

Postberg+Co. Druckluftcontrolling GmbH

**„Entwicklung eines Systemhardwaremoduls ‚Compressed-Air-Efficiency-Manager‘ zur dauerhaften Senkung des Energieeinsatzes bei der Druckluftnutzung über Monitoring und leicht interpretierbares/nutzerfreundliches Nutzer-Feedback“**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt,  
gefördert unter dem Az: 28777 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

von

Dipl.-Ing. Peter Otto

September 2012

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az <b>28777</b>	Referat <b>21</b>	Fördersumme	<b>244.250 €</b>
-----------------	-------------------	-------------	------------------

**Antragstitel**      **Entwicklung eines Systemhardwaremoduls „Compressed-Air-Efficiency-Manager“ zu dauerhaften Senkung des Energieeinsatzes bei der Druckluftnutzung und leicht interpretierbares/ nutzerfreundliches Nutzer-Feedback**

**Stichworte**

Laufzeit <b>18 Monate</b>	Projektbeginn <b>14.12.2010</b>	Projektende <b>14.09.2012</b>	Projektphase(n)
------------------------------	------------------------------------	----------------------------------	-----------------

Zwischenberichte	Mai 2011	November 2011
------------------	----------	---------------

<b>Bewilligungsempfänger</b>	Postberg+Co. Druckluftcontrolling GmbH Emilienstraße 37	Tel 0561 506309-70
		Fax 0561 506309-71
	34121 Kassel	Projektleitung Dipl.-Ing. Peter Otto
		Bearbeiter

**Kooperationspartner**      Universität Kassel  
Institut für Elektrische Energietechnik  
Fachbereich Rationelle Energiewandlung  
Wilhelmshöher Allee 73

34121 Kassel

**Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Bei industriellen Druckluftsystemen gibt es im Mittel eine Effizienzsteigerung von 33% und eine Effektivitätserhöhung von 25%. Viele klein- und mittelständische Unternehmen haben keine Transparenz dieses Potentials, so dass eine nachhaltige Kosteneinsparung (ca. 100 Mio. €) bisher nicht möglich war. Hauptziel des Vorhabens ist die Entwicklung eines Systemhardwaremoduls zur nachhaltigen Sicherstellung der Energieeffizienz von Druckluftsystemen. Der sogenannte „**Compressed Air-Efficiency-Manager**“ (kurz CAE-Manager) soll auf Basis von rückführbaren Messdaten die Systemeffizienz ermitteln und dem Nutzer von Druckluft (Schwerpunkt KMU) ein regelmäßiges Feedback geben.

Im Rahmen des universitären Umfeldes wird eine **KWK-Druckluft\*** Anlage mit CAE-Manager zu Forschungs-, Demonstrations- und Schulungszwecken aufgebaut. Dieses Druckluftsystem unterscheidet sich von bisherigen Druckluftsystemen durch die Druckluftführung in geschlossenen Kreisen (E.A.R.S) und der Druckluftherzeugung aus Erdgas oder Diesel. Der CAE-Manager übernimmt hier das System Monitoring und die Sicherstellung der Systemeffizienz.

**Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

Das Vorhaben gliedert sich in vier wesentliche Arbeitsschritte:

**Arbeitsschritt 1:** Beschreibung der ökologischen und energetischen Effizienz Kennzahlen

(Ampelklassifizierung), Ermittlung von Randbedingungen für Druckluftnutzung, Gesamtbetrachtung von Effizienz, Ökologie und Kosten mittels anwenderorientierten Bilanzierungsmodellen (Bsp. Output-Methode).

**Arbeitsschritt 2:** Bau und Installation einer KWK-Druckluft\* Anlage in der DeMoTec-Halle der Universität Kassel/ Fraunhofer IWES.

**Arbeitsschritt 3:** Entwicklung, Fertigung und Patentierung des CAE-Managers. Entwicklung und Fertigung von Prototypen und Installation bei zwei bis drei Leuchtturmprojekten.

**Arbeitsschritt 4:** Publikation der Ergebnisse und Schreiben eines Schulungshandbuches im Rahmen der universitären Weiterbildung für Techniker und Ingenieure.

## **Ergebnisse und Diskussion**

Die von der Universität Kassel gewählte Output-Methode hat sich in diesem Projekt mit 16 Varianten zum energetischen Vergleich von Druckluftsystem bewährt. Das Ergebnis zeigt, dass bis zu 2/3 an Primärenergie bei der Druckluftherzeugung, -verteilung und -nutzung eingespart werden kann.

Im universitären Umfeld wurde ein komplettes Druckluftsystem in der DeMoTec-Halle aufgebaut. Studenten und Ingenieure haben hierdurch die Möglichkeit bekommen, diese Energieströme transparent zu machen indem eine zukunftsweisende Messtechnik installiert wurde. Durch den Kontakt zum Dekan des Fachbereichs der Universität muss eine Übergangslösung gefunden werden, bis die offenen Stellen durch das Ausscheiden vom Projektpartner Dr.-Ing. Sievers und Prof. J. Schmidt wieder besetzt sind.

Für Postberg+Co. als Kleinunternehmen mit 13 Mitarbeitern wurde es möglich im vorindustriellen Umfeld der Hochschule die Messkette von Mechanik, Sensorik, Datenloggertechnik und Visualisierungssoftware als Prototypen zu testen und alle technischen Fehler zu eliminieren. Knowhow sollte von dem Unternehmen zur Universität und zurückgetragen werden. Leider ist dies nur teilweise und nicht nachhaltig gelungen.

Durch Kundenbefragungen wurde das Pflichtenheft für den CAE-Manager erfolgreich definiert und mit eigenen und Mitteln der DBU zwei Hardware Prototypen aufgebaut. Dabei konnte auf jedes kleinste Detail eingegangen werden (Gehäusedesign, Skalierbarkeit, Fehlerbeseitigung etc.).

Die Basis für den CAE-Manager wurde mit der Abgabe des Gebrauchsmusters am 4.06.2012 dokumentiert. Es wurden Lieferanten und Partner gewonnen, die die offenen Punkte des Projektes in einem Folgeprojekt (Bsp. ZIM-KOOP) gemeinsam lösen können. Die Fertigstellung aller als offen definierter Punkte des CAE-Managers sollen in 1-3 Jahren gelöst werden.

Es wurde auch über den Tellerrand geschaut und gesellschaftliche Verantwortung für den Umweltschutz übernommen. Der Bau der KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage mit der Firma Hübner in der Referenzanwendung ermöglicht das im Antrag beschriebene Leuchtturm Projekt sicherzustellen. Unternehmen wie EON und Viessmann haben gespürt, dass der Wille zum Erfolg vorhanden ist und ansteckend sein kann. Diese Unternehmen haben ihr Interesse an dem Projekt bereits durch die Vorstände bekundet.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Zwei Veranstaltungen als „Tag der offenen Tür“ in 2011 und 2012 wurden im Projekt-Kontext organisiert und erfolgreich dokumentiert. Zahlreiche Fachartikel und Zeitungsartikel wurden in dieser Zeit zum DBU-Projekt geschrieben und veröffentlicht.

Der Höhepunkt des DBU-Projektes war eindeutig die „Woche der Umwelt 2012“ im Schlossgarten Bellevue. Die Kontakte zur Bundespolitik, renommierten Wissenschaftlern, interessierten und ökologisch Motivierten hat ein „Wir-Gefühl“ ausgelöst. Das gesamte Postberg+Co.-Team wurde davon ergriffen und es gab einen spürbaren Rückenwind. Vier von sieben Referenten auf dem Tag der offenen Tür in Kassel wurden durch die neuen Kontakte bei der „WdU“ kennengelernt. Eine DVD wurde erstellt, die allen Besuchern der 2-tägigen Hausmesse am 22./23. August 2012 vorgestellt wurde. Auch auf der Internetseite [www.postberg.com](http://www.postberg.com) wurden alle im Projekt entwickelten Lösungen vorgestellt, so dass jeder auch nach der Woche der Umwelt die Informationen erhalten kann.

Ein Schulungskonzept für das Thema Druckluffeffizienz wird in 2013 als 2-tägiges Seminar angeboten, das geplant 100 Fachingenieure und Techniker erreichen wird. Erste Rahmenverträge für die Mechanik des CAE-Managers lassen großes erwarten, dass auch das Produkt in der Breite in die Anwendung kommen wird.

## **Fazit**

Es gilt 24 PJ an Primärenergie in den nächsten 8 Jahren einzusparen! Im Wettbewerb der Ideen hat Postberg den Horizont über das Tagesgeschäft setzen können. Die DBU war dabei ein starker Partner, der den Rücken frei hielt und Lösungen bei Problemen anbot. Gestärkt durch die „Woche der Umwelt“ und der Schulung von neuen Außendienstmitarbeitern gilt es, das Potential der Druckluffeffizienz zu „ernten“. Der „Energiebaum“, in der Woche der Umwelt entwickelt, soll gesellschaftspolitisch genutzt werden, um für die „Gleichberechtigung“ der Energieeffizienz einzustehen. Einsparen, bzw. Steigerung der Effizienz, ist wirtschaftlich und vernünftig – jetzt muss es noch zur Emotion werden!

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>VI</b>
<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Einleitung</b> .....	<b>3</b>
<b>3 Hauptteil</b> .....	<b>8</b>
3.1 Arbeitspaket 1: Modellierung der Gesamtenergetischen Betrachtung der Wirkungsgradkette der Druckluftherzeugung.....	10
3.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	10
3.1.2 Beschreibung der Output-Methode .....	11
3.1.3 Basis der Bilanzierung .....	11
3.1.4 Nutzungsphase und Herstellung .....	16
3.1.5 Darstellung der Kennzahlen.....	16
3.1.6 TÜV und DEKRA Zulassung.....	21
3.2 Arbeitspaket 2: Entwicklung des CAE-Managers .....	25
3.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	26
3.2.2 Kundenbefragung, Markt- und Patentrecherche .....	27
3.2.3 Konzept der KWK-Druckluft <sup>+</sup> Anlage.....	28
3.2.4 Pflichtenheft des CAE-Managers .....	29
3.2.5 Ein- und Ausgangssignale des CAE-Manager .....	32
3.3 Arbeitspaket 3: Prototypenentwicklung und Patentierung.....	35
3.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	35
3.3.2 Aufbauten zum Test der Komponenten.....	36
3.3.3 Wortmarke, Gebrauchsmuster Anmeldung und Internationales Patent.....	42
3.4 Arbeitspaket 4: Markteinführung .....	46
3.4.1 Teilnahme an der Woche der Umwelt 2012 .....	47

3.4.2	Weiterbildung und Schulungskonzept.....	49
<b>4</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>51</b>
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>54</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energieflussbild 2010 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoul [UBA12].....	4
Abbildung 2: Energieeffizienzpotentiale nach Anwendungssystem in 2/3 der Deutschen Industrie [vbw12].....	5
Abbildung 3: Energiebaum mit zu erntenden Früchten [PBCO12].....	6
Abbildung 4: Hans-Jürgen Postberg im Gespräch mit Bundespräsident Joachim Gauck während der Woche der Umwelt 2012.....	8
Abbildung 5: Basis Umwandlung von elektrischer in pneumatische Energie mit Elektromotor ..	12
Abbildung 6: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Dieselmotor.....	13
Abbildung 7: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Ottomotor .....	14
<b>Abbildung 8: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Ottomotor .....</b>	<b>15</b>
<b>Abbildung 9: Kombination aller Effizienzmaßnahmen mit Erdgas-Ottomotor-KWK.....</b>	<b>16</b>
Abbildung 10: Sankey-Diagramm eines elektrischen Druckluftkompressors mit 25 kW elekt. Leistung .....	21
Abbildung 11: Sankey-Diagramm der projektierten KWK Druckluft+ Anlage mit allen Effizienzmaßnahmen .....	21
Abbildung 12: P&ID Schema des KWK Druckluft+ Anlage .....	28
Abbildung 13: Beschreibung des CAE-Managers mit Funktionsumfang (IO, Speicher, Prozessor) .....	31
Abbildung 14: Prozessebene: Designte Ampel für die vor Ort Anzeige des CAE-Managers .....	34
Abbildung 15: Gebrauchsmuster Grundidee -Messarmatur als Absperreinheit, Sensoraufnahme und Messdüse für die rückführbare Differenzdruckmessung (drei-in-einem) .....	35
Abbildung 16: schematische Ansicht einer Druckluftanlage mit einem CAE-Manager/PB+Controller wie im Gebrauchsmuster veröffentlicht. ....	37
Abbildung 17: Anbohrrohrschelle mit Rückschlagschutz (hinten), 40 bar MultiController und Sensorik (mitte) und passender Datenlogger mit RS485-Sensorschnittstelle und Druckkompensation (vorne) .....	38
Abbildung 18: Designtes Gehäuse und Basishardware mit notwendigen Ein- und Ausgängen für den CAE-Manager/PB+Controller .....	39
Abbildung 19 Installation E.A.R.S-System und CAE-Manager in DeMoTec-Halle der Uni Kassel .....	40
Abbildung 20: Hübner Mitarbeiter und G. Hurink bei der Fertigstellung der KWK-Druckluft+ Anlage im September 2012.....	41
Abbildung 21: Schnittzeichnung des Gebrauchsmusters der Vorrichtung zur Differenzdruckmessung .....	43

---

Abbildung 22: Sensorebene - Messarmatur mit elektrischem Stellantrieb, Differenzdruck- und Kalorimetrischer Messsensorik in DN50 als Ausstellungstück.....	44
Abbildung 23: Schriftstück aus der internationalen Patentanmeldung .....	45
Abbildung 24: Fachvorträge während des „Tag der offenen Tür“ (links), Messestand auf der Effizienz-Fachmesse ForumE der LEW Augsburg (rechts). .....	46
Abbildung 25: Lokaler Zeitungsartikel über die Teilnahme von Postberg+Co. auf der „Woche der Umwelt“ .....	47
Abbildung 26: Ernst-Ulrich von Weizsäcker lässt sich die Funktionsweise des CAE-Managers erklären (links), Jörg Lefevrè erklärt die KWK-Druckluft <sup>+</sup> Anlage den Besuchern auf der WdU2012 (rechts).....	48
Abbildung 27: Ausschnitt aus einem veröffentlichten Fachartikel im Zuliefermarkt [Han12] .....	48
Abbildung 28: Gerhard Wohlauf (links) und Dieter Brübach (rechts) auf der Hausmesse in Kassel.....	49
Abbildung 29: Schulungsflyer für das geplante Druckluffeffizienzseminar 2013 .....	50
Abbildung 30: Zusammenfassung der Projektergebnisse .....	51
Abbildung 31: Das Postberg+Co.-Team vor dem Schloss Bellevue in Berlin .....	52

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 1 .....	10
Tabelle 2: Übersicht der 16 Varianten der Druckluftherzeugungspfade.....	12
Tabelle 3: Kennzahlen - Primärenergieeinsparung im Vergleich zum Ist-Stand .....	17
Tabelle 4: Kennzahlen - CO <sub>2</sub> -Ausstoß je kWh Primärenergie.....	18
Tabelle 5: Kennzahlen - CO <sub>2</sub> -Ausstoß je kWh Nutzenergie.....	18
Tabelle 6: Kennzahlen - Kosten für erzeugte Druckluftenergie.....	19
Tabelle 7: Kennzahlen - Kosten für Druckluftvolumen ohne Wärmegutschrift .....	19
Tabelle 8: Kennzahlen - Kosten für Druckluftvolumen mit Wärmegutschrift (Druckniveau 8 bar) .....	20
Tabelle 9: Entwicklungsstand und Zusammenfassung des Pflichtenheft und Stand des Prototypen .....	25
Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 2 .....	26
Tabelle 11: Ergebnisse der Befragung bei vier KMU Betrieben.....	27
Tabelle 12: Ergebnisse der Befragung bei vier Großunternehmen.....	27
Tabelle 13: Definition der Soll-Kennzahlen .....	30
Tabelle 14: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 3 .....	36
Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 4 .....	46

## Abkürzungsverzeichnis

Liste der verwendeten Formelzeichen	Bedeutung	Einheit
P_mech. Motor	Leistung Motor	kW_m
PE_Strom	Primärenergieeinsatz Strom	kWh_PE_ne
$\eta_{el}$	Wirkungsgrad Stromerzeugung	kWh_el/kWh_PE_ne
EE_Strom	Endenergie Strom	kWh_el
$\eta_m$	Wirkungsgrad Strom-in- mechanisch	kWh_m/kWh_el
NE_m	Nutzenergie mechanische Energie	kWh_m
VE_k	Kompressions- und Leerlaufverluste	
VE_n	Verlust in Druckluftnetz	
VE_g	Expansionsverlust in Druckluftgeräten	
$\eta_{p\_ges}$	Gesamteffizienz End- Nutzenergie	
NE_p	Nutzenergie Druckluftgeräte	kWh_NE_p
$\eta_{KEA}$	Gesamteffizienz KEA	kWh_NE_p/kWh_PE_ne
E_CO2_Strom	CO2-Emissionen Strom	kg_CO2-Äq.
$\eta_{HK}$	Wirkungsgrad Heizkessel	
Q_Br_HK	Brennstoffeinsatz	kWh_Br
a_Erdgas	Anteil Erdgas	
a_Heizöl	Anteil Heizöl	
Q_th_HK	Nutzenergie Wärme im Heizkessel erzeugt	kWh_th
Q_th_K	Nutzung der Kompressionswärme	
Q_th_K_nutz	genutzte Wärme	kWh_th
Q_th_ges	Gesamte Wärme	kWh_th
NE_ges	Gesamte genutzte Energie	kWh_NE_ges
KEA_ne_HK	kumulierter Energieaufwand	kWh_PE_ne
KEA_ne_ges	kumulierter Energieaufwand	kWh_PE_ne
K_Strom_m	Stromkosten pro kWh_m	ct/kWh_m
K_Br_m	Kosten Brennstoff pro kWh_m mit Wärmenutz	ct/kWh_m
K_p	Kosten pro kWh_p	ct/kWh_p
K_p_v	Kosten pro m3 Druckluft	ct/m3_p
K_Br	Kosten Erdgas und Heizöl	ct/kWh_Br
K_th	Kosten Wärme	ct/kWh_th
K_Strom	Kosten Strom	ct/kWh_el
$\eta_{kwk\_ges}$	Gesamteffizienz KWK-Anlage	
$\eta_{th\_ges}$	Thermischer Gesamtwirkungsgrad	kWh_NE_th/kWh_PE_ne
$\eta_{ges}$	Gesamtwirkungsgrad	
E_CO2_HK	CO2-Emissionen Heizkessel	kg_CO2-Äq.
E_CO2_ges	CO2-Emissionen gesamt	kg_CO2-Äq.
f_Br_CO2_Kraftwerkspark	Faktor_Vorkette Treibhausgase	kg_CO2-Äq./kWh_el
f_Br_KEA_ne_Kraftwerkspark	Faktor_Vorkette kumulierter	kWh_PE_ne/kWh_el
Abschlussbericht		

f_Br_CO2_Heizöl	Energieaufwand Faktor_Vorkette Treibhausgase	kg_CO2-Äq./kWh_Br
f_Br_KEA_ne_Heizöl	Faktor_Vorkette kumulierter Energieaufwand Treibhausgase	kWh_PE_ne/kWh_Br
f_Br_CO2_Erdgas	Faktor_Vorkette Treibhausgase	kg_CO2-Äq./kWh_Br
f_Br_KEA_ne_Erdgas	Faktor_Vorkette kumulierter Energieaufwand	kWh_PE_ne/kWh_Br
f_p_v	Spez. Kennzahl Druckluft	m <sup>3</sup> _p/kWh_m
PE_Heizöl	Primärenergieeinsatz Heizöl	kWh_PE_ne
EE_Heizöl	Endenergie Heizöl	kWh_EE_Br
η_G	Wirkungsgrad Generator	kWh_el/kWh_m
η_th	Effizienz thermisch	
Q_th	Thermische Nutzenergie	kWh_th
a_th_nutz	genutzter Anteil	
Q_th_nutz	Nutzenergie Wärme	kWh_th
PE_Erdgas	Primärenergieeinsatz Erdgas	kWh_PE
EE_Erdgas	Endenergie Erdgas	kWh_EE_Br
NE_p	Nutzenergie Druckluftgeräte	kWh_NE_p
NE_p_rück	Rückführung der Expansionsluft	kWh_NE_p
NE_p_ges	Gesamte Nutzenergie Druckluftgeräte	kWh_NE_p

## Indizes

Index	Bedeutung
a	Anteil
Br	Brennstoff
KEA	kumulierter Energieaufwand
NE	Nutzenergie
EE	Endenergie
HK	Heizkessel
ne	nicht erneuerbar
VE	Verlustenergie
el	Elektrisch
f	Faktor
ges	gesamt
m	mechanisch
nutz	Nutzung
rück	Rückführung
th	Thermisch
P	Leistung
PE	Primärenergie
p	Druckluft
CO2	Kohlendioxid
η	Wirkungsgrad
E	Emission

## 1 Zusammenfassung

Handeln ist angesagt! Der Wettbewerb der Ideen muss richten, was die Politik nur ansatzweise geschafft hat. Für die Begrenzung der Treibhausgase und der Beendigung einer atomaren Energiewirtschaft ist die „Energiewende“ mehr als ein politisches Programm – es ist eine Generationenaufgabe. Es beginnt im Kleinen, bei jedem Einzelnen von uns, die Verantwortung zu tragen. Energieeffizienz spielt neben einer erneuerbaren Energiewirtschaft eine der tragenden Rollen. Als Industrienation muss Deutschland in dreißig Jahren 50 Prozent Primärenergie einsparen, durch Steigerung der Energieeffizienz und -produktivität.

Postberg+Co. glaubt daran, dass in den nächsten 8 Jahren 25 Prozent des absoluten Industriestroms durch Effizienzsteigerungen eingespart werden können. Für die teuerste Energie der Industrie, die Druckluft, können zum heutigen Tag wirtschaftlich 40 bis 60 Prozent eingespart werden. Dazu müssen Investitionen von ca. 1,2 Milliarden Euro getätigt werden und dessen nachhaltiger Einsatz messbar nachgewiesen werden! Durch ein Mehr an Transparenz, so weiß Postberg, im Bereich der industriellen Industrieströme können 10 bis 20 Prozent an Energieverbrauch rationalisiert werden. Der ISO 50001 bekommt dabei eine große, jedoch verbindliche Wichtigkeit zu.

Mit der im DBU-Projekt verwendeten Output-Methode werden dabei alle Druckluftprozesse auf Primärenergieeinsparung zurückrechen- und dadurch vergleichbar. Durch Bestimmung des IST-Zustandes vor den ersten Effizienzmaßnahmen und Investitionen, der Bestimmung des SOLL-Zustandes und Messung des momentanen Wirkungsgrades können Energie, Kohlendioxid und Kosteneinsparungen nachhaltig dokumentiert und vergleichbar werden.

Es gilt ab heute vier-und-zwanzig Petajoule an Primärenergieeinsparung bei der Druckluft einzusparen und nachzuweisen. Dazu bedarf es rückführbarer Messtechnik mit einer jederzeit prüfbarer Genauigkeit. Wir wollen uns nichts vormachen, sondern eine absolute und tatsächliche Einsparung an Primärenergie! Mit dem CAE-Manager ist dies möglich. Die Grundidee des Zählens der Primärenergieeinsparung, wurde im Rahmen des DBU-Projektes erfolgreich zum Gebrauchsmuster „Vorrichtung einer Differenzdruckmessung“ angemeldet. Nun gilt es bis Mitte kommenden Jahres die gefundenen offenen Punkte und Fragen abzuschließen (siehe Fazit).

Die Markteinführung wurde bereits parallel im September 2011 begonnen, da die Zeit drängt. Für die nächsten 8 Jahre gibt es viel zu tun. Neue Mitarbeiter im Außendienst, und als Energieberater tätig, wurden ausgebildet und eingestellt. In der Ausbildung und der Rekrutierung junger Menschen liegt der Erfolg des Projektes (nicht allein in der Technik), so

dass für das Schulungskonzept für 2013 viel vorbereitet wurde – erfolgreich nur gemeinsam mit der benachbarten Universität bzw. den lokal ansässigen Instituten (IWES und IdE).

---

## 2 Einleitung

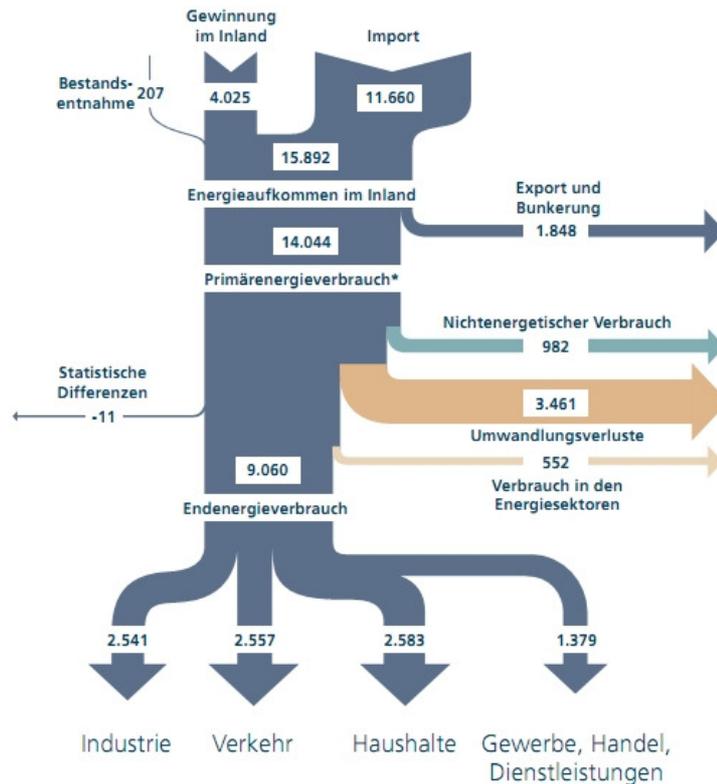
Ohne eine Änderung unseres Umgangs mit den Ressourcen der Erde steuert die industrialisierte Gesellschaft auf eine Sackgasse zu. Nur wenn wir unsere Ressourcen viel effizienter und nachhaltiger nutzen, haben wir weniger Schadstoffe in der Luft, sind unsere Gewässer sauberer, unsere Wälder gesünder, unsere Böden fruchtbarer, haben wir weniger Treibhausgasemissionen. Ressourceneffizienz ist wichtig für den Umweltschutz.

Fossile und atomare Energieträger sind endliche Ressourcen, die gleichzeitig der wachsenden Weltbevölkerung zu einem historischen Anstieg der Kohlendioxidemissionen und atomaren Abfällen führen. Sowohl die Folgen der atomaren Störfälle und Abfälle, als auch die Klimaerwärmung sind Risiken, die es als Weltgemeinschaft zu eliminieren gilt. Es sind Risiken, deren Folgen vor allem zukünftigen Generationen aufgebürdet werden. Der momentane Umgang mit Energie ist nicht nachhaltig, nicht sicher und das Problem um die Endlager der Abfälle ist nicht gelöst. Mit den Worten des Bundespräsidenten „**Wir können nicht einfach sagen, na gut, dann lassen wir halt anschreiben und belasten dann mit den Kosten, die darauf bestehen, die Generation unsere Enkelkinder. Das geht nicht. Eine solche Haltung wäre schlicht verantwortungslos**“ [WdU12].

Als mitverantwortliche Industrienation für diesen Missstand hat Deutschland die „Energiewende“ mehrheitlich politisch beschlossen. Der Begriff "Energiewende" steht für den Aufbruch in das Zeitalter der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz. Das definierte Ziel bis 2050 ist aus der Atomwirtschaft auszusteigen, 80-95% der Treibhausgase zu reduzieren und dabei den Primärenergiebedarf zu halbieren. „**Der Staat schützt auch in Verantwortung für die künftigen Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen ...**“ Grundgesetz, Artikel 20a. Energieeffizienz soll bei der „Energiewende“ zu einer der tragenden Säule werden. Energieverbrauch und Kohlendioxid-Emissionen sind, laut der Umweltökonomischen Gesamtrechnungen (UGR), die wesentlichen Umwelteinsatzfaktoren, die dazu dienen die Nutzung der Umwelt als Ressourcenquelle und als Aufnahmebecken für Rest- und Schadstoffe zu messen. Der verantwortliche Anteil der Industrie am Primärenergieverbrauch, und der damit verbundenen Kohlendioxid-Emission, liegt zum Zeitpunkt der „Energiewende“ bei knapp 30 Prozent (siehe Abbildung 1).

Trotz kontinuierlich sinkender spezifischer Emissionen, gingen die **absoluten** Kohlendioxid-Emissionen aus der Stromerzeugung (Energiewirtschaft) seit 1990 nur wenig zurück, obwohl die Gesamteffizienz im Industriesektor im selben Zeitraum im Schnitt um drei Prozent pro Jahr stieg. Dies liegt sowohl am Wirtschaftswachstum auf der einen, als auch am stetig zunehmenden Stromverbrauch [Uba12] auf der anderen Seite. Dabei ist gerade die Stromerzeugung durch die Wandlungsverluste in den Kraftwerken äußert primärenergieintensiv.

Abschlussbericht



Der Anteil der erneuerbaren Energieträger am Primärenergieverbrauch liegt bei 9,4 %.

\* Alle Zahlen vorläufig geschätzt.  
29,308 Petajoule (PJ)  $\hat{=}$  1 Mio. t SKE

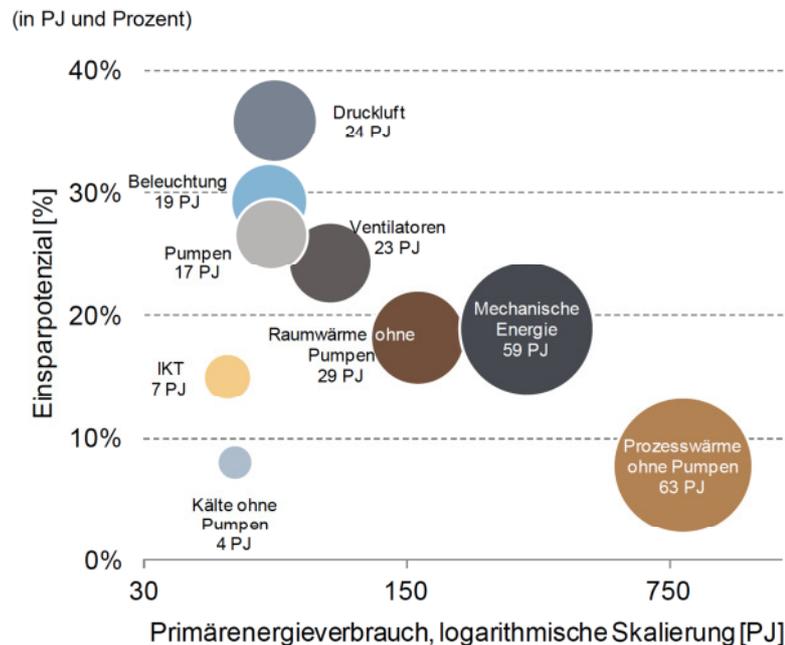
**Abbildung 1: Energieflussbild 2010 für die Bundesrepublik Deutschland in Petajoul [UBA12]**

Postberg+Co. Druckluftcontrolling GmbH ist davon überzeugt, dass **mindestens ein Viertel des Industriestroms** (absolut) und der damit verbundenen Kohlendioxid-Emissionen in den nächsten 8 Jahren durch Steigerung der Energieeffizienz rationalisiert werden können (siehe Abbildung 2, Druckluft, Beleuchtung, Pumpen und Ventilatoren). Dies entspricht 3,25 Prozent pro Jahr mehr (5 statt 1,75) im Vergleich zum Durchschnitt der letzten 20 Jahre und ist Aufgrund des Handlungsdrucks der „Energiewende“ zwingendermaßen genauso ambitioniert wie notwendig. Auf den Gesamtstromverbrauch übertragen bedeutet dies eine Rationalisierung von 10 Prozent und damit das gesetzte Ziel des Staates<sup>1</sup>.

Die im Projekt zu lösende Problemstellung war dabei, dies am Beispiel der Druckluft, durch **20 Prozent Steigerung in der Effizienz der Energiewandlung**, dem kontinuierlichen Überwachen von **80 Prozent der Verbraucher** und der daraus resultierenden Einsparung, bzw. Substitution von **20 Prozent des Verbrauches**, in perspektivisch jedem Industrieunternehmen nachweisbar zu machen. Die Rückrechnung von gemessener Nutz- bzw. Endenergie- auf

<sup>1</sup> Bei einer durchschnittlichen Zunahme an Stromverbrauch von 1,75 Prozent durch Wirtschaftswachstum (Vgl. letzte 20 Jahre)

Primärenergieeinsparung soll dann in Summe die in den kommenden acht Jahren genannten **24 PJ p.a** dokumentier- und überwachbar machen. (siehe Abbildung 2 und [Rad01]).



**Abbildung 2: Energieeffizienzpotentiale nach Anwendungssystem in 2/3 der Deutschen Industrie [vbw12]**

Gekoppelt mit der Nutzung der Abwärme aus Industrieprozessen für Raum- und Prozesswärme, wie beispielsweise bei der Druckluftherzeugung möglich (Abwärmenutzung), und der gleichzeitigen Installation von KWK-Anlagen [Öko09] in der Industrie, stellt dies in der Wandlungskette des Industriestroms ein erhebliches Primärenergie- bzw. Kohlendioxid Einsparpotential dar. In Praxisbeispielen der Industrie wurden die dafür zugrundeliegenden Effizienzsteigerungen in der Vergangenheit erfolgreich nachweisbar belegt (Bau11 und Vdw12).

Postberg+Co. ist ein seit neun Jahren national als auch international tätiges Unternehmen im Bereich der Mess- und Effizienztechnik. Getreu dem Motto „Messen ist Wissen“ wird täglich daran gearbeitet Systemlösungen zu finden, damit Industrieunternehmen neue Energie- und Kosteneinsparpotentiale bei der Druckluft erschließen und nachhaltig kontrollierbar machen können. Wir unterstützen damit aktiv das Ziel die Klimaerwärmung auf max. 2 Grad zu begrenzen [Ste06]. Für die Energieeffizienz bedarf es dazu einer Gleichstellung in der gesellschaftlichen Akzeptanz, wie es den erneuerbaren Energien mittlerweile zu Teil wird. Wie der Energiebaum in der Abbildung 3 verdeutlicht, hat die Energieeffizienz die gleiche positive Wirkung auf das Klima (Emissionssenkungsquelle siehe [Ste06]).

Auf der **Woche der Umwelt 2012** im Schloßgarten Bellevue hat Postberg+Co. mit Politikern, Wissenschaftlern und engagierten Bürgen über die Art und Weise der Ernte des „Energiebaums“ auf Seiten der Energieeffizienz diskutiert, um Lösungsansätze zu verfeinern. Im Gespräch mit Prof. Ernst von Weizsäcker wurde die Kopplung der Energieeffizienz an die Abschlussbericht

Energiepreiserhöhung genauso kontrovers diskutiert wie die ausreichenden Kapitalbereitstellungen für Energieeffizienzmaßnahmen mit Prof. Maximilian Gege (B.A.U.M. e.V.) und den CO<sub>2</sub>-Emissionshandel von KWK-Anlagen mit Bundestagsabgeordneten. Ohne den notwendigen Kapitalbedarf von ca. 223 Milliarden Euro in den nächsten acht Jahren bereitzustellen, ist die technisch-wirtschaftliche Höhe der Effizienzsteigerung nicht zu erreichen, um somit einen Selbstläufer in Gang zu setzen [Bau11].

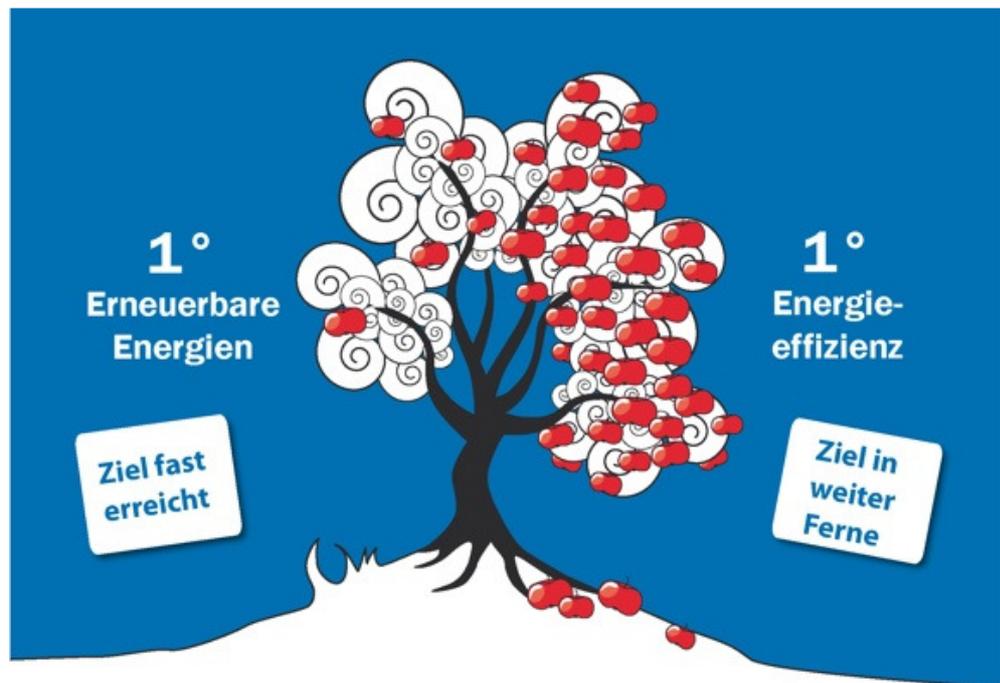


Abbildung 3: Energiebaum mit zu erntenden Früchten [PBCO12]

Für die energetische Optimierung von Druckluftsystemen wurden 1,2 Milliarden Euro (0,5 Prozent) veranschlagt, was aufgrund des aktuellen Einsparpotentials von 400 Millionen Euro und einer durchschnittlichen Amortisationszeit von 3 Jahren realistisch erscheint. In der genannten Größenordnung ist die transparente, glaubhafte und prüfbare Abrechnung nach hier dargestellten Punkten notwendig:

- eingesparter Energiemenge (Bsp. kWh-Strom in einem Jahr)
- Kosteneinsparung zur Refinanzierung der getätigten Investitionen
- Primärenergie und Kohlendioxid Reduzierung

Basis dazu ist die Messung des IST-Zustandes (Baseline) vor der getätigten Investition und die daraus tatsächlich erfolgte Einsparung. Das abgeschlossene und folgend dokumentierte Projekt zielt darauf ab, das genannte Effizienzziel von 24PJ Primärenergieeinsparung p.a für die Druckluft messtechnisch zu belegen und dadurch abrechenbar zu machen. Mit der Entwicklung einer KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage wurde darüber hinaus ein weiteres und wichtiges

Primärenergieeinsparpotential der Industriellen Wärmerückgewinnung nachgewiesen und steht zu Referenz- und Schulungszwecken zur Verfügung.

### 3 Hauptteil

Die Hauptziele des DBU-Projektes bestanden zusammenfassend beschrieben in den folgenden drei Punkten:

1. Ermittlung von Randbedingungen für Druckluftnutzung, Gesamtbetrachtung von Effizienz, Ökologie und Kosten
2. Entwicklung und Fertigung von Prototypen des CAE-Managers inkl. Praxisdokumentation von zwei bis drei Leuchtturmprojekten
3. Dokumentation der Ergebnisse für Schulungszwecke im Rahmen der universitären Weiterbildung für Techniker und Ingenieure

Für die Firma Postberg+Co. bestand weiterhin das Ziel das Produkt CAE-Manager und evtl. Systemlösungen wie die KWK-Druckluft+ Anlage zu einem EU- bzw. internationalen Patent anzumelden (siehe Antrag Seite 21 und 22, bzw. Realisierung siehe Kapitel 0), um sich als Kleinunternehmen gegenüber internationalen Großunternehmen, die als Lizenz- und OEM-Partner agieren, einen rechtlichen Schutz zu sichern.

Das DBU-Projekt sollte ergänzend die Basisarbeiten leisten ein passend geeignetes Entwicklungs- bzw. Anwendungsfolgeprojekt, sei es EU-weit bzw. national, mit zu definierenden Projektpartnern auszuarbeiten und zu beantragen. Nach Aussagen der DBU zum Kick-Off Meeting des Projektes dient das DBU-Projekt als sehr gute Referenz und Ausgangsbasis für evtl. Antragsprüfungen.



**Abbildung 4: Hans-Jürgen Postberg im Gespräch mit Bundespräsident Joachim Gauck während der Woche der Umwelt 2012**

Als Projekthöhepunkt wurden die Projektergebnisse durch die Teilnahme an der **Woche der Umwelt 2012 im Schloßgarten Belleveu** einer breiten ökologisch interessierten und engagierten Öffentlichkeit vorgestellt. Der persönliche Kontakt zum Gastgeber und Bundespräsidenten Joachim Gauck war sicherlich einer der Höhepunkte der Veranstaltung. Der Einladung durch die Deutsche Bundestiftung Umwelt und seinem Vorgänger ist die Firma Postberg+Co. gerne gefolgt (weitere Details dazu in 3.4.1).

Trotz der Unwegbarkeiten durch das Ausscheiden des Projektleiters der Universität Kassel Dr.-Ing. John Sievers zum 30.09.2011, wurden durch Umverteilung der Projektinhalte auf Postberg+Co. und dem Referenzunternehmen Hübner GmbH alle Projektinhalte und -ziele erfüllt, wie die folgenden Arbeitspaket-Ergebnisse verdeutlichen werden. Die vollständigen und nachgereichten Zwischenberichte der Universität Kassel wurden unverändert im Anhang beigefügt (A1 und A2). Teile wurden im Abschlussbericht übernommen, welche im Schwerpunkt in der ersten Projekthälfte geleistet wurden (Kapitel 3.1).

Die als Prototyp gebaute KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage wurde nach Rücksprache mit der DBU der Firma Hübner übergeben, um diese als erste Referenzanlage in der Industrie betreiben zu können. Diese steht hier als Teil eines in 2013 startenden Schulungskonzeptes der Firma Postberg+Co. und Hübner zur Verfügung. Der besondere Dank für die unbürokratische und schnelle Hilfeleistung in diesen kritischen Projektphasen gilt dem Projektbetreuer Dr.-Ing. Jörg Lefèvre.

### 3.1 Arbeitspaket 1: Modellierung der Gesamtenergetischen Betrachtung der Wirkungsgradkette der Druckluftherzeugung

Im Arbeitspaket 1 wurden zu Projektbeginn von der Universität Kassel in Form eines MS-Excel Werkzeuges die Druckluftherzeugungspfade identifiziert und dazu verschiedene Varianten nach der Output-Methode entwickelt. Dabei wird die Gesamtwandlungskette von der Primärenergie bis zur Nutzenergie in der Einheit kWh aufgebaut.

#### 3.1.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Ausgehend von der Identifizierung unterschiedlicher Druckluftherzeugungspfade, wurden mit einer Klassifizierung eine Basisvariante und 15 Varianten ausgewählt und dokumentiert. Die Basisvariante soll den IST-Zustand abbilden, wie er in Industriebetrieben in der Regel vorliegt, mit einem elektrisch angetriebenen Kompressor ohne Wärmenutzung. Als drei Technologieansätze für die Druckluftherzeugung wurden neben elektrischen Kompressoren mechanische Kompression über Diesel- und Ottomotor ausgewählt. Fünf Effizienzmaßnahmen wurden mit diesen Technologien kombiniert. Dies sind Wärmenutzung aller jeweils verfügbaren Quellen, mit 80% Nutzungsgrad, verbesserte Antriebe für den Kompressor, Verminderung von Druckluftleckagen, Druckluftrückführung und eine Kombination aller Maßnahmen.

Aufgabe	Konzept	Entwurf	Erledigt
Druckluftherzeugungspfade indentifizieren, klassifizieren und dokumentieren			☑
Berechnung von Energieeffizienz, CO <sub>2</sub>			☑
Berechnung von Kostenbilanzen			☑
Darstellung der Ergebnisse (Sankey-Diagramm)			☑
Dokumentation der Berechnungen: Annahmen und Randbedingungen, Berechnungsdetails (ua. Berechnung in Primärenergie je Nutzenergie)			☑
Konzept zur Berechnung für CAE Manager			☑
Konzept zur Implementierung der Effizienzkennzahlen in die CAE-Software			☑
Konzept zur Interpretation der Ampelklassifikation (Vorgehensweise, Randbedingungen, Parameter, realistische Variationsbreite)			☑

**Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 1**

Für diese 16 Varianten wurden die Energieeffizienz, der Ausstoß von Treibhausgasen und die entstehenden Kosten für die Energiebereitstellung berechnet. Der Einfluss der Technologie und Effizienzmaßnahme wurde dargestellt, so dass der Effekt gegenüber dem IST-Zustand aufgezeigt werden kann. Der Effizienzsprung wurde für die Öffentlichkeitsarbeit als Sankey-Diagramm dargestellt. Bei Kombination aller Effizienzmaßnahmen sind im optimalen Fall Einsparungen von **bis zu 63% Primärenergie möglich**. Durch diese Kombination werden auch Abschlussbericht

die höchsten Emissionminderungen und Kosteneinsparungen erreicht. Alle hier aufgeführten Ergebnisse wurden mit allen wesentlichen Annahmen, Randbedingungen und Berechnungsdetails dokumentiert. Die Berechnungen werden zur Auswertung in die CAE-Hard- und Software implementiert und die Kombination der Maßnahmen soll über eine KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage praktisch umgesetzt werden. Die hier verwendeten Effizienz-, Kosten- und Emissionskennzahlen werden im CAE-Manager anschließend für die Ampelqualifikation genutzt, mit der der Nutzer eine Rückmeldung über den Zustand des Druckluftsystems erhält (siehe Kapitel 3.2.4).

### **3.1.2 Beschreibung der Output-Methode**

Der Vergleich der Energie Druckluft mit thermischer Energie muss berücksichtigen, dass es sich um völlig unterschiedliche Energieformen handelt und die pneumatische Energie sehr viel aufwendiger zu erzeugen ist. Neben dem hohen technischen Wert für die Produktion besitzt Druckluft auch einen sehr hohen Preis. Diesem Unterschied wird in der Output-Methode Rechnung getragen. Es werden für den Vergleich von technischen Lösungen für eine effiziente Druckluftherzeugung und Wärmenutzung jeweils die erzeugten Nutzenergien bilanziert und auf gleichen Output gebracht, indem eine identische Menge Druckluft und Wärme erzeugt wird. Für eine fehlende Wärmeerzeugung wird die übliche Wärmeerzeugung im Heizkessel angenommen und bilanziert. Die Output-Methode bewirkt im Gegensatz zur Substitutions-Methode keine Verzerrungen [Siev10].

### **3.1.3 Basis der Bilanzierung**

Die Möglichkeiten in der Praxis wurden zu Beginn klassifiziert. Es wurden folgende Grunderzeugungsarten unterschieden:

- Druckluftherzeugung aus Strom jedoch mit Heizkessel (Basisvariante) -> Elektromotor
- Druckluftherzeugung aus Diesel -> Diesel-KWK
- Druckluftherzeugung aus Erdgas -> Ottomotor-KWK

Da in der Praxis die Wärmerückgewinnung, Verminderung von Leckagen, drehzahlvariable Antriebe und die Druckluftrückführung existieren, wurden verschiedene Kombinationen der Effizienzmaßnahmen gewählt, die zur Matrix in Tabelle 2 führten.

Die Druckluftherzeugungspfade werden im Folgenden näher erläutert, wobei die Verknüpfung der Rechenformeln im Anhang als Excel-Werkzeug (Digital-Kopie) beigefügt wurde.

Elektrische Energie wird durch Umwandlung von Primärenergieträgern in Kraftwerken erzeugt. Zur Erzeugung von Druckluft, wird diese zunächst durch einen elektrischen Motor in

mechanische Energie und schließlich durch einen Verdichter in pneumatische Energie umgewandelt.

Matrix der Varianten	Elektromotor	Diesel-KWK	Ottomotor-KWK
Ohne Wärmerückgewinnung	Basis	----	---
Mit Wärmerückgewinnung	Variante 1	Variante 1	Variante 1
Verminderung von Druckluftleckagen	Variante 2	Variante 2	Variante 2
Rückführung der Expansionsluft (EARS)	Variante 3	Variante 3	Variante 3
Drehzahlvariable Antriebe	Variante 4	Variante 4	Variante 4
Kombination aller Effizienzmaßnahmen	Variante 5	Variante 5	Variante 5

Tabelle 2: Übersicht der 16 Varianten der Druckluftherzeugungspfade

### Kompressor (Elektromotor)

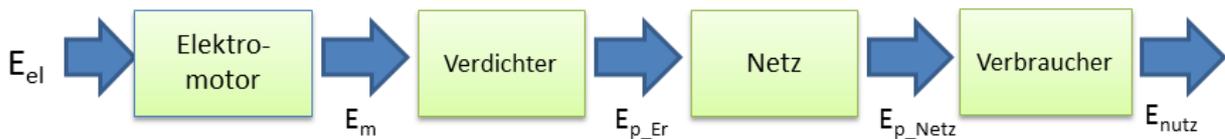


Abbildung 5: Basis Umwandlung von elektrischer in pneumatische Energie mit Elektromotor

#### Formeln:

1.  $EE_{Strom} = \frac{PE_{Strom}}{f_{Br\_KEA\_ne\_Kraftwerkspark}}$
2.  $NE_m = EE_{Strom} \times \eta_m$
3.  $\eta_{P\_ges} = 1 - VE_k - VE_n - VE_g$
4.  $NE_p = NE_m \times \eta_{P\_ges}$
5.  $\eta_{KEA} = \frac{NE_p}{PE_{Strom}}$
6.  $E_{CO2\_Strom} = EE_{Strom} \times f_{Br\_CO2\_Kraftwerkspark}$
7.  $Q_{th\_HK} = Q_{Br\_HK} \times \eta_{HK}$
8.  $Q_{th\_K\_nutz} = Q_{th\_K} \times a_{th\_nutz}$
9.  $Q_{th\_ges} = Q_{th\_K\_nutz} + Q_{th\_HK}$
10.  $NE_{ges} = Q_{th\_ges} + NE_p$

Abschlussbericht

$$11. KEA_{ne\_HK} = Q_{Br\_HK} \times (a_{Erdgas} \times f_{Br\_KEA\_ne\_Erdgas} + a_{Heizöl} \times f_{Br\_KEA\_ne\_Heizöl})$$

$$12. KEA_{ne\_ges} = KEA_{ne\_HK} + PE_{Strom}$$

$$13. \eta_{th\_ges} = \frac{Q_{th\_ges}}{KEA_{ne\_ges}}$$

$$14. \eta_{ges} = \frac{NE_{ges}}{KEA_{ne\_ges}}$$

$$15. E_{CO2\_HK} = Q_{Br\_HK} \times (a_{Erdgas} \times f_{Br\_CO2\_Erdgas} + a_{Heizöl} \times f_{Br\_CO2\_Heizöl})$$

$$16. E_{CO2\_ges} = E_{CO2\_HK} + E_{CO2\_Strom}$$

$$17. K_{Strom\_m} = \frac{EE_{Strom} \times K_{Strom}}{NE_m}$$

$$18. K_p = \frac{K_{Strom\_m}}{NE_p}$$

$$19. K_{p\_v} = \frac{K_{Strom\_m}}{f_{p\_v}}$$

### Kompressor (Dieselmotor-KWK)

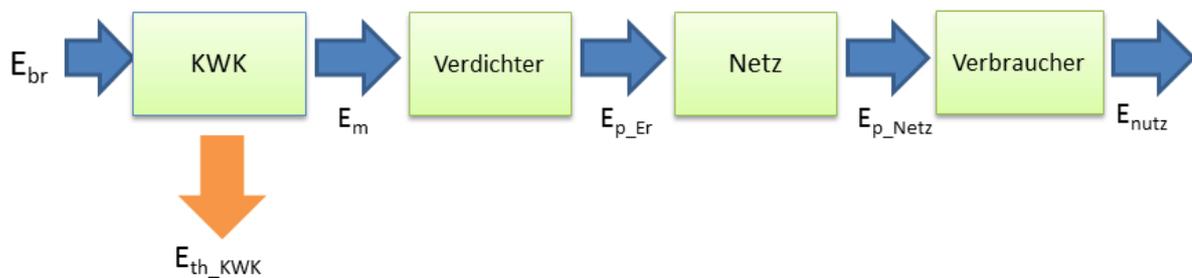


Abbildung 6: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Dieselmotor

$$20. EE_{Heizöl} = \frac{PE_{Heizöl}}{f_{Br\_KEA\_ne\_Heizöl}}$$

$$21. \eta_m = \frac{\eta_{el}}{\eta_G}$$

$$22. NE_m = EE_{Heizöl} \times \eta_m$$

$$23. \eta_{kwk\_ges} = \eta_{th} + \eta_{el}$$

$$24. Q_{th} = EE_{Heizöl} \times \eta_{th}$$

$$25. Q_{th\_nutz} = Q_{th} \times a_{th\_nutz}$$

$$26. Q_{th\_ges} = Q_{th\_K\_nutz} + Q_{th\_HK} + Q_{th\_nutz}$$

$$27. K_{Br\_m} = \frac{EE_{Heizöl} \times K_{Br} - Q_{th\_nutz} \times K_{th}}{NE_m}$$

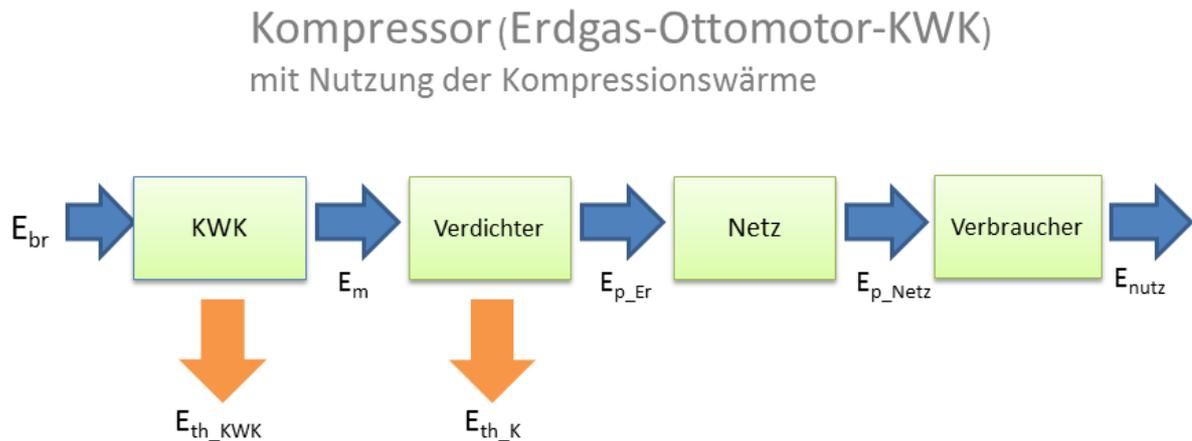


Abbildung 7: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Ottomotor

$$28. EE_{Erdgas} = \frac{PE_{Erdgas}}{f_{Br\_KEA\_ne\_Erdgas}}$$

### Nutzung der Kompressorabwärme

Bei Schraubenkompressoren mit Öleinspritzung wird durch das Öl circa 72 % der zugeführten elektrischen Energie als Wärme nach außen abgeführt. Diese Energie kann zurückgewonnen werden, indem das erhitzte Öl über einen Plattenwärmetauscher geführt wird, der Heizungswasser auf bis zu 70 °C erwärmt. Thermische Energie kann außerdem durch Kühlung der Druckluft gewonnen werden [Dena07].

$$29. Q_{th\_K} = EE_{Strom} \times (72\% + 13\%)$$

### Verminderung von Leckageverlusten

Zur Bereitstellung der gleichen pneumatischen Energie (Output) wird 20% weniger elektrische Energie (Input) benötigt, weil der Energieverlust im Druckluftnetz reduziert wird [Rad01].

30. Umstellung von Formel 3

$$VE_n = 1 - VE_k - \eta_{P\_ges} - VE_g$$

### Verbesserte Antriebe und Steuerung

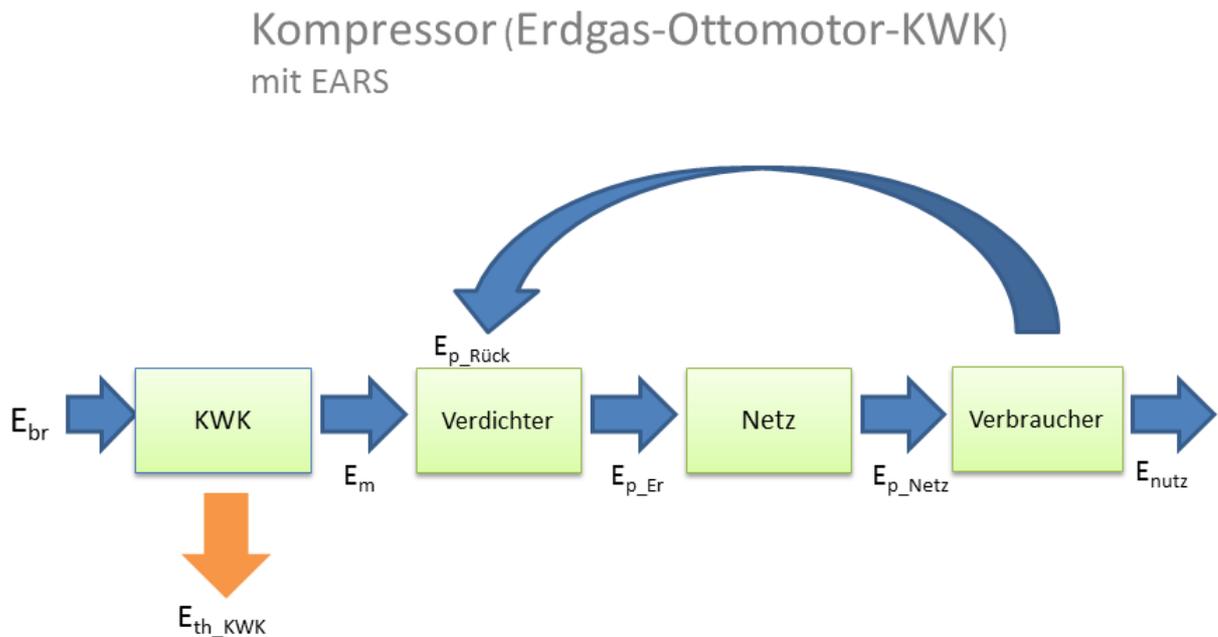
Durch Optimierung von Antrieben können Einsparungen von elektrischer Energie mit durchschnittlich 15 % erreicht werden [Rad01]. Durch Druckabsenkung und bessere Koordination, lässt sich bei übergeordneten Steuerungen mehrerer Kompressoren zusätzlich

Abschlussbericht

ein energetisches Einsparpotenzial von bis zu 12 % ausschöpfen. Beide Maßnahmen sind im Vergleich zu anderen Einsparmaßnahmen langfristig ausgelegt (1 Jahr).

$$31. VE_k = 1 - VE_n - \eta_{P\_ges} - VE_g$$

### Nutzung der Druckluftrückführung



**Abbildung 8: Umwandlung über KWK in Druckluft und Wärme mit Ottomotor**

Energieeinsparung bei Druckluftherzeugung mit EARS-System bis maximal 40% [Ears08]. Erklärung: Innerhalb der Energiewandlungskette Kompression gibt es keine Änderung. Im Druckluftsystem wird dem Verdichter die Expansionsluft als zusätzlicher Input zugeführt.

### Kombination aller Effizienzmaßnahmen

Die Kombination der Effizienzmaßnahmen ist das System, das im Projekt umgesetzt werden soll.

## Kompressor (Erdgas-Ottomotor-KWK) mit Nutzung der Kompressionswärme und EARS

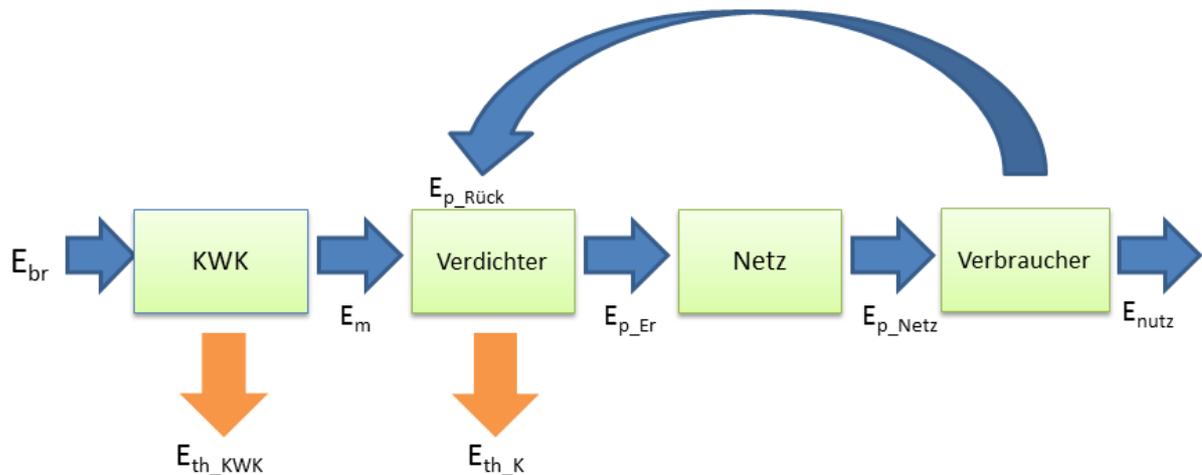


Abbildung 9: Kombination aller Effizienzmaßnahmen mit Erdgas-Ottomotor-KWK

### 3.1.4 Nutzungsphase und Herstellung

In der Herstellung von Anlagen und in der Nutzungsphase entstehen  $\text{CO}_2$ -Emissionen. Die Bilanzierung der Nutzungsphase führt bei KWK-Anlagen und anderen Anlagen, die der Energiewandlung dienen, dazu, dass der Einfluss der Treibhausgase aus der Herstellung vernachlässigbar ist gegenüber denen der Energiewandlung [Siev10]. Neben den Geräten für die Überwachung und Steuerung der Druckluftherzeugung (CAE-Manager), werden im Wesentlichen die KWK-Anlage, der Kompressor, der Druckluftkessel, der Wärmetauscher, die Pumpen und Leitungen hergestellt. Diese Geräte sind nicht relevant für die Gesamtbilanz über die Lebensdauer. Daher wurde nur die Nutzungsphase detailliert bilanziert.

### 3.1.5 Darstellung der Kennzahlen

Der Vergleich unterschiedlicher Druckluftherzeugungspfade, unter gleichzeitiger Nutzung der im Prozess entstehenden Wärme, wurde ausgewertet hinsichtlich Energieeffizienz, Treibhausgasen und Kosten. Die Ergebnisse sind im Folgenden dargestellt und weisen die Ergebnisse aus, die sich nach der Output-Methode für die jeweilige Variante im Vergleich zur Basis ergeben.

Vergleiche der verschiedenen Wirkungsgradketten ergaben zusammengefasst folgende wissenschaftliche Erkenntnis.

Die Kennzahlen aus der Matrix der Varianten sind leider nicht nutzbar für die EU-weit geltende Effizienzklassifizierung, da es sich um kein Einzelprodukt sondern ein Gesamtsystem Druckluft handelt. Hier muss die ISO 50001 einen übergeordneten Rahmen darstellen.

<b>Matrix der Varianten</b>	<b>Elektromotor</b>	<b>Dieselmotor-KWK</b>	<b>Ottomotor-KWK</b>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	Ist-Standard	---	---
<i>Effizienzmaßnahmen</i>	<i>Primärenergieeinsparung</i>	<i>Primärenergieeinsparung</i>	<i>Primärenergieeinsparung</i>
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	17%	40%	36%
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	13%	37%	33%
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	24%	46%	42%
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	10%	35%	31%
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	48%	63%	60%

**Tabelle 3: Kennzahlen - Primärenergieeinsparung im Vergleich zum Ist-Stand**

Der Nutzungsgrad für Abwärme ist mit 80% angenommen worden.

Matrix der Varianten	Elektromotor	Dieselmotor-KWK	Ottomotor-KWK
	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_ges)</i>	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_ges)</i>	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_ges)</i>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	0,57	---	---
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	0,47	0,37	0,33
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	0,69	0,55	0,48
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	0,68	0,54	0,48
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	0,69	0,55	0,49
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	0,45	0,36	0,32

Tabelle 4: Kennzahlen - CO<sub>2</sub>-Ausstoß je kWh Primärenergie

Matrix der Varianten	Elektromotor	Dieselmotor-KWK	Ottomotor-KWK
	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_p)</i>	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_p)</i>	<i>Treibhausgase (kg_CO2-Äq./kWh_NE_p)</i>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	17,23	---	---
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	14,33	11,32	9,99
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	11,46	9,06	7,99
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	9,31	7,36	6,49
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	12,18	9,62	8,49
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	6,53	5,16	4,55

Tabelle 5: Kennzahlen - CO<sub>2</sub>-Ausstoß je kWh Nutzenergie

Es werden die betrieblichen Ausgaben der Varianten miteinander verglichen. Der Brennstoffpreis wurde mit 5,5 ct/kWh<sub>Br</sub>, der Wärmepreis mit 6 ct/kWh<sub>th</sub>, der Strompreis mit 13 ct/kWh<sub>el</sub> angesetzt. Der Nutzungsgrad für die Abwärme wird mit 80% angesetzt

Matrix der Varianten	Elektromotor	Dieselmotor-KWK	Ottomotor-KWK
	<i>Kosten (ct/kWh<sub>p</sub>)</i>	<i>Kosten (ct/kWh<sub>p</sub>)</i>	<i>Kosten (ct/kWh<sub>p</sub>)</i>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	188,34	---	---
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	129,23	55,56	44,64
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	150,67	79,55	82,83
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	122,42	64,64	67,30
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	160,09	84,52	88,01
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	58,89	11,54	20,25

**Tabelle 6: Kennzahlen - Kosten für erzeugte Druckluftenergie**

Matrix der Varianten	Elektromotor	Dieselmotor-KWK	Ottomotor-KWK
	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup><sub>p</sub>)</i>	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup><sub>p</sub>)</i>	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup><sub>p</sub>)</i>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	1,44	---	---
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	1,19	0,86	0,92
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	1,25	0,91	0,96
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	1,09	0,78	0,84
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	1,29	0,94	0,99
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	0,75	0,53	0,58

**Tabelle 7: Kennzahlen - Kosten für Druckluftvolumen ohne Wärmegutschrift**

Matrix der Varianten	Elektromotor	Dieselmotor-KWK	Ottomotor-KWK
	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup>_p)</i>	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup>_p)</i>	<i>Kosten (ct/m<sup>3</sup>_p)</i>
<i>Ohne Wärmerückgewinnung</i>	1,44	---	---
<i>Mit Wärmerückgewinnung</i>	0,99	0,42	0,34
<i>Verminderung von Druckluftleckagen</i>	1,15	0,61	0,63
<i>Rückführung der Expansionsluft (EARS)</i>	0,94	0,49	0,51
<i>drehzahlvariable Antriebe</i>	1,22	0,65	0,67
<i>Kombination aller Effizienzmaßnahmen</i>	0,45	0,09	0,15

**Tabelle 8: Kennzahlen - Kosten für Druckluftvolumen mit Wärmegutschrift (Druckniveau 8 bar)**

Bewertung mit Outputmethode			KEA_ne_Vergleich
PEE El. Motor mit Heizkessel	KEA_ne_el_pLuft	4,3 kWh_PE_ne	100%
PEE El. Motor mit Heizkessel mit EARS	KEA_ne_el_pLuft	2,3 kWh_PE_ne	52%
PEE Dieselmotor mit EARS	KEA_ne_Diesel_KWK_pLuft	1,6 kWh_PE_ne	37%
PEE Gasmotor mit EARS	KEA_ne_Otto_KWK_pLuft	1,7 kWh_PE_ne	40%

**Tabelle 1: Zusammenfassung der verschiedenen Primärenergieeinsätze der relevanten Systeme**

Bei allen aufgeführten Varianten ist die Druckluft-Nutzenergie konstant (76,61 Wh\_NE), so dass das Gesamtpotential der in Arbeitspaket 3 projektierten KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage (PEE Dieselmotor mit EARS) eine theoretische Wirkungsgradverbesserung gegenüber „Stand der Technik“ von bis zu 63 Prozent ergibt.

Auf die projektierte KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage übertragen und aus der Kombination aller wirtschaftlichen Effizienzmaßnahmen ergibt sich somit eine Primäreinsparung von 60 Prozent bzw. knapp 2/3.

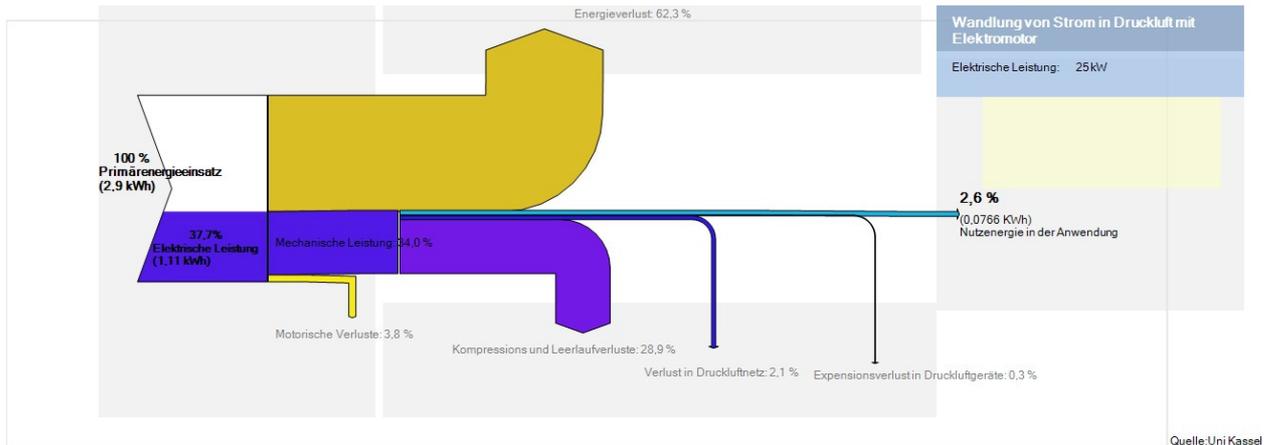


Abbildung 10: Sankey-Diagramm eines elektrischen Druckluftkompressors mit 25 kW elektr. Leistung

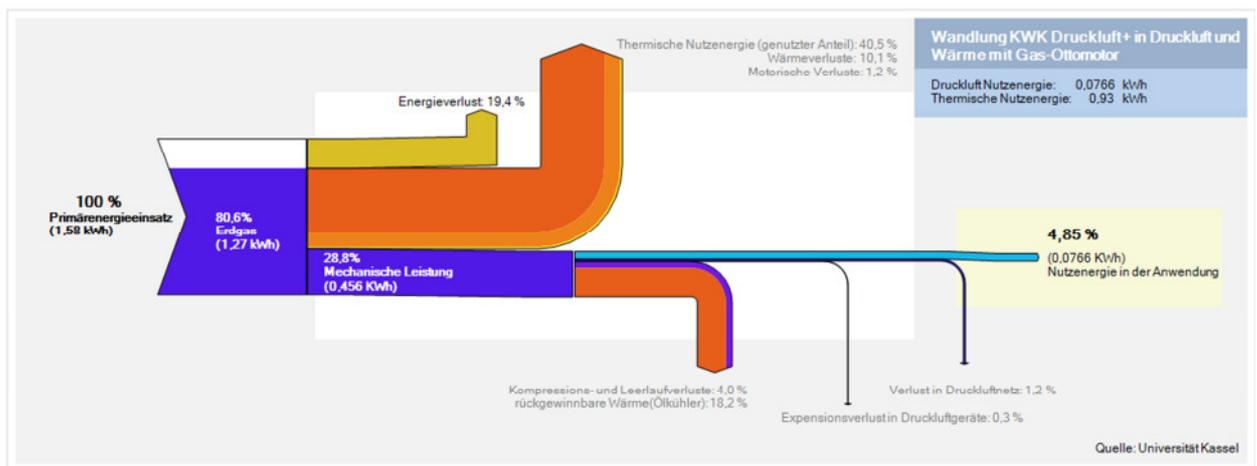


Abbildung 11: Sankey-Diagramm der projektierten KWK Druckluft+ Anlage mit allen Effizienzmaßnahmen

### 3.1.6 TÜV und DEKRA Zulassung

Bei diesem Arbeitspunkt wurde als Basis zunächst der zugrundeliegende und für das Projekt relevante Gesetzestext aus dem aktuellen Umweltrecht bearbeitet. Für die KWK-Druckluft+ Anlage war der Paragraf 5a, 7 und 8 (Zuschlagsberechtigter Neu- und Ausbau von Wärmenetzen, Höhe des Zuschlags und Dauer der Zahlung, Nachweis des eingespeisten KWK-Stroms) relevant. „Zur Feststellung der eingespeisten Strommenge und der abgegebenen Nutzwärmemenge hat der Netzbetreiber auf Kosten des Betreibers der KWK-Anlage Messeinrichtungen anzubringen“ [Umw2011]. In der Auswahl der Messtechnik und der gewählten Grenzwerte für die Sollwerte des CAE-Managers wurden die nachzuweisenden Wärmeanteile von mindestens 60 Prozent berücksichtigt.

Da bei der KWK-Druckluft+ Anlage im Betrieb bei der Firma Hübner kein Strom ins Netz, sondern Druckluft erzeugt wird, ergibt sich ein interessanter Präzedenzfall. Dieser bietet wiederum eine sehr gute Möglichkeit mit dem DBU-Projekt in die Öffentlichkeit zu treten, denn

Abschlussbericht

das KWKG ist Teil der übergeordneten Energieeffizienzziele der Politik. Kontakte zu allen Energiepolitischen Sprechern der Bundesfraktionen wurden bereits im Rahmen der Woche der Umwelt aufgenommen. Die notwendige und rückführbare Messtechnik wird durch den CAE-Manager und dem neuen Gebrauchsmuster sichergestellt, so dass die Firma Hübner je kWh Primärenergieeinsparung eine Vergütung zu erwarten hat. Da dies zum Abschlussbericht nicht sichergestellt ist, trägt hier die Firma ein zulösendes Risiko, gegenüber einer BHKW-Anlage.

Die notwendigen TÜV-Zulassungen der Messtechnik bis 40 bar und der KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage sind durch die Einzel- und Systemprüfungen für alle Teile der Produkte erfolgt, so bald diese Prototypenstatus erreicht hatten. Bei einem Prüfdruck von 65 bar wurden allen Teilen Bedienfunktionen nachgewiesen. Dies ist Teil verschiedener Regelwerke, wie zum Beispiel der Druckgeräterichtlinie. Ziel ist es eine TÜV-Systemzulassung zu bekommen, wie im Gebrauchsmuster für das Gesamtsystem beschrieben wurde.

### **CAE-Manager orientiert sich an der DIN EN ISO 16001/ 50001**

Durch die europäische Gesetzgebung ändert sich die deutsche Energie- und Stromsteuergesetzgebung: Die Steuervergünstigungen der deutschen Wirtschaft enden Ende 2012. Ab 2013 ist es notwendig, dass Unternehmen für Steuervergünstigungen eine entsprechende Gegenleistung erbringen. Demnach wird die Bundesregierung ab 2013 den im Haushaltsbegleitgesetz zu beschließenden Spitzenausgleich im Rahmen der Energie- und Stromsteuer nur noch gewähren, wenn die Betriebe einen Beitrag zu Energieeinsparung leisten und dies z.B. durch die Einführung eines Energiemanagementsystems (EnMS) nachweisen.

Das gleiche gilt nun auch für Steuervergünstigungen für stromintensive Unternehmen im Rahmen des Erneuerbare Energien Gesetzes. Unternehmen mit einem Stromverbrauch von mehr als 10 GWh/a müssen zukünftig nicht nur die Verbesserung der Effizienz und das Betreiben eines EnMS nachweisen, sondern auch eine Zertifizierung, z.B. nach der DIN EN ISO 50001. Unternehmen mit geringerem Stromverbrauch aber größer als 1 GWh/a können auf andere, gleichwertige Maßnahmen zurückgreifen. Laut einem Gutachten des Instituts für Ressourceneffizienz und Energiestrategien in Karlsruhe eignen sich hierfür auch die verschiedenen Energieeffizienz-Netzwerke und Beratungsprogramme, solange sie auf eine Dauer von mehreren Jahren ausgelegt sind.

Aber ganz gleich welcher Weg eingeschlagen wird, eines ist für den Erhalt von Vergünstigungen obligatorisch: Effizienzverbesserungen müssen nachgewiesen werden und das Monitoring der Energieströme mit Hilfe eines EnMS ist die Voraussetzung hierfür.

Der Zweck eines Energiemanagementsystems ist die ständige Verbesserung der sogenannten „energiebezogenen Leistung“ (Definition in der DIN EN ISO 50001) und die kontinuierliche Abschlussbericht

Realisierung von bestehenden Energieeinsparpotenzialen innerhalb eines Unternehmens. D.h., ausgehend von einem Ausgangszustand, der natürlich auch ermittelt werden muss, werden Ziele definiert, deren Erreichen durch regelmäßig wiederkehrende Analysen geprüft werden muss. Das EnMS hilft hier bei der Aufzeichnung und Auswertung, sowie bei der Erstellung von spezifischen Kennzahlen. Diese dokumentierten Auswertungen oder auch die Kennzahlen sind der perfekte Nachweis gegenüber den staatlichen Einrichtungen um Ansprüche geltend zu machen. Der große Vorteil eines normierten EnMS nach DIN EN ISO 50001 ist hierbei die Nachvollziehbarkeit des Verfahrens sowie die internationale Vergleichsfähigkeit.

In seinem Leitfaden „Energiemanagementsysteme in der Praxis“ fasst das Umwelt Bundesamt die wichtigsten Aspekte eines Energiemanagementsystems (EnMS) zur Erreichung der Energieeffizienz zu den Bestandteilen Organisation, Dokumentation, Überwachung und Information zusammen [Bua10]. Auch das EnMS nach der DIN EN ISO 50001 lehnt sich an andere bekannte Managementsysteme wie z.B. die ISO 14001 oder ISO 9001 an. D.h., das EnMS folgt dem PDCA-Kreislauf (Plan, Do, Check, Act), um eine kontinuierliche Verbesserung zu erreichen.

Als Hersteller von Messtechnik und Dienstleister im Bereich der Energieberatung kann die Postberg+Co. GmbH (PB+CO) diesen Prozess kontinuierlich unterstützen:

### **1. Planen (Plan)**

Energieziele müssen definiert werden und entsprechend müssen Maßnahmen und Aktionen geplant und Mittel bereitgestellt werden. Für die Erfassung der Energieströme ist Messtechnik nötig, die dann effektiv genutzt werden kann, wenn sie zuvor professionell eingeplant wurde und die Auswahl entsprechend der örtlichen Anforderungen erfolgt. Erforderlich ist außerdem die Dokumentation der Messstellen für die spätere Identifikation der Energieströme, um daraus Einsparpotenziale ableiten zu können.

### **2. Umsetzen (Do)**

Das Betreiben des EnMS betrifft vor allem die Managementstrukturen. Hierzu gehört z.B. die Dokumentation der Messmittel, was für den Auditor ein wesentlicher Punkt ist. Durch die Dokumentation von PB+CO sind Technik und Funktion der Messmittel ordentlich beschrieben. Die Kalibrierung mit den entsprechenden Zertifikaten ist der Nachweis für die Messgenauigkeit sowie die Rückführbarkeit der Messung auf internationale Normen und Mess-Normale.

### **3. Kontrollieren (Check)**

Kontrolliert wird das Erreichen der Ziele. Durch die Auswertung der Messdaten und die darauf aufbauende Analyse wird die Erfolgskontrolle ermöglicht. Energie-Kennzahlen werden gebildet, verglichen und überprüft. An dieser Stelle unterstützt PB+CO aktiv mit ihrer Dienstleistung.

Aber auch die Messmittel müssen kontrolliert werden, um die dauerhafte Funktion und die fortwährende Vergleichbarkeit der Messwerte sicher zu stellen. Hier bietet PB+CO mit der Rekalibrierung und Schnittstellen für die Messtechnik, die eine Reproduzierbarkeit der Messung sicherstellen, die richtigen Lösungen an.

### **4. Handeln (Act)**

Schließlich soll ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess installiert werden. D.h., durch die Zusammenfassung der aktuellen Energiedaten, der Auditergebnisse, neuer Erkenntnisse im Betrieb und auch auf dem Energiemarkt leitet PB+CO neue Energieziele ab und unterstützt die strategische Optimierung.

### 3.2 Arbeitspaket 2: Entwicklung des CAE-Managers

Folgende Tabelle gibt Aufschluss über den aktuellen Entwicklungsstand und Zusammenfassung des Pflichtenheftes des CAE-Managers nach Sensor-, Prozess- und Leitebene zum Projektabschluss (Stand 09/2012), welche das aktuelle Gebrauchsmuster berücksichtigt (siehe Kapitel 3.3. auf Seite 35).

	Beschreibung/ Spezifikation														
	PN 40	DN40-DN300	ÖKD/ DKD	TÜV Zulassung	Datenlogging	Controller	Datenbank	Funktionen	Signal	Visualisierung	Internet	Design	Markenmeldung	Patentanmeldung	Zusammenfassung
<b>A Sensorebene</b>															
<u>Mechanische Schnittstelle</u>															
Rückschlagschutz/ Stabsensor	x	x	x	x								x	x	Int. P.	x
Hybridisierung	x	o	o	o								x	x	Gebr.	o
<u>Elektronik Schnittstelle</u>															
Kalorimetrischer Sensor	x	x	x	x	x	x	x					x	x	Int. P.	x
Differenzdrucksensor	o	o	x	x	x	x	x					o	x	Gebr.	o
Stromzähler			x	x	x	x	x					x	-	-	x
Gaszähler			x	x	x	x	x					x	-	-	x
<b>B Prozessebene</b>															
Gehäuse				x	x	x	x	x	x			x	x	-	x
Rechenkanäle				o	x	x	x	o	x			o	o	Gebr.	o
Grenzwerte überwachen				o	x	x	x	o	x			o	o	Gebr.	o
Auto. Auswertung und Überwachung				o	o	o	o	o	o			o	o	Gebr.	o
Steuern				o	o	o	o	o	x			o	o	Gebr.	o
<b>C Leitebene</b>															
Händische Auswertung								x	x	x	o	x	o	Gebr.	x
Tages-, Wochen, Monatsauswertung								x	x	x	x	x	o	Neu	x
Export (Excel, PDF)								x	x	x	o	x	o	Neu	o
Skalierung auf Mehrbenutzer								o	o	o	o	o	o	Neu	o
Mandatensystem								o	o	o	o	o	o	Neu	o
Abrechnungsschnittstelle								o	o	o	o	o	o	Neu	o
Datenbankschnittstelle								o	o	o	o	o	o	Neu	o

**Tabelle 9: Entwicklungsstand und Zusammenfassung des Pflichtenheft und Stand des Prototypen**

Die Anforderung an die Hardware war mit der zur Projektstart bekannten Datenloggertechnik nicht umsetzbar (TIXI, Ahlborn etc.), da die Ein- und Ausgangsgrößen umfangreicher waren als vorher geplant (siehe Kapitel 3.2.5). Durch die Differenzdruckmessung wurden weitere Eingangssignale für die Verarbeitung notwendig. Auch die Echtzeitberechnung der

Rechenalgorithmen für die erweiterten Funktionen des CAE-Managers musste der Hardware angepasst und mit Lieferantenbesprechungen abgestimmt werden.

### 3.2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Es wurde eine Vielzahl interner und externer Experten und Kunden in erweiterten Projekttreffen, Messe-, Lieferanten und Kundenbesuchen zusammengeführt (siehe Kapitel 3.2.2). Die Treffen dienten der Ideenfindung, Diskussion offener technischer Fragen, dem Fällen von Entscheidungen und Rücksprache gefundener Lösungsansätze.

Es wurden durch die Projektarbeit potentielle Lieferanten gefunden, die nahezu allen technischen Grundanforderungen entsprachen, wie im Folgenden erläutert wird. Die notwendigen Ein- und Ausgangskarten (RS-485 Schnittstellen) inklusive Druckkompensation (bis 40 bar) wurden dazu entwickelt, als Prototypen in der Hochschule erprobt und Fehler systematisch beseitigt (Sensorebene – kalorimetrischer Sensor). Die im Entwurfsstatus beschriebenen Punkte werden nach Projektabschluss durch das geplante Partnernetzwerk fertiggestellt. Die Rechenalgorithmen wurden im Gebrauchsmuster und einer Diplomarbeit als mathematische Formeln und Struktogrammen dokumentiert und können von Softwareprogrammierern umgesetzt werden.

Aufgabe	Konzept	Entwurf	Erledigt
Erarbeitung des endgültigen Pflichtenheftes			☑
Durchführung interner und externe Expertengespräche und erweiterte Projekttreffen			☑
Aufbau der Softwarelösung mit Anpassung marktüblicher, universeller Datenlogger (z.B. TIXI, Ahlborn)			☑
Entwicklung RS485 bzw. M-BUS Schnittstelle für Druckluftzähler			☑
Entwicklung der Berechnungsalgorithmen für die Effektivitäts- und Effizienzsimulation und -prüfung (Primärenergie je Nutzenergie)			☑
Softwareprogrammierung des CAE-Managers (Datenlogger) in C++ und/ oder XML		☑	
Anpassung der Visualisierungssoftware auf CAE-Manager			☑
Schnittstellenprogrammierung zum Kompressor (Modbus, Profibus, RS232))			☑

**Tabelle 10: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 2**

Die Schnittstellenprogrammierung zum Kompressor konnte entfallen, da der CAE-Manager Hersteller und somit Kompressoren unabhängig agieren muss, um alle Varianten in der Praxis abzubilden. Dadurch wird der universale Einsatz sichergestellt und die geplanten Stückzahlen möglich.

### 3.2.2 Kundenbefragung, Markt- und Patentrecherche

Zu Beginn der Entwicklung des CAE-Managers wurde eine Nutzerbefragung bei acht Kunden der Firma Postberg+Co. durchgeführt und ausgewertet. Als Zielgruppe wurde zwischen KMU und Großunternehmen unterschieden, da sich hier die Voraussetzung grundlegend unterschieden. Die Ergebnisse sind folgend in Stichpunkten aufgeführt:

Wichtige Eigenschaften des CAE-Managers
• Störmeldung bei Überschreitung von Grenzwerten (Effizienz-Kennzahlen & Qualität)
• Vorortanzeige für Druckluftverantwortlichen in Kompressorstation
• Dokumentation der Aktivitäten (z.B. Leckagesuche) für späteres Öko-Audit
• Expertensystem soll Arbeit/ Auswertung erleichtern – keine Automatik
• Erweiterbarkeit auf Energiemanagementsystem DIN EN 16001 (Busfähigkeit)
• Jahresauswertung der Kennzahlen
• Einfacher Einbau der Strom- und Druckluftzähler
• Wartungskosten-Überwachung (Schwingungsanalyse: Lagerüberwachung des Verdichterblocks – Condition Monitoring)
• Tages-, Wochen-, Monats-, und Jahresberichte sollen Nutzerspezifisch geführt werden

Tabelle 11: Ergebnisse der Befragung bei vier KMU Betrieben

Wichtige Eigenschaften des CAE-Managers
• SQL-Datenbank basiert
• SQL-Datenbank muss im eigenen Haus laufen/ Keine Daten nach Extern
• Schnelle Sensorik $t_{90} = 100$ ms
• WLAN und Ethernet Fähigkeit
• Kostengünstige Messstellen für Maschinenüberwachung EK < 350 Euros
• Diversitäres Messsystem für Abrechnung
• Erstellung einer theoretischen Kennzahl
• Automatische Darstellung der jährlichen Einsparung nach Investition

Tabelle 12: Ergebnisse der Befragung bei vier Großunternehmen

Dieser Befragung zugrunde legend, wurde die Basis für das Pflichtenheft des CAE-Managers und die spätere Gebrauchsmusteranmeldung geschaffen. Die Anforderungen an diversitäre Messsysteme für die Abrechnung von Druckluft (Kosten) führte zur Konstruktion einer Hybridmessung durch den Ingenieur und Geschäftsführer Hans-Jürgen Postberg. Intensive Gespräche wurden mit dem langjährigen Kunden Hübner GmbH geführt, die als potentieller Referenzkunde die Produktgestaltung maßgeblich definierten und nach Rücksprache mit der DBU die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage betreiben sollen. Durch den sichergestellten Praxisbetrieb kann auch der CAE-Manager bis zur internationalen Patentanmeldung systemisch erprobt werden.



### 3.2.4 Pflichtenheft des CAE-Managers

Als Anzeige des CAE-Managers wurde die Ampelvisualisierung vom Projektteam gewählt. Die zugrunde liegenden Energieeffizienzkennzahlen werden für die Umwandlungsketten KWK-Druckluft<sup>+</sup> mit Gasmotor und Standard-Elektromotor mit Kompressor ohne Wärmenutzung definiert und sind mit realen Messdaten zu vergleichen. Dies ermöglicht die ständige Kontrolle der Druckluft- und Wärmeerzeugung. Als Grundlage für die Ausgabe des Nutzer-Feedbacks wurden Prozentwerte des Sollwertes ausgewählt, um zu jederzeit die Systemeffizienz im Blick behalten zu können und die Komplexität des Expertensystems für den Nutzer zu vereinfachen. Festgelegt wurde vom Projektteam:

**> 90% des Sollwertes= grün**

**70% bis 90% des Sollwertes= gelb**

**< 70% des Sollwertes= rot**

Im Folgenden werden die Grundlagen für die Software beschrieben, die durch die

- Darstellung
- Erstellung der Sollwerte
- die Verarbeitung der realen Werte
- den Vergleich der Kennzahlen mit dem Sollwert
- die Ausgabe der Ampelsignale und die dahinterliegenden Berechnungsalgorithmen

charakterisiert ist.

Die grundlegenden Entscheidungen sind:

- Darstellung: Ampelvisualisierung
- Erstellung der Sollwerte
  - a. KWK-Druckluft<sup>+</sup> mit Gasmotor für den Vergleich von CO<sub>2</sub> und Kosten gegenüber den erreichbaren optimalen Werten (Anlagen Neuzustand)
  - b. Referenz: Standard-Elektromotor mit Kompressor ohne Wärmenutzung für den Vergleich von CO<sub>2</sub> und Kosten gegenüber normalem Betrieb (Benchmark)
- Es werden Sollwerte definiert (siehe Tabelle 13)
- Es muss die Möglichkeit zur Anpassung der Soll- und Referenzwerte (Baseline) geben, da für die Anlage unter anderen Bedingungen:
  - a. Region oder Staat (Österreich, Schweiz z.B.)
  - b. oder zu einer anderen Zeit (höherer Anteil erneuerbarer Energien, andere Brennstoffpreise)

Abschlussbericht

c. oder durch die konkrete Anlage vor Ort (z.B. mit oder ohne Druckluft-Rückführung)

angepasste Werte benötigt werden.

- Echtzeitverarbeitung der realen Messwerte zu Normierten Werten:
  - a. Über Temperaturen und Volumenströme des Heizmediums können thermische Wirkungsgrade bestimmt werden. Durch die Messinstrumente der Firma Postberg können Druckluft Volumenströme (kalorimetrische und Differenzdruck), Überdruck und Temperatur der Druckluft gemessen werden. Der Brennstoff Erdgas ist über Gaszähler, der Stromverbrauch über Stromzähler mit Impulsausgang zu messen
  - b. Die wesentlichen Werte sind die Gesamteffizienz der Druckluftherzeugung, der Wärmenutzung und die Gesamteffizienz als Summe der beiden Werte.
  - c. Weitere wichtige Kennzahlen sind die Effizienz des Druckluftnetzes (Überwachung von Leckagen) und der Druckluftrückführung (EARS-System)
  - d. Die Untersuchung der Effektivität von unterschiedlichen Druckluftgeräten stellt komplexe Herausforderungen an den CAE-Manager dar
  - e. Vergleich der Kennzahlen mit dem Sollwert: für den Vergleich werden 5 Hauptkennzahlen definiert, die bei Bedarf wie beschrieben erweitert werden können. Außerdem wurden vorläufige Grenzen und Randbedingungen festgelegt (24h-Mittelwerte)
  - f. Ausgabe der Ampelsignale und die dahinterliegenden Berechnungsalgorithmen: Mit Hilfe der oben beschriebenen Definitionen sind die Zahlen zu errechnen und visuell darzustellen.

Kennzahl	Sollwerte	grün	gelb	rot
Name		(>90%)	(70% - 90%)	< 70%
Normierter IST-Wirkungsgrad der Wandlung in Druckluft insgesamt	0,06	>0,054	0,042-0,054	<0,042
Normierter IST-Wirkungsgrad <sub>therm.</sub> KWK-Anlage	0,62	>0,558	0,434-0,558	<0,434
Normierter IST-Wirkungsgrad <sub>therm.</sub> Kompressor	0,72	>0,648	0,504-0,648	<0,504
Normierter IST-Wirkungsgrad des Druckluftnetz	0,96	>0,864	0,672-0,864	<0,672
EARS	0,2	>0,18	0,14-0,18	<0,14

Tabelle 13: Definition der Soll-Kennzahlen

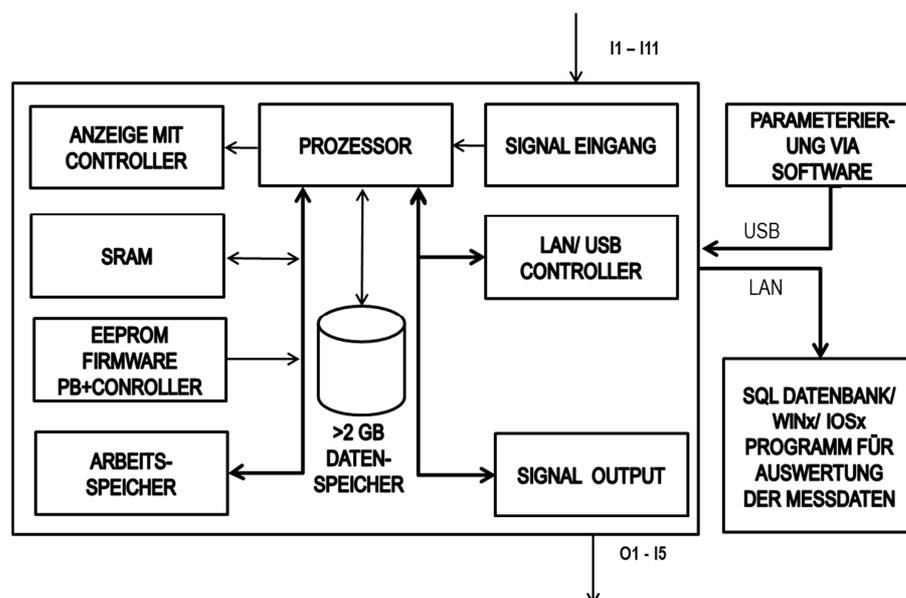
Die definierten Funktionen werden im Gebrauchsmuster im Detail beschrieben (siehe Anhang). Als Beispiel wird neben den Grundfunktionen der normierte Wirkungsgrad der Erzeugung exemplarisch im Abschlussbericht beschrieben.

### Hardware Grundfunktionen

Der CAE-Manager besteht aus einem zentralen Prozessor (CPU), einem Echtzeit Betriebssystem und verfügt über die notwendigen physikalischen Ein- und Ausgangsgrößen (siehe Kapitel 3.2.5). Diese sind in der technischen Praxis analoge (4-20mA) oder digitale (zweidrahtig) Signale. Der Regelkreis besteht aus der Messwerterfassung, Brechnung der Kennzahlen, Überwachung der Grenzwerte und des motorisch angetriebenen Stellgliedes (siehe Kapitel 3.3.2, Seite 36).

Alle genannten Parameter und Referenzkennzahlen werden dem CAE-Manager mittels passwortgeschützter Paramtriersoftware eingegeben. Die Rechenkanäle sind in das EPROM des CAE-Managers einprogrammiert und nicht manipulierbar. Die Erst- und Umprogrammierung übernehmen akkreditierte Unternehmen bzw. deren neutrale Auditoren nach ISO 50001 (Bsp. TÜV-Hessen).

Alle Messkanäle (Ein- und Ausgang) und Rechenkanäle werden in 5 Sekunden, 5-30 Minuten und 24 Stunden Messdaten im CAE-Manager (SD-Karte) abgelegt und gespeichert. Der vorhandene Speicher reicht für Messdatenarchivierung über 10 Jahre und ist im stromlosen Zustand 10 Jahre sicher.



**Abbildung 13: Beschreibung des CAE-Managers mit Funktionsumfang (IO, Speicher, Prozessor)**

Eine Bediensoftware auf Leitebene sichert die Daten des Datenloggers in einer SQL-Datenbank oder Cloud-Datenbank, so dass alle Daten doppelt vorhanden sind. Die grafische Visualisierung Abschlussbericht

der Messdaten findet auf der Leitebene im Unternehmen bzw. für KMU Betriebe im Internet statt (Vgl. Kundenbefragung). Die Anbindung geschieht per Ethernet oder Mobilfunktechnologie (UMTS).

Am CAE-Manager werden nur die aktuellen IST-Werte auf einem grafischen Display angezeigt. Mittels PC oder Tablett-Computer können die SQL- oder Cloud-Datenbank mittels Software (Apps) professionell und nutzerfreundlich angezeigt und ausgewertet werden. Die Kostenermittlung geschieht auf der Leitebene, da dies unnötig den CAE-Manager auf der Prozessebene belasten würde. Evtl. kommen durch die Integration der Erneuerbaren Energien und der mangelnden Energiespeicher stromvariable Tarife hinzu, die es in einem Folgeprojekt zu untersuchen gilt.

Die Alarmierung geschieht vor Ort am CAE-Manager mittels Schalten von drei Signallampen (grün-gelb-rot). Parallel wird mittels Ethernet Anbindung eine SMS, Email oder Expressnachricht verschickt. Dies geschieht im Störfall max. einmal täglich, so dass die Alarmierung nicht als störend empfunden wird und nicht den Nutzer überfordert.

Die Auswertung der historischen Daten lässt den technischen Fehler nach der Alarmierung eingrenzen und lösen.

### 3.2.5 Ein- und Ausgangssignale des CAE-Manager

Das Steuerungsgerät CAE-Manager verfügt über Eingangssignale durch die Hybridmesswerterfassung und weitere Messsignale, so dass der Anlagenwirkungsgrad errechnet wird. Mittels hinterlegten Konstantfaktoren wird die eingesparte Primärenergie bzw. CO<sub>2</sub> Einsparung ermittelt und als kg-CO<sub>2</sub> Einsparung ausgegeben (ortsabhängig).

Der CAE-Manager verfügt über folgende Signaleingänge:

- a. I1: S0-Signaleingang für Energieimpulse/ elektr. Energie oder Gas (in Wh)
- b. I2: Normvolumenstrom-Sensor 1 (in Nm<sup>3</sup>/h)
- c. I3: Temperatur-Sensor 1 (in °C)
- d. I4: Normvolumenstrom-Sensor 2 (in Nm<sup>3</sup>/h) oder Differenzdrucksensor (mbar)
- e. I5: Temperatur-Sensor 2 (in °C)
- f. I6: Absolutdrucksensor 1 (bar)
- g. I7: Absolutdrucksensor 2 (bar)
- h. I8: Feuchte (°Cdt)
- i. I9: Ölgehalt (ppm)
- j. I10: S0-Signaleingang für Energieimpulse/ Wärme (in Wh)
- k. I11: Eingangsschalter (Druck, Druckluft-, oder Wärmeeffizienz geführt)

folgende Parameter:

- l. P1: Primärenergiefaktor (Einheitenlos)
- m. P2: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor (kg/Wh Primärenergie)
- n. P3: Normierter Soll Druckluft-Wirkungsgrad (0 - 100%)
- o. P4: Referenz Wirkungsgrad (0 - 100%)

Abschlussbericht

- p. P5: Leckageintervall (1-30 d)
- q. P6: Effizienzintervall (5-30 min)
- r. P7: Grenzwert Drucklufteffizienz 1 (0 - 100% gelb)
- s. P8: Grenzwert Drucklufteffizienz 2 (0 - 100% rot)
- t. P9: Normierter Soll Wärme-Wirkungsgrad (0 - 100%)
- u. P10: Grenzwert Wärmeeffizienz 1 (0 - 100% gelb)
- v. P11: Grenzwert Wärmeeffizienz 2 (0 - 100% rot)

folgende Rechenkanäle:

- w. M1: Normierter IST Druckluft-Wirkungsgrad gemittelt
- x. M2: Normierte Drucklufteffizienz (24h gemittelt)
- y. M3: Eingesparte Primärenergie (5-30 Minuten gemittelt)
- z. M4: Eingesparte CO<sub>2</sub>-Emission (5-30 Minuten gemittelt)
- aa. M5: Normierte IST Wärme-Wirkungsgrad gemittelt
- bb. M6: Normierte Wärmeeffizienz (24h gemittelt)

und folgende Signalausgänge:

- cc. O1: Impulsausgang für eingesparte Primärenergie (Wh)
- dd. O2: Impulsausgang für eingesparte CO<sub>2</sub>-Emissionen (kg)
- ee. O3: Druckluftwirkungsgrad der Anlage (0 bis 100%)
- ff. O4: Leckagerate des Systems (0 bis 100%)
- gg. O5: Voralarm Druckluft/ Wärme (Schaltausgang = gelb)
- hh. O6: Hauptalarm Druckluft/ Wärme (Schaltausgang = rot)
- ii. O7: Wärmewirkungsgrad der Anlage (0 bis 100%)

Zur besseren Erklärung der einzelnen Komponenten wird folgend die Wirkungsgradüberwachung einer Druckluftanlage beschrieben. Der CAE-Manager errechnet den IST-Druckluft-Wirkungsgrad der Anlage in 5- bis 30-Minuten-Mittelwerten der 5-Sekundenmesswerte aus Energieimpuls (I1) dividiert mit dem Normvolumenstrom (I2). Durch die Multiplikation dieses IST-Druckluft-Wirkungsgrades mit dem Primärenergiefaktor (P1) entsteht ein normierter IST-Druckluft-Wirkungsgrad (M1).

Der normierte Wirkungsgrad (M1) (5- bis 30-Minuten gemittelt) wird durch den normierten Sollwirkungsgrad (P3) dividiert und über 24h gemittelt. Daraus entsteht die normierte Drucklufteffizienz. Jährlich werden somit 365 Effizienzwerte errechnet und im Datenlogger abgelegt.



**Abbildung 14: Prozessebene: Designte Ampel für die vor Ort Anzeige des CAE-Managers**

Liegt der Druckluffeffizienzwert:

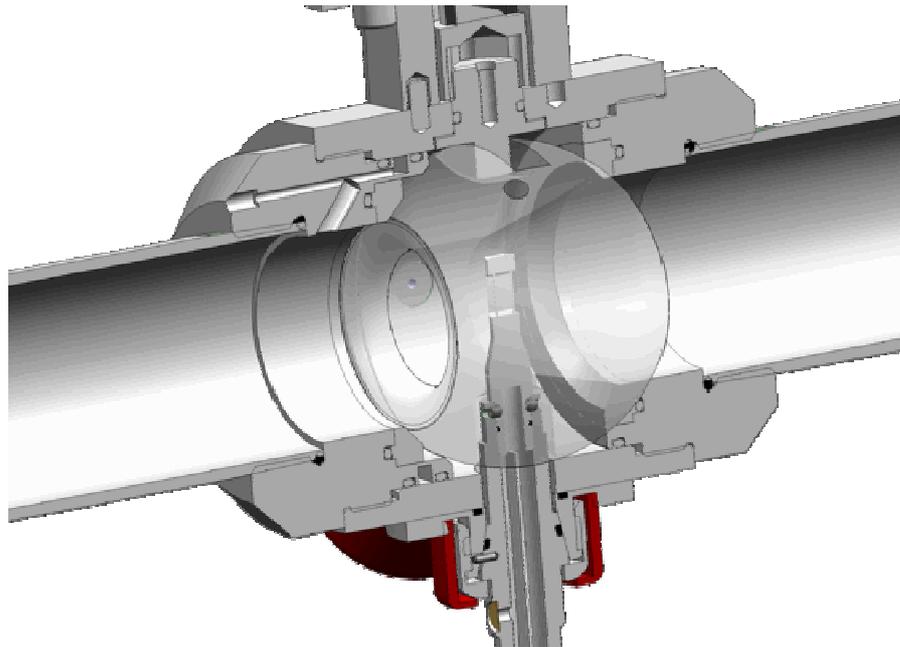
1. unter dem Grenzwert Druckluffeffizienz 1 (P7) und über dem Grenzwert Druckluffeffizienz 2 (P8) wird das Voralarmsignal GELB (O5) geschaltet – siehe Abbildung 14.
2. unter dem Grenzwert Druckluffeffizienz 1 (P7) und unter dem Grenzwert Druckluffeffizienz 2 (P8) wird das Hauptalarmsignal ROT (O6) geschaltet.

Das Steuerungsgerät CAE-Manager greift im Fall des geschalteten Hauptalarms (O6) in folgende Prozesse ein:

- i. die Messarmatur mit elektrischem Stellantrieb wird geschlossen, so dass die Anlage vom Netz getrennt wird – siehe Abbildung 22.
- ii. das Bereitschaftssignal der Anlage wird auf „nicht bereit“ an übergeordnete Steuerungssysteme (z.B. Kompressorensteuerung) geschaltet. Das Signal ist in Reihe zum internen Anlagensignal geschaltet.

### 3.3 Arbeitspaket 3: Prototypenentwicklung und Patentierung

Durch die Patentidee der Hybridisierung, d.h. dem Aufbau zweier sich gegenseitig überprüfender Messprinzipien auf der **Sensorebene für den Druckluftvolumenstrom**, wurde die Integration von einer Differenzdruckmessung (mechanisch als auch elektronisch) notwendig. Die Konstruktionszeichnungen und ersten Entwürfe liegen dem Gebrauchsmuster bei und sind in Abbildung 15 dargestellt. Dieser Lösungsansatz und die positive Entwicklung zum Gebrauchsmuster war zum Zeitpunkt der Prototypenentwicklung (Zeitpunkt des Zwischenberichts) nicht vorhersehbar und macht das Projekt umso wertvoller. Da die Konstruktion aller notwendigen Nennweiten DN40-DN300 ansteht und mit der Hilfe gefundener Partner eine Lösung für die offenen Punkte auf der Prozess- und Leitebene erfolgen muss, wurde bereits eine Projektskizze für ein ZIM-KOOP Projekt eingereicht. In diesem Projekt sollen alle mit x gekennzeichneten Punkte aus Tabelle 9: Entwicklungsstand und Zusammenfassung des Pflichtenheft und Stand des Prototypen fertiggestellt werden. Der erweiterte Umfang der Anforderungen wurde durch die Kundenbefragung ausgelöst (siehe Tabelle 11 und Tabelle 12).



**Abbildung 15: Gebrauchsmuster Grundidee -Messarmatur als Absperreinheit, Sensoraufnahme und Messdüse für die rückführbare Differenzdruckmessung (drei-in-einem)**

#### 3.3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Arbeitspaket 3 „Prototypenentwicklung und Patentierung“ wurden im Zeitraum des Projektes ein Internationales Patent (Rückschlagschutz) und ein Gebrauchsmuster (Vorrichtung zur Differenzdruckmessung) gestellt - siehe Anlage. Zusammenfassend war es nicht möglich ein Abschlussbericht

„reinrassiges“ Patent für den CAE-Manager einzureichen, da die zugrundeliegende Patentidee, **die Primärenergie- und Kohlendioxid-Einsparung zu zählen**, auf einem Rechenalgorithmus basiert und dieser nicht eigenständig patentfähig ist (Vgl. Softwarepatentierung). Stattdessen wurde mittels aktiver Kundenbefragungen, vielen Expertengesprächen und Erfindergeist eine grundlegendere Patentidee erfunden, die den CAE-Manager und das in Arbeitspaket 1 beschriebene Druckluftsystem mit KWK Druckluft<sup>+</sup> Anlage als Unterpatent beinhaltet (siehe Abbildung 18).

Die Einreichung des Gebrauchsmusters zum 4.6.2012 mit dem Antragstitel „Vorrichtung zur Differenzdruckmessung“ ermöglicht bis zum 3.6.2013 die grundlegende Patentrecherche und die Basisarbeit für ein geplantes ZIM-COOP Folgeprojekt. Um den Gebrauchsmusterschutz zu bewahren, konnten das Pflichtenheft und der erste Musteraufbau bis zur Anmeldung potentiellen End- und Referenzkunden nicht übergeben werden.

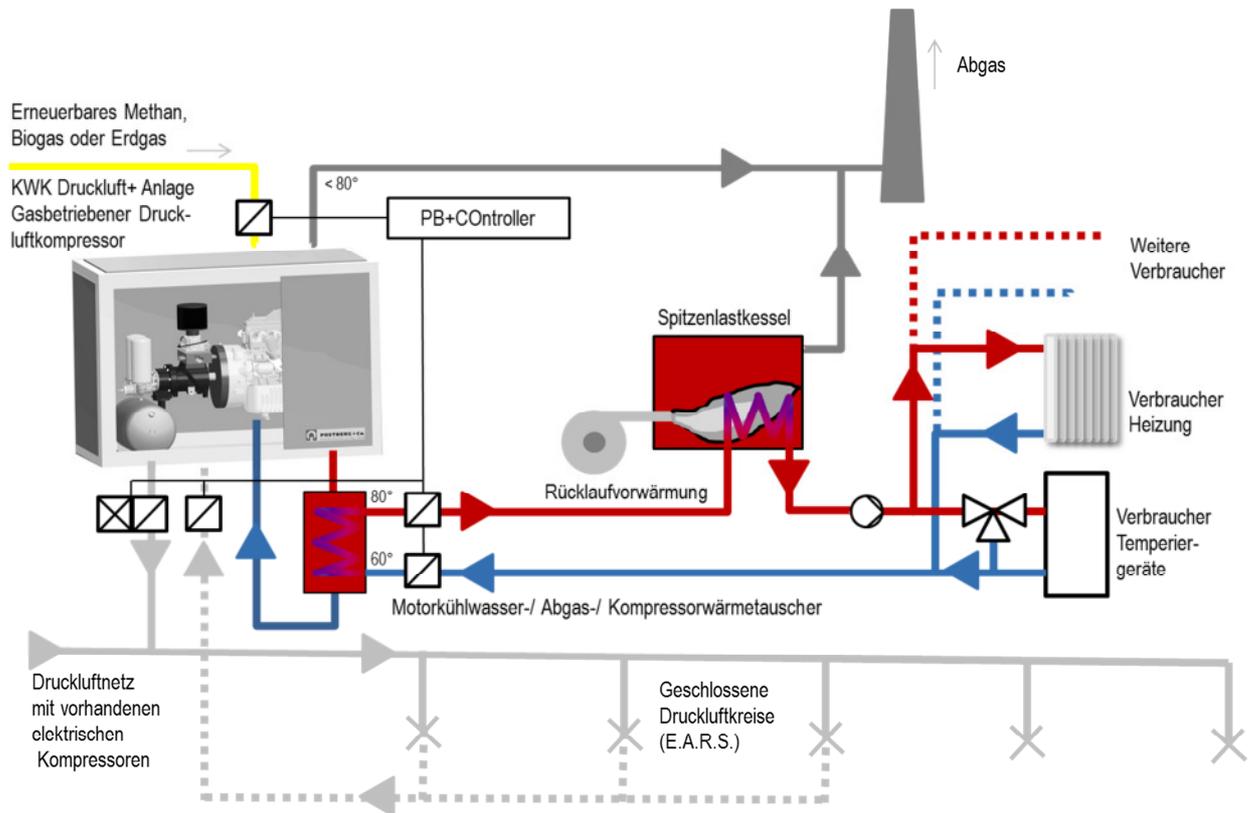
Zwei Prototypen des CAE-Managers (Sensorik, Mechanik, WLAN Netzwerk, Datenbank und Software) wurden in der DeMoTec-Halle der Universität Kassel im **September 2011** installiert und in Betrieb genommen - **Arbeitspaket 3 Teil 1 (Prototypenentwicklung und Patentierung CAE-Manager)**. Die Entwicklung der Elektronik ist von den Grundmessgrößen elektr. oder therm. Energie [kWh], 2 Kanal Druckluftvolumenstrom [Nm<sup>3</sup>/h], 2 Kanal Netzdruck [bar<sub>i</sub>] abgeschlossen. Die Ergebnisse der Messungen, die den Stand der Prototypen dokumentiert ist in der Anlage (Zwischenbericht Universität Kassel) zu Arbeitspaket 3 beigefügt.

Aufgabe	Konzept	Entwurf	Erledigt
Prioritätenliste für die Realisierung des CAE-Managers			☑
Aufbauten zum Test der Komponenten			☑
Anzeige der Kennzahl			☑
Patentierung			☑

Tabelle 14: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 3

### 3.3.2 Aufbauten zum Test der Komponenten

Durch die schematische Ansicht einer Druckluftanlage (Abbildung 16) sind alle Komponenten einer idealen Druckluftstation beschrieben. Im Rahmen des DBU-Projektes konnten wie folgend beschrieben ein Teil dieser Komponenten als Prototypen getestet werden.



**Abbildung 16: schematische Ansicht einer Druckluftanlage mit einem CAE-Manager/ PB+Controller wie im Gebrauchsmuster veröffentlicht.**

Die im Rahmen des Projektes entwickelte mechanische Lösung zum gefahrlosen Einbau der Volumenstromsensoren (Rückschlagschutz) für den CAE-Manager wurde nach dem Gebrauchsmuster Anfang Januar 2012 als EU- und internationales Patent angemeldet. Alle TÜV-Prüfungen für das Gesamtsystem (inkl. Anbohrschelle) wurden erfolgreich abgeschlossen. Auch die Druckfestigkeit der MultiController wurde mechanisch und messtechnisch auf 40 bar aufgewertet und mit einer Druckkompensation versehen. Die CE-Kennzeichnung für Druckluftsysteme bis 40 bar (PET-Flaschen Industrie) wurde durch TÜV-Prüfungen bestätigt.

Die Lösungen sind auf international anerkannte Normale für Volumenstrom unter Druck rückführbar und einzigartig in der Kombination aus Sensorik, Mechanik und Kalibrierung nach dem ÖKD. Erste Kalibrierungen bestätigten eine geringe Messunsicherheit der entwickelten Lösungen. Zum Projektende liegen für die neuentwickelten Prototypen des DBU-Projektes (Rückschlagschutz und MultiController 40 bar<sub>vü</sub>) Rahmenaufträge von bereits 400 Stück vor, so dass diese Entwicklung als sehr erfolgreich eingestuft werden kann und ein internationaler Vertrieb bzw. Export sichergestellt ist

(siehe <http://www.epluse.com/de/produkte/durchflussmesser/durchflussmesser-industrie/>)



**Abbildung 17: Anbohrrohrschelle mit Rückschlagschutz (hinten), 40 bar MultiController und Sensorik (mitte) und passender Datenlogger mit RS485-Sensorschnittstelle und Druckkompensation (vorne)**

Jeweils ein Pflichtenheft (Stand 09/2011) für den CAE-Manager und die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage (Stand 09/2011) dienten zum Aufbau der folgend beschriebenen Prototypen. Zwei Prototypen des CAE-Manager (Sensorik, Mechanik, WLAN Netzwerk, Datenbank und Software) wurden in der DeMoTec-Halle der Universität Kassel im September 2011 installiert und in Betrieb genommen. Die Entwicklung der Elektronik ist von den Grundmessgrößen elektr. oder therm. Energie [kWh], 2 Kanal Druckluftvolumenstrom des kalorimetrischen Sensors [Nm<sup>3</sup>/h], 2 Kanal Netzdruck [bar<sub>ü</sub>] abgeschlossen. Die Differenzdruckmessung (Hauptanspruch des späteren Gebrauchsmusters) war nicht Bestandteil der Prototypen, da dieser zum Zeitpunkt der Probeinstallation nicht zur Verfügung stand.

Die Hardware-Basis des CAE-Managers inkl. Messsensorik von Esters Elektronik wurde bei der Referenzfirma Hübner GmbH in allen drei Kasseler Werken und der Privatmolkerei Immergut aus Schlüchtern als Basis der Überwachung des Druckluftsystems und Energiemanagementsystem gemäß ISO 50001 installiert. Die kalorimetrischen Sensoren wurden unter Druck montiert und die Elektronik nach anfänglichen Schwierigkeiten (fehlende RS485-Schnittstellenkarten) installiert. Im Rahmen des Projektes wurde die passende Gehäuse und Klemmleistenlösung ausgewählt und dokumentiert, um nach Fertigstellung der Programmierung alle Schnittstellen in einem Gehäuse an klemmen zu können. Rückmeldungen zu Verbesserungen wurden von den Referenzkunden im Dialog aufgenommen und verbessert. Auch die Installation der vorhandenen Software wurde bei den genannten Referenzkunden erfolgreich realisiert.

Abschlussbericht



**Abbildung 18: Designtes Gehäuse und Basishardware mit notwendigen Ein- und Ausgängen für den CAE-Manager/PB+Controller**

Die beschriebene Lösung besteht aktuell in Form des Gebrauchsmusters und Messmodells und soll zu einem Prototypen im Rahmen des Folgeprojektes wie beschrieben fertiggestellt werden. Diese wurden während der Woche der Umwelt vorgestellt und dem Fachpublikum erläutert.

### **Test KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage**

Der Prototypenaufbau der KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage war kein Bestandteil des DBU-Projektes, sondern zu Projektbeginn war der Kauf nach vorliegendem Angebot der Firma VOS geplant. Das Arbeitspaket 3 kam ins Stocken als die anbietende Firma VOS Rotating aus Meppeln (Niederlande) vom Angebot im Rahmen des Projektantrages zurücktrat. Das finanzielle Risiko der Entwicklung wurde vom Vorstand des Unternehmens aufgrund schlechter Vorjahresergebnisse nicht mehr getragen. Da auf Basis der Recherche im Rahmen des Projektes bei Gummi- und Kunststoffunternehmen, Brauerei- und Molkereibetrieben ein ganzjähriger Wärme-, Kälte-, und Druckluftbedarf besteht, wurde an der Realisierung dieses Arbeitspaketes festgehalten.

Für den Prototypenaufbau der KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage konnte die Firma VISSMANN-ESS aus Landsberg am Lech gewonnen werden. Diese stellte ein Basisaggregat (Blockheizkraftwerk) der Baureihe VITOBLOC 200 EM20 (75kW Anschlussleistung) im Wert von 30.000 Euro zur Verfügung (Angerechnet als Eigenleistung Postberg+Co.). Der Vorteil dieser Plattform ist die mögliche Serienfertigung, da von dem VITOBLOC 200 aktuell ca. 500 Stk. im Jahr verkauft

werden (Tendenz stark steigend). Auch die Wartungskosten sind bei dieser Baureihe wesentlich geringer, als bei industriellen Groß-BHKWs (>200kW).

Durch Personalengpässe und hohen Bestellrückstand konnte das VIESSMANN Modul nicht wie geplant Anfang Oktober geliefert werden, sondern erst Mitte Februar 2012. Als Ersatz wurde seitens der Firma E.A.R.S, die das Druckluftrecyclingsystem geliefert haben, ein elektrisch betriebener Leihkompressor auf Mietbasis zur Verfügung gestellt. Somit kann auch ein konventionelles Druckluftsystem (aktueller Marktbestand) durch die Universität Kassel vermessen werden (Ergebnisse siehe Anlage A2 - Universität Kassel).



**Abbildung 19 Installation E.A.R.S-System und CAE-Manager in DeMoTec-Halle der Uni Kassel**

Im Laufe des Projektes, der Teilnahme an der Woche der Umwelt und aufgrund der enormen Einsparpotentiale von knapp 2/3 der Primärenergie, konnte die Firma Hübner als Referenzkunde für die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage gewonnen werden. Die eigentlich für die Universität Kassel (DeMoTec-Halle) angedachte Anlage wurde nach Rücksprache mit der DBU im Teilfertigen Zustand an Hübner übergeben. Diese haben im Gegenzug die Fertigstellung,

Anschluss an das Druckluft- und Wärmenetz und den Praxisbetrieb zu gesagt, auch zu Schulungszwecken (siehe 3.4.2 Weiterbildung und Schulungskonzept)



Abbildung 20: Hübner Mitarbeiter und G. Hurink bei der Fertigstellung der KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage im September 2012

### 3.3.3 Wortmarke, Gebrauchsmuster Anmeldung und Internationales Patent

Die im zweiten Halbjahr veranlasste Wortmarkenrecherche durch einen Patentanwalt ergab, dass die Wortmarke „CAE-Manager“ bereits von einem Unternehmen aus Fulda markenschutzrechtlich patentiert wurde. Für den internen Arbeitsname wurde der Begriff „CAE-Manager“ beibehalten und auch für den Abschlussbericht gewählt. Für die Veröffentlichungen und den endgültigen Produktnamen wurde der Markenname „**PB+Controller**“ gewählt und als Wortmarke zur Patentierung angemeldet. Der Begriff „Controller“ passt besser zur eigentlichen Funktionsweise der Neuentwicklung. Dabei wurde der Stamm des Wortes als Marke geschützt, so dass auch die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage als „**PB+Compressor**“ und der Rückschlagschutz als „**PB+Cover**“ vertrieben werden können.

#### Ihre Wortmarke 30 2012 002 504 – PB+CO

Sehr geehrte Damen und Herren,

gegen die Eintragung Ihrer Marke ist kein Widerspruch nach § 42 MarkenG erhoben worden. Eine entsprechende Angabe habe ich in das Register aufgenommen.

Mit freundlichen Grüßen

**Markenstelle für Klasse 9**



Bülow  
Tarifbeschäftigter

Die Wortmarke wurde am 2.8.2012 offiziell durch das Deutsche Patent- und Markenamt erteilt.

Ein weiterführendes Gespräch mit dem Patentanwalt ergab, dass ein Expertensystem, wie im Rahmen des Projektes geplant, nicht patentfähig sei. Die für das Expertensystem zugrundeliegenden Algorithmen, als auch die Hardware-Basis (der Controller) seien alleine nicht patentierbar. Aus diesem Grund wurde, wie bereits beschrieben, das folgende Gebrauchsmuster angemeldet, so dass der CAE-Manager als Unteranspruch berücksichtigt werden kann.

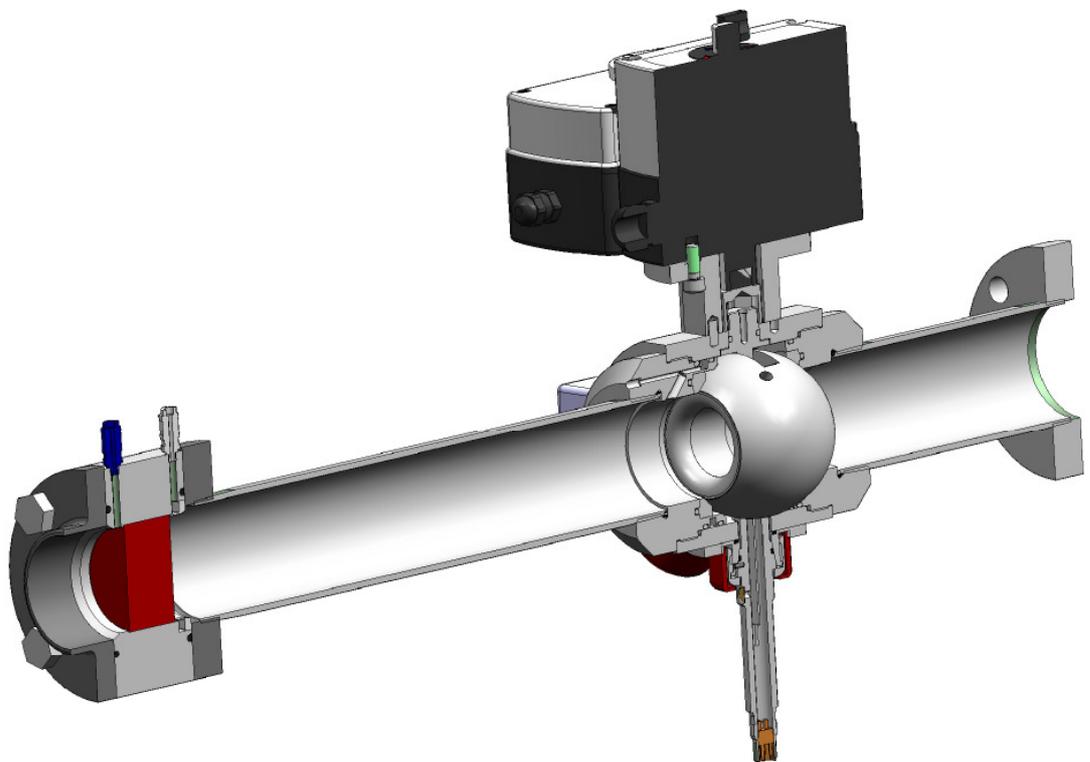
#### **Das Gebrauchsmuster „Vorrichtung zur Differenzdruckmessung“:**

##### **Die Hybridmesswerterfassung in der Messarmatur mit elektrischem Stellantrieb**

Die Hybridisierung der Grundmessgröße Volumenstrom gleicht dem Konzept des Hybridautos. Zwei parallel und physikalisch unabhängige Messverfahren ermitteln an einem Messpunkt zeitgleich den Druckluftverbrauch. Diese Lösung kombiniert zwei diversitäre Messverfahren, die sich gegenseitig unabhängig überwachen. Möglich wurde dies durch die Kombination von Abschlussbericht

Wirkdruckmessung und einem zusätzlichen druck- und temperatur-kompensierten kalorimetrischen Sensor integriert in eine Messarmatur. Die Absperrmöglichkeit durch die Messarmatur ermöglicht:

- den Sensortausch bei laufendem Betrieb der Anlage unter Druck mit maximaler Reproduzierbarkeit.
- die Kugel der Messarmatur als Messdüse geformt kann parallel den Druckluftverbrauch messen
- die Messungen sind prüfbar, unabhängig vom Betrieb der Anlage
- die elektrisch angetriebene Messarmatur trennt das System vom Netz
- DKD/ÖKD-Messungen und damit nicht manipulierbar



**Abbildung 21: Schnittzeichnung des Gebrauchsmusters der Vorrichtung zur Differenzdruckmessung**

Dadurch wird der Druckluftverbrauch für externe Zertifizierer, wie beispielsweise der TÜV, prüfbar. Die Hybridmesswerterfassung bildet auch die Basis der Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-einsparberechnung des CAE-Managers. Fördermittelleistungen des Staates im Rahmen des KWK-Gesetzes werden über den langen Förderzeitraum erfolgs- und leistungsabhängig abrechenbar.

Die Messarmatur, ausgestattet mit einem Antriebsmotor, ermöglicht im Zusammenspiel mit dem Störmeldesystem drei Grundfunktionen:

- a) Werden die von dem Rechner ermittelten CO<sub>2</sub>-Effizienz-Grenzwerte über bzw. unterschritten, wird dieser Grenzwert angezeigt bzw. die Anlage und/oder Fertigungsstraße vom Netz getrennt.
- b) Das Schließen der Messarmatur (Messarmatur trennt den Druckluftverbraucher von der Versorgung während der Ruhephase) z.B. am Ende des Arbeitstages bzw. Produktionsende. Das langsame Öffnen der Messarmatur verhindert Druckstöße.
- c) Sicherung der Anlage (Notabschaltung bei Über- und Unterschreitung der eingestellten Grenzwerte für z.B. Durchfluss, Druck, Temperatur und Feuchte)



**Abbildung 22: Sensorebene - Messarmatur mit elektrischem Stellantrieb, Differenzdruck- und Kalorimetrischer Messsensorik in DN50 als Ausstellungstück**

### **Die Internationale Patentanmeldung „Device for Introducing into a pipe“: Rückschlagschutz für das Anbohren von Rohrleitungen unter Druck**

Die internationale Patentanmeldung erfolgte am 16.1.2012, nachdem alle Erfahrungen der Prototypenentwicklung erfolgreich abschlossen werden konnten. Die mechanische Lösung erleichtert Unternehmen mit 365 Tagen Produktion Druckluftverbräuche durch die Montage von Druckluftzählern unter Druck (Anbohren unter der Rohrleitung und unter Druck) zu überwachen. Diese mechanische Lösung ermöglicht jederzeit für die Bestimmung des IST-Wirkungsgrades (baseline) Messungen durchzuführen. Die Patentanmeldung wurde im Rahmen des DBU-Projektes erarbeitet und erfolgreich abgeschlossen.

Abschlussbericht

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
26. Juli 2012 (26.07.2012)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/098084 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
G01F 15/18 (2006.01) F16L 55/46 (2006.01)  
G01N 27/28 (2006.01) F16L 41/00 (2006.01)  
F16L 41/16 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2012/050585
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
16. Januar 2012 (16.01.2012)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
20 2011 000 102.4  
17. Januar 2011 (17.01.2011) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **POSTBERG + CO. DRUCKLUFT-CONTROLLING GMBH** [DE/DE]; Emilienstraße 37, 34121 Kassel (DE).
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **POSTBERG, Hans-Jürgen** [DE/DE]; Kurstraße 2 / III, 61231 Bad Nauheim (DE).
- (74) Anwalt: **BOSSMEYER, Jörg, Peter**; Wassermannstraße 25, 49074 Osnabrück (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEVICE FOR INTRODUCING AN OBJECT INTO A PIPE

(54) Bezeichnung : VORRICHTUNG ZUM EINFÜHREN EINES GEGENSTANDS IN EINE ROHRLEITUNG

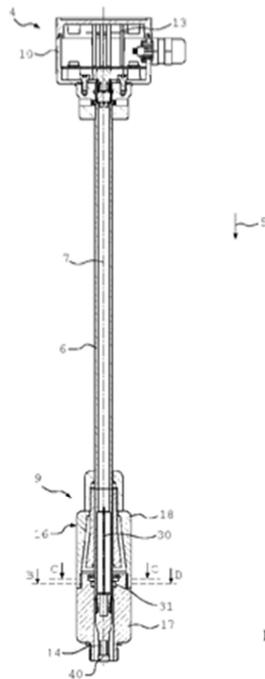


Fig. 3

(57) Abstract: The invention relates to a device for introducing an object into a pipe, comprising a guide (3) that is securely fixed to the pipe (2) or is formed by the latter and a positioning unit (4) that is movably guided on the pipe (2) in an introduction direction (5) by means of the guide (3) and that carries the object (14) or forms said object. The object can be introduced into the pipe (2) by moving the positioning device (4) in the introduction direction (5), said positioning device (4) being connected to the pipe (2) with the interconnection of a linear one-way clutch (9) which adopts a blocked state when the positioning device (4) is moved against the introduction direction (5).

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung zum Einführen eines Gegenstands in eine Rohrleitung, mit einer mit der Rohrleitung (2) fest verbundenen oder durch diese gebildeten Führung (3), einer mittels der Führung (3) in einer Einführrichtung (5) verschiebbar an der Rohrleitung (2) geführten und den Gegenstand (14) tragenden oder bildenden Positioniereinrichtung (4), der durch Verschieben der Positioniereinrichtung (4) in Einführrichtung (5) in die Rohrleitung (2) einführbar ist, wobei die Positioniereinrichtung (4) mit der Rohrleitung (2) unter Zwischenschaltung eines linearen Freilaufs (9) verbunden ist, der bei Verschieben der Positioniereinrichtung (4) entgegen der Einführrichtung (5) seinen Sperrzustand annimmt.

WO 2012/098084 A1

Abbildung 23: Schriftstück aus der internationalen Patentanmeldung

### 3.4 Arbeitspaket 4: Markteinführung

Aufgabe	Konzept	Entwurf	Erledigt
Schreiben von Fachaufsätzen / PR Arbeit			☑
Weiterbildung und Schulungskonzept			☑
Marketingmaßnahmen			☑

**Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse aus Arbeitspaket 4**

Die Pressearbeit und der Start der Veröffentlichung wurden mit dem „Tag der offenen Tür“ am 14. September 2011 begonnen - **Arbeitspaket 4** (PR und Marketing). Insgesamt 50 Besucher von der Großindustrie (Volkswagen AG) bis zu mittelständischen Unternehmen (Hübner GmbH) haben sich den CAE-Manager in der DeMoTec Halle vorstellen lassen.



**Abbildung 24: Fachvorträge während des „Tag der offenen Tür“ (links), Messestand auf der Effizienz-Fachmesse ForumE der LEW Augsburg (rechts).**

Der Presstext der Veranstaltung lautete: „Wie solche Entwicklungen und Ideen gefördert werden, stellte Herr Peter Otto von Postberg+Co. anschließend mit Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (kurz DBU) im Vortrag „Förderung und Praxisbeispiele“ vor; wie so etwas in der Praxis aussieht konnten sich die Gäste nicht nur im Beitrag „Die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage“ von Dr.-Ing. John Sievers der Universität Kassel anhören, sondern auch in Kooperation mit Postberg+Co. und der Firma EARS Europe in der gegenüberliegenden DemoTec-Halle in einer technischen Live-Präsentation der Universität Kassel selber anschauen. Die DBU fördert unbürokratisch und mittelstandsorientiert das Projekt der online-Effizienzmessung und -monitoring inkl. Installation eines gasbetriebenen Druckluftkompressors inklusive EARS (KWK-Druckluft<sup>+</sup>) mit über 200.000 Euro. Ziel ist ein neuer Effizienz- und Effektivitätsrekord in Sachen Wandlungskette Primärenergie zu Nutzenergie Druckluft aufzustellen und zu veröffentlichen. Der Universität Kassel steht dadurch neuste Technologie zu Forschungs- und Lehrzwecken zur Verfügung.“

Auf der Energieeffizienz-Fachmesse ForumE am 10.11.2011 wurde der CAE-Manager und die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage anhand von Plakaten und Messemodellen dem Fachpublikum vorgestellt. In Folge dessen wurden drei Schulungen am CAE-Manager in der DeMoTec-Halle

Abschlussbericht

der Universität durchgeführt. Die Nutzung der Infrastruktur der Universität bietet Postberg+Co. auch perspektivisch neue Möglichkeiten der Präsentation neuer Technologien. Kontakte zum Fraunhofer IWES (Partner der DeMoTec-Halle) für ein Folgeprojekt im Rahmen des ZIM-KOOP wurden während Arbeiten an der Druckluftanlage geknüpft. Die Demonstrationsanlage soll weiterhin bestehen bleiben und 2013 für Schulungszwecke genutzt werden.

### 3.4.1 Teilnahme an der Woche der Umwelt 2012

Die Bewerbung zur Präsentation des Projektes auf der „Woche der Umwelt“ am 5.-6. Juni 2012 im Schloss Bellevue war mit Erfolg gekrönt. Geplant war es zusammen mit VIESSMANN-ESS vor 12.000 international geladenen Gästen das Projekt in passender Weise und Form vorzustellen. Die Beteiligung durch Postberg+Co. gemeinsam mit der Firma Hübner GmbH übertraf alle Erwartungen und führte zu großem öffentlichen Wirken und Anerkennen (siehe Artikel aus der lokalen Presse).

The screenshot shows a website for Postberg+Co. with a navigation menu on the left and a main content area. The main content area features a news article titled "Lokale Wirtschaft" with the sub-headline "Lob von Gauck für Kasseler Ökotechnik". The article text describes the company's participation in the "Week of the Environment 2012" at Schloss Bellevue, where they presented their compressor technology to 14,000 visitors and 200 companies. A photo shows Hans-Jürgen Postberg (left) in conversation with Federal President Joachim Gauck. The article also mentions energy savings of up to 240 tons of CO2 per year. The website header includes a search bar, contact links, and the slogan "messen ist wissen."

Abbildung 25: Lokaler Zeitungsartikel über die Teilnahme von Postberg+Co. auf der „Woche der Umwelt“ Abschlussbericht

Für die Veranstaltung wurde eine mobile Webseite aufgebaut, die es ermöglicht per iPad die komplexen Inhalte jedes einzelnen Messemodells zu erklären und gleichzeitig diese für Informationssuchende auch nach der Veranstaltung zu konservieren: <http://www.postberg.com/index.php?id=173&site=Postberg%2FAktuelles%2FMesse%2BVeranstaltung%2FWoche+der+Umwelt%2F>



**Abbildung 26: Ernst-Ulrich von Weizsäcker lässt sich die Funktionsweise des CAE-Managers erklären (links), Jörg Levefrè erklärt die KWK-Druckluft+ Anlage den Besuchern auf der WdU2012 (rechts)**

Das Schreiben von Fachaufsätzen wurde seitens Postberg+Co. übernommen, da durch das Ausscheiden von Dr.-Ing. Sievers ein Schreiben des Peer Reviews nicht mehr möglich war. In diesem Zusammenhang wurden die auf der Woche der Umwelt geknüpften Kooperationen, beispielsweise mit dem B.A.U.M. e.V., vertieft und in Fachartikeln dokumentiert:

nagement trägt man entscheidend dazu bei, die strategischen Ziele 30 Prozent CO<sub>2</sub>-Reduzierung durch verbesserte Energieeffizienz und Begrenzung der Klimaerwärmung auf 2 °C zu erreichen. Finanzierungsmodelle wie der Zukunftsfonds des Bundesdeutschen Arbeitskreises für umweltbewusstes Management B.A.U.M. e.V. ([www.baum-zukunftsfonds.de](http://www.baum-zukunftsfonds.de)) helfen dabei, derartige Effizienzmaßnahmen der Unternehmen zu finanzieren, vor allem dann, wenn sie über eine Amortisation von zwei Jahren hinausgehen.

Hans-Jürgen Postberg, geschäftsführender Gesellschafter von Postber+Co. Druckluftcontrolling: »Zukünftig wird der von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt DBU geförderte und patentierte »PB+CO®ntroller« die Systemeffizienz und -effektivität

selbsttätig überwachen. Hierbei geht das System über die Forderungen der DIN ISO 50001 sogar noch hinaus, weil es messtechnisch unabhängig von der Anlage überprüfbar ist und nachweislich die tatsächlich eingesparte Primärenergie und somit die CO<sub>2</sub>-Einsparung gegenüber dem Ist-Stand des Jahres 2002 dokumentiert und ausgibt.« Möglich werde das durch die Kombination von Wirkdruckmessung und einem zusätzlichen druck- und temperaturkorrigierten kalorimetrischen Sensor. Beide Messungen sind in einer Messarmatur integriert. Hans-Jürgen Postberg: »Der Nachweis einer CO<sub>2</sub>-Reduzierung mit nicht manipulierbaren Messwertaufzeichnungen ist somit möglich.« ■

**Abbildung 27: Ausschnitt aus einem veröffentlichten Fachartikel im Zuliefermarkt [Han12]**  
Abschlussbericht

Um den positiven „Rückenwind“ durch die „Woche der Umwelt 2012“ zu nutzen wurde am 22. und 23. August 2012 wieder ein „Tag der offenen Tür“ / eine „Hausmesse“ in Kassel organisiert. Vier der sieben Referenten waren Teilnehmer der „Woche der Umwelt 2012“ und fachliche Neukontakte. Prof. Maximilian Gege und Prof. Ernst-Ulrich von Weizsäcker hatten die Teilnahme aufgrund von Urlaub absagen müssen. Stattdessen nahmen Herr Dieter Brübach (B.A.U.M. e.V.) und Herr Gerhard Wohlauf (Wuppertal Institut) teil. Beides sehr aktive „Streiter“ in Sachen Energieeffizienz.



**Abbildung 28: Gerhard Wohlauf (links) und Dieter Brübach (rechts) auf der Hausmesse in Kassel**

Für die Besucher der Hausmesse wurde ein Film / Fernsehbeitrag über die „Woche der Umwelt 2012“ vor- und nachmittags von Herrn Postberg vorgestellt. Der Filmbeitrag und die Ansprache von Herrn Postberg liegen dem Abschlussbericht als DVD bei. Gerne kann der Beitrag als Basis für eine Veröffentlichung der DBU dienen.

Alle offenen Punkte „Fachveröffentlichungen“ und „Video- / Filmbeitrag“ konnten zum Projektende erfüllt werden.

### **3.4.2 Weiterbildung und Schulungskonzept**

An dem Ziel der Weiterbildung im universitären Umfeld wird trotz des Ausscheidens von Dr.-Ing. J. Sievers festgehalten. Der Dekan des Fachbereichs 16 der Universität Prof. Dahlhaus wurde zur Hausmesse eingeladen und es wurden erste Gespräche geführt, dass die installierte Druckluftanlage im Besitz der Universität übergeht, sobald die Schlußabrechnung mit der DBU erfolgt ist. Bis zur Berufung des Nachfolgers von Prof. J. Schmidt soll eine Übergangslösung gefunden werden und die E.A.R.S. Leihanlage nach Projektende von Postberg+Co. GmbH weiterhin bezahlt werden. Zur Gegenfinanzierung wird ein Schulungsangebot für 2013 angeboten, welches an vier Terminen im deutschsprachigen Raum angeboten wird. Peter Otto führt bereits über mehrere Jahre ähnliche Seminare durch, so dass hier auf Erfahrungen und Abschlussbericht

Referenzen verwiesen werden kann: „Stefan Graf von Delica war aus der Schweiz angereist und äußerte sich wie folgt: „Da ich mich erst gerade im Studium mit der Thematik beschäftigt habe, war ich zuerst unsicher, ob sich der Aufwand mit der weiten Anfahrt lohnt. Ich wurde aber sehr positiv überrascht und habe noch einiges Neues gelernt und gesehen, denn das Seminar ist top innovativ und auf dem neusten Stand der Technik aufgebaut.“ [Lvt12]

Als Dank für die Unterstützung durch die DBU soll das 2-tägige Druckluffeffizienzseminar alle neuen Erkenntnisse des DBU-Projektes weitertragen und Fachingenieure sowie Techniker unterrichten. Der für die „Woche der Umwelt 2012“ entwickelte Energiebaum soll die Zielsetzung der Veranstaltung und den Rahmen darstellen.

**Per Fax an +49 (0)561 506 309 -71**

**ANMELDUNG**  
zur verbindlichen Teilnahme an dem Druckluffeffizienzseminar:

**Ziel: 2 Grad für das Klima**  
Ernten Sie mit uns die Früchte der Zukunft - Die Druckluffeffizienz

21. - 22. März 2013, zweitägig, 495 € (zzgl. MwSt.)  
21. März 2013, eintägig, 295 € (zzgl. MwSt.)

20. - 21. Juni 2013, zweitägig, 495 € (zzgl. MwSt.)  
20. Juni 2013, eintägig, 295 € (zzgl. MwSt.)

19. - 20. September 2013, zweitägig, 495 € (zzgl. MwSt.)  
19. September 2013, eintägig, 295 € (zzgl. MwSt.)

28. - 29. November 2013, zweitägig, 495 € (zzgl. MwSt.)  
28. November 2013, eintägig, 295 € (zzgl. MwSt.)

Ihre Angaben (Name und Firma) werden in der Teilnehmerliste aufgeführt.

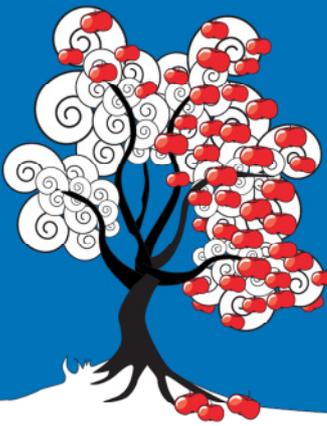
**Firma** \_\_\_\_\_  
**Name** \_\_\_\_\_  
**Funktion** \_\_\_\_\_  
**Telefon** \_\_\_\_\_  
**E-Mail** \_\_\_\_\_

**Anschrift** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Datum und Unterschrift**  
Zahlungs- und Teilnahmebedingungen wie im Faltblatt aufgeführt.  
Adresse umseitig.

**Druckluffeffizienzseminar**

**Ziel: 2 Grad für das Klima**  
Ernten Sie mit uns die Früchte der Zukunft - Die Druckluffeffizienz



**21. - 22. März 2013**  
**20. - 21. Juni 2013**  
**18. - 20. September 2013**  
**28. - 29. November 2013**

**ORGANISATION & INFORMATION**



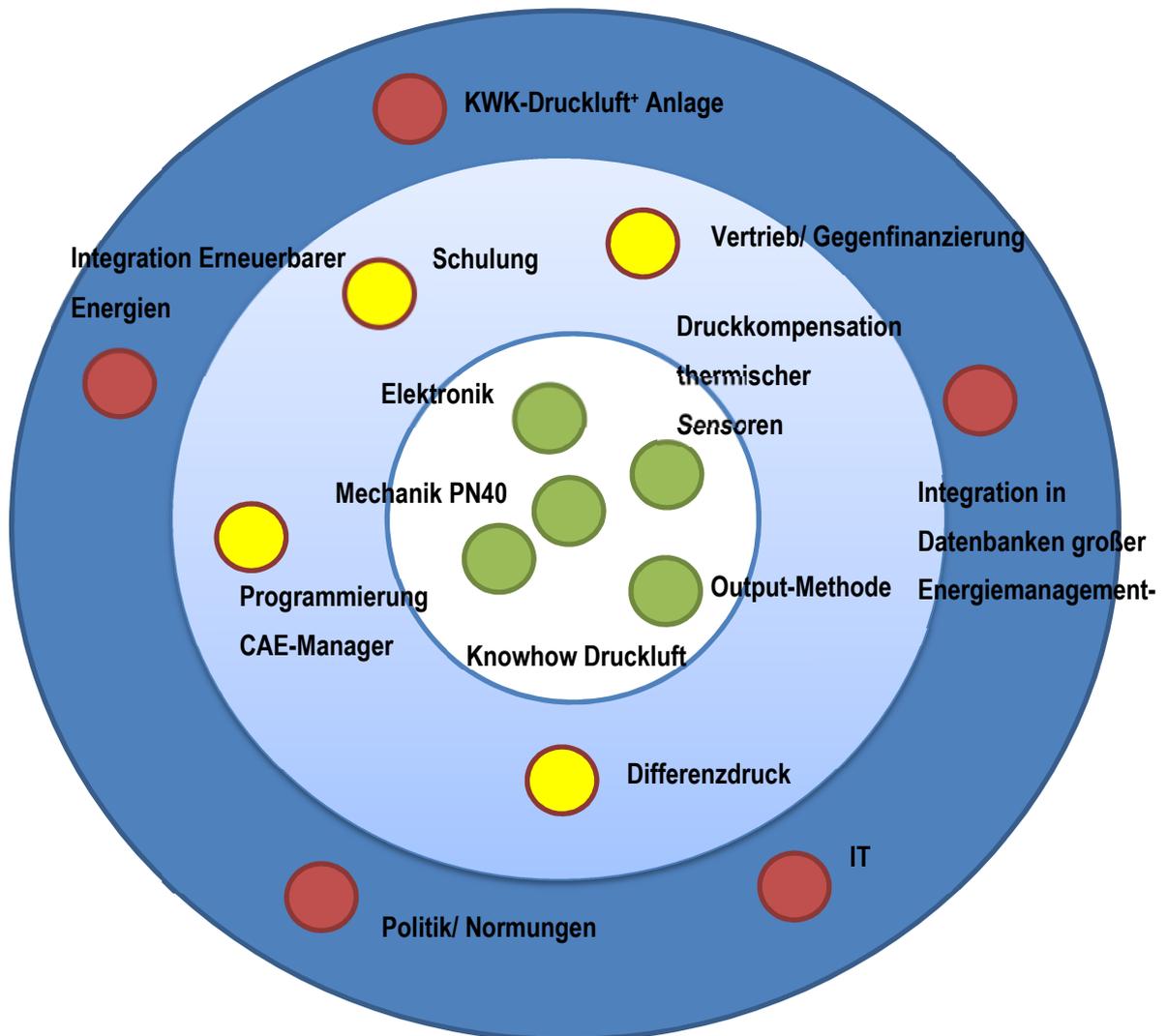
**POSTBERG+Co.**  
Druckluftcontrolling GmbH

Postberg+Co. Druckluftcontrolling GmbH  
Karolin Winklhöfer  
Emilienstr. 37  
34121 Kassel  
Tel.: +49 (0)561 / 506 309 70  
Fax: +49 (0)561 / 506 309 71  
kw@postberg.com

**Abbildung 29: Schulungsflyer für das geplante Druckluffeffizienzseminar 2013**

Für den aktuellen Funktionsumfang des CAE-Managers (Sensorik, Mechanik, WLAN Netzwerk, Datenbank und Software) wurde ein Schulungshandbuch geschrieben und in der Anlage beigefügt. Die Firma Hübner hat zugestimmt, dass alle interessierten Seminarteilnehmer an allen vier Seminarterminen die KWK-Druckluft<sup>+</sup> Anlage in Funktion vor Ort besichtigen können.

## 4 Fazit



**Abbildung 30: Zusammenfassung der Projektergebnisse**

Das DBU-Projekt hat motiviert und den weiten Blick über das Tagesgeschäft ermöglicht. Der Horizont der kommenden acht Jahre geht weiter als der Verkauf von dem im Antrag geplanten 500 Stk. CAE-Managern. Dieser beinhaltet auch die in „rot“ dargestellten Punkte. Die gelb dargestellten „offenen Punkte“ sind lösbar und hier ist es nur eine Frage der „Geschwindigkeit“ diese zu lösen. Durch ein gefundenes Partnernetzwerk mit Spezialisten sollten diese technisch innerhalb von ein bis maximal drei Jahren vollständig umgesetzt sein.

Ohne die finanzielle als auch organisatorische Unterstützung der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wären viele Kontakte nicht zustande gekommen bzw. im Sande verlaufen und gute Ansätze, wie die Entwicklung und Fertigung einer KWK-Druckluft+ Anlage, an überwindbaren Kleinigkeiten gescheitert.

Es wurde während der „Woche der Umwelt 2012“ ein umfangreiches Netzwerk aus Politikern, Wissenschaftlern, Partnerunternehmen und potentiellen Kunden geschlossen. Das gesamte Postberg+Co. Team hat diesen positiven „Rückenwind“ gespürt, der für eine kleine Firma erhebliche Bedeutung und viel in Bewegung gebracht hat.



**Abbildung 31: Das Postberg+Co.-Team vor dem Schloss Bellevue in Berlin**

Wir sind bereit unseren Beitrag zur „Energiewende“ zu leisten und die Energieeffizienz innerhalb der kommenden Generationen zur vollen Bedeutung zu verhelfen. Auch wenn im Projekt achtzig Prozent der Arbeit geleistet wurde, ist ein Gebrauchsmuster noch kein Markt. Es gilt die fehlenden zwanzig Prozent durch Erfahrung und Fleiß zu vervollständigen und nicht vom Kurs abzuweichen. Der CAE-Manager soll als **PB+Controller** alle erweiterten Funktionen erhalten, die im Projekt im Detail formuliert wurden. Dazu ist Hilfe notwendig, da wir hier an Grenzen gestoßen sind.

Besonderen Dank gilt der DBU, in Person Herrn Dr. Jörg Lefèvre und der Firma Hübner, in Person Herrn Thomas Meibert. Durch die Unterstützung bei der Suche nach Lösungen ist das Ziel 60 Prozent Primärenergie bei der Druckluftherzeugung einzusparen in erreichbare Nähe gerückt. Da in den letzten 10 Jahren bereits alle anderen Effizienz- und Effektivitätspotentiale gehoben wurden, ist die Referenz unbezahlbar.

Die vier geplanten Schulungen in 2013, mit dem Ziel Bewusstsein zu schaffen für diese enormen Potentiale, sind eine der Herausforderungen, dass Projekt über Berlin hinaus bekannt zu machen. Zusammen mit Hübner und B.A.U.M. sollen dazu im Jahrbuch „Energieeffizienz“ in 2013 ein ökologisch bewusstes Management Klientel erreicht werden.

Wir wünschen uns, dass die Deutsche Bundesstiftung Umwelt mit dem geleisteten zufrieden ist und das Projekt weiterempfiehlt. Vielen Dank im Voraus für das entgegengebrachte Vertrauen.

---

## 5 Literaturverzeichnis

- [Bau11] B.A.U.M E.V: *Jahrbuch Ressourcenmanagement*, Hamburg, 2011
- [Vbw12] VBW: *Studie – Energieeffizienz in der Industrie*, Eine Studie der ÖKOTEC Energiemanagement GmbH und der Prognos AG im Auftrag der vbw – Vereinigung der Bayrischen Wirtschaft e.V., 1. Auflage, Juli 2012.
- [Rad01] RADGEN, PETER; BLAUSTEIN EDGAR: *Compresses Air Systems in the European Union, Energy, Emissions, Saving Potenzial and Policy Actions*, LOG\_X Verlag GmbH, Stuttgart, 2001
- [Öko09] U. FRITSCHKE; Strom & KWK, ÖKO-INSTITUT, Freiburg, 2009
- [Uba10] UMWELTBUNDESAMT, *DIN EN 16001: Energiemanagementsysteme in der Praxis. Ein Leitfaden für Unternehmen und Organisationen.*, Berlin, 2010
- [Uba12] UMWELTBUNDESAMT, 2012.
- [Pbc012] POSTBERG+CO.: Beitrag zur „Woche der Umwelt“, Berlin 2012
- [Ste06] STERN, NICHOLAS, *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press, Cambridge, 2007.
- [Siev10] SIEVERS, J.: *Dieselmotor-Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen im Kontext der Integration erneuerbarer Energien in die Energieversorgung*, Dissertation, Universität Kassel, Kassel 2010
- [Umw11] UMWELTRECHT: *Wichtige Gesetze und Verordnungen zum Schutz der Umwelt*, Deutscher Taschenbuch Verlag, 22. Auflage, München, 2011
- [Lvt12] KREUZIG, J: *Druckluft: Edelennergie mit Potential*. LVT-Lebensmittel Industrie 7-8, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Darmstadt, 2012.
- [DT91] DINTER, F., GEYER, M. und TAMME, R.: *Thermal Energy Storage for Commercial Applications*. Springer Verlag, 1991
- [WdU12] GAUCK, JOACHIM: Eröffnungsrede zur Woche der Umwelt, Berlin, 5.06.2012

## 6 Anhang