



Stadtgärtnerei Zürich

Thermische Simulationen - Schlussbericht

<u>Bericht zuhanden von:</u>	Frau Yvonne Fürer Amt für Hochbauten der Stadt Zürich Lindenhofstrasse 20 8021 Zürich
<u>Datum:</u>	24.02.2010
<u>Vorgaben:</u>	Sanierungsstudie Energie/Bauphysik inkl. Baupläne, BAKUS, 14.8.2009 Bericht über die Sanierung der Stadtgärtnerei Zürich, Jardin Suisse, 17.09.2009 Sitzung 9.02.2010 Luftbilder
<u>Projektbearbeiter:</u>	Yannick Bischoff HES-SO // Wallis Route du Rawyl 47 027 606 87 33 yannick.bischoff@hevs.ch

1	<u>EINFÜHRUNG.....</u>	<u>3</u>
2	<u>ARBEITSHYPOTHESEN</u>	<u>3</u>
2.1	UNGEWÖHNLICHEN BETRIEBSBEDINGUNGEN	3
2.2	VORGEHEN	3
2.3	ÜBERHITZUNGSGEFAHR	4
2.4	ENERGIESCHIRME	4
2.5	TRANSPARENTE BAUTEILE	4
3	<u>ERGEBNISSE.....</u>	<u>5</u>
3.1	GEWÄCHSHAUS 10.....	6
	BETRIEBSPARAMETER	6
	SANIERUNGSVARIANTEN	6
	ERGEBNISSE	6
	KOMMENTAR	6
3.2	TROPENHAUS.....	7
	BETRIEBSPARAMETER	7
	SANIERUNGSVARIANTEN	7
	ERGEBNISSE	7
	KOMMENTAR	7
3.3	PALMENHAUS	8
	BETRIEBSPARAMETER	8
	SANIERUNGSVARIANTEN	8
	ERGEBNISSE	8
	KOMMENTAR	8
4	<u>LÜFTUNG.....</u>	<u>9</u>
4.1	REGULIERUNG	9
4.2	WÄRMERÜCKGEWINNUNG	9
5	<u>ZUSAMMENFASSUNG</u>	<u>9</u>
	<u>ANHANG I : DETAILLIERTE VARIANTENANGABEN.....</u>	<u>10</u>

1 Einführung

Dieser Bericht präsentiert die Ergebnisse der Simulation des Gewächshauses 10, des Tropenhauses und des Palmenhauses. Diese Simulation wurde mit Hilfe der Software Hortisol, welche an der HES-SO // Wallis entwickelt worden ist, durchgeführt. Analysiert wurden der Ist-Zustand sowie verschiedene Sanierungsvarianten. Dank einer dynamischen Berechnung ermöglicht Hortisol, den Wärmebedarf und die Temperatur im Gewächshaus zu evaluieren.

2 Arbeitshypothesen

2.1 Ungewöhnlichen Betriebsbedingungen

Die Gebäude der Stadtgärtnerei Zürich sind weder herkömmliche Wohngebäude noch herkömmliche Gewächshäuser. Die Pflanzen der Stadtgärtnerei produzieren deutlich weniger Feuchte als Tomatenkulturen, aber deutlich mehr Feuchte als ein Verwaltungsgebäude.

Die Feuchteproduktion hat zwei Folgen:

1. Das Wasser muss zuerst verdunstet werden, was zu einer Abkühlung führt. Im Winter muss diese Abkühlung durch Heizenergie korrigiert werden. Im Sommer hat die Abkühlung einen positiven Einfluss auf die Überhitzungsgefahr.
2. Die produzierte Feuchte bedingt einen hohen Luftwechsel, wodurch die Wärmeverluste erhöht werden.

2.2 Vorgehen

Hortisol bietet die Möglichkeit, die minimale Lüftung einzustellen und eine künstliche Wasserverdunstung zu aktivieren, um Überhitzung zu vermeiden. Dies ermöglicht eine zuverlässige Simulation auch mit den ungewöhnlichen Betriebsparametern der Stadtgärtnerei Zürich. Für diese Studie, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Bestimmung der Wasserverdunstungsmasse für winterliche und sommerliche Bedingungen. Es wurde davon ausgegangen, dass die zu verdunstende Wassermenge (m_{Wasser}) der Verdunstung einer halben freien Wasseroberfläche (Winter: 18 oder 16°C, Luftfeuchtigkeit 70%, kein Wind. Sommer: 24°C, 70%, Wind 1 m/s) entspricht.
2. Berechnung der Minimallüftung (V_{min}) für winterliche Bedingungen, um die produzierte Feuchte (m_{Wasser}) zu evakuieren (Aussen: 0°C, 90% Luftfeuchtigkeit; Innen 16 oder 18°C, Luftfeuchtigkeit 70%). Dieser Wert wird als Input für die Simulationen benutzt.
3. Berechnung des Abkühlungspotentials (Verdunstung Sommer) für sommerliche Bedingungen. Dieser Wert wird ebenfalls als Input für die Simulationen benutzt.
4. Berechnung der Wasserverdunstungsenergie (Q_{vd}) für winterliche Bedingungen. Diese Energie wird zu den Simulationenergebnissen hinzugefügt.
5. Simulierung des Heizwärmebedarfs mit Hortisol (Q_{h}) mit den oben beschriebenen Parametern.
6. Berechnung des gesamten Heizwärmebedarfs ($Q_{\text{tot}} = Q_{\text{h}} + Q_{\text{vd}}$)

2.3 Überhitzungsgefahr

Die Überhitzungsgefahr wurde mittels der Durchschnittstemperatur der 100 wärmsten Stunden im Gewächshaus (T_{100}) bestimmt. Die Gefahrenstufen lauten wie folgt:

Überhitzungsgefahr	T_{100}
● gering	< 35°C
▲ mässig	< 40 °C
■ gross	> 40°C

Tabelle 1: Gefahrenskala Überhitzung

2.4 Energieschirme

In der Software Hortisol werden Energieschirme mittels der Sonneneinstrahlung und der Innentemperatur gesteuert.

1. Bei Sonneneinstrahlung < 20 [W/m²] (in der Nacht) werden Energieschirme aktiviert, um Wärmeverluste zu reduzieren.
2. Bei einer Temperatur > 25 °C werden Energieschirme aktiviert, um Überhitzung zu vermeiden.

Beim Einsatz der Energieschirme wird ein zusätzlicher Wärmewiderstand eingesetzt, der die Wärmeverluste reduziert. Dieser zusätzliche Wärmewiderstand wurde berechnet, damit er mit den Angaben der Studie "Sanierung der Gewächshäuser der Stadtgärtnerei Zürich" (Jardin Suisse, Anhang II, 17.09.2009) übereinstimmt. Nach Absprache mit Herrn Ziswiler (JardinSuisse) handelt es sich um Doppelenergieschirme die am Tag (mehr Licht) und in der Nacht (weniger Wärmeverluste) modulierbar sind. Diese Modulation konnte mit Hortisol nicht berücksichtigt werden.

2.5 Transparente Bauteile

Für Gewächshäuser stehen natürlich die transparenten Bauteile im Mittelpunkt. Die physikalischen Eigenschaften variieren von Hersteller zu Hersteller stark. Für die Simulationen wurden folgende Werte angenommen.

	Lieferant (Modell)	Material	Anzahl Wände	U [W/m ² K]	g [-]
Einfachverglasung	-	Glas	1	5.0	0.86
Einfachverglasung mit Wärmeschutzbeschichtung	(K-Glas)	Glas	1	3.8	0.77
Isolierverglasung (Sicherheitsglas)	?	Glas	2	1.7	0.71
Doppelstegplatten (SDP)	Evonik (SDP 16mm)	Plexiglas	2	2.5	0.82
4-fach Stegplatten (S4P)	Evonik (S4P 32 mm)	Plexiglas	4	1.7	0.71

Tabelle 2: Beschreibung der transparenten Elemente

Für die Simulationen sind nur der U-Wert und der g-Wert von Bedeutung. Die vorgeschlagenen Produkte können problemlos durch andere Produkte mit ähnlichen Eigenschaften ersetzt werden. In den Simulationen sind die Isolierverglasung und die Evonik S4P Platten identisch. Für die Pflanzen ist der Lichttransmissionsgrad τ_L wichtiger als der Gesamtenergiedurchlassungsgrad g. Er beeinflusst die Simulationen jedoch nicht.

3 Ergebnisse

Für jedes Gebäude finden Sie auf den folgenden Seiten ein Merkblatt mit den wichtigsten Betriebsparametern der ausgewählten Sanierungsvarianten, den wichtigsten Ergebnissen und einem Kommentar. Genauere Zahlen sind im Anhang erhältlich.

3.1 Gewächshaus 10



Betriebsparameter

Das Gewächshaus 10 ist auf die Blumenproduktion ausgerichtet. Die Feuchteproduktion wurde im Vergleich mit dem Tropenhaus oder dem Palmenhaus noch halbiert. Die wichtigsten Betriebsparameter sind:

- Heiztemperatur: 16 °C
- Lüftung: V_{min} : 3 [m³/h·m²]; V_{max} : 30 [m³/h·m²]
- Q_{vd} (Winter): 120 [MJ/m²·an] (~15 [g/m²·h])
- Verdunstung (Sommer): 100 [g/m²·h]

Sanierungsvarianten

- V₀ Ist-Zustand:** Einfachverglasung, ohne Gisikollektoren.
- V₁ Wände Doppelstegplatten:** Die Wände werden durch Evonik Doppelstegplatten ersetzt.
- V₂ K-Glas:** Alle transparenten Elemente werden durch K-Glas ersetzt.
- V₃ Doppelstegplatten:** Alle transparenten Elemente werden durch Evonik Doppelstegplatten ersetzt.
- V₄ 4-Fach Stegplatten:** Alle transparenten Elemente werden durch Evonik 4-fach Stegplatten ersetzt.
- V₅ Fundamentstreifen:** Idem V3, Fundamentstreifen isoliert.

Alle Varianten wurden **mit** und **ohne** Energieschirme (Dach) ausgeführt. Die Herstellereigenschaften von Evonik 4-fach Stegplatten sind äquivalent zu einer Isolierverglasung.

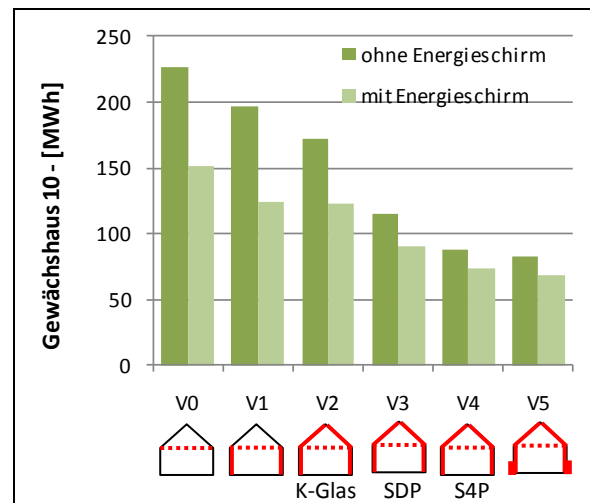
Kommentar

Energieeinsparungen bis 70% sind möglich. Energieschirme haben thermisch gesehen einen grossen Einfluss auf Einfachverglasungen. Nach Erneuerung der transparenten Elemente sind Energieschirme jedoch wichtig, um Überhitzung zu vermeiden. Die Isolierung der Fundamentstreifen hat relativ wenig Einfluss auf die Gesamtenergiebilanz.

Ergebnisse

	Energieschirm	Q_{tot} [MJ/m ² ·an]	Sparpotential [%]	P_{max} [kW]	$P_{Mittelwert}$ [kW]	Überhitzung
V₀	-	1359	-	144	50	■
	X	912	33%	142	33	▲
V₁	-	1183	13%	130	44	■
	X	745	45%	128	27	▲
V₂	-	1029	24%	114	38	■
	X	734	46%	113	26	▲
V₃	-	693	49%	88	25	■
	X	545	60%	87	19	▲
V₄	-	525	61%	70	18	■
	X	444	67%	69	15	▲
V₅	-	493	67%	67	17	■
	X	413	70%	66	13	▲

Tabelle 3 : Heizenergie, Sparpotential und Leistung der verschiedenen Varianten. (Überhitzungsgefahr: ● gering, ▲ mässig, ■ gross)



Figur 1: Jährliche Heizenergie für die verschiedenen Varianten des Gewächshauses 10 (600 m²)

3.2 Tropenhaus



Betriebsparameter

Die wichtigsten Betriebsparameter sind:

- Heiztemperatur: 18°C
- Lüftung: V_{\min} : 5 [m³/h·m²]; V_{\max} : 50 [m³/h·m²]
- Q_{vd} (Winter): 300 [MJ/m²·an] (~31 [g/m²·h])
- Verdunstung (Sommer): 250 [g/m²·h]

Sanierungsvarianten

V₀ Ist-Zustand: Einfachverglasung.

V₁ Doppelstegplatten: Alle transparenten Elemente werden durch Evonik Doppelstegplatten ersetzt.

V₂ 4-fach Stegplatten: Alle transparenten Elemente werden durch Evonik 4-fach Stegplatten ersetzt.

V₃ Fundamentstreifen: Idem V2, Fundamentstreifen isoliert.

Alle Varianten wurden **mit** und **ohne** Energieschirm (Dach) ausgeführt. Die Herstellereigenschaften von Evonik 4-fach Stegplatten sind äquivalent zu einer Isolierverglasung.

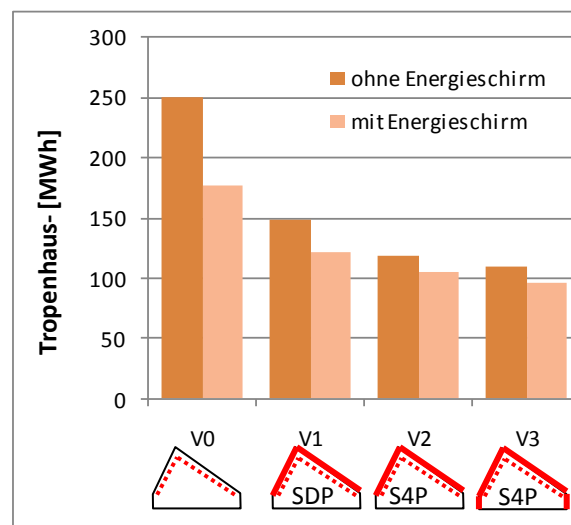
Kommentar

Energieeinsparungen bis 60% sind möglich. Falls es keine Lösung gibt, Energieschirme an der Innenseite zu montieren, wäre ein Sonnenschutz aussen nötig. In diesem Fall würde der Sonnenschutz nur bedingte Energieeinsparungen ermöglichen. Die Variante 2 wurde ebenfalls mit Sonnenschutz nur an der südöstlichen Dachseite berechnet. Die Überhitzungsgefahr steigt in diesem Fall von gering auf mässig.

Ergebnisse

	Energieschirm	Q_{tot} [MJ/m ₂ ·an]	Sparpotential [%]	P_{max} [kW]	$P_{\text{Mittelwert}}$ [kW]	Überhitzung
V₀	-	2256	-	116	47	■
	X	1594	29%	115	32	●
V₁	-	1335	41%	74	26	■
	X	1097	51%	74	21	●
V₂	-	1073	52%	65	20	■
	X	945	58%	62	17	●
	nur Südost	999	56%	63	18	▲
V₃	-	989	56%	64	18	■
	X	863	62%	61	15	●

Tabelle 4: Heizenergie, Sparpotential und Leistung der verschiedenen Varianten. (Überhitzungsgefahr: ● gering, ▲ mässig, ■ gross)



Figur 2: Jährliche Heizenergie für die verschiedenen Varianten des Tropenhauses (400 m²)

3.3 Palmenhaus



Betriebsparameter

Die wichtigsten Betriebsparameter sind:

- Heiztemperatur: 18°C
- Lüftung : $V_{min} : 5 [m^3/h m^2]$; $V_{max} : 40 [m^3/h m^2]$
- Q_{vd} (Winter): 300 [MJ/m²·an] (~31 [g/m²·h])
- Verdunstung (Sommer): 150 [g/m²·h]

Sanierungsvarianten

V₀ Ist-Zustand.

V₁ Dachwärmedämmung

V₂ Dachwärmedämmung + Doppelstegplatten:
Zusätzlich zu V₁, werden die Dachfenster durch Evonik Doppelstegplatten ersetzt.

V₃ Dachwärmedämmung + 4-fach Stegplatten:
Zusätzlich zu V₁, werden die Dachfenster durch Evonik 4-fach Stegplatten ersetzt.

Energieschirme: Alle Varianten wurden ohne Energieschirm (-), mit Energieschirm auf dem Dachfenster (D) und mit Energieschirm auf Dach- und Fassadenfenster (D+W) ausgeführt. Die Herstellereigenschaften von Evonik 4-fach Stegplatten sind äquivalent zu einer Isolierverglasung (Sicherheitsglas).

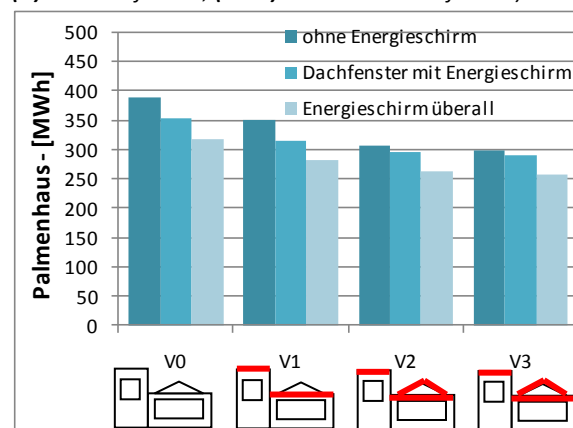
Kommentar

Für das Palmenhaus sind nur Energieeinsparungen von ca. 30% möglich. Der Grund dafür ist, dass die Fassaden und Glaswände aus Denkmalschutzgründen nicht renoviert werden dürfen. Eine komplette Sanierung (einschliesslich der Wände und aller Fenster) würde jedoch Energieeinsparungen von ca. 55% ermöglichen. Das Gebäude besitzt eine höhere Wärmekapazität und ist daher weniger empfindlich auf Überhitzung als die Gewächshäuser. Energieschirme ermöglichen messbare Energieeinsparungen in Kombination mit Einfachverglasungen. Falls die Einfachverglasungen der Pyramide ersetzt werden, haben aber Energieschirme der Pyramide nur wenig Einfluss auf den Energieverbrauch.

Ergebnisse

	Energieschirm	Q_{tot} [MJ/m ² ·an]	Sparpotential [%]	P_{max} [kW]	$P_{Mittelwert}$ [kW]	Überhitzung
V₀	-	2064	-	165	73	●
	(D)	1875	9%	165	66	●
	(D+W)	1697	18%	164	59	●
V₁	-	1873	9%	152	66	●
	(D)	1684	18%	151	59	●
	(D+W)	1506	27%	150	52	●
V₂	-	1638	21%	134	57	●
	(D)	1574	24%	133	54	●
	(D+W)	1397	32%	133	48	●
V₃	-	1583	23%	28	55	●
	(D)	1548	25%	28	53	●
	(D+W)	1371	34%	28	47	●

Tabelle 5: Heizenergie, Sparpotential und Leistung der verschiedenen Varianten. (Überhitzungsgefahr: ● gering (D) nur Dachfenster, (D+W) Dach- und Wandfenster)



Figur 3: Jährliche Heizenergie für die verschiedenen Varianten des Palmenhauses (676 m²).

4 Lüftung

4.1 Regulierung

In den Gewächshäusern haben die Pflanzen viel mehr Einfluss auf das Raumklima als die Besucher. Deshalb sollte die Regulierung auf der Luftfeuchtigkeit und der Temperatur basieren:

- Winter: eine Luftfeuchtigkeitssonde reguliert die Lüftung.
- Sommer: eine Luftfeuchtigkeitssonde und eine Temperatursonde regulieren die Lüftung.

Eine Fensterlüftung ist möglich, falls grosse Öffnungen oben und unten vorhanden sind. Diese Öffnungen müssen besonders im Palmenhaus sorgfältig geplant werden, um eine gute Luftzirkulation zu garantieren (Kamineffekt).

4.2 Wärmerückgewinnung

Eine Lüftung mit Wärmerückgewinnung würde eine Energieeinsparung von ca. 10% ermöglichen. Der Luftdurchfluss ist aber schon für die Minimallüftung (V_{min}) hoch und würde relativ viel Technik benötigen. Eine effiziente Regulierung in den Gewächshäusern wäre zudem nur schwer realisierbar.

Wärmerückgewinnung (60%)	Gewächshaus 10	Tropenhaus	Palmenhaus
Luftdurchfluss [m^3/h]	1800	2000	3400
Luftwechsel [1/h]	0.8	1.3	0.6
Energieeinsparung [$MJ/m^2 \cdot an$]	145 (6%)	220 (10%)	130 (11%)

Tabelle 6: Benötigte Luftdurchflüsse, um die Minimallüftung (V_{min}) zu garantieren und Energieeinsparungen zu ermöglichen, falls eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung (60%) installiert wäre.

5 Zusammenfassung

Da die Anforderungen der Pflanzen hoch sind, ist es für Gewächshäuser nicht möglich denselben Energieverbrauch wie in einem Wohn- oder Bürogebäude zu erreichen. Grosse Energieeinsparungen wären jedoch insbesondere für das Gewächshaus 10 und das Tropenhaus (je ca. 60%) möglich. Für das Palmenhaus sind die Sparmöglichkeiten geringer, weil auf eine Wärmedämmung der Fassaden und der vertikalen Verglasung aus Denkmalschutzgründen verzichtet werden muss.

In dieser Studie wurde die Heiztemperatur als feste Grösse angenommen. Eine Reduzierung der Solltemperatur könnte aber den Energieverbrauch der Gewächshäuser sehr positiv beeinflussen, ohne dass Investitionen getätigt werden müssen. Es wäre daher nützlich, die Temperaturanforderungen der Pflanzen ganz genau zu bestimmen und, sofern möglich, die Heiztemperaturen dementsprechend zu reduzieren.

ANHANG I : Detaillierte Variantenangaben

Gewächshaus 10	Glaswände (Stehwände + Giebelwand Ost)		Dach		Fundament- streifen	Giebelwand West (gegen 16°C)	Boden
	220 m ²		652 m ²		38 m ²	54 m ²	600 m ²
	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
V ₀ Ist-Zustand (ohne Gisikollektoren)	5.0	0.86	5.0	0.86	3.3	3.3	3.3
V ₁ SDP Stegplatten (Wände)	2.5	0.82	5.0	0.86	3.3	3.3	3.3
V ₂ K-Glas (überall)	3.8	0.74	5.0	0.86	3.3	3.3	3.3
V ₃ SDP Stegplatten (überall)	2.5	0.82	2.5	0.82	3.3	3.3	3.3
V ₄ S4P Stegplatten (überall) (=Isolierverglasung)	1.7	0.71	1.7	0.71	3.3	3.3	3.3
V ₅ S4P Stegplatten (überall) +Fundamentstreifen	1.7	0.71	1.7	0.71	0.4	3.3	3.3

Tabelle 7: Detail der Varianten für das Gewächshaus 10

Tropenhaus	Glaswände (Stehwände + Giebelwände)		Dach		Fundament- streifen	Giebelwand Nord (gegen 16°C)	Boden
	184 m ²		536 m ²		50 m ²	60 m ²	400 m ²
	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
V ₀ Ist-Zustand (ohne Gisikollektoren)	5.0	0.86	5.0	0.86	3.3	3.3	3.3
V ₁ SDP Stegplatten (überall)	2.5	0.82	2.5	0.82	3.3	3.3	3.3
V ₂ S4P Stegplatten (überall)	1.7	0.71	1.7	0.71	3.3	3.3	3.3
V ₃ S4P Stegplatten (überall) +Fundamentstreifen	1.7	0.71	1.7	0.71	0.4	3.3	3.3

Tabelle 8: Detail der Varianten für das Tropenhaus

Palmenhaus	Glaswände (Stehwände + Giebelwände)		Dachfenster		Dach	Aussen- wände	Boden	
	389 m ²		252 m ²		467 m ²	341 m ²	(Erdreich) 631 m ²	(Unbeheizt) 45 m ²
	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	g ₀ [-]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]
V ₀ Ist-Zustand (ohne Gisikollektoren)	3.8	0.74	5.0	0.86	1.2	2.5	3.3	2.9
V ₁ Dach isoliert	3.8	0.74	5.0	0.86	0.25	2.5	3.3	2.9
V ₃ Dach + Dachfenster (SDP)	3.8	0.74	2.5	0.82	0.25	2.5	3.3	2.9
V ₄ Dach + Dachfenster (S4P)	3.8	0.74	1.7	0.71	0.25	2.5	3.3	2.9

Tabelle 9: Detail der Varianten für das Palmenhaus