

REA – Ressourcenexergieanalyse

Entstehung und Hintergrund

Dr. Andrej Jentsch | 08.02.2023

A novel exergy-based concept of thermodynamic
quality and its application to energy system evaluation
and process analysis

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur
Andrej Jentsch

Von der Fakultät III - Prozesswissenschaften
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss:

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Felix Ziegler
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr. h.c. George Tsatsaronis
Berichter: Prof. Dr.-Ing. Roland Span

Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 18.02.2010

Berlin 2010
D83

» **Grundlage: 2007 – 2010 Dissertation**

- Zum Thema “Thermodynamische Energiequalität“ und “LowEx“
- Zeigt u.a. Fehler im allgemeinen Exergieverständnis und in üblichen Bewertungsmethodiken auf und schlägt verbesserte Herangehensweisen vor

FACHTHEMA

Energiewirtschaft

ExergyFingerprint

Neues Bewertungswerkzeug für Energieversorgungsszenarien

Das Fraunhofer Umsicht hat mit dem ExergyFingerprint ein neues Bewertungswerkzeug für Energieversorgungsszenarien entwickelt. Die mit Energiebedarf und -verbrauch verbundene Exergie wird in dieser Darstellung in Energie und Qualität aufgeteilt. Der ExergyFingerprint kann unter anderem helfen, die exergetischen Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung einfach und verständlich darzustellen. Die Autoren stellen das Bewertungswerkzeug anhand verschiedener Szenarien vor.

Die Europäische Union hat beschlossen, die Energieeffizienz bis 2020 um 20 % zu erhöhen, die Kohlendioxid-Emissionen um 20 % zu senken und den Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieeinsatz auf 20 % auszubauen. Hohe Energieeffizienz, niedrige spezifische Kohlendioxid-Emissionen und der Einsatz erneuerbarer Energien sollen zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen und des Ressourcenverbrauchs beitragen.

Wird eine Primärenergiequelle durch eine andere ersetzt, so ist die Bewertung der dadurch verursachten Veränderungen verhältnismäßig einfach. Soll jedoch Wärme, die durch Verbrennung eines Primärenergieträgers erzeugt wird, durch Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KW) ersetzt werden, so wird es notwendig, der Wärme einen Anteil der notwendigen Primärenergie zuzuweisen, welche für die gekoppelte Strom- und Wärmeproduktion aufgewendet werden muss. Die Grundlage für diese Zuordnung kann beispielsweise eine energetische oder ökonomische Basis sein. Die Wahl der Zuordnungsmethode gestaltet sich jedoch schwierig, da die bisher üblichen Bewertungsmethoden die Realität der Kraft-Wärme-Kopplung unvollständig abbilden und es somit schwierig ist, die

erscheint daher sinnvoll, die Wandelbarkeit einer gegebenen Energieform in mechanische Arbeit als zentrales Qualitätskriterium in die Betrachtung mit einzubeziehen. Da mechanische Arbeit theoretisch verlustfrei in jede andere Energieform wandelbar ist, kann sie als Maß für die höchste erreichbare Energiequalität angesehen werden. Im Gegensatz dazu ist Wärme auch theoretisch nur begrenzt in andere Energieformen überführbar und damit von minderer Qualität.

Die Berücksichtigung des Qualitätsaspekts der verschiedenen Energieformen kann helfen, das übergeordnete Ziel einer maximalen Einsparung von fossiler und erneuerbarer Primärenergie kostengünstig zu erreichen. Der vom Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik (Umsicht), Oberhausen, entwickelte ExergyFingerprint verbindet dabei eine innovative Bewertungsme-

Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung eindeutig zu quantifizieren.

An der Schwierigkeit der Bewertung von Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung wird deutlich, dass die drei oben genannten Zielkriterien der EU für 2020 noch keine umfassende technische Bewertung aller Technologieoptionen erlauben. Insbesondere die Berücksichtigung der qualitativen Aspekte verschiedener Energieformen findet sich in den genannten Kriterien nicht direkt wieder. Es

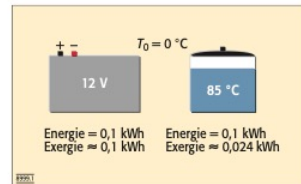
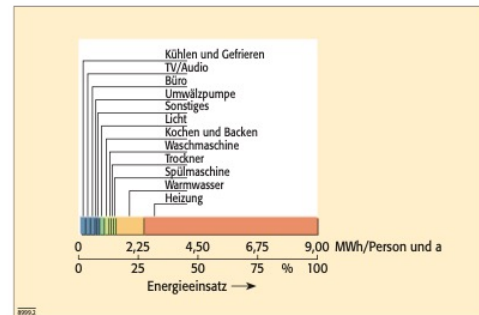


Bild 1. Vergleich von Energie- und Exergieinhalt verschiedener Energiespeicher



Andrei Jentsch, Dr. Christian Dötsch, Carsten Beier

» 2009 Erweiterung in ein visuelles Bewertungssystem „ExergyFingerprint“

- Ermöglicht es Exergie intuitiv zu verstehen



Exergiebasierter Vergleich von alternativen
Wärmeversorgungslösungen für Neubaugebiete in München-
Riem im Hinblick auf Ressourcenverbrauch und
Treibhausgasemissionen

Abschlussbericht

Ein Auftrag von:

SWM Infrastruktur GmbH
Emmy-Noether-Str. 2
80287 München
Deutschland

Bearbeitet durch:

Richtvert | Büro für Energiesystemberatung
Mindener Str. 6
48145 Münster

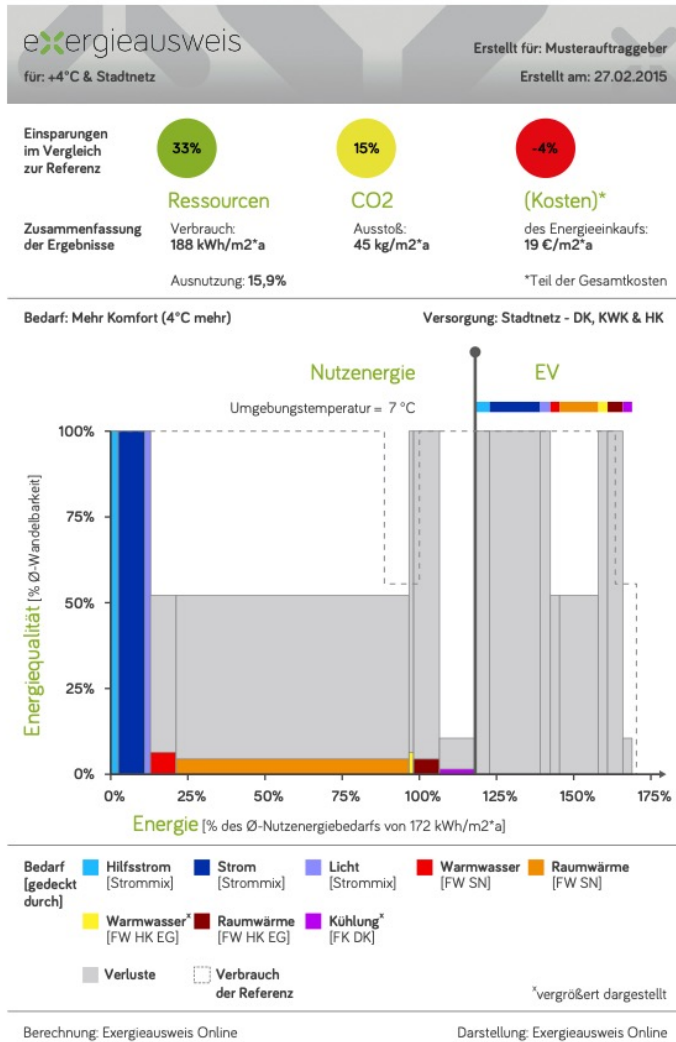
Projektleiter:

Dr.-Ing. Andrej Jentsch
andrej.jentsch@richtvert.de
0251 / 149 12 60

05.05.2011

» Ab 2010 Anwendung in der Praxis

- z.B. 2011 Vergleichsstudie für die Stadtwerke München
 - Hier entstand der Begriff
„Ressourcenverbrauch / Ressourcenexergieverbrauch“
 - Studie ist vertraulich



» Weiterentwicklung des ExergyFingerprints zum Exergieausweis

- neues Design
- Inkl. Treibhausgasemissions- und Kostenaspekte



- » **2013 - 2016 Studie mit ifeu und Fraunhofer IBP für das UBA**
 - Zeigt Wege auf, wie REA beim Erreichen der Klimaneutralität effektiv helfen kann und warum Alternativen oft nicht ausreichen



Exergieausweise für Kommunen – ein Analyse-Instrument zum Vergleich von Sanierungsmöglichkeiten

Die Kommunen in Frankreich und Deutschland stehen vor der Herausforderung, die Gebäude in den eigenen Liegenschaften zu sanieren und u. a. Energieverbrauch und Treibhausgasemissionen deutlich zu reduzieren. Bei den kommunalen Gebäuden handelt es sich in der Regel um Nichtwohngebäude wie Büros oder Schulen. Um die geeigneten Sanierungsmaßnahmen zu identifizieren, gibt es zahlreiche nationale Ansätze und Angebote für Kommunen.

Ein Instrument, das die Bewertung von Einzelmaßnahmen und Maßnahmenkombinationen – auch in komplexen Varianten – unabhängig von den nationalen Vorgaben ermöglicht, ist der Exergieausweis.

Auf Basis der Ergebnisse kann eine Kommune verschiedene Szenarien vergleichen und u. a. erwartete Einsparungen und Energiekosten sowie den künftigen Ressourcenverbrauch infolge der jeweiligen Sanierungsvariante einschätzen.

Der Exergieausweis wurde am Fraunhofer Institut UMSICHT entwickelt und 2017 von der Stadt Herten für das „Glashaus“ angewandt. Im Rahmen der Städtepartnerschaft mit dem französischen Arras soll nun auch dort ein vergleichbar komplexes Gebäude mithilfe von Exergieausweisen analysiert werden.

Was ist ein Exergieausweis?

Exergie ist eine physikalische Größe, die vereinfacht als Ergebnis aus Energie und Energiequalität verstanden werden kann. Exergie ermöglicht es, alle Energieformen einheitlich und ohne die Notwendigkeit von nationalen Festlegungen realistisch zu bewerten.

Der Exergieausweis ist ein Instrument, um Effizienzmaßnahmen auf Basis von Exergie miteinander zu vergleichen. In Form eines Diagramms werden verschiedene Sanierungsvarianten miteinander verglichen. Dabei wird für jede untersuchte Variante ein Exergieausweis erstellt, der die Einsparungen zu einer vorher vom Auftraggeber festgelegten Ausgangsvariante transparent macht.

Im Exergieausweis werden zusätzlich zur Exergie CO₂-Ausstoß und Energiekosten berechnet und diese in einem Ampelsystem dargestellt. Dabei bedeutet Rot eine Verschlechterung, Gelb eine Verbesserung und Grün eine besonders große Verbesserung im Vergleich zu der vorher festgelegten Ausgangssituation. Ziel der Betrachtung mithilfe der Exergieausweise ist es, Investitionen mit maximalem Nutzen für Umwelt und Budget zuverlässig zu identifizieren.



» 2018 Studien in Frankreich und Deutschland mit dena

- Zeigt dass REA geeignet ist für den internationalen Einsatz aufgrund seiner konsistenten physikalischen Grundlage

Sonderdruck aus BWK 6/ 2018



Energie-basierter Vergleich von Nahwärmenetzen

Kalte Nahwärme als Zukunftsoption?



Bild: AdobeStock

Nur wenn zukünftig Grenzkraftwerke CO₂-neutralen Strom bereitstellen, gilt die kalte Nahwärme generell als Zukunftsoption für eine ökologisch sinnvolle Wärmeversorgung von Siedlungen.

ökonomisch vorteilhaft ist.

Um diese Frage zu beantworten, wurde im Auftrag des Energieeffizienzverbandes für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW) eine Untersuchung durchgeführt, die ein konventionelles Nahwärmenetz, ein kaltes Nahwärmenetz und eine dezentrale Versorgungslösung miteinander vergleicht.

Die Besonderheit der Untersuchung besteht darin, dass die Analyse auf Basis von Exergie durchgeführt wurde anstatt auf Basis von Energie. Exergie ist eine physikalische Größe, die vereinfacht als Produkt aus Energie und Energiequalität verstanden werden kann. Sie ist somit ein umfassenderes Maß für die physikalische Bewertung als die Energie. Exergie als Analysegrundlage ermöglicht es, alle Energieformen einheitlich und ohne die Notwendigkeit von „Menschen-gemachten“ Festlegungen realistisch zu bewerten. Die Kombination einer exergie-basierten Analyse mit einer Bilanzierung bis zu den speicherbaren, energetischen Primärressourcen erlaubt es, Investitionen mit maximalem Nutzen für Umwelt und Budget zuverlässig zu identifizieren.

Auf der Datenbasis real existierender Netze wurde in einem ersten Schritt ein allgemeines Modell eines kalten Nahwärmenetzes entwickelt. Wesentliche Modellannahmen sind:

- 10 °C Netzvorlauf in unisolierten Leitungen,
 - monovalente, dezentrale Wärmepumpen beim Wärmeabnehmer mit Jahresarbeitszahl 4,2,
 - Wärmeregeneration des Netzes aus der Umgebung,
 - 3 % Wärmeverluste im Jahresmittel,
 - 2,6 % Hilfsstromverbrauch.
- Dieses Netz wurde einem konventionellen Referenznetz mit folgenden Parametern gegenübergestellt:
- 75 % der Jahreswärmeleistung: Erdgas-Blockheizkraftwerk (BHKW),
 - 25 % der Jahreswärmeleistung: Erdgas-Heizkessel,
 - 12 % Wärmeverluste im Jahresmittel,
 - 1,5 % Hilfsstromverbrauch.
- Zusätzlich wurde eine einfache dezentrale

WÄRMEVERSORGUNG | Im Rahmen eines AGFW-Forschungsprojekts wurde ein konventionelles Nahwärmesystem mit einem kalten Nahwärmesystem und einem dezentralen System verglichen. Das besondere an der Untersuchung ist die Nutzung einer exergie-basierten Betrachtungsweise. Dadurch wird zusätzlich zu energetischen Aspekten auch der Aspekt der Energiequalität berücksichtigt. Die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse gegenüber Ergebnissen aus energie-basierten Untersuchungen ist damit deutlich erhöht. Fazit der Untersuchung ist, dass die kalte Nahwärme eine ökologisch sehr sinnvolle Option sein kann – allerdings nur, wenn garantiert ist, dass der dadurch entstehende Strommehrabbedarf ausschließlich mit erneuerbaren Energien gedeckt wird.

In der Fernwärmebranche ist immer öfter der Begriff „kalte Nahwärme“ zu hören. Häufig wird diese als ökologische Zukunftsoption für die Fernwärme kommuniziert. Dabei stellt sich zuerst einmal die Frage, was kalte Nahwärme überhaupt ist. Als kalte Nahwärme werden im Allgemeinen Netze bezeichnet, bei denen der Netzvorlauf eine sehr geringe Temperatur hat. Die Wärmeübergabe an den Verbraucher ist dabei nur mithilfe dezentraler elektrischer Wärmepumpen möglich. Da eine allgemeingültige offizielle Definition bisher nicht existiert, soll an dieser Stelle davon ausgegangen werden, dass die Auslegungsvorlauftemperatur kalter Nahwärmenetze nicht mehr als 30 °C beträgt.

Pro und kontra

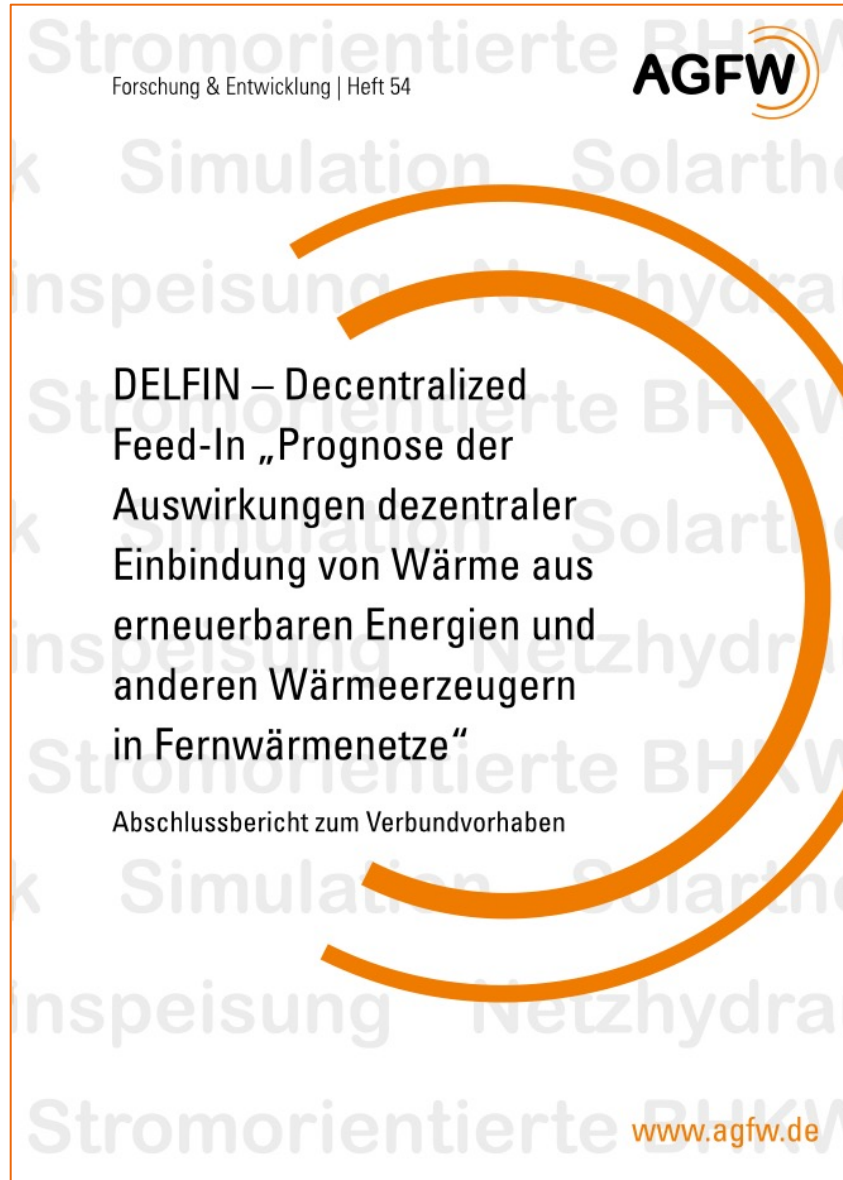
Ein kaltes Nahwärmenetz besitzt gegenüber konventionellen Wärmenetzen folgende Vorteile:

- kaum bis keine Leitungswärmeverluste,
- hohe Arbeitszahlen der dezentralen Wärmepumpen,

- billigere Leitungen,
 - „freie Kühlung“ im Sommer, bei entsprechenden Heiz-/Kühlflächen in den Gebäuden,
 - individuelle Anpassbarkeit der Wärmebereitstellung an den Nutzer durch dezentrale Wärmepumpen,
 - verbesserte Wasserchemie (keine Korrosion, Wasserhärte unproblematisch, Zusätze können wegfallen),
 - Nutzung nahezu aller möglichen Wärmequellen.
- Demgegenüber stehen allerdings einige Nachteile:
- Notwendigkeit von Wärmepumpen und Flächenheizungen bei jedem Verbraucher,
 - stark erhöhter Stromverbrauch (Faktor zehn und mehr) gegenüber herkömmlichen Nahwärmenetzen mit Blockheizkraftwerk und Erdgaskessel.
- Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, unter welchen Randbedingungen kalte Nahwärme gegenüber konventionellen Nahwärmenetzen ökologisch und

» 2018 Vergleich von kalter Nahwärme und BHKW

- Zeigt dass kalte Nahwärme nur mit eigener Ökostromversorgung wirklich besser ist als BHKW-basierte Fernwärme



» **2019 AGFW Forschungsbericht DELFIN**

- Zeigt, dass eine Bewertung von Solarthermieoptionen ohne exergetische Betrachtung nicht sinnvoll ist

Endbericht | Februar 2020

LowEx Herten: Innovative interkommunale Wärmeversorgung für die Neue Zeche Westerholt in Herten/Gelsenkirchen

Teilprojekt in „EnerAct - Energiewende und gesellschaftliche Megatrends - Konkrete Handlungsansätze“

*Dietmar Schüwer, Annalena Warburg,
Martin Buchholz, Anna Nora Freier,
Andrej Jentsch, Thomas Pauschinger,
Othmar Verheyen, Nicolas Witte-
Humperdinck*

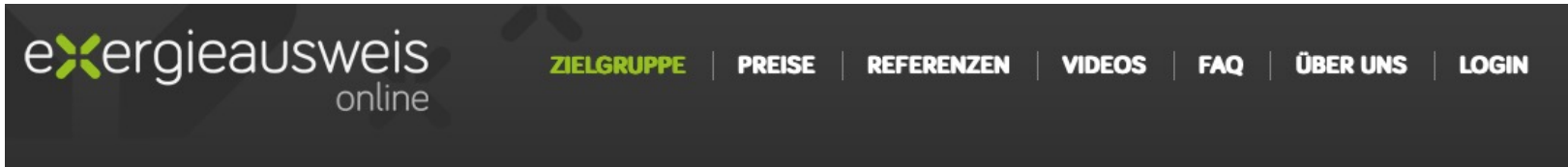
gefördert durch:

STIFTUNG
MERCATOR



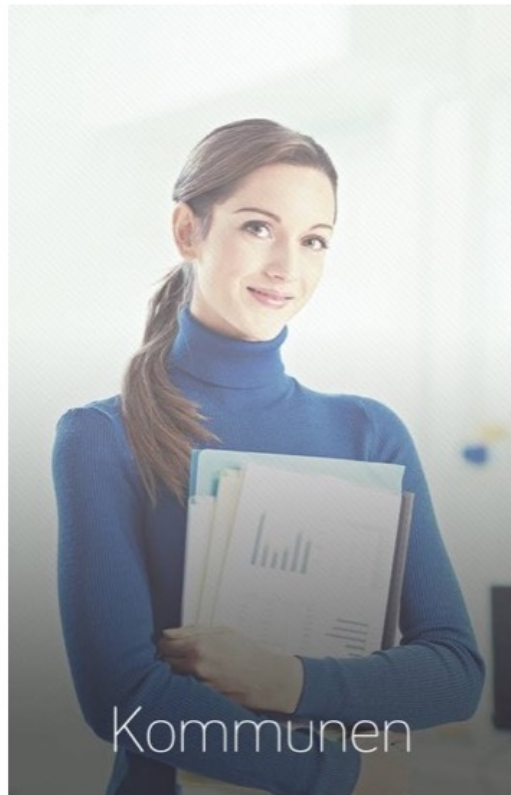
» 2020 Forschungsbericht LowEx: Herten

- Zeigt, wie REA eingesetzt werden kann zur Bestimmung idealer Energiekonzepte für Kommunen



» **Web-Softwareprototyp
„Exergieausweis Online“**

Klimaschutz und Effizienz wirksam voranbringen und dabei teure Fehler vermeiden!



- Erlaubt leichte Anwendung der REA für Leute die nicht rechnen wollen.
- Präsentiert und visualisiert Ergebnisse ansprechend und fundiert
- Kann bei Erstellung und Qualitätsprüfung von Transformationsplänen helfen.

Heizung, Dämmung, Kühlung und Elektrotechnik optimal kombinieren.



Preprints are preliminary reports that have not undergone peer review.
They should not be considered conclusive, used to inform clinical practice,
or referenced by the media as validated information.

Exergy Assessment of Hybrid District Heating Systems Using Resource Exergy Analysis (REA)

Andrej Jentsch (✉ andrej.jentsch@richtvert.de)

AGFW Projekt GmbH <https://orcid.org/0000-0003-2413-0507>

Young Jae Yu

Fraunhofer IEE

Julien Ramousse

Université Savoie Mont Blanc

Anna Kallert

Fraunhofer IEE

Research Article

Keywords: exergy, hybrid energy systems, sector coupling, heat pumps, primary energy, climate change, green house gases, comparison, analysis, energy

Posted Date: June 27th, 2022

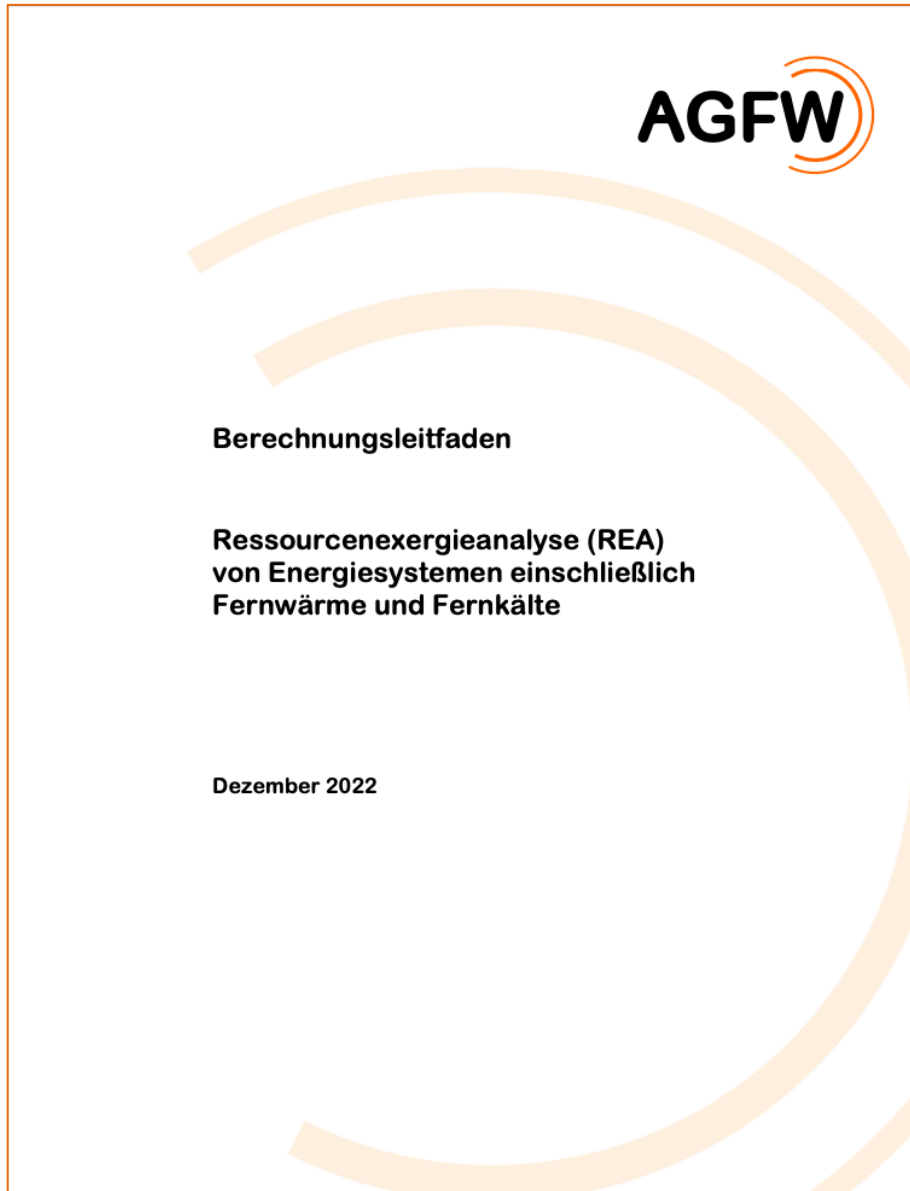
DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1747896/v1>

License: © ⓘ This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

[Read Full License](#)

» 2021 – 2023 REA Einsatz in IEA DHC Annex TS3

- Zeigt u.a. das Potenzial von Großwärmepumpen und Tiefengeothermie zur Energiewende beizutragen



» **2022 – 2023 REA Berechnungsleitfaden**

- Macht alle Berechnungsvorschriften von REA für Energiesysteme im Detail transparent und nachvollziehbar

- » **Fundierte wissenschaftliche Grundlage**
- » **Über ein Jahrzehnt im erfolgreichen Praxiseinsatz**
- » **Diversen Kooperationspartnern und Marktteilnehmern bereits bekannt**
- » **Leicht web-basiert einzusetzen**
- » **Bereits viele wertvolle Ergebnisse erzeugt**
- » **Verständlich dokumentiert**

» **Element für das AGFW Regelwerk?**

- Viele Fernwärmetechnologien kommen bei REA gut weg – ohne Notwendigkeit des Greenwashing
 - Abwärmenutzung, Tiefengeothermie, Solarthermie...
- Kann AGFW Mitgliedern erleichtern zukunftssichere Entscheidungen zu treffen,
 - da grundsätzlich ohne „politische“ und damit veränderliche Faktoren
- Kann das Ansehen der Fernwärmebranche weiter verbessern, aufgrund Vorantreiben physikalischer Bewertung
- Hilft gegenüber der Politik auf wissenschaftlicher Grundlage Forderungen zu erheben,
 - die den AGFW Mitgliedern und der Umwelt wirklich nützen

darum fernwärme ...

denn sie ist stubenrein und hilft,
CO₂ zu vermeiden.

fernwärme 
rein ins haus.



www.fernwaerme-info.eu

...noch
Fragen?

Dr. Andrej Jentsch
Forschung und
Entwicklung
069 6304 291
a.jentsch@agfw.de