



# 2SaveEnergy-Gewächshaus - Produktion und Energieverbrauch

Frank Kempkes und Jan Janse

Bericht GTB-1404



**WAGENINGEN UR**  
*For quality of life*



Ministerie van Economische Zaken



## Referaat

Die Realisierung von Energieeinsparungen mithilfe von Gewächshausdächern aus Isolierglas erfordert meist hohe Investitionen. Auf der Suche nach einer kostengünstigeren Alternative hat ein Konsortium der Unternehmen VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe und Boal Systems das Gewächshausdachkonzept '2SaveEnergy' entwickelt und im Sommer 2014 realisiert. Die Kombination von Klarglas und diffuser ETFE-Folie als Bedachung mit einem doppelten Energieschirm mit einem Zwischenraum von nur wenigen Zentimetern führte im Versuchsjahr 2015 zu einer guten Tomatenproduktion bei geringem Energieverbrauch. Die Produktion selbst erfolgte weitestmöglich nach den Grundsätzen der 'Neuen Kulturverfahren'. Im Vergleich zur üblichen Praxis war der Energieverbrauch bei mindestens gleicher Produktion 50% geringer.

## Abstract

Energy savings through a greenhouse cover of insulation glass requires a large investment. In the search for a cheaper alternative by a consortium of companies consisting of VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe en Boal Systems a Glass-Film-greenhouse cover, better known as the 2SaveEnergy greenhouse concept was realized in summer 2014. The combination of clear glass with a diffuse ETFE film and a double screen mounted at a distance of only a few centimetres, in the year 2015, resulted in a low energy consumption and a better than expected good tomato production. During cultivation, the principles of the new cultivation methods were used. With respect to the common practice, the energy consumption was more than 50% lower at a minimum equal production.

## Rapportgegevens

Bericht GTB-1404

Projectnummer: 3742179100



## Rechtliche Hinweise

© 2016 Wageningen UR Glastuinbouw (Institut der juristischen Person Stichting Dienst Landbouwkundig Onderzoek), Postanschrift: Postbus 20, 2665 MV Bleiswijk, Niederlande, Besucheranschrift: Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk, T 0317 48 56 06, F 010 522 51 93, E [glastuinbouw@wur.nl](mailto:glastuinbouw@wur.nl), [www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw). Wageningen UR Glastuinbouw.

Wageningen UR Glastuinbouw übernimmt keine Haftung für eventuelle Schäden, die sich aus der Nutzung der Ergebnisse dieser Untersuchung oder aus der Anwendung der Empfehlungen ergeben.

## Adressdaten

### Wageningen UR Glastuinbouw

Postanschrift: Postbus 20, 2665 ZG Bleiswijk, Niederlande

Besucheranschrift: Violierenweg 1, 2665 MV Bleiswijk

T +31 (0)317 48 56 06

F +31 (0)10 522 51 93

# Inhalt

	<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
	<b>Zusammenfassung</b>	<b>7</b>
<b>1</b>	<b>Das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept</b>	<b>9</b>
	1.1 Das Gewächshaus	9
	1.2 Das Gewächshausdach	11
	1.3 Das Kulturverfahren	17
<b>2</b>	<b>Gewächshausklima und Energiehaushalt</b>	<b>19</b>
	2.1 Gewächshaustemperatur, Luftfeuchtigkeit und CO <sub>2</sub> -Konzentration	19
	2.2 Energiehaushalt	24
<b>3</b>	<b>Pflanzenwachstum</b>	<b>29</b>
	3.1 Versuchskonzept	29
	3.1.1 Gurken 2014	29
	3.1.2 Tomaten 2015	29
	3.2 Ergebnisse	30
	3.2.1 Tomaten 2015	30
<b>4</b>	<b>Öffentlichkeit</b>	<b>37</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>39</b>
	<b>Literatur</b>	<b>41</b>
	<b>Anlage 1 Veröffentlichungen und Präsentationen</b>	<b>43</b>



# Vorwort

Inspiriert durch Erfahrungen mit einem Gewächshaus aus Isolierglas, das 2010 im Innovations- und Demonstrationszentrum für Energie (IDC Energie) gebaut worden war, hat ein Unternehmenskonsortium, dem VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe und Boal Systems angehören, das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept entwickelt. Dieses Konzept wurde im Sommer 2014 im IDC Energie in Bleiswijk realisiert. Seither wurden eine Gurken-Herbstkultur und eine Tomaten-Ganzjahreskultur angebaut. Das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept umfasst außer der Kombination eines herkömmlichen Gewächshausdachs mit einer darunter angebrachten ETFE-Folie zu Isolationszwecken auch eine doppelte Energieschirmanlage mit einem Zwischenraum von nur 5 cm. Auch die Weiterentwicklung der auf dem Gebiet der 'Neuen Kulturverfahren' gesammelten Erkenntnisse, wie im Projekt 'Neues Gewächshausdach für Neue Kulturverfahren' beschrieben, sowie die Erfahrungen mit „Neuen Kulturverfahren“ im VenlowEnergy-Gewächshaus haben zur Reduzierung des Energiebedarfs beigetragen. Diese Strategie wurde als 'Proof of Principle'-Projekt im Rahmen des Innovationsprogramms 'Gewächshaus als Energiequelle' (Kas als Energiebron) im Auftrag des Wirtschaftsministeriums und des Landwirtschaftsverbands für den Unterglasgartenbau (LTO Glaskracht) umgesetzt. 'Gewächshaus als Energiequelle' ist ein Innovations- und Aktionsprogramm, das dafür sorgen soll, dass der Unterglasgartenbausektor seine Energiespar- und CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele auch tatsächlich erreicht. LTO Glaskracht Nederland und das Wirtschaftsministerium haben hierbei ihre Kräfte gebündelt. Im Rahmen des Programms arbeiten Gewächshausgärtner, Lieferanten, Wissenschaftler, Branchenverbände und das Ministerium eng zusammen.

Im Zuge der Untersuchung wurde versucht, eine optimale Steuerung der Pflanzen zu erreichen, wobei Wärme und Strom möglichst sparsam eingesetzt werden, damit eine Energieeinsparung von mindestens 50% im Vergleich zur gängigen Praxis erreicht wird.

Der Erfolg des Gewächshausversuchs ist unter anderem der intensiven Betreuung durch einen Begleitausschuss zu verdanken, dem Kees Stijger, Jasper Oussoren, Ted Duijvestijn und Vincent van der Lans angehörten.

Frank Kempkes und Jan Janse  
Wageningen UR Glastuinbouw  
Juni 2016



# Zusammenfassung

Mit dem Zustandekommen des 2SaveEnergy-Gewächshauses im Innovations- und Demonstrationszentrum des Forschungszentrums Wageningen University and Research Center, Abteilung Gartenbau in Bleiswijk wurde ein neuer Erfolg bei der Isolierung von Gewächshäusern mithilfe eines Isolierdachs erzielt. Inspiriert durch Erfahrungen mit einem Gewächshaus aus Isolierglas, das 2010 im Innovations- und Demonstrationszentrum für Energie (IDC Energie) gebaut worden war, hat ein Unternehmenskonsortium, dem VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe und Boal Systems angehören, das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept entwickelt. Nach dem Bau wurden eine kurze Gurken-Herbstkultur und eine Tomaten-Ganzjahreskultur angebaut.

Das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept umfasst eine Kombination eines herkömmlichen Gewächshausdachs mit einer darunter angebrachten ETFE-Folie zu Isolationszwecken sowie eine doppelte Energieschirmanlage mit einem Zwischenraum von nur 5 cm. Auch die Weiterentwicklung der auf dem Gebiet der 'Neuen Kulturverfahren' gesammelten Erkenntnisse in verschiedenen Projekten, etwa dem VenlowEnergy-Gewächshaus, sowie die Verfügbarkeit von reinem CO<sub>2</sub> haben zur Senkung des Energiebedarfs beigetragen. Diese Strategie wurde als 'Proof of Principle'-Projekt im Rahmen des Innovationsprogramms 'Gewächshaus als Energiequelle' (Kas als Energiebron) im Auftrag des Wirtschaftsministeriums und des Landwirtschaftsverbands für den Unterglasgartenbau (LTO Glaskracht) umgesetzt.

Anstatt auf das in einer Vorstudie ermittelte, hinsichtlich der Transmissionseigenschaften optimalen Gewächshausdachs aus diffusem Glas mit transparenter Folie fiel die Entscheidung letztlich doch auf hochtransparentes Klarglas mit einer darunter befestigten diffusen F-Clean-Folie. Der Grund dafür war der unbekannte Effekt von Kondenswasser auf die Transmissionseigenschaften diffuser Scheiben.

Die Tomatenproduktion (Sorte Cappricia) lag mit 67 kg/m<sup>2</sup> höher als das angestrebte Ziel von 63 kg/m<sup>2</sup> und erreichte oder überschritt sogar das Niveau von Praxisbetrieben. Dazu wird das diffuse Gewächshausdach zweifellos seinen Teil beigetragen haben. Die Kultur verlief im Allgemeinen gut, ohne dass es zu Botrytis oder anderen Krankheiten kam. Auffallend war allerdings, dass in verschiedenen Perioden Unregelmäßigkeiten innerhalb und zwischen den Rispen auftraten. Die Ursache ist unklar, hat sich jedoch zweifellos in gewissem Maße auf die Gesamtproduktion ausgewirkt. Es ist unwahrscheinlich, dass dies durch das Gewächshauskonzept verursacht wurde.

Die Versuche in dem 2SaveEnergy-Gewächshaus haben bewiesen, dass es gut möglich ist, bei geringem Energieaufwand (15,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>) dennoch eine praxiskonforme Produktion zu erzielen, während der Stromverbrauch im Vergleich zu einem Standardgewächshaus nur geringfügig ansteigt (ca. 1 kWh). In der Machbarkeitsstudie, die im Vorfeld dieses Projekts durchgeführt wurde, wurde bereits berechnet, dass mit diesem Konzept gegenüber der gängigen Praxis eine Einsparung von bis zu 50% erzielbar sein müsste. Obwohl sich dies im Versuch bestätigte, muss betont werden, dass es sich hierbei um ein gemeinsames Ergebnis des neuen Gewächshauskonzepts und Kulturverfahrens handelt. Darüber hinaus war die Kulturdauer umständehalber (unabhängig vom Versuch) eher kurz, wodurch einige kalte Wochen, in denen in der Praxis auch eine starke Schattierung erfolgt und die Einsparung entsprechend geringer ausfällt, außer Betracht blieben. Die erzielte hohe Einsparung wird gegenüber herkömmlichen Praxisbetrieben erzielt, die nicht oder nur in sehr begrenztem Maße vom Konzept der 'Neuen Kulturverfahren' Gebrauch machen. In der nachstehenden Tabelle wird der Energieverbrauch bei gängigen Konzepten mit dem Energieverbrauch des 2SaveEnergy-Gewächshauses verglichen.

Gewächshausausstattung	Praxis [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]	2SaveEnergy [m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ]
Gängige Praxis: 1 beweglicher Energieschirm, in der Anfangsphase feste Folie, Kulturperiode Ende Januar bis Ende Oktober	26,9 <sup>a)</sup>	12,6 <sup>a)</sup>
Gängige Praxis: 1 beweglicher Energieschirm, in der Anfangsphase feste Folie, Kulturperiode Ende Januar bis Ende Dezember	31 <sup>b)</sup>	15,5 <sup>c)</sup>
Praxis beim Konzept des 'Neuen Kulturverfahrens': 2 unabhängig bewegliche Energieschirme, Entfeuchtungsanlage und einfaches Dach, Kulturperiode Ende Januar bis Ende Dezember	23 <sup>b)</sup>	

<sup>a)</sup> Gemessen

<sup>b)</sup> Geschätzt

<sup>c)</sup> Berechnet

Die Einsparung von Wärme konzentriert sich im Jahresverlauf auf zwei klar abgegrenzte Perioden: den Winter, in dem vor allem das Gewächshausdach und der Energieschirm für Einsparungen sorgen, und im Sommer, in dem eher das Kulturverfahren energieeffizienter als die gängige Praxis ist.

Der geringe Energieverbrauch im Sommer hat allerdings den Nachteil, dass zur Gewährleistung eines ausreichenden Produktionsniveaus unbedingt eine externe CO<sub>2</sub>-Quelle zur Verfügung stehen muss. Auch bei der sparsamen Dosierstrategie, die bei diesem Versuch zur Anwendung kam, werden auf Jahresbasis gut 13 kg CO<sub>2</sub> zugekauft werden müssen. Die Verfügbarkeit einer alternativen CO<sub>2</sub>-Quelle ist darum auch sehr wichtig, damit die hohen Einsparungen erreicht werden können.

Die Entfeuchtung mit Außenluftzufuhr und Nachheizung hat ordnungsgemäß funktioniert, und der Verzicht auf eine minimale Heizrohrtemperatur hat nicht zu sichtbaren (Feuchtigkeits-)Problemen geführt.

Durch den geringen Schneefall im Winter 2015 war es nicht möglich, das Abschmelzen des Schnees durch Zirkulation von Gewächshausluft, die über die Rinne in den Zwischenraum zwischen Glas und Folie geleitet wird, zu testen. Bei Testmessungen wurde festgestellt, dass die Luft in der Rinne sehr schnell abkühlt, wodurch die Schmelzkapazität minimal sein wird.

Da der Zwischenraum zwischen Glas und Folie in diesem Konzept nicht luftdicht ist, kann es im Zwischenraum zur Kondenswasserbildung kommen. Ob sich daraus längerfristig Folgen für die Transmission ergeben und, wenn ja, welche, ist noch nicht bekannt.

Bei einer einjährigen Kultur von Tomaten im 2SaveEnergy-Gewächshaus stellte sich heraus, dass sich die Anwendung eines isolierenden Gewächshausdachs und der intensive Einsatz eines (doppelten) Energieschirms nicht negativ auf die Produktion auswirken. Dabei wurde durch dieses Gewächshauskonzept und Kulturverfahren eine Wärmeeinsparung von nahezu 50% im Vergleich zur gängigen Praxis erzielt. Allerdings müssen dafür mindestens 13 kg CO<sub>2</sub> zugekauft werden.

# 1 Das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept

Beim 'Neuen Kulturverfahren' ist die Wärmeeinsparung vor allem der Installation mehrerer (bis zu 3) Energieschirme sowie Anpassungen im Kultursystem und dem weitestmöglichen Verzicht auf eine minimale Heizrohrtemperatur zu verdanken. Die vielen Energieschirme sorgen im Winter für einen erheblichen Lichtverlust. Anstelle von Energieschirmen kann aber auch eine permanente hohe Isolierung des Gewächshauses mithilfe eines isolierenden Dachs realisiert werden.

In 2013 wurde eine Machbarkeitsstudie zu den Möglichkeiten eines Gewächshauskonzepts bestehend aus einem Glasdach mit Folie an der Innenseite als kostengünstigere Alternative für ein Gewächshausdach aus Isolierglas durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studie veranlassten ein Konsortium der Unternehmen VDH Plastic Greenhouses, Van der Valk Horti Systems, AGC Chemicals Europe und Boal Systems dazu, einen Gewächshausentwurf auszuarbeiten, der dann im Sommer 2014 im IDC Energie in Bleiswijk realisiert wurde. Anschließend wurde das Konzept als 2SaveEnergy-Gewächshaus bekannt.

Das 2SaveEnergy-Gewächshaus basiert auf einer stark verbesserten Isolierung der Gewächshaushülle durch Kombination von Glas als Außenbedachung mit einer ETFE-Folie an der Innenseite, die im Abstand von ca. 7 cm zum Glas fest installiert wird. Die Entfeuchtung der Gewächshausluft durch Außenluft (ohne Wärmerückgewinnung) und die Anwendung eines energiesparenden Kulturverfahrens auf der Basis der mit dem 'Neuen Kulturverfahren' gesammelten Erfahrungen sollen in Kombination mit dem doppelten Energieschirm für einen niedrigen Energieverbrauch sorgen.

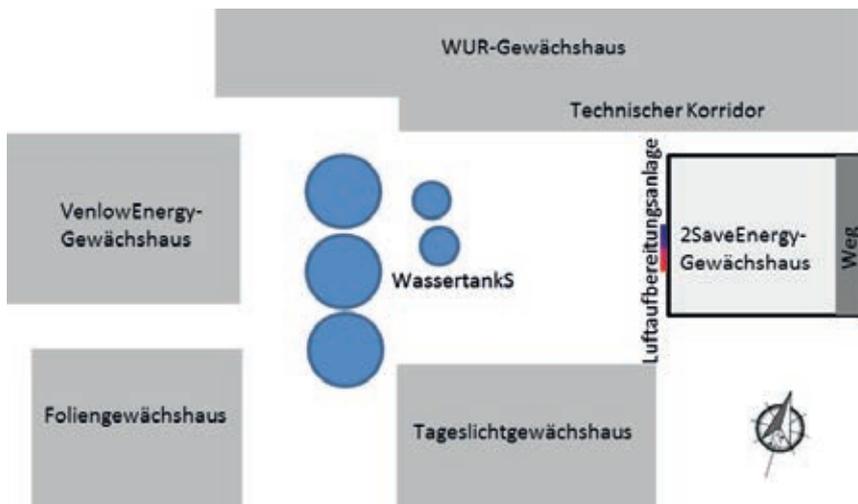
## 1.1 Das Gewächshaus

Das Gewächshaus ist vom Typ Venlo mit einem Gitterbinder von 9,6 m und 4,8 m breiten Kappen. Abbildung 1.1 zeigt einen Querschnitt des Gewächshauses. In der Länge ist das Gewächshaus in 5 Felder unterteilt; die drei mittleren sind 5 Meter und die beiden äußeren 4,3 Meter lang, was die Gesamtlänge auf 23,6 Meter bringt.



**Abbildung 1.1** Querschnitt des 2SaveEnergy-Gewächshauses.

Die Dachneigung beträgt 22°. Auf der Ostseite des Gewächshauses wurde ein 3 Meter breiter Betonweg angelegt. Hierdurch entsteht eine Kulturfläche von ca. 395 m<sup>2</sup>. Abbildung 1.2 zeigt die Position des Gewächshauses im IDC Energie in Bleiswijk.

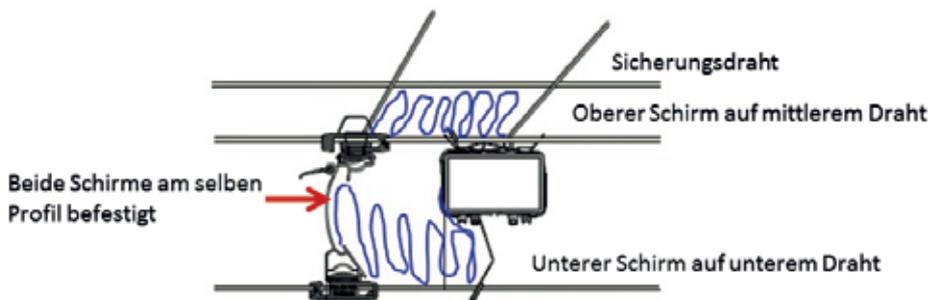


**Abbildung 1.2** Position des 2SaveEnergy-Gewächshauses im IDC Energie.

Die Einrichtung wurde mithilfe hängender Kulturrinnen (14) im Abstand von 1,60 m in einer Höhe von 0,7 m realisiert. Der freie Raum bietet die Möglichkeit, unter den Rinnen Schläuche oder andere Luftverteilersysteme zu installieren. Für das Heizsystem wurde ein doppeltes 51-mm-Rohrschienensystem (insgesamt 56) angefertigt. Dies hat zwei Gründe: Das Gewächshaus wird aus dem technischen Korridor über die PE-HD-Leitung versorgt, deren Wassertemperatur auf 60°C begrenzt ist. Bei einem einfachen Netz würde möglicherweise in Extremsituationen die Kapazität nicht ausreichen. Darüber hinaus kann mit einer größeren Heizfläche und geringeren Heiztemperaturen gearbeitet werden, was die Effizienz im Kesselhaus erhöht.

Die Fläche der Seitenwände ist im Verhältnis zur Grundfläche sehr groß. Um die Auswirkung der Seitenwände auf den Energieverbrauch zu eliminieren, wurde in der Fassade ein eigenes, regelbares Netz installiert. Dieses Heizsystem wird so eingestellt, dass es den Fassadenverlust genau ausgleicht. Im horizontalen Teil entsteht so ein Gewächshaus unbegrenzter Größe, in dem Fassadeneffekte keinerlei Rolle spielen. In der endgültigen Energieberechnung für dieses Gewächshaus wird der horizontale Energieverbrauch um 10% erhöht. Diese 10% entsprechen den Fassadenverlusten eines etwa 4 ha großen Gewächshauses mit quadratischem Bau. Das CO<sub>2</sub> wird über Schläuche unter der Kulturrinne verteilt. Das CO<sub>2</sub> wird von OCAP geliefert und die Dosiergeschwindigkeit kann (manuell) von 0 bis 300 kg/ha/Std. eingestellt werden. Im Versuch betrug die Dosiergeschwindigkeit in der Regel höchstens 150 kg/ha/Std.

Es wurde eine Energieschirmanlage mit doppeltem Tuch installiert. Der Abstand zwischen den Energieschirmen beträgt ca. 5 cm. Beide Energieschirme bestehen aus dem Gewebe Luxous 1347FR (LS), das vor allem für Energiesparanwendungen eingesetzt wird. Der doppelte Schirm reicht von der Unterkante eines Binders bis zur Unterkante des nächsten Binders. Ein Drahtbett besteht normalerweise aus einem Stützdraht, auf dem das Gewebe liegt, und einem Sicherungsdraht. Im 2SaveEnergy-Gewächshaus werden diese 2 Schirme mit drei Drähten befestigt (Abbildung 1.2A): dem unteren Draht, auf dem der untere Schirm liegt, dem mittleren Draht (5 cm vom unteren Draht entfernt, auf dem der obere Schirm liegt) und darüber dem dritten Draht, dem Sicherungsdraht. Die Schirme sind an einem Profil befestigt, sodass beide zugleich mit demselben Motor geöffnet und geschlossen werden.



**Abbildung 1.2A** Schematische Darstellung der Montage des doppelten Energieschirms.

Die Bewässerung erfolgt über ein Tropfsystem, das auf die betreffende Kultur abgestimmt ist. Die Bewässerungsmenge für die gesamte Abteilung wird mit einem Durchsatzmesser gemessen. Das Entwässerungswasser der gesamten Abteilung wird zentral gesammelt, wobei der Durchsatz bestimmt wird. Da die Folientemperatur auf der Innenseite des Gewächshauses bei einem doppelten Gewächshausdach ansteigt, entsteht am Dach weniger Kondenswasser als bei einem Gewächshaus mit einfachem Dach. Das Kondenswasser wird separat gesammelt und gemessen.

## 1.2 Das Gewächshausdach

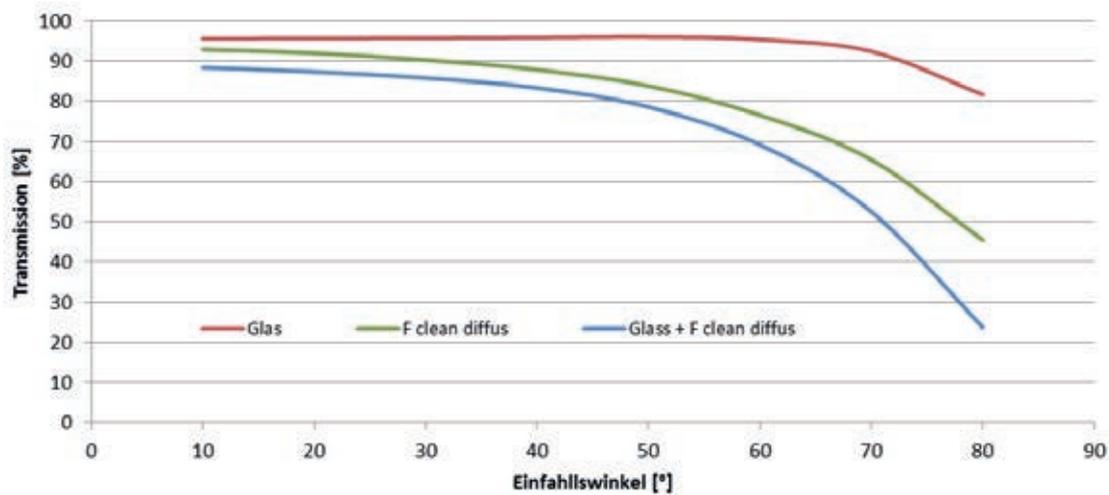
Das Gewächshaus ist wie Standard-Venlo-Gewächshäuser einfachverglast. Durch Anpassungen an Rinne und Riegel der Lüftungsöffnung ist es möglich, unter den Streben eine Folie zu verspannen. Damit diese Verspannung in langen, geraden Bahnen erfolgen kann, wurde eine durchlaufende Firstlüftung eingebaut, siehe Abbildung 1.3. Die Lüftungsöffnungen sind 26 cm tief (Scheibenmaß). Dadurch entsteht im Gewächshausdach eine Lüftungsfläche von knapp 9%. Dies ist etwas weniger als bei einem Standard-Venlo-Gewächshaus (knapp 10%). Als Standardgewächshaus wurde ein Gewächshaus mit einer 4,8 m breiten Kappe und einem Binderabstand von 5 m (1,67 m Glas) mit einer Lüftung über einteilige, 1,5 m tiefe Lüftungsöffnungen gewählt. Der genannte Lüftungsflächenanteil des Standardgewächshauses hängt natürlich in vollem Umfang von der Dachkonfiguration ab.

Der Einfachheit halber wurden Lüftungsöffnungen mit Doppelglas anstatt mit einer Glas-Folien-Kombination verwendet.



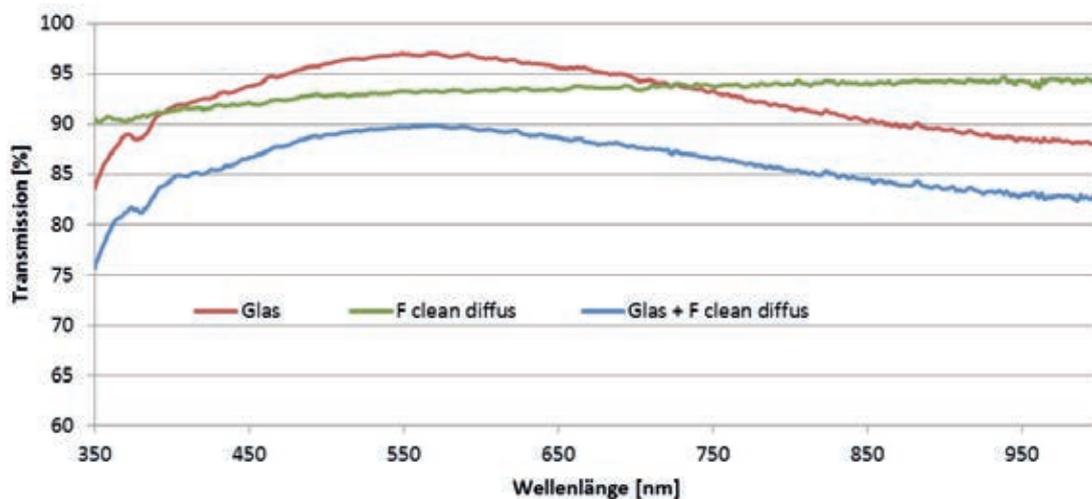
**Abbildung 1.3** Position des durchlaufende Firstlüftung in 2SaveEnergy-Gewächshaus. Die Folie ist in blau unter der Strebe zu sehen.

Das Doppelglas in den Lüftungsöffnungen besteht aus einer klaren und einer diffusen Scheibe. Da bekannt ist, dass es bei einem doppelten Dach gegenüber einem einfachen Standarddach zu einem Lichtverlust kommt, wurden beide Gläser des Doppelglases beidseitig mit einem AR-Coating versehen. Um die Auswirkungen der Coatings und der doppelten Ausführung verschiedener Materialkombinationen zu verdeutlichen, sind in Abbildung 1.4 die Transmission der Basismaterialien sowie der Kombination von Klarglas und diffussem F-Clean wiedergegeben. Die hemisphärische Transmission des einfachen, beidseitig mit AR-Coating beschichteten Glases beträgt 90,5%, bei diffussem F-Clean 83,3% und bei einer Kombination aus beiden 76%.



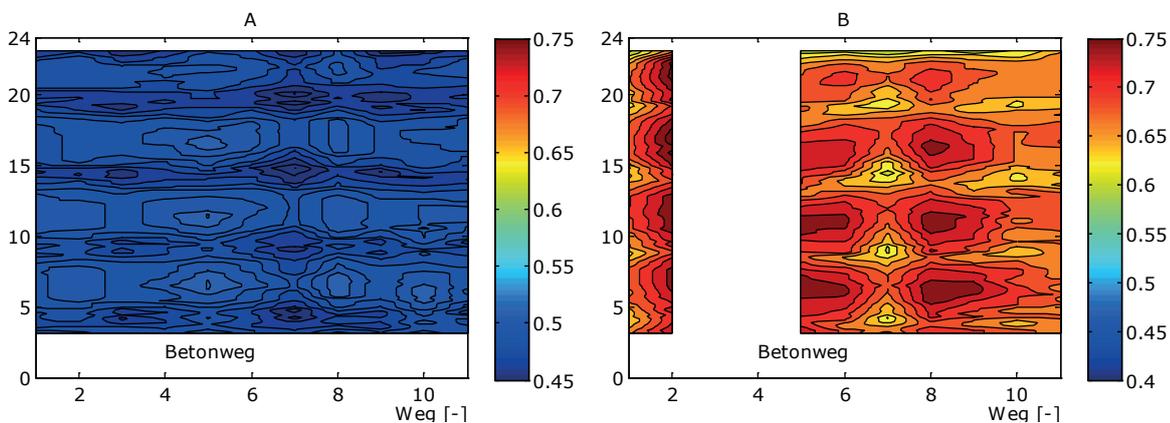
**Abbildung 1.4** Winkelabhängige Transmission der verwendeten Basismaterialien und der im Gewächshausdach verarbeiteten Kombination.

Um eventuelle wellenlängenabhängige Auswirkungen auszuschließen, wurde für die Basismaterialien und die Kombination auch die wellenlängenabhängige senkrechte Transmission ermittelt (Abbildung 1.5). F-Clean diffuse zeigt ein sehr konstantes Muster, während das Glas in Richtung des UV-Lichts die Transmission reduziert. Angesichts dieses Sachverhalts ist kein wellenlängenabhängiger Effekt des verwendeten Gewächshausdachs auf die Pflanzen zu erwarten.



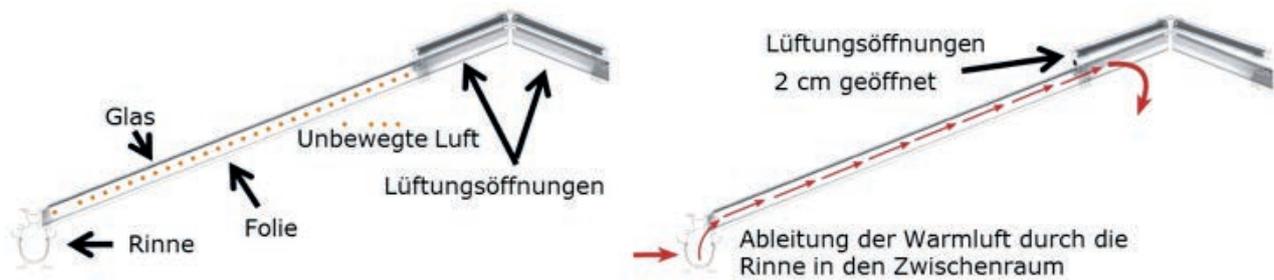
**Abbildung 1.5** Wellenlängenabhängige senkrechte Transmission der verwendeten Basismaterialien und der im Gewächshaus verarbeiteten Kombination.

Außer dem Material haben auch die Gewächshauskonstruktion und -einrichtung Einfluss auf die Transmission des Gewächshauses. Zur Bestimmung der Gewächshaus-Transmission wurde bei diffusen Witterungsbedingungen die Transmission im Gewächshaus auf der Höhe der Pflanzendrähle (Tomaten) gemessen. Dabei wurde sowohl bei geöffnetem als auch bei geschlossenem Energieschirm eine Messung vorgenommen. Das Ergebnis ist in Abbildung 1.6 wiedergegeben. Auf dem Betonweg wurde keine Messung vorgenommen, und es ist auch nicht möglich, ganz bis zur Rückwand des Gewächshauses zu messen. Damit der Effekt des Energieschirms klar zutage tritt, wurde für die Farbverteilung bei beiden Messungen dieselbe Skala herangezogen. Während der Messung ohne Energieschirm trat in den Gängen 3 und 4 eine Störung auf; die betreffenden Ergebnisse blieben darum außer Betracht. Die Messungen in Gang 7 fielen etwas niedriger aus, da dort ein Kabelkanal einen Teil des Lichts in Messhöhe abfängt. Zur Bestimmung der Gesamttransmission des Gewächshauses wurden als repräsentative Abschnitte die Gänge 5 bis 9, Meter 4 bis 22, herangezogen. Auf dieser Grundlage beträgt die Transmission bei geöffnetem Energieschirm 70% und bei geschlossenem Schirm 49%. Durch Schließen des Schirms fällt also viel Licht weg. Der Verlust beträgt 30%, was eine direkte Folge des doppelten Energieschirms ist.



**Abbildung 1.6** Gewächshaus-Transmission bei geschlossenem (A) und geöffnetem (B) Energieschirm am 27. Dezember 2015.

Während bei einem Gewächshausdach aus Isolierglas Schneelasten zum Problem werden können, da die Isolierung so hoch ist, dass der Schnee nicht schmilzt, wurde für das 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept ein System entwickelt, das es ermöglicht, durch Lüftung des Zwischenraums mit warmer Gewächshausluft den Isoliergrad des Gewächshausdachs zu senken und damit den Schnee zum Schmelzen zu bringen. Je nach Stellung der Lüftungsöffnung wird der Zwischenraum im Riegel mithilfe von Gummis geöffnet oder geschlossen. Dies ist in Abbildung 1.7 schematisch dargestellt. Auf der Rinnenseite wurden vom unteren Leerraum aus Löcher angebracht, die in den Zwischenraum zwischen Glas und Folie münden. Bei vollständig geschlossenen Lüftungsöffnungen wird ein Gummi gegen die Oberkante des Riegels gedrückt. In diesem Riegel wurden Löcher angebracht, die mit dem Hohlraum in Verbindung stehen. Da der Gummi die Löcher verschließt, bleibt die Luft im Zwischenraum stehen (Abb. 1.7 links). Sobald die Lüftungsöffnung mehr als 2 cm geöffnet wird, werden die Löcher im Riegel der Lüftungsöffnung freigelegt (Abbildung 1.8 B). Es liegt dann allerdings noch eine Gummiklappe auf dem Gewächshausdach. Dadurch bleibt die Lüftungsöffnung nach außen hin geschlossen, während aber dennoch Luft über die Rinne in den Zwischenraum geblasen werden kann, wonach die Luft aus dem Zwischenraum an der Lüftungsöffnung wieder ins Innere geleitet wird (Abbildung 1.7 rechts). Die Warmluft wird von einem Ventilator aus dem Gewächshaus gesaugt und in die Rinne geblasen.



**Abbildung 1.7** Schematische Darstellung von geschlossenem (links) und geöffnetem Zwischenraum (rechts).

A



B



**Abbildung 1.8** Ansaugung der Gewächshausluft mit Einblasen in die Rinne (A) und Entlüftungsöffnungen bei geöffneter Lüftungsöffnung (B).

Dadurch entsteht also sozusagen ein offener Zwischenraum.

Während des Versuchszeitraums fiel so gut wie kein Schnee. Wenn einmal etwas Schnee fiel, lag die Außentemperatur unter oder knapp über dem Gefrierpunkt. In dieser Situation wurde die Hinterlüftung eingeschaltet; ein echter Testfall trat aber nicht ein. In Abbildung 1.9A ist zu sehen, dass der Schnee das Dach fast vollständig bedeckt. Dabei ist anzumerken, dass es sich um schweren Pappschnee handelte (27. Dezember 2014). Auf dem Foto ist auch zu sehen, dass sich der Schnee vom First Richtung Rinne verschiebt – ein Zeichen dafür, dass der Schnee nicht trocken war und dass die Temperatur knapp über dem Gefrierpunkt lag. Bei starker Strahlung und feuchter Außenluft kann das Gewächshausdach auf der Außenseite einfrieren. Dies ist in Abbildung 1.9B dargestellt. Nur die Ränder an den Streben und Riegeln zeigen eine eisfreie Zone. Diese Situationen treten in der Regel nur kurzzeitig auf; die Rinnenlüftung war eingeschaltet, aber bevor ein möglicher Effekt festgestellt werden konnte, hatte sich die Außentemperatur bereits so weit erhöht, dass das Deck eisfrei war.

A



B



**Abbildung 1.9** Teilweise geschlossene Schneedecke am 27. Dezember 2014 (A) und eisfreie Ränder um Rinne, Strebe und Riegel (B).

Da die Rinne durch Lecks und Entwässerungsableitung nicht trocken bleiben wird, kann beim Durchblasen der Luft durch die Rinne auch Wasserdampf aus der Rinne in den Zwischenraum gelangen und dort leicht wieder kondensieren. Diese Kondensation kann sich anschließend negativ auf die Transmission des Gewächshausdachs auswirken. In Abbildung 1.10 ist die Auswirkung von Kondenswasser auf die Folie auf der Gewächshausseite (A) und auf die Folie auf der Zwischenraumseite (B) dargestellt. Die Unterschiede in der Kondensform sind groß. Während sich das Kondenswasser auf der Gewächshausseite vor allem als Film/Dampf (hydrophil) manifestierte, wurde die Folie in der rechten oberen Ecke des Fotos (A) einmal manuell getrocknet, wonach relativ große Tropfen zurückbleiben. Das Kondenswasser auf Foto B ähnelt mehr kugelig aufliegenden Tropfen, was auch als hydrophober Effekt bekannt ist. Die in Abbildung 1.10 (B) zu sehenden Tropfen haben große Auswirkungen auf die Transmission. In Tabelle 1.1 sind die Ergebnisse einer trockenen und einer feuchten Messung auf der Innenseite der Folie dargestellt. Die Messungen zeigen, dass das Kondenswasser auf der Innenseite der Folie die Lichttransmission beeinträchtigen kann. Es ist darum auch wichtig, den Anweisungen des Herstellers hinsichtlich der Anbringung der Folie auf der Innen- oder Außenseite Folge zu leisten.

A



B



**Abbildung 1.10** Kondenswasserbildung auf der Innenseite der Folie, hydrophil (A) und auf der Außenseite der Folie hydrophob (B).

Tabelle 1.1

Auswirkungen von Kondenswasser auf der Innen- bzw. Außenseite der Folie auf die hemisphärische Transmission.

	Hemisphärische Transmission [%]
F-Clean diffus 80 Mikrometer Innenseite nass	85,5
F-Clean diffus 80 Mikrometer Außenseite nass	77,5

Im Zwischenraum wurde, wie das Foto (Abbildung 1.9B) zeigt, Kondenswasser festgestellt, insbesondere im Umfeld der Rinnen. Nach einem Jahr der Gewächshausnutzung ist es (noch) zu früh, etwas über die langfristigen Auswirkungen auf die Transmission zu sagen.

Am 1. Juli wurde festgestellt, dass eine Scheibe zerbrochen war. Der Grund ist nicht bekannt, aber die Folie war stark genug, die zerbrochene Scheibe zu tragen. Bei der Reparatur von außen wurden die Glassplitter mit Schaufel und Besen von der Folie entfernt; Abbildung 1.11 vermittelt einen Eindruck von der zerbrochenen Scheibe, die auf der Folie liegt.



**Abbildung 1.11** Zerbrochene Scheibe wird von der Folie aufgefangen.

Das Gewächshaus ist mit einem Luftbehandlungssystem ausgestattet, das für eine Kapazität von  $8 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$  ausgelegt ist und aus den folgenden Komponenten besteht:

Klimaschrank  $2,8 \text{ (L)} \times 1 \text{ (H)} \times 0,8 \text{ (T)} \text{ m}$  im Frontgiebel, in dem sich Folgendes befindet:

- Ein Radiallüfter mit EC-Motor ( $5000 \text{ m}^3/\text{h} - 500 \text{ Pa}$ ).
- Ventilstand- und Differenzdruckwächter.
- Luftrückführungsschacht.
- Außenluftklappe.
- Luftrückführungsklappe.
- Wärmetauscher.
- Maschenrost.

Zwei Überdruckventile in der Fassade, die die Luftableitung regeln. Der Klimaschrank wird über eine eigene Regelung (TCS-Steuersystem) vom Klimacomputer aus angesteuert. Jede zweite Rinne ist mit perforierten Schläuchen mit einem Durchmesser von  $160 \text{ mm}$  ausgestattet, die im Abstand von  $25 \text{ cm}$  zwei Reihen von  $8 \text{ mm}$  großen Löchern aufweisen.

Durch Messung wurde festgestellt, dass die maximale Kapazität mehr als das Doppelte beträgt. Durch die Regelung wird die maximale Kapazität meistens auf  $50$  bis  $60\%$  der Ventilatorumdrehzahl begrenzt.

## 1.3 Das Kulturverfahren

Das Kulturverfahren basiert auf den Erfahrungen, die mit dem 'Neuen Kulturverfahren' gesammelt wurden. Als Auftakt zu dieser Art von Gewächshausversuchen wurde der Bericht 'Neues Gewächshausdach für Neue Kulturverfahren' (Poot, 2011) erstellt, in dem die Vor- und Nachteile isolierender Gewächshausdächer beschrieben sind und dargelegt wird, wie sich dies pflanzentechnisch berücksichtigen und steuern lässt. Die wichtigsten Schlussfolgerungen aus dem betreffenden Bericht werden nachfolgend zusammengefasst. Für isolierende Gewächshausdächer wurde Folgendes festgestellt:

Auswirkungen auf Gewächshaus-klima	Eventuelle Pflanzenreaktion	Mögliche Lösung	Meinung des Expertenteams
Abends langsamer abkühlen	Vegetative Reaktion, Störung des Pflanzengleichgewichts	Aggressivere Lüftung; größere Tag-Nacht-Temperaturdifferenz; angepasste Stängeldichte, Zahl der Früchte; generativere Sorte	Trifft zu, wird als wichtiger Aktionspunkt betrachtet.
Wärmere Nächte	Höhere Temperaturen pro 24 Stunden; höhere Grundatmung, schwächerer Kopf	Belüften	Trifft zu. Bestätigt die vorstehende Annahme.
Im Winter tagsüber niedrigere RLF	Kompaktere Pflanze mit niedrigerem Blattflächenindex.	Vernebeln	Nicht problematisch; Lösung hat jedoch keinen Mehrwert.
Andere Zeiten: höhere RLF	Höheres Risiko von Krankheiten und physiogenen Abweichungen.	Aggressivere Ventilation, größere Kapazität des Entfeuchters	Trifft zu, wird als wichtiger Aktionspunkt betrachtet.
Feuchteres Mikroklima	Höheres Krankheitsrisiko	Wachstumsrohre, Entfeuchten mittels Luftschläuchen zwischen den Pflanzen; vertikale Luftbewegung durch vertikale Ventilatoren	Trifft zu. Bestätigt die vorstehende Annahme.
Temperaturgradient im unteren Bereich kälter	Langsameres Reifen/ Auswachsen der Früchte	Wachstumsrohr	Trifft zu, wird als wichtiger Aktionspunkt betrachtet.

Die Hauptschlussfolgerung lautete, dass für die Kultur vorab keine unüberwindlichen Hindernisse vorlagen. Durch behutsames Heizen, Entfeuchtung durch Außenluft und möglichst sparsamen Einsatz einer minimalen Heizrohrtemperatur kann eine erhebliche Energieeinsparung realisiert werden, ohne Zugeständnisse an die Pflanzenqualität oder Produktion machen zu müssen.



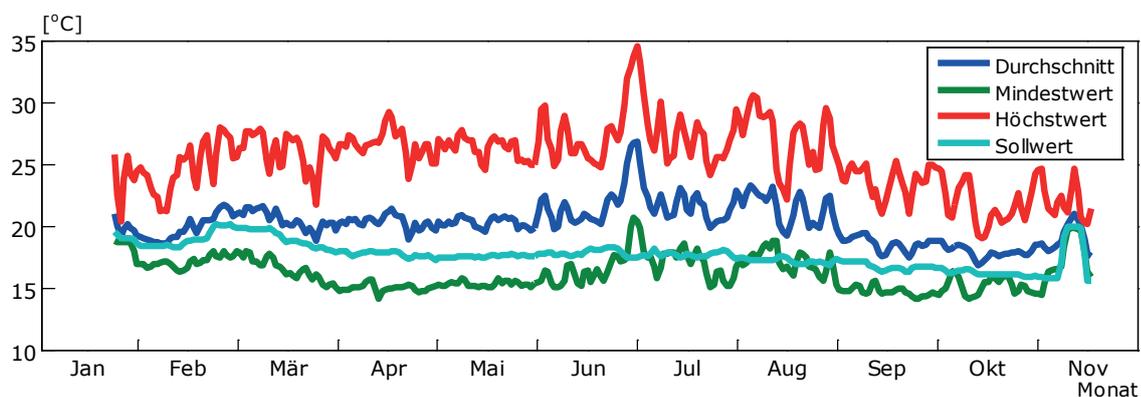
## 2 Gewächshausklima und Energiehaushalt

Nach der Fertigstellung des Gewächshauses Anfang Oktober 2014 wurde eine Gurkenkultur angelegt. Angesichts der extrem späten Startzeit wurde beschlossen, diese Kultur ausschließlich dazu zu verwenden, die Heizsysteme, darunter die horizontale Temperaturverteilung in Abhängigkeit von der Fassadenheizung, Entfeuchtung und Bewässerung zu testen und eventuelle Kinderkrankheiten der Regelung zu beseitigen, damit eine problemlose Tomatenkultur gewährleistet ist. Im Versuchsjahr 2015 waren kein Referenzgewächshaus und keine Referenzpflanzen vorhanden. Der Energieverbrauch wurde mit Praxisbetrieben verglichen. Das erforderte den Kontakt mit einer großen Gruppe von Cappricia-Gärtnern, die über das ganze Land verstreut waren.

### 2.1 Gewächshaustemperatur, Luftfeuchtigkeit und CO<sub>2</sub>-Konzentration

Die Anwendung der Kulturstrategie, die im Zuge der 'Neuen Kulturverfahren' entwickelt wurde, bedeutet, dass es an den meisten Tagen einen großen Unterschied zwischen der Mindest- und Höchsttemperatur gibt. Indem eine große Temperaturbandbreite zugelassen wird, kann eine hohe 24-Stunden-Temperatur bei maximaler Nutzung der Sonneneinstrahlung realisiert werden. Durch eine niedrige Heizlinie und eine hohe Lüftungslinie wird die Beheizung möglichst lang hinausgeschoben, während die Ausleitung von Wärme, die von der Sonne generiert wurde, so weit wie möglich begrenzt wird. Es wurde so wenig wie möglich von einer minimalen Heizrohrtemperatur oder einem Mindestlüftungsstand Gebrauch gemacht. Wenn im Einvernehmen mit dem Begleitausschuss doch eine aktivere Kultur notwendig war, entschied man sich für eine Außenluftzufuhr. Ab Mitte Mai war dann auch ein Mindestventilatorstand (25%) eingestellt. Je nach Feuchtigkeitsverhältnissen im Gewächshaus wurde ausschließlich Gewächshausluft zurückgeführt oder, bei Entfeuchtungsbedarf, auch Außenluft angesaugt und nachbeheizt. Diese Nachbeheizung wird immer auf 2°C über der gemessenen Gewächshauslufttemperatur eingeregelt.

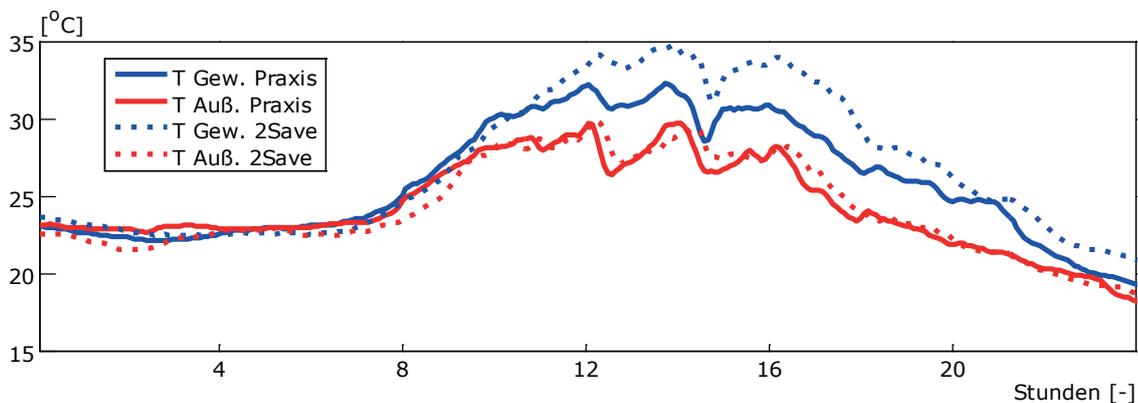
Abbildung 2.1 zeigt den Verlauf der durchschnittlichen, niedrigsten und höchsten Temperatur der Gewächshausluft und des durchschnittlichen Sollwerts für die Heizung im Gewächshaus während der Kultur.



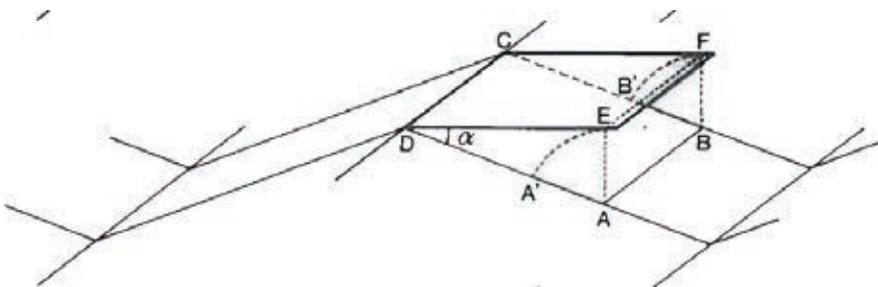
**Abbildung 2.1** Verlauf des Tagesdurchschnitts, Tagesmindest- und Tageshöchstwerts der Gewächshaustemperatur und des Sollwerts für die Heizung im Gewächshaus während der Kultur, wiedergegeben als gleitender Mittelwert über 2 Tage.

In Abbildung 2.1 fällt sofort der hohe Spitzenwert (35°C) um den 2. Juli auf, an einem Tag, an dem die Außentemperatur nicht mehr als 27°C erreichte, die Einstrahlung allerdings bei etwa 900 W/m<sup>2</sup> lag. Außerdem fiel auf, dass sich das Gewächshaus leicht aufheizt. Am 1. Juli erreichte die Außentemperatur etwa 33°C, während die Gewächshauslufttemperatur etwa auf dem Niveau der Außentemperatur blieb. Bei einem Vergleich mit einem Praxisbetrieb am 4. Juli, dem Tag mit der höchsten 24-Stunden-Temperatur, stellt sich heraus, dass das 2SaveEnergy-Gewächshaus an diesem Tag deutlich wärmer wurde als das Praxisgewächshaus, ebenfalls mit isolierendem Gewächshausdach, das sich einige Kilometer von Bleiswijk entfernt befindet (Abbildung 2.2).

Die 24-Stunden-Temperatur lag beim 2SaveEnergy-Gewächshaus an diesem Tag um 1°C höher. An anderen (warmen) Tagen waren die Unterschiede oft vernachlässigbar gering. Die Lüftungskapazität des 2SaveEnergy-Gewächshauses erscheint an manchen Tagen etwas begrenzt. Eine nähere Analyse der Lüftungskapazität des 2SaveEnergy-Gewächshauses verglichen mit einem Standardgewächshaus (siehe auch Abschnitt 1.2) zeigt, dass beim Bau des Gewächshauses die Lüftung etwas kleiner ausgefallen sind als gewünscht. Ein Standardgewächshaus mit einer Kappe von 4,80 m x 5-m-Feld, mit 1 Lüftungsöffnung von 1,67 x 1,40 m, die bis zu 30° geöffnet werden kann, hat in den Flächen ADE, BCF und ABFE in Abbildung 2.3 bei einem Öffnungswinkel Alpha von 30° eine projektierte Öffnung von 2,32 m<sup>2</sup>. Bei einem Öffnungswinkel von 45° erhöht sich die Öffnung auf 3,2 m<sup>2</sup>. Die Öffnung in der Dachfläche ABCD in Abbildung 2.3 misst in diesem Fall 1,67 x 1,4 m, insgesamt also 2,34 m<sup>2</sup>. Bei dieser Berechnung sind demnach 2,34 m<sup>2</sup> / (4,80 m Kappe x 5-m-Feld) geöffnet, was 9,8% des Dachs entspricht. Im 2SaveEnergy-Gewächshaus beträgt die Höhe AE etwa 20 cm. In diesem Fall beträgt die projektierte Öffnungsfläche 2 m<sup>2</sup> / (4,8 m Kappe x 5-m-Feld); dies entspricht 8,3% und somit 15% weniger als in einem Standardgewächshaus. Hinzu kommt, dass die Lüftungseffizienz einer durchgehenden Firstlüftungsanlage etwas geringer ist als bei einem Standard-Venlo-Gewächshaus. Der Wind kann einfacher durch den First blasen, ohne sich wirklich mit der Gewächshausluft zu vermischen. Dies wurde durch Berechnungen und Messungen (Windrichtung senkrecht auf den First) auch nachgewiesen (Fernandez, 2013). Bei geringerer Windgeschwindigkeit ist die wichtigste Quelle der Lüftung übrigens der Temperaturunterschied zwischen Innen- und Außenluft.



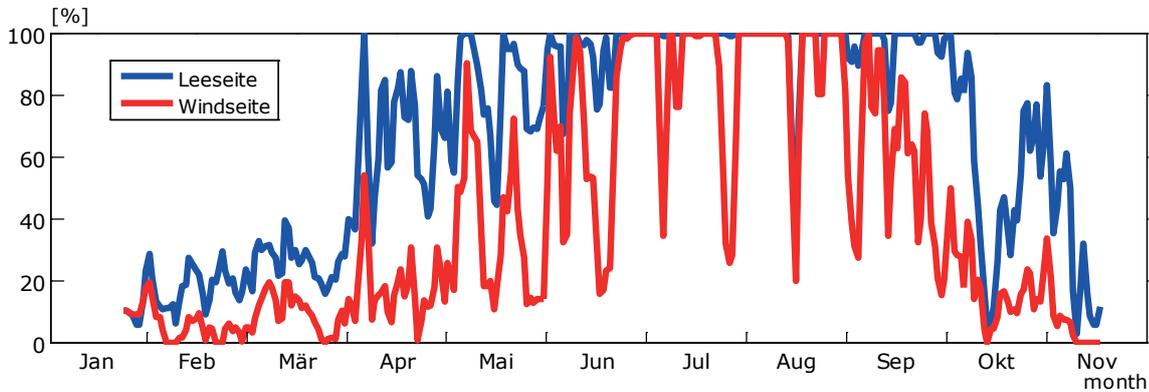
**Abbildung 2.2** Verlauf der Außen- und der Gewächshausatemperatur bei einem Praxisgewächshaus und dem 2SaveEnergy-Gewächshaus am 4. Juli 2015.



**Abbildung 2.3** Geöffnete Lüftungsöffnung bei einem Standard-Venlo-Gewächshaus.

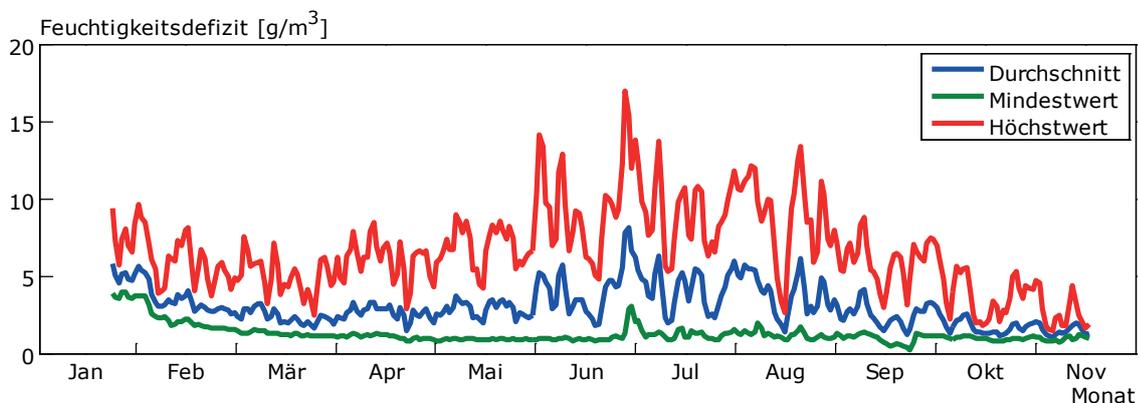
Die Lüftungskapazität des Gewächshauses lässt sich einfach vergrößern, indem die Lüftungsöffnungen etwas größer ausgeführt werden.

Eine andere Methode, dies zu verdeutlichen, besteht darin zu prüfen, ob die Lüftungsöffnungen ihre maximale Position erreicht haben. Wenn ja, war gemäß der Regelung mehr Lüftung erforderlich. In den Stunden, in denen die Lüftungsöffnungen nicht vollständig geöffnet waren, stellte die Lüftungskapazität noch kein Hindernis dar. In Abbildung 2.4 ist für jeden Tag der maximale Lüftungsstand sowohl auf der windab- als auch der windzugewandten Seite wiedergegeben. Im Juni und Juli wurde also täglich zu einem bestimmten Zeitpunkt der maximale Lüftungsstand und damit auch die maximale Lüftungskapazität erreicht. In Stunden ausgedrückt waren die Lüftungsöffnungen zusammen mehr als 500 Stunden (über 175%) geöffnet.



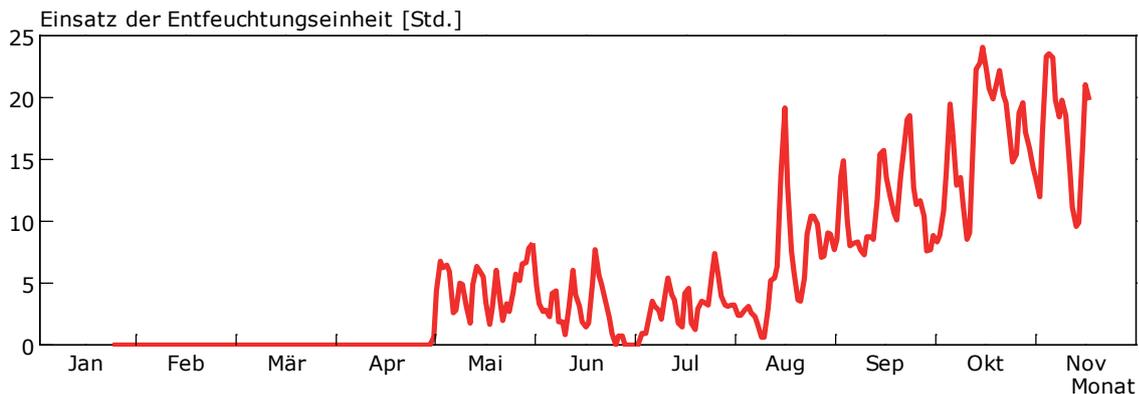
**Abbildung 2.4** Täglicher maximaler Stand der Lüftungsöffnungen sowohl auf der windabgewandten als auch auf der windzugewandten Seite.

Im Zuge des Konzepts der 'Neuen Kulturverfahren' wird in der Regel auch etwas feuchter kultiviert. Hierfür wurde die Regelung bis Ende Juni auf ein minimales Feuchtigkeitsdefizit von  $1 \text{ g/m}^3$  ausgerichtet. Anschließend wurde auf Wunsch des Begleitausschusses gegen Ende der Nacht/am frühen Morgen aktiver kultiviert, während der Sollwert auf  $1,3 \text{ g/m}^3$  erhöht wurde. Durch diese Art der Regelung liegt das minimale Feuchtigkeitsdefizit, das im Gewächshaus erreicht wird, bei  $1 \text{ g/m}^3$  oder noch etwas weniger. Dies hat in keinem Fall zu sichtbaren negativen Auswirkungen auf die Pflanzen, etwa in Form von Botrytis, geführt. Abbildung 2.5 zeigt den Verlauf des Tagesdurchschnitts, Tagesmindest- und Tageshöchstwerts des Feuchtigkeitsdefizits im Gewächshaus während der Kultur. Der Tiefpunkt um den 20. September war die Folge einer Störung in der Außenluftansaugung. Zu diesem Zeitpunkt wurden Feuchtigkeitsdefizite von unter  $0,5 \text{ g/m}^3$  gemessen. Bei normalem Einsatz der Entfeuchtungsanlage sank das Feuchtigkeitsdefizit während der Kultur nicht unter  $0,7 \text{ g/m}^3$ .



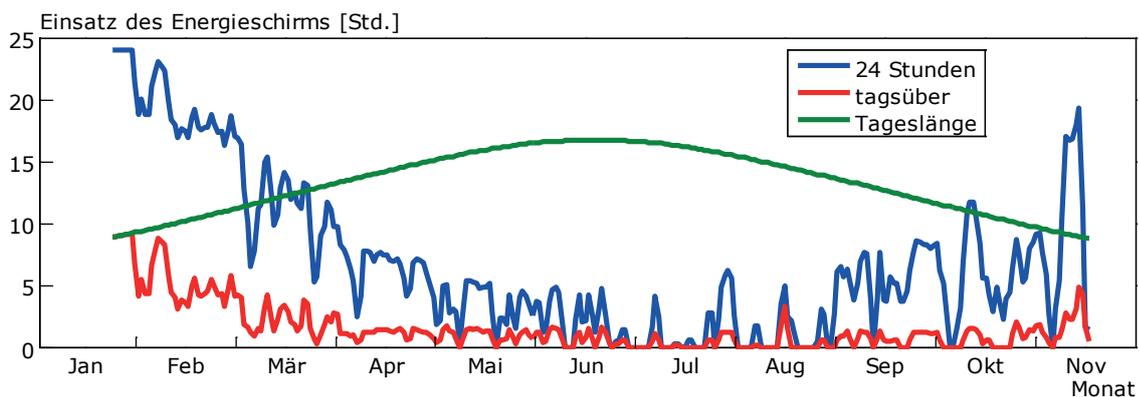
**Abbildung 2.5** Verlauf des Tagesdurchschnitts, Tagesmindest- und Tageshöchstwerts des Feuchtigkeitsdefizits im Gewächshaus während der Kultur, wiedergegeben als gleitender Mittelwert über 2 Tage.

Infolge des niedrigen Feuchtigkeits-Sollwerts wurde das Luftaufbereitungssystem von der Anfangsphase der Kultur bis Ende April nicht verwendet. Außer einem niedrigen Feuchtigkeits-Sollwert gibt es noch zwei weitere Faktoren, die die Nutzungsdauer der Entfeuchtungsanlage begrenzen. Im Winter und im Frühjahr ist der Temperaturunterschied zwischen dem Innen- und Außenbereich groß, wodurch es durch Kondenswasserbildung auf der Fassade doch noch zu einer erheblichen Entfeuchtung des Gewächshauses kommt. Darüber hinaus ist eingestellt, dass bei einem Lüftungsöffnungsstand von über 20% die Einheit ebenfalls abgeschaltet wird. Bei solchen Öffnungsständen ist der Luftaustausch infolge der Lüftung schon bald um ein Vielfaches größer als jemals mit dem System realisiert werden könnte. In Abbildung 2.6 ist die Nutzung der Entfeuchtungsanlage wiedergegeben. Während der Kultur wurde die Anlage 1624 Stunden eingesetzt.



**Abbildung 2.6** Einsatz der Entfeuchtungseinheit während der Kultur, wiedergegeben als gleitender Mittelwert über 2 Tage.

Außer der feuchteren Kultur ist auch der intensive Einsatz des Energieschirms ein wichtiger Bestandteil der 'Neuen Kulturverfahren'. Die Schirmanlage besteht aus einer Steuerung mit zwei Energieschirmen im Abstand von ca. 5 cm, die gemeinsam geöffnet und geschlossen werden. Während fast der gesamten Kultur war das Kriterium für das Schließen des Energieschirms eine Außenlufttemperatur von unter 12 Grad und ein Bedarf an Wärme. So sollte verhindert werden, dass sich in der Vornacht der Energieschirm schließt, zugleich aber die Vornachttemperatur infolge der langsamen Abkühlung nicht erreicht wird. In Abbildung 2.7 ist der Schirmgebrauch während der Kultur (24 Stunden) dargestellt.



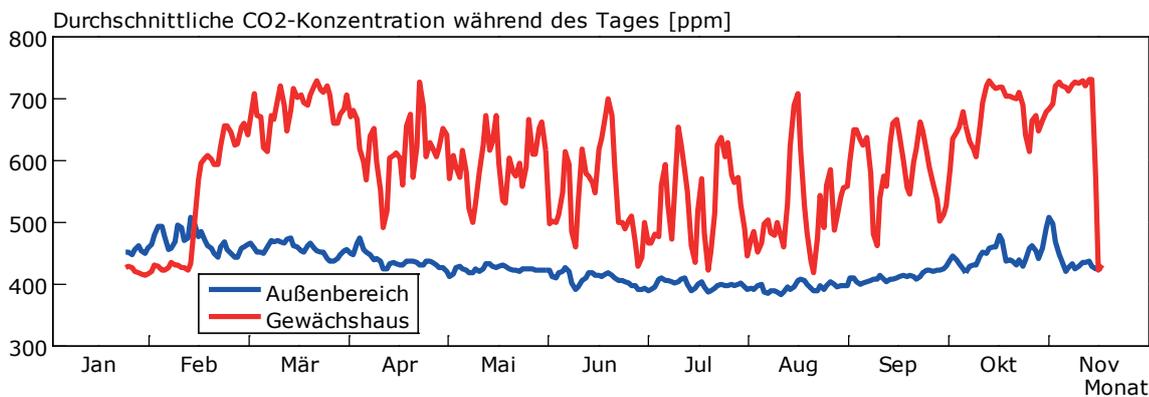
**Abbildung 2.7** Einsatz der Schirme während der Kultur, wiedergegeben als gleitender Mittelwert über 2 Tage.

Die Abbildung zeigt, dass fast das ganze Jahr über die Schirme eingesetzt werden, wodurch die Gesamtzahl der 'Schirmstunden' 2020 beträgt. Bei intensiver Nutzung des Energieschirms kommen diese je nach Bedingungen im Freien auch tagsüber zum Einsatz. Dies ist in Abbildung 2.7 als 'tagsüber' gekennzeichnet, wobei als Rahmenbedingung gilt, dass der Energieschirm über 50% geschlossen sein muss und dass die globale Strahlung mehr als 20 W/m<sup>2</sup> beträgt. Nach dieser Methode wird dann noch an 290 Stunden tagsüber vom Energieschirm Gebrauch gemacht, wodurch naturgemäß viele Stunden in die Nacht fallen. Wird das Kriterium auf über 100 W/m<sup>2</sup> globale Strahlung festgesetzt, müssen tagsüber 70 Stunden lang die Energieschirme eingesetzt werden. Damit die Schirmkapazität tagsüber angezeigt werden kann, wurde auch die Tageslänge in das Schaubild übernommen.

Ein Bestandteil des 2SaveEnergy-Gewächshauskonzept ist, dass ein Lichtgewinn erzielt werden kann, da während des Tags dank des doppelten Dachs noch immer eine wesentliche Energieeinsparung realisiert werden kann, wenn der Schirm geöffnet ist, während gerade in der Startphase der Kultur der feste Folienschirm permanent geschlossen bleibt, bis er entfernt wird.

Ein direkter Vergleich mit der Praxis ist hier nicht möglich. Es kann aber näherungsweise dargelegt werden, welche Effekte zu erwarten sind. Wenn angenommen wird dass während der ersten 5 Wochen der Kultur ein fester Folienschirm mit einer hemisphärischen Transmission von 80% montiert wird und dass der bewegliche Schirm bei Sonnenaufgang geöffnet wird, bleiben bei einer Transmission des Gewächshausdachs von 72% in diesen 5 Wochen insgesamt 214 mol PAR-Licht für die Pflanzen (Pflanzenniveau) in der Referenzsituation verfügbar. Im 2SaveEnergy-Gewächshaus, das eine etwas geringere Transmission hat als das Praxisgewächshaus (70%) und bei geschlossenem Schirm eine Gesamttransmission von 49% hat, stand in den ersten fünf Wochen eine Lichtausbeute von 239 mol für die Pflanzen (Pflanzenniveau) zur Verfügung. Dank dieser Strategie stand der Pflanze in den ersten fünf Wochen im 2SaveEnergy-Gewächshaus 12% mehr PAR-Licht zur Verfügung.

Das CO<sub>2</sub> wird während einer Lichtperiode auf 750 ppm erhöht. In den ersten drei Wochen der Kultur wurde kein CO<sub>2</sub> dosiert. In Abbildung 2.8 ist die realisierte CO<sub>2</sub>-Konzentration während des Tages im Gewächshaus und im Freien dargestellt. Im Sommer gibt es dagegen Tage, an denen angesichts des großen Lüftungsbedarfs der realisierte CO<sub>2</sub>-Gehalt kaum die Konzentration im Freien übersteigt, obwohl die CO<sub>2</sub>-Dosierung auf 110 kg/ha/Std. maximiert war.

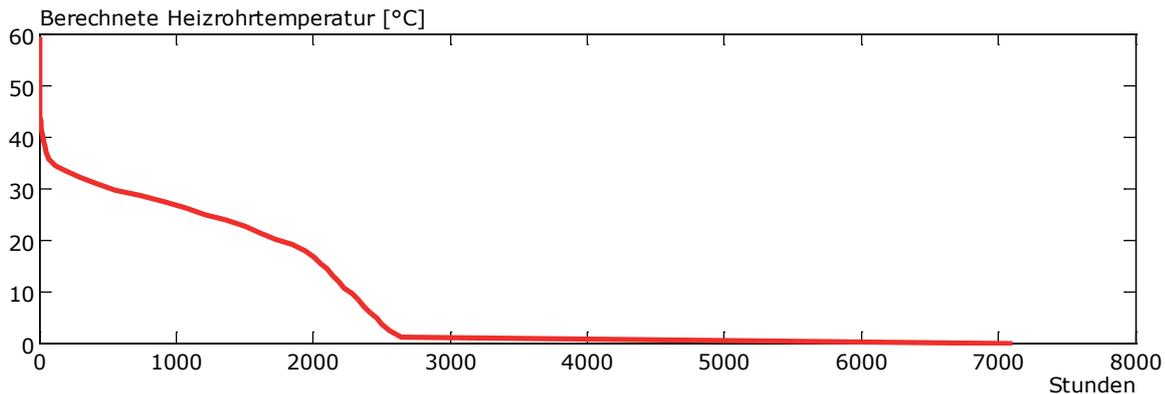


**Abbildung 2.8** Durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Konzentration des Gewächshauses und der Außenluft während des Tages, wiedergegeben als gleitender Mittelwert über 2 Tage.

Insgesamt wurden bei dieser Kultur 21,7 kg CO<sub>2</sub> dosiert. Darauf wird in Abschnitt 2.2 näher eingegangen.

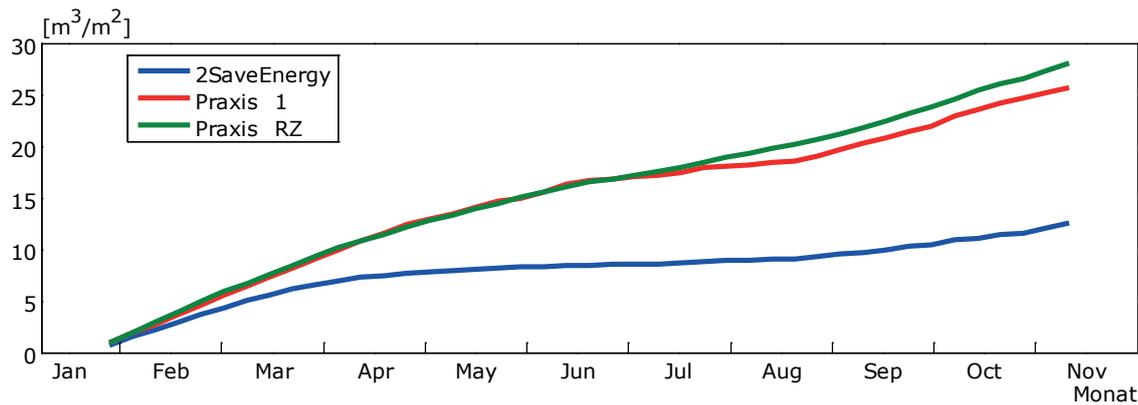
## 2.2 Energiehaushalt

Das 2SaveEnergy-Gewächshaus wird mit einem doppelten 51-mm-Rohrnetz beheizt. Dadurch kann das Gewächshaus mit relativ niedrigen Rohrtemperaturen beheizt werden. Abbildung 2.9 zeigt eine Jahresbelastungskurve der berechneten Rohrtemperatur. Bei dieser Kultur wurde nur 40 Stunden lang eine Rohrtemperatur über 40°C errechnet. Das Heizsystem kann also zu Recht als Niedertemperaturheizung bezeichnet werden. Das Luftaufbereitungssystem der Entfeuchtungseinheit wurde nicht primär zur Beheizung des Gewächshauses eingesetzt. Die Heizung des Luftaufbereitungssystems wurde so gesteuert, dass die eingeblasene Luft auf 2°C über der Gewächshausluft erwärmt wird. Zusammen mit der begrenzten Luftmenge, die durch das System geleitet wird, ist die Heizkapazität hiervon gleich Null.



**Abbildung 2.9** Jahresbelastungskurve der berechneten Heiztemperatur des unteren Netzes.

Die Energieaufnahme des Rohrheizsystems sowie des Luftaufbereitungssystems ist in Abbildung 2.10 wiedergegeben. Der Energieverbrauch wird mit zwei Praxisgruppen verglichen. Die 1. Gruppe war ein Durchschnitt aus 3 Betrieben, die allesamt im Westland ansässig sind und – wenn auch mit leicht verfrühtem Pflanzdatum – eine vergleichbare Sorte anbauen. Die Gruppe 'Praxis RZ' ist eine Gruppe von 8 Unternehmen, die allesamt die Sorte Cappricia anbauen, aber über das ganze Land verstreut ansässig sind; der Schwerpunkt liegt in Limburg und Brabant. Das Pflanzdatum dieser Unternehmen variiert von Anfang Dezember bis Mitte Januar. Die Leistungen des 2SaveEnergy-Gewächshauses sind im Vergleich zu den zwei Praxisgruppen ohne Weiteres gut zu nennen. Der geringe absolute Verbrauch ist teilweise der kurzen Kulturdauer zu verdanken und muss noch entsprechend berichtigt werden. Obwohl spät mit der Kultur begonnen wurde, konnte er im Zusammenhang mit Umbauarbeiten schon nach gut 42 Wochen wieder beendet werden – so früh, dass einige Rispen grün geerntet wurden. Wäre die Kultur regulär beendet worden, hätte sie noch 3,5 bis 4 Wochen weitergeführt werden müssen, und selbst dann ist die Kulturzeit noch relativ kurz. Um den Energieverbrauch in diesem zusätzlichen Monat gut einschätzen zu können, wurde die Kultur mit dem Gewächshausklimamodell Kaspro so berechnet, als wäre sie am 23. Dezember beendet worden. Für diese Berechnung wird das in Bleiswijk im Jahr 2015 realisierte Klima herangezogen. Die Klima-Sollwerte bleiben auf demselben Niveau wie Anfang November. Für die Praxisgruppen liegen für diesen zusätzlichen Zeitraum keine Daten vor. In Tabelle 2.2 sind die Ergebnisse zusammengefasst. Da es sich hier um einen Vergleich mit der gängigen Praxis handelt, wurde auf der Basis von Schätzungen und Berechnungen auch ein Vergleich mit Praxissituationen angestellt, in denen nach den Techniken und Verfahren der „Neuen Kulturverfahren“ vorgegangen wird.



**Abbildung 2.10** Kumulativer Energieverbrauch des 2SaveEnergy-Gewächshauses und von zwei Praxisgruppen.

Der Anteil der Nachheizung des Luftaufbereitungssystems beträgt etwa 1 m³/m². Das Luftaufbereitungssystem verbraucht nicht nur Wärme, sondern auch Strom für den Ventilator.

**Tabelle 2.1**

Der Energieverbrauch des 2SaveEnergy-Gewächshauses während der Kultur 2015 bei verlängerter Kultur bis 23. Dezember und in den Praxisbetrieben.

	Kultur 27.01. bis 18.11.2015	Berechnung 27.01 bis 23.12.2015
Wärmebedarf <sup>a)</sup> (m³/m²)	12,6	15,5
Stromverbrauch des Luftaufbereitungssystems <sup>b)</sup> (kWh/m²)	0,8	0,9
Wärmeverbrauch in der Praxis 1 (m³/m²)	25,7	29,2 <sup>d)</sup>
Wärmeverbrauch in der Praxis RZ (m³/m²)	28,0	31,5 <sup>d)</sup>
Einsparung 2SaveEnergy gegenüber der herkömmlichen Praxis	14,3 <sup>c)</sup>	14,8 <sup>d)</sup>
CO <sub>2</sub> -Einkauf (kg/m²)	12,7	12,7
Wärmeverbrauch in der Praxis nach dem Konzept der „Neuen Kulturverfahren“ <sup>e)</sup> (m³/m²)		23,0 <sup>d)</sup>

<sup>a)</sup> Dies versteht sich einschließlich 10% Fassadenverluste, also für ein Gewächshaus von etwa 4 ha Größe.

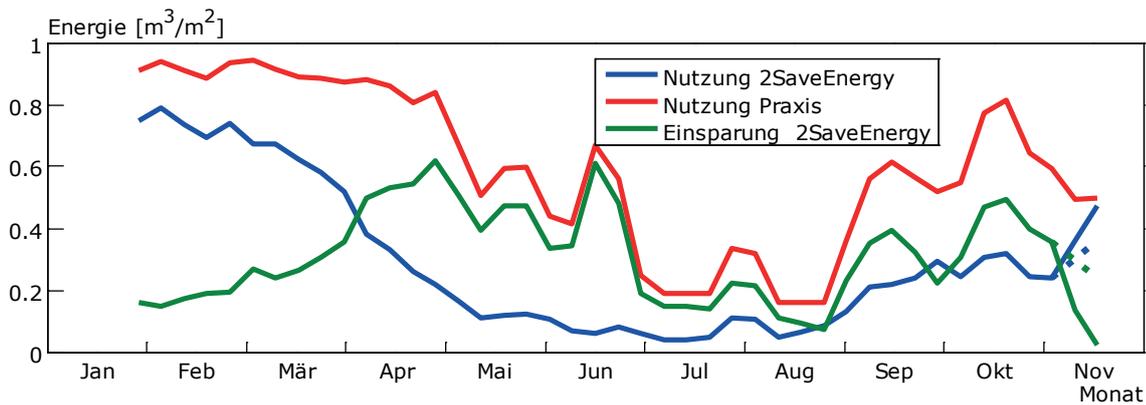
<sup>b)</sup> Der Stromverbrauch der Pumpen, Motoren für die Wasserdesinfektion usw., der in modernen Betrieben ab einem gewissen Umfang 6–8 kWh/m² auf Jahresbasis beträgt, wurde hierbei nicht berücksichtigt.

<sup>c)</sup> Diese Einsparung bezieht sich nicht auf die Ganzjahressituation.

<sup>d)</sup> Schätzung.

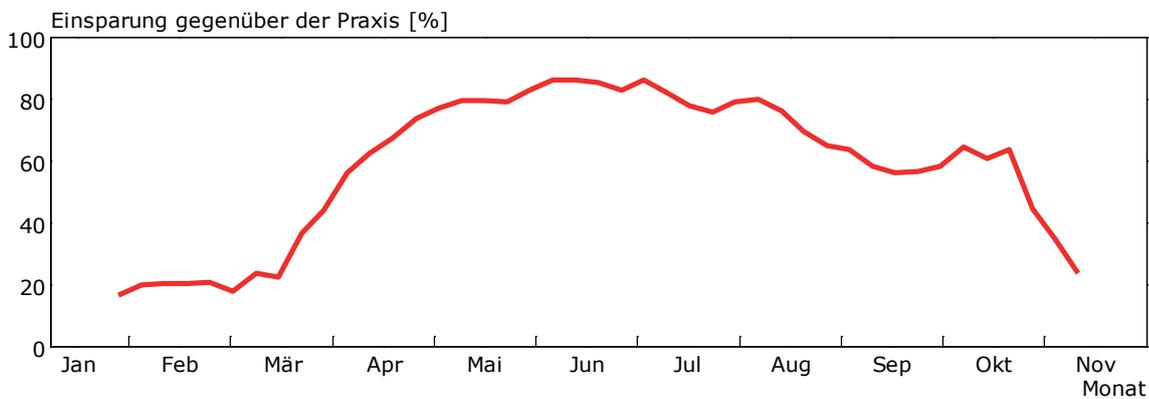
<sup>e)</sup> Die „Neuen Kulturverfahren“ umfassen dabei: 2 unabhängig bewegliche Energieschirme, Entfeuchtungsanlage und einfaches Dach.

Die Einsparung variiert im Laufe des Jahres. Im Sommer ist der Energieverbrauch im Vergleich zur Praxissituation eindeutig höher, was zweifellos mit der Verfügbarkeit von CO<sub>2</sub> und mit der Pflanzenaktivierung zu tun hat. Die wöchentliche Nutzung des Praxis- und des 2SaveEnergy-Gewächshauses sowie die wöchentliche Einsparung ist in Abbildung 2.11 wiedergegeben. Da in den letzten Wochen der Kultur im 2SaveEnergy-Gewächshaus aufgrund der beschleunigten Abreifung der Früchte völlig anders kultiviert wurde als in der Praxis, wurde für die Nutzung und Einsparung des 2SaveEnergy-Gewächshauses mithilfe einer gepunkteten Linie angegeben, welche Nutzung und welche Einsparung sich bei einer praxisorientierten Klimaregelung (Temperatur) erzielen lässt.



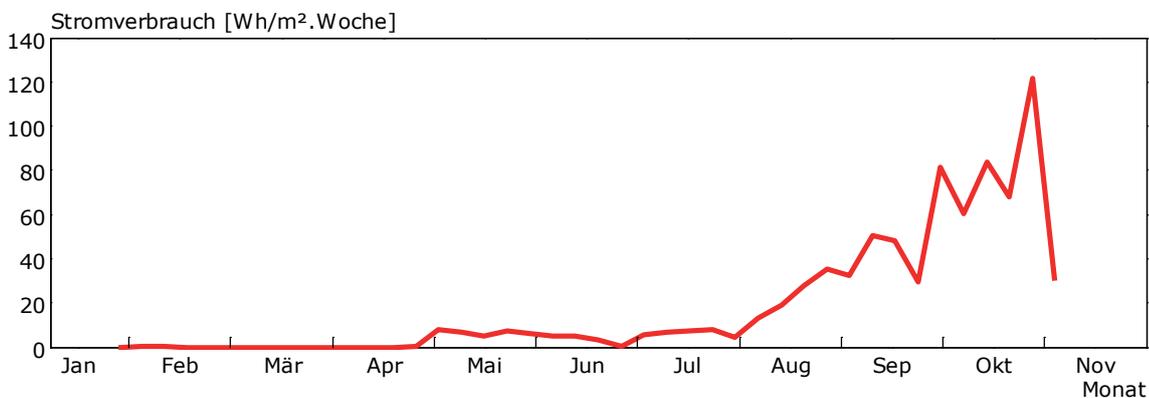
**Abbildung 2.11** Energieverbrauch und Einsparung des 2SaveEnergy-Konzepts im Vergleich zur Praxis.

Der prozentuale Anteil der Einsparung ist in Abbildung 2.12 zu sehen.



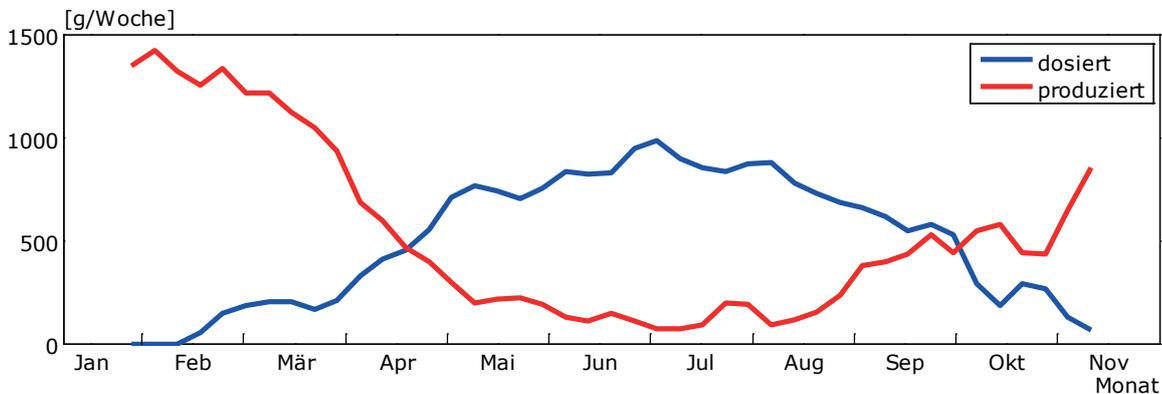
**Abbildung 2.12** Prozentuale Einsparung im Vergleich zur Praxis.

Das Luftaufbereitungssystem wurde erst ab Mitte April eingesetzt. Ein Teil der Entfeuchtung des Gewächshauses wird wohl über die Seitenfassaden verlaufen sein, wodurch sich der Einsatz des Luftaufbereitungssystems verringerte. Es lässt sich nicht genau feststellen, in welchem Maße diese Entfeuchtung über die Seitenfassade zur Gesamtentfeuchtung des Gewächshauses beigetragen hat. Der wöchentliche Stromverbrauch ist Abbildung 2.13 zu entnehmen. Das Luftaufbereitungssystem hat insgesamt 0,8 kWh/m<sup>2</sup> verbraucht.



**Abbildung 2.13** Wöchentlicher Stromverbrauch des Luftaufbereitungssystems des 2SaveEnergy-Gewächshauses.

Wie bereits in Abschnitt 2.1 besprochen wurden bei dieser Kultur 21,7 CO<sub>2</sub> zugesetzt. Bei einem so geringen Energieverbrauch, insbesondere in den Sommermonaten, wenn der CO<sub>2</sub>-Bedarf am höchsten ist, wird eine größere Diskrepanz zwischen dem CO<sub>2</sub>-Angebot aus Rauchgas und der Nachfrage nach dosiertem CO<sub>2</sub> entstehen. In Abbildung 2.14 ist diese Diskrepanz auf Wochenbasis dargestellt. Obwohl auf Jahresbasis nahezu ein Gleichgewicht zwischen produziertem CO<sub>2</sub> (22,6) und dosiertem CO<sub>2</sub> (21,7) erreicht wird, bleibt doch eine Differenz von 12,7 kg CO<sub>2</sub>. Diese Menge wird also aus einer anderen Quelle bezogen werden müssen.



**Abbildung 2.14** Dosiertes und produziertes CO<sub>2</sub> im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die erreichte Einsparung kann eindeutig als gut bezeichnet werden. Dabei muss jedoch auf zwei Sachverhalte hingewiesen werden. 1. Die Diskrepanz von 12,7 kg CO<sub>2</sub> (7 m<sup>3</sup> Gas) und 2. die geringfügige bzw. ganz unterbleibende Aktivierung der Pflanzen als Bestandteil des Konzepts der 'Neuen Kulturverfahren' haben zusammen wesentlichen Anteil an der erzielten Einsparung. Obwohl diese zwei Aspekte nicht vom Gewächshauskonzept – doppeltes Dach aus einer Glas-Folien-Kombination und doppeltem Energieschirm – getrennt werden können, ist der größte Teil der Einsparung auf das Gewächshauskonzept zurückzuführen.



# 3 Pflanzenwachstum

## 3.1 Versuchskonzept

Diese Art von Untersuchungen wird in der Regel ohne ein direkt vergleichbares Referenzgewächshaus durchgeführt. Für die Produktion der verschiedenen Kulturen wurde daher jeweils eine möglichst gute Referenzkultur in der Praxis gesucht, wobei die gleiche Sorte und das gleiche Pflanzdatum die wichtigsten Kriterien waren. Dies kann noch immer bedeuten, dass durch verschiedene Kulturverfahren, etwa die Pflanzdichte, Unterschiede entstehen können, die sich auf das Endergebnis der Produktion und auf die Produktqualität auswirken können. Die Vergleiche mit den Referenzen müssen daher auch als Näherungswerte betrachtet werden, damit die Versuchsfrage – 'Hat das doppelte Gewächshausdach negative Folgen für die Produktion?' – beantwortet werden kann.

### 3.1.1 Gurken 2014

#### **Pflanzenauswahl**

Als erste Kultur zur Einregelung des Gewächshauses wurden im Herbst 2014 Gurken ausgewählt, da es sich um eine kurze Kultur handelt, denn das Gewächshaus wurde erst am 20. Oktober fertiggestellt.

#### **Kulturbedingungen**

Die Gurken der Sorte Venice (Rijk Zwaan) wurden am 27. Oktober gepflanzt. Dies ist sehr spät für eine Herbstkultur; das Gewächshaus war aber nicht früher fertiggestellt. Man entschied sich für eine Sorte, die sich für die Winterkultur eignet, sowie für eine geringe Pflanzdichte, nämlich 1,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Die Pflanzen wurden am Hochdraht kultiviert. Diese erste Kultur, die vor allem dazu diente, die Systeme in diesem Gewächshaus zu testen, wurde am 23. Dezember beendet.

#### **Messungen**

Angesichts der kurzen Kulturdauer und des extrem späten Pflanzdatums wurden keine Pflanzenmessungen vorgenommen.

### 3.1.2 Tomaten 2015

#### **Pflanzenzustand**

- Sorte Cappricia (Rijk Zwaan).
- Impfen Bei 2 Blättern abgeschnitten und auf Maxifort gepfropft (De Ruiters Seeds).
- Pflanzdatum 27. Januar 2015 in Gewächshaus (Saatdatum 2. Dez.), auf Substrat gesetzt am 13. Februar 2015.
- Pflanzdichte 2,5 Pflanzen/m<sup>2</sup>.
- Zusätzliche Stängel In Woche 8 wurde bei jeder 2. Pflanze ein zusätzlicher Geiztrieb (bei 2. Rispe) beibehalten: 3,75 Stängel/m<sup>2</sup>.
- Stutzen Kopf der Pflanzen entfernt am 22. September 2015.
- Kulturende 19. November 2015 (etwas vorgezogen im Zusammenhang mit dem Umbau des Gewächshauses für einen anderen Versuch).

#### **Kulturbedingungen**

Bei diesem Versuch gab es kein direktes Vergleichsobjekt. Vor der Kultur wurden eingehende Beratungen mit dem Begleitausschuss geführt. Die Ernte wurde gelegentlich mit dem Ertrag einer Gruppe von Gärtnern, die dieselbe Sorte kultivieren, verglichen. Während der Produktion wurde das Klima so weit wie möglich nach den Ausgangspunkten der „Neuen Kulturverfahren“ gesteuert.

## Messungen

### *Pflanzenregistrierung*

Wöchentlich wurden bei 2 x 10 Pflanzen (mit den zusätzlichen Stängeln 2 x 15 Stängel) in zwei Versuchsfeldern verschiedene Messungen durchgeführt. Es wurden die folgenden Parameter registriert.

- Höhenwachstum.
- Kopfdicke (auf der Höhe der Pflanzenspitze in der vorigen Woche).
- Blattlänge (erstes Blatt unter der blühenden Rispe mit bereits angesetzten Früchten).
- Blühende Rispe.
- Zahl der angesetzten Früchte.
- Pflanzenbelastung.
- Geerntete Rispe.

### *Erntebeobachtungen*

Das durchschnittliche Fruchtgewicht wurde auf der Grundlage des Gesamtgewichts und der Anzahl der Früchte innerhalb der zwei Versuchsfelder errechnet. Die Kiloproduktion wurde bei allen Pflanzen in 2 Doppelreihen im Gewächshaus gemessen.

In beiden Versuchsfeldern wurden je Feld die folgenden Wahrnehmungen vorgenommen:

- Zahl der Rispen.
- Rispennummer der geernteten Rispe.
- Nettogewicht in kg.
- Zahl der marktfähigen Früchte.

### *Fruchtqualität*

Die Haltbarkeit der Früchte wurde zweimal gemessen, nämlich am 27. Mai und am 31. Juli.

## 3.2 Ergebnisse

Da bei der letzten Gurkenkultur im Jahr 2014 keine Pflanzenmessungen vorgenommen wurden, werden in diesem Kapitel ausschließlich die Ergebnisse der Tomatenkultur 2015 besprochen.

### 3.2.1 Tomaten 2015

#### **Kulturverlauf**

Nahezu wöchentlich haben Vertreter des Begleitausschusses (BCO) den Versuch besucht, die Pflanzen einer kritischen Beurteilung unterworfen und Empfehlungen zu Klimaeinstellungen und zu anderen Kulturfragen erteilt. Im Folgenden werden je Kulturmonat verschiedene Aspekte der Pflanzen kurz beschrieben:

#### *Februar*

Beim Pflanzen wurde festgestellt, dass eine gewisse Ungleichheit zwischen beiden Stängeln der Pflanze herrschte, aber dies ist oft der Fall bei Pflanzen, deren Kopf nach 2 Blättern gekürzt wird. In den ersten Wochen nach der Pflanzung wurde natürlich versucht, die Kraft in den Rispen zu behalten, indem keine zu hohen Nachttemperaturen herrschen. Die erste Rispe wurde bei 5 Früchten geschnitten; anschließend wechselte man auf 6 Früchte/Rispe. Die erste Rispe stand ab und war etwas unregelmäßig. Diese Rispe wurde darum mit einer Rispenhalterung gestützt; die folgenden Rispen wurden mit Bügeln befestigt. In der zweiten Februarhälfte hatte sich die Pflanze stark entwickelt und die unteren Früchte wuchsen rasch. Angesichts des späten Pflanzdatums wurde versucht, das Wachstum durch eine relativ hohe Temperatur zu beschleunigen. Ende Februar wurde begonnen, kleine Blätter aus dem Kopf zu entfernen.

### *März*

Anfang März ist die Pflanze stark generativ; es entwickeln sich rasch Rispen und Blüten. Einige Blätter im Kopf weisen allerdings einige Flecken und Ränder auf. Dies ist wahrscheinlich die Folge einer etwas zu langen Wassergabe in Kombination mit dem frühen Schließen des Energieschirms, während die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit noch hoch waren. Die Kombination eines doppelten Dachs mit einem doppelten Energieschirm erfordert einige klimatechnische Anpassungen. Die Entwicklung der unteren Rispen verläuft gut. Mitte März sieht auch der Kopf gut aus. Es wird empfohlen, die Entwicklung durch eine niedrigere Basistemperatur und stärkere Lichteinstrahlung zu beschleunigen. Ende März werden keine kleinen Blätter mehr aus dem Kopf entfernt. Der Begleitausschuss hält die Wassergabe für etwas knapp. Cappricia benötigt ausreichend Wasser und ist empfindlich gegenüber zu später Überschussbewässerung. Es wird versucht, zum Ende des Tages nicht zu aggressiv zu lüften und die im Gewächshaus vorhandene Wärme weitestmöglich zu nutzen.

### *April*

Anfang April haben sich unten in der Pflanze sehr schöne Früchte entwickelt. Oben in der Pflanze sind einige Blattrandnekrosen und eine mäßige Rispe zu sehen. Mitte April hat sich der Kopf gut erholt, wobei die Pflanze allerdings noch generativer sein könnte; die Blüte der Rispen verläuft mäßig, die Kopffarbe dürfte dunkler sein. Mit Blick auf die Blattrandnekrosen wird empfohlen, morgens „aktiver“ anzubauen, indem ein kleiner Unterschied zwischen Heiz- und Lüftungstemperatur eingestellt wird. Durch die relativ hohen Temperaturen, die angesichts des späten Pflanzdatums eingestellt wurden, sind die geernteten Früchte nicht sehr grob. Die Wurzeln haben sich gut entwickelt. Ende April ist der Kopf dunkler und dicker, und es ist eine Tendenz zum Vegetativen feststellbar. Die Rispenspitzen bleiben in der Entwicklung etwas zurück. Die eingestellte Temperatur wird darum etwas gesenkt.

### *Mai*

Anfang Mai haben die Pflanzen starke Köpfe mit kurzen Rispen und schönen gelben Blumen. Mittags darf die Temperatur 27°C erreichen. Anfang Mai wird erstmals mit dem Ventilator auf 20% der maximalen Kapazität entfeuchtet; der Beginn der Entfeuchtung liegt bei  $VD < 1 \text{ g/m}^3$ . Mitte Mai wird die Tagestemperatur bei starker Einstrahlung etwas länger beibehalten, um einen größeren Unterschied zu dunklen Tagen herzustellen. 80% der oberen Rispen sind zu diesem Zeitpunkt bereits gut entwickelt. Es werden regelmäßig kleine Blätter aus dem Kopf entfernt. Früchte, die sich in der Periode entwickelten, als die Blattrandnekrosen erschienen, reifen innerhalb einer Rispe oft auch ungleichmäßig. Form und Farbe der geernteten Früchte sind gut. Manche Rispen sind geknickt, wodurch das Fruchtgewicht an diesen Rispen etwas zurückbleibt. Im oberen Bereich bleiben die Rispen etwas schwach bei gelegentlich verlangsamter Abblüte, wodurch ab und zu Lücken entstehen. Dennoch ist der Begleitausschuss überrascht, wie gut die Pflanzen in diesem Gewächshaus entwickelt sind.

### *Juni*

Anfang Juni war der Kopf etwas zu stark gewachsen. Darum wurde die Heiztemperatur in 24 Stunden um 1°C gesenkt. Eine Woche später äußert sich das in einigen Blattrandnekrosen und einem unregelmäßigen Fruchtansatz. Es wird versucht, zwischen Tagen mit wenig und viel Einstrahlung größere Schwankungen der realisierten Temperaturen beizubehalten. Es gibt noch immer keine Botrytis-Probleme. Die Wurzeln sind noch immer gut entwickelt. Mitte Juni steht der Kopf etwas zu schräg und unflexibel, während die Rispe eher einen schwachen Eindruck macht. Es treten Blattrandnekrosen und geknickte Rispen auf. In der zweiten Junihälfte ändert sich der Stand des Kopfs jede Woche. Die Blüte verläuft innerhalb einer Rispe immer noch etwas ungleichmäßig.

### *Juli*

Ende Juni/Anfang Juli war es sehr warm mit starker Einstrahlung. Auch angesichts der begrenzten Luftkapazität kann die Temperatur in diesem gut isolierten Gewächshaus bei starker Einstrahlung und wenig Wind stärker ansteigen als in einem herkömmlichen Gewächshaus. Der Stand der Pflanze und der Fruchtansatz sind angesichts der extremen Witterungsbedingungen Anfang des Monats noch zufriedenstellend. Der im Vergleich zur Praxis relativ gute Fruchtansatz ist möglicherweise eine Folge des geringeren Feuchtigkeitsdefizits in diesem Gewächshaus im Vergleich zur Praxis. Es treten jedoch immer noch ungleichmäßige Blüte und schwache Rispen auf. Mitte Juli ist der Kopf stärker, aber die ungleiche Blüte bleibt. Einige Pflanzen weisen chlorotische Erscheinungen auf. Auch treten zu häufig Blattrandnekrosen auf. Ende Juli haben die Pflanzen gute Köpfe; manche sind etwas gelblich und ab und zu gibt es auch Störungen beim Fruchtansatz. Es müssen regelmäßig Anpassungen in der Ernährung vorgenommen werden, vor allem in Bezug auf Mangan.

### August

Pflanzen mit gelblichen Köpfen haben auch schwächere Rispen, aber gute Wurzeln. Diese Pflanzen werden selektiv geschnitten, und manchmal wird auch eine ganze Rispe entfernt. Die Pflanzen sind sehr unterschiedlich: es gibt sehr starke Pflanzen, aber auch schwache, gelbliche Pflanzen mit verzögerter Abblüte und mäßigem Fruchtansatz. Letzteres ist jedoch nicht auf die Hummeln zurückzuführen. Der Begleitausschuss empfiehlt, morgens noch aktiver vorzugehen, einen größeren Unterschied zwischen der Tages- und Nachttemperatur einzustellen und bei starker Einstrahlung den Tag länger dauern zu lassen. Es wird stärker entfeuchtet: die maximale Ventilatorkapazität wird von 30 auf 50% heraufgesetzt. Die unteren Rispen färben sich infolge des mäßigen Fruchtansatzes zu oft unregelmäßig. Zur Entlastung der Pflanzen wird auf zweimalige Ernte pro Woche umgestellt. Es werden schon seit Wochen keine Blätter mehr aus dem Kopf entfernt. Es gibt keinerlei Probleme mit Botrytis.

### September

Im Allgemeinen ist die Fruchtform gut. Im oberen Bereich werden die Rispen stärker. Die letzten Rispen werden mit Bügeln befestigt. Die Gelbfärbung im Kopf setzt sich nicht weiter fort. Infolge der lichtarmen Woche 36 hat die Pflanze in der folgenden Woche wenig Kraft im Kopf. Bis Mitte September hat sich dieser Zustand kaum verbessert. Die Ursache der Schwäche bleibt unklar. Es sieht danach aus, als könne die Pflanze bestimmte Nährstoffe unzureichend in den Kopf transportieren. Den Wurzeln fehlt jedoch immer noch nichts. In der zweiten Hälfte des Monats ist der Pflanzenstand zwar verbessert, aber die meisten Rispen bleiben eher schwach. Es treten immer noch einige Blattrandnekrosen auf. Am 22. September werden die Köpfe der Pflanzen geschnitten.

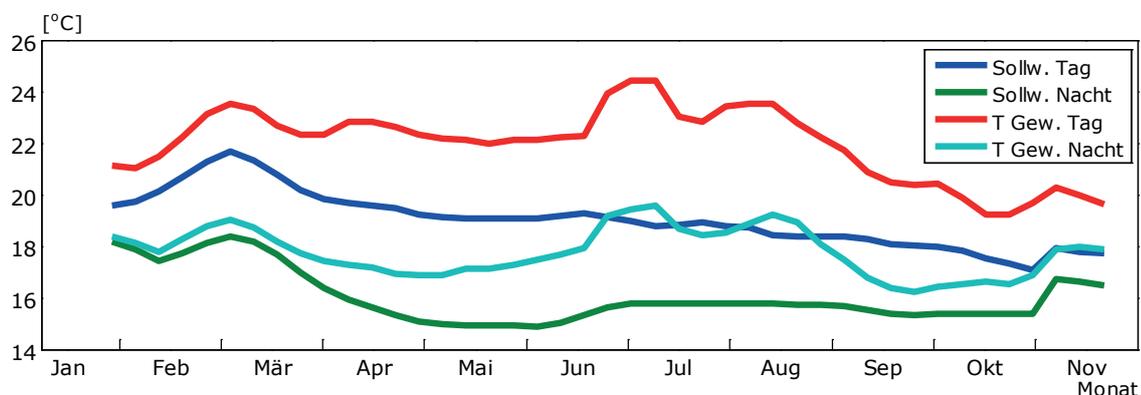
### Oktober

Trotz des schönen Wetters weisen einige Pflanzen Anfang Oktober doch wieder chlorotische Erscheinungen auf, und die Unregelmäßigkeit der Rispen hält an. Dies führt später zu Unterschieden in der Färbung innerhalb der Rispen. Auffallend ist, dass trotz der wiederholten Unregelmäßigkeiten des Fruchtansatzes die Produktion im Vergleich zu Praxisbetrieben ausgezeichnet ist. Das Wachstum der Geiztriebe ist stark. Es bleiben große Unterschiede zwischen den Pflanzen bestehen. Die Wurzeln aller Pflanzen sind immer in gutem Zustand. Ende Oktober sind nur noch wenig gelbe Köpfe zu sehen.

### November

Am 9. November fand eine Behandlung mit Ethrel statt und am 20. November wurde die Kultur beendet, da im Gewächshaus noch Arbeiten für eine Anschlussuntersuchung mit Gurken durchgeführt werden mussten. An diesem Tag waren aber noch nicht alle Früchte der oberen Rispen durchgefärbt.

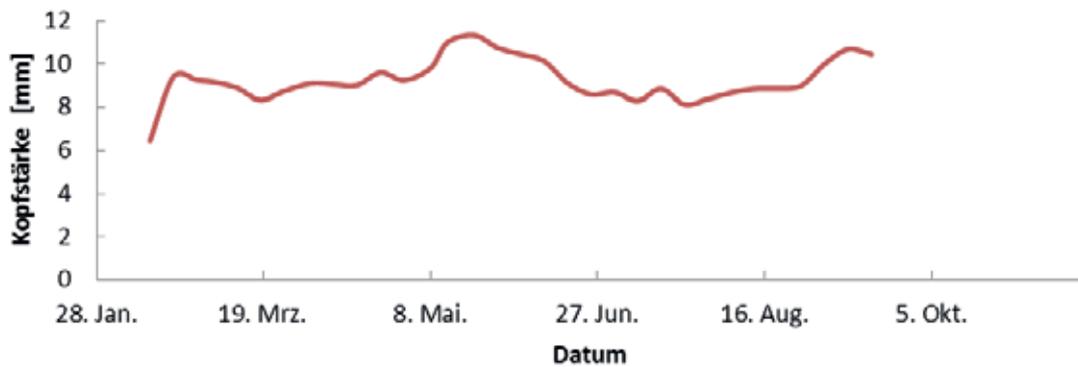
In Abbildung 3.1 sind die während der Kultur realisierten Sollwert-Temperaturen bei Tag und Nacht sowie die realisierten Gewächshauslufttemperaturen bei Tag und Nacht wiedergegeben.



**Abbildung 3.1** Sollwert-Temperaturen bei Tag und Nacht und realisierte Gewächshauslufttemperaturen bei Tag und Nacht, dargestellt als Wochendurchschnitt.

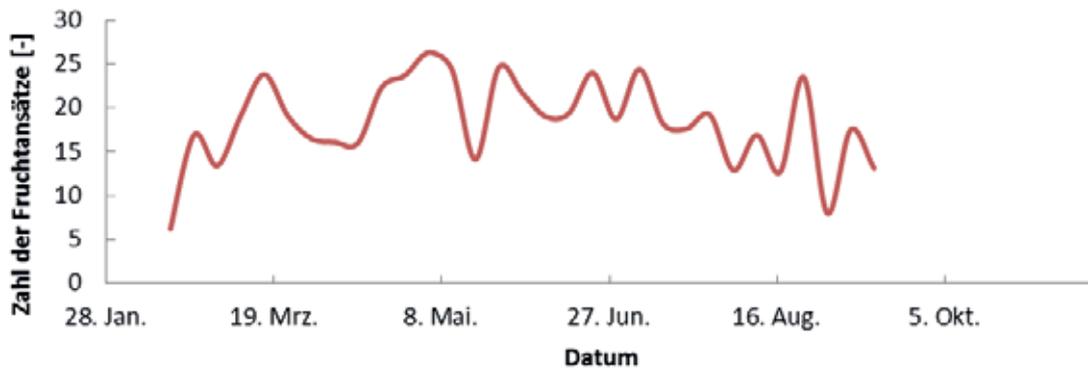
### Pflanzenmessungen

In Abbildung 3.2 bis 3.4 sind nacheinander die Kopfstärke, die Zahl der angesetzten Früchte und die Pflanzenbelastung pro Woche wiedergegeben.



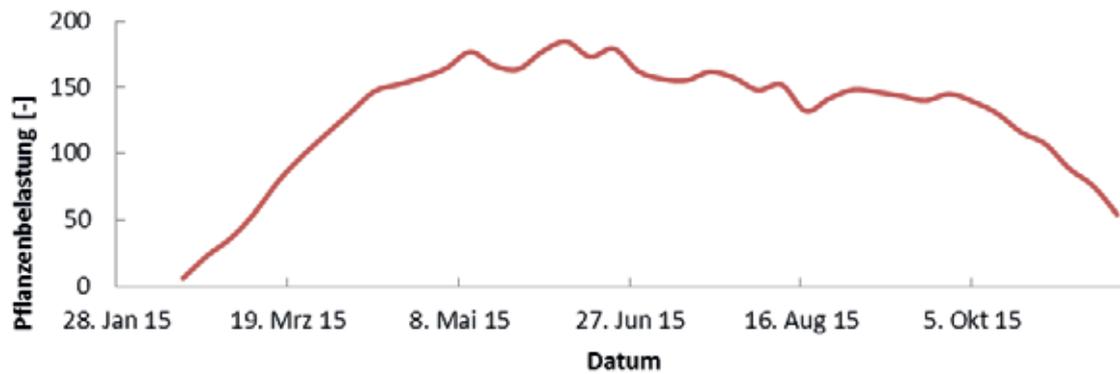
**Abbildung 3.2** Kopfstärke pro Woche, gemessen im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die Stängel sind von Mitte Mai bis Mitte Juni am dicksten. Gegen Ende der Kultur nimmt die Kopfstärke erneut zu.



**Abbildung 3.3** Zahl der angesetzten Früchte pro Woche im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die Zahl der angesetzten Früchte schwankt im Laufe der Zeit. Vor allem um den 1. April war ihre Zahl relativ niedrig. Dies hängt wahrscheinlich u. a. damit zusammen, dass sich in diesem Zeitraum nur mäßig geformte Rispen gebildet haben.

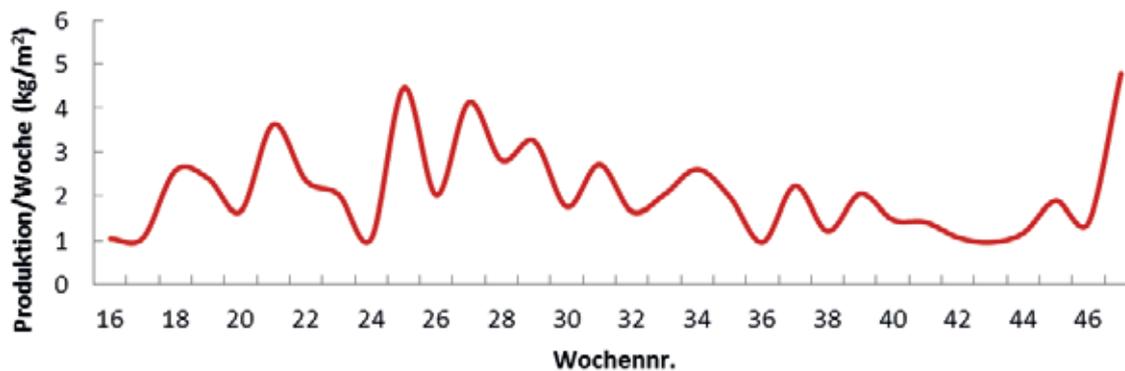


**Abbildung 3.4** Pflanzenbelastung pro Woche im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die Pflanzenbelastung nimmt Anfang Mai zu und erreicht in der ersten Junihälfte ihren Höhepunkt. Danach nimmt die Belastung allmählich wieder ab.

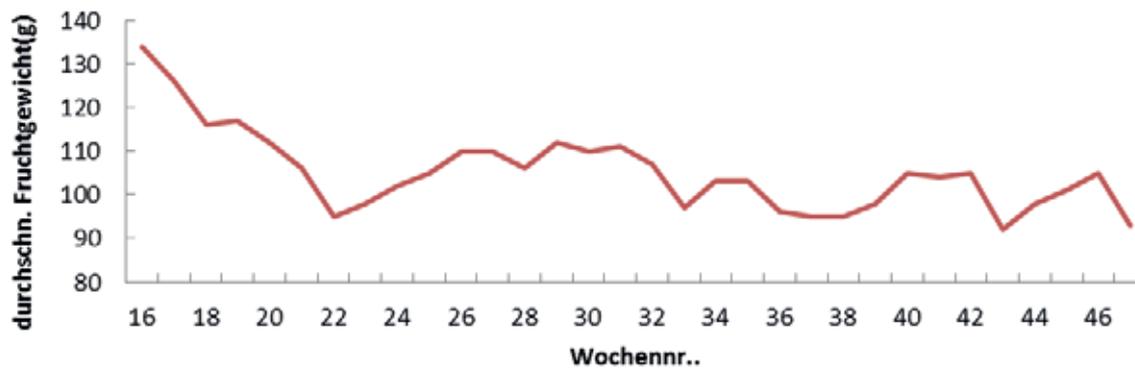
Produktion und Qualität

in Abbildung 3.5 und 3.6 sind die wöchentliche Produktion und das Fruchtgewicht wiedergegeben.



**Abbildung 3.5** Produktion pro Woche im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die Produktion verläuft bis zu einem gewissen Grad mit Höhen und Tiefen, was aber auch damit zusammenhängt, dass in 14 Tagen drei Ernten stattfanden. Das bedeutet, dass in einer Woche einmal und in der nächsten Woche zweimal geerntet wurde. Am Ende der Kultur entsteht ein Produktionsschub durch die Anwendung von Ethrel. Letztlich wurde eine Nettoproduktion von 67,1 kg/m<sup>2</sup> erzielt, womit das angestrebte Ziel von 63 kg/m<sup>2</sup> um 4 kg überschritten wurde.



**Abbildung 3.6** Durchschnittliches Fruchtgewicht pro Woche im 2SaveEnergy-Gewächshaus.

Die ersten Rispen sind eindeutig die größten. Insbesondere in Woche 22 (Ende Mai) war das durchschnittliche Fruchtgewicht eher niedrig. Dies kann mit den geknickten Rispen zusammenhängen, die in dieser Zeit auftraten. Im gesamten Zeitraum betrug das durchschnittliche Fruchtgewicht 104 g.

Die Haltbarkeit der Tomaten belief sich am 27. Mai und 31. Juli auf 18,3 und 14,2 Tage. Dies ist eine gute Haltbarkeit.



## 4 Öffentlichkeit

Das 2SaveEnergy-Gewächshaus im Rahmen des IDC Energie fand in der Öffentlichkeit viel Aufmerksamkeit. Das Projekt zog nicht nur zahlreiche Besucher an, von denen viele auf ausdrücklichen Wunsch gezielt dieses Gewächshaus besichtigten; auch in der Presse erschienen regelmäßig Berichte über das Projekt. Anhang 1 enthält eine Übersicht aktueller Artikel, Veröffentlichungen und Präsentationen.



## 5 Schlussfolgerungen

Die Versuche in dem 2SaveEnergy-Gewächshaus haben bewiesen, dass es gut möglich ist, bei geringem Energieaufwand ( $15,5 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ) im Zeitraum von Ende Januar bis Ende Dezember eine praxiskonforme Produktion zu erzielen, während der Stromverbrauch im Vergleich zu einem Standardgewächshaus nur unwesentlich zunimmt. In der Machbarkeitsstudie, die im Vorfeld dieses Projekts durchgeführt wurde, wurde bereits berechnet, dass mit diesem Gewächshauskonzept und Kulturverfahren gegenüber der gängigen Praxis eine Einsparung von bis zu 50% erzielbar sein müsste. Für ein Praxisgewächshaus, das nach den Grundsätzen der „Neuen Kulturverfahren“ betrieben wird, wird dagegen der Wärmebedarf auf  $23 \text{ m}^3/\text{m}^2$  geschätzt.

Obwohl mit diesem Versuch bestätigt wurde, dass sich mit diesem Gewächshaus große Einsparungen des Wärmebedarfs realisieren lassen, muss betont werden, dass es sich hierbei um ein gemeinsames Ergebnis des Gewächshauskonzepts und Kulturverfahrens handelt.

Außer der Isolierung durch das doppelte Gewächshausdach und den doppelten beweglichen Energieschirm trugen auch das Kulturverfahren und die Verfügbarkeit einer alternativen  $\text{CO}_2$ -Quelle in wesentlichem Maße zur der erzielten Einsparung bei.

Der Verzicht auf eine minimale Heizrohrtemperatur hat nicht zu sichtbaren Problemen geführt. Die Einsparung von Wärme konzentriert sich im Jahresverlauf auf zwei klar abgegrenzte Perioden: den Winter, in dem vor allem das Gewächshausdach und der Energieschirm für Einsparungen sorgen, und im Sommer, in dem vor allem das Kulturverfahren energieeffizient ist.

Der geringe Energieverbrauch im Sommer hat allerdings den Nachteil, dass zur Gewährleistung eines ausreichenden Produktionsniveaus unbedingt eine externe  $\text{CO}_2$ -Quelle zur Verfügung stehen muss. Auch bei der sparsamen Dosierstrategie, die bei diesem Versuch zur Anwendung kam, werden auf Jahresbasis rund  $13 \text{ kg CO}_2$  zugekauft werden müssen.

Die Entfeuchtung mit Außenluftzufuhr und Nachheizung hat ordnungsgemäß funktioniert.

Durch den geringen Schneefall im Winter 2015 war es nicht möglich, das Abschmelzen des Schnees durch Zufuhr von Gewächshausluft, die über die Rinne in den Zwischenraum zwischen Glas und Folie geleitet wird, zu testen. Bei Testmessungen wurde festgestellt, dass die Luft in der Rinne sehr schnell abkühlt, wodurch die Schmelzkapazität minimal sein wird.

Da der Zwischenraum zwischen Glas und Folie in diesem Konzept nicht luftdicht ist, kann es im Zwischenraum zur Kondenswasserbildung kommen. Ob sich daraus längerfristige Folgen für die Transmission ergeben und, wenn ja, welche, ist noch nicht bekannt.

Die Tomatenproduktion (Sorte Cappricia) lag mit  $67 \text{ kg}/\text{m}^2$  höher als das angestrebte Ziel von  $63 \text{ kg}/\text{m}^2$  und erreichte oder überschritt sogar das Niveau von Praxisbetrieben. Dazu wird das diffuse Gewächshausdach zweifellos seinen Teil beigetragen haben. Die Kultur verlief im Allgemeinen gut, ohne dass es zu Botrytis oder anderen Krankheiten kam. Auffallend war allerdings, dass in verschiedenen Perioden Unregelmäßigkeiten innerhalb und zwischen den Rispen auftraten. Die Ursache ist unklar.

Hinsichtlich der Pflanzenproduktion kann also festgestellt werden, dass sich die Anwendung eines isolierenden Gewächshausdachs und der intensive Einsatz eines (doppelten) Energieschirms nicht negativ auf die Produktion auszuwirken brauchen.



# Literatur

Fernández del Olmo, P. 2013.

Estudio mediante métodos numéricos (CFD) de la ventilación natural en un prototipo de invernadero parral multicapilla con ventilación optimizada. Trabajo fin de carrera Ingeniero Agrónomo. Escuela Politécnica Superior y Facultad de Ciencias Experimentales. Universidad de Almería.

Kempkes, F.L.K.; Swinkels, G.L.A.M.; Hemming, S.; Sapounas, A.; Noort, F.R. van; Janse, J. 2014.

Haalbaarheidsstudie Glas-Film Kasconcept. Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapport / Wageningen UR Glastuinbouw 1307) – S. 58.

Poot, E.H.; Kempkes, F.L.K.; Gelder, A. de; Janse, J.; Raaphorst, M.G.M. (2010).

Nieuw kasdek voor Het Nieuwe Telen. Bleiswijk: Wageningen UR Glastuinbouw, (Rapporten GTB 1050) – S. 86.



# Anlage 1 Verpublichtingen und Präsentionen

## Fernseh-/Videokanäle

<http://www.tuinbouwTV.nl/film/video/2saveenergy/>

## Artikel in Fachzeitschriften

Zuinig en efficiënt telen in 2SaveEnergy kas. Jacco Strating. 2014-07 KAS Techniek P68-P69.

Noviteiten en ontwikkelingen. Jacco Strating en Ellis Langen. 2015-06 KAS Techniek P57.

Kassen met een dubbellaags dek op een rij. Jacco Strating. 2015-06 KAS Techniek P22-P25.

<http://edepot.wur.nl/327287>. 2014-09 KAS Techniek P32-P35.

Met duurzaam, hoogtransparant folie naar betaalbaar dubbel kasdek: consortium realiseert proefkas volgens nieuw concept. Jan van Staalduinen, en Frank Kempkes, 2014. Onder Glas 11 (6/7). - p34 - 35.

## Websites

Deze maand glas op 2SaveEnergy kas. 15. August 2014.

<http://www.groentenet.nl/groenten/nieuws/deze-maand-glas-op-2saveenergy-kas/>

2SaveEnergy kas komt op stoom, 20. März 2015.

<http://www.groentennieuws.nl/artikel/123346/2SaveEnergy-kas-komt-op-stoom>

Onderzoek kasconcepten loopt, investeringen ook, Oktober 2015.

<http://www.groenkennisnet.nl/nl/groenkennisnet/show/Onderzoek-kasconcepten-loopt-investeringen-ook.htm>

Kasdek 2SaveEnergy biedt perspectief, 26. Februar 2016.

<http://www.agriholland.nl/nieuws/artikel.html?id=167579>

2SaveEnergy nieuwe opmaat energiezuinig telen, 25. Februar 2015.

<http://www.chrysantnet.nl/chrysanten/nieuws/2saveenergy-nieuwe-opmaat-energiezuinig-telen/>

Greenhouse roof 2SaveEnergy new standard for energy-efficient cultivation, 5. Juli 2015.

<http://www.hortidaily.com/article/15391/Greenhouse-roof-2SaveEnergy-new-standard-for-energy-efficient-cultivation>

Energiezuinig dubbel kasdek 21 augustus 2014.

<http://www.gfactueel.nl/Glas/Achtergrond/2014/8/Energiezuinig-dubbel-kasdek-1580902W/>

ETFE Film and Glass on the Same Greenhouse?, März 2015.

<http://agritecture.com/post/97003032137/etfe-film-and-glass-on-the-same-greenhouse>

2SaveEnergy kas: eerste kilo's geoogst, 12. Mai 2015.

## Kas als energiebron

Telen onder isolerend glas, Feije de Zwart. 7. April 2015.

<https://www.kasalsenergiebron.nl/nieuws/telen-onder-een-isolerend-kasdek/>

## **Sonstiges**

2SaveEnergy® kasconcept: van design naar realisatie. F.L.K. Kempkes und A. van Deursen. Poster bij Energiek Event 24. April 2014.

[https://www.wageningenur.nl/upload\\_mm/8/e/b/57215153-5cbd-4771-9d62-c23d51fb6812\\_Poster%20glas%20folie%20kas%20Energiek2020Event%202014v2.pdf](https://www.wageningenur.nl/upload_mm/8/e/b/57215153-5cbd-4771-9d62-c23d51fb6812_Poster%20glas%20folie%20kas%20Energiek2020Event%202014v2.pdf)

Greenhouse concept with high insulating by combination of glass and film: design and first experimental results. (Oral presentation). Frank Kempkes, Jan Janse und Silke Hemming. Greensys 2015 – International Symposium on New Technologies and Management for Greenhouses, Evora 21 July 2015.

Greenhouse concept with high insulating cover by combination of glass and film: design and first experimental results. 2016, in press. F. Kempkes, J. Janse und S. Hemming. Acta Hort.

Avag op bezoek in de 2SaveEnergy kas, 4 november 2014. Frank Kempkes en Arno van Deursen.

De 2SaveEnergy kas. Frank Kempkes. Energiebijeenkomst glasgroenten 21-9-2015 de Lier.







To explore  
the potential  
of nature to  
improve the  
quality of life



Wageningen UR Glastuinbouw  
Postbus 20  
2665 ZG Bleiswijk  
Violierenweg 1  
2665 MV Bleiswijk  
T +31 (0)317 48 56 06  
F +31 (0) 10 522 51 93  
[www.wageningenur.nl/glastuinbouw](http://www.wageningenur.nl/glastuinbouw)

Glastuinbouw Rapport GTB-1404

Wageningen UR Glastuinbouw initieert en fördert die Entwicklung von Innovationen, die auf einen nachhaltigen Unterglasgartenbau und die Verbesserung der Lebensqualität abzielen. Dies tun wir durch anwendungsorientierte Forschung in Zusammenarbeit mit Partnern aus dem Unterglasgartenbausektor, der Zulieferindustrie, der Veredelungsbranche, der Wissenschaft und der öffentlichen Verwaltung.

Das Forschungszentrum Wageningen UR (University & Research Centre) hat sich der Mission verschrieben, das Potenzial der Natur zu erkunden, um die Lebensqualität zu verbessern. Im Forschungszentrum Wageningen UR bündeln 9 spezialisierte Forschungsinstitute der Stiftung DLO und der Universität Wageningen ihre Kräfte, um zur Lösung wichtiger Fragen auf dem Gebiet einer gesunden Ernährung und Lebensumwelt beizutragen. Mit etwa 30 Niederlassungen, 6000 Mitarbeitern und 9000 Studierenden gehört Wageningen UR weltweit zu den renommiertesten Instituten der Branche. Die integrierte Problembehandlung und die Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Disziplinen sind der Kern der einzigartigen Herangehensweise von Wageningen.