

# Projekt

## „Erarbeitung von allgemeinen Empfehlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz in sächsischen Zierpflanzenbaubetrieben“



### – Abschlussbericht –

---

**Auftraggeber:** Landesverband Gartenbau Sachsen e. V.

**Auftragnehmer:** SEF-Energietechnik GmbH  
Lessingstraße 4  
08058 Zwickau

**Projektleiter:** Dr. Tilo Elfruth (SEF-Energietechnik GmbH)

**Mitarbeiter:** Dipl.-Ing. Heinz Böhle (IB Böhle)  
Dipl.-Ing. Maik Hönig (IB Hönig)  
Dipl.-Ing. Andreas Lorenz (IB Lorenz & Anders)  
Dipl.-Ing. Holger Tschersich (IB Tschersich)  
Dipl.-Ing. Ivo Bergmann (HTWK Leipzig)

**Zeitraum:** 15.10.2009 – 30.04.2011

# Inhaltsverzeichnis

---

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Veranlassung und Aufgabenstellung .....                               | 4  |
| 2     | Herangehensweise / Projektablauf .....                                | 5  |
| 3     | Bestands- und Verbrauchsanalyse .....                                 | 6  |
| 3.1   | Strukturierung der Unternehmen .....                                  | 6  |
| 3.1.1 | Gewächshäuser .....   | 6  |
| 3.1.2 | Betriebsgebäude .....   | 17 |
| 3.1.3 | Technikausstattung .....  | 17 |
| 3.1.4 | Angaben zu Personal und Umsatz .....                                  | 18 |
| 3.2   | Medienverbrauch und –kosten .....                                     | 19 |
| 3.2.1 | Energieträger (Endenergie) .....                                      | 20 |
| 3.2.2 | Kraftstoffe .....   | 22 |
| 3.2.3 | Wasser/Abwasser .....   | 22 |
| 4     | Messtechnische Untersuchungen .....                                   | 23 |
| 4.1   | Betriebsrundgänge .....   | 23 |
| 4.2   | Verwendete Messtechnik .....  | 23 |
| 4.2.1 | Infrarotthermografie .....  | 23 |
| 4.2.2 | Wirkleistungsmessgerät „WL1“ .....                                    | 24 |
| 4.2.3 | Durchflussmessgerät „FULUX“ .....                                     | 25 |
| 4.2.4 | Einkanaldatenlogger .....   | 26 |
| 4.2.5 | Temperatur-Feuchte-Datenlogger „LOG32“ .....                          | 28 |
| 4.2.6 | Allgemeine Bemerkungen .....  | 29 |
| 4.3   | Durchführung der Messungen .....                                      | 29 |
| 4.3.1 | Vorhandene Messstellen .....  | 29 |
| 4.3.2 | Auswahl und Begründung von Messstellen .....                          | 29 |
| 4.3.3 | Grundlagen zur Darstellung und Auswertung der Messergebnisse .....    | 30 |
| 5     | Durchgeführte Untersuchungen (allgemein) .....                        | 31 |
| 5.1   | Einführung eines Energiedatenmanagements .....                        | 31 |
| 5.2   | Ergebnisse aus den Betriebsrundgängen .....                           | 31 |
| 5.3   | Infrarotthermographie der Gewächshäuser und technischen Anlagen ..... | 34 |
| 5.3.1 | Technologische Anlagen .....  | 34 |
| 5.3.2 | Gewächshäuser .....   | 35 |
| 6     | Untersuchungen zum Stromverbrauch .....                               | 38 |
| 6.1   | Lastgang des Zierpflanzenbaubetriebes .....                           | 38 |

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 6.2      | Einzelmessungen.....  | 39  |
| 7        | Untersuchungen zum Wärmeverbrauch.....  | 42  |
| 7.1      | Gewächshaustypen.....   | 45  |
| 7.1.1    | VENLO-Bauweise .....  | 45  |
| 7.1.2    | Breitschiffbauweise .....   | 46  |
| 7.1.3    | CABRIO-Bauweise.....  | 46  |
| 7.2      | Aufbau der Gewächshäuser .....  | 47  |
| 7.2.1    | Bauwerkssohle / Fußboden.....   | 47  |
| 7.2.2    | Außenwände / Decke / Dach.....  | 47  |
| 7.2.3    | Ausstattungen .....   | 47  |
| 7.3      | Wärmebedarfsermittlung / Heizlastberechnung .....   | 48  |
| 7.3.1    | Vorgehensweise.....   | 48  |
| 7.3.2    | Verwendete Software zur Simulation.....   | 48  |
| 7.3.3    | Vorgaben bzw. Annahmen Mustergewächshäuser im Alt-Bestand.....                                    | 49  |
| 7.3.4    | Varianten.....  | 51  |
| 7.3.5    | Ergebnisdiskussion .....  | 51  |
| 7.4      | Wärmeversorgung der Gewächshäuser .....   | 65  |
| 7.4.1    | Heizsysteme .....   | 65  |
| 7.4.2    | Wärmeabgabesysteme .....  | 73  |
| 7.4.3    | Wärmeverteilung.....  | 75  |
| 7.5      | Potentialeinschätzung für Einsparpotenziale im Bereich der Wärmeversorgung der Gewächshäuser..... | 89  |
| 7.5.1    | Ausgangsdaten .....   | 89  |
| 7.5.2    | Baulicher Wärmeschutz .....   | 89  |
| 7.5.3    | Heizkessel.....   | 90  |
| 7.5.4    | Wärmeabgabe.....  | 90  |
| 7.5.5    | Wärmeverteilung.....  | 91  |
| 7.5.6    | Regelung.....   | 91  |
| 7.6      | Untersuchungen zur Luftfeuchte in den Gewächshäusern.....   | 92  |
| 8        | Checklisten für den Erstcheck der Unternehmen .....   | 96  |
| 9        | Sächsischer Gewerbeenergiepass / Kennzahlen .....   | 97  |
| 9.1      | Sächsischer Gewerbeenergiepass .....  | 97  |
| 9.2      | Kennzahlen .....  | 99  |
| 10       | Zusammenfassung / Ausblick .....  | 103 |
| Anhang 1 | Datenerfassungsbogen des Projektes  |     |

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Das vorliegende Projekt wurde durch das „ZUKUNFTSFORUM LANDWIRTSCHAFT SACHSEN“ initiiert, durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft gefördert und durch das Referat Zierpflanzenbau des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie aktiv begleitet.

Die SEF-Energietechnik GmbH wurde vom Landesverband Gartenbau Sachsen e. V. beauftragt, Strategien für die Verbesserung des Energieeinsatzes in Gartenbaubetrieben zu erarbeiten. In die Projektbearbeitung wurden weitere sächsische Energieberater einbezogen.

Das Projekt wurde im Oktober 2009 gestartet und wurde nach einer Projektlaufzeit von 18 Monaten im April 2011 beendet.

Grundlage für die zu erarbeitenden Empfehlungen war die energetische Analyse in elf ausgewählten sächsischen Zierpflanzenbetrieben, welche sowohl verschiedene Größe haben als auch unterschiedliche Produktspektren besitzen, aber als typisch für den Zierpflanzenbau unter Glas in Sachsen gelten.

Die Ergebnisse der energetischen Analyse werden verallgemeinert und können somit allen sächsischen Gartenbaubetrieben in anonymisierter Form zur Verfügung gestellt werden.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Diplomarbeit (1) zum Thema „Erarbeitung eines Branchenmoduls „Zierpflanzenbau“ zur Nutzung im Rahmen der Software „Sächsischer Gewerbeenergiepass“ an der HTWK Leipzig, Fakultät Maschinen- und Energietechnik, erstellt und erfolgreich verteidigt.

## 2 Herangehensweise / Projektablauf

Die Für die Projektbearbeitung wurde folgende Herangehensweise gewählt:

- ▶ Analyse und Bewertung der Betriebsdaten der Unternehmen auf der Grundlage der übergebenen Rechnungsdaten
- ▶ Betriebsbegehungen zur energetischen Strukturierung der Unternehmen
- ▶ Einführung einer regelmäßigen Kontrolle der Energieverbrauchsdaten der Unternehmen
- ▶ Durchführungen von Kontrollmessungen und Langzeitmessungen zur Gewinnung energetischen Daten (Strom-, Wärme-, Wasserverbrauch)
- ▶ Generierung von energetischen Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz
- ▶ Erarbeitung verallgemeinerungsfähiger Vorschläge für die Erhöhung der Energieeffizienz in den Zierpflanzenbaubetrieben
- ▶ Erarbeitung von Checklisten für die Bewertung der Energieeffizienz in den Unternehmen
- ▶ Erarbeitung eines Branchenmoduls für den Sächsischen Gewerbeenergiepass

Schwerpunkte der Untersuchungen waren neben der energetischen Strukturierung der Betriebe unter anderem:

- ▶ Analyse der vorhandenen Betriebsdaten
- ▶ Analyse der installierten Technik (z.B. eingesetzte Pumpen)
- ▶ Messung und Auswertung von Lastgangprofilen des Stromverbrauchs
- ▶ Messung der Effizienz von nachgerüsteten Kohleheiz-/Biomassekesseln
- ▶ Infrarotthermografie der Gewächshäuser und Wärmeerzeugungs- und -verteilungsanlagen

Zusätzlich wurden Langzeitmessungen von Temperatur und Feuchte in ausgewählten Gewächshäusern aller teilnehmenden Gartenbaubetriebe installiert.

Zuerst sollen die Ergebnisse der Bestands- und Verbrauchsanalyse auf der Grundlage der gemeinsam mit den Unternehmen ermittelten Datenbasis näher ausgeführt werden.

### 3 Bestands- und Verbrauchsanalyse

Die Bestands- und Verbrauchsanalyse wurden in den beteiligten Unternehmen auf der Grundlage von einheitlichen, im Rahmen des Projektes erarbeiteten Fragelisten und Datenerfassungsbögen vorgenommen.

Die nachfolgenden Auswertungen beziehen sich allein auf den Untersuchungsumfang von 11 sächsischen Zierpflanzenbetrieben.

Die in diesem Kontext getroffenen Aussagen zeigen Tendenzen auf und sind aber nicht immer als repräsentativ für die Zierpflanzenbetriebe in Sachsen zu bewerten.

#### 3.1 Strukturierung der Unternehmen

##### 3.1.1 Gewächshäuser

Zunächst wurden die Unternehmen hinsichtlich des Alters der Gewächshäuser, der Beheizung, der Auslastung bewertet und durchschnittliche Größen und technische Ausstattungen der Gewächshäuser – hier nur beheizter Anteil – zusammengefasst.

Auch wenn die nachfolgenden Abbildungen auf Grund der geringen Zahl der am Projekt beteiligten Unternehmen statistisch für Sachsen nicht aussagekräftig sind, geben sie einen ersten Ansatzpunkt für die „energetische Qualität“ der Gewächshäuser und damit auch für die zu erwartenden Energieverbräuche.

##### a) Alter der Gewächshäuser

Die Gewächshäuser der untersuchten Unternehmen (Gesamtfläche ca. 8,5 ha) hatten die in der nachfolgenden Abbildung dargestellte Altersstruktur.

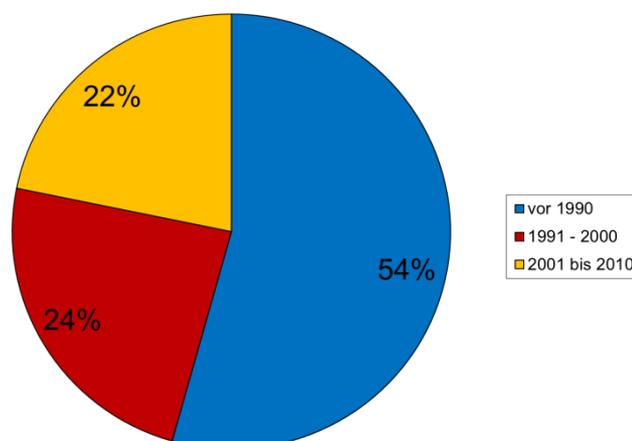
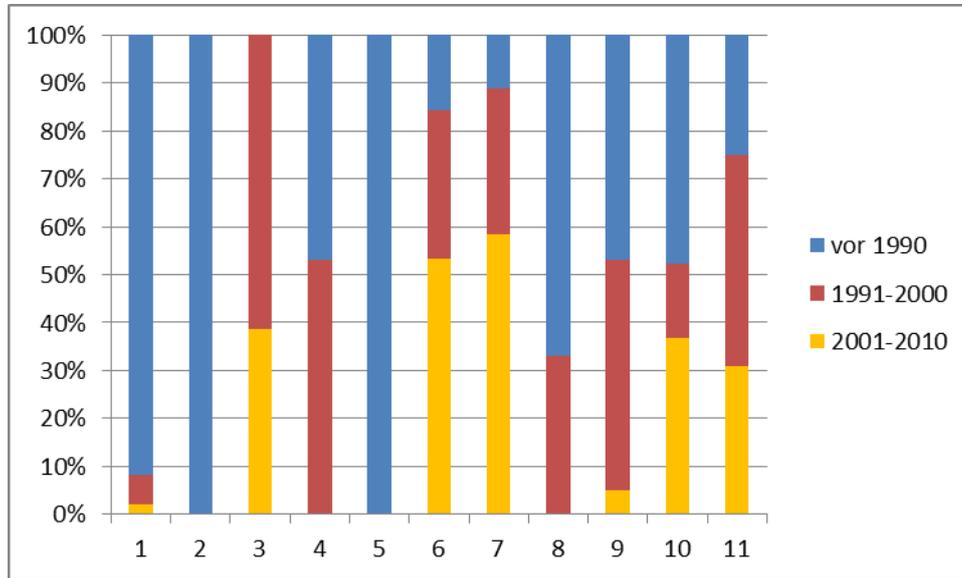


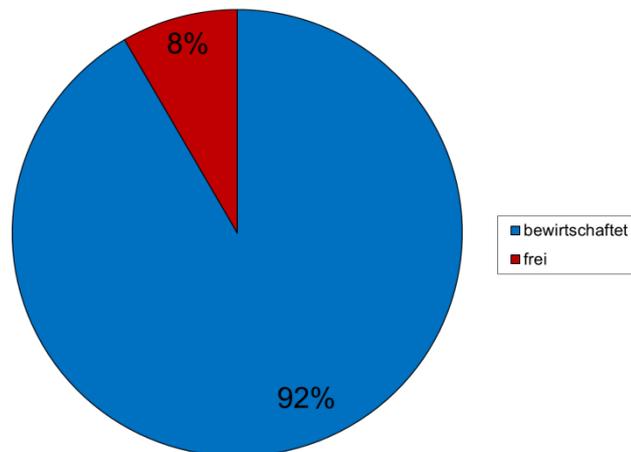
Abbildung 1: mittleres Alter der Gewächshäuser

Die nächste Abbildung zeigt, dass die individuelle Altersstruktur jedoch erheblich zwischen den Unternehmen abweicht.



**Abbildung 2:** Alter der Gewächshäuser - unternehmensspezifisch

**b) Auslastung**



**Abbildung 3:** mittlere Auslastung der Gewächshäuser

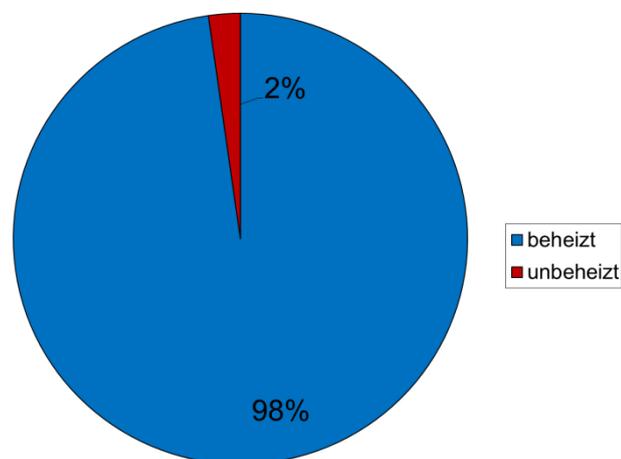
Die Auslastung der beteiligten Unternehmen – definiert als (m<sup>2</sup> x Monate der Nutzung / Gesamtfläche) beträgt im Mittel 92%, wobei die unternehmensspezifischen Werte zwischen 70% und 97% variiert. Dies bedeutet einen hohen Auslastungsgrad der vorhandenen Gewächshäuser über das ganze Jahr, i.d.R. durch unterschiedliche Kulturen.

Flächen, die weniger als einen Monat nicht bewirtschaftet waren (z. B. Kulturwechsel), wurden als 100% ausgelastet bewertet.

Anzumerken ist, dass saison- und produktionsbedingt nur Teilbereiche der Gewächshäuser genutzt werden. Empfohlen wird in diesem Fall die Teilabtrennung der ungenutzten Flächen, z.B. durch Folienabhängung, zur Minimierung der beheizten ggf. auch befeuchteten Volumina.

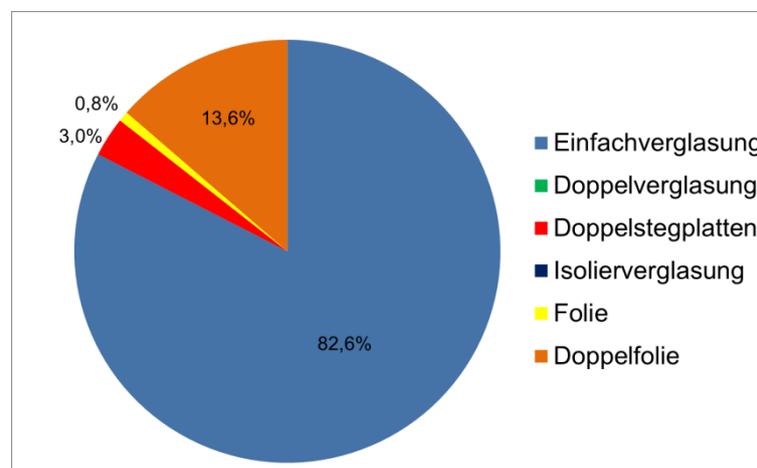
## c) beheizt / unbeheizt

Aus der nachfolgenden Abbildung ist ersichtlich, dass in den untersuchten Unternehmen fast 100% der Gewächshäuser beheizt bzw. beheizbar sind.



**Abbildung 4:** Anteil beheizbarer Gewächshäuser (Mittelwert)

## d) Aufbau und Ausstattungen der beheizten Gewächshäuser

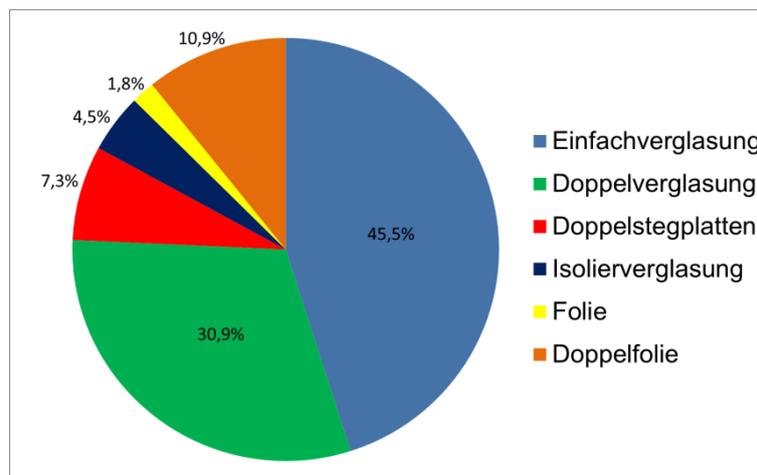


**Abbildung 5:** Dachkonstruktion (relativ)

Zunächst wird auf die bauliche Hülle eingegangen:

In der obigen und den folgenden Abbildungen wird der Aufbau der einzelnen Bauteile der Gewächshäuser (Dach, Seitenwände, Giebel) bezogen auf die Fläche der zugehörigen Gewächshäuser dargestellt.

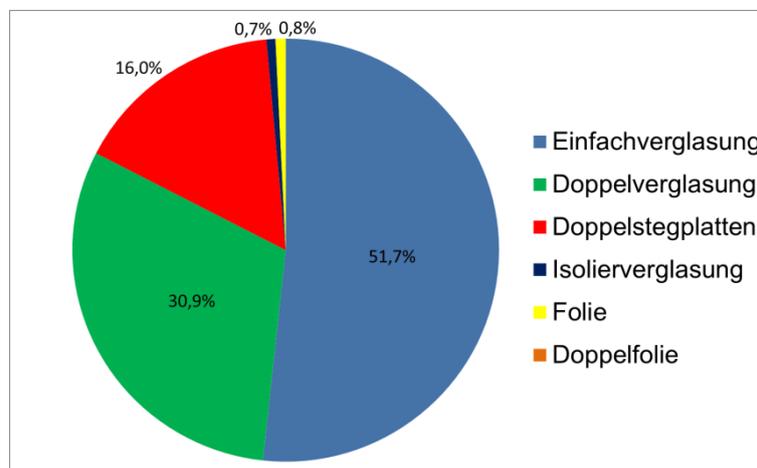
Doppelt- oder Isolierverglasung wurde für den Dachaufbau nicht verwendet. Bei einzelnen Unternehmen war zusätzlich Noppenfolie auch im Dachbereich im Einsatz.



**Abbildung 6:** Aufbau der Stehwände (relativ)

Im Bereich der Stehwände nimmt der Anteil hinsichtlich der Wärmedämmung besserer Materialien zu. Zusätzlich werden in den Unternehmen Noppenfolien (ca. 70% der Gewächshausfläche) zur Verbesserung der Wärmedämmung insbesondere in den Wintermonaten eingesetzt. Die Noppenfolie wird nur teilweise in den Sommermonaten entfernt.

Die Situation im Giebelbereich stellt die folgende Abbildung dar:

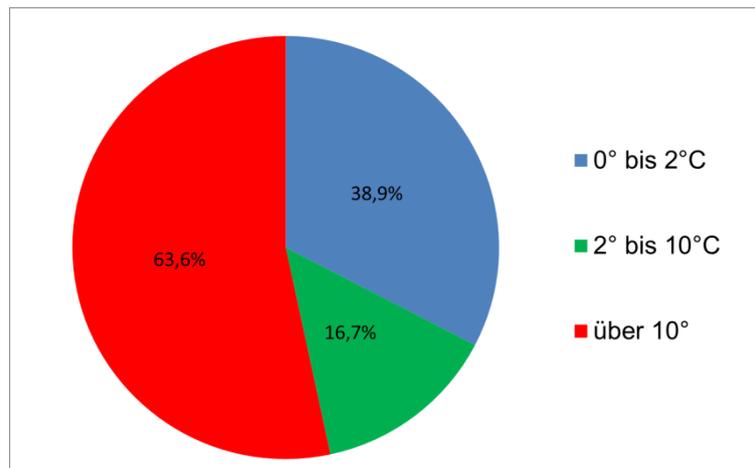


**Abbildung 7:** Aufbau der Giebel (relativ)

Durch den Wegfall der Möglichkeit der Doppelfolie erhöhen sich die Anteile der festen Konstruktionen entsprechend. Der Anteil des Einsatzes der Noppenfolie beträgt ca. 52%.

Während in den vorangegangenen Abbildungen insbesondere auf die Bauhülle eingegangen wurde, wird in den nachfolgenden Abbildungen die technische Ausstattung beleuchtet.

Zunächst sollen aber Temperaturanforderungen an die Gewächshäuser aufgezeigt werden.



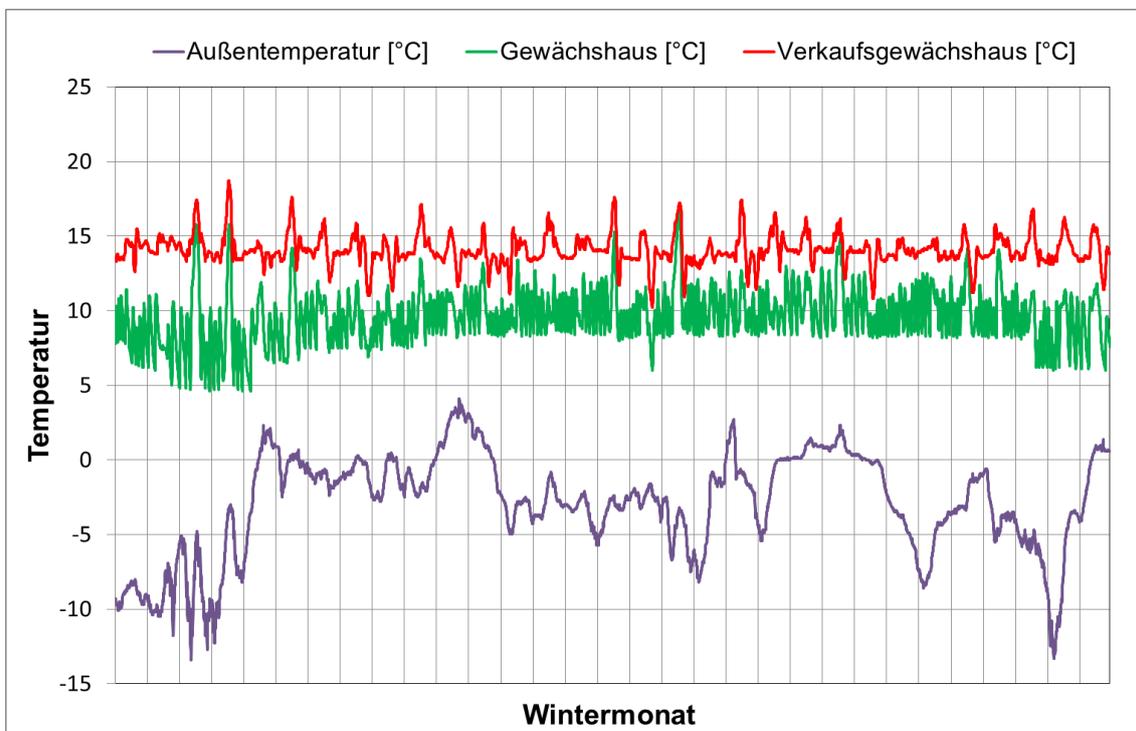
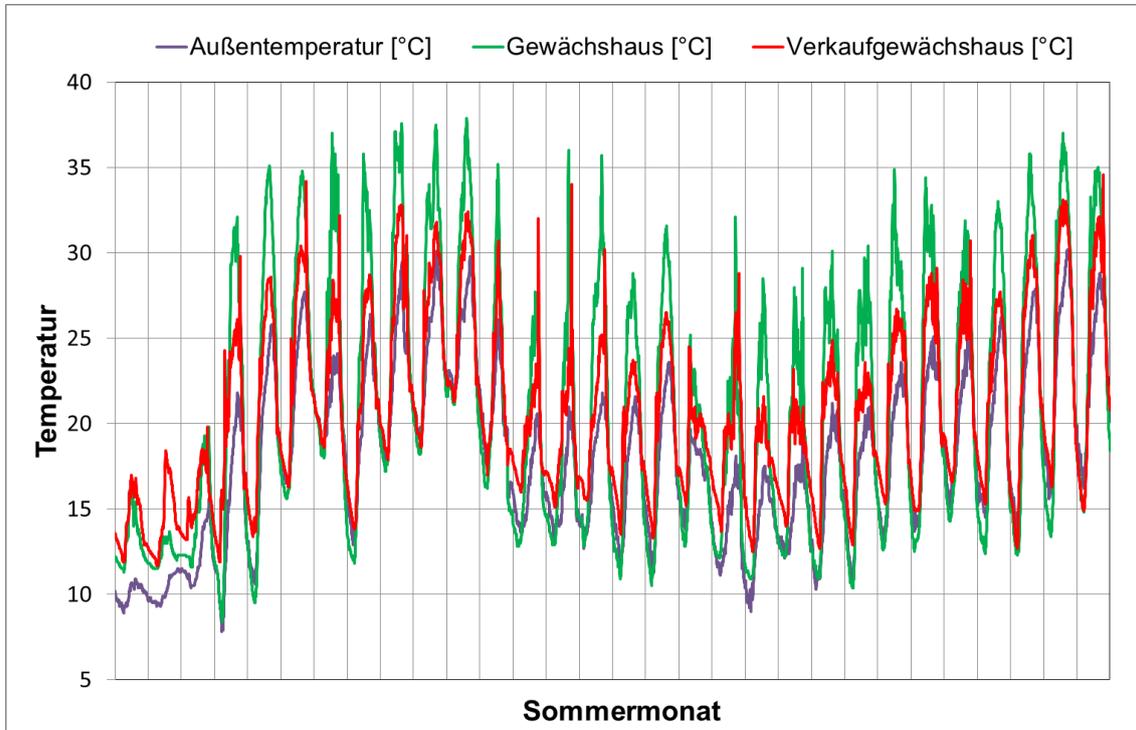
**Abbildung 8:** Innentemperaturbedarf der Gewächshäuser

In 39,8% der Gewächshäuser (flächenbezogen) ist nur eine Frostfreihaltung erforderlich, in 63,6% liegen die erforderlichen Temperaturen auch im Winter bei  $>10^{\circ}\text{C}$ .

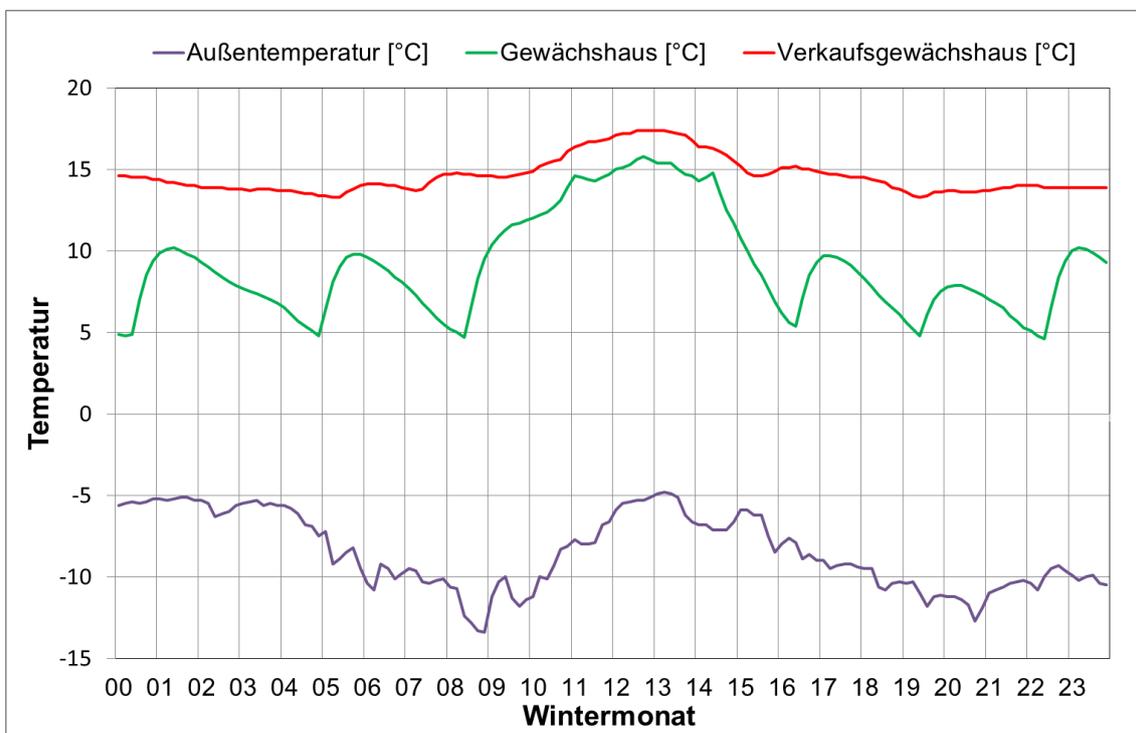
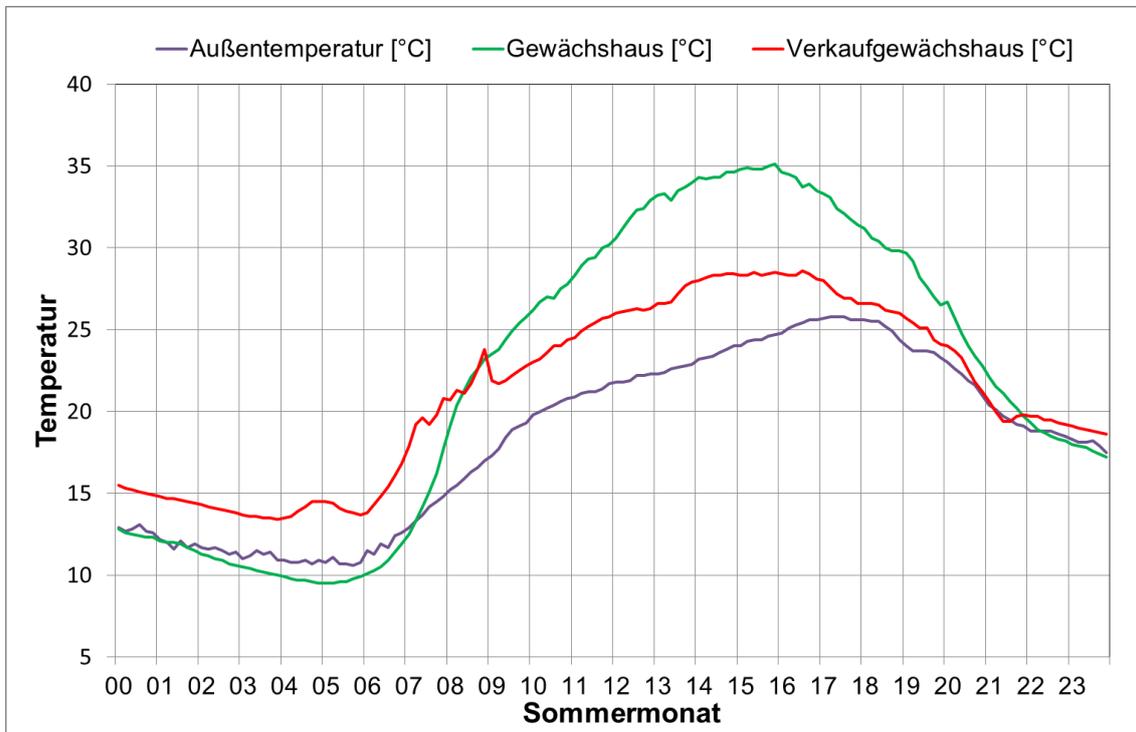
Die nachfolgenden Abbildungen zeigen beispielhaft je einen Monatstemperaturverlauf (Außentemperatur, Gewächshaus, Verkaufsgewächshaus) für einen Winter- und einen Sommermonat.

Im Weiteren ist je ein Tagestemperaturverlauf (Sommer / Winter) dargestellt. Im Sommer (Heizung abgeschaltet, klarer Himmel) ist erkennbar, dass im Gewächshaus (ohne Energieschirm) die Temperatur nachts bis leicht unter die Außentemperatur fällt und am Tag diese deutlich überschreitet, im Verkaufsgewächshaus verhindert der installierte Energieschirm in der Nacht die Abkühlung, während er am Tag zur Verschattung eingesetzt wird.

Im Winter ist im Gewächshaus deutlich die Hysterese der Temperaturregelung zwischen 5 und  $10^{\circ}\text{C}$  erkennbar. Die Dauer der Heizzyklen ist außentemperaturabhängig. Im Verkaufsgewächshaus wird die Temperatur konstant gehalten, d. h. in der Nacht nicht abgesenkt. Am Tag steigt die Temperatur durch die Sonneneinstrahlung auch über die vorgegebenen Temperaturen.



**Abbildung 9:** typischer Monatstemperaturverlauf (Sommer bzw. Winter)

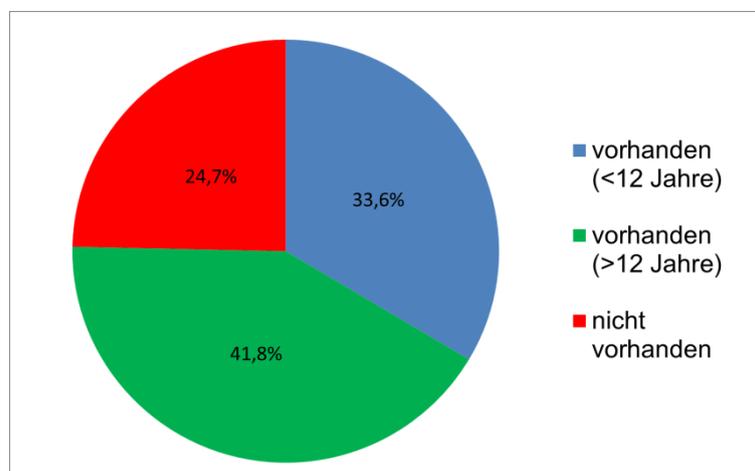


**Abbildung 10:** typischer Tagestemperaturverlauf (Sommer bzw. Winter)

Weiter zur technischen Ausstattung:

### e) Energieschirm

Den wärmetechnischen Nachteil der Einfachverglasung im Dachbereich (aber besserer Lichtdurchlässigkeit) wird durch den Einsatz von Energieschirmen begegnet, welche nachts das Volumen des Gewächshauses verkleinern und ggf. zusätzlich zur Verschattung auch tagsüber eingesetzt werden können. Zur Bewertung der Wirksamkeit der Energieschirme siehe Abschnitt: 7.3.



**Abbildung 11:** Anteil von GW mit Energieschirm (relativ)

In über 75% der bewerteten Gewächshäuser (GW) kommt der Energieschirm zum Einsatz, dies betrifft insbesondere auf die Gewächshäuser mit höheren Temperaturen ( $>10^{\circ}\text{C}$ ) zu. Hingewiesen wird auf den Anteil von ca. 34% an Energieschirmen älter als 12 Jahre, welche teilweise schon verschlissen bzw. in der Funktionsweise eingeschränkt waren.

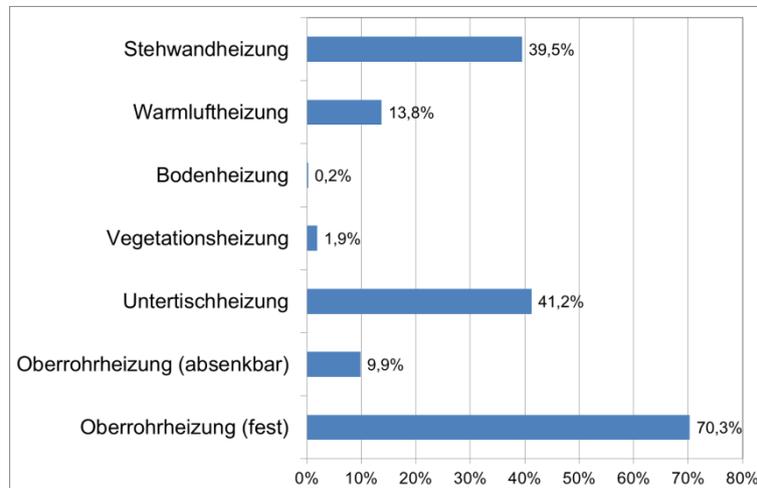
### f) Wärmeabgabesysteme

Als Wärmeabgabesysteme werden in den untersuchten Unternehmen werden die in der nachfolgenden Abbildung aufgezeigten Systeme eingesetzt.

In der Regel werden mehrere Systeme parallel betrieben. Warmwasserheizungen (Oberrohrheizung, Stehwandheizung und Untertischheizung) sind die bestimmenden Systeme. Zu ca. 10% werden auch absenkbare Oberrohrheizungen eingesetzt.

Warmluftheizungen werden insbesondere in Folienzelten eingesetzt, die meistens nicht ganzjährig bewirtschaftet werden.

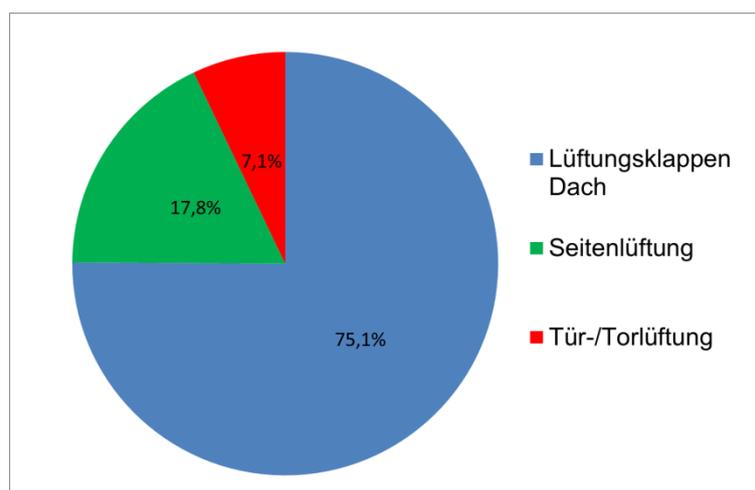
Vegetations- und Bodenheizungen werden nur vernachlässigbarem Umfang eingesetzt.



**Abbildung 12:** eingesetzte Wärmeübergabesysteme

### g) Lüftung

Die Lüftung erfolgt in den untersuchten Unternehmen – bei „festen“ Gewächshäusern (VENLO, ZBO,...) – in der Regel über Lüftungsklappen im Dachbereich, welche automatisch angesteuert werden. Bei Folienzelteln wird Seitenlüftung genutzt.

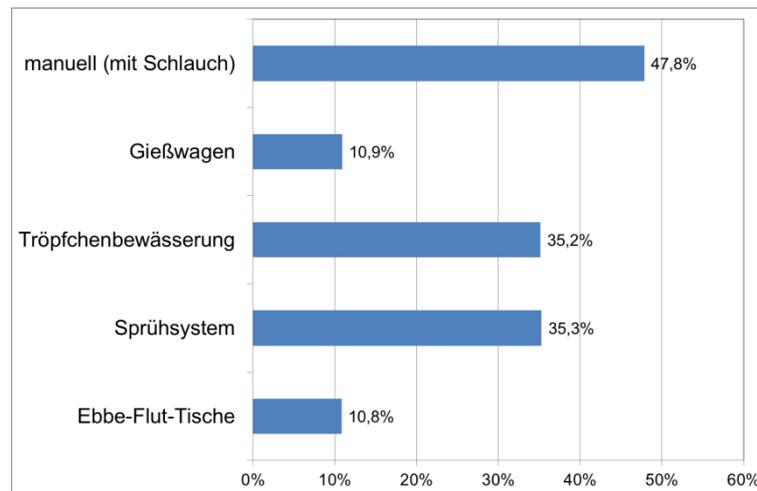


**Abbildung 13:** Lüftung der Gewächshäuser

## h) Bewässerung

Die Bewässerung der Kulturen erfolgt durch die in der nachfolgenden Abbildung dargestellten Art und Weise.

Einzelne Systeme werden auch parallel eingesetzt, insbesondere kulturspezifisch.



**Abbildung 14:** eingesetzte Arten der Bewässerung

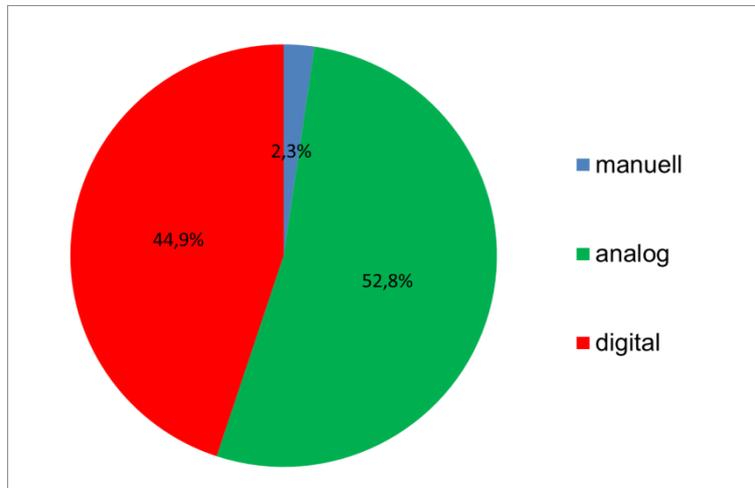
Bemerkenswert aus der Sicht der Bearbeiter ist der hohe Anteil „manueller“ Bewässerung.

## i) Steuer- und Regeltechnik

Die Steuerung und Regelung von Temperatur und Luftfeuchte in den Gewächshäusern erfolgt überwiegend automatisch.

Nur in < 3% der Gewächshäuser werden Thermostate, Lüfter etc. manuell eingestellt und so den wechselnden Anforderungen angepasst. Teilweise – z. B. in den Sommermonaten – waren die Steuerungen auch abgeschaltet und die Lüftung erfolgte manuell.

In der folgenden Abbildung erfolgt die Bewertung nur bezüglich der installierten Regelung/Steuerung.

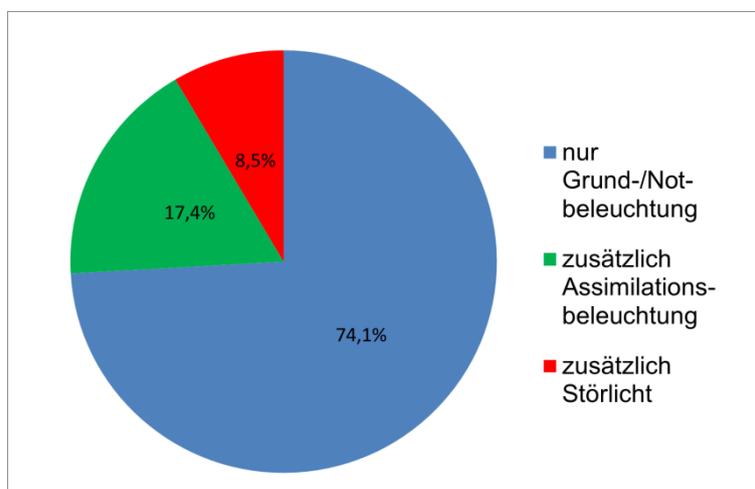


**Abbildung 15:** eingesetzte Regelungen/Steuerungen

Analog bedeutet: In den Steuerungen werden die Führungsgrößen (Temperatur, Fahrkurven, Luftfeuchte etc. ) eingestellt und automatisch geregelt. Bei „digital“ kommen Klimacomputer zum Einsatz. „Lernende“ System, welche auf Klimaprognosen etc. aufbauen, z. B. Pillnitz-Box, werden in den untersuchten Unternehmen nicht eingesetzt.

## j) Beleuchtung

In den untersuchten Unternehmen sind die Gewächshäuser i. d. R. nur mit einer Grund- bzw. Notbeleuchtung ausgestattet nur in ca. 25% der bewirtschafteten Gewächshausfläche wird Stör- bzw. Assimilationslicht eingesetzt. Der Einsatz ist i. d. R. auf wenige Stunden im Jahr (<100) begrenzt.



**Abbildung 16:** Anteil Zusatzbeleuchtung

### 3.1.2 Betriebsgebäude

Neben den Gewächshäusern sind in den Unternehmen zum Teil zusätzliche Betriebsgebäude für Verkauf, Produktion, Büro bzw. Sozialgebäude, Lager und/oder Werkstatt vorhanden. Bezogen auf die Fläche der Gewächshäuser nehmen diese einen Anteil von ca. 1% bis 20% an. Teilweise werden auch Gewächshäuser oder Teile davon als „Verkaufsgewächshäuser“ genutzt.

Die Beheizung der Betriebsgebäude erfolgt i. d. R. zu 100% durch die Heizzentralen zur Wärmeversorgung der Gewächshäuser. Nur bei kleineren Unternehmen ist das Büro im Wohngebäude integriert und wird somit dezentral beheizt.

### 3.1.3 Technikausstattung

In diesem Abschnitt sollen Angaben zur durchschnittlichen Ausstattung mit technischen Anlagen und deren Alter getätigt werden.

#### → Heizung

Die Heizungsanlagen wurden i.d.R. Anfang der neunziger Jahre angeschafft. Meist wurde die bestehende Schwerkraftheizung nur partiell umgebaut (geschlossen). Mit deutlicher Erhöhung der Brennstoffkosten in den Jahren 2007/2008 wurden in mehreren Unternehmen Kohlekessel, Biomasseheizungen oder Pflanzenöl-BHKW nachgerüstet.

#### → Heizungspumpen

Die Umwälzpumpen des Heizungssystems wurden meist mit der Installation der neuen Heizungsanlagen Anfang der neunziger Jahre installiert, teilweise sind sie aber auch über 20 Jahre alt. Es werden überwiegend Heizungspumpen mit einstellbarer Stufung eingesetzt. Diese sind oft auf der größten Stufe eingestellt, der reale Bedarf sollte ermittelt werden. Im Reparatur oder Nachrüstfall wurde begonnen, drehzahl-/druckgeregelte Pumpen einzusetzen, aber i. d. R. ohne hydraulischen Abgleich!

#### → Wasserpumpen

Die Wasserpumpen sind überwiegend 10 -15 Jahre alt oder älter und entsprechen nicht mehr dem Stand der Technik.

Die Wasserpumpen sind meist unregulierte Pumpen, die mit Niveauschalter oder zeitgesteuert betrieben werden. Nur in einem Unternehmen wird eine drehzahlgeregelte Pumpe eingesetzt.

→ **Lüfter**

Bei den in den Gewächshäusern installierten Lüftern sind sowohl sehr alte Lüfter (älter als 20 Jahre) aber auch neuere Aggregate zu finden. Hinsichtlich der Energieeffizienz als auch der Wirksamkeit der Durchlüftung (Vergleich Mäßigung von Temperatur und Feuchte im Gewächshaus) besteht Optimierungsbedarf.

→ **Assimilationsbeleuchtung**

Die Assimilationsbeleuchtung ist in der Regel älter als 10 Jahre.

→ **Kühlanlagen**

Die vorhandenen Kühlanlagen sind meist über 10 Jahre alt und sollten erneuert werden.

Insgesamt muss festgestellt werden, dass die Heizungsanlagen inklusive ihrer Verteilungen und Regelung oft nicht dem Stand der Technik entsprechen.

Der sukzessive Austausch unter Energieeffizienzkriterien – spätestens im Reparaturfall – ist anzustreben.

### 3.1.4 Angaben zu Personal und Umsatz

In den nachfolgenden Abbildungen ist der Umsatz der Unternehmen in Abhängigkeit von der Zahl der Beschäftigten dargestellt. Um saisonal gebundene Arbeitskräfte zu berücksichtigen erfolgt die Darstellung in Abhängigkeit der Beschäftigtenmonate („Mannmonate“)

$\sum_{i=1}^{12} B_i$ , wobei  $B_i$  die Zahl der Beschäftigten im Monat  $i$  bedeutet.

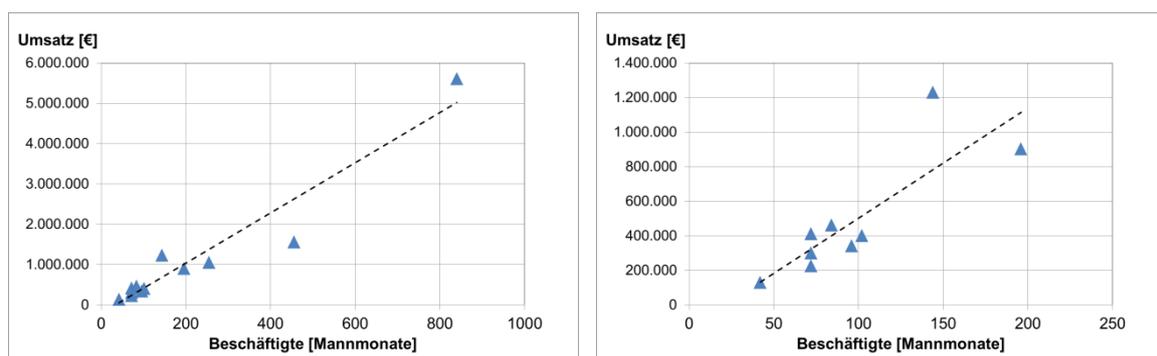


Abbildung 17: Umsatz als Funktion der Beschäftigten (rechts Ausschnitt)

## 3.2 Medienverbrauch und –kosten

Aus der nachfolgenden Abbildung ist ersichtlich, dass die Energiekosten im Mittel der untersuchten Unternehmen (MW) 11% beträgt, unternehmensspezifisch liegt er zwischen 4 und 24%. Dies unterstreicht die hohe Relevanz der Energiekosten für die Wirtschaftlichkeit der Unternehmen, wobei insbesondere die Wärmekosten zu beachten sind.

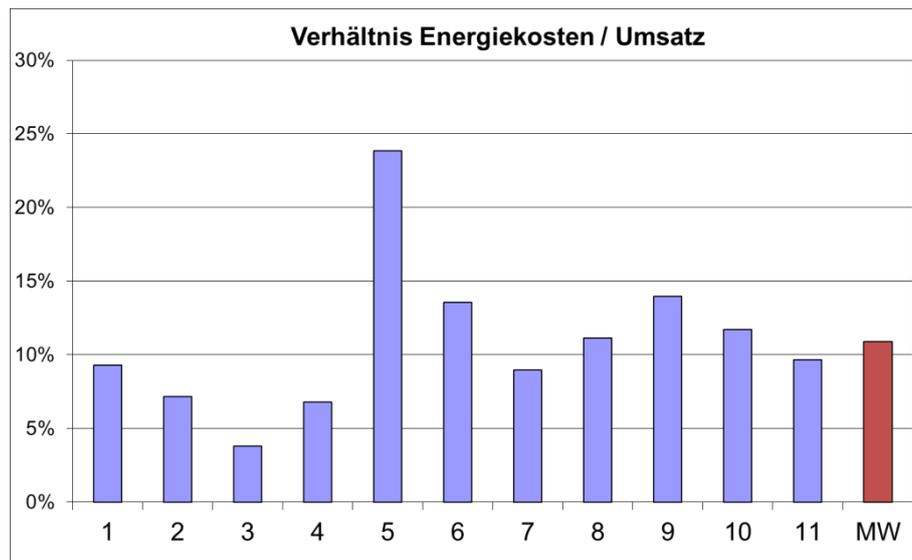


Abbildung 18: Verhältnis Energiekosten/Umsatz

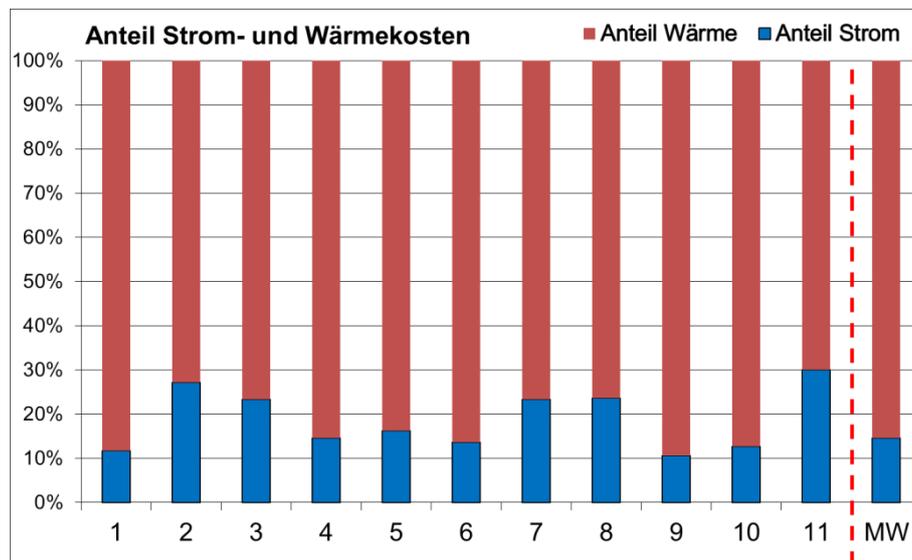
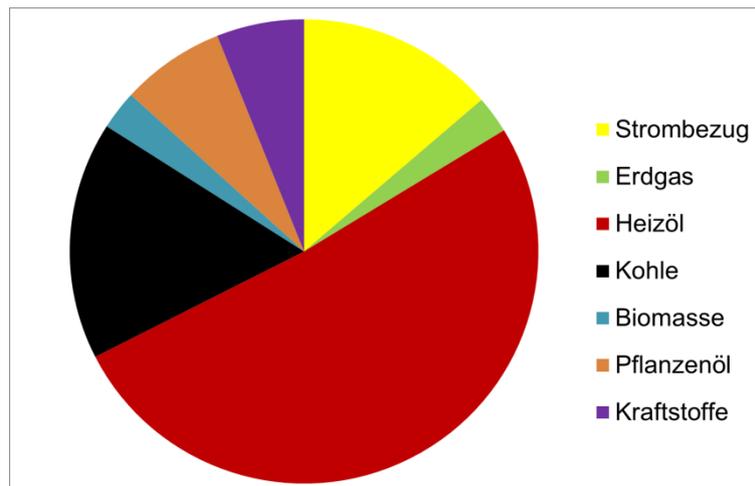


Abbildung 19: Verhältnis Strom- zu Wärmekosten

### 3.2.1 Energieträger (Endenergie)

Als Energieträger kommen in Unternehmen Strom, Heizöl, Erdgas, Biomasse (Hackschnitzel, Pflanzenöl), und Kohle zum Einsatz.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt werden neben Biomasse keine weiteren alternativen Energiequellen (z. B. Erdwärme, Solarenergie) eingesetzt.

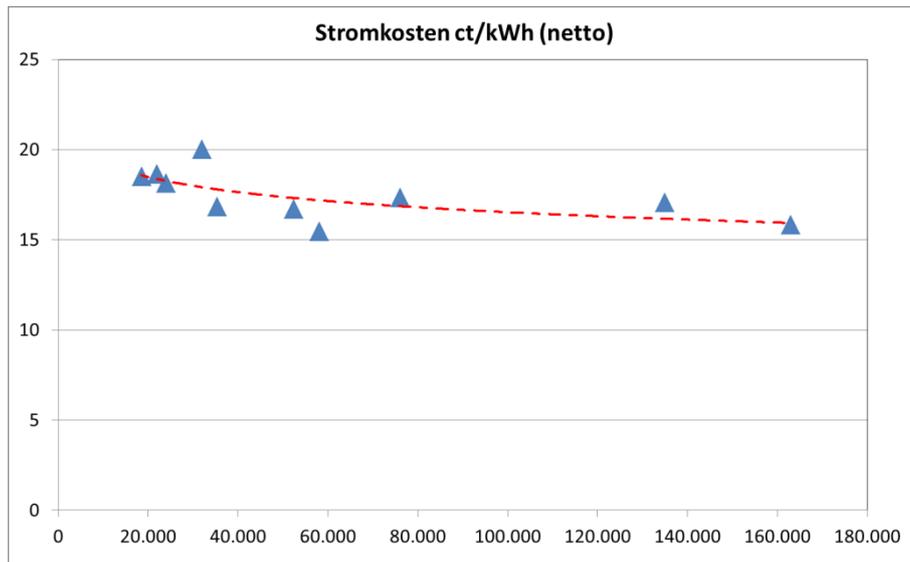


**Abbildung 20:** Anteil der Energieträger an den Energiekosten (relativ)

Die obige Abbildung stellt den relativen Kostenanteil der Energieträger gemittelt über die untersuchten Unternehmen dar.

Die Energiekosten der einzelnen Energieträger variieren regional (z. B. verschiedene Stromtarife) und sind sowohl von der Bestellmenge (z. B. Strom) als auch vom Lieferzeitraum (Heizöl) abhängig.

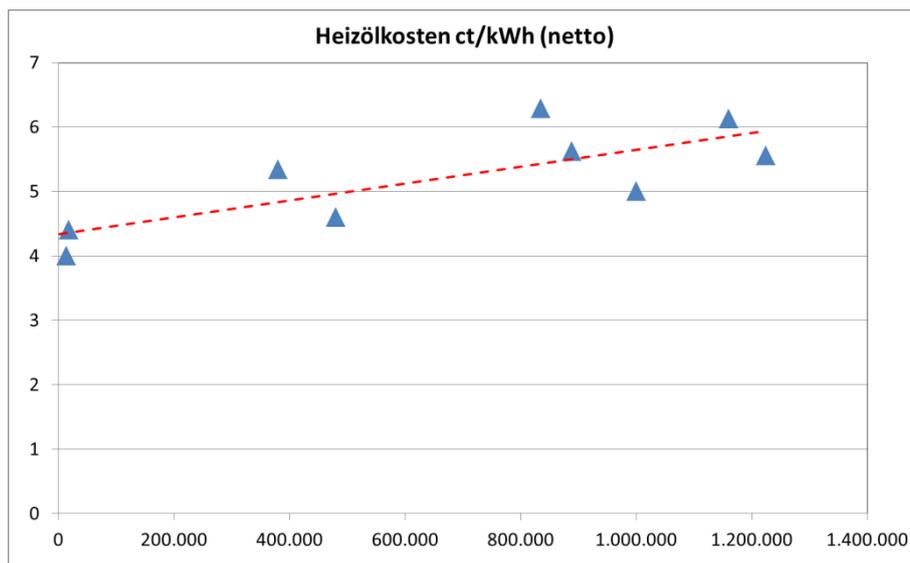
Die nächste Abbildung zeigt die mittleren Stromkosten (netto, 2010) für die nichtleistungsgemessenen Unternehmen (im Projekt 10 von 11) in Abhängigkeit von der Jahresbezugsmenge.



**Abbildung 21:** Nettostromkosten der Unternehmen ohne Leistungsmessung

Als Tendenz sind geringere Stromkosten bei größerem Bezug erkennbar, was zu erwarten ist. Allerdings zeigt die Darstellung auch Kosteneinsparpotenziale von ca. 10-15% bei vergleichbaren Bezugsmengen.

Die Tendenz zu geringeren Preisen bei größeren Abnahmemengen ist bei den am Projekt beteiligten Unternehmen nicht nachweisbar (siehe Abbildung). Hier spielen offensichtlich Einkaufsstrategie bzw. Lieferzeitpunkt eine besondere Rolle.



**Abbildung 22:** spezifische Heizölkosten (2010) der beteiligten Unternehmen

### 3.2.2 Kraftstoffe

In der nachfolgenden Abbildung ist der Anteil der Kraftstoffkosten bezogen auf den Umsatz dargestellt. Mit im Mittel ca. 1% spielen die Kraftstoffkosten bei den untersuchten Unternehmen eher eine untergeordnete Rolle.

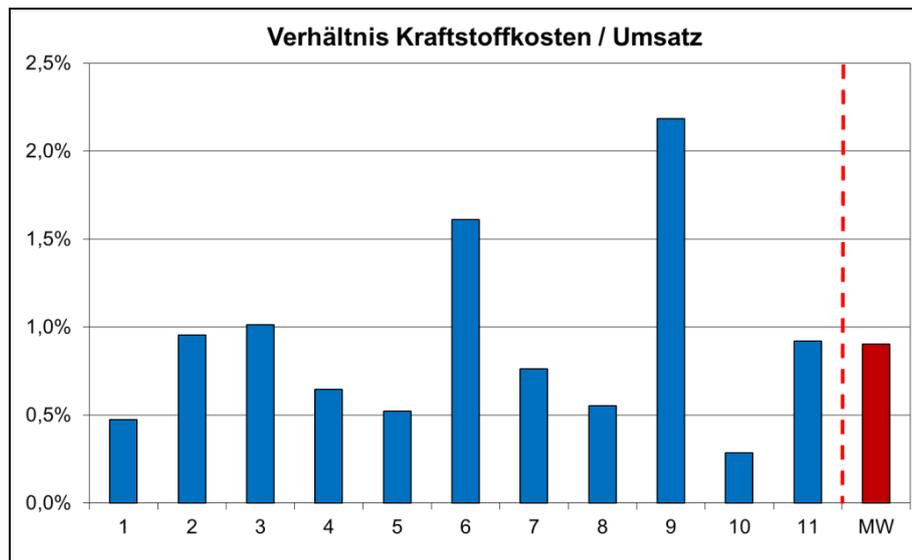


Abbildung 23: Verhältnis Kraftstoffkosten/Umsatz

### 3.2.3 Wasser/Abwasser

Der Wasserbedarf der untersuchten Unternehmen wird zum überwiegenden Teil aus Regenwasser bzw. Brunnen- oder Oberflächenwasser gedeckt, welches in Puffern (Becken, Behälter) gespeichert wird. Trinkwasser wird nur für Sanitärwasser oder als Reserveversorgung genutzt. Gleiches trifft auf den Abwasseranfall zu.

Da Regen- bzw. Brunnenwasser i. d. R. nicht gezählt wird, sind nur Abschätzungen des realen Wasserbedarfs möglich. Hinzu kommt, dass teilweise bewirtschaftete Freiflächen vorhanden sind, deren Wasserbedarf nicht separat ermittelt wird. Kennzahlen konnten nicht ermittelt werden.

Der Leitungswasseranteil liegt – nach Angaben der Unternehmen – bei 0% - ca. 20% des Wasserbedarfs.

---

► Um den Wasserverbrauch kontinuierlich zu bewerten und als Kontrollfunktion wird empfohlen, interne Wasserzähler zu installieren und regelmäßig – mindestens monatlich abzulesen.

---

## 4 Messtechnische Untersuchungen

### 4.1 Betriebsrundgänge

Zu Beginn der Untersuchungen standen Rundgänge mit Geschäftsführer/Inhabern der Unternehmen. Im Rahmen dieser Begehungen wurden Thermografie-Aufnahmen und Digitalfotos erstellt.

Die Betriebsrundgänge dienten neben der Orientierung und dem Verständnis der Prozesse zur Festlegung der Untersuchungsschwerpunkte und der Messstrategie.

### 4.2 Verwendete Messtechnik

Die im Folgenden beschriebene Messtechnik wurde für die Analysen eingesetzt.

#### 4.2.1 Infrarotthermografie

Die Infrarotthermografie basiert auf der Messung der abgestrahlten Wärmeenergie (Infrarotstrahlung), ist somit eine indirekte Methode der Temperaturmessung.

Die eingesetzte Thermokamera Typ FLIR Cam E2 verfügt über digitale Infrarotsensoren mit einer Auflösung von 320x240 Pixel. Ein Sensor deckt den Temperaturbereich bis 350°C ab, wird diese Temperatur überschritten schaltet das Gerät automatisch auf den zweiten Sensor (bis ca. 900°C) um.

Weiterhin stehen Wechselobjektive für unterschiedliche Messabstände zur Verfügung.

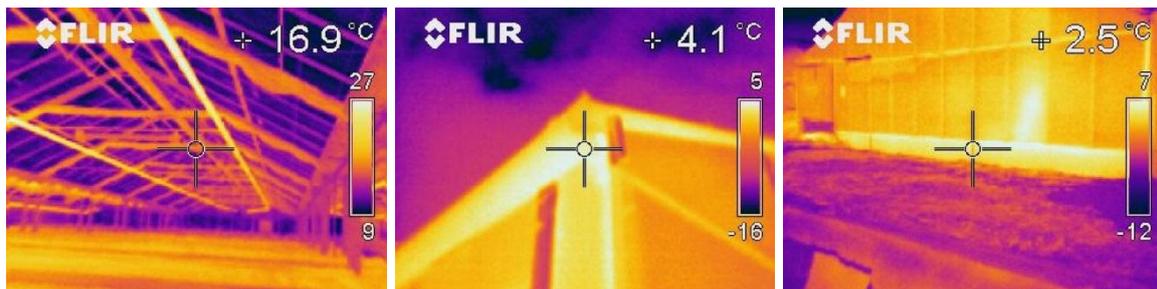


**Abbildung 24:** Thermokamera Typ FLIR Cam E2

Ähnlich der Digitalkamera wird auf dem Display das aktuelle Wärmebild angezeigt und kann manuell abgespeichert werden.

Der Bildspeicher wird über Laptop ausgelesen, die Wärmebilder stehen im JPG-Format zur digitalen Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Durch Fehlfarbandarstellungen können Bereiche unterschiedlicher Temperatur unterschieden werden. Beispiele werden in der folgenden Abbildung dargestellt.



**Abbildung 25:** ausgewählte Wärmebilder

Die Thermografie kam zur Untersuchung der betrieblichen Versorgungsanlagen sowie der Prozessanlagen zum Einsatz. Bei niedrigen Außentemperaturen kann sie außerdem zur Bewertung der Gebäudesubstanz hinsichtlich der Wärmeverluste genutzt werden.

#### 4.2.2 Wirkleistungsmessgerät „WL1“

Das „WL1“ ist eine Eigenentwicklung auf Basis handelsüblicher UMG- (Universalmessgerät) Einbaugeräte des Herstellers „Janitza“.

Besonderes Augenmerk wurde auf das Handling (kompakte Größe und geringes Gewicht) sowie die Unabhängigkeit von einer separaten Spannungsversorgung gelegt.

Funktionsumfang und Speichergröße (512 KB) orientieren sich an den Notwendigkeiten des regulären Messbetriebs, auf nicht benötigte Analysefunktionen wurde verzichtet.

Zur Messwertübergabe stehen zwei Schnittstellen (RS232 und die bevorzugte RS485) zur Verfügung, die grafische Auswertung erfolgt in handelsüblichen Tabellenkalkulationsprogrammen.

Per Adapter konnten auch Geräte mit Licht- und Kraftstromsteckern vermessen werden.



**Abbildung 26:** Speicher-Netzanalysator WL1

## 4.2.3 Durchflussmessgerät „FULUX“

Das Messgerät FLUXUS bedient sich der Ultraschall-Laufzeitdifferenz-Methode zur berührungslosen Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeit in Flüssigkeiten in Rohrleitungen. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Einsatz bei der Messung des Volumenstroms der Speisewasserzuführung der Dampfkessel.



**Abbildung 27:** Durchflussmessgerät FLUXUS im Einsatz

Die Messung erfolgt über ein Sensorpaar, welches an der Rohraußenseite angebracht wird. Über den Laufzeitunterschied des Ultraschallsignals in und gegen die Strömungsrichtung des Mediums wird die Strömungsgeschwindigkeit über den Rohrquerschnitt ermittelt.

Über die Parameter für Rohraußendurchmesser, Wandstärke und Medium wird der Volumenstrom errechnet. Entsprechende Stoffwerte sind intern für die gebräuchlichsten Medien hinterlegt.

Das FLUXUS verfügt über zwei Messkanäle für Ultraschallsensorpaare sowie über vier PT100-Temperatureingänge (je zwei pro Messkanal). Somit ist die Wärmemengenmessung für jeden der beiden Kanäle möglich.

Die Ultraschall- und Temperatursensoren sind in ihrem Einsatz auf Temperaturen bis 130°C begrenzt. Bei heißeren Medien ermöglicht ein spezieller Anbausatz die Volumenstrommessung ohne Beschädigung der Ultraschallsensoren. Temperaturmessungen müssen in diesem Fall mit anderen Messgeräten realisiert werden.

Das FLUXUS verfügt über einen internen Messwertspeicher für Langzeitmessungen und eine PC-Schnittstelle zur Datenübertragung. Die mitgelieferte Software erlaubt eine einfache Visualisierung sowie den Export der Messwerte.

#### 4.2.4 Einkanaldatenlogger

An Sensoren (Temperatur, Druck, Impuls, usw.) gekoppelte Datenlogger speichern die Messwerte nach einem vorgegebenen Zeitraster automatisch und zeitmarkiert ab und ermöglichen somit Langzeitmessungen.

Durch die vorhandenen Entfernungen zwischen einzelnen Messstellen würden Mehrkanalloggern einen erhöhten Installationsaufwand bedeuten, so dass ausschließlich Einkanaldatenlogger („ESYS) zum Einsatz kommen.



**Abbildung 28:** Einkanal-Datenlogger für Impuls und Temperatur

Die Datenlogger verfügen über interne Speicher für 16.000 Messwertsätze, PC-Schnittstelle, Batterie und externe Stromversorgungsmöglichkeit. Die Reichweite der eingebauten Batterien beträgt > 2 Jahre.

Zur Konfiguration und Auslesung Logger sowie für einfache Visualisierung und Datenexport wird eine entsprechende Software genutzt.

| Größe                  | Anzahl | Gerät / Spezifikation |          | Besonderheit         | Einsatzgebiet                            |
|------------------------|--------|-----------------------|----------|----------------------|--|
| Temperatur             | 4      | Minidan               | Temp 0.1 | interner Sensor /    | Außentemperatur und<br>Raumtemperatur    |
|                        |        |                       |          | Temperatursensor NTC |  |
| Temperatur             | 10     | Minidan               | Temp TK  | außenliegendes       | Prozesstemperaturen<br>Medien            |
|                        |        |                       |          | Thermoelement        |  |
| Impulse                | 7      | Minidan               | Pulse    | Impulsausgang        | Zähler und Sensoren<br>mit Impulsausgang |
| Spannung<br>0 ... 10 V | 1      | Minidan               | AD 16    | int. Spannungsteiler | 0 ... 10V-Sensoren                       |
| Strom<br>4 ... 20 mA   | 1      | Minidan               | AD 16    | int. Vorwiderstand   | 4 ... 20mA-Sensoren                      |

**Tabelle 1:** eingesetzte Datalogger

Eine Erweiterung des Einsatzgebietes der Impulslogger erlauben optische Abtaster. Damit besteht die Möglichkeit, die Läuferscheibenumdrehungen von Elektrozählern sowie die Zustandsänderungen von Leuchtdioden (LED) zu zählen.



**Abbildung 29:** Impulsdatenlogger mit Abtastern

#### 4.2.5 Temperatur-Feuchte-Datenlogger „LOG32“

Zur Beurteilung von Temperatur und Luftfeuchte kamen Datenlogger „LOG32“ zum Einsatz. Je Datensatz werden Datum, Uhrzeit; Lufttemperatur, Luftfeuchte sowie der Taupunkt abgespeichert; 16.000 Datensätze sind maximal möglich. Die Daten werden per USB an den Rechner übergeben und können sowohl per Gerätesoftware als auch per Tabellenkalkulationsprogramm ausgewertet werden



**Abbildung 30:** Temperatur-Feuchte-Logger

Die aufgezeichneten Daten dienen zur Beurteilung der Temperaturverteilung in den Häusern sowie des Regelverhaltens.

## 4.2.6 Allgemeine Bemerkungen

Die oben beschriebenen Messgeräte verfügen jeweils über eigene Software und ein eigenes Messdatenformat.

Bei der Auswahl der Messgeräte wurde daher auf Exportmöglichkeit der Messwerte ins ASCII-Format zur Weiterverarbeitung in Tabellenkalkulationsprogrammen geachtet.

Per Tabellenkalkulation werden die Werte verschiedener Messgeräte in eine einheitliche Form gebracht und zu komplexen Auswerteaufgaben zusammengefasst.

Die abschließenden Visualisierungen der Ergebnisse finden i. d. R. im Programm MS EXCEL statt.

Für Konfiguration und Auslesung der Speichermessgeräte sowie für Auswerteaufgaben ist ein Laptop mit ausreichender Akku-Laufzeit (beim eingesetzten Laptop HP Compaq NX 6110 > 8h) erforderlich.

## 4.3 Durchführung der Messungen

### 4.3.1 Vorhandene Messstellen

Als vorhandene Messstellen dienten insbesondere die Stromzähler der Betriebe. Auf vorhandene Unterzähler konnte nicht zurückgegriffen werden.

### 4.3.2 Auswahl und Begründung von Messstellen

Schwerpunkte der im Unternehmen durchgeführten Messungen bilden die Nutzung der Infrarotthermografie bei Betriebsrundgängen zur Aufdeckung von Wärmeverlusten, Messung des Gesamtlastganges der Betriebe sowie Langzeitmessungen von Temperatur- und Luftfeuchte in den Gewächshäusern im Vergleich zur Außenlufttemperatur.

In begründeten Fällen wurden aufwendige Wärmeleistungsmessungen an Kesseln (Biomasse und Kohle) vorgenommen.



## **4.3.3 Grundlagen zur Darstellung und Auswertung der Messergebnisse**

Die mit den Messgeräten gewonnenen Messdaten werden als zeitmarkierte Messdaten ausgegeben und in EXCEL-lesbare Dateien umgewandelt. Die Auswertung der Messdaten und die grafische Darstellung erfolgt mit separat entwickelten Excel-Dateien.

## 5 Durchgeführte Untersuchungen (allgemein)

### 5.1 Einführung eines Energiedatenmanagements

Festgestellt wurde, dass in den untersuchten Unternehmen zwar eine Sensibilisierung zum Thema Energie vorhanden ist – bedingt sicher durch die stetig steigenden Energiekosten – , aber verlässliche Energiedaten, z.B. über Ablesungen der Zähler etc., i. d. R. nicht vorhanden sind.

- 
- ▶ Den Unternehmen wird empfohlen, regelmäßig – mindestens monatlich die Energiebezugsdaten zu erfassen, zu dokumentieren und zu bewerten / zu kontrollieren. Nur so können sukzessive Energiesparpotenziale nachhaltig erschlossen werden bzw. Fehlentwicklungen erkannt und beseitigt werden.
  - ▶ Ein Energiedatenmanagement ist ebenfalls Grundlage für die Vorbereitung von Energiesparinvestitionen.
- 

### 5.2 Ergebnisse aus den Betriebsrundgängen

Die Betriebsrundgänge wurden gemeinsam mit dem Eigentümer/Betriebsleiter durchgeführt. In Ergänzung zu den Datenerfassungslisten werden nachfolgend ausgewählte Hinweise zu den in den Betrieben vorgefundenen Schwachstellen und Verlustquellen aufgelistet (die Unternehmen wurden anonymisiert):

#### Unternehmen I

- unübersichtliches Heizungssystem
- fehlende Dämmung von Rohrleitungen verursacht Frostschäden
- digitale MSR-Technik vorhanden, aber teilweise nicht funktionsfähig
- Noppenfolie an Stehwänden löst sich, dadurch Verluste durch Wärmebrücken
- Betriebsgebäude schlecht gedämmt

#### Unternehmen II

- Beleuchtung im Verkaufsgewächshaus wird auch bei hellsten Sonnenschein nicht ausgeschaltet
- Heizungsumwälzpumpen werden auf höchster Leistungsstufe betrieben, Bedarf geringer

## Unternehmen III

- selbstgebauter Pufferspeicher mit schlechter Wärmeverteilung
- ungedämmte wärmeleitende Leitungen in nicht beheizter Umgebung und teilweise im Erdreich verlegt (Schnee schmilzt, Trassen sichtbar)
- Büro- und Aufenthaltsräume werden noch mit Glühlampen beleuchtet

## Unternehmen IV

- veraltetes Heizsystem mit zu großen Rohrquerschnitten, schlechter Regelbarkeit und mangelnder Isolierung (insbesondere auch im Außenbereich)
- elektrische Direktheizung (Elektroheizkörper) im Betriebsgebäude, obwohl Warmwasserheizung vorhanden ist
- Kühlzelle veraltet (BJ 1980), daher hoher Stromverbrauch

## Unternehmen V

- Kohlekessel hat hohe Abgastemperaturen
- keine Zusatzdämmung (Noppenfolie)
- Heizungsverteilung nur teilweise isoliert

## Unternehmen VI

- Noppenfolie teilweise verschlissen
- starkes Takten des Kohlekessels, Speicher noch nicht angeschlossen
- Dämmung der Heizungsverteilung teilweise verschlissen

## Unternehmen VII

- zwei Elektroinspeisungen für den Betrieb
- wärmstes Haus am Ende der Trasse

## Unternehmen VIII

- Noppenfolie teilweise verschlissen
- Heizungspumpen ungeregelt
- BHKW-Wärmenutzung im Sommer ineffizient

Folgende Hinweise sind für die meisten untersuchten Unternehmen zutreffend:

- 
- ▶ Die teilweise auch saisonal als Zusatzdämmung genutzte Noppenfolie ist so anzubringen, dass eine Hinter-Lüftung verhindert wird. Bei längerfristig angebrachter Noppenfolie ist die Befestigung zyklisch zu prüfen und schadhafte Stellen zu ersetzen.
-



**Abbildung 31:** beschädigte Noppenfolien

- 
- ▶ Die meisten Heizungsanlagen wurden in der Vergangenheit als Schwerkraftheizungen betrieben und sind ohne größere Änderungen auf geschlossene Heizkreise umgebaut worden. Dies hat zur Folge: große Querschnitte der Leitungen und entsprechend große Heizungspumpen (i.d.R. ohne Drehzahlregelung).
  - ▶ Die installierten Heizkessel sind i. d. R. mehr als 15 Jahre alt und haben gegenüber modernen Heizkesseln Effizienzsteigerungspotenziale von mindestens 10%.
  - ▶ Heizungsverteilungen sind oft unübersichtlich und schlecht dokumentiert, nachträgliche Änderungen erfolgen i. d. R. ohne hydraulischen Abgleich.
  - ▶ mangelhafte Isolierungen der Heizungsleitungen (insbesondere im Außenbereich), aber auch in Kaltbereichen etc.
  - ▶ Das Abtauen der Rinnenbereiche der Gewächshausdächer wird meist über das Öffnen des Energieschirms realisiert, womit dieser in den Wintermonaten über einen längeren Zeitraum und mehrfach außer Kraft gesetzt wird.
  - ▶ Die Energieschirme waren teilweise verschlissen, auch die Abdichtung zwischen den Schirmpaketen und zum Giebel war nicht gegeben.
- 

Aber auch positive Beispiele seien genannt:

- 
- ▶ frequenzumrichter gesteuerte Wasserpumpe
  - ▶ Luft-Wasser-Wärmepumpe nutzt Gewächshausluft zur Sanitärwarmwasserbereitung
-

## 5.3 Infrarotthermographie der Gewächshäuser und technischen Anlagen

Bei der Bewertung der Thermografie-Aufnahmen ist zu beachten, dass die angezeigten Temperaturbereiche nur ein Anhaltspunkt sein können, da auf Grund der unterschiedlichen Reflektion der Oberfläche der Materialien (Glas, Beton, ...) teilweise unterschiedliche Temperaturen „simuliert“ werden, z. B. auch für unterschiedlich nasses Glas (siehe Abbildung).

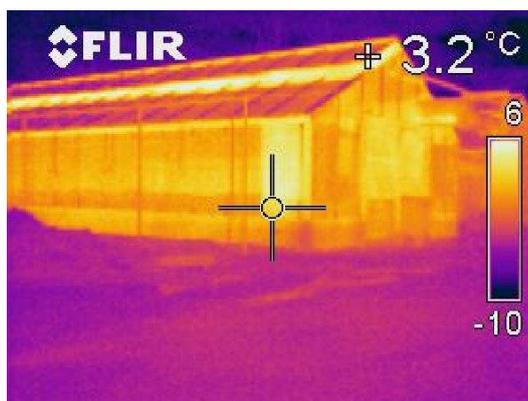


Abbildung 32: Thermografie-Aufnahme Gewächshaus / unterschiedlich nasses Glas

### 5.3.1 Technologische Anlagen

Nachfolgend sind ausgewählte Infrarotaufnahmen der Betriebsrundgänge dargestellt.





Abbildung 33 a)-d): Infrarotthermografie (Kohlekessel /Pufferspeicher/Wärmeverteilungen)

## 5.3.2 Gewächshäuser

Die thermografischen Aufnahmen wurden bei einer Außentemperatur < 0°C durchgeführt.

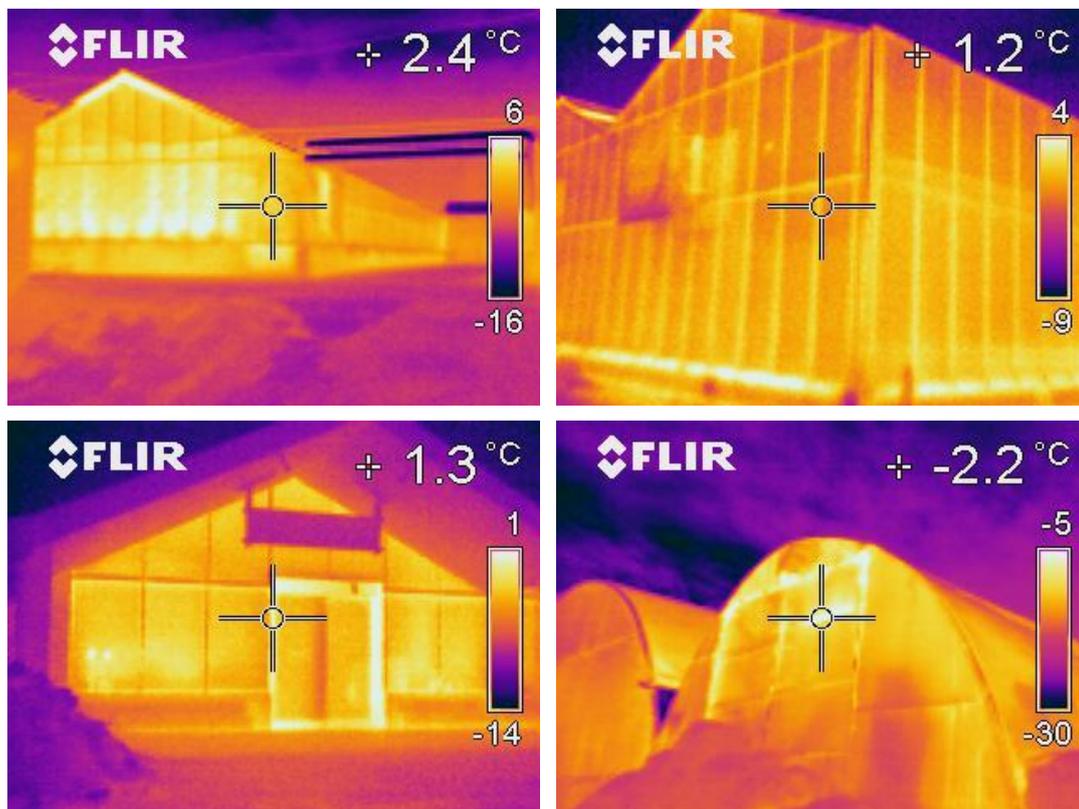
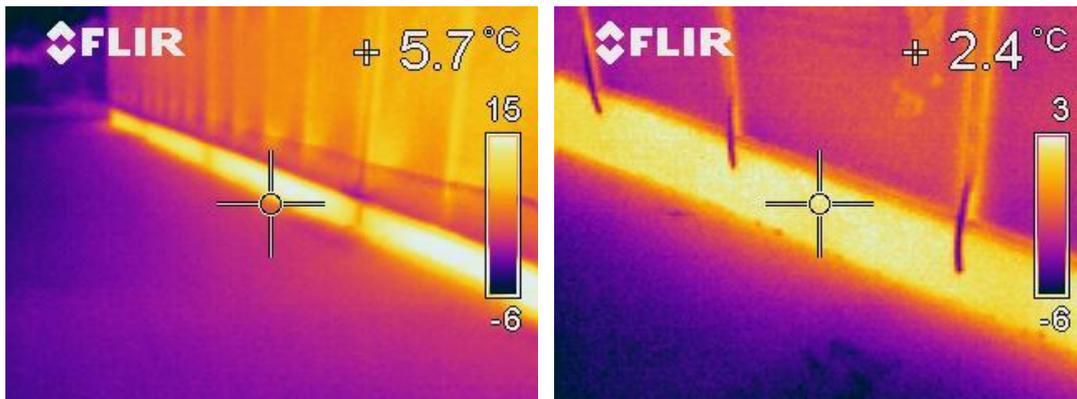


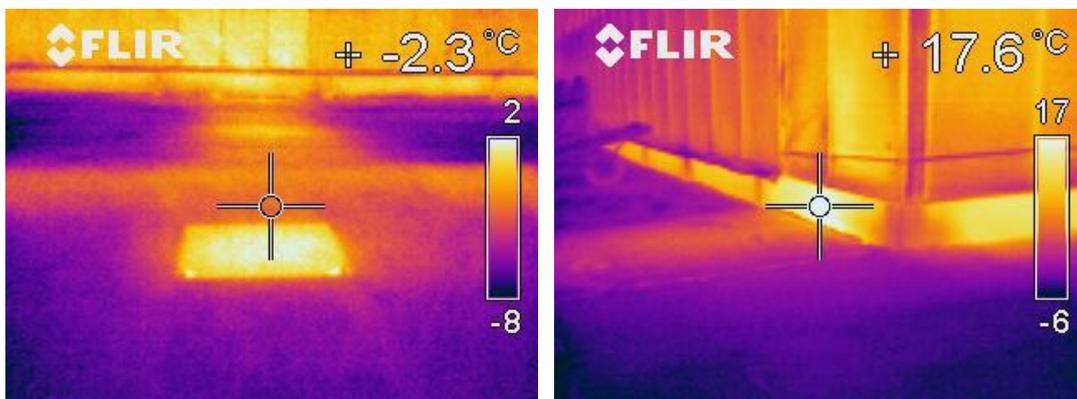
Abbildung 34 a)-d): Infrarotthermografie (Gewächshausaufnahmen)

Auf Grund bereits genannter Thematik der unterschiedlichen Reflektion der Baumaterialien, wurde sich insbesondere auch auf Detailaufnahmen begrenzt.



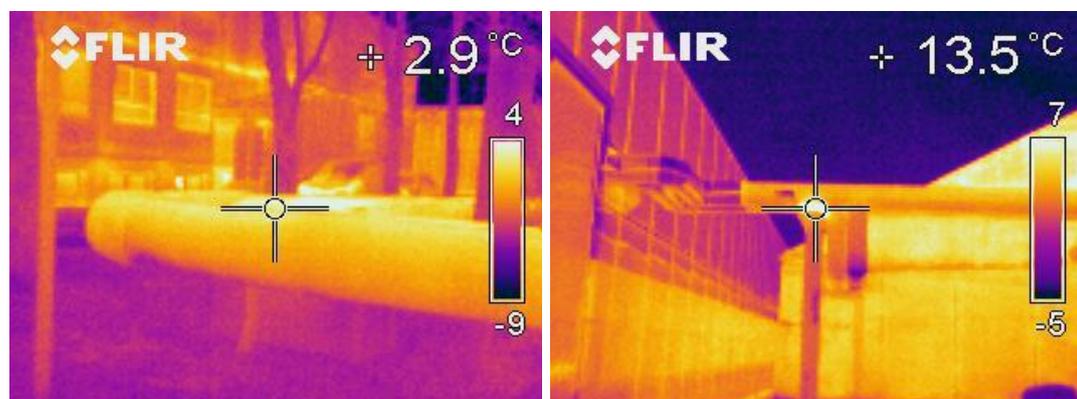
**Abbildung 35 a)-b):** Infrarotthermografie (Gewächshaus - Detailaufnahmen)

Dargestellt ist die Wärmebrücke „Betonsockel“ der Gewächshäuser.



**Abbildung 36 a)+b):** Heiztrassen (erdverlegt), rechts Ausgang aus Gewächshaus

Offensichtlich ist die schlechte Isolierung der erdverlegten Trassen hervorgerufen durch zu schwache Dämmung bzw. durchnässte Dämmung.



**Abbildung 37 a)+b):** Heiztrassen (oberirdisch)

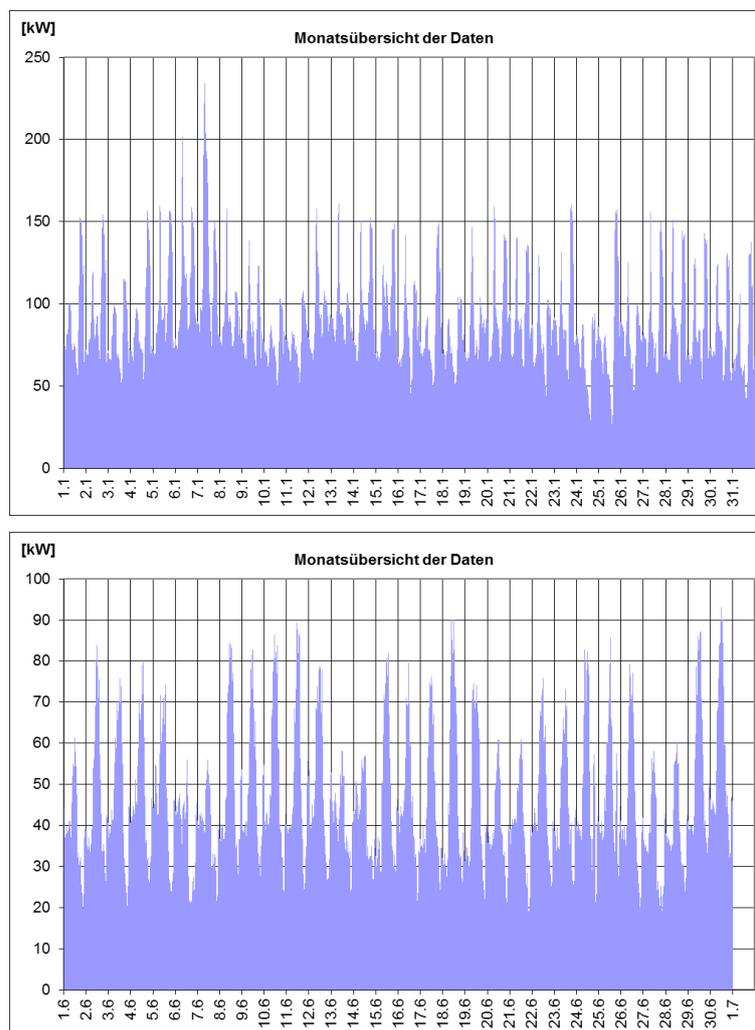
Fehlstellen/Wärmebrücken sind insbesondere bei den Auflagern der Trassen (rechts) bzw. bei Beschädigungen (links) vorhanden.

- 
- ▶ Beschädigungen der Isolierung der Heiztrassen im Außenbereich müssen schnellstmöglich ausgebessert werden, um das Eindringen von Wasser zu verhindern, was die Dämmwirkung reduziert. Hinzu kommen längerfristig auch Schäden an den Heizleitungen selbst.
-

## 6 Untersuchungen zum Stromverbrauch

### 6.1 Lastgang des Zierpflanzenbaubetriebes

Nachfolgende Abbildungen zeigen Beispiele für den Monatslastgang für einen Winter- und Sommermonat für ein leistungsgemessenes Unternehmen, bei dem die Lastgangdaten des Energieversorgers ausgewertet wurden.

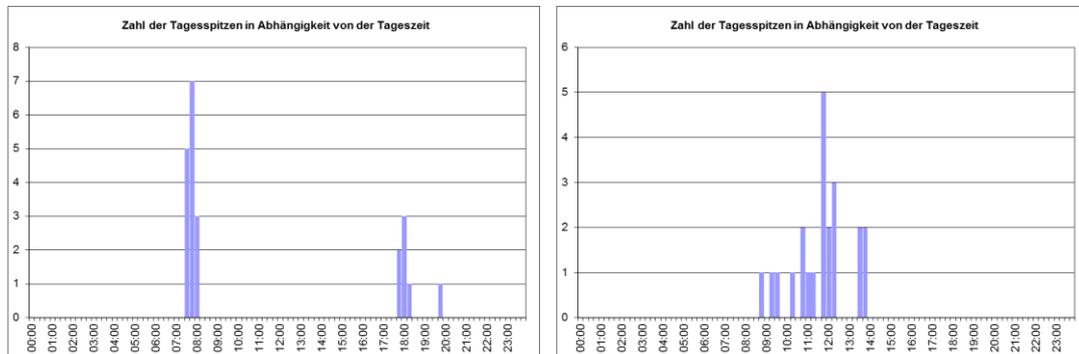


**Abbildung 38:** Monatslastgang Winter- (oben) und Sommermonat (unten)

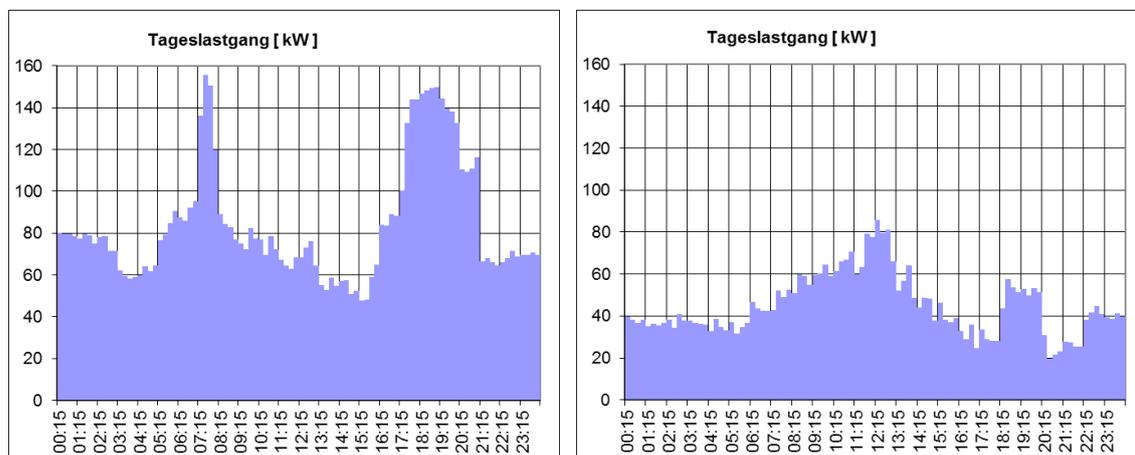
Erkennbar ist die hohe Grundlast des Stromverbrauchs, die in den Sommermonaten – durch den teilweisen Wegfall der Heizung – deutlich reduziert ist.

Die Tagesleistungsspitzen treten in den Wintermonaten meist in den Morgen- bzw. Abendstunden (Beleuchtung / Heizung bzw. Wärmeversorgung) auf, während in den Sommermonaten die

Tagesleistungsspitzen über die Tagesschicht verteilt sind. Dies wird auch durch die bewerteten Tageslastgänge bestätigt.



**Abbildung 39:** Verteilung der Tagesmaxima im Winter- (links) und Sommermonat (rechts)

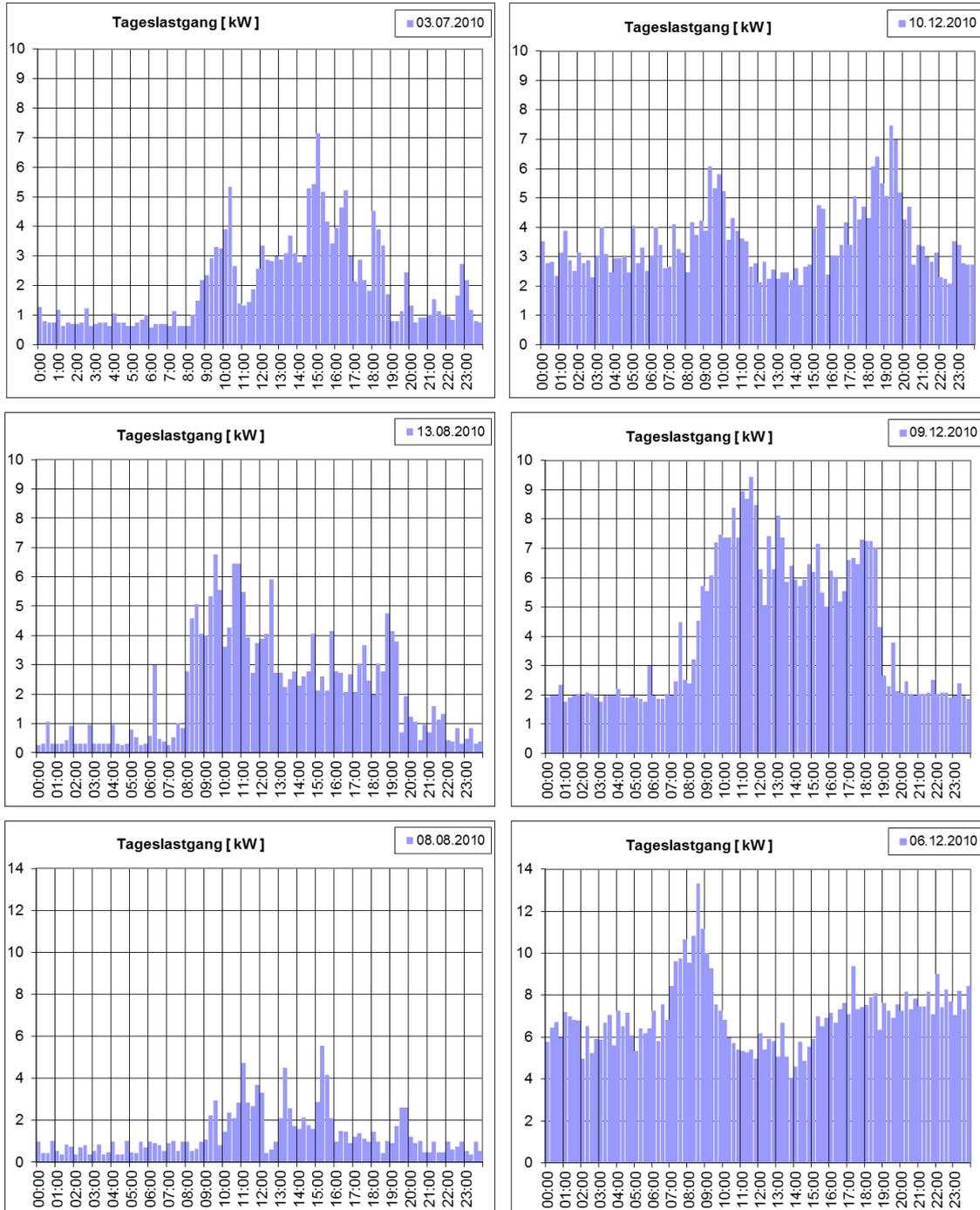


**Abbildung 40:** Tageslastgang im Winter- (links) und Sommermonat (rechts)

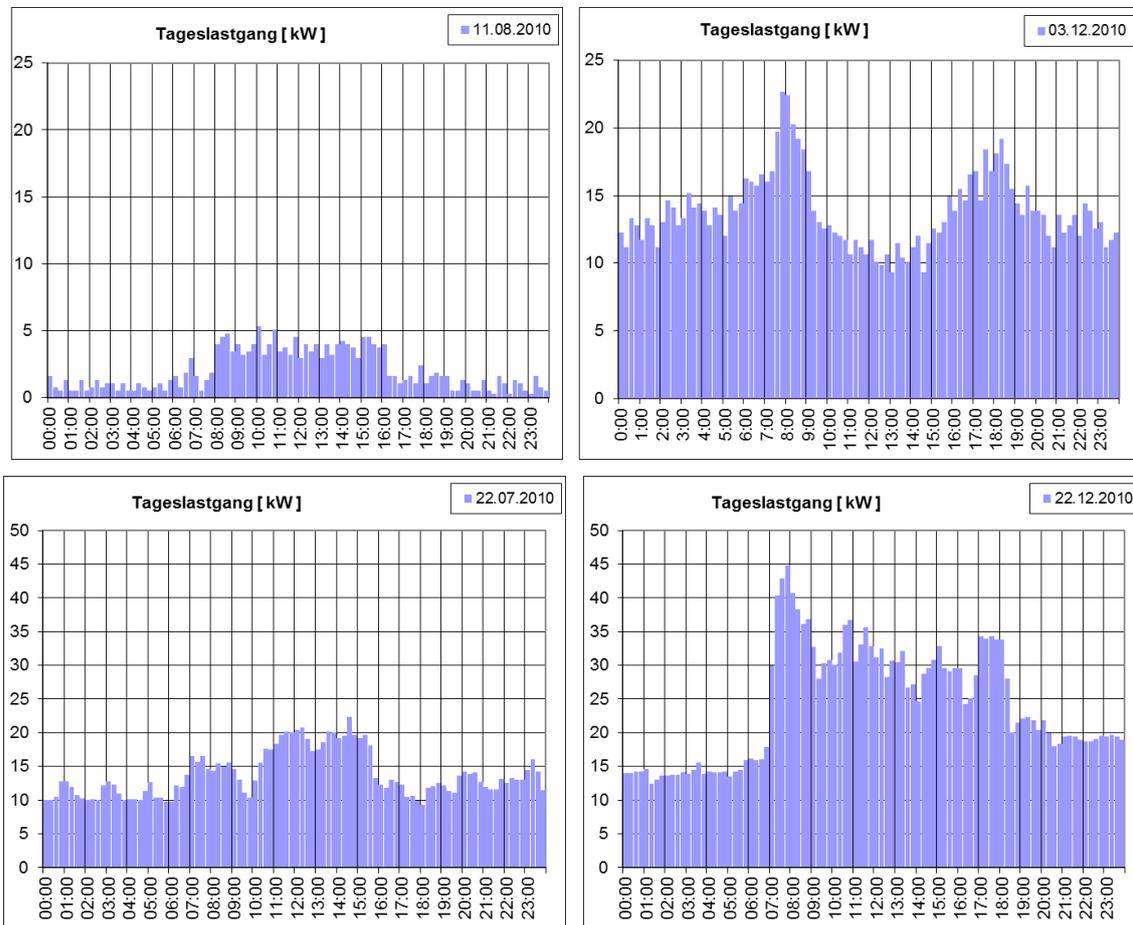
## 6.2 Einzelmessungen

Zur detaillierten Strukturierung des Stromverbrauchs im Unternehmen wurden auch für nicht-leistungsgemessene Unternehmen der Stromlastgang des Unternehmens aufgenommen und analysiert.

Im Folgenden werden ausgewählte Messergebnisse für den Tageslastgang unterschiedlicher Unternehmen (kleinere Unternehmen → Abbildung 41 und größere Unternehmen → Abbildung 42) dargestellt.



**Abbildung 41 a)-f):** Tagesstromlastgang für verschiedene Unternehmen (links: Sommer / rechts: Wintertag)



**Abbildung 42 a)-d):** Tagesstromlastgang für verschiedene Unternehmen (links: Sommer / rechts: Wintertag)

Erkennbar ist in den Abbildungen der erhöhte Grundlastanteil in den Wintermonaten (z. B. durch den Betrieb der Wärmeversorgung, Heizkessel und Umwälzpumpen).

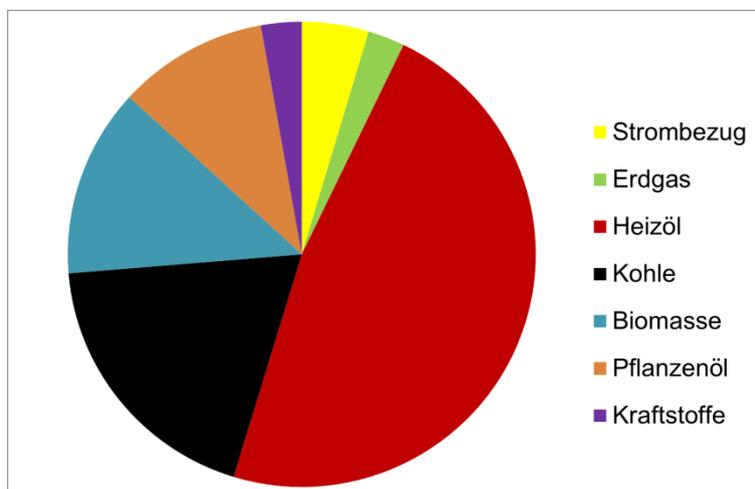
In einigen Unternehmen betrug er auch ein Vielfaches des Grundlastanteils der Sommermonate.

Nachweisbar waren ebenfalls „Anfahrstrukturen“ in den Lastgängen in den Morgenstunden (07:00 – 09:00).

- Potenziale für die Installation von Lastmanagementsystemen existieren nach derzeitigem Untersuchungsstand nicht. Die meisten Betriebe werden nicht mit Leistungspreis abgerechnet (Anschlussleistung < 30 kW).

## 7 Untersuchungen zum Wärmeverbrauch

Der Wärmeverbrauch stellt den hauptsächlichen Energiebedarf der Unternehmen des Zierpflanzenbaus dar.



**Abbildung 43:** Anteil der Energieträger am Energieverbrauch (relativ)

Die obige Abbildung stellt den relativen Anteil der Energieträger (kWh) gemittelt über die untersuchten Unternehmen dar. Heizöl stellt mit fast 48% den Hauptenergieträger dar.

Der Wärmeverbrauch (Summe über alle Brennstoffe) dominiert mit ca. 92%, gefolgt von Strom (ca. 5%) und Kraftstoffen (ca. 3%). Bei den Energiekosten stellen die Wärmekosten mit ca. 80% den Hauptanteil (Strom 14%, Kraftstoffe 6%).

Im folgenden Abschnitt werden allgemeine energetische Untersuchungen zum Wärmehaushalt der Gewächshäuser dargestellt und Hinweise für den energieeffizienten Betrieb gegeben.

Ausgegangen wird von einer allgemeinen Einordnung der Gewächshäuser, in Gewächshaustypen, Aufbau, Ausstattungen usw.

Ziel ist es, Methoden für die Berechnung der Heizlast und des Energieverbrauchs der Gewächshäuser darzustellen und zu vergleichen als auch den Einfluss unterschiedlicher Ausstattungen nachzuweisen.

Gewächshäuser stellen keine „Normbauten“ dar und sind schwer in die geltenden Berechnungsverfahren für Heizlast und Energieverbrauch einzuordnen.

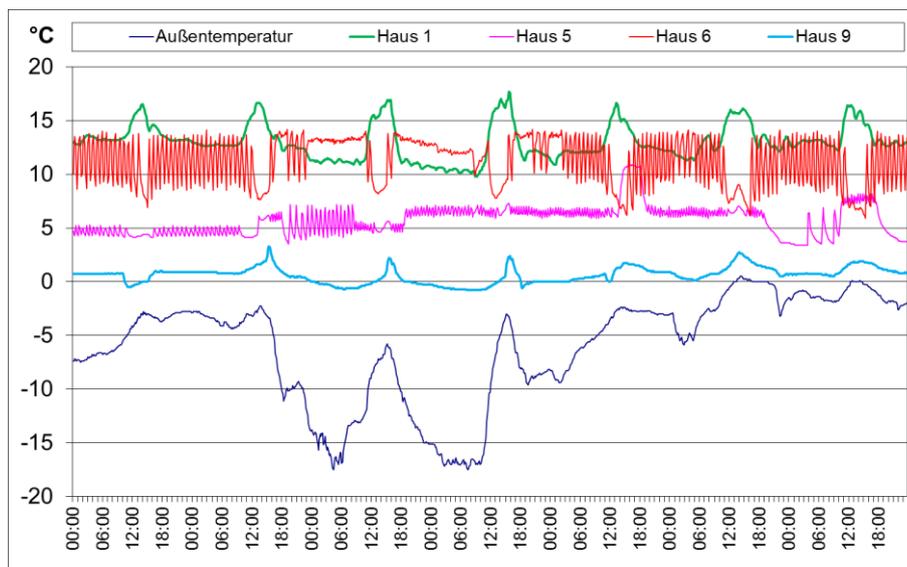
Prinzipiell unterscheidet man bei Gewächshäusern folgenden Verwendungszweck:

- 1) **Kalthäuser** für Innenraumtemperaturen unter 12 °C, d.h. teilweise nur Frostfreihaltung in den Wintermonaten
- 2) **Temperierte Häuser** für Innenraumtemperaturen von 12 °C–18 °C,

### 3) Warmhäuser für Temperaturen über 18 °C

In den untersuchten Unternehmen waren hauptsächlich Kalt- und temperierte Gewächshäuser anzutreffen.

In der nachfolgenden Abbildung ist der gemessene Temperaturverlauf über eine Winterwoche (Jahreswechsel 2010/2011) in unterschiedlichen Gewächshäusern eines Unternehmens und die Außentemperatur dargestellt.



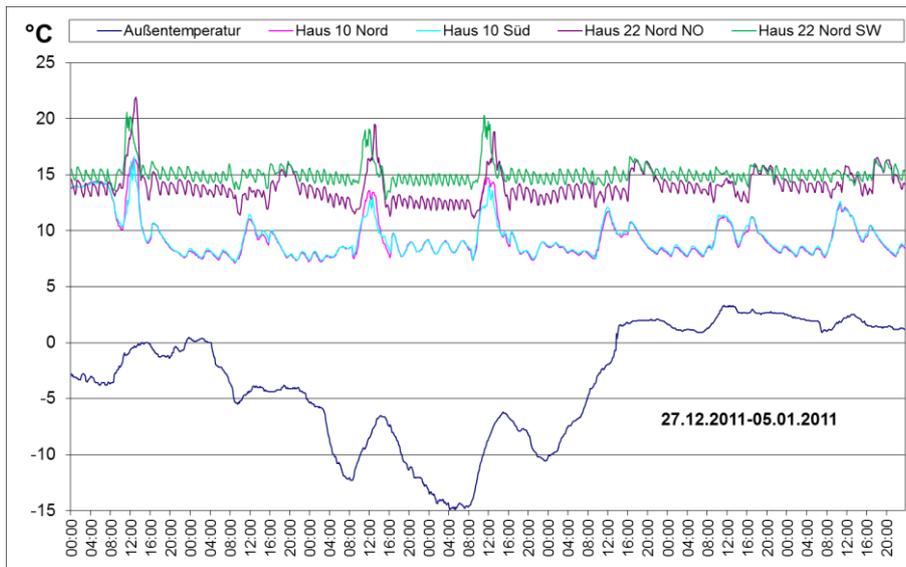
**Abbildung 44:** Temperaturverlauf in Gewächshäusern (Winterwoche)

#### **Erläuterung:**

Haus 1 und 9 besitzen eine statische Heizung (obere Rohrheizung / Untertischheizung bzw. Vegetationsheizung – im Messintervall außer Betrieb). Am Tag ist eine Überhöhung der Temperatur durch solare Einstrahlung erkennbar (Haus 1, Energieschirm geöffnet). Bei tiefen Außentemperaturen ( $< -10^{\circ}\text{C}$ ) sinkt die Temperatur im Gewächshaus sichtbar ab.

Haus 5 und 6 werden über dezentrale Luftherhitzer beheizt (starkes Takten und unterschiedlich eingestellte Hysterese). Bei tiefen Außentemperaturen ist bei Haus 6 erkennbar, dass der Luftherhitzer dauerhaft arbeitet und die Temperatur im Gewächshaus trotzdem sukzessive abfällt.

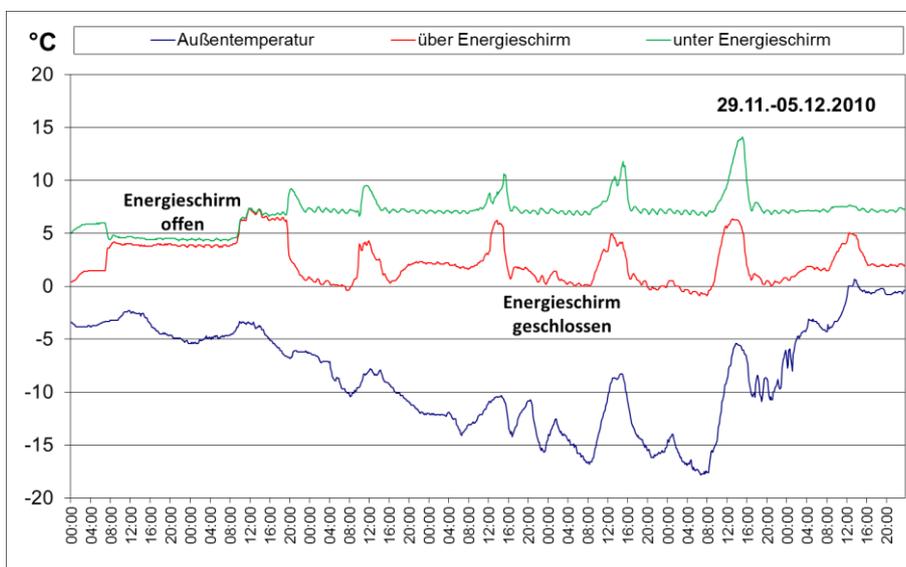
In der nachfolgenden Abbildung sind die Temperaturverläufe in zwei verschiedenen Gewächshäusern, jeweils an entgegengesetzten Punkten im Raum dargestellt.



**Abbildung 45:** Temperaturunterschiede im Gewächshaus (Nord-/Südseite)

Ersichtlich ist, dass im Haus 10 nur geringere Temperaturunterschiede auftreten, im Haus 22 betragen diese bis zu 2,5 K.

In der nachfolgenden Abbildung ist exemplarisch der Einfluss eines Energieschirms dargestellt. Die Temperatur oberhalb des Energieschirms ist deutlich geringer als unter dem Energieschirm.



**Abbildung 46:** Einfluss Energieschirm auf die Temperatur im Gewächshaus

## 7.1 Gewächshautypen

In Gewächshäusern nutzt man einerseits den Glashaueffekt zur Temperaturerhöhung gegenüber der Umgebung. Andererseits dient das Gewächshaus auch als Schutz vor Regen oder erhöhtem Windeinfluss.

Innerhalb des Gewächshauses sind durch verschiedene Regelungsstrategien unterschiedliche Wuchsbedingungen durch Veränderung der klimabestimmenden Faktoren wie Licht, Temperatur und Feuchte realisierbar.

Betrachtet werden im Weiteren nur Gewächshäuser in Glasbauweise. Foliengewächshäuser, wie z.B. Typ Plauen, oder Hybridhäuser werden nicht untersucht, da mit DIN 18599 nicht ausreichend modellierbar.

Als Baustoff für die Gewächshauswände und –dächer kam früher ausschließlich Glas zum Einsatz, welches in heutiger Zeit zunehmend durch Kunststoff ersetzt wird. In Abhängigkeit der erforderlichen Höhe und der Kultur werden auch zunehmend Kunststofffolien eingesetzt.

### 7.1.1 VENLO-Bauweise

Das VENLO-Gewächshaus ist der wichtigste Gewächshautyp. Er eignet sich für sich für eine Vielfalt an Anbauprodukten und Produktionsumständen.



**Abbildung 47:** VENLO-Block

Mit Stehwandhöhen von 3 – 6 m erfüllt es vielfältige Anforderungen. Die Konstruktionsweise garantiert einen großen Lichteintrag.

## 7.1.2 Breitschiffbauweise

Diese Bauweise garantiert hohe Belüftungsleistungen und einen sehr großen Rauminhalt über den Pflanzen. Aufgrund des offenen Charakters werden sie häufig als „Verkaufsgewächshäuser“ eingesetzt.



**Abbildung 48:** Breitschiffbauweise

## 7.1.3 CABRIO-Bauweise

Das Cabrio-Gewächshaus unterscheidet sich von anderen Gewächshäusern dadurch, dass das Dach komplett geöffnet und komplett geschlossen werden kann. Es wird deswegen hauptsächlich in Vermehrungsbetrieben wie Baumschulen etc. zum Abhärten der Jungpflanzen und für Kaltkulturen eingesetzt.



**Abbildung 49:** CABRIO-Bauweise

Diese Bauweise war bei den untersuchten Unternehmen nicht vorhanden.

## 7.2 Aufbau der Gewächshäuser

### 7.2.1 Bauwerkssohle / Fußboden

Die Bauwerkssohle stellt der gewachsene Boden dar. Über dem gewachsenen Boden befinden sich die kulturabhängigen Böden.

Auf dem Fundament ruht das Tragwerk des Gewächshauses aus Mauerwerk, Holz oder aus einer aus Stahl und/oder Aluminium bestehenden Metallkonstruktion.

In der Regel sind keine Abdichtungen vorhanden, was zu einer Durchnässung der auf den Fundamenten ruhenden Außenwände führt.

### 7.2.2 Außenwände / Decke / Dach

Wie vorstehend erläutert ruhen auf den Fundamenten die Außenwände, die im unteren Bereich häufig aus konventionellen Baustoffen wie Ziegel und Beton hergestellt sind.

Die lichtdurchlässige Eindeckung des Gerüsts besteht aus Glasscheiben, Kunststoff-Folien (teilweise auch in mehrlagiger oder beschichteter Ausführung für bessere Haltbarkeit und Lichtdurchlässigkeit) oder aus Kunststoffplatten (Plexiglas etc.).

Aufgrund ihrer besseren Isolationswirkung werden immer häufiger Kunststoffplatten in Form von Holmkammerplatten (Stegdoppelplatten - auch kurz SDP genannt- oder Stegdreifachplatten - auch kurz S3P genannt -) eingesetzt.

### 7.2.3 Ausstattungen

Folgende Ausstattungen sind prinzipiell in Gewächshäusern anzutreffen:

- 1) Raumheizung einschl. Regelorgane
- 2) Lüftungsanlagen
- 3) Anlagen zur Bewässerung bzw. zur Beregnung
- 4) Einrichtungen zur Schattierung oder Verdunklung
- 5) Steuerungstechnik (z.B. Gewächshauscomputer) zur Klimaregelung und Bewässerungsautomation
- 6) Energieschirme (ein- oder mehrlagig)
- 7) Insektennetze
- 8) Belichtungsanlagen zur künstlichen Beleuchtung der Kulturen
- 9) CO<sub>2</sub>-Düngungsanlagen zur Kohlenstoffdioxid-Düngung

7) und 9) war bei den untersuchten Unternehmen nicht eingesetzt.

## 7.3 Wärmebedarfsermittlung / Heizlastberechnung

Da es den „typischen“ Gartenbaubetrieb nicht gibt, sondern sich die jeweiligen Gewächshäuser im benötigten Temperaturniveau, der Beheizungsart und in der Ausführung der Gewächshaus-hülle deutlich unterscheiden, ist detaillierte Einzelfallermittlung des Wärmebedarfs erforderlich. Die nachfolgenden Ausführungen sollen deshalb als Richtgrößen für ein mögliches Einsparpo-tential, z. B. durch Veränderung der baulichen Hülle, gesehen werden.

Mit Hilfe entsprechender Berechnungssoftware werden der spezifische Wärmebedarf und die benötigte Wärmespitzenleistung für die ausgewählten Muster-Gewächshäuser ermittelt.

Der Energieanteil der Beleuchtung bzw. der Belüftung soll hier nicht näher betrachtet werden.

### **Bemerkung:**

Gewächshäuser fallen nicht in den Geltungsbereich der Energieeinsparverordnung (EnEV).

### 7.3.1 Vorgehensweise

Die Mustergewächshäuser wurden je nach Möglichkeit der Berechnungssoftware abgebildet. Danach wurden verschiedene Innentemperaturen simuliert, Veränderungen an der wärmeüber-tragenden Gebäudehülle durchgeführt und der regionale Klimastandort verändert. Die Berech-nungsergebnisse sind nachfolgend dargestellt. Um systematische Unsicherheiten der Berech-nungsmodelle zu minimieren, soll insbesondere der relative Einfluss unterschiedlicher Inputpa-rameter auf den Wärmebedarf sichtbar gemacht werden.

### 7.3.2 Verwendete Software zur Simulation

Für die Berechnungen wurden folgende Softwaretools verwendet:

#### **Berechnungen nach DIN V 18599:**

- (2) Software Solarcomputer B 54 Energieeffizienz in Gebäuden, Version 5.04.08

#### **Spezialsoftware für Gewächshäuser:**

- (3) Software Hortex<sup>®</sup> (HORTicultural Technical EXpertsystem), Version 4.1  
Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover

### 7.3.3 Vorgaben bzw. Annahmen Mustergewächshäuser im Alt-Bestand

#### a) Gewächshaustyp „Venlo-Block“

- Kappen-Blockbauweise 12 Kappen á 3,20 m, Dachneigung 25,1°
- Dach: Einfachverglasung, Dachneigung 25,1°, 8 Lüftungsklappen je Kappe
- Giebel und Stehwand: Doppelverglasung, Stehwandhöhe 4,00 m
- umlaufender Betonsockel (isoliert mit 5 cm Styropor)
- einfacher Energieschirm
- Grundfläche: 1.326 m<sup>2</sup> (39 m x 34 m) (Grundfläche = Bezugsfläche)
- wärmeübertragende Hüllfläche: 3.400 m<sup>2</sup> inkl. Grundfläche

| Bauteil                              | Wärmedurchgangskoeffizient U |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Fußboden                             | 2,5 W/m <sup>2</sup> K       |
| Sockelbereich                        | 1,0 W/m <sup>2</sup> K       |
| Glasdach                             | 7,0 W/m <sup>2</sup> K       |
| Glasdach mit Energieschirm           | 4,2 W/m <sup>2</sup> K       |
| Giebelseite/Stehwand                 | 4,5 W/m <sup>2</sup> K       |
| Giebelseite/Stehwand mit Noppenfolie | 3,2 W/m <sup>2</sup> K       |
| Außentüren                           | 5,0 W/m <sup>2</sup> K       |

#### b) Gewächshaustyp „ZBO-Block“

- 3 Schiffe á 9,00 m
- Dach: Einfachverglasung, 2 Firstlüftungsklappen je Schiff
- Giebel und Stehwand: Einfachverglasung, Stehwandhöhe 3,00 m
- umlaufender Betonsockel, ungedämmt
- doppelter Energieschirm
- Grundfläche: ca. 864 m<sup>2</sup> (32 m x 27 m) (Grundfläche = Bezugsfläche)
- wärmeübertragende Hüllfläche: ca. 2.250 m<sup>2</sup> inkl. Grundfläche

| Bauteil                              | Wärmedurchgangskoeffizient U |
|--------------------------------------|------------------------------|
| Fußboden                             | 2,5 W/m <sup>2</sup> K       |
| Sockelbereich                        | 4,0 W/m <sup>2</sup> K       |
| Glasdach                             | 7,0 W/m <sup>2</sup> K       |
| Glasdach mit Energieschirm           | 4,2 W/m <sup>2</sup> K       |
| Giebelseite/Stehwand                 | 7,0 W/m <sup>2</sup> K       |
| Giebelseite/Stehwand mit Noppenfolie | 4,9 W/m <sup>2</sup> K       |
| Außentüren                           | 5,0 W/m <sup>2</sup> K       |

**Weitere Vorgaben:**

- Standort Chemnitz/Sachsen bzw. Klimazone 9 gemäß DIN 4710:2003
- Niedertemperatur- Heizölkessel mit Rohrheizung bzw. gemischten Heizsystem,
- Wärmeerzeuger außerhalb der bilanzierten thermischen Hülle
- Noppenfolie verbessert U-Wert von Steh- und Giebelwand um 30%
- ein einfacher, mäßig dichter Energieschirm (Venlo-Block) verbessert den U-Wert der Dachverglasung um ca. 40%.
- ein doppelter, gut schließender Energieschirm (ZBO-Block) verbessert den U-Wert der Dachverglasung um ca. 50%.

Als konstante Auslegungstemperaturen in der Heizperiode werden 18°C bzw. 14°C angesetzt.

Das Berechnungsprogramm Hortex<sup>®</sup> verwendet keine Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) sondern spezielle Wärmebedarfskoeffizienten  $U_{CS}$  (in der Fachliteratur auch als  $k'$  bzw. Wärmeverbrauchskoeffizienten bezeichnet).

Dieser messtechnisch ermittelte Koeffizient bildet die Wärmeverluste (durch Transmission und Lüftung) ab. Der Wärmebedarfskoeffizienten  $U_{CS}$  ist stark abhängig von der energetischen Qualität der Gebäudehüllfläche, der Luftdichtheit sowie der verwendeten Anlagentechnik im Heizungsbereich.

Um einen großen Anwendungsbereich zu erfassen, werden für folgende Innentemperaturen Vergleichsvarianten gerechnet:

1) Innentemperatur 18°C

Bsp. Streptocarpus; Euphorbia (Weihnachtsstern); Saintpaulien (Usambaraveilchen); Anthurien (Flamingoblume)

2) Innentemperatur 14°C

Bsp. Myosotis (Vergissmeinnicht); Cyclamen (Stiefmütterchen); Beet- und Balkonpflanzen

### 7.3.4 Varianten

Im Folgenden werden die betrachteten Varianten beschrieben:

- 1) **Variante 0:** (Bestand 18°C):
  - 18°C Auslegungstemperatur
  - Kein Energieschirm, keine Noppenfolie am Giebel und Stehwand
  
- 2) **Variante 1:** (ES + NF 18°C)
  - 18°C Auslegungstemperatur
  - geschlossener Energieschirm, mittlere Güte
  - (Annahme Reduzierung Transmissionswärmeverlust um 40% im Dachbereich)
  - Noppenfolie am Giebel und an der Stehwand
  - (Annahme Reduzierung Transmissionswärmeverlust um 30% im Giebel- und Stehwandbereich)
  
- 3) **Variante 2:** (Bestand 14°C):
  - 14°C Auslegungstemperatur
  - Kein Energieschirm, keine Noppenfolie am Giebel und Stehwand
  
- 4) **Variante 3:** (ES + NF 14°C)
  - 14°C Auslegungstemperatur
  - Geschlossener Energieschirm, mittlere Güte
  - (Annahme Reduzierung Transmissionswärmeverlust um 40% bzw. 50% im Dachbereich)
  - Noppenfolie am Giebel und an der Stehwand
  - (Annahme Reduzierung Transmissionswärmeverlust um 30% im Giebel- und Stehwandbereich)

### 7.3.5 Ergebnisdiskussion

#### 7.3.5.1 Ergebnisse Venlo-Block:

##### a) *Einflussfaktor Gebäudehülle*

Bei dem betrachteten Gewächshaus ohne den Einsatz eines Energieschirms und ohne zusätzliche Wärmedämmung im Giebel- und Stehwandbereich (Abbildung 50) werden knapp über 60% der flächenanteilige Transmissionswärmeverluste durch den verglasten Dachbereich verursacht. Die restlichen Transmissionswärmeverluste teilen sich der Fußboden und der Giebel-

und der Stehwandbereich. Der Einfluss der Außentüren und des wärme gedämmten Sockelbereichs sind praktisch zu vernachlässigen.

Hauptschwerpunkt ist der Dachbereich, da dort die höchsten Transmissionswärmeverluste auftreten.

| Bauteil             | Bestand 18°C | Mit Energieschirm und Noppenfolie 18°C |
|---------------------|--------------|--|
| Dachbereich         | 63,1 %       | 54,1 %                                 |
| Fußboden            | 21,0 %       | 29,7 %                                 |
| Stehwand und Giebel | 15,1 %       | 15,0 %                                 |
| Sockelbereich       | 0,4 %        | 0,6 %                                  |
| Außentüren          | 0,4 %        | 0,6 %                                  |

**Tabelle 2:** Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (Venlo)

Auch beim Einsatz eines Energieschirmes gehen über 50% des flächenanteiligen Transmissionswärmeverlustes des Gebäudes noch durch den Glasdachbereich.

Abhilfe könnte der Einsatz von Doppelverglasungen im Dachbereich schaffen. Da in der Regel aber jede Verbesserung des Wärmeschutzes im Dachbereich mit einer Verringerung der Lichtdurchlässigkeit verbunden ist, sollte der Schwerpunkt auf dem optimalen Einsatz bzw. der Qualität eines Energieschirmes liegen. Daneben können beim Einsatz von Doppelverglasungen im Dachbereich Probleme mit längerfristigen Schneebedeckungen entstehen, da die Wärmeverluste nicht immer zur Schneeschmelze ausreichen werden.

Von der Tendenz her, ergibt sich durch die Verringerung des beheizten Volumens durch den Energieschirm auch eine Senkung der Lüftungswärmeverluste.

Eine nachträgliche bzw. zusätzliche Wärmedämmung im Fußbodenbereich wird kaum wirtschaftlich möglich sein.

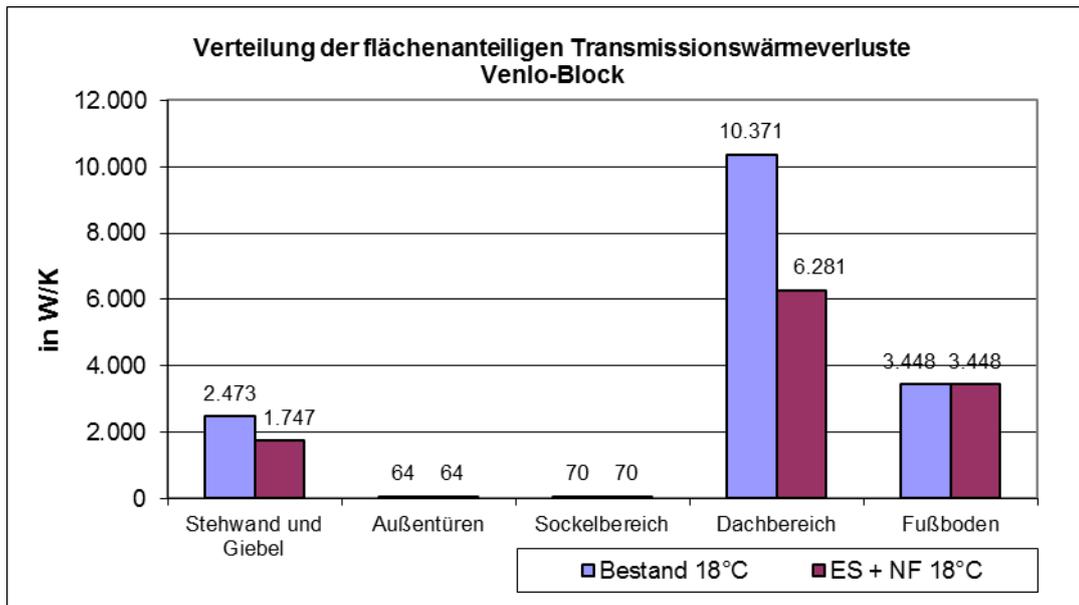


Abbildung 50: Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (Block Venlo)

### Einflussfaktor Innentemperatur

Der spezifische Wärmebedarf hängt erwartungsgemäß stark von der Innentemperatur im Gewächshaus ab. Bei einer Innentemperatur von ca. 18°C tritt bei der Variante (Bestand 18°C) ein spezifischer Wärmebedarf von ca. 900 kWh/m<sup>2</sup>a auf. Unter Einsatz eines Energieschirms und Noppenfolie im Stehwandbereich reduziert sich dieser Wert auf ca. 600 kWh/m<sup>2</sup>a. Der Wärmebedarf sinkt um ca. 33% durch die genannten Energiesparmaßnahmen.

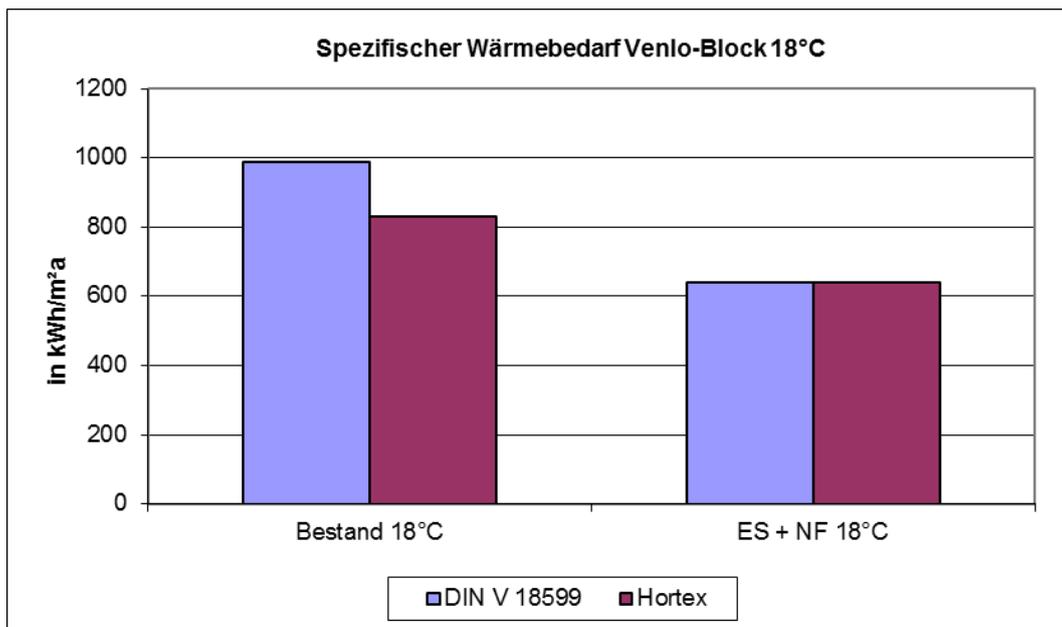
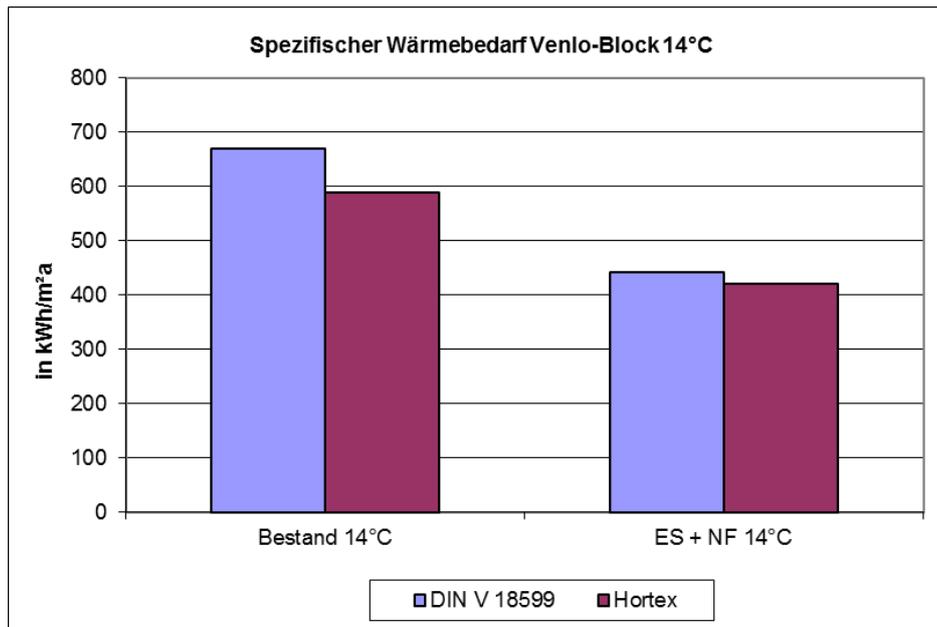


Abbildung 51: Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 18°C Venlo

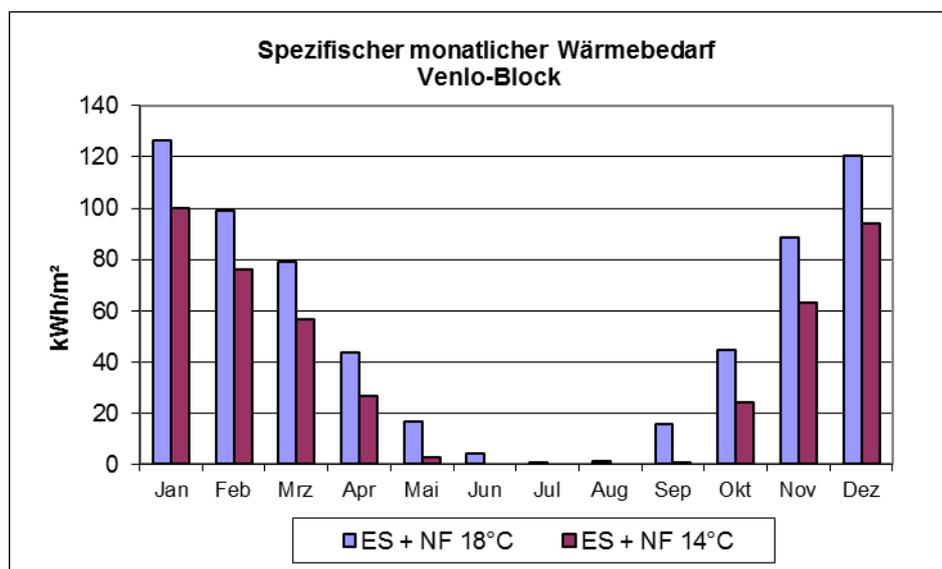
Bei einer Absenkung der Innentemperatur auf ca. 14°C in der Heizperiode liegt der spezifische Wärmebedarf bei ca. 600 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Absenkung der benötigten Innentemperatur (von 18°C auf 14°C) bewirkt im Beispiel eine Verringerung des Wärmebedarfs um ca. 33%.

Durch den Energieschirm und die Noppenfolie kann dieser Wert ebenfalls noch um ca. 33% auf ca. 400 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt werden.



**Abbildung 52:** Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 14°C

Der monatliche Verlauf des Heizwärmebedarfs stellt sich in Abhängigkeit der betrachteten Variante wie folgt dar:



**Abbildung 53:** spezifischer monatlicher Heizwärmebedarf Venlo-Block

In der nachfolgenden Abbildung erfolgt die Darstellung in prozentualen Anteilen. Auf Grund des Wegfalls der Beheizung in den Übergangsmonaten erhöht sich der relative Anteil in den Wintermonaten.

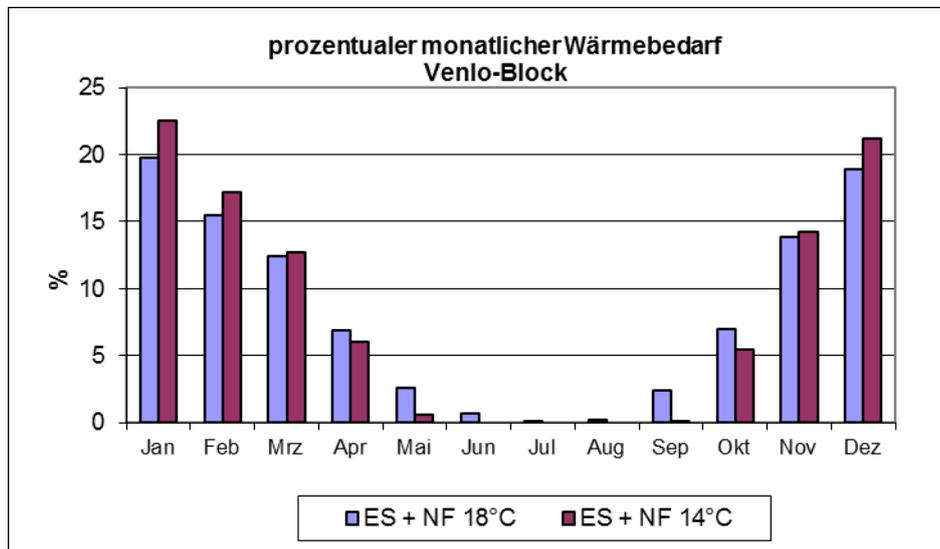


Abbildung 54: spezifischer, prozentualer monatlicher Heizwärmebedarf Venlo-Block

### b) Einflussfaktor regionaler Standort (Klimaeinfluss)

Das zugrunde liegende Gewächshaus wurde auch für unterschiedliche Klimazonen gerechnet, um auch auf Basis unterschiedlicher Jahresmitteltemperaturen eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse herzustellen.

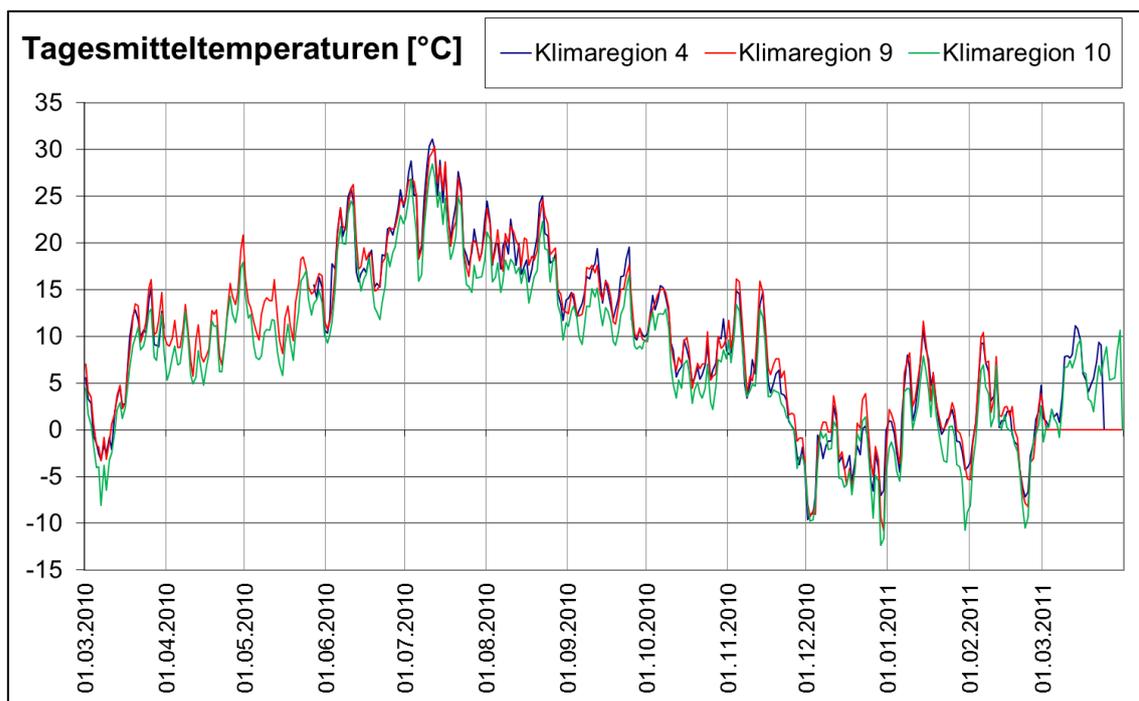


Abbildung 55: Tagesmitteltemperaturen (aus gemessener Außentemperatur berechnet)

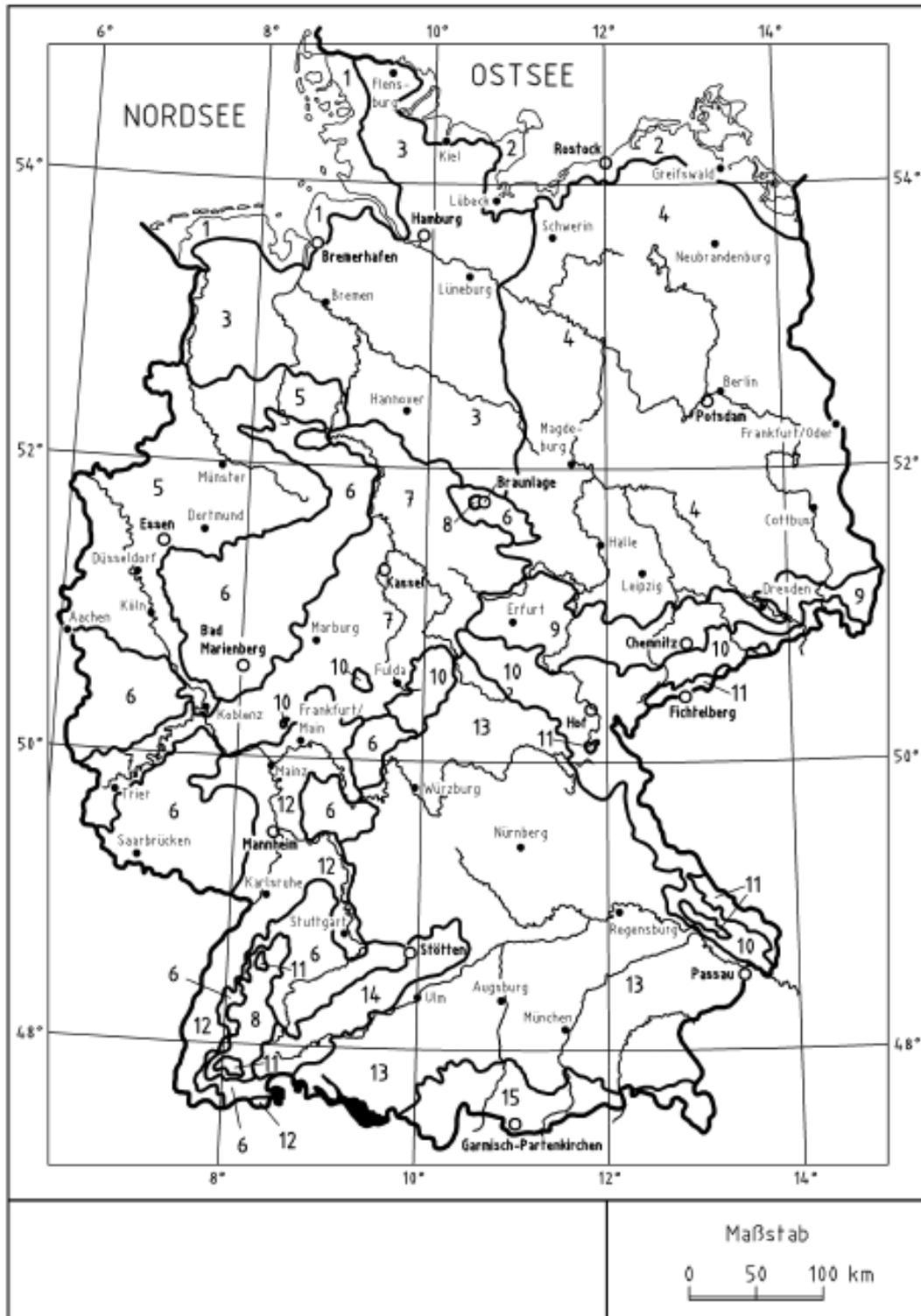
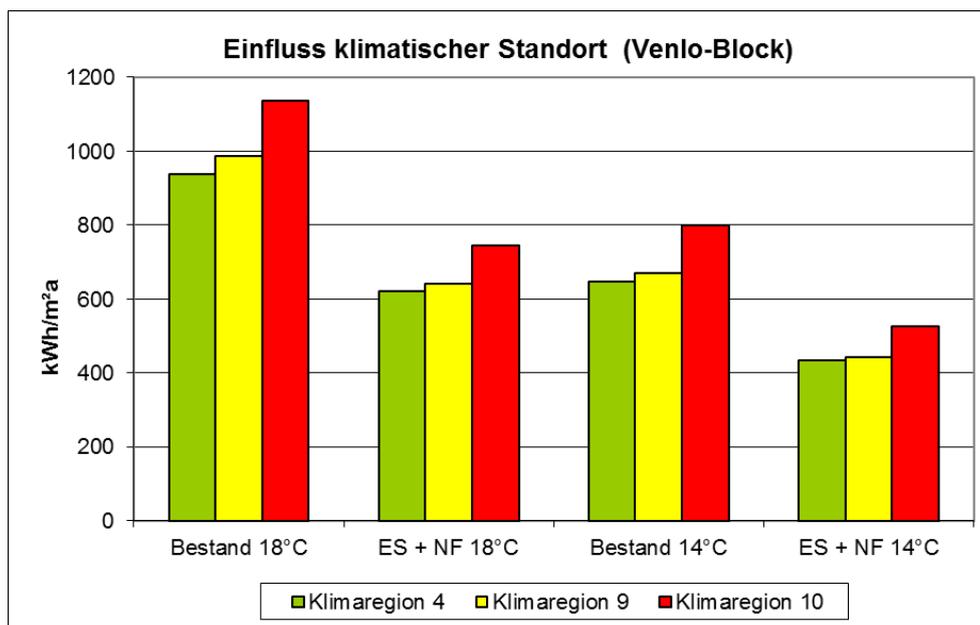


Abbildung 56: Klimaregionen in Deutschland nach DIN 18599



**Abbildung 57:** Einfluss klimatischer Standort auf spez. Wärmeverbrauch (Venlo-Block)

Am betrachteten Beispiel ergeben die Berechnungen beispielsweise bezogen auf die Klimaregion 9 (z.B. Raum Chemnitz) ein Minderverbrauch von ca. 5% bei Standorten in Klimaregion 4 und ein Mehrverbrauch von ca. 20% bei Standorten in Klimaregion 10.

Selbst innerhalb der gleichen Klimaregion sind regionale Abweichungen zu erwarten. Weitere Klimafaktoren wie Wind, Verschattungen sind ebenfalls mitentscheidend.

### c) Ermittlung der notwendigen Heizlast

Wie schon erläutert, ist die Ermittlung der normierten Heizlast problematisch, da es sich bei Gewächshäusern um Sondergebäude handelt.

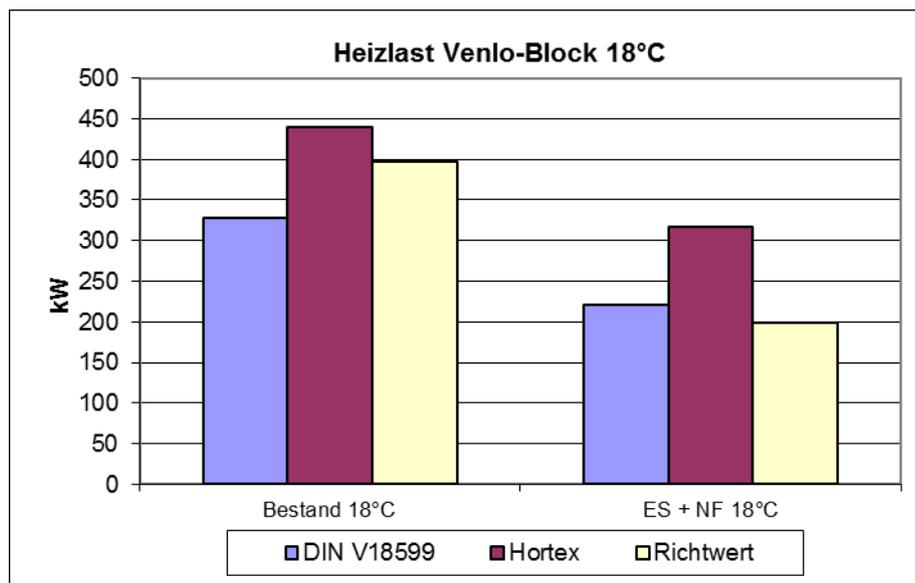
Vorab soll hier kurz ein Verfahren zur vereinfachten Heizlastabschätzung vorgestellt werden:

Für „ältere“ Gewächshäuser ohne nachträglich installierte Wärmedämmmaßnahmen gilt eine spezifische Heizlast von bis zu 300 W/m<sup>2</sup> Grundfläche. Gewächshäuser mit umfangreich umgesetzten Wärmedämmmaßnahmen benötigen nur noch ca. 150 W/m<sup>2</sup> Grundfläche. (Quelle (4), Seite 9)

Bei einer Grundfläche von ca. 1.326 m<sup>2</sup> für den angenommenen Venlo-Block ergäbe sich eine überschlägige Heizlast von ca. 400 kW bzw. 200 kW nach Umsetzung von entsprechenden Wärmedämmmaßnahmen.

Die nach DIN V 18599 ermittelte Heizlast beträgt in der Variante „Bestand 18°C“ ca. 328 kW und in der Variante „ES + NF 18°C“ 221 kW.

Das Auslegungsprogramm HORTEX ermittelt für die Variante „Bestand 18°C“ eine entsprechende Heizlast von ca. 440 kW bzw. für die Variante „ES + NF 18°C“ einen Wert von ca. 317 kW.



**Abbildung 58:** Heizlast Venlo-Block bei 18°C (DIN V 18599 / HORTEX / Richtwert)

Die Auslegung erfolgte auf maximale Innentemperaturen im winterlichen Heizbetrieb.

### 7.3.5.2 Ergebnisse ZBO-Block

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Berechnungen / Bewertungen für einen ZBO-Block ausgeführt.

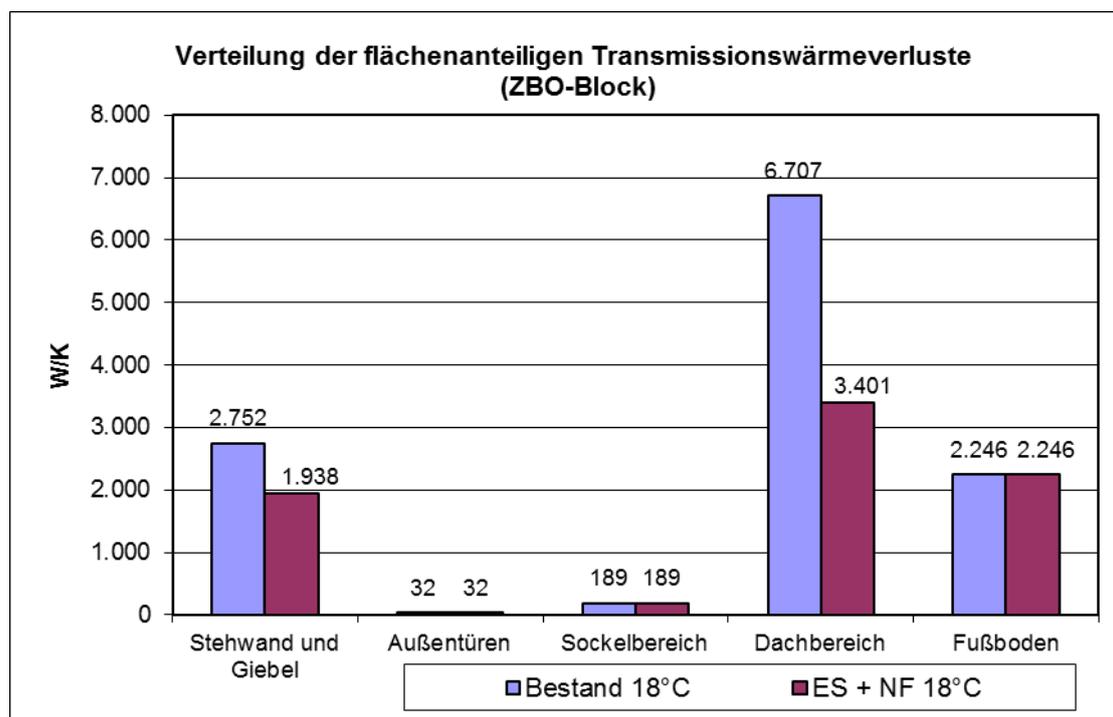
#### a) Einflussfaktor Gebäudehülle

Der Einfluss der Außentüren und des wärme gedämmten Sockelbereichs sind praktisch zu vernachlässigen.

Hauptschwerpunkt ist ebenfalls der Dachbereich, da hier die höchsten Transmissionswärmeverluste entstehen.

| Bauteil             | Bestand 18°C | mit Energieschirm und Noppenfolie 18°C |
|---------------------|--------------|--|
| Dachbereich         | 56,2%        | 43,6%                                  |
| Fußboden            | 18,8%        | 28,8%                                  |
| Stehwand und Giebel | 23,1%        | 24,8%                                  |
| Sockelbereich       | 1,6%         | 2,4%                                   |
| Außentüren          | 0,3%         | 0,4%                                   |

**Tabelle 3:** Prozentuale Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (ZBO)



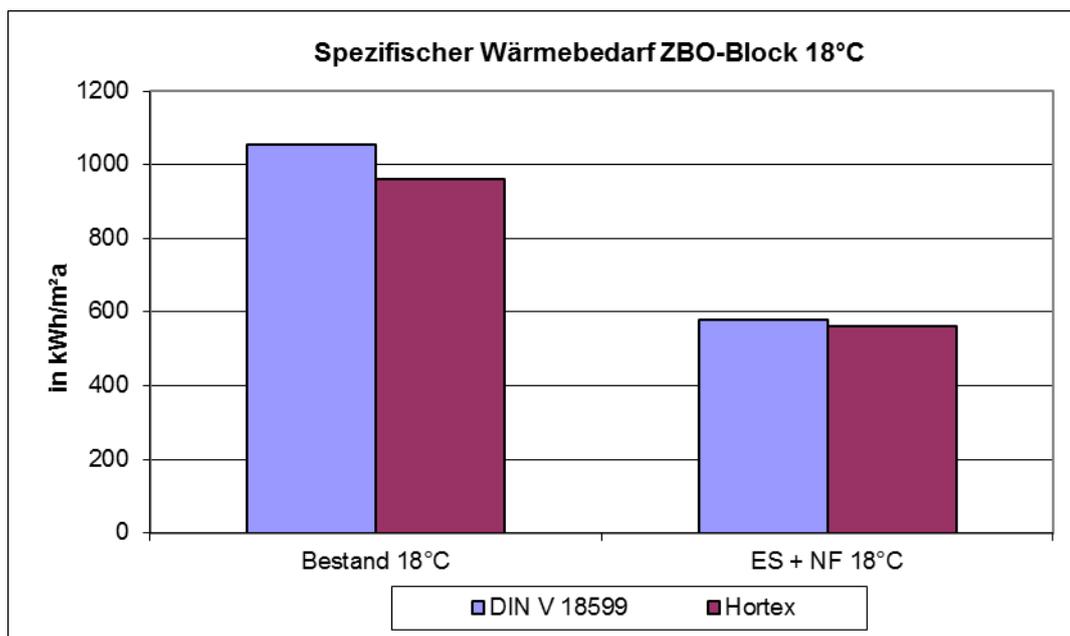
**Abbildung 59:** Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (ZBO)

Aufgrund der Bauform (höhere Stehwände als Venlo-Block) verschieben sich die prozentualen Verlustanteile im Transmissionsbereich gegenüber dem Venlo-Block geringfügig.

Ansonsten sind die gleichen Aussagen wie beim Venlo-Block zu treffen.

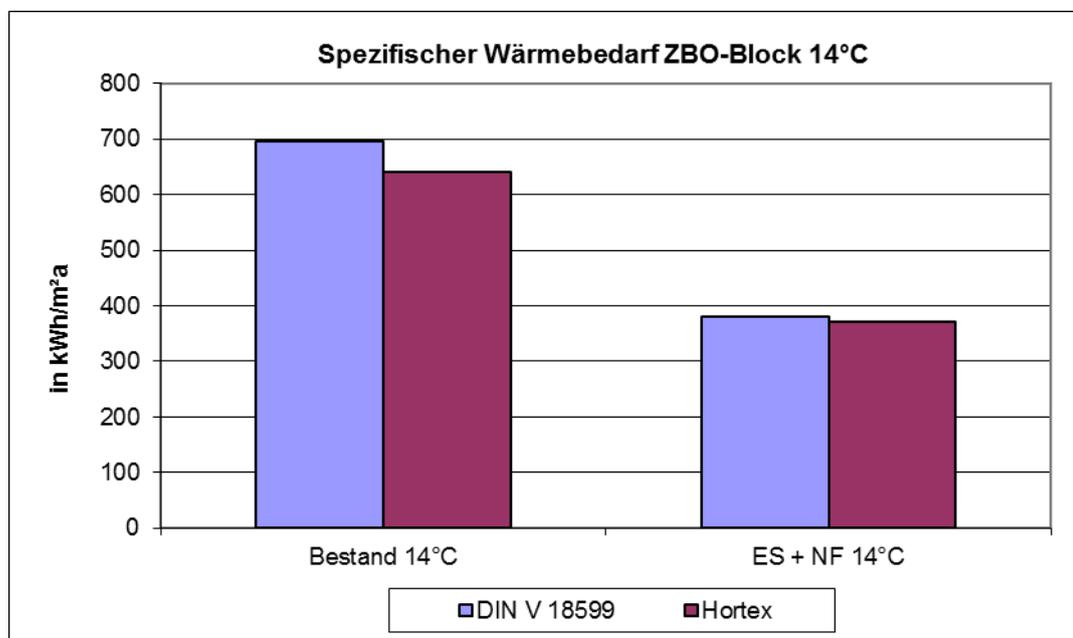
### **b) Einflussfaktor Innentemperatur**

Der spezifische Wärmebedarf hängt erwartungsgemäß stark von der Innentemperatur im Gewächshaus ab. Bei einer Innentemperatur von ca. 18°C tritt bei der Variante (Bestand 18°C) ein spezifischer Wärmebedarf von ca. 900 kWh/m<sup>2</sup>a auf. Unter Einsatz eines Energieschirms und Noppenfolie im Stehwandbereich reduziert sich dieser Wert auf unter ca. 600 kWh/m<sup>2</sup>a. Der Wärmebedarf sinkt um ca. 33% durch die genannten Energiesparmaßnahmen.



**Abbildung 60:** Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 18°C (ZBO)

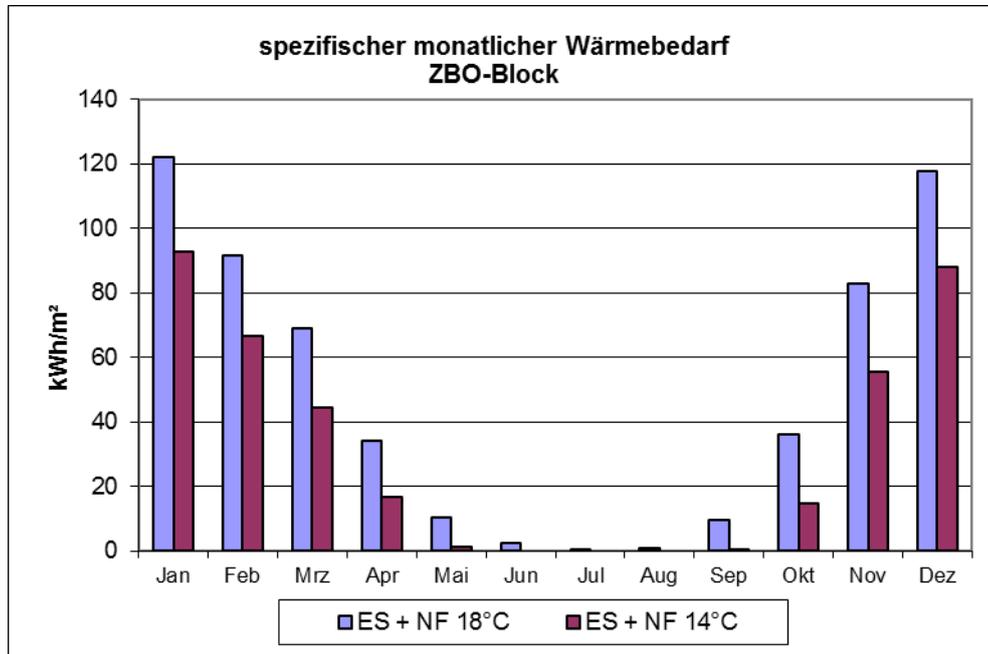
Bei einer Absenkung der Innentemperatur auf ca. 14°C in der Heizperiode liegt der spezifische Wärmebedarf bei ca. 600 kWh/m²a. Durch den Energieschirm und die Noppenfolie kann dieser Wert um ca. 33% - ähnlich dem Venlo-Block – auf unter ca. 400 kWh/m²a gesenkt werden.



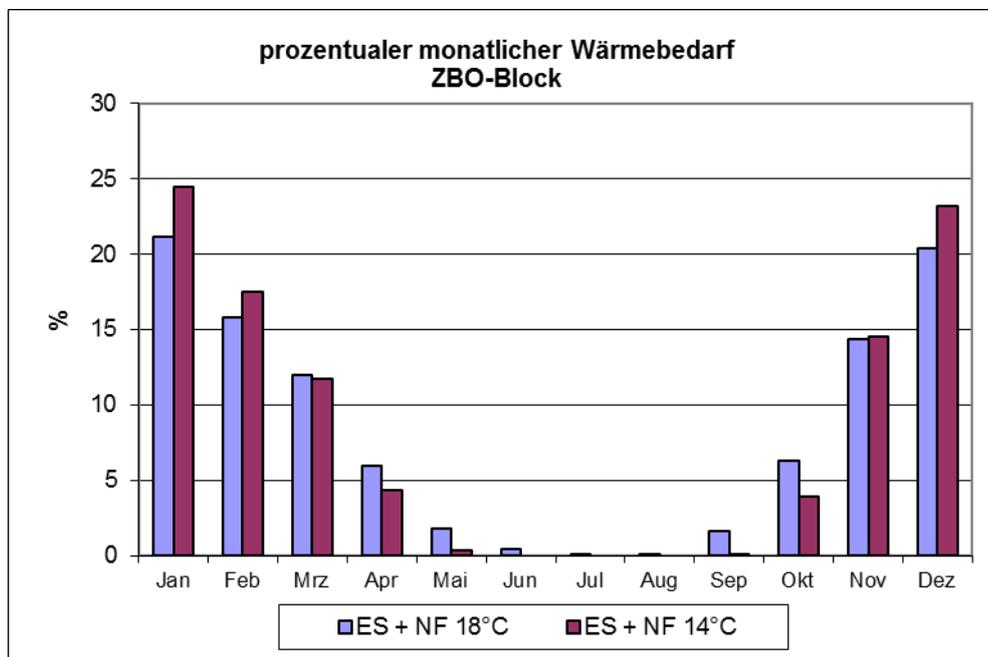
**Abbildung 61:** Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 14°C (ZBO)

Die Absenkung der benötigten Innentemperatur (von 18°C auf 14°C) bewirkt in diesem Beispiel eine Verringerung des Wärmebedarfs um ca. 33%.

Der monatliche Verlauf des Heizwärmebedarfs stellt sich in Abhängigkeit der betrachteten Variante wie folgt dar:



**Abbildung 62:** spezifischer monatlicher Heizwärmebedarf (ZBO)



**Abbildung 63:** prozentualer monatlicher Heizwärmebedarf (ZBO)

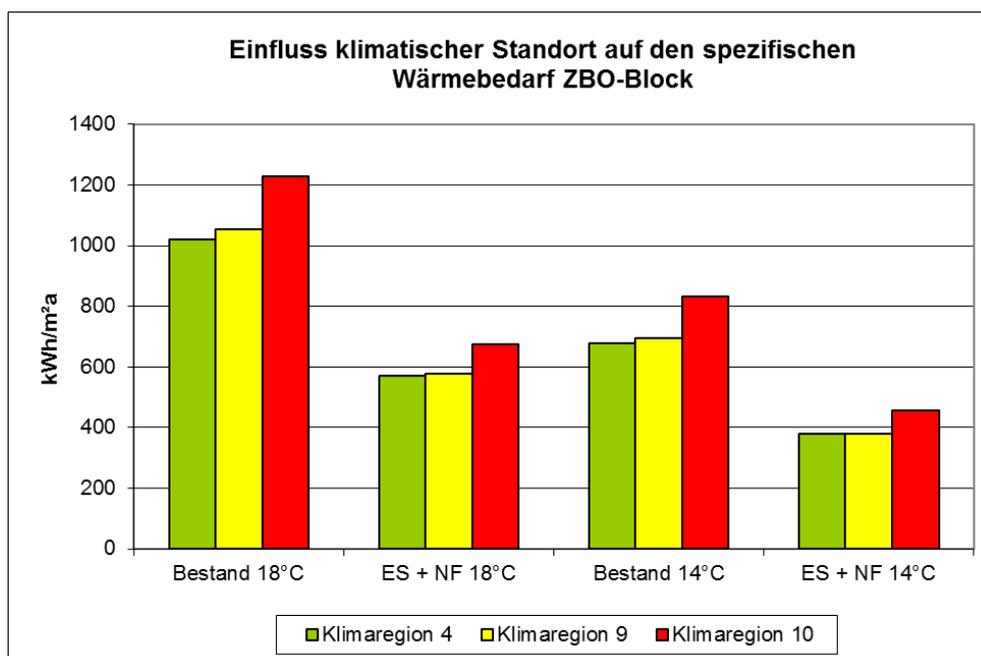
Es gelten analog die für die Berechnungen im vorangegangenen Abschnitt – Venlo-Block – getroffenen Aussagen.

### c) Einflussfaktor regionaler Standort (Klimaeinfluss)

Das zugrunde gelegte ZBO-Gewächshaus wurde ebenfalls für unterschiedliche Klimazonen berechnet, um auch auf Basis unterschiedlicher Jahresmitteltemperaturen eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse herzustellen.

Am betrachteten Beispiel ist zu erkennen, dass bezogen auf die Klimaregion 9 (z.B. Raum Chemnitz) von ein Minderverbrauch von ca. 5% bei Standort in Klimaregion 4 und ein Mehrverbrauch von ca. 20% bei Standort in Klimaregion 10. Dieses Berechnungsergebnis gleicht dem des Venlo-Blocks.

Wie auch beim Venlo-Block erläutert sind selbst innerhalb der gleichen Klimaregion regionale Abweichungen zu erwarten. Neben der geografischen Lage sind weitere Klimafaktoren wie Wind, Verschattungen entscheidend.



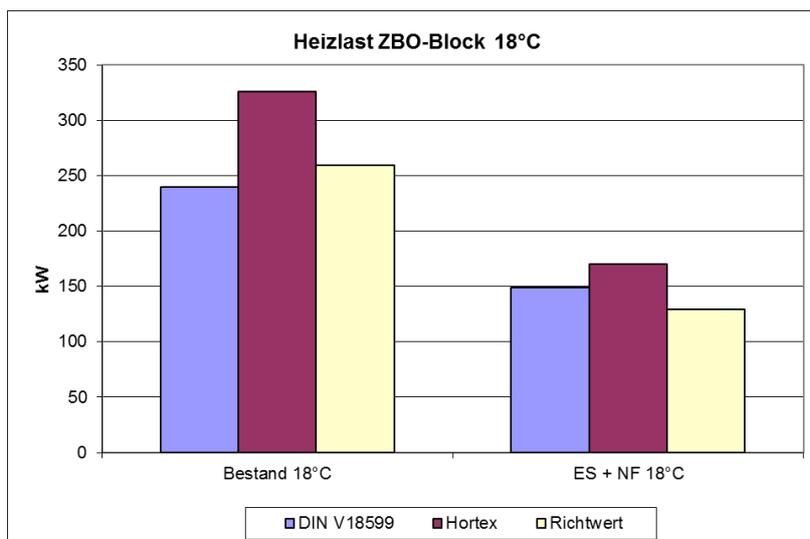
**Abbildung 64:** Einfluss klimatischer Standort auf spez. Wärmeverbrauch (ZBO-Block)

### d) Ermittlung der notwendigen Heizlast

Im ZBO-Block ergäbe sich eine überschlägige Heizlast von ca. 260 kW bzw. 135 kW nach Umsetzung von entsprechenden Wärmedämmmaßnahmen.

Die nach DIN V 18599 ermittelte Heizlast beträgt in der Variante „Bestand 18°C“ ca. 240 kW und in der Variante „ES + NF 18°C“ 150 kW.

Das Auslegungsprogramm Hortex ermittelt für die Variante „Bestand 18°C“ eine entsprechende Heizlast von ca. 330 kW bzw. für die Variante „ES + NF 18°C“ einen Wert von ca. 170 kW.



**Abbildung 65:** Heizlast ZBO bei 18°C DIN V 18599 - HORTEX

### 7.3.5.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der beiden Berechnungsprogramme

Der spezifische Wärmebedarf in kWh/m<sup>2</sup>a liegt bei beiden Berechnungsprogrammen in ähnlichen Größenordnungen, die Ergebnisse nach DIN V 18599 liegen etwas über den Ergebnissen nach Hortex.

Die errechnete Heizlast liegt bei Hortex signifikant höher, was im Einzelfall zu prüfen ist, da sich aus einer zu hohen errechneten Heizlast zu hohe Anschlusswerte und überdimensionierte Heizkessel, Wärmeverteiler- und -abgabesysteme ergeben.

#### a) Vor- und Nachteile der verwendeten Software:

##### Vorteile Hortex®

- Abbildung pflanzentypischer Klimaregelungsprogramme (Temperaturregel- und Lüftungsstrategien) möglich,
- Datenbank für typische Gewächshausverglasungen hinterlegt,
- nur geringe Dateneingabe notwendig

##### Nachteile Hortex®

- Keine detaillierte Eingabe der Gebäudehüllflächen und der individuellen Luftdichtigkeit des Gewächshauses,
- Berechnung mit messtechnisch ermittelten Wärmeverbrauchskoeffizienten U<sub>cs</sub>
- Vorhandene Anlagentechnik nur bedingt genau abzubilden,

##### Vorteile DIN V 18599

- einzelne detaillierte Erfassung aller Gebäudehüllflächen,
- detaillierte Abbildung der Anlagentechnik möglich

- Abbildung von Gebäudezonen möglich

## **Nachteile DIN V 18599**

- sehr umfangreiche und detaillierte Eingaben notwendig, zeitaufwendig
- konstante Innentemperatur bzw. abgesenkte Temperatur in der Heizperiode,
- keine Anpassung an pflanzentypische Temperaturprogramme
- benötigte spezifische Angaben z.T. nicht zu ermitteln, Annahmen notwendig
- Energieschirm kann nicht praxisnah abgebildet werden, tags offen, nachts bzw. bei zu geringer solarer Einstrahlung geschlossen

## **Fazit:**

Der Wärmebedarf eines Gewächshauses hängt stark von der baulichen Ausführung, z.B. der Wärmedämmung der Verglasung, der jeweiligen Gewächshausinnentemperatur, sowie den äußeren klimatischen Bedingungen (z.B. Klimazone, Standort) ab. Die Gewächshausinnentemperatur wird in der Regel im Laufe des Jahres der jeweiligen Pflanzenkultur entsprechend angepasst. In der Heizperiode werden i.d.R. Kulturen mit eher niedriger Gewächshausinnentemperatur angebaut.

Ein Vergleich des Energiebedarfs pro Quadratmeter Gewächshausfläche für verschiedene Kulturen und damit für unterschiedliche Gewächshaustemperaturen ist daher nicht sinnvoll.

Die Vergleichbarkeit der energetischen Qualität von Gewächshäusern hängt stark von folgenden Faktoren ab:

- a) wärmetechnischer Zustand der Gewächshauskonstruktion und -hülle, z.B. Qualität der Verglasung, Luftdichtigkeit, etc.
- b) Effizienz der technischen Ausrüstungen des Gewächshauses, z.B. eingesetzte Heiztechnik, Regeltechnik,
- c) Temperaturniveau im Gewächshaus
- d) Witterungseinflüsse wie Klimaregion, Wind, Verschattung
- e) Nutzereinflüsse (Temperaturabweichungen, geänderte Nutzungen u. a.)

Je schlechter der energetische Ausgangszustand ist, umso höher ist das energetische Einsparpotential.

## 7.4 Wärmeversorgung der Gewächshäuser

Im Folgenden werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme in den untersuchten Unternehmen bewertet als auch Hinweise auf den Stand der Technik gegeben.

### 7.4.1 Heizsysteme

#### 7.4.1.1 Dezentrale Heizsysteme

Als dezentrales Heizsystem (z. B. in Folien bzw. Doppelfolienhäusern) kam vorzugsweise die Beheizung mit direktbefeuelten Warmlufterzeugern auf Basis Heizöl zum Einsatz. Es handelt sich also um eine Luftheizung.

Die Geräte bestehen aus einem Gehäuse, einem Ventilator mit Motor, Heizregister und einem Brenner.

Als Brennstoff kann Heizöl und Erdgas verwendet werden. In der folgenden Abbildung ist ein Warmlufterzeuger in stehender Ausfertigung zu sehen.



**Abbildung 66:** Warmlufterzeuger in stehender Ausfertigung (4)

Die dezentralen Geräte können häufig mit einem Rohr- bzw. Kanalnetz erweitert werden. Eine spezielle und preiswerte Form der Verteilung ist der Folienschlauch.

Als Sonderform eines Warmlufterzeugers kam in den untersuchten Gärtnereien meist ein fahrbarer ölbefuerter Warmlufterzeuger zum Einsatz. Er ist sehr flexibel einsetzbar und örtlich leicht zu verändern.

Die Regelungsmöglichkeiten dieser Geräte sind allerdings minimiert. So sind diese Geräte nur bedingt als Übergangslösung oder bei weniger anspruchsvollen Kulturen verwendbar.



**Abbildung 67:** fahrbarer Warmlufterzeuger links aus (4); rechts im Einsatz

#### **Vorteil:**

- relativ große Heizleistungen möglich
- schnelle Aufheizbarkeit
- einfache Regelung
- Einsatz von zusätzlichen Luftaufbereitungsstufen, wie z.B. Filterung, Kühlung, Befeuchtung, möglich
- gleichmäßige Beheizung der Räume bei richtiger Anordnung
- Kombinationsmöglichkeit mit Wärmerückgewinnung
- geringe Investitionskosten
- kein Heizungsrohrnetz notwendig
- keine Verteilungs- und Stillstandverluste

#### **Nachteil:**

- erhöhter Wartungs- und Reinigungsaufwand durch Einzelgerät
- Temperaturschichtungen bei größeren Gewächshaushöhen

### 7.4.1.2 Zentrale Heizsysteme

Zentrale Heizsysteme machen den überwiegenden Anteil der angetroffenen Wärmeversorgungssysteme aus. Im Wesentlichen handelt es sich dabei um Pumpenwarmwasserheizungen und Luftheizungen.

Die früher verwendeten Schwerkraft- oder auch die Dampfheizungen sind i. d. R. Anfang der 90er Jahre sukzessive umgerüstet worden. Allerdings wurden die bestehenden Rohrleitungen weiter verwendet, was zu hydraulischen Problemen aber auch erhöhten Wärmeverlusten, teilweise schlechter Regelbarkeit etc. führt.

In den nachfolgenden Abschnitten sollen die Art sowie Vor- und Nachteile der eingesetzten Heizkessel detaillierter untersetzt werden.

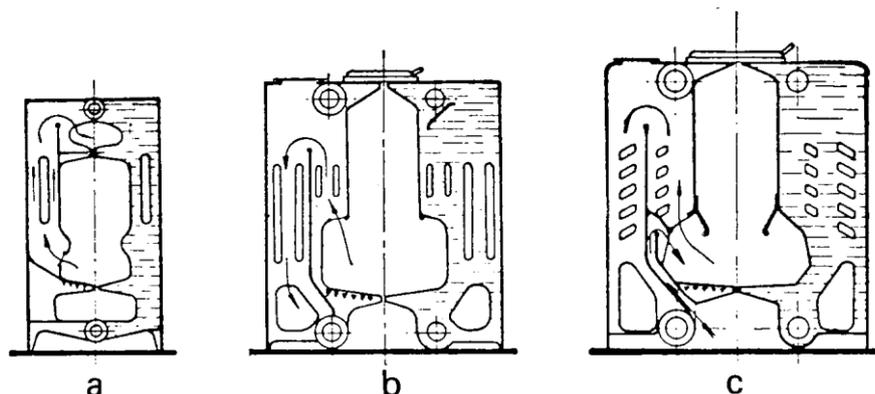
Heizkessel werden prinzipiell aus 2 Materialien gefertigt: Guss oder Stahl. Die Materialauswahl richtet sich nach Brennstoff, Art der Verbrennung, Anforderungen an die Regelung und räumliche Bedingungen.

#### a) Heizkessel für Festbrennstoffe

Man unterscheidet hier zwischen Festbrennstoffkessel mit oberem und unterem Abbrand

##### a1) Festbrennstoffkessel mit oberem und unterem Abbrand

Kessel mit oberem Abbrand findet man everinzelt im kleineren Leistungsbereich bis 50 kW. Da sie nur eine untergeordnete Rolle spielen, werden sie hier nicht weiter betrachtet.

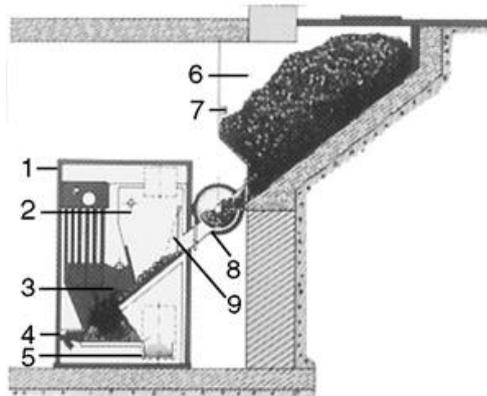


**Abbildung 68:** Festbrennstoffkessel mit unterem Abbrand nach (4)

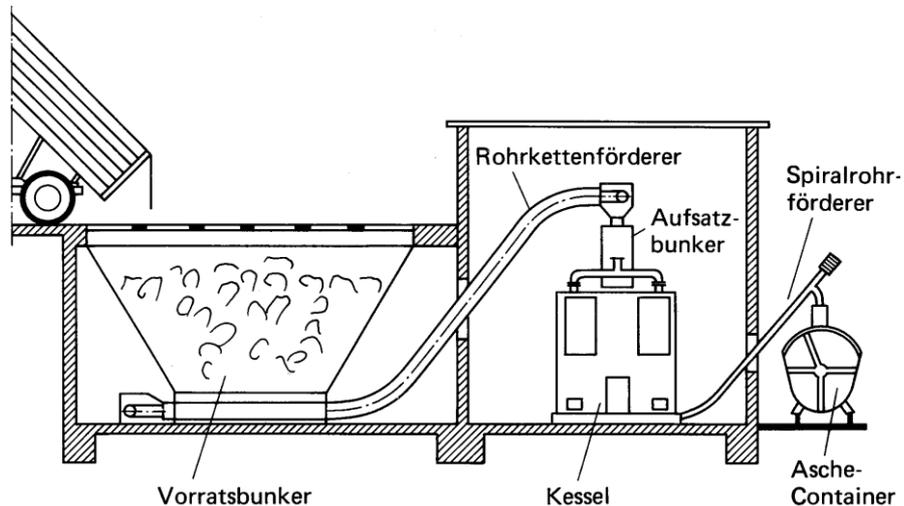
Diese Konstruktionsform findet heute überwiegenden Einsatz bei z.B. der Verbrennung von Stückholz etc.

Die Beschickung erfolgt in der Regel von oben – es gibt auch Konstruktion, wo die Beschickung seitlich erfolgen kann. Automatische Beschickung und Schlackeabführung ist möglich.

Als Brennstoffe kommen Holz, Braunkohle, Steinkohle, Anthrazit, Koks u. ä. in Betracht.



**Abbildung 69:** automatischer Heizkessel für Anthrazit nach (4)



**Abbildung 70:** Kessel mit automatischer Beschickung und Schlackeabfuhr nach (4)

### Vorteil:

- große Auswahl an Brennstoffen
- bessere Regelbarkeit im Vergleich zu Bestandskesseln mit oberem Abbrand
- bessere Abgaswerte im Vergleich zu Bestandskesseln mit oberem Abbrand
- teilweise günstige Anschaffungskosten im Vergleich zu Spezialkesseln

### Nachteil:

- höhere Investitionskosten
- im Vergleich zu Spezialkesseln schlechtere Regelbarkeit

## a2) Spezialheizkessel (automatisch) für Festbrennstoffe

Der zunehmende Einsatz von regenerativen Brennstoffen und hohen Anforderungen an die Emissionen hat dazu geführt, dass für die Verbrennung spezielle, mit elektronischer Regelung ausgestattete Heizkessel entwickelt worden sind.

Den größten Anteil bei der Verbrennung von regenerativen Brennstoffen nimmt Holz ein.

Hier finden sich Spezialkessel zur Verbrennung von Scheitholz, Hackschnitzel, Sägemehl, Sägespäne, Presslinge (Pellets, Briketts etc.) aber auch für Industrierestholz, Grünschnitt, Alt- und Gebrauchtholz.

Für den Einsatz in der Praxis sind automatische Beschickung, Schlackeentsorgung und eine Regelung der Kessel notwendig, um einen gewissen Komfort sicherzustellen und um bedarfsgerecht heizen zu können.

Moderne Kessel können teilweise in einem Bereich von 15 – 100% Ihrer Nennleistung geregelt werden.

Der Bedienungsaufwand dieser Heizkessel kommt dem der Öl/Gas-Heizkessel schon recht nahe, doch liegen die Anschaffungskosten deutlich höher.

Nachstehen werden einige Beispiele für Spezialkessel gezeigt:



**Abbildung 71:** Scheitholz-Vergaserkessel mit elektronischer Regelung nach (4)

### Vorteile:

- hoher Bedienungs- und Regelungskomfort bei Einsatz von regenerativen Brennstoffen
- Regelbarkeit in einem Bereich von 15% - 100% des Nennleistungsbereiches
- automatische Beschickung

- automatische Entsorgung der Brennstoffrückstände
- günstigere Energiekosten
- Vorteil CO<sub>2</sub>-Emission (kleiner CO<sub>2</sub>-Kreislauf) bei Brennstoff Holz
- relativ hoher Wirkungsgrad

## **Nachteile:**

- hohe Anschaffungskosten
- hohe Wartungskosten
- hoher Platzbedarf
- spezielle Anforderungen an die Aufstellräume (Heizräume) und Brennstofflagerung

Weitere Spezialkessel existieren im Bereich der Kohlenstaub- und Wirbelschichtfeuerung sowie zur Stroh- und Getreideverbrennung, die allerdings in den betrachteten Unternehmen nicht vorgefunden worden sind.

## **b) Gas-Heizkessel**

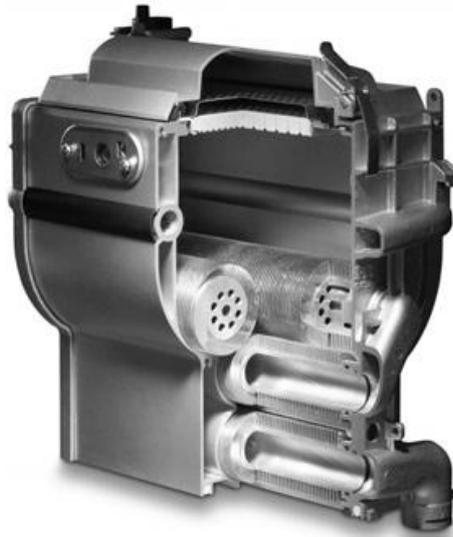
Gas-Heizkessel zeichnen sich im Allgemeinen durch deutlich geringere Anschaffungskosten gegenüber den Festbrennstoffkesseln aus.

In den beurteilten Objekten wurden verschiedene Arten von Gasheizkesseln vorgefunden, im Wesentlichen lassen sich diese in 2 Gruppen unterteilen:

### **Gas-Heizkessel ohne bzw. mit Gebläse**

Gas-Heizkessel ohne Gebläse zeichnen sich gegenüber Kesseln mit Gebläse durch einen geringeren Wartungsaufwand aus.

Die Brennwertnutzung ist in Abhängigkeit vom Kesseltyp möglich (siehe **Abbildung 72**).



**Abbildung 72:** Schnittdarstellung durch ein Brennwertgerät nach (4)

#### **Vorteile für beide Bauarten:**

- geringer Platzbedarf
- günstige Investitionskosten
- geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten
- gute Regelbarkeit
- Kessel laufen vollautomatisch

#### **Nachteile für beide Bauarten:**

- Brennstoff Erdgas als nicht regenerativer Brennstoff
- höhere Brennstoffkosten im Vergleich zu Holz

#### **c) Ölkessel**

Die in den untersuchten Unternehmen vorgefundenen Heizkessel auf Basis Heizöl entsprechen der Konstruktionsform Nieder- bzw. Tieftemperaturkessel mit Ölgebläsebrenner.

Nachstehend ein Beispiel:



**Abbildung 73:** NT-Ölheizkessel in Dreizugbauweise mit mehrschaliger Konvektionsheizfläche nach (4)

Auch hier gelten prinzipiell die bereits genannten Vor- und Nachteile:

#### **Vorteile:**

- geringer Platzbedarf
- günstige Investitionskosten
- geringe Wartungs- und Instandhaltungskosten
- gute Regelbarkeit
- Kessel laufen vollautomatisch

#### **Nachteile:**

- Brennstoff Erdgas als nicht regenerativer Brennstoff
- höhere Brennstoffkosten im Vergleich zu Holz
- im Vergleich zu Gaskesseln höherer Platzbedarf Brennstofflagerung

#### **d) Kraft-Wärme-Kopplung**

In Ergänzung zur konventionellen Wärmeerzeugung war ein Unternehmen wärmetechnisch an KWK-Anlagen ausgestattet, die mit Pflanzenöl betrieben werden.

Prinzipiell bietet sich der Einsatz von KWK in Gärtnereien an, wenn sie aufgrund der gezüchteten Kulturen einen hohen und immer benötigten Grundlastanteil an Wärme benötigen. In den meisten der untersuchten Unternehmen war der Wärmebedarf nur saisonal in der entsprechenden Höhe vorhanden.

Aus Grund fehlender Messsysteme für den Wärmeverbrauch in den Übergangs- und Sommermonaten ist eine detaillierte Bewertung nicht möglich.

## 7.4.2 Wärmeabgabesysteme

Im Gärtnerbereich kommen überwiegend Sonderbauformen für die Wärmeabgabe in den Raum zum Einsatz.

### 7.4.2.1 Rohrheizkörper

Rohrheizkörper stellen eine einfache und preisgünstige Form von Heizkörpern dar.

Man unterscheidet in glatte oder gerippte Rohrheizkörper, die früher aus Guss und heute aus Stahl gefertigt werden.

Der gerippte Rohrheizkörper weist eine gegenüber dem Rohrheizkörper höhere spezifische Heizleistung auf, ist aber schlechter zu reinigen.

In Gärtnereien werden Rohrheizkörper als seitliche Beheizung (Stehwandheizung) vor den Gewächshauswänden aufgestellt oder als „Obere Rohrheizung“ unterhalb der Glasdächer angeordnet. Teilweise sind diese in der Höhe verstellbar, d.h. absenkbar ausgeführt.

Eine spezielle Form des Rohrheizkörpers sind unter den Tischen angeordnete Rohre „Untertischheizungen“, die ebenfalls relativ häufig zum Einsatz kommen (siehe **Abbildung 12**: eingesetzte Wärmeübergabesysteme).

#### **Vorteile:**

- geringe Anschaffungskosten
- variabel einsetzbar

#### **Nachteile:**

- geringere spezifische Heizleistung als bei anderen Wärmeabgabesystemen
- nicht für alle Kulturformen nutzbar

### 7.4.2.2 Flachheizkörper, Stahl- und Gussradiatoren, Konvektoren

Der Vollständigkeit halber seien auch die klassischen Formen der Heizkörper angeführt. Flachheizkörper, Guss- und Rippenradiatoren werden in Gärtnereien zur Beheizung von Büros und Nebenräumen eingesetzt, sind aber nur in Ausnahmefällen zur Beheizung von Gewächshäusern sinnvoll. Das Gleiche gilt für Konvektoren.

#### **Vorteile:**

- geringer Platzbedarf
- hohe spezifische Heizleistung

**Nachteil:**

- nicht für die Beheizung von großen Raumvolumina geeignet

**7.4.2.3 Luftherhitzer**

Eine Sonderform der Wärmeabgabe in den Raum über ein zentrales Heizsystem stellt der Luftherhitzer dar.

Sie bestehen neben einem Ventilator aus einem in ein Gehäuse eingebautes Heizregister.

Es können Luftleitungen angeschlossen werden, für die Luftverteilung können verschiedene Aufsätze angebracht werden, die die Verteilung der Luft je nach Anforderung verändern können. Sie können im Um-, Mischluft- und Außenluftbetrieb gefahren werden. Bei beiden letzteren ist ein Außenluftanschluss notwendig.



**Abbildung 74:** Luftherhitzer in den untersuchten Unternehmen

Die in den Unternehmen eingesetzten Luftherhitzer dienen ausschließlich der Erwärmung der „Umluft“.

**Vorteile:**

- relativ große Heizleistungen möglich
- schnelle Aufheizbarkeit
- einfache Regelung
- Einsatz von zusätzlichen Luftaufbereitungsstufen wie z.B. Filterung, Kühlung, Befeuchtung möglich
- gleichmäßige Beheizung der Räume bei richtiger Anordnung
- Kombinationsmöglichkeit mit Wärmerückgewinnung
- geringe Investitionskosten

**Nachteil:**

- erhöhter Wartungs- und Reinigungsaufwand durch Einzelgerät

### 7.4.3 Wärmeverteilung

#### 7.4.3.1 Rohrnetze

Ein korrekt dimensioniertes und installiertes Rohrnetz ist eine Grundvoraussetzung für eine qualitativ gute, energiesparende Funktion des Gesamtsystems.

Nur bei geeigneter Dimensionierung der einzelnen Rohrstrecken in Verbindung mit Pumpen und Regelarmaturen wird ein kostengünstiger und dennoch komfortabler Betrieb erreicht.

Das Wärmeverteilnetz besteht aus den Rohrleitungen an sich und den Regelarmaturen sowie den Heizungsumwälzpumpen.

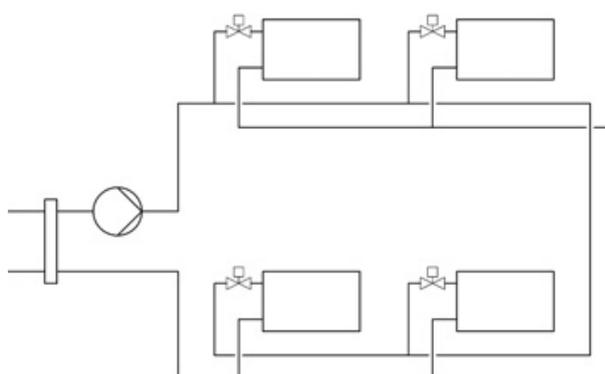
Zentrale Auslegungsgrößen sind der sich aus der benötigten Heizleistung und der notwendigen Temperaturdifferenz (Heizfläche) ergebende Massenstrom und der Differenzdruck und der durch die Pumpe erzeugte und zur Verfügung gestellte Differenzdruck.

Auf dem Fließweg wird dieser Druck abgebaut. Ein Rohrnetz ist nach dem ungünstigsten Heizkreis zu dimensionieren.

In den ausgewerteten Gärtnereien konnten keine Einrohrnetze festgestellt werden. Es werden ausschließlich nur Verteilungsnetze im Zweirohrprinzip eingesetzt.

Prinzipiell können Zweirohrnetze nach folgenden Typologien unterteilt werden:

#### 1) hoher Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Widerstand des Rohrnetzes



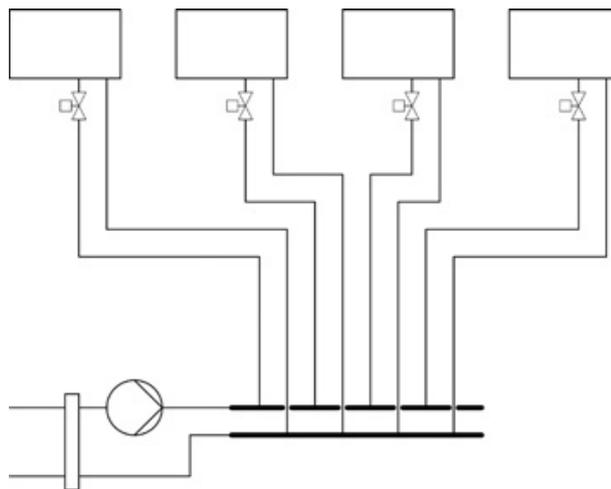
**Abbildung 75:** hoher Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Druckverlust Tichelmann-Ring nach (4)

**Beispiele:**

- Versorgung aller Verbraucher durch einen Heizkreis
- Tichelmann-Ring
- Kombinationen aus alten und neuen Rohrnetzen
- etc.

**2) geringer Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Widerstand des Rohrnetzes****Beispiele:**

- Versorgung der Verbraucher durch mehrere Heizkreise
- Flächenheizungen
- etc.



**Abbildung 76:** geringer Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Druckverlust nach (4)

Beide Systeme funktionieren nur dann mit den notwendigen Parametern und energiesparend, wenn alle Verbraucher mit dem notwendigen Massenstrom über den gleichen Differenzdruck versorgt werden. Das verhindert eine Über- bzw. Unterversorgung der Verbraucher bzw. der einzelnen Heizkreise.

Eine Überversorgung der Verbraucher sorgt für geringe Differenztemperaturen und zu hohe Massenströme, was zu höherem Energieverbrauch führt.

Bei unterversorgten Verbrauchern entstehen kleine Massenströme und hohe Temperaturdifferenzen. Die Folge ist eine Unterversorgung der zu heizenden Räume mit Wärmeenergie.

In den untersuchten Gärtnereien würden häufig zusammenschaltete alte und neue Rohrnetze, die augenscheinlich nicht abgeglichen worden sind und teilweise in sehr schlechtem Zustand waren.

Die Dämmung der Rohrleitungen war zum Teil nicht vorhanden bzw. beschädigt, zum überwiegenden Teil entspricht die Isolierung nicht den Anforderungen aktuellen Energieeinsparverordnung (EnEV).

#### **7.4.3.2 Pumpen**

In Pumpen-Warmwasserheizungen werden ausschließlich Kreiselpumpen verwendet.

Hauptbestandteile sind das Spiralgehäuse und das auf der Welle sitzende Laufrad (Schaufelrad). Der Antrieb erfolgt durch Elektromotor.

In Abhängigkeit des erforderlichen Differenzdruckes (Förderhöhe) und dem notwendigen Massenstrom werden Spaltrahmpumpen (elektrischer Leistungsbereich 10 W bis 2,5 kW) oder Trockenläuferpumpen (elektrischer Leistungsbereich 0,75 kW bis 30 kW) eingesetzt.

Teilweise sind Doppelpumpen eingesetzt, deren Notwendigkeit sich nicht erschlossen hat, teilweise aus Redundanzgründen.

Alle Pumpen haben je nach Bauart und Baujahr Einrichtungen zur Leistungsanpassung der Pumpe an das Heizsystem aus folgenden Gründen:

1. nachträgliche Anpassung der Pumpenleistung an die tatsächlichen Gegebenheiten durch vorhandene Toleranzen, Ungenauigkeiten und Unsicherheiten in der Berechnung, Dimensionierung und Ausführung von Rohrnetz und Verbrauchseinrichtungen
2. veränderliche Heizlast in Abhängigkeit der Außentemperatur und der erforderlichen Innentemperatur

Das wird durch die Veränderung der Vorlauftemperatur und durch Veränderung der hydraulischen Kenngrößen wie Massenstrom und Differenzdruck erreicht.

In den meisten untersuchten Unternehmen war eine Großzahl veralteter Pumpen installiert, die meist fest eingestellt mit einer gewählten Stufe (oftmals die höchste) betrieben werden. Nur sukzessive werden diese – z. B. bei notwendigem Ersatz – durch geregelte Pumpen ausgetauscht.

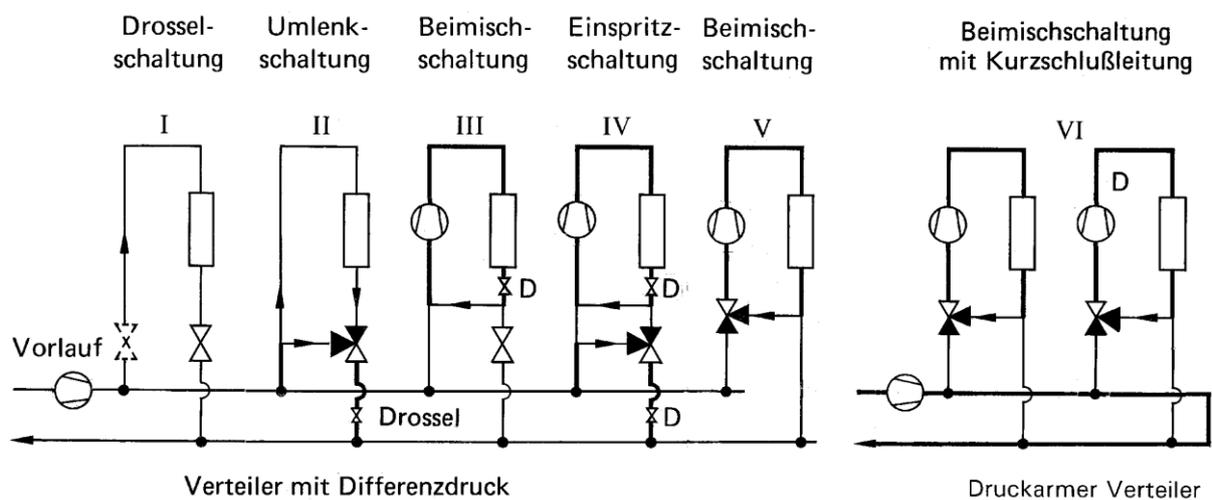
Durch den Einsatz von modernen Pumpen sind neben den verbesserten Regelmöglichkeiten weitere Einsparmöglichkeiten gegeben.

Z. B. werden die früher bei Nassläuferpumpen häufig eingesetzten Asynchronmotoren heute durch Permanentmagnet-Synchronmotoren ersetzt, die zu deutlich verminderten Leistungsaufnahmen der Pumpen führen.

### 7.4.3.3 Hydraulische Schaltungen

Die verwendeten hydraulischen Schaltungen zur Wärmeverteilung und bedarfsgerechten Abgabe in den Raum sind neben der Wärmeerzeugung der wichtigste Faktor bei der Beurteilung des Wärmeenergieverbrauches.

Einige Grundschaltungen sind in der nächsten Abbildung schematisch dargestellt.



**Abbildung 77:** Hydraulische Schaltungen nach (4)

Die Wahl einer Schaltung ist im Wesentlichen von den Anforderungen der Verbraucher und Energieerzeuger abhängig. Prinzipiell sollten bestehende Schaltungen immer auf Sinnhaftigkeit im Vergleich aller Anlagenteile überprüft werden.

Prinzipiell unterscheidet man 3 Gruppen:

- 1) **Rohrnetz ohne Verteiler und mit einer Hauptpumpe (ein Heizkreis)**
- 2) **Rohrnetz mit Verteiler ohne Hauptpumpe**
- 3) **Verteiler mit Hauptpumpe (siehe Abbildung 77)**

### Hydraulischer Abgleich

Bei allen Schaltungen ist, wie schon erwähnt, die Durchführung des hydraulischen Abgleichs für die anforderungsgerechte und energiesparende Funktion prinzipiell notwendig.

Ein nicht durchgeführter hydraulischer Abgleich führt zur Über- und Unterversorgung der Verbraucher, zu einer Erhöhung des Stromverbrauches der Pumpen, zu Strömungsgeräuschen und erhöhter Wärmeabgabe der Heizungsrohre.

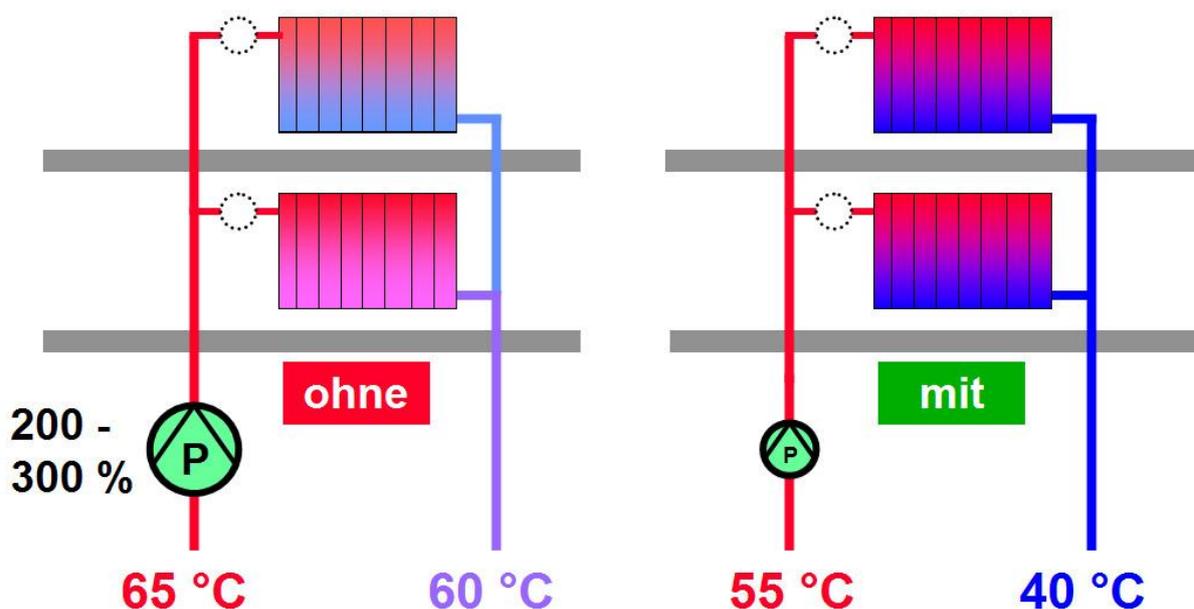


Abbildung 78: hydraulischer Abgleich (Bild nach (5))

Der hydraulische Abgleich in Verbindung mit der passenden Pumpenleistung bewirken zum einen, dass die Thermostatventile genauer regeln können.

Dies führt zu einer gleichmäßigen und reproduzierbaren Beheizung der Räume, so dass erhöhte Energiebedarfe durch Übertemperaturen vermieden werden.

Zum anderen werden nur durch eine korrekt eingestellte Verteilung die ausgelegten Temperaturdifferenzen im System erreicht, so dass die Heizgeräte deutlich besser im Bereich der gewünschten Nutzungsgrade betrieben werden. Dies gilt insbesondere für Brennwertgeräte.

#### 7.4.3.4 Regelung – Stand der Technik

Wie schon erläutert ist der Wärmeverbrauch eines Gewächshauses zeitlichen Schwankungen unterworfen.

Er hängt von der Außenlufttemperatur, von den Windverhältnissen, der Sonneneinstrahlung, und anderen Einflüssen ab.

Das hat zur Folge, dass die Heizleistung der Heizkörper, Luftheritzer etc., entsprechend den Erfordernissen ständig angepasst werden muss, was nur von einer automatisch arbeitenden Regelung effizient erfüllt werden kann (flächenbezogener Anteil in den untersuchten Unternehmen ca. 98%, siehe Abbildung 15, Seite 16).

Neben den bereits angesprochenen Wärmeerzeugern und dem Verteilnetz spielt die Regelung der Heizungsanlagen eine wichtige, wenn nicht die wichtigste Rolle.

Es ist nicht Ziel der folgenden Ausarbeitung, alle Regelungsmöglichkeiten vorzustellen, es soll hier nur auf die vorgefundenen Verhältnisse Bezug genommen werden.

## **a) Einzelraum-Temperaturregelung**

Die einfachste Form der Temperaturregelung im Raum stellt diese Form der Regelung dar.

Für diese Regelung werden Regler ohne und mit Hilfsenergie verwendet, deren Aufgabe darin besteht, durch Einstellung der Wärmezufuhr zu den Heizflächen die Raumtemperatur konstant zu halten.

Bekannte Vertreter sind die Thermostatventile und Ventile mit Thermostatköpfen mit eingebauter Elektronik. Beide sind der Handregelung natürlich vorzuziehen, können aber keine komplexen Regelaufgaben im Raum wahrnehmen.

Die Zuführung der Heizenergie erfolgt in diesen Fällen ohne Rückmeldung zum Wärmeerzeuger.

## **b) Regler für Wärmeerzeuger**

Die Wärmeerzeuger werden mit eigenen Reglern geregelt. Die wichtigsten Regelformen werden im nachfolgenden kurz erläutert. Prinzipiell müsste noch in Reglern für Gas-/Ölkessel und Festbrennstoffkesseln unterschieden werden. Im Endeffekt stellen jedoch alle diese Kessel Heizwasser mit einer bestimmten Temperatur zur Verfügung.

### **b1) Kesselwassertemperaturregelung**

Die Regler für die Kesselwassertemperatur steuern die Brenner für Öl oder Gas unter Beachtung der Sicherheitseinrichtungen entweder einstufig (2-Punkt), mehrstufig (3-Punkt) oder modulierend (stetig) an, wobei die modulierende Ansteuerung gleichzeitig die energiesparendste darstellt.



**Abbildung 79:** Beispiel eines Kesselschaltfeldes

Die Kesselwassertemperatur wird je nach eingesetztem Regler konstant gehalten oder kann in Abhängigkeit geeigneter Führungsgrößen angepasst werden.

### **b2) Regelung nach der Außentemperatur**

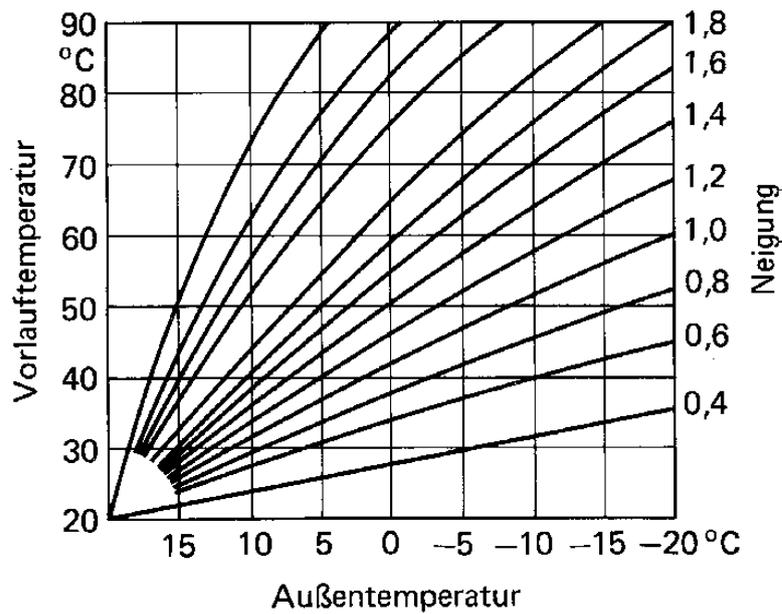
Diese Regelungsform stellt die am meisten verwendete dar. Die Regelung der Kesselwassertemperatur ist hier mit integriert.

Das Prinzip der witterungsgeführten Regelung beruht auf der Abhängigkeit der benötigten Wärmeenergie im Raum von der Außentemperatur und der Qualität der baulichen Hülle des jeweiligen zu beheizenden Raumes / Gewächshauses.

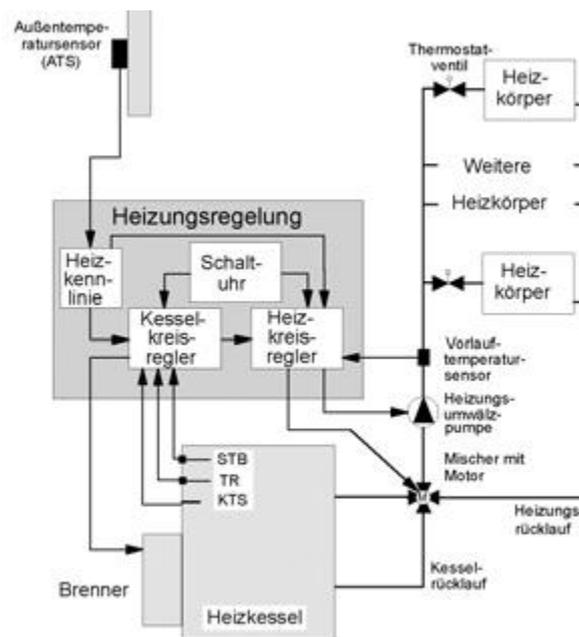
Dazu wird ein Temperatursfühler zur Messung der Außentemperatur möglichst auf der Nordseite und ohne direkte Sonneneinstrahlung angeordnet.

Dieser meldet die jeweilige Temperatur an einen zentralen Regler. An diesem Regler können Heizkennlinien eingestellt werden, die in Abhängigkeit der Außentemperatur bestimmte maximale Vorlauftemperaturen zulassen. Diese Heizkennlinien sind so einzustellen, dass bei Auslegungsfall die maximale Vorlauftemperatur erreicht und nicht überschritten wird. Die Heizkennlinie berücksichtigt die Qualität der baulichen Hülle.

Mit der eingestellten Heizkennlinie und der Außentemperatur kann der Regler nun über die Vorlauftemperatur die Wärmezufuhr in den Raum anpassen. Meistens werden dazu 3- oder 4-Wege-Mischer im Vorlauf des jeweiligen Heizkreises eingesetzt.



**Abbildung 80: Heizkennlinien (4)**



**Abbildung 81: witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Mischer (4)**

Diese Regelungsform fand sich in den meisten Gärtnereien in mehr oder weniger ausgebautem Zustand.

Zusätzlich gibt es noch Möglichkeiten, z.B. die Rücklauftemperatur auszuwerten, da diese auch einen Wert für den Wärmebedarf im Raum darstellt. Diese Variante wurde nicht festgestellt.

Die reine witterungsgeführte Regelung hat allerdings den Nachteil, dass eine Berücksichtigung von Raumluftfeuchte und ggf. eine notwendige Lüftung nicht vorgesehen ist.

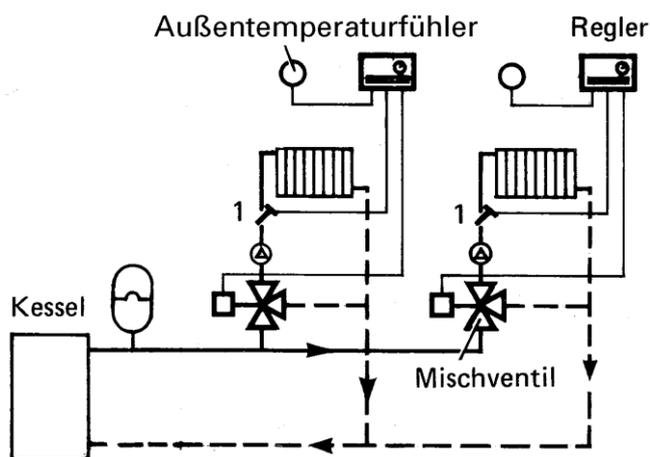
## b3) Mischregelungen

Der Heizungsmischer ist besonders bei den komfortableren Regelungen nicht wegzudenken und findet besonders dann Anwendung, wenn für verschiedene Heizkreise unterschiedlich hohe Wassertemperaturen verlangt werden. Die Mischer-Schaltung ist daher in Gärtnereien als eine Grundform der witterungsgeführten Regelung anzusehen, die Bestandteil auch der im folgenden vorgestellten Regelungsarten ist.

Besonders bei großen Rohrnetzen lassen sich somit verschiedene Regelaufgaben erfüllen.



**Abbildung 82:** 3-Wegemischer zur Rücklaufbeimischung



**Abbildung 83:** 3-Wegemischer zur Rücklaufbeimischung

Diese Form der Regelung und hydraulische Verschaltung ist in den Gärtnereien sehr häufig anzutreffen.

Bei Notwendigkeit kann diese Schaltung auch zur Zonenregelung erweitert bzw. eingesetzt werden.

#### b4) Kesselfolgeschaltungen

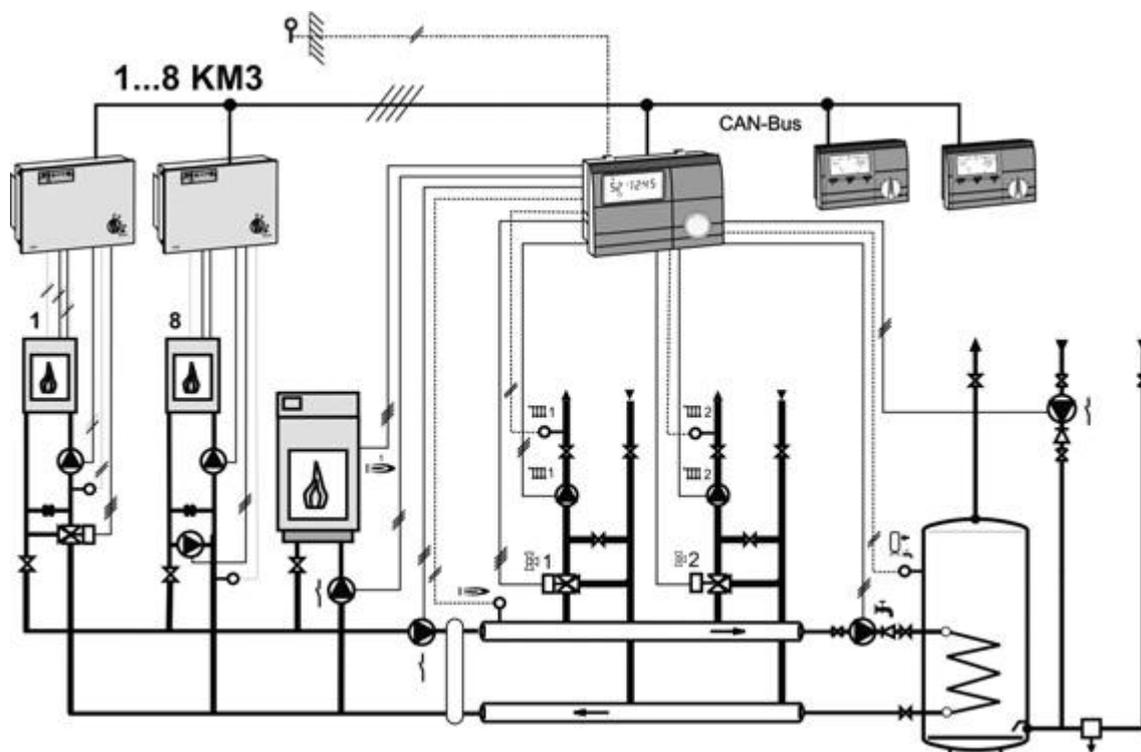
Durch die exorbitant gestiegenen Energiepreise versuchen untersuchte Gärtnerereien Wärmeenergie auch mit regenerativen Energieträgern zu erzeugen.

Dazu werden Festbrennstoffkessel oder KWK-Anlagen in die bestehenden Warmwasserheizungen eingebunden. Meistens erfolgt das über Pufferspeicher, es sind aber auch Anlagen mit Direkteinbindungen vorgefunden worden.

Um einen effizienten Betrieb der Wärmeversorgung mit mehreren Kesselanlagen zu gewährleisten sind sogenannte Kesselfolgeschaltungen erforderlich, die die Zuschaltung der unterschiedlichen Kessel nach einem bestimmten Regime regeln.

Voraussetzung für eine einwandfreie und energiesparende Funktion der Kesselfolgeschaltung im Zusammenwirken mit dem Wärmeverteilsystem ist eine hydraulisch abgegliche Anlage.

Das war nur bei den wenigsten der untersuchten Betriebe der Fall.



**Abbildung 84:** Mehrkesselanlage als Kaskade mit zentralem Regler (4)

### c) Kommunikationsfähige Regelungen

Stand der Technik in der Heizungstechnik sind vollautomatische, elektronische Regelungen, die die Einzelbereiche Wärmeerzeuger, Raum, Wärmeverteilsystem (Ventile, Pumpen) und die Raumheizeinrichtungen komplex regeln können.

Die verschiedenen Regelungssysteme können dazu über ein Bussystem Informationen (Raumtemperatur, Außentemperatur, Luftfeuchte, etc.) austauschen, diese auswerten und die Heizungsanlage und andere Systeme entsprechend steuern.

Zusätzlich sind hier Möglichkeiten zur Fernüberwachung und –bedienung der Anlagen gegeben.

Beachtet werden müssen die verschiedenen Bussysteme (EIB, LON), teilweise müssen die Daten über spezielle Kommunikationsschnittstellen ausgelesen werden.

Über sogenannte Gateways stellt das kein Problem dar, in der Regel lassen sich sogar ältere Regelanlagen aufschalten, so dass sich immer eine Optimierung des Energieverbrauches erzielen lässt. Natürlich soll die damit verbundene Komforterhöhung bei der Bedienung der Anlagen nicht vergessen werden. Besonders bei großen Anlagen wirkt sich das positiv auf Arbeitszeit und Reaktionsgeschwindigkeit aus.

Es gibt zahlreiche Mischlösungen, die Teilbereiche automatisieren und auch zahlreiche selbstgebaute Lösungen, die schwer kategorisierbar sind.

Einige Gärtnereien sind mit modernen Regelungen ausgestattet, wie z.B. der Regelung durch Klimacomputer, auch Busregelungen kommen schon zum Einsatz

In einigen Betrieben wurden jedoch auch noch normale Einzelraumregelungen vorgefunden, teilweise auch Handregelungen.

#### 7.4.3.5 Regelung / Steuerung von Gewächshäusern

Für die wunschgemäße Entwicklung der Pflanzen im Gewächshaus sind Parameter technisch zu beeinflussen, dies betrifft u.a.

- Temperatur (Heizung, Lüftung, Energieschirm)
- Luftfeuchte (Heizung, Lüftung)
- Lichtstärke (Schattierung)
- Wasser (Gießen)

In Abhängigkeit von der installierten Technik kann dies auf unterschiedliche Weise geschehen; manuell, analog oder über Klimarechner.

### a) manuell

In einigen Betrieben waren noch Lüftungen mit Handbedienung zu finden, in Form von aufstellbaren Klappen oder per Kurbelantrieb; dies erfordert unter Umständen mehrmals täglich einen Eingriff.



**Abbildung 85 a)+b):** Praxisbeispiele für manuelle Lüftungseinstellung

Ebenso findet das manuelle Gießen bei Grundbeeten breitere Anwendung

Manuelle Temperatureinstellung war im Rahmen des Projektes nicht zu finden. Die Temperaturen in den Gewächshäusern wurden mindestens analog geregelt.

### b) analog

Eine analoge Regelung besteht im Wesentlichen aus drei Baugruppen:

#### **Sensor – Regler – Aktor**

und der notwendigen Verkabelung.

Anwendung finden hier Sensoren für Außentemperatur, Windstärke und Windrichtung sowie Helligkeit. Diese sind meist an einer Wetterfahne angeordnet. Die Innentemperatur der Gewächshäuser wird i. d. R. mittels eines zentral angeordneten Sensors erfasst.

Die Regler verfügen über einen oder mehrere Fühlereingänge einer (einzigen) Größe, z.B. Temperatur, entsprechende Bedienfelder sowie Ausgänge für einen oder mehrere Aktoren.

Die Möglichkeit der externen Sollwertverstellung per elektrischem Signal oder Schaltuhr ist meist gegeben.



**Abbildung 86:** Praxisbeispiel: analoge Regelung

Als Aktoren sind im wesentlichen Pumpen, Mischer, Motorventile sowie Antriebe für Energieschirme und Lüftungen im Einsatz.



**Abbildung 87:** Praxisbeispiel für Aktoren (Heizungsmischer, Energieschirmantrieb)

Je (Haus und) Regelgröße ist ein Regler/Steuergerät notwendig.

Die Regelgröße wird nach einem starr eingestellten Sollwert (+ Hysterese) eingepegelt, komplexere Regelstrategien sind nicht möglich. Es wird auch nur nach einer Größe (z.B. Lichtstärke) geregelt, weitere Einflussgrößen (zusätzlich Außentemperatureinfluss) können nicht berücksichtigt werden.

Belegte Sollwerteingänge zur Fernbeeinflussung waren im Rahmen des Projektes nicht zu finden.

### c) Klimarechner

Die Regelung per Klimarechner besteht im Wesentlichen aus:



Der Klimarechner übernimmt dabei die Regelaufgaben für alle angeschlossenen Häuser. Der Rechner ist i.d.R. im Schaltschrank untergebracht und arbeitet „stand-alone“ sein Programm ab, die Ein- und Ausgänge werden über Steckkarten realisiert. Sensoren und Aktoren sind im Wesentlichen die Gleichen wie bei den analogen Geräten, die je Gewächshaus an eine Unterstation angeschlossen sind.

Der grundlegende Unterschied ist die PC-gestützte Visualisierung und Bedienung. Des Weiteren sind komplexere Regelstrategien möglich.

Manuelle Eingriffe sind nur über die PC-Bedienebene möglich.

### d) Hybrid-Formen

Per Sollwert-Fernverstellung analoger Regelgeräte ist es möglich, vorhandene Steuerungen aufzurüsten. Es können Sollwertgeber mit komplexeren Regelstrategien, wie z.B. die Pillnitz-Box bzw. entsprechende Klimarechner (RC1 von Claus Viole), vorgeschaltet werden.

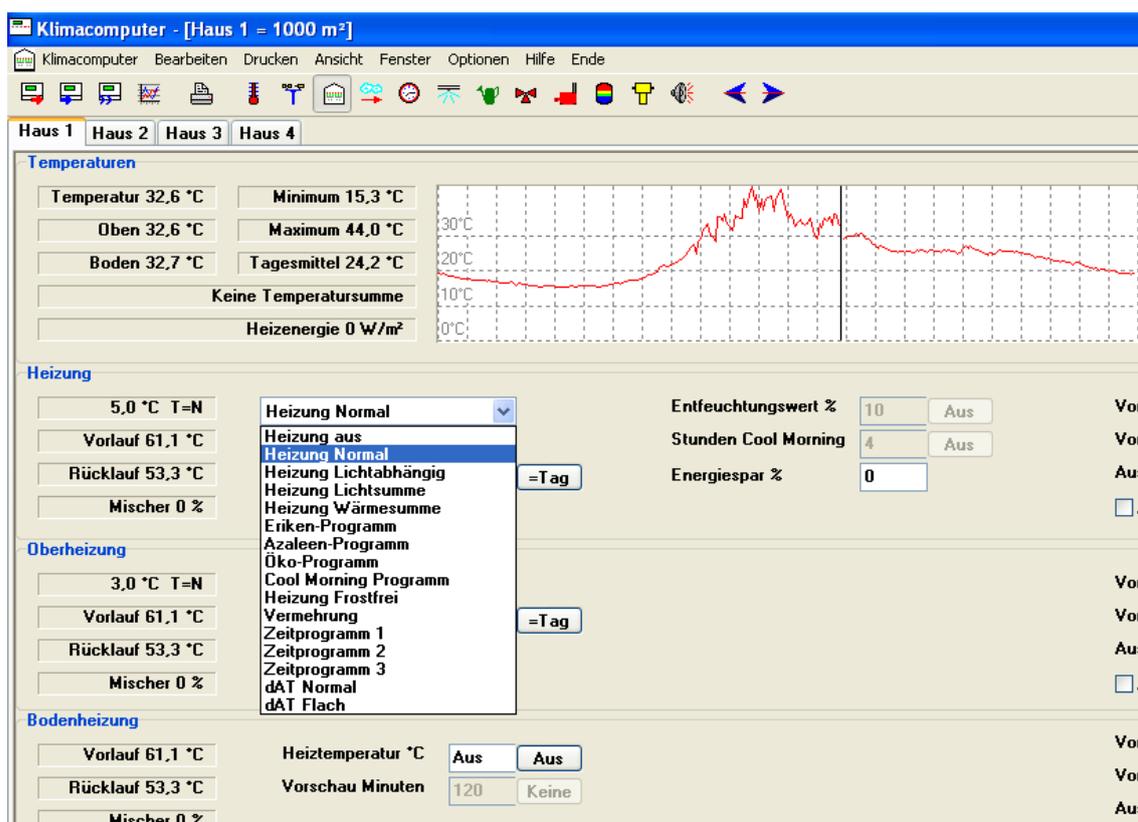


Abbildung 88: Screenshot Programm „RC1“ von Claus Viole

### e) Regelstrategien

Als Regelstrategien für den Betrieb von Gewächshäusern sind nachfolgend benannte Strategien bekannt:

- Cool Morning
- Temperatursumme
- Außentemperaturnachführung (z.B. Pillnitz-Box)
- Lichtsumme
- kulturspezifische Regelprogramme

Die Einspareffekte durch den Einsatz spezieller Regelstrategien liegen in der Größenordnung 10 – 20% des Wärmebedarfs der Gewächshäuser.

In den untersuchten Unternehmen mit Klimarechnern werden diese Regelprinzipien allerdings nicht durchgängig eingesetzt. Hier besteht ein entsprechender Nachholbedarf.

## 7.5 Potentialeinschätzung für Einsparpotenziale im Bereich der Wärmeversorgung der Gewächshäuser

### 7.5.1 Ausgangsdaten

Prinzipiell sind vor Beginn von Modernisierungsmaßnahmen die zugrunde liegenden Ausgangsdaten zu prüfen bzw. neu berechnen zu lassen.

Das betrifft insbesondere:

- Heizlast
- hydraulische Auslegung des Rohrnetzes
- Auslegung der Raumheizeinrichtungen

Bereits hier kann es zu Einsparungen kommen, da z.B. Grundkosten möglicherweise gesenkt werden können.

### 7.5.2 Baulicher Wärmeschutz

Die nachfolgende Tabelle zeigt typische Einsparpotentiale:

| Maßnahme   | mögliche Einsparungen auf gedämmte Fläche bezogen |
|--|---|
| Noppenfolie an Steh- und Giebelwänden              | 35 - 40 %   |
| geschlossener Energieschirm                        | 20 - 50 %<br>(je nach Material)                   |
| Dämmplatten am Fundament                           | 60 - 70 %   |
| Stegdoppelplatten<br>(bei entsprechenden Sprossen) | 40 – 45 %   |
| Abdichtung von Scheiben                            | 10 – 20 %   |

**Tabelle 4:** Einsparpotentiale baulicher Wärmeschutz nach (6)

Hinsichtlich der Energieschirme sei bemerkt, dass sich die Energieeinsparung auch auf die Nutzungszeit und die Größe des „abgesperrten“ Volumens bezieht.

### 7.5.3 Heizkessel

Folgende Maßnahmen sind hinsichtlich der erreichbaren Energieeinsparung am Aussichtreichsten:

- Umstellung alter Heizkessel auf Nieder- bzw. Tieftemperaturtechnik
- Einsatz von Brennwertkesseln bzw. von Abgaskondensatoren
- Überprüfung der hydraulischen Einbindung der Kessel
- Überprüfung der Kesselregelungen auf Funktion und Einstellung
- Überprüfung der Abgaswerte
- regelmäßige Wartung und Reinigung

---

► **Einsparpotential: 10-40 % bezogen auf den Wirkungsgrad des Heizkessels**

---

### 7.5.4 Wärmeabgabe

Wie unter 7.5.1 angesprochen ist hier die Auslegung der Raumheizeinrichtungen zu prüfen. Das betrifft im Speziellen die Rohrheizkörper aber auch die Luftheritzer.

Im Zuge der Durchführung des hydraulischen Abgleichs sollte die Überprüfung der Dimensionierung der Raumheizeinrichtungen durchgeführt werden.

Bei Altanlagen oder Kombination von Alt- und Neuanlagen ist eine Abschlammeinrichtung vorzusehen.

---

► **Einsparpotential:** abhängig von der bisherigen Auslegung und Installation

---

### 7.5.5 Wärmeverteilung

Im Wesentlichen betreffen die durchzuführenden Arbeiten den hydraulischen Abgleich des Wärmeverteilsystems.

Wie schon im entsprechenden Abschnitt erwähnt muss der hydraulische Abgleich unbedingt durchgeführt werden.

Nach (7) wurden im Rahmen einer Feldstudie wurden durch eine Optimierung bestehender Heizungsanlagen vor allem im Bereich der Wärmeverteilung eine Einsparung **von bis zu 20% Heizenergie und bis zu 20% elektrische Hilfsenergie** erreicht.

Neben dem hydraulischen Abgleich und der genauen Regel- und Einstellbarkeit der Heizungs-umwälzpumpen spielt auch die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpe eine große Rolle.

Im Vergleich zu unregulierten Standardpumpen können durch Einsatz elektronisch geregelter Pumpen in Verbindung mit Permanentmagnet-Synchronmotoren **bis zu 80%** des Verbrauchs an elektrischer Antriebsenergie eingespart werden.

In der Regel haben diese Pumpen auch erweiterte Kommunikationsschnittstellen, die auf die kommunikationsfähigen Regelungen aufschaltbar sind und so auch fernüberwacht- und bedient werden können.

Die Isolation der Rohrleitungen ist gemäß den Anforderungen nach EnEV vorzunehmen.

### 7.5.6 Regelung

Durch Optimierung und Erweiterungen der Regelungsanlagen lassen sich je nach Ausstattung und Ausbau Energieeinsparungen von **5 – 20 %** erreichen.

Maßnahmen an den Regelungsanlagen sind immer auch unter Einbeziehung der vorstehend genannten Punkte zu sehen.

Verschiedene Hersteller bieten Berechnungsverfahren an, nach denen die durch Modernisierung erreichbare Energieeinsparung bestimmt werden kann.

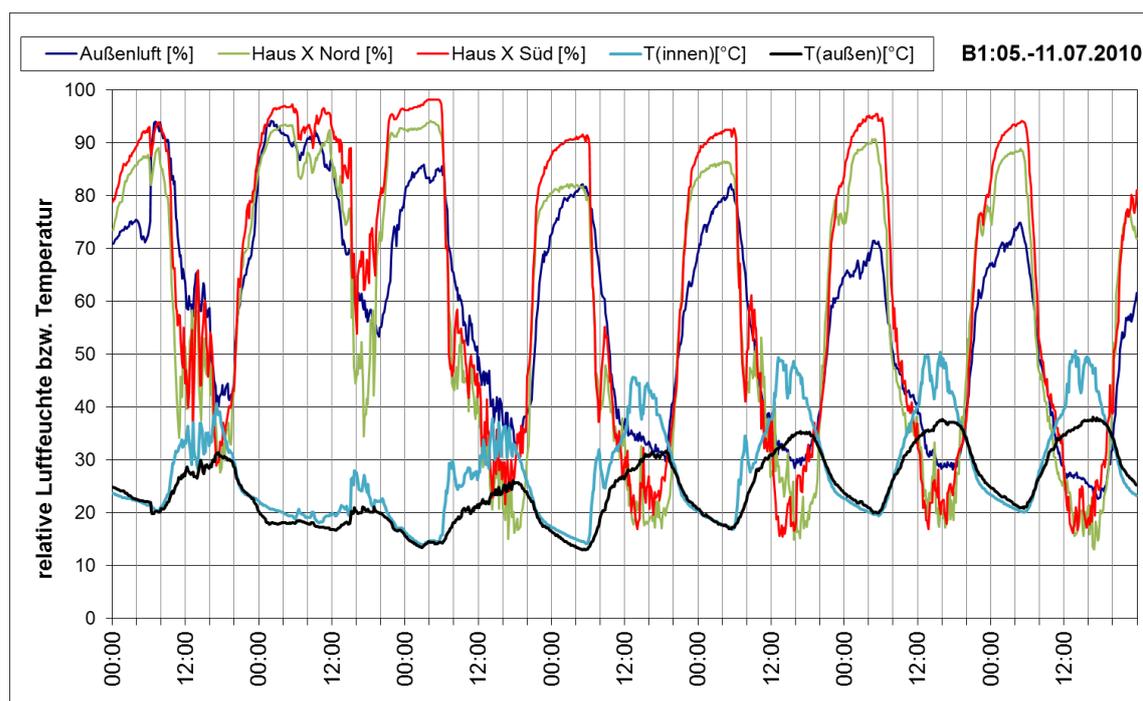
## 7.6 Untersuchungen zur Luftfeuchte in den Gewächshäusern

Parallel zu den Langzeittemperaturmessungen in den Gewächshäusern wurde die relative Luftfeuchte erfasst. Das Messintervall betrug 600s.

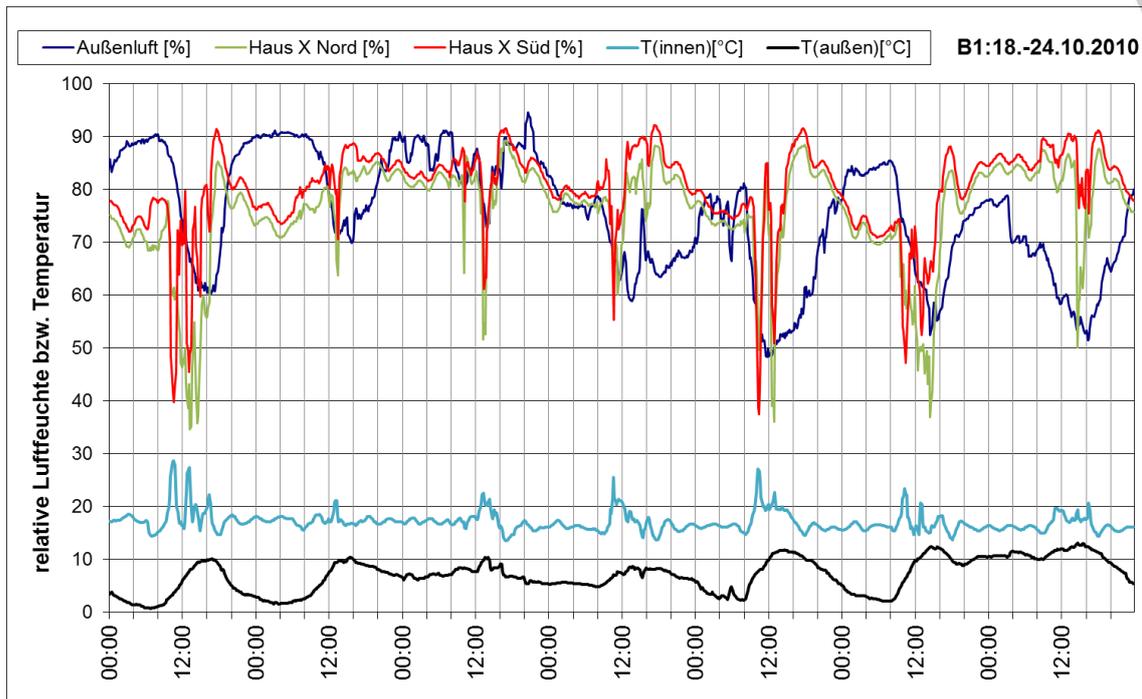
Dabei wurden sowohl unterschiedliche Gewächshäuser je Unternehmen erfasst als auch Untersuchungen in unterschiedlichen Bereichen eines Gewächshauses durchgeführt.

In den nachfolgenden Abbildungen sind beispielhaft die relative Luftfeuchte sowie Innen- und Außentemperatur für unterschiedliche Unternehmen dargestellt.

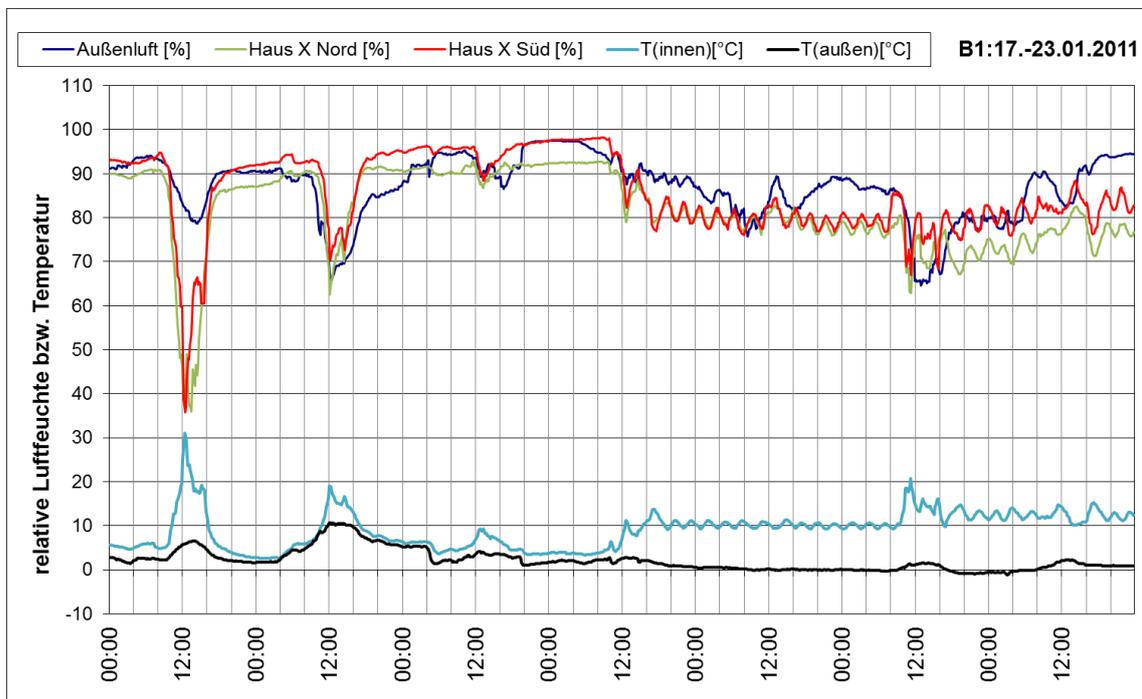
In den Grafiken **Abbildung 89** bis **Abbildung 91** sind die Daten für ein Gewächshaus für verschiedene Jahreszeiten dargestellt, in **Abbildung 92** für ein weiteres Unternehmen mit Untersuchungen unter/über dem Energieschirm für eine Winterwoche.



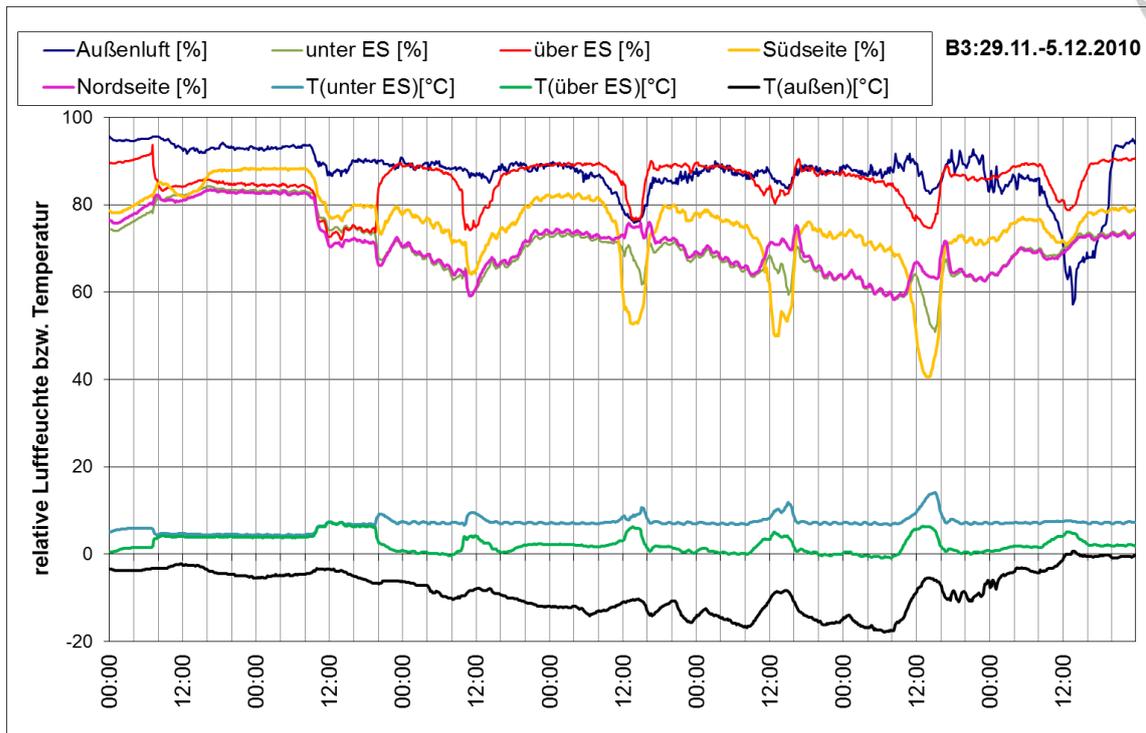
**Abbildung 89:** rel. Luftfeuchte / Temperatur - Sommerwoche



**Abbildung 90:** rel. Luftfeuchte / Temperatur – Herbstwoche

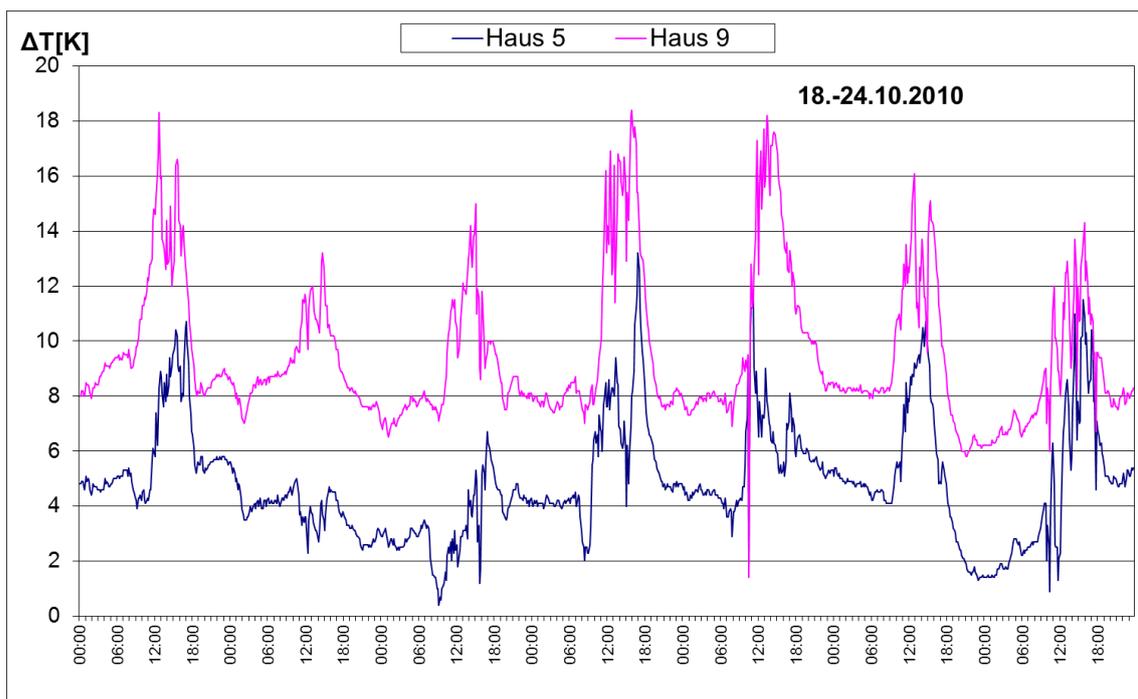


**Abbildung 91:** rel. Luftfeuchte / Temperatur – Winterwoche

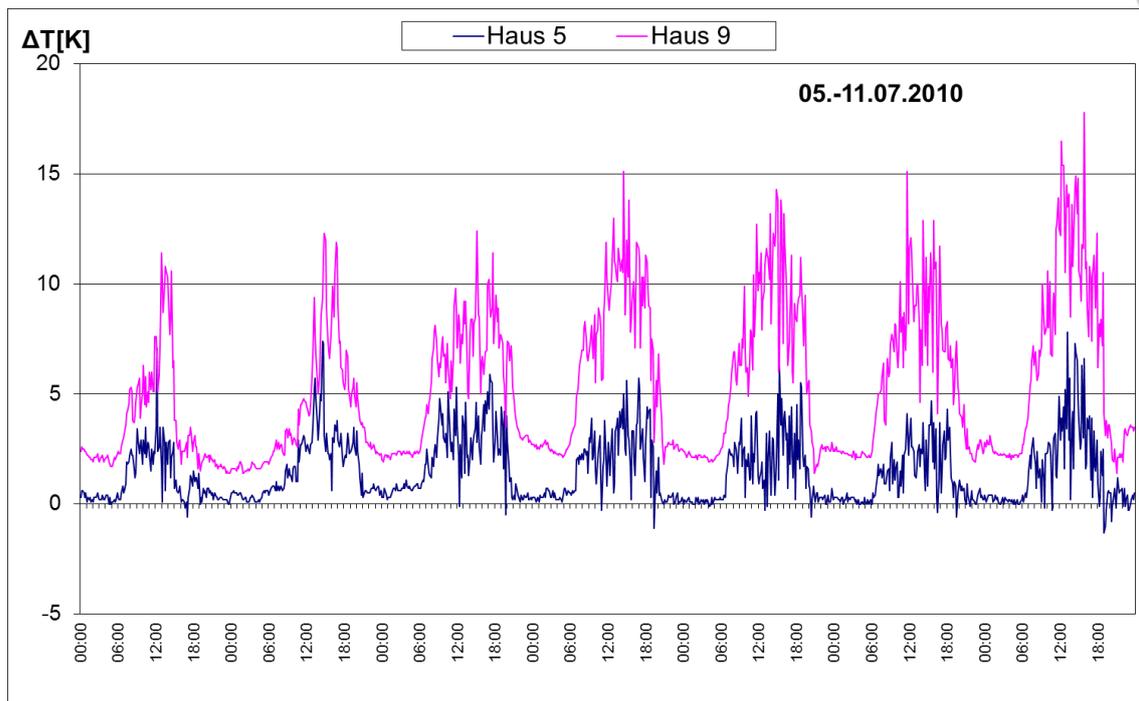


**Abbildung 92:** rel. Luftfeuchte / Temperatur – Winterwoche (Energieschirm)

Da die relative Luftfeuchte insbesondere durch die Temperatur bestimmt wird, ist in den folgenden Abbildungen die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zum Taupunkt aufgetragen. Bei geringem  $\Delta T$  bedeutet dies eine hohe Neigung zur Kondensation – insbesondere an kalten Bauteilen.



**Abbildung 93:** Differenz Innentemperatur – Taupunkt [K] für Übergangsmonat



**Abbildung 94:** Differenz Innentemperatur – Taupunkt [K] für Sommermonat

Der benannte Effekt trat in einigen Gewächshäusern – in den Abbildungen „Haus 5“ – insbesondere in den Sommermonaten (nachts) auf.

## 8 Checklisten für den Erstcheck der Unternehmen

Zur Bewertung der Energieeffizienz in Unternehmen eignen sich Checklisten sowohl für das Unternehmen selbst – zur Eigenkontrolle – als auch für den externen Berater als „Hilfsmittel“ für die Erstbegehung und zur Identifizierung von Einsparpotenzialen.

Sowohl vom Zentralverband Gartenbau, z. B. „Merkblatt zum Energieeinsatz im Unterglasanbau“ (Quellen: (8), (9), (10), (11), (12) ) als auch in Schriftenreihen der KTBL, z. B. „Checkliste Energiesparende Maßnahmen“ (13) bzw. siehe auch (14), sind Beispiele für solche Listen aufgeführt. Beide Checklisten sind in der Anlage zum Bericht eingefügt.

Dabei wird i. d. R. zwischen technischen und pflanzenbaulichen Maßnahmen unterschieden.

Der vorliegende Bericht konzentriert sich in 7. im Wesentlichen auf die technischen Maßnahmen, d.h. Bauhülle, Heizung, Stromverbrauch.

Das „Merkblatt zum Energieeinsatz im Unterglasanbau“ wird für die Erstanalyse des Beraters als auch für den „Eigencheck“ in seiner Detailliertheit als ausreichend erachtet. Es wird empfohlen, das o. g. Merkblatt des Zentralverbandes Gartenbau durch das Hervorheben der Notwendigkeit der regelmäßigen Wartung der technischen Anlagen und die regelmäßige Datenerfassung zu ergänzen. Der hydraulische Abgleich der Wärmeverteilung sollte ebenfalls hinterfragt werden.

Die in der „Checkliste Energiesparende Maßnahmen“ aufgeführten Maßnahmen (siehe Anlage 3) decken sich im Wesentlichen mit den Hinweisen des vorliegenden Projektes im Abschnitt 7.

## 9 Sächsischer Gewerbeenergiepass / Kennzahlen

### 9.1 Sächsischer Gewerbeenergiepass

Der Sächsische Gewerbeenergiepass (SäGEP) ist ein bundesweit einzigartiges Beratungsinstrument, welches softwaregestützt die qualifizierte strukturierte Energieberatung in Unternehmen zur Aufdeckung von Energiesparpotenzialen ermöglicht.

Begonnen wird mit der energetischen Strukturierung des Unternehmens auf der Grundlage von erfassten Monatsbezugs- und –verbrauchsdaten.

Für die Hauptenergieverbraucher als auch die Querschnittstechnologien werden auf der Grundlage von vorgegebenen Fragelisten energetische Defizite ermittelt und durch den Berater als auch durch das Programm selbst Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz generiert. Des Weiteren können spezifische Kennzahlen zur Bewertung des Energieverbrauchs gebildet werden.

Als Ergebnis wird durch die Software ein Abschlussbericht generiert, der die energetische Struktur des Unternehmens abbildet (Beispiel für Industriebetrieb, s. nächste Abbildung) als auch die ermittelten Einsparmaßnahmen enthält und die Einsparpotenziale im Vergleich zum Stand der Technik (SdT – theoretisch bzw. real umsetzbar) bewertet.

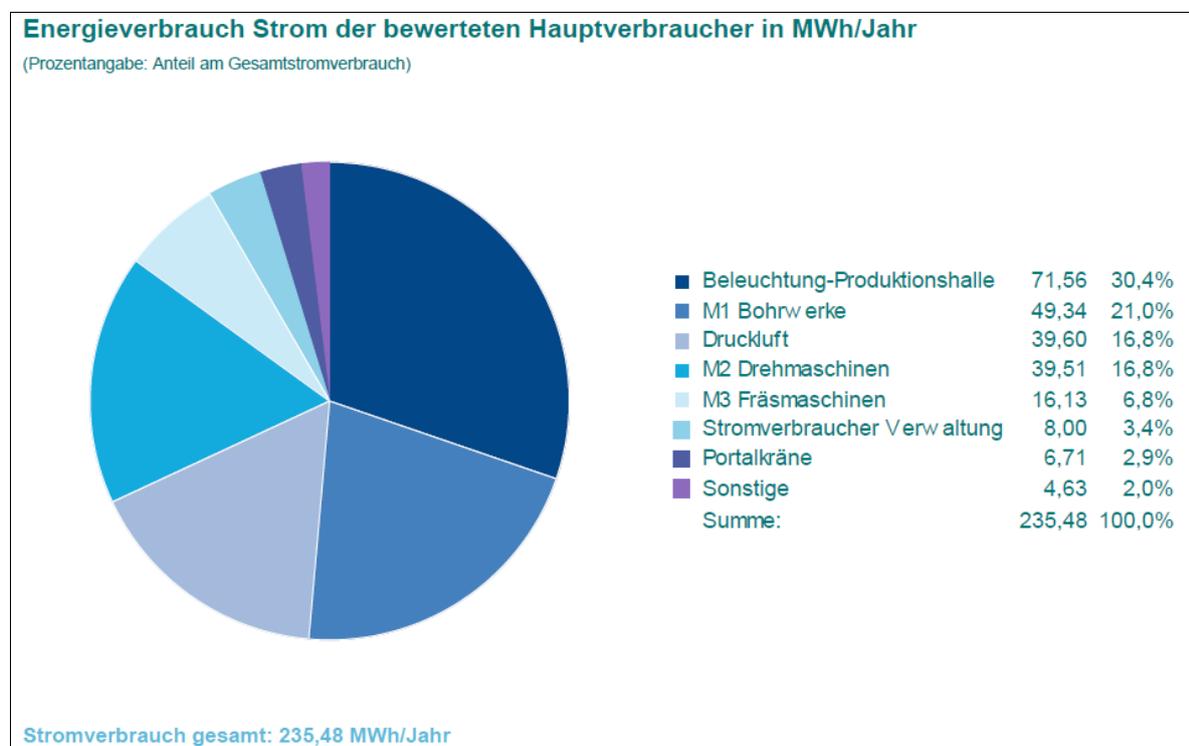
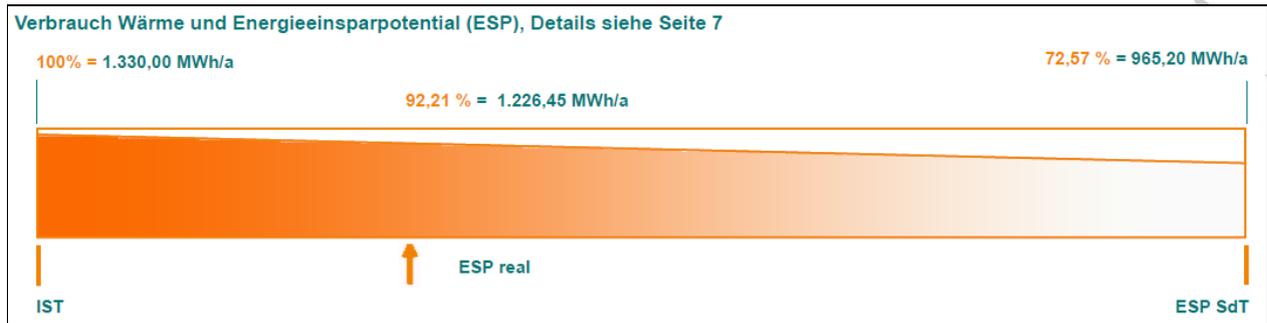


Abbildung 95: Auszüge aus einem Abschlussbericht (Struktur Stromverbrauch)



**Abbildung 96:** Auszüge aus einem Abschlussbericht (Einsparpotenzial Wärme)

Detailinformationen zum Sächsischen Gewerbeenergiepass als auch zum Qualifizierungskonzept der Energieberatung in Sachsen sind der Internetseite der Sächsischen Energieagentur (SAENA) [www.gewerbeenergiepass.de](http://www.gewerbeenergiepass.de) zu entnehmen.

Derzeit werden für den „SäGEP“ Branchenmodule entwickelt, in denen für Industriezweige bzw. –branchen spezifische Fragelisten und Kennzahlen zusammengestellt werden, um neben den Querschnittstechnologien (Heizung, Beleuchtung, Druckluft, Klimatisierung, ...) die Produktion detailliert bewerten zu können.

Ziel des vorliegenden Projektes war es, einen ersten Ansatz für ein Branchenmodul Zierpflanzenbau durch die Erarbeitung branchenspezifischer Fragelisten bereitzustellen.

Erarbeitet wurden hierzu Fragelisten zu folgenden Bereichen:

- Unternehmen-Zierpflanzenbau (gesamt)
- Gewächshaushülle
- Energieschirm/Verschattung/Verdunklung
- Pflanzenbeheizung
- Anbaustrategie
- Pflanzenbeleuchtung
- Mess- und Regeltechnik für Temperatur und Feuchte
- Gewächshauslüftung
- Be-/Entfeuchtung
- Pflanzenbewässerung
- Verkaufsraum
- CO<sub>2</sub>-Düngung

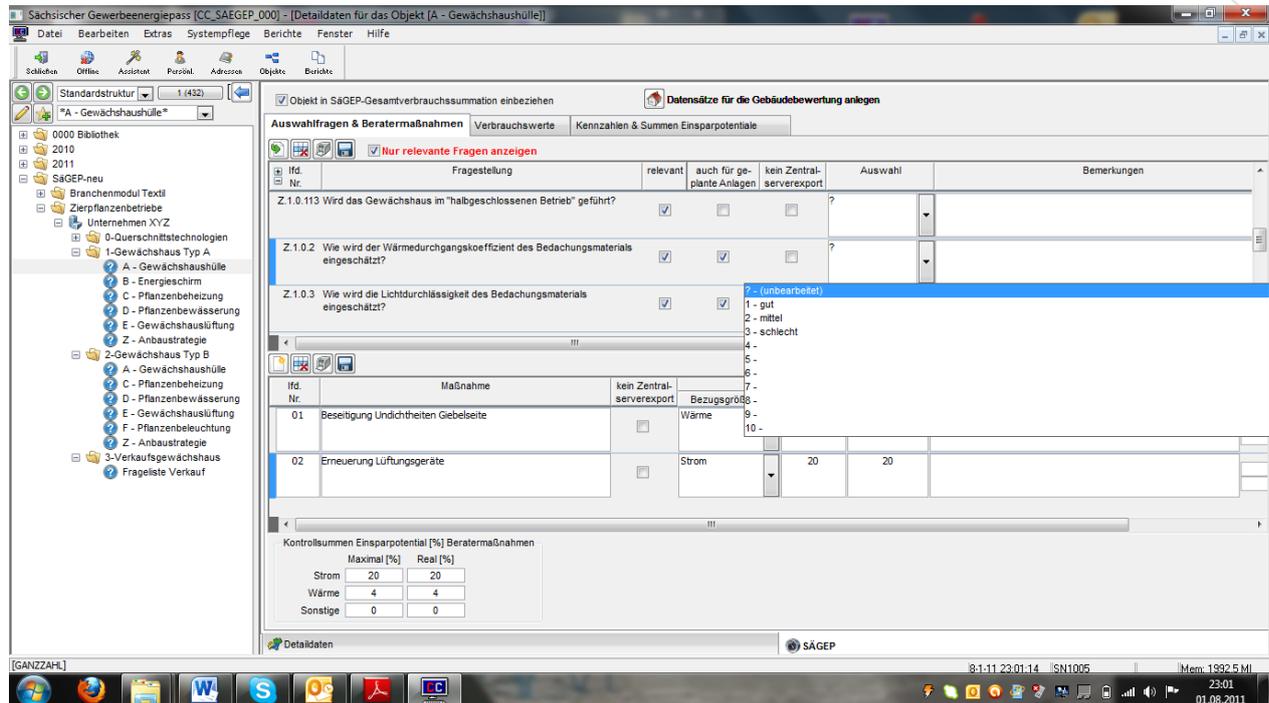


Abbildung 97: Ausschnitt SÄGEP-Software (Bildschirmkopie)

Bei der Erarbeitung der Fragelisten wurden die in den Checklisten (s. 8.) enthaltenen Fragestellungen eingearbeitet.

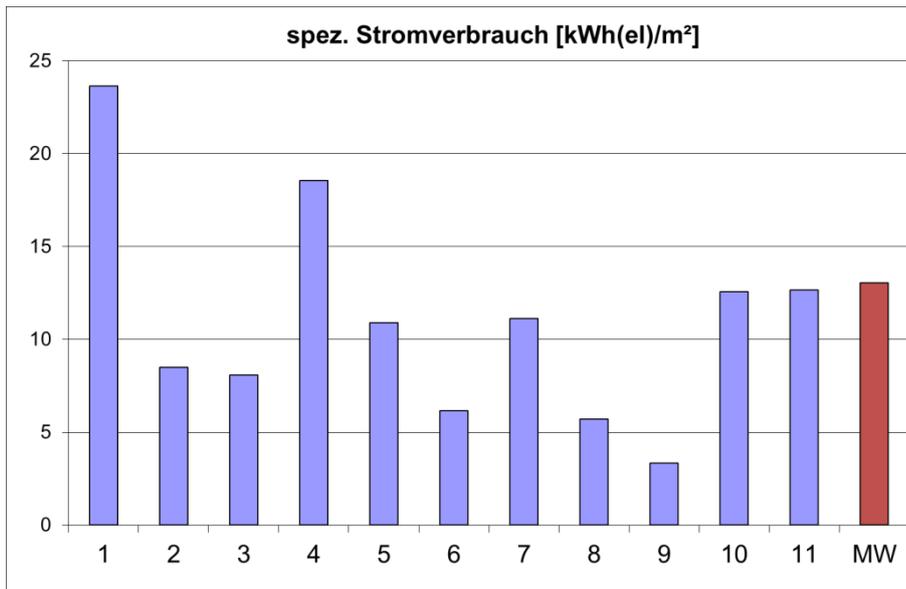
In der Diplomarbeit von Herrn Bergmann (1) sind die Fragelisten detailliert untersetzt.

Es wird empfohlen, die erarbeiteten Fragelisten in einem Feldtest in Gartenbauunternehmen zu prüfen und ggf. zu überarbeiten bzw. zu ergänzen.

## 9.2 Kennzahlen

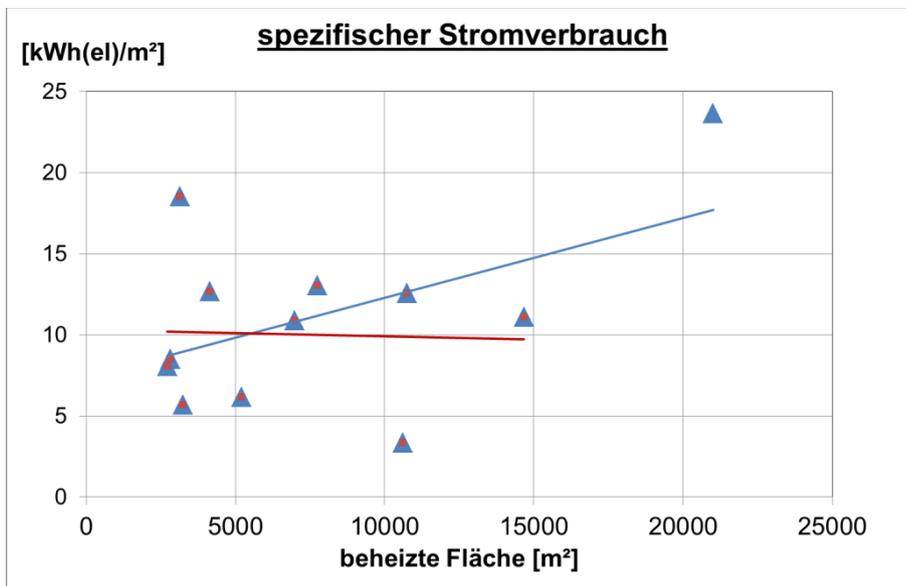
Im Rahmen der Erstellung des SÄGEP für das Unternehmen besteht die Möglichkeit der Generierung von Kennzahlen. Empfohlen wird der Bezug des Wärme- und Stromverbrauchs auf die beheizte Gewächshausfläche bzw. bzgl. des Wasserverbrauchs auf die bewirtschaftete Fläche. Da in allen untersuchten Unternehmen Unterzählungen an der Gewächshäusern fehlten, können nur über die Unternehmen gemittelte Kennzahlen bewertet werden, siehe dazu nachfolgende Abbildungen.

Zunächst soll der spezifische Stromverbrauch der untersuchten Unternehmen verglichen werden.



**Abbildung 98:** spezifischer Stromverbrauch der Unternehmen / Mittelwert(MW)

Die relativ große Streubreite der Kennzahl (max:min = 7:1) ist sowohl mit der technischen Ausstattung als auch mit der Anbaukultur aber nicht mit der Größe des Unternehmens begründbar. Die nachfolgende Abbildung zeigt keinen eindeutigen Trend auf.

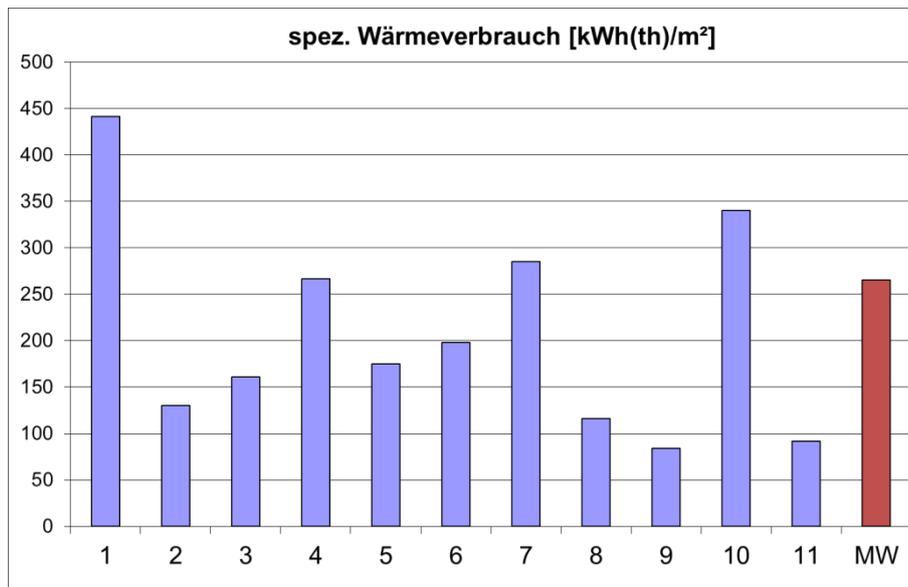


**Abbildung 99:** spezifischer Stromverbrauch als Funktion der Unternehmensgröße

Bewertet man alle Datenpunkte, so ergibt sich eine Proportionalität von Größe (Fläche) und Kennzahl (blaue Trendkurve). Erzeugt man die Trendkurve ohne Berücksichtigung des größten Wertes ist keine Abhängigkeit zu erkennen (rote Trendkurve).

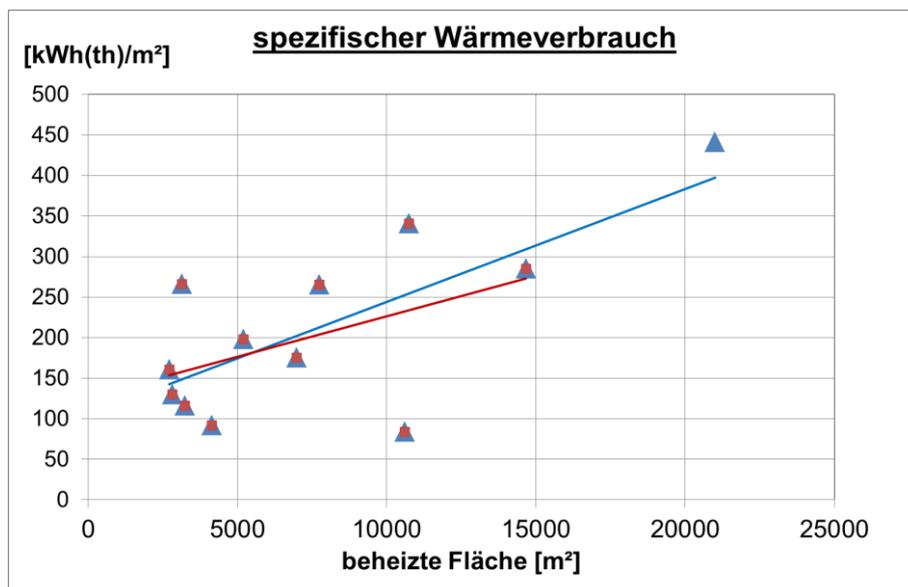
Dies wäre insofern verständlich, dass sich ein größeres Unternehmen als „Summation“ einzelner Gewächshäuser zusammensetzt und der gemeinsame Stromverbrauch, z. B. für Pumpenstrom der Wärmenetze proportional der Gewächshäuser(-fläche) anwächst.

Die nächsten beiden Abbildungen stellen die gebildeten Wärmekennzahlen dar.



**Abbildung 100:** spezifischer Wärmeverbrauch der Unternehmen / Mittelwert(MW)

Die Streubreite der Wärme-Kennzahlen (max:min = 5:1) etwas geringer als beim Strom.



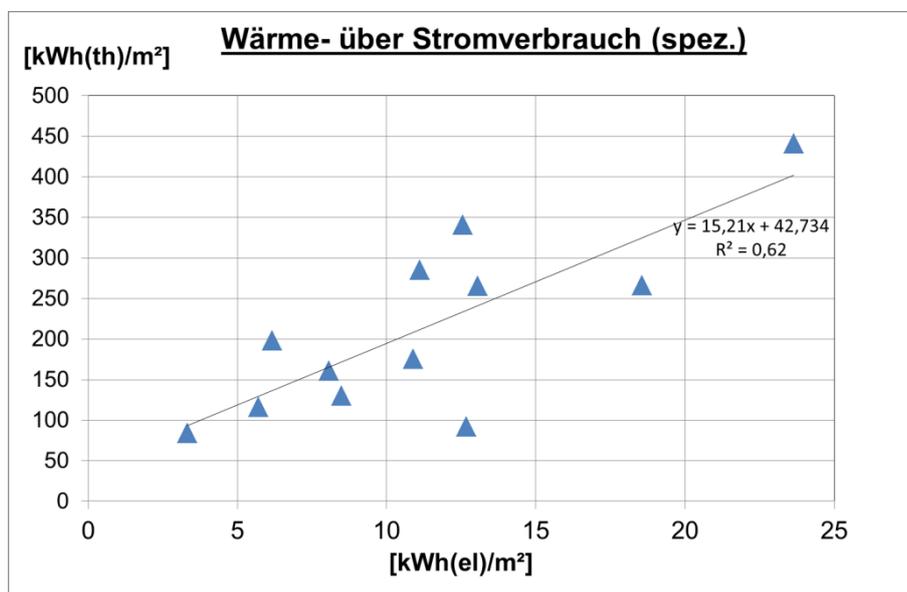
**Abbildung 101:** spezifischer Wärmeverbrauch als Funktion der Unternehmensgröße

Hier bleibt die Abhängigkeit größeres Unternehmen → höhere Kennzahl auch bei unterschiedlich gebildeten Trendlinien (siehe Erläuterung zu **Abbildung 99**) erhalten.

Stellt man die Wärmekennzahl (den Wärmeverbrauch) als Funktion der Stromkennzahl (des Stromverbrauchs) dar, so ergibt sich – abgesehen von einem geringen Offset – ein Zusammenhang der Art:

$$\text{„Wärmekennzahl / Stromkennzahl“} \approx \text{konstant} = 15$$

d. h. hoher Wärmeverbrauch bedeutet auch hohen Stromverbrauch (Stromverbrauch der Wärmeerzeugung und –verteilung). Insgesamt lag das Verhältnis Wärme/Strom bei minimal 7 und maximal 32, die Extremwerte traten bei kleineren Unternehmen auf.



**Abbildung 102:** Wärmeverbrauch als Funktion des Stromverbrauchs

Bemerkenswert ist, dass insbesondere auch die Unternehmen mit großen Flächen einen hohen spezifischen Wärmeverbrauch besitzen, was nicht allein durch die angebauten Kulturen erklärbar ist.

## 10 Zusammenfassung / Ausblick

Im Rahmen des Projektes wurden 11 Unternehmen des sächsischen Zierpflanzenbaus einem detaillierten Energiecheck unterzogen und umfangreiche messtechnische Untersuchungen durchgeführt.

Das Projekt wurde durch die Unternehmen tatkräftig unterstützt, so dass die bei Beginn des Projektes vorhandene „dünne“ Datenbasis sukzessive verbessert werden konnte.

Der Problemstellung „Energie“ sind sich die Unternehmen zwar durch die stets wachsenden Energiekosten bewusst, eine ständige Verbrauchskontrolle oder ein „gelebtes“ Energiemanagement ist eher selten vorhanden. Hier werden insbesondere auch die ersten Ansätze für ein nachhaltiges Wirtschaften gesehen. Eine regelmäßige Erfassung und Bewertung des Strom- und Wärmeverbrauchs ist Grundlage für die Verbesserung der Energieeffizienz in den Unternehmen, insbesondere für die gezielte Einflussnahme auf das Nutzerverhalten.

Auf Grund der nur in geringem Umfang installierten Messtechnik lassen sich oft nur verallgemeinerte Hinweise geben, die gezielte Kontrolle – auch von durchgeführten Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz – ist nur selten möglich.

Auch können Reserven in der gezielten und marktgerechten Energiebeschaffung (z.B. Energiekostenreduzierung durch Optimierung der Energielieferverträge) langfristig nur über die Detailkenntnis der Energieverbrauchsstruktur erzielt werden.

Die Unterstützung der Unternehmen bei der Auswahl, Anschaffung, Installation von Messtechnik sollte als künftiger Fördertatbestand geprüft werden.

Bevor detaillierter Einsparpotenziale benannt werden, sei – wie auch in (13) betont – darauf verwiesen, dass erst alle Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz ausgeschöpft werden sollen, ehe über einen Brennstoffwechsel und/oder die Neuinstallation weiterer Kesselanlagen mit vermeintlich geringeren Kosten nachgedacht wird. Es gilt weiterhin die „Weisheit“: für eine nichtverbrauchte kWh sind die Energiekosten uninteressant.

Im Rahmen des Projektes wurden vor allem folgende Mängel aus energetischer Sicht festgestellt:

- I. Gewächshaushülle
  - a) keine bzw. keine ausreichende Wärmedämmung der Fundamente
  - b) keine bzw. defekte Isolierung der Giebel und Stehwände
  - c) Undichtheiten, z. B. undichte Türen/Tore, Klappen, Leitungsdurchführungen
  - d) Nutzungsdauer der Energieschirme „abgelaufen“, teilweise verschlissen und nicht ausreichend abdichtend

## II. Wärmeerzeugung und –Verteilung

- a) Heizkessel veraltet
- b) kein hydraulischer Abgleich des Verteilsystems
- c) unregelmäßige Heizpumpen (meist auf höchster Leistungsstufe betrieben)
- d) teilweise schlechte Isolierung der Wärmeleitungen und –verteilungen
- e) unzureichende Durchlüftung der Gewächshäuser
- f) Klimacomputer teilweise nur für einzelne Häuser im Einsatz
- g) keine regelmäßige Kontrolle und ggf. Anpassung der Sollwerteinstellungen für Wärmeerzeuger und –verteilung bzw. -abgabesysteme

Insgesamt muss eingeschätzt werden, dass die eingesetzte Technik teilweise veraltet ist und damit nicht mehr dem Stand der Technik entspricht. Die unter wirtschaftlichen Bedingungen erschließbaren Einsparpotenziale werden im Mittel mit >35% beim Wärmeverbrauch und ca. 30% beim Stromverbrauch abgeschätzt

Trotzdem müssen und können auch ohne Neuinstallation Einsparpotenziale erschlossen werden. Nicht zuletzt auch, um eine Überdimensionierung neuer Anlagen zu vermeiden. Allein die Optimierung der Nutzung der bestehenden technischen Anlagen hat Einsparpotenziale kostenseits von bis zu 20%.

Zur Untersetzung der bei den Betriebsrundgängen und Langzeitdatenerfassungen aufgedeckten Einsparpotenziale wurden Detailuntersuchungen an den in den letzten Jahren zusätzlich installierten Kohle- und Biomassekesseln durchgeführt. Neben Problemen der hydraulischen Einbindung wurde insbesondere bei den Kohlekesseln ein schlechter Nutzungsgrad von < 70% festgestellt, welcher vor allem durch den Teillast- und An- bzw. Abfahrbetrieb begründet ist. Biomasse- und Kohlekessel sollten nur als Grundlastkessel eingesetzt werden. Eine Verbesserung der Betriebscharakteristik kann durch einen dem Wärmebedarf angepassten Pufferspeicher erreicht werden.

Zur Verbesserung der Energieberatung von Zierpflanzenbetrieben wurde ein Branchenmodul im Rahmen der Software des Sächsischen Gewerbeenergiepasses (SäGEP) vorbereitet. Bei den sogenannten Querschnittstechnologien (Heizung, Wärmeverteilung, Grundbeleuchtung etc.) wurde auf die vorhandenen Module des SäGEP zurückgegriffen werden.

Die Spezifika des Zierpflanzenbaus wurden in Fragelisten zu den Themen:

- Unternehmen-Zierpflanzenbau (gesamt)
- Gewächshaushülle
- Energieschirm/Verschattung/Verdunklung
- Pflanzenbeheizung
- Anbaustrategie
- Pflanzenbeleuchtung
- Mess- und Regeltechnik für Temperatur und Feuchte
- Gewächshauslüftung
- Be-/Entfeuchtung
- Pflanzenbewässerung
- Verkaufsraum
- CO<sub>2</sub>-Düngung

eingearbeitet.

Es wird empfohlen, diese Fragelisten einem Feldtest zu unterziehen und ggf. zu ergänzen.

Wie bereits betont, schränkt die nur in geringem Umfang vorhandene Messtechnik, insbesondere für die Gewächshäuser selbst, die Kontrolle und Optimierung des Wärmeverbrauchs ein. Weiterführende Untersuchungen sollten sich deshalb z. B. auf Langzeit-Wärmemengenmessungen für einzelne Gewächshäuser (saisonaler Verlauf) und insbesondere auch auf Zusatzuntersuchungen zum Einsatz der Regelstrategien unter realen Bedingungen konzentrieren.



# Tabellenverzeichnis

---

|   |    |
|---|----|
| Tabelle 1: eingesetzte Datalogger .....   | 27 |
| Tabelle 2: Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (Venlo) .....        | 52 |
| Tabelle 3: Prozentuale Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (ZBO) .. | 59 |
| Tabelle 4: Einsparpotentiale baulicher Wärmeschutz .....                                    | 90 |

---

# Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: mittleres Alter der Gewächshäuser .....                                     | 6  |
| Abbildung 2: Alter der Gewächshäuser - unternehmensspezifisch .....                      | 7  |
| Abbildung 3: mittlere Auslastung der Gewächshäuser .....                                 | 7  |
| Abbildung 4: Anteil beheizbarer Gewächshäuser (Mittelwert) .....                         | 8  |
| Abbildung 5: Dachkonstruktion (relativ) .....  | 8  |
| Abbildung 6: Aufbau der Stehwände (relativ).....   | 9  |
| Abbildung 7: Aufbau der Giebel (relativ) .....   | 9  |
| Abbildung 8: Innentemperaturbedarf der Gewächshäuser.....                                | 10 |
| Abbildung 9: typischer Monatstemperaturverlauf (Sommer bzw. Winter).....                 | 11 |
| Abbildung 10: typischer Tagestemperaturverlauf (Sommer bzw. Winter).....                 | 12 |
| Abbildung 11: Anteil von GW mit Energieschirm (relativ).....                             | 13 |
| Abbildung 12: eingesetzte Wärmeübergabesysteme .....                                     | 14 |
| Abbildung 13: Lüftung der Gewächshäuser .....  | 14 |
| Abbildung 14: eingesetzte Arten der Bewässerung .....                                    | 15 |
| Abbildung 15: eingesetzte Regelungen/Steuerungen .....                                   | 16 |
| Abbildung 16: Anteil Zusatzbeleuchtung.....  | 16 |
| Abbildung 17: Umsatz als Funktion der Beschäftigten (rechts Ausschnitt).....             | 18 |
| Abbildung 18: Verhältnis Energiekosten/Umsatz .....                                      | 19 |
| Abbildung 19: Verhältnis Strom- zu Wärmekosten.....                                      | 19 |
| Abbildung 20: Anteil der Energieträger an den Energiekosten (relativ) .....              | 20 |
| Abbildung 21: Nettostromkosten der Unternehmen ohne Leistungsmessung .....               | 21 |
| Abbildung 22: spezifische Heizölkosten (2010) der beteiligten Unternehmen .....          | 21 |
| Abbildung 23: Verhältnis Kraftstoffkosten/Umsatz .....                                   | 22 |
| Abbildung 24: Thermokamera Typ FLIR Cam E2 .....   | 23 |
| Abbildung 25: ausgewählte Wärmebilder .....  | 24 |
| Abbildung 26: Speicher-Netzanalysator WL1 .....  | 25 |
| Abbildung 27: Durchflussmessgerät FLUXUS im Einsatz .....                                | 25 |
| Abbildung 28: Einkanal-Datenlogger für Impuls und Temperatur .....                       | 26 |
| Abbildung 29: Impulsdatenlogger mit Abtastern .....                                      | 28 |
| Abbildung 30: Temperatur-Feuchte-Logger.....   | 28 |
| Abbildung 31: beschädigte Noppenfolien .....   | 33 |
| Abbildung 32: Thermografie-Aufnahme Gewächshaus / unterschiedlich nasses Glas.....       | 34 |
| Abbildung 33 a)-d): Infrarotthermografie (Kohlekessel /Pufferspeicher/Wärmeverteilungen) | 35 |

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 34 a)-d): Infrarotthermografie (Gewächshausaufnahmen).....                     | 35 |
| Abbildung 35 a)-b): Infrarotthermografie (Gewächshaus - Detailaufnahmen) .....           | 36 |
| Abbildung 36 a)+b): Heiztrassen (erdverlegt), rechts Ausgang aus Gewächshaus.....        | 36 |
| Abbildung 37 a)+b): Heiztrassen (oberirdisch).....                                       | 36 |
| Abbildung 38: Monatslastgang Winter- (oben) und Sommermonat (unten).....                 | 38 |
| Abbildung 39: Verteilung der Tagesmaxima im Winter- (links) und Sommermonat (rechts)..   | 39 |
| Abbildung 40: Tageslastgang im Winter- (links) und Sommermonat (rechts).....             | 39 |
| Abbildung 41 a)-f): Tagesstromlastgang für verschiedene Unternehmen.....                 | 40 |
| Abbildung 42 a)-d): Tagesstromlastgang für verschiedene Unternehmen.....                 | 41 |
| Abbildung 43: Anteil der Energieträger am Energieverbrauch (relativ).....                | 42 |
| Abbildung 44: Temperaturverlauf in Gewächshäusern (Winterwoche).....                     | 43 |
| Abbildung 45: Temperaturunterschiede im Gewächshaus (Nord-/Südseite).....                | 44 |
| Abbildung 46: Einfluss Energieschirm auf die Temperatur im Gewächshaus.....              | 44 |
| Abbildung 47: VENLO-Block .....  | 45 |
| Abbildung 48: Breitschiffbauweise .....  | 46 |
| Abbildung 49: CABRIO-Bauweise .....  | 46 |
| Abbildung 50: Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (Block Venlo)  | 53 |
| Abbildung 51: Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 18°C Venlo .....               | 53 |
| Abbildung 52: Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 14°C .....                     | 54 |
| Abbildung 53: spezifischer monatlicher Heizwärmebedarf Venlo-Block.....                  | 54 |
| Abbildung 54: spezifischer, prozentualer monatlicher Heizwärmebedarf Venlo-Block .....   | 55 |
| Abbildung 55: Tagesmitteltemperaturen (aus gemessener Außentemperatur berechnet).....    | 55 |
| Abbildung 56: Klimaregionen in Deutschland nach DIN 18599.....                           | 56 |
| Abbildung 57: Einfluss klimatischer Standort auf spez. Wärmeverbrauch (Venlo-Block)..... | 57 |
| Abbildung 58: Heizlast Venlo-Block bei 18°C (DIN V 18599 / HORTEX / Richtwert).....      | 58 |
| Abbildung 59: Verteilung der flächenanteiligen Transmissionswärmeverluste (ZBO).....     | 59 |
| Abbildung 60: Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 18°C (ZBO).....                | 60 |
| Abbildung 61: Vergleich Ergebnisse DIN 18599 / HORTEX für 14°C (ZBO).....                | 60 |
| Abbildung 62: spezifischer monatlicher Heizwärmebedarf (ZBO) .....                       | 61 |
| Abbildung 63: prozentualer monatlicher Heizwärmebedarf (ZBO) .....                       | 61 |
| Abbildung 64: Einfluss klimatischer Standort auf spez. Wärmeverbrauch (ZBO-Block) .....  | 62 |
| Abbildung 65: Heizlast ZBO bei 18°C DIN V 18599 - HORTEX.....                            | 63 |
| Abbildung 66: Warmlufterzeuger in stehender Ausführung.....                              | 65 |
| Abbildung 67: fahrbarer Warmlufterzeuger.....  | 66 |
| Abbildung 68: Festbrennstoffkessel mit unterem Abbrand.....                              | 67 |
| Abbildung 69: automatischer Heizkessel für Anthrazit .....                               | 68 |

|  |     |
|--|-----|
| Abbildung 70: Kessel mit automatischer Beschickung und Schlackeabführung .....                 | 68  |
| Abbildung 71: Scheitholz-Vergaserkessel mit elektronischer Regelung.....                       | 69  |
| Abbildung 72: Schnittdarstellung durch ein Brennwertgerät.....                                 | 71  |
| Abbildung 73: NT-Ölheizkessel in Dreizugbauweise mit mehrschaliger Konvektionsheizfläche ..... | 72  |
| Abbildung 74: Luftheritzer in den untersuchten Unternehmen .....                               | 74  |
| Abbildung 75: hoher Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Druckverlust Tichelmann-Ring .....  | 75  |
| Abbildung 76: geringer Anteil der gemeinsamen Teilstrecken am Druckverlust .....               | 76  |
| Abbildung 77: Hydraulische Schaltungen .....   | 78  |
| Abbildung 78: hydraulischer Abgleich.....  | 79  |
| Abbildung 79: Beispiel eines Kesselschaltfeldes .....  | 81  |
| Abbildung 80: Heizkennlinien .....   | 82  |
| Abbildung 81: witterungsgeführte Vorlauftemperaturregelung mit Mischer .....                   | 82  |
| Abbildung 82: 3-Wegemischer zur Rücklaufbeimischung .....                                      | 83  |
| Abbildung 83: 3-Wegemischer zur Rücklaufbeimischung .....                                      | 83  |
| Abbildung 84: Mehrkesselanlage als Kaskade mit zentralem Regler .....                          | 84  |
| Abbildung 85 a)+b): Praxisbeispiele für manuelle Lüftungseinstellung .....                     | 86  |
| Abbildung 86: Praxisbeispiel: analoge Regelung.....  | 87  |
| Abbildung 87: Praxisbeispiel für Aktoren (Heizungsmischer, Energieschirmantrieb).....          | 87  |
| Abbildung 88: Screenshot Programm „RC1“ von Claus Viole .....                                  | 88  |
| Abbildung 89: rel. Luftfeuchte / Temperatur - Sommerwoche .....                                | 92  |
| Abbildung 90: rel. Luftfeuchte / Temperatur – Herbstwoche .....                                | 93  |
| Abbildung 91: rel. Luftfeuchte / Temperatur – Winterwoche .....                                | 93  |
| Abbildung 92: rel. Luftfeuchte / Temperatur – Winterwoche (Energieschirm).....                 | 94  |
| Abbildung 93: Differenz Innentemperatur – Taupunkt [K] für Übergangsmonat .....                | 94  |
| Abbildung 94: Differenz Innentemperatur – Taupunkt [K] für Sommermonat .....                   | 95  |
| Abbildung 95: Auszüge aus einem Abschlussbericht (Struktur Stromverbrauch) .....               | 97  |
| Abbildung 96: Auszüge aus einem Abschlussbericht (Einsparpotenzial Wärme) .....                | 98  |
| Abbildung 97: Ausschnitt SäGEP-Software .....  | 99  |
| Abbildung 98: spezifischer Stromverbrauch der Unternehmen .....                                | 100 |
| Abbildung 99: spezifischer Stromverbrauch als Funktion der Unternehmensgröße .....             | 100 |
| Abbildung 100: spezifischer Wärmeverbrauch der Unternehmen .....                               | 101 |
| Abbildung 101: spezifischer Wärmeverbrauch als Funktion der Unternehmensgröße .....            | 101 |
| Abbildung 102: Wärmeverbrauch als Funktion des Stromverbrauchs.....                            | 102 |

# Literaturverzeichnis

---

1. Bergmann, Ivo. *Diplomarbeit*. Leipzig: HTWK, 2010.
2. Solarcomputer. *Software Solarcomputer B 54 Energieeffizienz in Gebäuden*.  
Version 5.04.08.
3. Institut für Technik in Gartenbau und Landwirtschaft, Universität Hannover.  
*Software Hortex® (HORTicultural Technical EXPertsystem)*. Version 4.1.
4. Schramek, Ernst-Rudolf. *Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2011/2012*. München :  
Oldenbourg Industieverlag GmbH, 2011.
5. Weischede, Markus.
6. *Heizkosteneinsparung im Unterglasgartenbau*. s.l. : Aid Infodienst, 2007.  
ISBN 978-3-8308-0701-8.
7. *Broschüre „Erdgas in Gärtnereien“* . s.l. : BDEW, 2009.
8. ZVG. *Energiekonzept Gartenbau*.
9. BVZ, ZMP u. *Marktanalyse Zierpflanzen / Sondererhebung Energie*. 2008.
10. *Rationelle Energienutzung im Gartenbau*. Lange et al. . 2002.
11. *Energetische Nutzung von Biomasse im Unterglasanbau (Umfrageergebnisse)*.  
Dr. Isabelle Philipp. 2005.
12. Hack, Gabriele. *Instrumente zur rationellen Energienutzung (Vortrag)*.
13. *Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) /  
Fachgruppe Technik und Bauwesen im Gartenbau*. 2006.
14. *KTBL-Heft 56 „Brennpunkt Energie – Reduktion von Energiekosten im Gartenbau“*.

## Datenerfassung (Beispiel)

### Unternehmensdaten

Firmenanschrift: Gartenbau Muster  
Musterstraße 1  
01234 Musterstadt

Ansprechpartner: Frau/Herr Muster

Telefonnummer: (0123) 456789

Mitarbeiterzahl: 9

Jahresumsatz: ca. 400.000 Euro

### Erfassung des Energie- und Wasserverbrauches

|                             | Jahresverbrauch<br>kWh, m <sup>3</sup> , Liter | gemessen/geschätzt | Jahreskosten<br>Euro (netto) |
|-----------------------------|--|--------------------|------------------------------|
| Strom                       | 30.030 kWh                                     | gemessen           | 5051                         |
| Gas                         |  |                    |                              |
| Flüssiggas                  |  |                    |                              |
| Heizöl                      | 88.900 Liter                                   | gemessen           | 49972                        |
| Diesel (ohne Privatnutzung) | 8.600 Liter                                    | gemessen           | 8745                         |
| Benzin (ohne Privatnutzung) |  |                    |                              |
| Regenwasser                 | 4.500 m <sup>3</sup>                           | geschätzt          | -                            |
| Brunnenwasser               | 22.500 m <sup>3</sup>                          | geschätzt          | -                            |
| Stadtwasser                 |  |                    |                              |
| Abwasser                    |  |                    |                              |
|                             |  |                    |                              |
|                             |  |                    |                              |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 2/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        A  
 Fläche :        122 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                          | <b>Bemerkungen</b> |
|---|--|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 1                         |                    |
| Bauweise  | Anlehngewächshaus                            |                    |
| Verglasung  | einfach                                      |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne   |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Oktober – Mai: 8 – 10°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne   |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert                   |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                              |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Schlauch                         |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 3/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        B  
 Fläche :        1.213 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                       | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2                      |                    |
| Bauweise  | freistehend                               |                    |
| Verglasung  | Doppelfolie                               |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                      |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | Warmluftheizung<br>November – April: –2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                      |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Seitenlüftung RAM-gesteuert               |                    |
| Ausstattung Meß-<br>und Regeltechnik                            | RAM                                       |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen                     |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 4/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        C, D, E  
 Fläche :        1.743 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                      | <b>Bemerkungen</b> |
|---|--|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2 und 3               |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise                            |                    |
| Verglasung  | einfach                                  |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                     |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Oktober – Mai: +2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                     |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert               |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                          |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen                    |                    |

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        F, G  
 Fläche :        1.144 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                      | <b>Bemerkungen</b> |
|---|--|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 3 und 4               |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise                            |                    |
| Verglasung  | einfach                                  |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                     |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Oktober – Mai: +2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                     |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert               |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                          |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen                    |                    |

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        H  
 Fläche :        572 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>   | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Vermehrung aller Kulturen und<br>Abtreiben von Kultur 2 und 3 |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise   |                    |
| Verglasung  | einfach   |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | einfach mit Schattierung  |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Untertischheizung<br>September – Juni: +15°C         |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne  |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert  |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe   |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Schlauch  |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 7/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        I  
 Fläche :        105 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                     | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2 (Mutterpflanzen)   |                    |
| Bauweise  | Einbau zwischen 2 Blöcken               |                    |
| Verglasung  | einfach                                 |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                    |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Oktober – Mai: 0°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                    |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert              |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM                                     |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Schlauch                    |                    |

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        J, K  
 Fläche :        1.056 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                       | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2                      |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise                             |                    |
| Verglasung  | einfach                                   |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                      |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | Wärmeluftheizung<br>Oktober – Mai: -2°C   |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                      |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung manuell                      |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                           |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Schlauch und Beregnungsanlage |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 9/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        L, M, N  
 Fläche :        1.154 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>   | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 3  |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise   |                    |
| Verglasung  | einfach   |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | einfach mit Schattierung  |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>September – November u. März -Mai: +14°C<br>Dezember – Februar: +4°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne  |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert  |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe   |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen   |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 10/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        O, P  
 Fläche :        769 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                      | <b>Bemerkungen</b> |
|---|--|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2                     |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise                            |                    |
| Verglasung  | einfach                                  |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | einfach                                  |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | obere Rohrheizung<br>Oktober – Mai: +2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                     |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert               |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                          |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen                    |                    |

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        Q, R  
 Fläche :        1.056 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                     | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2 und 5              |                    |
| Bauweise  | Blockbauweise                           |                    |
| Verglasung  | einfach                                 |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                    |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | Wärmeluftheizung<br>Oktober – Mai: -2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                    |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Firstlüftung RAM-gesteuert              |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM Mischgruppe                         |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Schlauch / Regenrohre       |                    |

**Energie-Check in Zierpflanzenbaubetrieben – Datenerfassungsbogen 12/15**  
**(anonymisierte Daten)**

**Erfassung der Gewächshäuser**

Haus-Nr.        S  
 Fläche :        556 m<sup>2</sup>

| <b>Merkmal</b>  | <b>Beschreibung</b>                       | <b>Bemerkungen</b> |
|---|---|--------------------|
| Kulturen<br>- Pflanzenarten<br>- Anbauzeiten                    | ganzjährig: Kultur 2                      |                    |
| Bauweise  | freistehend                               |                    |
| Verglasung  | Doppelfolie                               |                    |
| Energieschirm<br>- Bauart<br>- Nutzung                          | ohne                                      |                    |
| Beheizung<br>- Systemaufbau<br>- Heizzeit<br>- Heiztemperaturen | Warmluftheizung<br>November – April: -2°C |                    |
| Beleuchtung<br>- Beleuchtungszeit<br>- Beleuchtungsstärke       | ohne                                      |                    |
| Ausstattung<br>Belüftungsanlage                                 | Seitenlüftung RAM-gesteuert               |                    |
| Ausstattung Mess-<br>und Regeltechnik                           | RAM                                       |                    |
| Bewässerung   | manuell mit Gießwagen                     |                    |

**Erfassung der Heizungs- und Warmwasseranlagen**

| <b>Merkmal</b>   | <b>Beschreibung</b>   | <b>Bemerkungen</b> |
|--|---|--------------------|
| Wärmeerzeuger<br>- Typ<br>- Art<br>- Anzahl<br>- Leistung<br>- Baujahr<br>- Energieträger<br>- Regelausstattung  | Viessmann Paromat Triplex<br>NT-Kessel<br>2<br>je 1.200 KW<br>1993/1997<br>Heizöl<br>standard |                    |
| Heizsystem<br>- Aufbau<br>- Leitungslängen<br>- Betriebsweise<br>- Regelausstattung<br>- Dämmzustand   | Rohrsystem<br><br>RAM standard<br>standard  |                    |
| Heizungspumpen<br>- Typ<br>- Betriebsweise<br>- Energieeffizienz<br>- Regelung   | Wilo (Stufenschaltung)<br><br>RAM   |                    |
| Speicher<br>- Volumen<br>- Bauart<br>- Betriebsweise<br>- Regelausstattung   | ohne  |                    |
| Warmwasseranlage<br>- Wärmeerzeuger<br>- Temperaturbereich<br>- Verwendung<br>- Menge<br>- Speicher<br>- Pumpen<br>- Zirkulation<br>- Regelausstattung | Wärmepumpe<br><br>Warmwasserversorgung Sanitärgebäude   |                    |



