

## **BMU - Umweltinnovationsprogramm**

# **Abschlussbericht**

### **zum Vorhaben**

Neubau einer energieeffizienten Produktionshalle mit Verwaltung  
Vorhaben-Nr. 20131  
UBA-Aktenzeichen 70441-5/29

### **Fördernehmerin**

Berghoff Vermögens-Verwaltungsgesellschaft mbH  
Langenheid 1  
57489 Drolshagen

### **Umweltbereich**

Klimaschutz, Energie & Ressourceneffizienz

### **Laufzeit des Vorhabens**

30.04.2008 bis 31.12.2009

### **Autoren**

Oliver Bludau (Geschäftsführer der Firma Berghoff)  
Dipl.-Ing. Thomas Hellmich (Geschäftsführer Hellmich & Partner)  
Dipl.-Ing. Markus Ohm (Geschäftsführer Ohm + Ohm)  
Dipl.-Ing. Peter Schneider (Geschäftsführer ESO Schneider)  
Frank Podchul (Geschäftsführer PCN GmbH)  
Sonja Saul (Ltg. Personal der Firma Berghoff)



**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit**

**Datum der Erstellung**  
21. September 2010

### Berichts-Kennblatt

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------|--------------|----------------------|---------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------|----------------|
| <b>1. Berichtsnummer</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>2.</b>                      | <b>3.</b>                        |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>4. Titel des Berichts</b><br>Neubau einer energieeffizienten Produktionshalle mit Verwaltung                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>5. Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b><br>Bludau, Oliver<br>Hellmich, Thomas<br>Ohm, Markus<br>Schneider, Peter<br>Podchul, Frank<br>Saul, Sonja                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                | <b>8. Abschlussdatum</b>         |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)</b><br>KfW, Ludwig-Erhard-Platz 1-3, 53179 Bonn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                | <b>9. Veröffentlichungsdatum</b> |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                | <b>10. Vorh.-Nr.</b><br>20131    |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)</b><br>Umweltbundesamt,<br>Wörlitzer Platz 1, 06844 Dessau-Roßlau                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                | <b>11. Seitenzahl</b><br>38      |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                | <b>12. Literaturangaben</b>      |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                | <b>13. Tabellen u. Diagramme</b> |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>14. Abbildungen</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>15. Zusätzliche Angaben</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>16. Kurzfassung</b><br>Neubau einer energieeffizienten Produktionshalle mit Verwaltung mit geothermischer Beheizung und passiver Gebäude- und Maschinenkühlung, sowie Abwärmenutzung aus der Druckluftherzeugungsanlage.                                                                                                                                                                                                 |                                |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>17. Schlagwörter</b><br><table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Klimaschutz</td> <td style="width: 50%;">Klimatechnik</td> </tr> <tr> <td>Konstante Temperatur</td> <td>Ressourceneffizienz</td> </tr> <tr> <td>Umweltfreundliche Bauweise</td> <td>Klimatisierte Produktionshalle</td> </tr> <tr> <td>Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission</td> <td>Abwärmenutzung</td> </tr> </table> |                                |                                  | Klimaschutz | Klimatechnik | Konstante Temperatur | Ressourceneffizienz | Umweltfreundliche Bauweise | Klimatisierte Produktionshalle | Minderung der CO <sub>2</sub> -Emission | Abwärmenutzung |
| Klimaschutz                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Klimatechnik                   |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| Konstante Temperatur                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Ressourceneffizienz            |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| Umweltfreundliche Bauweise                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Klimatisierte Produktionshalle |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| Minderung der CO <sub>2</sub> -Emission                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Abwärmenutzung                 |                                  |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |
| <b>18.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>19.</b>                     | <b>20.</b>                       |             |              |                      |                     |                            |                                |                                         |                |

### Report-Coversheet

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |                                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1. UBA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>2.</b>  | <b>3.</b>                                                                                             |
| <b>4. Report Title</b><br>New building of an energy efficient production hall                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            |                                                                                                       |
| <b>5. Author(s), Family Name(s), First Name(s)</b><br>Bludau, Oliver<br>Hellmich, Thomas<br>Ohm, Markus<br>Schneider, Peter<br>Podchul, Frank<br>Saul, Sonja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            | <b>8. Report Date</b><br><br><b>9. Publication Date</b>                                               |
| <b>6. Performing Organisation (Name, Address)</b><br>KfW, Ludwig-Erhard-Platz 1-3, 53179 Bonn                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |            | <b>10. Report-No.</b><br>20131<br><b>11. No. of Pages</b><br>38                                       |
| <b>7. Sponsoring Agency (Name, Address)</b><br>Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)<br>Wörlitzer Platz 1<br>06844 Dessau-Roßlau                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            | <b>12. No. of References</b><br><br><b>13. No. of Tables, Diagr.</b><br><br><b>14. No. of Figures</b> |
| <b>15. Supplementary Motes</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |            |                                                                                                       |
| <b>16. Abstract</b><br>New building of an energy efficient production hall with administrative department with geothermic heating, passive cooling of the building and the machinery and waste heat recovery from the compressed air system.                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                       |
| <b>17. Keywords</b><br><div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">           climate protection<br/>           constant temperature<br/>           environment- friendly construction<br/>           mitigation of CO<sub>2</sub>-emission         </div> <div style="width: 45%;">           air- conditioning technology<br/>           efficiency of resources<br/>           air- conditioned production hall<br/>           waste heat utilisation         </div> </div> |            |                                                                                                       |
| <b>18.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>19.</b> | <b>20.</b>                                                                                            |

---

| <b>3. Inhaltsverzeichnis</b>                               | <b>Seite</b> |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| <b>1. Titelblatt</b>                                       | <b>1</b>     |
| <b>2. Berichtskennblätter</b>                              |              |
| 2.1 Deutsch                                                | 2            |
| 2.2 Englisch                                               | 3            |
| <b>3. Inhaltsverzeichnis</b>                               | <b>4-5</b>   |
| <b>4. Erläuterung der Abkürzungen/Maßeinheiten/Symbole</b> | <b>6</b>     |
| 4.1 Abkürzungen                                            | 6            |
| 4.2 Maßeinheiten                                           | 6            |
| 4.3 Symbole                                                | 6            |
| <b>5. Einleitung</b>                                       | <b>7-8</b>   |
| 5.1 Aufgabenstellung                                       | 9            |
| 5.2 Maßnahmenbeschreibung                                  | 9-23         |
| 5.2.1 Effiziente Klimatechnik                              | 9-13         |
| 5.2.2 Bautechnik                                           | 14-17        |
| 5.2.3 Beleuchtung                                          | 18-21        |
| 5.2.4 IT-Infrastruktur                                     | 22           |
| 5.2.5 Begleitendes Messprogramm                            | 23           |
| <b>6. Ergebnisse</b>                                       | <b>24-25</b> |
| 6.1 Effiziente Klimatechnik                                | 24-25        |
| <b>7. Wirtschaftlichkeit</b>                               | <b>26-36</b> |
| 7.1 Effiziente Klimatechnik                                | 26-33        |
| 7.1.1 Konventionelle Anlagentechnik                        | 26-27        |
| 7.1.2 Umwelteffiziente Anlagentechnik                      | 28-29        |
| 7.1.3 Herstellungskosten konventionelle Anlagentechnik     | 30           |
| 7.1.4 Herstellungskosten umwelteffiziente Klimatechnik     | 31           |
| 7.1.5 Wirtschaftlichkeitsrechnung                          | 32-33        |
| 7.2 Beleuchtung                                            | 34-35        |
| 7.3 IT-Infrastruktur                                       | 36           |

---

|           |                                                    |              |
|-----------|----------------------------------------------------|--------------|
| <b>8.</b> | <b>Zusammenfassung / Empfehlungen</b>              | <b>36-38</b> |
| 8.1       | Effiziente Klimatechnik                            | 36-37        |
| 8.2       | Begleitendes Messprogramm                          | 38           |
| <br>      |                                                    |              |
| <b>9.</b> | <b>Anlagen</b>                                     |              |
| 9.1       | Anlagenschema                                      |              |
| 9.2       | Übersicht Wärme-/Kältezähler                       |              |
| 9.3       | Energieflussbild                                   |              |
| 9.4       | Wirtschaftlichkeitsvergleich Beleuchtung           |              |
| 9.5       | Wirtschaftlichkeitsbetrachtung Fraunhofer Institut |              |
| 9.6       | Berghoff Factsheet                                 |              |

---

## **4. Erläuterung der Abkürzungen/Maßeinheiten/Symbole**

### **4.1 Abkürzungen**

|                 |   |                                          |
|-----------------|---|------------------------------------------|
| BH              | = | Bauherr                                  |
| H + P           | = | Ingenieurgesellschaft Hellmich + Partner |
| Q               | = | Leistung elektrisch oder thermisch       |
| WP              | = | Wärmepumpe                               |
| FBH             | = | Fußbodenheizung                          |
| WWB             | = | Warmwasserbereitung                      |
| HK              | = | Heizkörper                               |
| CO <sub>2</sub> | = | Kohlenstoffdioxid                        |
| COP             | = | Arbeitszahl der Wärmepumpe               |
| EnEV            | = | Energiesparverordnung                    |

### **4.2 Maßeinheiten**

|                |   |                                                 |
|----------------|---|-------------------------------------------------|
| kW             | = | Leistung in Kilowatt, elektrisch oder thermisch |
| kWh            | = | Kilowattstunden Energieverbrauch                |
| °C             | = | Grad Celsius                                    |
| m              | = | Meter                                           |
| g              | = | Gramm                                           |
| t              | = | Tonne                                           |
| m <sup>3</sup> | = | Kubikmeter                                      |
| Pa             | = | Druckverlust                                    |

### **4.3 Symbole**

|    |   |           |
|----|---|-----------|
| €  | = | Euro      |
| ct | = | Eurocent  |
| a  | = | anno/Jahr |
| h  | = | Stunde    |

## 5. Einleitung

Die Firma **Berghoff** beschäftigt sich seit der Unternehmensgründung im Jahre 1984 mit der spannenden Bearbeitung von unterschiedlichsten Materialien.

Als Hersteller von Komponenten für anspruchsvolle Branchen sind wir mit unseren 24 hochmodernen CNC-Bearbeitungszentren und 70 sehr gut geschulten Mitarbeitern besonders stark im Bereich der Klein- und Mittelserien. Unsere Fertigungsmöglichkeiten beginnen bei Werkstücken von der Größe einer Streichholzschachtel und gehen bis zu Abmessungen von 3500 mm.

Abgerundet wird unser Leistungsspektrum durch fertigungsnahe Dienstleistungen, wie Materialprüfungen, waschen und konservieren von Werkstücken sowie die Fertigung, Montage und Lieferung ganzer Baugruppen [www.berghoff.eu](http://www.berghoff.eu).

### Unsere Projektpartner:



Die Ingenieurgesellschaft **Hellmich & Partner** aus Siegen hat uns bei der Klima- & Messtechnik von der ersten Stunde an maßgeblich begleitet. Seit der Gründung im Jahre 1965 hat das Unternehmen tausende von Bauvorhaben realisiert und ist ein Garant für erschwingliche und praktische Lösungen in allen Fragen der Gebäudeleittechnik [www.hellmich-partner.de](http://www.hellmich-partner.de).



Die Idee & Gestaltung des Firmengebäudes stammt aus der Feder des Architekturbüros **Ohm+Ohm** aus Olpe. Das familiengeführte Unternehmen kann auf langjährige Erfahrung zurückblicken und betreut seine Bauherren vom Entwurf, Bauüberwachung bis hin zur Fertigstellung, so auch in unserem Fall [www.ohm-architekten.de](http://www.ohm-architekten.de).



Im Bereich der IT-Technik ist die Firma **PCN GmbH** aus Wenden unser Projektpartner. Das moderne Dienstleistungsunternehmen wurde 1997 von Frank Podchul gegründet und erstellt technische Lösungen zur Effizienzsteigerung in den Bereichen EDV und Kommunikationsanlagen. Innovatives, kundenorientiertes Arbeiten, hohe Fachkompetenz, Flexibilität & Zuverlässigkeit zeichnen das Unternehmen aus [www.pcn-gmbh.com](http://www.pcn-gmbh.com).



Für die Elektroinstallationen und Beleuchtung war die Firma **ESO Schneider** aus Olpe zuständig. Das Familienunternehmen wurde 1958 von Ernst und Christel Schneider gegründet und wird heute von ihrem Sohn Peter Schneider fortgeführt. Kundenservice, Zuverlässigkeit & Fachkompetenz gehören genauso zum Leistungsspektrum, wie die Elektroinstallation, Netzwerkinstallation mit Glasfaserverkabelung, Licht- & Objektplanung, Automationstechnik für sämtliche Bereiche in der Industrie, im Handel, Verwaltungs- & Wohnungsbau [www.eso-schneider.de](http://www.eso-schneider.de).

## **5.1 Aufgabenstellung**

Die Firma Berghoff beabsichtigte im Jahr 2008 den Neubau einer Produktionsstätte, einschließlich Büro- und Sozialgebäude an einem neuen Standort. Hierzu wurden Überlegungen durchgeführt, den neuen Standort ökologisch und technisch auf dem höchsten Stand der Technik auszustatten, um für die Zukunft einen niedrigen Energiebedarf bzw. niedrige Energieerzeugungskosten und einen möglichst geringen CO<sub>2</sub> Eintrag zu erreichen.

Die Aufgabenstellung war die Errichtung einer Produktionshalle mit angrenzendem Büro- und Sozialgebäude in ökologischer Bauweise. Dies bezog sich auf alle Bereiche der technischen Gebäudeausrüstung (Klimatisierung, Beheizung, Beleuchtung und IT-Infrastruktur des Gebäudes sowie die gesamte Bautechnik).

Das Ziel sollte sein, mit den eingesetzten Technologien den geringsten technisch möglichen Einsatz von Primärenergie und den geringst möglichen Ausstoß von CO<sub>2</sub> sicher zu stellen. Hierfür wurden in den einzelnen Bereichen entsprechende Technikkonzepte erarbeitet.

## **5.2. Maßnahmenbeschreibung**

### **5.2.1 Effiziente Klimatechnik**

Da die Firma Berghoff Werkstücke in extrem hoher Präzision fertigt, sind gleichbleibende Temperaturen im Produktionsbereich sowie gleichbleibende Temperaturen in der Höhenschichtung der Halle erforderlich.

Des Weiteren ist sichergestellt worden, dass die Abwärme der Maschinen nicht direkt der Halle zugeführt wird, sondern so früh wie möglich an die Technik abgegeben wird.

#### **Anlagenkonzeption**

In der Anlage 1 zu diesem Abschlussbericht ist unter Punkt 9.1 ein komplettes Anlagenschema mit den Leistungs- und Abwärmeangaben, sowie den wesentlichen Anlagenteilen in einem verfahrenstechnischen Schaltbild beigefügt.

Die gesamten Wärmeverbraucher des Objektes, bestehend aus statischen Heizflächen (Fußbodenheizung, Heiz-/Kühldecken), sowie Lüftungsgeräten und Warmwasserbereitung) werden über geothermische Energie versorgt. Hierzu sind 20 Tiefenbohrungen á 120 m Tiefe rund um das Gebäude angelegt worden, um die Wärme des Erdreiches zum Heizen und die Kühle des Erdreiches als passive Kühlung zu nutzen.

Da die Temperaturen aus der Erde zum Heizen oberhalb von 14 °C nicht nutzbar sind, ist es erforderlich diese über Wärmepumpen die auf ein technisch nutzbares Niveau anzuheben. Zur Ausführung ist eine Hauptwärmepumpe mit einer Heizleistung von 67 kW gekommen, welche ganzjährig als Grundlastwärmepumpe gefahren wird. Als Spitzenlast- und Warmwasserwärmepumpe ist eine zweite Wärmepumpe mit einer Leistung von 32 kW zur Ausführung gekommen. Diese ist in der Lage 65 °C Vorlauftemperatur sicher zu stellen.

Die Warmwasserbereitung wird vorrangig aus der Wärmerückgewinnung der Druckluftanlage versorgt. Diese Abwärme der Kompressoranlage hat eine Leistung von ca. 40 kW.

Sämtliche Wärmeverbraucher (Fußbodenheizung, Wärmetauscher in den Lüftungsgeräten) sind auf die entsprechenden niedrigen Vorlauftemperaturen (Vorlauf 40 °C, Rücklauf 30 °C) ausgelegt. Bei diesen Temperaturen haben die Wärmepumpen optimale Jahresarbeitszahlen.

Die Kühlung erfolgt ausschließlich passiv, d. h. ohne den Einsatz der Wärmepumpen die reversibel als Kältemaschine benutzt werden könnten.

Es wird also sichergestellt, dass die mit max. 14 °C aus dem Erdreich heraustretende Sole den Kälteverbrauchern (Kühlung der Fräszentren, Lüftungsgerät in der Halle, Kühlung des Messraumes und der Serverräume sowie anderen Kälteverbrauchern) zugeführt wird. Dies erfolgt teilweise über Wärmetauscher und teilweise direkt. Zur Verteilung der Sole ist im Kühlbetrieb lediglich ein Pumpenaggregat zu betreiben, um die Sole entsprechend umzuwälzen.

Optimal ist die wechselnde Nutzung als Heiz- und Kühlenergie, da sich das Sondenfeld in den einzelnen Perioden wieder regenerieren kann. Im Heizbetrieb kühlt sich das Sondenfeld ab, im Kühlbetrieb heizt sich das Sondenfeld auf.

Da nur ein bestimmtes Maß an kWh für den Kühlfall aus dem Sondenfeld entzogen werden kann, ist aus Redundanzgründen ein Kaltwassersatz mit einer Leistung von

105 kW installiert worden. Dieser Kaltwassersatz wird ausschließlich in Betrieb genommen, wenn die Solentemperatur 14 °C überschreiten sollte. Dies ist im ersten Jahr der Nutzung nicht vorgekommen. Aus technischen Gründen ist es jedoch erforderlich den Kaltwassersatz von Zeit zu Zeit anlaufen zu lassen, da es ansonsten zu Störungen am Kaltwassersatz kommen kann.

Aus diesem Grund wird der Messraum mit einer Kühlleistung von 8 kW permanent über den Kaltwassersatz versorgt.

Entgegen der Planung werden anstelle von 10 Fräszentren zur Zeit nur 7 Fräszentren über die geothermische Kühlung versorgt. Sollten weitere Fräszentren angeschafft werden sind eine nachträgliche Installation und ein Anschluss an das System jederzeit möglich.

Die Beheizung und Kühlung der Produktionshalle erfolgt über ein Zu- und Abluftgerät. Der Lagerbereich und die Büro- und Sozialbereiche erhielten Fußbodenheizungssysteme. Der Sozialbereich erhielt zusätzlich eine Lüftungsanlage, um Schadstoffe, Gerüche und Feuchtigkeit abzutransportieren.

Um eine gleichmäßige Temperaturverteilung, strömungsarmen Lufteintritt und eine geringe Staubverwirbelung im Produktionsbereich sicher zu stellen, wird eine Quelllüftung eingesetzt. Die Zuluft wird dem Hallenbereich über 12 Industrie Quellluftauslässe zugeführt (geräusch- und zugfrei). Die Abluft wird unter der Decke über ein normales Absaugsystem abgesaugt.

Als Wärmerückgewinnungsmaßnahme ist eine Mischlufteinrichtung enthalten die jedoch immer einen Mindestaußenluftanteil gewährleistet, im Normalfall jedoch mit 100 % Außenluft betrieben wird (Ausnahme: An extrem warmen oder kalten Tagen wird der Frischluftanteil auf 40 % begrenzt). Zusätzlich ist in der Fortluft eine entsprechende hocheffiziente Wärmerückgewinnung vorgesehen.

Für die Geothermie wurden im Vorfeld die genauen Temperaturen, sowie die Leistungsausbeute durch Simulation (Geothermal Respose Test) und Vorbemessung der Anlage durch Geosachverständige ermittelt, um eine exakte Auslegung der Anlage und der einzelnen Bohrungen vornehmen zu können. Dieser Vorbemessung und dem Umstand eines erhöhten Kältebedarfs wurde Rechnung getragen, indem die ursprünglich angedachten Anzahl von 17 Bohrungen auf 20 Bohrungen erhöht wurde.

### **Heizfall**

Im Heizfall wird die Sole, bevor sie den Wärmepumpen zugeführt wird, über die Wärmetauscher der Kühlflüssigkeit der Fräszentren, sowie über die Umluftkühlgeräte im Serverraum geleitet (Kühlbedarf ganzjährig), um die Vorlauftemperatur in der Eingangsseite der Wärmepumpen anzuheben. Dies bedeutet in jedem Fall eine Arbeitszahlverbesserung der beiden Wärmepumpen.

Der Sole werden zwei Wärmepumpen zugeführt, welche intern durch mehrere Verdichterstufen leistungsabhängig gefahren werden können. Die erste Wärmepumpe ist für eine maximale Vorlauftemperatur von 40 °C ausgelegt und bedient als Haupt- und Grundlastwärmepumpe die Heizverbraucher, sprich Fußbodenheizung des gesamten Bürogebäudes einschließlich der Sozialbereiche, Zu- und Abluftanlagen im Sozial- und Produktionsbereich, sowie die Beheizung des Lagerbereichs.

Die zweite Wärmepumpe ist für eine maximale Vorlauftemperatur von 65 °C ausgelegt. Diese dient als Spitzenlastwärmepumpe und zur bivalenten Warmwasserbereitung.

Wenn an extrem kalten Tagen die Hauptlastwärmepumpe die erforderliche Leistung nicht abdecken kann, wird die zweite Wärmepumpe als Spitzenlastwärmepumpe eingesetzt. Die Laufzeiten dieser Pumpe werden relativ gering gehalten, da ihre Arbeitszahl durch die hohen Vorlauftemperaturen schlechter ist als bei der ersten Wärmepumpe.

### **Kühlfall**

Wie beschrieben wird im Kühlfall die Sole aus der Erde, direkt durch die entsprechenden Kühlregister der Lüftungsgeräte „Produktionshalle“, der Umluftkühlung „Server“ und „Messraum“, sowie der Kühlflüssigkeit „Fräszentren“ und über Wärmetauscher für die Kühlung der Bürogebäude geführt, so dass lediglich Pumpenergie zum Umwälzen der Sole erforderlich ist, um die Kälte an den entsprechenden Verbrauchsstellen zur Verfügung zu stellen.

Durch die relativ hohen Vorlauftemperaturen ist es jedoch erforderlich, die Register zu vergrößern und ein entsprechend aufwendiges hydraulisches Rohrnetz mit einer sehr aufwendigen Regeltechnik einzusetzen, um eine gleichmäßige Kälteversorgung zu gewährleisten.

### **Übergangszeiten**

In den Übergangszeiten wird es sowohl zu einem gleichzeitigen Kühlbetrieb in der Produktionshalle, als auch zu einem Heizbetrieb im Bürogebäude kommen, da in der

Halle sehr große Abwärmen und innere Kühllasten vorhanden sind. Dies wird gewährleistet, indem die entsprechenden Massenströme durch die Regelung hydraulisch auf die Verbraucher aufgeteilt werden.

Dies hat den Vorteil, dass im Teillastbereich die Rücklaufsole, welche aufgewärmt ist, den Wärmepumpen als Vorlauf zugeführt wird, was zu einer weiteren Verbesserung der Wärmepumpenarbeitszahl führt.

### **Voraussetzungen**

Um die vorbeschriebene technisch optimierte Anlagenkonzeption möglichst energiesparend installieren und betreiben zu können, sind bestimmte Voraussetzungen einzuhalten. Diese werden unter Punkt 5.2.2 Bautechnik näher erläutert.

### **Weitere technische Voraussetzungen**

Um die niedrigen Vorlauftemperaturen der Wärmepumpen im Heizbetrieb bzw. der Erdtemperatur im Kühlbetrieb verarbeiten zu können, ist der Einsatz einer aufwendigen Anlagentechnik erforderlich. Dies bedeutet für den Heizfall, dass eine Beheizung von Büro- und Nebenräumen nur über eine Fußbodenheizung möglich ist.

Sämtliche Register zum Heizbetrieb müssen auf die entsprechenden, von den Wärmepumpen zur Verfügung gestellten maximalen Vorlauftemperaturen ausgelegt werden. Dies führt zu einer Vergrößerung der Register, ggf. zum hintereinanderschalten von mehreren Heizregistern.

Die gleichen Anforderungen werden an sämtliche Kühlregister gestellt, sowohl in den Lüftungsgeräten, als auch den Flüssigkeitskühlern der Fräszentren usw.. Um die hohen Kühltemperaturen der Erdwärmesole an die entsprechenden Medien abgeben zu können, wurden - wie im Heizfall - die vorbeschriebenen Register erforderlich.

Normale Kühltemperaturen liegen z. B. im Vorlauf bei 6 °C und im Rücklauf bei 12 °C. In unserem Fall werden eine Vorlauftemperatur von max. 14 °C und eine Rücklauftemperatur von 18 °C an die entsprechenden Medien weitergegeben.

Die im Übersichtsschema dargestellte Anlagentechnik ist nur mit einer ausgeklügelten Hydraulik mit entsprechenden Regelarmaturen und einer sehr aufwendigen Mess- und Regeltechnik handelbar. Diese aufwendige Regeltechnik wurde zentral an einen Gebäudeleitrechner aufgeschaltet um die stetige Überwachung des gesamten Systems sicher zu stellen.

---

### 5.2.2 Bautechnik

Um den Energieeintrag im Sommer und den Wärmeverlust im Winter gering zu halten, war es erforderlich die Halle weit über den normalerweise nach EnEV 2007 erforderlichen Standard zu isolieren.

Es sind Werte einzuhalten, die in etwa dem Standard eines „Niedrigenergiehauses“ entsprechen.

Neben der **Konstanz** der Temperatur war ein weiterer wichtiger Faktor die **Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung**. Auch diese Anforderung mussten bei der Planung aller Einzelkomponenten berücksichtigt werden.

Des Weiteren war die Ausrichtung des Gebäudes entsprechend den Himmelsrichtungen wichtig, damit die mindestens erforderlichen Fensterflächen, möglichst nach Norden ausgerichtet sind.

In jedem Fall war die Dichtigkeit der Hallenkonstruktion einzuhalten, die mind. bei den einzuhaltenden Werten der EnEV liegen sollte. Dies entspricht einem max. Druckverlust von 50 Pa., welches durch einen „Blower Door Test“ überprüft wurde.

Um die konstruktiven Wärme-/Kältebrücken zu minimieren waren Einzelbetrachtungen der Wärme-/Kältebrücken erforderlich.

Ein zusätzlicher, sehr wichtiger Aspekt war die Anordnung der Tore, Türen und Fenster. Die Fensterflächen waren in jedem Fall zu minimieren, da es über die Glasflächen sowohl bei Direkteinstrahlung, wie auch durch diffuse Beleuchtung zu einem erheblichen Energieeintrag bzw. Transmissionswärmeverlust kommen würde.

Um eine direkte Anbindung von Roll- oder Sektionaltoren an die kalte Außenluft zu verhindern, war es erforderlich eine Andienung für den Materialfluss über einen vorgelagerten niedrig beheizten Hallenbereich sicher zu stellen. Hierdurch wurde eine Art Schleusenwirkung erreicht.

Im Folgenden definieren wir die bautechnischen Maßnahmen im Einzelnen:

## **Gründung**

### **Randdämmung der Gründung/Fundamente**

Aufgrund der hohen Wärmeschutzanforderungen war es bei dieser Halle erforderlich, eine vollständige Randdämmung der Frostschräge (Fundamente / Gründung) vorzunehmen.

### **Dämmung im Randbereich unterhalb der Bodenplatte**

Weiterhin war eine Dämmung im Randbereich unterhalb der Bodenplatte erforderlich (horizontal ca. 5,0m).

### **Massenmehrung der Grundleitungen**

Durch den großen Umfang der Haustechnik ergab sich ebenfalls eine Massenmehrung der Grundleitungen (z.B. Entwässerungspunkte,...).

## **Mauer- und Betonarbeiten**

### **Erhöhte Isolierung des Hallensockels**

Die Ausbildung des Hallensockels (Schrammborde, Betonfertigteile mit Kerndämmung) musste hier in Form eines Sandwichbauteiles ausgeführt werden, welches überdurchschnittlich hohe Dämmwerte besitzt.

### **Erhöhter Aufwand im Bereich der Haustechnik**

Auch in diesem Bereich bedurfte es aufgrund der umfangreichen Haustechnik eines erhöhten Aufwandes im Bereich des Herstellens und Schließens von Schlitz- und Durchbrüchen.

Ebenfalls waren weitere Gründungen und Fundamentierungen für die Haustechnik erforderlich.

---

## **Fassaden / Fenster / Sonnenschutz**

### **Erhöhte Dämmstärke der Fassadenelemente**

Unverzichtbar für das Funktionieren des Konzeptes war ein erhöhter Wärmeschutz der Fassadenbauteile (erhöhte Dämmung 100mm).

### **Aluminiumfenster (Isolierverglasung) und -türen**

Gegenüber dem üblichen Standard wurde ein erhöhter Wärmeschutz durch hochwertige Aluminiumfenster mit Doppel-Isolierverglasung gewählt. Gleiches gilt für die Türen: Auch hier musste vom Standard zugunsten Aluminium-Türen mit erhöhtem Wärmeschutz ausgewichen werden.

### **Luftschleuse / Schnellauftore**

Das unregelmäßige Öffnen von Außentoren würde zu einer Störung der Temperaturkonstanz in der Halle führen. Diese Situation wurde zum einen baulich entschärft, indem kein Außentor mit direktem Zugang in die Fertigungshalle verbaut wird, sondern nur über den Umweg des Lagers. Zum anderen wurden beide Tore neben dem Hauptaußentor weiterhin mit jeweils einem Schnellauftor ausgestattet, um die Zugluftzeiten von Außen möglichst gering zu halten (Luftschleusenwirkung).

### **Außenliegender Sonnenschutz**

Bei der Planung der Halle wurde darauf Rücksicht genommen, dass die Orientierung der Fenster weitgehend zur Nord- und Ostseite ausgestaltet sind. Für das Minimum der Fenster-/Fassadenbelichtung (Arbeitsschutz) musste jedoch ein außenliegender Sonnenschutz in Form von vertikalen Lamellen vorgenommen werden.

Besonders an Maschinen-Arbeitsplätzen kommen diese Vorteile zum Tragen. Denn hier ist häufig der Kontrast zwischen Maschinenbildschirm- und Umgebungshelligkeit zu gering. Das bedeutet eine starke Belastung der Augen, die zu bleibenden Augenschäden führen kann.

Dieses eingestreute Licht macht sich wiederum die tageslichtabhängige Lichtsteuerung zu Nutze und dimmt das Licht entsprechend (Energieeinsparung).

---

## **Dachabdichtung / Lichtkuppel**

### **Erhöhte Dachisolierung**

Unerlässlich für das Funktionieren dieses Konzeptes war eine erhöhte Dämmstärke der Dachisolierung (erhöhte Dämmung 200mm).

### **Erhöhte Isolierung der Dachlichtbänder**

Aus Gründen des Brandschutzes, des Rauch- und Wärmeabzuges sind Dachlichtbänder für den Bau vorgeschrieben. Da diese im Grunde jedoch auch „Störelemente“ für das Konzept waren, bedurfte es einer erhöhten Isolierung.

### **Sonnenschutz für Dachlichtbänder**

Gleiches gilt für den Sonnenschutz dieser Dachlichtbänder. Dieses Problem wurde durch einen Sonnenschutz nach HDS-System der Firma Essmann gelöst, welches einen Großteil des Lichtes durchlässt, die Wärme jedoch reflektiert.

### **Unterkonstruktion Dach**

Einige der technischen Gerätschaften dieses Konzeptes wurden auf dem Dach platziert. Hierfür bedurfte es einer Stahlunterkonstruktion.

## **Bauwerke für Haustechnik**

### **Vergrößerter Technikraum**

Der Technikraum musste wegen der sehr viel umfangreicheren technischen Gebäudeausstattung dementsprechend räumlich angepasst werden. Dieses hatte eine Erhöhung des Bauvolumens zur Folge

Durch die Wärmepumpe ist ein erhöhter elektrischer Energieaufwand (Trafo, Leitungs- und Verteilungsnetz...) erforderlich und zusätzliche Verteilerabgänge. Des Weiteren wurde aufgrund der Wärmepumpe eine Fußbodenheizung innerhalb der Verwaltung realisiert. Dieses erforderte eine Einzelraumregelung mit Thermostaten und Ansteuerung von Fußbodenverteilern.

---

### 5.2.3 Beleuchtungstechnik

Während in einer standardisierten Halle meist größere Fensterflächen integriert werden, wurden diese in unserer Halle auf ein Mindestmaß reduziert. Durch die Minimierung der Fensterflächen fällt sehr wenig Tageslicht in die Produktionshalle.

Im Gegensatz zur standardisierten Halle, wo ich auf künstliches Licht nur dann zurückgreife, wenn der Tageslichteinfall von außen nicht ausreicht (in der Regel nur abends, nachts und morgens), benötigen wir in dieser Halle eine ganztägig durchgängige, künstliche Beleuchtung.

Um die erforderlichen Beleuchtungsstärken mit dem minimalsten Aufwand an Primärenergie zu erzeugen wurden energiesparende Leuchtmittel eingesetzt. Des Weiteren war eine stetig regelnde Beleuchtungssteuerung erforderlich, die ebenfalls in verschiedene Nutzungsbereiche aufgeteilt wurde.

Zielsetzung ist eine energiesparende, effiziente und bezahlbare Lichtlösung für das Projekt vorzusehen. Das gesamte Projekt wurde mit energieeffizienten Leuchten bestückt.

Innerhalb der Produktion kamen Lichtbänder mit T26 2x58W Leuchtstoffröhren zum Einsatz. Das Beleuchtungsniveau auf der Nutzebene ist auf ca. 400 Lux berechnet. Die Lichtbänder wurden mit Reflektoren ausgestattet. Die Reflektoren weisen einen Reflexionsgrad von 80% auf. Das bedeutet, dass 80% des Lichts dorthin gelenkt wird wo es benötigt wird. Ohne Reflektor würden 70% des Lichtes vergeudet.

Auf dem Hallendach oberhalb der Produktion befinden sich drei große Tageslichtbänder mit den Ausmaßen von 3x26 Metern. Gleichfalls befinden sich in den Fassadenflächen Fensterbänder mit Tageslichteinfall. Die künstliche Beleuchtung innerhalb des Gebäudes wird tageslichtabhängig gesteuert. Dazu wurden in den jeweiligen Lichtzonen Fühler installiert. Diese Fühler messen kontinuierlich die Beleuchtungsstärke und regeln die Lichtbänder auf ein konstantes Lichtniveau an den Arbeitsplätzen. Dadurch wird eine qualitativ hochwertige und gleichbleibende Ausleuchtung gewährleistet. Das Auge muss sich nicht ständig neu adaptieren, wodurch ein ermüdungsfreies Arbeiten ermöglicht wird und die Produktivität der Mitarbeiter steigt.

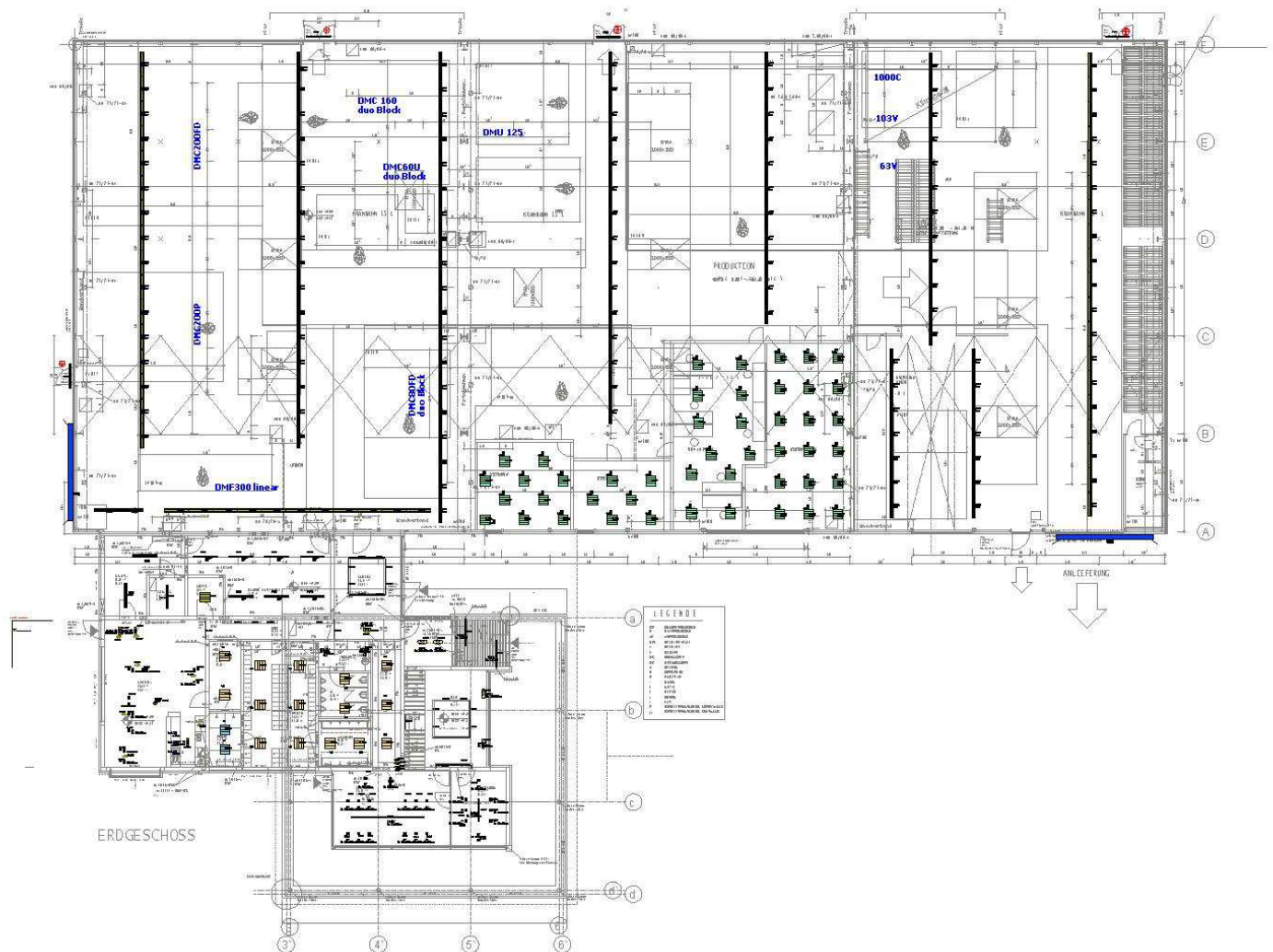
---

Ein weiterer und ebenso wichtiger Vorteil ist die Energieeinsparung durch das Dimmen der Beleuchtungsanlage bei Tageslichteinfall. Es werden 25-75% der Energie je nach Tageslichteinfall eingespart. Und damit wird auch weniger Abwärme erzeugt und das System arbeitet nicht gegen die Kühlung. Im Jahresdurchschnitt kann man von ca. 50% Energieeinsparung ausgehen.

Durch den Einsatz von dynamisch-elektronischen Vorschaltgeräten erhöht sich die Lebensdauer der Leuchtmittel auf ca. 50% gegenüber konventionellen Vorschaltgeräten. Zum einen wird dadurch unsere Umwelt geschont und zum anderen die Wirtschaftlichkeit der Anlage erhöht.

Um das Gebäude energiewirtschaftlich und intelligent zu steuern wurde ein KNX/EIB System eingesetzt.

Eine ständige Visualisierung und Kontrolle der Anlage ist gewährleistet. Das System ist sehr flexibel und jederzeit erweiterbar. Ein großer Teil der Beleuchtung innerhalb der Verwaltung wird durch lichtabhängige Bewegungsmelder geschaltet. Das bedeutet, dass Licht sich nur einschaltet, wenn es auch tatsächlich benötigt wird.



Messen-Erfassen-Analysieren-Optimieren = Einsparen

In die Anlage wurden Energiemesser für die Strommessung der Klimatisierung des Objektes eingebaut und visualisiert. Insgesamt wurden vier Zähler installiert. Energieverläufe werden aufgezeichnet und überwacht. Durch Analysen kann das System optimiert werden und Energie eingespart werden.

## Information:

| <b>Metalle, Farbanstriche, Baustoffe</b> | <b>Reflexionsgrad</b> |
|------------------------------------------|-----------------------|
| Aluminium, hochglänzend                  | 0,80-0,85             |
| Aluminium, mattiert                      | 0,50-0,70             |
| Stahl, poliert                           | 0,50-0,60             |
| Weiß                                     | 0,70-0,80             |
| Hellgelb                                 | 0,60-0,70             |
| Hellgrün, hellrot, hellblau, hellgrau    | 0,40-0,50             |
| beige, ocker, orange, mittelgrau         | 0,25-0,35             |
| Dunkelgrau, dunkelrot, dunkelblau        | 0,10-0,20             |
| Putz, weiß                               | 0,70-0,85             |
| Gips                                     | 0,70-0,80             |
| Beton                                    | 0,30-0,50             |
| Ziegel, rot                              | 0,10-0,20             |
| Glas, klar                               | 0,05-0,10             |

---

#### 5.2.4 IT-Technik

Hierbei bestand die Hauptaufgabe darin, die Ausfallsicherheit der IT zu steigern, laufende Betriebskosten zu minimieren und die Produktionsabläufe zu verbessern.

Besondere Anforderungen waren im industriellen Fertigungsbereich gegeben, da dort aufgrund der Betriebsumgebung normale PC-Systeme mit aktiven Komponenten (Lüftern) einem erhöhten Verschleiß unterliegen.

Auch die energetische Betrachtung der EDV-Anlage wurde berücksichtigt. Hierzu wurde die Studie des Fraunhofer Instituts hinzugezogen, die den effizienten Einsatz der Terminalservicelösungen bestätigte (Anlage Nr. 9.5).

Die Umsetzungsphase bestand zunächst darin, den Softwarebedarf zu klären und in einem leistungsfähigen Server den Einsatz als Terminalserverlösung zu planen und umzusetzen. Hierfür wurde ein Intel Modular Server gewählt.

Dieses System bietet die Möglichkeit 6 Bladeserver Einschübe einzusetzen, um so die benötigte Performance zur Verfügung zu stellen und auch Reserven für zukünftige EDV-Anwendungen bereit zu stellen.

Ein Einschub wurde als Domänencontroller virtualisiert und stellt auch die Exchange Struktur zur Verfügung. Ein weiterer Einschub wurde mit Linux und dem ERP-System der Firma Berghoff installiert. Zwei Einschübe wurden für Terminallösungen integriert und stellen so eine Redundanz bei Ausfall eines Terminals sicher, sowie eine Lastverteilung der Anwendungen für die Benutzer, um flüssiges Arbeiten zu ermöglichen.

Im gesamten Betriebsbereich wurden Terminals an den Maschinen installiert, die die benötigten Programme auf dem Terminalserver nutzen. Die Terminals werden zentral über eine Datenbank auf dem Server gesteuert und benötigen daher keinen Wartungseinsatz durch einen Techniker, was wiederum die laufenden Betriebskosten minimiert. Des Weiteren beträgt die Stromaufnahme eines Terminals nur ca. 20% gegenüber einem handelsüblichen PC-Systems.

Das System konnte nach der Installations- & Testphase erfolgreich an den Kunden übergeben werden und ist seit ca. 1 Jahr in Betrieb. Server- oder Terminalausfälle sind bis zum heutigen Zeitpunkt nicht aufgetreten.

---

### 5.2.5 Begleitendes Messprogramm

Zur Erfassung der tatsächlichen Energieverbräuche sind in der gesamten Anlage (siehe Anlagenschema 9.1) Wärme-, Kälte- und Stromzähler eingebaut worden. Diese Zähler werden über ein M-Bus-System elektronisch ausgelesen und auf der MSR-Technik verarbeitet. Somit ist elektronisch jederzeit von jedem einzelnen Zähler der exakte Zählerstand abrufbar.

Diese Daten sind ebenfalls Voraussetzung, um die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können und ggf. Ausreißer sofort zu erkennen. Die Ergebnisse des Messprogramms sind unter Punkt 6.1 aufgeführt. Insgesamt wurden 10 Wärmemengenzähler, 6 Kältemengenzähler und 6 Elektrozähler installiert.

Bei diesen Zählern handelt es sich ausschließlich um interne Zähler. Zusätzlich existieren selbstverständlich noch die Haupt-, Elektro- und Wasserzähler der Versorgungsunternehmen. Auf einen Gasanschluss konnte bei diesem Objekt verzichtet werden.

## **6. Ergebnisse**

### **6.1 Effiziente Klimatechnik**

In der Anlage 9.2 sind die Ergebnisse des kompletten Messprogramms aufgeführt. Die Messung konnte erst am 26.03.2009 beginnen, da zu diesem Zeitpunkt erst der endgültige Betrieb mit entsprechender Auslastung aufgenommen wurde. Exakt nach einem Jahr am 26.03.2010 wurde die zweite Reihe der Werte abgelesen.

Da es sich hier um Kälte-, Wärme- und Stromzwischenzähler handelt, die entsprechende Messtoleranzen aufweisen, wurde die Tabelle nur bzgl. der Messtoleranzen bereinigt, so dass auch in der Bilanzierung die gleichen Verbräuche in kWh auftreten. Diese Aufstellung ist Vorgabe für die unter Punkt 7. vorgenommene Wirtschaftlichkeitsberechnung.

Gegenüber der Prognose waren absolut, sowohl für den Strom-, Kälte- und Wärmeverbrauch, mehr kWh erforderlich (siehe Energiebilanz). Dies ist in erster Linie auf einen höheren Bedarf an Heiz- und Kühlenergie zurückzuführen. Die Ursache hierfür liegt in der größeren Dimensionierung der Heiz- und Kühlanlagen. Bezogen auf die Herstellungskosten ist jedoch nur ein geringer Anstieg zu verzeichnen.

Eine größere Dimensionierung der Heiz- und Kühlanlage war notwendig, da der Kühlertrag aus den Bohrungen durch einen Geologiegutachter etwas schlechter bewertet wurde als in der Planung angenommen. Des Weiteren war es durch den Einsatz einer größeren Anzahl an Maschinen gegenüber der Planung erforderlich, die Kühlleistung anzuheben, da der Wärmelasteneintrag in die Halle etwas angestiegen ist. Die Halle sollte für einen Maximalbedarf ausgelegt werden, der erst im Endausbau erreicht wird.

Der aus Sicherheits- und Redundanzgründen zusätzlich in das System eingebrachte Kaltwassersatz weist nur sehr geringe Laufzeiten und somit einen geringen Stromverbrauch auf. Dies ist ein Zeichen für eine gute Regeneration des Sondenfeldes.

Aus den Ergebnissen des Messprogramms lassen sich ebenfalls die Jahresarbeitszahlen der beiden Wärmepumpen für den Heizbetrieb errechnen. Für die Wärmepumpe 1 (Hauptwärmepumpe) ergibt sich eine absolute Arbeitszahl von 3,697. Diese ist besser, als die vom Hersteller angegebene mittlere Jahresarbeitszahl (diese wurde bei 40 °C Vorlauf- und 2 °C Soletemperatur, auf einem Prüfstand ermittelt).

In der Jahresarbeitszahl sind ebenfalls Stromverbräuche für Anlaufphasen und die zugehörige Wärmepumpensteuerung enthalten. Für die Spitzenlastwärmepumpe zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung ergibt sich eine Jahresarbeitszahl von 2,795. Diese Jahresarbeitszahl ist ebenfalls als sehr gut anzusehen, da hier Vorlauftemperaturen von 65 °C bei 2 Grad Soletemperatur Voraussetzung sind. Dieser Wert liegt ebenfalls höher als die vom Hersteller der Wärmepumpe vorgegebene Arbeitszahl (COP) und ist somit besser.

Die absoluten Energiebilanzen stellen sich folgendermaßen dar:

Der gesamte Heizenergiebedarf in dem einen gemessenen Jahr beträgt 264.816 kWh/a. Der gesamte Kälteenergiebedarf beträgt 231.978 kWh/a. Dies ergibt einen Gesamtenergiebedarf in Höhe von 496.794 kWh/a. Für die Energieerzeugung des vorgenannten Gesamtenergiebedarfs, sowie deren Verteilung und Abgabe in den einzelnen Nutzungsbereichen, war ein gesamter Stromenergiebedarf von 231.010,80 kWh erforderlich. Dies entspricht einem Primärenergieverbrauch von 602.188 kWh.

Das gleiche Gebäude mit den gleichen technischen Anlagen, deren Energie über lediglich konventionelle moderne Anlagentechnik erzeugt wird, bedarf eines energetischen Aufwandes von:

|                                           |                             |
|-------------------------------------------|-----------------------------|
| Gas                                       | 264.816 kWh/a               |
| Strom                                     | <u>359.990 kWh/a</u>        |
| Dies ergibt einen Gesamtenergiebedarf von | <u><b>624.806 kWh/a</b></u> |

Dies entspricht einem Primärenergieverbrauch von 1.200.790 kWh.

Somit erreicht die effiziente Klimatechnik gegenüber einer konventionellen Anlage eine **Stromeinsparung von 128.979 kWh** und eine **Gaseinsparung von 264.816 kWh**. Beides ergibt eine **Primärenergieeinsparung von 598.602 kWh**. Dies entspricht einer Einsparung von **49,9 %**.

Bei einem CO<sub>2</sub> äquivalent für Strom von 650 g/kWh (= Durchschnittswert für die Stromerzeugung) elektrisch und einem CO<sub>2</sub> äquivalent für Erdgas von 242 g/kWh ergeben sich für **Gas eine CO<sub>2</sub>-Einsparung von 64,085 t** und für **Strom eine CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von 83,836 t**.

Dies ergibt eine **Gesamt CO<sub>2</sub>-Einsparung von rund 148 t/a**.

## 7. Wirtschaftlichkeit

### 7.1 Effiziente Klimatechnik

Die nachfolgende Wirtschaftlichkeitsberechnung beruht auf tatsächlichen Ergebnissen. Die einzelnen Investitions- und Betriebskosten sind aufgegliedert. Ebenso sind hier die Amortisationszeiten (mit und ohne Berücksichtigung der Bezuschussungen) berechnet und dargestellt.

Die zu erwartenden Energiepreiserhöhungen (mind. 5 %/a) sowie steuerliche Aspekte sind nicht berücksichtigt.

Zunächst sind die Herstellungskosten für die konventionelle Anlagentechnik sowie für die umwelteffiziente Klimatechnik aufgelistet. Anschließend ist die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit den zu erwartenden Amortisationen aufgeführt.

#### 7.1.1 Konventionelle Anlagentechnik

##### Verbrauchs- und Wartungskosten

##### 1. Gas Heizung/Warmwasserbereitung

###### a) Verbrauch

Brennwertkessel 120 kW x 2.206 Vollbenutzungsstunden = 264.720 kWh/a

###### b) Kosten

6,5 ct/kWh x 264.720 kWh/a = 17.206,80 €/a  
einschließlich Grund- und Zählergebühr

##### 2. Strom Heizungsanlage/Warmwasserbereitung

###### a) Verbrauch

Kessel- und Heizungspumpen, Brenner und Steuerung  
 $Q_E = 3,5 \text{ kW} \times 5.000 \text{ Betriebsstunden} = 17.500 \text{ kWh/a}$

###### b) Kosten

11 ct/kWh x 17.500 kWh/a = 1.925,00 €/a

### 3. Strom Lüftungsanlagen/Steuerung

#### a) Verbrauch

Strom Sozialgebäude (3.000 m³/h)

$$Q_E = 3,5 \text{ kW} \times 5.000 \text{ Betriebsstunden} = 17.500 \text{ kWh/a}$$

Strom Produktion (36.000 m³/h)

$$Q_E = 12 \text{ kW} \times 5.500 \text{ Betriebsstunden} = 66.000 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Gesamt} = 83.500 \text{ kWh/a}$$

#### b) Kosten

$$11 \text{ ct/kWh} \times 83.500 \text{ kWh/a} = 9.185,00 \text{ €/a}$$

### 4. Strom Kompressionskälteanlage

#### a) Verbrauch

Produktionshalle / FBH Büro 104 kW

$$Q_E = 36 \text{ kW} \times 4.510 \text{ Volllaststunden} = 162.360 \text{ kWh/a}$$

#### b) Kosten

$$11 \text{ ct/kWh} \times 162.360 \text{ kWh/a} = 17.859,60 \text{ €/a}$$

### 5. Strom Kühlung Fräszentren

#### a) Verbrauch

Kühlung der Maschinen 14 kW

$$Q_E = 5,13 \text{ kW} \times 6.000 \text{ Volllaststunden} = 30.780 \text{ kWh/a}$$

#### b) Kosten

$$11 \text{ ct/kWh} \times 30.780 \text{ kWh/a} = 3.385,80 \text{ €/a}$$

### 6. Strom Kühlung Server-/Messraum

#### a) Verbrauch

Raumkühlung 11,4 kW

$$Q_E = 5,97 \text{ kW} \times 6.500 \text{ Volllaststunden} = 38.805 \text{ kWh/a}$$

#### b) Kosten

$$11 \text{ ct/kWh} \times 38.805 \text{ kWh/a} = 4.268,55 \text{ €/a}$$

### 7. Wartungskosten konventionelle Anlagen

Heizung – Wartung, Schornsteinfeger 2.000,00 €/a

Lüftung – Wartung, Filterwechsel 3.500,00 €/a

Kühlung – Wartung, Kühlmittelnachfüllung 3.200,00 €/a

|                        |       |               |
|------------------------|-------|---------------|
| Gesamtenergieverbrauch | Gas   | 264.720 kWh/a |
|                        | Strom | 332.945 kWh/a |

|                                                            |                      |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Betriebskosten konventionelle Anlagentechnik netto:</b> | <b>62.534,27 €/a</b> |
|------------------------------------------------------------|----------------------|

## 7.1.2 Umwelteffiziente Anlagentechnik

### Verbrauchs- und Wartungskosten

#### 1. Strom Wärmepumpenanlage Heizbetrieb

##### a) Verbrauch

Wärmepumpe 1

$Q_H = 67 \text{ kW}$

$Q_E = 20,08 \text{ kW} \times 2.800 \text{ Betriebsstunden} = 56.232 \text{ kWh/a}$

##### b) Kosten

$10,5 \text{ ct/kWh} \times 56.232 \text{ kWh/a} = 5.904,36 \text{ €/a}$   
(Sondertarif WP)

#### 2. Strom Wärmepumpenanlage Heiz- und Warmwasserbetrieb

##### a) Verbrauch

Wärmepumpe 2

$Q_H = 32 \text{ kW}$

$Q_E = 12,87 \text{ kW} \times 1.250 \text{ Betriebsstunden} = 16.089 \text{ kWh/a}$

##### b) Kosten

$10,5 \text{ ct/kWh} \times 16.089 \text{ kWh/a} = 1.689,35 \text{ €/a}$   
(Sondertarif WP)

#### 3. Strom Lüftungsanlagen

##### a) Verbrauch

Sozialräume      wie vor      =      83.500 kWh/a

##### b) Kosten

Produktion      wie vor      =      9.185,00 €/a

#### 4. Strom Kühlung/Heizung Produktionshalle, Kühlung Fräszentren und Serverraum, Kältetrockner Druckluft/Kälte FBH Büro/MSR

##### a) Verbrauch

Pumpenenergie Sole Tiefenbohrungen

$Q_E = 4,5 \text{ kW} \times 7.866,62 \text{ Betriebsstunden} = 35.399,80 \text{ kWh/a}$

##### b) Kosten

$11 \text{ ct/kWh} \times 35.399,80 \text{ kWh/a} = 3.893,98 \text{ €/a}$

**5. Strom Heizkreispumpen, Warmwasserbereitung / MSR****a) Verbrauch**

$$Q_E = 7,0 \text{ kW} \times 5.042 \text{ Betriebsstunden} = 35.294 \text{ kWh/a}$$

**b) Kosten**

$$11 \text{ ct/kWh} \times 35.294 \text{ kWh/a} = 3.882,34 \text{ €/a}$$

**6. Strom Messraum****a) Verbrauch**

Kaltwassersatz 105 kW

$$Q_E = 31,5 \text{ kW} \times 142,73 \text{ Betriebsstunden} = 4.496 \text{ kWh/a}$$

**b) Kosten**

$$11 \text{ ct/kWh} \times 4.496 \text{ kWh/a} = 494,56 \text{ €/a}$$

**7. Wartungskosten umwelteffiziente Anlagen**

Heizung – Wärmepumpen 1.500,00 €/a

Lüftung – Wartung, Filterwechsel 3.500,00 €/a

Kühlung – Wartung, Pumpe, Datennetz, Kühlmittelnachfüllung 1.500,00 €/a

|                                                              |                      |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Betriebskosten umwelteffiziente Anlagentechnik netto:</b> | <b>31.549,59 €/a</b> |
|--------------------------------------------------------------|----------------------|

### 7.1.3 Herstellungskosten konventionelle Anlagentechnik zur Beheizung und Kühlung (Brennwertkessel / Kompressionskältemaschine)

|                                                                                                               |              |                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|
| 1. Brennwertkessel mit Zubehör 120 kW für Büro und Produktion                                                 | netto        | 32.000,00 €                |
| 2. Gasanschluss mit Zubehör und Verrohrung an Brennwertkessel                                                 | netto        | 18.000,00 €                |
| 3. statische Heizflächen Büro 20 kW und Sozialbereich                                                         | netto        | 20.000,00 €                |
| 4. Zentrale Warmwasserbereitung mit Solarunterstützung und<br>Abwärmenutzung, Druckluft Kompressor            | netto        | 18.000,00 €                |
| 5. Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung, Produktion,<br>36.000 m³/h mit Zubehör und Quellluftauslässen | netto        | 123.000,00 €               |
| 6. Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Sozialbereich,<br>3.000 m³/h                                   | netto        | 28.000,00 €                |
| 7. Kompressionskältemaschine 100 kW für Hallenkühlung<br>mit Zubehör                                          | netto        | 47.000,00 €                |
| 8. Kältetrockner Druckluftanlage 10 kW                                                                        | netto        | 9.000,00 €                 |
| 9. Umluftkühlung Mess- und Serverraum 8 kW                                                                    | netto        | 20.000,00 €                |
| 10. Kühlanlagen Fräszentren 16 kW                                                                             | netto        | 19.000,00 €                |
| <b>Gesamt</b>                                                                                                 | <b>netto</b> | <b><u>334.000,00 €</u></b> |

#### 7.1.4 Herstellungskosten „Umwelteffiziente Klimatechnik“ und Mehrkosten Gebäude / Elektroinstallation als Voraussetzungen, Architekten- und Ingenieurleistungen

|                                                                                                                                                                         |       |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|
| 1. Wärmepumpenanlage mit Pufferspeichern und Zubehör<br>(1 x 67 kW / 1 x 33 kW)                                                                                         | netto | 77.200,00 €  |
| 2. Tiefenbohrungen, 17 Stck., mit Verrohrung, Resonsetest, Erdarbeiten und Anbindung an Wärmepumpen                                                                     | netto | 102.000,00 € |
| 3. Fußbodenheizung für Büro- und Sozialbereiche, 20 kW                                                                                                                  | netto | 23.400,00 €  |
| 4. Zentrale Warmwasserbereitung mit Abwärmenutzung, Druckluft Kompressor                                                                                                | netto | 2.000,00 €   |
| 5. Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Produktion, 36.000 m³/h mit Zubehör und Quellluftauslässen<br>Spezialregister zur Nutzung der Soletemperatur im Kühlfall | netto | 115.900,00 € |
| 6. Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung Sozialbereich, 3.000 m³/h                                                                                                | netto | 15.900,00 €  |
| 7. Kühlanlagen mit Anbindung an die Erdsonden für Kältetrockner, Kompressor, Kühlung Fräszentren, Server- und Messraum                                                  | netto | 92.400,00 €  |
| 8. Kälte- / Wärmezähler und Elektro mit Anbindung an die Gebäudeleittechnik zur Erfolgskontrolle und aufwendige Regeltechnik                                            | netto | 54.000,00 €  |
| 9. Mehraufwand Bautechnik (Isolierung, Luftdichtigkeit usw.)                                                                                                            | netto | 75.000,00 €  |
| 10. Mehraufwand Elektroinstallation (Beleuchtungstechnik, Beleuchtungssteuerung)                                                                                        | netto | 15.000,00 €  |
| 11. Mehraufwand Architekten- und Ingenieurleistungen gemäß HOAI 2002                                                                                                    | netto | 29.000,00 €  |
| 12. Simulation der thermischen Verläufe                                                                                                                                 | netto | 13.700,00 €  |

**Gesamt**

Gesamt (ohne 8. = 561.500,00 €)

**netto 615.500,00 €**

### 7.1.5 Wirtschaftlichkeitsrechnung

#### 1. Herstellungskosten

|                                             |              |                            |
|---------------------------------------------|--------------|----------------------------|
| Herstellungskosten konventionelle Technik   | netto        | 334.000,00 €               |
| Herstellungskosten umwelteffiziente Technik | netto        | 615.500,00 €               |
| <b>Mehrkosten Erstinvestition</b>           | <b>netto</b> | <b><u>281.500,00 €</u></b> |

Unter 7.1.4 Pkt. 8. der Herstellungskosten-Aufstellung ist ein Aufwand in Höhe von 54.000,00 € in Abzug zu bringen. In diesem Punkt sind die erforderlichen Kälte-, Wärme- und Elektrozähler mit Anbindung an die Gebäudeleittechnik sowie die erforderliche Software zur Auswertung und die entsprechende Regeltechnik enthalten.

Dieser Aufwand ist ausschließlich für die nach den Förderrichtlinien eines Demonstrationsvorhabens, erforderlichen Erfolgskontrolle notwendig. Im Normalbetrieb wären diese Installationen nicht erforderlich.

|                                       |              |                            |
|---------------------------------------|--------------|----------------------------|
| <b>Mehrkosten Erstinvestition neu</b> | <b>netto</b> | <b><u>227.500,00 €</u></b> |
|---------------------------------------|--------------|----------------------------|

#### 2. Laufende Kosteneinsparungen

Die laufenden Kosteneinsparungen der Anlagentechnik beziehen sich auf den eingesparten Aufwand an Gas- und Strom für die Erzeugung und Verteilung von Heiz- und Kühlenergie sowie den erforderlichen Wartungsaufwand.

|                                                |                |                           |
|------------------------------------------------|----------------|---------------------------|
| Betriebskosten konventionelle Anlagentechnik   | netto          | 62.534,27 €               |
| Betriebskosten umwelteffiziente Anlagentechnik | netto          | 31.549,59 €               |
| <b>Laufende Kostenersparnis pro Jahr</b>       | <b>netto €</b> | <b><u>30.984,68 €</u></b> |

#### 3. Amortisationszeit theoretisch

Unter der Annahme, dass das Unternehmen in den nächsten Jahren nicht mehr Energie benötigt als heute und dass die Energiekosten in den nächsten Jahren nicht steigen werden, errechnet sich eine statische Amortisationszeit der Klimatechnik von **7,35 Jahren**.

Zinsen und steuerliche Aspekte sind in allen Berechnungen nicht berücksichtigt.

Unter der Berücksichtigung der anteiligen Fördersumme für die Maßnahmen aus der Fördermittelzusage K II b1-001563 vom 22.09.09 in Höhe von 117.040,00 € netto, ergibt sich eine Amortisationszeit für die „effiziente Klimatechnik“ von **3,57 Jahren**.

#### **4. Amortisationszeit realistisch**

In den letzten 10 Jahren (1996-2006) haben sich die Energiekosten bei Strom um ca. 5%/a und bei Öl/Gas um ca. 10%/a erhöht.

Die Firma Berghoff hat ihre Umsätze seit 2005 um 13 % gesteigert und erwartet in den nächsten 5 Jahren weitere Umsatzsteigerungen. Damit einhergehend steigt der Bedarf an Energie, so dass die laufende Kostenersparnis weiter steigen wird.

Nehmen wir jedoch ausschließlich eine Steigerung der jährlichen Energiekosten um 5% an, so fällt die Amortisationszeit auf ca. 6,5 Jahre. Davon ist sehr wahrscheinlich auszugehen.

Für technische Anlagen sind diese Amortisationszeiten durchaus als normal anzusehen. Es ist empfehlenswert in eine solche Anlagentechnik zu investieren.

## 7.2 Beleuchtung

Obwohl die in diesem Bereich aufgeführten Maßnahmen keine zwingende Voraussetzung für das Gelingen des Klimakonzeptes waren, haben wir die Amortisation aufgrund der besseren Transparenz noch einmal separat aufgeführt.

Gemeinsam mit der Klimatechnik wird sich die Amortisationszeit des Gesamtprojektes noch einmal positiv entwickeln.

Hier verweisen wir auf die näheren Erläuterungen in der beiliegenden Wirtschaftlichkeitsberechnung von OSRAM ECOS (Anlage 9.4).

| <b>1. Herstellkosten</b>                       | <b><u>geplant / netto</u></b> | <b><u>tatsächl. / netto</u></b> |
|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Herstellkosten konventionelle Technik          | 9.446,03 €                    | 10.800,00 €                     |
| <u>Herstellkosten umwelteffiziente Technik</u> | <u>49.786,82 €</u>            | <u>49.950,00 €</u>              |
| Mehrkosten Erstinvestition                     | <b><u>40.340,79 €</u></b>     | <b><u>39.150,00 €</u></b>       |

Der erhebliche Mehraufwand bei der Erstinvestition resultiert aus dem zur Steuerung und Überwachung notwendigen Bus-System.

Geplant war der Einbau von 119 Leuchten. Um eine optimale Ausleuchtung zu erreichen war es erforderlich 135 Produktionsleuchten zu platzieren.

### 2. Laufende Kosteneinsparungen

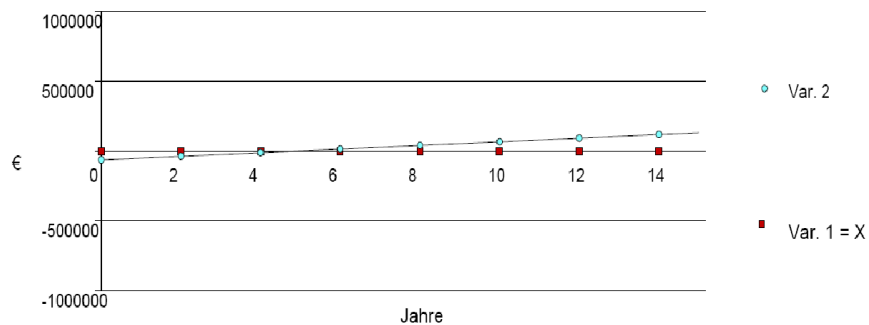
Die Kosten für das Bus-System wurden im Verhältnis auf die 135 benötigten Lampen aufgeteilt, um eine realistische Wirtschaftlichkeitsrechnung zu erhalten

|                                                       |       |                            |
|-------------------------------------------------------|-------|----------------------------|
| Betriebskosten konventionelle Anlagentechnik          | netto | 27.171,70 €/a              |
| <u>Betriebskosten umwelteffiziente Anlagentechnik</u> | netto | <u>18.213,72 €/a</u>       |
| laufende Kostenersparnis pro Jahr                     | netto | <b><u>8.957,98 €/a</u></b> |

### 3. Amortisationszeit theoretisch

Die Amortisationszeit berechnet sich auf 4,61 Jahre (siehe Anlage 9.4).

Ergebnisgraphik : Amortisationszeit / Gesamtersparnis



Umweltschutz / Wirtschaftlichkeit (eingesparte Ressourcen während der Anlagenlebensdauer) :

|                                         |               |                                         |          |
|-----------------------------------------|---------------|-----------------------------------------|----------|
| Energieeinsparung (Anlagenlebensdauer): | 885127,50 kWh | Entspricht Volumen Erdöl:               | 200,25 t |
| Kosteneinsparung (Anlagenlebensdauer):  | 134369,70 €   | Menge Steinkohle:                       | 271,84 t |
| Amortisationszeit:                      | 4,61 Jahre    | Vermindert CO <sub>2</sub> -Ausstoß um: | 524,05 t |

### 4. Amortisationszeit realistisch

In den letzten 10 Jahren (1996-2006) haben sich die Energiekosten bei Strom um ca. 5%/a. und bei Öl/Gas um ca. 10%/a erhöht

---

### 7.3 IT-Infrastruktur

#### **Laufende Kosteneinsparungen**

Hier verweisen wir auf die näheren Erläuterungen im Gutachten des Fraunhofer Institutes, welches wir als Anlage (9.5) beigelegt haben. Es wird von einer Einsparung laufender Energiekosten von 70 - 80 % ausgegangen gegenüber einem Standard-PC.

#### **Amortisationszeit theoretisch**

Diese Art der IT-Infrastruktur rechnet sich ab der ersten Sekunde.

## 8. Zusammenfassung / Empfehlungen

### 8.1 Effiziente Klimatechnik

Die Werte der erreichten Energieeinsparung und der CO<sub>2</sub>-Vermeidung zeigen eindeutig, dass die bei der Baumaßnahme der Firma Berghoff in Drolshagen installierte Wärme- und Kälteerzeugung einschließlich Abgabe der Wärme und Kälte in den einzelnen Bereichen energieeffizient und zudem wirtschaftlich darstellbar ist.

Die erreichten Werte liegen deutlich über den prognostizierten Ergebnissen.

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass auch vergleichbare Industrieanwendungen, Bürogebäude, Schulen, Sportstätten und auch Wohngebäude mit entsprechenden Kühlanforderungen mit der gleichen Technik (in abgewandelter Form) ausgestattet werden können.

Es ist noch einmal darauf hinzuweisen, dass die effiziente Klimatechnik ebenfalls mit moderner, dem Stand der Technik entsprechender Klimatechnik, verglichen worden ist. Gegenüber Altanlagen und Anlagen im Sanierungsfall ist die Energieeinsparung sicherlich nochmals um 10 – 20 % höher.

Durch die immer dichter gebauten und immer besser wärmegeprägten Gebäude erhalten die inneren Kühllasten einen immer höheren Stellenwert. In Zukunft ist davon auszugehen, dass der Großteil der Gebäude gekühlt werden muss. Hier bietet die passive Kühlung energetisch und wirtschaftlich erhebliche Vorteile gegenüber einer aktiven Kühlung mit reversiblen Wärmepumpen oder Kaltwassersätzen.

Verbesserungsmöglichkeiten im Bereich der Anlagentechnik haben sich nur geringfügig gezeigt. Eine etwas andere hydraulische Anbindung der Erdbohrungen wäre sicherlich sinnvoll gewesen, um ein besseres Entlüften der Bohrungen zu ermöglichen.

Des Weiteren hat sich herausgestellt, dass die eingebauten und verwendeten Regelventile sehr hohe Widerstände benötigen, um ein einwandfreies Regelverhalten darzustellen. Dies bedeutet jedoch immer erhöhte Pumpenenergie, um die Widerstände zu überbrücken. Bei neu zu planenden Anlagen sollten sicherlich Verbesserungen vorgenommen werden. Dies führt jedoch im Gesamtergebnis nur zu Verbesserungen im Bereich von 1%.

Grundsätzliche Störfälle sind während der gesamten Maßnahme nicht aufgetreten, obwohl die Wärmepumpenanlage zum „Trockenheizen“ des Gebäudes genutzt wurde und bereits zu einem sehr frühen Stadium per Handbetrieb eingesetzt wurde. Sehr aufwendig und etwas unterschätzt worden ist der Aufwand zur Entlüftung der gesamten Anlage, was im Anfang immer wieder zu geringen Leistungsverlusten und Geräuschen geführt hat. Grundsätzliche Optimierungen an der gesamten Anlage sind nur noch über die Regeltechnik vorzunehmen und einzelne Werte sind den Gegebenheiten anzupassen. Ansonsten läuft die Anlage, wie die Ergebnisse zeigen, bereits sehr gut.

Da die Wärmepumpenentwicklung fortschreitet und immer größere Leistungsbereiche abdeckbar sind, ist ein genereller Vorteil dieser Anlagentechnik darin zu sehen, dass sie auch für sehr große Industrie- und Produktionsanlagen im MW-Bereich einsetzbar ist. Neben den umwelt- und wirtschaftlichen Aspekten ist ebenfalls der Nutzen für Marketing und Werbung nicht zu unterschätzen, um das Unternehmen als innovativ und umweltorientiert darzustellen.

Dies führt zu einer Imagesteigerung bei Kunden sowie Mitarbeitern, wodurch sich zusätzlich eine Mitarbeitermotivation erzielen lässt, die sich wiederum in einer höheren Produktivität und einer Reduzierung des Krankenstandes darstellt.

Des Weiteren sind diese Investitionen vor dem Hintergrund einer durchschnittlichen Energiepreisssteigerung zwischen 5 und 10 %/a enorm wichtig für sämtliche Unternehmen, um den Standort Deutschland als Industrie- und Produktionsstandort abzusichern.

---

## 8.2 Begleitendes Messprogramm

Das begleitende Messprogramm beinhaltet den Einbau von Wärme- und Kältezählern, sowie den Einbau von Stromzwischenzählern bei den großen Stromverbrauchern.

Um die Anlage weiterhin optimieren zu können und um die energetischen Werte jederzeit abrufen und nutzen zu können ist eine entsprechende Mess- und Regeltechnik einschließlich einer Visualisierung installiert worden.

Ein großer Teil der Investitionen in diesem Bereich wurde nur erforderlich, um exakte Ergebnisse für diese Maßnahme zu erhalten. Bei neuen Anlagen kann auf einen Großteil der Zählereinrichtungen verzichtet werden.

Grundsätzlich ist jedoch über das Messprogramm eindeutig ersichtlich geworden, welche guten Ergebnisse erzielbar sind (die prognostizierten Werte wurden weit überschritten). Probleme im Bereich des begleitenden Messprogramms sind nur zu Beginn der Betriebszeit aufgetreten, da einige Zähler verkehrt herum angeschlossen waren und dadurch die richtigen Werte nicht ermittelt werden konnten. Dieser Fehler wurde jedoch frühzeitig erkannt und umgehend korrigiert.