


Research Area
Technology,
Innovation, Marketing,
Entrepreneurship

RWTH AACHEN UNIVERSITY

WIP-Transferveröffentlichung

# Entscheidungshilfe für Kommunen: Ein Analysetool zur Abschätzung von Wirtschaftlichkeitspotenzialen industrieller Abwärme

## WIP-Transferveröffentlichung

# Entscheidungshilfe für Kommunen: Ein Analysetool zur Abschätzung von Wirtschaftlichkeitspotenzialen industrieller Abwärme

**WIP-Transferveröffentlichungen:** Mit den WIP-Transferveröffentlichungen möchten wir, das *Institut für Technologie- und Innovationsmanagement* (TIM) der RWTH Aachen, unsere Erfahrungen und Erkenntnisse sowie praxisorientierte Methoden, Tools und Ansätze aus dem WIP-Projekt teilen. Im **WIP-Projekt** (*Wissenschaftlich-technologischer Transfer im Transformationsprozess des Strukturwandels in Sachsen-Anhalt*) unterstützen wir zusammen mit dem *Fraunhofer IFF* die Kommunen im Mitteldeutschen Revier in Sachsen-Anhalt beim Kohleausstieg und dem daraus resultierenden Strukturwandel. In Zusammenarbeit mit den Kommunen wurden Zukunftsprofile erarbeitet und konkrete Maßnahmen geplant, um der Region zu helfen, die Herausforderungen des laufenden Wandels zu bewältigen. Das Projekt wird durch das *Bundesministerium für Wirtschaft und Energie* (BMWE) im Rahmen der STARK Förderrichtlinie gefördert. Die **Zielgruppe** der Veröffentlichungen sind Akteurinnen und Akteure aus Politik, Wirtschaft und Wissenschaft, die den Strukturwandel im Zuge des Kohleausstiegs aktiv gestalten und von anwendungsorientierten Methoden und Tools profitieren können. **Ziel** der Veröffentlichungen ist es, Impulse zu geben, den Austausch zu fördern und zur Weiterentwicklung der vorgestellten Ansätze einzuladen.

**VORSTELLUNG EINES KOMUNALEN ANALYSESTOOLS ZUR BEWERTUNG VON FERNWÄRMEPOTENZIALEN DURCH INDUSTRIELLE ABWÄRME:**

In dieser Ausgabe stellen wir eine praxisorientierte Entscheidungshilfe in Form eines Excel-Tools vor, das Kommunen bei der frühen Bewertung von Fernwärmeprojekten auf Basis industrieller Abwärme unterstützt. Das Tool ermöglicht eine erste technische und wirtschaftliche Einschätzung potenzieller Abwärmestandorte und kann dabei helfen, geeignete Projekte für die weitere Planung zu identifizieren. Hierfür werden verschiedene Einflussfaktoren, wie verfügbare Abwärmemengen, Transportentfernungen, Wärmeverluste sowie Investitions- und Betriebskosten berücksichtigt.

Vor dem Hintergrund der kommunalen Wärmeplanung und der Wärmewende stehen viele Kommunen vor der Herausforderung, geeignete Wärmequellen für eine nachhaltige Wärmeversorgung zu identifizieren. Insbesondere industrielle Abwärme bietet das Potenzial, bisher ungenutzte Energiequellen in bestehende oder neue Fernwärmesysteme zu integrieren. Gleichzeitig erfordert die Bewertung solcher Projekte häufig umfangreiche Daten und fachliche Expertise. Das vorgestellte Tool unterstützt dabei, potenzielle Fernwärmeprojekte bereits in einer frühen Planungsphase strukturiert zu bewerten, wirtschaftliche Potenziale sichtbar zu machen und fundierte Entscheidungsgrundlagen für die weitere Projektentwicklung zu schaffen.

## Einleitung

### Warum sind Fernwärme und industrielle Abwärme im Strukturwandel wichtig?

Die Wärmewende stellt Kommunen vor die Herausforderung, eine klimafreundliche, wirtschaftliche und langfristig sichere Wärmeversorgung zu gestalten. Mit der kommunalen Wärmeplanung müssen geeignete Wärmequellen identifiziert und Strategien für eine nachhaltige Wärmeversorgung entwickelt werden. Dabei gewinnt insbesondere die Fernwärme an Bedeutung, da sie es ermöglicht, mehrere unterschiedliche Wärmequellen in einem gemeinsamen Netz zu bündeln und verschiedene erneuerbare und klimafreundliche Wärmequellen effizient in die Wärmeversorgung zu integrieren.

Eine mögliche Wärmequelle stellt industrielle Abwärme dar. In vielen Industrieprozessen entstehen erhebliche Mengen an Wärme, die nicht weiter genutzt und stattdessen an die Umgebung abgegeben werden. Durch die Einbindung dieser Abwärme in Fernwärmenetze können Treibhausgasemissionen reduziert und vorhandene Energiepotenziale besser ausgeschöpft werden. In Strukturwandelregionen ergeben sich dadurch Chancen, industrielle Wertschöpfung und nachhaltige Energieversorgung miteinander zu verbinden. [1]

### Wie kann die Entscheidungshilfe Kommunen unterstützen?

Ob industrielle Abwärme für die Versorgung eines Fernwärmenetzes geeignet ist, hängt von einer Vielzahl technischer und wirtschaftlicher Faktoren ab. Neben der verfügbaren Wärmemenge spielen beispielsweise das Temperaturniveau der Abwärme, die Entfernung zwischen Wärmequelle und Wärmenetz sowie die erforderlichen Investitions- und Betriebskosten eine wichtige Rolle. Für Kommunen ist es daher häufig schwierig, potenzielle Projekte frühzeitig einzuordnen und miteinander zu vergleichen.

Die Entscheidungshilfe unterstützt dabei, potenzielle Fernwärmeprojekte auf Basis industrieller Abwärme strukturiert zu bewerten. Ziel ist es, bereits in einer frühen Planungsphase eine erste technische und wirtschaftliche Einschätzung zu ermöglichen. Hierdurch können potenziell geeignete Standorte identifiziert, verschiedene Projektoptionen miteinander verglichen und fundierte Entscheidungsgrundlagen für weiterführende Untersuchungen geschaffen werden.

### Für wen ist die Entscheidungshilfe geeignet?

Das Tool richtet sich an Kommunen, kommunale Wärmeplanerinnen und Wärmeplaner, Energieversorgungsunternehmen, Industrieunternehmen sowie weitere Akteurinnen und Akteure, die an der Planung und Umsetzung von Wärmeprojekten beteiligt sind. Das Tool wurde im Rahmen des WIP-Projekts entwickelt und orientiert sich an den Herausforderungen von Kommunen im Mitteldeutschen Revier. Aufgrund seines allgemeinen Aufbaus kann es jedoch ebenso von anderen Kommunen und Regionen genutzt werden, die Potenziale industrieller Abwärme für die Wärmeversorgung untersuchen möchten.

## 1 DIE METHODE HINTER DER ENTSCHEIDUNGHILFE

Für die Nutzung industrieller Abwärme in Fernwärmenetzen müssen sowohl technische als auch wirtschaftliche Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt den Ablauf des Tools im Überblick.

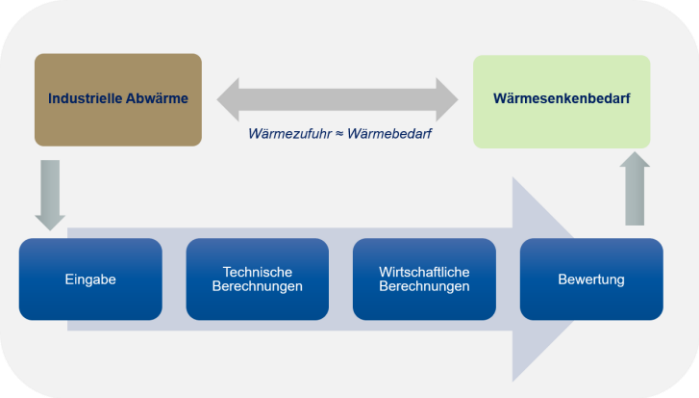



*Abb. 1: Funktionsweise des Tools*

Der erste Schritt besteht aus der ***Eingabe*** der ***industriellen Abwärme***. Diesen Wert liefert das Tool nicht selbst, er sollte idealerweise in Abstimmung mit dem jeweiligen Abwärmestandort bzw. der Industrie vor Ort abgeschätzt werden. Darauf folgen ***technische Berechnungen***, in denen das Tool analysiert, wie viel der Abwärme technisch nutzbar ist. Anschließend folgen die ***wirtschaftlichen Berechnungen***, in denen Investitions- und Betriebskosten sowie die Wärmegestehungskosten ermittelt werden. Die Berechnungen fließen in eine ***Bewertung*** ein, die zeigt, wie gut die verfügbare Abwärme den **Wärmesenkenbedarf** der Kommune decken kann. Der ***Wärmesenkenbedarf*** beschreibt den Wärmebedarf der zu versorgende Gebäude bzw. Verbraucher, der durch die ***industrielle Abwärme*** gedeckt werden soll.

Die Abbildung verdeutlicht, dass das Tool durchgehend zwei Größen betrachtet: die ***Wärmezufuhr*** (vorhandene Abwärme) und den tatsächlichen ***Wärmebedarf***. Dadurch wird eine erste Einschätzung ermöglicht, ob die Nutzung einer Abwärmequelle sinnvoll ist.

### Technische Berechnung

Die technische Eignung eines Abwärmeprojekts wird durch die verfügbare ***Wärmemenge***, das ***Temperaturniveau*** der Abwärme sowie die ***Entfernung*** zwischen Wärmequelle und Wärmeverbraucher beeinflusst. Mit zunehmender Distanz der Trasse steigen die erforderlichen Leitungslängen und die Wärmeverluste während des Transports. Gleichzeitig beeinflussen Wärmemenge und Temperaturprofil die Auslegung der notwendigen Infrastruktur.
Das Tool berücksichtigt diese Zusammenhänge und ermöglicht eine vereinfachte Abschätzung von Wärmeverlusten, Leitungsdimensionen sowie der potenziell nutzbaren Wärmemenge. Dadurch kann bereits in einer frühen Planungsphase bewertet werden, ob eine technische Nutzung der Abwärme grundsätzlich realistisch erscheint.

### Wirtschaftliche Berechnung

Neben der technischen Machbarkeit ist die Wirtschaftlichkeit ein entscheidender Faktor für die Umsetzung von Fernwärmeprojekten. Hierfür werden im Tool Investitionskosten, laufende Betriebskosten sowie die daraus resultierenden Wärmegestehungskosten berechnet. Ergänzend berechnet das Tool verschiedene wirtschaftliche Kennzahlen wie den Kapitalwert, die Zinsgrenze und den wirtschaftlichen Eignungsindex.
**Kapitalwert:** Gibt an, ob die erwarteten Erlöse eines Projekts die Investitions- und Betriebskosten über die Laufzeit übersteigen. Ein positiver Wert deutet auf ein wirtschaftlich attraktives Projekt hin.
**Zinsgrenze:** Zeigt, bis zu welchem Zinssatz sich das Projekt noch wirtschaftlich lohnt. Je höher die Zinsgrenze über dem tatsächlichen Zinssatz liegt, desto rentabler ist das Projekt.
**Wirtschaftlicher Eignungsindex:** Verhältnis der Wärmegestehungskosten der Fernwärme zu denen einer alternativen Wärmeversorgung (auswählbar über Gas, Öl, Pellet oder Luft-Wasser-Wärmepumpe) und zeigt so, ob die Abwärmenutzung wirtschaftliche Vorteile bietet. Die Wärmegestehungskosten der Alternative sind im Tool als Richtwerte hinterlegt und können im Einzelfall von der tatsächlichen Kommune abweichen.
Diese ermöglichen eine strukturierte Bewertung und den Vergleich unterschiedlicher Projektoptionen. Auf diese Weise unterstützt das Tool Kommunen dabei, potenziell geeignete Abwärmestandorte frühzeitig zu identifizieren und Projekte für weiterführende Untersuchungen zu priorisieren.

## 2 BEDIENUNGSANLEITUNG ZUM TOOL

Die Anwendung des Tools erfolgt in Microsoft Excel und erfordert keine Vorkenntnisse. Das Tool kann über die Internetseite des WIP-Projekts heruntergeladen werden und liegt als .xlsx-Datei vor. Nach dem Download kann die Datei lokal gespeichert und sowohl unter Windows als auch unter Apple-Betriebssystemen genutzt werden. Anschließend kann die Datei direkt geöffnet und verwendet werden. Die Abbildungen in der nachfolgenden Bedienungsanleitung zeigen Werte eines fiktiven Beispiels, das

in Kapitel 3 wieder aufgegriffen und dort ausführlich interpretiert wird.

I. **Eingabe technischer Projektdaten:** Im ersten Schritt müssen die grundlegenden technischen Rahmenbedingungen des potenziellen Abwärmeprojekts wie in Abb. 2 beispielhaft dargestellt.

| Eingabewerte | | |
|---|---|---|
| *Jährlich verfügbare Abwärmemenge* | 16,000 | MWh/a |
| *Entfernung zwischen Erzeuger und Verbraucher (Luftlinie)* | 3.00 | [km] |
| *Besiedlungsstruktur entlang der Trasse* | Urban | *bitte auswählen* |
| *Sind Vor-und Rücklauf Temperaturen bekannt?* | Bekannt | *bitte auswählen* |

*Abb. 2: Beispielhafte Eingabewerte*

Diese werden nachfolgend erläutert.

**Jährlich verfügbare *Abwärmemenge:*** Die verfügbare Abwärmemenge wird in Megawattstunden pro Jahr (MWh/a) angegeben und beschreibt die Energiemenge, die potenziell für die Wärmeversorgung genutzt werden kann.

***Entfernung zwischen Wärmequelle und Wärmeverbraucher***: Die Entfernung zwischen Erzeuger und Verbraucher wird als Luftlinie in Kilometern eingegeben und dient als Grundlage für die Abschätzung der erforderlichen Leitungsinfrastruktur.

***Besiedlungsstruktur entlang der Trasse***: Ergänzend wird ausgewählt, ob die geplante Trasse überwiegend durch urbane, suburbane oder ländliche Gebiete verläuft. Diese Angabe beeinflusst insbesondere die Abschätzung der Investitionskosten für das Fernwärmenetz, da sich sowohl die tatsächliche Leitungslänge (abhängig vom Straßenverlauf) als auch die Baukosten pro Meter je nach Gebietstyp unterscheiden.

***Vorlauf- und Rücklauftemperaturen:*** Zusätzlich werden Informationen zum Temperaturniveau der Abwärme berücksichtigt. Sind Vorlauf- und Rücklauftemperaturen bekannt, können diese direkt eingegeben werden. Alternativ stehen vereinfachte Temperaturprofile („niedrig“: 30–60 °C, „mittel“: 60–100 °C oder „hoch“: 100–180 °C) zur Verfügung. Das Temperaturniveau beeinflusst unter anderem die Wärmeverluste während des Transports sowie die technische Nutzbarkeit der Abwärme.

Auf Grundlage dieser Eingaben berechnet das Tool unter anderem die zu erwartenden Wärmeverluste, die an den Wärmeverbraucher verfügbare Wärmemenge sowie den prozentualen Wirkungsverlust über die betrachtete Strecke.

II. **Investitions-, Betriebs- und Wärmegestehungskosten**: Im nächsten Schritt erfolgt die wirtschaftliche Grundbewertung des Projekts. Hierfür muss der Einkaufspreis der Abwärme in Euro pro Megawattstunde (€/MWh) eingegeben werden. Zusätzlich werden der Betrachtungszeitraum in Jahren sowie der Diskontierungszinssatz festgelegt. Diese Werte müssen in die hellblauen Felder, wie in Abb. 3 eingegeben werden.

| Investitionskosten, Betriebskosten und Wärmegestehungskosten | | |
|---|---|---|
| Investitionskosten | 4,870,000 | € |
| Einkaufspreis Abwärme | 60.00 | €/MWh |
| Jährliche Betriebskosten | 1,289,600 | €/a |
| Gesamt Betriebskosten über 30 Jahre | 38,688,000 | € |
| Wärmegestehungskosten der Fernwärme | 109.97 | €/MWh |

| | | |
|---|---|---|
| Prognose für … | 30 | Jahre |
| Diskontierungszinssatz r | 6 % | |

**Das geplante Fernwärmenetz hat eine geschätzte Länge von 3.6 km.**
**Das Projekt wird geschätzte 4870000 € an Investitionskosten haben und 1289600 € an laufenden Kosten pro Jahr.**
**Der Berechnete LCOH Wert ist 109.98 € pro MWh**

*Abb. 3: Investitions-, Betriebs- und Wärmeentstehungskostenberechnung im Analyse-Tool*

**Diskontierungssatz:** Der Diskontierungszinssatz dient dazu, zukünftige Kosten und Erlöse auf ihren heutigen Wert umzurechnen und wird häufig zur Bewertung langfristiger Investitionsprojekte verwendet. Die Wahl des Zinssatzes sollte sich an den projektspezifischen oder organisationsinternen Vorgaben orientieren. Im dargestellten Beispiel wird ein Diskontierungszinssatz von 6 % verwendet. Der Betrachtungszeitraum definiert den Zeitraum, über den das Projekt wirtschaftlich analysiert werden soll.

Anhand dieser Eingaben ermittelt das Tool die voraussichtlichen Investitionskosten, die Betriebskosten sowie die Wärmegestehungskosten. Die Wärmegestehungskosten geben an, welche durchschnittlichen Kosten für die Bereitstellung einer Megawattstunde Wärme entstehen und ermöglichen einen Vergleich mit alternativen Wärmeversorgungsoptionen.

III. **Wirtschaftlichkeitsbewertung des Projekts:** Für die abschließende Bewertung werden weitere wirtschaftliche Rahmenbedingungen definiert. Hierzu zählen der erwartete Verkaufspreis der Wärme, die alternative Wärmeversorgung (z. B. Erdgas, Heizöl, Pelletheizung oder Luft-Wasser-Wärmepumpe) sowie deren Wärmegestehungskosten (Abb. 4).

| *Ist der Standort wirtschaftlich Rentabel für den Fernwärmeausbau?* | | |
|---|---|---|
| Verkaufspreis/Einspeisepreis der Wärme | 120.00 | €/MWh |
| Alternative Wärmeversorgung | Gas | |
| $\text{Wärmegestehungskosten}_{\text{alternative}}$ | 210.00 | €/MWh |

| Bewertungsmatrix | | | Bewertung |
|---|---|---|---|
| Kapitalwert | 2,062,650.06 | € | gut |
| Zinsgrenze | 10.34 % | | gut |
| Wirtschaftlicher Eignungs Index | 0.52 | | gut |

*Abb. 4: Rentabilitätsprüfung im Analyse-Tool*

Auf Basis dieser Angaben berechnet das Tool verschiedene wirtschaftliche Kennzahlen (Kapitalwert, Zinsgrenze und wirtschaftlicher Eignungsindex), die dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit des Projekts einzuschätzen. Ergänzend erfolgt eine qualitative Bewertung der Ergebnisse, die für jede Kennzahl angibt, ob diese

als gut oder schlecht einzustufen ist. Dadurch kann schnell eingeschätzt werden, ob ein Abwärmestandort grundsätzlich wirtschaftliches Potenzial besitzt und für weiterführende Untersuchungen geeignet erscheint.

IV. **Eingabe der Wärmeverbraucher:** Um einschätzen zu können, ob die verfügbare Abwärme ausreicht, kann mit dem Tool ergänzend der Wärmebedarf potenzieller Wärmeverbraucher abgeschätzt werden. Hierzu müssen verschiedene Angaben zu versorgenden Gebäuden in die Tabelle eingegeben werden. Dazu zählen der Gebäudetyp, die Anzahl der Gebäude, die Energieeffizienzklasse des Gebäudes, die Nutzungsart sowie die beheizte Nutzfläche in Quadratmetern. Geben Sie diese Werte in die Wärmeverbrauchertabelle des Tools ein (Abb. 5).




*Abb. 5: Energieverbrauchertabelle mit Beispielen*

Auf Basis dieser Eingaben ermittelt das Tool zunächst einen typischen Heizenergieverbrauch pro Quadratmeter und Jahr. Anschließend wird der jährliche Heizenergiebedarf je Gebäude sowie der gesamte Wärmebedarf aller ausgewählten Wärmeverbraucher berechnet. Dadurch kann abgeschätzt werden, welche Wärmemengen für die Versorgung der betrachteten Gebäude erforderlich sind.

Durch den Vergleich zwischen verfügbarer Abwärmemenge und berechnetem Wärmebedarf wird zusätzlich ausgewiesen, ob die vorhandene Abwärme grundsätzlich ausreicht, um die ausgewählten Wärmeverbraucher vollständig zu versorgen. Dies unterstützt dabei, potenzielle Verbraucher frühzeitig zu identifizieren und die Größenordnung möglicher Fernwärmeprojekte besser einzuschätzen.

## 3 EIN ANWENDUNGSBEISPIEL

Die in der Bedienungsanleitung zuvor dargestellten Abbildungen zeigen bereits ein beispielhaftes Anwendungsbeispiel des Tools. Hierbei handelt es sich nicht um ein reales Projekt, sondern um ein fiktives Anwendungsbeispiel zur Veranschaulichung der Funktionsweise des Tools. Bei diesem fiktiven Beispiel soll die Abwärme eines KI-Rechenzentrums mit Flüssigkühlung näherungsweise nachgebildet und das Potenzial für die Versorgung eines Fernwärmenetzes untersucht werden.

Für das Beispiel wurde eine thermische Leistung von 2 MW bei 8.000 Betriebsstunden pro Jahr angenommen, was einer verfügbaren Wärmemenge von 16.000 MWh pro Jahr entspricht. Die Entfernung zwischen Wärmequelle und Wärmeverbraucher beträgt 3 km. Die Trasse verläuft dabei überwiegend durch urbanes Gebiet (Abb. 2). Als Wärmeversorgungssystem wurde ein Niedertemperatur-Fernwärmenetz mit einer Vorlauf- und Rücklauftemperatur von 55 °C bzw. 35 °C gewählt. Für die wirtschaftliche Bewertung wurden ein Betrachtungszeitraum von 30 Jahren, ein Diskontierungszinssatz von 6 % sowie ein Abwärmepreis von 60 €/MWh angesetzt (Abb. 3).

Zur Abschätzung des Wärmebedarfs wurden verschiedene beispielhafte Wärmeverbraucher berücksichtigt. Hierzu zählen u.a. Büro- und Verwaltungsgebäude, Schulen, Krankenhäuser, Wohnquartiere sowie Wohngebäude unterschiedlicher Effizienzstandards. Insgesamt ergibt sich daraus ein jährlicher Wärmebedarf von rund 44.353 MWh (Abb. 5).

Die Analyse zeigt, dass die verfügbare Abwärme etwa 34 % des ermittelten Wärmebedarfs decken kann. Das Tool schätzt die erforderliche Netzlänge auf rund 3,6 km, bezogen auf den Hauptstrang zum am weitesten entfernten Wärmeverbraucher; Nebenstränge werden dabei nicht vollständig abgebildet. Die Investitionskosten belaufen sich auf etwa 4,87 Mio. €, während die jährlichen Betriebskosten mit rund 1,29 Mio. € berechnet werden. Daraus ergeben sich Wärmegestehungskosten von rund 110 €/MWh.

Auch die wirtschaftliche Bewertung fällt positiv aus. Bei einem angenommenen Wärmeverkaufspreis von 120 €/MWh und einer alternativen Wärmeversorgung auf Basis von Erdgas mit Wärmegestehungskosten von 210 €/MWh ergibt sich ein Kapitalwert von rund 2,1 Mio. €. Die berechnete Zinsgrenze liegt bei 10,3 % und damit deutlich über dem gewählten Diskontierungszinssatz. Auch der Wirtschaftliche Eignungsindex bewertet das Projekt positiv. Insgesamt kommt das Tool zu dem Ergebnis, dass der betrachtete Standort wirtschaftliches Potenzial für den Ausbau eines Fernwärmenetzes besitzt.

Das Beispiel verdeutlicht, wie das Tool technische und wirtschaftliche Einflussgrößen zusammenführt und bereits mit wenigen Eingabedaten eine strukturierte Erstbewertung ermöglicht. Kommunen können dadurch frühzeitig abschätzen, ob eine Abwärmequelle für die Wärmeversorgung geeignet erscheint und ob eine vertiefende Untersuchung sinnvoll ist.

## HINWEIS

Das Tool dient ausschließlich als unterstützendes Werkzeug für die Entscheidungsfindung und ersetzt keine sorgfältige, eigenverantwortliche Analyse durch die jeweilige Kommune. Sämtliche Analysen, Ergebnisse und Empfehlungen sind von Nutzenden stets kritisch zu prüfen und im jeweiligen Anwendungskontext zu bewerten. Der Anbieter des Analysetools haftet nicht für Schäden, die durch die Nutzung der bereitgestellten Ergebnisse, durch deren fehlerhafte Interpretation oder durch auf ihrer Grundlage getroffene Entscheidungen entstehen. Der Ersatz von Schäden und Folgeschäden (insbesondere wegen entgangenem Gewinn, vergeblicher Aufwendungen, Produktionsausfall etc.) ist ausgeschlossen.

## KONTAKT

Dr. Christina Dienhart
Institut für Technologie- und Innovationsmanagement
RWTH Aachen University
Kackertstraße 7, 52072 Aachen
E-Mail: wip-stark@time.rwth-aachen.de

## VERANTWORTLICH FÜR DEN INHALT

Prof. Torsten-Oliver Salge PhD

## TECHNISCHE ENTWICKLUNG DES TOOLS

Dr.-Ing. Pio Alessandro Lombardi und Benjamin Zhang
E-Mail: pio.lombardi@iff.fraunhofer.de

## AUTORINNEN UND AUTOREN

Roxane Grüne, Valerie Michaux, Simon Kirstein, Dr. Christina Dienhart, Prof. Torsten-Oliver Salge PhD, Dr.-Ing. Pio Alessandro Lombardi

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

WIP

Fraunhofer IFF

## LITERATUR

[1] Burkhardt, A. & Blesl, M. (2023): Analyse: Wandel der Fernwärme im Kontext des Kohleausstiegs und der aktuellen Gaskrise / Alexander Burkhardt, Markus Blesl, Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam.