

Wärmeversorgung eines Industriegebietes

Ökonomisch, technologisch und ökologisch sinnvoll

Eine Machbarkeitsstudie hat die Versorgung eines Industriegebietes in zwei Varianten untersucht.

Bei der Vision, die die zuständige Gemeinde von der Entwicklung des Areals hatte, spielten die ökonomischen, technologischen und ökologischen Ergebnisse eine wesentliche Rolle für die Entscheidung über weitere Schritte. | Joachim Wenzel



Abb. 1: Darstellung des Industriegebietes „Westfalen“

Über einen langen Zeitraum hat die Gemeinde Lippetal die Entwicklung des Industriegebietes „Westfalen“ an der Bundesautobahn 2 geplant. Die Wärmeversorgung des ca. 80 ha großen Grundstücks soll über das nahegelegene Kraftwerk „Westfalen“ erfolgen (Abb. 1). Ein Ziel des Landes Nordrhein-Westfalen ist es, den Anteil des durch Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) erzeugten Stroms von derzeit ca. 10% auf 25% bis 2020 zu erhöhen.

Eine Machbarkeitsstudie (gefördert durch die Zuwendung des Landes NRW und der Europäischen Union, Förderung im Rahmen des Landesprogramms progress.nrw; Programmbereich KWK und des NRW-FU Ziel 2 Programms EFRE, Phase VI, 2007 – 2013 Rd. Frl. des MKU/RV NRW vom 19.10.2012, MBl NRW, 2012 vom 20.11.2012, S. 695; Durchführung einer Umweltstudie auf Basis der Landesstudie „Potentialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in Nordrhein-Westfalen“, (Nr. 2.7 der o.a. Richtlinie); Slogan „Investition in unsere Zukunft“) hat in zwei Varianten die Versorgung des Industriegebietes untersucht. In Variante 1 erfolgt die Versorgung des Industriegebietes mit Nutzwärme aus dem Kraftwerk „Westfalen“. Der Strom wird aus

dem Versorgungsnetz des zuständigen Netzbetreibers zur Verfügung gestellt. Für die Versorgung stehen zwei Möglichkeiten der Leitungsführung zur Verfügung: zum einen durch die Schutzgebiete „Matus 2007/FFH-Gebiet „Lippeaue“ und den „Mentropen Wald“ unterhalb der Lippe (Variante 1.1) und zum anderen die Leitungsführung entlang der BAB 2 unter Umgehung der Schutzgebiete (in Variante 1.2). Als Referenz wird in der Variante 2 die Wärmeversorgung der jeweiligen Unternehmen (Wärmeverbraucher) mit dezentralen erdgasbefeuerten Dampfzweikanlagen der Variante 1 gegenüber gestellt.

Definition der Wärmeverbraucher

Die Definition der Wärmeverbraucher basierte auf der Annahme, dass mittelständisch geprägte Unternehmen für die Ansiedlung in dem Industriegebiet „Westfalen“ gewonnen werden können. Unter diesem fiktiven Ansatz wurden Unternehmen aus den Branchen Fleischverarbeitung, Brauerei- und Molkereiwesen und der Papierherstellung energetisch betrachtet. Alle Unternehmen zeichnen sich durch einen ganzjährig hohen und konstanten Bedarf an Prozesswärme aus, der überwiegend zur Produktion der Güter sowie für die Beheizung der Räume und für die Warmwasserbereitung genutzt wird. Die Ermittlung des Nutzwärmebedarfes der Verbraucher erfolgte auf Basis der Studie „Potentialerhebung von Kraft-Wärme-Kopplung in NRW“ und zusätzlich basierend auf eigenen Machbarkeitsstudien für Unternehmen aus den zuvor beschriebenen Branchen. Die Abschätzung des Nutzwärmebedarfes entstand auf Grundlage der „Grobmethode“, in der der jeweilige spezifische Wärmebedarf je Rohmaterialeinsatz mit der jährlichen Produktionsmenge in Ansatz gebracht wird (Gleichung (1)).

$Q = q \text{ Wärme/Produktionsmenge} \times m \text{ Produktion (1)}$
Die thermische Leistung des jeweiligen Unternehmens wurde aus dem Nutzwärmebedarf durch Division der jeweiligen Vollbenutzungstundenzahl berechnet (Gleichung (2)).

$$P_{\text{Betrieb}} = \frac{\dot{Q}_{\text{Betrieb}}}{\eta_{\text{KW, Betrieb}}} \quad (2)$$

Tabelle 1: Gesamt-Nutzwärmebedarf Industriegebiet „Westfalen“

Industriebranche	Gesamt-Nutzwärmebedarf Industriegebiet „Westfalen“			
	Nutzwärmebedarf (MWh/a)	Wärmeleistung (MW)	Wärmeleistungstunden (h/a)	benötigte Fläche (ha)
Fleischverarbeitung	45.500	19	2.400	8
Brauerei	22.800	5	3.800	9
Molkerei	152.000	26	4.500	21
Papierindustrie	598.400	92	7.200	28
Gesamt	928.800	157	5.915	64

Die Nettofläche des Industriegebietes beträgt 64 ha, denn ca. 20 % der Fläche wurden für die erforderliche Infrastruktur in Abzug gebracht. Da nicht alle Unternehmen zeitgleich die maximale Leistung benötigen, wurde ein Gleichzeitigkeitsfaktor (GZF) bei der hier gegebenen Verbrauchsstruktur in Höhe von 0,65 berücksichtigt. Die maximale Wärmeleistung beträgt somit 102 MW, was einem Dampfmassenstrom von 185 t/h entspricht. Zur Darstellung der Wärmeleistung über die Zeit sind in Abbildung 2 die Jahresdauerlinien der Unternehmen sowie die resultierende Jahresdauerlinie abgebildet.

Die Auslastung der Wärmeleistung für den Betrieb des Kraftwerkes ist hoch. Es zeigt sich eine hohe Auslastung der Wärmeleistung für den Betrieb des Kraftwerkes. Dies ist für den Betrieb des Kraftwerkes, sowie für die Ermittlung des Dampfbezugspreises von großer Bedeutung. Nach Auswertung der Anschlusskriterien der Verbraucher, die in Tabelle 2 enthalten sind,

Tabelle 2: Zusammenfassung der Anschlusskriterien der Unternehmen (Verbraucher)

Industriebranche	Anschlusskriterien der Unternehmen (Verbraucher)	
	Betriebstemperatur (°C)	Betriebsüberdruck (bar)
Fleischverarbeitung	180	10
Brauerei	170	8
Molkerei	160	6
Papierindustrie	180	10

beträgt die maximale Betriebstemperatur der zu versorgenden Unternehmen 180 °C bei einem Betriebsüberdruck von 10 bar. Da der Dampf innerhalb der Unternehmen bis an die einzelnen Verbraucher weitergeführt werden muss, wurden eine Überhitzungstemperatur von 5 K und ein zusätzlicher Druckverlust von 1 bar berücksichtigt, um einen geringen Kondensatarbeit in den Leitungen zu den Verbrauchern und den erforderlichen Versorgungsdruck zu ihnen sicherzustellen.



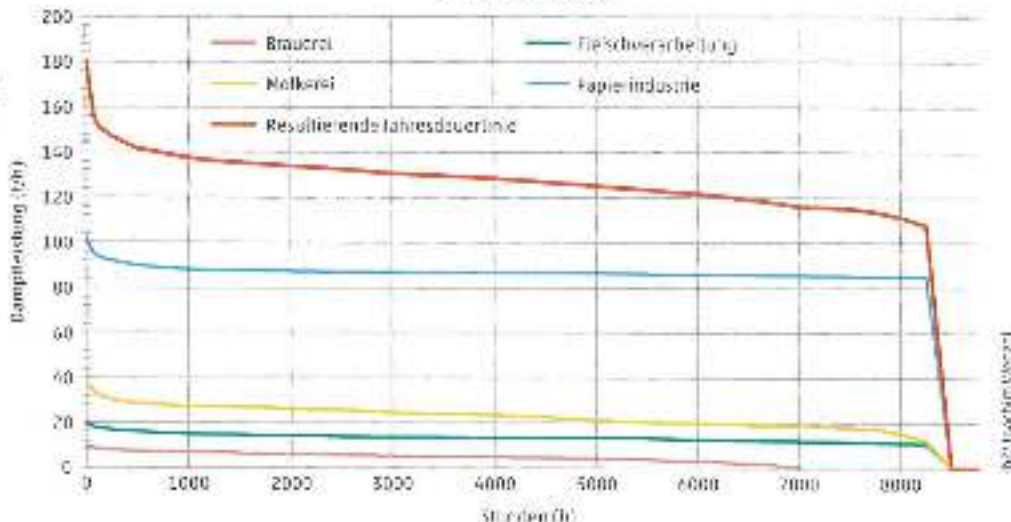
Abb. 3: Darstellung der Trassenführung, Variante 1.2

Definition der Trassenverläufe und der Rohrleitungsart

Um die Anschlusskriterien an die Systeme im Kraftwerk zu definieren, wurde der jeweilige Trassenverlauf für die Berechnung des Temperaturabfalls und Druckverlusts festgelegt. Die Trasse beinhaltet die Rohrleitungen für das Dampf-, Strecken- und Verbraucherkondensat sowie Kabel für die Spannungsversorgung und Datenkommunikation der Kondensations-, Mess- und Überwachungsanlagen. Alle Medien werden an den Übergabepunkten der Unternehmen gemessen; die Anlagen sind in unterirdischen Bauwerken angeordnet.

Die Unterquerung der Trasse erfolgt für die Medien mit einem Dükler. Die Düklerung ist ein umweltschonendes Verfahren, das schon häufig für die Unterquerung von Gewässern angewandt wurde. Ein direkter Kontakt

Abb. 2: Jahresdauerlinien der Unternehmen und resultierende Jahresdauerlinie der Wärmeleistung.



der Rohrleitungen mit dem Flusswasser findet nicht statt. Das Gebiet, in dem die Rohrleitungstrasse verläuft, ist als Schutzgebiet deklariert: Beachtet werden müssen die Auflagen der Schutzgebiete Natura 2000/FFH Gebiet „Uppeaupe“ und „Uentropen Wald“. Die Länge der Rohrleitungstrasse bis zum Netzanchlusspunkt beträgt ca. 1.900 m. Der Verlauf bis zur Tippe und von dort bis zum Industriegebiet „Westfalen“ mit Unterbrechung durch die Unterquerung der Tippe ist mit stetigem Gefälle möglich.



Abb. 4: Darstellung der Wasserleitung, Variante 1.2

Zur Querung der Autobahnbrücke ist die Rohrleitungstrasse unterhalb der Autobahnbrücke zu führen. Eine Übertragung von Schwingungen ausgehend von der Autobahnbrücke auf die Rohrleitungstrasse ist zu unterbinden, um Materialermüdungserscheinungen und somit Zersplitterungen an den Rohrleitungen und Kabeln zu vermeiden. Dafür kamen besondere schwingungsentkoppelte Halterungen zum Einsatz. Eine Schwerlastausführung, insbesondere bei der Querung des Zubringers zur LB22, wurde aufgrund der Unterquerung mehrerer Straßen vorgesehen. Der Trassenverlauf auf dem geplanten Industriegebiet ist ähnlich wie bereits zuvor beschrieben. Die Länge der Rohrleitungstrasse bis zum Netzanchlusspunkt beträgt ca. 3.100 m.

Für die Konzeption der Rohrleitungsführung wurden nachfolgende Bodenkriterien angenommen:

- Bodenklasse gem. DIN 18300: bis 4 (mittelschwer lösliche Bodenarten)
- Grundwasserhöhenkategorie max.: bis 3 m unter OK Flur
- Bodenchemie: keine außergewöhnlichen Kontaminationen
- Straße querung: Schwerlastbetrieb

Als Verlegeart der Rohrleitungstrasse wurde die „unter Flur“-Verlegung gewählt, weil diese die geringsten Anforderungen an die ökologische Integrität in die Umgebung stellt.

Für den Transport der Medien Dampf und für die Ableitung des Strahlenkondensates wurde ein „Sicherheits-Stahlmantel“-Rohr gewählt, das aus einem PE-beschichteten Stahlmantelrohr besteht. Dieser Teil des Rohres schützt das Innenrohr, welches mit seiner Isolierung mit einem

Ringraum vom Mantelrohr getrennt ist. Das Medium wird im Innenrohr geführt.

Die Betriebsüberwachung des Sicherheits-Stahlmantel-Rohres erfolgt mit einer Überwachung des Ringraumes. Nach den Montagen erfolgt die Evakuierung des Ringraumes zur Entfernung der Feuchtigkeit aus der Isolierung und dem Ringraum selbst.

Ein automatisch arbeitendes Melde- und Ortungssystem überwacht ständig und lückenlos die Dichtigkeit des gesamten Stahlmantel-Sicherheitsrohrnetzes.

Der Korrosionsschutz des Stahlmantel-Sicherheitsrohrnetzes erfolgt kathodisch mit einer Korrosionsschutzanlage. Dieses Schutzsystem wurde hier vorgesehen, da nachfolgende Randbedingungen möglicherweise gegeben sind:

- Böden mit unterschiedlichen Bodenwiderstandswerten
- Feucht-Gebiete (Flussunterquerung der Tippe)
- streustromgefährdete Lagen

Mit den genannten Sicherheitsmaßnahmen wird sichergestellt, dass Betriebsmedien nicht in den Boden gelangen können.

Der Kondensattransport aus dem Unternehmen erfolgt mit einem kunststoffummantelten Sicherheitsrohr (KM-Rohr). Dieses Rohr besteht aus einem PE-HD-beschichteten Mantelrohr. Dieser Teil des Rohres schützt das Innenrohr mit seiner Isolierung. Das Medium wird in dem Innenrohr geführt.

Die Betriebsüberwachung des KMR-Sicherheitsrohres erfolgt mit einer Überwachung der Isolierung. Ein automatisch arbeitendes Melde- und Ortungssystem kontrolliert auch hier ständig und lückenlos die Dichtigkeit des gesamten KMR-Sicherheitsrohrnetzes. Mit obigen Sicherheitsmaßnahmen wird sichergestellt, dass Betriebsmedien nicht in das Erdreich gelangen können. Die Dimensionierung sowie die Berechnung des Temperaturabfalls und des Druckverlustes der Rohrleitungen erfolgten auf Basis der dargestellten Trassenverläufe. Die Berechnungen (Tabelle 3) wurden nach den allgemein bekannten Gleichungen der Wärmeübertragung und der Strömungslehre vorgenommen.

Tabelle 3: Berechnungsergebnisse des gesamten Temperaturabfalls und des gesamten Druckverlustes des Dampfnetzes

	Einheit	Variante 1.1	Variante 1.2
Dampf Temperatur Unternehmen	[°C]	185	185
Temperaturabfall Haupt-Dampfleitung	[K]	12,1	19,9
Temperaturabfall Dampfnetz	[K]	5,3	5,9
Dampfleitfähigkeit Beginn Dampfnetz	[°C]	202,6	210,8
Dampfdruck Unternehmen	[bar]	11	11
Druckverlust Dampfleitung	[bar]	2,8	5,3
Druckverlust Dampfnetz	[bar]	1,2	1,5
Dampfdruck Beginn Dampfnetz	[bar]	14,3	15,8

Bild: dachstuhl-werke.de

Tabelle 4: Werte der bereit zu stellenden Dampfparameter für Variante 1.1 und 1.2

	Durchmesser (DN)	Massenstrom (t/h)	Temperatur (°C)	Druck (bar)
Dampf	600	105	220	15

Das in dem Dampfnetz anfallende Streckenkondensat wird in einer parallel zur Dampfleitung geführten Leitung ca. alle 100 m mit Kondensatableiter abgeleitet und zurückgeführt. Die aus dem Kraftwerk bereitzustellenden Dampfparameter sind in Tabelle 4 enthalten. Die Kondensatrückspisestationen haben die Aufgabe, das in den Unternehmen anfallende Kondensat zu sammeln und in das Kraftwerk zurückzuführen (Tabelle 5). Der Kondensatanfall wurde mit 60 % des Dampfmassenstroms berechnet.

Tabelle 5: Werte des zurückgespülten Kondensates in das Kraftwerk für Variante 1.1, 1.2

	Durchmesser (DN)	Massenstrom (t/h)	Temperatur (°C)	Druck (bar)
Kondensat	200	112	95	1

Gegen Verunreinigungen des Kondensates sind Messvorrichtungen mit Ableitstation vorgesehen, die eine mögliche Kontamination des Bodens durch Störungen innerhalb der Unternehmen verhindern.

Wärmeauskopplung des Kondensates aus dem Kraftwerk „Westfalen“

Nach Angabe des Energieunternehmens ist die Auskopplung von Prozessdampf bereits bei der Konzeption der neuen Blöcke D und E (Dampfturbine) vorgesehen. Dazu ist in der Mitteldruckstufe der Dampfturbine ein Entnahmekolben (Wandanzapfung) vorhanden. Unterhalb der Dampfturbinenmindertlast erfolgt die Dampfversorgung über einen Anschluss an die Rohrleitung der kalten Seite der Zwischenbeheizung vor dem Dampfkessel. Die Dampfverbraucher, insbesondere der Verbraucher Papierindustrie bei einem Schnellschluss an der Papiermaschine, besitzen eine hohe Lastdynamik. Zur Gewährleistung eines sicheren Dampfturbinenbetriebes wird eine Dampfdruck- und Temperaturregelstation mit Schnellschlussfunktion in der Dampfentnahme vorgesehen.

Desweiteren erfordern die Dampfverbraucher eine hohe Verfügbarkeit, sodass eine gesicherte Dampfversorgung vorgesehen werden muss. Derzeit sind drei heizöl-befeuerte Hilfsdampferzeuger mit je 50 t/h installiert, die je nach Betriebsweise der Kraftwerksblöcke die Besicherung der Dampfversorgung ermöglichen. Die Lastfälle sind nachfolgend beschrieben, wobei die Betriebsgenehmigung für einen Dauerbetrieb geändert werden muss.

- Fall 1: Kein Block in Betrieb: Hier sind zwei Hilfsdampferzeuger in Betrieb, da zu diesem ca. 100 t/h inkl. Energie für Nebenanlagen erforderlich sind – keine Besicherung möglich.
- Fall 2: Block D oder E in Betrieb: Hier ist max. 1

Hilfsdampferzeuger für die Erzeugung von Deckdampf für die Kesselspeisepumpe und evtl. für das Heranfahren der Blöcke von ca. 50 t/h erforderlich sind – Besicherung bis 100 t/h möglich.

- Fall 3: Block D und E in Betrieb: es ist kein Hilfsdampferzeuger erforderlich; Besicherung bis 150 t/h möglich. Zukünftig ist es möglich, dass die Blöcke vermehrt ab- und wieder hochgefahren werden, sodass die Hilfsdampferzeuger zusätzlich benötigt würden. Die Wahrscheinlichkeit des Falls 1 würde somit zunehmen. Mit bekanntem Hintergrund wurde festgelegt, dass vorerst eine Dampfleitung zur Besicherung der Wärmerversorgung von 50 t/h zur Verfügung gestellt wird. Bei weiterer Entwicklung der Anschlussleistung wären z.B. zusätzlich erdgasbefeuerte Dampfkessel zu installieren.

Das von den jeweiligen Unternehmen zurückgeführte Kondensat wird auf wesentliche Kriterien wie Leitfähigkeit, Trübe, Temperatur und pH-Wert überwacht.

Das zurückgeführte Kondensat darf eine Temperatur von max. 40 °C nicht überschreiten. Dazu ist es möglich, das Kondensat über die Vorwärmstrecke vor dem Dampfkessel zu leiten. Das Temperaturniveau zur Kühlung des Kondensates ist dort vorhanden. Die Verlustmenge an Kon-



Abb. 6: Anordnung der Anschlusspunkte der Dampf- und Kondensatleitung und der VE-Wasseraufbereitungsanlagen

densat ist mit den vorhandenen VE-Wasseraufbereitungsanlagen auszugleichen. Derzeit verfügbare VE-Wasseraufbereitungsanlagen sind

1. Block D/E: Dort sind zwei Anlagen mit je 125 t/h vorhanden, wobei eine sich in Regeneration befindet. Die Kapazität variiert zwischen 90 bis 125 t/h. Ein VE-Wasserspeicher von 1.000 m³ steht zusätzlich als Puffer bei Ausfall zur Verfügung.
2. Block C: Dort sind zwei Anlagen mit je 40 t/h vorhanden. Eine Linie ist zur Versorgung ausreichend, da im Störfall die Versorgung bereits aus einem VE-Wasserspeicher erfolgt. Die zweite Linie steht somit zur VE-Wasserversorgung des Industriegebietes zur Verfügung. Die Linie wäre dann teilweise für diesen Betrieb zu automatisieren.

Mit den obigen VE-Wasseraufbereitungsanlagen kann eine Nachspisemenge an VE-Wasser von ca. 40 t/h gesichert zur Verfügung gestellt werden. Bei höherer

Nachspeisemenge sind zusätzliche VE (Wasseraufbereitungs- und Speisepumpen) zu errichten.

Beeinflussung des Kraftwerks-Nutzungsgrades η

Die Wärmeauskopplung hat zur Folge, dass vor bzw. in der Dampfturbine (Wärderanzapfung) Wärme (Dampf) entnommen wird, sodass sie sich in ein „Kraft-Wärme-Kraftwerk“ verwandelt. Die Dampfturbine arbeitet dann als Entnahme-Kondensations-Turbine, ihre elektrische Stromerzeugung nimmt ab (Abb. 6).

Die Entnahme von Wärme hat eine Steigerung des Kraftwerks-Nutzungsgrades zur Folge. Die Veränderung ergibt sich aus der Gleichung (3), indem zusätzlich die Wärme $\dot{Q}_{K,100\%}$ als Nutzenergie Berücksichtigung findet:

$$\eta = \frac{P_{K,100\%} + \dot{Q}_{K,100\%}}{\dot{Q}_{B,100\%}} \quad (3)$$

- $P_{K,100\%}$ = elektr. Leistung Heizkraftwerk
- $\dot{Q}_{K,100\%}$ = Wärmeleistung Heizkraftwerk
- $\dot{Q}_{B,100\%}$ = Brennstoffleistung Heizkraftwerk
- η = Nutzungsgrad Heizkraftwerk

Durch die Entnahme von Wärme (Dampf) vor bzw. in der Dampfturbine reduziert sich deren elektrische Leistung. Die Bewertung erfolgt mit der Stromverlustkennziffer:

Die Stromverlustkennziffer ist das Verhältnis der Minderung der elektrischen Leistung im Heizkraftbetrieb $P_{K,100\%}$ gegenüber derjenigen bei reinem Kondensationsbetrieb $P_{K,100\%}$ zum ausgekoppelten Wärmestrom $\dot{Q}_{K,100\%}$ und ist in Gleichung (4) aufgeführt:

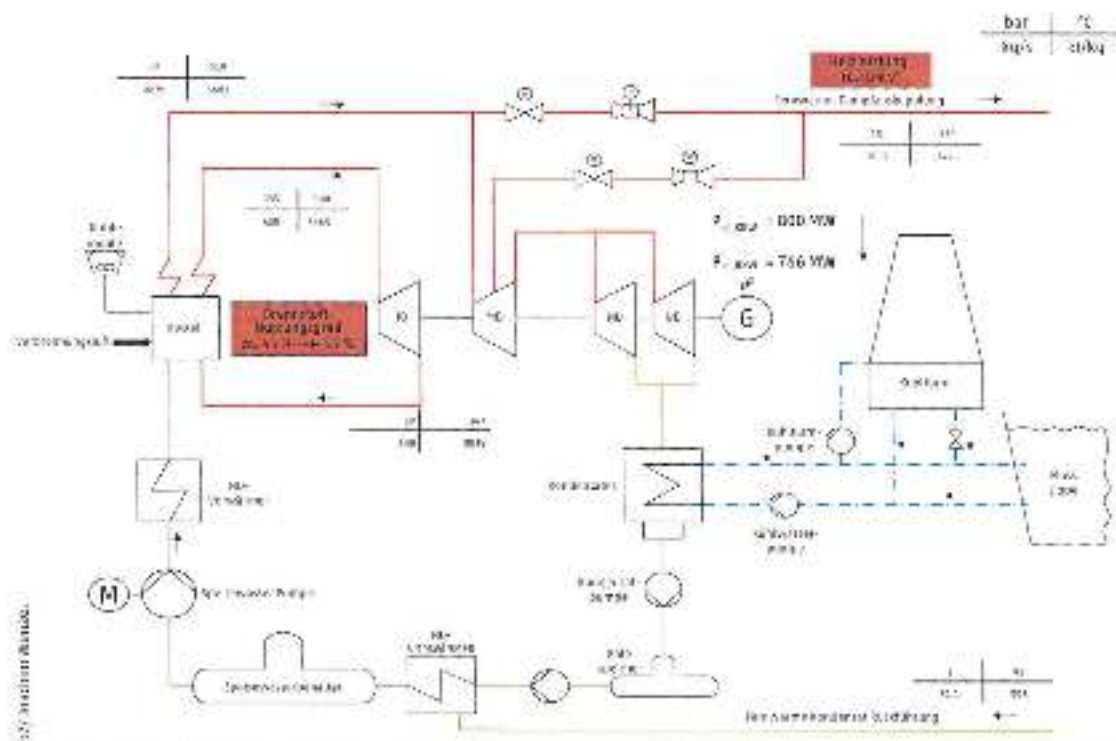
$$T = \frac{P_{K,100\%} - P_{K,100\%}}{\dot{Q}_{K,100\%}} \quad (4)$$

$P_{K,100\%}$ = elektr. Leistung Kondensationskraftwerk
Nachfolgend ist die Stromverlustkennziffer für Block D und E in Abhängigkeit der Last aufgeführt:

- Block mit 100 % Last: 0,332
- Block mit 70 % Last: 0,345
- Block mit 40 % Last: 0,374

Die elektrische Leistung $P_{K,100\%}$ beträgt bei 100 % Last 766 MW, sodass sich durch die Wärmeentnahme aus der Dampfturbine die Stromleistung um 54 MW reduziert:

Der Nutzungsgrad erhöht sich somit gem. Gleichung (3) für den Vollastbetrieb für Block D und E von 44 % auf 53 %. Somit ist durch die Wärmeauskopplung aus dem Kraftwerk „Westfalen“ eine Steigerung des Kraftwerksnutzungsgrades um ca. 7 % erzielbar.



	Block D/E	Block D/E
Elektr. Leistung	800 MW	766 MW
Brennstoff		
Nutzungsgrad	44,44 %	53,55 %
Kraftwerk Nutzungsgrad	Steigerung um ca. 7 %	

Abb. 6: Heizkraftwerk „Westfalen“, Darstellung der geänderten Schaltung als „Kraft-Wärme-Kraftwerk“

Primärbrennstoff- und CO₂-Einsparung

Eine Primärbrennstoffeinsparung des Kraftwerks wird durch die Wärmeauskopplung nicht erzielt, sodass das Kraftwerk direkt keine CO₂-Emissionen einspart. Der Zusammenhang geht aus Gleichung (5) hervor, wenn diese nach $\dot{Q}_{\text{Wärme}}$ umgestellt wird. Dieser Zusammenhang ist auch in dem AGFW-Arbeitsblatt FW 508 in Bild 3, Energiebilanzen, dargestellt.

Die vermiedenen Emissionen resultieren aus dem eingesparten Brennstoff und somit den Emissionen der Dampfkesselanlagen in den jeweiligen Unternehmen gem. Variante 2 (Tabelle 6).

Tabelle 6: Eingesparte CO₂-Emissionen bei einer dezentralen Energieversorgung mit Dampfkesselanlagen

Faktornutzwärmebedarf	(MWh _{th} /a)	928.800
Faktornutzungsgrad Dampfkesselanlagen	(%)	0,85
Jahresbrennstoffbedarf Dampfkesselanlagen	(MWh _{th} /a)	1.092.706
Emissionsfaktor Erdgas	(t/MWh)	0,202
CO ₂ -Einsparungen	(t/a)	242.799

Die ersparten CO₂-Emissionen betragen somit 242.799 t/a. Es zeigt sich ein signifikanter ökologischer Vorteil, wenn die Energieversorgung des Industriegebietes mit dem Kraftwerk „Westfalen“ erfolgt.

Dezentrale Versorgung des Industriegebietes (Variante 2)

Als Referenz zu der Variante 1 wird in der Variante 2 die Wärmeversorgung der jeweiligen Verbraucher mit dezentralen erdgasbefeuerten Dampfkesselanlagen dargestellt.

vorgesehen wurden komplette betriebsfertige gasbetriebene Dampfkesselanlagen inklusive Nebenanlagen und Gebäude (Die Auslegungsdaten der Dampfkesselanlagen sind der Tabelle 2 zu entnehmen). Ihre Versorgung macht eine neue Erdgasinfrastruktur erforderlich. Hierzu steht ein 16 bar-Netz zur Verfügung. Die Länge der Gasversorgungsleitung beträgt ca. 2.500 m.

Wirtschaftlichkeitsberechnung der Versorgungsvarianten

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung bewertet ökonomisch die dargestellten Versorgungsvarianten. Die Wirtschaftlichkeit der Versorgung des Industriegebietes durch das Kraftwerk ist dann gegeben, wenn die Wärmegestehungskosten der Versorgung durch das Kraftwerk geringer sind als die dezentralen Versorgung mittels Dampfkessel je Unternehmen.

Die Wirtschaftlichkeitskriterien umfassen die Gesamtjahreskosten der Wärmeversorgung (netto) und die spezifischen Kosten der Wärmeversorgung (netto).

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde in Anlehnung an die VDI 2067 T 1 mit Stand 2012 vorgenommen. Sie beinhaltet die Ermittlung der Kostenarten kapital-, bedarfs-, betriebsgebundene (inkl. Instandsetzung) und sonstige Kosten (Versicherungen, Allgemeine Kosten). Als finanzmathematisches Verfahren wurde die „Annuitätenmethode“ angewendet.

Mit der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde geprüft, ob Fördermittel für die Wärmeversorgung in Anspruch genommen werden können. Die Voraussetzungen für eine Förderung der Maßnahmen nach dem Kraft-Wärme-Kopplungs-Gesetz (KWKG) mit 30 % waren gegeben, da überwiegend Rohrleitungen, die größer als DN 100 sind, zum Einsatz kamen.

Variante 1

Die Kosten der erforderlichen Anlagen wurden auf Basis der zuvor beschriebenen Trassenführung ermittelt; sie sind netto (ohne ges. Mehrwertsteuer) mit Preisbasis 2016. In Tabelle 7 sind die Rahmenbedingungen für die Ermittlung der Gesamtjahreskosten / spezifische Kosten der Wärmeversorgung enthalten.

Tabelle 7: Angaben zur Berechnung der Gesamtjahreskosten, spezifischen Kosten der Wärmeversorgung

Dampfbezugspreis (€/MWh)	(€/MWh)	29,54
Preis für CO ₂ -Zertifikate	(€/t)	15,00
Strompreis (Mischpreis)	(€/kWh)	14,00
WL-Wasserpreis	(€/m ³)	6,26
Zusätze	(%)	8
Zeitraum T	(a)	gem. 90x 2067

Der in Tabelle 7 angegebene Dampfbezugspreis ist nicht unabhängig von den Volllaststunden des Kraftwerkes und bezieht sich auf ca. 6.000 h/a Volllaststunden. Bei Volllaststunden in Höhe von ca. 8.000 h/a würde sich der Dampfbezugspreis auf 35,34 €/MWh verringern. Abbildung 2 zeigt, dass die Volllaststunden erzielbar wären.

Der Preis für CO₂-Zertifikate wurde deutlich höher in Ansatz gebracht, da davon ausgegangen wurde, dass durch die beabsichtigte Verknappung von CO₂-Zertifikaten der Preis ansteigen wird.

In der Tabelle 10 sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung zusammengestellt.

Variante 2

Die Ermittlung der Kosten für die aufgeführten Anlagen wurden auf Basis der zuvor beschriebenen Anlagentechnik ermittelt. Die Kostenberechnung erfolgte auf Grundlage der in Tabelle 8 enthaltenen Daten.

Tabelle 8: Angaben zur Berechnung der Kosten

Erdgasbezugspreis	(€/MWh)	35,73
Preis für CO ₂ -Zertifikate	(€/t)	15,00
CO ₂ -Emissionsfaktor	(t/MWh)	0,224
FZ-Faktor für Zuteilung an kostenlosen Zertifikaten in 2026		0,58
Heizwert H _h	(kWh/m ³)	10,00
H _h /H _u		1,1
Jahres-Dampfessel-Belastungsgrad	(%)	85
Strompreis (Mischpreis)	(ct/kWh)	14,00
VE-Wasserpreis Dampfzweikanlage	(€/m ³)	6,5
Zinsfaktor z	(%)	8
Zeitraum T	(a)	gem. 2067

Der Erdgas-Mischbezugspreis wurde in Abhängigkeit des Erdgasbedarfes der Unternehmen gewichtet, da in der Wirtschaftlichkeitsberechnung die Anlagen der Unternehmen zusammengefasst sind.

Gemäß der Richtlinie 2003/87/EG, Artikel 9(1)(d) ist ein Faktor für die Zuteilung an kostenlosen Zertifikaten bis 2020 zu berücksichtigen.

Der VE-Wasserpreis wurde auf Basis des Trink-/Abwasserpreises der Gemeinde Lippetal unter Beachtung der Kosten für Energie und Chemikalien ermittelt. In Tabelle 9 sind die Gesamtjahreskosten und die spezifischen Kosten der Wärmeversorgung enthalten.

Tabelle 9: Darstellung der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung, Gesamtjahreskosten und die spezifischen Kosten der Wärmeversorgung

Variante	Gesamtkosten (€k)	Gesamtjahreskosten (€k/a)	spezifische Kosten (€/MWh)
1.1 Trassenführung unterirdisch ohne Förderung	26.426	39.225	42,23
1.1 Trassenführung unterirdisch mit Förderung	19.257	38.579	41,54
1.2 Trassenführung entlang der WZ z.B. Förderung	32.188	39.830	42,88
1.2 Trassenführung entlang der WZ z.B. Förderung	25.428	39.045	42,04
2.2 Zentral mit Dampfzweikanlage	56.791	54.486	58,66

Die Gesamtkosten der Variante 1.1 sind im Vergleich zur Variante 1.2 – bedingt durch den kürzeren Trassenverlauf geringer. Der Einfluss der Förderung ist signifikant.

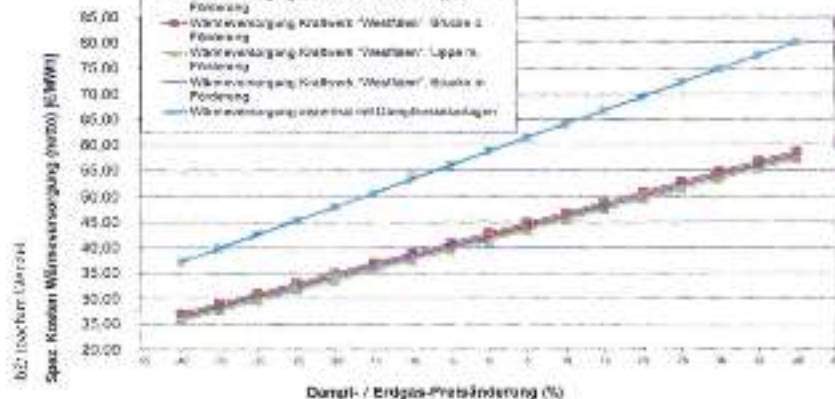
Die Gesamtkosten der Variante 2 sind deutlich höher, da in separate Dampfzweikanlagen für die Unternehmen sowie in die Erdgasinfrastruktur investiert werden müsste. Der Einfluss der kapitalgebundenen Kosten auf das Ergebnis ist nicht signifikant. Vielmehr sind die bedarfsgebundenen Kosten von größter Bedeutung; ihre Höhe ist deutlich abhängig vom Dampfbezugspreis bzw. vom Erdgas-Mischpreis (Variante 1.1/1.2 und bei Variante 2).

Sensitivitätsanalyse

Die Sensitivitätsanalyse zeigt, welche Variablen für die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung bedeutsam sind und somit besonders sorgfältig prognostiziert werden sollten. Wie zuvor deutlich wurde, sind in dieser

21

Sensitivitätsbetrachtung



Darstellung der spezifischen Kosten in Abhängigkeit des Dampf-/Erdgas-Preises

Betrachtung der Dampfbezugs- und Erdgaspreis die relevanten Variablen.

Die Vorteilhaftigkeit der Varianten 1.1 und 1.2 gegenüber der Variante 2 ist daraus ersichtlich. Desweiteren könnte der Dampfpreis um ca. 40 % ansteigen, bis eine Preisparität der spezifischen Kosten der Wärmeerzeugung zum Erdgaspreis erzielt würde. Somit wird die Rentabilität der Varianten 1.1 und 1.2 gegenüber der Variante 2 deutlich. Zusätzlich wurde zur Analyse die Variable Fremdkapitalzins betrachtet. Es zeigt sich, dass die Veränderung auf die spezifischen Kosten der Wärmeversorgung nicht signifikant ist.

Fazit und Ausblick:

Als Ergebnis aus der Machbarkeitsstudie lässt sich festhalten, dass die Versorgung des Industriegebietes „Westfalen“ ökonomisch, technologisch und ökologisch sinnvoll ist. Ein erster wesentlicher Schritt für die Umsetzung der Vision einer Entwicklung des Industriegebietes „Westfalen“ ist somit getan. Bei der Verwendung von mit Überwachungseinrichtungen ausgestatteten Stahlmantel- bzw. Kunststoffummantelten-Sicherheitsröhren wird nach der Instand der Technik eine Kontamination des Erdreichs vermieden. Die Bewertung möglicher Umwelteinflüsse ergab, dass diese beherrschbar sind. Die Auskopplung der Wärme hat eine Erhöhung des Kraftwerknutzungsgrades von 44 % auf 53 % zur Folge. Die CO₂-Einsparung beläuft sich auf 242.799 t/a.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat als Ergebnis, dass die Variante 1.1 mit Gesamthaberkosten in Höhe von 38.579 T€ (netto) und mit spezifischen Kosten in Höhe von 41,54 €/MWh die wirtschaftlichste ist. Dabei wurden auch die Fördermöglichkeiten nach dem KWKG berücksichtigt. Die weitere Sensitivitätsbetrachtung unterstützt zusätzlich das oben genannte Ergebnis.

Für die weitere Subjektentwicklung sollte zudem geklärt werden, wie das Kraftwerk „Westfalen“ unter den zukünftigen energiepolitischen Rahmenbedingungen betrieben wird (Einbindung in die Kaltreserve). ◀



JOACHIM WENZEL

▷ Dipl.-Ing.; hat das Geschäftsbereich Energiewirtschaft/Technik in der Ingenieurfirma Zammit GmbH entwickelt; seit 2010 Leiter der Niederlassung in Bergisch Gladbach und spezialisiert auf die Beratung, Planung und Bauüberwachung von konventionellen und regenerativen Energieversorgungsanlagen.