

E-Flex Scanner
Ausfüllhilfe

KOPERNIKUS-PROJEKTE FÜR DIE ENERGIEWENDE



GEFÖRDERT VOM

Einführung

Ziele der Anwendung des E-Flex Scanners:

Der E-Flex Scanner kann genutzt werden, um das technische und das wirtschaftliche Potenzial eines energieflexiblen Anlagenbetriebs zu identifizieren.

Folgende Fragen werden beantwortet:

- „Welche Anlagen / Prozesse eignen sich für einen energieflexiblen Betrieb?“
- „Wie kann ich diese Anlagen aufwandsarm und trotzdem systematisch bzgl. Ihres energetischen Flexibilitätspotenzials bewerten?“
- „Wie viel Energiekosten spare ich ein, wenn ich meine Anlage / meinen Prozess energieflexibel betreibe?“
- „Was müsste ich machen, um meine Anlage / meinen Prozess für eine energieflexible Betriebsweise zu befähigen?“

Erforderliche Daten und Informationen:

Um den E-Flex Scanner möglichst aufwandsarm auszufüllen, sollten die auf den folgenden Seiten angefragten Informationen bekannt sein:

1. Informationen zum Energiewandler
2. Informationen zum Nutzenergiespeicher bzw. zum Prozess, in dem Energie gespeichert werden kann

Typische Flexibilitätspotenziale in der Produktionsinfrastruktur



therm. Pufferspeicher
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



elektrische Prozessheizung
z. B. in Reinigungsmaschinen
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Schwingmassenspeicher
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Warmwasserspeicher
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



**Raum- / Lager- / Gebäude-
klimatisierung**
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Druckluftsystem
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Bivalente Wärmebereitstellung
BHKW (links) vs. elektrischer Heizstab (rechts)
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Löftungsanlagen
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Kältebereitstellung
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt



Batteriespeicher
Bildquelle: PTW - TU Darmstadt

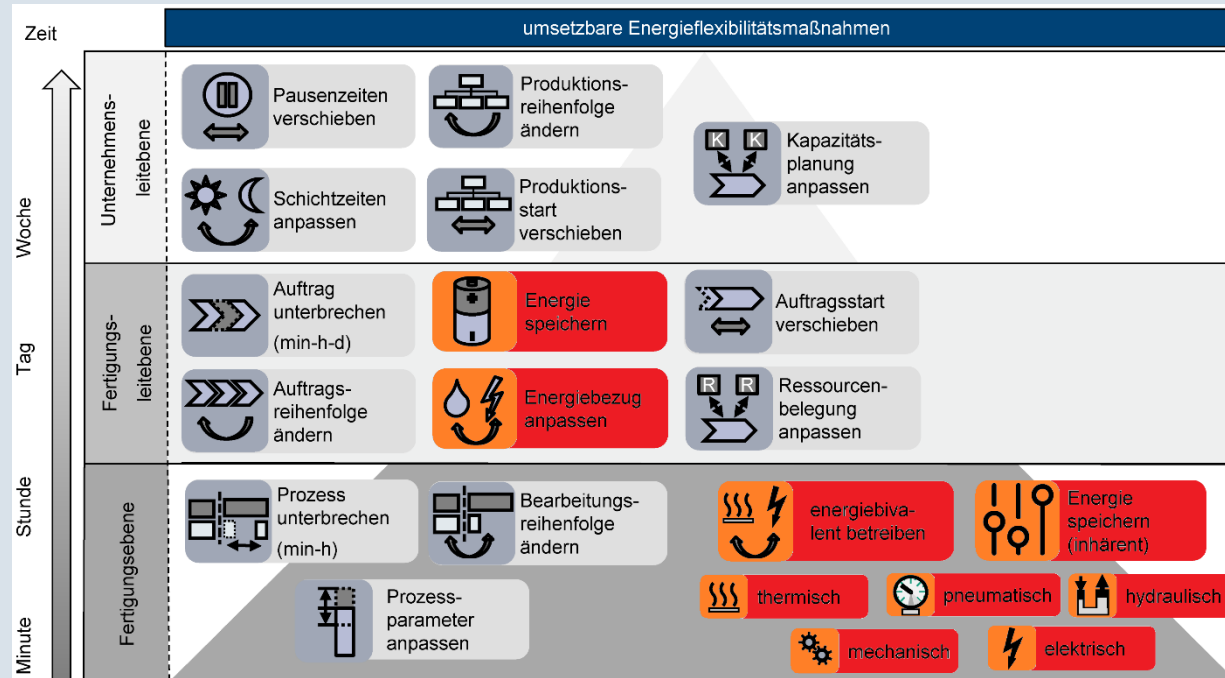


Abbildung möglicher Energieflexibilitätsmaßnahmen in einer Fabrik, wobei typische Maßnahmen zur Flexibilisierung der Produktionsinfrastruktur rot hervorgehoben sind. [Bildquelle: VDI 5207 - Blatt 1]

Wo schlummern Ihre Flexibilitätspotenziale?

- ✓ zentrale Wärme- oder Kältebereitstellung für ein Gebäude oder eine Produktionslinie
- ✓ elektrisch beheizte Prozesse (Reinigungsmaschinen, Abschreckbäder, ...)
- ✓ klimatisierte Lager, Gebäude oder Räume
- ✓ große thermische Netze
- ✓ Bivalente Wärmebereitstellung (elektrische und konventionelle Wärmebereitstellung)
- ✓ Hallenlüftungsanlagen
- ✓ Druckluftsysteme
- ✓ ...

ENERGIE SPEICHERN

- › thermische Energiespeicher
- › pneumatische Energiespeicher
- › mechanische Energiespeicher
- › elektrische Energiespeicher

1. Ausfüllhilfe für Energiewandler

Bitte tragen Sie hier die Informationen Ihres Energiewandlers hier ein:

› Energiewandler: _____

- › Nennleistung: $P_{nenn} = \text{_____ } kW_{el}$ Hinweis: Bei mehreren kaskadiert geregelten Anlagen ist für alle Felder die aufsummierte Leistung aller Aggregate gemeint. Die Nennleistung ist in der Regel auf Typenschildern, in Datenblättern, Schalt- und Fluidplänen vermerkt.

- › Mittlere elektr. Leistungsaufnahme: $P_{el\ 2020} = \text{_____ } kW_{el}$

Hinweis: Ideal wäre der Mittelwert aus Messdaten der elektr. Leistung über ein Jahr (im eingeschalteter Anlagenzustand)

- › Mittlere erzeugte Nutzleistung: $P_{use\ 2020} = \text{_____ } kW_{th}$

Hinweis: Ideal wäre der Mittelwert aus Messdaten der Nutzleistung von einem Jahr (im eingeschalteter Anlagenzustand). Falls keine Daten hierzu vorliegen, reicht eine Abschätzung über den Wirkungsgrad bzw. die Leistungszahl (EER), die zumindest für den Auslegungspunkt auf Typenschildern und in Datenblättern vermerkt sind.

$$P_{use\ 2020} = P_{el\ 2020} * \text{Wirkungsgrad}$$

Achtung: Bei Multiverbrauchersystemen sollte idealerweise die Aufteilung der Nutzleistung auf die einzelnen Verbraucher bekannt sein (siehe Folie 8 & 9). Falls dies nicht bekannt ist, reichen Schätzwerte der Aufteilung der bereitgestellten Nutzleistung auf die jeweiligen Verbraucher aus.

- › Betriebsstunden pro Jahr: _____ h pro Jahr Hinweis: Falls Betriebsstunden nicht bekannt, reicht eine Abschätzung der Betriebsstunden pro Tag oder pro Woche

› Regelung des Energiewandlers

- › Ist die Anlagensteuerung kommunikationsfähig? Ja / Nein › Ist der Energiewandler über ein Leitsystem ansteuerbar? Ja / Nein
Hinweis: Können die maschineninternen Daten der Anlage abgerufen werden?
- › Ist die Anlage zweipunktgeregelt oder drehzahlgeregelt?

2a. Ausfüllhilfe für Kälte-/ Wärmespeicher

Bitte tragen Sie hier die Informationen Ihres thermischen Nutzenergiespeichers hier ein:

› Thermischer Speicher: _____

› Masse des Speichermediums: $m_{\text{Speichermedium}} = \text{_____ kg}$

Hinweis: Bei gekühlten Lagern ist die Masse der gelagerten Produkte gemeint. Bei sensiblen Wärmespeichern (z. B. Wasserbecken) ist die Masse des Mediums gemeint.

› zulässige Grenztemperaturen im Prozess bzw. im Speicher: $T_{\min} = \text{_____}^{\circ}\text{C}$, $T_{\max} = \text{_____}^{\circ}\text{C}$

Hinweis: Bei temperaturgeregelten Prozessen ist die obere bzw. untere Grenztemperatur gemeint.

› Speicherkapazität: $C = \text{Masse}_{\text{Speichermedium}} * c_{v \text{ Speicherinhalt}} * (T_{\max} - T_{\min})$
 $= \text{_____ kg} * \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} * (\text{_____}^{\circ}\text{C} - \text{_____}^{\circ}\text{C}) = \text{_____ kJ} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \text{_____ kWh}$

Hinweis: Bei der Berechnung der Speicherkapazität wird die spezifische Wärmekapazität ($c_{v \text{ Speicherinhalt}}$) benötigt. Dieser Materialparameter muss ggf. recherchiert werden.

› Sind Sensoren zur Erfassung des Speicherfüllstands vorhanden? Ja / Nein

Hinweis: Der Speicherfüllstand eines Kältespeichers wird beispielsweise über Temperatursensoren erfasst.

› Speicherverluste: ~0,5 % pro Stunde

Hinweis: Die Speicherverluste pro Stunde können, bei ausgeschaltetem Energiewandler, über den zeitlichen Abfall bzw. Anstieg der Speichertemperatur) ermittelt werden. Falls die thermischen Speicherverluste pro Stunde nicht bekannt sind, kann 0,5 % pro Stunde angenommen werden.

Hilfreiche Materialparameter:

spezifische Wärmekapazität:

• Wasser (20°C) $c_v = 4,19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$

• Käse $c_v = 2,85 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$

Quelle: ftp://ftp.vde-verlag.de/9783800741120/9783800741120_PROBE_01.pdf

• Salzbad (gesättigte Kochsalzlösung) $c_v = 3,266 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$

Quelle: http://www.forum-sondermaschinenbau.de/sachverzeichnis/pdf/x_spezifische_Waermekapazitaet.pdf

Dichte (zur Berechnung der Masse aus einem Volumen):

• Salzbad (Kochsalzlösung): 1,18 g/mL

Quelle: <https://uol.de/chemiedidaktik/arbeitsgebiete-und-projekte/ehemalige-projekte/chemoekol/kontext-wattenmeer/labortag-material/dichte-teil-i>

2b. Ausfüllhilfe für Druckluftspeicher

Bitte tragen Sie hier die Informationen Ihres Druckluftspeichers hier ein:

› **Pneumatischer Speicher:** _____

Hinweis: Die Ansatz von Druckluftspeichern kann auch auf Dampfnetze übertragen werden.

› Volumen des Druckluftspeichers: $V_{\text{Druckluftspeicher}} = \text{_____ m}^3$

Hinweis: Das Volumen des Druckluftspeichers ist in der Regel auf dem Typenschild vermerkt.

› zulässige Grenzdrücke im Druckluftspeicher: $p_{\min} = \text{_____ bar}$, $p_{\max} = \text{_____ bar}$

› Speicherkapazität: $C = V_{\text{Druckluftspeicher}} * (p_{\max} - p_{\min})$

$$= \text{_____ m}^3 * (\text{_____ bar} - \text{_____ bar}) * \frac{10^5 \text{ Pa}}{1 \text{ bar}} = \text{_____ J} * \frac{1 \text{ kJ}}{1000 \text{ J}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = \text{_____ kWh}$$

Hinweis: 1 bar entspricht 10000 Pascal (Pa)

› Sind Sensoren zur Erfassung des Speicherfüllstands vorhanden? Ja / Nein

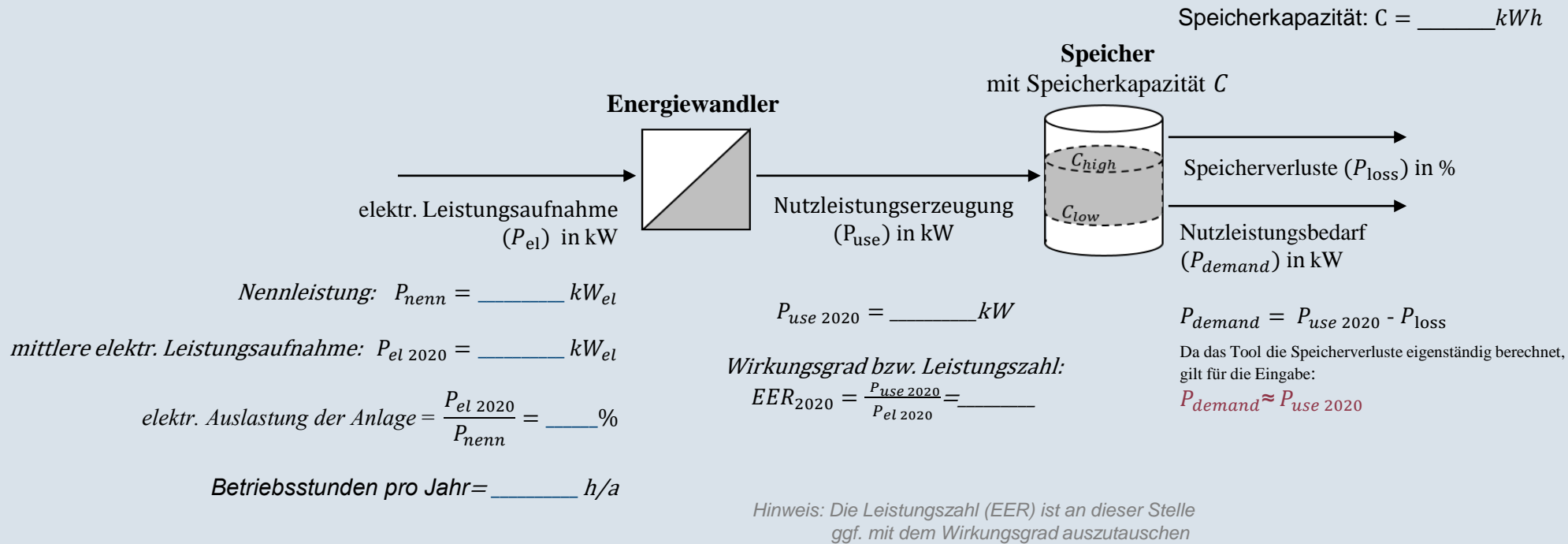
Hinweis: Der Druck eines Druckluftspeichers wird in der Regel erfasst.

› Speicherverluste: ~ 5 % pro Stunde

Hinweis: Die Speicherverluste pro Stunde können, bei ausgeschaltetem Energiewandler, über den zeitlichen Abfall bzw. Anstieg der Speichertemperatur) ermittelt werden. Falls der pneumatische Speicherverlust pro Stunde nicht bekannt ist, kann 5 % pro Stunde angenommen werden.

Ausföüllhilfe

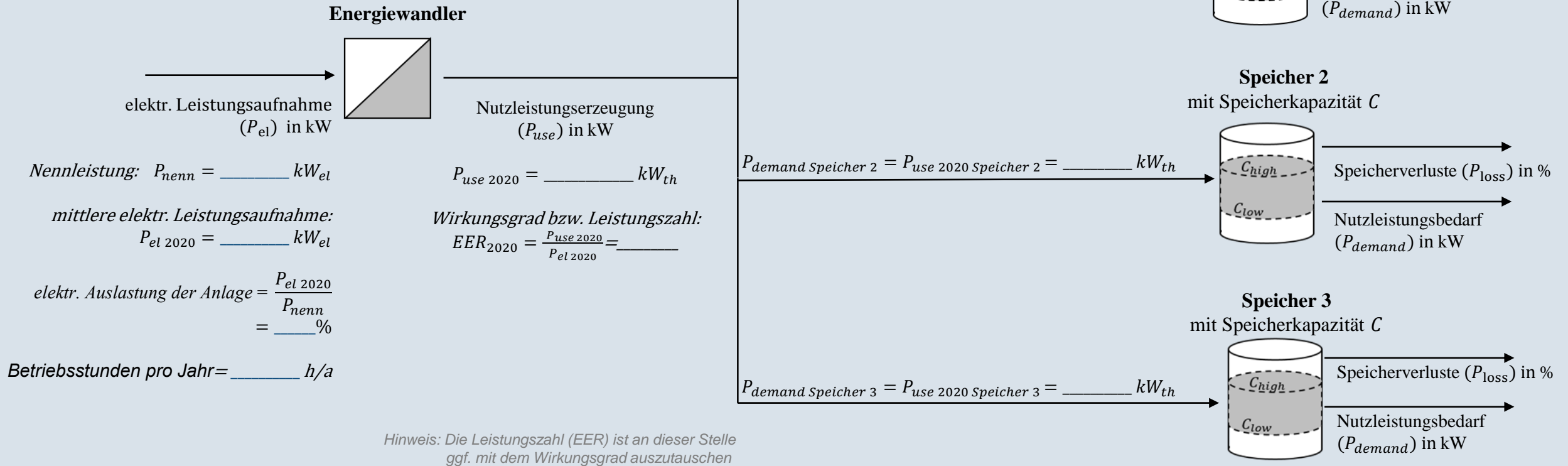
Speicher-Wandler-System



Bildquelle: Strobel et. al 2020

Ausfüllhilfe

Mehrspeicher-Wandler-System



Bildquelle: basierend auf Strobel et. al 2020

Ausfüllhilfe

Mehrspeicher-Wandler-System

Hinweis für Mehrspeichersysteme:

- › Bei Mehrspeichersystemen muss bei der Flexibilisierung von Prozess 1 bzw. Speicher 1 die Grundlast der nicht-flexibilisierten Anlagen (Prozess 2 und 3) weiterhin bereitgestellt werden. Dieser Anteil des vom Energiewandler zur Verfügung gestellten Nutzleistung, steht nicht bei der Flexibilisierung von Prozess 1 bzw. Speicher 1 zur Verfügung.

Die maximal abrufbare elektr. Leistung bei der Flexibilisierung von:

- Speicher 1: $P_{el\ max} = P_{nenn} - \left(\frac{P_{use\ Speicher\ 2} + P_{use\ Speicher\ 3}}{EER} \right) = \text{_____} kW_{el}$
- Speicher 2: $P_{el\ max} = P_{nenn} - \left(\frac{P_{use\ Speicher\ 1} + P_{use\ Speicher\ 3}}{EER} \right) = \text{_____} kW_{el}$
- Speicher 3: $P_{el\ max} = P_{nenn} - \left(\frac{P_{use\ Speicher\ 1} + P_{use\ Speicher\ 2}}{EER} \right) = \text{_____} kW_{el}$

*Hinweis: Die Leistungszahl (EER) ist an dieser Stelle
ggf. mit dem Wirkungsgrad auszutauschen*

GEFÖRDERT VOM

BIVALENTER ANLAGENBETRIEB

- › Wechsel zwischen konventioneller und elektrischer Wärmeerzeugung
- › Wechsel zwischen konventioneller und elektrischer Wärmeerzeugung

3. Ausfüllhilfe für bivalente Anlagen

Bitte tragen Sie hier die Informationen Ihrer bivalenten Anlage hier ein:

› **Konventionelle Wärmeerzeugung über Anlage:** _____

› Betriebsstunden pro Jahr: _____ h pro Jahr *Hinweis: Falls Betriebsstunden nicht bekannt, reicht eine Abschätzung der Betriebsstunden pro Tag oder pro Woche*

› Wirkungsgrad der Verbrennung: $Wirkungsgrad_{2020 \text{ Brennstoff}} = \underline{\hspace{2cm}}$ *Hinweis: Der Wirkungsgrad ist an dieser Stelle ggf. mit der Leistungszahl (EER) auszutauschen*

› Gewandelte Brennstoffleistung: $P_{\text{Brennstoff}} = \frac{\text{Brennstoffverbrauch pro Jahr [kWh/Jahr]}}{\text{Betriebsstunden pro Jahr [h/Jahr]}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW}_{th}$

› Mittlere erzeugte Nutzleistung: $P_{use \ 2020} = P_{\text{Brennstoff}} * Wirkungsgrad_{2020 \text{ Brennstoff}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW}_{th}$

Hinweis: Ideal wäre der Mittelwert aus Messdaten der Nutzleistung von einem Jahr (im eingeschalteter Anlagenzustand). Falls keine Daten hierzu vorliegen, reicht eine Abschätzung über den Wirkungsgrad bzw. die Leistungszahl (EER), die zumindest für den Auslegungspunkt auf Typenschildern und in Datenblättern vermerkt sind

› **falls vorhanden: elektr. Wärmeerzeugung über Anlage:** _____

› elektr. Wirkungsgrad: $Wirkungsgrad_{2020 \text{ elektr.}} = \underline{\hspace{2cm}}$

Hinweis: Der Wirkungsgrad ist an dieser Stelle ggf. mit der Leistungszahl (EER) auszutauschen

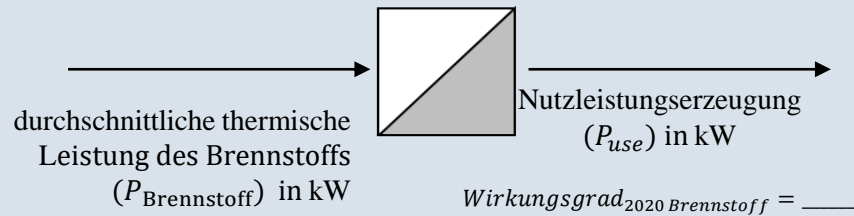
› Mittlere elektr. Leistungsaufnahme: $P_{el \ 2020} = \frac{P_{\text{Brennstoff}} * Wirkungsgrad_{2020 \text{ Brennstoff}}}{Wirkungsgrad_{2020 \text{ elektr.}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kW}_{el}$

Hinweis: Ideal wäre der Mittelwert aus Messdaten der elektr. Leistung über ein Jahr (im eingeschalteter Anlagenzustand)

Ausfüllhilfe

Bivalent betreibbare Systeme

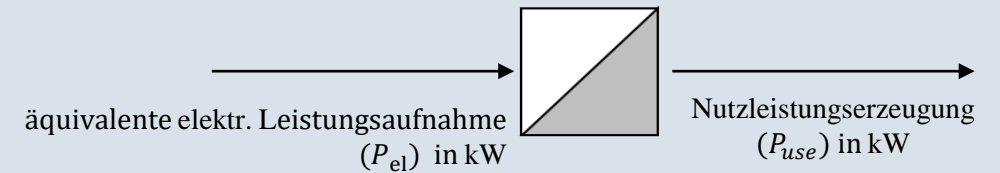
konventioneller Energiewandler



$$P_{\text{Brennstoff}} = \frac{\text{Brennstoffverbrauch pro Jahr [kWh/Jahr]}}{\text{Betriebsstunden pro Jahr [h/Jahr]}} = \text{____} \text{ kW}_{th}$$

$$P_{\text{use 2020}} = P_{\text{Brennstoff}} * \text{Wirkungsgrad}_{2020 \text{ Brennstoff}}$$

elektrischer Energiewandler



$$P_{el \ 2020} > \frac{P_{\text{Brennstoff}} * \text{Wirkungsgrad}_{2020 \text{ Brennstoff}}}{\text{Wirkungsgrad}_{2020 \text{ elektr.}}} = \text{____} \text{ kW}_{el}$$

$$P_{\text{use 2020}} = P_{\text{Brennstoff}} * \text{Wirkungsgrad}_{2020 \text{ Brennstoff}}$$

Hinweis: Der nachzurüstende elektr. Heizstab muss größer der benötigten Nutzleistung sein.

Hinweis: Der Wirkungsgrad ist an dieser Stelle ggf. mit der Leistungszahl (EER) auszutauschen

Bildquelle: basierend auf Strobel et. al 2020

Ihr Kontakt bei Fragen und für Feedback:

Johannes Sossenheimer

Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion | ETA-Fabrik
Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Eugen-Kogon-Str. 4
64287 Darmstadt

Telefon: +49 6151 / 16 25852

E-Mail: j.sossenheimer@ptw.tu-darmstadt.de

Internet: <http://www.ptw.tu-darmstadt.de>