

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 64: Optimierte kommunale Energiesysteme basierend auf Exergie-Prinzipien

LowEx Communities
Arbeitsperiode 2014 - 2018

C. Marguerite, R.-R. Schmidt,
I. Baldwinsson, I. Takahashi,
O. Terreros

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

47/2019

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Energie in Gebäuden und Kommunen (EBC) Annex 64: Optimierte kommunale Energiesysteme basierend auf Exergie-Prinzipien

LowEx Communities
Arbeitsperiode 2014 - 2018

Charlotte Marguerite, Ralf-R. Schmidt, Ivar Baldvinsson, Olatz Terreros
AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Itaru Takahashi
Gastwissenschaftler am AIT
Tokai University, Kanagawa, Japan

Wien, Mai 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 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 Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	6
2	Abstract	7
3	Ausgangslage	8
4	Projekthalt	10
	4.1. Der IEA EBC Annex 64	10
	4.2. Ziele und Inhalte der nationalen Beteiligung	12
5	Ergebnisse	14
	5.1. UrbanCascade case study	16
	5.2. Princeton case study	17
	5.3. NextGenerationHeat case study	18
	5.4. POLIMI case study	19
	5.5. CITYOPT case study	20
	5.6. Nationale Herausforderungen für die Exergie-Optimierung von Wärmenetzen	21
	5.7. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse	22
	5.8. Übersicht der Publikationen und Veröffentlichungen	23
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	24
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	26

1 Kurzfassung

Ausgangssituation und Motivation: Städten sind verantwortlich für mehr als 2/3 des Endenergieverbrauches. Zur Reduktion der CO₂-Emissionen ist es wesentlich, die Energieeffizienz im Verbrauch und den Anteil erneuerbarer Energien zu erhöhen. Zur Hebung der Potentiale im Bereich Heizen und Kühlen ist ein gesamtheitliches Verständnis der Verbraucherstrukturen und Umwandlungsprozessen notwendig. Insbesondere für die Nutzung alternativer Wärmequellen wie Abwärme, Umgebungswärme Solar- und Geothermie ist die Berücksichtigung des im Allgemeinen niedrigen Temperaturniveaus bzw. Exergiegehalts dieser Wärmequellen entscheidend. Bislang basiert die Energieplanung in Städten allerdings im Wesentlichen auf dem Abgleich von Energiebedarf und Erzeugungskapazitäten.

Zielsetzung und Methodik: Ziel des IEA-Programms EBC („Energy in buildings and communities“) ist die Integration von energieeffizienten und nachhaltigen Technologien in Gebäuden und Gemeinden durch Forschung und Innovation. Im Rahmen des EBC Annex 64 (<https://www.annex64.org/>) werden städtische Energiesysteme mit Hilfe des Exergieansatzes hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, CO₂ Emissionen sowie Effizienz analysiert. Innerhalb des EBC Annex 64 hat seitens Österreichs das AIT teilgenommen und den Subtask C zum Thema „Model Cities“ geleitet, der die vergleichende Analyse aller Fallbeispiele des Annex inkludiert. Weiters wurden seitens AITs folgende Aktivitäten durchgeführt: Die mathematische Analyse von Möglichkeiten zur kaskadischen Wärmenutzung innerhalb und zwischen charakteristischen Gebäudetypen (Subtask A); Die Ausarbeitung von Potentialen für die Integration von Wärmepumpen in Niedertemperatur-Fernwärmenetze (Subtask B); Den Vergleich von unterschiedlicher Bewertungsmethoden und Optimierungsalgorithmen und die Integration von Exergieindikatoren (Subtask D).

Ergebnisse: Die im IEA EBC Annex 64 durchgeführten Analysen der Fallbeispiele sowie die intensiven Diskussion mit den anderen Annex Teilnehmern und nationalen Stakeholdern zeigen, dass Exergie zur Identifikation von Optimierungspotentialen in thermischen Systemen grundsätzlich hilfreich sein kann. Jedenfalls ist es bei der Auslegung und der Optimierung von Wärmenetzen wichtig, den Wert eines niedrigen Temperaturniveaus zu analysieren. Hierbei ist besonders die Erhöhung des Potentials bzw. die Steigerung der Effizienz der Erzeugungsanlagen (vor allem erneuerbarer Energieträger und Wärmepumpen) aufgrund der geringeren Temperaturniveaus wesentlich, aber auch erhöhte Speicherkapazitäten und niedrige Wärmeverteilungsverluste sind zu berücksichtigen. Dem gegenüber stehen jedoch Investitionen für die Niedertemperaturfähigkeit auf der Gebäudeseite, die besonders für Vorlauftemperaturen unterhalb der Warmwasser-Temperaturen sehr hoch sein können. Der Einsatz von vorhandenen Hochtemperaturerzeugern kann die Wirtschaftlichkeit der Systeme erhöhen, in dem ggf. notwendige Temperaturerhöhungen („booster“) durchgeführt werden. Wichtig ist hierbei hervorzuheben, dass Exergie-optimierte Niedertemperatur-Netze ein wichtiger „Enabler“ der Sektorenkopplung sind, da die COPs der Wärmepumpen im Vergleich zu Hochtemperatursystemen wesentlich erhöht werden und elektrische Temperatur-Booster zusätzliche Kopplungspunkte darstellen.

Die Ergebnisse des IEA EBC Annex 64 sind in Gestaltungsrichtlinien für urbane Energiesysteme unter Berücksichtigung von Exergie-Prinzipien und Österreichischer Expertise zusammengefasst und werden in einem Guidebook veröffentlicht.

2 Abstract

Initial situation and motivation: Cities are responsible for more than 2/3 of final energy consumption. In order to reduce CO₂ emissions, it is essential to increase energy efficiency in consumption and the share of renewable energies. A holistic understanding of consumer structures and conversion processes is necessary to increase the potentials in the heating and cooling sector. In particular for the use of alternative heat sources such as waste heat, ambient heat, solar and geothermal energy, the consideration of the lower temperature level or "exergy" content of these heat sources is important. So far, however, energy planning in cities has essentially been based on the balancing of energy demand and generation capacities.

Aim and methodology: The aim of the IEA program EBC ("Energy in buildings and communities") is to integrate energy-efficient and sustainable technologies in buildings and communities through research and innovation. Within the framework of the EBC Annex 64 (<https://www.annex64.org/>), urban energy systems are analysed with the help of the exergy approach with regard to economic efficiency, CO₂ emissions and efficiency. Within the EBC Annex 64, AIT has participated representing Austria and led Subtask C on "Model Cities", which includes the comparative analysis of all Annex 64 case studies. AIT also carried out the following activities: The mathematical analysis of possibilities for cascading heat use within and between characteristic building types (Subtask A); the elaboration of potentials for the integration of heat pumps in low-temperature district heating networks (Subtask B); the comparison of different evaluation methods and optimisation algorithms and the integration of exergy indicators (Subtask D).

Results: The analyses of the case studies within the IEA EBC Annex 64 and the intensive discussions with the other Annex participants and national stakeholders show that exergy can in principle be helpful in identifying optimisation potentials in thermal systems. In any case, it is important to assess the value of a low temperature levels when designing and optimising heating networks. In this context, the resulting increasing potential and efficiency of generation units (especially renewable energy sources and heat pumps) due to the lower temperature levels are essential, but also increasing storage capacities and lower heat distribution losses have to be considered. On the other hand, however, there are investments required on the building side for handling low supply temperature, which can be very high especially for supply temperatures below the domestic hot water preparation temperatures. The use of existing high-temperature supply units can increase the efficiency of the systems by carrying out any necessary temperature boost. Finally, it is important to emphasise that exergy-optimised low-temperature networks are an important "enabler" of sector coupling, as the COPs of the heat pumps are significantly increased compared to high-temperature systems and electrical temperature boosters represent additional coupling points.

The results of the IEA EBC Annex 64 are summarised in design guidelines for urban energy systems, taking into account exergy principles and Austrian expertise, and are published in a guidebook.

3 Ausgangslage

Der Energiebedarf für Heizung und Kühlung im Gebäudebereich ist für mehr als ein Drittel des Endenergieverbrauchs in Europa und weltweit verantwortlich. In der Regel wird diese Energie durch verschiedene fossile Brennstoffe mit Hilfe von Verbrennungsprozessen bereitgestellt. Diese Verbrennungsprozesse verursachen Treibhausgasemissionen, die als eine der zentralen Herausforderungen bei der Bekämpfung des Klimawandels und der Energiewende angesehen werden. Nationale und internationale Vereinbarungen (z.B. die europäischen 20-20-20-Ziele oder das Pariser Abkommen) sehen eine Begrenzung der Treibhausgasemissionen der Industrieländer für den Klimaschutz vor. Obwohl im Stromnetz bereits der Anteil erneuerbarer Energien spürbar gesteigert werden konnte, gibt es noch große ungenutzte Potenziale im Wärme- und Kältebereich und vor allem im kommunalen Bereich. Die Nutzung dieser Potenziale und Synergien erfordert eine ganzheitliche Analyse und ein ganzheitliches Verständnis von Energieversorgung -verteilung und -verbrauch in Städten und Gemeinden.

Im Rahmen des IEA EBC Annex 64 werden städtische Energiesysteme mit Hilfe des "Exergie" Ansatz optimiert. Exergie bezeichnet den Teil der Gesamtenergie eines Systems, der Arbeit verrichten kann, also auf direkt nutzbarem Temperaturniveau vorliegt. Je höher die Temperatur eines Wärmestroms über der Referenztemperatur liegt, desto höher ist die Exergiequalität. Die Exergie ist im Gegensatz zur Energie keine Erhaltungsgröße, da sie durch irreversible Prozesse abgebaut wird, d. h. sie wird in Energie umgewandelt. Bei der Exergieoptimierung wird untersucht, inwieweit die Wärme- (und Kälte-)ströme innerhalb eines Systems hinsichtlich der Temperaturniveaus optimal aufeinander angepasst werden können. Ziel hierbei ist die Minimierung der Verwendung hochwertiger Energieressourcen wie elektrische Energie und biogene Brennstoffe und der Energieverluste und irreversible Verluste (interne Verluste).

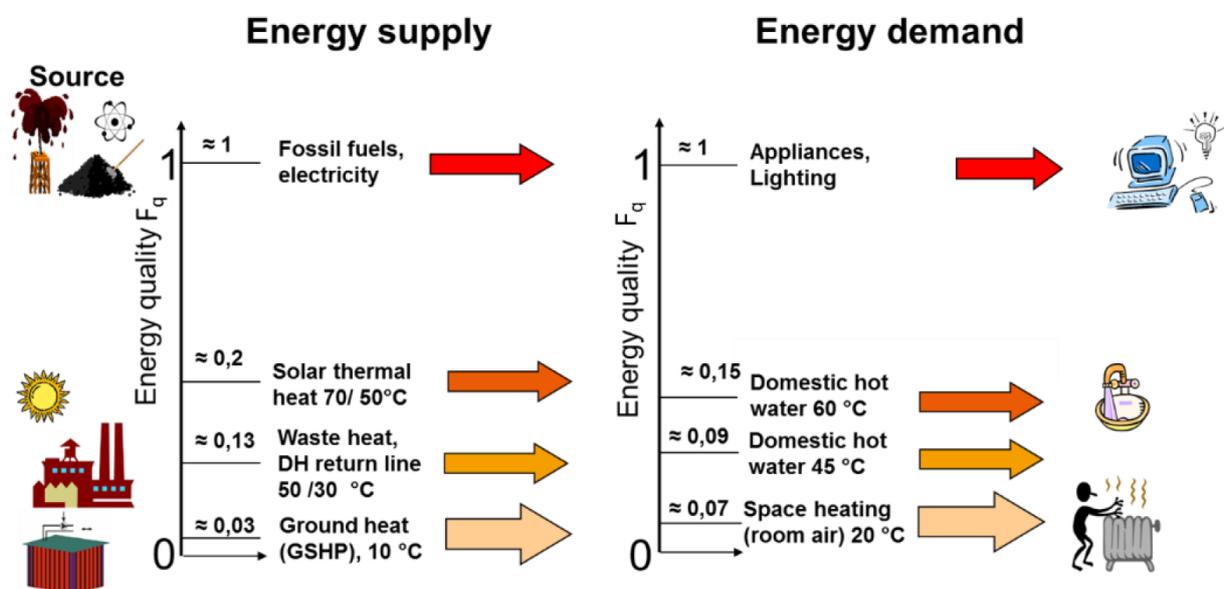


Abbildung 1: Unterschiedliche „Qualitätsfaktoren“ bzw. Exergieniveaus in Erzeugung und Verbrauch von Energie, Quelle: EBC Annex 64 Guidebook

Da Städte durch eine Vielzahl unterschiedlicher Energieverbraucher und Erzeuger mit unterschiedlichen Temperaturen charakterisiert sind können sich durch eine exergetische Betrachtungsweise große Optimierungspotentiale ergeben. Es werden hierbei folgende konkrete Problemstellungen adressiert:

- Die Temperaturen in Fernwärmenetzen richten sich nach a) dem nutzbaren Temperaturniveau der Erzeuger, b) dem höchsten Temperaturbedarf der direkt Verbraucher, c) der Auskühlung des Wärmeträgers bei den Verbrauchern und d) der zu transportierenden Wärmemenge. Oftmals werden aus diesen Gründen in städtischen Fernwärmenetzen Vorlauftemperaturen im Bereich zwischen 90°C (Sommer) bis 130°C (Winter) eingestellt. Diese verursachen relativ hohe Wärmeverteilverluste (insbesondere in den Sommermonaten aufgrund der geringen Wärmeabnahme), reduzieren das Potential zur Einspeisung erneuerbarer Energieträger und die Effizienz von konventionellen Erzeugungsanlagen (auch aufgrund hoher Rücklauftemperaturen).
- Der tendenziell sinkende spezifische Wärmebedarf aufgrund von Sanierungen im Gebäudebestand und hoher Standards im Neubau verursacht steigende spezifische Wärmeverluste bzw. eine Reduktion der Wirtschaftlichkeit des Betriebes bestimmter Abschnitte im Fernwärmenetz und des Netzausbaus, da die Wärmeverteilverluste überproportional hoch werden können. Dazu kommt ein stetiges Wachstum der Städte: Neubausiedlungen haben oft einen sehr geringen Wärmebedarf, wodurch ein Anschluss an das Fernwärmenetz nur bedingt wirtschaftlich ist. Dazu kommen steigenden Kosten fossiler Brennstoffe zusammen mit dem zunehmenden Bedarf der Integration erneuerbarer Energieträger bzw. Kopplung mit fluktuierendem Strommarkt über KWK und WP.
- Aufgrund der historischen Strukturen und des stetigen Wachstums liegen in Städten üblicherweise eine große Zahl unterschiedlicher Verbraucher und Erzeuger vor, deren notwendiges bzw. das mögliche Temperaturniveau variieren. Des Weiteren ist von einer zunehmenden Erhöhung des Kühlbedarfes in den Sommermonaten auszugehen.

Auf Gemeindeebene besteht die Möglichkeit, diese Energie durch verschiedene Quellen zu liefern, z.B. Niedertemperaturwärme aus geothermischen Quellen auf niedrigem Exergie-Niveau oder durch Dach-Photovoltaik als Hochexergie-Strom. Die schwankende Stromversorgung aus regenerativer Stromerzeugung wie z.B. Wind- und PV-Strom bietet Chancen und Herausforderungen für zukünftige kommunale Energiesysteme. Das Zusammenspiel von (angepasstem) Energiebedarf und verfügbaren (fluktuierenden) Energieträgern in unterschiedlichen Qualitätsstufen (Exergiefaktor), insbesondere zur Deckung des Wärme- und Kältebedarfs, muss auf lokaler Ebene innerhalb der Gemeinde gelöst werden.

Um Einsparpotenziale und Synergien zu identifizieren, ist eine ganzheitliche Analyse der Energieströme notwendig. Dies ermöglicht die Erkennung der verfügbaren Qualitätsstufen. Diese werden von der Erzeugung bis zur Endnutzung berücksichtigt, um den Anteil an primärer oder hochwertiger fossiler Energie deutlich zu reduzieren und die Exergieeffizienz zu optimieren (Ala-Juusela 2004). In der praktischen Umsetzung müssen fortschrittliche Technologien angepasst und weiterentwickelt werden, um die identifizierten Potenziale zu realisieren. Gleichzeitig wird der Einsatz von hochwertiger Energie zum Heizen und Kühlen reduziert, so dass es mehr Gründe gibt, integrale Ansätze für andere Prozesse anzuwenden, bei denen Energie/Exergie in Gemeinden eingesetzt wird.

4 Projektinhalt

4.1. Der IEA EBC Annex 64

Die Mission des IEA-Programms EBC: Energie in Gebäuden und Kommunen (ehemals ECBCS) ist die Integration von energieeffizienten und nachhaltigen Technologien in Gebäuden und Gemeinden durch Forschung und Innovation zu entwickeln und zu unterstützen. Folgende Themen werden behandelt:

- Energieeffizienz und nachhaltigen Technologien für die Energieversorgung von Gebäuden
- Lüftung und Raumluftqualität in Gebäuden
- Auswirkungen der Energienutzung auf Innenraumqualität und Gesundheit
- Entwicklung und Vergleich von Gebäudesimulationsprogrammen
- Energiemanagementsysteme für Gebäude und Kommunen
- Kommunale und regionale Energieversorgungskonzepte

Das EBC Annex 64 ist ein dreijähriges internationales Forschungsprojekt, das in einem Definitionsworkshop im September 2012 in München/Deutschland initiiert wurde und nach einer einjährigen Vorbereitungsphase mit seiner Arbeitsphase Mitte 2014 begann und Mitte 2017 endete. Das Projekt wurde nach der Berichterstattung Mitte 2018 abgeschlossen. Ziel des EBC Annex 64 ist die Entwicklung kostengünstiger und emissionsarmer Versorgungskonzepte für Städte und Gemeinden mit Hilfe des Exergieansatzes und dadurch die Optimierung der Nutzung regenerativer Energiequellen. Der Annex verfolgt folgende übergeordneten Ziele:

- Die Verbesserung der Energie-Umwandlungsketten auf kommunaler Ebene
- Die Realisierung von bi-direktionalen Einspeisekonzepten
- Die Evaluierung der praktischen Anwendbarkeit des Exergieansatzes auf kommunaler Ebene

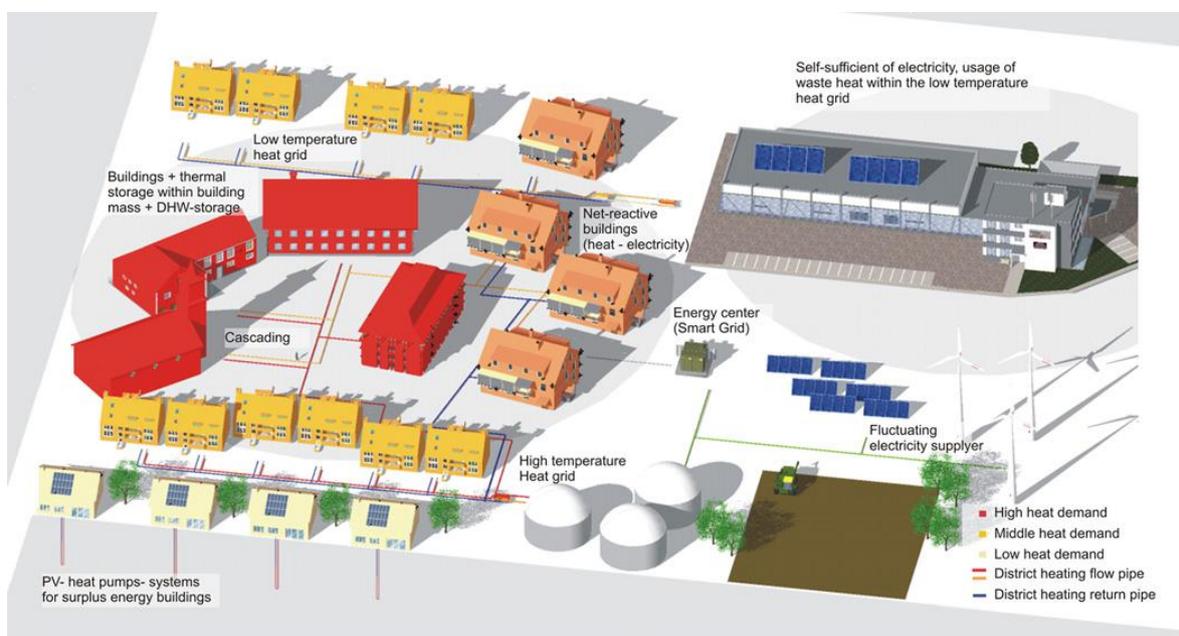


Abbildung 2: Beispiele für Exergieoptimiertes Design im EBC Annex 64; Quelle: <https://www.annex64.org/index.php>

Die Arbeiten in Annex 64 konzentrierten sich sowohl auf die theoretischen und methodischen Instrumente als auch auf praktische Aspekte. Es sind folgende Teilziele inkludiert:

- Anwendung und Weiterentwicklung des Nieder-Exergie Ansatzes (LowEx)
 - Erweiterung des LowEx Ansatzes auf städtische Energiesysteme
 - Analyse des Potentials von Exergie-orientiertem Denkens auf Städtischer Ebene
 - Identifikation vielversprechender und effizienter technischer Lösungen für die praktische Umsetzung
 - Erhöhung der Gesamtexergie- und Gesamtenergieeffizienz in Städten
- Identifikation und Anwendung von vielversprechenden technischen Lösungen
 - Integration von LowEx Komponenten (Erzeugung, Verteilung, Verbrauch)
 - Aspekte der praktischen Implementierung eines zukünftigen Netzwerkmanagements
 - Geschäftsmodelle für Verteilung und Betrieb für eine erfolgreiche Umsetzung
- Bereitstellung von Bewertungsmethoden und Tools
 - Anwendung der Exergieanalyse als Grundlage der Tools
 - Sammlung und Zusammenführung von geeigneten Bewertungsmethoden
 - Entwicklung von Bewertungsmethoden und Tools für unterschiedliche Planungsschritte
- Wissenstransfer
 - Nationale Workshops und Beiträge auf geeigneten Konferenzen
 - Elektronisch verfügbares Handbuch
 - Wissenschaftliche Veröffentlichungen in Journals und auf Konferenzen

Die Ergebnisse des EBC Annex 64 resultieren aus der gemeinsamen Anstrengung von Experten aus Österreich, Dänemark, Deutschland, Italien, Niederlande, Schweden und den USA. Die Türkei hat hier als Beobachter teilgenommen. Die Arbeit wurde zwischen den teilnehmenden Experten in fünf Subtasks aufgeteilt, siehe Abbildung 3.

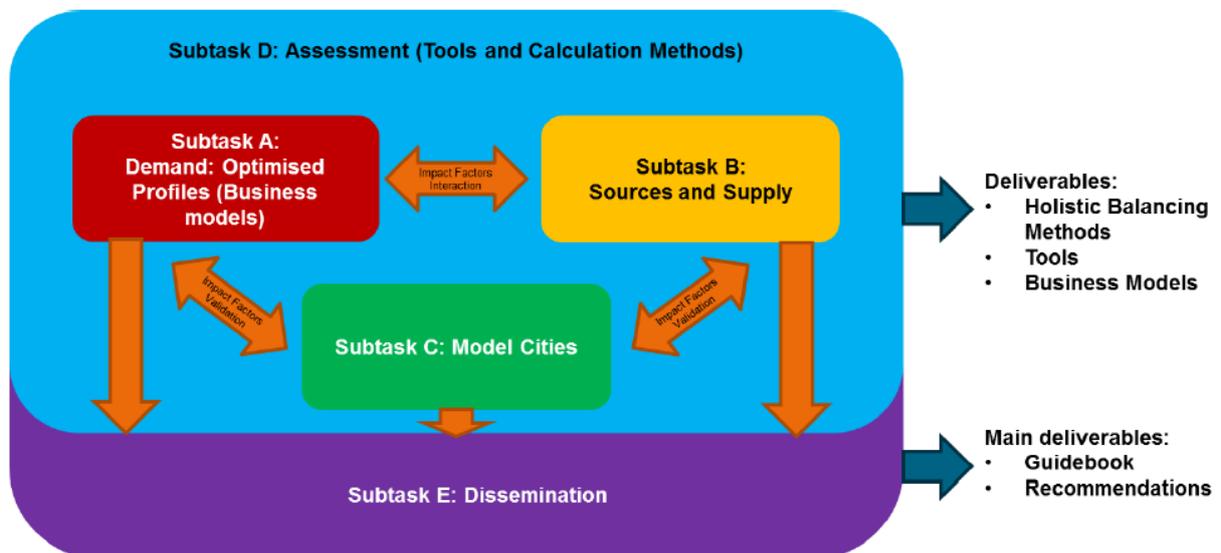


Abbildung 3: Struktur des IEA EBC Annex 64 und Organisation der verschiedenen Subtasks.

Subtask A "Demand optimized profiles (Business models)" Koordination: Technische Universität Delft (DUT), Niederlande

- Gesamtheitliche Betrachtung der Gebäude innerhalb städtischer Energiesysteme
- Berücksichtigung unterschiedlicher Energie- und Exergiebedarfsprofile
- Integration von Niederexergietechnologien (Input des IEA ECBCS Annex 49 und Annex 37)
- Integration der Kenntnisse und Erfahrungen von IEA ECBCS Annex 51
- Identifikation aktueller Herausforderungen und Szenarien für 2020/50

Subtask B "sources and supply" Koordination: Princeton University (PU), USA

- Identifikation verfügbarer Energiequellen und Einspeiser sowie geeigneter Speichermöglichkeiten
- Integration von Niedertemperatur (LowEx) Energiequellen um einen hohen Anteil Erneuerbarer Energiequellen zu erzielen
- Berücksichtigung von fluktuierenden Energiequellen und dynamischer Abgleich der verfügbaren Energiequellen und des Energiebedarfs (z.B. Raumwärme und Warmwasser)
- Integration von Niedertemperatur-Fernwärmekonzepten (Input aus z.B. IEA DHC Annex TS1, IEA DHC Annex X)
- Identifikation aktueller Herausforderungen und Szenarien für 2020/50

Subtask C "model Cities" Koordination: Austrian Institute of Technology (AIT), Österreich

- Identifikation von Strategien und Technologien, die ein hohes Potential zur Integration von Energie-Bedarf und Verbrauch aufweisen
- Identifikation von best practise und Fallbeispielen
- Integration der Erfahrungen und Kenntnisse von z.B. ECBCS Annex 51

Subtask D "Assessment (Tools and calculation models)" Koordination: Königliche Technische Hochschule (KTH), Schweden

- Entwicklung konsistenter Bewertungsmethoden für gebäudeseitige Energiesysteme
- Sammlung existierender Tools und Methoden zur Bewertung von Energiesystemen
- Integration von LowEx Bewertungsmethoden (Input von IEA EBC Annex 49 und Annex 37)
- Erweiterung der Bewertungsmethode auf städtische Ebene

Subtask E "Dissemination" Koordination: Fraunhofer IBP, Deutschland

- Initiierung von Demonstrationsprojekten und Entwicklung von neuen Formen der Zusammenarbeit zwischen Industrie und Forschung
- Dokumentation von best practice Beispielen.
- Broschüren, Website und Seminare/ Workshops.
- Gestaltungsrichtlinien

4.2. Ziele und Inhalte der nationalen Beteiligung

Das Hauptziel des österreichischen Teilprojektes war der Erfahrungsaustausch und die Zusammenarbeit mit anderen Annex-Teilnehmern sowie der Beitrag der österreichischen Expertise und Projektergebnisse. Weiters hat das AIT Aufgrund der umfangreichen Erfahrungen in laufenden Forschungsprojekten und der vielen Fallbeispiele den Subtask C "Model Cities" geleitet. Konkrete Inhalte der nationalen Beteiligung waren:

- Mitarbeit in Subtask A "Demand optimized profiles (Business models)"
 - Aufbereitung und Darstellung typischer Gebäudetypen im internationalen Vergleich,
 - Analyse der Möglichkeiten zur kaskadischen Wärmenutzung zwischen Gebäuden
 - Darstellung von typischen Geschäftsmodellen und deren Anwendung in Niederexergie-Systemen
- Mitarbeit in Subtask B "sources and supply"
 - Aufzeigen der Potentiale der Integration von Wärmepumpen in einen LowEx bzw. Niedertemperaturansatz
 - Darstellung der Vorteile von Wärmepumpen und Bewertung des Einsatzes im Energiesystem
- Leitung des Subtask C „Model Cities“
 - Zusammenfassung von relevanten Daten aus den Fallbeispielen
 - Vergleich der Fallbeispiele und die Berechnung exergetischer (und anderer) Kennzahlen (in Zusammenarbeit mit Subtask D)
 - Ausarbeitung von Schlussfolgerungen bzw. Darstellung von best-practice Beispielen
- Mitarbeit in Subtask D "Assessment (Tools and calculation models)"
 - Vergleich unterschiedlicher Bewertungsmethoden und Indikatoren
 - Integration von weiteren Exergieindikatoren, Anwendung der Berechnungs- und Simulationsmethoden und Vergleich unterschiedlicher Fallbeispiele
- Mitarbeit in Subtask E "Dissemination"
 - Einbringung der österreichischen Beiträge in internationale Expertenmeetings;
 - Information der österreichischen Stakeholder über die Projektaktivitäten sowie Verbreitung der nationalen und internationalen Ergebnisse und Erkenntnisse;
 - Mitarbeit in der Entwicklung von Broschüren, Website und Seminare/ Workshops.
 - Integration der Österreichischen Annex-Ergebnisse in die Gestaltungsrichtlinien

5 Ergebnisse

Das wesentliche Ergebnis des EBC Annex 64 ist das Guidebook *“LowEx Communities - Optimised Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles (Annex 64)”*, in dem alle nationalen und internationalen Beiträge zusammengefasst wurden. Dieses befindet sich in abschließender Bearbeitung und wird demnächst veröffentlicht.

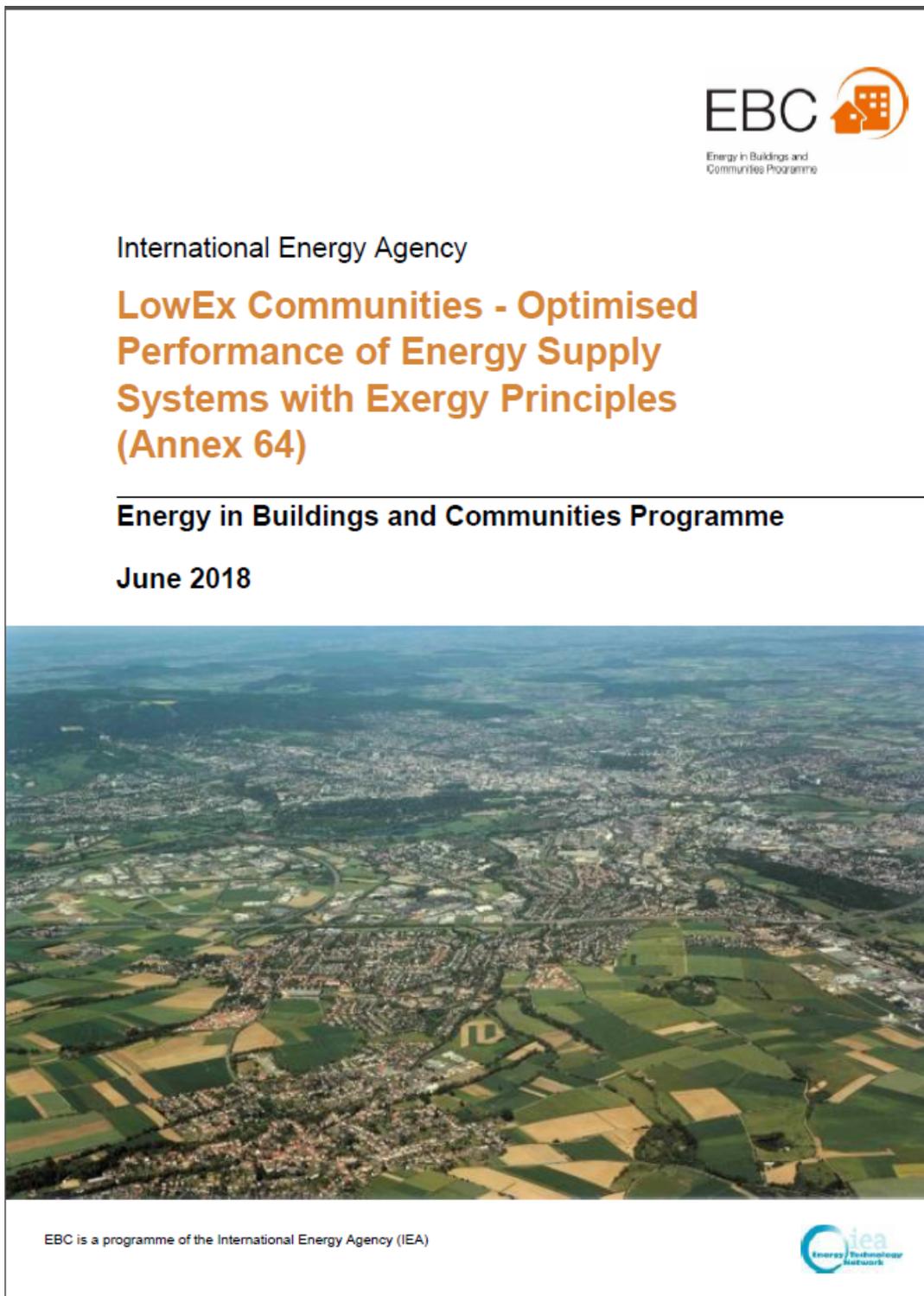


Abbildung 4: Titelseite EBC Annex 64 Guidebook (Veröffentlichung voraussichtlich Mitte 2019)

Darüber hinaus fanden diverse Disseminierungsaktivitäten statt, darunter ein Workshop mit relevanten nationalen Stakeholdern in Österreich, in dem die Ergebnisse des Projektes diskutiert wurden, siehe Abschnitt 6.

Ein weiterer wesentlicher Teil des Österreichischen Beitrags zum EBC Annex 64 ist die Bearbeitung mehrerer nationaler und internationaler Fallbeispielen, die auf den Ergebnissen bereits abgeschlossener Projekte des AITs (UrbanCascade, NextGenerationHeat, CITYOPT), und auf Daten internationaler Partner (Princeton, POLIMI) basieren. Jedenfalls wurden im Rahmen des EBC Annex 64 die Fallbeispiele jeweils mit Exergie-basierten Methoden analysiert bzw. bewertet. Diese Ergebnisse werden im Folgenden zusammenfassend aufgelistet und sind als separate Dokumente im Anhang verfügbar.



Abbildung 5: Fallbeispiele innerhalb des EBC Annex 64, Quelle: Guidebook

5.1. UrbanCascade case study

1. Title of the project or case study	URBANcascade
2. Name of researcher & contact information Author(s)	Ralf-Roman Schmidt Ralf-Roman.Schmidt@ait.ac.at
3. What is the objective of the project or case study?	The aim of the project „URBANcascade“ is to increase the potential of waste heat and renewable energy sources and the efficiency of urban district heating and cooling systems (measured by the reduction of primary energy consumption and CO2 emission) by the integration of concepts for the cascade utilisation of thermal energy. The adjustment of the temperature levels of waste heat, renewable energy carrier's and the network itself plays a pivotal role.
4. Brief description of the project	In order to reach the aim of the project, for two case studies (Vienna and Klagenfurt) the optimisation potentials within different characteristic building types were identified, synergies within building clusters were considered and the effect of these measures on the temperature levels in the urban district heating system were evaluated in different scenarios. Integration of heat pumps at all levels is one of the main focuses of this project.
5. keywords	Cascading, heat pump integration, city wide District heating network.
6. Why do you consider this project a LowEx project / case study?	Cascading in the DH networks optimizes the exergetic performance, since it lowers the system temperatures and in turn allows heat pumps to supply to the DH network.
7. Method used for exergy analysis (tools, methods used) [mention at least the analysis tool used and the reference temperature used]	Exergy balance equations and exergy flows equations ; Modelica/Dymola;
8. Main conclusions [central findings, summary of central results, and status of realisation etc.]	Low supply temperature can decrease thermal exergy supply for the LTC of about 28% depending on the configuration considered. Heat cascades are possible if there are: a sufficient and unidirectional mass flow, the balancing of the demand and temperature profiles between the LTC and HTC as well as

5.2. Princeton case study

Title of the project or case study	Case Study Princeton University, USA
2. Name of researcher & contact information Author(s)	Charlotte Marguerite, Austrian Institute of Technology, Austria, charlotte.marguerite@ait.ac.at
3. What is the objective of the project or case study?	The evaluation of alternatives to the current Princeton University heating system in order to make the heating system more sustainable.
4. Brief description of the project	This case study consists of the Princeton campus heating system with 160 buildings and a heat demand during then heating period of 2013/2014 of 132GWh. The demand data of the Princeton University campus heating system was kindly provided by Princeton University, USA. Three different heat supply scenarios (including CHP and heat pump) with a supply temperature of 50°C are studied.
5. keywords	Exergy analysis, heat pump, dynamic model, low exergy.
6. Why do you consider this project a LowEx project / case study?	Exergy analysis is used in order to find a system with reduced exergy destruction and exergy use.
7. Method used for exergy analysis (tools, methods used) [Energy and exergy analysis. Matlab based toolbox. Component based input-output analysis was applied for the exergy analysis. Outside air temperature as reference temperature
8. Main conclusions	The results show that the initial production system can be significantly improved in terms of exergy input and exergy efficiency by replacing part of the CHP production based on gas by heat production from low-exergy sources.

5.3. NextGenerationHeat case study

Title of the project	NextGenerationHeat (NGH)
Name of researcher	Charlotte Marguerite, Ralf-Roman Schmidt, Eshan Ahmadian Charlotte.marguerite@ait.ac.at ; Ralf-Roman.Schmidt@ait.ac.at
Related Annex Subtask(s):	B, C, D
Brief description of the project (*)	In this project a static assessment tool and dynamic network simulation will be applied to develop, evaluate and test concepts for the economically and ecologically optimized supply of space heating and warm water, by means of district heating, to passive and low energy buildings at the example of four case studies. These concepts are based on low supply temperatures thus allowing to exploit currently unused (renewable) energy sources and to reduce heat losses and investment costs.
keywords	Low temperature district heating, Domestic hot water preparation, dynamic simulations.
Why do you consider this project a LowEx case study? (*)	Low temperature district heating (DH) with supply temperature between 35°C and 65°C is compared with high temperature DH and individual heating options (HP, gasandoil boilers). Technical options and barriers of LowEx approach.
What is the objective of the project? (*)	The aim is to develop and evaluate <ul style="list-style-type: none"> ▪ Economically and ecologically optimized concepts for low temperature district heating networks tailored to different regions in Austria using 4 case studies (only 2 cases are presented here). ▪ Optimized solutions to the problem of hygienic warm water generation, taking into account heat pumps and other external energy sources.
Method used for exergy (incl. reference temp used)	Exergy evaluation has been performed using an AIT internal Matlab tool based on [Favrat 2008].
Expected outcome	Comparison of the results for different case studies and scenarios shows that the most important factor that changes exergy performance of system is the energy source form and its conversion technology. In the meantime, it is observed that lowering supply temperature of DHN can increase the exergy efficiency of system, while changing reference temperature of system does not show a clear ascending or descending trend of exergy efficiency although it affects the exergy efficiency value. In case of disregarding CHP plant from the system, IH has slightly higher exergy efficiency compare to DH while presenting CHP plant in real systems proves the opposite result. Finally no connection between energy and exergy efficiencies of these thermodynamic systems was discovered. Regarding the ecologic assessment it is concluded that the higher is the exergy efficiency of system; the less is the direct CO ₂ emissions of it.

5.4. POLIMI case study

1. Title of the project or case study	Case study Segrate, Italy.
2. Name of researcher & contact information Author(s)	Department of Architecture, Built Environment and Construction Engineering (ABC), Politecnico di Milano prof. Paola Caputo (paola.caputo@polimi.it) Federica Zagarella (federica.zagarella@polimi.it) Austrian Institute of Technology Ivar Baldvinsson Charlotte Marguerite (charlotte.marguerite@ait.ac.at)
3. What is the objective of the project or case study?	To define an energy supply scenario for a new development district in Italy, by considering renewables' integration and low exergy solutions; to assess the related exergy performance.
4. Brief description of the project	This case study regards the design phase of a new development district in northern Italy. The district includes mostly residential buildings and a small share of commercial ones. The energy scenario comprises a biomass cogeneration, PV systems and HPs. A low exergy district network supply space heating and cooling and DHW.
5. keywords	Low carbon and low exergy districts, Low-T district heating, High-T district cooling, Biomass cogeneration, BIPV, MILP optimization
6. Why do you consider this project a LowEx project / case study?	The system includes definition of nZEBs low exergy district systems and RES.
7. Method used for exergy analysis (tools, methods used)	The GICOP-DHS (Geographic Information-based Cost Optimal Planning of District Heating System) tool was used to generate the district heating network and operational profiles of technology candidates according to location specific information. Component based input-output analysis was applied for the exergy analysis.
8. Main conclusions	The energy scenario for the new settlement reveals an estimated low energy demand, thanks to high buildings standard and low thermal losses among the network, wide energy share produced from renewables and a good exergy

5.5. CITYOPT case study

Title of the project or case study	CITYOPT – Vienna Case Study
2. Name of researcher and contact information Author(s)	Charlotte Marguerite ; Itaru Takahashi Charlotte.marguerite@ait.ac.at ; itaru@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp
3. Brief description of the project	The case study of Vienna involves one standard building and two low-energy buildings. The objective is to take advantage of the waste heat from a nearby industry to supply the buildings which also have they own heat source as a backup solution. The main challenges are the different supply temperatures required by the buildings and the temperature levels available from all the different heat sources involved. The second challenge is related to heat load profile and the heat supply profile, which require the use of low-temperature and high temperature storages.
4. What is the objective of the project or case study?	Determine the best design configuration for a waste heat based micro-district heating network supplying standard and low-energy buildings.
6. Why do you consider this project a LowEx project / case study?	In this case study we want to integrate in the same network, different temperature requirements and especially low-temperatures from efficient buildings from the demand side and varying temperatures (from renewables and waste heat) and storages from the supply side.
7. Method used for exergy analysis (tools, methods used)	Exergy analysis: Exergy inputs (flows and renewables share), exergy efficiencies
8. Main conclusions	The low temperature storage with the booster heat pump is useful to increase the renewable share in the primary inputs, but not to improve the exergy efficiency in this case study. The analysis leads to the conclusion that from an exergetic point of view the use of more waste heat accompanied with a booster heat pump does not relates to a better efficiency.

5.6. Nationale Herausforderungen für die Exergie-Optimierung von Wärmenetzen

In einem nationalen Stakeholder Workshop (siehe Abschnitt 6) wurden folgende Herausforderungen für die Exergie-Optimierung bzw. Reduktion der Temperaturniveaus von Wärmenetzen diskutiert:

- Aufgrund des geringen Effekts niedriger Netztemperaturen in den derzeit dominierenden Hochtemperaturerzeugungsanlagen (KWK, Heizkessel), ist oftmals nur von sehr geringen Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit aufgrund der Reduktion der Netztemperaturen auszugehen. Entsprechend fehlen konkrete finanzielle Anreize zur Initiierung von Maßnahmen zur Reduktion der Rücklauftemperaturen, was wiederum in einem reduzierten Potential alternativer Wärmequellen resultiert und die Dominanz der Hochtemperaturerzeuger stabilisiert.
- Installateure müssen für sekundärseitige Maßnahmen zur Temperaturoptimierung kontinuierlich geschult werden, dazu fehlt oftmals die Motivation, da im Regelfall keine temperaturabhängigen Tarife vorliegen. Dazu fehlen oftmals Kontrollen für vorgeschriebene Maßnahmen (z.B. hydraulischer Abgleich siehe ÖNORM EN 14336).
- Die Struktur der gegenwärtigen Wärmelieferverträge bzw. technischen Anschlussbedingungen mit langfristigen Laufzeiten und de facto ohne Kündigungsoptionen (auch mangels Alternativen).
- Oftmals fehlende Möglichkeiten zur Erstellung temperatur- oder massenstrom-abhängiger Tarife. Der Grund dafür ist, dass die in Österreich momentan verwendeten Wärmemengenzähler oftmals nur auf die reine Wärmeenergie geeicht sind. Temperaturen bzw. der Massenstrom werden nicht explizit erfasst und dürfen deshalb nicht für Verrechnungszecke verwendet werden.
- Da die Entscheidungsträger für die Durchführung von Maßnahmen am Gebäude bzw. am Heizsystem zur Reduktion der Rücklauftemperaturen nicht die Nutznießer evtl. Vorteile im Betrieb sind, ist deren Motivation zur Umsetzung gering - Warum soll der Kunden selber etwas investieren? Wer hat den Nutzen? Dieses Nutzer/ Verbraucher Dilemma tritt allerdings eher in der Stadt auf, am Lande sind die Gebäude oft vom Eigentümer bewohnt
- Grundsätzlich ist es wichtig, den Kunden stärker in den Mittelpunkt zu rücken, z.B. Services wie eine „gratis-Optimierung“ anbieten. Ggf. kann der Netzbetreiber in Optimierungsmaßnahmen z.B. eine neue Pumpe beim Kunden investieren, hierbei treten jedoch rechtliche Aspekte z.B. bzgl. der Gewährleistung auf.
- Gebäude müssen kontinuierlich bzgl. der Rücklauftemperaturen überprüft werden, oftmals werden Gebäude erweitert oder ausgebaut bzw. ändert sich die Nutzung/ der Mieter, so dass neue Fehler auftreten

5.7. Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse

Die im IEA EBC Annex 64 durchgeführten Analysen der Fallbeispiele sowie die intensive Diskussion mit den anderen Annex Teilnehmern und nationalen Stakeholdern zeigen folgende wesentlichen Ergebnisse:

- Die Nutzung von Exergie als thermodynamisches Konzept zur Bewertung von Energiesystemen, kann zur Identifikation von Optimierungspotentialen in thermischen Systemen grundsätzlich hilfreich sein. Insbesondere Aspekte wie Wärmeverluste und Nutzung von Umgebungs- und Abwärme lassen sich hiermit adressieren. Jedoch dominieren oftmals andere Kriterien wie Kosten, Emissionen, Umweltauswirkungen etc. die Bewertung realer Systeme. Ggf. kann Exergie mit diesen verbunden werden, z.B. über Gewichtungsfaktoren.
- Jedenfalls wird empfohlen, bei Planungs- und Entwicklungsprojekten die Anwendung eines vereinfachten "Exergie-Denkens" zu berücksichtigen. Dieser inkludiert die Bewertung nach Exergiegehalt bzw. Temperaturniveau des Energiebedarfs und der lokalen Potenziale zur Nutzung erneuerbarer Energien und Abwärme. Darauf folgt die Anpassung an die Energiequalität von Angebot und Nachfrage und die Optimierung aller Energieumwandlungsprozesse zur Erreichung eines maximalen Wirkungsgrades.
- Weiters ist es bei der Auslegung und der Optimierung von Wärmenetzen wichtig, den Wert eines niedrigen Exergie- bzw. Temperaturniveaus zu analysieren. Dieses betrifft besonders die Erhöhung des Potentials bzw. die Steigerung der Effizienz der Erzeugungsanlagen (vor allem erneuerbarer Energieträger und Wärmepumpen) aufgrund der geringeren Temperaturniveaus, aber auch erhöhte Speicherkapazitäten und niedrige Wärmeverteilungsverluste sind zu berücksichtigen.
- Dem gegenüber stehen jedoch Investitionen für die Niedertemperaturfähigkeit auf der Gebäuseite, die besonders für Vorlauftemperaturen unterhalb der Warmwassertemperaturen sehr hoch sein können.
- Der Einsatz von vorhandenen Hochtemperaturerzeugern kann die Wirtschaftlichkeit der Systeme erhöhen, in dem ggf. notwendige Temperaturerhöhungen („booster“) durchgeführt werden.
- Wichtig ist hierbei hervorzuheben, dass Exergie-optimierte Niedertemperatur-Netze ein wichtiger „Enabler“ der Sektorenkopplung sind, da die COPs der Wärmepumpen im Vergleich zu Hochtemperatursystemen wesentlich erhöht werden und elektrische Temperatur-Booster zusätzliche Kopplungspunkte darstellen.

Basierend auf den gewonnenen Ergebnissen kann herausgestrichen werden, dass eine exergetische Bewertung bzw. eine Einbeziehung der Temperaturniveaus der Quelle und der Senke im Planungsprozess zu einem geringeren Verbrauch an fossilen Brennstoffen und einen langfristig höheren Anteil an erneuerbaren Energien beiträgt.

5.8. Übersicht der Publikationen und Veröffentlichungen

Allgemeine Publikationen zum EBC Annex 64

- IEA EBC Annex 64 Website: <https://www.annex64.org>
- LowEx Communities - Optimised Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles. Energy in Buildings and Communities Programme. IEA EBC Annex 64 Guidebook. (Veröffentlichung voraussichtlich Mitte 2019)
- CLIMA 2016, 12th REHVA World Congress 2016 in Aalborg; Topical Session 4 "IEA EBC Annex 64"; <https://vbn.aau.dk/en/publications/clima-2016-proceedings-of-the-12th-rehva-world-congress-volume-10>

Veröffentlichungen seitens AIT mit Bezug zum EBC Annex 64

- D. Basciotti, M. Köfinger, C. Marguerite, O. Terreros, G. Agugiaro, R-R. Schmidt. *Methodology for the Assessment of Temperature Reduction Potentials in District Heating Networks by Demand Side Measures and Cascading Solutions*. CLIMA2016 - proceedings of the 12th REHVA World Congress, 22-25 May 2016, Aalborg, Denmark; <https://hpc2017.org/wp-content/uploads/2017/08/CLIMA-2016-4.6-Daniele-Basciotti-Methodology-for-the-Assessment-of-Temperature-Reduction-Potentials-in-District-Heating-Ne.pdf>
- M. Köfinger, D. Basciotti, R-R. Schmidt. *Reduction of Return Temperatures in Urban District Heating Systems by the Implementation of Energy-Cascades*. Energy Procedia, Vol. 116, 2017, pp. 438-451; <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217322981>
- R.R. Schmidt: „optimierte kommunale Energiesysteme nach Exergie-Prinzipien, EBC Annex 64“; Elevator Pitch / Kurze Vorstellung der neuen Aufgaben/Anhänge auf dem IEA Networking Meeting am 29. Oktober 2015. Aufzeichnung des Vortrags: https://www.youtube.com/watch?v=8u_xN5bxVAg&
- R.R. Schmidt: "Optimised municipal energy systems based on exergy principles (IEA EBC Annex 64)"; "Highlights of energy research 2016 - The role of the heat pump in the future energy system" am 22. Juni 2016 in Wien, Folien: https://nachhaltigwirtschaften.at/resources/iea_pdf/events/20160622_highlights_der_energieforschung_2016_vortrag_schmidt.pdf?m=1469661515, Aufzeichnung des Vortrags: <https://www.youtube.com/watch?v=LwBOXBalsio&>
- C. Marguerite, R-R. Schmidt: *Low-Ex und Niedertemperaturnetze - Ergebnisse aus dem IEA EBC Annex 64*; Workshop: Nahwärmesysteme nachhaltig (um)gestalten; 28.02.2018, Wien; https://www.ait.ac.at/news-events/single-view/detail/5245/?no_cache=1

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Im Rahmen des EBC Annex 64 wurden folgende Zielgruppen adressiert, die jeweils folgenden spezifischen Nutzen der Projektergebnisse haben:

- **Fern- und Nahwärmenetzbetreiber:** Die Ergebnisse des EBC Annex 64 tragen zur Verbesserung städtischer Fernwärmesysteme hinsichtlich der Erhöhung des Nutzungspotentials von Abwärme von Industrieprozessen, Solar- oder Geothermie und der Erhöhung der Gesamteffizienz bei. Sie ermöglichen somit die Reduktion des Primärenergieverbrauchs und der CO₂ Emissionen und tragen damit unmittelbar zu Versorgungssicherheit und Zukunftsfähigkeit der Netze bei. Weiters tragen geringere Netztemperaturen zu sinkenden Kosten durch geringere Wärmeverteilverluste aufgrund niedrigerer Vorlauftemperaturen und geringere Pumpstromkosten aufgrund höherer Temperaturspreizung bei.
- **Gemeinden und Städte:** Neben dem Erreichen stadtpolitischer Ziele hinsichtlich CO₂ Emissionen und Erneuerbaren ermöglicht die exergetische Optimierung eine Steigerung der lokalen Wertschöpfung. Dieses geschieht einerseits aufgrund der ausgelösten Installation von lokalen Komponenten wie Wärmepumpen, solarthermische Kollektoren, Übergabestationen etc. durch lokale Firmen, andererseits durch die Schaffung bzw. Sicherung von Arbeitsplätzen bei der Abwärmenutzung aus Industrie- und Gewerbebetrieben. Weiters kommen die Vorteile einer exergetischen Optimierung der Fernwärme allen angeschlossenen Verbrauchern zu Gute kommt, unabhängig von ihrem sozialen Status.

Die nationale Vernetzung zu diesen Zielgruppen hat einerseits auf zwei IEA-Netzwerktreffen stattgefunden, auf denen jeweils Kurzvorträge zu dem Projekt gehalten wurden (siehe Abschnitt 5.8). Weiters wurde am 28. Februar 2018 mit dem Projekt heat_portfolio zusammen ein nationaler Workshop organisiert, bei dem auch die Ergebnisse und Ergebnisse der IEA EBC Annex 64 vorgestellt und diskutiert wurden. Der Teilnehmerkreis inkludierte:

- Gemeinden und Wohnbauträger,
- Fern- und Nahwärmenetzbetreiber,
- Forschungsinstitutionen und Universitäten,
- Hersteller von Komponenten und Ingenieurbüros,
- Interessensvertretung und Förderstellen.

Nach Vorträgen zu den Herausforderungen von Wärmenetzen und zu spezifischen technischen Maßnahmen (Integration dezentraler Erzeuger, Speichern und Wärmepumpen) sowie Betriebs- und volkswirtschaftliche Potentiale und rechtliche Aspekte alternativer Wärmequellen, insbesondere Abwärme wurden Aspekte der Temperatur- bzw. Exergieoptimierung und konkrete Ergebnisse der IEA EBC Annex 64 vorgestellt. Danach wurde in mehreren Gruppen u.a. das Thema Niedertemperatursysteme und Wärmepumpen in Wärmenetzen intensiv diskutiert und dabei technische, rechtliche, soziale, ökologische Barrieren/ Lösungen besprochen. Die Ergebnisse sind in Abschnitt 5.6 zusammengefasst. Details zu dem Workshop und die Präsentationen sind hier zu finden: https://www.ait.ac.at/news-events/single-view/detail/5245/?no_cache=1



Abbildung 6: gemeinsamer Workshop mit dem Projekt heat_portfolio, 28.02.2018, AIT, Wien.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Bei der Auslegung und Optimierung von thermischen Energiesystemen ist eine Reduktion der Temperaturniveaus zur Erhöhung des Anteils alternativer Wärmequellen wie Solar- und Geothermie, Umgebungs- und Abwärme wesentlich. Exergie ist grundsätzlich eine thermodynamische sinnvolle Größe, mit deren Hilfe Optimierungspotentiale hinsichtlich der Temperaturniveaus in Wärmenetzen und städtischen Energiesystemen dargestellt werden können. Basierend auf den Projektergebnissen können folgende allgemeingültige **Schlussfolgerungen** zur Optimierung von Wärmenetzen bzw. Wärmeversorgungssystemen hinsichtlich Temperaturniveaus bzw. Exergie formuliert werden:

1. Exergie ist als Bewertungs- bzw. Optimierungskriterium nur teilweise für die Optimierung von Wärmenetzen geeignet.

- Bei der Berechnung von Exergieindikatoren ist es aufgrund der Vielzahl an Parameter und Variablen schwierig, eine einheitliche und vergleichsweise Vorgehensweise zu finden. Andererseits dominieren in der Praxis Indikatoren wie CO₂-Emissionen und wirtschaftliche Fragestellungen bei Optimierungsrechnungen.
- Eine weitere Herausforderung der exergetischen Optimierung besteht darin, dass Strom als hochexergetischer Energieträger aufgrund der zunehmenden steigenden Anteile fluktuierender Energieträger wie PV und Wind sowohl tendenziell CO₂ neutral als auch zeitweise zu sehr geringen oder sogar negativen Energiepreisen zur Verfügung steht. Dementsprechend ist die Vermeidung der Nutzung von Strom aufgrund der Optimierung nach Exergiekriterien ggf. nicht wirtschaftlich oder ökologisch sinnvoll.

2. Technische Maßnahmen zur Reduktion der Temperaturniveaus bzw. zur exergetischen Optimierung im Wärmenetz sind bekannt, jedoch fehlen oftmals konkrete Anreize für Gebäudeentwickler bzw. Eigentümer oder Verbraucher, diese umzusetzen.

- Obwohl die prinzipiellen Vorteile der Reduktion der Temperaturniveaus den Wärmenetzbetreibern bekannt sind, ist in den gegenwärtigen Erzeugungsstrukturen oftmals nur von sehr geringen Verbesserungen der Effizienz auszugehen, so dass die Motivation zur Reduktion des Temperaturniveaus im Bestandssystem gering ist. Dementsprechend ist die Entwicklung finanzieller Anreize schwierig.
- Die Installation von Niedertemperaturheizsystemen oder die Durchführung von Maßnahmen zur Rücklaufemperaturreduktion ist im Regelfall mit Mehrkosten verbunden¹. Da positive Effekte von Niedertemperaturheizsystemen oder von Maßnahmen zur Rücklaufemperaturreduktion im Wesentlichen im Betrieb auftreten, ergeben sich in vermieteten Gebäuden (wenn überhaupt) nur Vorteile für den Mieter, so dass die Motivation zu deren Umsetzung beim Vermieter gering ist.

¹ Die konkreten Mehrkosten von Niedertemperaturheizsystemen sind jedoch mit großen Unsicherheiten verbunden, da diese von unterschiedlichen Faktoren abhängen (Materialkosten der Heizung, erhöhter Koordinationsaufwand auf der Baustelle, höherer Aufwand bei der Verlegung des Estrichs, höhere Materialkosten des Parketts usw.)

- Im Neubau achten Bauträger im Regelfall auf einen niedrigen Verkaufspreis der Wohnung, bzw. im sozialen Wohnbau sind die spezifischen Baukosten in den Förderbedingungen oftmals limitiert. Da sich momentan keine Kostenvorteile im Betrieb von Niedertemperaturheizsystemen in der Fernwärme zeigen, sind Kunden im Regelfall nicht bereit, hierfür Mehrkosten zu zahlen. Ausgenommen ist hier z.T. der hochpreisige Wohnbau, wo oftmals Fußbodenheizungen aus Komfortgründen eingesetzt werden.

3. Es bestehen regulative Barrieren zur Erstellung von Anreizsystemen bzw. Anpassung von Vertragsbedingungen um sekundärseitige Temperaturen zu reduzieren.

- In den gegenwärtigen Wärmelieferverträgen bzw. technischen Anschlussbedingungen werden im Regelfall bestimmte (mindest-) Vor- und Rücklauftemperaturen vorgeschrieben. Diese Verträge haben oftmals eine langfristige Gültigkeit und werden nur selten geändert.
- Temperatur- oder Massenstromabhängige Fernwärmetarife sind in vielen Systemen nicht zulässig, da die Wärmehähler oftmals nur auf die Wärmemenge geeicht sind, und die Temperaturniveaus oder der Massenstrom individuell nicht für Abrechnungszwecke verwendet werden darf (Maß- und Eichgesetz (MEG)).
- Bei der kaskadischen Verschaltungen (also der Nutzung des Rücklaufs von Hochtemperatur-Verbrauchern entweder direkt oder über den Rücklauf des Netzes indirekt als Vorlauf für Niedertemperaturkunden) wirken sich sinkende Rücklauftemperaturen im Netz negativ auf die Wirtschaftlichkeit dieser Option aus bzw. Weiters sind diverse Randbedingungen zu beachten (Ausreichende und langfristig verfügbare Rücklauftemperaturen und Massenströme, passende Strömungsrichtung der Rücklaufleitung, Ausgleich von ggf. vorhandenen Asynchronitäten zwischen den Bedarfsprofilen und Klärung der Durchleitungsrechte).
- Für eine systematische Bewertung von Maßnahmen im Bestand fehlen oftmals weitestgehend Informationen zu den sekundärseitigen Heizsystemen wie z.B. die Art des Wärmeverteilsystems und der Warmwasserbereitung, die sich nicht ohne Weiteres aus dem Baualter des Gebäudes oder dem Gebäudetyp ableiten lassen.

4. Ein „Extremfall“ der exergetischen Optimierung ist der (fast) vollständige Verzicht auf Exergie, also die Nutzung von Anergie zur Wärmeversorgung im Rahmen sogenannter „Anergienetze“.

- Anergienetze werden mit Temperaturen bei typischerweise 8 bis 22°C, manchmal bis zu 40°C betrieben. Dezentrale Wärmepumpen beim Verbraucher erzeugen die notwendigen sekundärseitigen Temperaturniveaus, können aber auch zur Erzeugung von Klimatisierung bi-direktional eingesetzt werden. Einerseits wird das Anergienetz als Quelle genutzt, um Raumwärme und Warmwasser lokal zu erzeugen, andererseits kann im Sommerbetrieb das Anergienetz als Senke benutzt werden, um Raumkühlung bereitzustellen. Weiters können Niedertemperaturerzeuger wie Supermärkte oder Rechenzentren eingebunden werden, deren Integration in herkömmliche Wärmenetze aufgrund der niedrigen Abwärmtemperaturen schwierig ist. Diese verschiedene Wärmequellen und Verbraucher sind im Regelfall über Langzeitwärmespeicher gekoppelt, die eine Verschiebung des Wärmeüberschusses vom Sommer in den Winter ermöglichen.
- Die Implementierung und Optimierung von Anergienetzen rückt zunehmend in den Fokus internationaler und nationaler Aktivitäten. Auch in Österreich werden erste Anergienetz-

Projekte realisiert (viertel zwei/Kraftwerk Kriau² und smart block / Geblergasse³) befinden sich in der Evaluierung bzw. Planung (DEGENT-NET⁴, SANBA⁵, Amstetten⁶, Nordwestbahnhof⁷). Weiters ist das Projekt DeStoSimKaFe⁸ zu nennen, das sich mit der Konzeptentwicklung & gekoppelte deterministisch/stochastische Bewertung Kalter Fernwärme zur Wärme- & Kälteversorgung beschäftigt.

Abschließend resultieren aus dem Projekt folgende Empfehlungen:

- Bewertung von Optionen zur Senkung der Rücklauftemperaturen in Wärmenetzen, Kosten-Nutzen-Analyse von technischen und nicht-technischen Maßnahmen zur Absenkung der Systemtemperaturen (insbesondere Rücklauf), Verknüpfung mit neuen Services und Geschäftsmodellen.
- Erstellung von Richtlinien und Vorgaben für die Ausstattung von Bestandsgebäuden im Sanierungsfall und für Neubauten, um eine zukunftsfähige Wärme- und Kälteversorgung zu ermöglichen und Effizienzpotentiale sinnvoll zu heben (insbesondere Rücklauftemperaturen)
- Entwicklung und Demonstration neuer Hard- und Software zur Reduzierung der gebäudeseitigen Rücklauftemperatur im Bestand und Neubau als Grundlage für die Reduzierung der notwendigen elektrischen WP-Energie.
- Umsetzung von Demonstrationsprojekten: optimierte Versorgung eines Stadtteils (Neubau oder Sanierung Bestand) aus klassischer Fernwärme (exergetische bzw. kaskadische Optimierung, z.B. Versorgung aus Rücklauf, Speicher, Reduktion der örtlichen Temperaturniveaus im Netz etc.) und ggf. Nutzung lokaler Energiequellen.
- Umsetzung von Demonstrationsprojekten für Anergienetze, die signifikante Effizienzsteigerung gegenüber „herkömmlichen“ Wärmenetze aufweisen sowie hohe Anteile Erneuerbarer oder industrieller Abwärme zeigen. Da Anergienetze sehr stark von äußeren Randbedingungen abhängen und jedes individuell auf die gegebenen Parameter (Urban/rural, Untergrund, Quellenergien, Kältebedarf, Gebäudenutzung, etc.) abgestimmt werden muss, ist hier eine große Anzahl an Demonstrationsprojekten notwendig.
- Entwicklung und Erprobung neuartiger Geschäftsmodelle mit Bauträgern und Endnutzern zur Optimierungen bzgl. Rücklauftemperaturen und unter Berücksichtigung neuer Leistungen wie Kältebereitstellung.

Diese Empfehlungen sind auch in den Umsetzungsplan zur aktuellen Energieforschungsinitiative in der Klima- und Energiestrategie eingeflossen. Dieses betrifft die Aktivitäten IRE.12 Niedertemperatur-Wärmenetze und IRE.13 Wärme- und Kältesysteme. Die Version 1.0 des Umsetzungsplans kann unter www.ikes-umsetzungsplan.at abgerufen werden. Eine finale Version wird Ende Juni 2019 erwartet.

2 <http://immo-timeline.at/timeline/kraftwerk-kriau-im-viertel-zwei?preview=0>

3 <https://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/energie/pdf/smart-block.pdf>

4 <https://www.energieforschung.at/projekte/877/dezentrale-geothermale-niedertemperatur-waermenetze-in-urbanen-gebieten>

5 <https://www.ait.ac.at/themen/integrated-energy-systems/projects/sanba-nefi/>

6 <http://ams12030.at/ueber-das-projekt/>

7 https://www.energyagency.at/fileadmin/dam/pdf/projekte/gebäude/Folder_Anergienetze.pdf

8 <https://projekte.ffg.at/projekt/2926634>

Ausblick: Strategien und Geschäftsmodelle zur Reduktion der Netztemperaturen werden derzeit in zwei laufenden Forschungsprojekten bearbeitet:

- „T₂LowEx - Transformation von konventionellen Wärmenetzen in Richtung Niedertemperaturnetze durch sekundärseitige Maßnahmen“ (National, Energieforschungsprogramm 3. Ausschreibung, genehmigt)
- „TEMPO - TEMPerature Optimisation for Low Temperature District Heating across Europe“, (H2020, Call: H2020-EE-04-2016-2017, genehmigt)

Weiters werden die Projektergebnisse in weitere IEA Aktivitäten einfließen und somit die internationale Sichtbarkeit Österreichs in dem Thema stärken:

- HPT Annex 47: "Heat Pumps in District Heating and Cooling systems"
- DHC Annex TS2: "Implementation of low temperature district heating systems"

Abkürzungsverzeichnis

AIT	Austrian Institute of Technology
BaU	Business as Usual
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DH	District heating
DHC	District heating and Cooling
DHN	District heating network
ECBCS	Energy Conservation in Buildings and Community Systems
ESCOS	Energy Service Company
GHG	Greenhouse gas
HP	Heat Pump
ICT	Information and communication technology
IEA EBC	International Energy Agency Energy in Buildings and Communities Programme
LowEx	Low Exergy
OIB	Österreichisches Institut Für Bautechnik
OIB RL	Österreichisches Institut Für Bautechnik Richtlinie
POLIMI	Politecnico di Milano
PVT	Photovoltaic Thermal
RES	Renewable Energy Systems
WP	Work Package
4GDH	4th Generation of District Heating



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
[bmvit.gv.at](https://www.bmvit.gv.at)