

## Steckbrief / Factsheet

Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt „ExTra – Transformation konventioneller Wärmenetze zu hocheffizienten Wärme- und Kältenetzen“

Results from the research project “ExTra – Transforming conventional heating networks into highly efficient heating and cooling networks”

Projektlaufzeit / Duration:	01.10.2021 – 30.09.2024
Projektleitung / Management:	Fachhochschule Burgenland GmbH
Projekt-Partner / Partners:	TB Beckmann Wien Energie GmbH

### Impressum/Imprint

Herausgeber/Publisher:

Verein Forschungsinitiative Green Energy Lab, Österreich, ZVR-Zahl: 1125336735

[welcome@greenenergylab.at](mailto:welcome@greenenergylab.at)

[www.greenenergylab.at](http://www.greenenergylab.at)

## Projekt-Ziele

Das Projekt "Extra – ExergieTrafos zum Heizen und Kühlen durch Fernwärme" zielt darauf ab, die Effizienz von Fernwärme- und Fernkältesystemen zu steigern und die Umweltbelastungen zu reduzieren. Insbesondere durch den Einsatz von Technologien auf Basis von Absorptions- und Ejektortechnologien.

### Ziele Bedarfs- und Abnehmerprofile

Um Systeme zu entwickeln und Verbesserungen zu erreichen, bedarf es Informationen über Verbräuche in Form von Bedarfs- und Abnehmerprofilen, welche die Wärme- und Kälteverbrauchsdaten für die Sommer-, Winter- und Übergangszeit abbilden. Dies umfasst:

- Abbildung typischer Bedarfs- und Abnehmerprofile auf Basis bestehender Verbrauchsdaten für Wärme und Kälte für die Sommer- Winter- und Übergangszeit.
- Definition von min. zwei Base-Case Fällen auf Basis von bestehenden Wärme- bzw. Kältenetzen
- Definition von Optimierungspotentialen bzw. Einsatzgrenzen bei der Integration der Absorptions- und Ejektortechnologie

### Ziele Absorptions- und Ejektor-Technologie

Weiteres Ziel ist die Erstellung und Optimierung der thermodynamischen Prozessmodelle für Absorptions- und Ejektorsysteme. Dies umfasst:

- Entwicklung von Verschaltungsvarianten auf Basis von Absorptions- und Ejektor-technologien
- Simulation und Analyse der entwickelten Systeme
- Auswahl der vielversprechendsten Systeme auf Basis der konkreten Lastprofile

### Ziele Technologiebewertung

Ziel hinsichtlich der gewählten Systeme ist die technische, ökonomische und ökologische Bewertung, welche sich aus den folgenden Aspekten zusammensetzt:

- Multikriterielle Optimierung
- Exergo-ökonomische Bewertung
- Vergleich mit Referenzsystem
- Ökologische Bewertung (Life Cycle Analysis) der einzelnen Systeme

## Project Goals

The "Extra – exergy transformers for heating and cooling through district heating" project aims to increase the efficiency of district heating and cooling systems and reduce the environmental impact. In particular through the use of technologies based on absorption and ejector technologies.

### Objectives Demand and consumer profiles

In order to develop systems and achieve improvements, information on consumption is required in the form of demand and consumer profiles that map the heating and cooling consumption data for the summer, winter and transitional periods. This includes

- Mapping of typical demand and consumer profiles based on existing consumption data for heating and cooling for the summer, winter and transitional periods.
- Definition of at least two base-case scenarios based on existing heating and cooling networks
- Definition of optimization potentials and application limits for the integration of absorption and ejector technology

### Objectives Absorption and ejector technology

A further objective is the creation and optimization of thermodynamic process models for absorption and ejector systems. This includes:

- Development of interconnection variants based on absorption and ejector technologies
- Simulation and analysis of the developed systems
- Selection of the most promising systems based on the specific load profiles

### Objectives Technology evaluation

The objective with regard to the selected systems is the technical, economic and ecological evaluation, which is made up of the following aspects:

- Multi-criteria optimization
- Exergo-economic evaluation
- Comparison with reference system
- Ecological evaluation (life cycle analysis) of the individual systems

## Zusammenfassung der Ergebnisse

Die Energiewende in Österreich erfordert innovative Ansätze zur Reduktion fossiler Energieträger, die nach wie vor eine bedeutende Rolle in der Wärmeversorgung spielen. Rund 33 % des Energieeinsatzes in Österreich entfallen auf die Bereitstellung von Raumwärme, was etwa 20 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Landes ausmacht. Das Projekt zielte darauf ab, durch die Integration neuer Technologien wie Absorber- und Ejektorschaltungen die Effizienz der Fernwärme- und Fernkältesysteme zu steigern und die Umweltbelastungen zu reduzieren. Die Fernwärme- und Fernkältesysteme in Österreich basieren noch stark auf fossilen Energieträgern. Die Entwicklung und Optimierung von Technologien zur Energieeffizienzsteigerung und zur Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind daher von großer Bedeutung.

Das Projekt "Extra – ExergieTrafos zum Heizen und Kühlen durch Fernwärme" untersuchte verschiedene Technologien zur kombinierten Bereitstellung von Wärme und

Kälte, insbesondere Absorber- und Ejektorschaltungen. Ziel war es, die Effizienz dieser Systeme zu optimieren und ihre Umweltwirkungen zu minimieren. Die Absorberschaltungen zeigten in den meisten Szenarien die höchste exergetische Effizienz und die geringsten Umweltbelastungen, insbesondere bei der kombinierten Wärme- und Kältebereitstellung. Die methodische Vorgehensweise umfasste eine umfassende thermodynamische Modellierung der Kreislaufkomponenten, eine exergetische und ökonomische Bewertung sowie eine multikriterielle Optimierung. Die Systeme wurden hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen mittels Life Cycle Assessment (LCA) bewertet, wobei der Fokus auf dem Betrieb der Systeme lag.

Die Ergebnisse zeigten, dass die Absorbersysteme in den meisten Szenarien die ökologisch günstigste Option darstellen. Sie erreichten einen exergetischen Wirkungsgrad von bis zu 91 % bei der kombinierten Wärme- und Kältebereitstellung und wiesen die geringsten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Die Ejektorsysteme hatten zwar Potenzial, zeigten jedoch durch ihren höheren Fernwärmeinput und Stromverbrauch höhere Umweltbelastungen. Das Referenzsystem, das auf konventioneller Kompressionskältemaschinenteknologie und einem Wärmeüberträger im Fernwärmenetz basiert, schnitt aufgrund seines hohen Stromverbrauchs schlechter ab. Die Ergebnisse verdeutlichen auch die Notwendigkeit einer Dekarbonisierung der Energiequellen, insbesondere der Fernwärme und des Strommixes. Effizienzsteigerungen in Absorber- und Ejektortechnologien konnten deren Umweltbilanz weiter verbessern. Die Wahl des Systems sollte stets auf die regionalen Gegebenheiten wie den Strommix und die Verfügbarkeit von Fernwärme abgestimmt werden, um die Umweltauswirkungen zu minimieren. Eine umfassendere Lebenszyklusanalyse, die neben dem Betrieb auch die Herstellung und Entsorgung der Systeme berücksichtigt, kann hier eine differenziertere Bewertung der Nachhaltigkeit ermöglichen.

Die Absorbersysteme liefern somit im vorliegenden Projekt aufgrund ihrer hohen Effizienz und moderaten Umweltbelastungen das größte Potenzial für eine nachhaltige Energieversorgung. Sie stellen insbesondere in urbanen Anwendungen mit kombiniertem Wärme- und Kältebedarf eine interessante Lösung dar. Die Kombination effizienter Koppelungstechnologien mit einem dekarbonisierten Energiemix ist der Schlüssel zu einer nachhaltigen Energieversorgung.

## Summary of the results

The energy transition in Austria requires innovative approaches to reducing fossil fuels, which continue to play a significant role in heat supply. Around 33% of the energy used in Austria is used to provide space heating, which accounts for around 20% of the country's CO<sub>2</sub> emissions. The project aimed to increase the efficiency of district heating and cooling systems and reduce the environmental impact by integrating new technologies such as absorber and ejector circuits. District heating and cooling systems in Austria are still heavily based on fossil fuels. The development and optimization of technologies to increase energy efficiency and reduce CO<sub>2</sub> emissions are therefore of great importance.

The project "Extra - Exergy transformers for heating and cooling through district heating" investigated various technologies for the combined provision of heat and

cooling, in particular absorber and ejector circuits. The aim was to optimize the efficiency of these systems and minimize their environmental impact. In most scenarios, the absorber circuits showed the highest exergetic efficiency and the lowest environmental impact, particularly in the combined provision of heating and cooling. The methodological approach included a comprehensive thermodynamic modelling of the cycle components, an exergetic and economic evaluation as well as a multi-criteria optimization. The systems were evaluated in terms of their environmental impact using Life Cycle Assessment (LCA), with the focus on the operation of the systems.

The results showed that absorber systems are the most environmentally friendly option in most scenarios. They achieved an exergetic efficiency of up to 91% in the combined provision of heating and cooling and had the lowest CO<sub>2</sub> emissions. Although the ejector systems had potential, they had a higher environmental impact due to their higher district heating input and electricity consumption. The reference system, which is based on conventional compression chiller technology and a heat exchanger in the district heating network, performed worse due to its high electricity consumption. The results also highlight the need to decarbonize energy sources, especially district heating and the electricity mix. Efficiency improvements in absorber and ejector technologies could further improve their environmental balance. The choice of system should always be adapted to the regional conditions, such as the electricity mix and the availability of district heating, in order to minimize the environmental impact. A more comprehensive life cycle analysis, which takes into account not only the operation but also the production and disposal of the systems, can enable a more differentiated assessment of sustainability.

The absorber systems therefore offer the greatest potential for sustainable energy supply in this project due to their high efficiency and moderate environmental impact. They are a particularly interesting solution for urban applications with combined heating and cooling requirements. The combination of efficient coupling technologies with a decarbonized energy mix is the key to a sustainable energy supply.

## Die Ergebnisse im Detail

### Der Exergie-Trafo

Exergietrafos sind innovative Energiesysteme, die thermisch angetriebene Mehrstufen-Kreisprozesse nutzen, um eine flexible und effiziente Energieversorgung zu ermöglichen. Je nach eingesetzter Technologie, wie der Absorptions- oder der Ejektortechnologie, können diese Systeme als Hauptprozess Heizwärme, Wärme und Kälte als gekoppelte Produkte oder ausschließlich Kälte, etwa zur Klimatisierung, bereitstellen. Eine simplifizierte Darstellung ist in der Abbildung 1 ersichtlich.

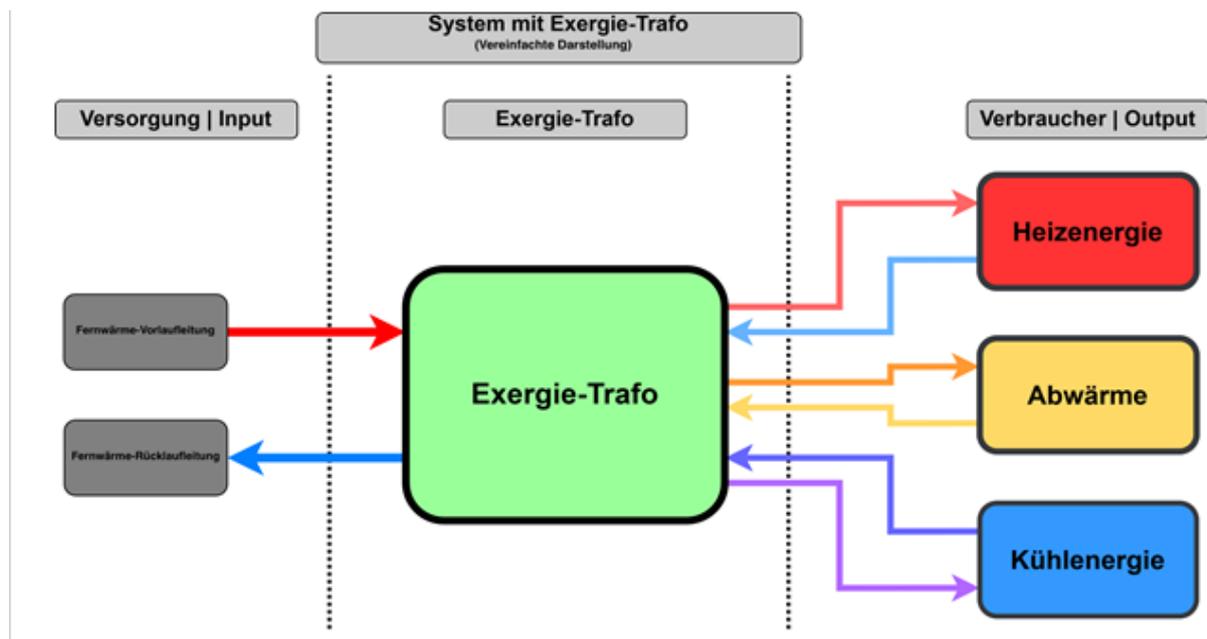


Abbildung 1: Simplifizierte Darstellung des Exergie-Trafos

### Ergebnisse Systeme zur reinen Kältebereitstellung

Bei der reinen Kältebereitstellung (Variante 1 mit einer Nennkälteleistung  $\dot{Q}_{DCN}$  von ca. 252 kW) zeigt sich, dass die Absorberschaltung mit einem exergetischen Wirkungsgrad von bis zu 33 % und spezifischen Kostrate von 2,82 €/h die anlagenbezogen effizienteste Option darstellt. Die Ejektorschaltung erreicht exergetische Wirkungsgrade von maximal 15,1 % bei deutlich höheren Kosten von 5,19 €/h.

Das Referenzsystem weist zwar mit 11,0 % den geringsten Wirkungsgrad auf, verursacht jedoch aufgrund seines rein elektrischen Betriebs geringere CO<sub>2</sub>-Emissionen (18,4 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent) im Vergleich zu den anderen Systemen. Dennoch führt der hohe Strombedarf der Kompressionskältemaschine zu den schlechtesten Ergebnissen beim kumulierten Exergiebedarf, sowohl erneuerbar als auch nicht erneuerbar.

Die ökologische Knappheit liegt bei den Absorber- und Ejektorsystemen auf einem ähnlichen Niveau, während das Referenzsystem aufgrund des Stromverbrauchs insgesamt schlechter abschneidet. Zusammenfassend ist die Absorberschaltung in diesem Szenario ökologisch die beste Wahl, gesamt-ökonomisch liegt beim aktuellen Kostenverhältnis zwischen Strom und Wärme noch das Referenzsystem vorne.

Die Tabelle 1 stellt den direkten Vergleich der drei Systeme (Absorber, Ejektor und Referenz) für den Fall der reinen Kältebereitstellung und des max. exergetischen Wirkungsgrades dar.

*Tabelle 1: Direkter Vergleich der drei Systeme bei reiner Kältebereitstellung und max. exergetischen Wirkungsgrad*

*Table 1: Direct comparison of the three systems with pure cooling supply and maximum exergetic efficiency*

Größe	Einheit	ABS-1	EJE-1	REF-1	Größe	Einheit	ABS-1	EJE-1	REF-1
$\eta_{ex,tot}$	[-]	0,33	0,15	0,11	$\dot{E}_P$	[kW]	14,57	14,63	5,79
$\eta_{tot}$	[-]	0,82	0,82	4,69	$\dot{E}_F$	[kW]	44,14	96,86	53,69
$\zeta_c$	[-]	0,82	0,83	4,69	$\dot{E}_D$	[kW]	33,37	85,44	39,49
$\zeta_h$	[-]	-	-	-	$\dot{E}_L$	[kW]	46,36	194,35	346,11
$c_{tot,kWh}$	[€/kWh]	20,54	21,49	6,35	$\dot{Z}_{tot}$	[€/h]	2,82	5,19	2,57
$\dot{W}_{el}$	[kW]	0,01	1,19	53,69	$f_{tot}$	[-]	0,02	0,35	0,82
$\dot{Q}_{PDH}$	[kW]	305,83	304,17	-	$r_{tot}$	[-]	< 0	5,57	< 0
$\dot{Q}_{DCN}$	[kW]	251,99	251,94	251,84	$T_{PDH,VL}$	[°C]	84,91	177,57	-
$\dot{Q}_{SDH}$	[kW]	-	-	-	$T_{PDH,RL}$	[°C]	65,47	146,22	-
$\dot{Q}_{WHN}$	[kW]	557,83	557,14	301,86					

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der ökologischen Bewertung für die reine Kältebereitstellung der verschiedenen Systeme ersichtlich.

*Tabelle 2: Ergebnisse der ökologischen Bewertung für die Kältebereitstellung durch die einzelnen Systeme pro funktioneller Einheit (Kälteoutput = 251,99 kWh<sub>th</sub>)*

*Table 2: Results of the ecological assessment for the provision of cooling by the individual systems per functional unit (cooling output = 251.99 kWh<sub>th</sub>)*

Wirkungskategorie Impact category	System 1 Ejektor	System 2 Absorber	System 3 Referenz
Global Warming Potential [kgCO <sub>2eq</sub> ]	26,44	26,22	18,40
Cumulative Exergy Demand, non-renewable [MJ]	50,33	49,96	135,04
Cumulative Exergy Demand, renewable [MJ]	16,79	13,06	178,86
Ecological Scarcity 2021 Total [UBP]	34.239,30	33.623,80	37.748,10

Bei der reinen Kältebereitstellung zeigen sich wie unterschiedlich Fernwärme- und Stromverbrauch auf die jeweiligem Wirkungskategorien auswirken können. So schneidet das Referenzsystem hier in allen Wirkungskategorien bis auf das „Global Warming Potential“ schlechter ab als die Ejektor- und Absorberschaltung, was durch den Stromverbrauch verursacht wird.

### Ergebnisse Systeme zur Kälte- und Wärmebereitstellung

In der kombinierten Kälte- und Wärmebereitstellung (Variante 2 mit einer Nennwärmeleistung  $\dot{Q}_{SDH}$  von 3089 kW und einer Nennkälteleistung  $\dot{Q}_{DCN}$  von ca. 252 kW) zeigt sich ein deutlicher Vorteil der Absorberschaltung, die einen exergetischen Wirkungsgrad von bis zu 91 % erreicht.

Auch die Umweltauswirkungen sind hier am geringsten, insbesondere im Global Warming Potential mit 243,21 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Im Vergleich dazu schneidet der Ejektor mit einem exergetischen Wirkungsgrad von maximal 39,0 % und hohen Umweltbelastungen deutlich schlechter ab, was vor allem auf seinen höheren Fernwärmeinput und zusätzlichen Stromverbrauch zurückzuführen ist. Das Referenzsystem erreicht einen exergetischen Wirkungsgrad von 55,0 %, weist jedoch wegen seines hohen Strombedarfs die schlechtesten Ergebnisse beim kumulierten Exergiebedarf auf.

Die ökologische Knappheit ist bei der Ejektorschaltung am größten, da der hohe Fernwärmeinput hier den größten Einfluss hat. Trotz der Nachteile des Referenzsystems zeigt es in einzelnen Kategorien wie der Fernwärmenutzung moderate Vorteile. Insgesamt ist die Absorberschaltung in diesem Szenario klar überlegen, da sie die höchste Energieeffizienz mit den geringsten Umweltauswirkungen kombiniert.

Die Tabelle 3 stellt den direkten Vergleich der drei Systeme (Absorber, Ejektor und Referenz) für den Fall der Wärme- und Kältebereitstellung und des max. exergetischen Wirkungsgrades dar.

*Tabelle 3: Direkter Vergleich der drei Systeme bei Wärme- und Kältebereitstellung und max. exergetischen Wirkungsgrad*

*Table 3: Direct comparison of the three systems for heat and cold supply and maximum exergetic efficiency*

Größe	Einheit	ABS-2	EJE-2	REF-2	Größe	Einheit	ABS-2	EJE-2	REF-2
$\eta_{ex,tot}$	[-]	0,91	0,39	0,55	$\dot{E}_P$	[kW]	520,73	170,08	403,78
$\eta_{tot}$	[-]	1,18	0,11	1,06	$\dot{E}_F$	[kW]	571,31	435,55	731,58
$\zeta_c$	[-]	0,64	0,11	4,69	$\dot{E}_D$	[kW]	254,63	259,47	319,42
$\zeta_h$	[-]	1,64	0,72	1,00	$\dot{E}_L$	[kW]	74,95	196,67	115,09
$c_{tot,kWh}$	[€/kWh]	13,77	19,79	15,32	$\dot{Z}_{tot}$	[€/h]	5,99	10,64	4,30
$\dot{W}_{el}$	[kW]	0,07	4,10	53,69	$f_{tot}$	[-]	0,09	0,15	0,08
$\dot{Q}_{PDH}$	[kW]	2837,24	2195,35	3089,10	$r_{tot}$	[-]	15,46	< 0	0,11
$\dot{Q}_{DCN}$	[kW]	251,79	251,99	251,84	$T_{PDH,VL}$	[°C]	143,07	122,16	140,00

Größe	Einheit	ABS-2	EJE-2	REF-2	Größe	Einheit	ABS-2	EJE-2	REF-2
$\dot{Q}_{SDH}$	[kW]	3089,07	1581,83	3089,10	$T_{PDH,RL}$	[°C]	60,00	74,65	55,00
$\dot{Q}_{WHN}$	[kW]	-	869,05	301,86					

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der ökologischen Bewertung für die simultane Wärme- und Kältebereitstellung der verschiedenen Systeme ersichtlich.

Tabelle 4: Ergebnisse der ökologischen Bewertung für die simultane Wärme- und Kältebereitstellung durch die einzelnen Systeme pro funktioneller Einheit (Wärmeoutput = 3089,1 kWh<sub>th</sub>, Kälteoutput = 251,99 kWh<sub>th</sub>)

Table 4: Results of the ecological assessment for the simultaneous provision of heating and cooling by the individual systems per functional unit (heat output = 3089.1 kWh<sub>th</sub>, cooling output = 251.99 kWh<sub>th</sub>)

Wirkungskategorie Impact category	System 1 Ejektor	System 2 Absorber	System 3 Referenz
Global Warming Potential [kgCO <sub>2eq</sub> ]	318,64	243,21	283,20
Cumulative Exergy Demand, non-renewable [MJ]	614,93	463,47	639,64
Cumulative Exergy Demand, renewable [MJ]	170,95	122,11	304,31
Ecological Scarcity 2021 Total [UBP]	409.780,00	311.930,00	377.366,00

Bei der kombinierten Kälte- und Wärmebereitstellung zeigen sich ähnliche Trends. Auch hier schneidet die Absorberschaltung in allen Kategorien am besten ab, während die Ejektorschaltung aufgrund ihres höheren Fernwärmeinputs und Stromverbrauchs die höchsten Umweltwirkungen verursacht. Das Referenzsystem zeigt Vorteile bei der Nutzung von Fernwärme, ist jedoch durch den hohen Strombedarf insgesamt weniger effizient. Diese Ergebnisse verdeutlichen den Einfluss der Energiequellen auf die ökologischen Gesamtwirkungen und unterstreichen die Bedeutung einer emissionsarmen Fernwärmeversorgung.

### Ergebnisse Systeme zur Wärmebereitstellung

In der reinen Wärmebereitstellung (Variante 3 mit einer Nennwärmeleistung  $\dot{Q}_{SDH}$  von ca. 627 kW) sind die Unterschiede zwischen den drei Systemen weniger ausgeprägt. Die Absorberschaltung erreicht einen exergetischen Wirkungsgrad von bis zu 74,7 %, gefolgt von der Ejektorschaltung mit maximal 68,4 % und dem Referenzsystem mit 58,0 %.

In den meisten ökologischen Kategorien sind die Werte der drei Systeme nahezu identisch, wobei der kumulierte erneuerbare Exergiebedarf bei der Ejektorschaltung leicht erhöht ist. Dies lässt sich durch den zusätzlichen Stromverbrauch für Pumpen erklären. Zusammenfassend sind die Ergebnisse in diesem Szenario weniger diversifiziert, da alle Systeme ähnliche technische und ökologische Eigenschaften aufweisen.

Die Tabelle 5 stellt den direkten Vergleich der drei Systeme (Absorber, Ejektor und Referenz) für den Fall der Wärme- und Kältebereitstellung und des max. exergetischen Wirkungsgrades dar.

Tabelle 5: Direkter Vergleich der drei Systeme bei reiner Wärmebereitstellung und max. exergetischen Wirkungsgrad

Table 5: Direct comparison of the three systems for pure heat supply and maximum exergetic efficiency

Größe	Einheit	ABS-3	EJE-3	REF-3	Größe	Einheit	ABS-3	EJE-3	REF-3
$\eta_{\text{ex,tot}}$	[-]	0,75	0,68	0,58	$\dot{E}_P$	[kW]	67,26	61,83	80,73
$\eta_{\text{tot}}$	[-]	0,99	0,99	1,00	$\dot{E}_F$	[kW]	90,04	90,37	137,55
$\zeta_c$	[-]	-	-	-	$\dot{E}_D$	[kW]	28,69	28,54	56,82
$\zeta_h$	[-]	1,86	1,00	1,00	$\dot{E}_L$	[kW]	972	136,37	108,25
$c_{\text{tot,kWh}}$	[€/kWh]	16,73	16,71	16,14	$\dot{Z}_{\text{tot}}$	[€/h]	4,57	4,37	0,88
$\dot{W}_{\text{el}}$	[kW]	0,02	0,72	-	$f_{\text{tot}}$	[-]	0,31	0,43	0,08
$\dot{Q}_{\text{PDH}}$	[kW]	626,84	626,50	626,80	$r_{\text{tot}}$	[-]	3,31	0,46	0,77
$\dot{Q}_{\text{DCN}}$	[kW]	-	-	-	$T_{\text{PDH,VL}}$	[°C]	101,72	81,81	140,00
$\dot{Q}_{\text{SDH}}$	[kW]	626,84	627,13	626,80	$T_{\text{PDH,RL}}$	[°C]	46,77	67,60	55,00
$\dot{Q}_{\text{WHN}}$	[kW]	-	-	-					

Bei der reinen Bereitstellung von Wärme zeigt sich, dass die Unterschiede der einzelnen Systeme recht gering sind (siehe Tabelle 6).

 Tabelle 6: Ergebnisse der ökologischen Bewertung für die Wärmebereitstellung durch die einzelnen Systeme pro funktioneller Einheit (Wärmeoutput = 626,80 kWh<sub>th</sub>)

 Table 6: Results of the ecological assessment for the provision of heat by the individual systems per functional unit (heat output = 626.80 kWh<sub>th</sub>)

Wirkungskategorie Impact category	System 1 Ejektor	System 2 Absorber	System 3 Referenz
Global Warming Potential [kgCO <sub>2eq</sub> ]	53,92	53,73	53,73
Cumulative Exergy Demand, non-renewable [MJ]	103,04	102,40	102,35
Cumulative Exergy Demand, renewable [MJ]	29,02	26,77	26,71

Die reine Wärmebereitstellung zeigt nur geringe Unterschiede zwischen den Systemen, da sowohl der Fernwärme- als auch der Strombedarf nahezu identisch sind. Lediglich bei der Ejektorschaltung tritt ein etwas Ergebnis in der Kategorie "Cumulative Exergy Demand, renewable" auf, was auf den Betrieb zusätzlicher Pumpen zurückzuführen ist.

### Nomenklatur

Größe	Einheit	Beschreibung	Größe	Einheit	Beschreibung
$\eta_{ex,tot}$	[-]	Exergischer Gesamtwirkungsgrad	$\dot{E}_P$	[kW]	Exergiestrom des Produktes (Product)
$\eta_{tot}$	[-]	Gesamtwirkungsgrad	$\dot{E}_F$	[kW]	Exergiestrom der Ressource (Fuel)
$\zeta_c$	[-]	Absorptionskreisläufe: Wärmeverhältnis im Kühlfall Ejektorkreisläufe: Wärmeverhältnis im Kühlfall Referenzsystem: Energy Efficiency Ratio (EER)	$\dot{E}_D$	[kW]	Exergievernichtung (Destruction)
$\zeta_h$	[-]	Absorptionskreisläufe: Wärmeverhältnis im Heizfall Ejektorkreisläufe: Wärmeverhältnis im Heizfall Referenzsystem: Coefficient of Performance (COP)	$\dot{E}_L$	[kW]	Exergieverlust (Loss)
$c_{tot,kWh}$	[€/kWh]	Spezifische Kosten pro Kilowattstunde	$\dot{Z}_{tot}$	[€/h]	Kostrate aus Investmentkosten, Betriebs- und Wartungskosten
$\dot{W}_{el}$	[kW]	elektrische Leistung	$f_{tot}$	[-]	Exergie-wirtschaftlicher Faktor (gesamt)
$\dot{Q}_{PDH}$	[kW]	Wärmestrom primäres Fernwärmenetz	$r_{tot}$	[-]	Relative Kostendifferenz (gesamt)
$\dot{Q}_{DCN}$	[kW]	Wärmestrom Kältenetz	$T_{PDH,VL}$	[°C]	Vorlauftemperatur des primären Fernwärmenetzes
$\dot{Q}_{SDH}$	[kW]	Wärmestrom sekundäres Fernwärmenetz	$T_{PDH,RL}$	[°C]	Rücklauftemperatur des primären Fernwärmenetzes
$\dot{Q}_{WHN}$	[kW]	Wärmestrom Abwärmenetz			

Link zu [Projekt-Website & Ergebnisdokumente](#)

## The results in detail

### The exergy transformer

Exergy transformers are innovative energy systems that use thermally driven multi-stage cycle processes to enable a flexible and efficient energy supply. Depending on the technology used, such as absorption or ejector technology, these systems can provide heating, heat and cooling as the main process as coupled products or exclusively cooling, for example for air conditioning. A simplified illustration is shown in Figure 1.

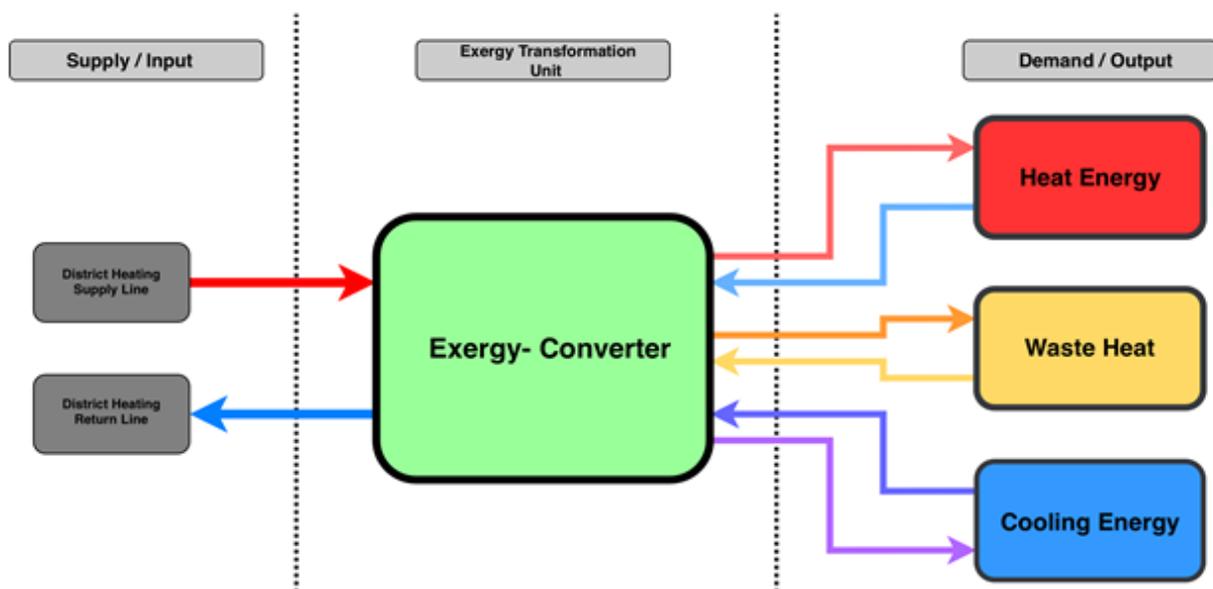


Figure 1: Simplified representation of the exergy transformer

### Results Systems for pure cooling provision

For pure cooling provision (variant 1 with a nominal cooling capacity  $Q'_{DCN}$  of approx. 252 kW), the absorber circuit with an exergetic efficiency of up to 33 % and specific costs of € 2.82/h is the most efficient option in terms of the system. The ejector circuit achieves exergetic efficiencies of a maximum of 15.1 % at significantly higher costs of € 5.19/h.

Although the reference system has the lowest efficiency at 11.0 %, it causes lower CO<sub>2</sub> emissions (18.4 kg CO<sub>2</sub> equivalent) compared to the other systems due to its purely electrical operation. Nevertheless, the high electricity demand of the compression chiller leads to the worst results for cumulative exergy demand, both renewable and non-renewable.

The ecological scarcity is at a similar level for the absorber and ejector systems, while the reference system performs worse overall due to its electricity consumption. In summary, the absorber circuit is the best choice in this scenario in ecological terms, while the reference system is still ahead in overall economic terms given the current cost ratio between electricity and heat.

Table 1 shows the direct comparison of the three systems (absorber, ejector and reference) for the case of pure cooling provision and maximum exergetic efficiency (see table above).

Table 2 shows the results of the ecological assessment for the pure cooling supply of the various systems (see table above).

The pure provision of cooling shows how differently district heating and electricity consumption can affect the respective impact categories. For example, the reference system performs worse than the ejector and absorber circuit in all impact categories except “Global Warming Potential”, which is caused by electricity consumption.

### Results of cooling and heating supply systems

In the combined cooling and heating supply (variant 2 with a nominal heat output  $\dot{Q}_{SDH}$  of 3089 kW and a nominal cooling output  $\dot{Q}_{DCN}$  of approx. 252 kW), the absorber circuit shows a clear advantage, achieving an exergetic efficiency of up to 91 %.

The environmental impact is also the lowest here, particularly in terms of global warming potential at 243.21 kg CO<sub>2</sub> equivalent. In comparison, the ejector performs significantly worse with a maximum exergetic efficiency of 39.0 % and a high environmental impact, which is mainly due to its higher district heating input and additional electricity consumption. The reference system achieves an exergetic efficiency of 55.0 %, but has the worst results for cumulative exergy demand due to its high electricity requirement.

The ecological scarcity is greatest with the ejector circuit, as the high district heating input has the greatest influence here. Despite the disadvantages of the reference system, it shows moderate advantages in individual categories such as district heating utilization. Overall, the absorber circuit is clearly superior in this scenario, as it combines the highest energy efficiency with the lowest environmental impact.

Table 3 shows a direct comparison of the three systems (absorber, ejector and reference) for the case of heat and cooling supply and the maximum exergetic efficiency (see table above).

Table 4 shows the results of the ecological assessment for the simultaneous provision of heating and cooling by the various systems (see table above).

Similar trends can be seen in the combined provision of cooling and heating. Here too, the absorber circuit performs best in all categories, while the ejector circuit has the highest environmental impact due to its higher district heating input and electricity consumption. The reference system shows advantages in the use of district heating, but is less efficient overall due to its high electricity consumption. These results illustrate the influence of the energy sources on the overall environmental impact and underline the importance of a low-emission district heating supply.

### Results of heat supply systems

The differences between the three systems are less pronounced in pure heat supply (variant 3 with a nominal heat output  $\dot{Q}_{SDH}$  of approx. 627 kW). The absorber circuit achieves an exergetic efficiency of up to 74.7 %, followed by the ejector circuit with a maximum of 68.4 % and the reference system with 58.0 %.

In most ecological categories, the values of the three systems are almost identical, although the cumulative renewable exergy requirement is slightly higher for the ejector circuit. This can be explained by the additional electricity consumption for pumps. In

summary, the results in this scenario are less diversified, as all systems have similar technical and ecological characteristics.

Table 5 shows the direct comparison of the three systems (absorber, ejector and reference) for the case of heat and cooling supply and the maximum exergetic efficiency (see table above).

For the pure provision of heat, the differences between the individual systems are quite small (see table above).

The pure heat supply shows only minor differences between the systems, as both the district heating and electricity demand are almost identical. Only the ejector circuit shows a slight difference in the “Cumulative Exergy Demand, renewable” category, which is due to the operation of additional pumps.

## Nomenclature

Size	Unit	Description	Size	Unit	Description
$\eta_{ex,tot}$	[-]	Overall exergetic efficiency	$\dot{E}_P$	[kW]	Exergy flow of the product (Product)
$\eta_{tot}$	[-]	Overall efficiency	$\dot{E}_F$	[kW]	Exergy flow of the resource (Fuel)
$\zeta_c$	[-]	Absorption circuits: Heat ratio in cooling mode Ejector circuits: Heat ratio in cooling mode Reference system: Energy Efficiency Ratio (EER)	$\dot{E}_D$	[kW]	Exergy destruction (Destruction)
$\zeta_h$	[-]	Absorption circuits: Heat ratio in heating mode Ejector circuits: Heat ratio in heating mode Reference system: Coefficient of Performance (COP)	$\dot{E}_L$	[kW]	Exergy loss (Loss)
$c_{tot,kWh}$	[€/kWh]	Specific costs per kilowatt hour	$\dot{Z}_{tot}$	[€/h]	Cost rate from investment costs, operating and maintenance costs
$\dot{W}_{el}$	[kW]	electrical power	$f_{tot}$	[-]	Exergy factor (total)
$\dot{Q}_{PDH}$	[kW]	Heat flow primary district heating network	$r_{tot}$	[-]	Relative cost difference (total)
$\dot{Q}_{DCN}$	[kW]	Heat flow cooling network	$T_{PDH,VL}$	[°C]	Flow temperature of the primary district heating network
$\dot{Q}_{SDH}$	[kW]	Heat flow secondary district heating network	$T_{PDH,RL}$	[°C]	Return temperature of the primary district heating network
$\dot{Q}_{WHN}$	[kW]	Heat flow from waste heat network			

Link to [Project-Website & Deliverables](#)

## Musterlösung / Model solution

Im Projekt „ExTra“ wurden insgesamt zwei Musterlösungen für die Energiewende entwickelt:

The "ExTra" project developed two model solutions for the energy transition:

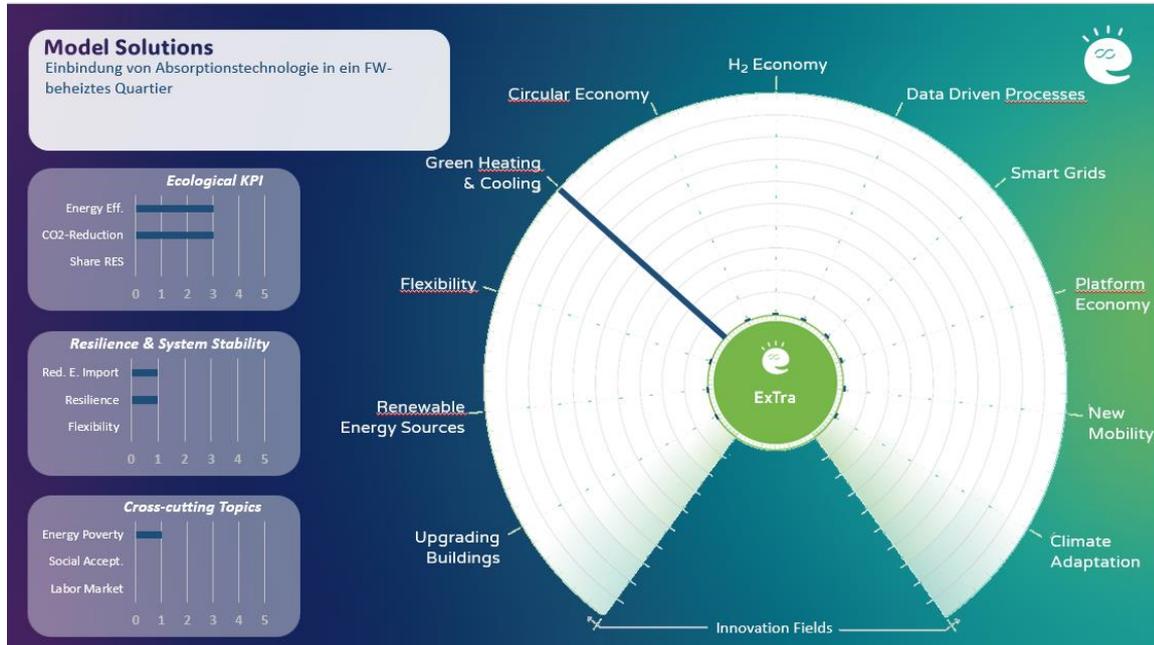
<p>Name Name</p>	<p><b>Einbindung von Absorptionstechnologie in ein FW-beheiztes Quartier</b></p> <p>Integration of absorption technology in a DH heated urban quarter</p>
<p>Kurzbeschreibung &amp; USP Short description &amp; USP</p>	<p>Es werden Systemlösungen für die Einbindung von Absorptionstechnologie in ein FW-beheiztes Quartier im urbanen Umfeld erarbeitet. Dadurch wird sowohl Wärme- als auch Kälteerzeugung auf Basis einer Kopplungstechnologie als Systemlösung ermöglicht. Die Technologie wird hinsichtlich ihrer technischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften bewertet.</p> <p>System solutions are being developed for the integration of absorption technology in a district heated by a district heating system in an urban environment. This enables both heat and cold generation on the basis of a coupling technology as a system solution. The technology is evaluated in terms of its technical, ecological and economic properties.</p>
<p>Innovationsgehalt Innovation value</p>	<p>Erarbeitung einer Systemlösung zur Wärme- und Kälteerzeugung im Rahmen von FW-Netzen, welche auf Absorptionstechnologie beruht.</p> <p>Development of a system solution for heat and cold generation in the context of FW networks based on absorption technology.</p>
<p>Übertragbarkeit und Skalierbarkeit Transferability and scalability</p>	<p>Die Skalierbarkeit auf unterschiedliche Leistungsklassen ist gegeben. Eine Übertragbarkeit in Richtung gewerblicher und industrieller Anwendungen ist möglich.</p> <p>Scalability to different performance classes is a given. Transferability to commercial and industrial applications is possible.</p>
<p>Wirtschaftliche Verwertbarkeit Economic viability</p>	<p>Wirtschaftliche Verwertungspartner sind primär Energieversorgungsunternehmen. Darüber hinaus kann die Verwertung auch durch die Quartiereigentümer erfolgen.</p> <p>Economic recycling partners are primarily energy supply companies. In addition, recycling can also be carried out by the district owners.</p>
<p>Was passiert mit dieser Musterlösung nach Projektende?</p>	<p>Die Ergebnisse sind sowohl für Energielieferanten und Betreiber von Fern- und Nachwärmenetzen sowie auch für Anlagenbauer und PlanerInnen interessant und für eine weitere Verwertung geeignet. Da sich der Exergie-Trafo zum Zeitpunkt des Projektendes</p>

<p>What happens with this model solution after the project closes?</p>	<p>noch überwiegend in der Grundlagenforschung befindet, sind vorerst keine wirtschaftlichen Verwertungen angedacht. Jedoch sind im Bereich der Forschung Verwertungen in Form von Folgeprojekten oder Demonstrationsanlagen möglich und angedacht.</p> <p>The results are of interest to energy suppliers and operators of district and district heating networks, as well as plant engineers and planners, and are suitable for further utilization. As the exergy transformer is still mainly in the basic research phase at the end of the project, no commercial exploitation is planned for the time being. However, exploitation in the form of follow-up projects or demonstration plants is possible and being considered in the field of research.</p>
<p>PLZ und Ort Zip code and city</p>	<p>Innerhalb des Projekts sind keine Demonstratoren vorgesehen, aber für die Zukunft geplant.</p> <p>No demonstrators are planned within the project, but they are planned for the future.</p>

<p>Name Name</p>	<p><b>Einbindung von Ejektortechnologie in ein FW-beheiztes Quartier</b> <b>Integration of ejector technology in a DH heated urban quarter</b></p>
<p>Kurzbeschreibung &amp; USP Short description &amp; USP</p>	<p>Es werden Systemlösungen für die Einbindung von Ejektortechnologie in ein FW-beheiztes Quartier im urbanen Umfeld erarbeitet. Dadurch wird sowohl Wärme- als auch Kälteerzeugung auf Basis einer Kopplungstechnologie als Systemlösung ermöglicht. Die Technologie wird hinsichtlich ihrer technischen, ökologischen und ökonomischen Eigenschaften bewertet.</p> <p>System solutions are being developed for the integration of ejector technology in a district heated by a district heating system in an urban environment. This enables both heat and cold generation based on a coupling technology as a system solution. The technology is evaluated in terms of its technical, ecological and economic properties.</p>
<p>Innovationsgehalt Innovation value</p>	<p>Erarbeitung einer Systemlösung zur Wärme- und Kälteerzeugung im Rahmen von FW-Netzen, welche auf Ejektortechnologie beruht.</p> <p>Development of a system solution for heat and cold generation in the context of FW networks, which is based on ejector technology.</p>
<p>Übertragbarkeit und Skalierbarkeit Transferability and scalability</p>	<p>Die Skalierbarkeit auf unterschiedliche Leistungsklassen ist gegeben. Eine Übertragbarkeit in Richtung gewerblicher und industrieller Anwendungen ist möglich.</p>

	<p>Scalability to different performance classes is a given. Transferability to commercial and industrial applications is possible.</p>
<p>Wirtschaftliche Verwertbarkeit Economic viability</p>	<p>Wirtschaftliche Verwertungspartner sind primär Energieversorgungsunternehmen. Darüber hinaus kann die Verwertung auch durch die Quartiereigentümer erfolgen.</p> <p>Economic recycling partners are primarily energy supply companies. In addition, recycling can also be carried out by the district owners.</p>
<p>Was passiert mit dieser Musterlösung nach Projektende? What happens with this model solution after the project closes?</p>	<p>Die Ergebnisse sind sowohl für Energielieferanten und Betreiber von Fern- und Nachwärmenetzen sowie auch für Anlagenbauer und PlanerInnen interessant und für eine weitere Verwertung geeignet. Da sich der Exergie-Trafo zum Zeitpunkt des Projektendes noch überwiegend in der Grundlagenforschung befindet, sind vorerst keine wirtschaftlichen Verwertungen angedacht. Jedoch sind im Bereich der Forschung Verwertungen in Form von Folgeprojekten oder Demonstrationsanlagen möglich und angedacht.</p> <p>The results are of interest to energy suppliers and operators of district and district heating networks, as well as plant engineers and planners, and are suitable for further utilization. As the exergy transformer is still mainly in the basic research phase at the end of the project, no commercial exploitation is planned for the time being. However, exploitation in the form of follow-up projects or demonstration plants is possible and being considered in the field of research.</p>
<p>PLZ und Ort Zip code and city</p>	<p>Innerhalb des Projekts sind keine Demonstratoren vorgesehen, aber für die Zukunft geplant.</p> <p>No demonstrators are planned within the project, but they are planned for the future.</p>

## Innovationsfelder und Impact / Fields of innovation and impact



Die Ejektorsysteme haben zwar Potenzial, zeigen jedoch durch ihre hohen Umweltbelastungen, insbesondere beim Fernwärmeinput, klare Limitationen. Durch die Vorteile der Exergietrafos bei höheren Temperaturniveaus (im Speziellen die Ejektortechnologie benötigt hohe Temperaturen > 160°C) bieten sich derartige Systeme besonders in der Nähe der Heizwerke an. Aufgrund der Entwicklungen hinsichtlich niedrigerer Systemtemperaturen (in Fernwärmesystemen) ergibt es sich, dass die zweite Musterlösung aufgrund der benötigten hohen Temperaturen in diesem Fall keinen ökologischen Mehrwert mit sich bringt und somit keine Berücksichtigung in der Impact Analyse findet.

Although ejector systems have potential, they have clear limitations due to their high environmental impact, particularly with regard to district heating input. Due to the advantages of exergy transformers at higher temperature levels (ejector technology in particular requires high temperatures > 160°C), such systems are particularly suitable in the vicinity of heating plants. Due to the developments with regard to lower system temperatures (in district heating systems), the second model solution does not provide any ecological added value due to the high temperatures required in this case and is therefore not taken into account in the impact analysis.

Gefördert durch

 Bundesministerium  
Klimaschutz, Umwelt,  
Energie, Mobilität,  
Innovation und Technologie

*Dieses Projekt wurde im Rahmen der FTI-Initiative „Vorzeigeregion Energie“ durchgeführt und ist Teil des Forschungsverbundes Green Energy Lab. „Stadt der Zukunft“ ist ein Forschungs- und Technologieprogramm des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität Innovation und Technologie. Es wird im Auftrag des BMK von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) gemeinsam mit der Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) und der Österreichischen Gesellschaft für Umwelt und Technik (ÖGUT) abgewickelt.*

Funded by

 **Federal Ministry  
Republic of Austria**  
Climate Action, Environment,  
Energy, Mobility,  
Innovation and Technology

*This project was carried out as part of the RTI initiative “Vorzeigeregion Energie” and is part of the Green Energy Lab research network. “City of the Future” is a research and technology program of the Federal Ministry for Climate Action, Environment, Energy, Mobility, Innovation and Technology. It is carried out on behalf of the BMK by the Austrian Research Promotion Agency (FFG) together with Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft mbH (AWS) and the Austrian Society for Environment and Technology (ÖGUT).*