

TIVOLI MALZ GMBH

Reichsbahnstrasse 99 – 22525 Hamburg

Abschlussbericht für ein umwelttechnisches Fördervorhaben
gefördert unter AZ 26766 von der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt - An der Bornau 2 - 49090 Osnabrück

**Reduktion des Energieverbrauchs und der energiebedingten
Co 2 -Emissionen bei der Herstellung von Malz durch den
Einsatz einer Großwärmepumpe in Verbindung mit einem
Blockheizkraftwerk – Demonstrationsvorhaben**

von

Dr. Dietrich Mönch

Juli 2012

Projektkennblatt
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	26766	Referat	24/0	Fördersumme	340.000 €
Antragstitel		Reduktion des Energieverbrauchs und der energiebedingten CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Malz durch den Einsatz einer Großwärmepumpe in Verbindung mit einem Blockheizkraftwerk - Demonstrationsvorhaben			
Stichworte					
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
2 Jahre, 6 Monate	25.05.2009	24.11.2011			
Zwischenberichte					
Bewilligungsempfänger	Tivoli Malz GmbH Reichsbahnstrasse 99 22525 Hamburg			Tel	040/54002-229
				Fax	040/54002-372
				Projektleitung Dr. Dietrich Mönch	
				Bearbeiter Dr. Dietrich Mönch	
Kooperationspartner	Eneratio Ingenieurbüro Alsterdorferstr. 276 22297 Hamburg				

Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens

Die Produktion von Braumalz ist ein energieintensiver Vorgang. Der größte Teil der eingesetzten Energie verlässt den Prozess in Form von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft auf niedrigem Energieniveau. Das Kondensat ist korrosiv, weshalb die meisten Wärmetauschermaterialien nicht verwendet werden können. Zielsetzung des Projektes ist die Rückgewinnung eines erheblichen Teiles dieser Energie mit Hilfe einer Wärmepumpe, deutlich über das branchenübliche Maß hinaus. Parallel zu der Installation der Wärmepumpe wird ein BHKW zur Stromerzeugung installiert. Dieses stellt den von der Wärmepumpe benötigten Strom, sowie einen erheblichen Teil des für den Prozess benötigten Stromes her. Die Wärme des BHKW wird im Prozess genutzt. Die Maßnahme dient u. a. der Reduzierung der CO₂-Emission.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Zur Wärmerückgewinnung im Trocknungsprozess werden in Mälzereien üblicherweise Wärmetauscher eingesetzt. Im Rahmen des Projektes wird in den Abluftstrom der Trocknung zusätzlich ein Verdampfelement eingebracht. In den Ansaugstrom der Trocknung wird das Verflüssigerelement der Wärmepumpenanlage eingebracht. In Vorarbeiten wurden verschiedene Wärmetauschermaterialien getestet. Für den Einsatzzweck werden spezielle Wärmetauscher gefertigt. Das BHKW wird zusammen mit der Wärmepumpe in das Gesamtenergiekonzept der Mälzerei integriert. Der Primärenergiebedarf der Mälzerei wird durch die Wärmepumpe um etwa 25 % reduziert, die CO₂-Einsparung beträgt über 6.000 t/a. Parallel dazu wird eine weitere Einsparung von CO₂ durch die Eigenerzeugung von Strom erreicht.

Ergebnisse und Diskussion

Das Projekt wurde im Frühjahr 2010 realisiert. Bei der Realisierung kam es zu keinerlei zeitlichen Verzögerungen. Das Investitionsbudget wurde eingehalten. Es liegen mittlerweile Daten aus über einem Jahr Dauerbetrieb vor. Innerhalb eines Jahres lief das BHKW 8.152h und erzeugte während dieser Zeit 16.178 MWh Strom. Das Ergebnis entsprach damit der Prognose von 16.000 MWh/a. Aus den Jahresaufzeichnungen der Wärmepumpe errechnet sich eine durchschnittliche Heizzahl über den gesamten Zeitraum. Es sei darauf hingewiesen, daß bei dieser Betrachtung sämtliche Stillstandszeiten der Wärmepumpe nicht herausgerechnet wurden. Bei einer nur auf die Anlagenlaufzeit berechneten Heizzahl wäre diese höher. Die durch die Wärmepumpe dem Prozess zugeführte Wärme errechnet sich aus dem Jahresstromverbrauch der Wärmepumpe multipliziert mit der durchschnittlichen Heizzahl (COP). Diese betrug im Betrachtungsjahr (September 2010- August 2011) 6,3 woraus sich eine Gesamtwärme die dem Prozess zur Verfügung gestellt wurde von etwa 24.500 MWh/a ergibt. Subtrahiert man von dieser Summe die für den Betrieb der Wärmepumpe notwendige Strommenge (die dem Prozess auch als Wärme zugeführt wird), ergibt sich die der Fortluft entzogene und dem Prozess auf einem höheren Temperaturniveau wieder zur Verfügung gestellte (gepumpte) Wärmemenge von etwa 20.700 MWh/a. Die von der Wärmepumpe dem Betrieb zur Verfügung gestellte Wärme war mit 24.500 MWh/a, 3.500 MWh/a höher als angenommen, was an dem höher als erwarteten COP-Wert des gesamten Jahres liegt. Allerdings ist auch der Stromverbrauch der Anlage etwas höher. Insgesamt werden die Planzahlen aber übertroffen.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit des Projektes gab es im ersten Jahr des Betriebes sowohl Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit verbesserten, als auch solche, die die Wirtschaftlichkeit verschlechterten. Dämpfend auf die Wirtschaftlichkeit wirkten sich die gegenüber den prognostizierten Energiepreise deutlich gesunkenen Einkaufspreise für Gas und Strom. Diese gaben gegenüber der Prognose um etwa 20% nach. Positiv auf die Wirtschaftlichkeit wirkte sich vor allem die Erhöhung der EEG-Abgabe von etwa 2,0 auf 3,5 Cent/kWh aus, wodurch die Summe der vermiedenen EEG-Abgabe aufgrund der Eigenerzeugung von Strom deutlich anstieg. Weiterhin war der Aufwand für den noch zu kaufenden Strom geringer als prognostiziert, die erzielte KWK-Zulage aufgrund des hohen Vollaststundenanteils hoch und die Einspeisevergütung für ins Netz eingespeisten Strom ebenfalls höher als erwartet. In Summe wirken die Faktoren dahingehend ausgleichend, als daß sich verbessernde und verschlechternde Faktoren in etwa die Waage halten.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Das Projekt wurde in mehreren Fachvorträgen einem breiten Publikum vorgestellt (Brauerstenseminar der VLB-Oktobertragung, DBMB-Veranstaltung). Es gab mehrere Betriebsbesichtigungen für interessierte Kältetechniker und Branchenvertreter der Malzindustrie auch aus dem Ausland. Desweiteren wurde eine Veröffentlichung für eine Fachzeitschrift geschrieben und in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht (Brauwelt, Brauwelt international). Eine spanische Veröffentlichung folgt in Kürze. Darüberhinaus gab es zwei Fernsehberichte des Norddeutschen Rundfunks, in denen das Projekt vorgestellt wurde.

Fazit

Durch die Maßnahme konnte der Wärmeverbrauch der zur Globalmalt-Gruppe gehörenden Tivoli-Malz GmbH deutlich gesenkt werden. In Verbindung mit der Eigenerzeugung von Strom konnte der Strombezug der Mälzerei bei etwa identischem Gasverbrauch fast komplett durch Eigenerzeugung substituiert werden. Die jährliche Einsparung entspricht dem Jahresverbrauch von 3.000 Einfamilienhäusern. Die Förderung des Projektes hat die Realisierung dieses Projektes ermöglicht. Eine Umsetzung dieses Projektes ist prinzipiell auf die gesamte Malzindustrie übertragbar. Bei einzelnen Trocknungsanlagen ist die Wirtschaftlichkeit allerdings aufgrund der sehr viel geringeren Vollbenutzungsstunden fraglich.

Abschlussbericht zum Projekt: AZ 26766

Reduktion des Energieverbrauchs und der energiebedingten CO₂-Emissionen bei der Herstellung von Malz durch den Einsatz einer Großwärmepumpe in Verbindung mit einem Blockheizkraftwerk –Demonstrationsvorhaben-

Inhaltsverzeichnis:

1. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens
 - 1.1. Stand des Wissens und der Technik
 - 1.2. Konzeptioneller Ansatz
 - 1.3. Anlass für das Projekt
2. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden
 - 2.1. Planung und Dimensionierung der Anlage
 - 2.2. Besondere Erschwernisse
 - 2.3. Sicherheitskonzept
 - 2.4 Thermodynamische Verhältnisse
3. Messtechnische Evaluierung
4. Wirtschaftlichkeitsrechnung vor Durchführung der Investition
5. Ergebnisse und Diskussion
6. Öffentlichkeitsarbeit
7. Fazit

Verzeichnis von Bildern und Tabellen:

Abb.1 Entwicklung des Energieverbrauches beim Darren

Abb.2 Prinzipschaubild Wärmepumpe

Abb.3 Energieflußbild der Mälzerei

Tab.1 Primärenergie bzw. CO₂-Emmissionsvergleich

Abb.4 Rentabilitätsvergleich bei schwankenden Energiepreisen

Abb.5 Gangway zur Reinigung der Register

Abb.6 Einbringung der Wärmetauscher

Abb.7 Wärmepumpenraum

Abb.8 Blockheizkraftwerk

Abb.9 Prozessdarstellung im H-X Diagramm

Abb.10 Applikationsbericht zur Mengenummessung von Ammoniak

Abb.11 Screenshot der Messauswertung der Wärmepumpe

Abb.12 Betriebskostenvergleich

Abb.13 Betriebsdaten Blockheizkraftwerk

Abb.14 Energieverbrauch der Darren (spezifisch) vor und nach der Maßnahme

Abb.15 Quantitative Betrachtung der erzielten Einsparungen durch Einsatz der Wärmepumpe

Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

a	Jahr
BHKW	Blockheizkraftwerk
°C	Temperatur
COP	Leistungszahl
DBMB	Deutscher Brau- und Malzmeisterbund
DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
elektrischer Wirkungsgrad	prozentualer Anteil des vom BHKW aus dem Brennstoff hergestellten Stromes
Gesamtnutzungsgrad	Summe elektrischer und thermischer Wirkungsgrad
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde
Hu	Heizwert
Ho	Brennwert
h-x Diagramm	Darstellung von Zustandsänderungen feuchter Luft nach Mollier
K	Kelvin (Temperatur)
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärmekopplung
Leistungszahl	Verhältnis von erzeugter Kälte- bzw. Wärmeleistung zur eingesetzten Leistung
MWh	Megawattstunde
m ³	Kubikmeter
m	Meter
NH ₃	Ammoniak
Return on investment	Anlagenrendite
to	Tonne
thermischer Wirkungsgrad	prozentualer Anteil der vom BHKW aus dem Brennstoff hergestellten Wärme
VLB	Versuchs und Lehranstalt für Brauerei
Wirkstrom	Nutzbarer Anteil des Wechselstromes

Zusammenfassung:

In Deutschland werden jährlich etwa zwei Millionen Tonnen Braumalz für die Bierindustrie hergestellt. Der Prozess beinhaltet das Weichen, Keimen und Trocknen (Darren) von speziell angebauter Braugerste. Beim Trocknen müssen in kurzer Zeit große Mengen Wasser ausgedampft werden. Hierzu wird in einem, trotz installierter Wärmetauscher sehr energieintensiven Prozess, erwärmte Luft durch die Getreideschicht geblasen. Um diesen Prozess umweltfreundlicher zu gestalten, entwickelte die zur GlobalMalt-Gruppe gehörende Tivoli-Malz GmbH in Hamburg ein neues Energiekonzept. Eine Wärmepumpe und ein Blockheizkraftwerk sollten die in der Stadt gelegene Mälzerei, die bis zu 105.000 Tonnen Pilsener Malz im Jahr herstellt, deutlich energieeffizienter machen.

Die Wärmepumpe mit einer Leistung von 3,25 MW dient dazu, die in der Trocknungsluft enthaltene Wärme zurückzugewinnen – zuvor wurde die verbrauchte Trocknungsluft mit einer Temperatur von bis zu 26 °C an die Umgebung abgegeben. Diese Wärme wird mittels der Wärmepumpe nun der angesaugten Außenluft, also der frischen Trocknungsluft, zugeführt. So wird Erdgas eingespart, das sonst zum Beheizen der Zuluft eingesetzt wurde. Den Strom für die Wärmepumpe und auch für den Betrieb liefert ein erdgasbetriebenes Blockheizkraftwerk (2.000 kW_{el}), dessen Abwärme ebenfalls zum Erwärmen der Trocknungszuluft genutzt wird.

Der Einsatz der Wärmepumpe sollte gemäß der Planung über 20 % des zur Trocknung notwendigen Gasbedarfes einsparen. Das entspricht einer Wärmemenge von etwa 21.000.000 kWh/a (äquivalent einer Einsparung von 2.000.000 l Heizöl im Jahr). Dies geht mit einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von mehr als 6.000 t/a einher.

Neben der komplexen wärmetechnischen Einbindung der installierten Komponenten in den Trocknungsprozess wurden Versuche zur Werkstoffauswahl der Wärmetauscher, ein spezielles Sicherheitskonzept für den Betrieb der Wärmepumpe sowie eine Methode zur Evaluierung der Wärmeströme der Wärmepumpe entwickelt. Das entwickelte Anlagenkonzept führt zu einer sehr hohen Leistungszahl der Wärmepumpe von COP >6 im Jahresmittel.

Im Rahmen der messtechnischen Begleitung des ersten Betriebsjahres der Anlage konnte festgestellt werden, dass die prognostizierten Einsparungen erreicht werden.

Bei gleichbleibendem Gasverbrauch sank der Strombezug der Mälzerei aus dem öffentlichen Versorgungsnetz durch die Maßnahme erheblich, nämlich um über 12.000 MWh pro Jahr. Diese Einsparung entspricht dem Jahresverbrauch von über 3.000 Einfamilienhäusern. Wenn die Projektergebnisse auf ein Drittel der Deutschen Malzindustrie übertragen würden, ließe sich so eine Strommenge einsparen, die dem Jahresverbrauch von etwa 20.000 Einfamilienhäusern gleichkommt.

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt und die Hansestadt Hamburg gefördert.

1. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens:

1.1. Stand des Wissens und der Technik

a) Generelles

In einer Mälzerei wird Malz als Rohstoff für die Brauerei und Backwarenindustrie hergestellt. Der Mälzungsprozess beinhaltet das kontrollierte Einweichen und Befeuchten von Braugerstenkörnern, die erst mit einem bestimmten Wassergehalt zu wachsen beginnen. Am Ende des Keimungsprozesses haben die Körner einen Wassergehalt von etwa 45-48 %, was bedeutet, dass das Verhältnis von Trockenmasse zu Wasser in den Körnern fast 1:1 beträgt. Der Prozess der Keimung führt zur Bildung einer Vielzahl von Enzymen, die vor allem die Stärke des Kornes in Zucker umwandeln können und ist als erster Schritt für die Bierbereitung essentiell. Die feuchten Körner werden nach dem Weich- und Keimvorgang, der fast eine Woche dauert, in einem Trocknungsschritt, dem sogenannten Darren, auf Wassergehalte von unter 5 % getrocknet. Diese Trocknung ist aufgrund der notwendigen Temperaturen und der zu verdampfenden Wassermenge sehr energieintensiv. Der beschriebene Mälzungsprozess ist nicht durch einen weniger energieintensiven Vorgang substituierbar. Durch die hohen Temperaturen am Ende des Trocknungsprozesses werden unerwünschte leichtflüchtige Komponenten entfernt. Ferner bekommt das Malz das typische malzige Aroma. Die Enzyme werden in dem Malz durch die trockene Beschaffenheit konserviert, das Malz für längere Zeit lagerfähig gemacht. Die sehr mürbe Beschaffenheit des Malzes ist für den speziellen in der Brauerei folgenden Mahlvorgang ebenfalls wichtig.

b) Theorie des Darrens, thermodynamische Grundlage

Beim Darren des Malzes wird der Feuchtigkeitsgehalt des Malzes von ca. 45 % auf unter 5 % gesenkt. Je nach technischem Konzept dauert dieser Prozessschritt 24-48 h. Im ersten Schritt der Trocknung, dem sogenannten Schwelken, wird 50°- 65 °C warme Luft durch die Körnerschicht geblasen. Die Körner liegen dabei in einer etwa 1m hohen Schicht. Die Luft nimmt dabei die maximal mögliche Menge an Wasser auf und verlässt die Körnerschicht mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 100 %. Durch die Wasseraufnahme kühlt sich die Luft auf 22°C – 28 °C ab. Die Austrittstemperatur ist in erster Linie von der witterungsbedingten Wasseraufnahmefähigkeit der Luft abhängig. Die niedrige Temperatur ist notwendig, um die bei höheren Wassergehalten sehr temperaturempfindlichen Enzyme zu schonen. Zum Ende des ersten Trocknungsschrittes sinkt der Wassergehalt der Malzkörner so weit ab, dass nicht mehr ausreichend Feuchtigkeit aufgenommen werden kann, um die Luft relativ zu 100 % zu sättigen. Dadurch sinkt die relative Luftfeuchtigkeit der Abluft ab. Parallel dazu steigt die Temperatur der austretenden Luft aufgrund des geringeren Energieentzuges bei der Trocknung. Im zweiten Trocknungsschritt, dem sogenannten Darren, wird die Temperatur der Zuluft

sukzessive bis auf ca. 85 °C (bei Spezialmalzen noch höher) erhöht. Die relative Luftfeuchtigkeit der austretenden Luft ist bei diesem Prozessschritt sehr gering.

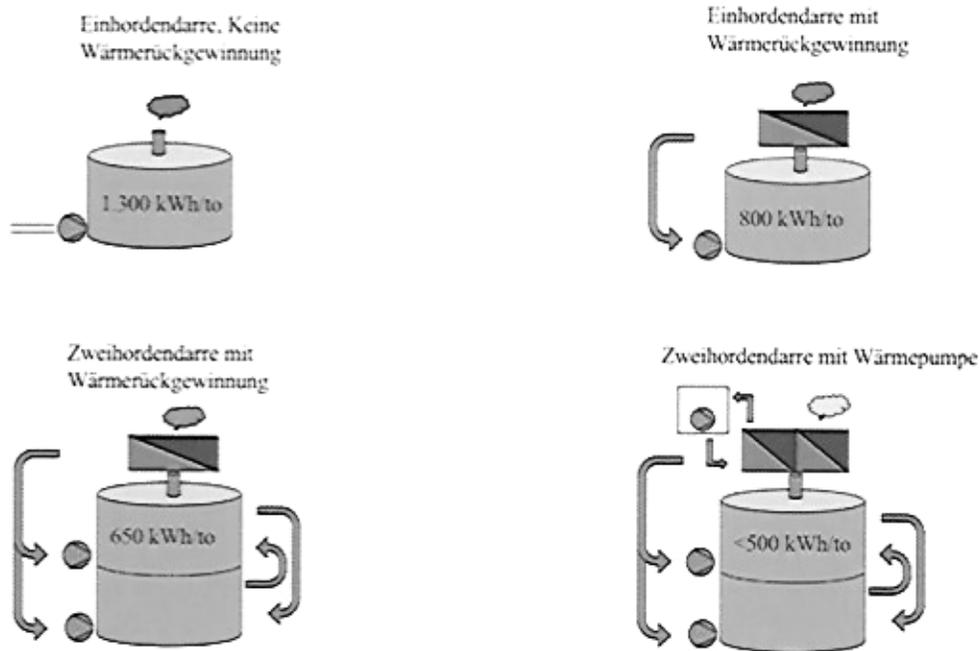
c) Entwicklung der Trocknungsverfahren

Noch vor wenigen Jahrzehnten erfolgte die Trocknung von Malz ohne jede Wärmerückgewinnung und üblicherweise durch direkte Koks- oder Ölfeuerung. Der spezifische Verbrauch betrug etwa 1.300 kWh/to Fertigmalz.

Mit der Energiekrise und gestiegenen Energiekosten hielten Wärmetauscher Einzug in die Mälzerei. Diese meist aus Glas gefertigten Röhrenwärmetauscher tauschen die warme Prozessabluft gegen die vergleichsweise kühle Außenluft, was insbesondere in den Wintermonaten zu erheblichen Energieeinsparungen führt. Aufgrund der sehr hohen Kondensationsenthalpie der Abluft, gelingt es mit diesen Wärmetauschern die Zuluft auch bei Minusgraden und Ablufttemperaturen um 25°C auf etwa 20°C vorzuwärmen. Bei Aussentemperaturen in Höhe der Ausblastemperatur oder höher sind diese Wärmetauscher wirkungslos bzw. kontraproduktiv. Durch den Einsatz solcher Wärmetauscher konnte der Wärmeverbrauch des Darrens auf etwa 800 kWh/to reduziert werden.

In einem weiteren Entwicklungsschritt wurden zwei oder mehr Trocknungsanlagen jeweils prozesstechnisch so verschaltet, dass die darrende Darre ihre warme nicht gesättigte Abluft auf eine schwelkende Darre aufgeben konnte. Die Trocknungsluft wird so zweifach genutzt. Durch diesen Schritt ist eine Reduzierung auf etwa 600-650 kWh/to möglich. Diese Technik stellt den Stand der Technik dar. Die gesamte, den Prozess verlassende Wärme wird in Form von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft im Temperaturbereich von 22-28 °C ausgeblasen. Trotz dieses erheblichen Fortschrittes ist der Darrprozess noch immer sehr energieintensiv. Einen schematischen Überblick der verschiedenen Trocknungsverfahren zeigt Abbildung 1.

Abb.1 Entwicklung des Energieverbrauches beim Darren

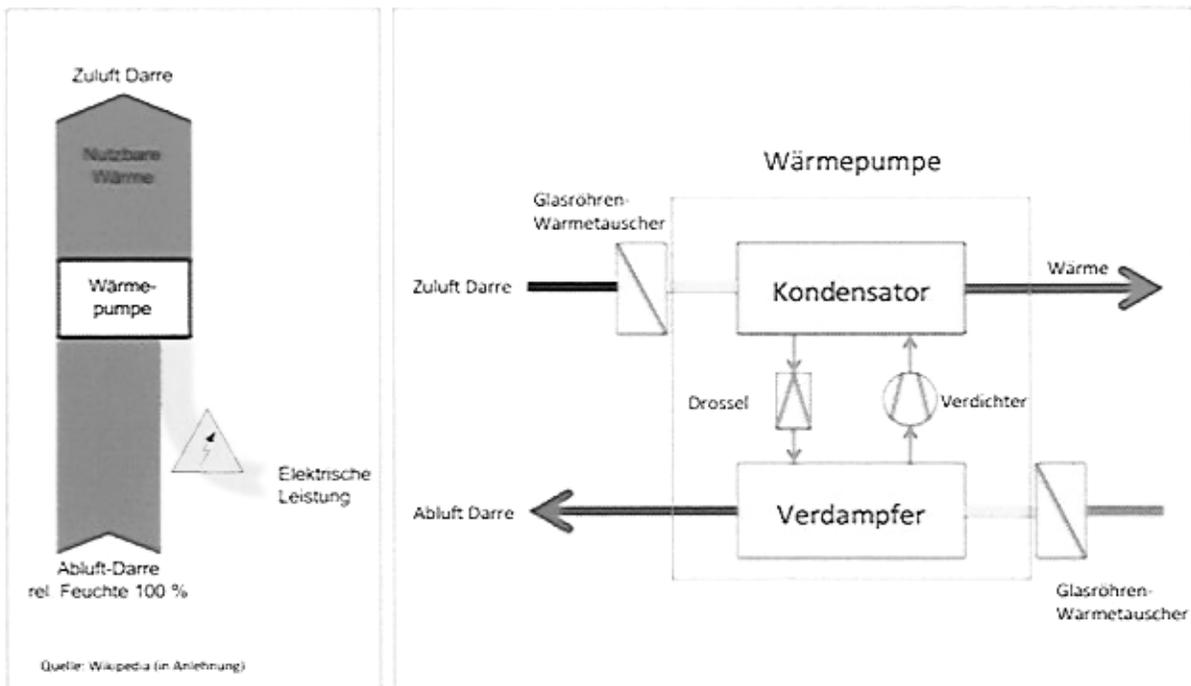


1.2. Konzeptioneller Ansatz

Mit konventioneller Technik ausgestattet sind die Energieverbräuche moderner Hochleistungsdarren in der Malzindustrie, und damit verbunden die CO₂-Emissionen, noch immer hoch. Der größte Teil der eingesetzten Energie verlässt den Trocknungsprozess in Form von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft von 22-28 °C. Mit Hilfe einer Wärmepumpe sollte der feuchten Abluft der Darre Energie (vor allem Kondensationsenthalpie) entzogen werden. Die Wärmepumpe sollte dann die der Abluft entzogene Energie auf ein höheres Temperaturniveau pumpen und die Ansaugluft anwärmen. Für den Betrieb der Wärmepumpe sind erhebliche Mengen Stromes notwendig. Konzeptionell verbraucht die Wärmepumpe Strom und substituiert damit Gasbezug. Im Vergleich zum Gaspreis steigende Strompreise haben dabei einen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe. Je nachdem wie der notwendige Strom hergestellt wird, verschlechtert sich auch die CO₂-Einsparung der Wärmepumpe. Um dieses Risiko zu minimieren und den Betrieb der Wärmepumpe noch wirtschaftlicher zu gestalten wurde parallel ein Blockheizkraftwerk mit vollständiger Wärmenutzung in das Konzept mit aufgenommen. Zielsetzung war, mit Hilfe der Wärmepumpe etwa ein Viertel des Wärmeverbrauches der Darren zu stellen und mit dem Blockheizkraftwerk den Strombedarf der Mälzerei komplett abzudecken. Ein Prinzipschaubild der Wärmepumpe zeigt die folgende Abbildung 2.

Abb.2 Prinzipschaubild Wärmepumpe

Prinzip und Schaubild der Wärmepumpe



1.3. Anlass für das Projekt

Die zur Globalmalt-Gruppe gehörende Tivoli-Malz GmbH in Hamburg stellt bis zu 105.000 to Pilsener Malz im Jahr her. Ziel war es für die in der Stadt liegende Mälzerei ein neues umweltfreundliches Energiekonzept zu entwickeln. Kurz vor Beginn des Projektes ist eine Eigenstromerzeugung (Gasturbine) aufgrund eines technischen Defektes irreversibel außer Betrieb gegangen. Ein externer Wärmeversorger, der Strom und Wärme aus Palmöl hergestellt hat ist dauerhaft ausgefallen. Im Rahmen der dann folgenden Entwicklung eines neuen Energiekonzeptes für die Mälzerei wurden verschiedene Optionen geprüft. Dazu gehörte neben dem hier beschriebenen Projekt auch eine Beheizung der Mälzerei mit einem Braunkohlekessel.

2. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

2.1. Planung und Dimensionierung der Anlage

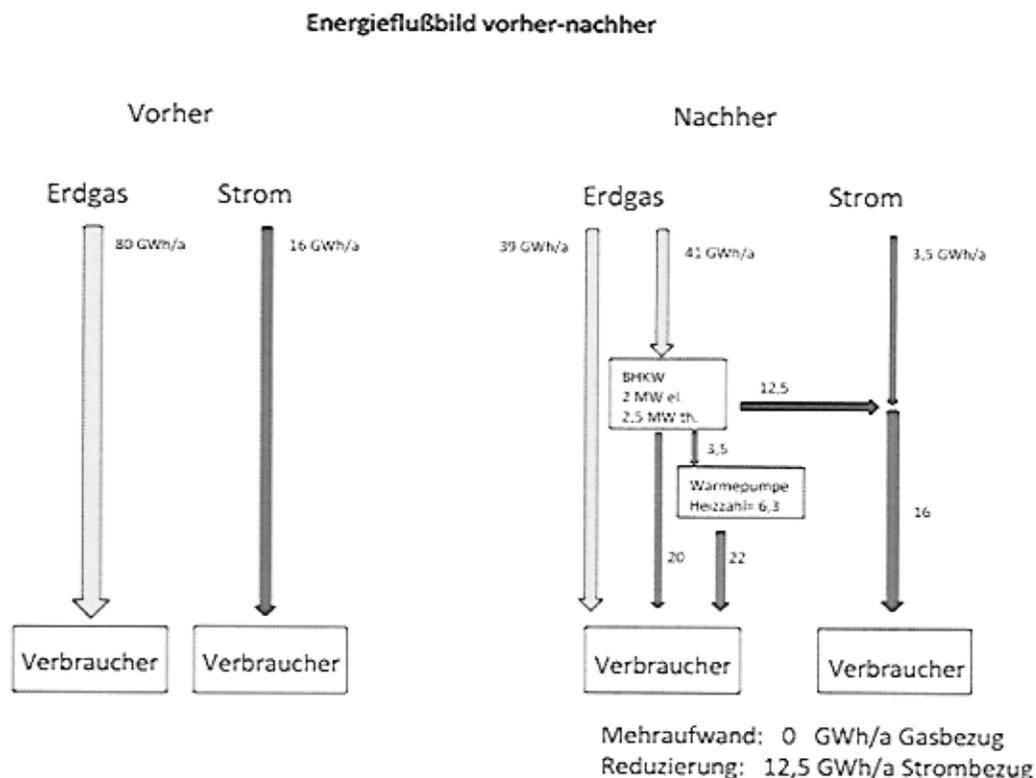
Im Rahmen der Machbarkeitsprüfung wurden eine Reihe von Messungen vorgenommen, noch bevor die Auslegung der Anlagenteile beginnen konnte.

Zu Beginn der Prüfung wurden umfangreiche Luftmengenmessungen in den Trocknungsanlagen durchgeführt. Ziel war es die Vollbenutzungsstunden einer

(dann noch zu dimensionierenden) Wärmepumpe zu errechnen und Grundlagen für die thermodynamische Berechnung zu haben. Neben Druck, Temperatur und Luftmenge wurde auch die Luftfeuchtigkeit der ausgeblasenen Luft ermittelt. Aus den Werten wurde zusammen mit historischen Daten eine Jahrgangskurve ermittelt. Bei entsprechend großer Dimensionierung der Anlagenteile waren dabei insbesondere die Sommermonate zu betrachten, da dann der Wärmebedarf der Darren am geringsten und der Strombedarf der Mälzerei aufgrund der Keimkastenkühlung am höchsten ist. Es wurden im Rahmen der Planung verschiedene Größen der Wärmepumpe errechnet und zwei Dimensionierungen ausgeschrieben.

Die kalkulierten Vollbenutzungsstunden beliefen sich bei der Wärmepumpe auf 6.000 h/a. Das Blockheizkraftwerk sollte bis 8.000 Vollbenutzungsstunden im Jahr haben. Die größere der beiden Dimensionierungen der Wärmepumpe weist eine Heizleistung von 3,5 MW auf, das Blockheizkraftwerk wurde auf eine Dauerleistung von knapp unter 2,0 MW ausgelegt. Bei der Auswahl des Motors für das Blockheizkraftwerk wurde besonderes Augenmerk auf den gesamtenergetischen Wirkungsgrad, also die Summe aus elektrischem und thermischen Wirkungsgrad gelegt. Das Energieflussbild der Mälzerei vor und nach der Maßnahme zeigt Abbildung 3

Abb. 3 Energieflussbild der Mälzerei



Beitrag zur Umweltentlastung:

Das geplante Wärmepumpen-Projekt sollte gemäß der Planung über 20 % des Gasbedarfes der Tivoli Malz GmbH einsparen. Das entspricht einer Wärmemenge von etwa 21 GWh/a (äquivalent einer Einsparung von 2.000.000 l Heizöl im Jahr). Dies geht mit einer Reduzierung des CO₂-Ausstoßes von mehr als 6.000 to/a einher. Parallel dazu sollte eine weitere Einsparung von CO₂ durch Eigenerzeugung von 16 GWh/a Strom erreicht werden. In der Gesamtbilanz sollte der Strombezug bei fast identischem Gasverbrauch annähernd vollständig entfallen. Eine Primärenergiebetrachtung und die daraus abgeleitete CO₂-Minderung ist der folgenden Tabelle zu entnehmen

Tab.1 Primärenergie bzw. CO₂-Emmissionsvergleich:

Primärenergie / CO₂-Emissionen bisher:			
	to CO ₂ /MWh	MWh/a	to CO ₂ /a
Erdgas:	0,203	80.000	16.240
Elektro	0,514	16.000	8.224
Summe			24464

Primärenergie / CO₂-Emissionen mit BHKW+WP			
	to CO ₂ /MWh	MWh/a	to CO ₂ /a
Erdgas:	0,203	80.000	16240
Elektro	0,514	3.500	1.799
Summe			18.039

CO₂-Einsparung (to/a)	6.425
---	--------------

Neben der Umweltbetrachtung sprach eine besondere betriebswirtschaftliche Betrachtung für die Kombination des Wärmepumpenprojektes mit einem Blockheizkraftwerk. Die Wärmepumpe verdrängt Gasbezug bei zusätzlichem Stromverbrauch, beim Blockheizkraftwerk ist es genau andersherum. Sollten sich Strompreise und Gaspreise im Verhältnis zueinander erheblich verschieben, sichert die eine Anlage die Wirtschaftlichkeit der anderen Anlage ab. Eine Darstellung des Effektes steigender, sinkender sowie differierender Gas- und Strompreise zeigt die nachfolgende Abbildung 4. Bei den Werten handelt es sich um reine Bezugswerte. Die Ausgangskalkulation wurde = 100 gesetzt.

Abb.4 Rentabilitätsvergleich bei schwankenden Energiepreisen

Energiepreisänderung	Gaspreis	Strompreis	Ersparnis BHKW*	Ersparnis WP**	Summe
aktuell	25	50	100	100	200
plus 20%	30	60	125	150	275
minus 20%	21	42	80	60	140
Strom+20%, Gas-20%	21	60	190	25	215
Strom+40%, Gas -40%	15	70	290	-75	290
Strom-20%, Gas +20%	30	42	10	190	200
Strom -40%, Gas +40%	35	30	-95	275	275

Relative Zahlen

*erstes Jahr, ohne Subvention

**erstes Jahr, ohne Zuschuss

Als Kältemittel für die Wärmepumpenanlage wurde aufgrund seiner Eigenschaften NH₃ ausgewählt. Das Ozonzerstörungspotential von NH₃ (ozon depletion potential) ist, genauso wie das Treibhauspotential (global warming potential), gleich null. Damit ist NH₃ als besonders umweltfreundlich einzustufen und gegenüber anderen Kältemitteln klar im Vorteil. Aufgrund des Füllgewichtes der Anlage war ein Antrag nach dem Bundesimmissionschutzgesetz notwendig.

Im Rahmen der Dimensionierung der Anlagen musste insbesondere die wärmetechnische Anbindung der Anlage an die Mälzerei berücksichtigt werden. Dies ist gerade für den Betrieb des Blockheizkraftwerkes von Bedeutung. Die Wärmeabnahme ist zwar fast, aber nicht vollständig über 24h und das gesamte Jahr gegeben. Um Stillstandszeiten aufgrund von fehlender Wärmeabnahme zu vermeiden, wurde das Blockheizkraftwerk mit einem Wasserspeicher (Boiler) ausgerüstet, der einen Vollastbetrieb des Blockheizkraftwerkes auch ohne Wärmeabnahme über einen Zeitraum von zwei Stunden erlaubt.

Eine weitere Herausforderung lag in dem ausreichenden Temperaturabfall (Wärmeabfuhr) des BHKW-Kühlwassers. Die Rücklauftemperatur muss niedrig genug sein, um den ordnungsgemäßen und energieeffizienten Betrieb

des Blockheizkraftwerkes zu ermöglichen. Da dem im Darrprozess befindlichen Wärmetauscher der die Wärme des Blockheizkraftwerkes (Vorerhitzer) abführt, der Wärmetauscher der Wärmepumpe vorgeschaltet ist und dieser bereits eine Erwärmung der vom Glasrohrwärmetauscher vorgewärmten Luft um etwa 20 K vollzieht, mussten die nachgeschalteten Tauscher für das Blockheizkraftwerk entsprechend groß dimensioniert werden. Es wurde weiterhin ein Heizregister an anderer Stelle im Darrprozess eingebracht, das Wärme auf höherem Temperaturniveau abgibt, um bis zu 450.000 m³ Luft pro Stunde mit einer Temperatur von 85 °C bereit zu stellen. Dieser Wärmetauscher (Darrluftregister) wird mit dem Vorerhitzer derart verschaltet, dass ein kaskadierter Betrieb möglich ist. Bei der Wahl der Heizregister wurde der luftseitige Druckabfall an den Registern berücksichtigt. Ziel war es den Luftdurchsatz durch die Anlage bei gleichbleibender Ventilatorleistung nicht zu verringern.

Zusammenfassend sprechen folgende Faktoren für die gewählte Bauart/Auslegung der Wärmepumpe:

- Die Wärmerückgewinnung findet prozessintern statt. Wenn Wärme benötigt wird, steht Abwärme zur Rückgewinnung zur Verfügung.
- Mit der Wärmepumpe kann die zurück gewonnene Wärme auf ein deutlich höheres Temperaturniveau, als die Wärmequelle hat, gepumpt werden; hier die Ansauglufttemperatur.
- Kältemittel Ammoniak, wegen der günstigen thermodynamischen und Umwelteigenschaften.
- Zuluft-Fortluft-Wärmepumpe ohne zwischengeschaltete Kälte-träger-Kreisläufe, wegen der erwünschten hohen Leistungszahl.
- NH₃-Pumpenanlage für eine gleichmäßige Wärmeübertragung im Verdampfer und damit hohe Verdampfungstemperatur.
- Einzelregelung der Kondensator-Wärmetauscherelemente für eine gleichmäßige Wärmeübertragung und damit niedrige Kondensations-temperatur.

2.2. Besondere Erschwernisse

Bisher wurde nach unserem Kenntnisstand noch keine Wärmepumpe der vorgesehenen Bauweise in eine Darre eingebaut. Es wird in einem gewissen Umfang Neuland betreten. Der Einbau in die vorhandene Anlage bedingt zusätzliche Probleme und Risiken, insbesondere:

- die Größe der Wärmepumpe und die Einbindung der Komponenten, vor allem Verdampfer und Kondensator und Aufnahme der hohen Lasten. Als Beispiel: Der Kondensator hat eine luftseitige Anströmfläche von ca. 5 x 25 m und musste hinter dem Glasröhren-Wärmetauscher in das vorhandene Luftführungssystem eingebaut werden. Die zusätzlichen Lasten betragen etwa 10 to.
- Die gleichmäßige luftseitige Beaufschlagung von Kondensator und Verdampfer sind Voraussetzung für das Erreichen der Leistungszahl. Beim Kondensatoreinbau waren Umbauten bei der Luftführung erforderlich. Bei der bisherigen Ausführung wurde eher ungleichmäßig beaufschlagt.
- Im Verdampferbauwerk wurden zuerst keine Luftleitbleche eingebaut. Die Möglichkeit wurde aber offen gehalten, eine Nachrüstung ist möglich, sofern erforderlich. Der Luftaustritt aus dem Verdampferbauwerk musste so gestaltet werden, dass durch den relativ kräftigen Wind in Hamburg der gleichmäßige Luftaustritt nicht beeinträchtigt wird.
- Die Wärmetauscher für Kondensation und Verdampfung mussten während des laufenden Betriebes der Mälzerei eingebracht werden. Im Vorwege wurde das Dach des Wärmetauschergebäudes auf voller Länge geöffnet. Die vorhandenen Wärmetauscher wurden vorübergehend ausgebaut, die gesamte Trägerkonstruktion der Wärmetauscher rückgebaut und eine neue Stahlkonstruktion für die dann drei hintereinander liegenden Wärmetauscherpakete (Glasrohrwärmetauscher, Kondensator der Wärmepumpe, Vorwärmer zur Abfuhr der Abwärme des Blockheizkraftwerkes) eingebaut. Da sich unter der Wärmetauscherkonstruktion ein vertikaler Luftkanal mit 9m Fallhöhe befindet, bedurfte es Stahlbaumonteurern mit Bergsteigererfahrung und –Ausrüstung, um die Komponenten einbringen zu können.
- Von einer Verschmutzung aller eingebrachten Wärmetauscher war auszugehen. Entsprechende Lamellenabstände und Abstände zwischen den Registern, die Installation von Gangways und Leitern wurden vorgesehen, um eine regelmäßige Reinigung mit überschaubarem Aufwand zu ermöglichen
- Die Luft, die den Darrprozess verlässt ist zeitweise aggressiv (sauer). Im Vorwege wurden verschiedene Wärmetauscher-Materialien geprüft und Korrosionsfestigkeits-Dauerversuche mit verschiedenen Wärmetauscher-Ausführungen über mehrere Monate durchgeführt. Dabei wurde eine Lösung gefunden, die von den Investitionskosten, vom Gewicht der Wärmetauscher und der zu erwartenden Langlebigkeit akzeptabel ist.

- Einbringung in den Baubestand: Die jeweiligen Module sollten möglichst in der Nähe ihres Einspeisepunktes lokalisiert werden. Das Blockheizkraftwerk wurde deshalb im Kesselhaus untergebracht. Die beengten Platzverhältnisse dort führten dazu, dass eine Variante mit verkürztem Generator gewählt wurde. Zur Einbringung musste eine Hauswand entfernt werden. Aufgrund der Nähe zu einem Bürogebäude, sowie einer Produktionsanlage mit Erschütterungsempfindlichen Wägezellen, wurde ein Spezialfundament gewählt, das die Übertragung von Körperschall verhindert. Die Wärmepumpe wurde in einem speziell hergerichteten Raum im obersten Stockwerk, unmittelbar neben den Verdampfer- und Kondensator-Wärmetauschern untergebracht.

Abb. 5 Gangway zur Reinigung der Register



Abb. 6 Einbringung der Wärmetauscher

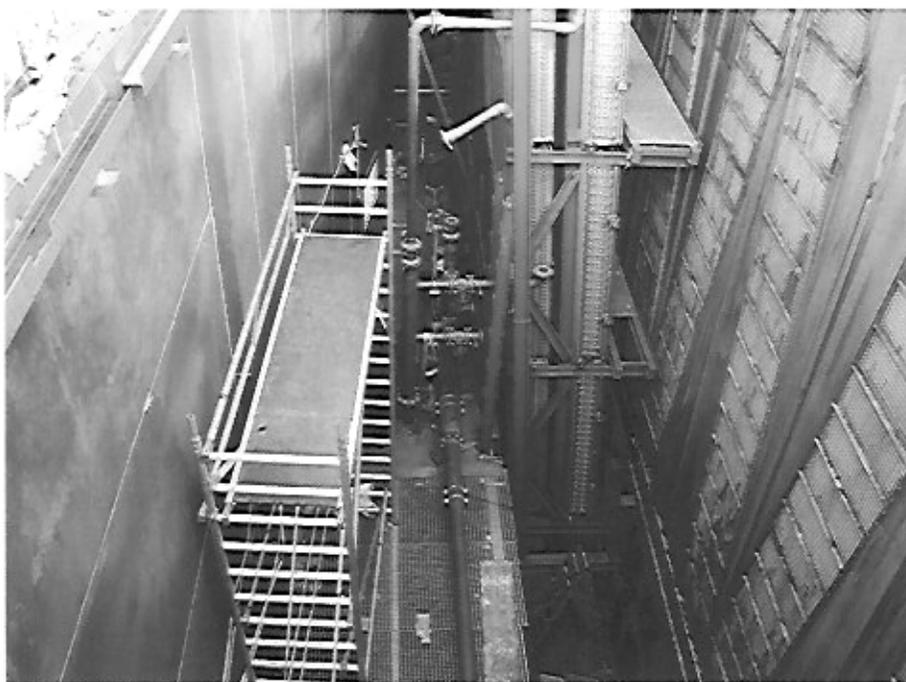
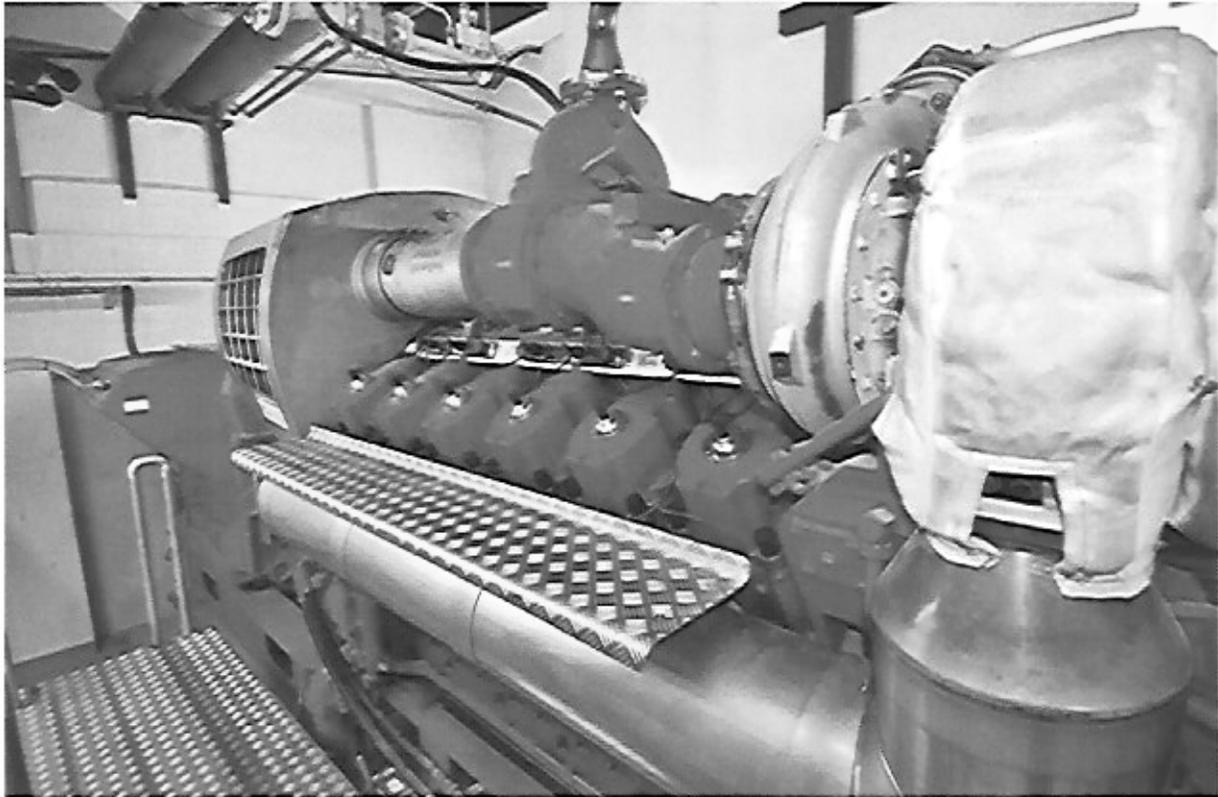


Abb.7 Wärmepumpenraum



Abb. 8 Blockheizkraftwerk



2.3. Sicherheitskonzept

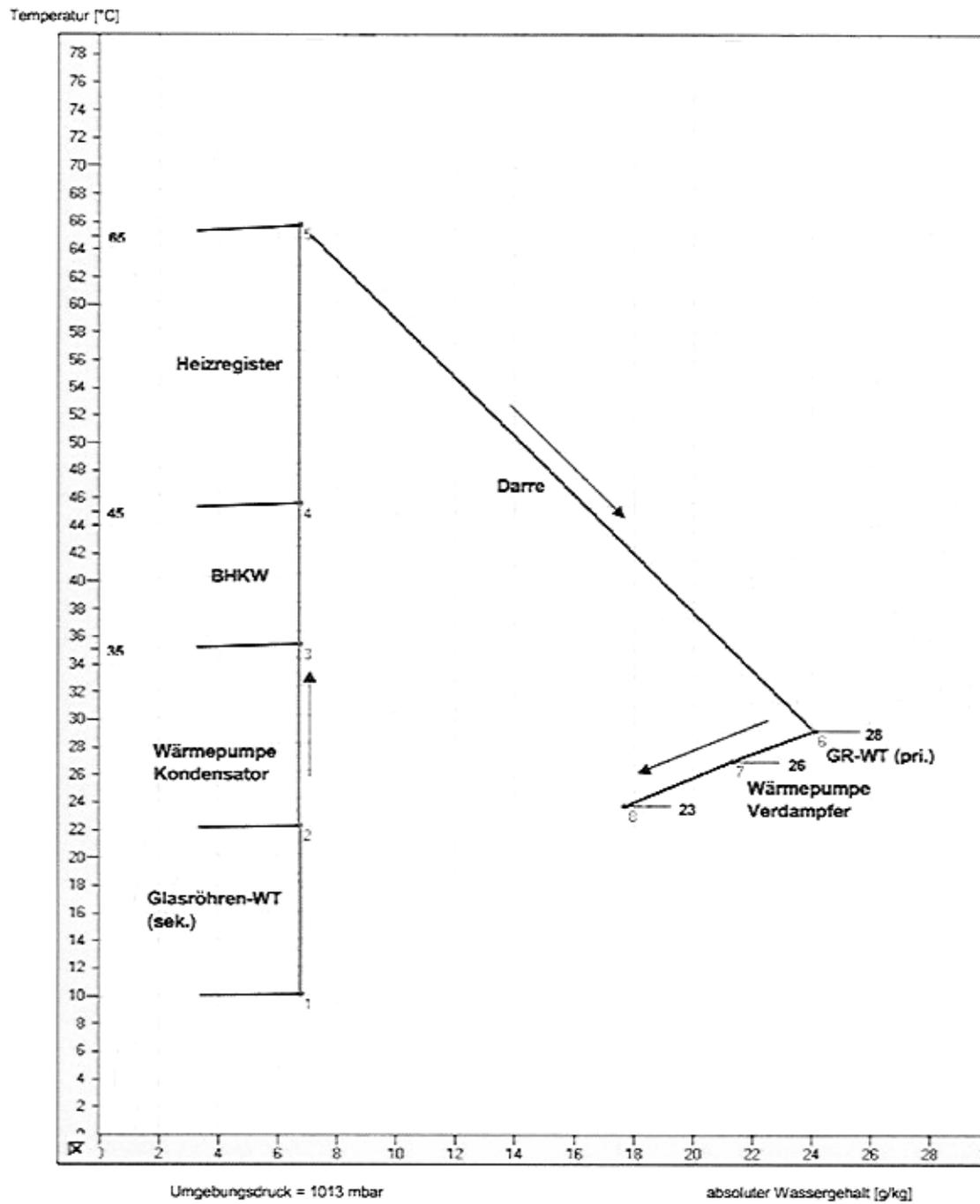
Im Rahmen der Dimensionierung wurde eine Wärmepumpe mit einer Heizleistung von ca. 3,5 MW gewählt. Bei dem gewählten Kompressor handelt es sich um einen Schraubenverdichter. Die Installation von Kolbenverdichtern wurde aufgrund des höheren Wartungsaufwandes während der Planungsphase verworfen. Die Anlage wird als Pumpenanlage ausgeführt, um eine optimale kältemittelseitige Beaufschlagung im Verdampfer zu gewährleisten. Aus gleichem Grund wird jedes Kondensatorelement mit einem Hochdruckschwimmer versehen. Lufttechnisch ist dem Kondensatorelement im Prozess ein indirekter Gaserhitzer mit Oberflächentemperaturen von mehr als 650 °C nachgeschaltet. Da Ammoniak in bestimmten Mischungsverhältnissen mit Luft explosiv ist, galt es ein Sicherheitskonzept zu entwickeln, das selbst bei einer massiven Ammoniakleckage eine Explosion zu verhindern vermag. Es gelang mit Hilfe entsprechender Detektionssysteme und Schnellschlussventilen an jedem Kondensatorregister die Austrittsmenge in einem Havariefall so gering zu halten, dass kein explosionsfähiges Gemisch entstehen kann. Dies wurde mit einem sicherheitstechnischen Gutachten belegt.

2.4 Thermodynamische Verhältnisse

Die thermodynamischen Verhältnisse der Anlagenkombination sind beispielhaft im folgenden H-X-Diagramm dargestellt:

Die Erwärmung der angesaugten Frischluft erfolgt in den Schritten 1-5, die Abkühlung der warmen Luft in den Schritten 5-8. Der ersten Erwärmung der Zuluft im Glasrohrwärmetauscher (1-2) steht die Abkühlung (6-7) entgegen. Die zweite Stufe der Erwärmung erfolgt im Kondensator der Wärmepumpe (2-3). Die Energie hierfür stammt aus dem Verdampfer (7-8). Die Schritte 6-8 laufen entlang der Kondensationslinie. Hier wird der Grossteil der Energie durch Kondensation von Wasser zurückgewonnen. Sehr gut zu erkennen ist, dass der Erwärmung der Ansaugluft im Kondensator der Wärmepumpe um mindestens 15 K lediglich eine Abkühlung der Ausblasluft im Verdampfer von 3 K entgegen steht. Der geringe, von der Wärmepumpe zu überwindende Temperaturunterschied ist eine Voraussetzung für das Erreichen von hohen Leistungszahlen. Die weitere Erwärmung der Frischluft erfolgt in den Schritten 3-5 durch die Verwendung der BHKW-Abwärme und einer nachgeschalteten indirekten Gasfeuerung. Die Trocknung des Grünmalzes auf der Darre ist mit Schritt 5-6 dargestellt

Abb. 9 Prozessdarstellung im H-X-Diagramm



3. Messtechnische Evaluierung:

Von Seiten der Kälteanlagenbauer wurden während der Projektierungsphase Leistungszahlen für die Wärmepumpe von 7-10 errechnet. Projektziel war es, im Jahresmittel eine Leistungszahl von 6 zu erreichen. Im Vergleich zu anderen Anwendungen für Wärmepumpen, z.B. zu Raumheizungen oder Kühl-schränken, liegt dieser Wert bereits auf einem sehr hohen Niveau. Eine der Voraussetzungen für die Förderung dieses Projekt durch die DBU war die messtechnische Evaluierung der tatsächlich erzielten Energieeinsparung. Im Rahmen der Projektierung wurden verschiedene Möglichkeiten zur Ermittlung der transportierten Wärmemengen geprüft. Die Wahl fiel dabei auf die direkte Messung des Ammoniakstromes und der Errechnung der transportierten Wärmemengen anhand der physikalischen Parameter Druck und Temperatur im Kältekreislauf. Eine zuerst eingebaute Flüssigkeitsmessung erwies sich als nicht ausreichend genau, da im Flüssigkeitsstrom immer wieder Gasblasen auftreten, die das Messergebnis erheblich verfälschen. Es wurde daher eine induktive Messeinrichtung für den NH_3 -Massestrom in der Gasphase installiert. Die Messeinrichtung misst die Gasgeschwindigkeit im Rohr zwischen Wärmepumpe und Verdampfer. Die angeschlossene Auswerteeinheit errechnet aus der Temperatur des Ammoniakgases und des Gasdruckes im Rohr (beide Größen werden ebenfalls gemessen) den Massenstrom im Rohr. Eine spezielle Computersoftware errechnet aus dem Massenstrom im Rohr, den Randparametern der Wärmepumpe (Kondensationstemperatur und Druck, Verdampfungstemperatur und Druck) sowie der elektrischen Leistungsaufnahme des Antriebsmotors der Wärmepumpe die aktuelle Leistungszahl der Anlage. Ferner zeichnet der Computer die Daten der Anlage auf und ermittelt die durchschnittliche Leistungszahl über die Zeit.

Den Applikationsbericht der Messeinrichtung zeigt Abbildung 10.

Abb.10 Applikationsbericht zur Mengenummessung von Ammoniak

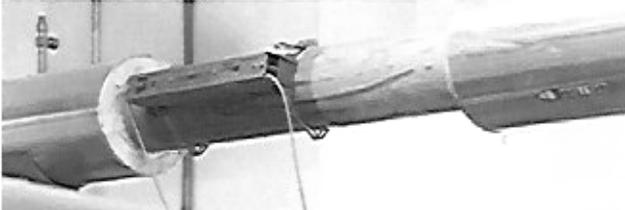
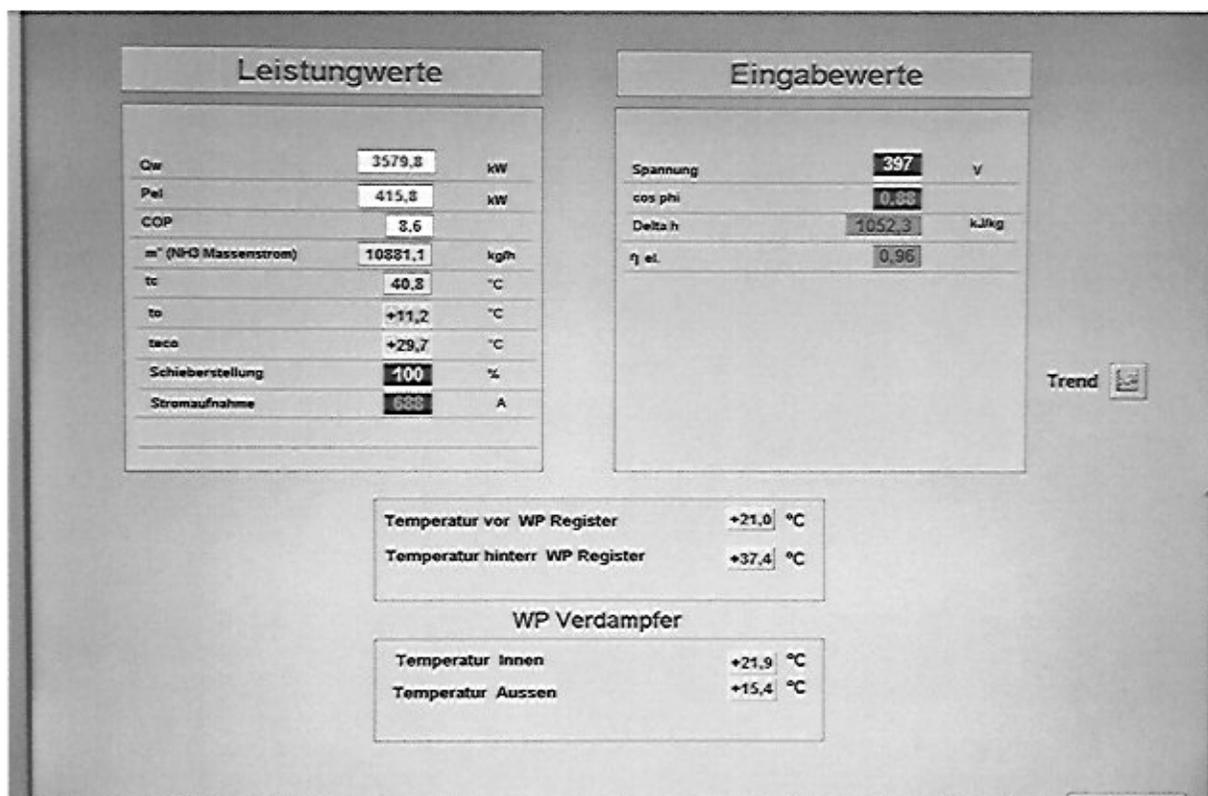
	<h2 style="text-align: center;">Applikationsbericht</h2>
<h3>Messaufgabe</h3> <p>Durchflussmessung von gasförmigem Ammoniak in einer Wärmepumpe Medium: Ammoniakgas Rohrleitung: DN150, Stahl Temperatur: - 80 °C Druck: 10 bis 35 bar</p> <p>Eingesetztes Gerät FLUXUS[®] G704 mit Clamp-On-Ultraschallsensoren Typ GRK1N52</p> <p>Vorteile</p> <ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässige eingriffsfreie Durchflussmessung • Kein Leckagerisiko • Effektive Prozessüberwachung <p>Kaufargumente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kein Verschleiß der außen auf dem Rohr aufgespannten Ultraschallsensoren • Keine durch die Druckstufe bedingten Mehrkosten • Kein Druckverlust, keine Beeinträchtigung der Energieeffizienz der Anlage • Elegante eingriffsfreie Erfassung der Leistungszahl (Coefficient of Performance – COP) der Wärmepumpe 	<h3>Durchflussmessung von gasförmigem Ammoniak</h3> <p>Kunde</p>  <p>Tivoli Malz GmbH, Hamburg</p> <p>Die Tivoli Malz GmbH gehört zur GlobalMalt-Gruppe. GlobalMalt ist eine der führenden Mälzereigruppen Deutschlands und der Welt. In sechs Werken in Deutschland und einem Werk in Polen produziert GlobalMalt rund 400.000 Tonnen Braumalz pro Jahr. Fast die Hälfte der Produktion wird an Brauereien in mehr als 70 Ländern der Erde exportiert.</p> <p>Das Werk in Hamburg ist das größte Werk der Gruppe. Jährlich werden hier bis zu 105.000 t Pilsener Malz hergestellt. Neben der Belieferung von Kunden in Norddeutschland, wird das Malz auch per LKW in die skandinavischen Länder und per Container in alle Welt exportiert. Die günstige Logistik in der Nähe eines der größten Containerterminals Europas macht den Standort Hamburg ideal für den Export.</p> <p>Die verarbeitete Braugerste kommt überwiegend aus Norddeutschland und Dänemark. In schwierigen Erntejahren kann aber auch Ware aus der ganzen Welt verarbeitet werden.</p>
<h3>Beschreibung</h3> <p>Weichen, Keimen, Darren heißen die Prozessschritte in einer Mälzerei: Zunächst wird die angelieferte Braugerste in Wasser eingeweicht, bis der Wassergehalt auf ca. 43% angestiegen ist. In Keimkästen wird die eingeweichte Gerste während 4 - 7 Tagen zur Keimung gebracht; es entsteht das sogenannte Grünmalz. Gestoppt wird der Keimprozess durch Trocknung, dem Darren. Dabei wird dem Grünmalz seine Feuchtigkeit entzogen. Für die Herstellung von 1 t Braumalz müssen also in relativ kurzer Zeit etwa 750 kg Wasser verdampft werden. Mälzen ist ein enorm energieintensiver Prozess.</p> <p>Energierückgewinnung ist daher oberstes Gebot. Moderne Mälzereien setzen Wärmetauscher ein. Kühlt man die feuchte Abluft der Darre, so dass ein Teil der Feuchtigkeit kondensiert, kann die Kondensationsenthalpie neuerlich zur Erwärmung von Luft genutzt werden. Bei Tivoli Malz geht man noch weiter. Im Jahr 2010 wurde eine Wärmepumpe zur weiteren Rückgewinnung von Energie aus dem Trocknungsprozess errichtet. Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 3250 kW bei Auslegungsbedingungen und ist damit eine der größten in Deutschland betriebenen Wärmepumpen. Als Kältemittel wurde Ammoniak gewählt.</p>  <p>Die Effizienz der Wärmepumpe zeigt sich, wenn man die von ihr transportierte Energie ins Verhältnis zu dem für ihren Betrieb aufgewendeten elektrischen Strom setzt. Dazu muss natürlich der Durchfluss des Kältemittels gemessen werden. Als elegante und entsprechend dem Verwendungszweck energieeffizienteste Methode erweist sich die eingriffsfreie Durchflussmessung mit FLUXUS[®]. Nachdem Versuchsmessungen gezeigt hatten, dass es besser ist, auf der Gasseite der Wärmepumpe zu messen, entschied man sich für die Installation eines Ultraschallmesssystems FLUXUS[®] G704 zur eingriffsfreien Durchflussmessung von Gasen. Als Messgröße wurde der Massefluss gewählt, der sich aus den gemessenen Werten für Volumendurchfluss, Druck und Temperatur ergibt. Im zentralen Prozessleitsystem geschieht die Umrechnung auf aktuelle Wärmeleistung. Die Messungen belegen die hervorragende Effizienz der Wärmepumpe, die Leistungszahlen > 6 aufweist: Dem Verbrauch von 1 kWh elektrischen Stroms stehen also die Gewinnung von > 6 kWh Wärme gegenüber.</p>	 <p style="font-size: small;">Photo: GlobalMalt</p> <p>Für nähere Informationen wenden Sie sich bitte an FLEXIM:</p> <p>Tel.: +49 (30) 93 66 76 60 Fax: +49 (30) 93 66 76 80</p> <p>info@flexim.de www.flexim.de</p>
<p style="font-size: x-small;">FLUXUS[®], WaveInector[®] und Piox[®] sind geschützte Warenzeichen der FLEXIM GmbH. Weitergabe nur mit Genehmigung der FLEXIM GmbH. Das Urheberrecht dieses Berichtes, einzelner Textpassagen, Inhalte oder Bildern liegt bei FLEXIM oder deren Inhabern. Alle Rechte vorbehalten. Der Applikationsbericht gibt keine Aussage über die Eignung von Verfahren wieder und soll ausschließlich zur allgemeinen Information dienen.</p> <p style="text-align: right; font-size: x-small;">AR-201017-Global_Malt-DE</p>	

Abb. 11 Screenshot der Messauswertung der Wärmepumpe



4. Wirtschaftlichkeitsrechnung vor Durchführung der Investition:

Die nachfolgende Betriebskostenvergleichsrechnung wurde im Rahmen der Beantragung des Förderantrages entwickelt und wird hier zum Zweck einer Gegenüberstellung mit den erreichten Werten aufgeführt. Der „return on investment“ in Jahren liegt in einem Bereich, der üblicherweise in der Industrie für eine Investitionsentscheidung nicht kurz genug ist. Bei den angegebenen Zahlen ist darüberhinaus zu berücksichtigen, dass die KWK-Vergütung lediglich für einen limitierten Zeitraum gezahlt wird. Der Förderantrag hatte u.a. den Sinn, die Amortisationszeit zu verkürzen. Die parallel mitgeprüfte Variante einer Braunkohlenfeuerung hatte eine geringere Amortisationsdauer als das hier beschriebene Konzept.

Abb. 12 Betriebskostenvergleich

Tivoli Malz GmbH

Betriebskostenvergleich aktuell und zukünftig mit BHKW + WP

Aktuelle Energiekosten			
Erdgas vom GUV	35 €/MWh	80.000 MWh/a	2.800.000 €/a
Strom vom GUV	95 €/MWh	16.000 MWh/a	1.520.000 €/a
Summe Energiekosten			4.320.000 €/a

Investitionskosten:	
Wärmepumpe:	1.820.000 €
BHKW	2.114.000 €
Summe Investition:	3.934.000 €
KWK-Förderung (85%)	857.000 €
Summe nach Abzug KWK-Förderung	3.077.000 €

Unterhalts-Mehrkosten			
WP	4 €/MWh	21.000 MWh/a	84.000 €
Zinsen			216.370 €
BHKW	10 €/MWh	15.200 MWh/a	152.000 €
Summe Unterhaltskosten			452.370 €

Energiekosten WP+BHKW			
Erdgas vom GUV	35 €/MWh	78.600 MWh/a	2.751.000 €/a
Strom vom GUV	125 €/MWh	4.300 MWh/a	537.500 €/a
Summe Energiekosten			3.288.500 €/a

Einsparung	579.130 €/a
-------------------	--------------------

Rückflusszeit Investition: 5,31 a

5. Ergebnisse und Diskussion:

Das Projekt wurde im Frühjahr 2010 realisiert. Bei der Realisierung kam es zu keinerlei zeitlichen Verzögerungen. Das Investitionsbudget wurde eingehalten. Es liegen mittlerweile Daten aus über einem Jahr Dauerbetrieb vor, die nachfolgend dargestellt und diskutiert werden.

Blockheizkraftwerk:

Der Betrachtungszeitraum für die Ergebnisse des Blockheizkraftwerkes erstreckt sich vom Juni 2010 bis zum Mai 2011. Innerhalb dieses Jahres lief das BHKW 8.152h und erzeugte während dieser Zeit 16.178 MWh Strom. Aus dem Verhältnis dieser beiden Zahlen ist ersichtlich, dass es sich bei den Betriebsstunden fast ausschließlich um Vollaststunden handelte. Damit lag auch die erzielte KWK-Förderung höher als prognostiziert. In nachfolgender Abbildung 13 sind die Betriebsdaten des ersten Betriebsjahres des BHKW aufgezeigt.

Abb. 13 Betriebsdaten Blockheizkraftwerk

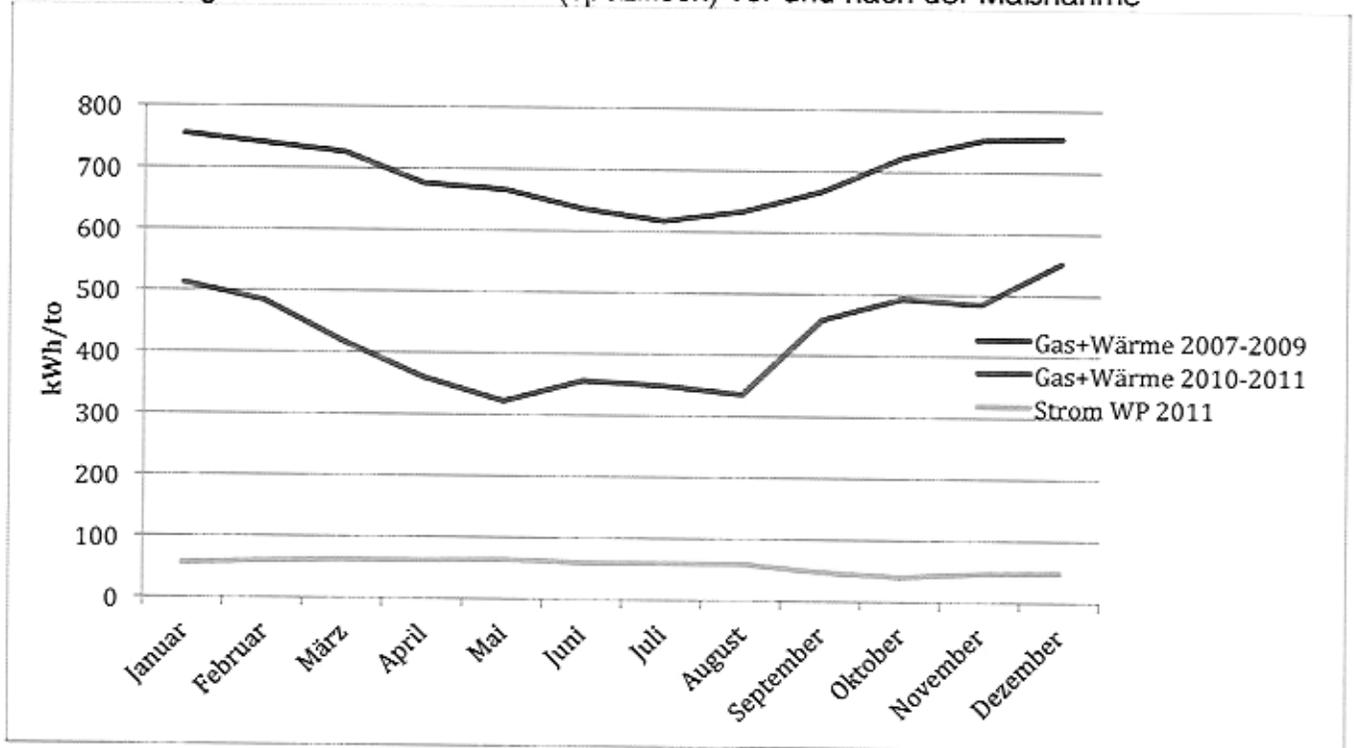
Mess	Jun 10	Jul 10	Aug 10	Sep 10	Okt 10	Nov 10	Dez 10	Jan 11	Feb 11	Mär 11	Apr 11	Mai 11	Juni 2010	Mai 2011
Einheit														
BHKW														
Erzeugter Wirkstrom	MWh	1565	1369	1399	1362	1432	1384	1451	1253	1143	1292	1237	1293	16178
Wärmeerzeugung	MWh	1527	1454	1505	1466	1526	1537	1546	1362	1291	1432	1392	1461	17500
Erdgaseinsatz	MWh/Ho	3798	3541	3591	3464	3661	3698	3776	3248	3026	3312	3203	3329	41647
umgerechnet auf Hu	MWh/Hu	3419	3187	3232	3118	3295	3328	3398	2923	2723	2981	2883	2996	37482
elektrischer Wirk.Grad	%	45,8	42,9	43,3	43,7	43,4	41,6	42,7	42,9	42,0	43,3	42,9	43,1	43,2
thermischer Wirk.Grad	%	44,7	45,6	46,6	47,0	46,3	46,2	45,5	46,6	47,4	48,0	48,3	48,8	46,7
Gesamtnutzungsgrad	%	90,4	88,6	89,9	90,7	89,8	87,8	88,2	89,5	89,4	91,4	91,2	91,9	89,9
Betriebsstunden	Bh	681	706	707	678	725	702	730	664	633	658	634	634	8152

Wärmepumpe:

Welchen Effekt die Wärmerückgewinnung der Wärmepumpe auf den spezifischen Energieverbrauch pro Tonne hergestelltem Malz hat, ist in nachfolgender Abbildung 14 dargestellt. Hier sind der Durchschnittswärmeverbrauch als Gasverbrauch der letzten drei Jahre vor der Maßnahme in der blauen Kurve, sowie der Verbrauch im ersten Jahr nach Durchführung der Maßnahme (Gasverbrauch + Wärmelieferung des BHKW) in der roten Kurve dargestellt. Generell schwanken die Verbräuche bei der Trocknung von Grünmalz in Abhängigkeit von der Jahreszeit (Verbrauch ist im Winter höher). Der Einsparung im Gasbezug (Differenz zwischen blauer und roter Kurve) steht der Mehraufwand für den Betrieb der Wärmepumpe in Form des Antriebsstromes (grüne Kurve) entgegen. Da der Strom für die Wärmepumpe im Blockheizkraftwerk selbst hergestellt wird, ergibt sich die

Einsparung näherungsweise aus der Differenz der blauen zu den addierten roten und grünen Linien. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich bei dem dargestellten Jahr nach der Maßnahme um das zweite Halbjahr 2010 und das erste Halbjahr 2011 handelt. Witterungs- und Produktionstechnische Einflüsse auf den Energieverbrauch sind bei dieser Betrachtung nicht berücksichtigt. Sie hat deshalb lediglich qualitativen Charakter.

Abb. 14 Energieverbrauch der Darren (spezifisch) vor und nach der Maßnahme



Eine quantitative Betrachtung der durch die Wärmepumpe erzielten Einsparungen zeigt Abbildung 15. Aus den Jahresaufzeichnungen des an die Wärmepumpe angeschlossenen Computers ergibt sich eine durchschnittliche Leistungszahl über den gesamten Zeitraum. Es sei darauf hingewiesen, dass bei dieser Betrachtung sämtliche Stillstandszeiten der Wärmepumpe nicht herausgerechnet wurden. Bei einer nur auf die Anlagenlaufzeit berechneten Leistungszahl wäre diese höher. Die durch die Wärmepumpe dem Prozess zugeführte Wärme errechnet sich aus dem Jahresstromverbrauch der Wärmepumpe multipliziert mit der durchschnittlichen Leistungszahl (COP). Diese betrug im Betrachtungsjahr (September 2010- August 2011) 6,3 woraus sich eine Gesamtwärme die dem Prozess zur Verfügung gestellt wurde von etwa 24.500 MWh/a ergibt. Subtrahiert man von dieser Summe die für den Betrieb der Wärmepumpe notwendige Strommenge (die dem Prozess auch als Wärme zugeführt wird), ergibt sich die der Fortluft entzogene und dem Prozess auf einem höheren Temperaturniveau wieder zur Verfügung gestellte (gepumpte) Wärmemenge von etwa 20.700 MWh/a.

Abb.15 Quantitative Betrachtung der erzielten Einsparungen durch Einsatz der Wärmepumpe

	WP Strom 2010 (kWh)	WP Strom 2011 (kWh)
Januar		311366
Februar		294999
März		358173
April		344963
Mai		369309
Juni		331419
Juli		349835
August		349958
September	262031	
Oktober	291038	
November	307471	
Dezember	311860	
	Summe Strom (kWh)	3882422
	COP	6,322
	Summe Wärme (kWh)	24544671,88
	transportierte Wärme (kWh)	20662249,88

Diskussion und Wirtschaftliche Betrachtung:

Nach einem komplexen Prozess der Wärmeeinbindung des Blockheizkraftwerkes in die Wärmeversorgung der Mälzerei lief das Blockheizkraftwerk zuverlässig bei vollständiger Einspeisung der erzeugten Wärme in den Mälzungsprozess. Die prognostizierte Stromerzeugung des Blockheizkraftwerkes lag leicht über der prognostizierten Zahl von 16.000 MWh/a, was ausschliesslich in den mit 8.152 h/a sehr hohen Jahresbenutzungsstunden begründet war. Die vom BHKW dem Betrieb zur Verfügung gestellte Wärme war im Betrachtungszeitraum allerdings 2.500 MWh geringer als angenommen. Dies hängt in erster Linie mit dem hohen gesamtenergetischen Wirkungsgrad des Kraftwerkes zusammen und ist unschädlich, da auch der Gasverbrauch des Blockheizkraftwerkes proportional geringer als angenommen war.

Die von der Wärmepumpe dem Betrieb zur Verfügung gestellte Wärme war mit 24.500 MWh/a, 3.500 MWh/a höher als angenommen, was an dem höher als erwarteten COP-Wert des gesamten Jahres liegt. Allerdings ist auch der Stromverbrauch der Anlage etwas höher. Insgesamt werden die Planzahlen aber übertroffen. Der betrachtete Betriebszeitraum war dabei noch nicht optimal, da die Malzfabrik nicht mit voller Kapazitätsauslastung betrieben wurde. Es ist davon auszugehen, dass die Wärmerückgewinnung der Wärmepumpe bei Vollaustattung der Mälzerei noch ansteigt, da bei höheren Luftmengen der COP deutlich ansteigt. Jahresdurchschnittswerte von um die 7 erscheinen nach den bisherigen Erfahrungen realisierbar zu sein.

Bezüglich der Wirtschaftlichkeit des Projektes gab es im ersten Jahr des Betriebes sowohl Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit verbesserten, als auch solche, die die Wirtschaftlichkeit verschlechterten. Dämpfend auf die Wirtschaftlichkeit wirkten sich die gegenüber der in Abbildung 12 prognostizierten Energiepreise deutlich gesunkenen Einkaufspreise für Gas und Strom. Diese gaben gegenüber der Prognose um etwa 20% nach. Die Größenordnung in der sich eine solche Veränderung auswirkt zeigt Abbildung 3. Positiv auf die Wirtschaftlichkeit wirkte sich vor allem die Erhöhung der EEG-Abgabe von etwa 2,0 auf 3,5 Cent/kWh aus, wodurch die Summe der vermiedenen EEG-Abgabe aufgrund der Eigenerzeugung von Strom deutlich anstieg. Weiterhin war der Aufwand für den noch zu kaufenden Strom geringer als prognostiziert, die erzielte KWK-Zulage aufgrund des hohen Vollaststundenanteils hoch und die Einspeisevergütung für ins Netz eingespeisten Strom ebenfalls höher als erwartet. In Summe wirken die Faktoren dahingehend ausgleichend, als dass sich verbessernde und verschlechternde Faktoren in etwa die Waage halten.

6. Öffentlichkeitsarbeit:

Das Projekt wurde in mehreren Fachvorträgen einem breiten Publikum vorgestellt (Brauerstenseminar der VLB-Oktoberagung, DBMB-Veranstaltung). Es gab mehrere Betriebsbesichtigungen für interessierte Kältebauer und Branchenvertreter der Malzindustrie auch aus dem Ausland. Desweiteren wurde eine Veröffentlichung für eine Fachzeitschrift geschrieben und in deutscher und englischer Sprache veröffentlicht (Brauwelt, Brauwelt international). Eine spanische Veröffentlichung folgt in Kürze. Darüberhinaus gab es zwei Fernsehberichte des Norddeutschen Rundfunks, in denen das Projekt vorgestellt wurde.

7. Fazit:

Durch die Maßnahme konnte der Wärmeverbrauch der zur Globalmalt-Gruppe gehörenden Tivoli-Malz GmbH deutlich gesenkt werden. In Verbindung mit der Eigenerzeugung von Strom konnte der Strombezug der Mälzerei bei etwa identischem Gasverbrauch fast komplett durch Eigenerzeugung substituiert werden. Die jährliche Einsparung entspricht dem Jahresverbrauch von 3.000 Einfamilienhäusern. Die Förderung des Projektes hat die Realisierung dieses Projektes ermöglicht. Eine Umsetzung dieses Projektes ist prinzipiell auf die gesamte Malzindustrie übertragbar. Bei einzelnen Trocknungsanlagen ist die Wirtschaftlichkeit allerdings aufgrund der sehr viel geringeren Vollbenutzungsstunden fraglich.

Anlagen:

A1: Tabellen zur Ermittlung des Jahresdurchschnitts-COP

A2: Veröffentlichung Brauwelt

Verbesserung der Energieeffizienz in der Mälzerei

UMWELTFREUNDLICH | Die Herstellung von Braumalz ist ein energieintensiver Prozess. Der überwiegende Teil der aufgewendeten Energie bei der Malzherstellung wird zum Trocknen des gekeimten Grünmalzes benötigt. Der nachfolgende Artikel beschreibt die Möglichkeit der Energieeinsparung durch den kombinierten Einsatz eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) und einer Wärmepumpe.

BEIM TROCKNEN VON GEKEIMTEM GRÜNMALZ müssen in relativ kurzer Zeit große Mengen Wasser ausgedampft werden. In Zeiten vor der ersten Energiekrise wurde Malz üblicherweise auf Einhorndarrern ohne Wärmerückgewinnung getrocknet. Mit zunehmendem Energiebewusstsein fanden Wärmetauscher zur Energierückgewinnung in Mälzereien Einzug. Diese meist aus Glas gefertigten Wärmetauscher kühlen die feuchte Abluft des ersten Prozessschritts beim Trocknen von Grünmalz, dem so genannten Schwelken so weit herunter, dass ein Teil der Feuchtigkeit aus der Abluft kondensiert. Der überwiegende Teil der Energierückgewinnung ergibt sich aus der Kondensationsenthalpie des kondensierten Wassers. Derartige Wärmetauscher sind in der Lage, die angesaugte Luft auf annähernd die Temperatur der aus der Darre austretenden Luft zu erwärmen.

Eine weitere Maßnahme zur Energieeinsparung ist das luftseitige Verschalten zweier oder mehr Trocknungsanlagen. Dabei ist immer eine Darre im Schwelkzustand und eine im zweiten Prozessschritt, dem Darren. Die sehr warme und trockene Abluft der Darre wird dabei auf die Schwelkdarre geleitet. In Verbindung mit dem Einsatz von Glasrohrwärmetauschern lässt sich der Energieeinsatz gegenüber einer Einhor-

dendarre etwa halbieren. Der überwiegende Teil der eingesetzten Energie verlässt den Prozess in Form von mit Feuchtigkeit gesättigter Luft mit einer Temperatur von 20 bis 30°C. Wenn, wie es Stand der Technik ist, die angesaugte Frischluft annähernd die Temperatur der Austrittsluft hat, ist mit konventioneller Technik das Maximale erreicht.

Aufgabenstellung

Die zur GlobalMalt-Gruppe gehörende Tivoli-Malz GmbH in Hamburg stellt bis zu 105 000 t Pilsener Malz im Jahr her. Ziel war es, für die in der Stadt liegende Mälzerei ein neues umweltfreundliches Energiekonzept zu entwickeln. Als Ergebnis der energie-

wirtschaftlichen Betrachtung wurde das im Folgenden beschriebene Konzept entschieden und umgesetzt. Die Anlage ist seit dem Frühjahr 2010 erfolgreich in Betrieb.

Konzeptioneller Ansatz

Der GlobalMalt-Betrieb in Hamburg verfügt über eine so genannte Zweihordendarre im Dauerbetrieb. Dies bedeutet, dass während des gesamten Jahres mit Feuchtigkeit gesättigte Schwelkablufte zur Wärmerückgewinnung zur Verfügung steht. Diese Luft schwankt nur geringfügig in Bezug auf Menge und Temperatur. Das gesetzte Ziel war, durch die Installation einer Wärmepumpe die Schwelkablufte weiter herunterzukühlen, Feuchtigkeit auszukondensieren und mit der gewonnenen Kondensationsenthalpie die Ansaugluft zu erwärmen. Dabei reicht eine Abkühlung der Ablufte von 2 bis 3°C aus, um die angesaugte Luft um bis zu 20°C zu erwärmen. Aufgrund der geringen Temperaturdifferenzen, die dabei überwunden werden müssen, war eine sehr hohe Effizienz der Wärmepumpe zu erwarten. Das Maß dafür ist die so genannte Leistungszahl, der Quotient aus der gesamten von der Wärmepumpe transportierten und der für

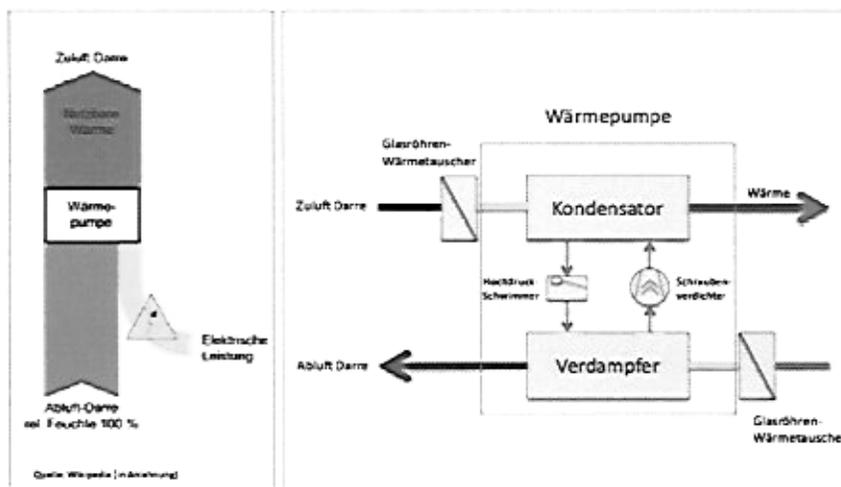


Abb. 1 Prinzip und Schaubild der Wärmepumpe

Autor: Dr.-Ing. Dietrich Mönch, Global Malt GmbH & Co. KG, Hamburg

den Betrieb der Wärmepumpe eingesetzten Energie, in diesem Fall Strom. Mit der Wärmepumpenanlage sollen 25 Prozent des Erdgaseinsatzes substituiert werden. Dem steht ein erhöhter Strombedarf gegenüber. Parallel zur Installation der Wärmepumpe sollte ein Blockheizkraftwerk installiert werden, das annähernd den gesamten Strombedarf der Mälzerei, inklusive dem der Wärmepumpe, produziert. Durch die vollständige Verwendung der Abwärme des BHKW wird gegenüber einer konventionellen Stromherstellung im Kraftwerk des Stromlieferanten und Wärmeverbrauch in der Mälzerei durch indirekte Feuerung circa ein Drittel des Primärenergieaufwandes eingespart.

Die Anlage besteht im Wesentlichen aus zwei Hauptkomponenten:

- Wärmepumpe mit Elektroantrieb zur weitergehenden Wärmerückgewinnung aus der Fortluft hinter dem Glasrohrwärmetauscher und Vorerwärmung der Zuluft im Darrprozess (Abb. 1);
- Blockheizkraftwerk zur Eigenstromerzeugung des kompletten Strombedarfs der Malzfabrik inklusive des von der Wärmepumpe verbrauchten Stroms.

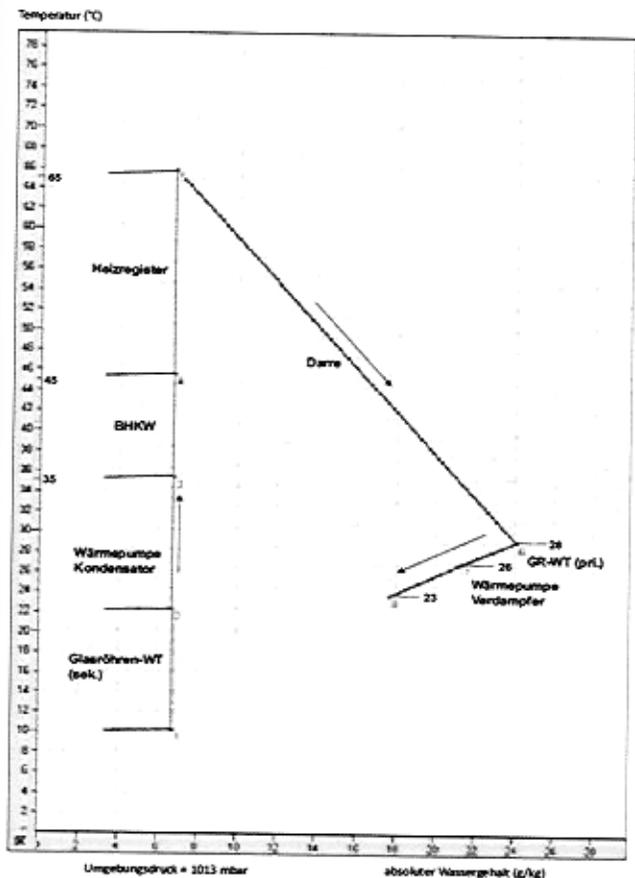
Die Wärmepumpe hat eine Heizleistung von 3250 kW bei Auslegungsbedingungen und ist damit eine der größten Wärmepumpen, die in Deutschland in Betrieb ist. Als Kältemittel wurde NH₃ gewählt, vor allem aufgrund seiner thermodynamischen Eigenschaften, die eine hohe Leistungszahl ermöglichen, und wegen seiner sehr guten Umwelteigenschaften.

Das BHKW besteht aus einem mit Erdgas betriebenen Kolbenmotor-Modul mit einer elektrischen Leistung von 2000 kW. Aufgrund des kontinuierlichen Betriebs der Mälzerei ist das Kraftwerk praktisch durchgehend in Betrieb. Die Abwärme des Motors wird vollständig in der Produktion genutzt. Abnahmeschwankungen werden durch einen Heißwasserspeicher abgepuffert. Er erlaubt den Betrieb des Kraftwerks über einen Zeitraum von 2,5 h, auch wenn keine Wärme abgenommen wird.

Technische Voraussetzungen und technische Umsetzung

Eine wesentliche Voraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb der beiden Anlagen ist eine möglichst unterbrechungsfreie Wärmeabnahme durch den Mälzereibetrieb. Dadurch sind hohe Jahresbenut-

Abb. 2
Thermodynamische Darstellung der Einbindung von Wärmepumpe und BHKW in den Trocknungsprozess



zungsstunden sichergestellt. Des Weiteren sind ausreichend dimensionierte Luftkanäle zur Unterbringung der Wärmetauscher notwendig. Beide Voraussetzungen waren in dem GlobalMalt-Betrieb in Hamburg erfüllt. Der Verdampfer der Wärmepumpe ist auf der Ausblasseite des Glasrohrwärmetauschers angeordnet. Die Gesamtfläche des Verdampfers beträgt 13 500 m². In ihm kondensieren stündlich über 3000 l Wasser, was eine Anordnung voraussetzt, die dieses Wasser abfließen lässt, ohne die Luftleistung zu mindern. Die Wärmetauscher wurden korrosionsfest ausgeführt. Die Korrosionsfestigkeit verschiedener Ausführungsalternativen wurde in der Praxis vorab getestet. Der Wärmetauscher des Kondensators der Wärmepumpe ist ansaugseitig unmittelbar nach dem Glasrohrwärmetauscher lokalisiert. Er erwärmt die angesaugte Frischluft um bis zu 20 K (Abb. 2). Aufgrund der im Luftstrom nachgeschalteten indirekten Feuerungsanlage mit hohen Oberflächentemperaturen war ein besonderes Sicherheitssystem notwendig, das bei einem eventuellen Ammoniakaustritt eine Explosion

des Ammoniak-Luft-Gemisches verhindert.

Beim BHKW stellte die wärmetechnische Einbindung in den Mälzereibetrieb die eigentliche Herausforderung dar. Es fand ein kaskadiertes System mit zwei Wärmetauschern Anwendung, das einerseits hohe Lufttemperaturen zur Verwendung in der abdarrenden Darre bereitstellt, andererseits aber das Kühlwasser des BHKW weit genug herunterkühlt, um einen effizienten Betrieb des Motors zu gewährleisten. Dazu wurde einer der Wärmetauscher hinter den der Wärmepumpe installiert. Dieser Wärmetauscher zur Schwellkluftanwärmung ist so dimensioniert, dass die Abwärme des BHKW vollständig abgefahren werden kann.

Die Jahresenergiebilanz der beiden Anlagenteile wird wie folgt prognostiziert:

- Wärmepumpe:
 - Betriebszeit: 6000 Volllaststunden/a
 - Strombedarf: 3 500 MWh/a
 - Wärmeerzeugung: 21 000 MWh/a
 - Leistungszahl: > 6;
- BHKW:
 - Betriebszeit: > 8000 Volllaststunden/a

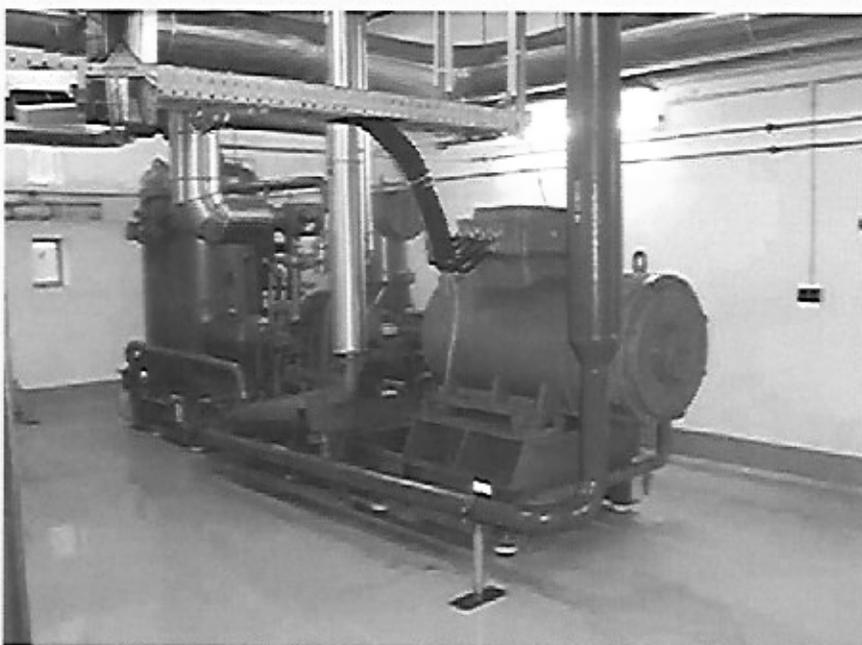


Abb. 3 Wärmepumpe im Maschinenraum

- Stromerzeugung: 16 000 MWh/a
- Wärmeerzeugung: 20 000 MWh/a
- Brennstoffbedarf: 45 000 MWh/a (Ho).

Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage ergibt sich allein aufgrund der vergleichsweise hohen Heizzahlen, die unter günstigen Bedingungen bei über sieben kWh Wärmeausbeute pro eingesetzter kWh Elektroenergie liegen. Maßgebend für die Wirtschaftlichkeit einer derartigen Anlage ist das Verhältnis zwischen Strompreisen und Gaspreisen, da die Wärmepumpenanlage Gasverbrauch unter Einsatz elektrischer Energie substituiert. Wird Strom im Verhältnis zum Gas teurer, verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage.

Für den wirtschaftlichen Betrieb eines BHKW hat der Gesetzgeber eine Reihe von Rahmenbedingungen geschaffen. Die Novellierung des KWK-Gesetzes zum 1. Januar 2009 sieht die Zahlung einer befristeten KWK-Zulage auch dann vor, wenn der Strom von dem Betrieb, der das Kraftwerk betreibt, selbst verbraucht wird. Das macht den Bau eines eigenen Blockheizkraftwerkes doppelt interessant, da für die eigenproduzierte Strommenge auch keine Abgabe nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gezahlt werden muss. Diese Abgabe unterlag in den letzten Jahren einer ständigen Steigerung und beträgt seit 2011 über 3,5 Ct/kWh, mit steigender Tendenz. In die Wirtschaftlichkeitsberechnung geht weiterhin die vermiedene Netznutzung der nicht zu beziehenden Strommenge ein. Zusätzlich ist das in Blockheizkraftwerken

verbrannte Erdgas komplett steuerbefreit. Die Summe dieser Faktoren macht über 6 Ct/kWh hergestelltem Strom aus. Im Moment gilt für Unternehmen des produzierenden Gewerbes eine Reihe von Ausnahmen bezüglich der Energiebesteuerung. Ein Wegfall oder eine Reduzierung dieser Vergünstigungen würde den Betrieb eines BHKW in Zukunft noch rentabler machen. Maßgeblich für die Wirtschaftlichkeit eines BHKW ist, wie bei der Wärmepumpe, das Verhältnis des Strompreises zum Gaspreis. Im Fall des BHKW wird Strombezug durch Gasbezug substituiert. Wird Gas im Verhältnis zu Strom teurer, verschlechtert sich die Wirtschaftlichkeit des BHKW. Damit verhält sich das BHKW genau entgegengesetzt einer Wärmepumpe.

Durch die Installation beider Anlagen sind Einbußen aufgrund gegeneinander schwankender Energiepreise ausgeschlossen. Die geringere Wirtschaftlichkeit der einen Anlage wird jeweils durch die der anderen kompensiert.

Ergebnisse

Zu den Ergebnissen zählen die

- deutliche Senkung des Gasverbrauches für die Darre;
- zusätzliche Senkung des Primärenergieverbrauches durch Eigenstromerzeugung und Wärmeverbund;
- Verbesserung des Carbon Footprint der Mälzerei;
- Sicherheit gegen Wegfall von Steuerermäßigungen und rapidem Anstieg von Umweltabgaben (EEG);
- Absicherung gegen wechselseitig steigende Preise verschiedener Energieformen durch das Anlagenkonzept.

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt sowie die Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der freien und Hansestadt Hamburg gefördert. ■

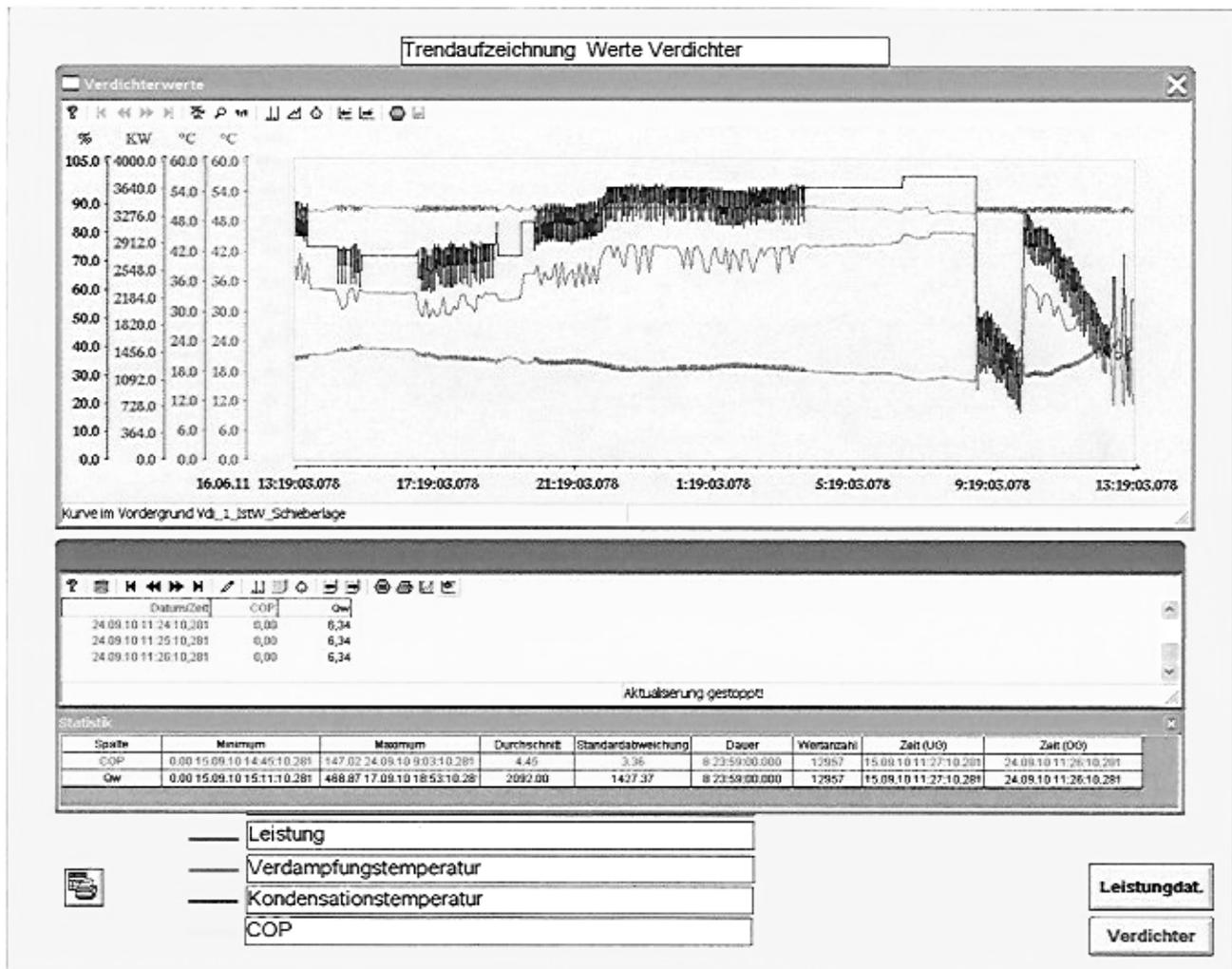
TABELLE ZUR ERMITTLUNG DES JAHRESDURCHSCHNITTS- COP

		4,45
		5,36
		5,14
		6,01
		5,71
		6,24
		6,66
		7,59
		8,71
		7,81
		8,23
		7,99
		6,96
		6,77
		6,99
		5,27
		6,91
		7,25
		7,17
		6,56
		6,44
		6,33
		6,00
		5,94
		5,49
		6,06
		6,00
		6,10
		6,06
		6,03
		5,48
		5,74
		5,93
		5,88
		6,00
		6,09
		6,06
		6,08
		6,15
		6,08
		5,91
		6,01
		6,32
		6,24
		278,20
Jahresdurchschnitts-COP		6,32

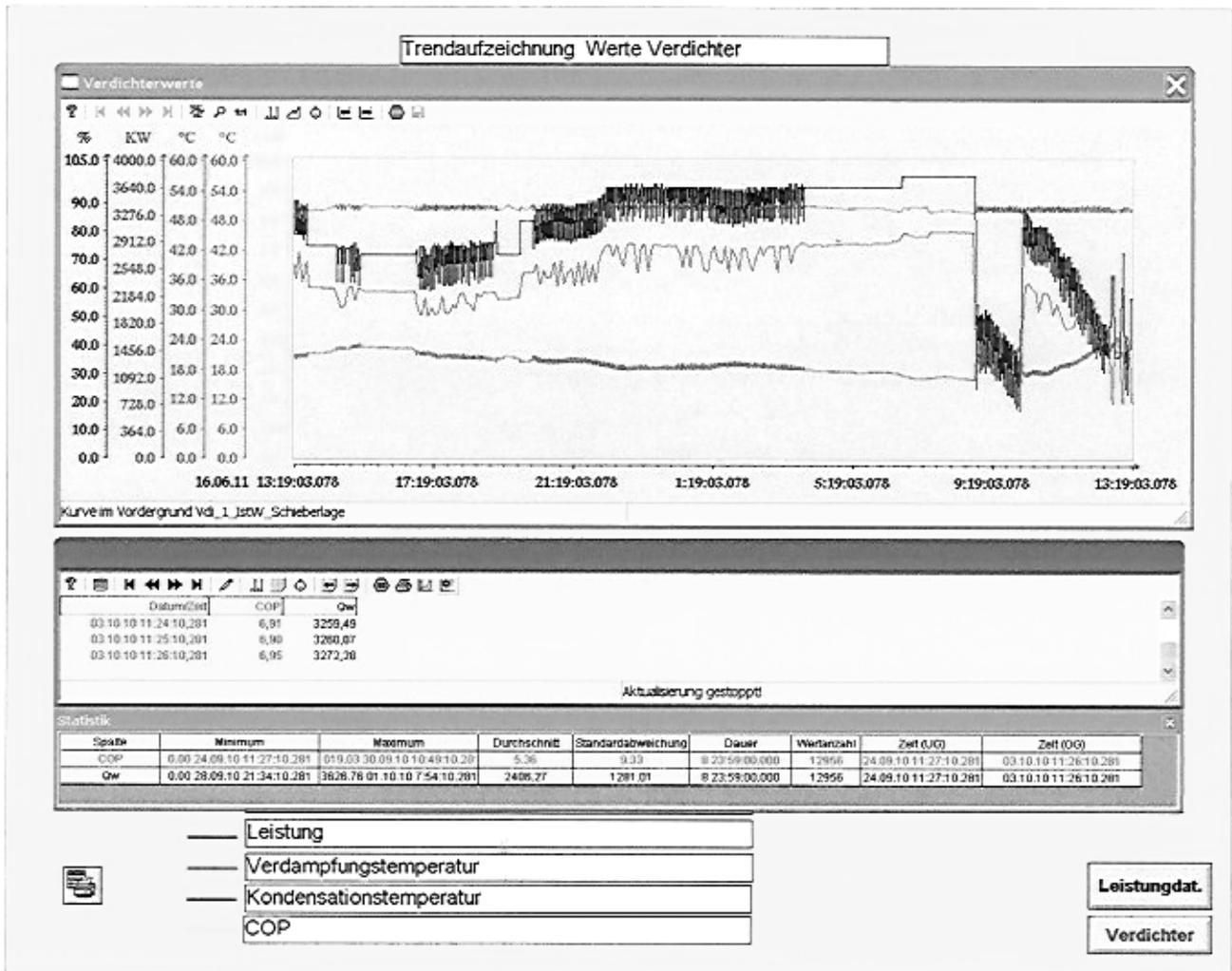
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:19:32

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

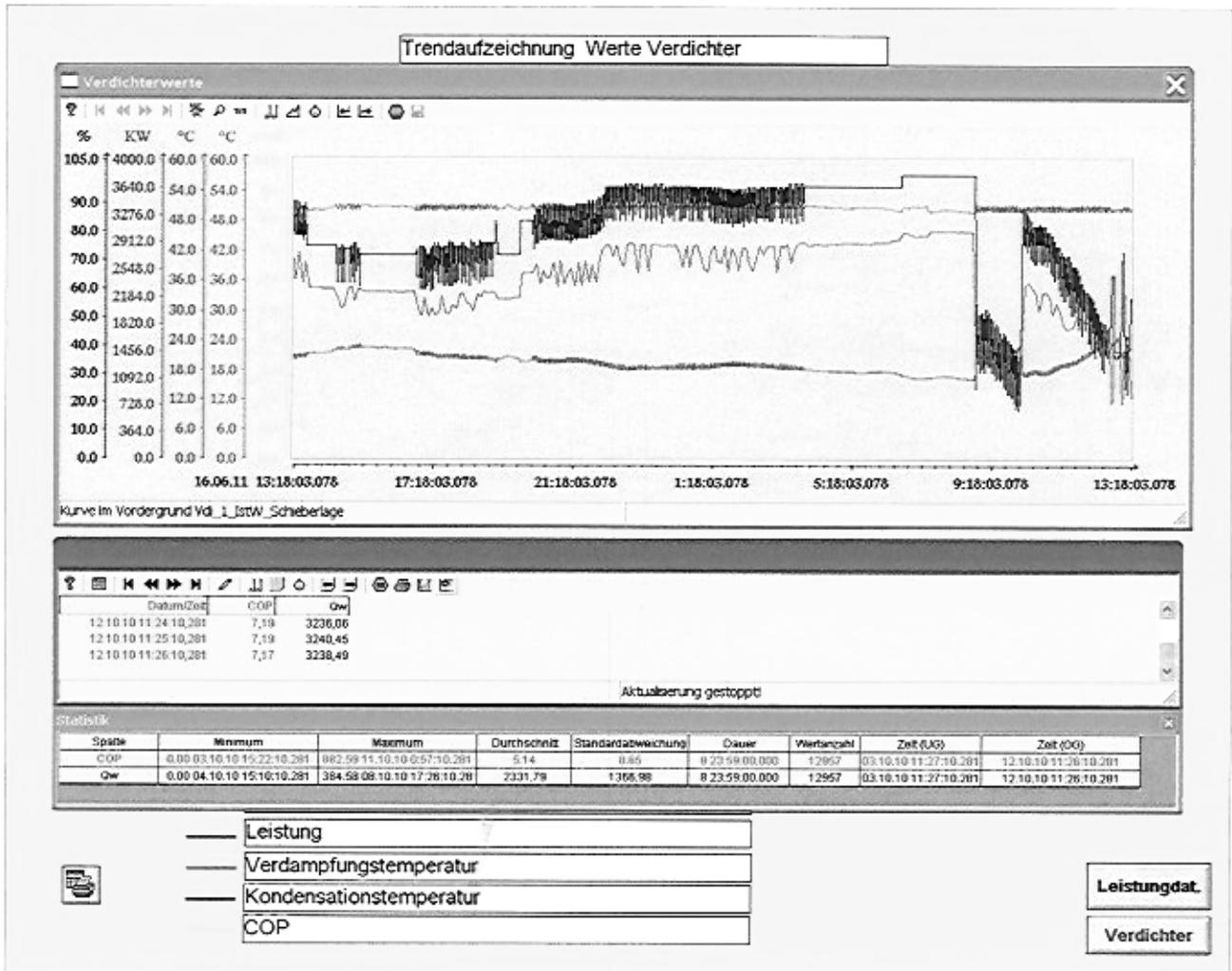
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:19:13
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



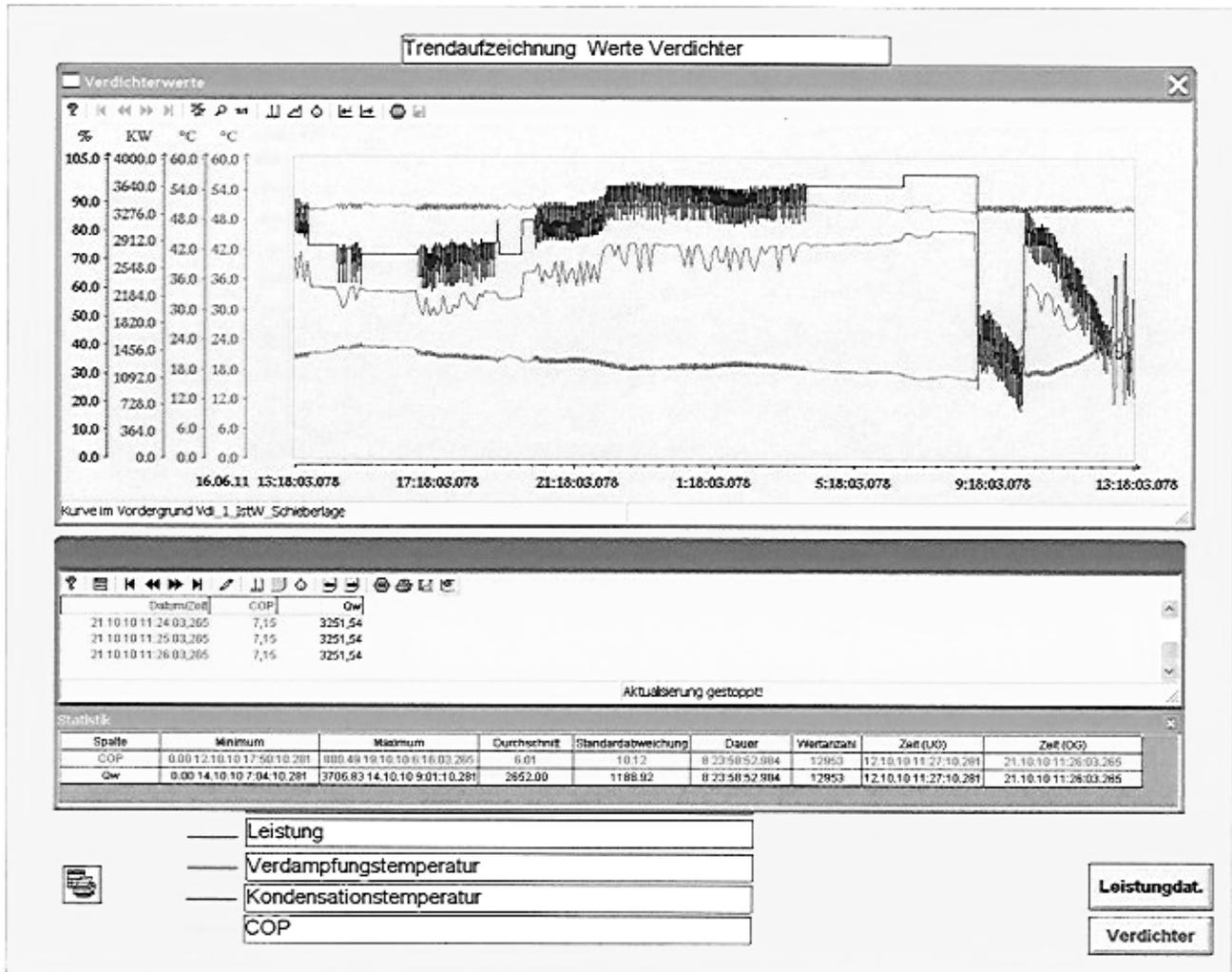
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:19:03
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



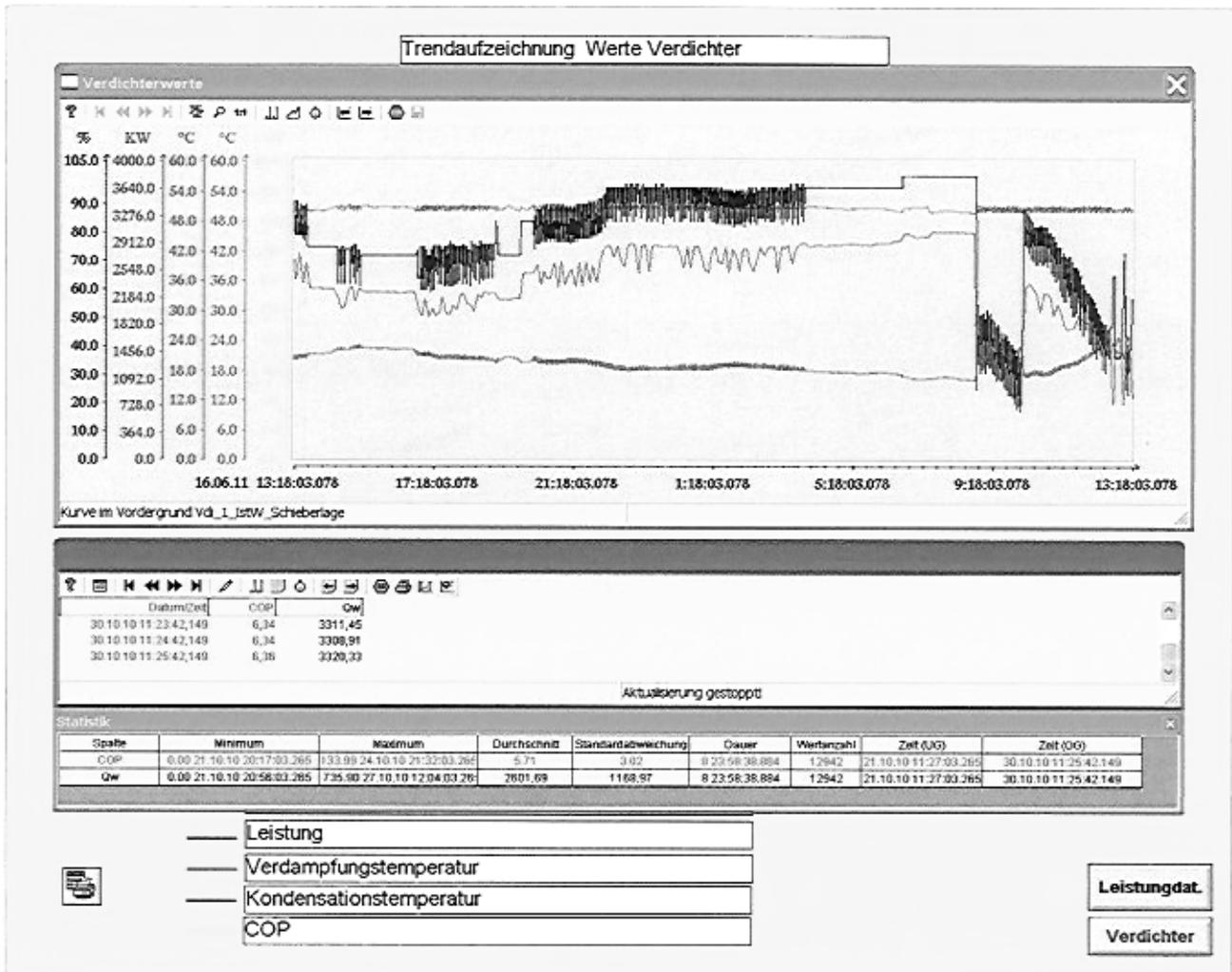
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:18:39

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

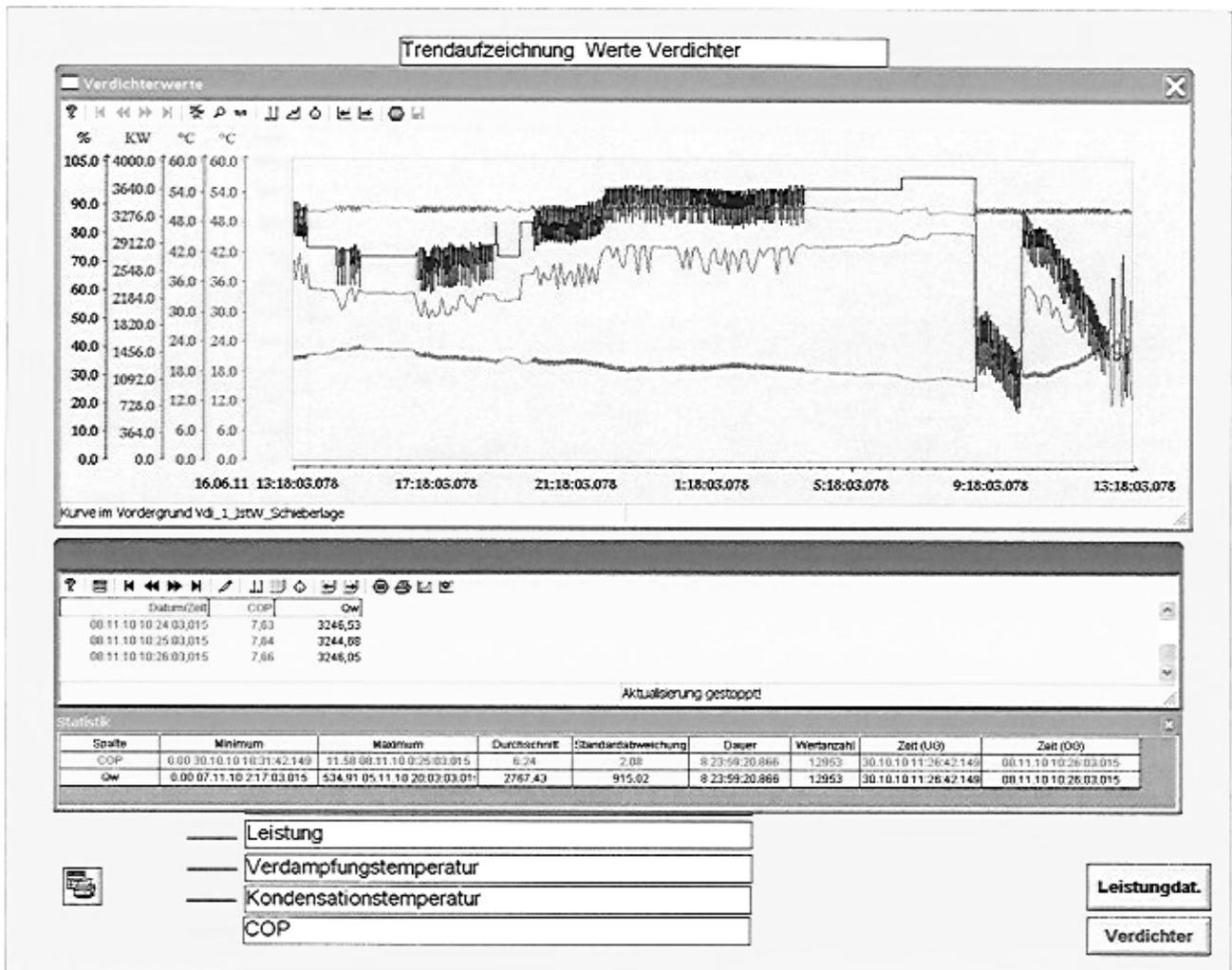
Benutzername: erc



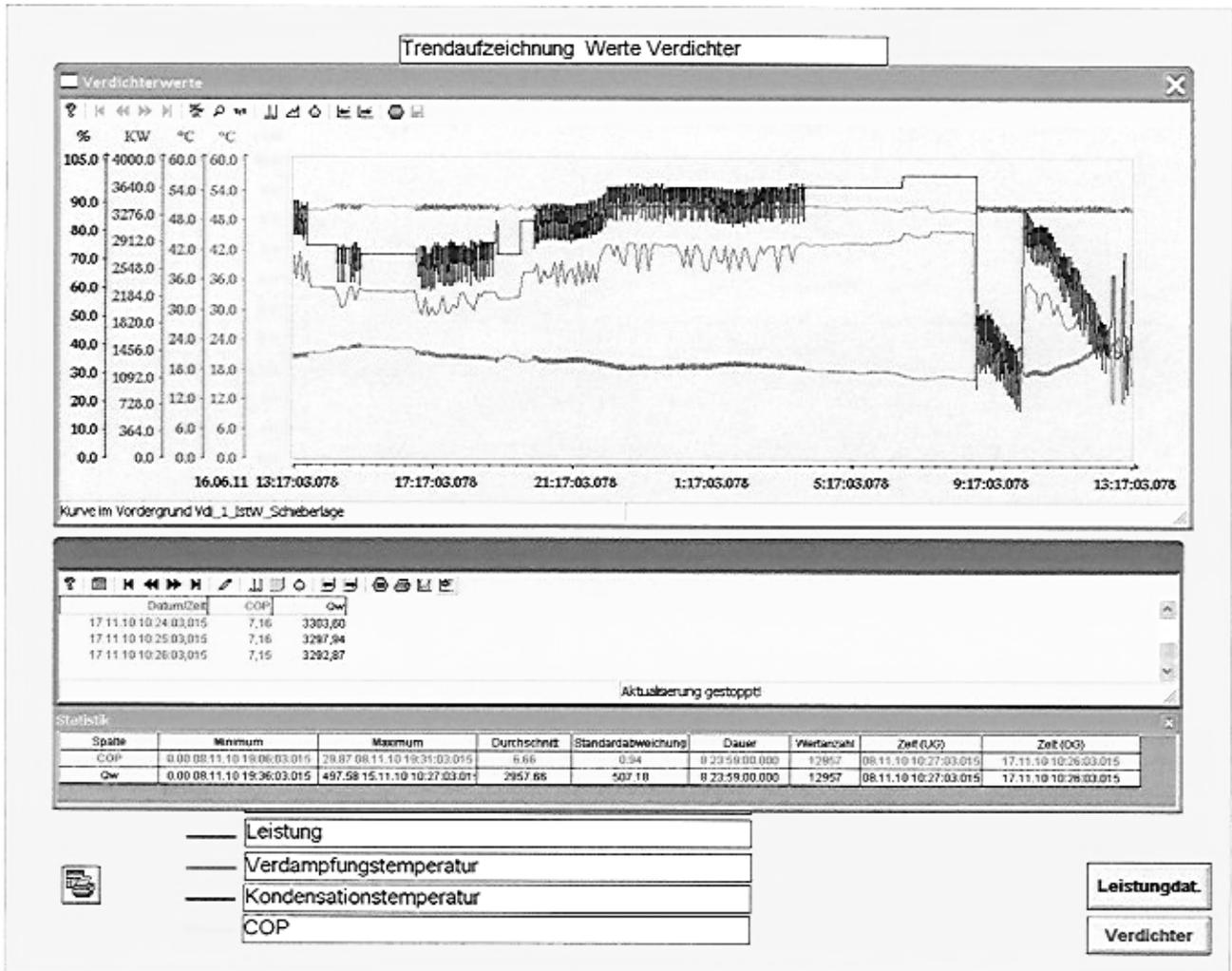
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:18:31
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



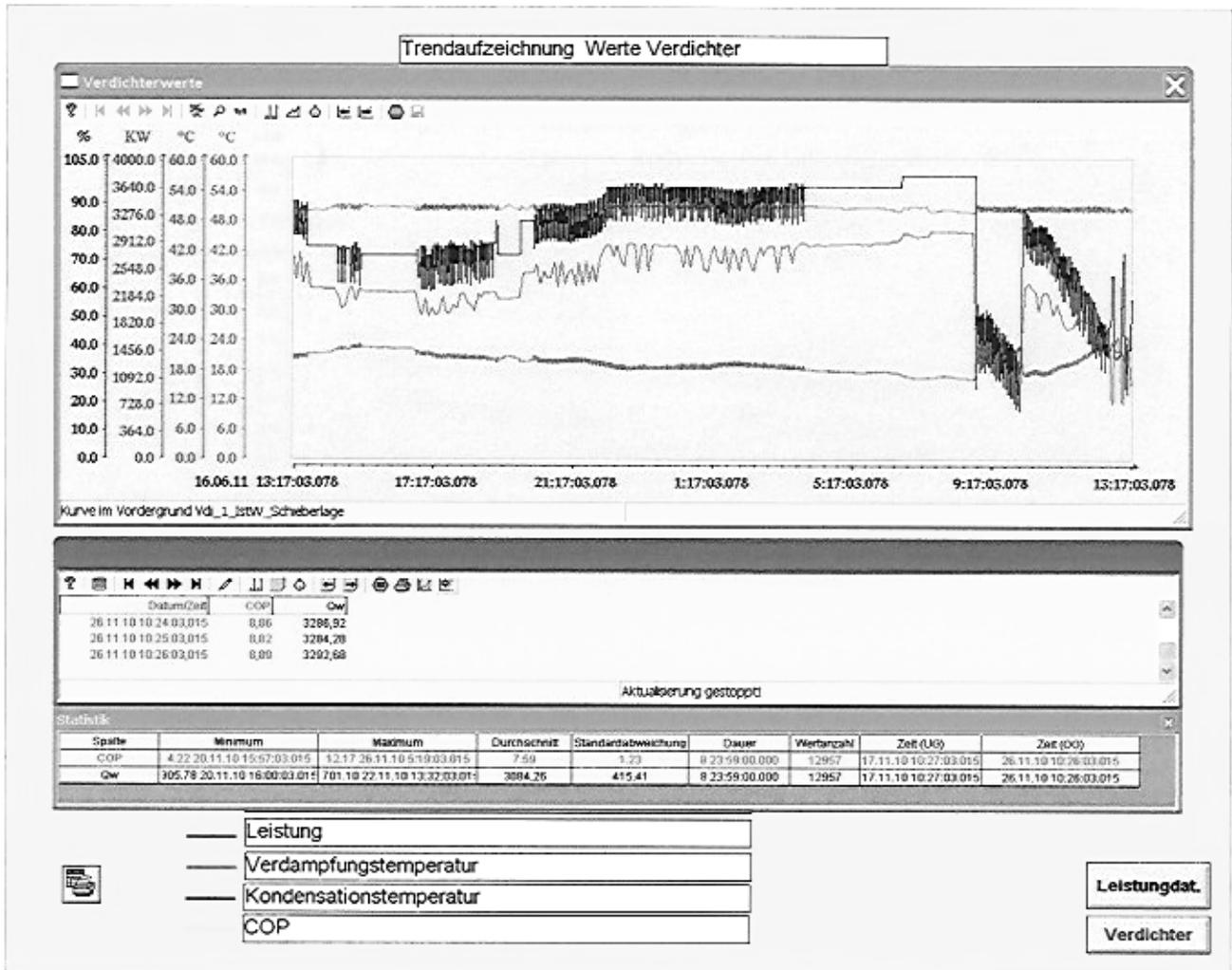
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:18:24
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



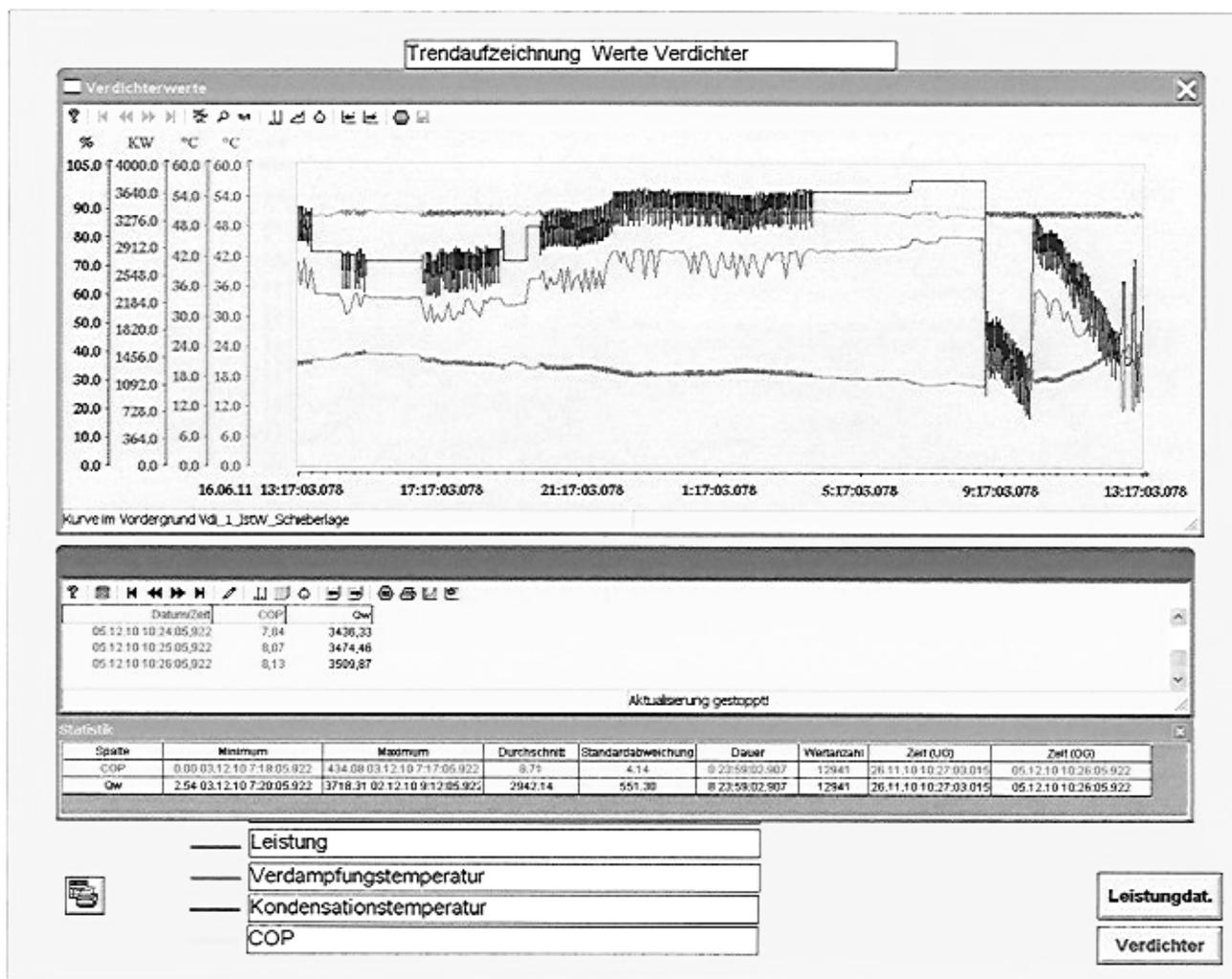
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:17:43
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



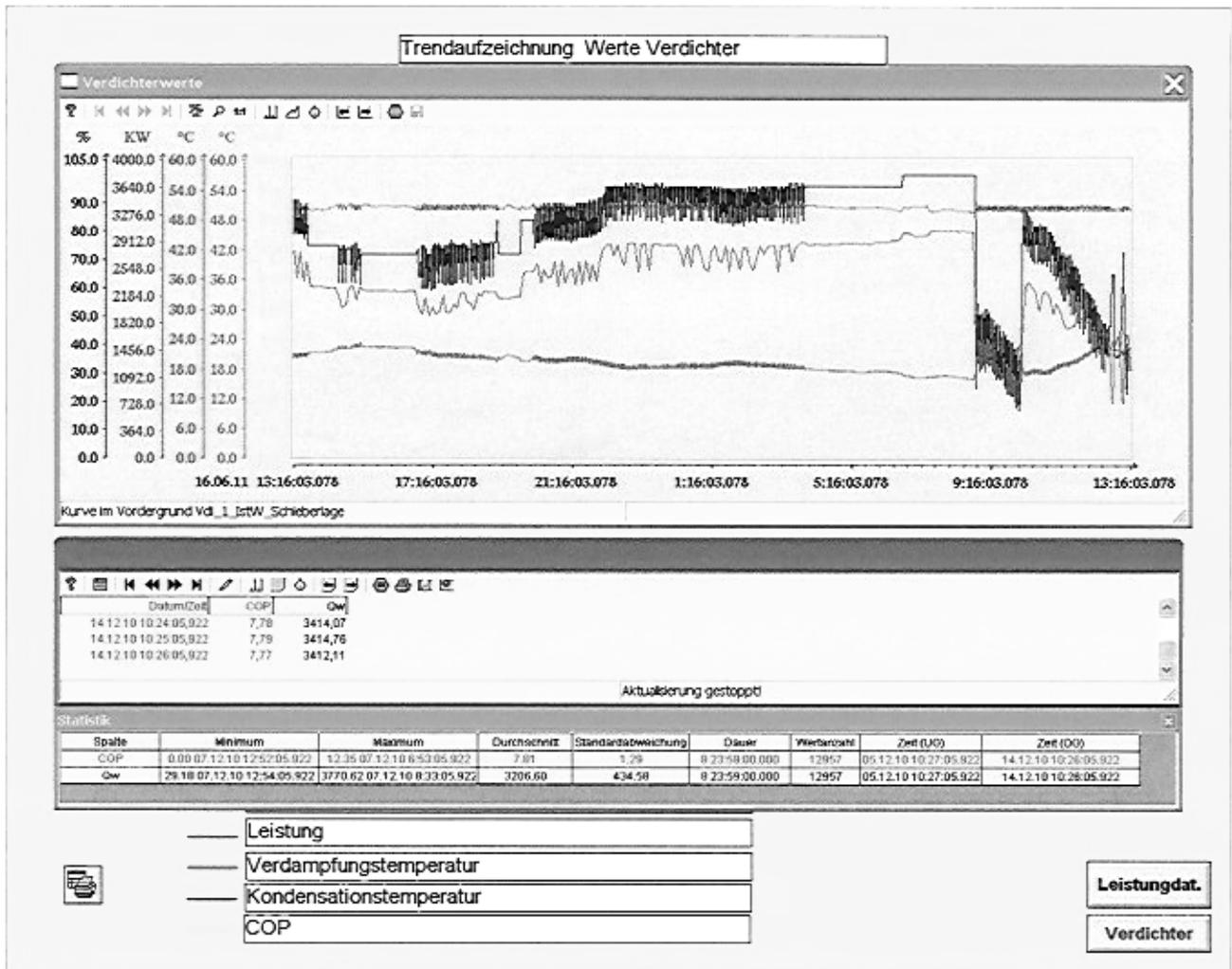
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:17:37
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



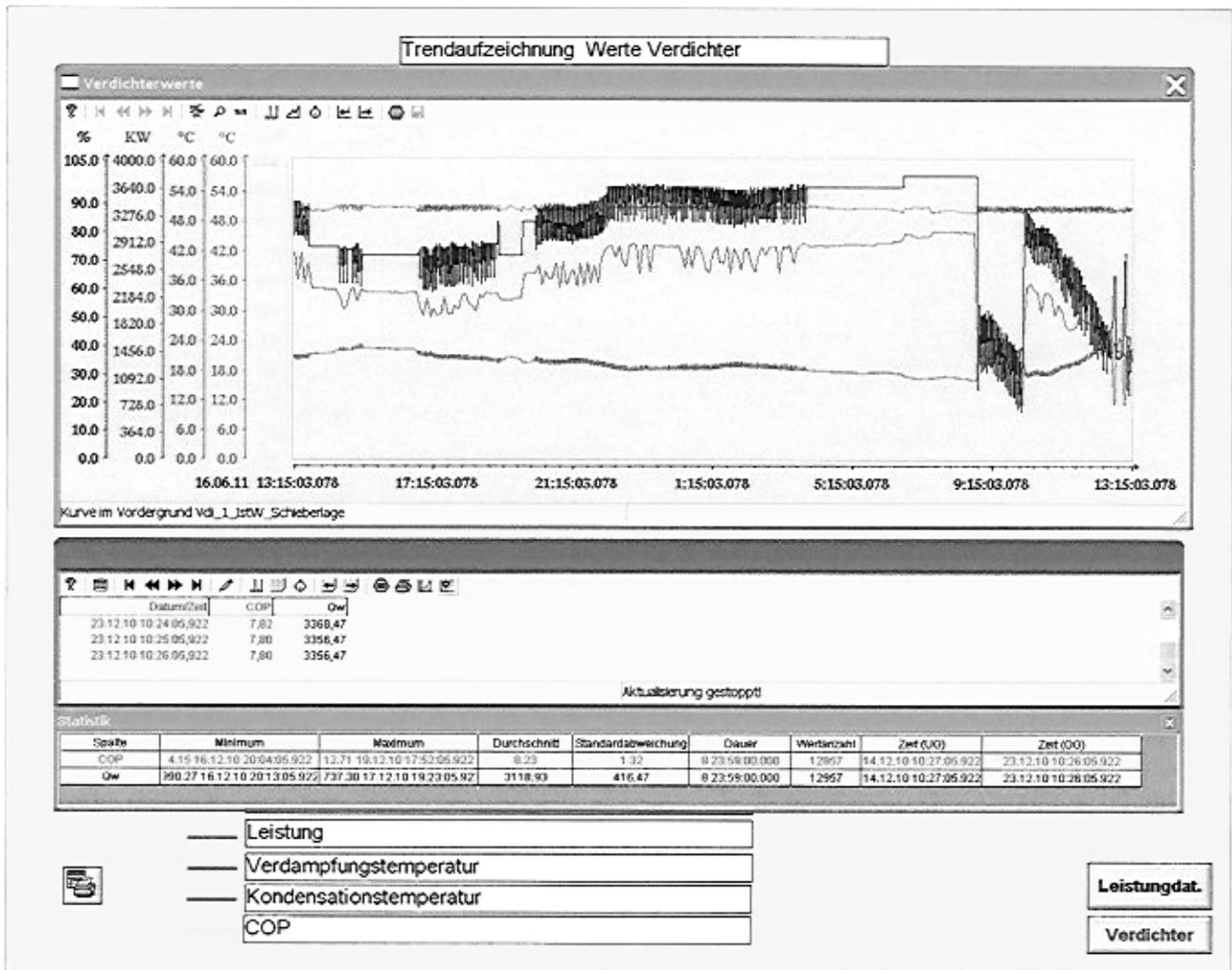
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:17:30
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:16:22
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



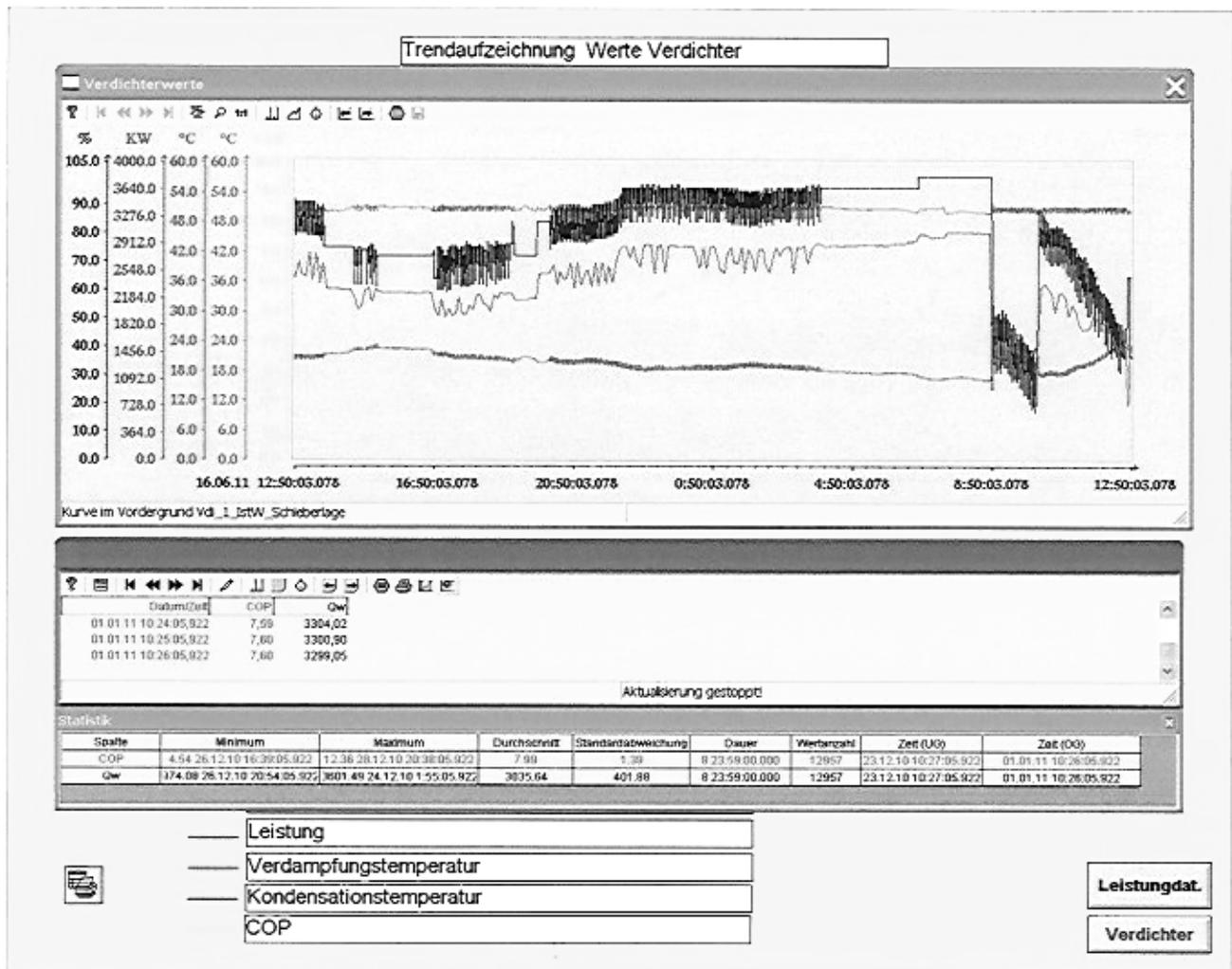
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 13:15:09
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



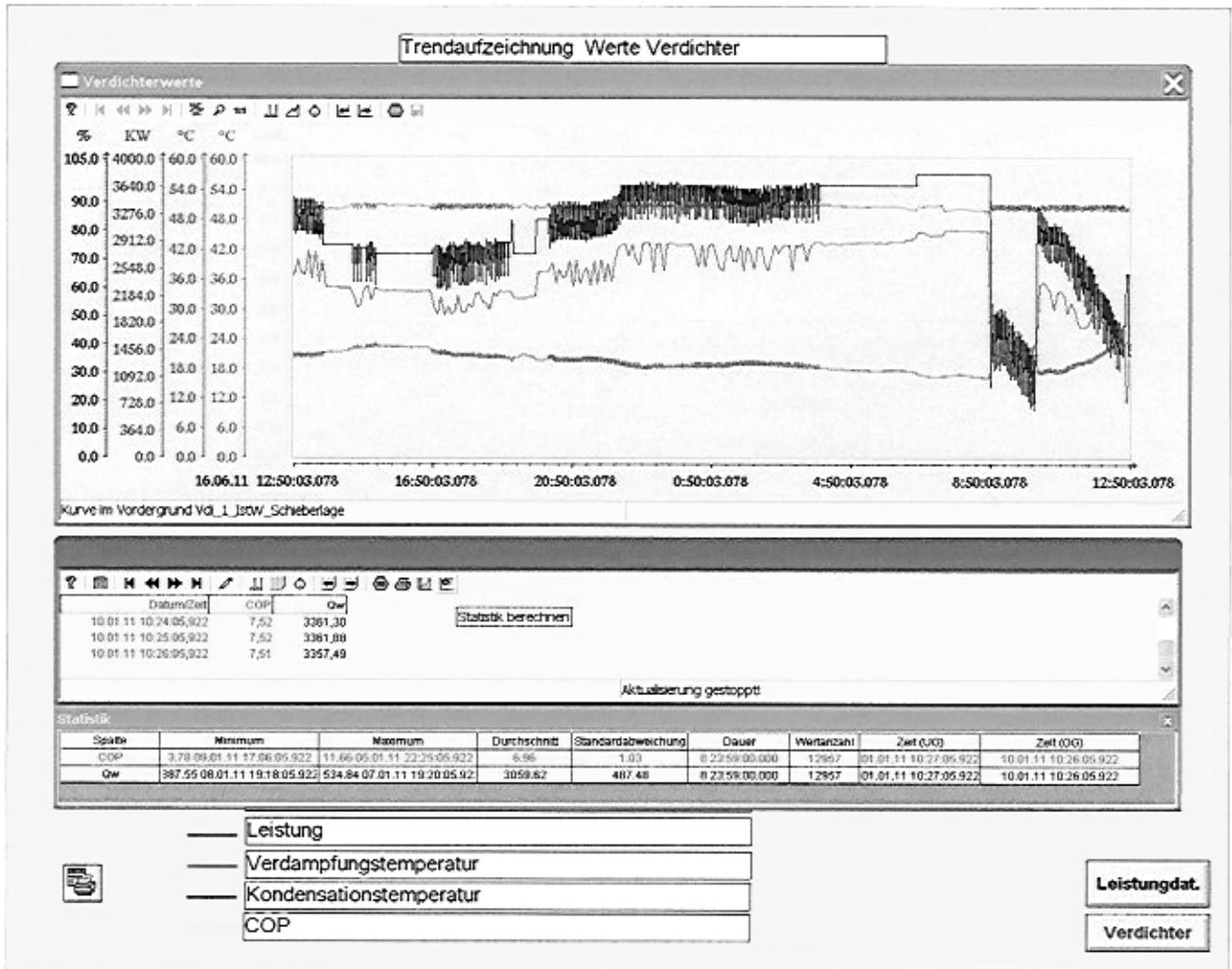
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:50:44

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

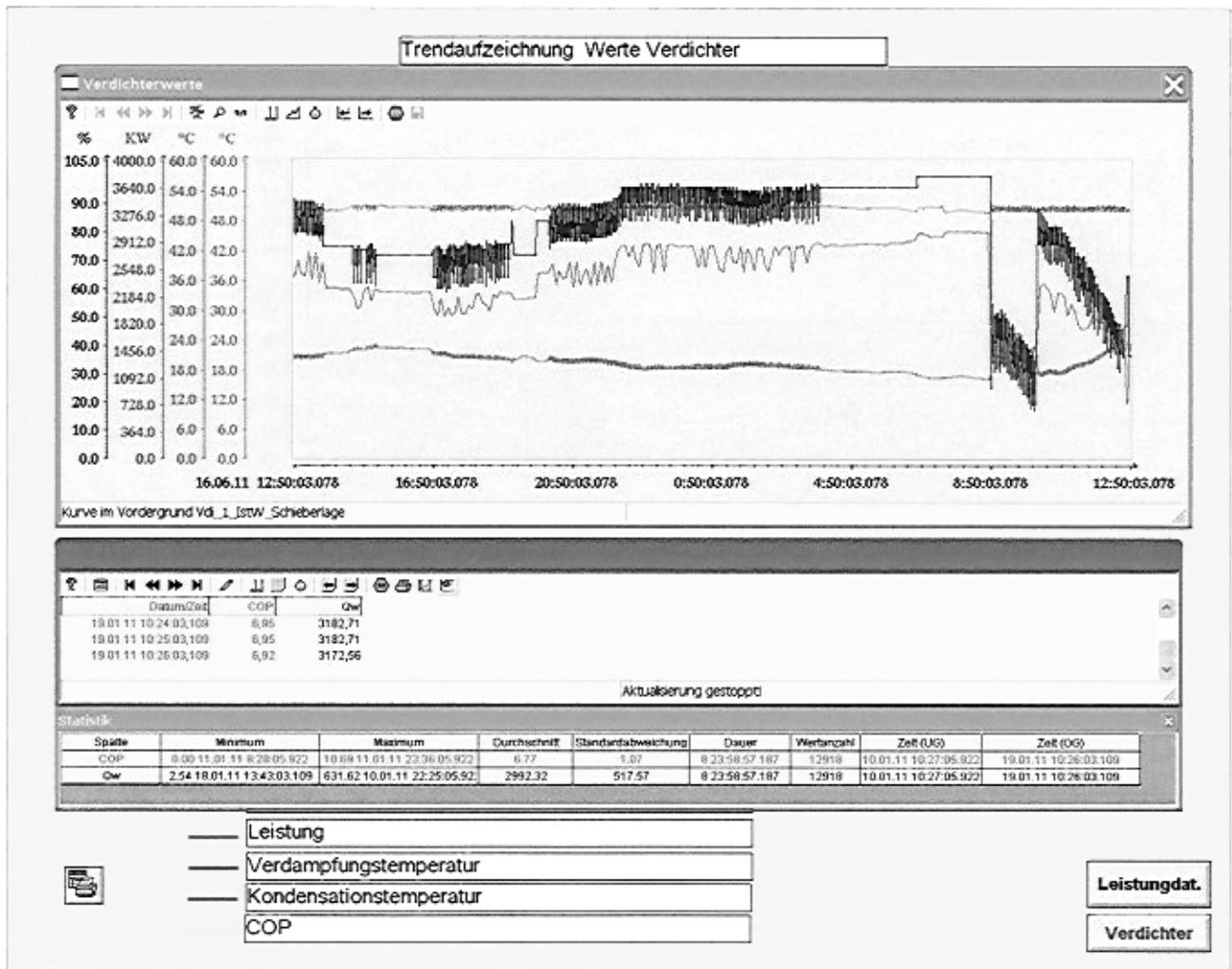
Benutzername: erc



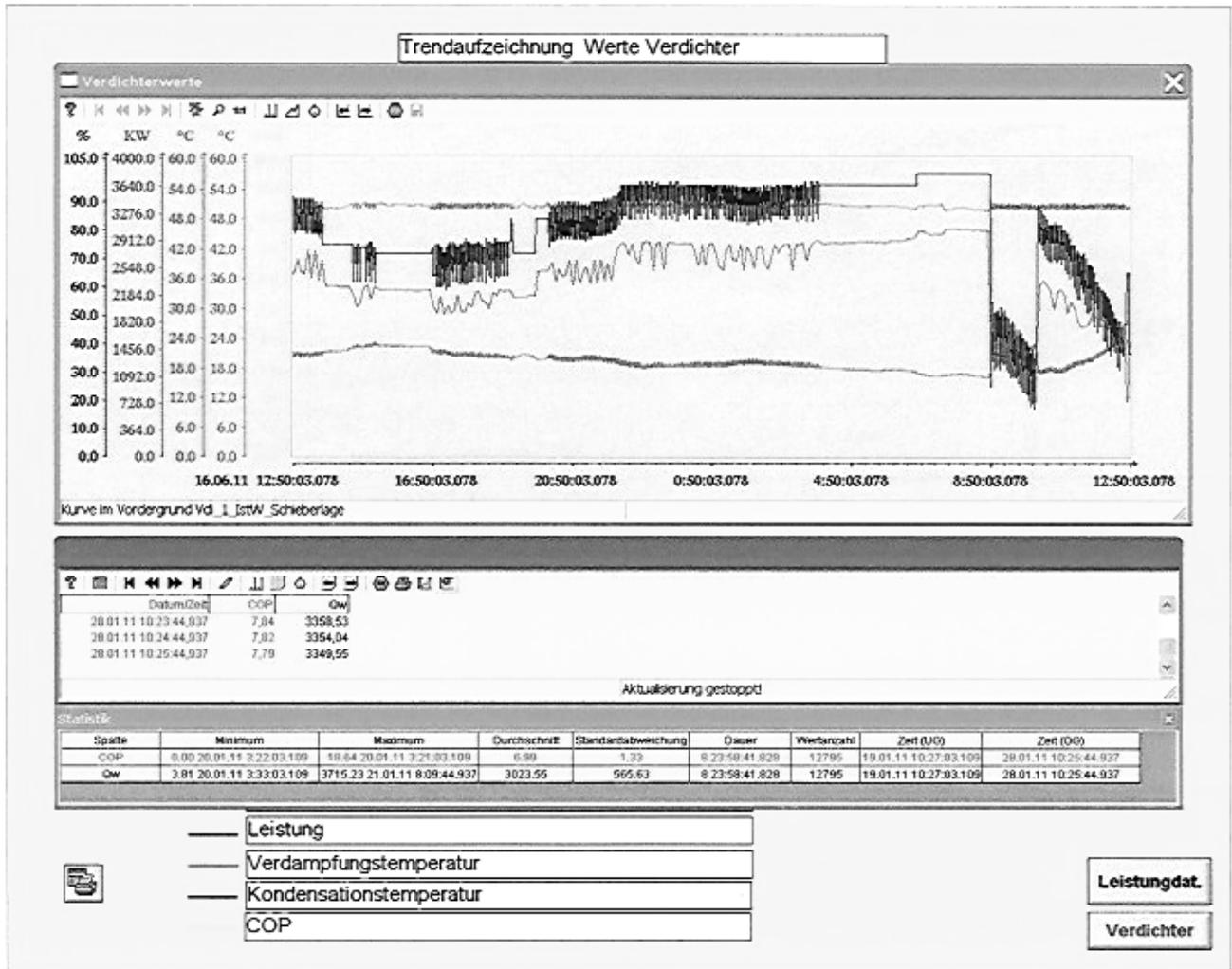
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:50:37
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:50:16
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



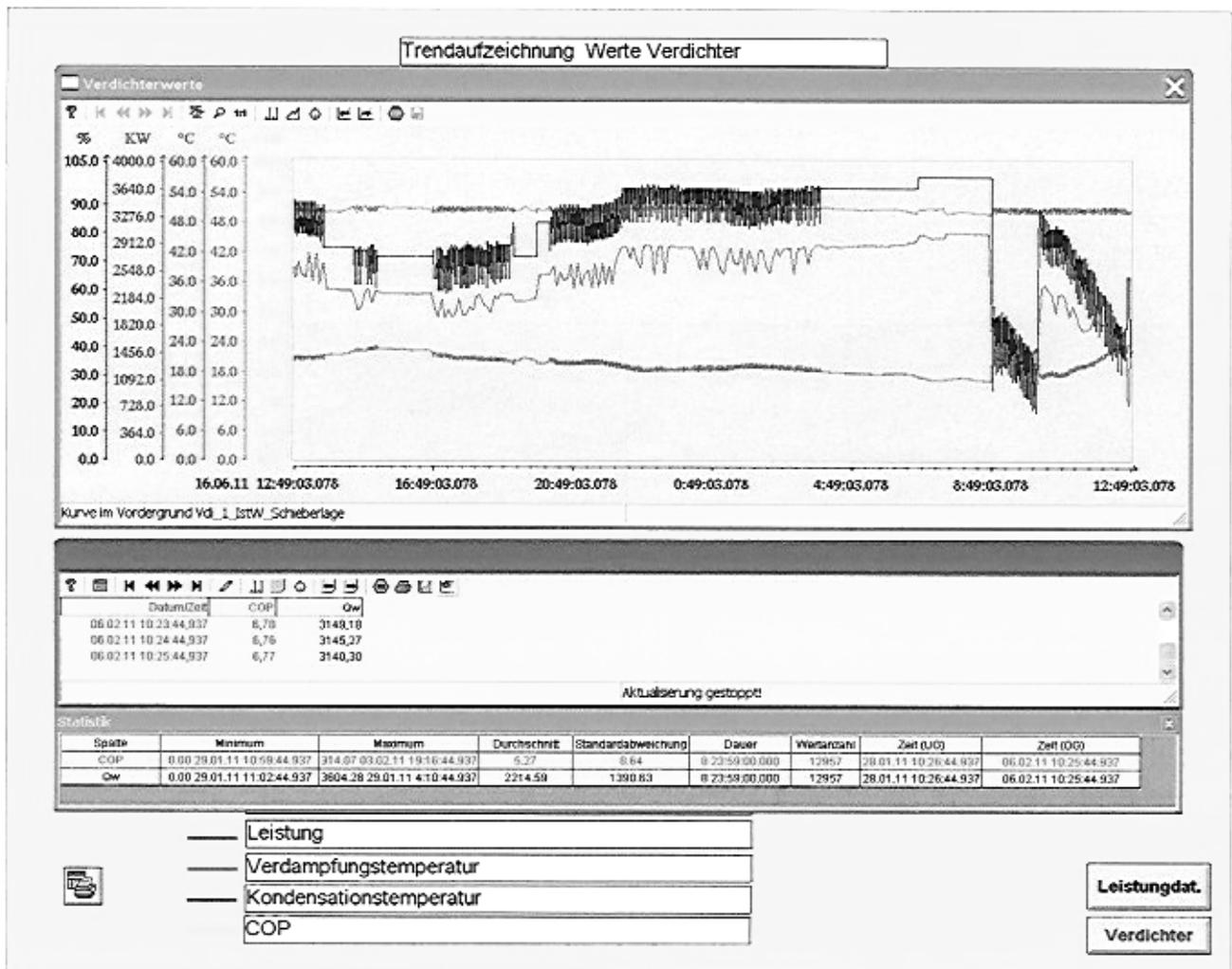
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:50:05
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:49:22

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

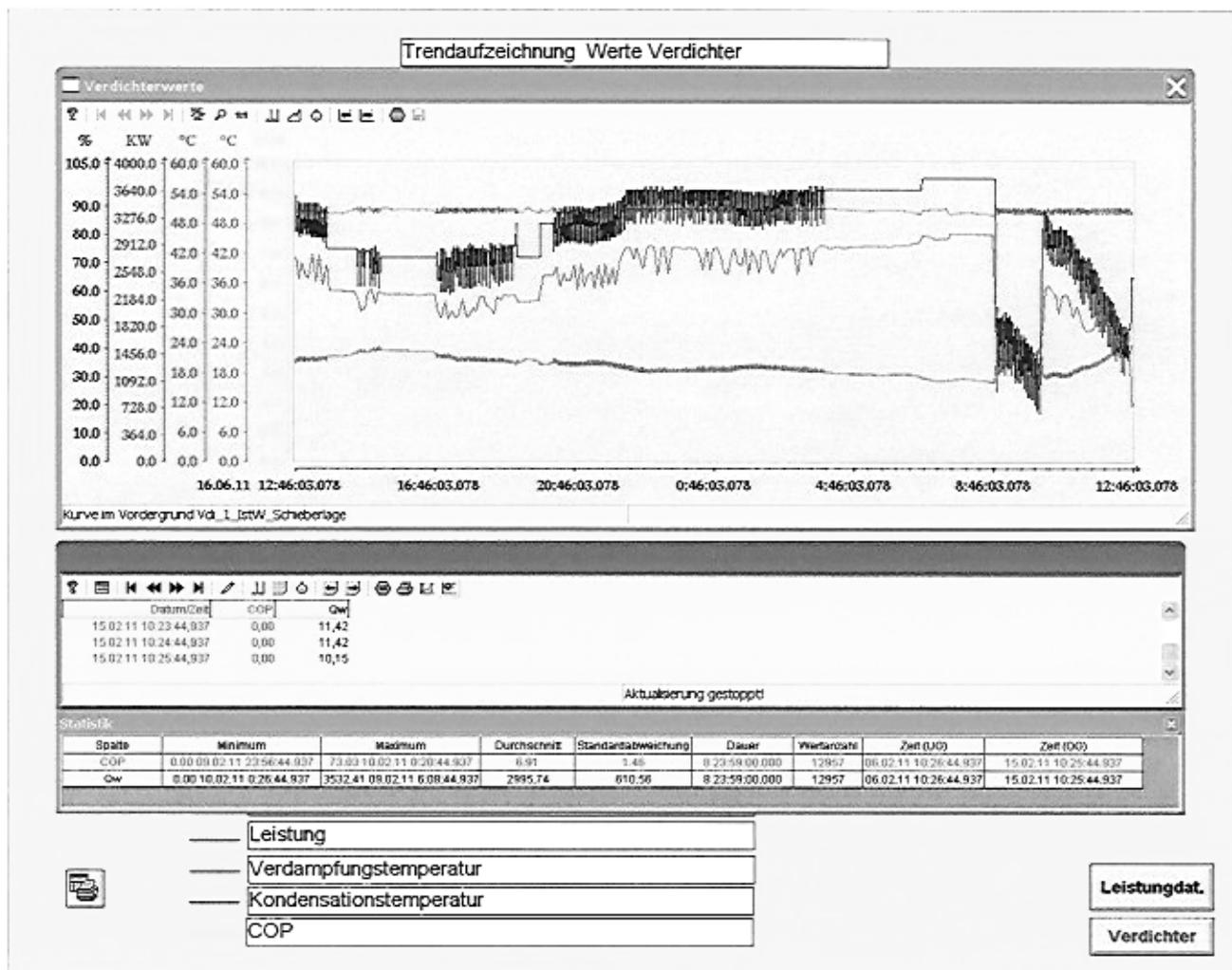
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:46:47

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

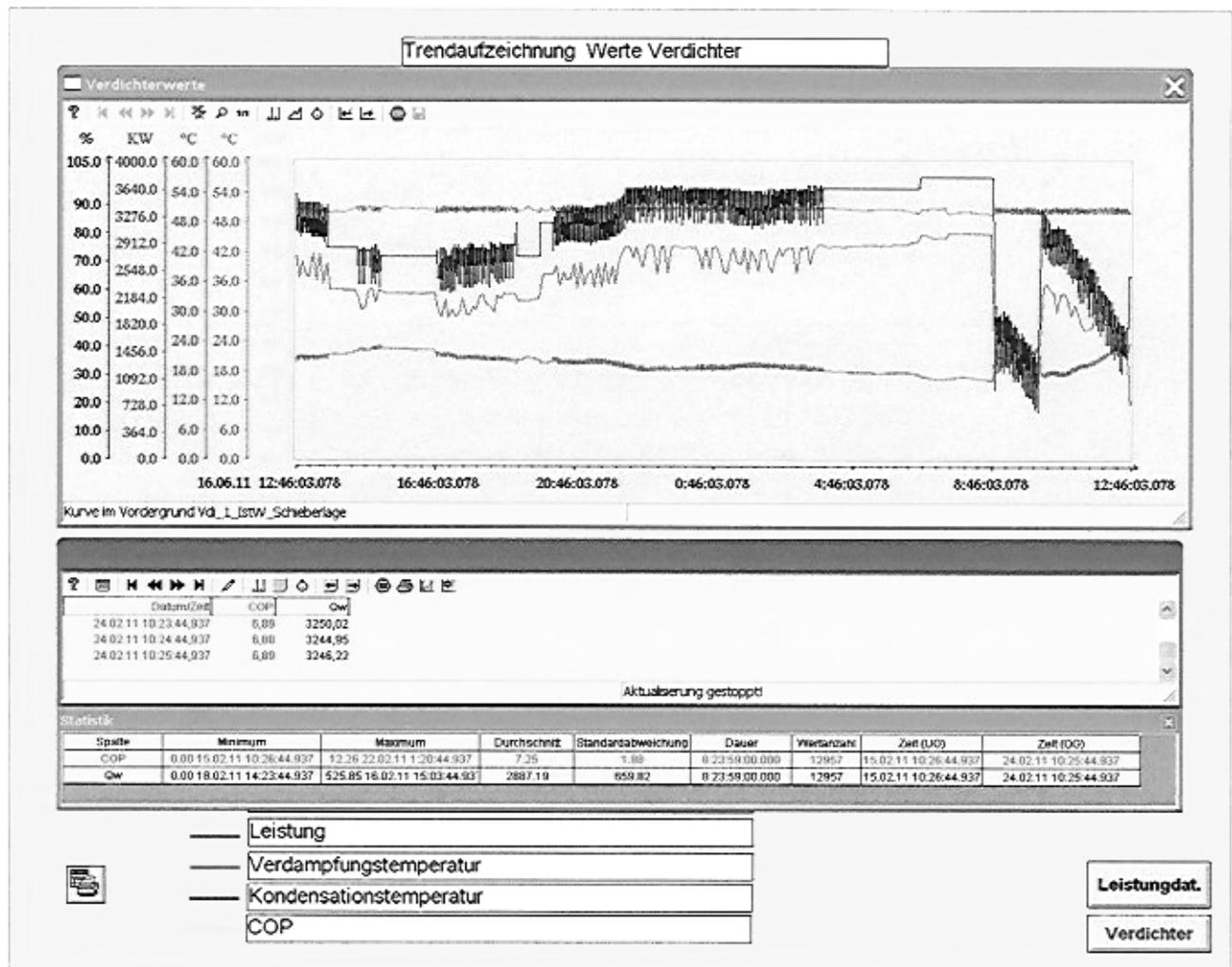
Benutzername: erc



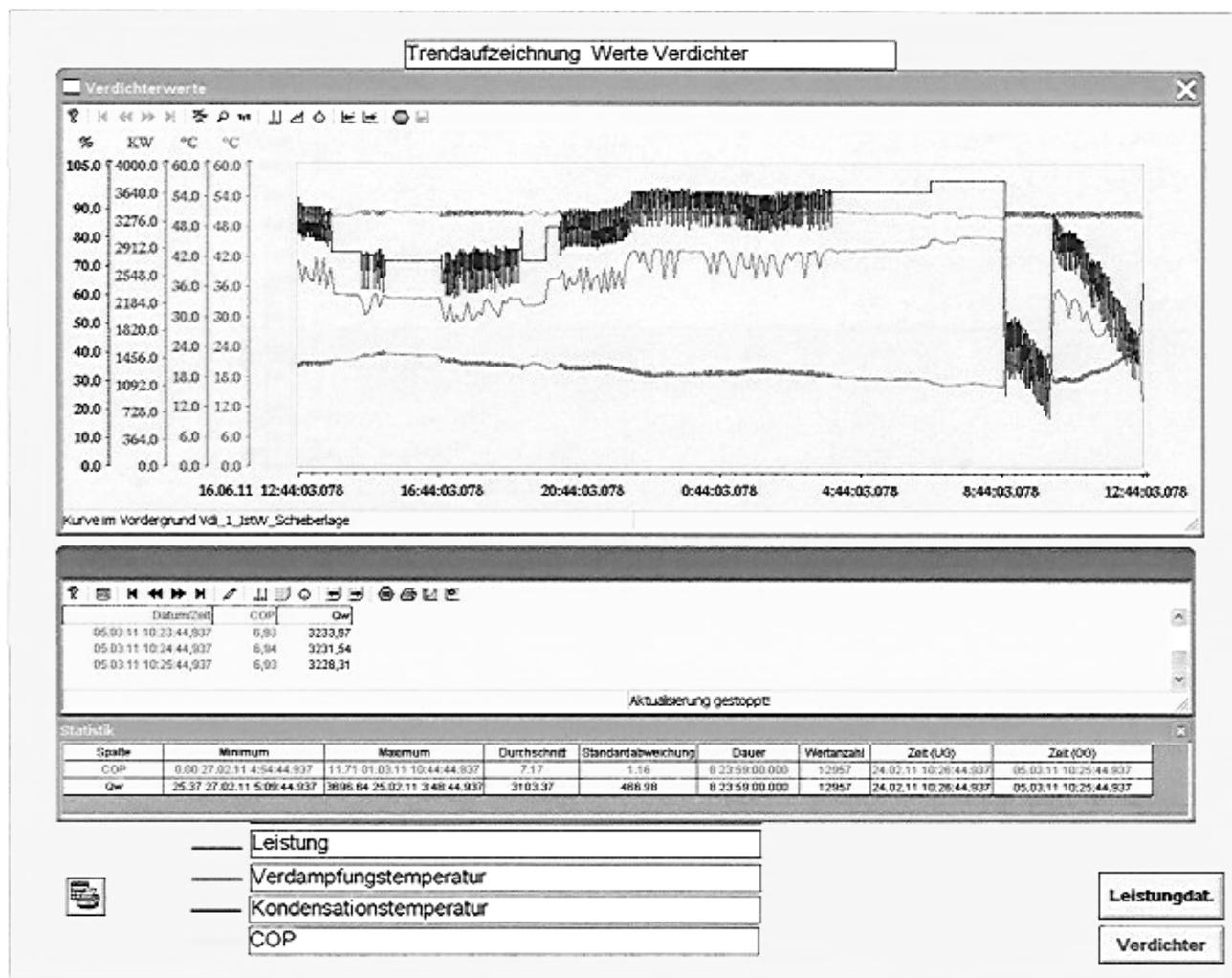
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:46:17

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

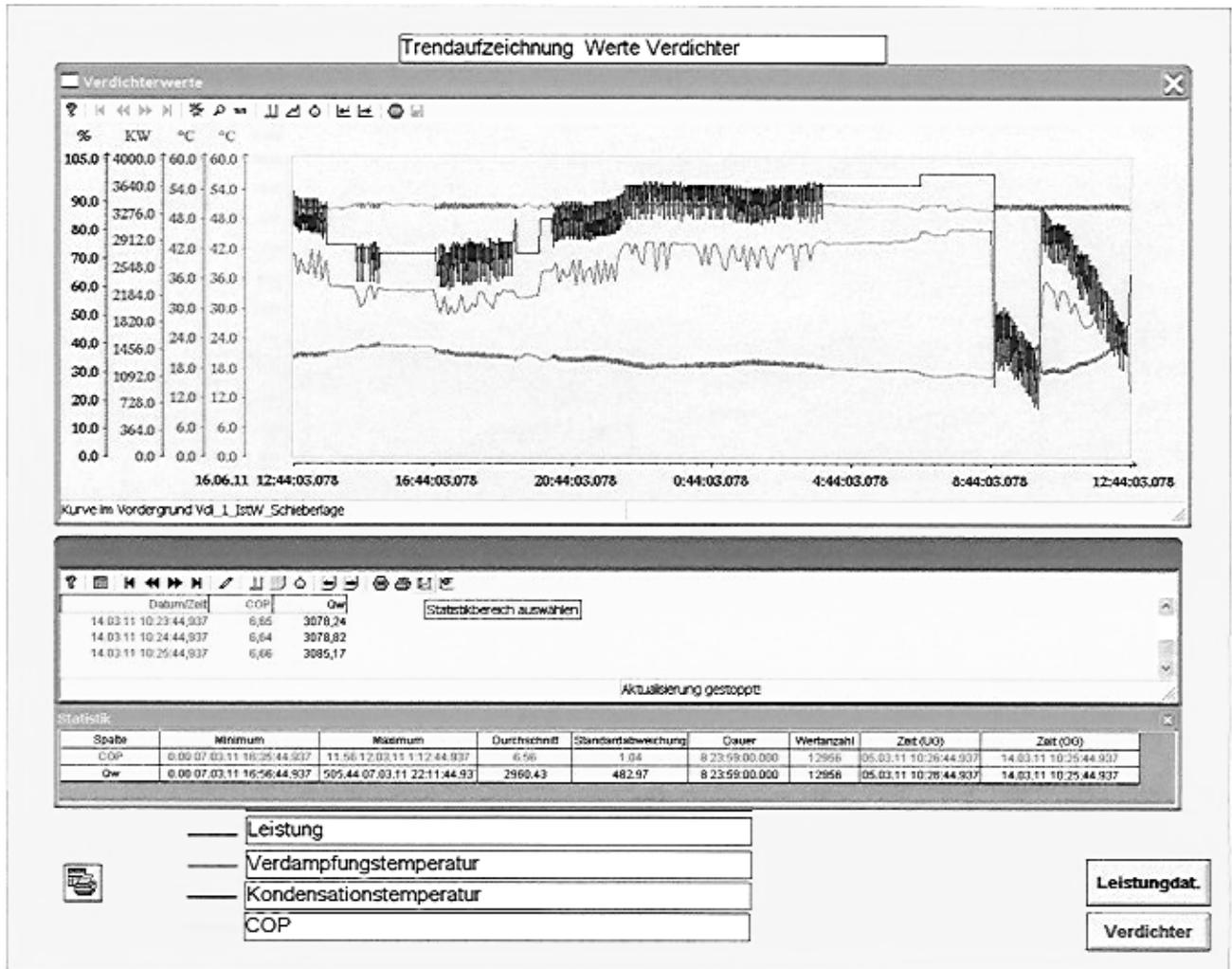
Benutzername: erc



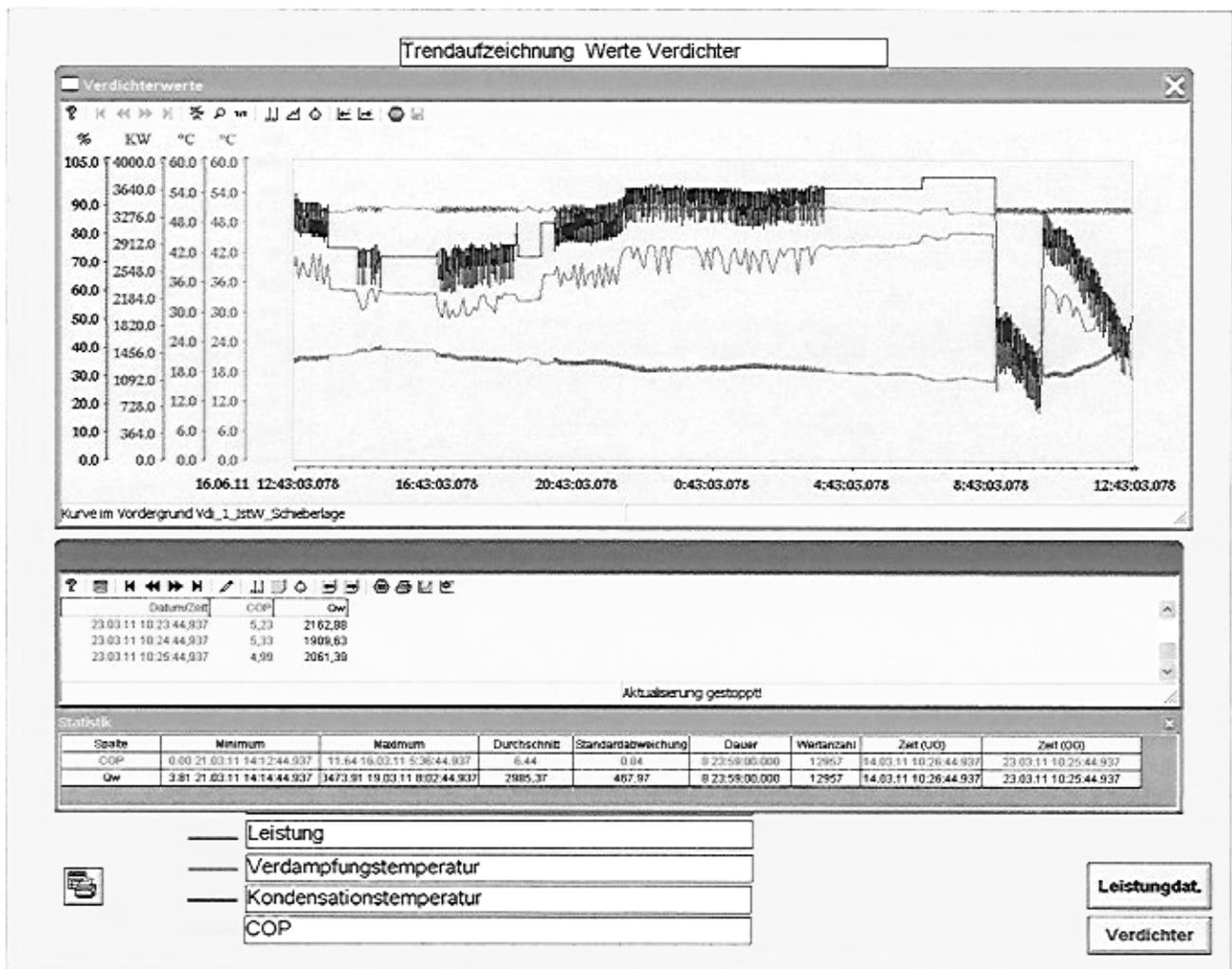
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:44:49
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



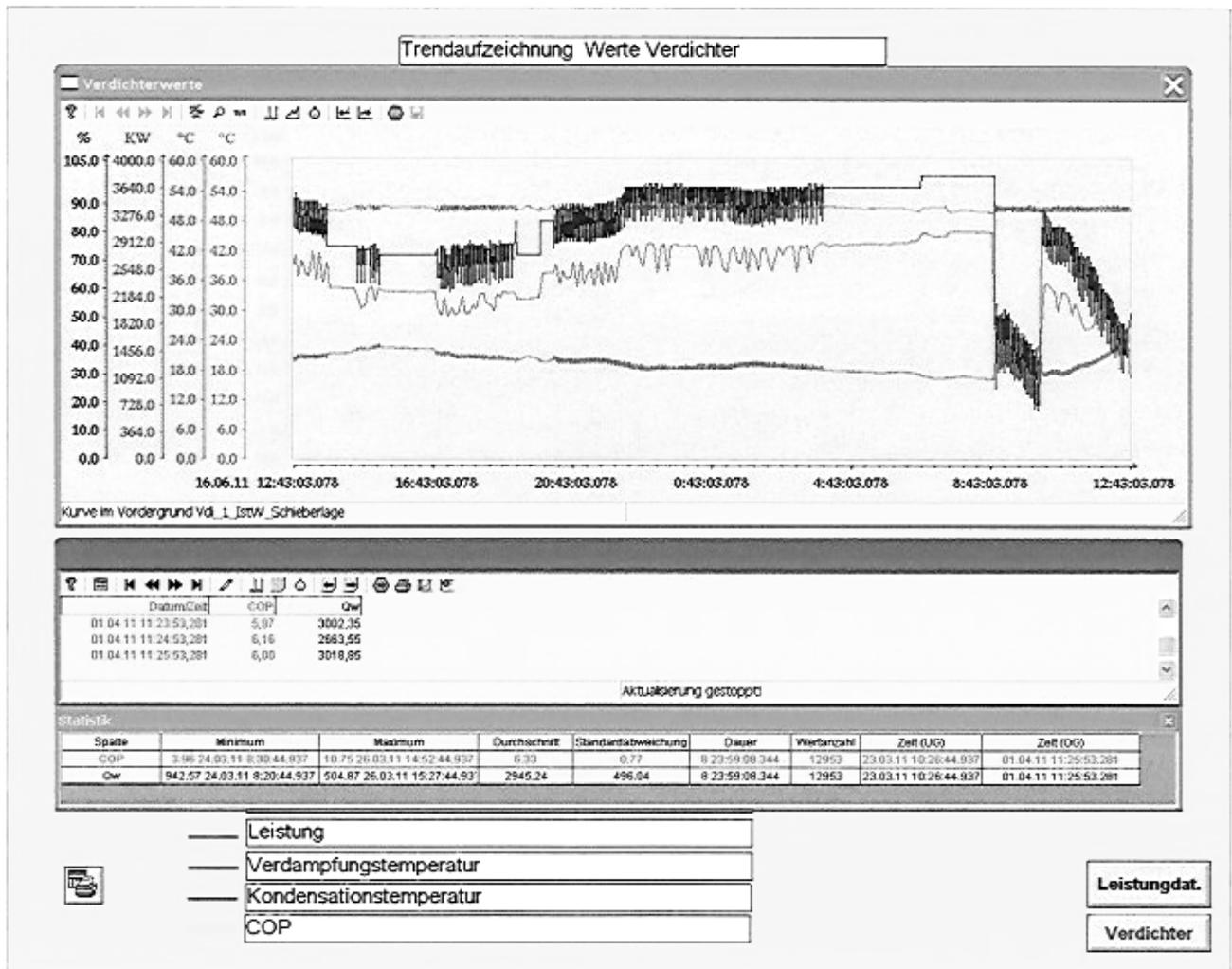
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:44:10
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



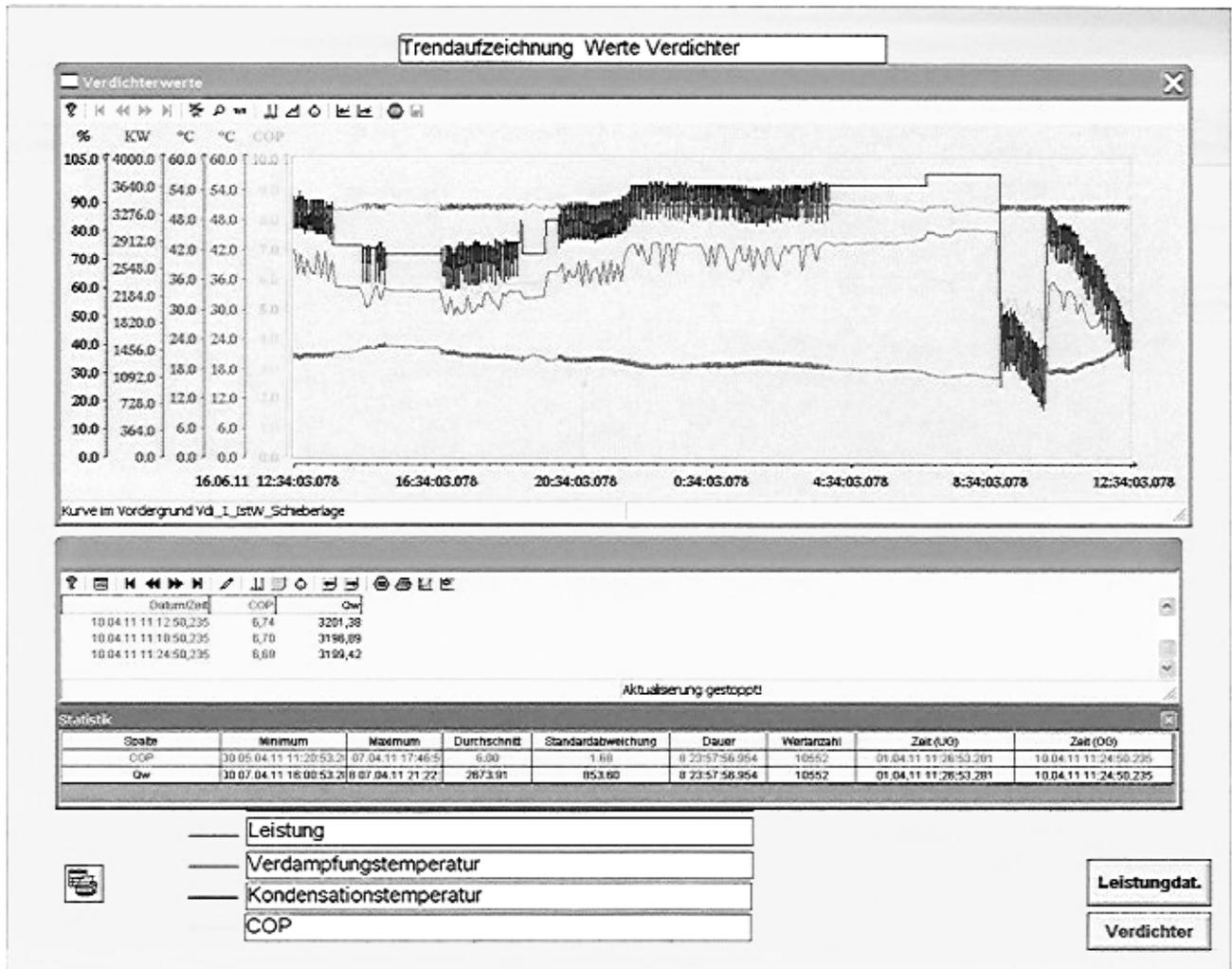
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:43:41
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



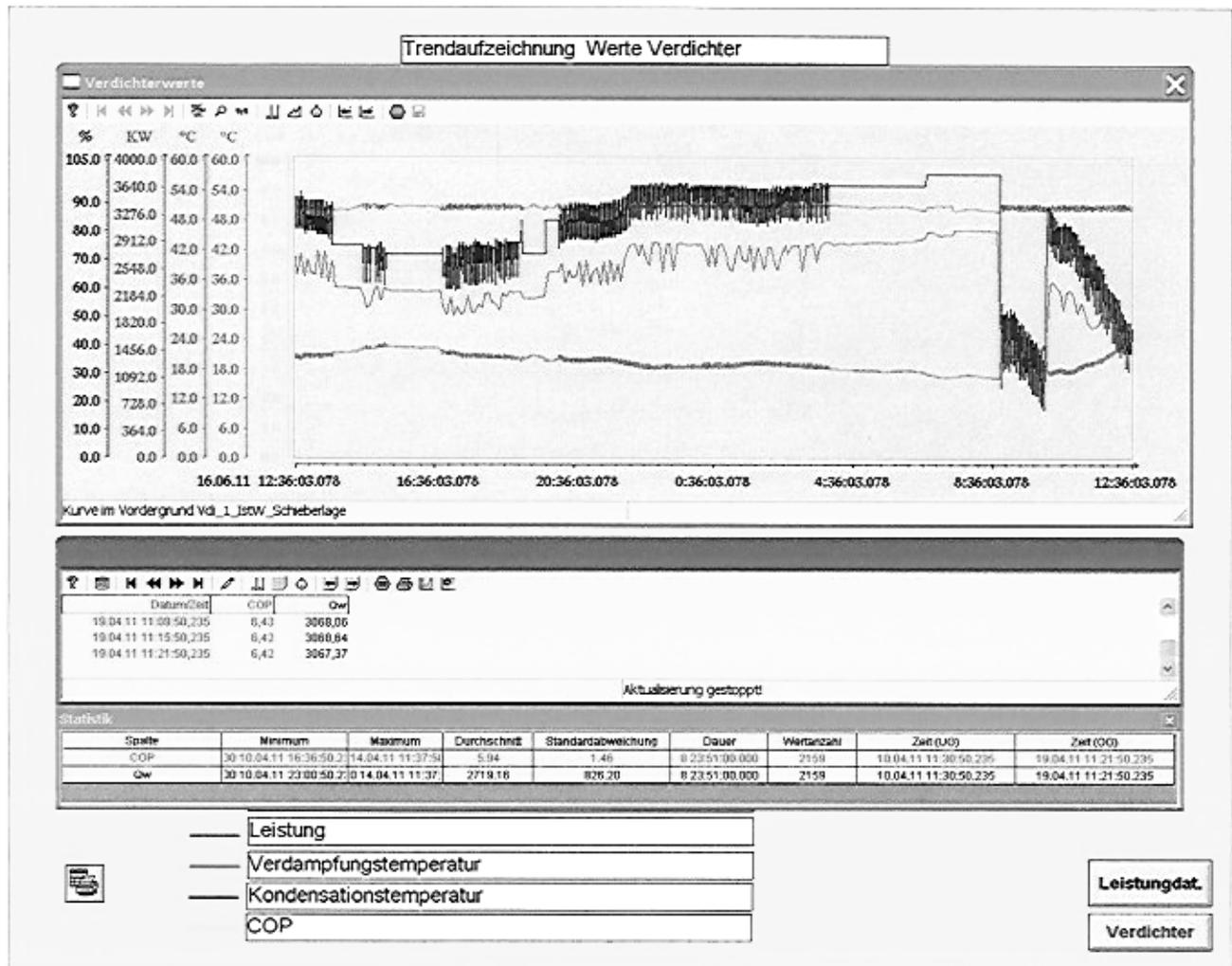
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:43:11
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



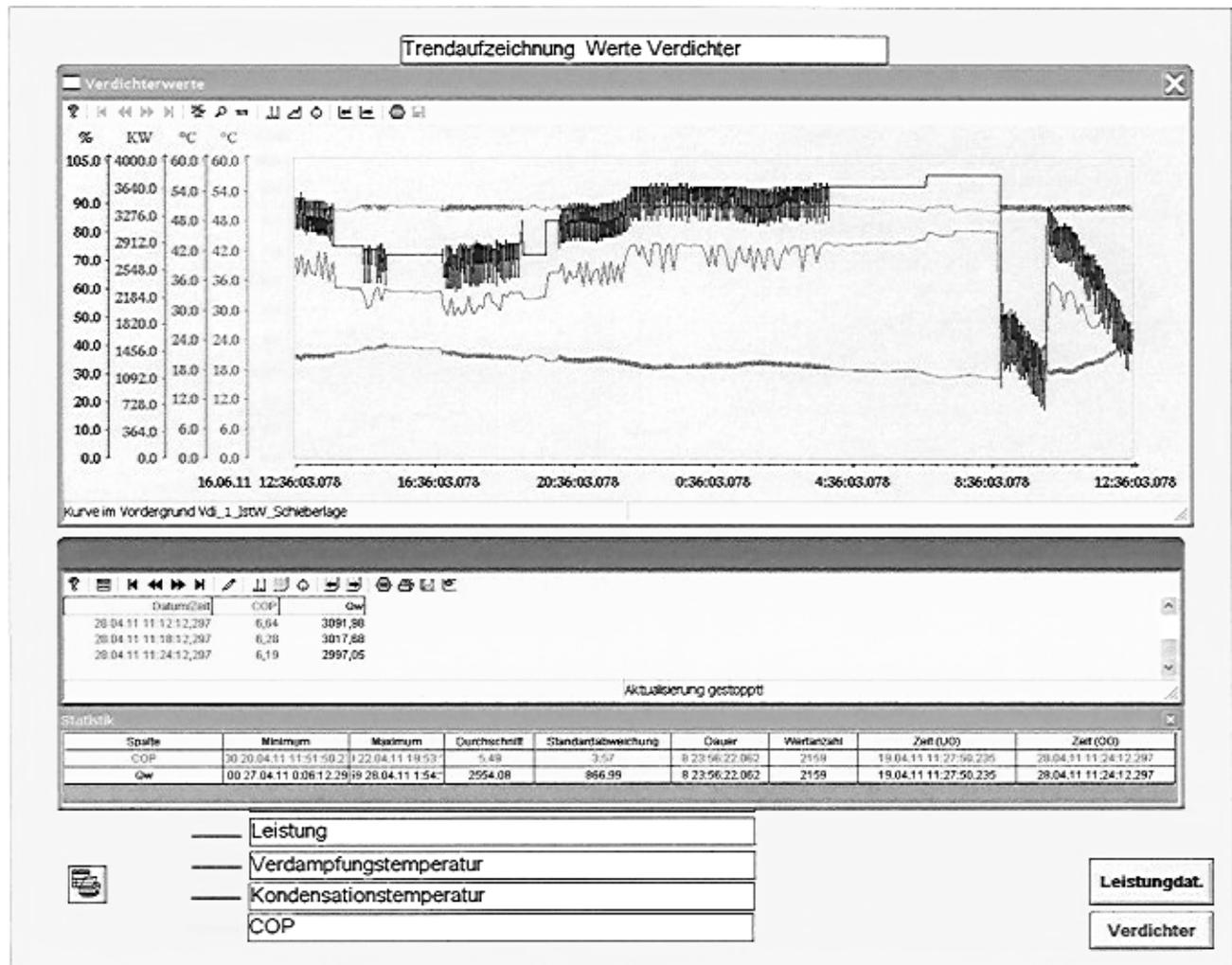
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:34:48
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:36:12
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



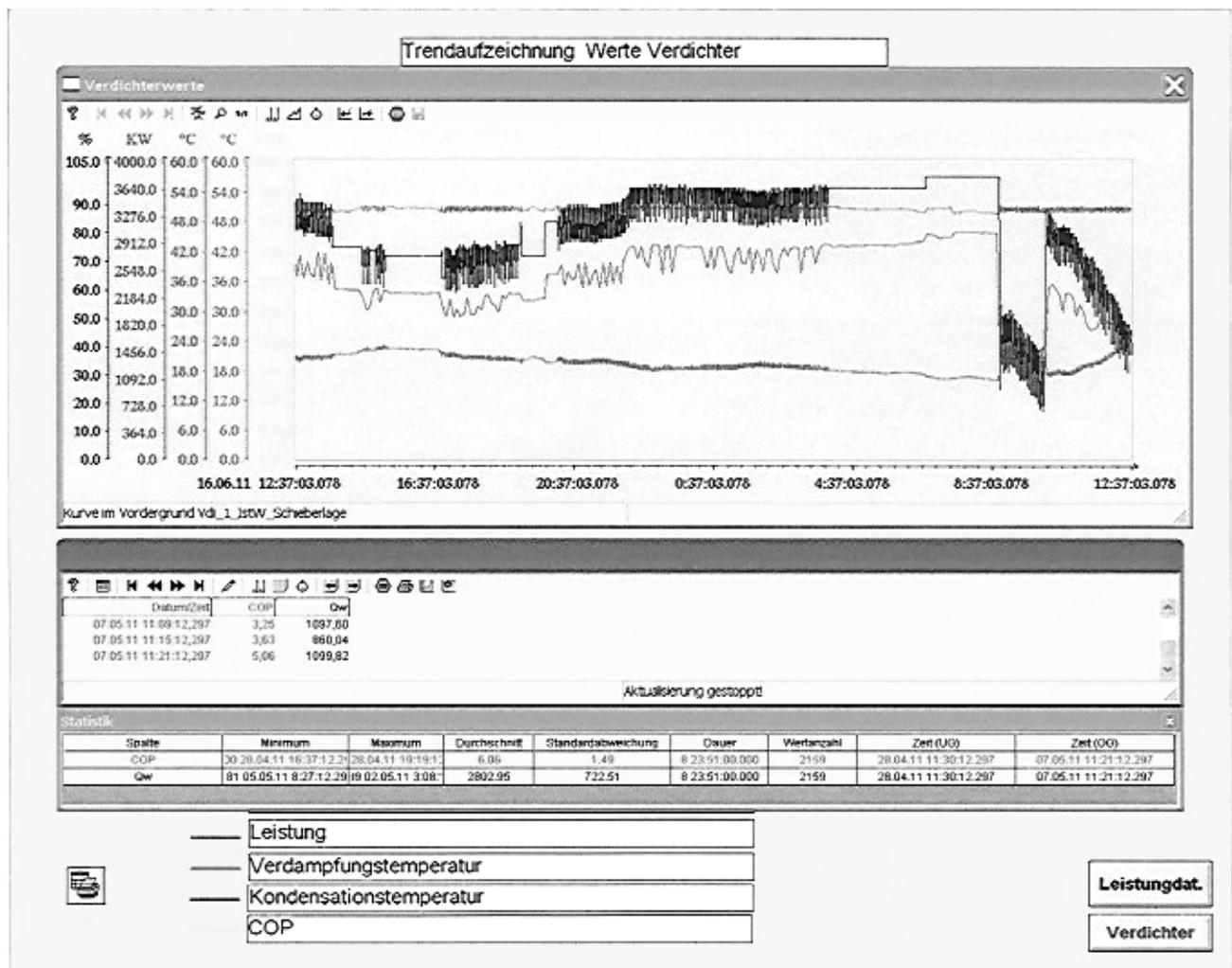
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:36:51
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



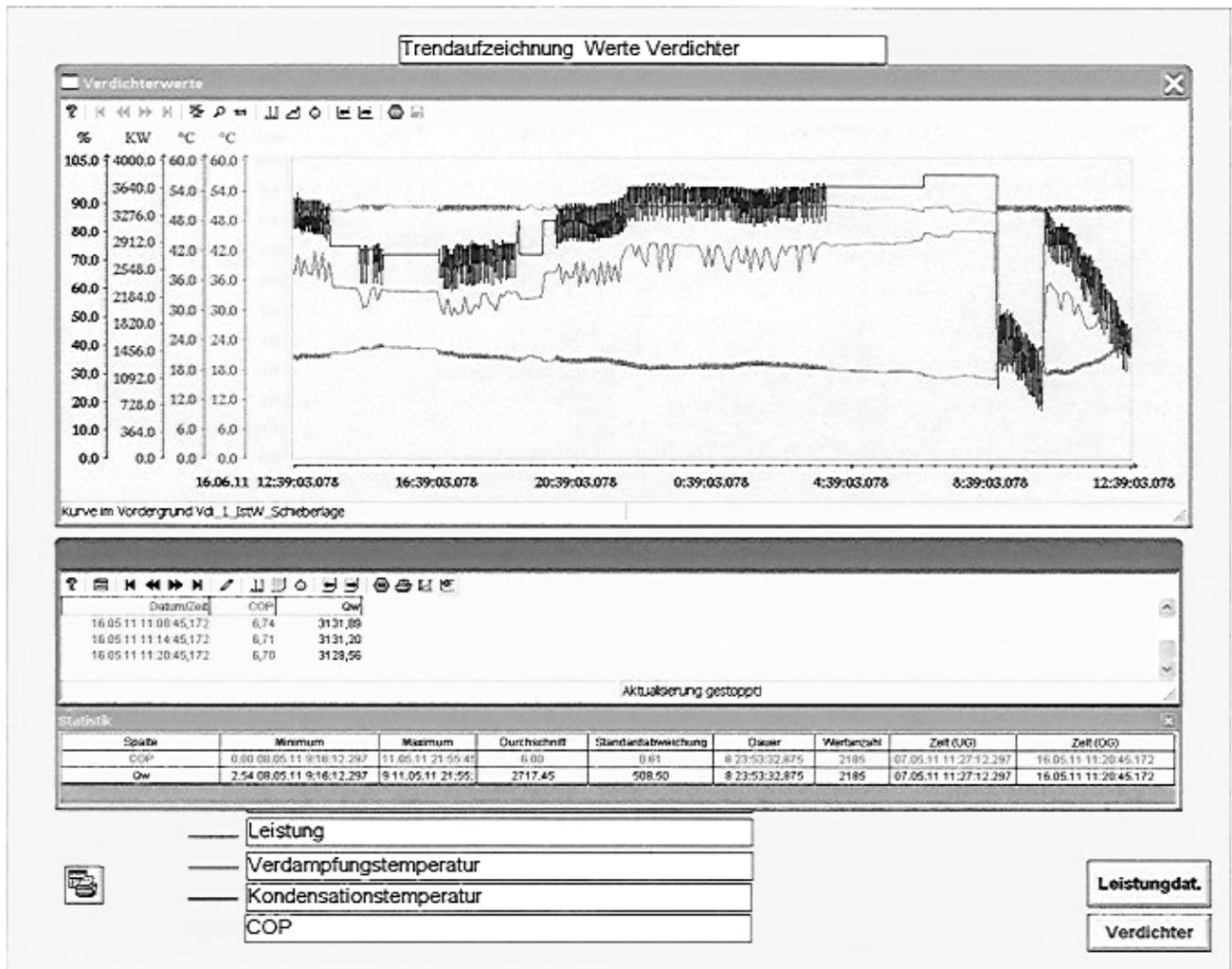
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:37:27

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

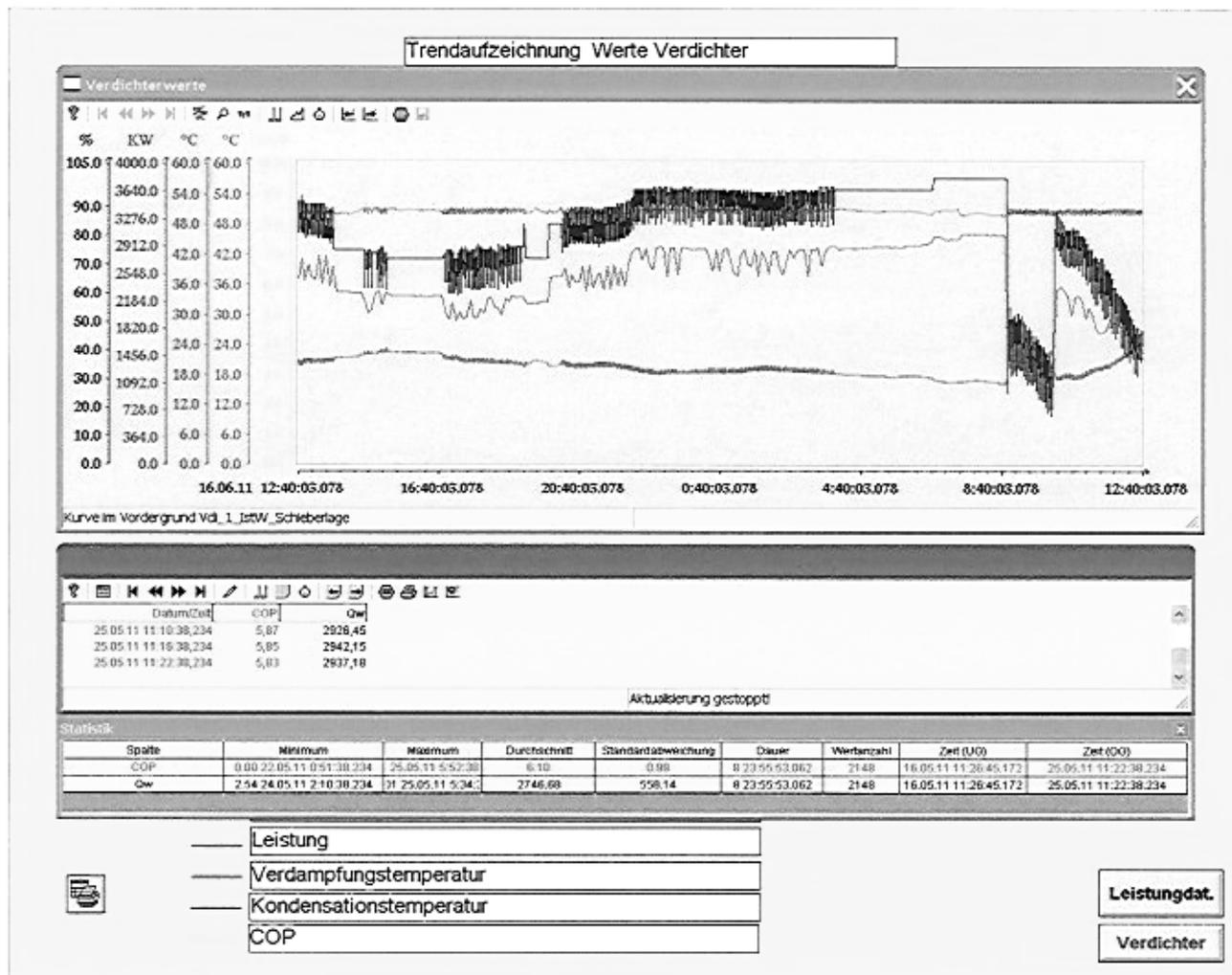
Benutzername: erc



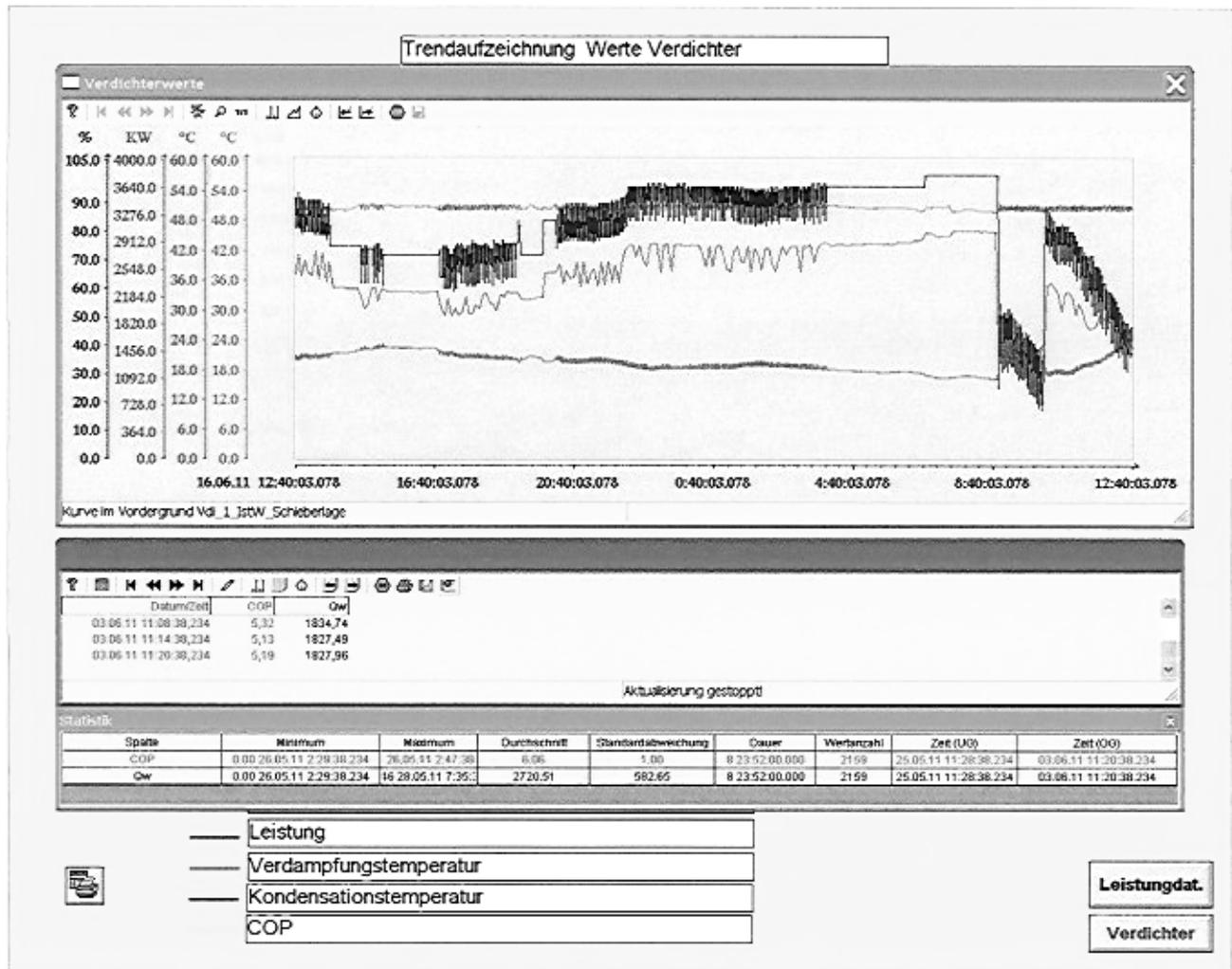
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:39:41
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:40:08
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



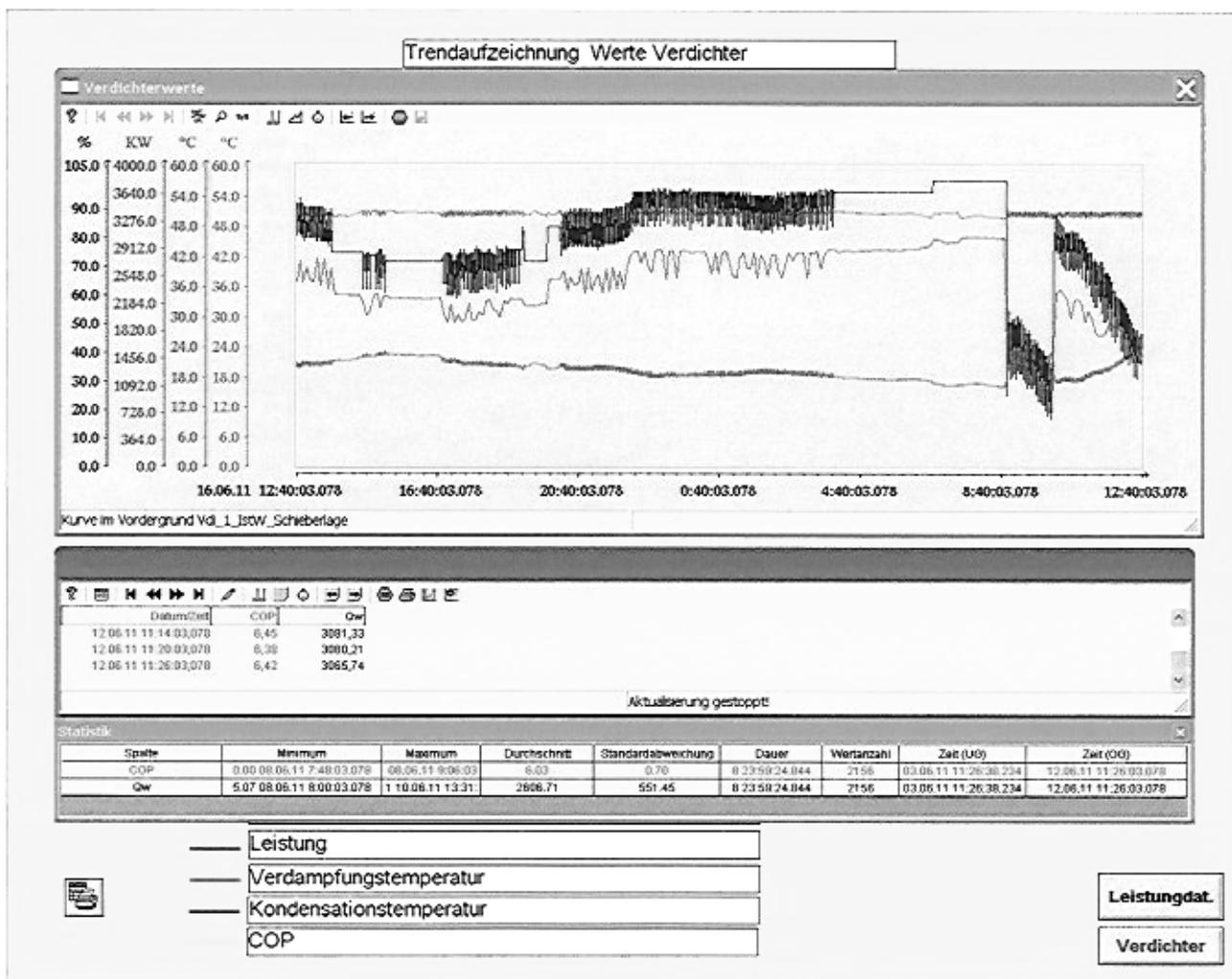
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:40:29
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



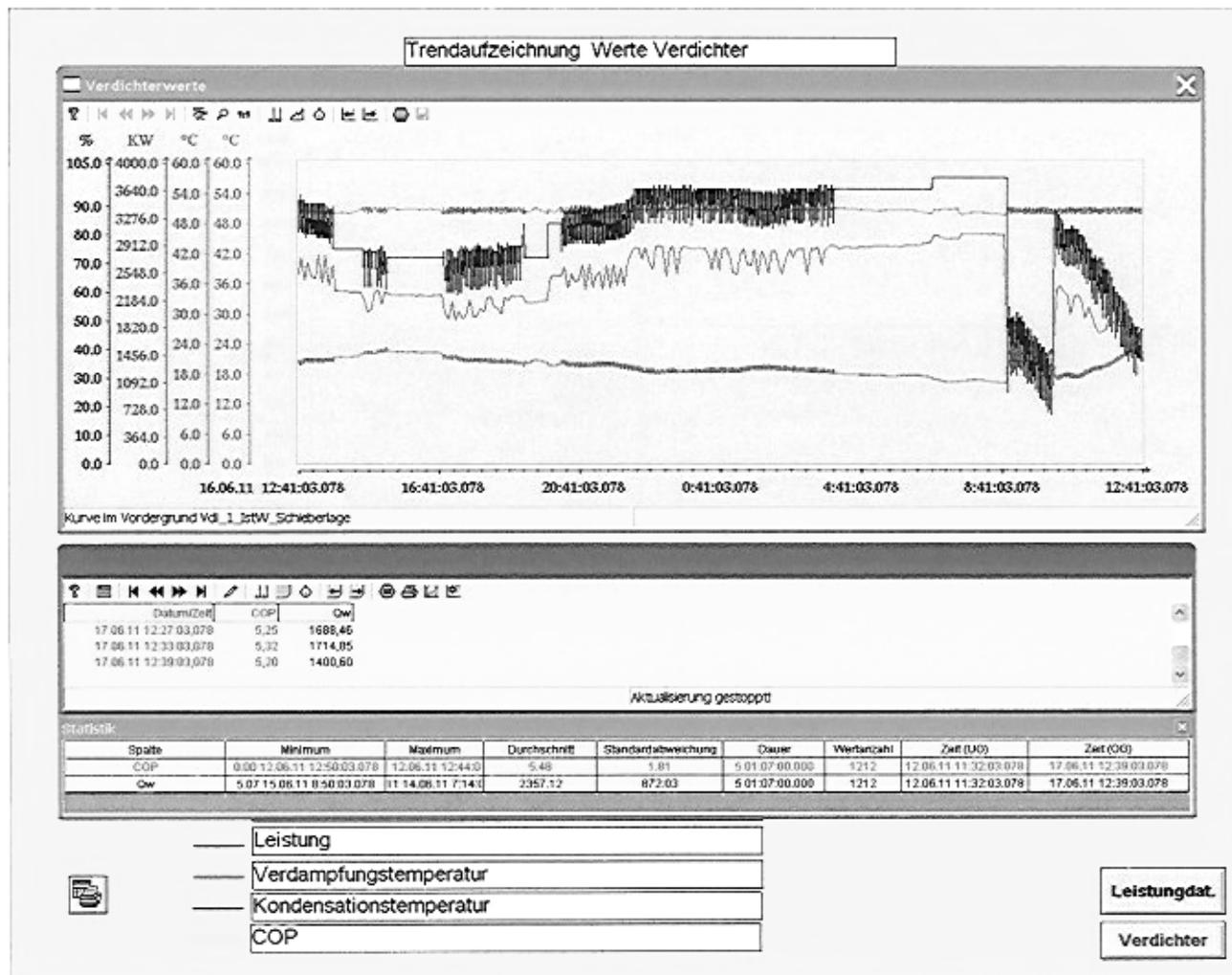
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:40:54

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

Benutzername: erc



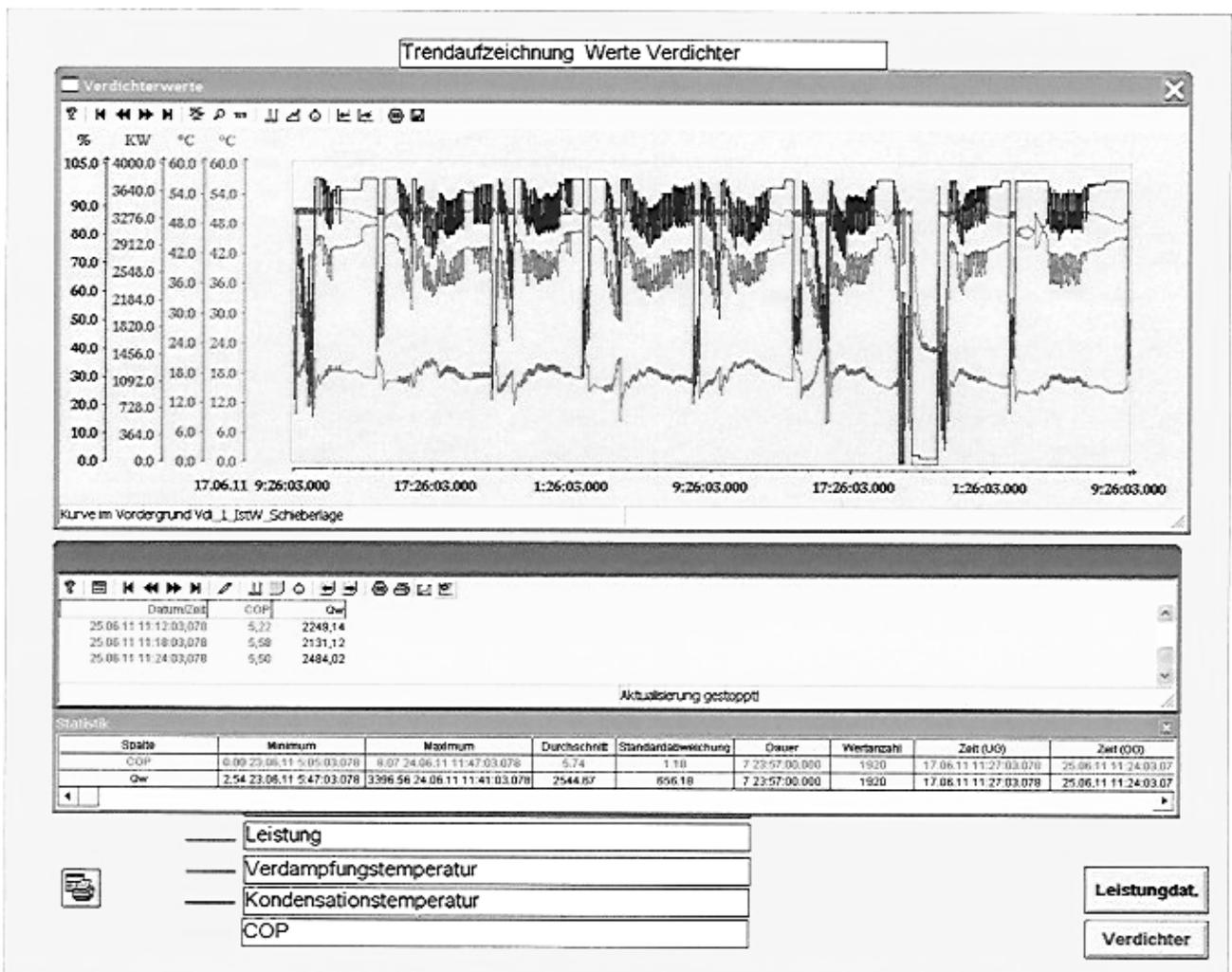
Ausdruck vom: Freitag, 17. Juni 2011 12:41:24
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:41:17

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

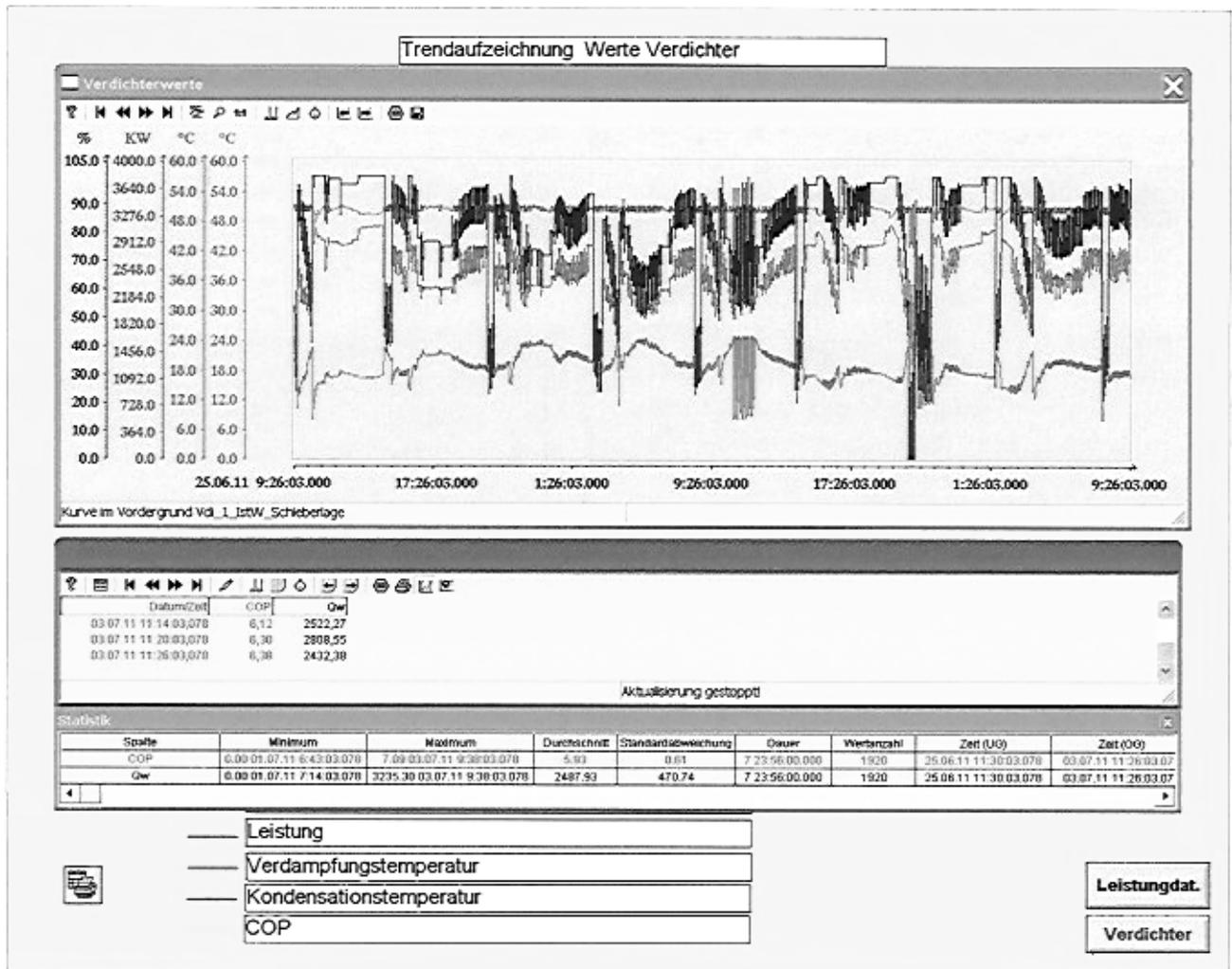
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:46:57

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

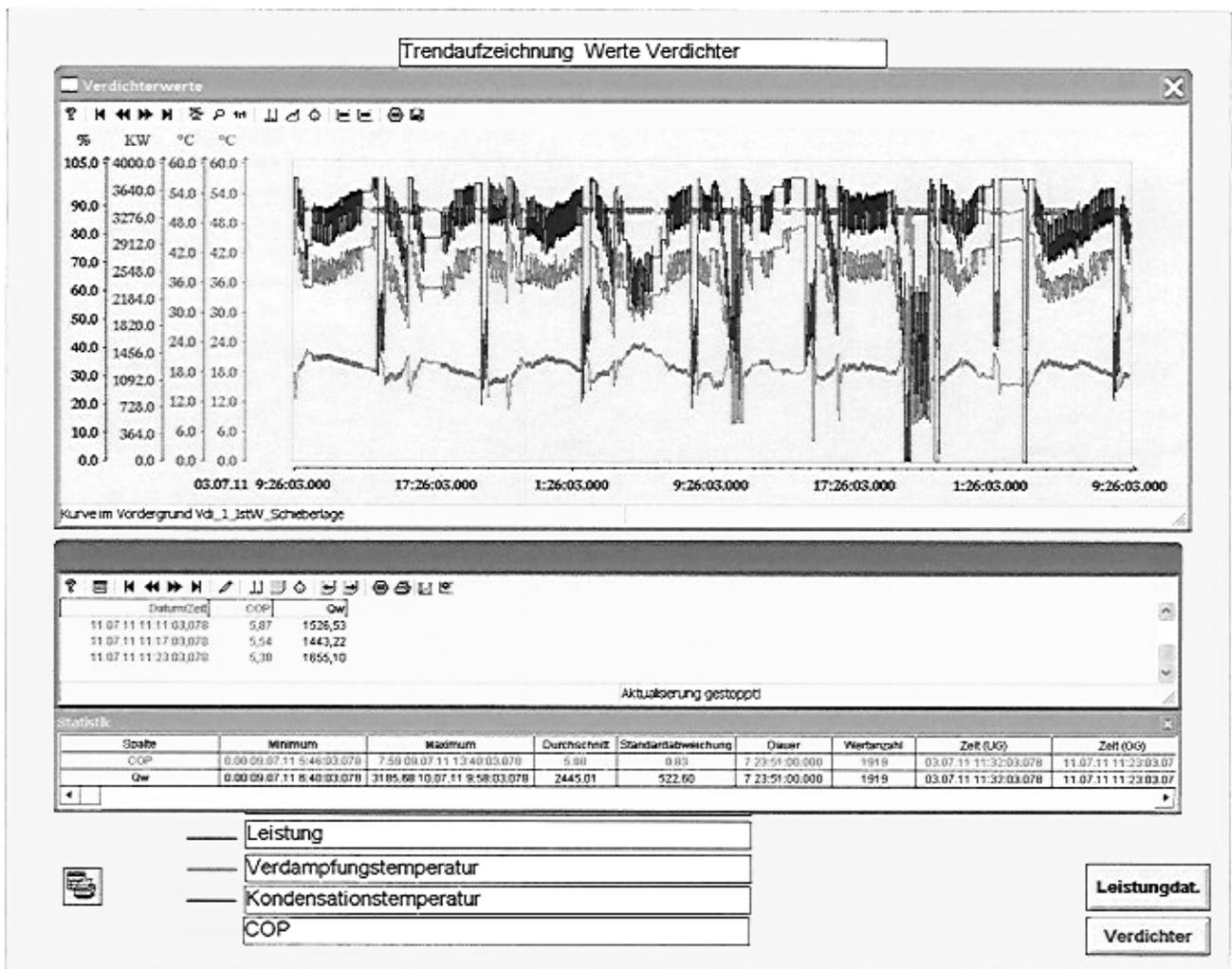
Benutzername: erc



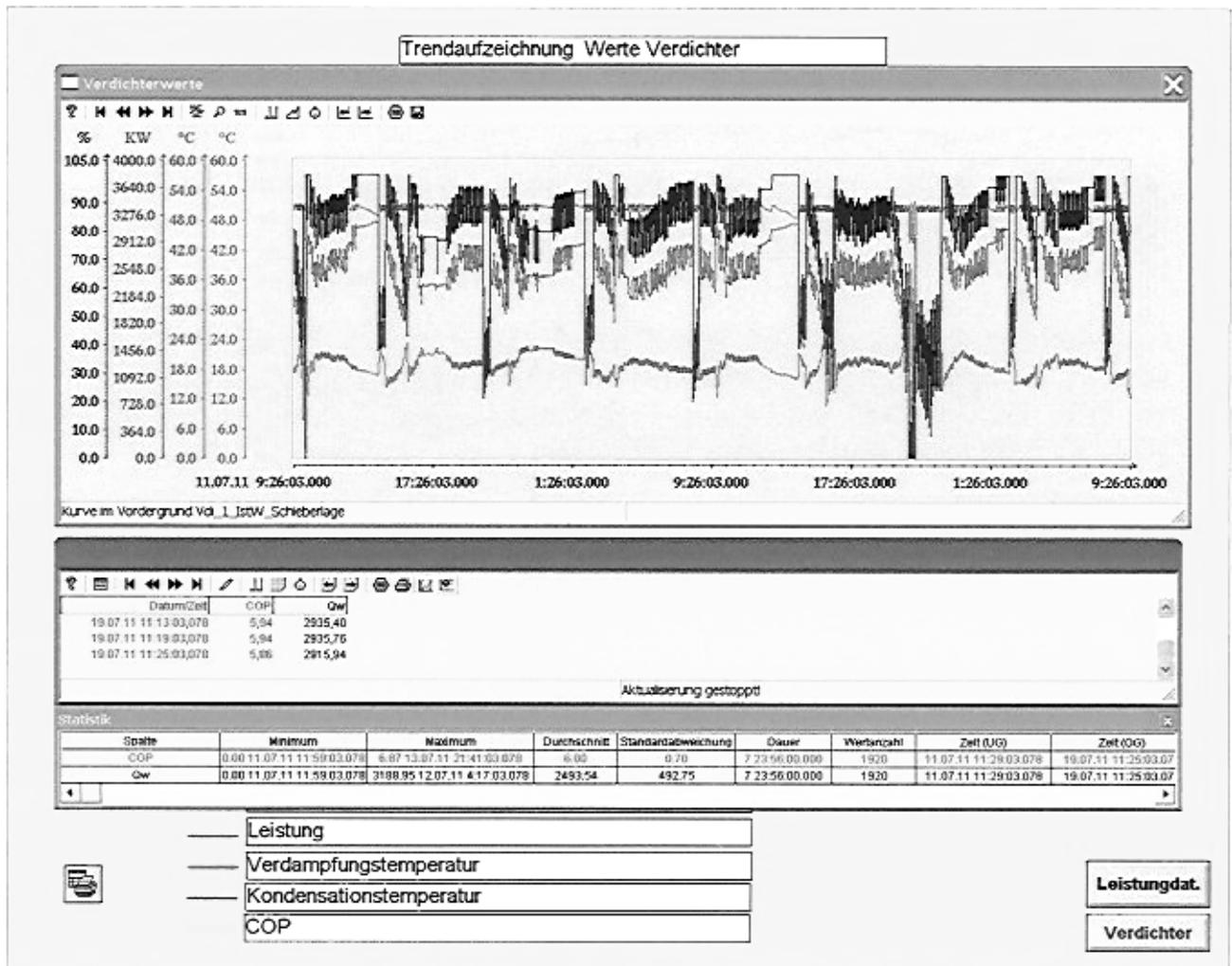
Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:44:42

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

Benutzername: erc



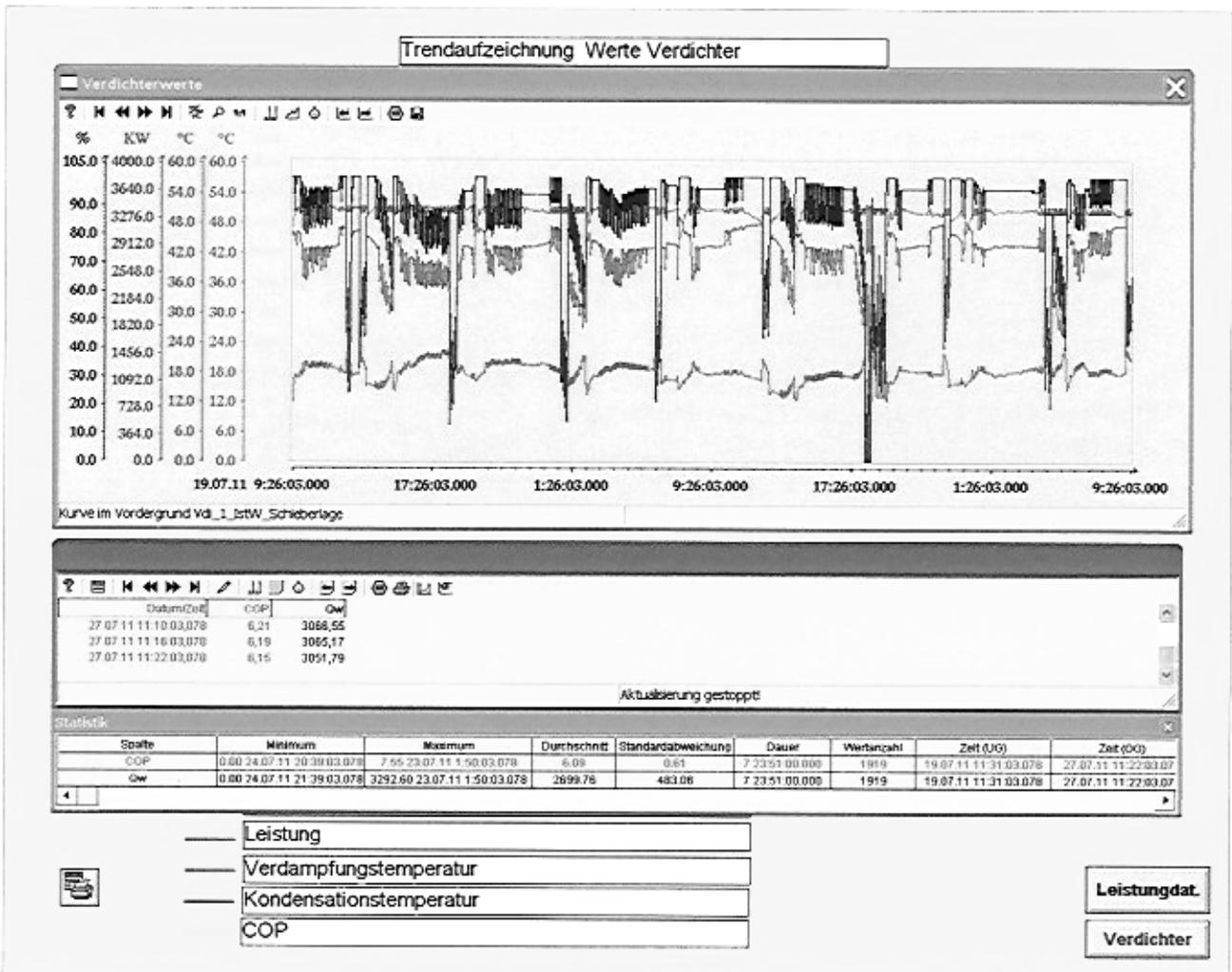
Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:49:08
 PC-Name: Console / PC-KÄLTE
 Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:50:55

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

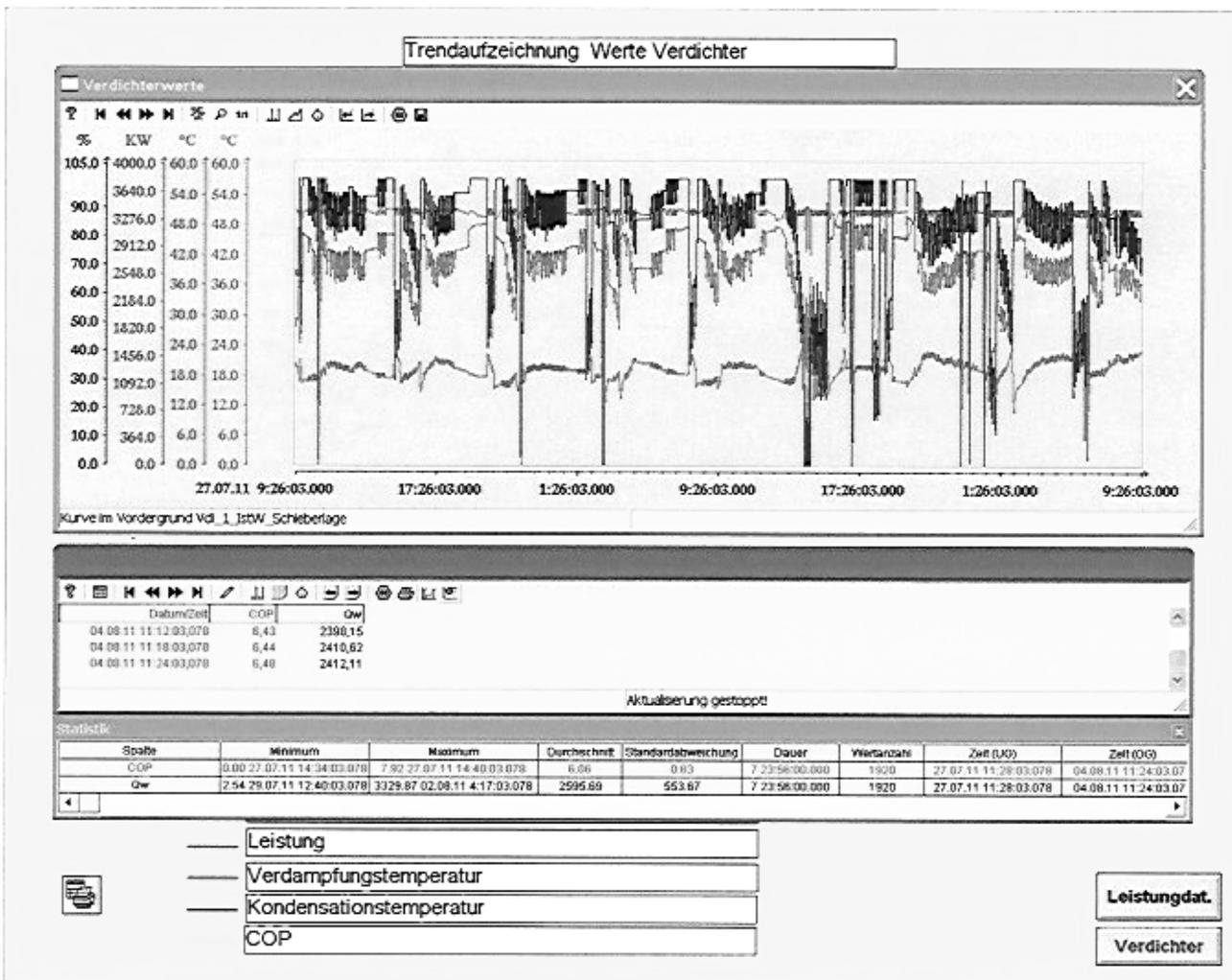
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:51:48

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

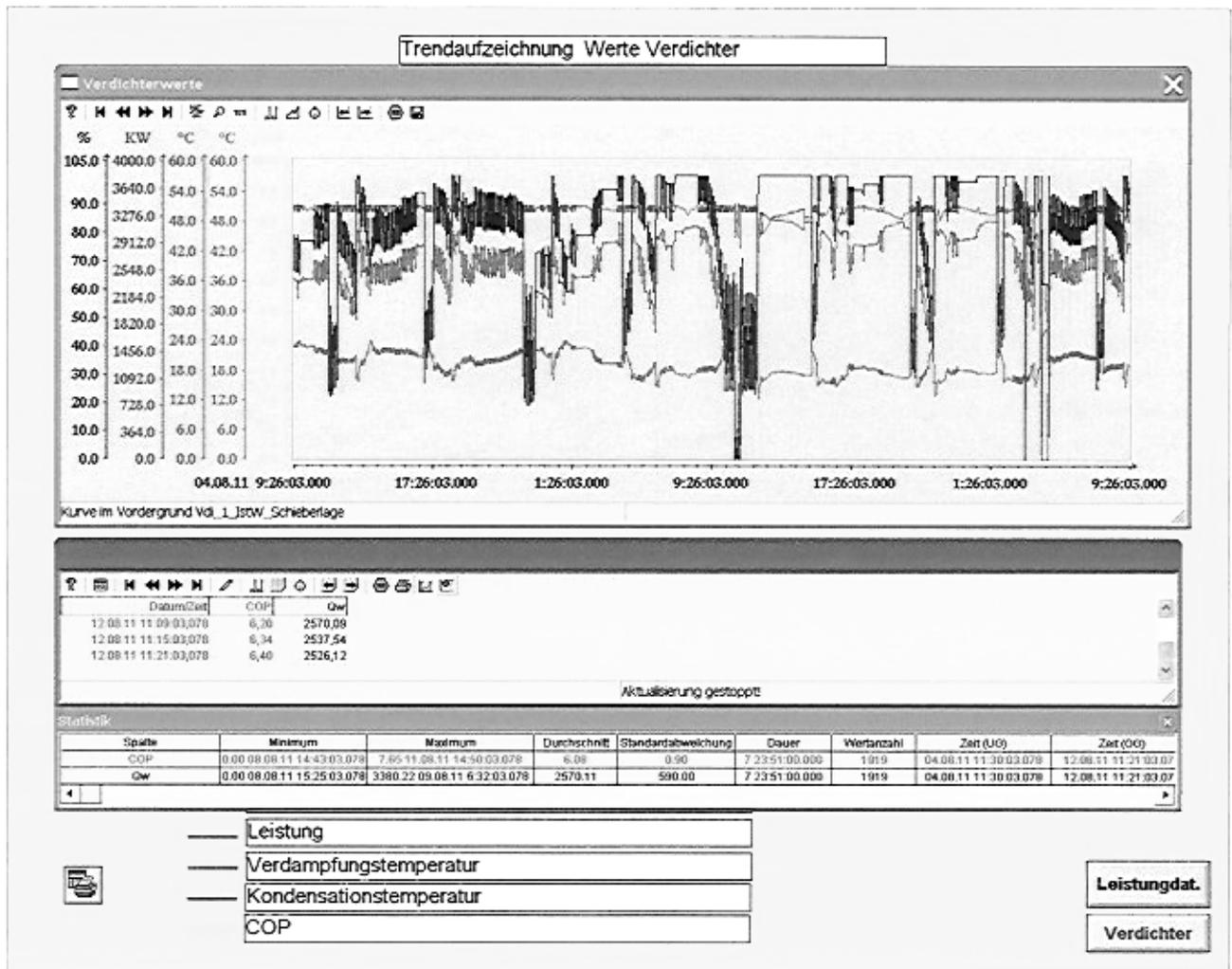
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:52:16

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

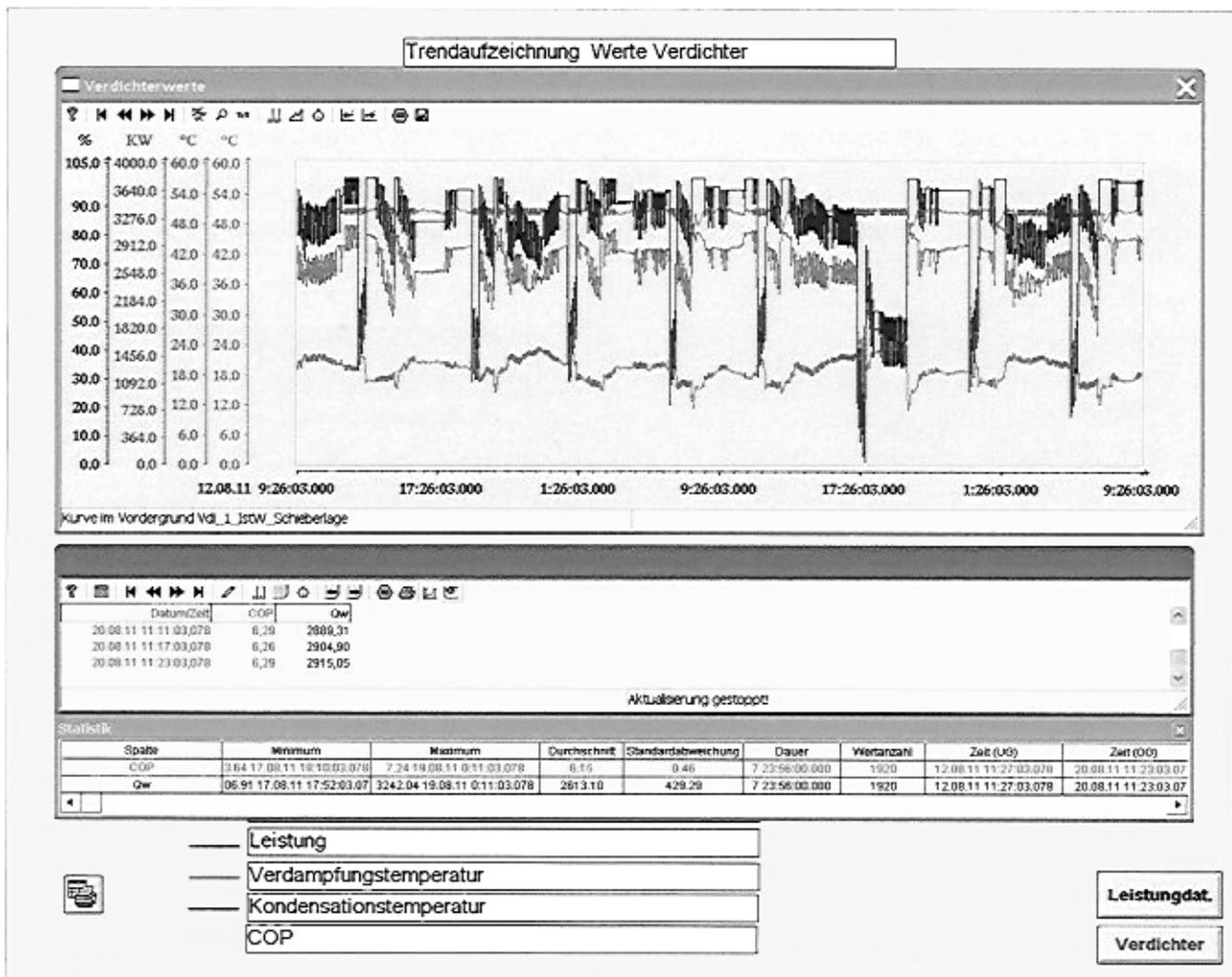
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:52:51

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

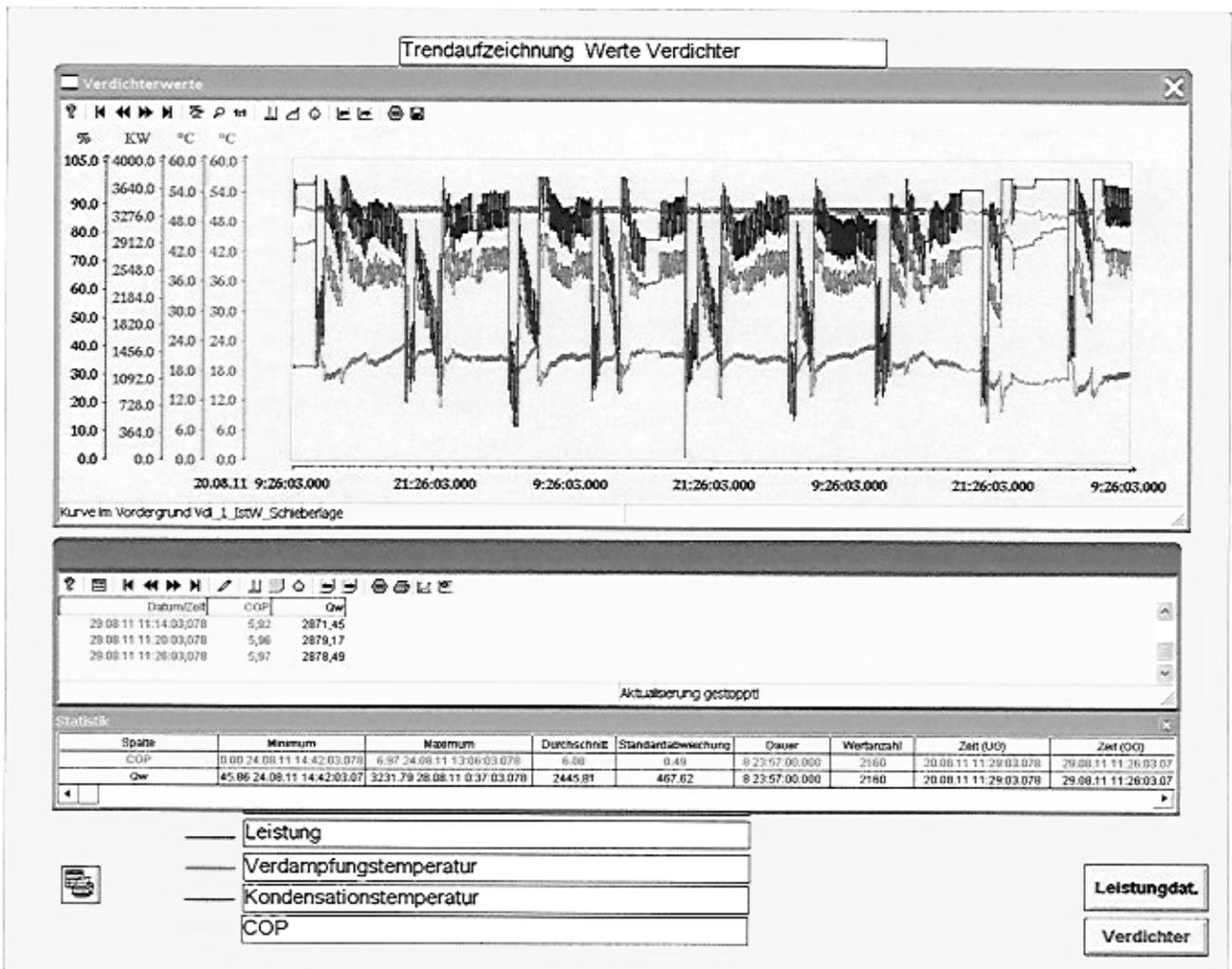
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:53:20

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

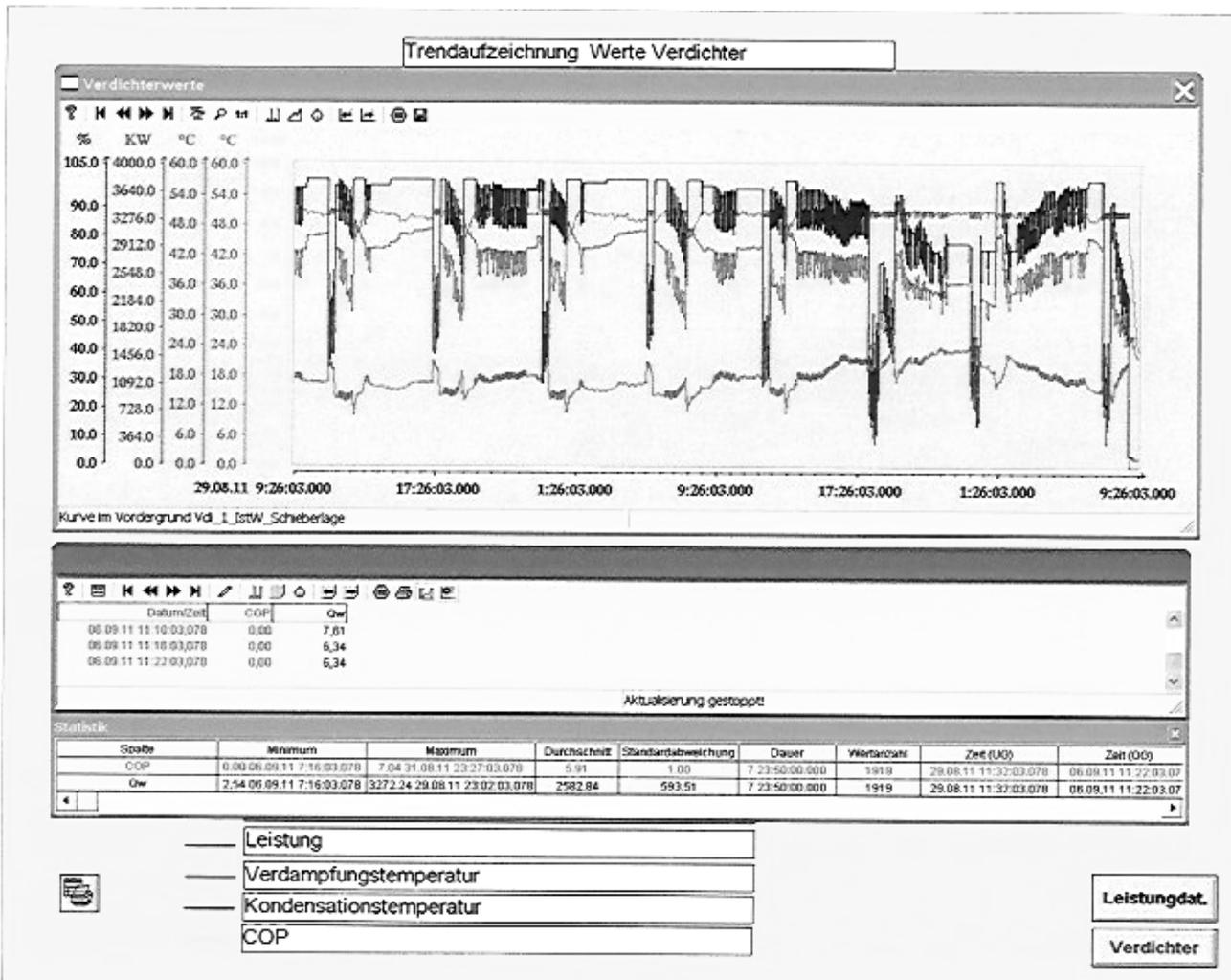
Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:53:46

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

Benutzername: erc



Ausdruck vom: Montag, 26. September 2011 11:54:18

PC-Name: Console / PC-KÄLTE

Benutzername: erc

