentemperaturen von 20 °C erzeugen.⁶⁰

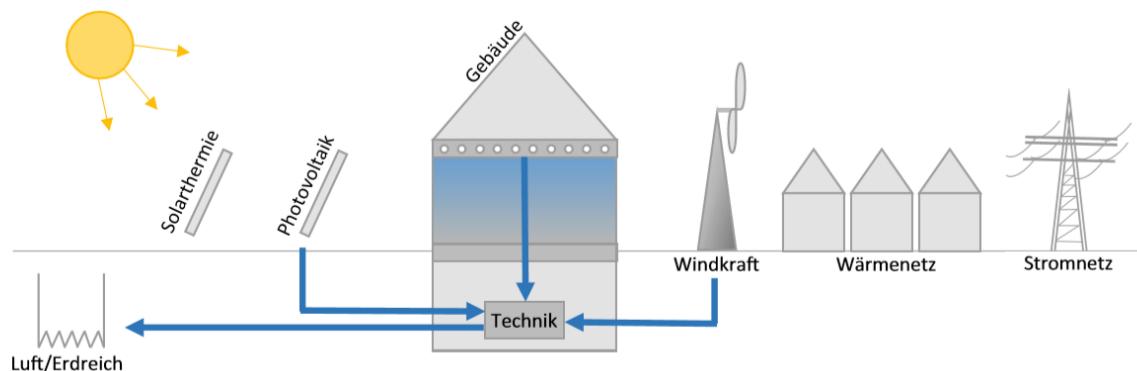


Abbildung 47: Schematische Darstellung der aktiven Kühlung mit einer Wärmepumpe unter Einbezug von erneuerbaren Energiequellen⁴²

Für die Heizung und Kühlung mit Wärmepumpe ist ein geeignetes Wärmeabgabesystem notwendig. Im Normalfall handelt es sich dabei um ein Flächenheizsystem (Fußbodenheizung, Bauteilaktivierung, Wandheizung, etc.) um die notwendige Heiztemperatur niedrig zu halten und damit eine hohe Effizienz der Wärmepumpe zu gewährleisten. Eine Beheizung über Radiatoren ist grundsätzlich möglich, allerdings sinkt die Effizienz der Wärmepumpe signifikant. Kühlen ist generell nur über Flächenheizsysteme/Flächenkühlssysteme möglich. Ein Vergleich zwischen den einzelnen Flächenheizsystemen und deren Eignung für die Gebäudekühlung findet sich in Kapitel 4.4.3. Diesbezüglich besteht kein Unterschied, ob die Kühlenergie passiv oder aktiv bereitgestellt wird.

Grundsätzlich lässt sich daraus ableiten, dass eine Kühlung (Heizung) mit Wärmepumpe eher für den Neubau geeignet ist, da im (älteren) Bestandsbau selten Flächenheizungssystem zur Verfügung stehen und ein nachträglicher Einbau eines solchen mit einem größeren baulichen Aufwand verbunden ist.

5.2 DC-basierende Klimaanlagen

Der Betrieb von DC-basierenden Klimaanlagen erfolgt mit Gleichstrom, welcher die Kältemaschinen direkt betreibt. In Kombination mit PV-Anlagen ist kein DC/AC-Wandler notwendig, was Energieeinsparungen zur Folge hat, da bei jeder Umwandlung Verluste im Bereich von 2 bis 5 % je nach Wechselrichter entstehen. Auch die Kombination mit einem Batteriespeicher ist möglich.

Der Projektpartner Joke hat beispielsweise ein Gesamtsystem im Sortiment, bei dem die Photovoltaikanlage in Kombination mit dem direkt angeschlossen Kühlgerät verbaut wird (Aufbau siehe Abbildung 48). Die Größe der Photovoltaikanlage ist dabei genau auf das Kühlgerät abgestimmt (3 PV-Module bzw. min 140 W). Damit adressiert diese Lösung vor allem Haushalte, bei denen keine größere PV-Anlage verbaut und diese auch nicht angedacht ist. Das Gerät Arbeit grundsätzlich mit 100 % PV-Strom, ein optionaler Netzanschluss ist jedoch möglich. Der Vorteil besteht vor allem darin, dass kein Wechselrichter und kein Steuergerät benötigt werden und damit auch keine Wanderverluste auftreten.



Abbildung 48: Aufbau des Gleichstromkühlsystems von Joke

Darüber hinaus besteht bei dem beschriebenen System die Möglichkeit, anstatt eines herkömmlichen Klimageräts sogenannte Peltier-Elemente zur Kühlung zu verwenden.

Ein Peltier-Element ist ein thermoelektrischer Energiewandler, welches einen Wärmestrom in Elektrizität (Seebeck-Effekt) oder einen Stromfluss in Wärme (Peltiereffekt) umwandelt. Die größten Vorteile eines Peltier-Elements sind die geringe Größe, die Vermeidung jeglicher bewegten Bauteile, Gase und Flüssigkeiten; eine Kältemaschine benötigt dagegen immer ein Kältemittel und in den meisten Fällen einen Kompressor. Durch Umkehr der Stromrichtung ist mit Peltier-Elementen sowohl Kühlen als auch Heizen möglich. Damit kann eine Thermostatierung von Bauteilen erreicht werden, wenn die Umgebungstemperatur oberhalb oder auch unterhalb der Solltemperatur liegt.⁶¹

Ein Nachteil der Peltier-Elemente ist der niedrige Wirkungsgrad, der zu hoher elektrischer Leistungsaufnahme bei vergleichsweise geringer Kühlleistung bzw. Temperaturdifferenz führt. Ferner sind Elemente über einer Größe von $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm}$ kaum erhältlich.⁶¹ Auch die Verschaltung mehrerer Elemente ist begrenzt, so dass mit dieser Technologie nur kleinere Bereiche (einzelne Räume, etc.) gekühlt werden können.

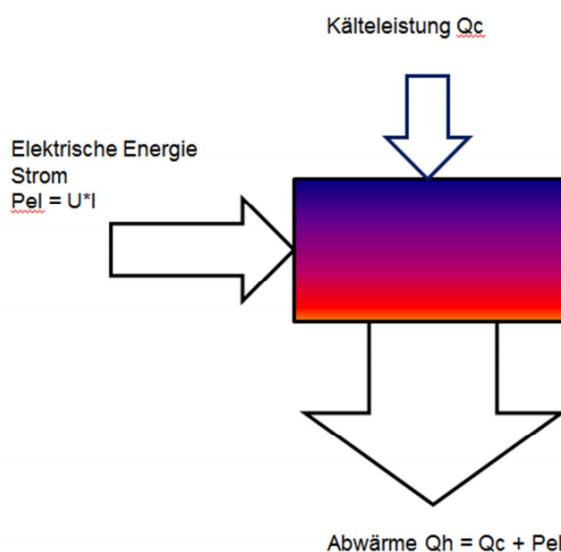


Abbildung 49: Schematische Darstellung der Energieflüsse eines Peltier-Elements⁶¹

5.3 Aktives Kühlen mit Photovoltaik

Analog zur aktiven Kühlung mit einer (Luft-)Wärmepumpe (Kapitel 5.1) kann auch eine konventionelle Klimaanlage (intelligent) mit Photovoltaikstrom versorgt werden (siehe auch Kapitel 7 Smart Home). Gerade im Bestandsbau sind diese aber aufgrund der geringen Anschaffungskosten sowie des einfachen Einbaus, ohne große bauliche

⁶¹ Fichthorn H., Grundlagen Peltier-Element, SITUS Technicals, <https://www.situs-tec.de/>, abgerufen 23.11.2020

Maßnahmen sehr beliebt. Auch in einigen Demogebäuden sind in einzelnen Räume Klimageräte installiert. Daher verfolgt das Projekt das Ziel bereits vorhandene Geräte bzw. neu eingebaute Geräte, wenn keine geeignete passte Kühltechnologie gefunden wurde, die den Ansprüchen genügt und mit verhältnismäßigem Aufwand installiert werden kann, zumindest größtmöglich mit lokalem erneuerbarem Strom zu betreiben. Photovoltaikanlagen sind dafür besonders gut geeignet, da von Natur aus eine Gleichzeitigkeit zwischen Kühlleistung und PV-Ertrag gegeben ist. Neben der Installation einer eigenen PV-Anlage, kann lokaler PV-Strom auch über eine EEG (siehe Kapitel 3.3) bezogen werden.

6 Öffentliche Kühlspots

Im Zuge des Projektes Cool-down Güssing werden auch öffentliche Kühlspots thematisiert. Um nicht jedes Gebäude kühlen zu müssen, können an Hitzetagen über öffentlich zugängliche Räume, die gekühlt werden, vulnerable Gruppen (z. B. Ältere oder Eltern mit Kleinkindern), die auf keine gekühlte Umgebung Zugriff haben, diese Orte aufsuchen, um sich Abkühlung zu verschaffen. Dafür stehen vor allem die öffentlichen Demogebäude (Schule, Feuerwehrhaus, etc.) im Fokus, bei denen eine solche Lösung mitgedacht werden soll. Details dazu werden in Arbeitspaket 4 erarbeitet, nachdem bekannt ist welche Kühltechnologie in welchem Demogebäude zum Einsatz kommt, und erklärt wurde, ob es möglich ist, einzelne Räume für die Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Außerdem wird die Umsetzung öffentlicher Kühlspots im Außenbereich geprüft. Hier kann zwischen der Schaffung bzw. Nutzbarmachung von Grünflächen (Parks) und einer gezielten Kühlung von öffentlichen Plätzen (Sprühnebelkühlung ggf. in Kombination mit Begrünungsmaßnahmen) unterschieden werden. Eine Möglichkeit für ersteres wäre beispielsweise die Öffnung des Schulhofs des BORG-Güssing für die Öffentlichkeit in den Sommermonaten. Der Schulhof (Luftaufnahme siehe Abbildung 50) weist große Schattenflächen auf, darf jedoch zurzeit aus Sicherheitsgründen nicht betreten werden, da die notwendige Baumpflege aus Kostengründen nicht durchgeführt werden konnte. Eine Nutzbarmachung dieses Schulhofs als Kühlspot kämme also nicht nur der Öffentlichkeit, sondern auch ganz besonders den ohnehin von Überhitzung betroffenen Schülern zur gute, die in besonders heißen Phasen bzw. in Pausen in den Schulhof Abkühlung finden könnten.



Abbildung 50: Mögliche Erweiterung des Schulhofs mit Schattenplätzen am BORG Güssing⁶²

Eine weitere Möglichkeit ist die Kühlung öffentlicher Plätze mit der in Kapitel 4.5 beschriebenen Sprühnebeltechnologie. Diese Technologie wurde bereits an verschiedenen stärker versiegelten Plätzen genutzt. So wurden zeitweise sogenannte Nebelsäulen am Grazer Hauptplatz oder vor dem Linzer Dom eingesetzt (siehe Abbildung 51).⁶³ Am Grazer Tummelplatz wurde im Sommer 2020 sogar eine den kompletten Platz umfassende Sprühnebelanlage getestet. Dazu wurden in 4,5 Meter Höhe acht Rohre mit über 250 Düsen quer über den Platz gespannt, um einen flächenumspannenden Sprühnebel zu erzeugen.⁶⁴ Die Auswertung der Technischen Universität Graz hat in diesem Fall jedoch gezeigt, dass der Kühleffekt durch die notwendige große Höhe in denen die Düsen montiert werden mussten, um die Nutzung des Platzes als Veranstaltungsort nicht zu beeinträchtigen, sehr gering

⁶² Google Maps, abgerufen 23.11.2020

⁶³ Rauch

⁶⁴ https://www.graz.at/cms/beitrag/10351586/8145109/Spruehnebel_am_Tummelplatz_Testversuch_Umfrage.html

ausgeprägt war. Aus diesem Grund wurde die Anlage am Tummelplatz in der Zwischenzeit wieder abgebaut.⁶⁵

Der Einsatz dieser Technologie in Güssing (beispielsweise am Güssinger Hauptplatz) soll ebenfalls im Zuge des Projekts geprüft werden, wobei es auch hier gilt eine möglichst umweltschonende/energiesparende Lösung zu finden und Lehren aus dem gescheiterten Experiment am Grazer Tummelplatz zu ziehen.



Abbildung 51: Einsatz von sogenannten Nebelsäulen am Grazer Hauptplatz (links oben)⁶³ und vor dem Linzer Dom (rechts)⁶³, sowie großflächige Sprühnebelkühlung am Grazer Tummelplatz⁶⁴

7 Smart Home gegen sommerliche Überhitzung

Ein „Smart Home“ ist als Oberbegriff für die Vernetzung von technischen Geräten innerhalb einer Wohnung/ eines Gebäudes zur Optimierung des Wohnbereichs zu verstehen. Die Integration von Kühl- bzw. Verschattungstechnologien in solche Smart Home Anwendungen kann zu einer wesentlichen Verbesserung des Raumklimas sowie zu einer erheblichen Reduktion der notwendigen Kühlenergie führen. Klassische Beispiele dafür sind die intelligente Steuerung von außenliegenden Beschattungssystemen (Jalousien, Markisen, Rollladen) oder die optimierte Regelung von Kühlsystemen in Abhängigkeit der Verfügbarkeit von Photovoltaikstrom.

⁶⁵ Kleine Zeitung, Sprühnebel: Das Experiment ist gescheitert, Artikel vom 21.02.2021, Grazer Regionalteil

7.1 Einführung

7.1.1 Smart Home

Smart Home ist die zeitgemäße Wohnform für die Anforderungen des 21. Jahrhunderts.⁶⁶ Gemeint ist dabei die Vernetzung diverser technischer Geräte zur Optimierung des privaten Wohnbereichs. Ziel ist die optimale Gestaltung des räumlichen Umfeldes.⁶⁷

Im Jahre 2017 lag die Anzahl an Smart Home ausgestatteten Privathaushalten in Deutschland bei 4,5 Millionen, was einen Anteil von 11,7 % bedeutet. Hierbei ist von einem Marktumsatzvolumen von ca. 1,8 Mrd. Euro auszugehen. Es wird prognostiziert, dass sich dieser Trend in den nächsten Jahren fortsetzen wird.⁶⁸

Hinsichtlich der Funktionsweise eines Smart Homes kann zwischen einem zentralen und einem dezentralen System unterschieden werden. Zentrale Systeme arbeiten mit einer zentralen Steuerungseinheit, einem sogenannten „Gateway“ oder auch „Hub“. Über den die smarten Geräte miteinander kommunizieren. Bei dezentralen Systemen erfolgt die Kommunikation direkt zwischen den einzelnen Geräten.

Weiters kann zwischen der Art der Interaktion der smarten Geräte unterschieden werden. Die beiden wesentlichen Arten sind das

- IFTTT – Verfahren und der
- „deep learning“ – Prozess.⁶⁹

Einsatzbereiche der Smart Home sind

- Energiemanagement;
- Unterhaltungsmedien;
- Haushaltsgeräte;
- Sicherheit;
- Gesundheit. (siehe auch Abbildung 52)

Man kann ein Smart Home z.B. durch ein Smartphone, ein Tablet, einen Computer, einen Steuerungskasten oder ein Gateway (eine installierte Steuerungseinheit) steuern. Man unterscheidet hierbei zwischen offenen und geschlossenen Systemen. Offene Systeme bedeuten, dass Geräte von verschiedenen Herstellern kombiniert und über dieselbe Steuerungseinheit bedient werden. Bei geschlossenen Systemen können nur gewisse, vom Hersteller vorgegebene Geräte, miteinander interagieren.⁷⁰

⁶⁶ https://plattform-digitale-netze.de/app/uploads/2016/06/151105_PF1_007_FG1_Ergebnisdokument-Projektgruppe-Smart-Home.pdf

⁶⁷ <https://www.abida.de/sites/default/files/18%20Dossier%20Smart%20Home.pdf>

⁶⁸ <https://de.statista.com/statistik/studie/id/48055/dokument/smart-home/>

⁶⁹ https://www.researchgate.net/publication/224696459_The_Smart_Home_Concept_our_immediate_future

⁷⁰ http://www.ebert-gymnasium.de/mint_beitraege/smart_home.pdf

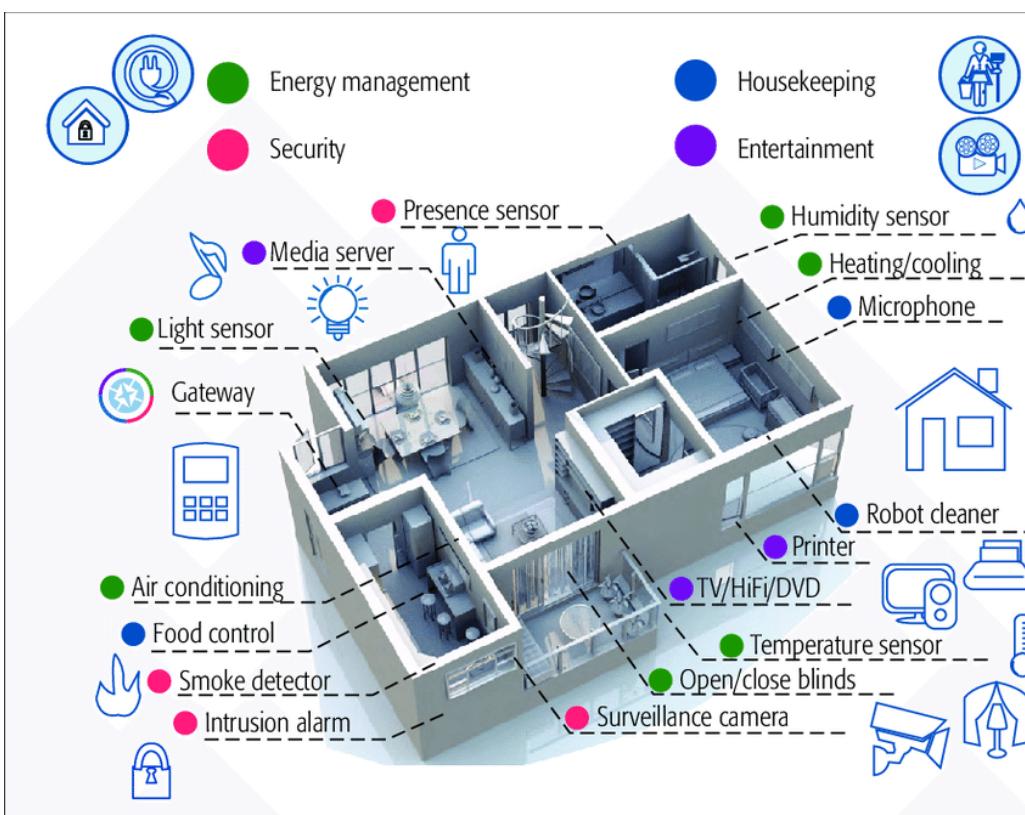


Abbildung 52: Smart Home System⁷¹

7.1.2 Smart Home gegen Überhitzung

Dank automatischer Temperaturregelung stellt man sicher, dass die Räume nicht übermäßig gekühlt werden. Die gewünschte Temperatur wird exakt gehalten. Das ist äußerst komfortabel und auch sehr energieeffizient. Aspekte für Smart-Kühlung sind

- Soll-Temperatur für Räume vorgeben (übermäßiges Kühlen vermeiden)
- Zeitprogramme hinterlegen (unnötiges Kühlen bei Abwesenheit unterbinden und Energie sparen)
- Raumkühlung nur bei echter Anwesenheit (Kühlung schaltet sich ab, wenn Raum nicht genutzt wird)
- Kälteverluste vermeiden und Kühlung automatisch unterbrechen (wenn beispielsweise ein Fenster geöffnet wird)
- Verhindern, dass ein Raum gleichzeitig beheizt und gekühlt wird (Heizung und Kühlung miteinander verbinden).⁷²

Die Wärme der Sonne gelangt ohne entsprechende Beschattung in unsere Innenräume. Ein außenliegender Sonnenschutz wird dreimal wirksamer, als ein innenliegender, eingestuft. Außenjalousien zählen bei der Beschattung von außen zu den Klassikern der Außenbeschattung. Aber auch Markisen, Balkonvorsprünge,

⁷¹ https://www.researchgate.net/figure/Integrated-consumer-centric-smart-home-ecosystem_fig2_321792907

⁷² <https://www.mytem-smarthome.com/web/de/der-wirkliche-nutzen-von-smart-home/>

Vordächer oder schattenspendende Bepflanzung können der Sonneneinstrahlung entgegenwirken.

Es gibt intelligente Beschattungssysteme, die sich je nach Raumtemperatur und Sonneneinstrahlung selbst so einstellen, dass ein perfektes Wohnraumklima erreicht wird.⁷³ Nachstehend ihre Funktionsweise:

- Jalousien und Rollläden auf Wunsch gruppenweise fahren (ganzer Raum oder ganzes Stockwerk).
- Verschattung automatisch herauf- und herunterfahren (manuelles Bedienen hat somit ein Ende und Gebäude erscheint bewohnt).
- Erkennen wenn sich jemand auf Balkon/Terrasse aufhält und Rollladen/Jalousie nicht herunterfahren (sicherstellen, dass niemand ausgesperrt wird).
- Möglichkeit die Verschattungseinrichtung bei Anwesenheit manuell zu steuern, bei Abwesenheit übernimmt die Automation.
- Verschattung anhand Außenhelligkeit steuern (Anpassung an Jahreszeiten).
- Überhitzung der Räume im Sommer vermeiden (Verschattung anhand Raumtemperatur/Sonneneinstrahlung regeln).
- Bei Sturm und Wind automatisch die Markisen und Jalousien einfahren (Beschädigung vermeiden).⁷⁴

Eine automatische Lüftung gewährleistet eine stets gesunde Luftqualität, ein Plus für die Gesundheit und das Wohlbefinden. Trotzdem sollte die Lüftung bei Bedarf manuell angepasst werden können. Smart-Lüftung kann:

- Zeitprogramme hinterlegen (unnötiges Lüften bei Abwesenheit wird vermieden)
- Lüftung nur bei Anwesenheit (Reduktion bei Nichtnutzung)
- Lüftung automatisch ausschalten, wenn Fenster geöffnet werden
- Regelung der Lüftung anhand der tatsächlichen Luftqualität
- Luftfeuchtigkeit überwachen (Gefahr der Schimmelbildung vermeiden)
- Kühle Außenluft nutzen (preiswerte Art der Kühlung).⁷⁵

Alternativ zur Luftkühlung ist die Kühldecke, die sich in der Decke, den Wänden oder in Schrägen einbauen lässt. Unterschieden werden grundsätzlich zwei Typen:

⁷³ <https://www.internorm.com/blog/ratgeber-sonnenschutz/schutz-sommerliche-ueberhitzung/>

⁷⁴ <https://www.mytem-smarthome.com/web/de/der-wirkliche-nutzen-von-smart-home/>

⁷⁵ <https://www.mytem-smarthome.com/web/de/der-wirkliche-nutzen-von-smart-home/>

Konvektionsdecken und Strahlungsdecken. Beide Typen werden sowohl in geschlossener als auch offener Bauweise angeboten.⁷⁶:

7.1.3 Smart Home und Klimaanlage

Klimaanlagen in Smart Home zu integrieren ist eine Frage des Komforts und der Energieeffizienz. Das Gerät soll nur in Betrieb sein, wenn nötig und man soll erinnert werden um es auszuschalten (z. B. via Smartphone, per GPS-Tracking).

Eine smarte Klimaanlagen-Steuerung regelt automatisch die Temperatur, kühlt die Raumtemperatur herunter, schon bevor man nach Hause kommt und schaltet sich automatisch ab, wenn das Haus verlassen wird. Zudem kann man die Temperatur von der Ferne aus einstellen.⁷⁷

Grundsätzlich gibt es vier Möglichkeiten, eine Klimaanlage zu vernetzen – egal ob es sich um eine mobile oder fest installierte Klimaanlage handelt.

1. Die Klimaanlage ist ab Werk mit WiFi ausgestattet, sodass man sie per Smartphone steuern kann und sie sich in Smart-Home-Systeme integrieren lässt.
2. Die Integration ins Smart-Home erfolgt über eine vernetzte „Fernbedienung“. Sie kommuniziert dann mit der Klimaanlage (meist per Infrarot) und stellt per WiFi die Verbindung zur App und dem Smart-Home her.
3. Es gibt ein Gateway, das zwischen Klimaanlage und dem Smart-Home-System vermittelt.
4. Eine Schaltsteckdose oder ein Schaltaktor schaltet die Klimaanlage ein und aus.⁷⁸

Bei Samsung lassen sich die Klimaanlagen in das hauseigene Smart-Home-System SmartThings integrieren. Außerdem kann man sie mit dem Mediola AIO Creator Neo nutzen. Vernetzte Klimaanlagen von Daikin lassen sich wiederum mit dem Fibaro Home Center 2 verbinden.

Zusätzlich sind die Klimaanlagen von Samsung und Daikin mit IFTTT kompatibel. So kann man sie in allen Smart-Home-Systemen einbinden, die IFTTT unterstützen. Das sind zum Beispiel Devolo Home Control, homee, und eQ-3 Homematic IP (über Conrad Connect). Darüber hinaus ist man in der Lage, die Klimaanlagen über die Sprachassistenten Amazon Alexa und Google Assistant zu steuern, die sich ebenfalls langsam zu Smart-Home-Plattformen entwickeln.

Die nächste Tabelle erklärt, welche Klimaanlagen mit welchen Plattformen kompatibel sind.

⁷⁶ <https://www.haus.de/smart-home/kuehldecke>

⁷⁷ <https://www.pcwelt.de/ratgeber/Smarte-Klimaanlagen-Steuerungen-fuer-Zuhause-10619847.html>

⁷⁸ <https://homepioneers.de/klimaanlage-ins-smart-home-integrieren/>

Tabelle 1: Smart Home Plattformen Kompatibilität⁷⁹

Hersteller	Daikin	Panasonic	Mitsubishi	Sharp	Samsung	LG	Haier	Midea	Comfee	De'Longhi	Hisense
App	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	-	ja	ja
Conrad Connect	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IFTTT	ja	-	ja	-	ja	-	-	-	-	-	-
Amazon Alexa	ja	-	-	-	ja	ja	-	ja	-	-	-
Google Home/Assistant	ja	-	ja	-	ja	ja	ja	ja	-	-	ja
Apple HomeKit	-	-	-	-	-	-	ja	-	-	ja	-

Auf smarte Funktionen wie Geofencing oder die Fenster-offen-Erkennung greifen einige Programme zurück. So erkennt die Klimaanlagen-Steuerung zum Beispiel wenn das Haus verlassen wird und regelt die Klimaanlage automatisch runter.⁸⁰

7.1.4 Smart Home und Photovoltaik

Wenn die Photovoltaikanlage und die Batterie in die SmartHome-Technik eingebunden werden, bekommt man einen guten Überblick über den tatsächlichen Strom-Ertrag: Mit einer Energiemanager-App (etwa Aura von E.ON) sieht man auf Smartphone oder Tablet, wie viel Strom im Moment erzeugt, eingespeist und genutzt wird.⁸¹ Grundlegende Smart-Home-Systeme für die Photovoltaikanlage ermöglichen hauptsächlich die Überwachung der Eigenstromerzeugung und des Stromverbrauchs. So können Stromerzeuger erkennen, wann wie viel Eigenstrom genutzt wird oder eben verloren geht und entsprechende Anpassungen vornehmen (z.B. Zeiteinstellungen bei elektronischen Geräten nutzen). Das System lernt dazu und optimiert das Zusammenspiel von Anlage, Speicher und Verbrauch. Das bedeutet, die Anlage wird seltener abgeregelt. Energie-Effizienz des Haushalts verbessert sich.⁸²

Die Firma SMA⁸³ bietet mehrere Systeme mit unterschiedlichem Umfang an und verspricht dabei Stromkosten-Einsparungen von 30 und 50 Prozent. Bei der Basisversion besteht das System aus einem Solarwechselrichter und Moduloptimierern, um die Leistung einzelner Solarmodule beispielsweise bei Verschattung zu verstärken.⁸⁴

Die österreichische Firma Inolox⁸⁵ bietet Smart-Home-Lösungen für das gesamte Haus und für Photovoltaikanlagen an. Die zentrale Komponente ist hier ein Miniserver, der

⁷⁹ <https://homepioneers.de/klimaanlage-ins-smart-home-integrieren/>

⁸⁰ <https://www.smarthomeassistent.de/die-klimaanlage-und-klimageraete-nachtraeglich-smart-machen-so-gehts/>

⁸¹ <https://www.haus.de/smart-home/smart-home-9-tipps-zur-solarenergie>

⁸² <https://www.strom-magazin.de/ratgeber/solaranlage-smart-home-eigenverbrauch/>

⁸³ <https://www.sma.de/produkte/monitoring-control/sma-energy-meter.html>

⁸⁴ <https://www.solaranlagen-portal.de/news/smart-home-mit-solarstrom.html>

⁸⁵ https://www.buy-smarthome.de/?gclid=EA1aIQobChMlxtyP356wIVQtOyCh2zJwfuEAAYAyAAEglb5vD_BwE

mit allen anderen Geräten verbunden werden kann. Den Server gibt es in einer festinstallierten Variante, die sich für den Neubau eignet, aber auch in einer mobilen Variante für Nachrüster. Das System entscheidet auch hier aufgrund von Wetterprognosen, ob es sich lohnt, den Geschirrspüler zu starten oder nicht.

Eine besonders pfiffige Variante Energie zu speichern sind Photovoltaik-betriebene Eisspeicher. Hier holen die Wärmepumpen nicht aus der Umgebungsluft oder dem Boden des Grundstücks Wärme, sondern aus einer auf dem Grundstück im Erdreich versetzten "Zisterne". Wenn die Wärmepumpe aus der Temperatur des Wassers ständig Energie in Form von Wärme für Ihr Haus abführt, kühlt dieser Prozess das Wasser im Eisspeicher immer weiter herunter bis es anfängt zu gefrieren. Der große Vorteil ist, dass in den wärmeren Monaten diese gespeicherte Kälte dann genutzt werden kann, um Ihre Wärmepumpe in "umgedrehter" Funktion Ihre Räume zu klimatisieren!⁸⁶

Der Sunny Home Manager⁸⁷ (Abbildung 53) von SME kann die Nutzung von Verbrauchern zeitlich verschieben und so die Eigenverbrauchsquote deutlich erhöhen. Bei variablen Stromtarifen ist aber auch eine Verschiebung zur Senkung der Bezugsstromkosten möglich.

⁸⁶ <https://ihre-waermepumpe.de/grundlagen-und-technik/3-schritte-von-pv-ueber-waermepumpen-bis-smart-home.html>

⁸⁷ https://www.sma.de/fileadmin/content/global/Solutions/Documents/Smart_Home/SMART_HOME-KDE132641W.pdf

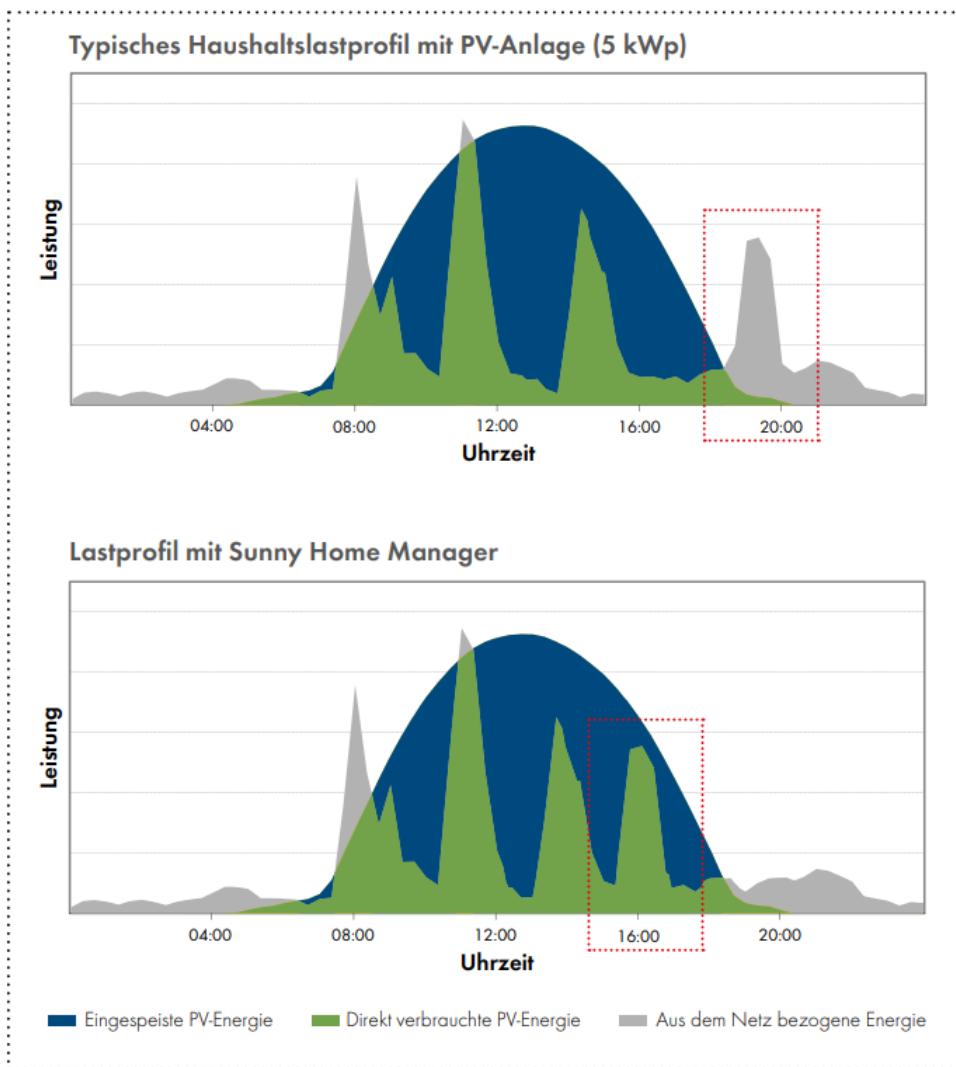


Abbildung 53: Sunny Home Manager Lastprofil⁸⁸

Ähnlicher Weise hat Solaredge⁸⁹ und Korel⁹⁰ ihre Smart-Systems für die Optimierung des Betriebs bzw. die Verteilung überschüssiger Solarenergie. Komplettpakete sind erhältlich ab 450 EUR⁹¹.

8 Smartes Empfehlungssystem (Easy Energy Saver)⁹²

Neben dem Einsatz von Smart Home Anwendungen, die selbstständig gewisse Regelungsaufgaben, wie zum Beispiel den sonnenstandsabhängigen Betrieb von Verschattungsvorrichtungen (Rolloläden, etc.), übernehmen, soll auch der Einsatz von sogenannten Empfehlungssystemen geprüft werden. Diese Systeme übernehmen

⁸⁸ https://www.sma.de/fileadmin/content/global/Solutions/Documents/Smart_Home/SMART_HOME-KDE132641W.pdf

⁸⁹ <https://www.solaredge.com/sites/default/files/se-homeowners-brochure-de.pdf>

⁹⁰ <https://www.korel.at/wissenswertes/>

⁹¹ https://greenakku.de/storePV:::2.html?gclid=EA1alQobChMlh2X_9T86wIVQdiyCh12LARhEAAYAyAAEgITofD_BwE

⁹² Rabensteiner et al, Selbstlernendes Empfehlungssystem zur Steigerung der Behaglichkeit, e-nova International Conference, 2019

keine Regelaufgaben, versorgen die Bewohner aber mit Empfehlungen zum intelligenten Lüften und Verschatten. Im Fokus steht dabei vor allem das im Zuge des Projektes Empower Citizens (Projektnummer 7049913) entwickelte Empfehlungssystem, der sogenannte Easy Energy Saver.

Das Empfehlungssystem unterstützt den Nutzer dabei, durch optimales Lüften und Verschatten, das Raumklima zu verbessern, ohne dabei unnötige Lüftungsverluste hinnehmen zu müssen. Je nach Wahl der Referenzfälle, kann auch eine Senkung des Heizbedarfs bzw. bei aktiver Kühlung des Kühlbedarfs, erreicht werden. Bei diesem System wurde auf die ausschließliche Verwendung von kostengünstigen Komponenten geachtet. Das System wurde mit Software in the Loop vorab in den Simulationsumgebungen IDA-ICE und Matlab erfolgreich getestet. Im Zuge der Umsetzungsphase wurde das Modell validiert.

Die Beurteilung der Behaglichkeit erfolgt über den sogenannten PMV-Index (Predicted Mean Vote), welcher die durchschnittliche Klimabeurteilung einer großen Gruppe von Personen voraussagt, die dem gleichen Umgebungsklima ausgesetzt sind. Dieser Wert ist abhängig von der Lufttemperatur, der mittleren Strahlungstemperatur, dem Energieumsatz, der Bekleidungsisolation, der Luftfeuchte und der Luftgeschwindigkeit. Je weiter dieser Wert von 0 abweicht, umso höher ist die Anzahl der unzufriedenen Personen, die es als zu kalt oder zu warm empfinden. Über- oder unterschreitet der aktuelle PMV-Index eine zuvor eingestellte Toleranzgrenze so versucht das System durch die Ausgabe von Empfehlungen die Behaglichkeit für die Personen wieder zu steigern. Diese Behaglichkeitssteigerung kann entweder über Stoßlüften oder Verschatten geschehen. Parallel zu dieser Funktion der Behaglichkeitssteigerung gibt das System auch aus, wann die CO₂-Konzentration in der Zone überschritten wird, und eine Stoßlüftung notwendig ist.

Die Wohnungen werden in verschiedenen Zonen unterteilt, die unabhängig voneinander vom Empfehlungssystem beurteilt werden. Eine Zone ist durch das Vorhandensein einer eigenen Messstation (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, CO₂) und der Möglichkeit der Beeinflussung des Raumklimas durch das Verschatten oder das Öffnen von Fenstern definiert. In den Wohnungen der Pilotgebäude sind das jeweils zwei Zonen (Schlafzimmer, Wohnzimmer). Die Behaglichkeit in den einzelnen Zonen wird etwas vereinfacht ohne Berücksichtigung der Luftgeschwindigkeit und der Strahlungstemperatur durchgeführt. Die Messsignale aus den einzelnen Zonen werden über Funk an eine zentrale Ausgabestation in der jeweiligen Wohnung übermittelt. Weiters muss diese zentrale Ausgabestation die aktuelle Temperatur und Luftfeuchtigkeit von einer Außenwetterstation per Funk erhalten. Aus Kostengründen und aus Gründen der einfacheren Installation wurden keine kabelgebundenen Systeme verwendet.

Einen beispielhaften Aufbau des Systems anhand einer Wohnung mit zwei Zonen ist in Abbildung 54 ersichtlich.

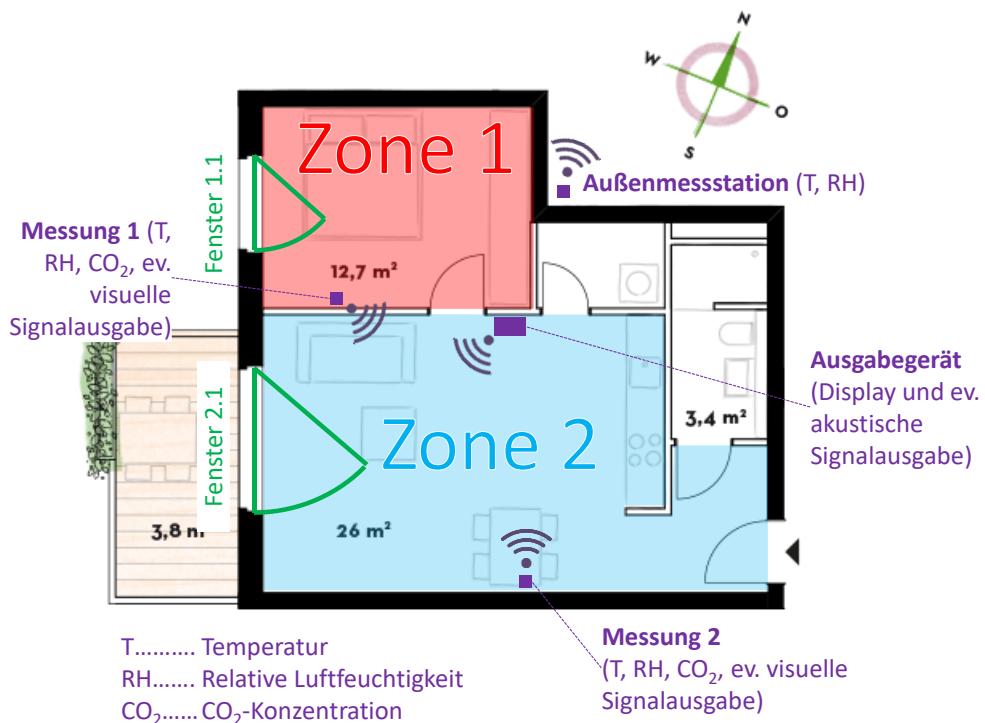


Abbildung 54: Beispielhafter Aufbau des Empfehlungssystems in einer 2-Zonen-Wohnung⁹²

Nach der Installation des Systems arbeitet dieses noch nicht vorrausschauend. Das heißt, dass erst ein Befehl ausgegeben wird, wenn eine Toleranzgrenze überschritten wird und eine Aktion (Stoßlüften oder Verschatten) eine Behaglichkeitssteigerung oder eine Energieeinsparung zur Folge hat. Zur Senkung des Energiebedarfs sind aber auch vorgegebene Empfehlungen sinnvoll, welche vor allem das Verschatten betreffen. Ziel ist es, Empfehlungen dann auszugeben, wenn Personen in der Wohnung sind und diese motiviert sind diese Empfehlungen auch durchzuführen. Geht jemand beispielsweise täglich um 7 Uhr außer Haus, kann es sinnvoll sein eine Verschattungsempfehlung für einen späteren Zeitpunkt bereits vorgezogen auszugeben, so dass dieser noch vor dem Verlassen der Wohnung ausgeführt werden kann. Außerdem soll dadurch die Anzahl der ausgegebenen Empfehlungen minimiert werden. Die betroffenen Personen dürfen sich keinesfalls von dem System belastet fühlen. Diese vorgezogenen Empfehlungen können entweder über die fixe Eingabe von Zeitslots erreicht werden oder in einer weiteren Version mithilfe eines selbstlernenden Algorithmus.

Ist der selbstlernende Algorithmus aktiviert, versucht das System zu erkennen zu welchen Zeitpunkten bevorzugt Befehle angenommen werden. Bei einer Fensterlüftung kann die Detektion relativ einfach durch die CO₂-Konzentration geschehen, sofern die CO₂-Konzentration zwischen der Raum- und der Außenluft zum Zeitpunkt der mutmaßlichen Ausführung ausreichend unterschiedlich war. Ein starker Abfall der CO₂-Konzentration würde z.B. bedeuten, dass das Fenster geöffnet wurde. Ein weiteres Zeichen ob ein Fenster geöffnet wurde, ist wenn sich die Zonentemperatur der Außentemperatur anpasst, obwohl die vorherrschenden Parameter einen anderen Temperaturverlauf voraussagen würden. Die als angenommen erkannten

Befehle werden gespeichert und sobald genügend Befehle vorhanden sind ausgewertet. Dazu werden die angenommen und die ausgegebenen Befehle abhängig von der Uhrzeit, dem Wochentag und dem vorherrschenden PMV-Wert ausgewertet. Werden zu einem Zeitpunkt viele Befehle ausgegeben aber wenig angenommen ist das ein Hinweis auf eine häufige Abwesenheit oder Demotivation des Bewohners während dieser Zeit. Werden umgekehrt viele der ausgegebenen Befehle angenommen, nimmt das System an, dass der Bewohner zu dieser Zeit häufig zu Hause ist. Unterschiedliche Anwesenheiten an verschiedenen Wochentagen werden ebenfalls berücksichtigt. Darauf basierend kann automatisch ein Anwesenheitsprofil erstellt werden, welches in regelmäßigen Abständen mit neuen Daten upgedatet wird. Neben der Erstellung des Anwesenheitsprofiles, versucht das System auch den Komfortbereich der Bewohner zu erkennen. Wenn z.B. eine Person das Fenster bevorzugt ab einem PMV-Index von 1 öffnet, obwohl die Empfehlung bei der Initialisierung des Systems schon bei 0,5 ausgegeben wird, wird angenommen, dass diese Person ein wärmeres Raumklima bevorzugt und die PMV-Grenzen werden verschoben. Um den Einfluss von Befehlen, die aufgrund von Abwesenheiten erst bei einem höheren PMV angenommen werden zu minimieren, werden nur jene Befehle für die Beurteilung des Komfortbereichs gezählt, die während der vermuteten Anwesenheit ausgegeben bzw. angenommen werden. Da das gleiche für die Erstellung des Anwesenheitsprofils gilt, wird dieser Prozess iterativ ausgeführt.

9 Spezielle Anwendungsbereiche

9.1 Gebäudekühlung in Kindergarten und Schule

Büro-, Schul- und Verwaltungsgebäude benötigen für das Kühlen der Räume bei sommerlichen Außentemperaturen zumeist häufig mehr Energie als für das Heizen im Herbst und Winter. Investitionskosten und Hygienevorschriften sind ebenfalls nicht zu unterschätzen. Eine kontrollierte Nachtauskühlung spart im Vergleich dazu eine beträchtliche Menge an Energie (wie z.B. Lüftungsgeräte „aeroschool 600“ und „aerosilent business 600“ von Drexel und Weiss⁹³).

Für Volksschulen genügen pro Kopf in der Regel 20 m³/h, bei den älteren Kindern oder Jugendlichen soll das auf 25 m³/h erhöht werden. Die Realisierung einer zentralen Lüftungsanlage ist grundsätzlich möglich, in der Praxis sprechen aber meist zwei Gründe dagegen: die relativ voluminösen Lüftungskanäle müssen irgendwo untergebracht werden. Darüber hinaus sorgen Brandschutzbauvorschriften meist für hohe Kosten bei der Peripherie von zentralen Systemen. Während bei zentralen Anlagen meist mit Werten um 0,45 Wh/m² gerechnet werden muss, kommen dezentrale Geräte mit der Hälfte aus. Da die Anlagen üblicherweise nur 1.000 bis 1.500 Stunden pro Jahr

93 <https://www.drexel-weiss.at/kontrollierte-nachtauskuehlung-energieeffiziente-gebaeudelueftung/>

betrieben werden, ist der daraus resultierende Stromverbrauch mit 100 bis 200 kWh/a fast vernachlässigbar.⁹⁴

Für die sanierte Schule mit dezentraler Lüftungsanlage und die Passivhausschule führt die Nachrüstung der dezentralen Lüftung in der sanierten Schule zu ungefähr doppelt so hohen spezifischen Jahresgesamtkosten wie die Ausrüstung der Neubau-Passivhausschule mit einem Luftherdwärmetauscher. Hieraus lässt sich die generelle Aussage treffen, dass ein automatisierter Sonnenschutz bei Nichtwohngebäuden mit hohen Glasflächenteilen (Vollverglasung) unter den gegebenen Randbedingungen (Klima, Zinssatz, Investitionskosten, Zustand der Gebäude) stets wirtschaftlich einsetzbar ist. Aus einem Experiment lässt sich 4.579 kWh/a (9.727 kWh/a extrem) und 7.200 kWh/a (25.201 kWh/a extrem) ableiten.⁹⁵

Stromverbrauch Mittelwert ist 20 kWh/m² für Schulen (und 22 kWh/m² für Kindergarten), wobei nicht die Größe/Art der Schulen, sondern die Anzahl der SchülerInnen Einfluss auf den spez. Verbrauch pro m² Bruttogeschoßfläche hat. Ferien sind kaum erkennbar, die Grundlast bleibt meist zwischen 10 bis 16 kW im Sommer. Je nach Technik werden 2,68 kWh/m².a für Klassenzimmerlüftung und 0,14 kWh/m².a für Nachtkühlung benötigt. EDV Serverkühlung kommt hinzu: bezogen auf das ganze Jahr bzw. die Fläche der Anlage betrug der Stromverbrauch 0,13 kWh/m² Bruttogeschoßfläche.⁹⁶

Zur Reduktion der Hitze dienen verschiedene Technologien wie Eis-Energiespeichersysteme⁹⁷, Klima-Gründach und grüne Fassaden⁹⁸, die sog. Coole!Betriebe⁹⁹ und solares Kühlen¹⁰⁰.

2014 wurde in Scottsdale, Arizona (USA) die größte solarthermische Kühlanlage der Welt an der Desert Mountain High-School realisiert. Hier wurde eine solare Kühlanlage mit 4.865 m² (Solarthermiekollektoren) und einer Kälteleistung von 1.750 kW installiert, die das Schulgebäude für 2.600 Schulkinder klimatisiert. Die solare Kühlung vermindert nicht nur den Strombedarf, sondern entlastet auch die Stromnetze, gerade zu Zeiten der Spitzenlast.¹⁰¹

Weiteres Beispiel bietet die Hochschule für Angewandte Wissenschaften München, wo ein modellhafter Umbau der Rechenzentrums-Klimatisierung hin zu einem energiewirksamen Hybrid-System geplant wurde. Dazu sollten die bestehenden

94 https://www.drexel-weiss.at/app/uploads/2020/06/48-49_Installateur_3_2020.pdf

95 BETTGENHÄUSER, K. - BOERMANS, T. - OFFERMANN, M. - KRECHTING, A. - BECKER, D. (2011): Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. Umweltbundesamt.

96 UIV Urban Innovation Vienna GmbH: Stromeffizienz in Schulen. Klimaaktiv Programm.

97 <https://www.viessmann.at/de/wohngebäude/waermepumpe/eis-energiespeicher/eis-energiespeicher-systeme-grossanlagen.html>

98 <https://www.baulinks.de/raumluftechnik/gruene-klimaanlagen-alternative-klimatisierung.php>

99 <https://www.sfg.at/f/klimatisierung-und-photovoltaik/>

100 https://www.uibk.ac.at/bauphysik/forschung/publications/sc-opt/ap9_broschuere_solare_kuehlen_2013.pdf

101 <https://www.energy-innovation-austria.at/article/desert-mountain-high-schoolarizona-usa/>

Kälteanlagen weiter genutzt und um den „eChiller“ („free cooling“ mit Wasser) ergänzt werden.¹⁰²

In Küchenräume bietet eine aktuelle Lösung die Kühlung (Clear Sky Cooling¹⁰³), in Turnhallen und Korridoren die Fußbodenkühlung mit reversiertem Erdwärmetauscher¹⁰⁴.

Einsatz von Phase-Change-Materials: PCMs, z.B. mikroverkapselte Paraffine, nutzen das Latentwärmespeichervermögen von (Bau-) Stoffen. In Gebäuden mit geringer Wärmekapazität ist im Sommer ein schnellerer Anstieg der Empfindungstemperatur zu beobachten, da nur wenig Wärme in den Bauteilen gespeichert werden kann. Durch Einlagerung von Latentwärmespeichermaterialen in Bauteiloberflächen kann die Wärmekapazität deutlich erhöht werden. Positive Nebeneffekte sind erhöhte Luftfeuchte, Biodiversität, Lärmschutz und Dämmung.¹⁰⁵

Die Architekten sind auf jeden Fall gefordert. Sie müssen Fensterfronten so konzipieren, dass die flach stehende, wärmende Wintersonne ins Gebäude gelangt, während die hochstehende, intensive Sommersonne abgeschirmt wird. Zudem müssten sie Beschattungssysteme – festinstallierte ebenso wie flexible – von Anfang an in die Planung einbeziehen. Wichtig ist, dass der Wärmedurchlass nach innen und nach außen jeweils optimal dem Standort des Gebäudes angepasst wird. Die sieben Ansätze gegen die Überhitzung sind¹⁰⁶:

1. Vordach und Balkon als Sonnenschutz nutzen;
2. Sonnenschutz besser außen anbringen: Jalousien, Rollläden, Markisen;
3. Die richtigen Fenster einbauen;
4. Wärmedämmung;
5. Speicherfähigkeit des Raums beachten;
6. Über ein "Smart Home" nachdenken;
7. Pflanzen als natürliche Verschattung.

Die Dachbegrünung kann pro Quadratmeter und Jahr bis zu 8,8 Gramm Feinstaub binden und 300 Gramm Kohlendioxid in Sauerstoff umwandeln. So können Dachbegrünungen einen wichtigen Beitrag zur Luftreinhaltung leisten. Auch grüne Fassaden machen sich bezahlt: Sie mindern an verkehrsreichen Straßen den Lärm und kühlen durch die Verdunstung von Wasser an heißen Sommertagen die Luft. Um bis zu

¹⁰² <https://www.baulinks.de/webplugin/2020/0663.php4>

¹⁰³ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/gebaudetechnik/diese-kuehlecke-senkt-raumtemperatur-in-minuten/>

¹⁰⁴ <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/die-heizung-kuehlen/>

¹⁰⁵ IPSER, C. - RADINGER, G. - WINKLER, M. - FLOEGL, H. - GEISSLER, S. (2015): Reduktion des Kühl-energiebedarfs durch optimierte Bebauungsstrukturen und Prozess-und Entwurfsoptimierung in der Gebäudeplanung. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

¹⁰⁶ <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/energetische-sanierung/hitzeschutz-bei-bau-und-sanierung-mitdenken-27953>

fünf Grad Celsius kann eine gut funktionierende Fassadenbegrünung die umgebende Temperatur senken.¹⁰⁷

Zur grünen Infrastruktur zählen bepflanzte Flächen (mit Kletterpflanzen wie Efeu, Knöterich oder Wilder Wein¹⁰⁸) sowie Begrünungsmaßnahmen am Gebäude. Die VHF (vorgehängte, hinterlüftete Fassade) hilft entscheidend den Wärmeeintrag im Inneren eines Gebäudes zu minimieren, da praktisch die Fassade selbst die dahinterliegende Wandkonstruktion verschattet.¹⁰⁹

Für den sommerlichen Wärmeschutz sind die Anforderungen bei Wohn- und Nichtwohngebäuden gemäß EnEV § 3 und 4 (für Deutschland) einzuhalten. Nichtwohnungsbauten haben höhere Anforderungen an die thermische und visuelle Qualität sowie eine komplexere Haustechnik. Die Berechnung des Gesamtsystems nach dem detaillierten Verfahren der EN 13363-2: Sonnenschutzeinrichtungen in Kombination mit Verglasungen – Berechnung der Solarstrahlung und des Lichttransmissionsgrades – Teil 2: Detailliertes Berechnungsverfahren ergibt ausreichend genaue Kennwerte. Die für den sommerlichen Wärmeschutz benötigten niedrigen g-Werte reduzieren die Nutzung der Solarstrahlung in der Heizperiode. Auch die Sonnenschutzgläser bieten heute mit hochselektiven neutralen Beschichtungen Lichttransmissionen bis zu 70 Prozent bei gleichzeitig niedrigen g-Werten von 40 Prozent. Außerdem ist ein zusätzlicher Blendschutz erforderlich. Neu entwickelte elektrochrome Verglasungen können als Sonnenschutzglas variabel auf Solarstrahlung reagieren. Sie bestehen aus einem Verbundglas mit einer ionenleitfähigen Polymerfolie, auf dessen innerer und äußerer Floatglasscheibe eine transparente, elektrisch leitfähige Beschichtung (TCO) aufgebracht ist. Neu entwickelte Materialien und Geometrien, wie die Genius-Lamelle, ermöglichen eine leistungsfähige Kombination aus Sonnen- und Blendschutz sowie Lichtversorgung, sodass die Lamelle in Verbindung mit einem Sonnenschutzglas für bestimmte Nutzungsfälle auch als innen liegender Sonnenschutz ausreichen kann.¹¹⁰

9.2 Gebäudekühlung in Industriegebäude

Auch ohne eine mechanische Lüftungsanlage ist ein regelmäßiger automatischer Luftaustausch in Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereichen durch die Sensorkombination von Luftfeuchte- und VOC-Sensor in Verbindung mit Elektro- und Solarfenstern (Automatikfenster) möglich. Die MSR Luftqualitätssteuerung von VELUX steuert die Fensteröffnung bedarfsgerecht.¹¹¹

¹⁰⁷ <https://www.energie-fachberater.de/ratgeber/ratgeber-hitzeschutz/begruebung-senkelt-feinstaubbelastung-und-kuehlt-an-sommertagen.php>

¹⁰⁸ <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/fassadenbegruebung-leitfaden.pdf>

¹⁰⁹ <https://www.architektur-aktuell.at/showcase/der-schutz-gegen-hitze>

¹¹⁰ <https://www.baunetzwissen.de/sonnenschutz/fachwissen/funktionen/schatten--aber-bitte-auch-licht-2583235>

¹¹¹ <http://www.bosy-online.de/Nachtluftung.htm>

Bezogene Unternehmen sind: WOLF¹¹², ROSENBERG¹¹³, SCHEUCH¹¹⁴ und verschiedenes¹¹⁵.

Je nach Arbeitsweise und Aufstellort lassen sich Klimaanlagen in zentrale und dezentrale Anlagen sowie nach ihrer Lüftungsfunktion in Nur-Luft-, Luft-Wasser-, Luft-Kältemittel- und Nur-Wasser-Anlagen unterscheiden.¹¹⁶

Sprühnebel-Ventilatoren besitzen die Funktion, dass sie einen Nebel aus Wasserrauch produzieren, der sich über den Wirkungsbereich des Ventilators legt. Dieser Effekt wird durch kleine Düsen verursacht, die sich hinter Rotorblättern befinden. Wenn Sie den Ventilator einschalten (ideal 50-80 W und 35 dB in geschlossener Raum), besprühen die Düsen die rotierenden Blätter, so dass ein feiner Nebel aus Wasser entsteht. Die Wasserquelle speist sich aus einem Wassertank (Verbrauch ca. 6 Liter pro 8 Stunden, also täglicher Normalbetrieb), welcher meist in Bodennähe am Gerät befestigt wird. Das Prinzip der Wasserzufuhr lässt sich ungefähr mit dem vergleichen, dass bei Ihrer Kaffeemaschine Anwendung findet.¹¹⁷

Die Vorteile eines Sprühnebel-Ventilators im Industriegebäude¹¹⁸:

- senkt die gefühlte Temperatur um bis zu 10° Celsius;
- bindet Hausstaub – sehr vorteilhaft für Allergiker;
- günstiger und mobiler als eine Klimaanlage;
- vertreibt Insekten;
- verbraucht lediglich zirka 10% der elektrischen Energie eines Klimagerätes für die gleiche Fläche;
- diverse Bauformen (Tisch-, Decken-, Boden-, Stand-, Turmventilator).

10 Wirtschaftliche Grundlagen zur Geschäftsmodellentwicklung

10.1 Wesentliche Aspekte

Die unterschiedlichen technologischen Anpassungen in der Gebäudesubstanz und auch in der Gebäudeperipherie ermöglichen eine Steigerung der Behaglichkeit für

¹¹² file:///C:/Users/TelekiJr/Downloads/BML_fuer_CGL_Bedienungsanleitung.pdf

¹¹³ https://www.rosenberg.hu/sites/default/files/rosenberg_airbox_de.pdf

¹¹⁴ https://www.scheuch.com/produkte-loesungen/ventilatoren/?gclid=EA1aIQobChMlw-SG9tu16wIVxdmyCh3bOgHUEAYBCAAEgK2UvD_BwE

¹¹⁵ <https://www.directindustry.de/industrie-hersteller/spruehnebel-ventilator-150305.html>

¹¹⁶ <https://www.baunetzwissen.de/gebaeudetechnik/fachwissen/kuehlen-klimatisieren/arten-der-klimatisierung-2492291>

¹¹⁷ <https://deine-mobile-klimaanlage.de/spruehnebel-ventilatoren-die-klimaanlage-fuer-ihren-garten/>

¹¹⁸ ROCHAT, H. - BAETTIG, M. - BUSH, E. (2019): Wärmeschutz und Kühlung von Büro und Gewerberäumen. Technischer Bericht, Energie Schweiz.

die BewohnerInnen und BenutzerInnen der jeweiligen Gebäudetypen. Diese Steigerung des Wohlbefindens spiegelt sich in erhöhter Leistungsfähigkeit und Produktivität wider. Speziell im überhitzen Bestandsbau sind oft Klimatisierungsmaßnahmen, welche die Behaglichkeit erhöhen, sehr wichtig.

Bauliche Maßnahmen, welche eine nachhaltige und energetisch ökologische Variante der Klimatisierung darstellen, sind speziell im Bereich Bauteilaktivierung und auch in Verbindung mit Erdwärmespeichern nur während der Bauphase sinnvoll umsetzbar. Als Nachrüstlösung sind solch große Anpassungen nur im Zuge umfassender Gebäudesanierungen wirtschaftlich abbildbar. Auch die Variante der Gebäudebegrünung ist für öffentliche Gebäude eine denkbare Variante.

Für die Bestandsobjekte im Projekt sind vor allem passive Maßnahmen mit einem geringeren Eingriff in die Gebäudesubstanz sinnvoll umsetzbar. So sind Verschattungsmaßnahmen wie Außenjalousien oder auch Sonnenschutzfolien kostengünstig und einfach nachrüstbar. Diese Maßnahmen eignen sich vor allem im privaten und öffentlichen Bau. Eine kontrollierte Nachtlüftung kann je nach Art und Ausführung ebenfalls in manchen Varianten relativ kostengünstig umgesetzt werden. Speziell bei unterschiedlichen Nachtlüftungsvarianten differieren die Preise stark mit dem verwendeten System. Für gewerbliche Anwendungen können auch die installierten Lüftungssysteme zur nächtlichen Be- und Entlüftung verwendet werden.

In der Praxis investieren Kunden oftmals vor allem im privaten Bereich in sehr günstige Monoblockgeräte, die man bereits um wenige hundert Euro erstehen kann. Diese bereiten oft Probleme beim Thermomanagement, da die Abwärme über die Schläuche nur unzureichend von der nachströmenden Luft getrennt werden kann. Als Folge brauchen solche Geräte viel Strom und bieten den AnwenderInnen nur einen geringen Kühlleffekt. Varianten, welche bessere Klimatisierungsergebnisse liefern, sind Splitklima- bzw. Multisplitklimaanlagen, allerdings fällt auch bei diesen Geräten der Stromverbrauch deutlich höher als bei passiven Kühlmaßnahmen aus. Für gewerbliche Kunden sind Kälteanlagen, welche via Lüftungsanlage kühlen, die Standardvariante der Nachrüstung.

Als nachhaltigere Maßnahmen treten auch vermehrt Smart Home Anwendungen in den Fokus. Diese bieten der Nutzerin und dem Nutzer in Verbindung mit Temperatur- und Sonneneinstrahlungsmessungen Empfehlungen, wann man z.B. Verschattungen (Jalousien oder ähnliches) öffnen oder schließen soll oder zu welchem Zeitpunkt Fensterlüftung ratsam ist.

10.2 Bewertung der möglichen Geschäftsmodelle

Für die Bewertung von ‚Geschäftsmodellen‘ bieten sich viele unterschiedliche Varianten an¹¹⁹. Anhand der Ausgangslage, dass es sich um keine Geschäftsmodelle¹²⁰ im begrifflichen Sinn¹²¹ handelt, wird zur Analyse der Möglichkeiten zur Abwendung der sommerlichen Überhitzung in diesem Dokument die Nutzwertanalyse herangezogen. Eingehendere Untersuchungen zu den wirtschaftlichen Aspekten für die unterschiedlichen Demonstrationsgebäude folgen in Deliverable 4.1, da diese sehr individuell auf den Anwendungsfall zugeschnitten werden müssen.

10.3 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse¹²² erlaubt anhand von Gewichtungen für verschiedene Faktoren eine Bewertung der jeweiligen Einflussfaktors. Hierzu ist die Definition der Bewertungskriterien der für den Vergleich der jeweiligen Möglichkeiten die wichtigste Grundlage.

10.3.1 Bewertungskriterien

- Ökologische Aspekte: Speziell in der Gebäudeklimatisierung wird in der Nachrüstung meist auf herkömmliche (aktive) Klimageräte zurückgegriffen. Diese sind aber in Bezug auf ihre ökologischen Aspekte nicht sehr empfehlenswert, da sie große Mengen an elektrischen Strom verbrauchen und nur in den seltensten Fällen natürliche Kältemittel wie z.B. R744¹²³, besser bekannt unter dem Namen Kohlendioxid, verwenden. Der Jahresstromverbrauch für einen durchschnittlichen Haushalt erhöht sich durch den Einsatz eines Gerätes zur Klimatisierung eines Raumes bereits um ca. 400 kWh¹²⁴.
- Technische Aspekte: Unter diesem Punkt wird bewertet, wie technisch aufwendig sich die jeweilige Maßnahme gestaltet
- Herstellungskosten: Gerade für bauliche Maßnahmen wie z.B. Erdwärmetauscher sind in der Herstellung sehr große Aufwände zu stemmen.
- Betriebskosten und Bedienerfreundlichkeit: Die Betriebskosten im laufenden Betrieb müssen beachtet werden.

¹¹⁹ <https://iktderzukunft.at/resources/pdf/methoden-geschaeftsmodellentwicklung-aal-loesungen.pdf>

¹²⁰ https://kompetenzzentrum-hamburg.digital/images/angebot/Downloads/Leitfaden/Leitfaden_Geschaeftsmodellinnovationen.pdf

¹²¹ <https://www.alexandria.unisg.ch/71541/1/Dissertation%2520Steffen%2520Breuer.pdf>

¹²² <http://www.rolanddincher.de/Download/SkriptNutzwert.pdf>

¹²³ https://www.bitzerkältemittelreport.com/fileadmin/Content/01_Startseite/A-500-21_DE.pdf

¹²⁴ https://www.oeko.de/uploads/oeko/forschung_beratung/themen/nachhaltiger_konsum/infoblatt_raumklima.pdf

- Kühleffekt: Je nachdem welche aktiven oder passiven Methoden angewendet werden, stellt sich eine leichte oder große Abkühlung in den jeweiligen Räumen ein.
- Einfluss auf Gebäude und Umgebung: Je nach gewählter Kühltechnologie kommen unterschiedliche Einflüsse und Aspekte zum Tragen. So ist z.B. die kontrollierte Nachtlüftung mit normaler Fensteröffnung im Erdgeschoss auf Grund sicherheitstechnischer Aspekte problematisch. Auch die Zweckentfremdung von Brandentrauchungsanlagen zur nächtlichen Belüftung ist auf Grund der zu erwartenden Schallbelastung auch nur bedingt geeignet.
- Umsetzungswahrscheinlichkeit: Die Gespräche und Interviews mit den Stakeholdern dienen hier als Grundlage zur Bewertung der Umsetzungswahrscheinlichkeit. Da im Rahmen dieses Projektes Maßnahmen verfolgt werden, welche auch umgesetzt werden sollen, ist dies auch ein wichtiger Punkt.

10.3.2 Gewichtung

Um die Bewertungskriterien in geeignete vergleichbare Relation zu setzen werden die definierten Kriterien unterschiedlich stark gewichtet.

- Ökologische Aspekte: 5
- Technische Aspekte: 1
- Herstellungskosten: 5
- Betriebskosten: 3
- Kühleffekt: 3
- Umgebungseinfluss: 3
- Umsetzungswahrscheinlichkeit: 5

10.3.3 Nutzwertanalyse Gewerbliche Gebäude

Tabelle 2 Beispiel Nutzwertanalyse für gewerbliche Gebäude

Nutzwertanalyse								
Nr.	Kriterium	Gewichtung	herkömmliche Klimaanlage versorgt mit PV		Nachtlüftung Fensterantriebe		Beschattung	
			Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
1	Ökologische Aspekte	5	3	15	5	25	5	25
2	Technische Aspekte	1	4	4	4	4	5	5
3	Herstellungskosten	5	2	10	4	20	4	20
4	Betriebskosten	3	4	12	5	15	5	15
5	Kühleffekt	3	5	15	2	6	2	6
6	Umgebungseinfluss	3	2	6	4	12	5	15
7	Umsetzungswahrscheinlichkeit	5	2	10	3	15	3	15
Nutzwert				72		97		101

Diese Nutzwertanalyse zeigt, dass in den gewerblichen Gebäuden eine kontrollierte Nachtlüftung und Beschattungsmaßnahmen einen ähnlich guten Nutzen erzielen können. Für die detaillierte Betrachtung in Arbeitspaket 4 muss diese Nutzwertanalyse für jedes Objekt gesondert durchgeführt werden, da die Voraussetzungen innerhalb der einzelnen Gewerbeobjekte unterschiedlich sind.

10.3.4 Nutzwertanalyse Wohngebäude

Tabelle 3 Beispiel Nutzwertanalyse für Wohngebäude

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Nutzwertanalyse					
			aktive Kühlung mit Wärmepumpe		Beschattung mittels Außenjalousie		Smarte Eingriffe ins NutzerInnen-verhalten	
			Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
1	Ökologische Aspekte	5	3	15	5	25	5	25
2	Technische Aspekte	1	4	4	4	4	5	5
3	Herstellungskosten	5	2	10	2	10	5	25
4	Betriebskosten	3	1	3	5	15	5	15
5	Kühleffekt	3	4	12	2	6	3	9
6	Umgebungseinfluss	3	2	6	5	15	5	15
7	Umsetzungswahrscheinlichkeit	5	2	10	3	15	5	25
Nutzwert				60		90		119

Im Wohnbaubereich zeigen in dieser Erstabschätzung die Eingriffe ins NutzerInnenverhalten den besten Nutzwert, da hier mit sehr geringem finanziellem Aufwand sich hier gute Resultate erzielen lassen können. Es ist hier aber essenziell, dass für so eine Anwendung die NutzerInnen vor Ort sind. Auch hier muss für jedes Objekt gesondert der Nutzwert analysiert werden.

10.3.5 Nutzwertanalyse öffentliche Gebäude

Tabelle 4 Beispiel Nutzwertanalyse für öffentliche Gebäude

Nr.	Kriterium	Gewichtung	Nutzwertanalyse					
			Nachtlüftung		Beschattung mittels Sonnenschutzfolie		Gebäudebegrünung	
			Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
1	Ökologische Aspekte	5	5	25	5	25	5	25
2	Technische Aspekte	1	3	3	5	5	2	2
3	Herstellungskosten	5	2	10	4	20	2	10
4	Betriebskosten	3	4	12	5	15	4	12
5	Kühleffekt	3	3	9	1	3	3	9
6	Umgebungseinfluss	3	5	15	5	15	4	12
7	Umsetzungswahrscheinlichkeit	5	2	10	4	20	1	5
Nutzwert				84		103		75

In den öffentlichen Gebäuden sind Beschattungsmaßnahmen aktuell die Variante mit dem höchsten Nutzwert. Es ist aber auch hier eine detaillierte Analyse im folgenden Arbeitspaket 4 erforderlich, da speziell durch die Sanierung und Neuerrichtung des Feuerwehrhauses ganz andere Maßnahmen umgesetzt werden können als im bestehenden Kindergarten. Außerdem besteht die Möglichkeit, Maßnahmen

kombiniert einzusetzen, wie z.B. die Kombination von Sonnenschutzfolien mit einer Nachtlüftung.

11 Rechtliche Grundlagen zur Geschäftsmodellentwicklung

Die rechtlichen Grundlagen der Geschäftsmodelle sind in der aktuellen Gesetzgebung zu finden.

Zum einen ist auf baurechtliche Themen Rücksicht zu nehmen, wenn größere Veränderungen in den Gebäuden wie z.B. die Errichtung von Beschattungsbauten wie z.B. Vordächer durchgeführt werden. Hierzu ist für das Projekt die Burgenländische Bauordnung¹²⁵ einzuhalten.

Für die Neuerrichtung von PV-Anlagen ist das Burgenländische Raumplanungsgesetz¹²⁶ zuständig.

Bei der Errichtung und dem Betrieb von Klimaanlagen ist für Güssing das Burgenländische Heiz- und Klimaanlagengesetz¹²⁷ einzuhalten.

Schallschutzhemen, welche bei der Errichtung von Wärmepumpen und Klimaanlagen ebenfalls dringend einzuhalten sind, werden auch von der Burgenländischen Bauordnung abgedeckt.

Die Errichtung von Erdwärmemtauschern ist mit der örtlichen Baubehörde (Gemeinde) abzuklären. Auch bei Gebäudebegrünungen muss die Gemeinde miteinbezogen werden, da es in vielen österreichischen Städten und Gemeinden Verordnungen zum Ortsbild und damit zur Außengestaltung von Gebäuden gibt.

Für größere Umbauten müssen die teilweise vorhandenen gebäudespezifischen Gesetze wie im Falle der Schule die Burgenländische Schulbau- und Einrichtungsverordnung¹²⁸ eingehalten werden.

Das Zustandekommen und der Betrieb der Erneuerbaren Energiegemeinschaft, welche im Zuge des Projektes betrachtet wird, wird mit dem Erneuerbaren Ausbau Gesetz (EAG)¹²⁹ geregelt. Dieses Gesetz liegt zum aktuellen Zeitpunkt (März 2021) nur in der Entwurfsversion vor.

Die Umsetzung kleinerer Maßnahmen wie Sonnenschutzfolien, Jalousien oder Smart Home Anwendungen unterliegen keiner gesetzlichen Vorgabe.

Allgemein kann angeführt werden, dass bei der Umsetzung von baulichen Maßnahmen und bei der Errichtung von mechanischen Lüftungs- und

¹²⁵ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrBgld&Gesetzesnummer=20000684>

¹²⁶ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrBgld&Gesetzesnummer=10000072>

¹²⁷ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrBgld&Gesetzesnummer=20001217>

¹²⁸ <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=LrBgld&Gesetzesnummer=10000209>

¹²⁹ <https://www.bmk.gv.at/dam/jcr:f1017b8b-f77b-4613-aa79-e20a7786dee2/EAG-entwurf.pdf>

Klimatisierungsmaßnahmen die örtlichen Bau-, Raumordnungs- und Schallschutzgesetze und -verordnungen zu berücksichtigen sind. Diese sind die Grundlage für die wirtschaftliche Bewertung der jeweiligen Abhilfemaßnahme, da solche rechtlichen Verpflichtungen manche Maßnahmen möglicherweise unterbinden oder aber zu einem wirtschaftlichen Mehraufwand führen können, wenn beispielsweise Schallschutzthemen den Einsatz von gewissen Wärmepumpen nicht ermöglichen oder wenn seitens der Gemeinde Tiefenbohrungen zur Erdwärmeverwendung nicht im erforderlichen Maß erlaubt sind.