

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 80: Resiliente Gebäudekühlung

P. Holzer, P. Stern,
P. Czarnecki, G. Hofer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

25/2024

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren: P. Holzer, P. Stern P.Czarnecki, G. Hofer
Wien, 2023

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 80: Resiliente Gebäudekühlung

DI Dr. Peter Holzer, DI Philipp Stern, Patryk Czarnecki MSc
Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH

DI (FH) Gerhard Hofer
e7 energy innovation & engineering GmbH

Wien, Mai 2024

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms



des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM
Leiter der Abt. Energie und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Inhalt

Vorbemerkung	5
Kurzfassung	8
Abstract	10
Ausgangslage	11
Projekthalt	13
A. Fundamentals (Grundlagen)	13
B. Solutions (Lösungen auf Gebäudeebene)	14
C. Field Studies (Feldstudien)	15
D. Policy Actions (Politische Maßnahmen).....	16
Resilience Definition Task Group (Arbeitsgruppe Resilienz Definition)	16
Thermal Conditions Task Group (Arbeitsgruppe Thermische Randbedingungen)	16
Weather Data Task Group (Arbeitsgruppe Wetterdaten)	17
KPI Task Group (Arbeitsgruppe Leistungsindikatoren)	17
Simulation Task Group (Arbeitsgruppe Thermische Simulationen).....	18
Ergebnisse	19
Deliverable 1: State of the Art Review (SOTAR).....	19
Deliverable 2: Midterm Report	23
Deliverable 3: Technology Profiles Report.....	24
Deliverable 4: Field Studies Report	26
Deliverable 5: Resilient Cooling Design Guideline	31
Deliverable 6: Policy Recommendations.....	31
Deliverable 7: Project Summary Report.....	33
Publikationen	34
Weather Data Files	35
Dynamic Simulation Guidelines.....	35
Thermal Conditions Report.....	35
KPI Report.....	35
Weitere	36
Schlussfolgerungen	37
Gewonnene Erkenntnisse	37
Verwertung der Ergebnisse.....	38
Rechtliche Hürden.....	38
Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten	39
Zusammenfassende Schlussfolgerung	39
Ausblick und Empfehlungen	41
Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten	41
Abbildungsverzeichnis	42
Literaturverzeichnis	43
Abkürzungen	45
Anhang	46

1 Kurzfassung

Die technische Temperierung von Gebäuden zu Kühlzwecken nimmt weltweit rasant zu. Dies ist auf verschiedene Faktoren, wie Urbanisierung und Verdichtung, Klimawandel und höhere Komfortansprüche, zurückzuführen. Ein weiterer entscheidender Faktor ist das zunehmende Wirtschaftswachstum in den heißen und dicht besiedelten Regionen der Welt. Der Trend zum immer größer werdenden Einsatz von Raumkühlung scheint unausweichlich, daher ist es zwingend erforderlich, diese Entwicklung in Richtung nachhaltiger Lösungen zu lenken.

Angesichts dieser Umstände ist es das Anliegen von Annex 80 Resiliente Gebäudekühlung, Lösungen für resiliente Kühlung und resilienten Überhitzungsschutz zu entwickeln, zu bewerten und zu vermitteln.

Unter dem Begriff "Resiliente Gebäudekühlung" werden energieeffiziente, emissionsarme und finanziell leistbare Kühlkonzepte verstanden, die die Widerstandsfähigkeit gegenüber thermischen und anderen Einflüssen des Klimawandels auf globaler und lokaler Ebene steigern und diese auch verhindern.

Annex 80 leistet einen Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderung. Im Rahmen des Annex 80 erfolgt eine systematische Bewertung existierender Kühltechnologien, ihrer Potenziale, Einschränkungen und Qualitäten der Resilienz. Weiters werden Kühltechnologien hinsichtlich Robustheit, Effizienz, CO₂-Neutralität und Leistbarkeit weiterentwickelt und verbessert. Die reale Leistungsfähigkeit von Kühltechnologien wird bewertet, um Leistungslücken zu identifizieren und Lösungen zu entwickeln, um diese systematisch zu überwinden. Ebenso werden regulatorische Maßnahmen identifiziert und kommuniziert, die die breite Anwendung resilienter Kühltechnologien unterstützen können.

Inhaltlich umfasst Annex 80 das Spektrum der folgenden vier Technologiegruppen: (1) Reduktion von außeninduzierten Wärmebelastungen, (2) Abfuhr fühlbarer Wärme aus Innenräumen, (3) Verbesserung des persönlichen Komforts abseits von Raumkühlung und (4) Abfuhr latenter Wärme aus Innenräumen.

Methodisch wurde die Forschungsaktivität in vier Subtasks und in weitere fünf übergreifende Task Groups organisiert. Die Ergebnisse des Annex 80 sind in sieben Deliverables und in zahlreichen wissenschaftlichen Publikationen dokumentiert und frei verfügbar.

Annex 80 hat wesentliche Beiträge zur Professionalisierung und Anwendungsunterstützung resilienter Gebäudekühlung geliefert und hat die Möglichkeiten ihrer Anwendung in unterschiedlichsten Klimazonen und Gebäudetypen erweitert.

Die Arbeit insbesondere an passiven Kühlstrategien hat aber auch die Grenzen der rein gebäudebezogenen Maßnahmen aufgezeigt: Die Außenraumbedingungen der Gebäude, die thermischen Wechselwirkungen der gebauten Strukturen und auch die sektorübergreifenden Energie- und Wärmeströme in urbanen Siedlungsgebieten müssen unbedingt in die Gestaltung von klimawandelresilienten und dekarbonisierten Lebensräumen einbezogen werden.

Vor diesem Hintergrund wird auch gegenwärtig im Rahmen der IEA Programme EBC und Cities ein weiterführender Annex, mit dem erweiterten Fokus auf resilientes und nachhaltiges Kühlen von Städten bzw. in Städten, vorbereitet.

2 Abstract

The technical temperature control of buildings for cooling purposes is increasing rapidly world-wide. This is due to various factors, such as urbanisation and densification, climate change and higher comfort demands. Another decisive factor is the increasing economic growth in the hot and densely populated regions of the world. The trend towards ever-increasing use of space cooling seems inevitable, therefore it is imperative to steer this development towards sustainable solutions.

Given these circumstances, the aim of Annex 80 Resilient Building Cooling is to develop, evaluate and communicate solutions for resilient cooling and resilient overheating protection.

The term "resilient cooling of building" refers to energy-efficient, low-emission and financially affordable cooling concepts that increase resilience to and prevent thermal and other climate change impacts at global and local levels.

Annex 80 contributes to overcoming this challenge. Its research program includes a systematic assessment of existing cooling technologies, their potentials, limitations, and qualities of resilience. Further cooling technologies are developed and improved in terms of robustness, efficiency, CO₂ neutrality and affordability. The real-world performance of cooling technologies is assessed performance gaps are identified and solutions are developed to systematically overcome them. Finally regulatory measures that can support the broad application of resilient cooling technologies are identified and communicated.

Annex 80 covers the spectrum of the following four technology groups: (1) Reducing heat gains to the indoor environment and people, (2) Removing sensible heat from the indoor environment, (3) Enhance personal comfort apart from space cooling and (4) Removing latent heat from the indoor environment.

Methodologically, the research activity was organized into four subtasks and a further five overarching task groups. The results of Annex 80 are documented in seven deliverables and in numerous scientific publications, which are freely available.

Annex 80 has made significant contributions to the professionalisation and application support of resilient cooling of buildings and has expanded the possibilities of its application in a wide range of climate zones and building types.

However, the work on passive cooling strategies has also shown the limits of purely building-related measures: The outdoor conditions of buildings, the thermal interactions of built structures and the cross-sectoral energy and heat flows in urban settlement areas must be included in the design of climate change resilient and decarbonized living spaces.

Against this background, a new annex is currently being prepared as part of the IEA EBC and Cities programs, with an extended focus on resilient and sustainable cooling of cities and in cities.

3 Ausgangslage

Die technische Temperierung von Gebäuden zu Kühlzwecken nimmt weltweit rasant zu. Dies ist auf verschiedene Faktoren, wie Urbanisierung und Verdichtung, Klimawandel und höhere Komfortansprüche, zurückzuführen. Ein weiterer entscheidender Faktor ist das zunehmende Wirtschaftswachstum in den heißen und dicht besiedelten Regionen der Welt. Der Trend zum immer größer werdenden Einsatz von Raumkühlung scheint unausweichlich, daher ist es zwingend erforderlich, diese Entwicklung in Richtung nachhaltiger Lösungen zu lenken.

Zu den vorhersehbaren Auswirkungen des Klimawandels gehören längere und häufigere Extremereignisse wie Hitzewellen, Stromausfälle und das Fehlen oder die unzureichende Auslegung von Kühltechnologien und -strategien, um den zukünftigen Klimabedingungen gerecht zu werden und das Risiko von Stromausfällen zu verringern. Solche Ereignisse haben auch Auswirkungen auf den Bausektor, indem sie neue Herausforderungen an die Gebäudekühlung stellen und diese einem noch nie dagewesenen Druck aussetzen. Die heute weit verbreiteten Kühltechnologien, die hauptsächlich von fossilen Brennstoffen abhängig sind (sogenannte aktive Systeme mit Strom-/Brennstoffbedarf), werden extremen Ereignissen langfristig nicht standhalten können. Im Gegensatz dazu gibt es Technologien, die den Brennstoff-/Energiebedarf durch sogenannte passive Systeme reduzieren oder eliminieren, die den Kühlbedarf von Gebäuden reduzieren oder überschüssige Wärme effizient und mit minimalem Energieeinsatz, vorzugsweise mit erneuerbaren Energiequellen, abführen (aktive Systeme).

Angesichts dieser Umstände ist es das Anliegen von Annex 80 Resiliente Gebäudekühlung, Lösungen für resiliente Kühlung und resilienten Überhitzungsschutz zu entwickeln, zu bewerten und zu vermitteln. Unter dem Begriff "Resiliente Gebäudekühlung" werden energieeffiziente, emissionsarme und finanziell leistbare Kühlkonzepte verstanden, die die Widerstandsfähigkeit gegenüber thermischen und anderen Einflüssen des Klimawandels auf globaler und lokaler Ebene steigern und diese auch verhindern.

Es gibt bereits eine Vielzahl von Kühltechnologien und -lösungen. Dennoch sind weitreichende Initiativen erforderlich, um die allgemeine Entwicklung der Raumkühlung in Richtung Nachhaltigkeit und Resilienz zu lenken. Annex 80 leistet einen Beitrag zur Bewältigung dieser Herausforderung. Nicht nur die Entwicklung, sondern auch die breite Anwendung resilienter Kühlung wird wirksam unterstützt durch:

- Systematische Bewertung existierender Kühltechnologien, ihrer Potenziale, Einschränkungen und Qualitäten der Resilienz
- Entwicklung und Verbesserung von Kühltechnologien hinsichtlich: Robustheit, Effizienz, CO₂-Neutralität und Leistbarkeit
- Bewertung der realen Leistungsfähigkeit von Kühltechnologien, um Leistungslücken zu identifizieren und Lösungen zu entwickeln, um diese systematisch zu überwinden
- Identifizierung und Kommunikation regulatorischer Maßnahmen, die die breite Anwendung resilienter Kühltechnologien unterstützen können.

Mehrere IEA-Annexe haben sich bereits mit Aspekten der energieeffizienten und emissionsarmen Raumkühlung befasst. Diese konzentrierten sich auf spezifische Technologien. Annex 80 baut auf den Ergebnissen dieser Projekte auf und integriert sie in seinen breiteren Ansatz:

- Annex 28 Low Energy Cooling Systems
- Annex 35 Hybrid Ventilation
- Annex 37 Low Exergy Systems for Heating and Cooling
- Annex 48 Heat Pumping and Reversible Air Conditioning
- Annex 49 Low Exergy Systems for High Performance Buildings and Communities
- Annex 59 High Temperature Cooling and Low Temperature Heating in Buildings
- Annex 62 Ventilative Cooling
- Annex 67 Energy Flexible Buildings
- Annex 69 Strategy and Practice of Adaptive Thermal Comfort in Low Energy Buildings

Annex 80 umfasst die Bewertung sowie Forschung und Entwicklung von aktiven und passiven als auch hybriden Kühltechnologien und -systemen, dabei wird in die folgenden vier Gruppen unterteilt:

- a. Reduktion von außeninduzierten Wärmebelastungen
- b. Abfuhr fühlbarer Wärme aus Innenräumen
- c. Verbesserung des persönlichen Komforts abseits von Raumkühlung
- d. Abfuhr latenter Wärme aus Innenräumen

Das Hauptziel des Annex 80 besteht darin, einen raschen Wandel hin zu einem Umfeld zu unterstützen, in dem energieeffiziente und emissionsarme Kühlsysteme die wichtigsten und bevorzugten Lösungen für Kühlungs- und Überhitzungsprobleme in Gebäuden sind. Der Schwerpunkt des Annexes liegt dabei auf Wohn- und Bürogebäuden.

Zu Beginn des Projekts wurde der Stand der Technik erhoben und in Berichtsform publiziert, Annex 80 Deliverable 1: Resilient Cooling of Buildings - State of the Art Review. Dieses Deliverable beinhaltet eine Bestandsaufnahme gegenwärtiger Kühltechnologien für Gebäude. Das Hauptziel ist die systematische Beschreibung der verfügbaren Kühllösungen, ihrer physikalischen Grundlagen, ihrer Vorteile und Einschränkungen, ihres technologischen Entwicklungsstandes, ihrer praktischen Verfügbarkeit und ihrer Anwendbarkeit. Die Einschätzungen beruhen auf einer umfangreichen und systematischen Literaturrecherche sowie auf der wissenschaftlichen und praktischen Expertise der Autor:innen. Auf diese Weise bildet der State of the Art Review (SOTAR) die Grundlage für die Arbeit im Projekt Annex 80. Das Dokument ist das Ergebnis einer gemeinschaftlichen Arbeit von Teilnehmer:innen des IEA EBC Annex 80.

Der Umfang des Annexes beschränkt sich auf Maßnahmen innerhalb des Gebäudes selbst. Der Bereich des städtischen Mikroklimas wird bei der Betrachtung nicht miteinbezogen. Die Vielfalt der möglichen außenklimatischen Bedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit, Luftqualität, Lärm) wird jedoch berücksichtigt. Annex 80 grenzt sich zudem von der Forschung zum Innenraumkomfort ab. Die Behaglichkeit in Innenräumen wird jedoch als wichtige Randbedingung miteinbezogen.

4 Projektinhalt

Annex 80: Resiliente Gebäudekühlung ist Teil der österreichischen Forschungs Kooperation mit der Internationalen Energieagentur (IEA). Ein grundlegendes Ziel der IEA ist die Förderung der internationalen Zusammenarbeit zwischen den 30 IEA-Teilnehmerländern und die Erhöhung der Energiesicherheit durch Energieforschung, -entwicklung und -demonstration in den Bereichen Technologien für Energieeffizienz und erneuerbare Energiequellen. Die IEA koordiniert die internationale Forschung und Entwicklung im Energiebereich durch ein umfassendes Portfolio von so genannten „Technology Collaboration Programmes“ (TCPs). Annex 80 Resiliente Gebäudekühlung ist Teil des „Energy in Buildings and Communities“-TCPs (EBC TCP), welcher als Ziel hat, sowohl den Energieverbrauch als auch die Kohlenstoffemissionen weitestgehend auf null zu reduzieren [1].

Neben Österreich sind die folgenden Länder Teil des EBC TCP: Australien, Belgien, Brasilien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Japan, Kanada, Republik Korea, Neuseeland, Niederlande, Norwegen, Portugal, Schweden, Schweiz, Singapur, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Vereinigtes Königreich und die Vereinigten Staaten von Amerika. An Annex 80: Resiliente Gebäudekühlung haben 83 Teilnehmer:innen von 33 Institutionen aus 17 Ländern gearbeitet.

Der österreichische Beitrag im Projekt Annex 80: Resiliente Gebäudekühlung bestand aus themenbezogenen Forschungsleistungen sowie der Organisation und Projektleitung. Inhaltlich wurde in Zusammenarbeit mit dem internationalen Forschungskonsortium maßgeblich zur Beantwortung der Forschungsfragen zur resilienten Gebäudekühlung beigetragen. Die erfolgreiche und reibungslose Projektabwicklung des internationalen Forschungsprojekts, durch Koordination der Leistungen innerhalb des internationalen Konsortiums, sowie die Erstellung einer Vielzahl an Publikationen und Deliverables wurde sichergestellt. Die österreichische Projektleitung trug dabei maßgebend zur Schärfung des internationalen Profils des Forschungsstandorts bei und unterstreicht die Vorreiterrolle auf diesem Gebiet. Die gewonnenen Erkenntnisse sind Basis für weitere österreichische Projekte wie etwa „Urbaner Kälte Bedarf in Österreich 2030/2050“ oder für die Entwicklung der aspern klimafit Qualitätskriterien.

Subtask A: Fundamentals (Grundlagen)

Subtask A definiert Resilienz in Bezug auf die Kühlung von Gebäuden durch die Bewertung eines breiten Spektrums von Fachgebieten, deren Strategien zum Katastrophenrisikomanagement und Resilienzmaßnahmen gegenüber Hitzewellen und/oder Stromausfällen.

Im Rahmen von Subtask A wurden geeignete *Key Performance Indicators* (KPIs) entwickelt, um die Resilienz von Kühltechnologien und -systemen anhand eines ganzheitlichen Ansatzes zu bewerten. Die KPIs wurden auf thermischen Komfort, Hitzebelastung und CO₂-Emissionen bezogen.

Subtask A besteht aus mehreren eng miteinander verbundenen Aktivitäten. Ein Schlüsselaspekt ist die Zusammenstellung der aktuellen Wissens- und Evidenzbasis sowie die intensive

Zusammenarbeit und der Informationsaustausch zwischen den beteiligten Institutionen und Ländern. Der Subtask A ist in die folgenden Forschungsaktivitäten unterteilt:

Aktivität A.1 Diese Aktivität umfasst die Bewertung eines breiten Spektrums von Bereichen, deren Strategien zum Katastrophenrisikomanagement und Resilienzmaßnahmen, um eine Definition von Resilienz in Bezug auf die Kühlung von Gebäuden zu formulieren.

Aktivität A.2 Im Mittelpunkt dieser Aktivität steht die Entwicklung multikriterieller Methoden zur Bewertung von Technologien, die hinsichtlich thermischen Komforts, Hitzebelastung und CO₂-Emissionen zu einheitlichen und messbaren KPIs führen.

Aktivität A.3 Diese Aktivität umfasst die Ermittlung und Weiterentwicklung von Methoden zur Vorhersage der Leistungsfähigkeit des gesamten Spektrums möglicher resilienter Kühltechnologien zur Verringerung des Kühlbedarfs und der Überhitzungsrisiken. Die Erkenntnisse über geeignete Methoden aus dieser Forschungsaktivität werden in die *Technology Profile Sheets* integriert, die in Aktivität B.1 erstellt werden.

Darüber hinaus ist der Subtask A maßgeblich beteiligt an den Task Groups *Resilience Definition*, *Thermal Conditions* und *Key Performance Indicators*. Die Task Groups werden anschließend an die Subtasks detailliert beschrieben.

Subtask B: Solutions (Lösungen auf Gebäudeebene)

Der Subtask B bewertet systematisch die Vorteile, Grenzen und Leistungsindikatoren von resilienten Kühllösungen. Es wurden sowohl Barrieren als auch begünstigende Bedingungen für die Umsetzung identifiziert. Dieser Subtask liefert Leitlinien für die Integration von resilienten Kühlsystemen in bestehende und neue Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs und zur Raumkomfortprognose (*Dynamic Simulation Guideline*, *Resilient Cooling Guideline*).

Subtask B befasst sich außerdem mit spezifischer Forschungsarbeit im Hinblick auf Neuentwicklungen und Verbesserungen von resilienter Kühlung und Überhitzungsschutz. Dabei wurden die Möglichkeiten bestehender energieeffizienter und emissionsarmer Kühllösungen erweitert und neue Lösungen, Kombinationen von Technologien und Anwendungen entwickelt.

Der Subtask B ist im Rahmen spezifischer nationaler Forschungsprojekte der Projektpartner:innen (*National Research Items*, kurz NRIs) organisiert. Darin werden methodische Ansätze wie numerische Modellierung und Messungen im Labor- und Prototypenmaßstab angewendet. Da die teilnehmenden Partner:innen spezifische klimatische und andere kontextbezogene Interessen der jeweiligen Länder haben, deckt Subtask B Forschungsthemen ab, die sowohl international relevant als auch national spezifisch sind. Subtask B koordinierte mehr als 40 solcher nationaler Forschungsprojekte.

Die Ergebnisse wurden in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht, beispielsweise in der Sonderausgabe von *Energy and Buildings* mit dem Titel „Building Cooling for Sustainable Societies“ und im *State of the Art Review (SOTAR)* [2].

Der Subtask gliedert sich in die folgenden Forschungsaktivitäten:

Aktivität B.1 Diese Aktivität umfasst eine systematische Bewertung der potenziellen Vorteile, Einschränkungen und Leistungsindikatoren von resilienten Kühllösungen unter einer Vielzahl von Anwendungsszenarien und Randbedingungen. Es wurden *Technology Profile Sheets* für resiliente Kühltechnologien erstellt, um die operativen Eigenschaften und Vorteile der einzelnen Technologien klar zusammenzufassen. Darin wurden Empfehlungen für eine effiziente Implementierung, Inbetriebnahme und den Betrieb formuliert. Darüber hinaus wurden Hindernisse für die Anwendung und weitere Forschungsmöglichkeiten ermittelt.

Aktivität B.2 Diese Aktivität umfasst spezifische nationale Forschungsprojekte zur Entwicklung von neuen Lösungen und Kombinationen von Technologien und Anwendungen. Darüber hinaus umfasst diese Aktivität Forschungsprojekte zur Erweiterung des Einsatzbereichs bestehender Technologien und Systeme zur resilienten Kühlung (z.B. im Hinblick auf Gebäudetyp, Klimazonen oder Belegungsmerkmale)

Subtaks C: Field Studies (Feldstudien)

Subtask C zeigt die Potenziale und Vorteile von resilienter Kühlung durch die Analyse und Bewertung gut dokumentierter Anwendungen von energieeffizienten und emissionsarmen resilienten Kühllösungen auf.

In den Feldstudien wurden konkrete Technologien und Lösungen und nicht bestimmte Gebäude analysiert und beobachtet. Untersucht wurden die Leistungsdefizite bestehender Kühlanwendungen sowie ihre tatsächliche Leistung im Einsatz, unter besonderer Berücksichtigung der soziotechnischen Interaktion und der Kontrollstrategien.

Die Ergebnisse von Subtask C ergänzen die in Subtask B entwickelten *Technology Profile Sheets*. Der Subtask gliedert sich in die folgenden Forschungsaktivitäten:

Aktivität C.1 Diese Aktivität stellt einen methodischen Rahmen für die Durchführung von Feldstudien und die Untersuchung der gesammelten Datensätze dar.

Aktivität C.2 Diese Aktivität besteht aus der Leistungsbewertung und Analyse der Leistungsdefizite von resilienten Kühllösungen, Auslegungsmethoden und -werkzeugen unter besonderer Berücksichtigung der soziotechnologischen Interaktion sowie Kontrollstrategien, unter Verwendung der Kriterien und Methoden, die in Aktivität C.1 definiert wurden.

Aktivität C.3 Im Rahmen dieser Aktivität wurden Erfahrungen gesammelt und Empfehlungen für die Auslegung und den Betrieb resilienter Kühllösungen entwickelt. Weiters wurden Hindernisse für die Anwendung und den Betrieb identifiziert. Alle Erkenntnisse wurden im *Field Studies Report* (Deliverable D4) publiziert.

Darüber hinaus ist der Subtask C maßgeblich an der Task Group zu den *Key Performance Indicators* beteiligt. Subtask C koordinierte auch 13 Fallstudien zum Monitoring von resilienter Kühlsysteme.

Subtask D: Policy Actions (Politische Maßnahmen)

Subtask D befasste sich mit strategischen Bemühungen zur Förderung von Energieeffizienz und resilienter Kühlung auf regulatorischer Ebene. In diesem Subtask wurden Produktkennzeichnungen, Energieeffizienzstandards, Bauvorschriften, Normen, Richtlinien und Empfehlungen analysiert, um internationale Best-Practice-Beispiele sowie potenzielle Hindernisse zu ermitteln.

Das Ziel war die Entwicklung von Empfehlungen für zukünftige Regulierungsmaßnahmen zur Unterstützung der Umsetzung und Durchsetzung von resilienten Kühlsystemen auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene. In diesem Zusammenhang strebte Subtask D an, einen Anknüpfungspunkt für internationale Programme zu bieten, wie beispielsweise KIGALI – Cooling Efficiency Programme, Mission Innovation Challenge #7 und den IEA Technology Collaborating Programmes.

Der Subtask gliederte sich in die folgenden Forschungsaktivitäten:

Aktivität D.1 Diese Aktivität analysierte und verglich auf internationaler Ebene nationale und internationale Produktkennzeichnungen, Energieeffizienzstandards, Nachhaltigkeitsaspekte in Bauvorschriften und Normen im Hinblick auf resiliente Kühlung. (*Policy Recommendation Sheets*)

Aktivität D.2: Diese Aktivität umfasste die Zusammenarbeit mit internationalen Programmen zur Unterstützung und Einbezug resilienter Kühlungssysteme.

Resilience Definition Task Group (Arbeitsgruppe Resilienz Definition)

Um eine Definition von Resilienz im Kontext des Annexes zu erstellen, welche auch als Ausgangspunkt aller Betrachtungen im weiteren Projektverlauf herangezogen wird, wurde die *Resilience Definition* Task Group eingerichtet, welche stark den Subtask A unterstützt.

Thermal Conditions Task Group (Arbeitsgruppe Thermische Randbedingungen)

Die *Thermal Conditions* Task Group hatte die folgenden Ziele:

- Koordination mit allen Task Groups
- Definition einheitlicher thermischer Randbedingungen zur Bewertung verschiedener Kühltechnologien, basierend auf der Definition von Resilienz aus Subtask A
- Definition einheitlicher Vergleichswerte

Die Ergebnisse dieser Task Group bildeten die Basis für die weiteren Task Groups und Subtasks.

Weather Data Task Group (Arbeitsgruppe Wetterdaten)

Zukünftige meteorologische Randbedingungen sind entscheidend für eine schlüssige Bewertung resilienter Kühltechnologien. Diese Arbeitsgruppe erarbeitete Vorschläge für eine koordinierte Methodik zur Erstellung von prospektiven Klimadatensätzen, insbesondere zur Darstellung und Vorhersage der Auswirkungen des Klimawandels und von Hitzewellen.

Ein Ziel war die Erstellung von Wetterdatensätzen für charakteristische Klimazonen und repräsentative Städte. Darin sind enthalten:

- Ein typisches meteorologisches Jahr, englisch Typical Meteorological Year (TMY), (in stündlicher Auflösung, für die Zeiträume 2001-2021, 2041-2061 und 2081-2101)
- Darstellung charakteristischer Hitzewellen (in stündliche Auflösung, für die Zeiträume 2001-2021, 2041-2061 und 2081-2101)
- Auslegungsbedingungen für Kühlung

Ein weiteres Ziel war die Beschreibung der Methodik, der Quellen und die Festlegung von Mindestanforderungen an die Qualität der einzelnen Wetterdatensätze.

Als Grundlage werden Klimazonen vom amerikanischen Berufsverband „American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers“ (ASHRAE) verwendet, um repräsentative Städte für jede Klimaregion auszuwählen. Dabei wurden insgesamt 15 Städte betrachtet. Bei der Auswahl der repräsentativen Städte wurden Städte mit hoher Bevölkerungsdichte und hohem Wachstum bevorzugt. Die Wetterdaten wurden basierend auf CORDEX-Daten (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) unter Verwendung der Norm EN ISO 15927-4:2005 erstellt für das Worst-Case-Szenario RCP8.5 des 5. IPCC-Bewertungsberichts aus dem Jahr 2014 [3]. Historische Beobachtungsdaten (20 Jahre kontinuierliche stündliche Daten), welche notwendig sind, um langfristige Verzerrungen im Zusammenhang mit Klimamodelldaten zu reduzieren, wurden ebenfalls herangezogen. Dabei wurden CORDEX-Daten mit verschiedenen Modellen erzeugt, unter Berücksichtigung der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur darüber, welches Modell für die einzelnen Klimazonen am zuverlässigsten ist. Hitzewellen wurden mit Hilfe der von Ouzeau et al [4]. entwickelten Methode in den CORDEX-Daten identifiziert. Diese Methodik zur Generierung der Wetterdatensätze ermöglichte es, dieselbe Datenquelle und Zeiträume für verschiedene Städte und Klimazonen zu verwenden und zukünftige Extremereignisse wie Hitzewellen zu erkennen. Dies ist mit anderen Wetterdatengeneratoren, wie beispielsweise METEONORM, nicht möglich.

KPI Task Group (Arbeitsgruppe Leistungsindikatoren)

Innerhalb der *Key Performance Indicators* Task Group wurde ein strukturierter Grundkatalog von *Key Performance Indicators* (KPIs) erstellt, die für resiliente Kühltechnologien relevant sind. Die KPIs wurden einschließlich Definition, Einheit, Quelle, Informationswert und Anwendungsbereiche innerhalb des Annexes beschrieben. Enthalten sind Messgrößen für die Innenraumqualität, den Energieverbrauch, Heizen, Lüften, Kühlen und das Stromnetz. Besonderer Fokus lag auf der Identifikation von Resilienz-assoziierten KPIs. Die KPIs wurden in weiterer Folge in den einzelnen Deliverables des Annexes angewandt.

Simulation Task Group (Arbeitsgruppe Thermische Simulationen)

Die *Simulation* Task Group wurde eingerichtet, um die Kühltechnologien zu bewerten und daraus Technologieprofile zu erstellen. Die Inputs für die Simulationen stammten von der *Weather Data* Task Group, der *KPI* Task Group und der *Thermal Conditions* Task Group. Die Rahmenbedingungen wurden in einem Simulationsleitfaden festgehalten (*Dynamic Simulation Guideline*).

5 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Annex 80 liegen in Form von sieben Publikationen (Deliverables) vor. Sie bilden einen integralen Bestandteil dieses Endberichts und sind online verfügbar. Nähere Informationen unter: https://www.building-research.at/annex_80/

1. State-of-the-art Review (SOTAR) – publiziert
2. Midterm Report – publiziert
3. Technology Profiles Report - im Reviewprozess durch EBC ExCo
4. Field Studies Report – publiziert
5. Resilient Cooling Design Guideline – in Zusammenarbeit mit REHVA publiziert
6. Resilient Cooling Case Studies Report - im Reviewprozess durch EBC ExCo
7. Statusbericht Regulatory Initiatives - im Reviewprozess durch EBC ExCo

Zusätzlich wurden Teilergebnisse des Annex 80 in zahlreichen wissenschaftlichen Journalen publiziert. Eine Liste der wesentlichen Journal-Artikel ist auf <https://annex80.iea-ebc.org/publications> zusammengestellt.

Deliverable 1: State of the Art Review (SOTAR)

Das *Deliverable 1: State of the Art Review* [2] ist das Ergebnis einer gemeinschaftlichen Arbeit der Teilnehmer:innen des Annexes und fasst den aktuellen Stand der Kühltechnologien, die als resilient eingestuft werden können, in vier Kapiteln zusammen. Das Hauptziel lag in der systematischen Beschreibung der verfügbaren Kühltechnologien, ihrer physikalischen Grundlagen, ihrer Vorteile und Einsatzgrenzen, ihres technologischen Fortschritts und ihrer praktischen Verfügbarkeit und Anwendbarkeit. Die Einschätzung der *State of the Art Reviews* basieren auf einer umfangreichen und systematischen Literaturrecherche sowie auf der wissenschaftlichen und praktischen Erfahrung der Autor:innen.

Das erste Kapitel enthält relevante Technologien und Strategien, die zur Reduktion von außeninduzierten Wärmebelastungen beitragen. Diese Technologien und Strategien umfassen Fenster- und Verglasungstechnologien, Beschattungstechnologien, kühlende Gebäudeoberflächen, begrünte und Wasseroberflächen, belüftete Fassaden sowie Wärmespeicherung und Wärmeabgabe.

Im zweiten Kapitel wurden Kühlstrategien und -technologien bewertet, die für die Abfuhr fühlbarer Wärme aus Innenräumen verantwortlich sind: Ventilationskühlung, Verdunstungskühlung, Kompressionskühlung, Desiccant Cooling Systeme, Erdreichkühlung, nächtliche Strahlungskühlung und Strahlungskühlung.

Im dritten Kapitel wurden verschiedene Arten von Kühlstrategien und -technologien, die zur Verbesserung des persönlichen Komforts abseits von Raumkühlung eingesetzt werden können, analysiert. Diese Gruppe umfasst Decken- und Wandventilatoren. Zudem wurde auf kleine

Tischventilatoren oder Standventilatoren, in Möbel integrierte Ventilatoren, Geräte, die Ventilatoren mit Vernebelung/Verdunstungskühlung kombinieren, gekühlte Stühle, gekühlte Stühle mit konvektiv/konduktiv gekühlten wärmeabsorbierenden Oberflächen, gekühlte Tischoberflächen, Mikroklimageräte am Arbeitsplatz, strahlungsgekühlte Paneele und kühlende Kleidung eingegangen.

Im vierten Kapitel wurden Technologien und Strategien zur Abfuhr latenter Wärme aus Innenräumen bewertet. Dabei wurde die Entfeuchtung mit Trockenmitteln, die Entfeuchtung durch Kühlung, die Entfeuchtung durch Lüftung und die thermoelektrische Entfeuchtung untersucht.

Die Untersuchung zum Stand der Technik bestätigte die Ausgangshypothese des Annexes. Es gibt eine Vielzahl von Kühltechnologien für unterschiedliche Gebäudetypen und Klimazonen, deren Resilienz ist bisher aber nicht hinreichend beschrieben. Der *State of the Art Review* bildete die Grundlage für die weitere Arbeit des Annex 80.

Folgend werden Ausschnitte aus diesem Deliverable gezeigt und beschrieben. Der vollständige Bericht ist auf der Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) zu finden und wurde unter der DOI 10.52776/COXK4763 publiziert.

2.3 Evaporative Envelope Surfaces

Technology Group A.3a

Emmanuel Bozonnet, La Rochelle Université

Feryal Chtioui, La Rochelle Université

Patrick Salagnac, La Rochelle Université

2.3.1 Physical Principles

Water retention on external envelopes is a passive cooling solution. This passive technique is mainly used through vegetated surfaces like green roofs and green façades [1–3], or water surfaces like roof ponds and water spray façades [4]. Figure 2-2 shows the thermal flux for the main typologies of evaporative surfaces. The primary difference between façades (green or watered) and roofs (green roof or roof pond) is linked to the vertical water runoff, which amplifies the water effect in the thermal balance due to gravity. However, the retention of runoff depends on the seasonal variation in rainfall. Storm water events with heavy rainfall are managed by partial retention on green roofs or roof ponds. Evaporative techniques for façades require continuous water spray or water supply to permanently irrigate the upper part.

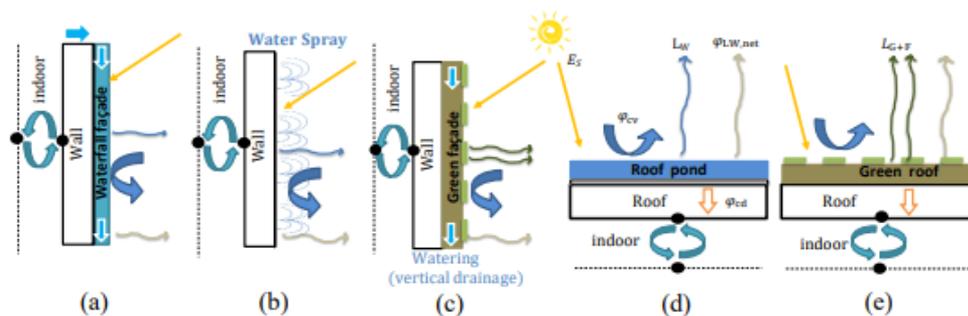


Figure 2-2 Heat transfer in evaporative envelope surfaces, including (a) a waterfall façade, (b) a spraying system, (c) a green façade, (d) a roof pond, and (e) a green roof.

All these systems have a water retention or watering technique supplied by regular rainfall or controlled watering devices. On the external envelope, the evaporative process absorbs the sensible heat fluxes that are derived mainly from solar irradiance (E_s), conducted heat flux (ϕ_{cd}), and convective heat flux (ϕ_{cv}) with outdoor air. Thus, the cooling effect on the outside is mainly due to the latent heat flux (LW) resulting from surface water evaporation, or from growing medium (LG) and foliage (LF) evapotranspiration, and longwave radiation to the sky ($\phi_{LW.net}$). The evaporative process is amplified by direct solar gains for open wet surfaces (e.g., roof ponds), compared to vegetated surfaces (Figure 2-2 a, b, d). The external evaporative system limits the transferred and stored heat in the wall and the roof, reducing the indoor surface temperature.

Abbildung 1: SOTAR Ausschnitt 1 - Physikalisches Prinzip von begrüntem und Wasseroberflächen am Gebäude.

Zu Beginn jedes Technologiekapitels werden die physikalischen Prinzipien hinter der Funktionsweise der Technologie grundlegend dargelegt. Auf dem Beispiel sind verschiedene Möglichkeiten von begrüntem und Wasseroberflächen am Gebäude und deren Wärmeflussverhalten abgebildet. Weiters wird im Text auf wichtige Einflussfaktoren hingewiesen.

2.3.4 Performance

2.3.4.1 Key Performance Indicators for Evaporative Envelope Surfaces

The performance of evaporative surfaces can be assessed in terms of a decrease in surface temperature (external or internal), or by reduction in the temperature of the indoor environment. Indoor cooling performance depends on the indoor air temperature (T_i) or operative temperature (Top) or the cooling energy consumption of the building. The main physical parameters for the calculation of key performance indicators (KPIs) are represented in Figure 2-3, which illustrates heat transfer for evaporative envelope surfaces compared generally with either a reference bare roof (ref 1) or a galvanized iron roof (ref 2). The latter is the worst case, with a maximum ceiling temperature ($T_{c,max}$) equal to the sol-air temperature (T_{sa}).

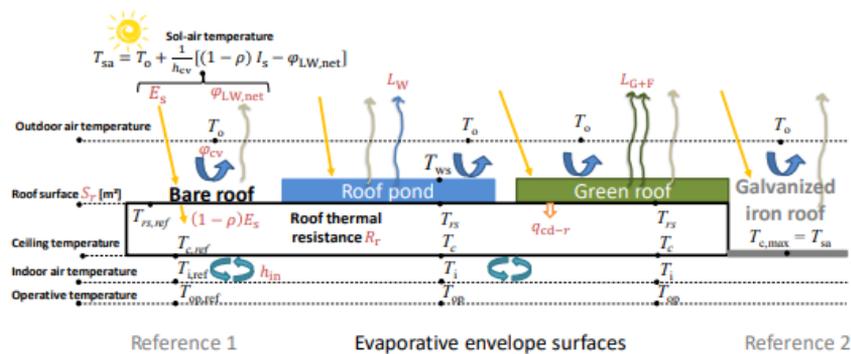


Figure 2-3 Heat flux and temperature of a reference bare roof and evaporative envelopes

A first KPI can be defined as the temperature reduction of the roof (T_{rs}) or the ceiling (T_c). A comparison of the daily extrema of both internal and external surfaces was defined as the decrement factor $DF_s = (T_{c,max} - T_{c,min}) / (T_{rs,max} - T_{rs,min})$ by Barrios et al. [24], where $T_{c,min}$ is the ceiling temperature limit for thermal comfort. The smaller the decrement factor, the better the thermal performance. Another KPI, the thermal performance index TPI (%), is also used for evaporative techniques by Barrios et al., and Kabre [24,25].

Abbildung 2: SOTAR Ausschnitt 2 - Leistungsindikatoren von begrünten und Wasseroberflächen am Gebäude.

Auf dieser Abbildung ist der Beginn des Kapitels zur Performance von begrünten und Wasseroberflächen am Gebäude zu sehen. In diesem Kapitel liegt der Fokus darauf, wie die Leistung der entsprechenden Technologie zustande kommt und wie diese berechnet wird. Weiters werden relevante Leistungsindikatoren erläutert.

3.6.2.2 Classifications and design parameters

The classification of BHEs for comfort cooling in buildings falls into two main categories: direct-ground cooling (passive method) and ground-source heat pumps (active method), Figure 3-4. In a direct-ground cooling system, cooling is provided by supplying the cold water from the borehole system directly to the building cooling system. The direct-ground cooling system utilizes ground as the only source for cooling the working fluid without any mechanical refrigeration. In a ground-source heat pump system, the cooling is provided through a mechanical refrigeration system using the ground as a sink for dissipating the heat [135].

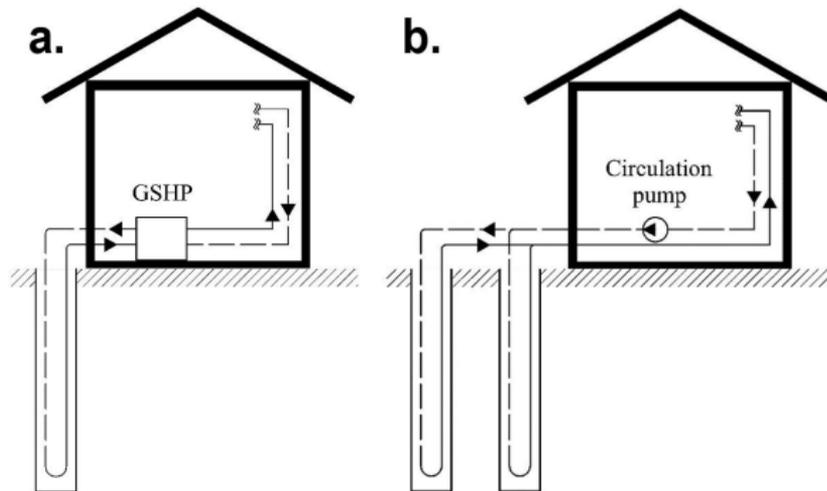


Figure 3-4 Schematic diagram of a) ground-source heat pump GSHP and b) direct-ground cooling system

Sizing and dimensioning of is one of the principal tasks of designing a ground-source cooling system. BHEs are generally the most expensive part of a ground-source cooling system, and their appropriate dimensioning can help reduce drilling and installation costs, while simultaneously improving the thermal performance of the overall system. The key design parameters of BHEs include undisturbed ground temperature, ground thermal conductivity, borehole thermal resistance, ground heat transfer rates, and pumping rate of the working fluid [136,137]. Each of these parameters not only has its design requirements but each parameter also influences the choice of the other parameters.

Abbildung 3: SOTAR Ausschnitt 3 - Designparameter von Erreichkühlung

Auf dieser Abbildung ist der Beginn des Unterkapitels zu Designparametern von Erreichkühlung zu sehen. In diesem Unterkapitel geht es um die Klassifizierung der entsprechenden Technologien.

Deliverable 2: Midterm Report

Der *Midterm Report* [5] ist das zweite offizielle Annex 80 Deliverable. Es ist hervorzuheben, dass dieses Berichtsdokument nicht primär inhaltliche Fortschritte oder neu erlangte Erkenntnisse präsentiert, sondern vielmehr, als Managementreport konzipiert ist. Seine Hauptfunktion liegt in der detaillierten Berichterstattung über den bisherigen Fortschritt des Projekts, insbesondere hinsichtlich seiner organisatorischen und administrativen Aspekte. Der *Midterm Report* erfüllt somit eine instrumentelle Rolle als Instrument zur Überwachung und Dokumentation des Projektmanagements, während seine inhaltliche Dimension eine untergeordnete Position einnimmt.

Die Publikation erscheint im Juni 2024 und wird auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) sowie unter https://www.building-research.at/annex_80/ zu finden sein.

Deliverable 3: Technology Profiles Report

Das Deliverable 3, der *Technology Profiles Report* [6], stellt eine Sammlung von 16 Technologien vor, die als Teil von Lösungen für eine resiliente Gebäudekühlung geeignet sind. Er ist als Informationsquelle für alle gedacht, die Entscheidungen für die Konzeption und Entwicklung von Gebäuden und ihren technischen Systemen treffen müssen, sowohl bei Sanierung als auch im Neubau.

Die 16 Technologien sind in einer der folgenden vier Kategorien zur Einteilung resilianter Kühltechnologien eingegliedert:

- Reduktion von außeninduzierten Wärmebelastungen
- Abfuhr fühlbarer Wärme aus Innenräumen
- Verbesserung des persönlichen Komforts abseits von Raumkühlung
- Abfuhr latenter Wärme aus Innenräumen

Jede Technologie wird kurz und prägnant beschrieben und beinhaltet stets die folgenden Kapitel:

Im Kapitel „Description“ findet der/die Leser:in Informationen über die physikalischen Grundlagen, die Funktionsweise und die charakteristischen Anwendungsbereiche der jeweiligen Kühltechnologie. Relevante Unterarten werden aufgeführt. Dieses Kapitel ist eine Art Zusammenfassung des gesamten Technologieprofils. Die nächste Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einem dieser Kapitel für die Technologie kühlende Gebäudeoberflächen.

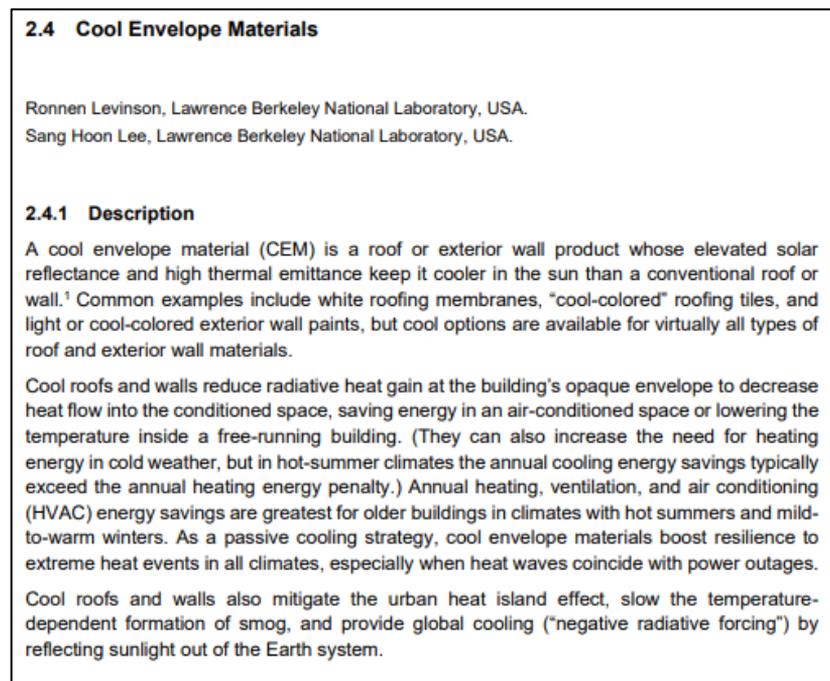


Abbildung 4: *Technology Profiles Report* Ausschnitt 1 – Kapitel Beschreibung

Im Kapitel „Key Technical Properties“ werden die technischen Merkmale der einzelnen Kühltechnologien vorgestellt und kurz erläutert. Der/die Leser:in findet Indikatoren für die Systemauslegung und Eigenschaften der Technologie, die für die Auslegung bzw. den Kauf des Systems relevant sind. Wo es angebracht ist, wird zwischen internen und externen Systemauslegungsindikatoren unterschieden, wobei sich erstere auf die Technologie selbst und letztere auf die

Randbedingungen der Technologie beziehen. Die nächste Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einem dieser Kapitel für die Technologie Natürliche Kühltürme.

3.7.2 Key Technical Properties

3.7.2.1 Earth-coupled heat exchangers

System Design Indicators

Thermal conductivity of the heat sink [W/(m·K)]. This value indicates the quality of the heat sink's ability to absorb heat, with a higher value indicating quicker absorption of discarded heat. Soil thermal conductivity values typically fluctuate between approximately 0.1 and 3 W/(m K) depending on the soil type [84].

The **specific [W/m]** and **installed [kW] cooling capacity** are determined via a thermal response test [85]–[87]. For example, the specific cooling capacity per metre of borehole length can range from 22 – 63 W for areas in Cyprus, Germany and Japan [88]. For horizontal earth brine heat exchangers, the specific cooling capacity per metre of pipe length ranges from about 17 to 35 W [89].

Maximum allowed return temperature [°C] of the cooling medium. This is subject to legislation to ensure the ecological integrity as well as chemical stability of the used heat sink. Earth air heat exchangers in moderate climates display a specific peak cooling capacity of about 45 W per m² of ground coupling area at an outdoor temperature of 32 °C [90].

Nominal power of auxiliary equipment [kW]. This gives the electricity consumption of the cooling system supplied by a natural heat sink.

The cooling power of ground source heat exchangers is thus determined by the soil temperature, specific heat capacity and conductivity, as well as the pipe diameter and length, heat transfer medium velocity and, for open-loop earth air heat exchangers, air inlet temperature. To increase the cooling capacity, the area of the heat exchanger can be shaded, wetted or painted in a light colour to decrease the soil temperature.

3.7.2.2 Water-coupled heat exchangers

System Design Indicators

Water-coupled closed-loop heat exchangers provide a cooling capacity of between 35 and 117 **W per metre of pipe length** [89].

For open-loop systems, another important parameter is the **water productivity of the aquifer [m³/day]**, as well as regulations concerning the **maximum allowed water withdrawal rate [m³/day]**. For example, an open-loop cooling system in London using groundwater at a

Abbildung 5: *Technology Profiles Report* Ausschnitt 2 - Kapitel Wichtige technische Merkmale

Das Kapitel „Performance and Application“ befasst sich mit Aspekten der Leistung und der richtigen Anwendung der jeweiligen Technologie. Es enthält Informationen darüber, wie die Technologie zur Gesamtleistung des Gebäudes beiträgt. Soweit verfügbar, werden auch beispielhafte Ergebnisse von Simulationen vorgestellt, die den Nutzen der Technologie während Hitzewellen veranschaulichen. Darüber hinaus werden Empfehlungen zur effizienten Anwendung und mögliche Einschränkungen der Technologie in verschiedenen Klimazonen gegeben. Schließlich beinhaltet dieses Kapitel Informationen über die Kompatibilität und Inkompatibilität mit anderen Technologien sowie über die Verfügbarkeit, den aktuellen Entwicklungsstand und die noch zu erwartende Entwicklung der Technologie. Die nächste Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einem dieser Kapitel für die Technologie Ventilationskühlung.

3.1.3 Performance and Application

3.1.3.1 Building performance

Ventilative cooling can make a significant contribution to reducing the cooling energy demand of a building and improving indoor thermal comfort. The extent of these contributions depend on outside climate, building properties, internal heat gains and, finally, the achievable airflow rates and user behaviour. Occupants' behaviour is identified as a major factor influencing the performance of ventilative cooling. The impact becomes more critical in passive low energy buildings. Table 4 shows performance data for this technology.

Table 4. Key Performance Indicators (KPIs) of HVAC-related energy usage and heat stress for a single-family home in Los Angeles, California, U.S. for CORDEX 2050 weather conditions and changes in KPIs from the application of natural ventilation

KPI	Baseline	Reduction from window opening 5% ^f	Reduction from window opening 10% ^f	Reduction from window opening 25% ^f	Reduction from window opening 50% ^f
Daily heat stress ^a [°C·h]	19	26%	31%	36%	36%
Annual HVAC electricity need intensity ^b [kWh/m ²]	40	18%	27%	34%	37%
Annual HVAC heating need intensity ^c [kWh/m ²]	27	0%	0%	0%	-1%
Annual HVAC primary energy intensity ^d [kWh/m ²]	113	13%	20%	25%	27%
Annual HVAC carbon emission intensity ^e [kgCO ₂ e/m ²]	17,1	12%	17%	22%	24%

^a Daily degree hours of exceedance against a standard effective temperature (SET) of 30 °C during a heatwave without AC

^b Annual electricity need per conditioned floor area related to HVAC usage

^c Annual gas need per conditioned floor area related to HVAC usage

^d Annual primary energy usage per conditioned floor area related to HVAC energy need with primary energy factor for electricity: 2.05 and gas: 1.09 based on 2021 eGRID California State average [21]

^e Annual carbon emission per conditioned floor area related to HVAC energy need with CO₂ emission factor for electricity: 272 g/kWh and gas: 225 g/kWh based on 2021 eGRID California State average [21]

^f Windows are open only when the outside air temperature is above the heating setpoint and below the cooling setpoint

3.1.3.2 Resilience

In the event of heat waves, even with parallel power outage, ventilative cooling offers good possibilities for manually controlled emergency operation of buildings. A distinction must be made between the different ventilative cooling techniques. Natural nighttime ventilation requires no energy input and can therefore be described as a resilient cooling strategy.

Abbildung 6: *Technology Profiles Report* Ausschnitt 3 - Kapitel Leistung und Anwendung

Abschließend wird auf andere Annex 80-Publikationen als auch auf externe Literatur, die die entsprechende Technologie detaillierter behandeln, verwiesen.

Die Publikation „Technology Profiles“ ist auf der Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) sowie unter https://www.building-research.at/annex_80/ zu finden.

Deliverable 4: Field Studies Report

In diesem Bericht [7] werden 13 Feldstudien zu Anwendungen von resilienter Kühlung vorgestellt, die in 7 verschiedenen Ländern durchgeführt wurden. Jede Feldstudie enthält eine Beschreibung des Kühlsystems, der Simulation und der Performance. Zahlreiche Kühllösungen in unterschiedlichen Gebäuden und Klimazonen werden in diesem Bericht zusammengefasst und verglichen.

Die Feldstudien werden in Form von Broschüren in einem standardisierten Format präsentiert. Jede Broschüre enthält allgemeine Informationen wie Gebäudeeigenschaften, Bauteilabmessungen, Entwurfskriterien, Simulationen in der Entwurfsphase, Regelungsstrategien und weitere Informationen. Die Broschüren bestehen aus drei Abschnitten:

- 1) Eine Zusammenfassung, die das Projekt und die Kühltechnologie beschreibt. Dieser Abschnitt enthält auch Details über die gewählte Regelungsstrategie und den Entwurfsprozess.
- 2) Leistungsbewertung unter Verwendung von Key Performance Indikatoren und anderen Metriken.
- 3) Diskussion und Schlussfolgerungen aus den Entwurfs-, Bau- und Betriebsphasen des Projekts.

Nachfolgend werden Ausschnitte aus diesem Deliverable gezeigt und beschrieben.

3. Resilient Cooling

3.1 Principles

In principle, the rooms are cooled by introducing conditioned supply air into the room. There is a cooling coil in the ventilation system. The cooling coil is responsible for cooling the air in the supply air. It is supplied with well water.

The building ventilation is used for controlled ventilation of the rooms. To increase efficiency, a heat recovery system and a geothermal heat exchanger have been installed. To promote the use of thermal mass, the building consists of a horizontal concrete structure.

Supply and exhaust air characteristics:

- Residential: 5,700/5,700 m³/h
- Commercial: 3,800/3,000 m³/h

3.2 Structure of resilient cooling technology

Table.4 STRUCTURE OF THE SYSTEM

1. Reducing Heat Loads to People and Indoor Environments	
1.1. Solar Shading Technologies	
1.2. Cool Envelope Materials	
1.3. Glazing Technologies	
1.4. Ventilated Façades	
1.5. Green Roofs and Green Façades	
2. Reducing Heat Loads to People and Indoor Environments (Production, Emission and combined)	
2.1. Ventilative cooling	
2.2. Thermal Mass Utilization	
2.3. Evaporative Cooling	
2.4. Sky Radiative Cooling	
2.5. Compression Refrigeration	
2.6. Adsorption Chiller	
2.7. Natural Heat Sinks	
2.8. Radiant Cooling	
3. Increasing Personal Comfort Apart from Space Cooling	
3.1. Comfort Ventilation and Elevated Air Movement	
3.2. Micro-cooling and Personal Comfort Control	
4. Removing Latent Heat from Indoor Environments	
4.1. Dehumidification	

II REMOVING HEAT FROM INDOOR ENVIRONMENT

Ventilation System

- Fans: The fan is responsible for introducing the cooled air into the room. It absorbs the fresh air and brings it to the room as supply air through all components in the supply air duct. In the extract air duct, the fan is responsible for extracting the return air from the room and exhausting it to the outside.
- Cooling coil: The cooling coil is responsible for lowering the temperature of the supply air. It is fed by the cold medium from the well cooling.
- Heat recovery: Heat recovery increases the efficiency of the system. It uses the heat or cold of the extract air to heat the fresh air in winter and to cool it in summer.

Well cooling:

With well cooling, cold groundwater is used for cooling. The groundwater is drawn in via an abstraction well and fed into the cooling circuit. It is then fed back into the groundwater system through the injection well.

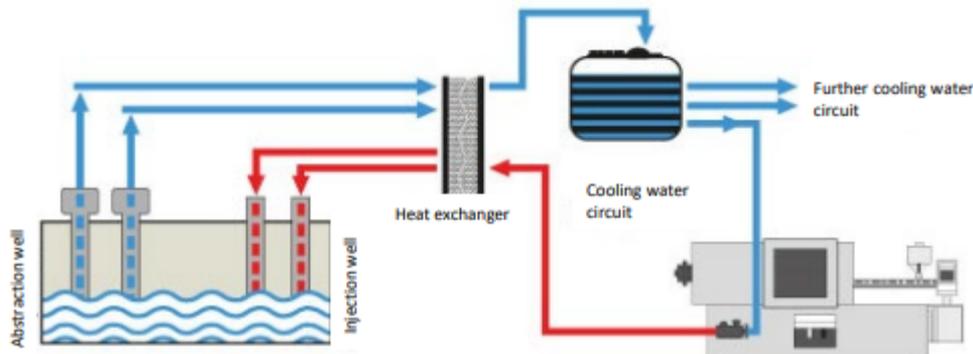


Fig.6 SCHEMATIC OF A WELL COOLING SYSTEM (<https://www.iks-kuehlung.de/>)

Abbildung 8: Field Studies Report Ausschnitt 2 - Kapitel resiliente Kühlung

4. KPI Evaluation

4.1 Thermal Comfort KPIs

Hours of exceedance (HE) **1245 h/year**
Hours outside the range of 26°C

Indoor Overheating Degree IOD **0.393 C**
Hourly summation of the positive values of the difference between the operative temperature of the occupied building thermal zones and the zonal thermal comfort limit temperature (26 C), divided by the sum of the zonal occupied hours.

Ambient Warmness Degree AWD **3.57 C**
Hourly summation over the summertime period of the positive values of the difference between the outdoor air temperature and a fixed base temperature (18 C), divided by the total number of building occupied hours.

Overheating Escalation Factor OEF **0.11**
An indicator of the resistivity of a building to climate change and associated overheating risk.

4.2 Heat Stress KPIs

Standard Effective Temperature (SET) **25.2 C**
The equivalent dry bulb temperature of an isothermal environment at 50% relative humidity, still air and 50% relative humidity, in which a subject, while wearing clothing standardized for activity concerned, would experience the same heat stress and thermoregulatory strain as in the actual test environment.

Passive Survivability **Yes (hourly)**
Ability to maintain safe indoor thermal conditions in the absence of active cooling

4.3 Energy

Annual cooling load intensity **0.63 kWh/m²a**
Annual cooling load intensity

Annual cooling site energy use intensity **1.52 kWh/m²a**
Annual cooling site energy use intensity

Peak cooling site power demand **2.12 W/m²**
peak cooling site power demand

SCOP **0.40**
Seasonal coefficient of performance

4.4 Carbon dioxide (CO₂) emissions

Annual amount of CO₂ emissions **143.01 gCO₂/m².a**
Annual electricity use for space cooling is 3,800 kWh/a (i.e. 0.63 kWh/(m².a) for 6,071 m² conditioned floor area), and the carbon dioxide (CO₂) emissions factor for electricity is 0.227 kg CO₂/kWh (OIB-Richtlinie-6, 2019).

Abbildung 9: Field Studies Report Ausschnitt 3 – Key Performance Indicators

Die Publikation ist auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) sowie auf https://www.building-research.at/annex_80/ zu finden.

Deliverable 5: Resilient Cooling Design Guideline

Deliverable 5: *Resilient Cooling Design Guideline* [8] richtet sich an Planer:innen und Anwender:innen. Es beschreibt den Designprozess, die Grundlagen für die Überprüfung der Gebäuderésilienz gegenüber Hitzewellen und Stromausfällen sowie die vorhandenen Softwaretools. Die letzten zwei Kapitel von [8] zeigen eine exemplarische Anwendung der *Resilient Cooling Design Guidelines* anhand von zwei umgesetzten Fallbeispielen.

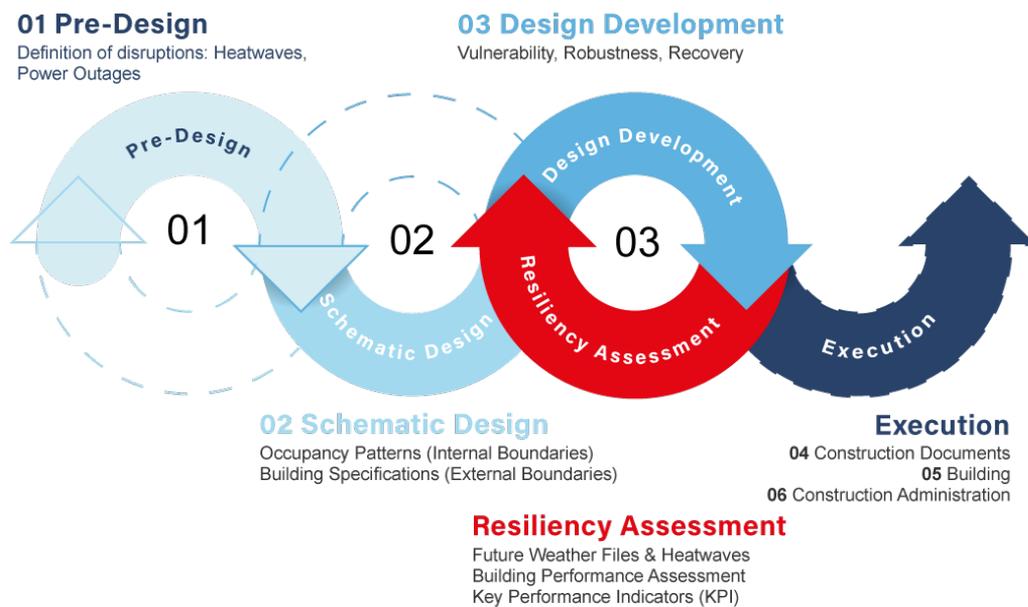


Abbildung 10: Konzeptuelles Schema eines Resilient Design Prozesses (Quelle: IBRI)

Dieses Deliverable wird in Kooperation mit der *Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations* (REHVA) veröffentlicht und als Teil der REHVA Guidebooks international vertrieben.

Ein Link zur Publikation ist auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) sowie auf https://www.building-research.at/annex_80/ hinterlegt.

Deliverable 6: Policy Recommendations

Die Arbeitsgruppe von Subtask D entwickelte im Deliverable 6: *Policy Recommendations* [9] Methoden zur Erfassung und Bewertung bestehender regulatorischer Maßnahmen, analysierte diese im Detail und identifizierte Lücken und Möglichkeiten für Verbesserungen. Anschließend entwickelte sie 37 regulatorischen Empfehlungen zur Förderung resilienter Kühlung in Gebäuden.

Die Empfehlungen fördern passive oder energieeffiziente Kühltechnologien für Gebäude. Sie befassen sich nicht mit der Widerstandsfähigkeit des Stromnetzes, den Möglichkeiten zur Ergänzung der Netzstromversorgung oder anderen Möglichkeiten, auf extreme Hitze zu reagieren. Jede

Empfehlung dient als Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Gesamtlösung. Das bedeutet, dass sie am Anfang und nicht am Ende des Prozesses der Entwicklung und Umsetzung steht. Es wurde zudem eine qualitative Bewertung der Implementierungskosten vorgenommen.

Jede der 37 Empfehlung beinhaltet folgende Informationen:

- Nummer der Empfehlung. Eine fortlaufende Nummer (1-37) zur Identifizierung der Empfehlung.
- Kategorie. Angabe, worauf sich die Empfehlung bezieht, auf eine spezifische Kühltechnologie, oder auf die Planung, den Bau oder den Betrieb des gesamten Gebäudes.
- Autor:innen der Empfehlung.
- Zusammenfassung. Eine prägnante textliche Beschreibung der empfohlenen Maßnahme.
- Umsetzungsinstrument. Nennung von Mechanismen mit denen die Empfehlung umgesetzt werden könnte, beispielsweise eine gesetzliche Regelung, Information, Förderung, F&E oder technische Normen.
- Ziel. Ob die Empfehlung auf eine bestimmte Technologie abzielt oder technologieunabhängig ist.
- Belastung. Die Art der Störung - Hitzewelle und/oder Stromausfall - gegen die die Empfehlung die Resilienz erhöhen würde.
- Was. Was mit der Empfehlung erreicht werden soll.
- Warum. Warum die Empfehlung entwickelt und angewendet werden soll.
- Wie. Wie die Empfehlung entwickelt und angewandt werden soll.
- Wer. Wer die Empfehlung erstellen, umsetzen und/oder ausführen wird.
- Wo. Wo die Empfehlung angewendet werden könnte.
- Zeithorizont für die Umsetzung. Ob die zu erwartende Umsetzungszeit der Empfehlung kurz (in der Regel weniger als 1 Jahr), mittellang (1 bis 5 Jahre) oder lang (mehr als 5 Jahre) sein wird.
- Kosten. Qualitative Beschreibung der Kosten für die Erstellung, Umsetzung und/oder Implementierung der Empfehlung.
- Mögliche signifikante unerwünschte Nebeneffekte der Umsetzung der Maßnahme.
- Aktuelles Beispiel. Eine bestehende Strategie, die als Grundlage für die Erstellung, Umsetzung und Ausführung der Strategieempfehlung dienen könnte.

Folgend wird eine vollständige Empfehlung aus diesem Deliverable gezeigt.

3.19 Establish minimum energy performance standards (MEPS) for chillers and air conditioners

Policy number: 19

Category: B3 (Compression refrigeration)

Author(s): Peter Holzer

Summary: Establish regulations on minimum energy performance of chillers and air conditioners.

POLICY MECHANISM(S)

Regulation	Information	Incentives	R&D	Standards
✓				✓

TECHNOLOGY TARGET

Specific	Agnostic
✓	

DISRUPTION(S) MITIGATED

Heatwave	Power Outage
✓	

What: Adopt a binding rule on the minimum energy performance standard (MEPS) for chillers and air conditioners.

Why: For reasons of cost, appliances are often marketed with an energy efficiency that is significantly below the technical possibilities. The binding definition of a Minimum Energy Performance Standard (MEPS) can solve this.

[Policy Recommendations from IEA EBC Annex 80: Resilient Cooling of Buildings](#) | 30

How: Pass a binding regulation that defines Minimum Energy Performance Standards (MEPS) for chillers and air conditioners. This measure should be applied by either very big countries or by a union of more than one nation.

Who: This policy has to be created by governments. The policy shall be executed by governmental bodies.

Where: The policy can be applied world-wide. It should be applied by either very big countries or by a union of more than one nation.

Implementation timeline: Short (less than 1 year).

Cost: The implementation costs are low. The policy may raise product cost.

Potential significant undesirable side effects of executing the policy: None.

Policy model to follow: Good examples include the regulations on the implementation of the European Community's eco design directive 2009/125/EC which is a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products, amongst them chillers and air conditioners. See [here](#) and [here](#).

Abbildung 11: *Policy Recommendations* Ausschnitt Empfehlung 19

Die Publikation ist auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) und wurde unter der DOI 10.20357/B7288C publiziert.

Deliverable 7: Project Summary Report

Der *Project Summary Report* [10] ist das siebte und letzte offizielle Annex 80 Deliverable. Dieses Berichtsdokument zeichnet sich durch die Konsolidierung und inhaltliche Zusammenfassung aller zuvor veröffentlichten Deliverables, Publikationen und Papers aus. Eine zentrale Funktion dieses Berichts besteht darin, einen umfassenden Überblick über die gesamte Bandbreite der im Rahmen

von Annex 80 geleisteten Arbeit zu geben. Dabei erfolgt eine präzise Verweisstruktur auf die einzelnen relevanten Dokumente, um den Leser:innen eine effiziente Navigation und gezielte Zugänglichkeit zu ermöglichen. Der *Project Summary Report* fungiert somit als Schlussstein des Forschungsprozesses und trägt dazu bei, die Gesamtergebnisse des Annex 80 Projekts in einer kohärenten und leicht zugänglichen Form zu präsentieren.

Die Publikation ist auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) sowie auf https://www.building-research.at/annex_80/ zu finden.

Publikationen

Neben den Deliverables wurden zahlreiche Publikationen im Rahmen des Annexes veröffentlicht. Alle Publikationen sind auf der Website: <https://annex80.iea-ebc.org/publications> zu finden. Folgend werden die wichtigsten vorgestellt.

Die Definition des Begriffs "resiliente Kühlung" wurde in der Synthese des Papers „Resilient cooling of buildings to protect against heat waves and power outages: Key concepts and definition“ [11], welches in der Fachzeitschrift *Energy and Buildings* publiziert wurde, und in der Synthese des Papers „Conceptualising a resilient cooling system: A socio-technical approach“ [12], welches in der Fachzeitschrift *City and Environment Interactions* publiziert wurde, ausgearbeitet.

Das erste Paper widmet sich einer Analyse der meisten bestehenden Definitionen von Resilienz und der verschiedenen Ansätze für mögliche resiliente Gebäude. Dabei wurden 90 Dokumente analysiert. Abschließend werden eine Definition und eine Reihe von Kriterien - Vulnerabilität, Widerstandsfähigkeit, Robustheit und Wiederherstellbarkeit - vorgeschlagen, die dazu beitragen können, leistungsbezogene Indikatoren und Funktionen passiver und aktiver Kühllösungen in Gebäuden zu entwickeln. Diese sollen sich ganz besonders gegen die Störungen Hitzewellen und Stromausfälle richten.

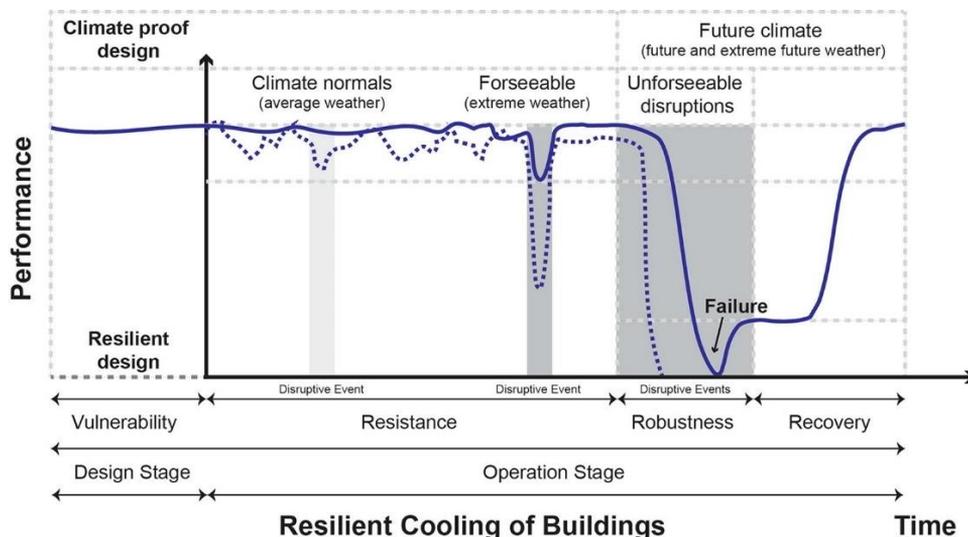


Abbildung 12: Bestandteile der Resilienzdefinition aus Attia et al. [11]

Im zweiten Paper wird ein konzeptionelles Modell eines resilienten Kühlsystems vorgestellt, in dessen Mittelpunkt der Mensch, die von Menschen geprägten soziokulturell-technischen Kontexte und die von Überhitzung ausgehenden Risiken stehen. Ein integratives Literatur-Review wurde durchgeführt, um eine kritische und umfassende Bewertung veröffentlichter Forschung und grauer Literatur vorzunehmen, mit dem Ziel, das Modell klarer und detaillierter zu gestalten. Anhand dieses Papers lassen sich die Funktionsmerkmale einer widerstandsfähigen Kühltechnologie und die Schlüsselemente der vier Teilsysteme - Menschen, Gebäude, Kühltechnologien und Energieinfrastruktur - genauer beschreiben. Aus dieser Betrachtung werden sechs Schlüsselbotschaften abgeleitet, die einen Anhaltspunkt für künftige Arbeit in Politik und Praxis darstellen und in die Definition von Resilienz im Rahmen des Annexes einfließen.

Weather Data Files

Die Ergebnisse der *Weather Data* Task Group wurden für das Nature Research Journal - Data Descriptor unter dem Titel "Typical and extreme weather datasets for studying the resilience of buildings to climate change and heatwaves" eingereicht. Das Paper wurde vom Journal „Scientific Data“ angenommen und veröffentlicht. Die erstellten Wetterdatensätze stehen auf der offiziellen Annex 80 Webseite zum Download unter: <https://annex80.iea-ebc.org/weather-data>

Dynamic Simulation Guidelines

Der Titel des erstellten Simulationsleitfadens lautet „IEA EBC Annex 80 - Dynamic simulation guideline for the performance testing of resilient cooling strategies“ von Zhang et al. (2021). 2023 wurde ein aktualisierter Simulationsleitfaden unter dem Titel „IEA EBC Annex 80 - Dynamic simulation guideline for the performance testing of resilient cooling strategies: Version 2“ von Zhang et al. [13] publiziert.

Thermal Conditions Report

Die Ergebnisse der *Thermal Conditions* Task Group sind in „Framework to evaluate the resilience of different cooling technologies“ von Attia et al. [14] publiziert worden.

KPI Report

Der KPI Report umfasst eine Liste und ein Glossar von *Key Performance Indicators* (KPIs), die für den Annex 80 relevant sind. Er beinhaltet detaillierte Definitionen und Maßeinheiten verschiedener Indikatoren, die sich auf Themen wie Energie, CO₂-Emissionen, thermischen Komfort und Hitzebelastung konzentrieren. Die KPIs werden unterteilt in Kategorien wie "Thermal Comfort KPIs" und "Heat Stress KPIs", mit spezifischen Indikatoren wie "Hours of Exceedance" und "Thermal Autonomy".

Der KPI-Report steht kurz vor der Veröffentlichung und wird in Kürze auf https://www.building-research.at/annex_80/ und der offiziellen Annex 80 Publikationsliste (<https://annex80.iea-ebc.org/publications>) publiziert.

Weitere

- „Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment“ von Zhang et al. [15] wurde in der Fachzeitschrift Energy and Buildings, Special issue: Building Cooling publiziert. In diesem Paper wurde der Stand der Technik diverser Kühltechnologien mit besonderem Augenmerk auf ihre Leistungsfähigkeit bei Hitzewellen und Stromausfällen kritisch untersucht. Es wurde eine Definition des Begriffs "resiliente Kühlung" vorgeschlagen und vier Kriterien für die Resilienz beschrieben - Absorptionsfähigkeit, Anpassungsfähigkeit, Regenerationsfähigkeit und Regenerationsgeschwindigkeit - die zur qualitativen Bewertung der Belastbarkeit der einzelnen Strategien herangezogen wurden.
- „Resilient Cooling in Buildings – A Review of definitions and evaluation methodologies“ von Attia et al. [16] konzentriert sich auf die Überprüfung der meisten bestehenden Definitionen von resilienter Kühlung und die verschiedenen Ansätze für mögliche Methoden zur Bewertung der Resilienz.

6 Schlussfolgerungen

Die Schlussfolgerungen des IEA-EBC Annex 80 Projekts zur resilienten Gebäudekühlung lassen sich in vier Hauptbereiche gliedern, die jeweils Erkenntnisse und Entwicklungen in der Welt der Gebäudetechnologie aufzeigen:

Gewonnene Erkenntnisse

- **Forschung unter Extrembedingungen:** Eine der bedeutendsten Errungenschaften des Projekts war die erstmalige Untersuchung der Gebäudekühlung unter extremen Ereignissen im Rahmen einer IEA-Kooperation. Dieser Ansatz zeichnete sich durch seinen starken Grundlagenforschungscharakter aus und eröffnete neue Wege in der Gebäudetechnik, insbesondere in Bezug auf die Anpassungsfähigkeit und Widerstandsfähigkeit von Kühlsystemen unter extremen klimatischen Bedingungen.
- **Neukonzeption der Resilienz:** Ein wesentlicher Fortschritt war die Entwicklung einer neuen Definition von „Resilienz“ im Kontext der Gebäudetechnologie. Da keine vorhandenen Definitionen speziell für diesen Bereich existierten, orientierte sich das Projektteam an Konzepten aus anderen Fachgebieten, etwa dem „Disaster Management“. Diese Neuentwicklung ermöglichte es, Resilienz in der Gebäudekühlung aus einer breiteren und tiefgreifenderen Perspektive zu betrachten.
- **Technologiebewertung und -entwicklung:** Für die Prüfung der Kühltechnologien mussten grundlegende Arbeiten geleistet werden. Dazu gehörte die Identifikation von disruptiven Ereignissen, die die Gebäudekühlung beeinflussen können, wie Stromausfälle und Hitzewellen. Darüber hinaus wurde eine Diskussion über thermischen Komfortbedingungen während Extremereignissen geführt, basierend auf Forschungen zum Thema Hitzestress. An dieser Stelle sei, insbesondere auf Arbeiten des National Research Council Canada verwiesen. Ebenso wurde die Notwendigkeit erkannt, Rahmenbedingungen für ein Technologie-Assessment mittels dynamischer Computersimulationen zu definieren.
- **Entwicklung von Methoden für zukünftige Wetterdatensätze:** Eine Herausforderung war das Fehlen von Wetterdatensätzen für langfristige, in der Zukunft liegende Bedingungen. Das Team entwickelte daher eine Methode zur Erstellung solcher Datensätze, um sicherzustellen, dass die Planung und Entwicklung von Kühlsystemen auch zukünftige Klimaszenarien und die erwartete Zunahme von Extremwetterereignissen berücksichtigt.
- **Key Performance Indikatoren für Resilienz:** Für eine objektive Bewertung der Leistungsfähigkeit und Anpassungsfähigkeit von Kühlsystemen wurden spezifische Key Performance Indikatoren (KPIs) für Resilienz entwickelt. Diese Indikatoren ermöglichen es, verschiedene Kühltechnologien systematisch zu vergleichen und ihre Effizienz in Bezug auf Resilienz zu bewerten.
- **Analyse von Anwendungsfällen (Case Studies):** Die Durchführung von Case Studies war ein weiterer wichtiger Aspekt des Projekts. Diese Analysen lieferten wichtige Erkenntnisse zur Betriebsoptimierung von Kühlsystemen und ermöglichten es, fundierte Rückschlüsse auf die

Wirksamkeit von Gebäudesimulationen und das Nutzer:innenverhalten zu ziehen. Solche praxisnahen Erkenntnisse sind entscheidend, um die Theorie mit der Realität zu verknüpfen und sicherzustellen, dass die entwickelten Kühlstrategien sowohl technisch umsetzbar als auch benutzer:innenfreundlich sind.

Verwertung der Ergebnisse

- **State-of-the-Art Review und Weather Data Publikation:** Wichtig waren die Veröffentlichungen im Bereich der wissenschaftlichen Forschung, insbesondere der State-of-the-Art Review und die Publikation über Wetterdaten im Nature Data Descriptor. Diese Arbeiten erzielten große Aufmerksamkeit in der wissenschaftlichen Gemeinschaft und darüber hinaus, was die Relevanz und den Einfluss der Forschungsergebnisse des Projekts unterstreicht.
- **Erwartungen an zukünftige Veröffentlichungen:** Mit der bevorstehenden Veröffentlichung weiterer Ergebnisse und Deliverables des Projekts wird eine Fortsetzung und möglicherweise sogar eine Verstärkung dieses Trends erwartet. Auch zeigen Statistiken des Online Portals Research Gate, dass die bisherigen Arbeiten als Grundlage zukünftiger Publikationen herangezogen werden und die bereits erzielte Aufmerksamkeit weiter erhöhen.
- **Kooperation mit Forschungsinstituten:** Eine Schlüsselrolle spielte die Zusammenarbeit mit internationalen Forschungsinstituten. Diese Kooperationen waren nicht nur für den Austausch von Wissen und Erfahrungen bedeutsam, sondern führten auch zu gemeinsamen Projektanträgen auf europäischer Ebene. Solche Kollaborationen erweitern das Forschungsfeld und ermöglichen einen umfassenderen Ansatz zur Lösung globaler Herausforderungen.
- **Entwicklung von Nachfolgeprojekten:** Das Projektteam übernahm eine leitende Rolle bei der Konzeption und Entwicklung von Nachfolgeprojekten. Diese Projekte, unter anderem mit dem TCP (Technology Collaboration Programme) Energy in Buildings and Communities (EBC) und dem TCP Cities, zeigen das Bestreben, die Forschung im Bereich der resilienten Kühlung weiter voranzutreiben und die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der Ergebnisse in verschiedenen Kontexten zu testen und zu validieren.
- **Einladungen und Teilnahmen:** Die Qualität und Relevanz der Forschungsergebnisse des Annex 80 Projekts spiegeln sich in Einladungen zu verschiedenen wissenschaftlichen Konferenzen und Veranstaltungen wider. Diese Plattformen boten dem Projektteam die Möglichkeit, ihre Erkenntnisse einem breiteren Publikum vorzustellen, wertvolles Feedback zu erhalten und neue Kooperationen zu knüpfen.
- **Weiterführende wissenschaftliche Beiträge:** Aus der Teilnahme an diesen Veranstaltungen und der allgemeinen Resonanz auf die Publikationen ergaben sich weitere Möglichkeiten für wissenschaftliche Beiträge. Diese Beiträge verstärken den Einfluss des Projekts in der wissenschaftlichen Gemeinschaft und tragen zur weiteren Verbreitung der Forschungsergebnisse bei.

Rechtliche Hürden

- **Internationale Normen und Gesetze:** Eine Kernkomponente war die Analyse internationaler Normen, Richtlinien und Gesetze, die sich auf resiliente Kühltechnologien beziehen. Diese

umfassende Untersuchung zielte darauf ab, ein tiefes Verständnis für die rechtlichen Rahmenbedingungen zu entwickeln, um die Einführung der Technologien zu erleichtern.

- **Identifikation von Handlungsspielräumen:** Wichtig war die Erkennung von rechtlichen Barrieren und Möglichkeiten. Die Analyse half dabei, Herausforderungen zu identifizieren, die die Implementierung neuer Technologien behindern könnten, sowie Chancen, die sich aus bestehenden oder potenziellen rechtlichen Rahmenbedingungen ergeben.
- **Policy-Empfehlungen:** Basierend auf dieser Analyse wurden konkrete Policy-Empfehlungen entwickelt. Diese sollen dazu beitragen, die rechtlichen Rahmenbedingungen so anzupassen, dass sie die Nutzung und Verbreitung resilienter Kühltechnologien fördern.

Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

- **Zusammenarbeit mit Fachorganisationen:** Die Kooperation mit Organisationen wie AIVC, INIVE und venticool war entscheidend, um die gewonnenen Erkenntnisse branchenspezifisch zu verbreiten und Feedback von Fachpersonen der Gebäudekühlung zu erhalten.
- **Dialog mit Praktiker:innen:** Durch regelmäßige Meetings mit Fachleuten aus dem Bereich der Gebäudekühlung wurden praktische Perspektiven und Herausforderungen erörtert, die in die rechtlichen Empfehlungen einfließen.
- **Bildungsinitiativen und Informationsverbreitung:** Webinare und Newsletterbeiträge dienten der Aufklärung über rechtliche Aspekte und der Verbreitung von Policy-Empfehlungen, um ein breiteres Verständnis und Bewusstsein für die Thematik zu schaffen.
- **Aktive Teilnahme an Konferenzen:** Durch Präsentationen und Diskussionen auf Konferenzen wurde das Bewusstsein für die rechtlichen Herausforderungen gestärkt und ein Forum für den Austausch mit Expert:innen geboten.
- **Internationale Verbreitung der Empfehlungen:** Die Weitergabe der Policy-Empfehlungen über internationale Kanäle unterstützte die globale Reichweite und Anwendung der Forschungsergebnisse

Zusammenfassende Schlussfolgerung

Insgesamt verdeutlichen diese Schlussfolgerungen die Reichweite und Tiefe der im Rahmen des IEA-EBC Annex 80 Projekts erzielten Fortschritte. Die gewonnenen Erkenntnisse haben Implikationen für das Projektteam und darüber hinaus. Sie sind nicht nur für Wissenschaftler:innen und Ingenieur:innen von Bedeutung, sondern auch für politische Entscheidungsträger:innen, Gesetzgeber:innen und Endnutzer:innen relevant. Das Projektteam plant, auf diesen Erkenntnissen aufzubauen, indem es die Ergebnisse in laufende und zukünftige Projekte integriert, um resiliente Kühltechnologien weiterzuentwickeln und zu verbreiten. Ziel ist es, diese Technologien in einer Vielzahl von Anwendungen und Kontexten einzusetzen, von städtischen bis hin zu ländlichen Gebieten, und dabei verschiedene klimatische Bedingungen zu berücksichtigen.

Die Erkenntnisse und Entwicklungen des Projekts sind insbesondere für Architekt:innen, Bauingenieur:innen, Stadtplaner:innen, Energieberater:innen sowie für politische

Entscheidungsträger:innen von Interesse. Diese Stakeholder können die gewonnenen Daten und Empfehlungen nutzen, um resilientere und energieeffizientere Gebäude zu entwerfen und zu realisieren. Darüber hinaus bieten die Ergebnisse wertvolle Einblicke für die Entwicklung von Richtlinien und Standards im Bereich der Gebäudekühlung.

Rechtliche Hürden, insbesondere im Kontext der Implementierung neuer Technologien und Standards, wurden im Projekt identifiziert und analysiert. Diese Herausforderungen betreffen unter anderem die Integration neuer Technologien in bestehende rechtliche und regulatorische Rahmenwerke. Das Projektteam hat diesbezüglich Empfehlungen formuliert, die darauf abzielen, diese Hürden zu überwinden und den Weg für die Implementierung effizienter und umweltfreundlicher Kühltechnologien zu ebnen.

Die Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten des Projekts waren umfangreich und zielgerichtet. Durch die Zusammenarbeit mit Organisationen wie AIVC, INIVE und venticool sowie durch die aktive Teilnahme an Konferenzen und Webinaren konnte das Projekt eine breite Öffentlichkeit erreichen. Die Ergebnisse wurden über verschiedene Kanäle verbreitet, darunter Fachpublikationen, Newsletter und Präsentationen. Diese Aktivitäten haben das Bewusstsein für die Bedeutung resilienter Kühltechnologien geschärft und die Grundlage für ihre weitere Verbreitung und Anwendung geschaffen.

Das Potenzial für Markt- und Verbreitungserfolge des Projekts ist beträchtlich. Die entwickelten Technologien und Strategien haben das Potenzial, die Art und Weise, wie Gebäude gekühlt werden, grundlegend zu verändern, und bieten Lösungen, die sowohl umweltfreundlich als auch ökonomisch effizient sind. In Anbetracht des zunehmenden Bewusstseins für Klimawandel und Energieeffizienz ist zu erwarten, dass die Nachfrage nach solchen Technologien in den kommenden Jahren weiter steigen wird.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das IEA-EBC Annex 80 Projekt nicht nur wichtige wissenschaftliche und technische Fortschritte erzielt hat, sondern auch einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung von Strategien und Maßnahmen leistet, die zur Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels und zur Förderung nachhaltiger Gebäudetechnologien notwendig sind. Die Ergebnisse des Projekts bieten eine solide Grundlage für zukünftige Forschung und Entwicklung in diesem Bereich und haben das Potenzial, einen nachhaltigen Einfluss auf die Praxis der weltweiten Gebäudekühlung zu entwickeln.

7 Ausblick und Empfehlungen

Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten

Die Arbeit insbesondere an passiven Kühlstrategien hat auch die Grenzen der rein gebäudebezogenen Maßnahmen aufgezeigt: Die Außenraumbedingungen der Gebäude, die thermischen Wechselwirkungen der gebauten Strukturen und auch die sektorübergreifenden Energie- und Wärmeströme in urbanen Siedlungsgebieten müssen unbedingt in die Gestaltung von klimawandelresilienten und dekarbonisierten Lebensräumen einbezogen werden. Vor diesem Hintergrund wird auch gegenwärtig im Rahmen der IEA Programme Energy in Buildings and Communities (EBC) und Cities ein weiterführender Annex, mit dem erweiterter Fokus auf resilientes und nachhaltiges Kühlen von Städten bzw. in Städten, vorbereitet. Dieses Konzept sieht die Behandlung der folgenden Forschungsfragen vor:

Identifikation, Wirkungsanalyse und Optimierung von Hitze- bzw. Klimawandelanpassungsmaßnahmen in urbanen Außenräumen.

- Wasser und Pflanzen in Städten (blaue und grüne Infrastrukturen)
- Kühlung durch Reflexion kurzwelliger Solarstrahlung und durch Emission langwelliger terrestrischer Wärmestrahlung

Weiterentwicklung von hybriden gebäudebezogenen Kühlstrategien, insbesondere für den Gebäudebestand

- Effiziente Strategien hybrider Kühlung bezogen auf beschränkte Teile der Wohneinheiten und bezogen auf beschränkte Einsatzzeiten der technischen Kühlung.
- Kopplung von Maßnahmen der Gebäudekühlung mit Maßnahmen der klimawirksamen Außenraumgestaltung.

Erforschung und strategische Optimierung der Wärmeabfuhr aus Städten

- Erstellen von aussagekräftigen und robusten thermodynamischen Modellen von Städten
- Nutzung dieser Modelle zur Identifikation und Optimierung von Techniken zur Wärmeabfuhr aus Städten im klimarelevanten Umfang, etwa durch heat harvesting mit saisonaler Speicherung oder durch Kältenetze mit Wärmeabgabe an Umweltwärmesenken außerhalb der Stadt oder mit Abwärmennutzung in industriellen Prozessen.

Es liegt ein Beschluss des EBC Executive Committee vor, welcher die bisherige österreichische Programmleitung des Annex 80 mit der Ausarbeitung eines darauf aufbauenden Annex "Resilient and sustainable Cooling in Cities" beauftragt. Diese Ausarbeitung findet zum Zeitpunkt der gegenständlichen Berichtslegung bereits statt.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SOTAR Ausschnitt 1 - Physikalisches Prinzip von begrünten und Wasseroberflächen am Gebäude.	21
Abbildung 2: SOTAR Ausschnitt 2 - Leistungsindikatoren von begrünten und Wasseroberflächen am Gebäude.	22
Abbildung 3: SOTAR Ausschnitt 3 - Designparameter von Erreichkühlung	23
Abbildung 4: <i>Technology Profiles Report</i> Ausschnitt 1 – Kapitel Beschreibung.....	24
Abbildung 5: <i>Technology Profiles Report</i> Ausschnitt 2 - Kapitel Wichtige technische Merkmale	25
Abbildung 6: <i>Technology Profiles Report</i> Ausschnitt 3 - Kapitel Leistung und Anwendung	26
Abbildung 7: <i>Field Studies Report</i> Ausschnitt 1 - Kapitel Einführung und Klima.....	28
Abbildung 8: <i>Field Studies Report</i> Ausschnitt 2 - Kapitel resiliente Kühlung	29
Abbildung 9: <i>Field Studies Report</i> Ausschnitt 3 – <i>Key Performance Indicators</i>	30
Abbildung 10: Konzeptuelles Schema eines Resilient Design Prozesses (Quelle: IBRI)	31
Abbildung 11: <i>Policy Recommendations</i> Ausschnitt Empfehlung 19.....	33
Abbildung 12: Bestandteile der Resilienzdefinition aus Attia et al. [11].....	34

Literaturverzeichnis

- [1] International Energy Agency, „About EBC,“ 2024. [Online]. Available: <https://www.iea-ebc.org/ebc/about>.
- [2] P. Holzer, P. Stern, C. Zhang, P. Heiselberg, M. Kolokotroni, A. Salvati, T. Arghand, S. Javed, M. Zinzi, Z. Ai, G. Zhang, H. Breesch, A. Sengupta, E. Bozonnet, F. Chtioui, P. Salagnac, R. Levinson, S. Selkowitz, N. Yoon, G. Chiesa, D.-I. Bogatu, O. B. Kazanci, B. W. Olesen, H. Teufel, A. Mahdavi, S. Attia, E. Elnagar, V. Lemort, R. Rahif, H. Zhang, E. Arens, J. Akander, A. Hayati, M. Cehlin, S. Sayadi, S. Forghani und B. Sodagar, „International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – State of the Art Review,“ Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH, Wien, 2023.
- [3] IPCC, „Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the the Intergovernmental Panel on Climate Change,“ IPCC, Genf, Schweiz, 2014.
- [4] G. Ouzeau, J. Soubeyroux, M. Schneider, R. Vautard und S. Planton, „Heat waves analysis over France in present and future climate: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble.,“ *Climate Services*, Bd. 4, pp. 1-12, 2016.
- [5] P. Holzer, „International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - Midterm Report,“ IBR&I Institute of Building Research & Innovation, Wien, 2024.
- [6] P. Holzer, P. Stern, P. Czarnecki, T. Psomas, P. Jaboyedoff, M. Zinzi, A. Krelling, G. G. Ilis, H. Breesch, E. Bozonnet, R. Levinson, S. H. Lee, M. P. Tootkaboni, V. Corrado, D.-I. Bogatu, O. B. Kazanci, D. Qi, B. Kling, C. Rzhacek, M. Wolf und T. Keller, „International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - Technology Profiles Report,“ Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH, Wien, 2023.
- [7] D. Qi, X. Zhang, G. Hofer und S. Schoisengeier, „International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Field Studies Report,“ Institute of Building Research & Innovation ZT GmbH, Vienna, 2023.
- [8] Sengupta, A.; Gaur, A.; Krelling, A.; Machard, A.; Qi, D.; Elnagar, E.; Baba, F.; Hofer, G.; Breesch, H.; Ge, H.; Declercq, J.; Eli, L. G.; Wang, L.; Tootkaboni, M. P.; Salles, M.; Kazanci, O. B.; Holzer, P.; Stern, P.; Zmeureanu, R.; Gupta, R.; Rahif, R., *International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - Resilient Cooling Design Guideline*, REHVA - Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, 2024.
- [9] R. Levinson, E. Arens, E. Bozonnet, V. Corrado, H. Gilbert, P. Holzer, P. Jaboyedoff, A. Krelling, A. Machard, W. Miller, M. P. Tootkaboni, S. Selkowitz und H. Zhang, „International Energy

Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - Poliy Recommendations," Lawrence Berkeley National Laboratory, 2023.

- [10] P. Holzer, „International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings - Project Summary Report," IBR&I Institute of Building Research & Innovation, Wien, 2024.
- [11] S. Attia, R. Levinson, E. Ndongo, P. Holzer, O. B. Kazanci, S. Homaei, C. Zhang, . B. W. Olesen, D. Qi, M. Hamdy and P. Heiselberg, "Resilient cooling of buildings to protect against heat waves and power outages: Key concepts and definition," *Energy and Buildings*, 2021.
- [12] W. Miller, . A. Machard, E. Bozonnet, N. Yoon , D. Qi, C. Zhang, A. Liu, A. Sengupta, J. Akander, A. Hayati, M. Cehlin, O. B. Kazanci und R. Levinson, „Conceptualising a resilient cooling system: A socio-technical approach," *City and Environment Interactions*, Nr. Volume 11, 2021.
- [13] C. Zhang, O. B. Kazanci, S. Attia, R. Levinson, S. H. Lee, P. Holzer, R. Rahif, A. Salvatif, A. Machard, M. Pourabdollahtookaboni, A. Gaur, B. W. Olesen und P. Heiselberg, „IEA EBC Annex 80 - Dynamic simulation guideline for the performance testing of resilient cooling strategies: Version 2," Aalborg University, 2023.
- [14] S. Attia, R. Rahif, V. Corrado, R. Levinson, A. Laouadi, L. Wang, B. Sodagar, A. Machard, R. Gupta, B. W. Olesen, M. Zinzi und M. Hamdy, „Framework to evaluate the resilience of different cooling technologies," IEA Annex 80, Thermal conditions task force, SBD Lab, Liege, 2021.
- [15] C. Zhang, O. B. Kazanci, R. Levinson, P. Heiselberg, B. W. Olesen, G. Chiesa, B. Sodagar, Z. Ai, S. Selkowitz, M. Zinzi, A. Mahdavi, H. Teufl, M. Kolokotroni, A. Salvati, E. Bozonnet, F. Chtioui, P. Salagnac, R. Rahif, S. Attia, V. Lemort, E. Elnagar, H. Breesch, A. Sengupta, L. L. Wang, D. Qi, P. Stern, N. Yoon, D.-I. Bogatu, R. Forgiarini Rupp, T. Arghand, S. Javed, J. Akander, A. Hayati, M. Cehlin, S. Sayadi, S. Forghani, H. Zhang, E. Arens und G. Zhang, „Resilient cooling strategies – A critical review and qualitative assessment," *Energy and Buildings*, Bd. 251, 2021.
- [16] S. Attia, P. Holzer, S. Homaei, O. B. Kazanci, C. Zhang und P. Heiselberg, „Resilient Cooling in Buildings – A Review of definitions and evaluation methodologies," REHVA 14th HVAC World Congress, Rotterdam, 2022.

Abkürzungen

CORDEX	Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment
IEA	Internationale Energieagentur
KPIs	Key Performance Indicators
NRI	National Research Item

Anhang

Die genannten Publikationen (Deliverables), folgend aufgelistet, sind auf der offiziellen Annex 80 Publikationsliste unter <https://annex80.iea-ebc.org/> sowie auf der Homepage des IBR&I Institute of Building Research & Innovation ZT-GmbH unter https://www.building-research.at/annex_80/ zu finden.

- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – State of the Art Review
DOI: 10.52776/COXK4763
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Midterm Report (Veröffentlichung im Juni 2024 erwartet)
DOI: 10.52776/MLGU9719
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Technology Profiles Report
DOI: 10.52776/HFTR4661
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Field Studies Report
DOI: 10.52776/COXK4763
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Resilient Cooling Design Guideline (Veröffentlichung im Juni 2024 erwartet)
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Policy Recommendations
DOI: 10.20357/B7288C
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Project Summary Report (Veröffentlichung im Juni 2024 erwartet)
DOI: 10.52776/KKGB4933
- International Energy Agency EBC Annex 80 - Resilient Cooling of Buildings – Key Performance Indicators Report (Veröffentlichung im Juni 2024 erwartet)
DOI: 10.52776/RHET577

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
+43 800 21 53 59
servicebuero@bmk.gv.at
bmk.gv.at