midiplan

Mit Energie
besser wirtschaften

Grundlagen einer KWK-Anlage

Eigenstromerzeugung in der Industrie, Wolpertshausen 04.02.2019

Kurzvorstellung (1/2)

Frank Peetz

- Maschinenbau-Studium Universität Stuttgart, Abschluss 1994
- 5 Jahre Planung kommunale BHKW
- Gründung midiplan Januar 1999, Bietigheim-Bissingen bei Stuttgart, Ingenieurbüro mit 13 Mitarbeitern

Ingenieurleistungen

- Konzeptstudien bzw. Vorplanungen mit Wirtschaftlichkeitsberechnungen
- Fachplanung, Genehmigungsplanung, Ausschreibung und Bauüberwachung (allgemeine HOAI-Leistungen)
- Beratung und Bauherrenvertretung

midiplan

Tätigkeitsbereiche

- Heiz- und Dampfkesselanlagen
- Blockheizkraftwerke
- KWK mit Gas- und Dampfturbinen
- Biomassegefeuerte Heizkraftwerke
- Optimierung von Heiznetzen
- Photovoltaikanlagen

Kunden

- Industrie und Gewerbe
- Stadtwerke (z.B. Fernheizwerke)
- kommunale Objekte (z.B. Krankenhäuser, Schulzentren)
- Contractoren und Energieversorger
- Große Wohngebäude

Kurzvorstellung (2/2)

Ausgewählte Referenzen	Anlage	Leistung
• Gemeindezentrum Eppingen	BHKW	20 kW
• Wohnanlage Heidelberg	BHKW	50 kW
• Schulzentrum Eppingen	BHKW	70 kW
• Krankenhaus Bad Cannstatt	BHKW	600 kW
• Klinikum Stuttgart, Mitte	BHKW	2 x 1,0 MW
• Ritter-Sport, Waldenbuch	BHKW + AKM	1,3 MW
• Bosch, Schwieberdingen	BHKW	1,5 MW
• Bayer, Wuppertal	BHKW	2,0 MW
• Roche Diagnostics, Penzberg	BHKW + AKM	4,4 MW
• Porsche AG, Zuffenhausen	BHKW	4 x 2,0 MW
• Volkswagen AG, Zwickau	BHKW	3 x 4,3 MW

Übersicht KWK-Technologien

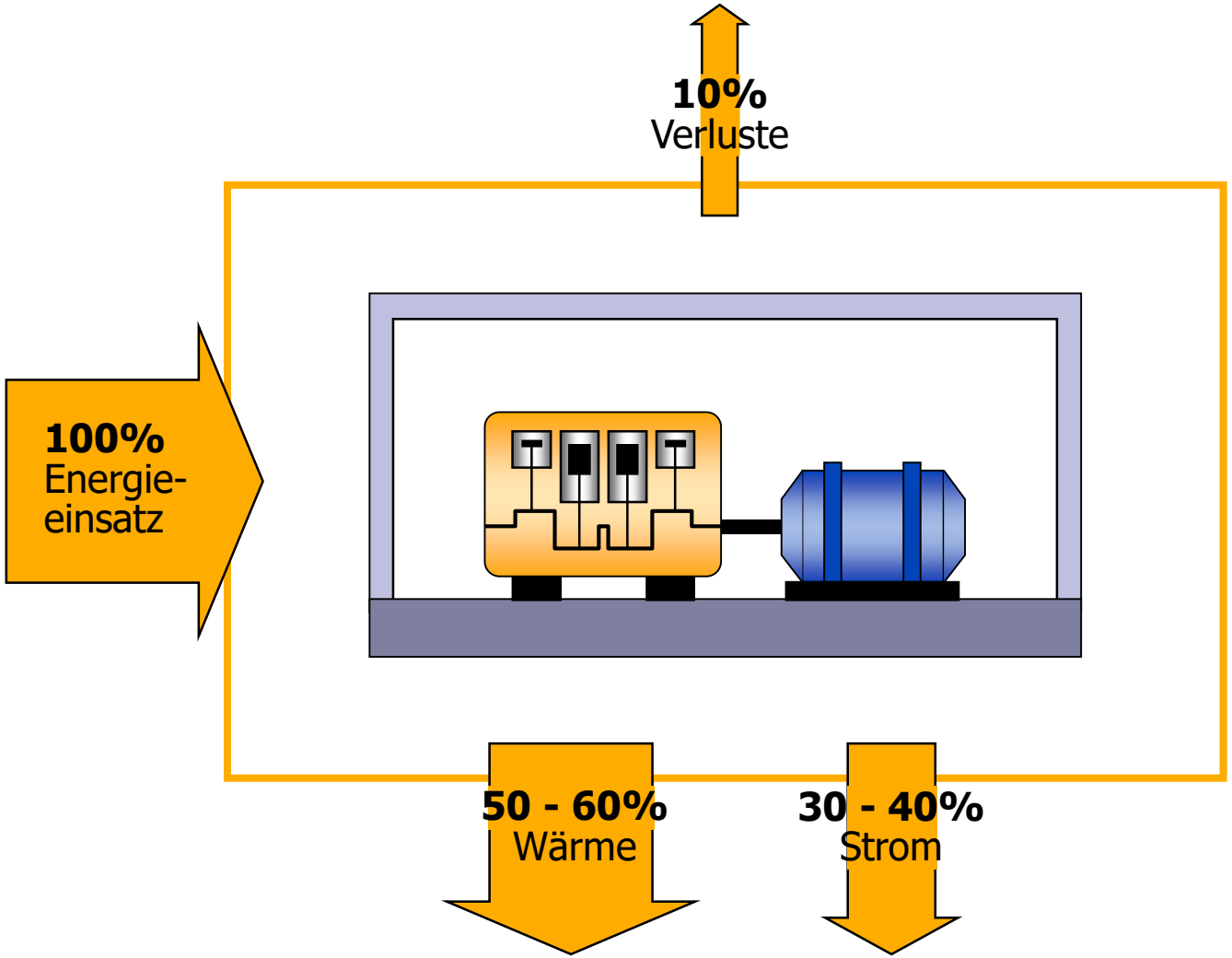
KWK-Technologie	Aktuelles Leistungsspektrum	Realisierbare elektrische Wirkungsgrade[1]
Dampfturbine	ab 500 kW_{el}	10 - 20 %
Dampfmotor	150 - 1.500 kW_{el}	10 - 20 %
Gas-Ottomotor	1 - 9.700 kW_{el}	26 - 46 %
Heizölbetriebener Dieselmotor	2 - 17.100 kW_{el}	28 - 47 %
Zündstrahlmotor	30 - 18.300 kW_{el}	35 - 45 %
Gasturbine	ab 28 kW_{el}	20 - 40 %
Stirlingmotor	0,3 - 70 kW_{el}	10 - 30 %
Organic-Rankine Cycle (ORC)	100 - 500 kW_{el}	14 - 18 %
Brennstoffzelle	0,3 - 1.500 kW_{el}[2]	30 - 60 %

[1] Um ein einheitliches Bild gewährleisten zu können, werden in dieser Tabelle nur die Wirkungsgrade berücksichtigt, welche bei Aggregaten bis zu einer elektrischen Leistung von 20 MW_{el} erreicht werden.

[2] Bei Brennstoffzellen wurden die Leistungen der im Jahr 2016 in Deutschland realisierten Anlagen als Maßstab für das Leistungsspektrum zu Grunde gelegt. Aufgrund der modularen Bauweise sind auch Anlagen im zweistelligen Megawattbereich möglich und weltweit teilweise bereits realisiert.

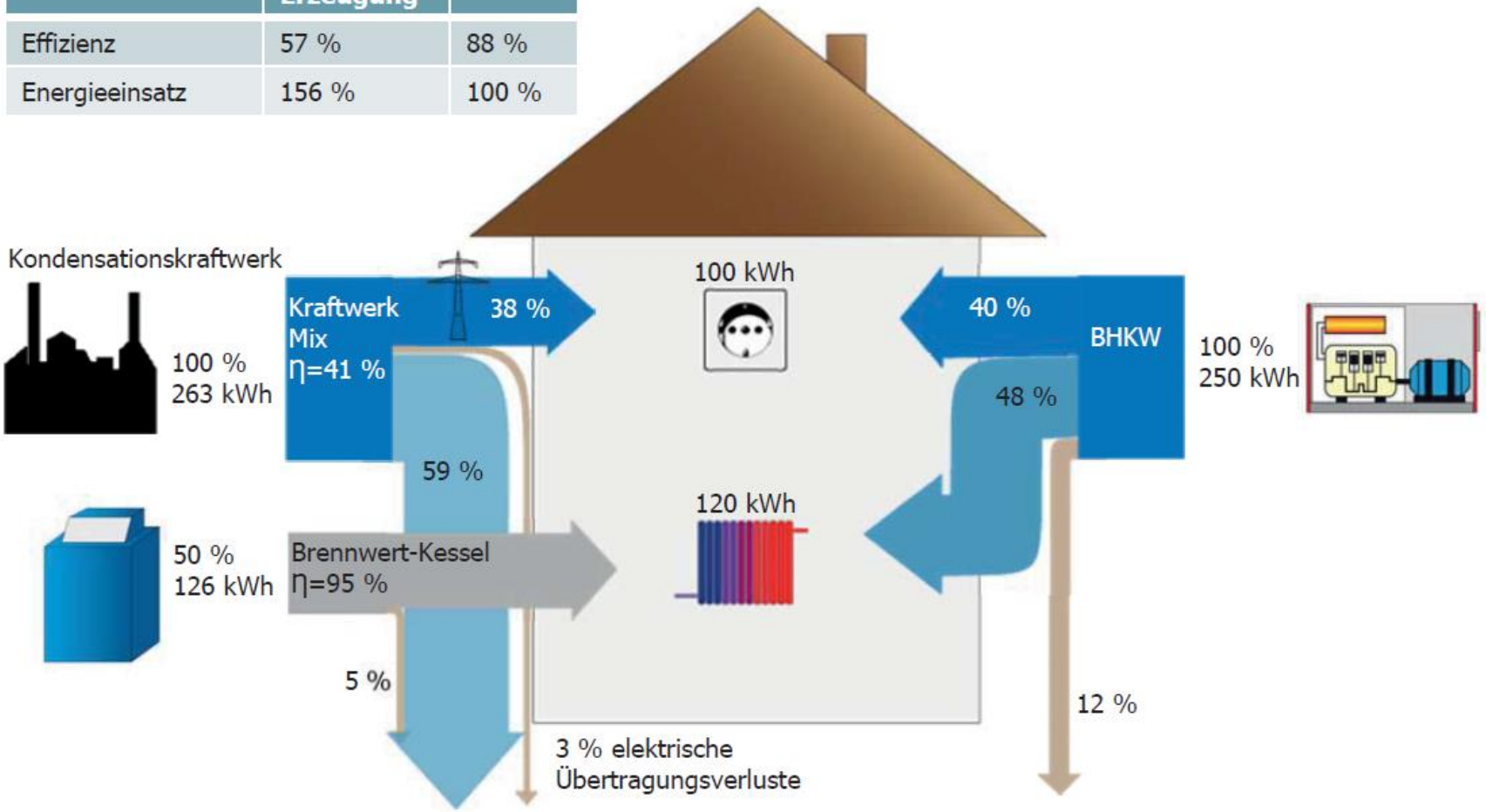
Quelle: BHKW-Consult

Energiebilanz eines Gasmotor-Blockheizkraftwerkes



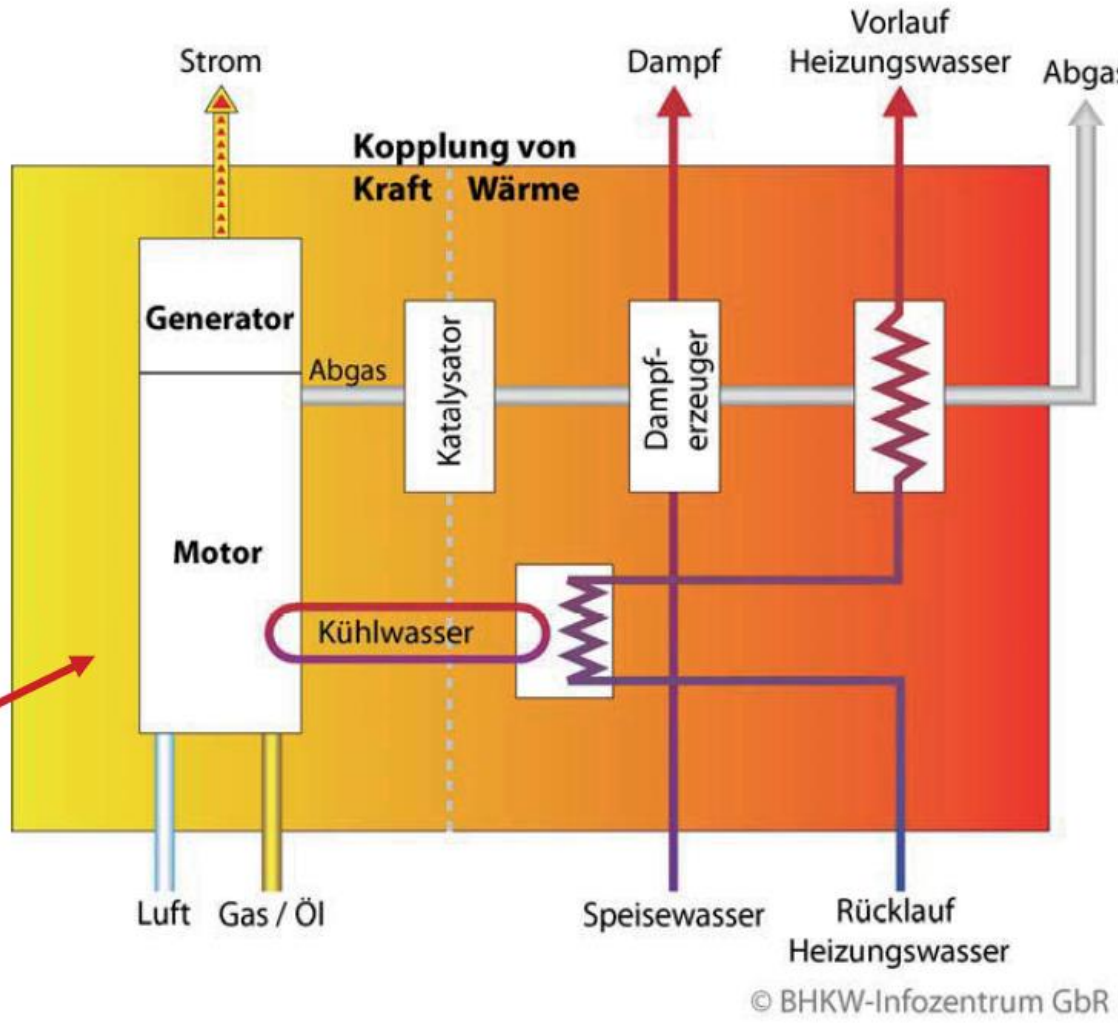
Effizienzvergleich KWK – getrennte Erzeugung

Stromerzeugung	getrennte Erzeugung	BHKW
Effizienz	57 %	88 %
Energieeinsatz	156 %	100 %



Quelle: BHKW-Consult

Prinzipieller Aufbau eines BHKWs



Brennstoffe für Motor-BHKW-Anlagen

Erdgas	• Ausgereifte Technik, hohe Verfügbarkeit • Hohe Gesamt-Nutzungsgrade	• Komplexe wirtschaftliche Rahmenbedingungen
Biogas	• Erneuerbarer Energieträger	• Schlecht geeignet für inner-städtische Bereiche
Klärgas	• Ausgereifte und bekannte Technik • Personal vertraut mit Technik	• Gasqualität nicht immer optimal (Gasreinigung erforderlich)
Holzgas	• Erneuerbarer Energieträger	• Technik schwierig, Wartung • Derzeit hohe Holzpreise
Diesel (Heizöl)	• Hoher elektrischer Wirkungsgrad • Kein Gasanschluss erforderlich (Einsatz in ländlichen Regionen)	• Hohe Emissionen (NOx, Ruß) • Aufwändige Abgasreinigung • Geringe Gesamt-Nutzungsgrade
Pflanzenöl	• Erneuerbarer Energieträger	• praktisch nicht mehr marktgängig

BHKW-Aggregate mit 5 – 30 kW(el)

SenerTec Dachs
5,5 kW_{el}
14,8 kW_{th}

ecpower XRGi 15
15 kW_{el}
30 kW_{th}

KW-Energie
33 kW_{el}
73 kW_{th}

BHKW-Aggregate mit 50 kW(el)

KW Energie smartblock 50
50 kW_{el}
87 kW_{th}

Sokratherm GG50
50 kW_{el}
90 kW_{th}

Comuna-metall
50 kW_{el}
100 kW_{th}

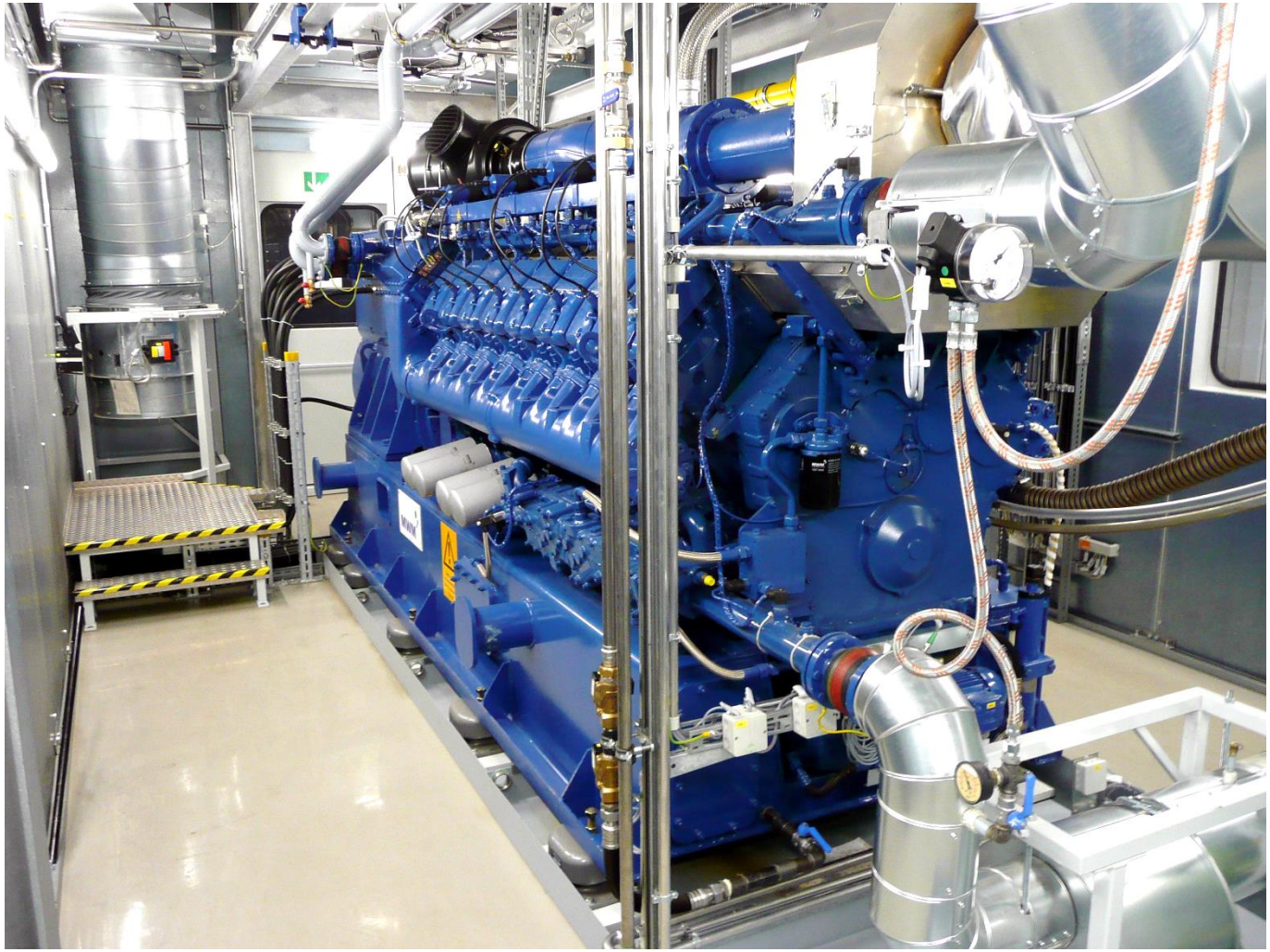
BHKW-Aggregat mit 140 kW(el)

Quelle: Sokratherm GmbH

Derzeit größtes Kompaktmodul mit 500 kW(el)

Quelle: Sokratherm GmbH

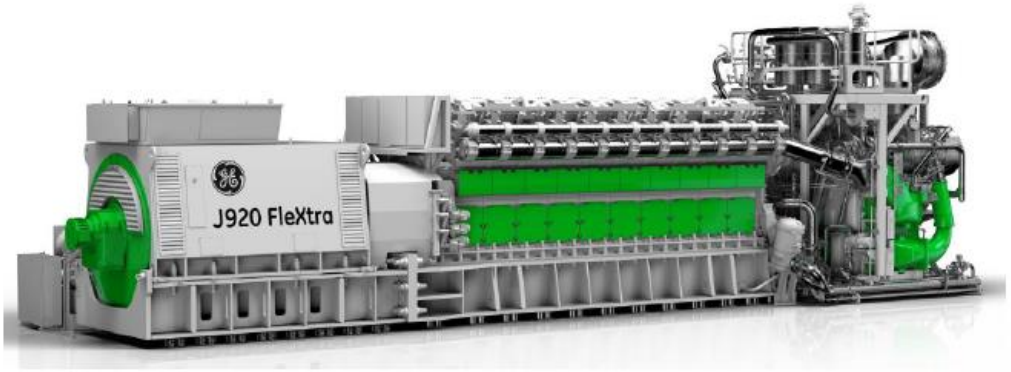
BHKW-Aggregat mit 1.500 kW(el)



BHKW-Aggregat mit 4.400 kW(el)

Gasmotor-BHKW mit 10.000 kW(el)

Spezifikation	
Brennstoff	Erdgas
Erf. Gasdruck	10 barg
MZ	>80
Gen. Spannung 50Hz	10,5 – 11 kV
Startzeit in bis zu	2-5 min.
Keine Abminderung bis	40 °C
Std. NO_x Emissionen	500 mg/Nm3 ohne SCR
Std. Wartungsintervall	40 / 80 k oh
Schmierölverbrauch	<0,3 g/kWh
Ölwechselintervall	4000-6000 oh



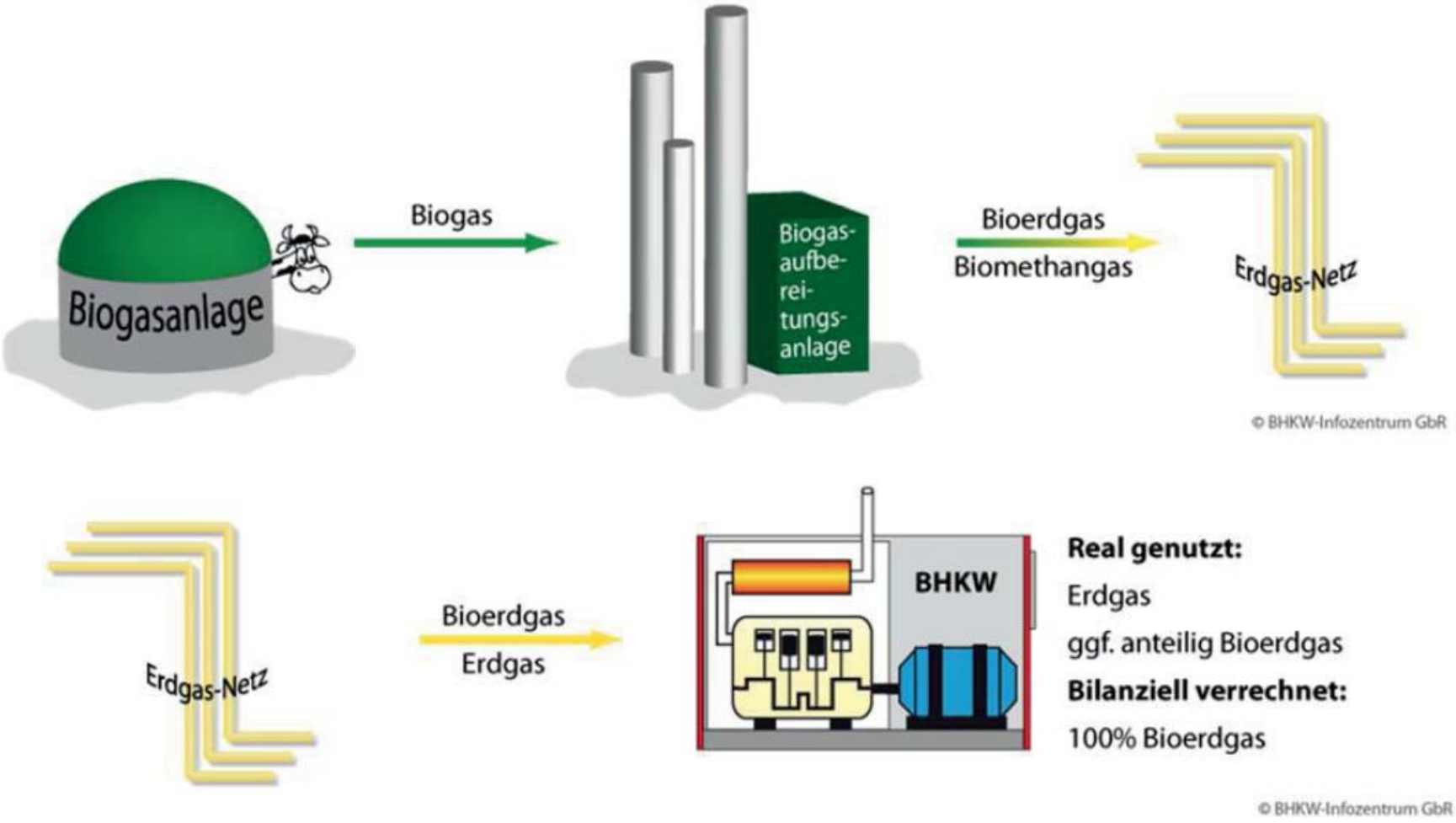
	Einheit	J920 FleXtra Version 01 Strom	J920 FleXtra Version 101 KWK
Brennstoffverbrauch	kWel	21.967	22.350
El. Leistung brutto	kWel	10.384	10.384
El. Wirkungsgrad	%	47,3	46,5
Thermische Leistung	kWth	9.074	10.296
Th. Wirkungsgrad	%	41,3	46,1
Gesamtwirkungsgrad	%	88,6	92,5

	Länge	Breite	Höhe	Gewicht
Motor	8,4 m	3,2 m	3,3 m	91 ton
Generator	5,2 m	2,5 m	2,9 m	59 ton
TC Modul	3,2 m	3,9 m	5,1 m	26 ton

Alle angaben ohne Leistungstoleranzen (0-Toleranzen)
Eigenbedarf ca. 160 kWe je Genset inkl. BOP

© 2018 General Electric Company - All rights reserved

Bio-Methan-Einsatz für BHKWs



Holzgas-BHKW

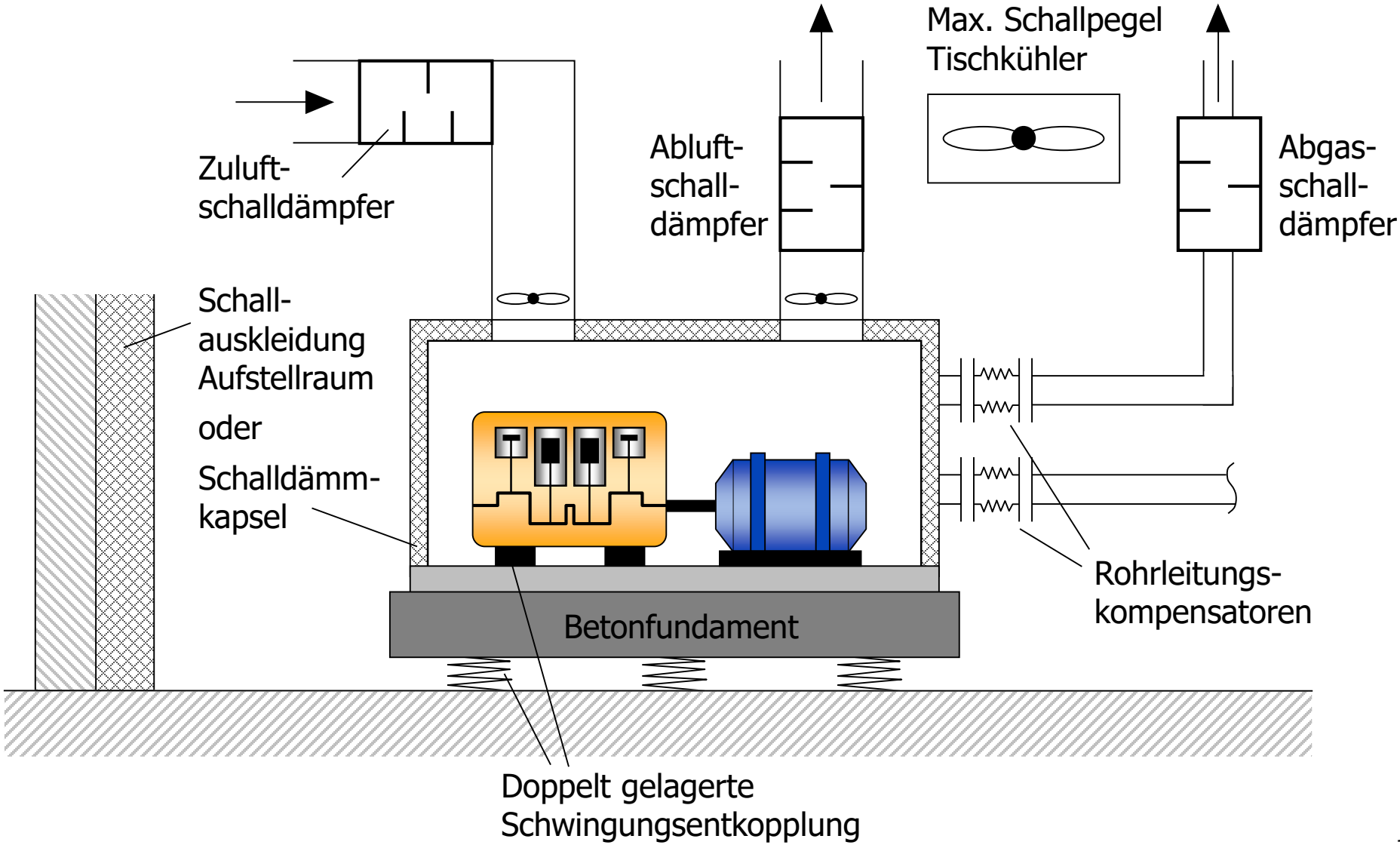
- **Burkhardt**
- Holzpellets
- 180-190 kW elektrisch
- 220-250 kW thermisch

- **Spanner Re²**
- Holzhackschnitzel
- 9 / 30 / 45 kW elektrisch
- 25 / 73 / 108 kW thermisch

Technische Einbindung von BHKW-Anlagen

- **Aufstellung**
  Einbringung, Untergrund, Platzbedarf, Schallanforderungen
- **Wärmeseitige Einbindung**
  Heizwasserseitige Einbindung, Pufferspeicher, Rücklauftemperaturen, zusätzliche Wärmenutzung mit Brennwert-Wärmetauscher, Nutzung Lüftungsabwärme
- **Stromeinspeisung (elektr. Einbindung)**
  Eigennutzung, Vollrücklieferung, Einspeisestelle, Netzersatzbetrieb, Messung Erzeugung und Eigenbedarf, Datenfernübertragung Netzbetreiber, Blindstromkompensation
- **Lüftungsanlage**
  Systemauswahl, Schallanforderungen und räumliche Verhältnisse, Wärmenutzung
- **Brennstoffversorgung**
  Gasanschluss, Gasdruck, Bezugsleistung, Methanzahl
- **Abgasanlage**
  Dimensionierung, Werkstoff, Schallschutz, Isolation, Kondensat
- **Regelungstechnik und Leittechnik**
  Regelstrategie, Teillastbetrieb, übergeordnete Steuerung, Anbindung an Heizkessel, Betriebsdaten erfassen, vorgeben und übertragen

Schalldämm-Maßnahmen an BHKWs



Übliche Heizwasser-Vorlauftemperaturen von BHKW-Aggregaten

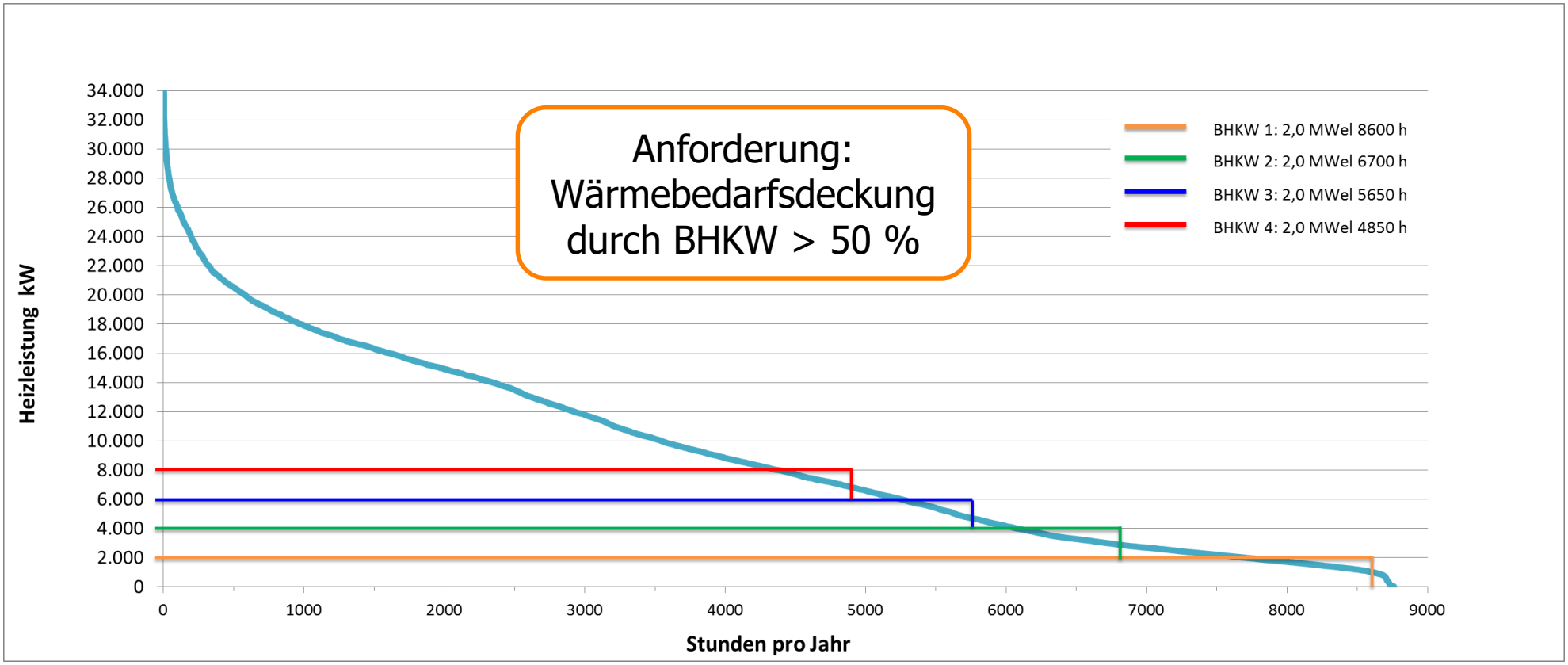
Leistung [kW_{el}]	Max. VL-Temperaturen [°C]	Beispiele
50 - 150	80 - 90	
150 – 500	90 - 100	
500 – 2.000	100 - 105	
> 2.000	105 - 115	

Temperaturbereiche von Anwendungen

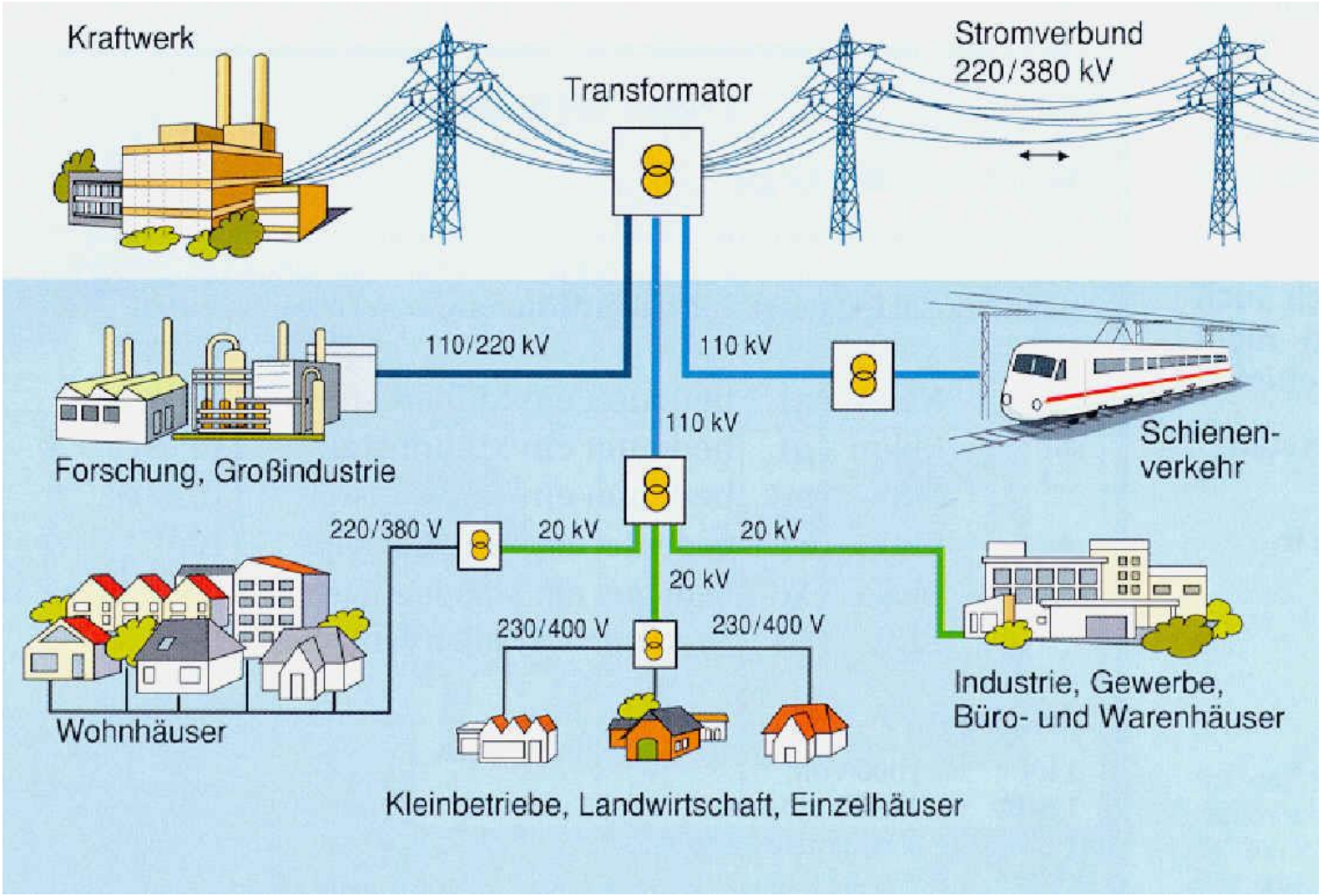
Anwendung	Temperaturen [°C]	Anforderungen
Niedertemperatur (Gemisch St. 2, AWT 2)	< 50 °C	geringe Anforderungen Neutralisation Kondensat Legionellenschutz
Heiz-/warmwasser (komplette BHKW-Wärme)	bis 110 °C	gute Ingenieurpraxis
Heißwasser (nur Abgas-Wärme)	über 110 °C	Druckgeräterichtlinie Betriebssicherheitsverordng. wiederkehrende Prüfungen geprüfte Kesselwärter etc.
Dampf (nur Abgas-Wärme)	über 0,5 bar (ü) (über 110 °C)	Druckgeräterichtlinie Betriebssicherheitsverordn. wiederkehrende Prüfungen geprüfte Kesslewärter etc.

Dimensionierung nach EEWärmeG

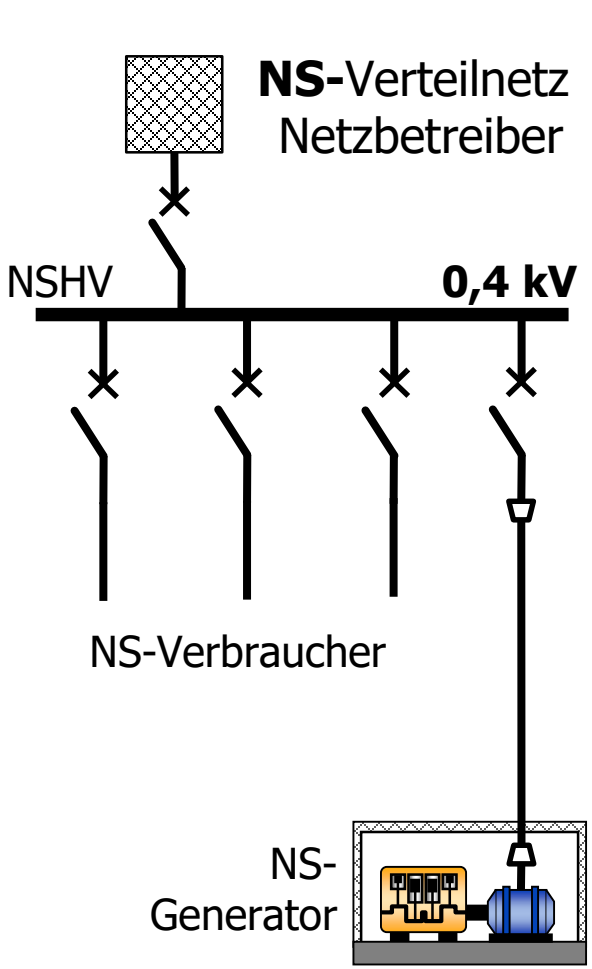
Praxisbeispiel aus der Industrie

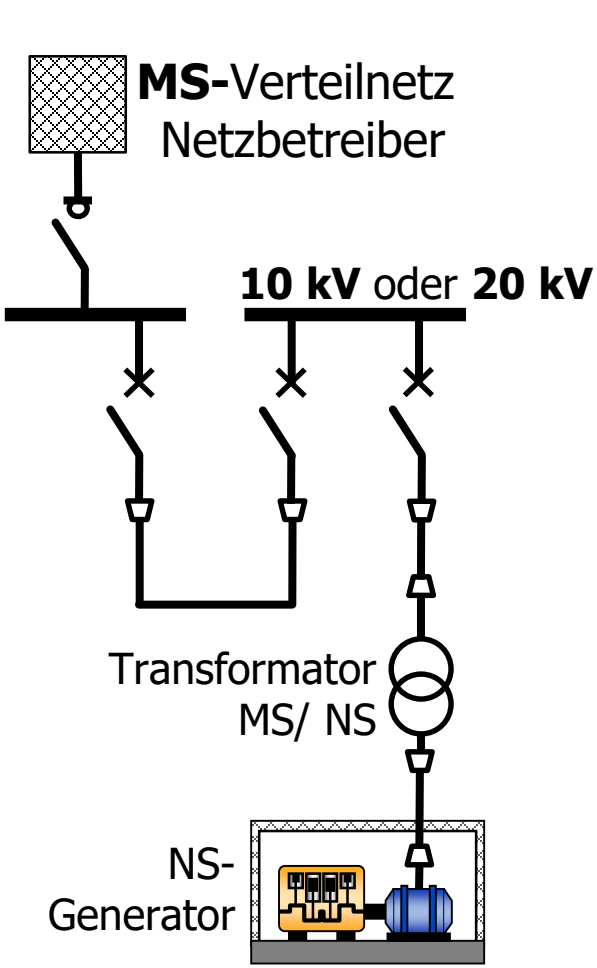


Elektrische Einbindung - Spannungsebenen des Stromnetzes BRD

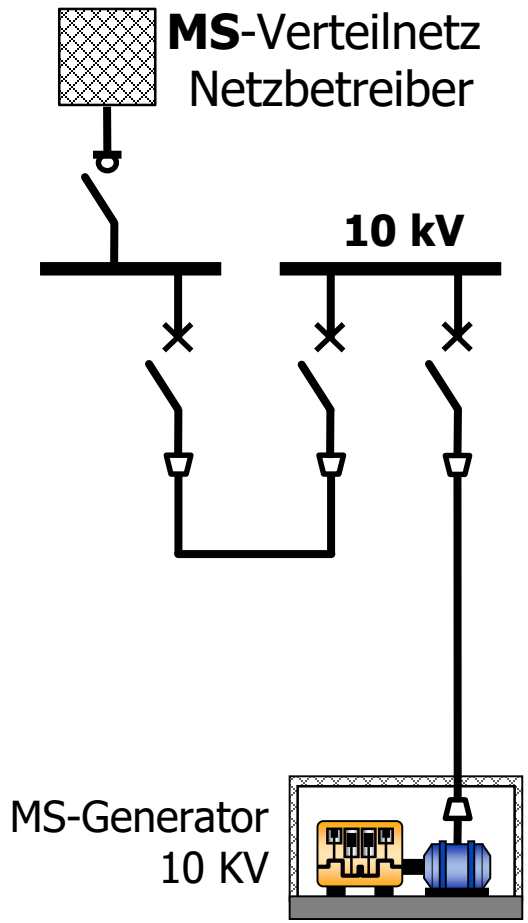


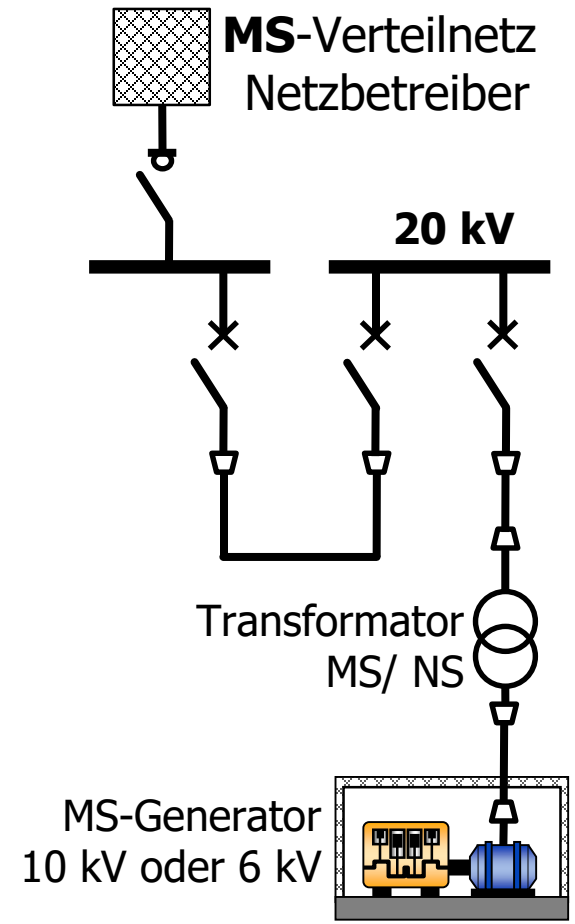
BHKW mit Niederspannungs-Generator





BHKW mit Mittelspannungs-Generator (ab ca. 1 MW)





Richtlinien (in Abhängigkeit des Netzverknüpfungspunktes)

- Bei Anschluss des Objektes am Niederspannungsnetz: **VDE-AR-N 4105** (Einrichtung zur Leistungsreduzierung durch NB, Blindstromerzeugung, etc.)
- Bei Anschluss des Objektes am Mittelspannungsnetz: ab 27.04.2019: **VDE-AR-N 4110** (wie oben + zusätzliche Netzstützungsfunktionen und übergeordneter Entkupplungsschutz)
- **Messstellenbetriebs-Gesetz** besagt, dass die Messung bei KWK-Leistungen > 9kW durch einen Mestellenbetreiber erfolgen muss (Anforderungen)
- **Einspeisamanagement** Datenfernübertragung zur Leistungsreduzierung durch den Netzbetreiber (ab 100 kW erforderlich)

Richtlinien für Anschluss am Mittelspannungsnetz

Ab dem 27.04.2019 müssen alle Neuanlagen die **technischen Anforderungen der VDE-AR-N 4110** erfüllen.

BDEW-MSR 2008	VDE-AR-N 4110
Anlagenzertifikat (**≥ 1 MVA** oder **> 2 km Kabellänge**)	Neu: Anlagenzertifikat Typ A (**P_{Amax} > 950 kW**)
	Neu: Anlagenzertifikat Typ B (**135 kW ≤ P_{Amax} ≤ 950 kW**) – gilt auch für Speicher
	Neu: Anlagenzertifikat Typ C (**P_{Amax} ≥ 32 MW**) – Einzelnachweisverfahren oder es gilt die VDE-AR-N 4120 TAR Hochspannung
	Neu: Notstromaggregate (**$P_{inst.}$ ≥ 1 MVA**), die länger als 100 ms im Netzparallelbetrieb sind, werden wie EZA behandelt
	Neu: Komponentenzertifikat, insbesondere für • EZA-Regler (Wirk- und Blindleistung) • Aktive statische Kompensationseinrichtungen • Spannungsregler der Erzeugungseinheiten Typ 1 (Direktgekoppelt) • Hilfsaggregate insbesondere für Erzeugungseinheiten Typ 1 • Schutzeinrichtungen (z.B. zwischengelagerter Entkupplungsschutz)

Quelle: MKH greenergy cert

Zulassungen/Anmeldungen

- Zulassungsantrag bei der **Bafa** (Bundesamt für Ausfuhrkontrolle) für KWK-Vergütung (Anlagenbeschreibung, techn. Datenblatt, Inbetriebnahmeprotokoll und Hocheffizienznachweis)
- Energiesteuer-Rückerstattungsantrag für Brennstoff im Folgejahr auf die Inbetriebnahme beim **Hauptzollamt** (zusätzliche Informationen beim Erstantrag wie Anlagenbeschreibung, technisches Datenblatt, Abschreibung etc. erforderlich)
- Anmeldung beim **Stromnetzbetreiber** (bei Mittelspannungs-Anschluss ist ein Anlagen-Zertifikat zur Bestätigung der Netzkonformität erforderlich)
- Anmeldung beim **Gasversorger** (evtl. neuer Tarif)
- Anmeldung im Markstammdatenregister bei der **Bundesnetzagentur**
- Genehmigung (ab 1 MW Gasbezugsleistung) beim **Landratsamt**
- Anzeige der Abgasleitung beim **Schornsteinfeger**

Finanzielle Vorteile von KWK-Anlagen

Abschreibung und Vergütung

- **Abschreibung**
  Die Abschreibungsdauer (AfA) für Blockheizkraftwerke beträgt **10 Jahre**
- **Vergütung selbst genutzter Strom**
  - eingespart werden Arbeitspreise für Bezug und Netznutzung (ca. 8 – 13 Ct/kWh)
  - Einsparung Stromsteuer bis 2.000 kW elektrischer Leistung (1,5 – 2,0 Ct/kWh)
  - nur teilweise eingespart wird die EEG-Umlage (siehe separate Folie)
- **Vergütung Strom ins öffentliche Netz**
  - Vergütung üblicher Preis (Base-Load ca. 4 Ct/kWh)
  - Einsparung vermiedene Netznutzungsentgelte (ca. 0,5 – 1,5 Ct/kWh)
  - ab 100kW muss der Strom vermarktet werden (???)
- **Vergütung Erdgas**
  - Vergütung der Energiesteuer für KWK-Anlagen mit Nutzungsgrad > 70 % und bis 2.000 kW während der Abschreibungsdauer (0,55 Ct/kWh)
- **KWK-Vergütung**
  - Zuschuss für selbst genutzten Strom bis bis 100 kW elektrischer Leistung
  - Zuschuss für Strom ins öffentliche Netz

Zuschüsse nach KWK-Gesetz 2017 (Quelle: ASUE)

bis 1 MW oder über 50 MW elektrischer Leistung sowie nachgerüstete KWK-Anlagen

	Leistungsanteile (kW_{el}) in ct/kWh				
	≤ 50	> 50 – 100	> 100 – 250	> 250 – 2.000*	> 2.000*
Netzeinspeisung (§7 I+II)	8,0	6,0	5,0	4,4	3,1
	Bonuszahlung bei Kohleersatz: + 0,6 ct/kWh				
Nicht-Netzeinspeisung (Eigenverbrauch o.ä.) (§7 III 1)	4,0	3,0	–	–	–
Einspeisung in Kundenanlagen o. ä. (Contracting) (§7 III 2)**	4,0	3,0	2,0	1,5	1,0
Eigenverbrauch in stromkosten-intensiven Unternehmen (§7 III 3)	5,41	4,0	4,0	2,4	1,8
Eigenverbrauch in Unternehmen einer Branche nach Anlage 4 EEG (§7 IV)	Wird mittels Verordnung festgelegt				
Anlagen im Emissionshandel (§7 V)	Bonuszahlung: 0,3 ct/kWh				
Anlagen ≤ 2 kW_{el} (§9)	Optional: Pauschalierte Vorabauszahlung der KWK-Zuschläge für 60.000 Vollbenutzungsstunden zu 4,0 ct/kWh				
Bestandsanlagen > 2 MW_{el} (§13)	Voraussetzung: Allgemeine Versorgung, hocheffizient, gasförmige Brennstoffe, nicht durch KWKG oder EEG gefördert		Zuschlag: 1,5 ct/kWh	Dauer: 16.000 Vollbenutzungs-stunden – verringert sich jährlich um 4.000 Stunden	
Beachtung der Börsenstrompreise (§7 VII)	Keine Zuschlagzahlungen in Stunden mit negativen Börsenstrompreisen!				

über 1 MW bis 50 MW elektrischer Leistung

Zuschlagzahlungen über Ausschreibungen zu ermitteln (§ 8a)

Förderdauern nach KWKG 2017 (Quelle: ASUE)

Förderdauern

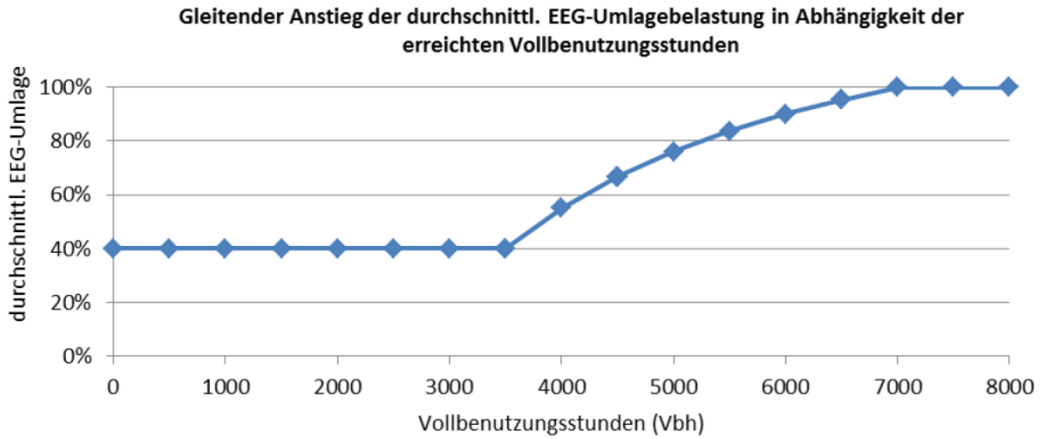
Anlagen ≤ 50 kW_{el} (§8 I)		60.000 Vollbenutzungsstunden
Anlagen > 50 kW_{el} (§8 II)		30.000 Vollbenutzungsstunden
Anlagenmodernisierungen (§8 III) nach Jahren der Dauerinbetriebnahme	Nach 5 Jahren	15.000 Vollbenutzungsstunden
	Nach 10 Jahren und mind. 50 % der Kosten einer Neuanlage	30.000 Vollbenutzungsstunden
Anlagennachrüstungen (§8 IV)	≥ 10 < 25 % der Kosten einer Neuanlage	10.000 Vollbenutzungsstunden
	≥ 25 < 50 % der Kosten einer Neuanlage	15.000 Vollbenutzungsstunden
	≥ 50 % der Kosten einer Neuanlage	30.000 Vollbenutzungsstunden

EEG-Umlage auf Eigenstrom aus fossilen KWK-Anlagen

Die aktuelle Regelung zur EEG-Umlage sieht folgendes vor:

- Neue KWK-Anlagen sowie Anlagen, die seit 01.08.14 in Betrieb gegangen sind und eine **elektr. Leistung unter 1 MW** oder **über 10 MW** aufweisen, zahlen auch künftig nur **40% der EEG-Umlage**.

- Für die **übrigen KWK-Neuanlagen** besteht das Privileg einer **40%-igen EEG-Umlage** nur, sofern die KWK-Anlage **weniger als 3.500 Vollbenutzungsstunden** im Jahr laufen. Bei KWK-Anlagen mit höherer Auslastung steigt die spezifische Umlage auf 160 % an und erreicht **bei 7.000 Vollbenutzungsstunden** den Durchschnittswert einer **100%-igen EEG-Umlage**



Beispiel Wirtschaftlichkeit Industrielle KWK-Anlage

Jahreskosten-Vergleich (netto ohne MwSt.)	**Variante 0** Betrieb Kessel NEA	**Variante 1 (A)** BHKW 1.000 kW(el) BHKW AHDK NEA	**Variante 1 (B)** BHKW 1.000 kW(el) BHKW AHDK AKM NEA	**Variante 2** BHKW 2 x 1.000 kW(el) 2 x BHKW (NEA) AHDK AKM
Kapitalkosten	37.000 €/a	329.000 €/a	414.000 €/a	597.000 €/a
Betriebskosten	87.000 €/a	219.000 €/a	228.000 €/a	350.000 €/a
Brennstoffkosten	1.841.000 €/a	2.100.000 €/a	2.100.000 €/a	2.328.000 €/a
Stromkosten	3.072.000 €/a	2.055.000 €/a	2.055.000 €/a	1.167.000 €/a
Summe Jahreskosten	**5.037.000 €/a**	**4.703.000 €/a**	**4.797.000 €/a**	**4.442.000 €/a**
Differenz (Überschuss)		**334.000 €/a**	**240.000 €/a**	**595.000 €/a**

Amortisationszeit			
Mehrinvestition	1.970.000 €	2.570.000 €	3.850.000 €
Einsparung (ohne Kapitalkosten)	**626.000 €/a**	**617.000 €/a**	**1.155.000 €/a**
Zinssatz	7,0%	7,0%	7,0%
ROI	**3,1 Jahre**	**4,2 Jahre**	**3,3 Jahre**
Amortisationsdauer	**3,7 Jahre**	**5,1 Jahre**	**3,9 Jahre**

Ende des Vortrags

Midiplan GmbH & Co. KG
Ingenieurbüro für Energie- und Wärmetechnik
Höpfigheimer Straße 5
74321 Bietigheim-Bissingen

www.midiplan.de