

Expertise Erneuerbare Energien im Fernwärmenetz Hamburg

- Handlungsalternativen GuD Wedel -

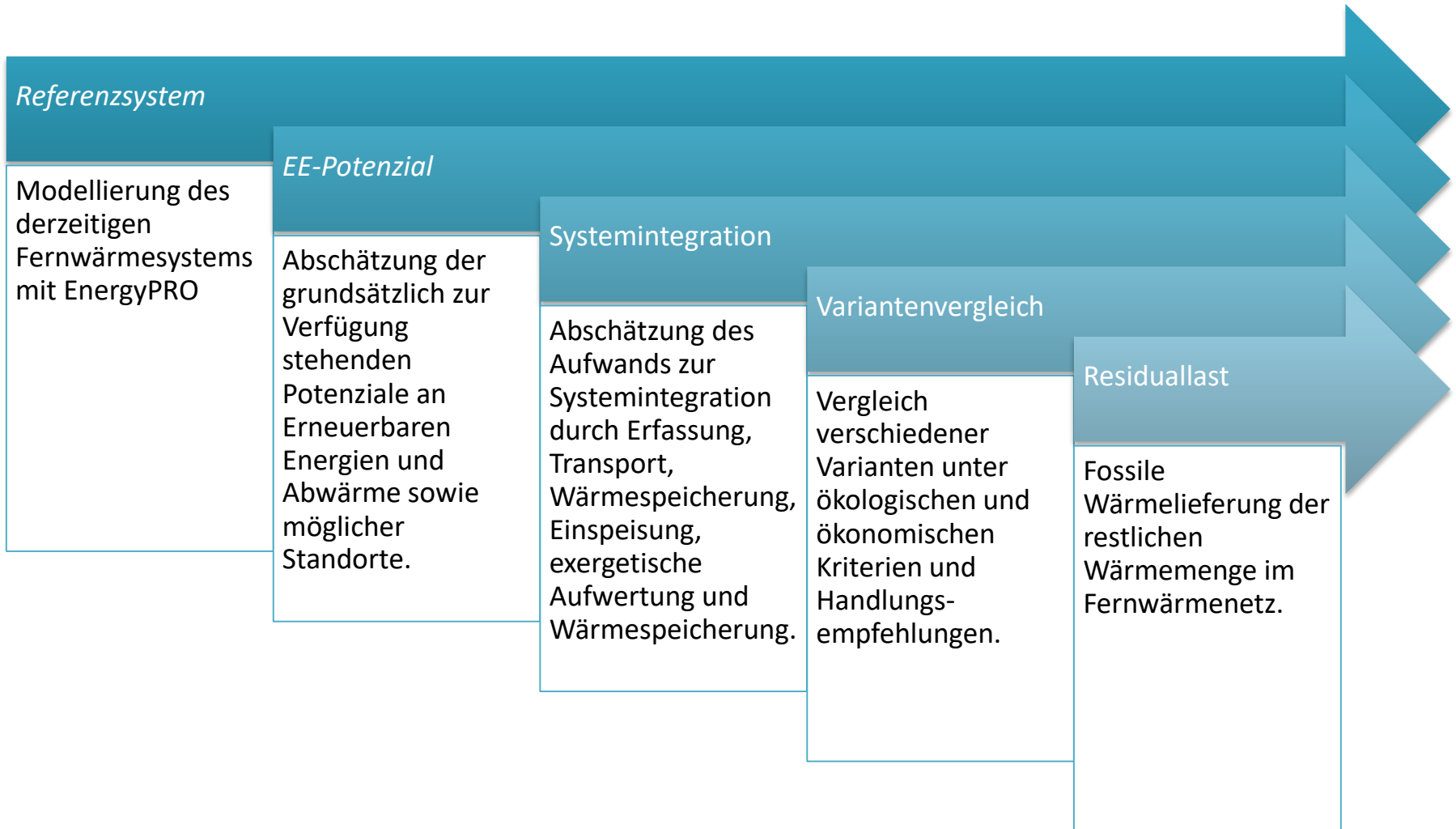
5. Sitzung des Energienetzbeirats Hamburg
19. Januar 2017

1. Entwicklung eines konkreten Handlungsvorschlags für den Ersatz des Heizkraftwerks Wedel

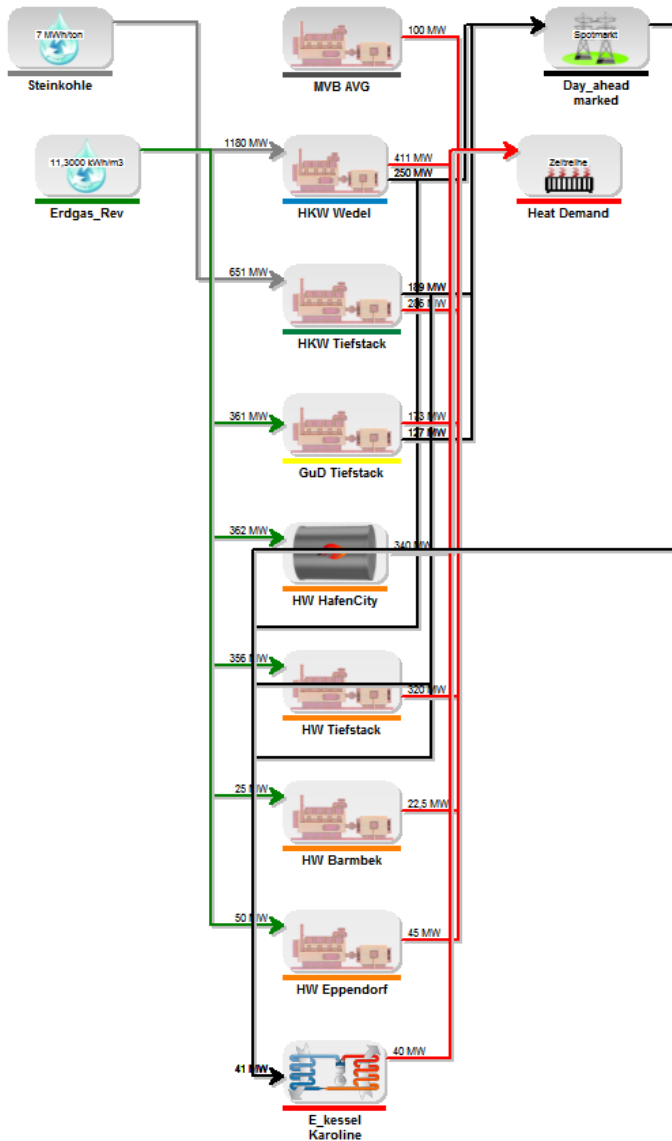
Der Handlungsvorschlag soll folgenden Zielsetzungen Rechnung tragen:

- Möglichst weitreichende Einbindung Erneuerbarer Energien und Industrieller Abwärme
- Möglichst kurze Restlaufzeit des kohlebefeuernden HKW Wedel
- Technische und wirtschaftliche Entwicklungsoffenheit im Hinblick auf die langfristigen Ziele

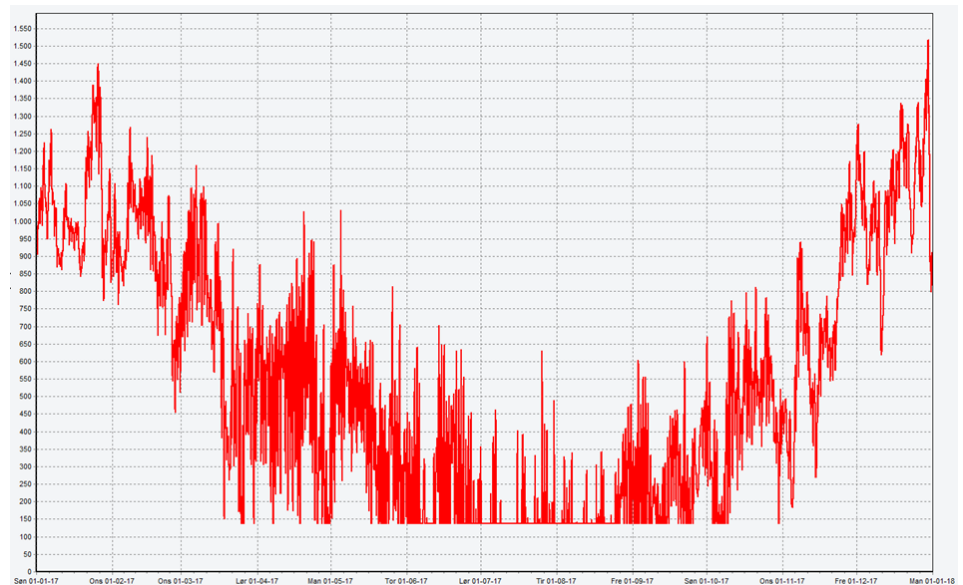
2. Langfristige Transformationsstrategie für die Hamburger Fernwärme in Richtung Erneuerbare Energien und Abwärme



Modellierung Fernwärmesystem Status Quo

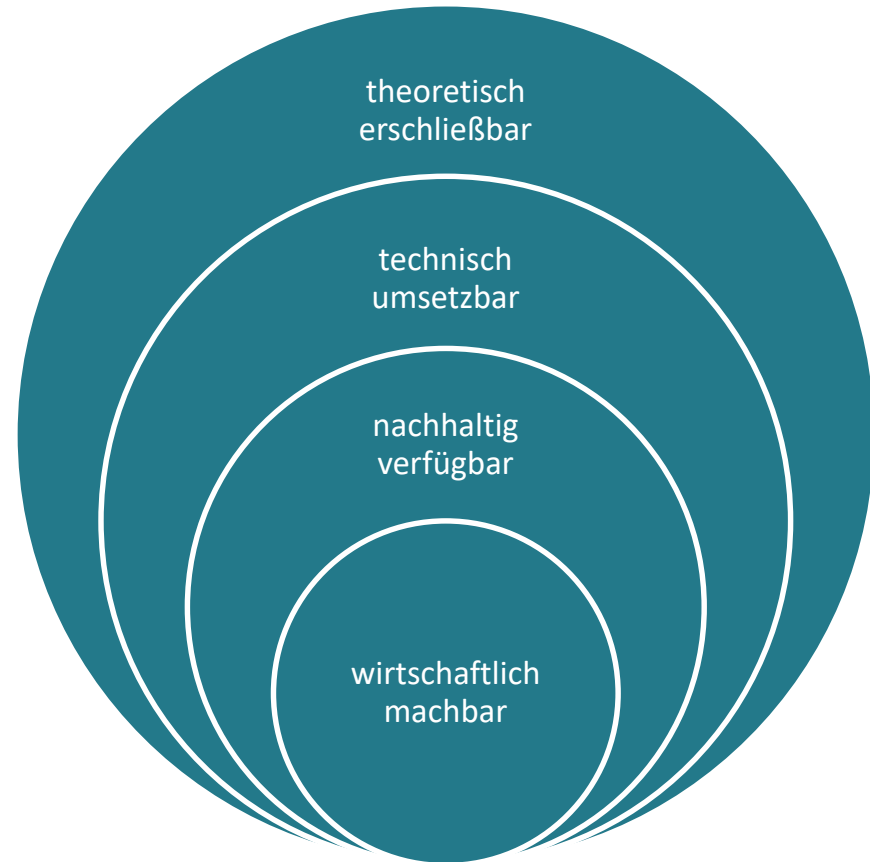


Wärmebedarf (kundenseitig) 4.125 GWh/a
Spitzenlast 1.518 MW



Heat production		1 Reference	
Waste incineration	MWh/a	876.000	18,2%
HKW Wedel	MWh/a	1.549.470	32,2%
HKW Tiefstack	MWh/a	1.436.347	29,8%
GuD Tiefstack	MWh/a	577.797	12,0%
Natural gas boilers	MWh/a	375.386	7,8%
Total	MWh/a	4.815.000	

- Bioenergie
- Abfall
- Solarenergie
- Geothermie
- Umweltwärme
- Industrie-Abwärme
- Gewerbliche Abwärme
- Power to heat

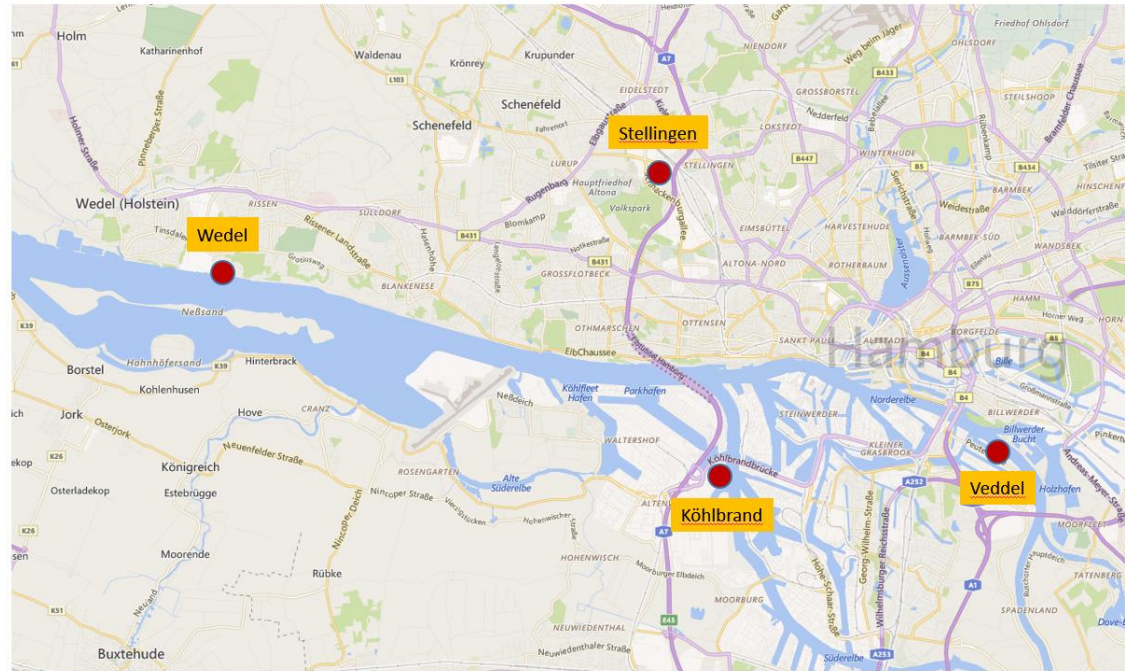


EE-Potenzial in der Metropolregion

Kurzfristig: Fünf EE-Energiequellen an vier Standorten



- Bioenergie
- Abfall
- Solarenergie
- Geothermie
- Umweltwärme
- Industrie-Abwärme
- Gewerbliche Abwärme
- Power to heat

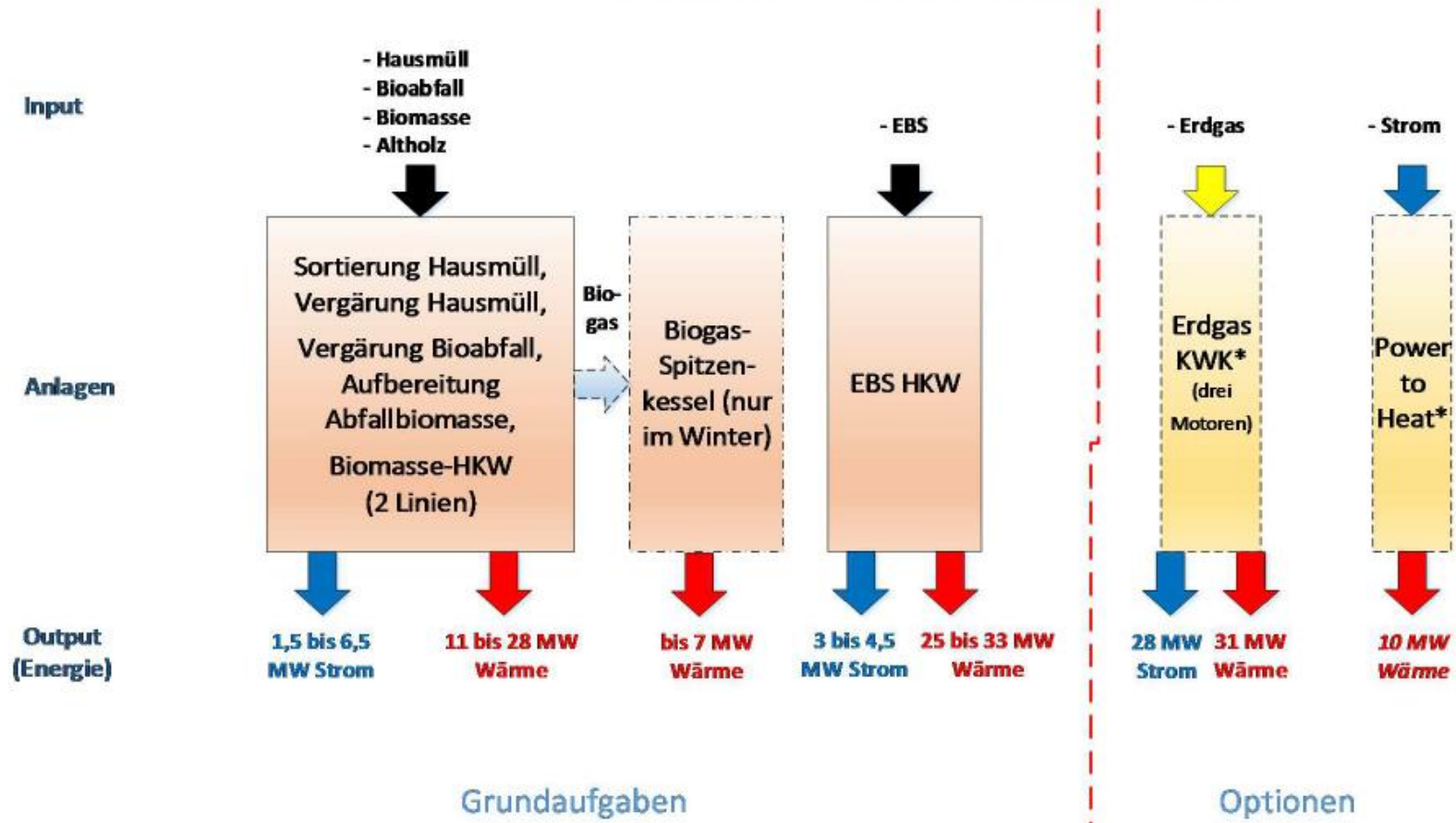


Standort Stellingen

Planung SRHH: Zentrum für Ressourcen und Energie



Zentrum für Ressourcen und Energie Stellingen



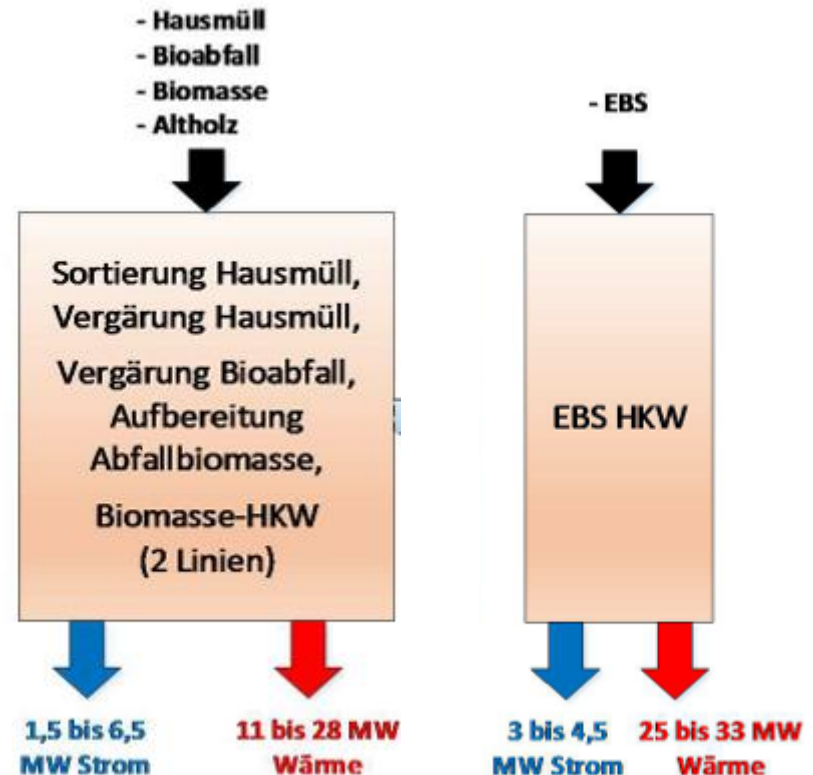
Grafik: SRHH

Standort Stellingen

modifiziertes Anlagenkonzept (Vorschläge)



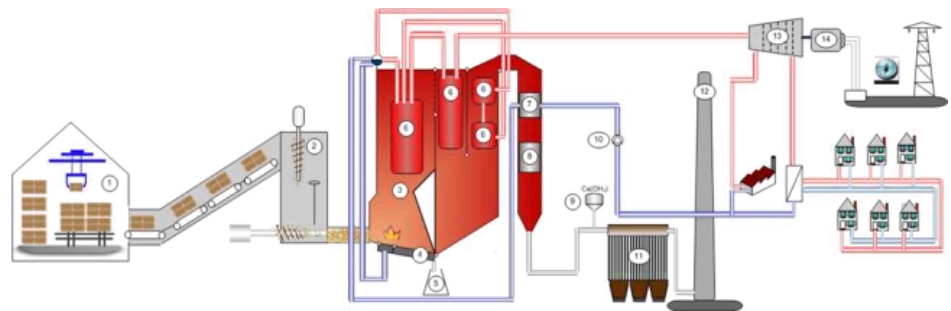
- Fokussierung des Konzepts auf Biomasse, Abfall und EBS. Kein Einsatz fossiler Brennstoffe (Erdgas-KWK).
- Maximierung der Wärmeproduktion. Stromerzeugung vorrangig für Eigenstrombedarf einsetzen (ca. 1,5 MW).
- Biogas vorrangig in Gasnetz einspeisen (7 MW Biogas-Heizkessel wird vorerst nicht berücksichtigt).
- Prüfung sollte erfolgen, ob EBS-Heizwerk statt HKW vorteilhafter ist.
- Anbindung durch Fernwärmetrasse an VWH-Netz (Pumpstation Bahrenfeld).
Ansatz Investition: 12 Mio. €
- **Indikative Wärmekosten (ohne Trasse):**
1,8 - 2,0 ct / kWh



Grafik: SRHH

Referenzanlagen

- 110 MW Stroh-HKW in Aarhus (Bj. 2016)
- 50 MW Stroh-HKW Emsland (Bj. 2013)
- 12 MW Stroh-HW Nexø (Bj. 2016)
- 1,2 MW Stroh-HW Gülzow (Bj. 2013)



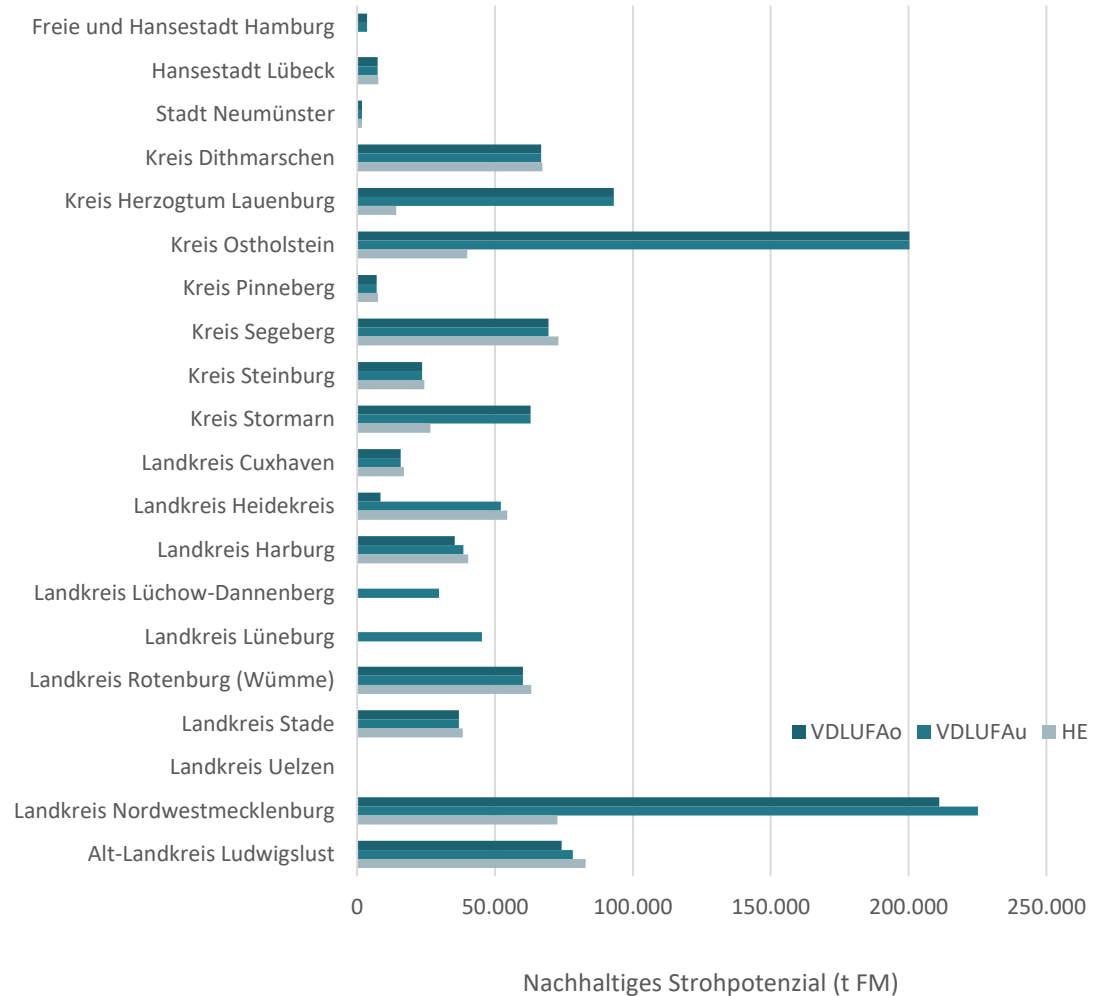
Bilder: Stroh-HKW Emsland Ehmlichheim

Standort Stellingen (II)

Potenzial Stroh-Heizwerk Hamburg



- Das **nachhaltige Potenzial an Stroh** in der Metropolregion Hamburg würde ausreichen, um eine Anlage mit **560 – 1.000 MW** thermischer Leistung zu betreiben.
- Heizwert Stroh ist höher als bei Holzhackschnitzeln (> 4 kWh/kg)
- Bergungskosten Stroh ca. 45 €/t
- Transportkosten (LKW) ca. 31 €/t bei 60 km Entfernung
- Brennstoffkosten HH** ca. 1,9 ct/kWh



Standort Stellingen (II)

Stroh-Heizwerk und Flächenbedarf



- Erweiterung des Standortes Stellingen durch weitere Biomasse-Anlage (statt fossiler KWK) auf dem nördlich angrenzenden HSE-Gelände.
- Alternative: Standort Wedel mit Schiffstransport (teurer)
- Errichtung eines **80 MW** Heizwerkes mit Anbindung an die neue Fernwärmetrasse.
- Platzbedarf incl. Lager ca. 12.000 m²
- Brennstoffumsatz: ca. 90.000 t/a bei 4.500 VBH
- Investitionskosten ca. 50 Mio. Euro
- **Indikative Wärmekosten: 3,5 ct/kWh**

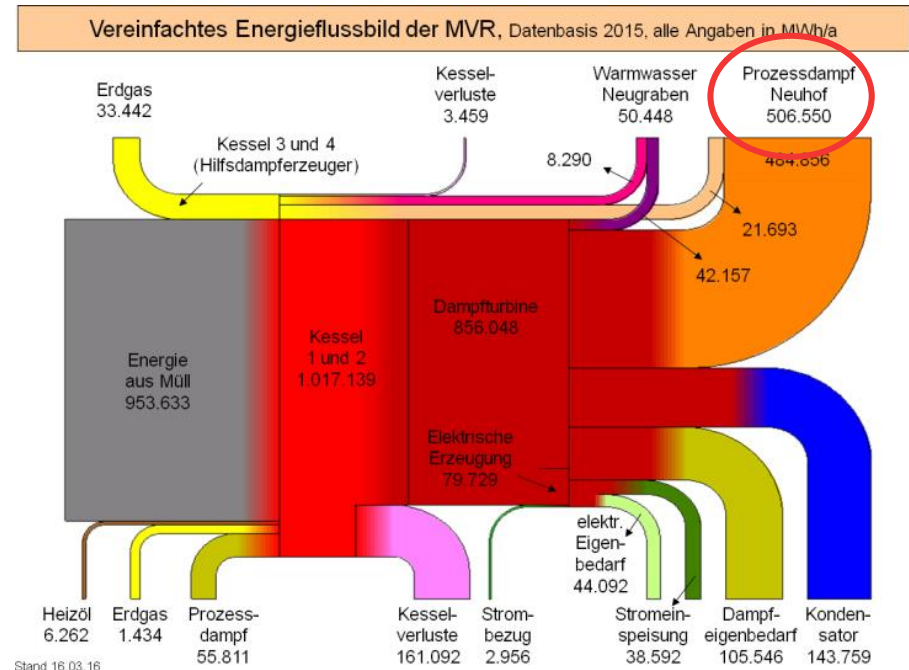


Standort Köhlbrand

Abfallwärme aus MVR Rugenberger Damm

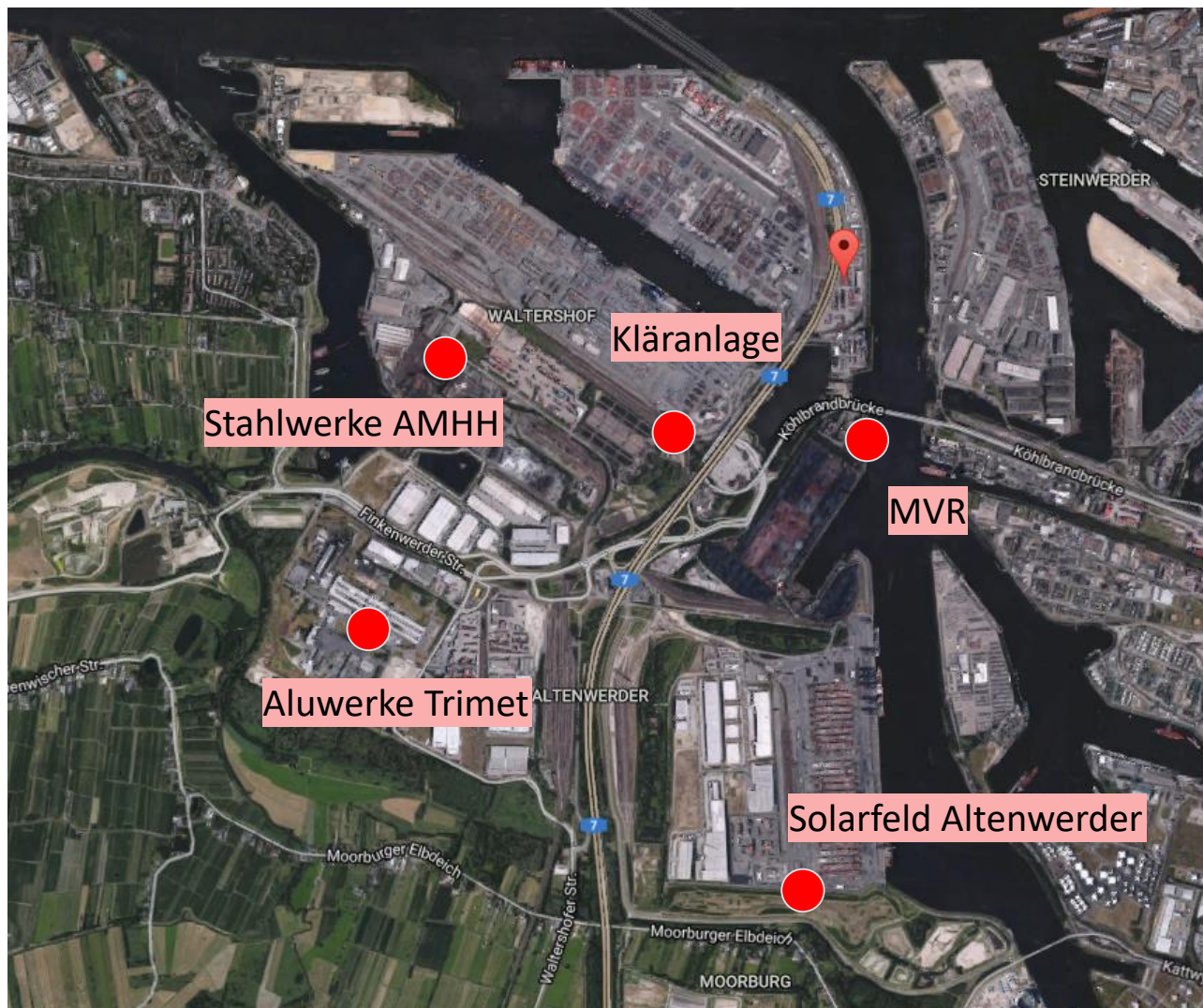


- Nutzung der Wärme aus **Abfall**, die bisher über Dampf an H&R Ölwerke Schindler geliefert wird.
- Verfügbare Wärmemenge ca. **500 GWh/a**
- Vorteile:
 - niedriger Primärenergiefaktor
 - geringe Kosten
- Erschließung Süderelberaum mit Wärmequellen und Standorten
- Neue Fernwärmetrasse mit Elbquerung notwendig, geschätzte Investition: 100 Mio. €
- Indikative Wärmekosten: **1,5 ct/kWh** (ohne Trasse)



Grafik: MVR

Weitere Energiequellen und Standorte am Köhlbrand

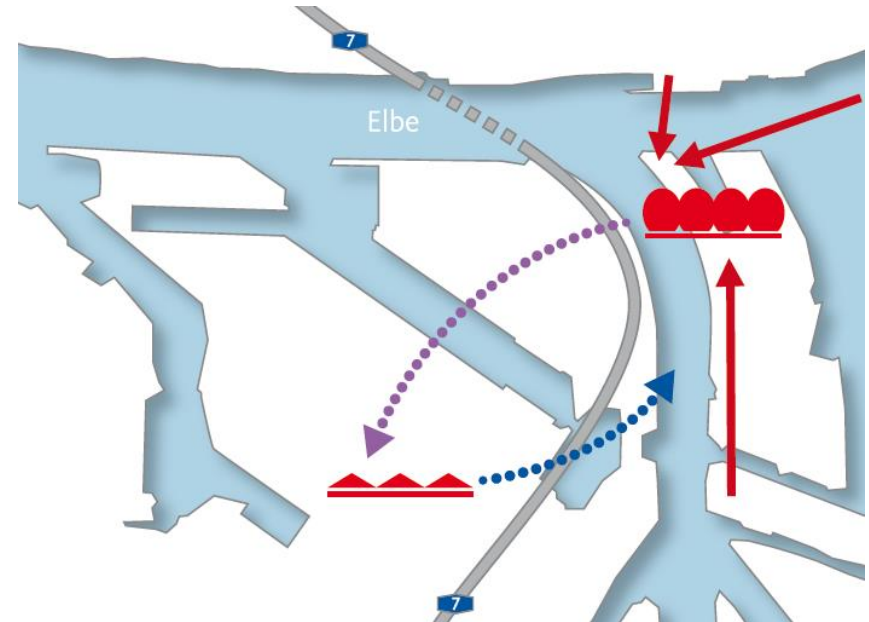


Standort Köhlbrand

Groß-Wärmepumpe Kläranlage Dradenau



- Installation einer Wärmepumpe im Ablauf des Klärwerks Dradenau
- Ganzjährig verfügbare Energiequelle und keine Störung der biologischen Aktivität.
- Wärmepumpe mit Wärmeleistung bis ca. 100 MW einsetzbar.
- Antrieb der Wärmepumpe durch Biogas/Erdgas-BHKW 30 Mw_{el.} mit Eigenstromversorgung, dadurch keine Netzentgelte und Umlagen.*
- Gesamt-Wärmeleistung 124 MW incl. BHKW zur Rücklaufanhebung.
- Investition ca. 70 Mio. Euro + 20 Mio. Netzkosten.
- Indikative Wärmekosten: 2,3 ct/kWh



Grafik: HSE

Standort Köhlbrand

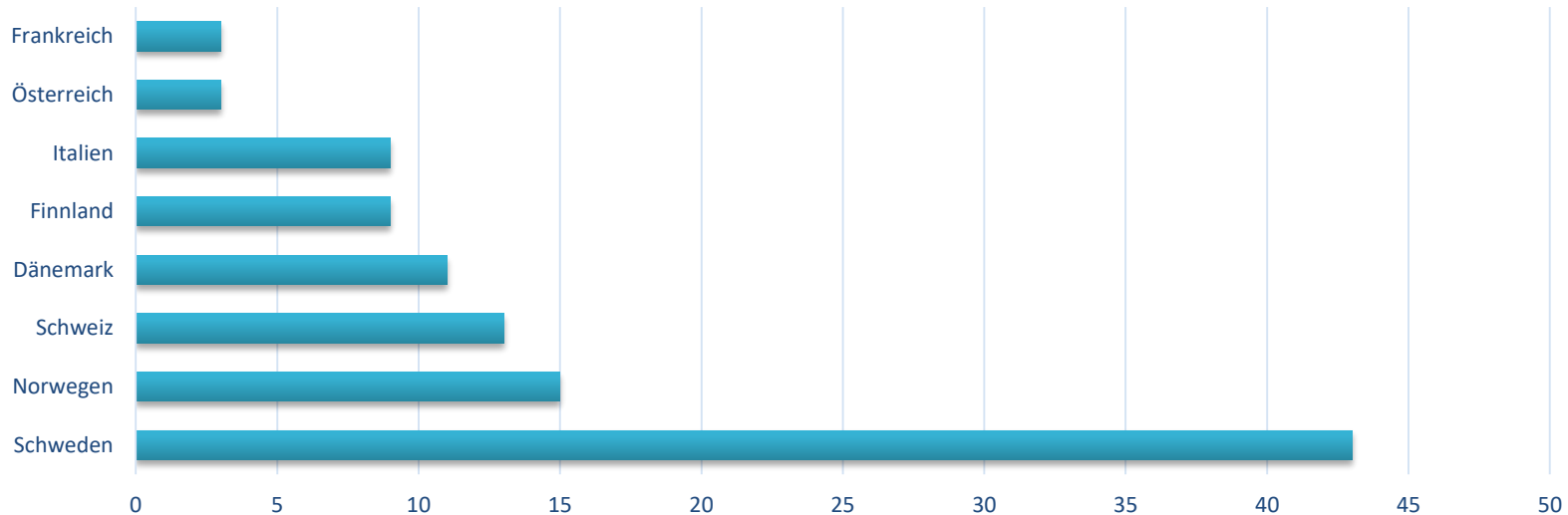
Groß-Wärmepumpe Kläranlage Dradenau



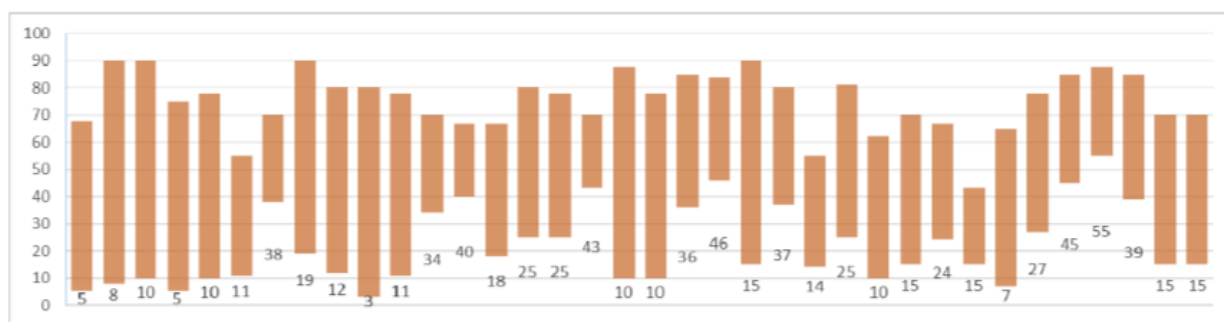
Groß-Wärmepumpen in Europa größer 1 MW_{th}



Marktstatus Großwärmepumpen > 1 MW_{th}



Temperaturbereiche
der Wärmepumpen
im Betrieb:



DH t°C	41-50	51-60	61-70	71-80	81-90	91-100
# LHP units	1	2	22	36	35	1

Standort Köhlbrand

Referenzanlagen Großwärmepumpen Abwasser



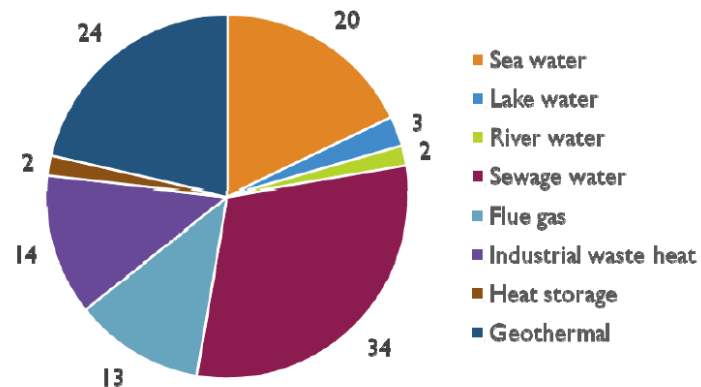
Referenzanlagen Abwasser-Wärmepumpen

- 13 MW WP Sandvika (N)
- 27 MW WP Oslo (N)
- 40 MW WP Turku (FIN)
- 45 MW WP Suomenoja (FIN)
- 225 MW WP Hammarby (S)



Abwasser-Wärmepumpe Friothersm Fernwärmeversorgung Oslo
Quelle: www.vvsforum.no

Ca. 1/3 der Großwärmepumpen
sind Abwasserwärmepumpen





Hammarby sewage water heat pump



Seven HP, 225 MW heat totally
Sewage from 700 000 person equivalents
COP 3.5 produces 1.24 TWh heat/year
Utilisation 5500 h/year
Also used for district cooling

<http://www.fortum.com/countries/se/om-fortum/energi-produktion/varmeproduktion-och-kraftvarme/varmeproduktion/hammarbyverket/pages/default.aspx>

Standort Köhlbrand

Industrielle Abwärme Stahlwerke/Aluwerke



- Abwärme Arcelor Mittal Stahlwerke
Abwärmeleistung 5-10 MW
bei 130 °C
- Abwärme Trimet Aluminium
Abwärmeleistung 3-5 MW
bei 90°C
- Ansatz Wärmeleistung 10 MW
- Verbindungstrasse zum Standort
MVR ca. 3 km
- Investition Zubringertrasse ca. 1,8
Mio. €
- Indikative Wärmekosten 1,8 ct/kWh
(ab Werksgrenze)



Abgasnutzung Wiedererwärmungsofen Arcelor Mittal
Quelle: AMHH

Standort Köhlbrand

Solarwärme Altenwerder



- Nutzung eines alten Spülfeldes südlich der Containerfläche Altenwerder für eine Freiflächen-Solaranlage.
- Fläche > 100.000 m², weitere Flächen südlich erschließbar.
Ansatz 40.000 m² Kollektor (28 MW Leistung)
- Ökologisches Flächenkonzept kann/sollte erstellt werden
- Investition incl. Trasse zur MVR ca. 12 Mio. €. Förderung KfW 45%.
- Indikative Wärmekosten: 2,3 ct/kWh



Altes Spülfeld südlich Containerfläche Altenwerder

Referenzanlagen Solarwärme

- 150.000 m² Silkeborg (DK)
- 70.000 m² Vojens (DK)
- 45.000 m² Gram (DK)
- 38.000 m² Dronninglund (DK)
- 33.000 m² Marstal (DK)

- 8.000 m² Senftenberg (D)



Anlage in Senftenberg. Foto: Ritter Solar XL

Standort Wedel (neu) Groß-Wärmepumpe Elbe



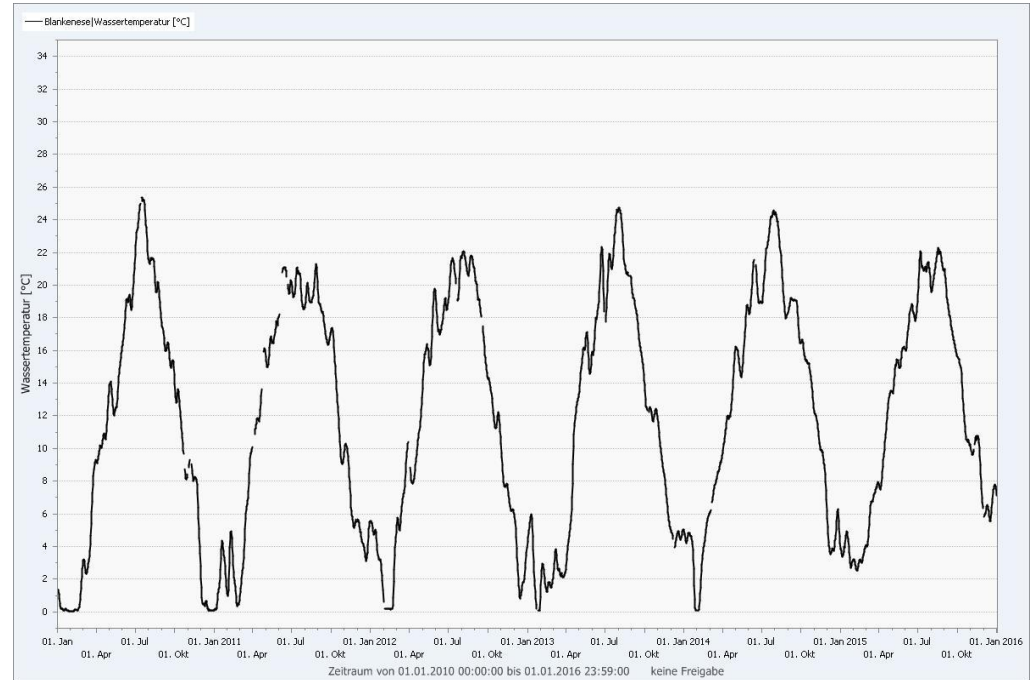
Foto: Vattenfall

Standort Wedel (neu)

Nutzung der Elbwärme



- Nutzung der Elbwärme durch Groß-Wärmepumpe mit einer Wärmeleistung von **50 MW**
- Antrieb Wärmepumpe durch BHKW zur Eigenstromversorgung. Zusätzlich Nutzung BHKW-Wärme **14 MW**.
- Nutzung der bestehenden Durchlaufwasserkühlung
- Kein Betrieb im Januar/Februar
- Ansatz zur Sektorenkopplung, Power to heat.
- Investitionskosten ca. 50 Mio. Euro
- **Indikative Wärmekosten 3,3 ct/kWh**



Grafik: Jährliches Temperaturprofil der Elbe am Standort Blankenese

- 9 MW Seewasser-WP
Lysaker (N)
- 13 MW Seewasser-WP
Drammen (N)
- 14 MW Seewasser-WP
Fornebu (N)
- 60 MW Seewasser-WP
Helsinki (FIN)
- 180 MW Seewasser-WP
Värtan-Stockholm (S)



Meerwasser-Wärmepumpe Fernwärmeversorgung Helsinki
Quelle: www.friotherm.de

Standort Veddel

Einbindung Industrieabwärme Aurubis



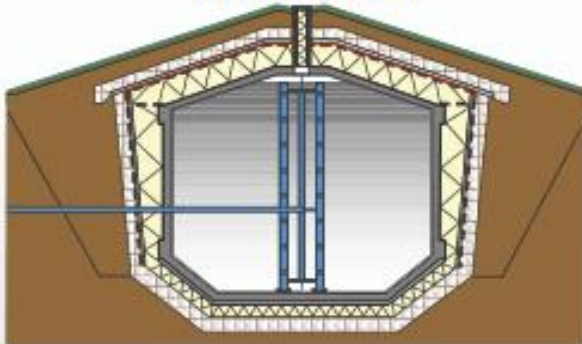
- Nutzung von ca. **60 MW** Abwärme aus der Kontakthanlage der Schwefelsäureherstellung
- Stufenweise Investition zur Fassung der Abwärme in drei Schritten á 20 MW möglich
- Trassenbau zur Wärmenutzung in Hafen-City Ost durch Enercity bis Zweibrückenstraße avisiert. Nutzung von ca. **40 MW** in VWH-Netz denkbar
- Klärung Inanspruchnahme Fördermittel erforderlich und langfristiges Finanzierungskonzept nötig
- Hydraulische Restriktion zur Nutzung der Wärme im VWH-Netz (insbesondere in der Heizperiode)
- Indikative Wärmekosten: **2,2 ct/kWh**



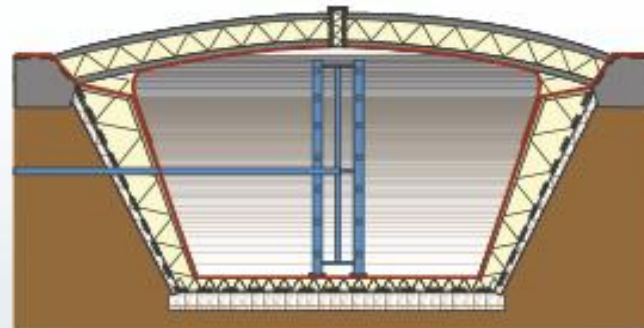
1. Phase
- Enercity; Auslegung für min. 60 MW
 - Enercity
2. Phase
- VWH

- Zur Erreichung hoher Anteile an Erneuerbaren Energien und Abwärme im System ist Wärmespeicherung (insbesondere im Sommerhalbjahr) erforderlich
- Viele Energiequellen fallen gleichmäßig über das ganze Jahr an (Industrieabwärme, Umweltwärme) oder sind konzentriert auf das Sommerhalbjahr (Solarthermie).
- Ohne saisonale Verschiebung des Dargebots zur Wärmelast würden sich die Energiequellen teilweise gegenseitig kannibalisieren und deren Nutzung spezifisch teurer.
- **Wenn es gelingt, Wärme kostengünstig zu speichern, können Erneuerbare Energien einen größeren Anteil am Bedarf decken.**

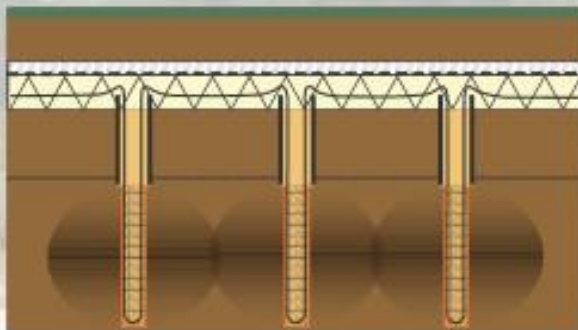
Tank-Wärmespeicher (TTES)
(60 bis 80 kWh/m³)



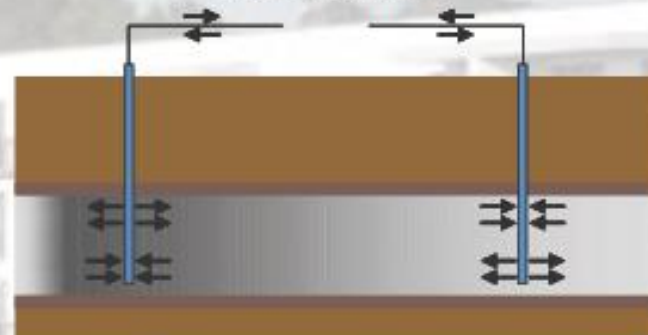
Erdbecken-Wärmespeicher (PTES)
(60 bis 80 kWh/m³)



Erdsonden-Wärmespeicher (BTES)
(15 bis 30 kWh/m³)



Aquifer-Wärmespeicher (ATES)
(30 bis 40 kWh/m³)



Möglicher Aquiferspeicher in Stellingen

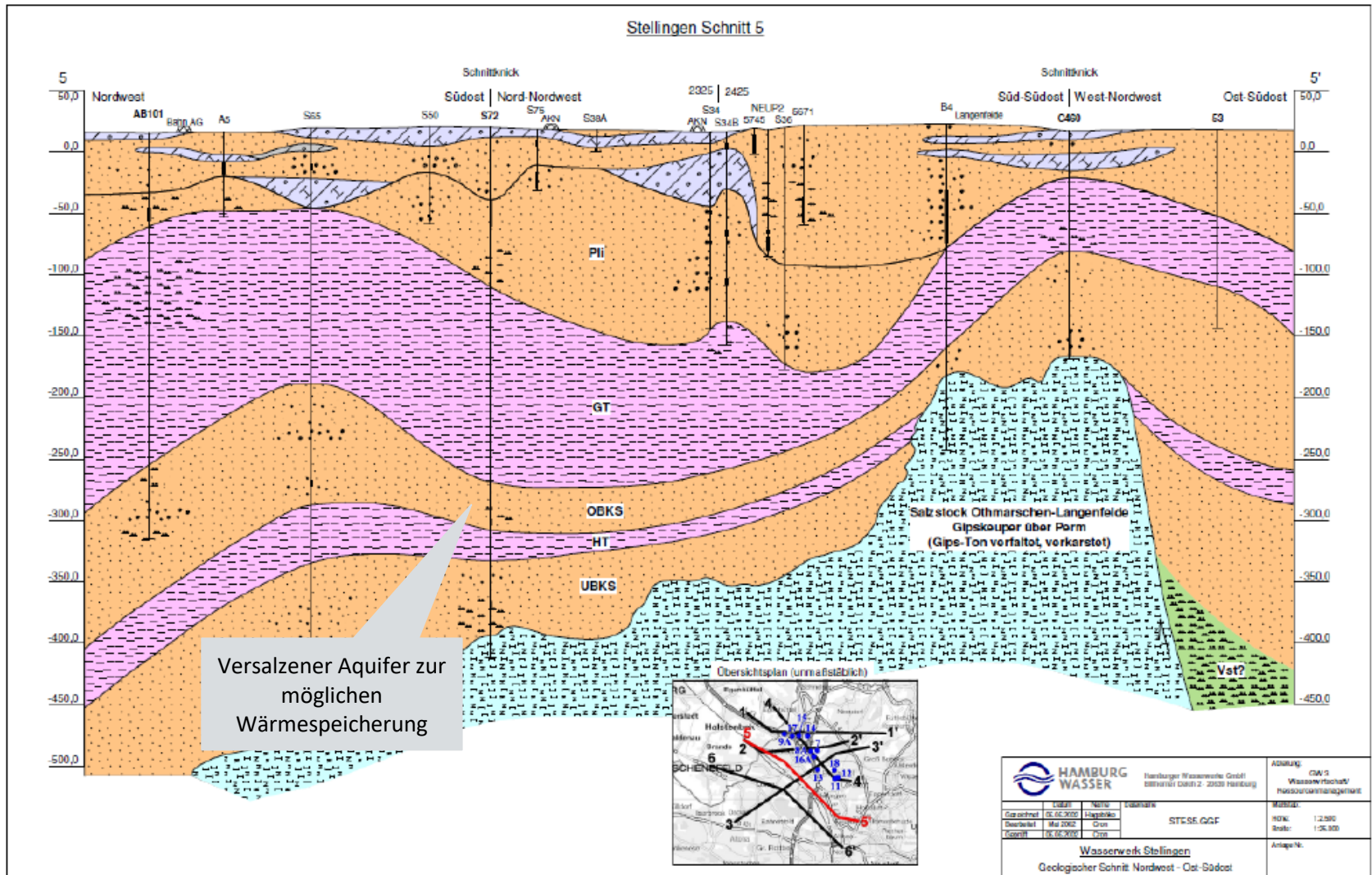


Bild: Consulaqua

Schema Aquiferspeicher

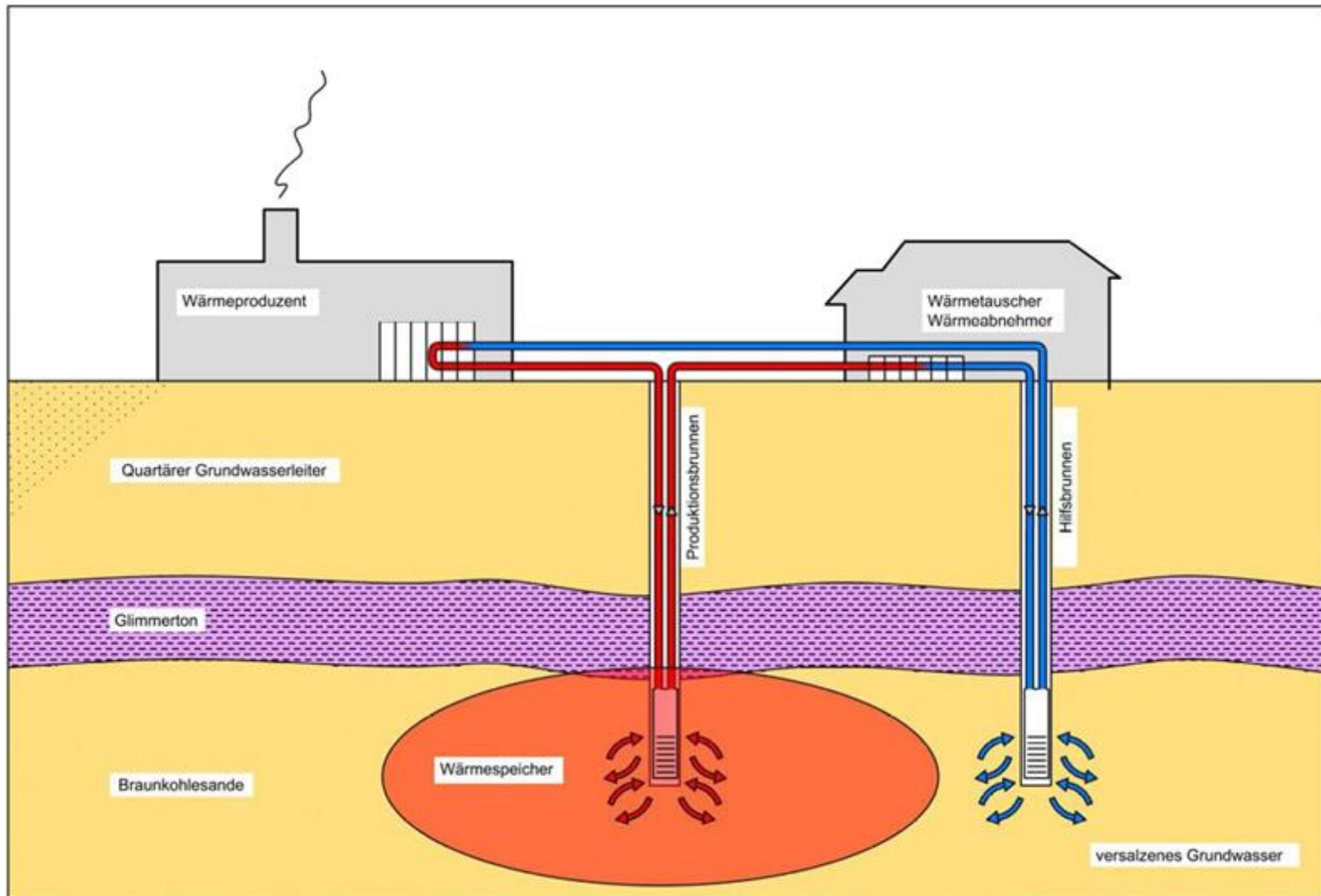


Bild: Consulaqua

Anlage	Leistung [MWth]	Jahresstunden [VBH/a]	Wärmekosten [ct/kWh]
HW Haferweg (neu)	240	4.500	3,6
Gasmotoren KWK	130	4.500	3,1
Stroh-HW Stellingen	77	4.500	3,5
SRHH Abfall/Biomasse	28	6.500	1,8
SRHH EBS	33	6.500	2,0
WP Elbe (Wedel)	64	4.500	3,3
MVR (Köhlbrand)	80	6.500	1,5
WP Dradenau	124	6.500	2,6
Abwärme Arcelor/Trimet	10	6.500	1,8
Solarwärme Altenwerder	28	650	2,3

Variantenvergleich:

Annahmen für Brennstoffpreise



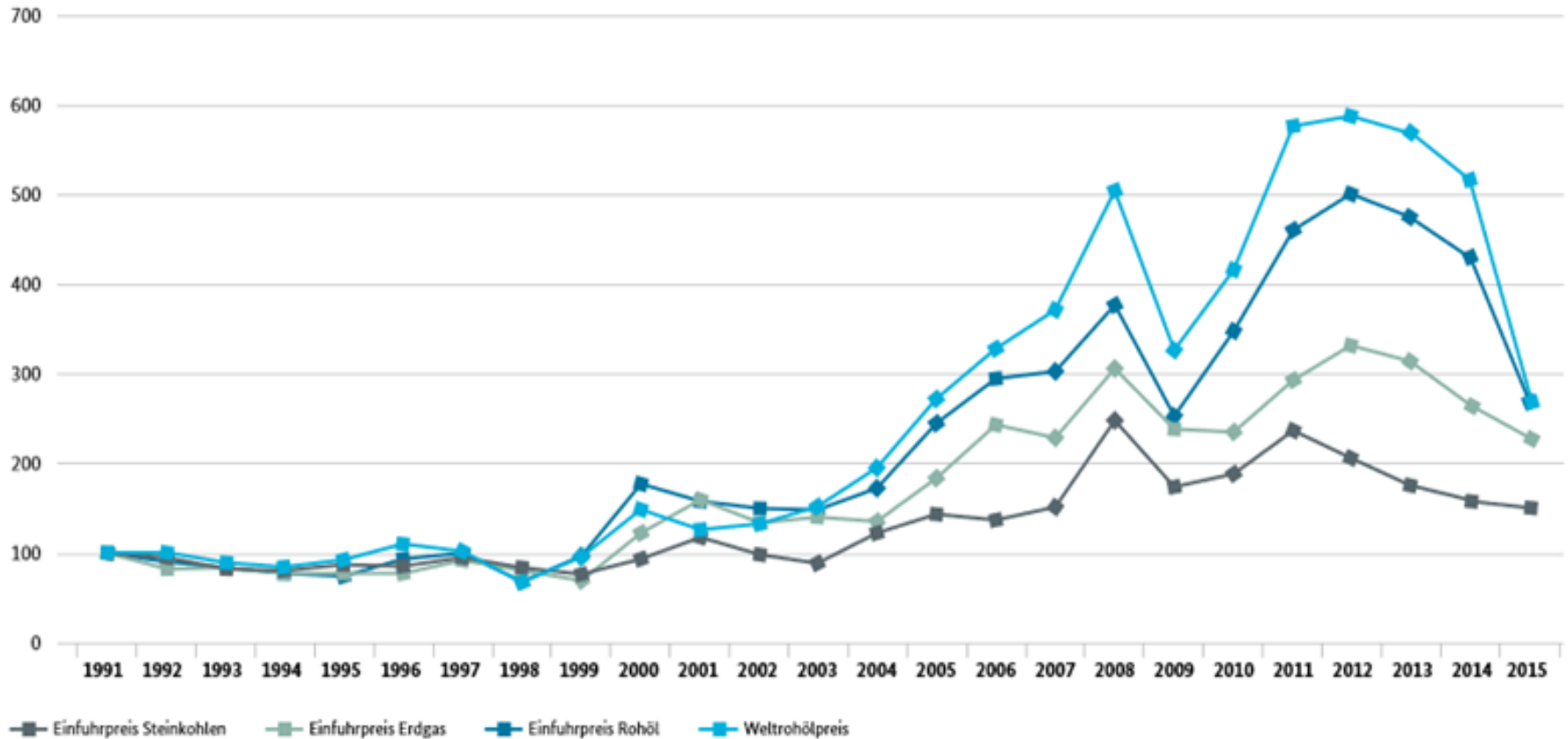
Brennstoff	Brennstoffpreis	Erläuterungen
Steinkohle	10,88 €/MWh	Einfuhrkosten Steinkohle incl. Transport
Erdgas	23,44 €/MWh	incl. Beschaffung, Strukturierung, Netznutzung, ohne Erdgassteuer und Konzessionsabgabe
Stroh	19,48 €/MWh	incl. Bergung, Transport und Zwischenlagerung
SRHH Bio	18,00 €/MWh	Wärmelieferung der neuen SRHH-Anlage Stellingen (Abfall/Biomasse) ab Werksgrenze
SRHH EBS	20,00 €/MWh	Wärmelieferung der neuen SRHH-Anlage Stellingen (EBS-Brennstoff) ab Werksgrenze
MVB/MVR	15,00 €/MWh	Wärmelieferung der bestehenden Anlagen ab Werksgrenze MVB bzw. MVR
Abwärme	18,00 €/MWh	Wärmelieferung Abwärme Arcelor Mittal und Trimet Aluminium jeweils ab Werksgrenze
Aurubis	22,00 €/MWh	Wärmelieferung Abwärme Aurubis ab Standort Zweibrückenstraße (Enercity)

Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen: Preisentwicklung Brennstoffe



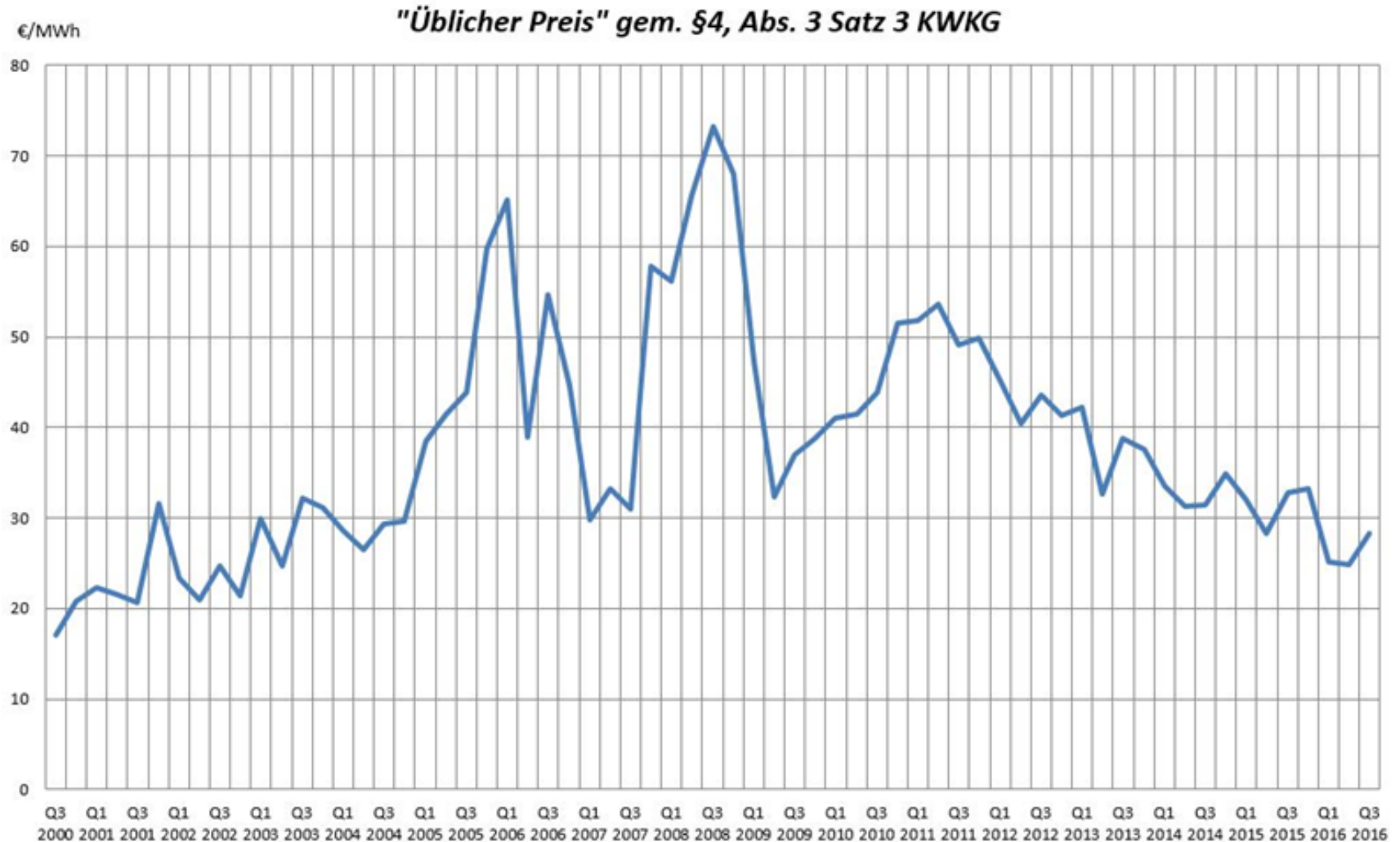
34. Entwicklung von Weltrohöl- und Einfuhrpreisen in Deutschland

Index 1991 = 100



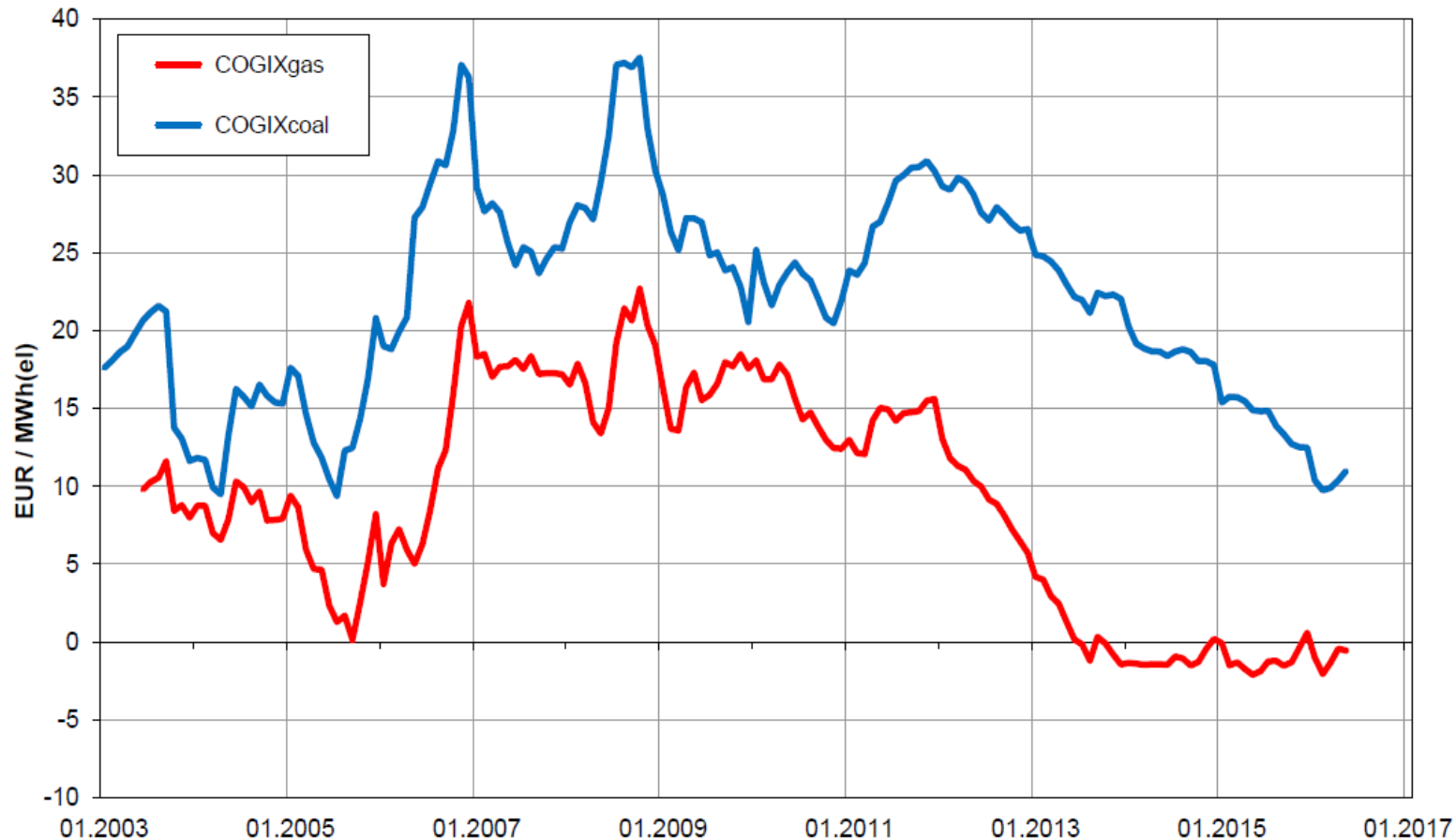
Quellen: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA), Mineralölwirtschaftsverband (MWV)

Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen: Sinkende Erlöse für KWK-Strom



Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen

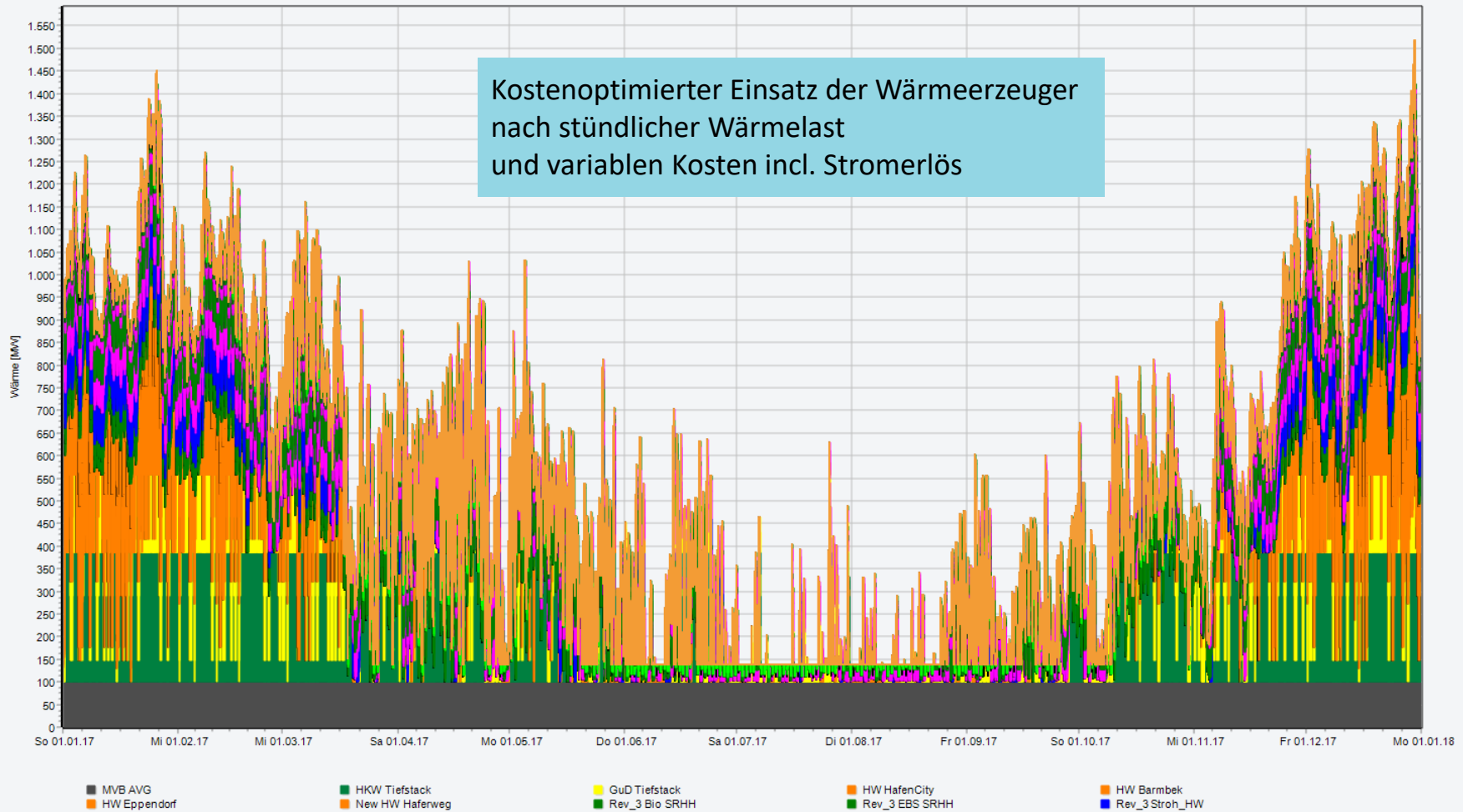
Ökonomische Situation der stromgeführten KWK



Grafik: Öko-Institut 2016

Der COGIX (COGeneration Index) ist ein Wirtschaftlichkeitsindikator für KWK-Anlagen, die am Strommarkt agieren. Ähnlich wie beim Spark-Spread-Konzept, bzw. dem Green Spark Spread incl. CO₂-Emissionskosten, wird ein Deckungsbeitrag aus Stromerlösen und Kosten für Brennstoff incl. CO₂-Emissionen berechnet. Zusätzlich werden beim COGIX auch noch die Wärmeerlöse der KWK-Anlage betrachtet.

Kostenoptimierter Einsatz der Wärmeerzeuger
nach stündlicher Wärmelast
und variablen Kosten incl. Stromerlös

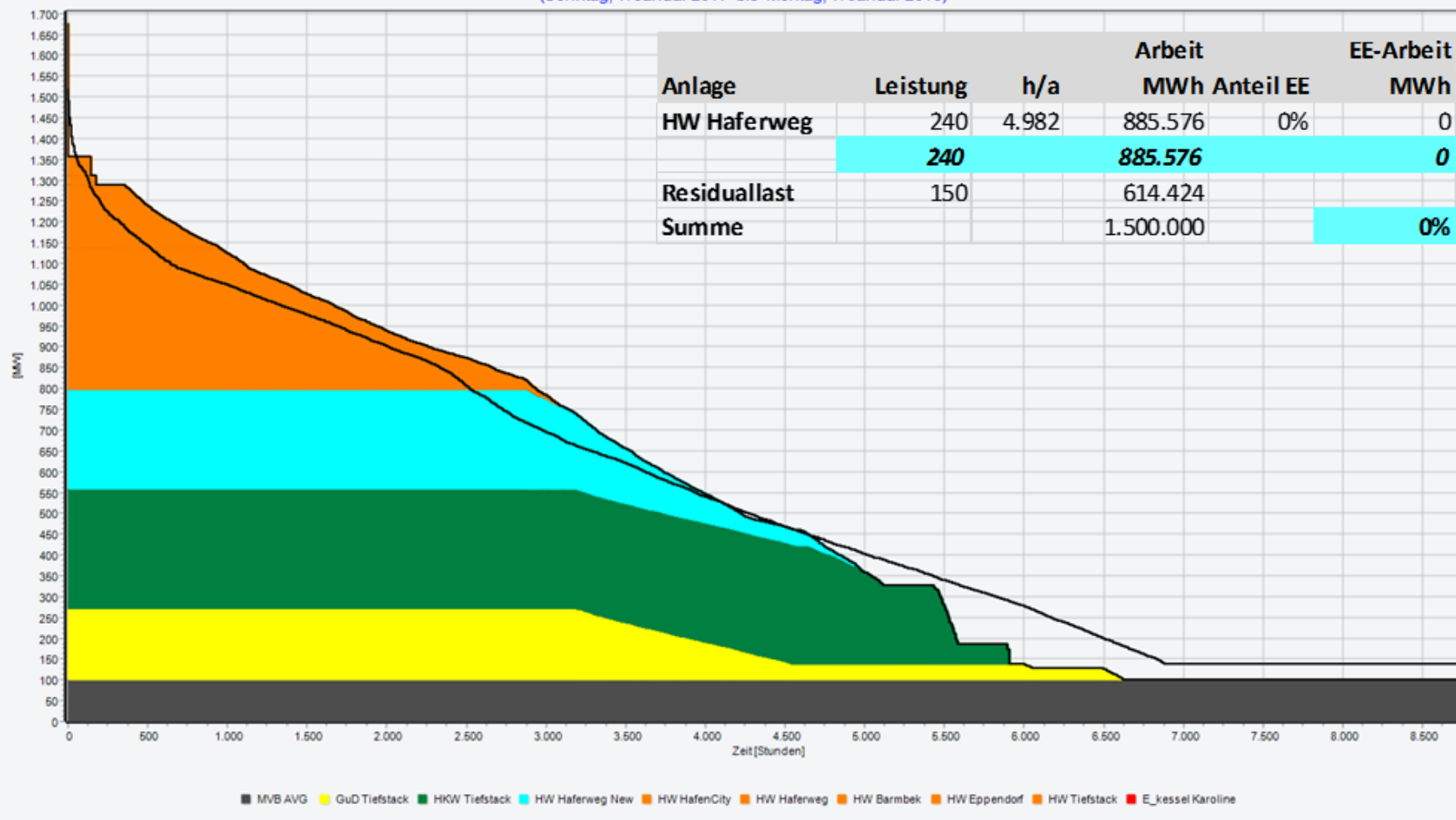


01	HW Haferweg	240 MW HW Haferweg (neu)
02	Stellingen KWK	28 MW Biomasse/Abfall Heizkraftwerk SRHH 33 MW EBS Heizkraftwerk SRHH 130 MW Erdgas KWK (Gasmotoren) 50 MW HW Erdgas
03	Stellingen Bio	28 MW Biomasse/Abfall Heizkraftwerk SRHH 33 MW EBS Heizkraftwerk SRHH 77 MW Stroh-Heizwerk 100 MW HW Erdgas
04	Stellingen Bio + WP Wedel (Nord-Variante)	28 MW Biomasse/Abfall Heizkraftwerk SRHH 33 MW EBS Heizkraftwerk SRHH 77 MW Stroh-Heizwerk 50 MW Wärmepumpe Wedel (+ 14 MW BHKW) 40 MW HW Erdgas
05	Stellingen Bio + Köhlbrand (Nord-Süd-Variante)	28 MW Biomasse/Abfall Heizkraftwerk SRHH 33 MW EBS Heizkraftwerk SRHH 77 MW Stroh-Heizwerk 80 MW Müllverbrennung MVR 100 MW Wärmepumpe Dradenau (+ 24 MW BHKW) 10 MW Industrieabwärme Arcelor/Trimet 28 MW Solarthermie Altenwerder
06	Kombi Aquifer	Kombination aus Variante 05 Stellingen Bio + Köhlbrand + 40 MW Aurubis + Aquiferspeiche

Jahresdauerlinie Variante 01 Heizwerk



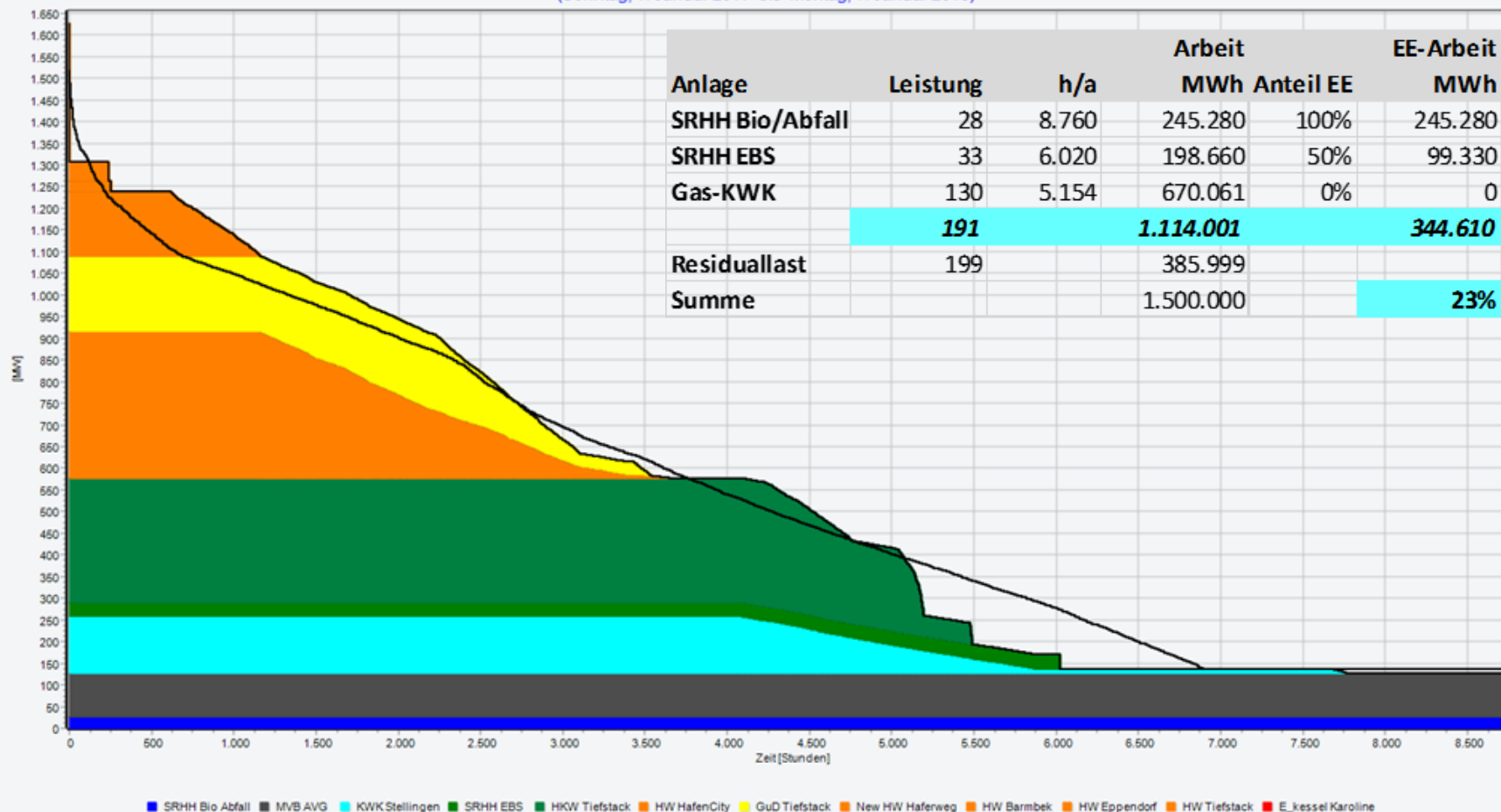
Dauerkurve Wärmebedarf
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



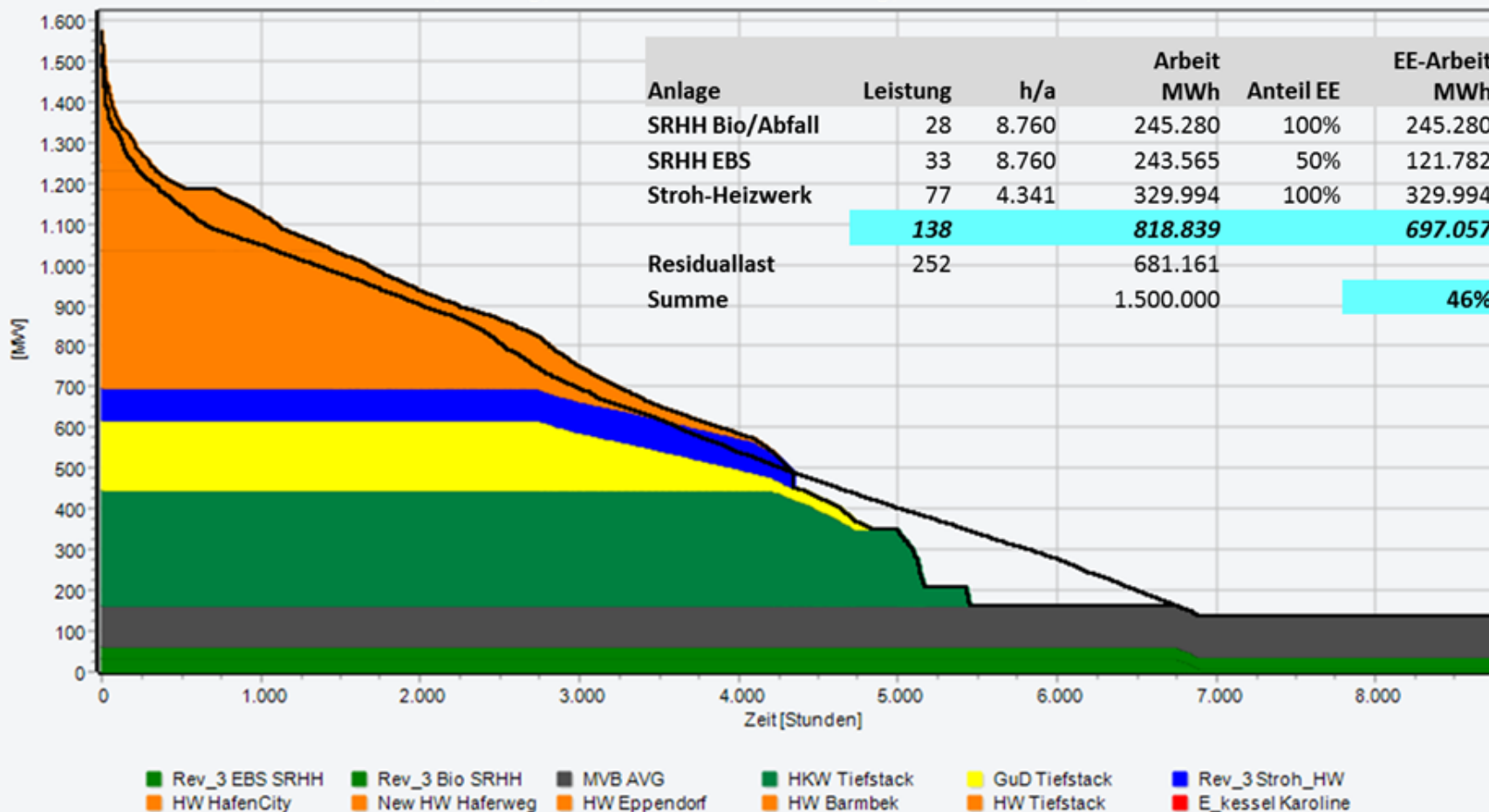
Jahresdauerlinie Variante 02 Stellingen KWK



Dauerkurve Wärmebedarf
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



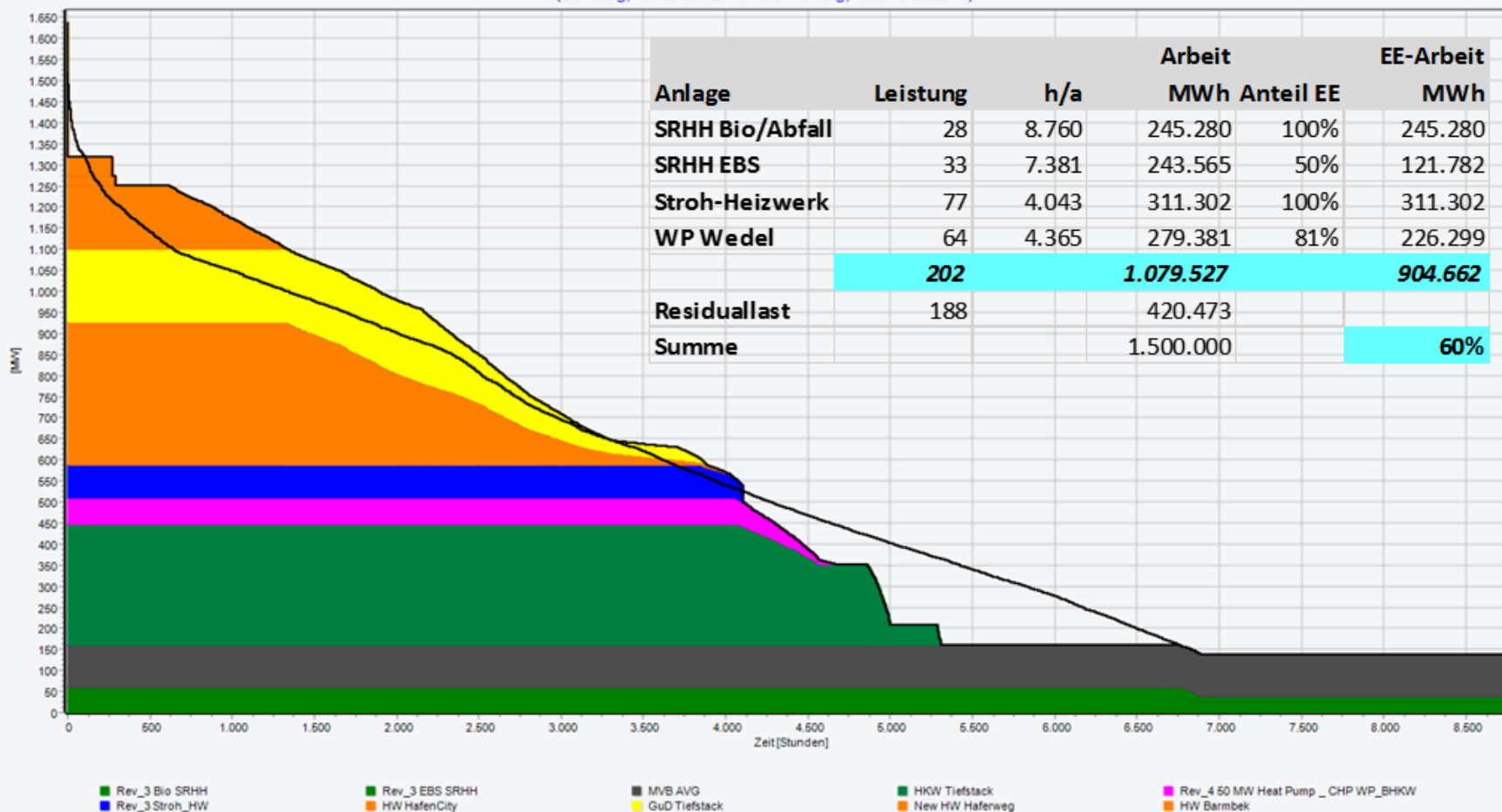
Dauerkurve Wärmebedarf
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



Jahresdauerlinie Variante 04 Stellingen biogen + Wedel



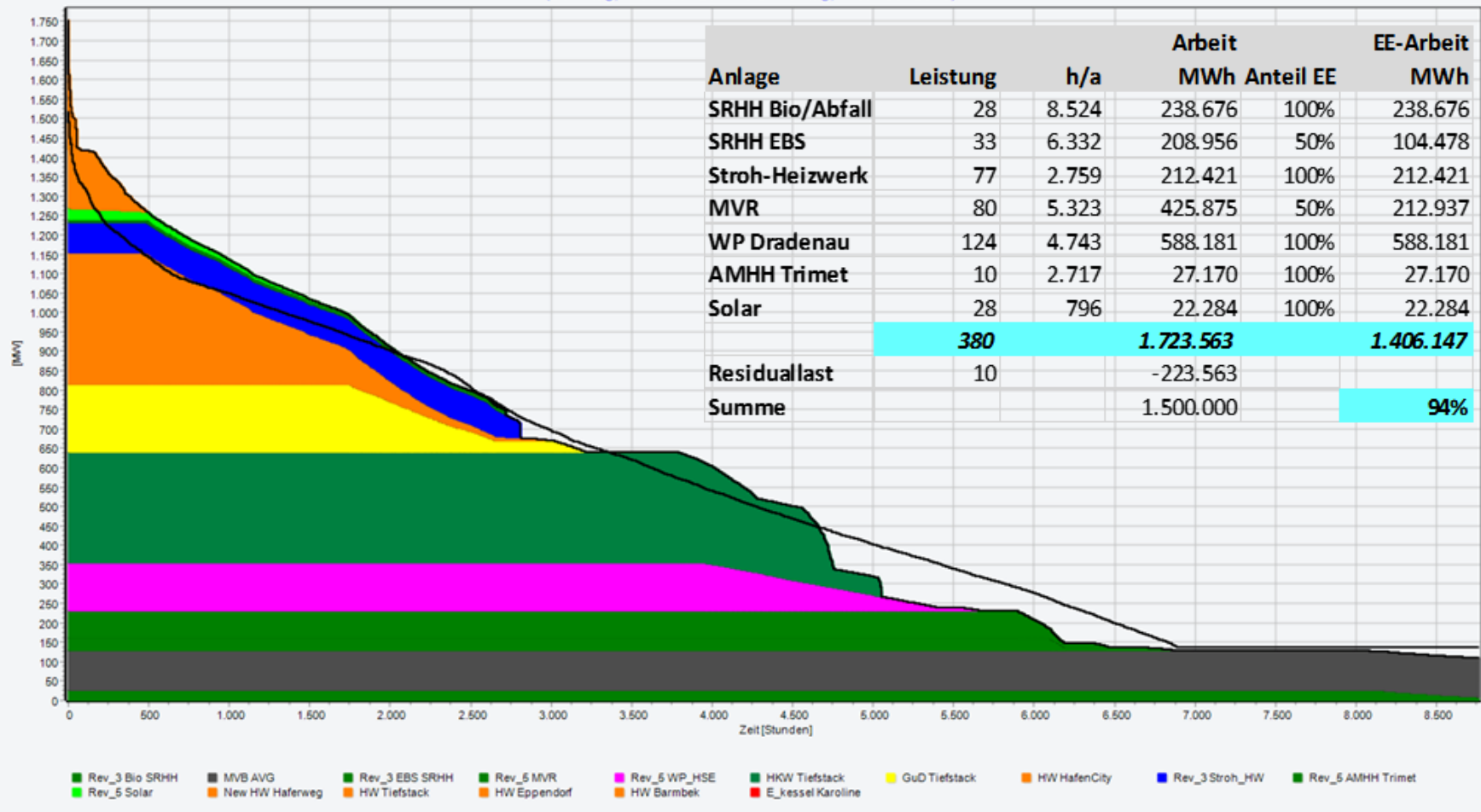
Dauerkurve Wärmebedarf
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



Jahresdauerlinie Variante 05 Stellingen biogen + Köhlbrand



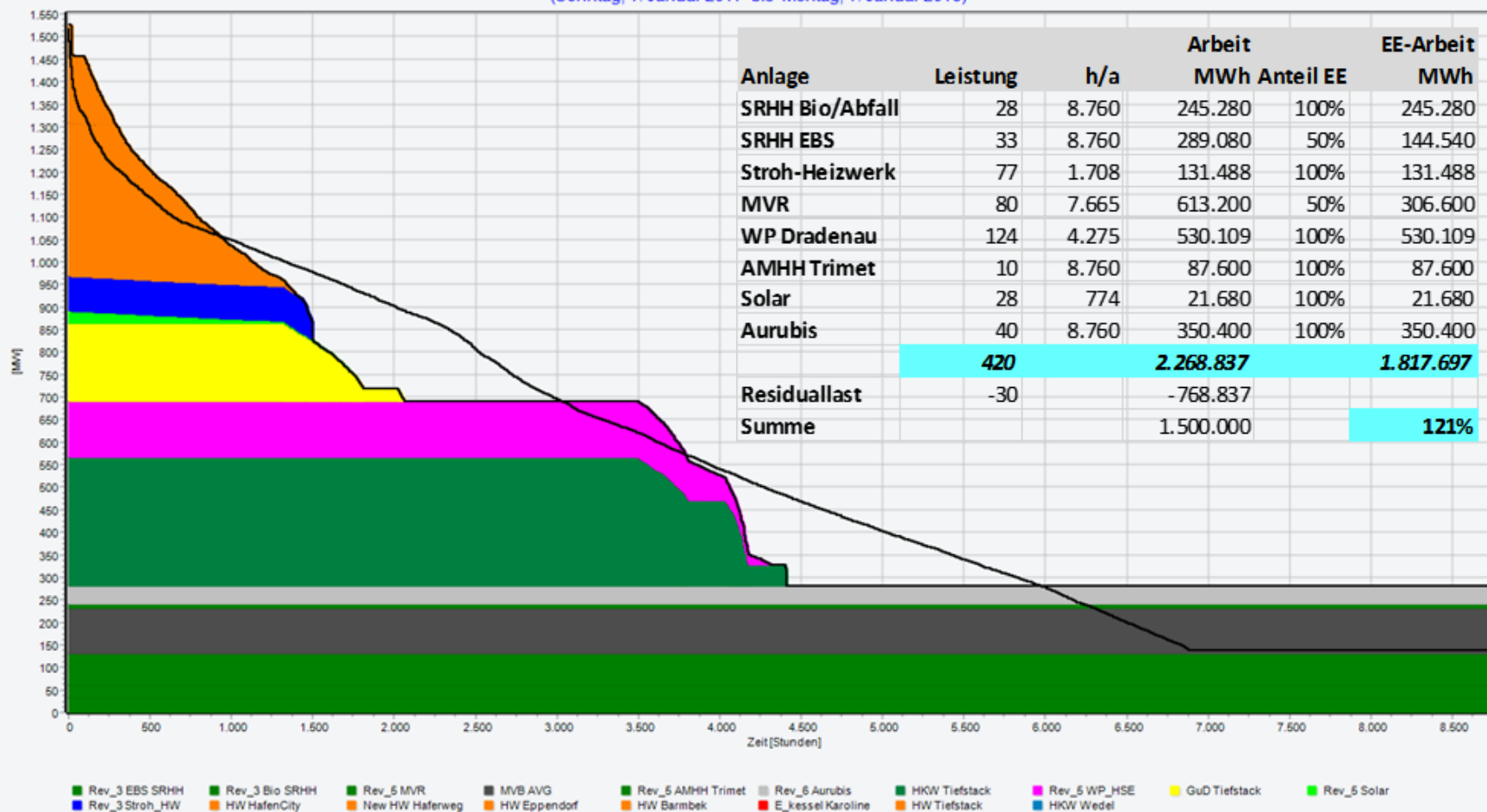
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



Jahresdauerlinie Variante 06 Kombi + Aquifer

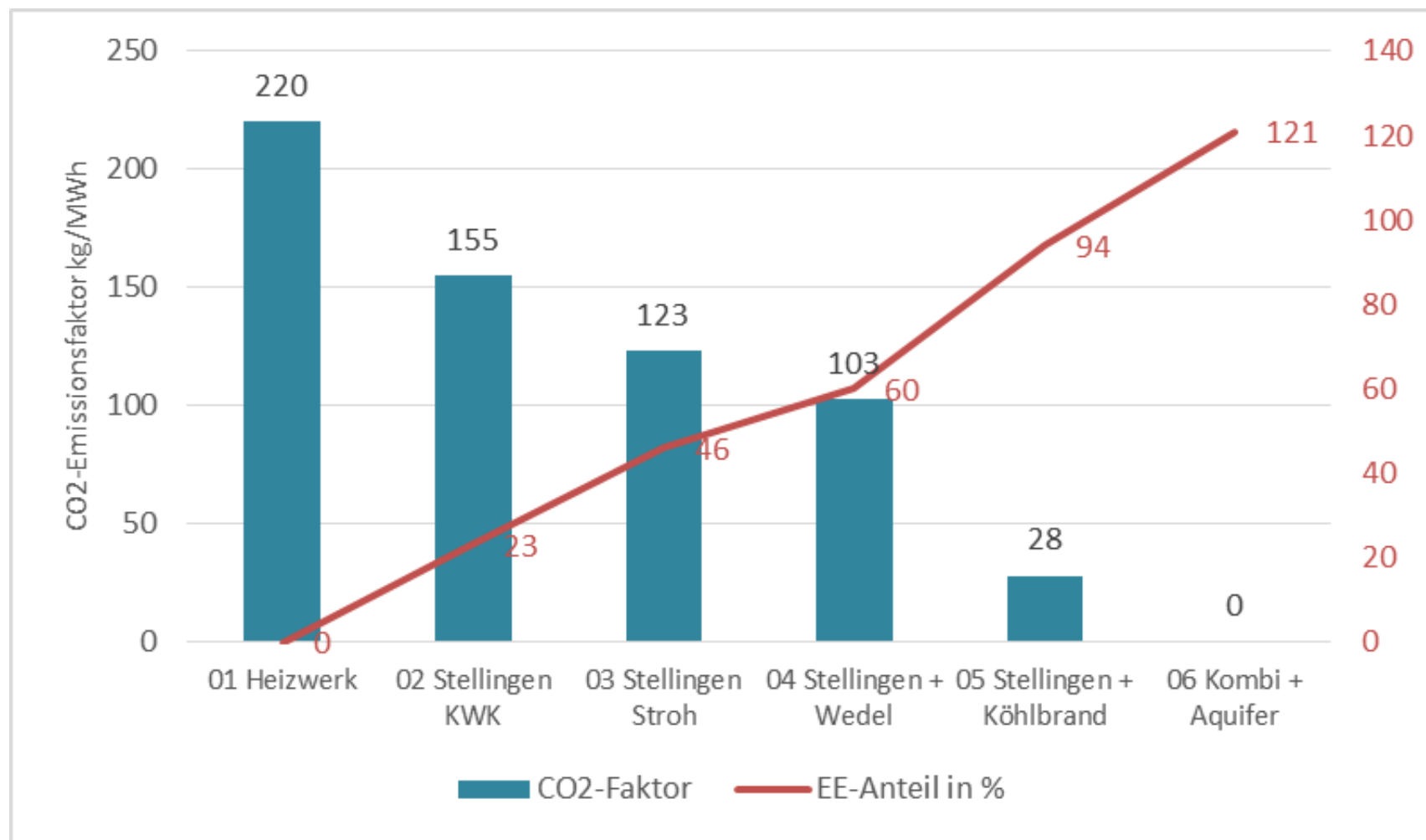


Dauerkurve Wärmebedarf
(Sonntag, 1. Januar 2017 bis Montag, 1. Januar 2018)



Variante	Anteil EE * [%]	Wärmekosten [ct/kWh]	Wärmekosten* [Mio €/a]
01 Erdgas-Heizwerk	0 %	3,70	55,50
02 Stellingen + Gas-KWK	23 %	3,02	45,30
03 Stellingen biogen (Stroh-HW)	46 %	3,12	46,80
04 Stellingen biogen + WP Wedel	60 %	3,06	45,90
05 Stellingen biogen + Köhlbrand	94 %	2,81	42,15
06 Kombi: Stellingen biogen + Köhlbrand + Aurubis + Aquiferspeicher	121 %	2,89	43,35

*Jeweils bezogen auf eine Fernwärmearbeit von 1.500 GWh/a



1. Die **Systemintegration** erheblicher Anteile an EE und Abwärme ist gegenüber der Referenzvariante GuD Wedel **technisch möglich** und **wirtschaftlich** darstellbar.
2. Mit **innovativen Techniken** und Anlagenkonzepten kann die Hamburger Fernwärme zukunftsicher auch im Hinblick auf die **Sektorenkopplung** ausgerichtet werden.
3. Der weitgehende **Verzicht auf fossile Brennstoffe** ermöglicht gleichzeitig **Klimaschutz** und langfristige **Kostensicherheit**.
4. Für die Einbindung der EE-Wärme im westlichen Netz bieten sich primär die **Standorte Stellingen, Wedel und Köhlbrand** an.
5. Die Fernwärmelieferung des HKW **Wedel** kann bei Nutzung der beiden Standorte Stellingen und Köhlbrand **fast vollständig durch grüne Wärme ersetzt** werden.
6. Bei Nutzung aller Standorte und eines **Aquifer-Langzeitspeichers** kann **Wedel vollständig** und **Tiefstack teilweise** durch **erneuerbare Wärme** ersetzt werden.

1. Der Standort **Stellingen** sollte für die Fernwärmeversorgung erschlossen werden. Neben SRHH-Anlagen sollte die Errichtung eines Stroh-Heizwerks geprüft werden.
2. Es ist eine politische Entscheidung zu treffen, ob eine **Elbquerung** zur Anbindung des Standortes Köhlbrand an das Fernwärmesystem der VWH erfolgen soll.
3. Im Fall der Elbquerung sollte neben der Wärme aus **Abfall** (MVR) eine **Groß-Wärmepumpe** am Klärwerk Dradenau installiert werden. Weiterhin sollten die Einbindung von **Industrieabwärme** (Arcelor Mittal und Trimet Aluminium) sowie großflächige **Solarthermie** näher geprüft werden .
4. Wird keine Elbquerung gebaut, sollte die Errichtung einer **Elbe-Wärmepumpe** am Standort Wedel und ggfls. eine **Grundwasser-Wärmepumpe** untersucht werden.
5. Der Anteil an Erneuerbarer Energie und Abwärme im System könnte durch eine saisonale Wärmespeicherung in einem **Aquiferspeicher** weiter erhöht werden.
6. Es sollten **detaillierte Untersuchungen** zur Machbarkeit der Optionen erfolgen.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Christian Maaß
Dr. Matthias Sandrock

Hamburg Institut
Paul-Neumann-Platz 5
22765 Hamburg
Tel.: +49 (40) 391 06989-0
info@hamburg-institut.com
www.hamburg-institut.com