

# Multikriterielle Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungsoptionen

Prof. Dr. Katharina Gapp-Schmeling

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03EN3007



**kowa**

...die Wärmewende im Quartier gestalten

# Agenda

Projektvorstellung

Beispielkonzepte

Nachhaltigkeitsbewertung

# Projekt KoWa

## Zielsetzung

### Übergeordnet:

- **Akteurs- und Hemmnisanalyse** typischer kommunaler Situationen
- **Potenzialanalyse und Entwicklung:**  
hochintegrierte, kommunale Wärmeversorgungskonzepte
- **Bewertung: technische, wirtschaftliche, juristische und gesellschaftlich-soziale Anforderungen**
- Übertragbare Projektentwicklungs- und **Umsetzungsleitfäden**  
(Basis: clusterspezifischer Konzepte und Geschäftsmodellansätze)

### Clusterspezifisch:

- Spezifische **Analysen** in Quartieren, Erfassung **laufender Aktivitäten und Versorgungs-IST-Zustände**
- Akteursbefragungen, Workshops und runde Tische
- Entwicklung und Bewertung von kommunaler **Wärmenetzleitplanung** in Ausbaustufen sowie **clusterspezifischer Versorgungslösungen**
- Anreize von **Multi-Akteurs-Wärmenetzen**

## Cluster



# KoWa: Ziele, Methodik und Kompetenzen

## Zielsetzung

### Übergeordnet:

- **Akteurs- und Hemmnisanalyse** typischer kommunaler Situationen
- **Potenzialanalyse und Entwicklung:**  
hochintegrierte, kommunale Wärmeversorgungskonzepte
- **Bewertung:** technische, wirtschaftliche, juristische und gesellschaftlich-soziale Anforderungen
- Übertragbare Projektentwicklungs- und **Umsetzungsleitfäden**  
(Basis: clusterspezifischer Konzepte und Geschäftsmodellansätze)

### Clusterspezifisch:

- Spezifische **Analysen** in Quartieren, Erfassung **laufender Aktivitäten und Versorgungs-IST-Zustände**
- Akteursbefragungen, Workshops und runde Tische
- Entwicklung und Bewertung von kommunaler **Wärmenetzleitplanung** in Ausbaustufen sowie **clusterspezifischer Versorgungslösungen**
- Anreize von **Multi-Akteurs-Wärmenetzen**

## Team

### **Praxis und Wissenschaft:**

- Energietechnik und -wirtschaft
- Technische Planung und Umsetzung
- Öffentliches und privates Energierecht
- Sozialwissenschaft und Nachhaltigkeit

## Laufzeit

01/2020 - 12/2022  
36 Monate

## Förderung

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

FKZ: 03EN3007



Grafik: WERNERWERKE GbR, Berlin.

# Beispielkonzepte

Kurzbeschreibung der Beispielkonzepte für KoWa-Stadt

# Idealtypische Wärmeversorgungs-lösungen für KoWa-Stadt (fiktives Bsp.)

|  |
|--|
| <b>70% Solarthermie + 30% Gas+Netz</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Versorgungsnetz mit 70% Solarthermie und 30% Gas</li><li>- ST-Anlagen auf großen Dachflächen, Erdbeckenspeicher</li><li>- GEMIS-Prozess: Netz\Wärme-de-KoWa-70ST-30Gas</li></ul>   |
| <b>Gas-Brennwert Einzelfeuerung</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Gas Brennwert (Einzelfeuerung) , Bei kleinen MFH, Stand der Technik 1 Kessel</li><li>- GEMIS-Prozess: Gas-Heizung-Brennwert-DE-2020</li></ul>  |
| <b>100% Pellets</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- 100% Pellets aus Reststoffen</li><li>- Bei kleinen MFH, Stand der Technik 1 Kessel</li><li>- GEMIS-Prozess: Holz-Pellet-Holzwirtsch.-Heizung-10 kW-DE-2020 (Endenergie)</li></ul>  |
| <b>Gas Wärmenetz</b>   |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Netz in bereits versiegelten Siedlungsfläche errichtet</li><li>- Bei Netz redundante Auslegung mit 2. Kessel"</li><li>- GEMIS-Prozess: Netz\Nahwärme-Gas-BHKW-DE-2015/en</li></ul>   |
| <b>Zukunftsnetz</b>  |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- 25% ST + 60% alternative Wärmequelle/ Abwärme + 15% Pellets/ Biomasse (auf Spitzenlast ausgelegt)</li><li>- Strom zu 50% aus lokaler PV, Rest Netzmix</li><li>- Netz in bereits versiegelten Siedlungsfläche errichtet</li><li>- regionaler Nahwärmeverbund</li><li>- GEMIS Prozess: 'Netz\Wärme-de-KoWa-Zukunft</li></ul> |

# Nachhaltigkeitsbewertung der entwickelten Konzepte

Methodische Grundlagen

Ergebnisse am fiktiven Beispiel KoWa-Stadt

# Zielsystem der Nachhaltigen Ökonomie

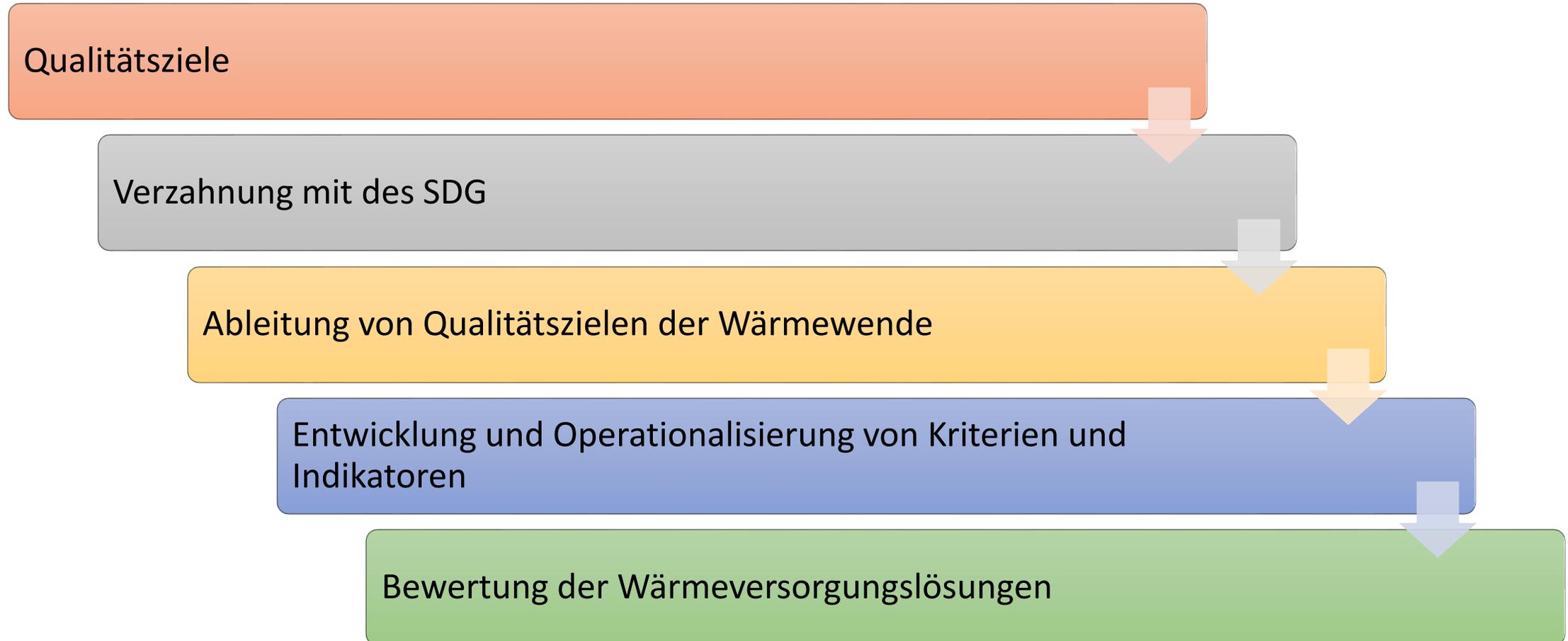
| Ökologische D.  | Ökonomische D.   | Sozial-kulturelle D.  |
|---|--|---|
| 1) Begrenzung der Klimaerwärmung auf die Pariser Ziele                | 6) Selbstständige Existenzsicherung bei akzeptabler Arbeitsqualität                                  | 11) Good governance, Schaffung sozial-ökologischer Leitplanken              |
| 2) Naturverträglichkeit: Erhaltung der Arten- und Landschaftsvielfalt | 7) Wirtschaftl. Entwicklung, angemessene Befriedigung der Bedürfnisse mit nachhaltigen Produkten     | 12) Soziale Sicherheit, keine Armut, ausgewogene demographische Entwicklung |
| 3) Stetige Verbrauchssenkung nicht-erneuerbarer Ressourcen            | 8) Stabilität des Geldwerts und der Finanzmärkte, angemessene Konzentration, geringe externe Effekte | 13) Chancengleichheit, gerechte Einkommens- & Vermögensverteilung           |
| 4) Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen                        | 9) Außenwirtschaftliches Gleichgewicht, geringe Abhängigkeiten, globale Partnerschaft                | 14) Innere und äußere Sicherheit, keine gewaltsamen Konflikte               |
| 5) Gesunde Lebensbedingungen  | 10) Handlungsfähige Staatshaushalte, gute Ausstattung mit meritorischen Gütern                       | 15) Verzicht auf Techniken mit erheblichen Risiken                          |

Rogall et al. 2021; Rogall et al. 2018; Rogall et al. 2016; Rogall 2014: 27; Rogall et al. 2014; 2013b; Rogall und Gapp 2016.

# SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



# Vorgehen



# Zielsystem, Kriterien und Indikatoren der ökologischen Dimension

| Herausforderung                        | Qualitätsziel                               | Kriterien und Indikatoren                                     |
|--|---|---|
| <b>Ökologische Dimension</b>           |   |   |
| Klimaerwärmung                         | Klimaneutralität                            | THG-Emissionen in $\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}$       |
| Materialaufwand                        | Geringer Nutzungsgrad an Primärrohstoffen   | Kumulierter Stoffaufwand in $\text{kg/MWh}$                   |
| Übernutzung erneuerbarer Ressourcen    | Nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen | Auswirkungen auf die Einhaltung der Regenerationsrate         |
| Gefährdung der menschlichen Gesundheit | Gesunde Lebensbedingungen                   | Schadstoffemissionen in $\text{kgSO}_{2\text{eq}}/\text{MWh}$ |
| Zerstörung Arten- und Biotopvielfalt   | Naturverträglichkeit                        | Auswirkungen auf die Naturverträglichkeit                     |

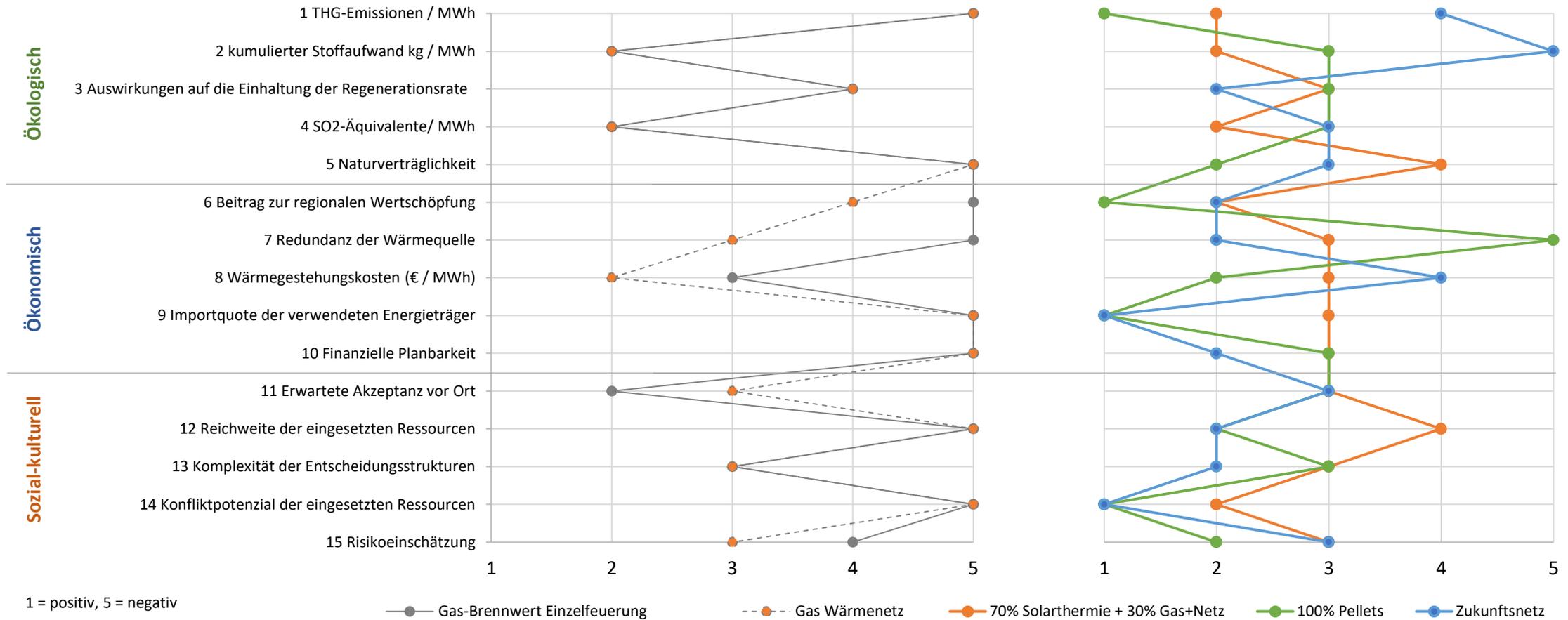
# Zielsystem, Kriterien und Indikatoren der ökonomischen Dimension

| Herausforderung  | Qualitätsziel   | Kriterien und Indikatoren                          |
|--|---|--|
| <b>Ökonomische Dimension</b>   |   |  |
| Negative Entwicklungen auf dem Arbeitsmarkt                                | Existenzsichernde Erwerbsarbeit bei akzeptabler Arbeitsqualität | Beitrag zur regionalen Wertschöpfung               |
| Unzureichende Befriedigung der Grundbedürfnisse mit nachhaltigen Produkten | Unterbrechungsfreie Versorgungssicherheit/ Systemstabilität     | Redundanz  |
| Instabilitäten (Geld, Finanzmärkte, Wettbewerbsfähigkeit), Externalitäten  | Geringe betriebswirtschaftliche Wärmegestehungskosten           | Wärmegestehungskosten (€/MWh)                      |
| globale und außenwirtschaftliche Ungleichgewichte, Abhängigkeiten          | Geringe außenwirtschaftlichen Abhängigkeit                      | Importquote von Energieträgern und Betriebsstoffen |
| Staatsverschuldung; unzureichende Ausstattung mit meritorischen Gütern     | Finanzielle Handlungsfähigkeit                                  | Finanzielle Planbarkeit                            |

# Zielsystem, Kriterien und Indikatoren der sozial-kulturellen Dimension

| Herausforderung   | Qualitätsziel   | Kriterien und Indikatoren   |
|---|---|---|
| <b>Sozial-kulturelle Dimension</b>                      |   |   |
| Fehlentwicklungen in Wirtschaft, Politik & Gesellschaft | Good Governance                                       | Erwartete Akzeptanz vor Ort   |
| Unsicherheit der dauerhaften Energieversorgung          | Langfristige Versorgungssicherheit                    | Reichweite der eingesetzten Ressourcen bei gleichbleibendem Verbrauch |
| Zentralisierung der Versorgungsstrukturen               | Angemessene Dezentralisierung und Partizipation       | Komplexität der Entscheidungsstrukturen                               |
| Gewaltsame Konflikte                                    | Innere und äußere Sicherheit, globale Verträglichkeit | Konfliktpotential der eingesetzten Ressourcen                         |
| Technische Risiken (z.B. Atomtechnik, Fracking)         | Vermeidung von Risikotechnologien                     | Risikoeinschätzung  |

# Bewertung der Beispielkonzepte



# Beispiel Operationalisierung – THGE

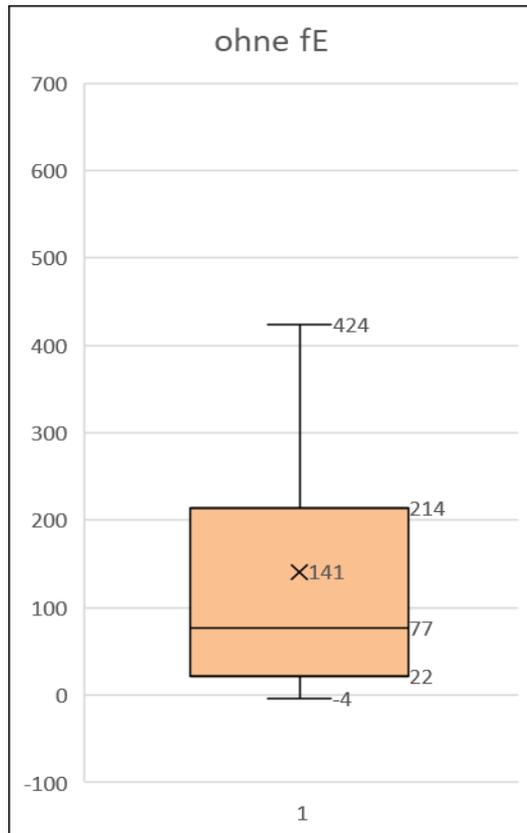


Abbildung 1: Boxplot der GEMIS-Prozessdaten in kg CO<sub>2eq</sub>/MWh für die spezifischen Emissionen der Wärmeversorgungstechnologien.

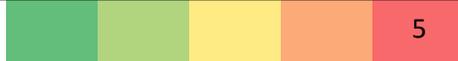
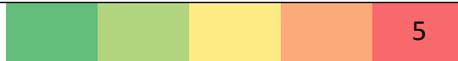
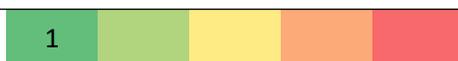
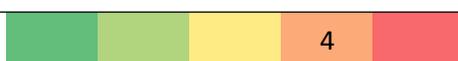
| Herausforderung       | Qualitätsziel    | Kriterien und Indikatoren                    |
|-----------------------|------------------|--|
| Ökologische Dimension |                  |  |
| Klimaerwärmung        | Klimaneutralität | THG-Emissionen in kg CO <sub>2eq</sub> / MWh |

| Bewertung | Bedeutung: Die spezifischen CO <sub>2eq</sub> -Emissionen der Versorgungsoption sind |                                |
|-----------|--|--------------------------------|
|           | größer oder gleich   | (aber) kleiner als             |
| Stufe 1   | -  | 50 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh  |
| Stufe 2   | 50 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh  | 100 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh |
| Stufe 3   | 100 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh   | 150 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh |
| Stufe 4   | 150 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh   | 200 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh |
| Stufe 5   | 200 kg CO <sub>2eq</sub> / MWh   | -                              |

# Schlaglicht 1: THG-Emissionen in kg CO<sub>2eq</sub>/MWh

## Ökologische Dimension

|                        |                    |
|------------------------|--------------------|
| <i>Laufende Nummer</i> | 1                  |
| <i>Herausforderung</i> | Klimaerwärmung     |
| <i>Qualitätsziel</i>   | Klimaneutralität   |
| <i>Indikator</i>       | THG-Emissionen/MWh |

|   |              |           |   |   |
|---|--------------|-----------|---|---|
| <u>Gas-Brennwert Einzelfeuerung:</u>      | 232 kg / MWh | Bewertung |    | 5 |
| <u>Gas Wärmenetz:</u>                     | 204 kg / MWh | Bewertung |    | 5 |
| <u>70% Solarthermie + 30% Gas+Netz :</u>  | 71 kg / MWh  | Bewertung |    |   |
| <u>100% Pellets:</u>                      | 19 kg / MWh  | Bewertung |   |   |
| <u>Zukunftsnetz (aktueller Strommix):</u> | 158 kg / MWh | Bewertung |  |   |

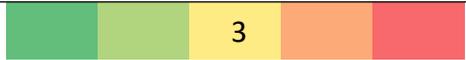
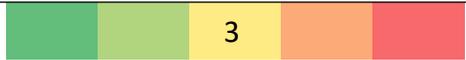
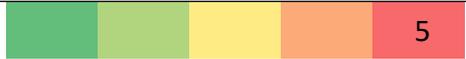
# Beispiel Operationalisierung : Redundanz

| Stufe   | Beschreibung   |
|---------|--|
| Stufe 1 | sehr hohes Maß an Resilienz,<br>Ausfall <b>einer beliebigen Wärmequelle von mehr</b> als drei kann kompensiert werden.   |
| Stufe 2 | hohes Maß an Resilienz,<br>der Ausfall <b>einer von drei Wärmequellen</b> kann durch eine weitere, ggf. durch Notaggregate kompensiert werden.   |
| Stufe 3 | Die kurzfristige Versorgungssicherheit formal gegeben.<br>der Ausfall <b>einer von zwei Wärmequellen</b> kann kompensiert werden.  |
| Stufe 4 | Die kurzfristige Versorgungssicherheit ist nicht vollständig gegeben.<br>Bei Ausfall einer Wärmequelle kann die Versorgung <u>nur teilweise</u> ggf. mit spürbaren Einschränkungen gewährleistet werden. |
| Stufe 5 | Die unterbrechungsfreie Versorgung <b>kann nicht garantiert werden.</b>  |

# Schlaglicht 2: Unterbrechungsfreie Versorgungssicherheit

## Ökonomische Dimension

|                        |  |
|------------------------|--|
| <i>Laufende Nummer</i> | 7  |
| <i>Herausforderung</i> | Unzureichende Befriedigung der Grundbedürfnisse mit nachhaltigen Produkten |
| <i>Qualitätsziel</i>   | unterbrechungsfreie Versorgungssicherheit                                  |
| <i>Indikator</i>       | Redundanz der Wärmequelle  |

|  |                  |   |
|--|------------------|---|
| <u>Gas-Brennwert Einzelfeuerung:</u><br>Wenn nur 1 Kessel (kleines MFH: 5, wenn 2 Kessel 3-4, Unterbrechung des Gasversorgung nicht kompensierbar)                           | <i>Bewertung</i> |    |
| <u>Gas Wärmenetz:</u><br>Da für das Netz 2. Kessel vorgesehen  | <i>Bewertung</i> |    |
| <u>70% Solarthermie + 30% Gas+Netz:</u><br>Bei 70% ST großer Speicher, der den Ausfall des Gaskessels temporär überbrücken könnte, ggf. Versorgungseinschränkungen (dann 4). | <i>Bewertung</i> |    |
| <u>100% Pellets:</u><br>Wenn nur 1 Kessel = 5, wenn 2 Kessel = 4   | <i>Bewertung</i> |  |
| <u>Zukunftsnetz (aktueller Strommix):</u><br>drei Erzeuger, Pelletkessel auf Spitzenlast ausgelegt, Pufferspeicher (ST) können kurzfristigen Ausfall kompensieren.           | <i>Bewertung</i> |  |

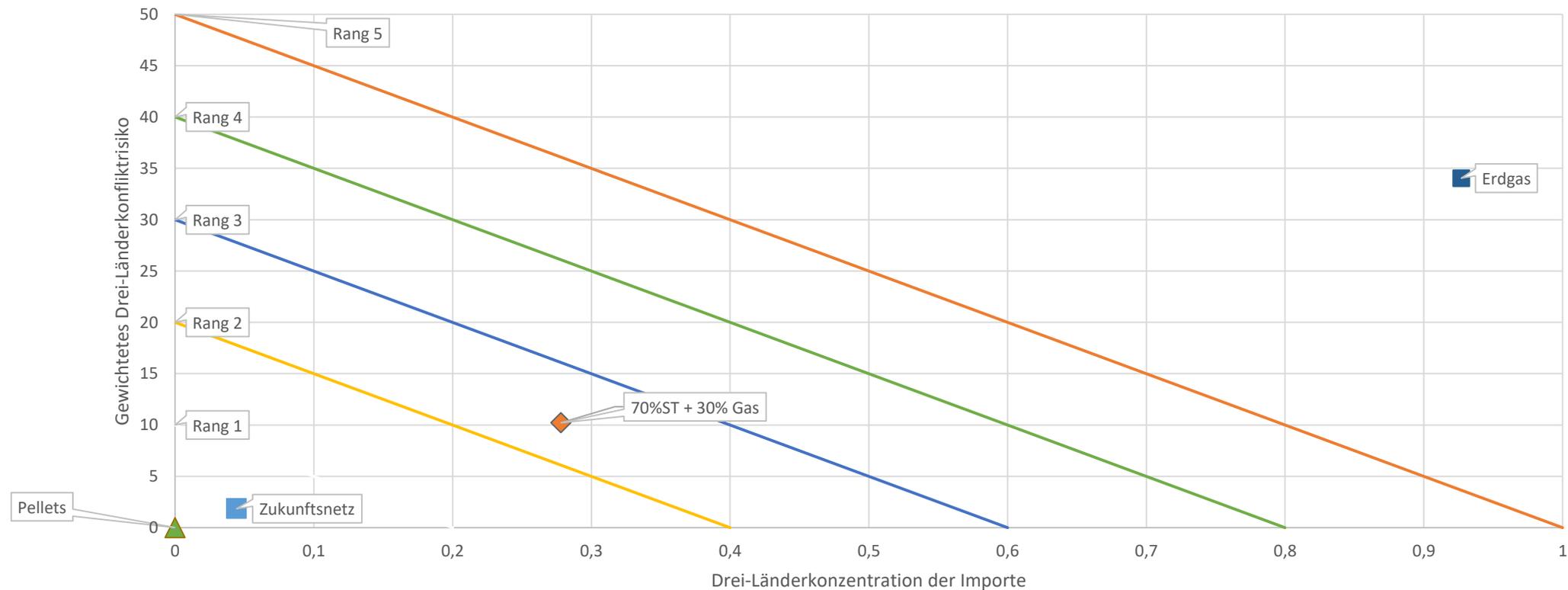
# Schlaglicht 3: Konfliktpotential der eingesetzten Ressource

## Sozial-kulturelle Dimension

|                        |   |
|------------------------|---|
| <i>Laufende Nummer</i> | 14  |
| <i>Herausforderung</i> | gewaltsame Konflikte, Massenmigration                 |
| <i>Qualitätsziel</i>   | Innere und äußere Sicherheit; Globale Verträglichkeit |
| <i>Indikator</i>       | Konfliktpotenzial der eingesetzten Ressourcen         |

|   |  |
|---|--|
| <u>Gas-Brennwert Einzelfeuerung:</u><br>3LK = 0,92; GLR = 34                              | <i>Bewertung</i>    |
| <u>Gas Wärmenetz:</u><br>3LK = 0,92; GLR = 34   | <i>Bewertung</i>    |
| <u>70% Solarthermie + 30% Gas+Netz :</u><br>Bei 30% Gas 3LK = 0,27 & GLR = 10,21          | <i>Bewertung</i>   |
| <u>100% Pellets:</u><br>100% aus D, daher kein importinduziertes Konfliktrisiko           | <i>Bewertung</i>  |
| <u>Zukunftsnetz (aktueller Strommix):</u><br>Geringe Anteile importierter fE aus Strommix | <i>Bewertung</i>  |

# Schlaglicht 3: Konfliktpotential der eingesetzten Ressource



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## IZES

Prof. Dr. Katharina Gapp-Schmeling  
gapp-schmeling@izes.de

## Projektbeteiligte



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

Förderkennzeichen: 03EN3007

<https://www.kowa-projekt.de>

- AGFW (2020): Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung, 2020.
- Destatis - Statistisches Bundesamt (2021): Aus- und Einfuhr (Außenhandel): Deutschland, Jahre, Länder, Warensystematik. 51000-0007.
- Gapp-Schmeling, K. et al (2021): Nachhaltigkeitsbewertung kommunaler Wärmeversorgungsoptionen – Methodenbeschreibung, abrufbar unter: [https://www.kowa-projekt.de/wp-content/uploads/kowa/2021/10/KoWa\\_AP4-Methode-Konzeptbewertung\\_fin.pdf](https://www.kowa-projekt.de/wp-content/uploads/kowa/2021/10/KoWa_AP4-Methode-Konzeptbewertung_fin.pdf).
- Kaufmann, D., Kraay, A., Matruzzi, M. (2020): The Worldwide Governance Indicators (WGI).
- Rogall, H., Gapp-Schmeling, K., Welz, A. (2021): D. Trends der globalen Herausforderungen. In: Rogall, H., Gapp-Schmeling, K., Grothe, A., Michaelis, N., Ekardt, F., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Müller, M., Nutzinger, H. (Hrsg.): Jahrbuch Nachhaltige Ökonomie 2020/2021. Im Brennpunkt: Nachhaltiges Wirtschaften und Innovation. Weimar (Lahn) (Metropolis).
- Rogall, H., Gapp-Schmeling, K. (2021): Nachhaltige Ökonomie. Ökonomische Theorie und Praxis einer nachhaltigen Entwicklung - Band 1. Grundlagen der Wirtschaftswissenschaft Bd. 15. 3. Aufl. Marburg (Metropolis-Verl.).
- Rogall, H., Gapp, K., Goergens, K. (2018): Trends der globalen Herausforderungen. In: Rogall, H., Binswanger, H., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Im Brennpunkt: Zukunft des nachhaltigen Wirtschaftens in der digitalen Welt. Marburg (Metropolis Verlag).
- Rogall, H., Gapp, K., Brüning-Pfeiffer, A., Hewelt, F. (2016): Globale Trends. In: Rogall, H., Binswanger, H., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Im Brennpunkt: Ressourcenwende - Transformation zu einer ressourcenleichten Gesellschaft. Marburg (Metropolis Verlag): 347-408.
- Rogall, H., Gapp, K. (2016): Trends einer nachhaltigen Entwicklung in Europa und Deutschland. In: Rogall, H., Binswanger, H., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Im Brennpunkt: Ressourcenwende - Transformation zu einer ressourcenleichten Gesellschaft. Marburg (Metropolis Verlag): 409-431.
- Rogall, H. (2014): 100%-Versorgung mit erneuerbaren Energien. Bedingungen für eine globale, nationale und kommunale Umsetzung. Marburg (Metropolis-Verl.): 494 S.
- Rogall, H., Klausen, M., Haberland, R. (2014): Trends der globalen Herausforderungen. In: Rogall, H., Binswanger, H., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Im Brennpunkt: Die Energiewende als gesellschaftlicher Transformationsprozess. Marburg (Metropolis): 31-100.
- Rogall, H., Klausen, M., Haberland, R. (2013a): Trends der globalen Herausforderungen. In: Binswanger, H.-C., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Rogall, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Jahrbuch 2013 | 2014 Nachhaltige Ökonomie. Im Brennpunkt: Nachhaltigkeitsmanagement. Marburg (Metropolis): 57-117.
- Rogall, H., Klausen, M., Haberland, R. (2013b): Trends der globalen Herausforderungen. 2011. In: Binswanger, H.-C., Ekardt, F., Grothe, A., Hasenclever, W.-D., Hauchler, I., Jänicke, M., Kollmann, K., Michaelis, N., Nutzinger, H., Rogall, H., Scherhorn, G. (Hrsg.): Jahrbuch 2011 | 2012 Nachhaltige Ökonomie. Im Brennpunkt: Wachstum. 2. Aufl. Marburg (Metropolis-Verl.): 27-53.