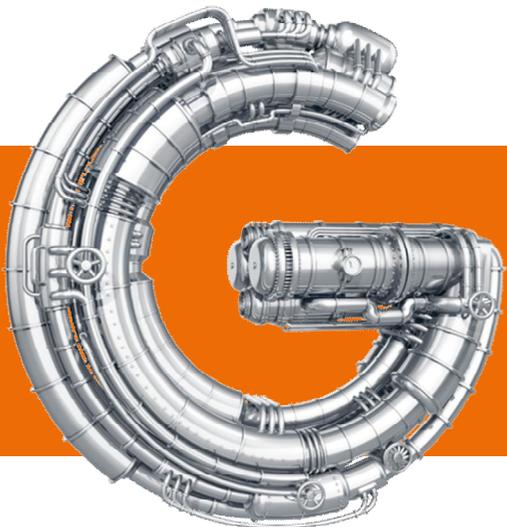


KWK-Tagung

“ Industrieller und kommunaler KWK-Einsatz ”

25./26.10.2016 in Magdeburg

„Einsatz einer Mikrogasturbine in der Industrie“

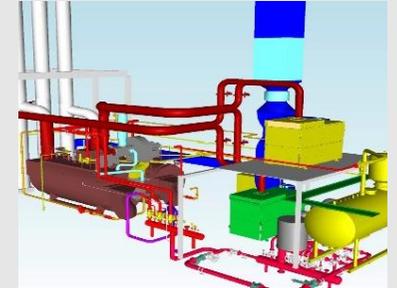


GESA Ingenieurgesellschaft für technische Gesamtplanung mbH

Referenten: Dipl.-Ing. Ralf Gläser, Techn. B. Böhme
 Dipl.-Ing. David.Scheinert

INHALT

1. GESA-Ingenieurgesellschaft
2. Ausgangssituation und allgemeine Aufgabenstellung
3. Diskussion von Anlagenvarianten
4. Berechnungen zur gewählten Anlagenkonfiguration
5. Genehmigung
6. Bau und Inbetriebnahme
7. Hocheffizienznachweis



1

GESA INGENIEURGESELLSCHAFT



GESA - Standorte

GESA Ingenieurgesellschaft für
Technische Gesamtplanung mbH



Dresden

Zwinglstr. 11-13
01277 Dresden

Tel.: +49 351 – 312 17 0
Fax: +49 351 – 3121 7 10

dresden@gesa-ingenieure.de

Niederlassung Köln/Bonn

Rolshover Str. 45
51105 Köln

Tel.: +49 221 – 888 242 0
Fax: +49 221 – 888 242 10

koelnbonn@gesa-
ingenieure.de

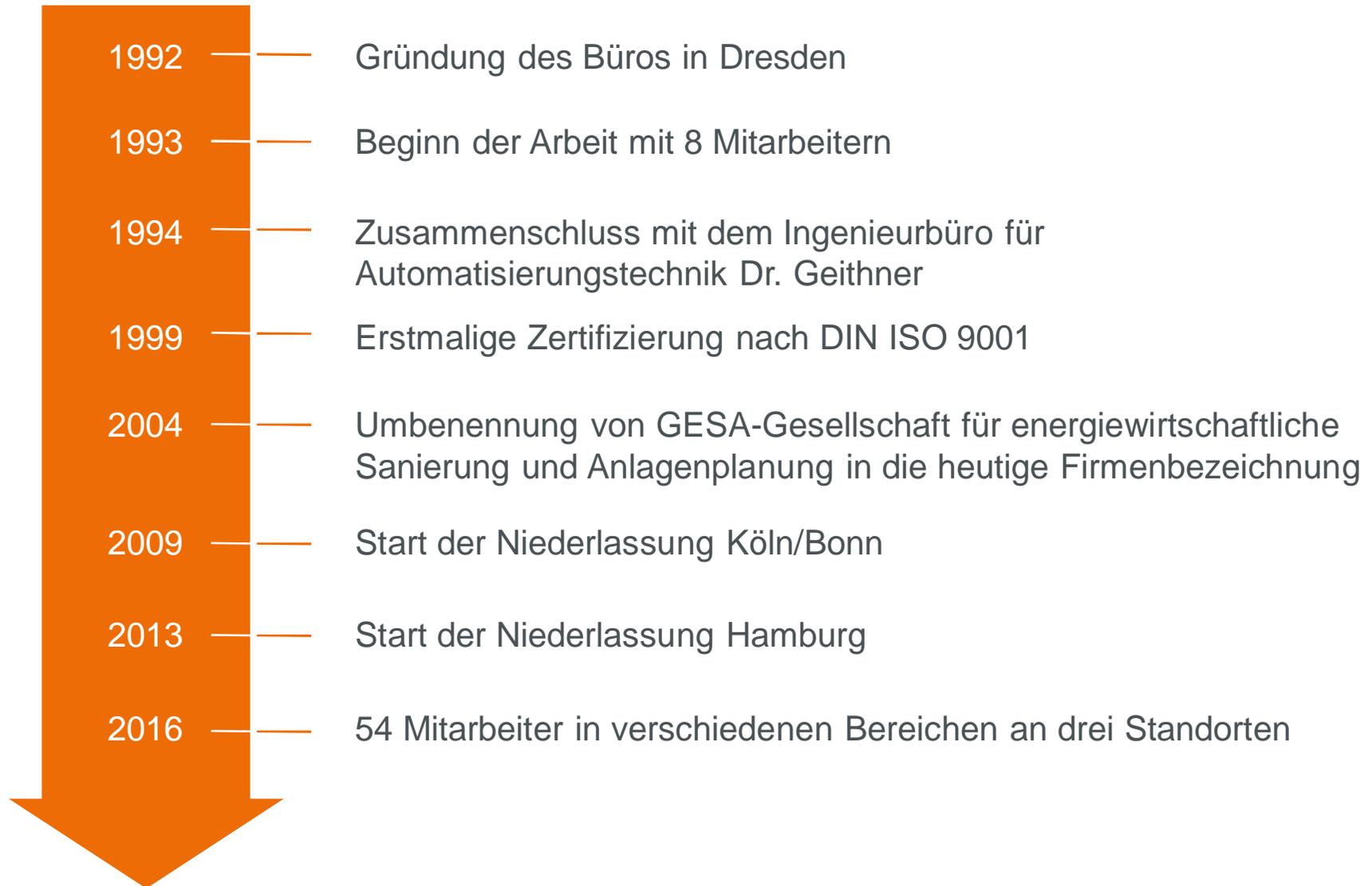
Niederlassung Hamburg

Damm 21
25421 Pinneberg

Tel.: +49 4101 – 808 97 63

hamburg@gesa-ingenieure.de

GESA - Entwicklung





GESA - Leistungsspektrum



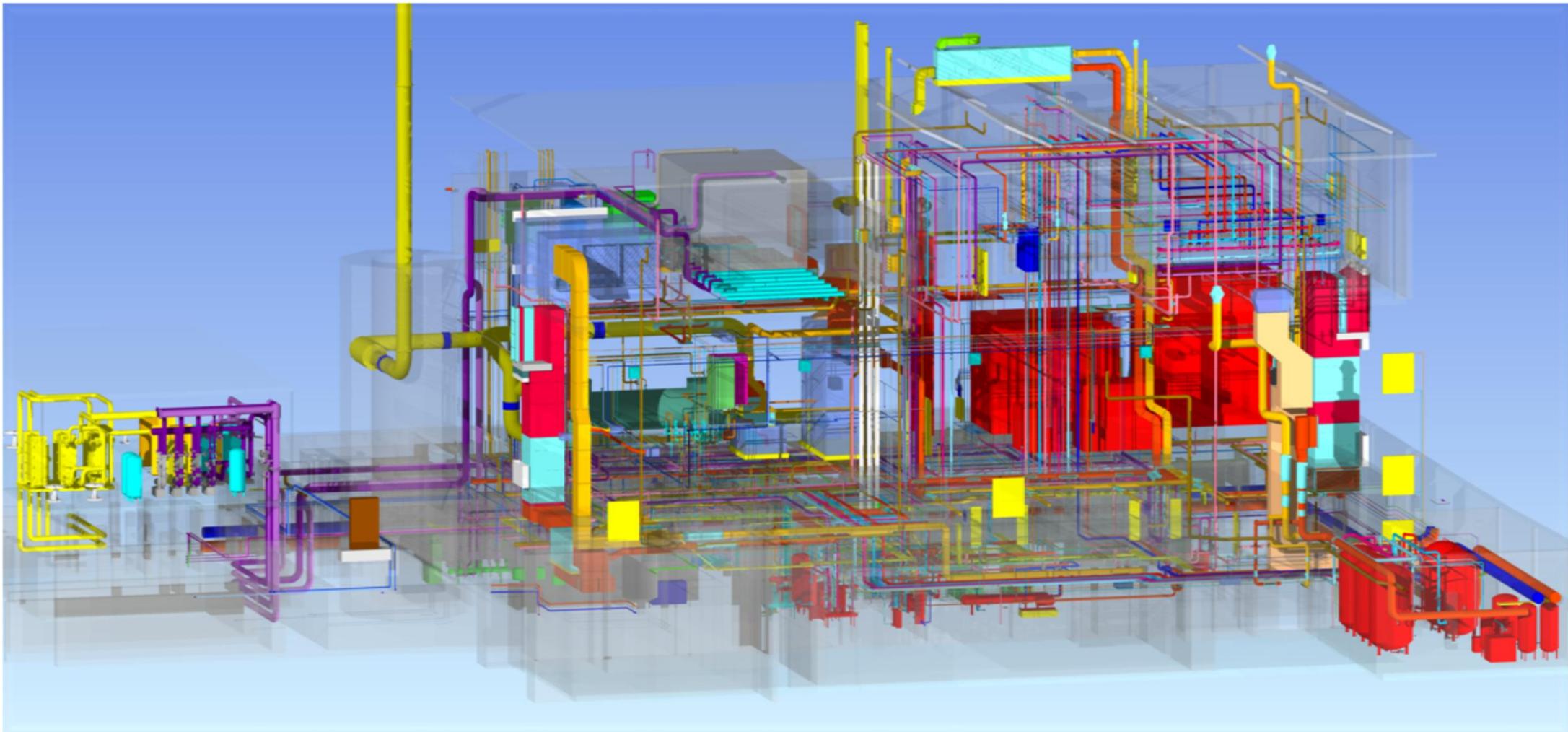
GESA LEISTUNGSPROFIL: Energieerzeugung und -verteilung

- Generalplaner für Kälte-, Wärme- und Energieerzeugungsanlagen
 - BHKW
 - Gas- und Dampfturbinen, Mikrogasturbinen
 - Abhitzekessel
 - Wärmepumpen
 - Solaranlagen
 - wärmetechnische Anlagen zur Nutzung alternativer Energiequellen und Abwärme
 - Kälteerzeugungsanlagen unter Einsatz verschiedener Systemlösungen
 - Trafostationen sowie Schaltanlagen für Mittelspannung/Leitsysteme und Automation
- Erdverlegte Medienleitungen
- MSR-, Elektro- und Prozessleittechnik



REFERENZVORHABEN: Energietechnik

3D - Planung einer Energiezentrale für Montage und Mengenermittlung im Leistungsverzeichnis



2

AUSGANGSSITUATION UND ALLGEMEINE AUFGABENSTELLUNG

1. AUSGANGSSITUATION

- Industrieunternehmen mit ca. 1.500 Beschäftigten
- traditionell innerbetriebliches Dampfnetz für kpl. Wärmeversorgung
- Wechsel des Betreibers der Anlage zu Stadtwerken Görlitz
- Kesselanlage 3 Dampfkessel Fa. Bay&Co KG, Bietigheim-Bissingen
 - begrenzt auf gleichzeitig 2 Kessel in Betrieb
 - Betrieb mit Erdgas und Heizöl
 - Dampfleistung je 10 t/h
 - Sicherheitsventile der Kessel 13 bar(ü)
 - Betriebsdruck Kessel 9..10 bar(ü)
 - Temperatur nach Überhitzer ca. 220°C
- 24h BOB
- Kesselanlage und Nebenanlagen verschlissen
- Anlage mit Genehmigung nach BImSchG aus 1994



1. AUFGABENSTELLUNG

- Austausch von 2 Kesselanlagen gegen neue Dampfkessel ausschließlich Erdgasbetrieb
- Nachrüstung von 2 Micro-GT oder BHKW elektr. Gesamtleistung ca. 400 kW im Netzparallelbetrieb
- weitere Nutzung der vorhandenen Kamine Höhe 24 m
- Erneuerung Speisewasserpumpen und -leitungen bis Kessel
- Erneuerung Dampfleitungen im Heizhaus incl. Verteiler
- Erneuerung Wasseraufbereitungsanlage
- Erneuerung Elektroinstallationen
- Aufbau eines Prozeßleitsystems
- 72h BOB
- Umbau ohne Unterbrechung der Dampflieferung
- Zeitspanne Planungsauftrag bis Inbetriebnahme 13 Monate incl. BimSchV

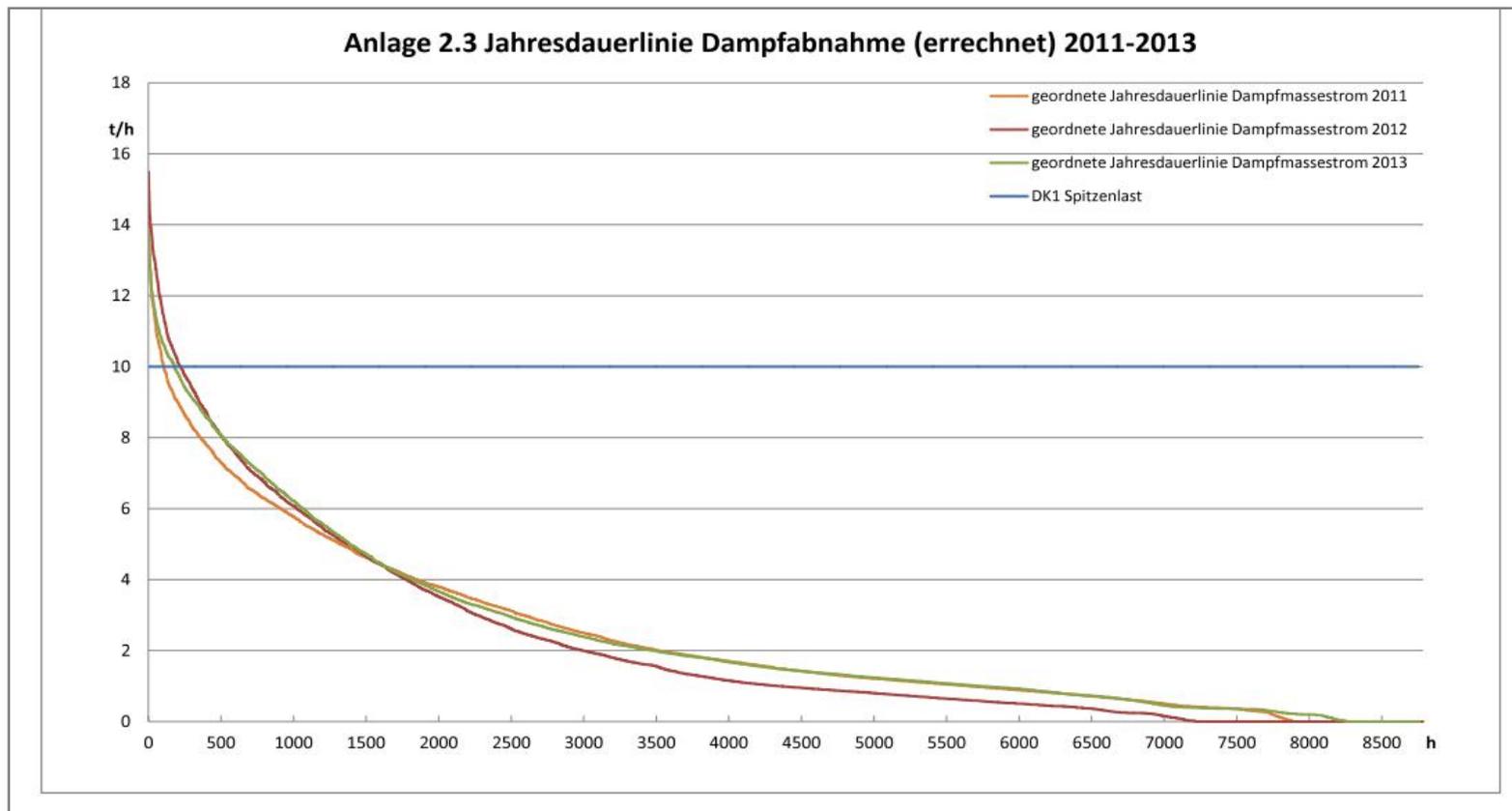


3

DISKUSSION VON PARAMETERN UND ANLAGENVARIANTEN

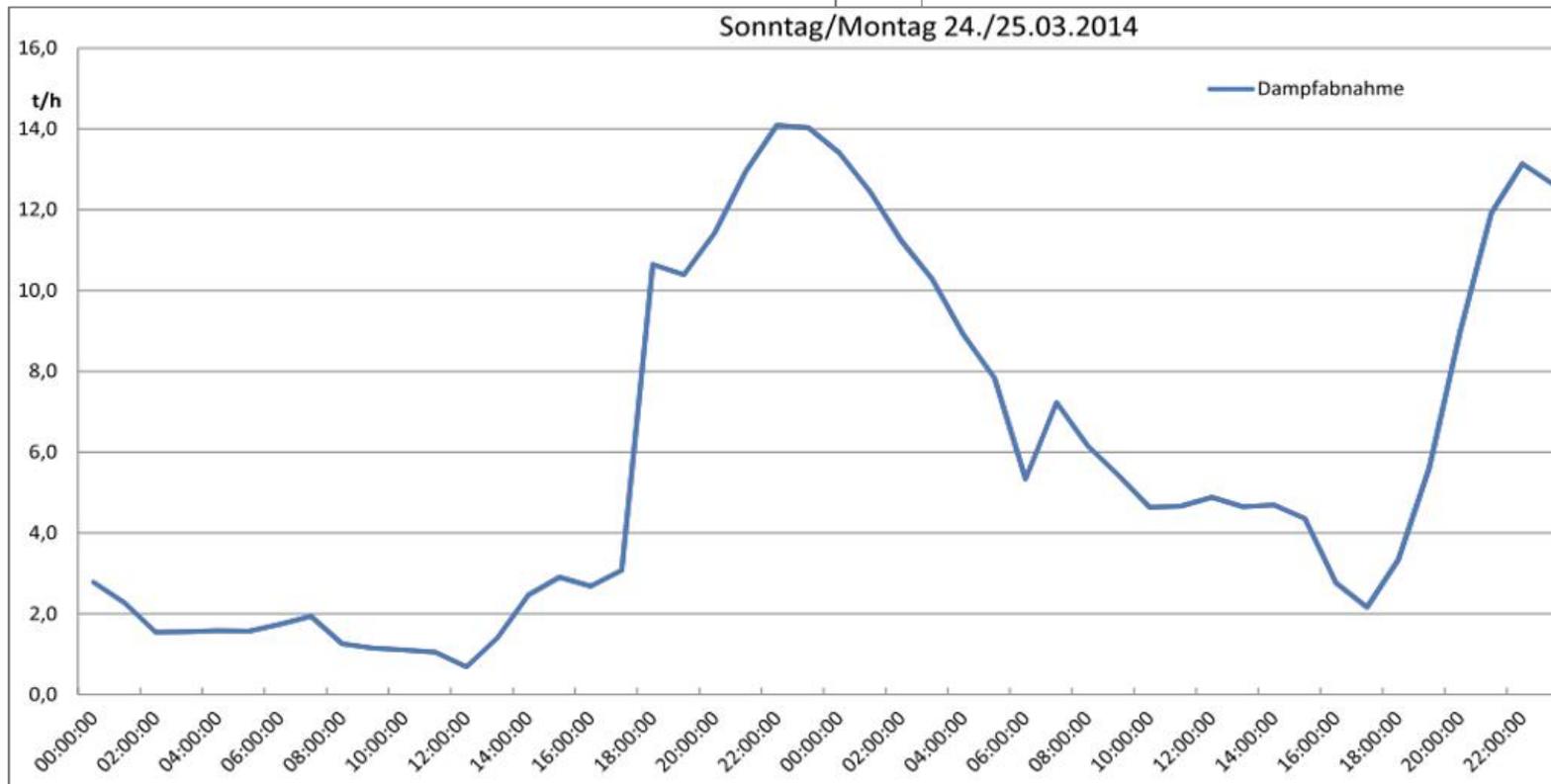
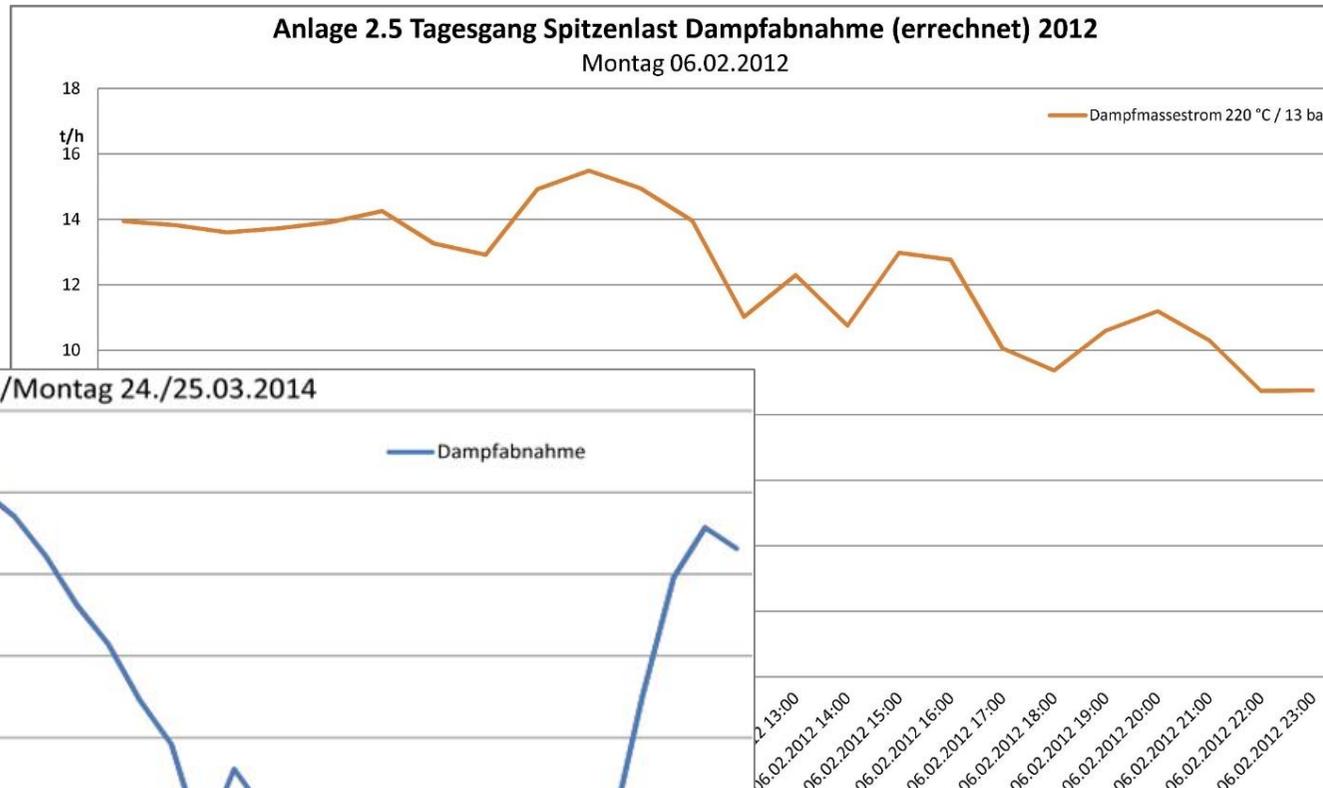
3. DAMPFBEDARF UND PARAMETER

- Diskussion Parameter / Liefermenge Dampf
 - Kesselanlage Bestand: 3 x 10 t/h mit Überhitzer Temperatur 220 °C bei 10 bar(ü)
-> max. mögliche Dampfmenge 20 t/h (Begrenzung Kessel 20 MW FWL)
 - Kesselanlage neu: 1x 10 t/h + 1x 8t/h ohne Überhitzer Sattdampf Temperatur 188°C bei 11 bar(ü)
-> max. mögliche Dampfmenge 18 t/h (Begrenzung Kessel 20 MW FWL)



3. DAMPFBEDARF UND PARAMETER

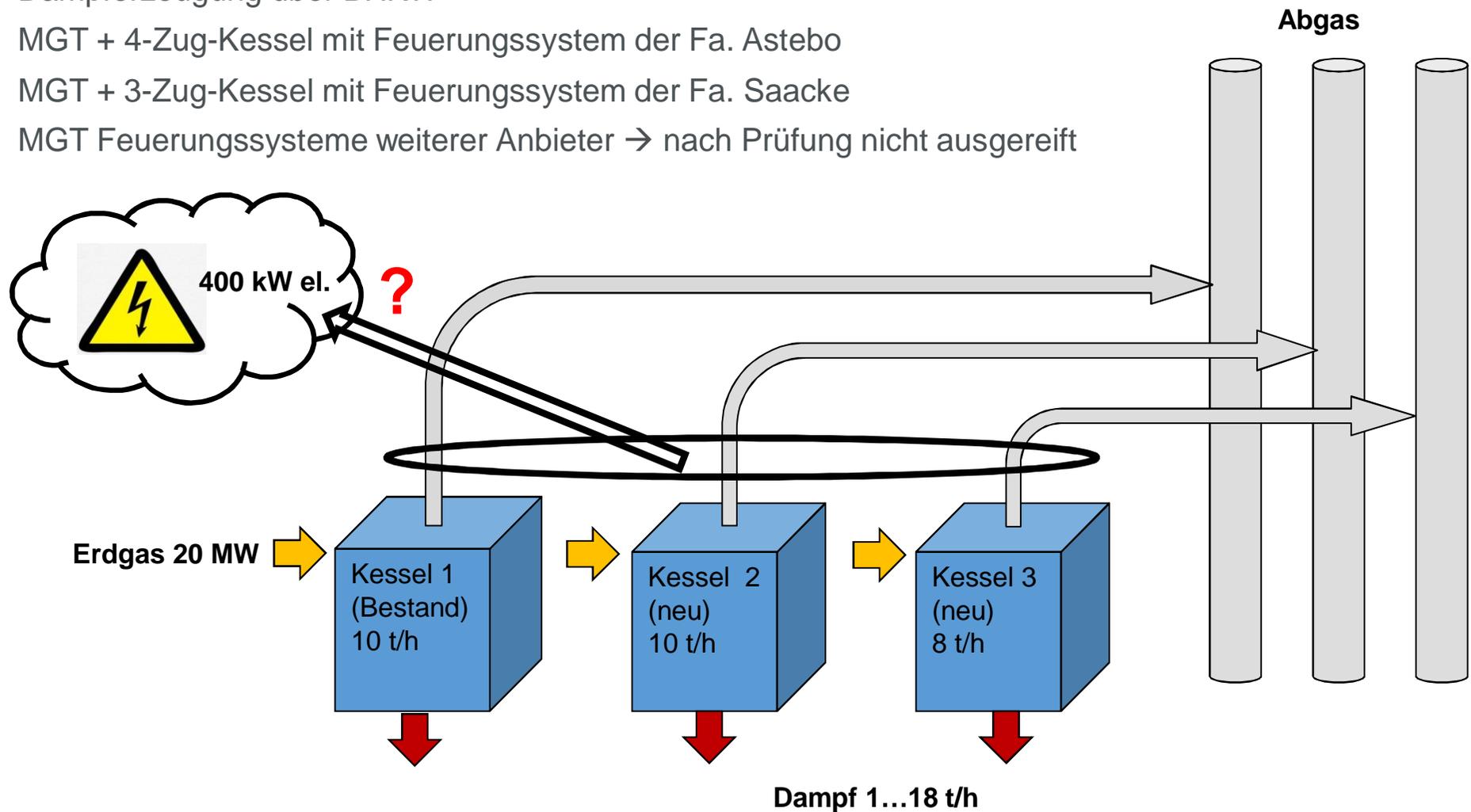
- Dampfabnahme/Kundennetz



2:13:00
06.02.2012 14:00
06.02.2012 15:00
06.02.2012 16:00
06.02.2012 17:00
06.02.2012 18:00
06.02.2012 19:00
06.02.2012 20:00
06.02.2012 21:00
06.02.2012 22:00
06.02.2012 23:00

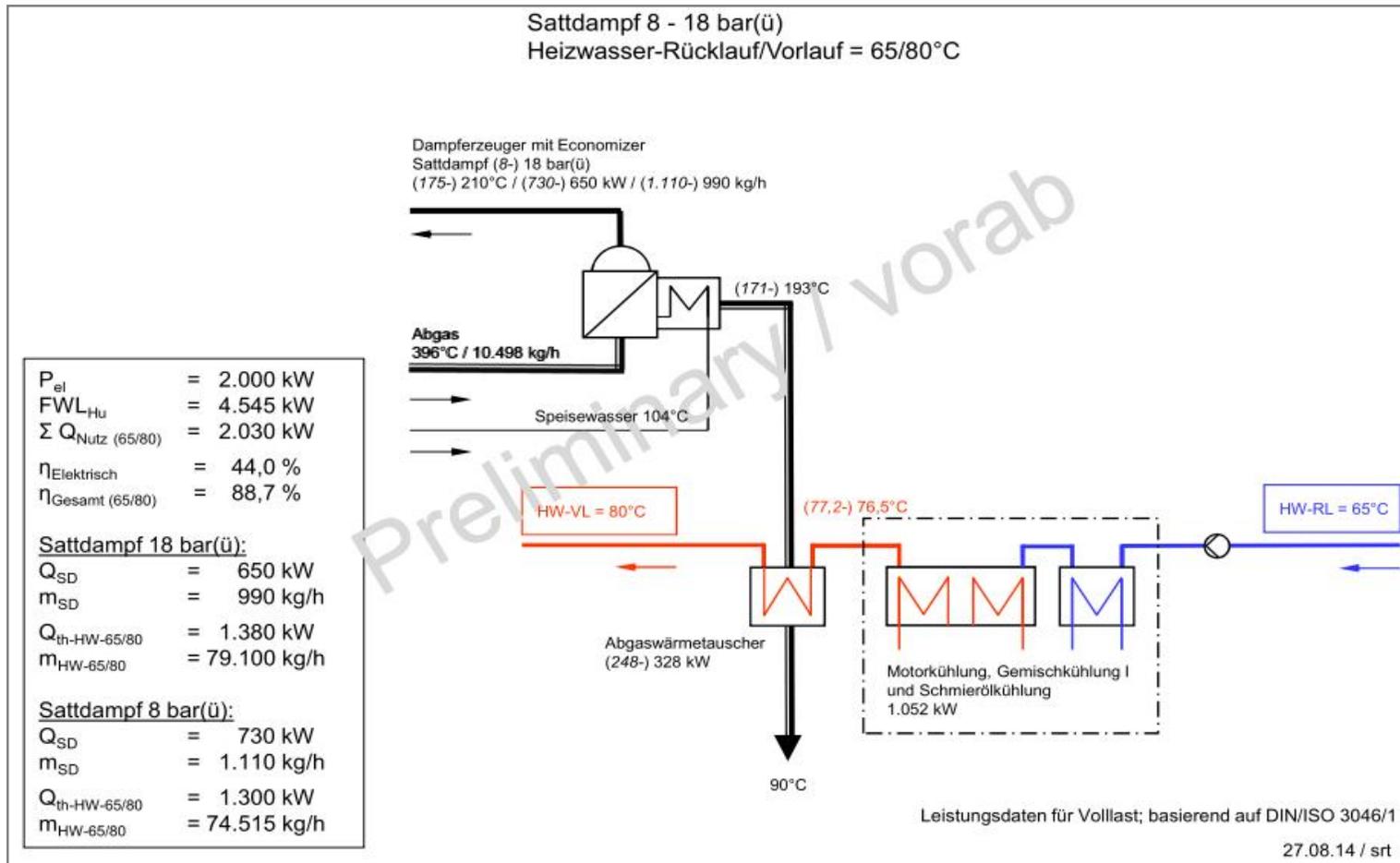
3. ANLAGEVARIANTEN

- Diskussion Varianten -> Ziel: KWK-Anlage zur variablen Dampferzeugung
 - Dampferzeugung über BHKW
 - MGT + 4-Zug-Kessel mit Feuerungssystem der Fa. Astebo
 - MGT + 3-Zug-Kessel mit Feuerungssystem der Fa. Saacke
 - MGT Feuerungssysteme weiterer Anbieter → nach Prüfung nicht ausgereift



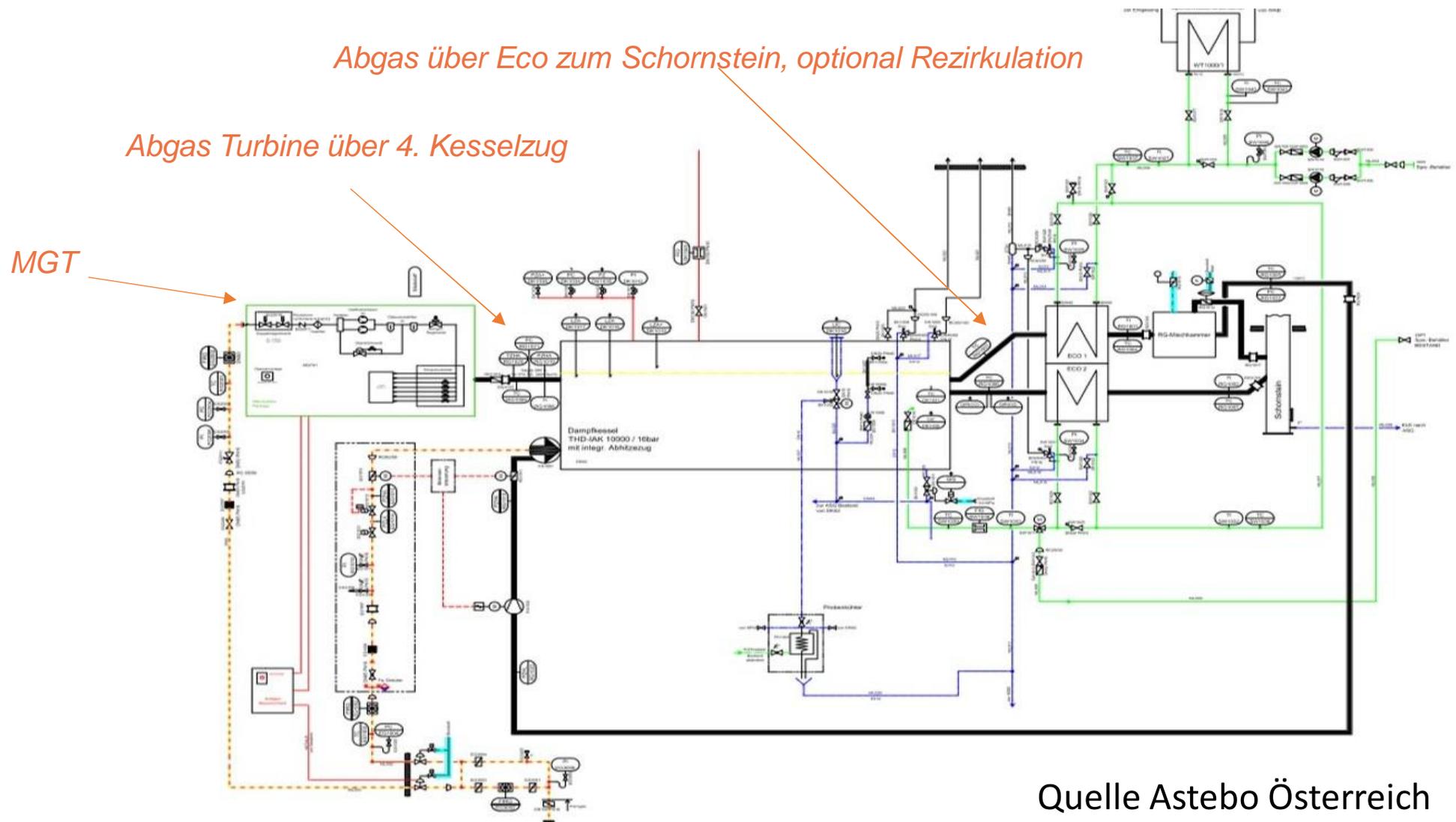
3. ANLAGEVARIANTE – BHKW für Dampferzeugung

- gewünschte Dampfparameter erfordern Abführung hoher NT- Wärme
Verlust von ca. 1 MW Motorkühlung für 1,1 t/h Sattedampf → Nutzung nicht gegeben
- BHKW- Konzepte (Heißkühlung) erreichen keine ausreichenden Dampfparameter nur ca. 1 bar(ü)



3. ANLAGEVARIANTE - 4-Zug-Kessel Astebo

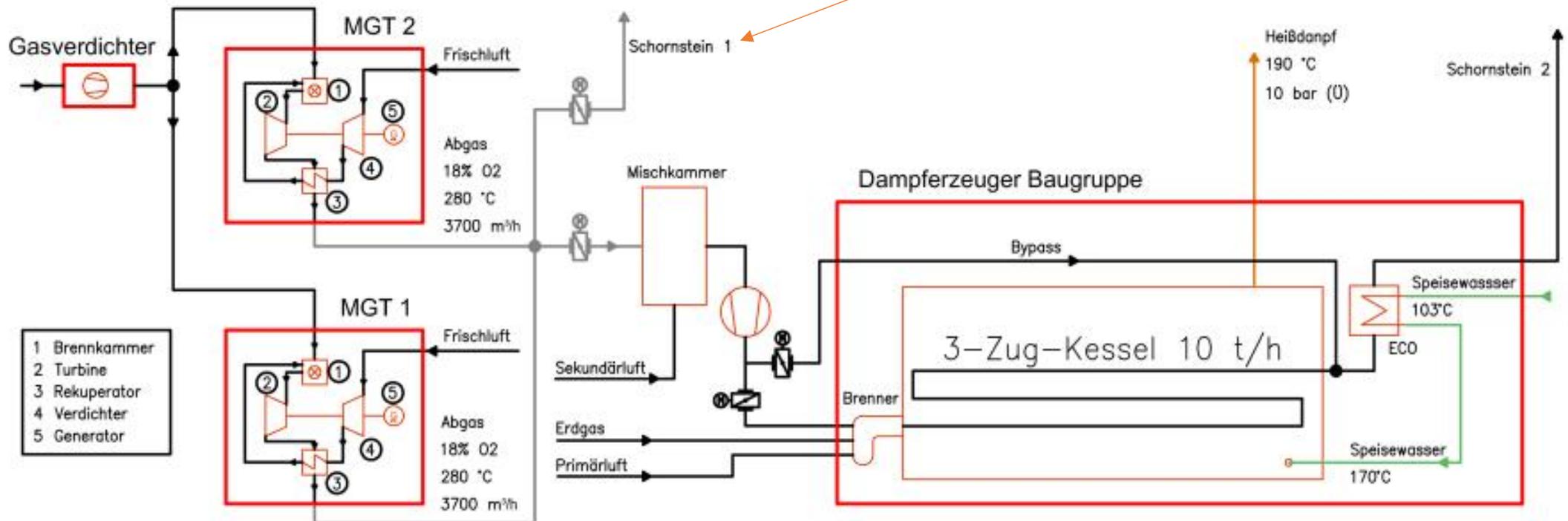
- kombinierbar mit Mikrogasturbine 2 x 200 kW - Turbinenabgas über 4. Zug des Kessel geleitet



3. ANLAGEVARIANTE - 3-Zug-Kessel mit Bypass

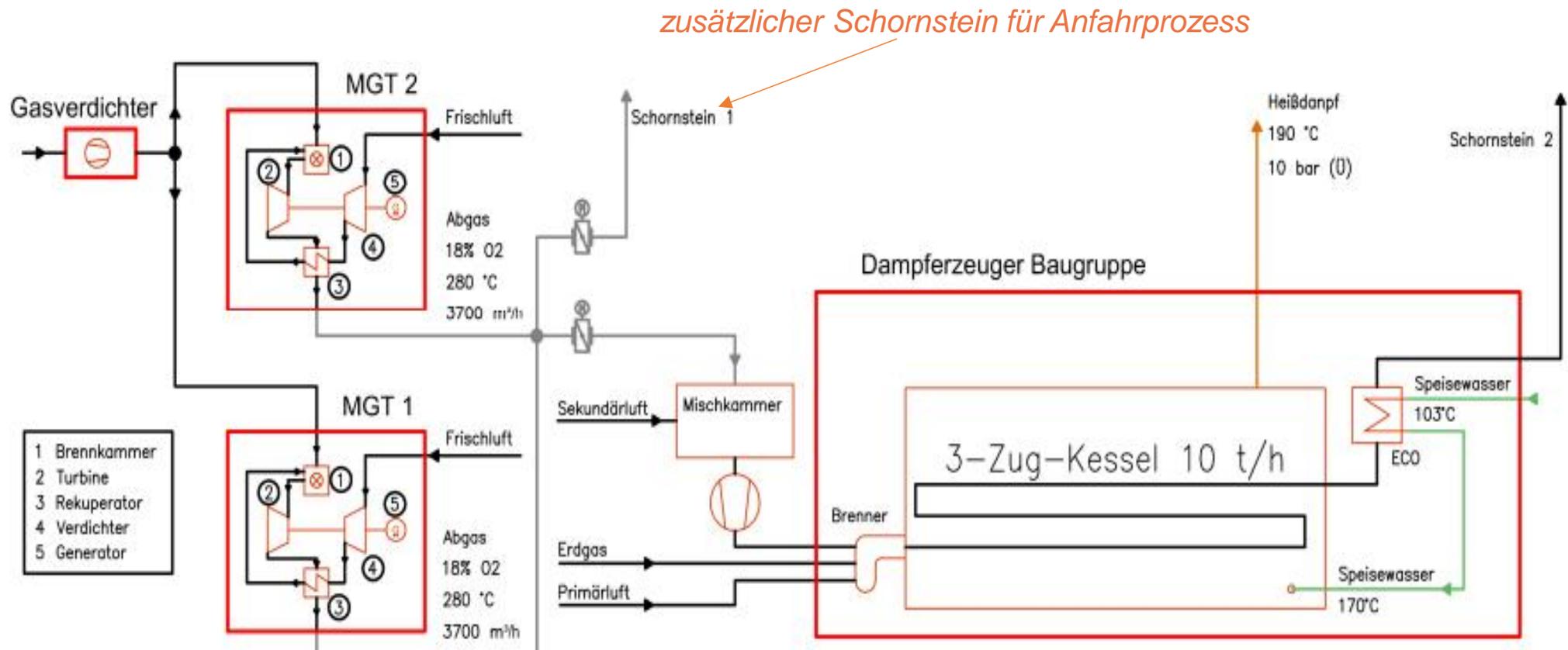
- MGT Abgase werden sowohl über Kessel als auch über Bypass direkt zum Eco geführt
- Brenner am Kessel limitiert max. Abgasmenge – durch Bypass höhere Abgasmenge und damit höhere Stromerzeugung im Teillastbetrieb möglich

zusätzlicher Schornstein für Anfahrprozess



3. ANLAGEVARIANTE - 3-Zug-Kessel ohne Bypass

- MGT Abgase werden nur über Kessel geführt
- Brenner am Kessel limitiert max. Abgasmenge – und damit elektr. Leistung der Turbine

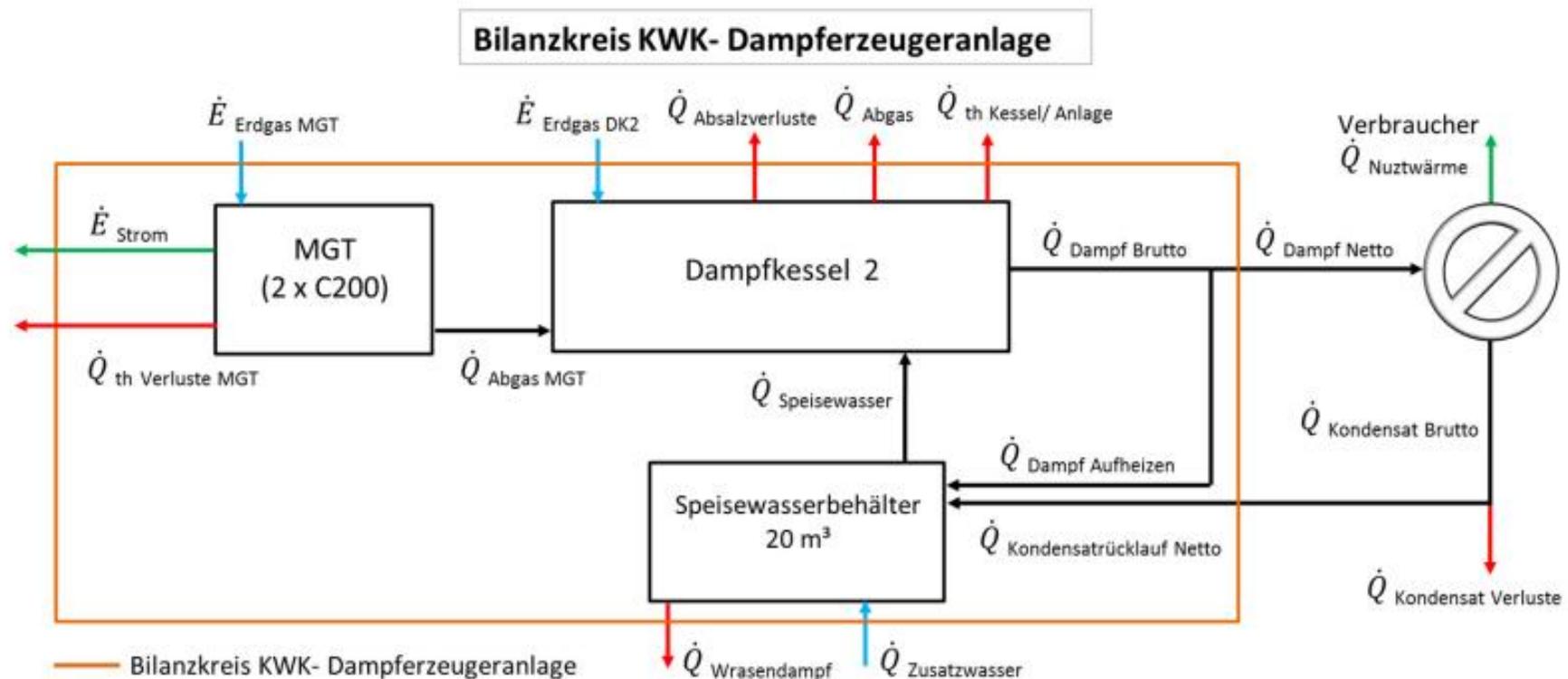


4

BERECHNUNGEN ZUR ANLAGENKONFIGURATION

4. Berechnung der Varianten – Simulationsrechnung für die verschiedenen Varianten

- wesentliche Eingangswerte
 - Stundenwerte der Dampfabnahme aus Vorjahren
 - Betriebskennfeld der gewählten MGT sowie der weiteren Hauptkomponenten wie Brenner, DE
 - Wärme- und Kondensatverluste, sonstige Verluste der Anlage aus Kennwerten bzw. Annahmen
- Ergebnisse
 - Jahresbilanz für Energie- bzw. Stoffströme auf Basis von Stundenwerten



4. Berechnung der Varianten – Beispiel Berechnung eines Lastpunktes

| | | |
|--|--|--|
| Dampfleistung Verbraucher 5,610 kW 7,3 t/h | Vorgabe Leistungsdaten: Leistungsbedarf Verbraucher: 5,6 MW Außentemperatur: -0,6 °C Feuerungsleistung Brenner: 5,333 kW | Vorgabe Anlagenzustand: Leistung Turbine 1: 100 % Leistung Turbine 2: 100 % Turbinenabgas Anteil zu Kessel: 100 % Temperatur Abgas Austritt Kessel: 240 °C Temperatur max. Speisewasser Austritt ECO: 180 °C Temperatur min. Abgas Austritt ECO: 110 °C Sekundärluft Beimischung: 5 % Primärluft Zusatzfeuerung: 0,00 kg/s Annahme Wärmeübertragung Wirkungsgrad ECO: 0,95 |
| BZ 5 5,6 MW | | |
| Darstellung von Betriebszuständen (System 3- Zug- Kessel mit und ohne Bypass) | | |

| | |
|--|---------------|
| KWK- Bilanz Turbinen im Betriebszustand | |
| P Brennstoffeinsatz | 1.195 kW |
| Turbinen Netto Nutzleistung thermisch | 706 kW |
| Turbinen Netto- Nutzleistung el. | 367 kW |
| Wirkungsgrad KWK- Anlage | 89,8 % |
| Referenzwirkungsgrad KWK | 65,3 % |

| | |
|-----------------------|-------------|
| Zusatzfeuerung | |
| P Brennstoff: | 5.333 kW |
| m Erdgas: | 0,12 kg/s |
| V Erdgas: | 533,3 Nm³/h |
| Primärluft | |
| m: | 0,00 kg/s |
| T: | -1 °C |

| | |
|---------------------|-----------|
| Sekundärluft | |
| Anteilig Abgas: | 5 % |
| m: | 0,13 kg/s |
| T: | -1 °C |

| | |
|----------------------------|-----------|
| Abgas Turbine 1 + 2 | |
| P Abgas: | 759 kW |
| m Abgas: | 2,65 kg/s |
| T Abgas: | 258 °C |
| Restsauerstoff: | 18,2 % |

| | |
|------------------|------------|
| Turbine 1 | |
| P Vorgabe: | 100 % |
| P Brennstoff: | 598 kW |
| m Erdgas: | 0,014 kg/s |
| P el: | 200 kW |
| η el: | 33,47 % |
| P Abgas: | 379 kW |
| m Abgas: | 1,32 kg/s |
| Restsauerstoff: | 18,2 % |
| V Primärluft: | 3642 m³/h |
| V Erdgas: | 60 m³/h |
| T Primärluft: | 2,4 °C |
| T Außen: | -0,6 °C |
| T Abgas: | 258 °C |

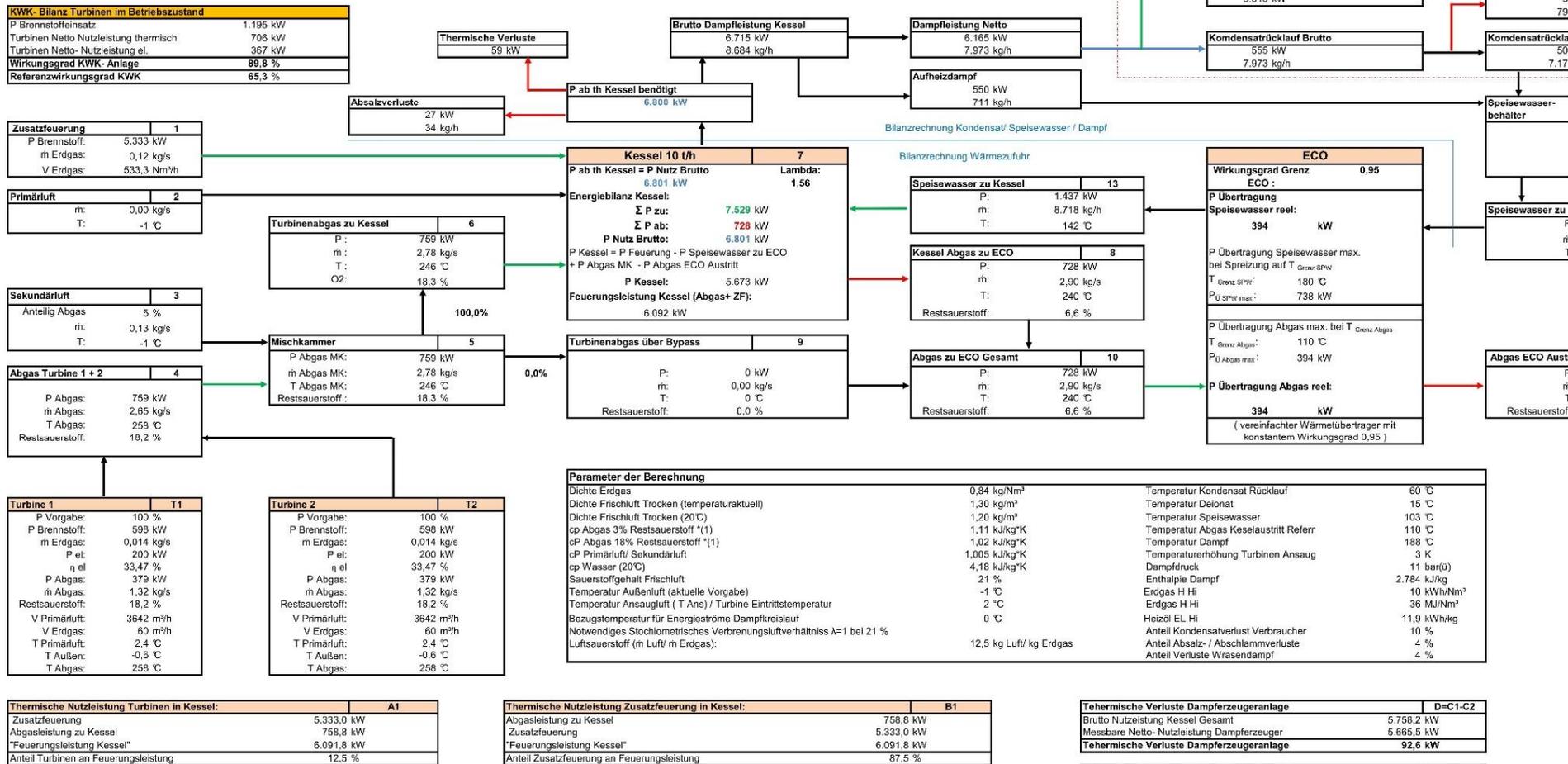
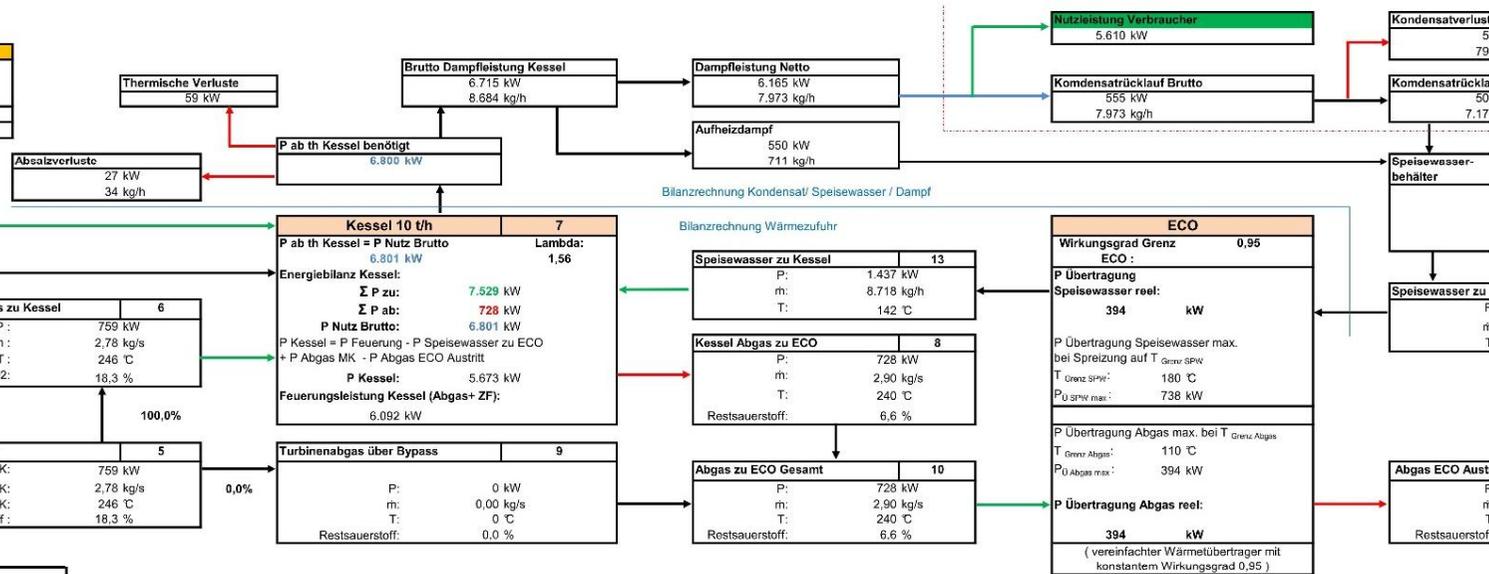
| | |
|------------------|------------|
| Turbine 2 | |
| P Vorgabe: | 100 % |
| P Brennstoff: | 598 kW |
| m Erdgas: | 0,014 kg/s |
| P el: | 200 kW |
| η el: | 33,47 % |
| P Abgas: | 379 kW |
| m Abgas: | 1,32 kg/s |
| Restsauerstoff: | 18,2 % |
| V Primärluft: | 3642 m³/h |
| V Erdgas: | 60 m³/h |
| T Primärluft: | 2,4 °C |
| T Außen: | -0,6 °C |
| T Abgas: | 258 °C |

| | | | |
|--|-------------------------|--|-------------|
| Parameter der Berechnung | | | |
| Dichte Erdgas | 0,84 kg/Nm³ | Temperatur Kondensat Rücklauf | 60 °C |
| Dichte Frischluft Trocken (temperaturaktuell) | 1,30 kg/m³ | Temperatur Deionat | 15 °C |
| Dichte Frischluft Trocken (20°C) | 1,20 kg/m³ | Temperatur Speisewasser | 103 °C |
| cp Abgas 3% Restsauerstoff *(1) | 1,11 kJ/kg*K | Temperatur Abgas Kesselaustritt Referr | 110 °C |
| cp Abgas 18% Restsauerstoff *(1) | 1,02 kJ/kg*K | Temperatur Dampf | 188 °C |
| cp Primärluft/ Sekundärluft | 1,005 kJ/kg*K | Temperaturerhöhung Turbinen Ansaug | 3 K |
| cp Wasser (20°C) | 4,18 kJ/kg*K | Dampfdruck | 11 bar(0) |
| Sauerstoffgehalt Frischluft | 21 % | Enthalpie Dampf | 2.784 kJ/kg |
| Temperatur Außenluft (aktuelle Vorgabe) | -1 °C | Erdgas H Hi | 10 kJ/Nm³ |
| Temperatur Ansaugluft (T Ans) / Turbine Eintrittstemperatur | 2 °C | Erdgas H Hi | 36 kJ/Nm³ |
| Bezugstemperatur für Energieströme Dampfkreislauf | 0 °C | Heizöl EL Hi | 11,9 kWh/kg |
| Notwendiges Stöchiometrisches Verbrenungsluftverhältnis λ=1 bei 21 % | | Anteil Kondensatverlust Verbraucher | 10 % |
| Luftsauerstoff (m Luft/ m Erdgas): | 12,5 kg Luft/ kg Erdgas | Anteil Absalz- / Abschlammlverluste | 4 % |
| | | Anteil Verluste Wrasendampf | 4 % |

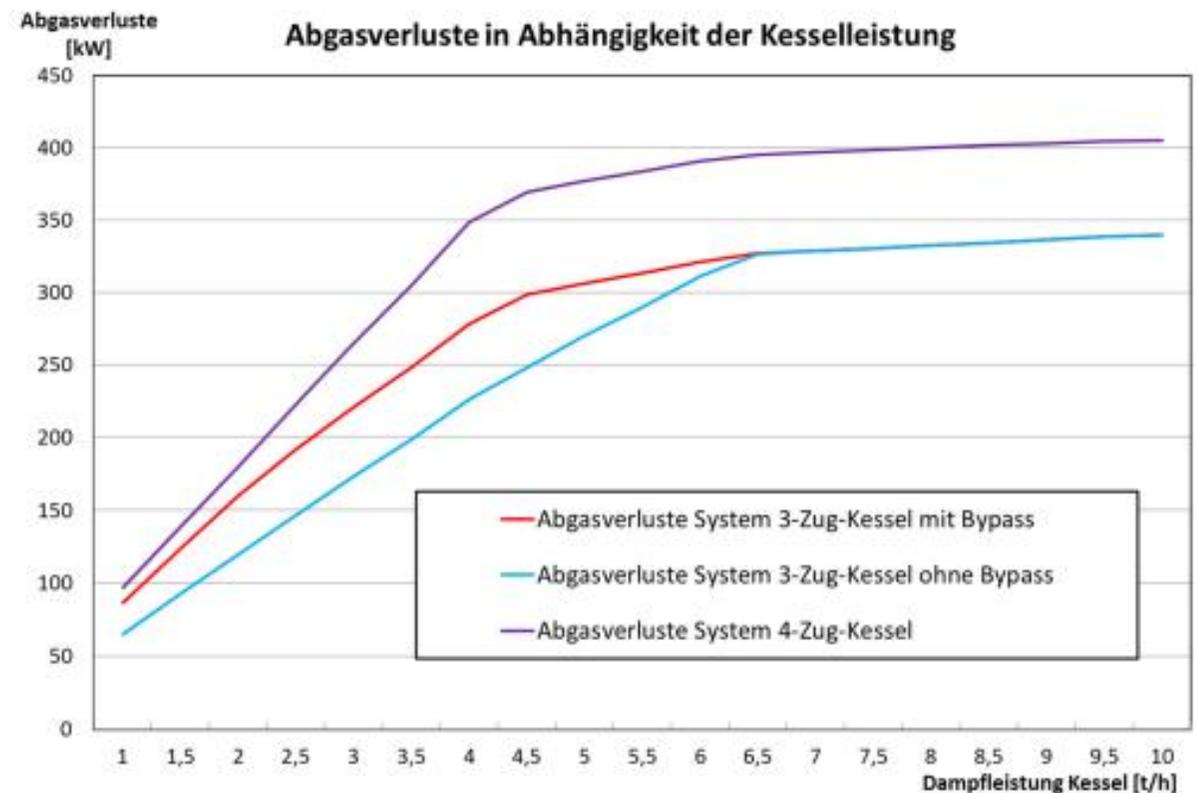
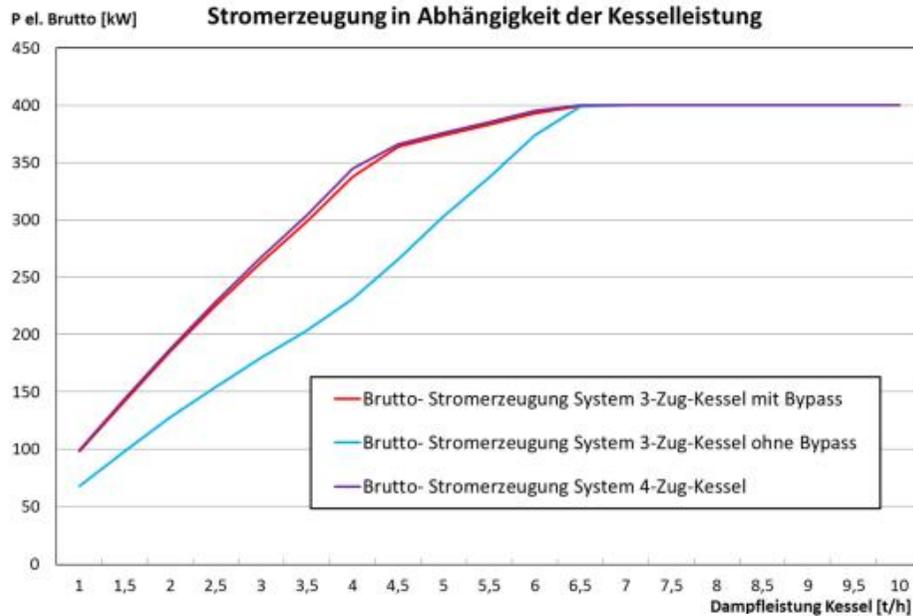
| | |
|--|------------|
| Thermische Nutzleistung Turbinen in Kessel: | |
| Zusatzfeuerung | 5.333,0 kW |
| Abgasleistung zu Kessel | 758,8 kW |
| "Feuerungsleistung Kessel" | 6.091,8 kW |
| Anteil Turbinen an Feuerungsleistung | 12,5 % |

| | |
|--|------------|
| Thermische Nutzleistung Zusatzfeuerung in Kessel: | |
| Abgasleistung zu Kessel | 758,8 kW |
| Zusatzfeuerung | 5.333,0 kW |
| "Feuerungsleistung Kessel" | 6.091,8 kW |
| Anteil Zusatzfeuerung an Feuerungsleistung | 87,5 % |

| | |
|--|----------------|
| Thermische Verluste Dampferzeugeranlage | |
| Brutto Nutzleistung Kessel Gesamt | 5.758,2 kW |
| Messbare Netto- Nutzleistung Dampferzeuger | 5.665,5 kW |
| Thermische Verluste Dampferzeugeranlage | 92,6 kW |



4. Berechnung der Varianten – Ergebnisse der Berechnung



4. Berechnung der Varianten – Ergebnisse der Berechnung

| Jahresbilanz der KWK-Dampferzeugeranlage (Kessel 2 + 2 x C 200) | | System 3-Zug-Kessel ohne Bypass | System 3-Zug-Kessel mit Bypass | System 4-Zug-Kessel |
|--|---------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Erdgasbedarf [Hi] | [MWh/a] | 16.419 | 16.840 | 17.069 |
| Wärmegewinne Zusatzwasser | [MWh/a] | 37 | 37 | 37 |
| Nutzwärmebereitstellung | [MWh/a] | 13.673 | 13.673 | 13.673 |
| Kondensatverluste Verbraucher | [MWh/a] | 135 | 135 | 135 |
| Bruttostromerzeugung | [MWh/a] | 1.099 | 1.366 | 1.379 |
| Abgasverluste MGT + Kessel | [MWh/a] | 992 | 1.154 | 1.369 |
| Thermische Verluste der Dampferzeugung | [MWh/a] | 420 | 420 | 420 |
| Thermische Verluste an MGT | [MWh/a] | 136 | 128 | 129 |
| Jahresnutzungsgrad [Hi] der KWK-Dampferzeugeranlage (Kessel 2 + 2 x C 200) | | 0,893 | 0,886 | 0,874 |
| Jahresnutzungsgrad [Hs] der KWK-Dampferzeugeranlage (Kessel 2 + 2 x C 200) | | 0,825 | 0,819 | 0,809 |

Jahresbilanzen für komplettes System

Jahresbilanzen für Einzelanlagen

| Erdgaseinsatz für die Stromerzeugung | | System 3-Zug-Kessel ohne Bypass | System 3-Zug-Kessel mit Bypass | System 4-Zug-Kessel |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Mehraufwendung Erdgaseinsatz [Hi] | [MWh/a] | 1.570 | 1.991 | 2.219 |
| Bruttostromerzeugung | [MWh/a] | 1.099 | 1.366 | 1.379 |
| Aufwandszahl der Stromerzeugung | | 1,428 | 1,458 | 1,610 |

| Jahresbilanz der Mikrogasturbinen | | System 3-Zug-Kessel ohne Bypass | System 3-Zug-Kessel mit Bypass | System 4-Zug-Kessel |
|--------------------------------------|---------|---------------------------------|--------------------------------|---------------------|
| Erdgasbedarf MGT [Hi] | [MWh/a] | 3.320 | 4.114 | 4.150 |
| Nutzwärmebereitstellung MGT | [MWh/a] | 1.887 | 2.353 | 2.065 |
| Bruttostromerzeugung MGT | [MWh/a] | 1.099 | 1.366 | 1.379 |
| Abgasverlust Anteil MGT | [MWh/a] | 139 | 196 | 525 |
| Anlagenverluste thermisch Anteil MGT | [MWh/a] | 59 | 71 | 53 |
| Thermische Verluste an MGT | [MWh/a] | 136 | 128 | 129 |
| Jahresnutzungsgrad | | 0,90 | 0,90 | 0,83 |

4. Berechnung der Varianten – Ergebnisse der Berechnung

- Vorteile der Simulation:
 - Ermittlung des Jahresenergiebedarfes für das Gesamtsystem und für wesentliche Komponenten
 - Bilanzierung der wesentlichen Ausgangswerte für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen

- konkrete Ergebnisse
 - Ermittlung der energetisch vorteilhaftesten Variante – 3-Zug Kesselanlage mit Bypass, Anlage ermöglicht im Teillastbereich höhere Stromerzeugung bei nur geringfügig schlechteren Wirkungsgrad
 - Festlegung der insgesamt wirtschaftlichsten Variante – 3-Zug-Kesselanlage ohne Bypass, Mehrkosten für Anlagen – und MSR-Technik sind durch höhere Stromerzeugung wirtschaftlich nicht darstellbar
 - Festlegung vorerst nur 1 Turbine zu installieren, keine ausreichende Wirtschaftlichkeit für 2. Turbine
 - Definition von Anforderungen an die einzelnen Anlagenkomponenten, insbesondere durch die intensive Diskussion von Teillastbetriebszuständen sind konkrete Anforderungen an das Abgassystem und die damit verbundenen Bauteile verbunden
 - Energieverluste der Anlage werden separat ausgewiesen – Rückwirkungen auf die Gestaltung der Anlagen möglich

5

GENEHMIGUNG

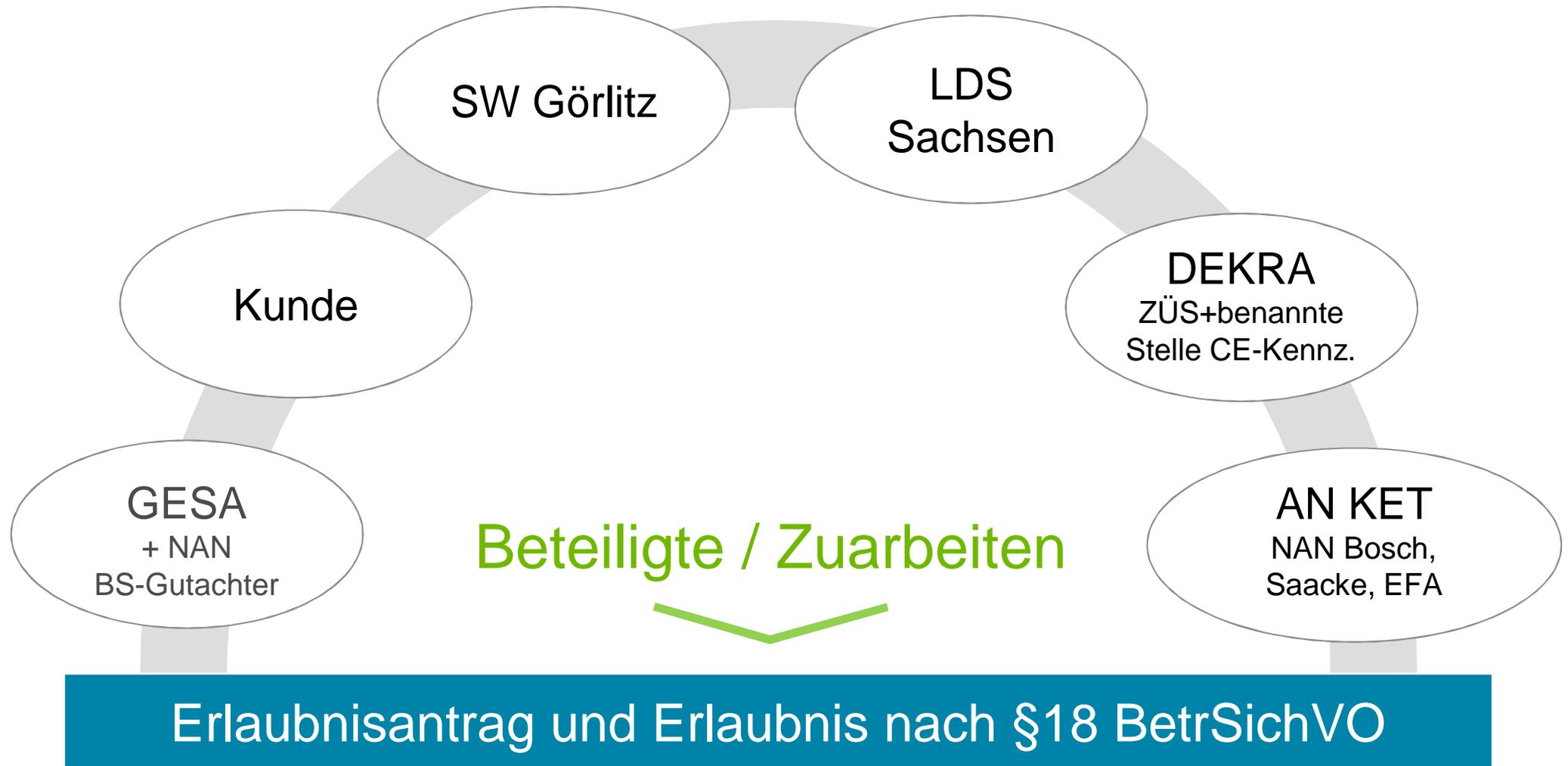
5. GENEHMIGUNG – Thema Schallschutz räumliche Situation



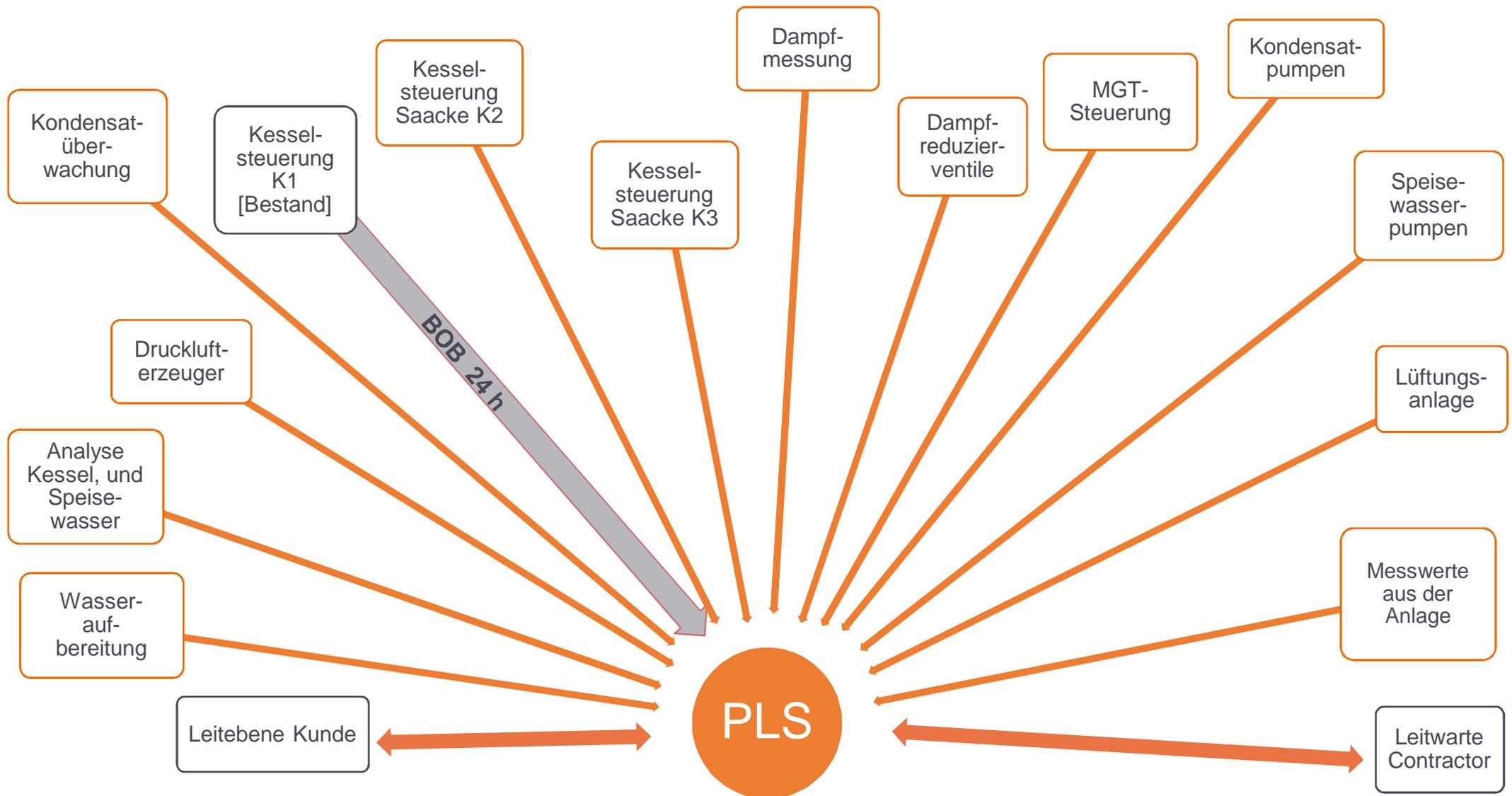
5. GENEHMIGUNG – Thema Schallschutz

- Ausgangszustand unklare Genehmigungssituation
 - Immissionsorte nicht eindeutig definiert
 - Grenzwerte nicht eindeutig festgelegt
 - Schallbelastung im Bestand nicht verlässlich dokumentiert
 - geänderte Berechnungsverfahren (TA Lärm)
 - Irrelevanzregelung (6dB unter Richtwert) schließt Behörde wegen Vorbelastung aus
- Schalltechnisches Gutachten
 - Bewertung aller Schallemissionen am Gebäude
 - Beurteilung Schalldämmung Gebäude
 - Beurteilung Schallimmission an 10 Immissionsorten
- Forderung Behörde Richtwert
 - nachts KH 35dB(A) – 15dB(A) = 20 dB(A), berechnet am KH 17..26 dB(A) bzw. 14..23dB(a) mit Schalldämmhauben → zunächst nicht genehmigungsfähig
 - Besondere Bewertung tieffrequenter Geräusche
- Einigung auf Richtwert nachts KH 35dB(A) – 10dB(A) = 25 dB(A) nach mehreren Abstimmungsrunden und technischer Betrachtungen (Unverhältnismäßigkeit)

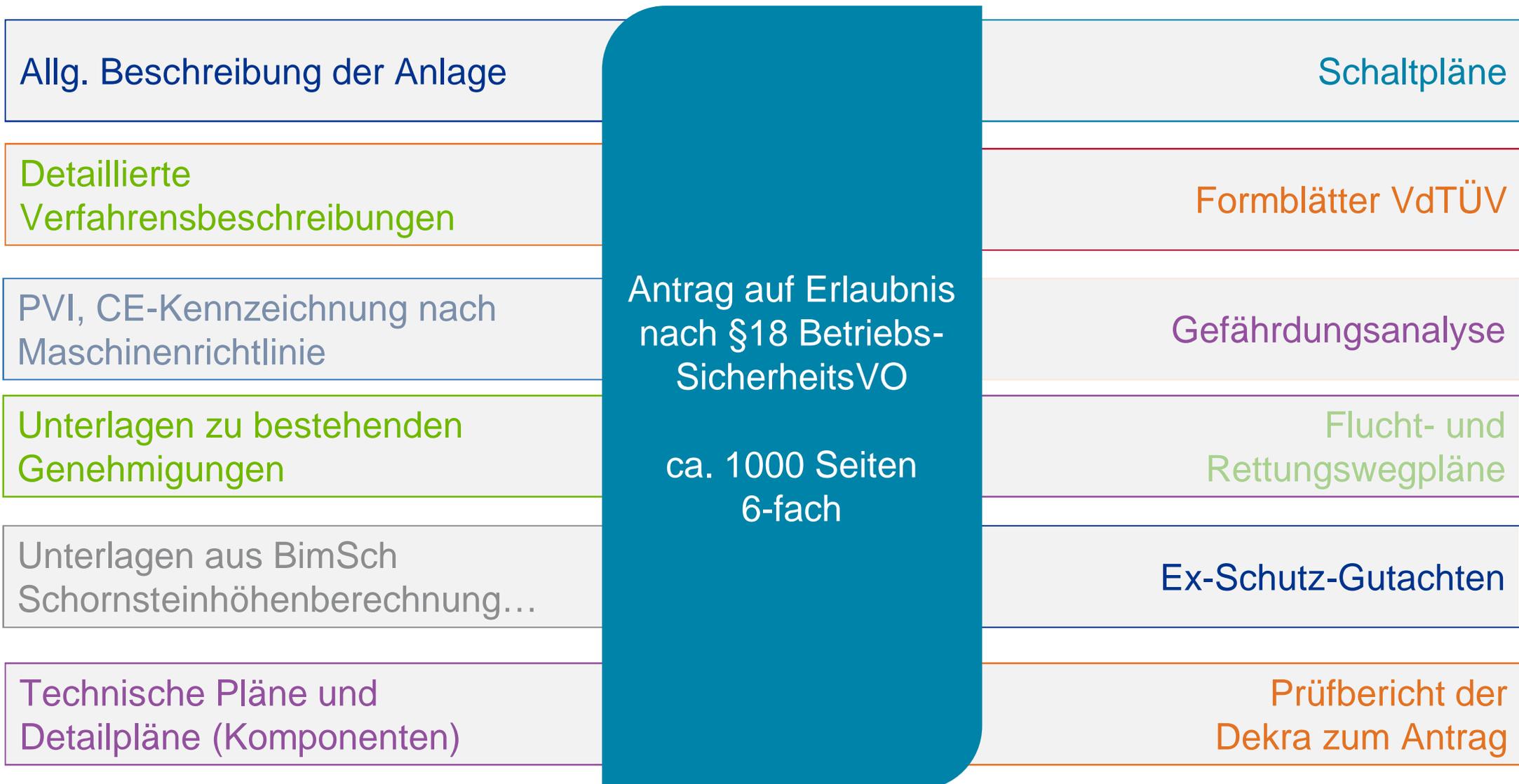
5. GENEHMIGUNG – Erlaubnisantrag BetrSichVO vom 03.02.2015



5. GENEHMIGUNG – relevante Anlagen für BOB 72 h



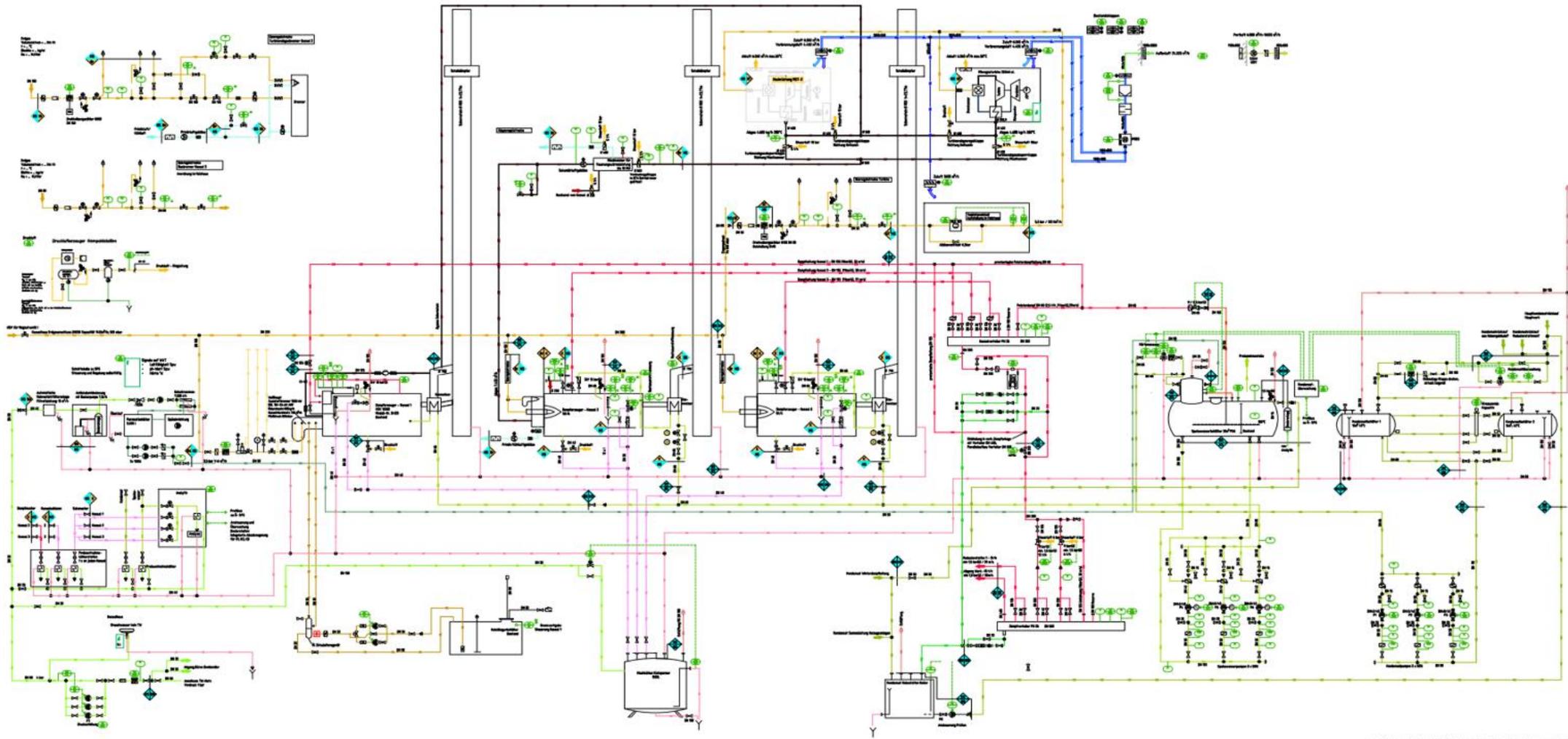
5. GENEHMIGUNG – Erlaubnisantrag BetrSichVO vom 03.02.2015



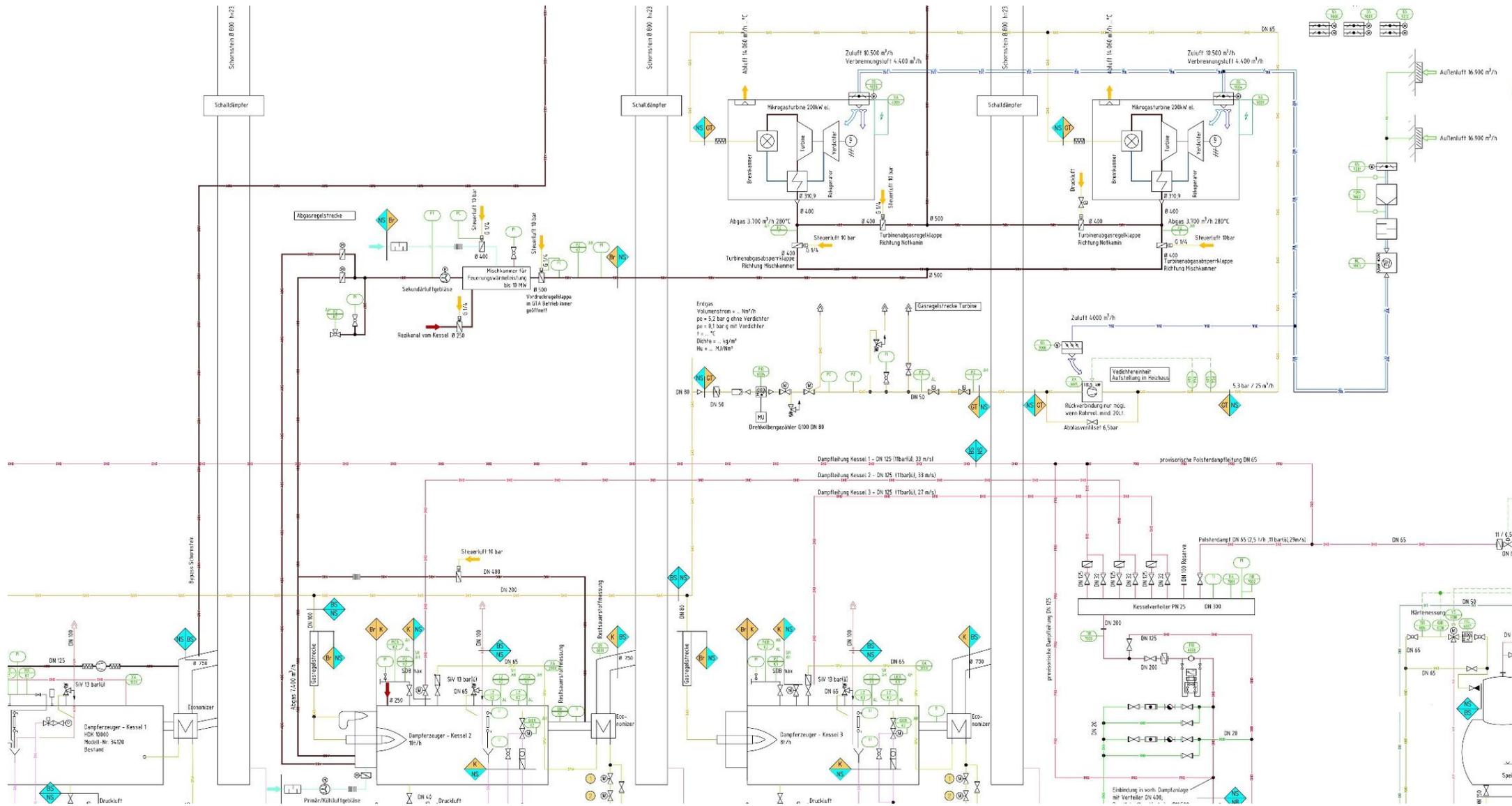
6

BAU- UND INBETRIEBNAHME

6. BAU – UND INBETRIEBNAHME

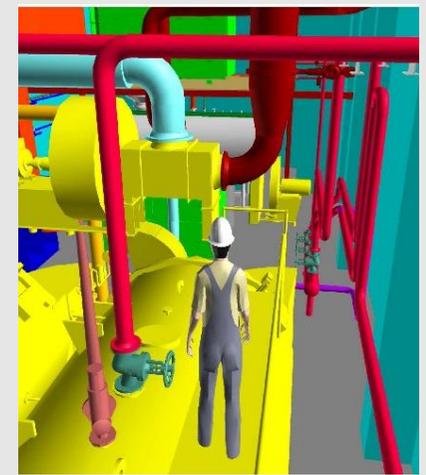


6. BAU – UND INBETRIEBNAHME



6. BAU – UND INBETRIEBNAHME

- Ausschreibung und Vergabe in 3 Teillosen inkl. Bauleistungen
- Vergabe 3/2015 → Baubeginn 5/2015 → IBN 10/2015 → Abnahme 12/2015
- insgesamt 3 Versorgungsunterbrechungen ~ 8 h für elektrische und hydraulische Einbindungen
- Ausbringen / Einbringen der Kessel, je ca. 25 t, mittels Luftkissentechnik
- zeitlich sehr eng gestaffelte Ausführung mit bis zu 40 Arbeitskräften in dem beengten Aufstellraum, incl. SIGEKO-Koordination
- Einhaltung Kostenbudget, Abrechnung 97% der kalkulierten Kosten



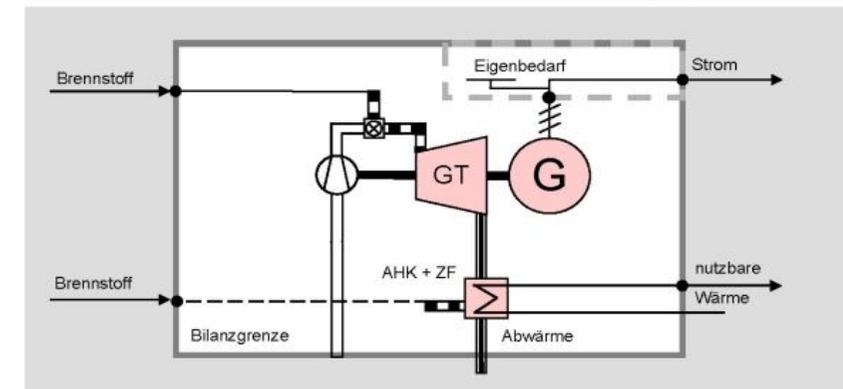
7

HOCHEFFIZIENZNACHWEIS

7. HOCHEFFIZIENZNACHWEIS

- Nachweis von Bafa gefordert (KWK - Sonderanlage)
- Datenbasis Leistungsfahrt und Betriebsdaten
- Bilanzgrenzen nach AGFW FW 308
- Netto-Stromkennzahl des KWK-Prozesses (Strom/Wärme)
 - Volllast 0,557
 - Teillast 0,560
- Bestimmung KWK- Effizienz
 - KWK- Gesamtwirkungsgrad Volllast 86,4%
 - KWK- Gesamtwirkungsgrad Teillast 86,1%
 - Grenzwert Bafa: 80,0%
- Primärenergieeinsparung nach EU-KWK-Richtlinie (im Vergleich zur getrennten Erzeugung)
 - Volllast 19,7%
 - Teillast 19,5%

Bild 2a: KWK-Anlage - Gasturbinenanlage (GT) mit Abhitzekeessel (AHK) und Zusatzfeuerung (ZF)



VIELEN DANK FÜR IHRE
AUFMERKSAMKEIT

