



# **Geothermienutzung und Temperatursteuerung**

## **Ergebnisse aus der LVG Heidelberg**

**Adrian Albers**

**Fachtagung Poinsettien in Dresden Pillnitz**

**14.10.2017**



**Baden-Württemberg**



# Geothermienutzung

Adrian Albers

Fachtagung Poinsettien in Dresden Pillnitz

14.10.2017



Baden-Württemberg

## Eindeckung Alltop – Doppelstegplatten 2,5W/m<sup>2</sup>K

- Grundfläche: 750 m<sup>2</sup>, davon 432 m<sup>2</sup> netto Fläche
  - Davon 2 Abteile
- Hüllfläche: 520 m<sup>2</sup>
- Dachfläche, inklusive Giebeldreieck: 832 m<sup>2</sup>



## Schirme

- Tagesenergieschirm: 12 % Lichtdämpfung; 46 % Wärmeisolation
  - Seitenschirm: 40 % Lichtdämpfung; 55 % Wärmeisolation
  - Schattierschirm: 68 % Lichtdämpfung; 63 % Wärmeisolation
-

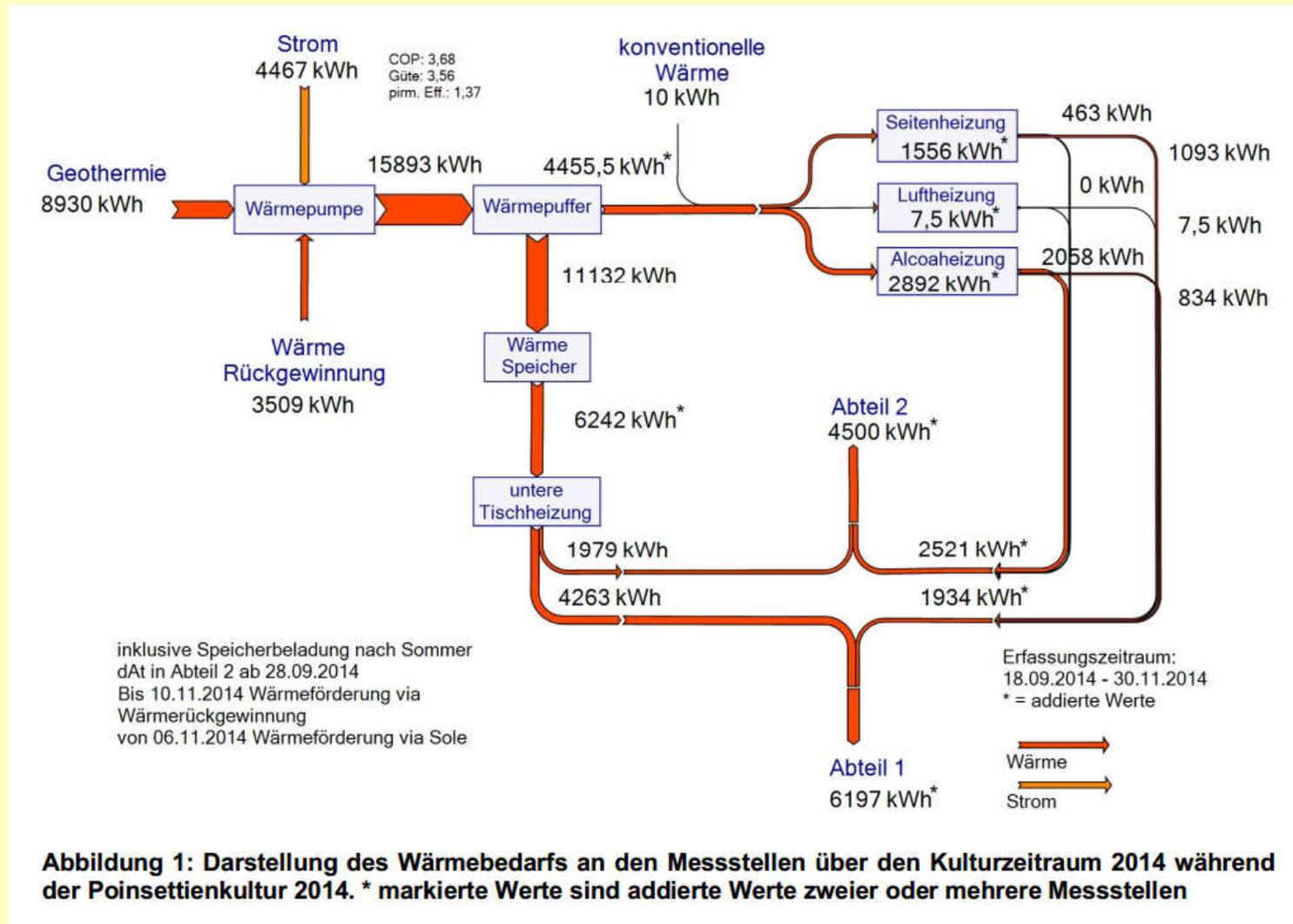


## Geothermie-Gewächshaus

- Haus 14 – beide Abteilungen
- West – Ost Ausrichtung
- Wärmepumpenleistung: 75 kWh
- Gasheizung zur Spitzenlastdeckung

## Wärmemengenmessung

- Durchflusszähler der Firma Krohne
- Temperaturmessung durch die MSR
- Verrechnung zur Wärmemenge durch den Klimarechner



- Coefficient of Performance (COP) – Leistungszahl

$$\varepsilon_{WP} = \frac{\dot{Q}_h}{P_{el}} \quad \frac{42.659 \text{ kWh}}{14.830 \text{ kWh}} = 2,88 \quad \frac{55.448 \text{ kWh}}{12.940 \text{ kWh}} = 4,28$$

[2014] [2015]

- primärenergetische Bilanz

$$\varepsilon_{pri WP} = \frac{\dot{Q}_h}{(P_{el} * f_p)} \quad \frac{42.659 \text{ kWh}}{(14.830 \text{ kWh} * 2,6^1)} = 1,11 \quad \frac{55.448 \text{ kWh}}{(12.940 \text{ kWh} * 2,4^2)} = 1,79$$

[2014] [2015]

$f_p$  seit 2016 bei 1,8 [ENEV 2015].

<sup>1</sup> = Nach EnEV 2009 Anlage 1 Abschnitt 2.1.1

<sup>2</sup> = Nach EnEV 2015 Anlage 1 Abschnitt 2.1.1

$\dot{Q}_h$  = nutzbare Wärmemenge       $P_{el}$  = elektrische Leistung       $f_p$  = Primärenergiefaktor  
 $\varepsilon_{WP}$  = Leistungszahl               $\varepsilon_{pri WP}$  = Energiebilanz Wärmepumpe

$$U_{cs} = \frac{\sum^{Nacht} Q_{cs}}{A_s} \cdot \frac{1}{A_g(\theta_i - \theta_e)t}$$

**Tabelle 29: Kennzahlen und Messwerte der Temperaturen und Wärmemenge zur Berechnung des Wärmeverbrauchs-koeffizient (U<sub>cs</sub>-Werts)**

mit:

$Q_{cs}$	= Energieverbrauch	[Wh]
$U_{cs}$	= Wärmeverbrauchs-koeffizient	[W / m <sup>2</sup> K]
$A_g$	= Grundfläche	[m <sup>2</sup> ]
$A_s$	= Hüllflächen	[m <sup>2</sup> ]
$\theta_i$	= Innentemperatur	[ °C]
$\theta_e$	= Außentemperatur	[ °C]
$t$	= Zeit	[h]

$Q_{cs}$	= 42171	[Wh]
$A_g$	= 750	[m <sup>2</sup> ]
$F$	= 1,27	
$A_s = A_g * F$	= 952,5	[m <sup>2</sup> ]
$\theta_i$	= 16,34	[ °C]
$\theta_e$	= 4,1	[ °C]
$U_{cs}$	= 3,65 ±0,53	[W / m <sup>2</sup> K]

Tabelle 39: Amortisationszeit in Jahren, für einen Erdgaspreis von 0,064 € und einem Strompreis von 0,161 € pro Kilowattstunde (2014)

	<b>Eg-1En</b> <b>U<sub>CS</sub> 4,6</b>	<b>Ig-0En</b> <b>U<sub>CS</sub> 4</b>	<b>Ig-1En</b> <b>U<sub>CS</sub> 3</b>	<b>Ig-2En</b> <b>U<sub>CS</sub> 2,1</b>	<b>Ig-3En</b> <b>U<sub>CS</sub> 1,2</b>
<b>JAZ 2,8</b>	20,44	20,67	21,31	20,99	21,51
<b>JAZ 2,88</b>	19,39	19,62	20,27	19,95	20,49
<b>JAZ 3</b>	18,09	18,32	18,97	18,66	19,21
<b>JAZ 3,5</b>	14,70	14,93	15,55	15,27	15,81
<b>JAZ 4</b>	12,89	13,10	13,70	13,44	13,97
<b>JAZ 4,28</b>	12,20	12,41	12,99	12,74	13,26

JAZ = Jahresarbeitszahl

U<sub>CS</sub> = Wärmeverbrauchskoeffizient

Eg = Einfachglas

Ig = Isolierglas

En = Energieschirm

Tabelle 40: Amortisationszeit in Jahren, für Erdgaskosten von 0,064 € und einem Stromkosten von 0,134 € pro Kilowattstunde (Grenzbetrachtung für 15 Jahre Einfachglas mit einem Energieschirm bei einer JAZ von 2,88)

		<b>Eg-1En</b> <b>U<sub>cs</sub> 4,6</b>	<b>Ig-0En</b> <b>U<sub>cs</sub> 4</b>	<b>Ig-1En</b> <b>U<sub>cs</sub> 3</b>	<b>Ig-2En</b> <b>U<sub>cs</sub> 2,1</b>	<b>Ig-3En</b> <b>U<sub>cs</sub> 1,2</b>
<b>JAZ</b>	<b>2,8</b>	15,51	15,74	16,37	16,08	16,63
<b>JAZ</b>	<b>2,88</b>	14,99	15,22	15,84	15,57	16,11
<b>JAZ</b>	<b>3</b>	14,33	14,55	15,17	14,90	15,44
<b>JAZ</b>	<b>3,5</b>	12,44	12,65	13,23	12,99	13,50
<b>JAZ</b>	<b>4</b>	11,32	11,52	12,07	11,84	12,34

Tabelle 41: Amortisationszeit in Jahren, für Erdgaskosten von 0,064 € und einem Stromkosten von 0,1293 € pro Kilowattstunde (Grenzbetrachtung für 15 Jahre Isolierglas + zwei Schirme bei einer JAZ von 2,88 [Anlehnung an Heidelberger Variante])

		<b>Eg-1En</b> <b>U<sub>cs</sub> 4,6</b>	<b>Ig-0En</b> <b>U<sub>cs</sub> 4</b>	<b>Ig-1En</b> <b>U<sub>cs</sub> 3</b>	<b>Ig-2En</b> <b>U<sub>cs</sub> 2,1</b>	<b>Ig-3En</b> <b>U<sub>cs</sub> 1,2</b>
<b>JAZ</b>	<b>2,8</b>	14,88	15,11	15,73	15,46	16,00
<b>JAZ</b>	<b>2,88</b>	14,43	14,65	15,26	14,99	15,53
<b>JAZ</b>	<b>3</b>	13,83	14,05	14,66	14,39	14,93
<b>JAZ</b>	<b>3,5</b>	12,12	12,32	12,90	12,66	13,16
<b>JAZ</b>	<b>4</b>	11,09	11,28	11,83	11,60	12,09

- Zunehmende Isolierung steigert die Kosten für die Investition.
- Zunehmende Isolierung senkt die Kosten für Energie.
- Zunehmende Jahresarbeitszahl senkt zusätzlich die Stromkosten.
  - Möglichst geringen Temperaturerhöhung nutzen
- Zunehmende Spanne von Stromkosten (teurer) zu Gas (günstiger) senkt die Rentabilität.



# Temperatursteuerung

Adrian Albers

Fachtagung Poinsettien in Dresden Pillnitz

14.10.2017



Baden-Württemberg

# dynamische Außentemperaturkorrektur (dAt)

## - Formel

$$HT_{akt} = HT_{Basis} + k * F_{AT} * (AT_{Ist} - AT_{Soll}) - TSK$$

### Bedingungen:

WENN  $AT_{Ist} > HT_{Basis}$ , DANN  $F_{AT} = 0$

WENN  $AT_{Ist} \leq HT_{Basis}$ , DANN  $F_{AT} = 0,3$

WENN  $AT_{Ist} - AT_{Soll} > 0$ , DANN  $k = 1$

WENN  $AT_{Ist} - AT_{Soll} < 0$ , DANN  $k = 2$

WENN  $TS_{Ist} - TS_{Soll} > 1000Kh$ ,

DANN  $TSK = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} - 1000)^3$

WENN  $TS_{Ist} - TS_{Soll} < -1000Kh$ ,

DANN  $TSK = F_{TS} * (TS_{Ist} - TS_{Soll} + 1000)^3$

$HT_{akt}$  = aktualisierter Heizungswert in °C

$HT_{Basis}$  = Basis-Heizungswert in °C

$k$  = Faktor für Absenkung / Anhebung

$F_{AT}$  = Skalierungsfaktor Außentemperaturkorrektur

$AT_{Ist}$  = Ist-Wert Außentemperatur in °C

$AT_{Soll}$  = Erwartungswert der Außentemperatur

$TS_{Ist}$  = Ist-Wert Temperatursumme in °C \* h

$TS_{Soll}$  = Sollwert Temperatursumme in °C \* h

$F_{TS}$  = Skalierungsfaktor Temperatursumme ( $10^{-7}$ )

$TSK$  = Temperatursummenkorrektur

## Nutzung der Wärmeintegration

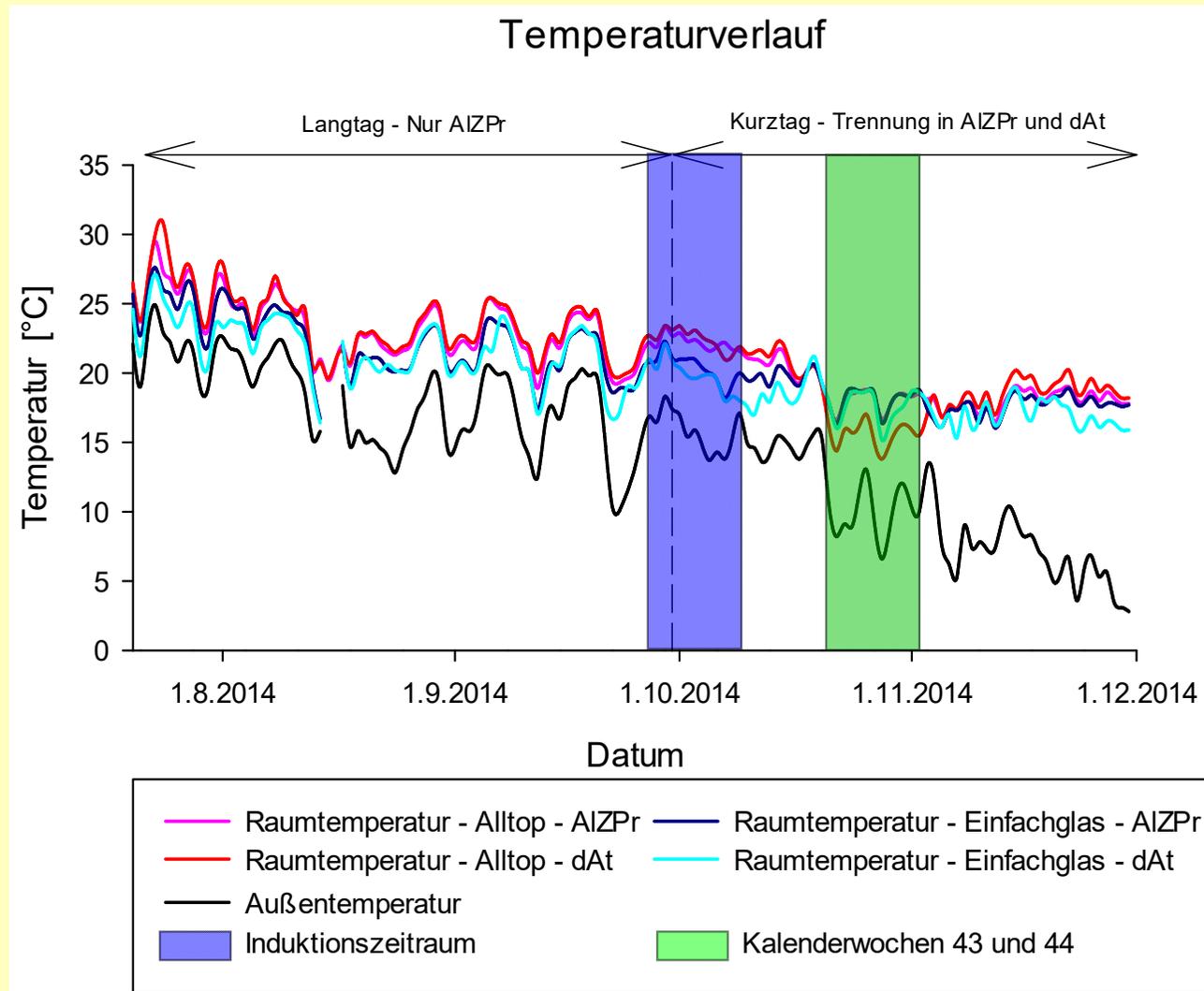
Pflanzen können Zeiten mit geringen Wachstum auf Grund niedrigen Temperaturen in Zeiten mit stärkeren Wachstum auf Grund höherer Temperaturen ausgleichen.

Wärmeintegrationsfähigkeit der Pflanzen  
+  
Zeitabhängige Schwenkung des Heizbedarfs  
=  
Chance zur Energieeinsparung

Die dAt wurde von 2012 - 2015 an Weihnachtssternen getestet.  
Das erste Versuchsjahr diente zur Sortenfindung.

Sollwerte (°C)	Langtag			Kurztag "Allgemeines Zeit Programm"		Kurztag Dynamische Außentemperaturkorrektur		
	Kw 30-32	Kw 33-37 (13.08.-13.09.13.) "Absenkung der Lüftungstemperatur", Dauer: 4h nach Sonnenaufgang	Ab Kw 37-40	Anfang von Kw 40-44	Ab Fr von Kw 45-47	Anfang von Kw 40-44	Ab Fr von Kw 45-47	
<b>Heizung</b>	8 °C	Absenkung	Normal	16	16	17	16	17
		8	8					
<b>Lüftung</b>	22 °C	10	22	20	18 20 (von Kw 42)	21	18 20 (von Kw 42)	21
<b>Tagesmittel- temperatur (TMT)</b>	-	21			17			
<b>tatsächliche Tagesmittel- temperatur Gewächshaus 14 2013</b>	-	Ort 14.1	Ort 14.2	18,1	16,3			
		22,3	22,6					

dAt 2012 + 2013 mit TSK 1000, 2014 Kappung 21°C, 2015 7-Tagesmittel



Die dAt wurde von 2012 - 2015 an Weihnachtssternen getestet.  
Das erste Versuchsjahr diente zur Sortenfindung.

**Tabelle 21: Wärmemenge der Varianten gemessen mit OPTIFLUX 1100c ohne Korrektur unter Alltop Jahr: 2013;**

<b>Krohne OPTIFLUX 1100c</b>			
<b>Messzeitraum 04.09.-4.12.2013</b>			
	<b>Alltop -statisch-</b>	<b>Alltop -dynamisch-</b>	<b>%-Ersparnis</b>
<b>13.09.2013-01.10.2013</b> <b>„Langtag“</b>	1538,0	643,6	58
<b>02.10.2013-01.12.2013</b> <b>„Kurztag“</b>	5969,1	5363,1	10
<b>Gesamter Wärmebedarf im Messzeitraum</b>	<b>7507,1</b>	<b>6006,7</b>	<b>20</b>



Sorten der AIZPr Variante im Vergleich. Aufnahme vom 09.12.2013.  
Von links nach rechts Neva Red, Scandic Red, Ouverture Dark Red, Christmas Day und Christmas Glory



Sorten der dAt - Variante im Vergleich. Aufnahme vom 09.12.2013.  
Von links nach rechts Neva Red, Scandic Red, Ouverture Dark Red, Christmas Day und Christmas Glory

- Standardvariante tendenzielle besser
- beide Varianten mit guten Gesamteindruck
- Reaktionszeitverlängerung bei dAt innerhalb einer Woche

Zusätzliches Versuchsglied der Eindeckung Alltop und Einfachglas.

**Tabelle 22: Wärmemenge der Varianten gemessen mit OPTIFLUX 1100c ohne Korrektur unter Alltop und Einfachglas Jahr: 2014; dAt-Variant: Temperatursummenkontrolle 1000 Kh mit 21 °C Kappung**

	<b>Krohne OPTIFLUX 1100c</b>			
	<b>Messzeitraum 21.07.-30.11.2014</b>			
	<b>Alltop -statisch-</b>	<b>Alltop -dynamisch-</b>	<b>Einfachglas -statisch-</b>	<b>Einfachglas -dynamisch-</b>
<b>kWh gemessen</b>	6460	4544	4110	2166
<b>brutto m<sup>2</sup></b>	370	370	116	116
<b>netto m<sup>2</sup></b>	216	216	80	80
<b>kWh pro brutto m<sup>2</sup></b>	17,46	12,28	35,43	18,67
<b>kWh pro netto m<sup>2</sup></b>	29,91	21,04	51,38	27,08
<b>Pflanze pro m<sup>2</sup></b>	13	13	12	12
<b>kWh pro Pflanze</b>	2,3	1,62	4,28	2,26
<b>% zu Standard</b>	54	38	100	53



Sorten der dAt - Variante unter Alltop im Vergleich. Aufnahme vom 16.12.2014.  
Von links nach rechts Christmas Glory, Early Mars, Neva Red

- Qualität bei allen Pflanzen gut
- Reaktionszeitverlängerung durch dAt innerhalb einer Woche
- Kulturzeitverlängerung von einer Woche bei Alltop
  - Bedingt durch höherer Temperaturen während der Induktionszeit



Sorten der AlZPr - Variante unter Alltop im Vergleich. Aufnahme vom 16.12.2014.  
Von links nach rechts Christmas Glory, Early Mars, Neva Red

- Qualität bei allen Pflanzen gut
- Reaktionszeitverlängerung durch dAt innerhalb einer Woche
- Kulturzeitverlängerung von einer Woche bei Alltop
  - Bedingt durch höherer Temperaturen während der Induktionszeit

## Nur Vergleich unter Alltopeindeckung

Tabelle 23: Wärmemenge der Varianten gemessen mit OPTIFLUX 1100c ohne Korrektur unter Alltop Jahr: 2015; dAt-Variant: 7-Tagesmittel

	<b>Krohne OPTIFLUX 1100c</b>	
	<b>Messzeitraum 21.07.-18.11.2015</b>	
	<b>Alltop -statisch-</b>	<b>Alltop -dynamisch-</b>
<b>kWh gemessen</b>	4389	4125
<b>brutto m<sup>2</sup></b>	370	370
<b>netto m<sup>2</sup></b>	216	216
<b>kWh pro brutto m<sup>2</sup></b>	11,99	11,27
<b>kWh pro netto m<sup>2</sup></b>	20,32	19,10
<b>Pflanze pro m<sup>2</sup></b>	11	11
<b>kWh pro Pflanze</b>	1,85	1,77
<b>% zu Standard</b>	100	93,04

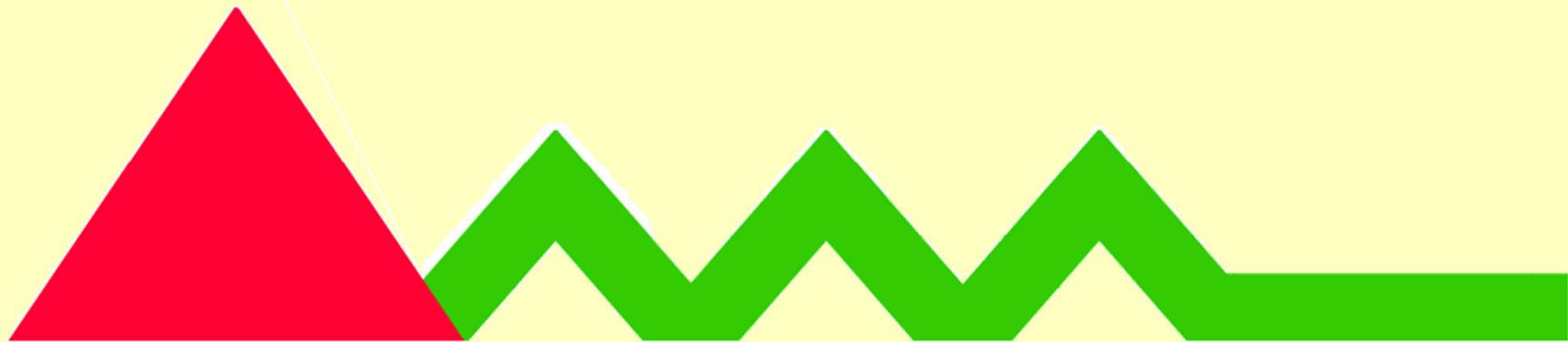


Sorten 'Neva Red' und 'Christmas Glory' beider Varianten unter Alltop im Vergleich. 'Neva Red' - Alltop: links; 'Neva Red' - dAt: mitte links; 'Christmas Glory' - dAt: mitte rechts; 'Christmas Glory' - Alltop: rechts. Aufnahme vom 01.12.2015.

- alle Sorten zeitgleich verkaufsfertig
- dAt-Variante ein kompakteres Wachstum mit größeren Brakteen
- Farbausprägung in der dAt-Variante kontrastreicher und differenzierter

# Fazit

- **Wärmepumpe**
  - 2014 COP-Wert von 2,88, Zielwert von 4 nicht erreicht
    - Grund:  $\Delta T$  von Sole- zu Heizwasserkreis mit  $\sim 50^\circ\text{C}$  zu hoch
    - innerhalb von 15 Jahren unwirtschaftlich
  - 2015 COP-Wert von 4,28, Zielwert von 4 erreicht
    - Somit innerhalb von 13 Jahren wirtschaftlich
  - Primärenergie Einsatz immer  $> 1$  somit ökologisch sinnig
- **Dynamische Außentemperatur**
  - Gleichwertige Qualitäten
  - Senkung des Energiebedarfs
  - Kulturzeitverlängerung von paar Tagen möglich
    - Nicht mehr als eine Woche



# LVG Heidelberg

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit und eine frohe Diskussion.

Dank für die Mitwirkenden des Versuchsbetriebes