



Energieeffiziente Assimilationsbelichtung

Schriftenreihe, Heft 13/2019



Optimierung des Einsatzes von Zusatzbe- lichtung im Zierpflanzenbau durch neue Leuchtmittel und Steuerungsstrategien

Margret Dallmann

1	Einleitung	10
2	Licht und Lichtmessung	11
2.1	Natürliche Strahlungsverhältnisse am Standort Pillnitz	11
2.2	Lichtmessung	11
3	Charakteristik der eingesetzten Leuchtmittel	13
3.1	Hochdruck-Natriumdampflampen.....	15
3.2	Keramik-Metallhalogendampflampen.....	16
3.3	LED.....	18
3.4	Schwefelplasmalampe	20
4	Steuerung der Assimilationsbelichtung	21
4.1	Zeitsteuerung	21
4.2	Lichtsummensteuerung	21
5	Versuche	22
5.1	Versuche mit Assimilationslicht in den Herbstmonaten	22
5.1.1	Versuchsbericht Topfpflanzen ab KW 38-2018.....	22
5.1.2	Versuchsbericht Edelpelargonien ab KW 38-2018	28
5.2	Versuche in den Wintermonaten	32
5.2.1	Versuchsbericht Edelpelargonien und andere Topfpflanzen ab KW 48-2015	32
5.2.2	Versuchsbericht Edelpelargonien mit Kühlvarianten ab KW 45-2016	38
5.2.3	Versuchsbericht Edelpelargonien ab KW 50-2017	43
5.2.4	Versuchsbericht Begonien ab KW 50-2017	46
5.2.5	Versuchsbericht Edelpelargonien und andere Topfpflanzen ab KW 50-2018	48
5.2.6	Versuchsbericht Hortensientreiberei ab KW 49-2016	53
5.2.7	Versuchsbericht Hortensientreiberei ab KW 50-2017	57
5.3	Versuche mit Beet- und Balkonpflanzen	60
5.3.1	Versuchsbericht samenvermehrte Beet- und Balkonpflanzen ab KW 11-2016.....	60
5.3.2	Versuchsbericht Beet- und Balkonpflanzen ab KW 10-2018	65
5.3.3	Versuchsbericht <i>Petunia</i> und <i>Scaevola</i> ab KW 10-2018	69
5.3.4	Versuchsbericht <i>Calibrachoa</i> und <i>Lantana</i> ab KW 10-2018	72
5.3.5	Versuchsbericht <i>Leucanthemum</i> ab KW 10-2018.....	76
5.3.6	Versuchsbericht Fuchsien ab KW 02-2019.....	80
5.3.7	Versuchsbericht Beet- und Balkonpflanzen ab KW 05-2019	84
5.3.8	Versuchsbericht Pelargonien ab KW 05-2019	90
5.4	Zusammenfassung der Versuche mit Plasmalampen	94
6	Betriebswirtschaft	96
6.1	Bewertungsmodell Licht	96
6.2	Berechnung nach Messwerten in Pillnitz	97
7	Zusammenfassung und Empfehlungen	101
	Literaturverzeichnis	103

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Mittlere Tageslichtsumme in den Versuchsjahren in Dresden-Pillnitz.....	11
Abbildung 2:	PAR-Sensor im Pflanzenbestand	12
Abbildung 3:	Spektrale Verteilung der Leuchtmittel	14
Abbildung 4:	Luftbild der Gewächshausabteile mit den verschiedenen Belichtungsvarianten.....	15
Abbildung 5:	Relative spektrale Verteilung einer Natrium-Hochdruckdampfampe SON-T Pia Green Power ..	16
Abbildung 6:	Gewächshausabteil mit der Leuchte Philips MGR 400 und Natriumhochdruckdampfampen SON-T Pia Green Power.....	16
Abbildung 7:	Relative spektrale Verteilung bei den verwendeten Keramik-Metallhalogendampfampen.....	17
Abbildung 8:	Gewächshausabteil mit der Leuchte MGR-E 315 und CDM-Leuchtmittel.....	18
Abbildung 9:	Gewächshausabteil mit LED-Belichtung.....	19
Abbildung 10:	Relative spektrale Verteilung der Philips LED-Toplight	19
Abbildung 11:	Schwefelplasmalampen PLM-E 950-75K im Einsatz.....	20
Abbildung 12:	Relative spektrale Verteilung der Schwefel-Plasmalampe	20
Abbildung 13:	Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel.....	24
Abbildung 14:	Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bis Versuchsende	25
Abbildung 15:	Etwas späterer Blühbeginn in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei <i>Sinningia</i> 'Brocade Red'	26
Abbildung 16:	Kompakte Pflanzen und höhere Knospenanzahl in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei <i>Gerbera</i> 'Revolution Yellow with Light Eye'	27
Abbildung 17:	Energieverbrauch in verschiedenen Belichtungsvarianten bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i>	30
Abbildung 18:	Späterer Blühbeginn bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Bermuda Pink' in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung	31
Abbildung 19:	Etwas schwächere Pflanzen nach drei Wochen Jungpflanzenkühlung in der Kühlzelle bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Elegance Jeanette'	31
Abbildung 20:	Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten über den gesamten Versuchszeitraum	35
Abbildung 21:	Früherer Blühbeginn unter Keramik-Metallhalogendampfampen bei <i>Pelargonium grandiflorum</i> 'Aristo Red Beauty'	36
Abbildung 22:	Unterschiedlicher Pflanzenaufbau in KW 03 bei <i>Pelargonium crispum</i> 'Angeleyes Orange'	36
Abbildung 23:	Früherer Blühbeginn unter Keramik-Metallhalogendampfampen bei <i>Gerbera</i> 'Mini Revolution Red Light Eye'	37
Abbildung 24:	Größere Pflanzen in KW 03 beim Einsatz von Keramik-Metallhalogendampfampen bei <i>Begonia</i> Cv. Elatior-Grp. 'Batik'	37
Abbildung 25:	Gesamtenergieverbrauch entsprechend der Treibdauer der Versuchsvariante.....	40
Abbildung 26:	Energiekosten je Versuchsvariante bei angenommenen Heizkosten von 0,05 €/kWh und einem Strompreis von 0,19 €/kWh.....	40
Abbildung 27:	Höhere Blüten- und Knospenanzahl bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Candy Flowers Peach Cloud' unter Keramik-Metallhalogendampfampen	41
Abbildung 28:	Bessere Pflanzenqualität bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Mikado' unter der Keramik- Metallhalogendampfampe CDM-T	41
Abbildung 29:	Bessere Pflanzenqualität bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Novita Violet' unter der Keramik-Metallhalogendampfampe CDM-T	42
Abbildung 30:	Bessere Pflanzenqualität bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Elegance Bravo' unter der Keramik-Metallhalogendampfampe CDM-T	42

Abbildung 31:	Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis zum mittleren Blühtermin bei Edelpelargonien 2017/2018	45
Abbildung 32:	Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität bei der Kultur von <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Elegance Bravo' unter verschiedenen Assimilationslampen und Belichtungsstrategien.....	45
Abbildung 33:	Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis zum mittleren Blühtermin bei <i>Begonia</i> Cv. 2017/2018.....	47
Abbildung 34:	Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität bei der Kultur von <i>Begonia</i> Cv. 'Baladin' unter verschiedenen Assimilationslampen und Belichtungsstrategien	48
Abbildung 35:	Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel.....	51
Abbildung 36:	Gesamt-Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis Versuchsende und bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> bis zum mittleren Blühbeginn.....	51
Abbildung 37:	Kompakte Pflanzen mit LED-Belichtung bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Graziosa Red impr.' ..	52
Abbildung 38:	Höhere Knospen- und Blütenanzahl in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei <i>Campanula medium</i> 'Campanella Blue'	52
Abbildung 39:	Höhere Knospenanzahl und besserer Gesamteindruck in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei <i>Gerbera</i> 'Revolution Scarlet with Dark Eye'	53
Abbildung 40:	Tagessumme der PAR-Strahlung (außen) und Belichtungsdauer der verschiedenen Belichtungsvarianten bei Hortensien	55
Abbildung 41:	Energieeinsatz während der Belichtung von Hortensien unter unterschiedlichen Assimilationslampen	56
Abbildung 42:	Energiekosten je Belichtungsvariante bei angenommenen Heizkosten von 0,05 €/kWh und einem Strompreis von 0,19 €/kWh	56
Abbildung 43:	Energieverbrauch je Variante bis zum mittleren Blühtermin während der Belichtung bei Hortensien 2017/2018	59
Abbildung 44:	Energieverbrauch je Variante über den gesamten Versuchszeitraum	63
Abbildung 45:	Tägliche Belichtungsdauer und gemessene Lichtsumme in den unterschiedlichen Varianten der Assimilationsbelichtung	63
Abbildung 46:	Etwas früherer Blühbeginn bei <i>Pentas lanceolata</i> 'Graffiti F1 Rose' unter Keramik-Metallhalogendampflampen CDM-T	64
Abbildung 47:	Geringe Unterschiede durch Assimilationsbelichtung bei <i>Begonia semperflorens</i> 'Brasil F1 Scarlet'	64
Abbildung 48:	Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität in den Versuchsvarianten bei <i>Celosia argentea</i> 'Calimba Scarlet'	64
Abbildung 49:	Bessere Pflanzenqualität durch Assimilationsbelichtung bei <i>Chamaesyce hypericifolia</i> 'Glitz'	65
Abbildung 50:	Früherer Blühbeginn mit Assimilationsbelichtung bei <i>Nemesia</i> Cv. 'Lyric Lemon'	66
Abbildung 51:	Größere Pflanzen durch Assimilationsbelichtung bei <i>Mecardonia</i> Cv. 'Aurita'	68
Abbildung 52:	Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bei <i>Nemesia</i> Cv. 'Lyric Lemon'	68
Abbildung 53:	Mittelwert der Kulturdauer über die Sorten bei <i>Petunia</i> und <i>Scaevola</i>	70
Abbildung 54:	Mittelwert der Bonitur des Gesamteindruckes bei <i>Petunia</i> und <i>Scaevola</i>	70
Abbildung 55:	Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationslicht auf 16 h Tageslänge bei <i>Petunia</i> Cv. 'Surprise Blue Sky'	71
Abbildung 56:	Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationslicht auf 16 h Tageslänge bei <i>Scaevola aemula</i> 'Purple Haze'	71
Abbildung 57:	Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bei <i>Petunia</i>	72
Abbildung 58:	Mittelwert des Gesamteindruckes über die Sorten bei <i>Calibrachoa</i> und <i>Lantana</i>	73
Abbildung 59:	Mittelwert der Sprossmasse über die Sorten bei <i>Calibrachoa</i> und <i>Lantana</i>	74

Abbildung 60:	Sehr gute Pflanzenentwicklung mit LED-Belichtung bei <i>Calibrachoa</i> 'Aloha Tiki Neon'	74
Abbildung 61:	Besserer Pflanzenaufbau durch Assimilationsbelichtung bei <i>Lantana</i> 'Sun Fun Sunrise Rose'	75
Abbildung 62:	Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten	75
Abbildung 63:	Aufblühverhalten von sechs Sorten <i>Leucanthemum</i> nach Assimilationsbelichtung auf 16 h Tageslänge bei ansonsten gleicher Kulturführung mit Topfen am 09.03.2018	77
Abbildung 64:	Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf die Sprossmasse bei <i>Leucanthemum</i>	78
Abbildung 65:	Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf die Anzahl Blüten und Knospen je Pflanze bei <i>Leucanthemum</i>	78
Abbildung 66:	Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf den Blütendurchmesser bei <i>Leucanthemum</i>	79
Abbildung 67:	Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf den Gesamteindruck bei <i>Leucanthemum</i>	79
Abbildung 68:	Energieverbrauch bei <i>Leucanthemum</i> 'Sweet Daisy Jane' bezogen auf die Kulturdauer in den einzelnen Lichtvarianten	80
Abbildung 69:	Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer bei Fuchsien	82
Abbildung 70:	Kulturzeitverkürzung mit Zusatzlicht bei <i>Fuchsia</i> Cv. 'Bella fuchsia NIKITA'	83
Abbildung 71:	Kulturzeitverkürzung mit Zusatzlicht bei <i>Fuchsia</i> Cv. 'Jollies Menton'	83
Abbildung 72:	Aufblühverhalten der untersuchten Beet- und Balkonpflanzen in den verschiedenen Lichtvarianten	87
Abbildung 73:	Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer der Beet- und Balkonpflanzen	88
Abbildung 74:	Kulturzeitverkürzung um drei Wochen gegenüber der Variante mit natürlicher Tageslänge bei <i>Osteospermum ecklonis</i> '3D Banana Shake'	88
Abbildung 75:	Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationsbelichtung bei <i>Brachyscome multifida</i> 'Surdaisy White Improved'	89
Abbildung 76:	Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel	91
Abbildung 77:	Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer bei Pelargonien	92
Abbildung 78:	Mehr Blüten- und Knospenstände mit Assimilationsbelichtung bei <i>Pelargonium</i> Cv. Zonale-Grp. 'Savannah OH SO ORANGE'	93
Abbildung 79:	Kulturzeitverkürzung mit Assimilationslicht bei <i>Pelargonium</i> Cv. Peltatum-Grp. 'Kate'	93
Abbildung 80:	<i>Pelargonium x grandiflorum</i> 'Elegance Bravo' aus verschiedenen Belichtungsvarianten bei Belichtung ab KW 50	94
Abbildung 81:	<i>Petunia</i> Cv. 'SURFINIA Deep Red' in verschiedenen Belichtungsvarianten ab KW 10	95
Abbildung 82:	Vergleich der jährlichen Kosten für die Assimilationsbelichtung und Heizung bezogen auf die Beispiel-Anbaufolge in den Pillnitzer Versuchsgewächshäusern	100
Abbildung 83:	Veränderung der Kosten gegenüber einer Assimilationsbelichtung mit Natriumdampflampen in Prozent bei einem Beispielanbau mit drei Sätzen	100

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Umrechnungsfaktoren von Beleuchtungsstärke in Photonenflussdichte (PAR) bei unterschiedlichen Lichtquellen	12
Tabelle 2:	Überblick zu den Herstellerangaben und Messwerten der eingesetzten Leuchtmittel	13
Tabelle 3:	Übersicht zu den Versuchen mit Assimilationslicht in Dresden-Pillnitz	22
Tabelle 4:	Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung bei blühenden Topfpflanzen ab KW 38-2018	24
Tabelle 5:	Ausgewählte Pflanzenmerkmale zum Blühbeginn in den unterschiedlichen Lichtvarianten bei verschiedenen Topfpflanzen.....	25
Tabelle 6:	Überblick über untersuchte Arten und Sorten in den Lichtvarianten ab KW 38.....	28
Tabelle 7:	Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i> ab KW 38-2018	29
Tabelle 8:	Merkmale in den verschiedenen Licht- und Kühlvarianten bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i>	30
Tabelle 9:	Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung in Dresden Pillnitz 2015/16	33
Tabelle 10:	Pflanzenmerkmale in den unterschiedlichen Belichtungsvarianten in Dresden-Pillnitz 2015/16.....	34
Tabelle 11:	Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Edelpelargonien	39
Tabelle 12:	Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten über alle Sorten und Kühlvarianten	39
Tabelle 13:	Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung ab KW 50-2017	44
Tabelle 14:	Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei <i>Pelargonium x grandiflorum</i>	44
Tabelle 15:	Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei <i>Begonia Cv.</i>	47
Tabelle 16:	Vergleich der eingesetzten Leuchtmittel bei Topfpflanzen mit Kulturbeginn in KW 50	49
Tabelle 17:	Ausgewählte Pflanzenmerkmale zum Blühbeginn bei verschiedenen Topfpflanzen	50
Tabelle 18:	Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Hortensien	54
Tabelle 19:	Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei der Treiberei von Hortensien	55
Tabelle 20:	Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Hortensien	58
Tabelle 21:	Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei der Treiberei von Hortensien	59
Tabelle 22:	Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei samenvermehrten Beet- und Balkonpflanzen in Dresden Pillnitz 2016	61
Tabelle 23:	Kulturdauer und Sprossmasse zum Kulturende von ausgewählten Pflanzenarten in den unterschiedlichen Belichtungsvarianten in Dresden-Pillnitz 2016	62
Tabelle 24:	Veränderungen von Kulturdauer und Pflanzenqualität durch Assimilationsbelichtung auf 16 h im Verhältnis zur unbelichteten Kultur	67
Tabelle 25:	Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Fuchsien mit Kulturbeginn in KW 02 und Belichtung ab KW 05	81
Tabelle 26:	Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn bei Fuchsien in den Lichtvarianten	82
Tabelle 27:	Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Beet- und Balkonpflanzen mit Kulturbeginn in KW 05.....	85
Tabelle 28:	Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn in den Lichtvarianten	86
Tabelle 29:	Überblick über untersuchte Arten und Sorten im Versuch.....	89
Tabelle 30:	Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Pelargonien mit Kulturbeginn in KW 05.....	91
Tabelle 31:	Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn bei Pelargonien in den Lichtvarianten	92
Tabelle 32:	Beispielrechnung mit Bewertungsmodell für 1000 m ² Gewächshausfläche für drei Kultursätze ab KW 40 bis KW 17	97
Tabelle 33:	Beispielrechnung für Investitionskosten von Assimilationsbelichtung bei einer Nutzfläche von 120 m ²	98

Tabelle 34: Kostenrechnung für die Assimilationsbelichtung in den Pillnitzer Versuchsgewächshäusern anhand von Herstellerangaben und gemessenem Verbrauch an Energie für 120 m ² Nutzfläche und Produktion in drei Sätzen.....	99
Tabelle 35: Zusammenfassung der prozentualen Abweichungen im Energieverbrauch in den verschiedenen Versuchen.....	101

Abkürzungsverzeichnis

CRI	colour rendering index (Farbwiedergabeindex)
K	Kelvin (Farbtemperatur)
klx	Kilolux
klxh	Kiloluxstunden
KW	Kalenderwoche
LED	Licht emittierende Diode
lm	Lumen (Lichtstrom)
nm	Nanometer
PAR	photosynthetically active radiation (engl.) = photosynthetisch aktive Strahlung
Pfl.	Pflanzen
μmol	Mikromol

1 Einleitung

Durch den Einsatz von Assimilationsbelichtung kann bei der Produktion von Zierpflanzen in Gewächshäusern ein wesentlicher Einfluss auf die Kulturdauer, den Pflanzenhabitus und die Pflanzenqualität genommen werden. Da in den Wintermonaten in Mitteleuropa nur geringe natürliche Einstrahlung vorhanden ist, können in dieser Zeit besonders große Effekte mit einer künstlichen Belichtung erreicht werden. Allerdings ist eine Assimilationsbelichtung immer mit hohen finanziellen Aufwendungen für die Installation und die elektrische Energie verbunden.

Durch die Entwicklung neuer Leuchtmittel wurde in den letzten Jahren wieder sehr viel über Assimilationslicht im Gartenbau gesprochen und mit der Entwicklung der LEDs wird eine deutliche Energieeinsparung erwartet. Aber anders als in Räumen ohne natürlichen Lichteinfluss, sind in Gewächshäusern besonders viele Einflussfaktoren zu beachten, die sich auf die Energieeffizienz einer Kultur im Zierpflanzenbau auswirken. Die Jahreszeit und die natürlichen Einstrahlungsverhältnisse sind ebenso ausschlaggebend wie der Lichtbedarf der Pflanzenart. Neben dem direkten Energieeinsatz in Form von Heiz- und Elektroenergie sind die Vermarktungssituation und die Pflanzenqualität entscheidend für die Bilanz der Produktion von Zierpflanzen mit Zusatzlicht. Ob in einem Produktionsbetrieb Assimilationslicht zum Einsatz kommt, ist vom Produktionsprofil und den Absatzmöglichkeiten abhängig und muss jeweils nach genauer Kosten-Nutzen-Analyse erwogen werden.

Im Rahmen des Projektes wurde nach Möglichkeiten einer energieeffizienten Assimilationsbelichtung gesucht. Dabei wurde der Einsatz neuer Leuchtmittel geprüft. Neben den im Gartenbau bekannten Natriumhochdruckdampflampen wurden Vollspektrumlampen und LED-Belichtung getestet. Der Vergleich der verschiedenen Lampenarten erfolgte unter praxisnahen Bedingungen, um sowohl den Verbrauch an Elektroenergie als auch an Heizenergie zu messen. In vielen Versuchen wurde die Pflanzenentwicklung in den verschiedenen Systemen erfasst und bewertet.

Durch die Verwendung verschiedener Lampentypen ist eine Bewertung des Lichtes mit geeigneten Sensoren notwendig. Der Einsatz von PAR-Sensoren wurde in den verschiedenen Versuchen getestet. Mit Hilfe der Sensoren ist es möglich, in den verschiedenen Varianten auf gleiche Lichtmengen zu steuern.

Die untersuchten Lampentypen entsprechen dem Entwicklungsstand von 2017. Besonders im Bereich der LED ist die Entwicklung zu energieeffizienten Leuchten weiter zu beobachten.

2 Licht und Lichtmessung

2.1 Natürliche Strahlungsverhältnisse am Standort Pillnitz

Für die Produktion verschiedener Zierpflanzenarten ist an sächsischen Standorten in den Wintermonaten die natürliche Einstrahlung der begrenzende Faktor. Während in den Sommermonaten an sonnigen Tagen oftmals eine Lichtsumme von über 500 Kiloluxstunden zur Verfügung steht, sind es im Winterhalbjahr an trüben Tagen nicht einmal 10 klxh. Diese Außenwerte werden durch die Gewächshaushülle je nach Konstruktion nochmals auf etwa 50 % reduziert. Ist eine Topfpflanzenproduktion in den Wintermonaten geplant, ist für viele Pflanzenarten eine Belichtung notwendig. Dabei ist der Lichtbedarf der verschiedenen Arten unterschiedlich. Typische Topfpflanzen in den Wintermonaten wie *Sinningia*, *Streptocarpus* oder *Pelargonium x grandiflorum* benötigen eine tägliche Lichtsumme von 50 bis 60 klxh, lichtbedürftige Pflanzen wie Topfrosen bevorzugen mindestens 100 klxh.

In der Abbildung 1 sind die mittleren Tageslichtsummen von Dresden-Pillnitz dargestellt. Daraus ergibt sich ein Belichtungsbedarf besonders in den Monaten November bis Februar. In den Frühjahrs- und Herbstmonaten können sehr starke Unterschiede in der Außenhelligkeit auftreten. So war beispielsweise der Oktober 2016 sehr dunkel und 2015 sowie 2018 lag die Einstrahlung deutlich über dem langjährigen Mittel. Dementsprechend kann mit einer Assimilationsbelichtung eine deutliche Verbesserung der Pflanzenqualität erreicht und/oder die Kulturzeit verkürzt werden. Der Einfluss kann aber auch relativ gering sein.

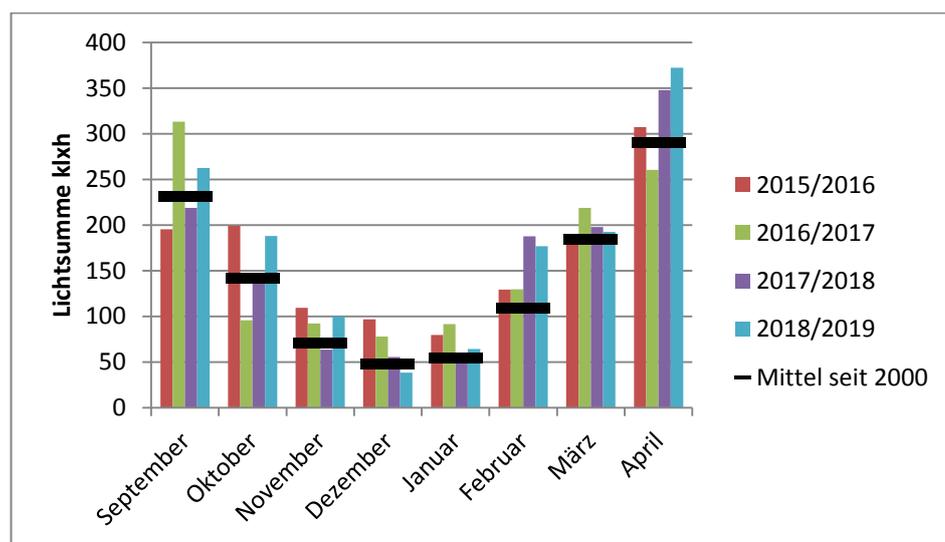


Abbildung 1: Mittlere Tageslichtsumme in den Versuchsjahren in Dresden-Pillnitz

2.2 Lichtmessung

Zur Quantifizierung der vorhandenen natürlichen Einstrahlung und der eingesetzten Belichtungssysteme sind Messungen notwendig. Bisher wurde in den meisten Untersuchungen und Literaturangaben Messungen in Lux bzw. Kilolux durchgeführt. Diese Angaben beziehen sich allerdings auf die Empfindlichkeit des menschlichen Auges und bewerten grünes Licht am stärksten.

Für die Bewertung von künstlichen Lichtquellen auf das Pflanzenwachstum ist eine Messung der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) sinnvoll. Dies erfolgt über eine Messung der Photonenflussdichte. Hier werden die Photonen im Wellenlängenbereich von 400 bis 700 nm erfasst. In diesem Bereich können die Pflanzen das Licht für die Photosynthese verwenden. Die Einheit ist $\mu\text{mol je m}^2 \text{ und s}$. Das entspricht den Photonen im PAR-Bereich, die in einer Sekunde auf einer Fläche von 1 m^2 auftreffen.

Eine Umrechnung der Angaben zur Beleuchtungsstärke in Kilolux in Angaben zur PAR-Strahlung ist nur bedingt möglich und von der Lichtquelle abhängig. Die Tabelle 1 gibt einige Faktoren an.

Tabelle 1: Umrechnungsfaktoren von Beleuchtungsstärke in Photonenflussdichte (PAR) bei unterschiedlichen Lichtquellen (nach BORNWASSER 2018)

Strahlungsquelle	klx in $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$
Tageslicht sonnig	18
Tageslicht diffus	19
Keramik-Metallhalogendampflampe	16
Natrium-Hochdruckdampflampen	12-13
Philips LED-Toplight DRWMBHO	38*

*Berechnung nach eigenen Messwerten

Für die Entwicklung der Pflanzen ist nicht nur die Photonenflussdichte entscheidend, sondern auch die spektrale Zusammensetzung des Lichtes. Unterschiedliche Wellenlängen haben verschiedene Energieniveaus und Pflanzen werden durch unterschiedliche Wellenlängen beeinflusst. Aus diesem Grund ist es für die Bewertung einer Lichtquelle auch notwendig, die spektrale Verteilung zu kennen oder zu vermessen.

Für die Bewertung der Leuchtmittel ist eine Erfassung der für die Pflanzen im Gewächshaus zur Verfügung stehende Lichtmenge notwendig. In den Versuchsgewächshäusern wurden PAR-Lichtsensoren in Pflanzenhöhe installiert (siehe Abbildung 2). Gegenüber einer preislich wesentlich günstigeren Außenlichtmessung entspricht diese Messung etwas besser der tatsächlichen Lichtsituation im Pflanzenbestand. Bei einer Außenlichtmessung wird mit einem festen Faktor auf die Innenhelligkeit geschlossen. Die Reduktion der Strahlung durch die Gewächshaushülle ist aber sehr stark vom Sonnenstand, der Bewölkung und von vorhandenen Schattier- und Energieschirmen abhängig. Andererseits wird ein Innenlichtsensor durch die Einbauten im Gewächshaus unterschiedlich stark schattiert. Diese wandernde Beschattung trifft aber auch die Pflanzen, sodass eine bessere Bewertung möglich ist.



Abbildung 2: PAR-Sensor im Pflanzenbestand

3 Charakteristik der eingesetzten Leuchtmittel

Die in den Versuchen verwendeten Leuchtmittel lassen sich durch Herstellerangaben und verschiedene Messungen charakterisieren. Die Anzahl der Leuchten war durch die vorhandene Installation der Natriumhochdruckdampflampen vorbestimmt und auf eine Beleuchtungsstärke von 3 klx ausgelegt. Dabei ist die Hänghöhe im Haus etwa 1,60 m über der Tischoberfläche. In der Tabelle 2 sind die wichtigsten Herstellerangaben und Messwerte der verschiedenen Leuchtmittel zusammengefasst. Die unterschiedlichen Leuchtmittel waren jeweils in kompletten Gewächshausabteilen im Einsatz. Eine Ausnahme bildet die Plasma-Lampe, die nur über drei einzelnen Gewächshaustischen getestet werden konnte.

Tabelle 2: Überblick zu den Herstellerangaben und Messwerten der eingesetzten Leuchtmittel

Typ	Hochdruck-Natriumdampflampe	Keramik-Metallhalogendampflampe	LED-Toplight Modul	Plasma-Leuchte		
Leuchte	Philips MGR 400 (Tempo 3)	MGR-E 315-CDM	MGR-K 400-CHD	PLM-E 950-75K		
Lampe	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 W	CHD AGRO 400	DRWMBHO Green Power LED		
Elektrische Leistung in W	400	315	400	195 (400 V)	950	
Photonenfluss in $\mu\text{mol/s}$	725	569	665	520	1.442	
Photonenflussausbeute in $\mu\text{mol/sW}$ ($\mu\text{mol/J}$)	1,81	1,81	1,66	2,6	1,5	
Herstellerangaben	Lichtstrom in lm	58.500	34.300	41.600	95.351	
	Lichtausbeute in lm/W	137	109		89	
	Farbtemperatur in K	2.100	4.200		6.000	
	Lebensdauer in h	12.500	13.300	15.000	25.000	60.000
	Sockel	E40	PGZX18	E40		
CRI-Wert (100 = Sonnenlicht)	18	90			85	
Anzahl Leuchten je Abteil (120m ²)	15	15	15	20		
Installierte Leistung in W/m ²	50	39,4	50	33,3		
Messwerte	PAR-Strahlung Mittelwert im Gewächshaus in $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$	56	50	50	58	56
	Beleuchtungsstärke in klx	3,6	3,4	3,2	1,5	4,1
	Leistungsaufnahme je Leuchte in W	474	338	452	212	994

Um die Leuchtmittel zu charakterisieren, wurden Messungen zur spektralen Verteilung durchgeführt. Diese sind in Abbildung 3 dargestellt. Einen Eindruck von den verschiedenen Leuchtmitteln im Einsatz vermittelt auch die Abbildung 4.

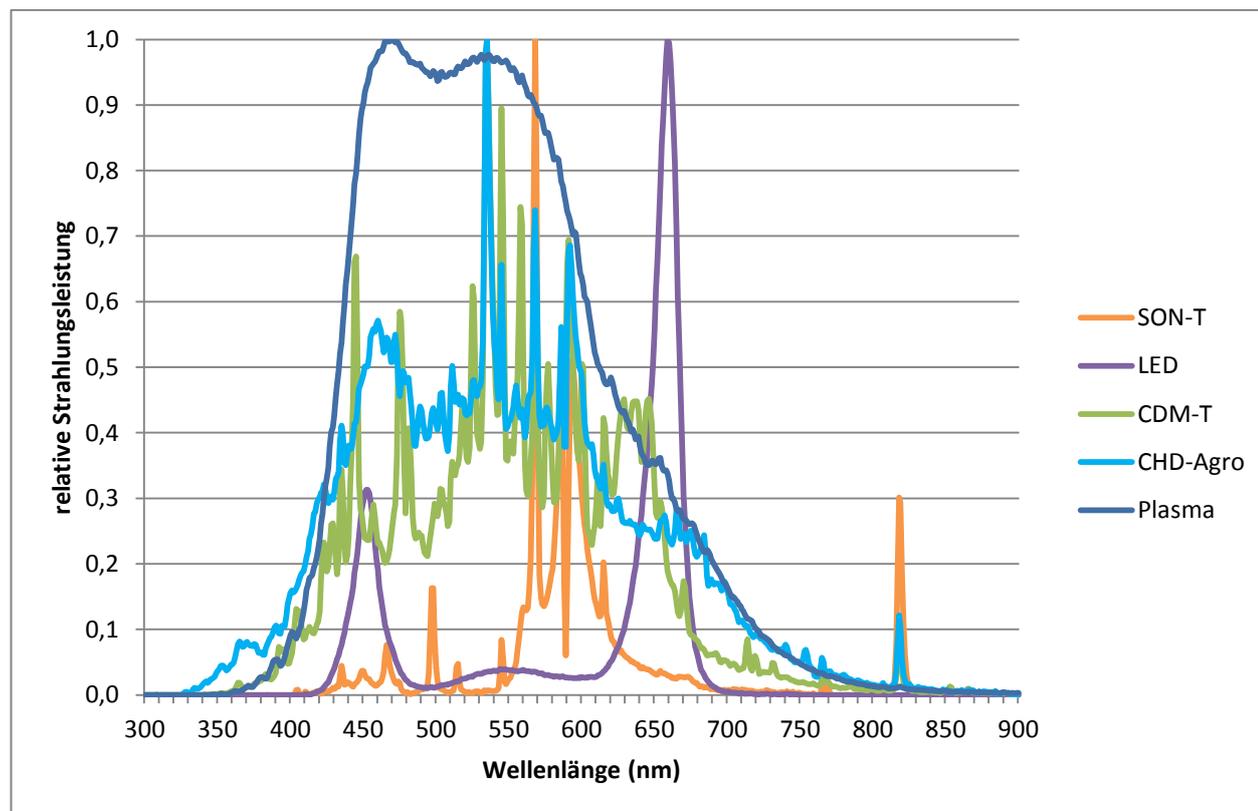


Abbildung 3: Spektrale Verteilung der Leuchtmittel (Messgerät: AvaSpec-2048, Avantes)



Abbildung 4: Luftbild der Gewächshausabteile mit den verschiedenen Belichtungsvarianten (Foto: LfULG, Burkhard Lehmann)

3.1 Hochdruck-Natriumdampflampen

Hochdruck-Natriumdampflampen sind seit vielen Jahren im Gartenbau im Einsatz. Das Lichtspektrum wurde im Laufe der Jahre im Rahmen der Möglichkeiten an die Ansprüche der Pflanzen angepasst. Die Photonenflussausbeute ist relativ gut und durch die Entwicklung von elektronischen Vorschaltgeräten, guten Reflektoren und Leuchten mit 600 W Leistung waren und sind sie in vielen Bereichen des Produktionsgartenbaus die Standard-Assimilationslampen.

Da die größten Strahlungsanteile im gelben bis roten Spektralbereich (siehe Abbildung 5) erzeugt werden, senden die Lampen ein gelbes Licht aus und es kommt zu Farbverfälschungen und einer ungünstigen Arbeitsbeleuchtung.

In den Versuchsgewächshäusern in Dresden-Pillnitz sind die Leuchten Philips MGR 400 als Grundausstattung seit 2001 installiert (Abbildung 6). Für die Versuche wurden sie mit neuen Leuchtmitteln SON-T Pia Green Power ausgestattet.

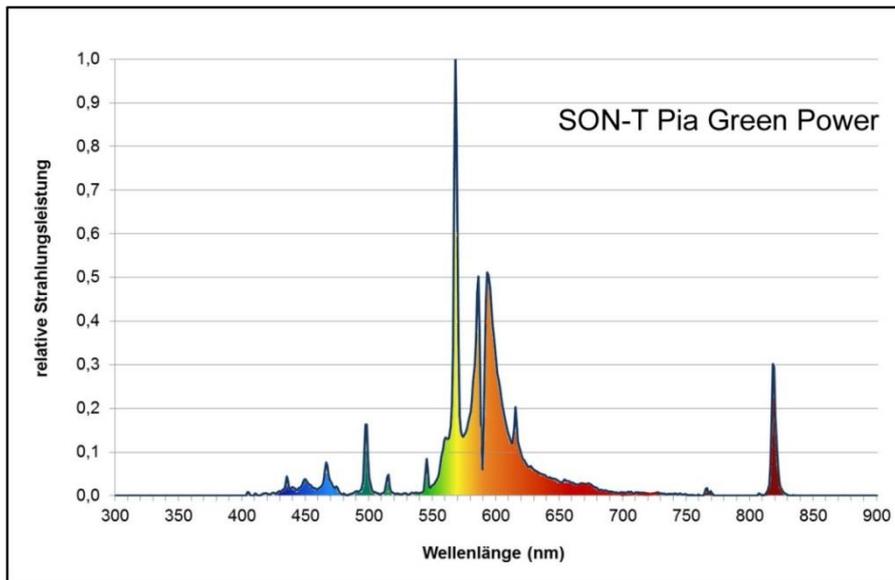


Abbildung 5: Relative spektrale Verteilung einer Natrium-Hochdruckdampfampe SON-T Pia Green Power (Messgerät: AvaSpec-2048, Avantes)



Abbildung 6: Gewächshausabteil mit der Leuchte Philips MGR 400 (schwarz) und Natriumhochdruckdampfampfen SON-T Pia Green Power

3.2 Keramik-Metallhalogendampflampen

Keramik-Metallhalogendampflampen gewinnen gerade erst Bedeutung für die Assimilationsbelichtung im Gartenbau. Ein wesentlicher Vorteil dieser Leuchtmittel ist das sonnenähnliche, breite Lichtspektrum (siehe Abbildung 7). Es ergibt sich ein angenehmes helles Licht mit einem guten Farbwiedergabe-Index. In den Versuchen sind zwei unterschiedliche Fabrikate (CHD Agro 400 und CDM-T 315) eingesetzt worden.

Das Leuchtmittel CHD Agro 400 besitzt einen E40-Sockel und kann dadurch problemlos in vorhandenen Leuchten anstelle von Natriumdampflampen eingeschraubt werden. Die Photonenflussausbeute ist allerdings mit $1,66 \mu\text{mol/J}$ nicht sehr gut. In den Versuchen wurde die CHD Agro 400 zunächst in den alten Leuchten Philips MGR 400 (schwarz) eingesetzt. Da der gemessene Energieverbrauch aber sehr hoch war, sind seit Herbst 2017 neue Leuchten MGR-K 400-CHD der Firma DH-Licht für dieses Leuchtmittel im Einsatz.

In zwei Gewächshausabteilungen wurden neue Leuchten MGR-E 315 mit CDM-T 315 als Leuchtmittel installiert (Abbildung 8). Diese haben eine Leistung von 315 W und erzeugen damit eine ähnlich hohe Photonenflussdichte im PAR-Bereich wie eine 400-W-Natrium-Hochdruckdampfampe.

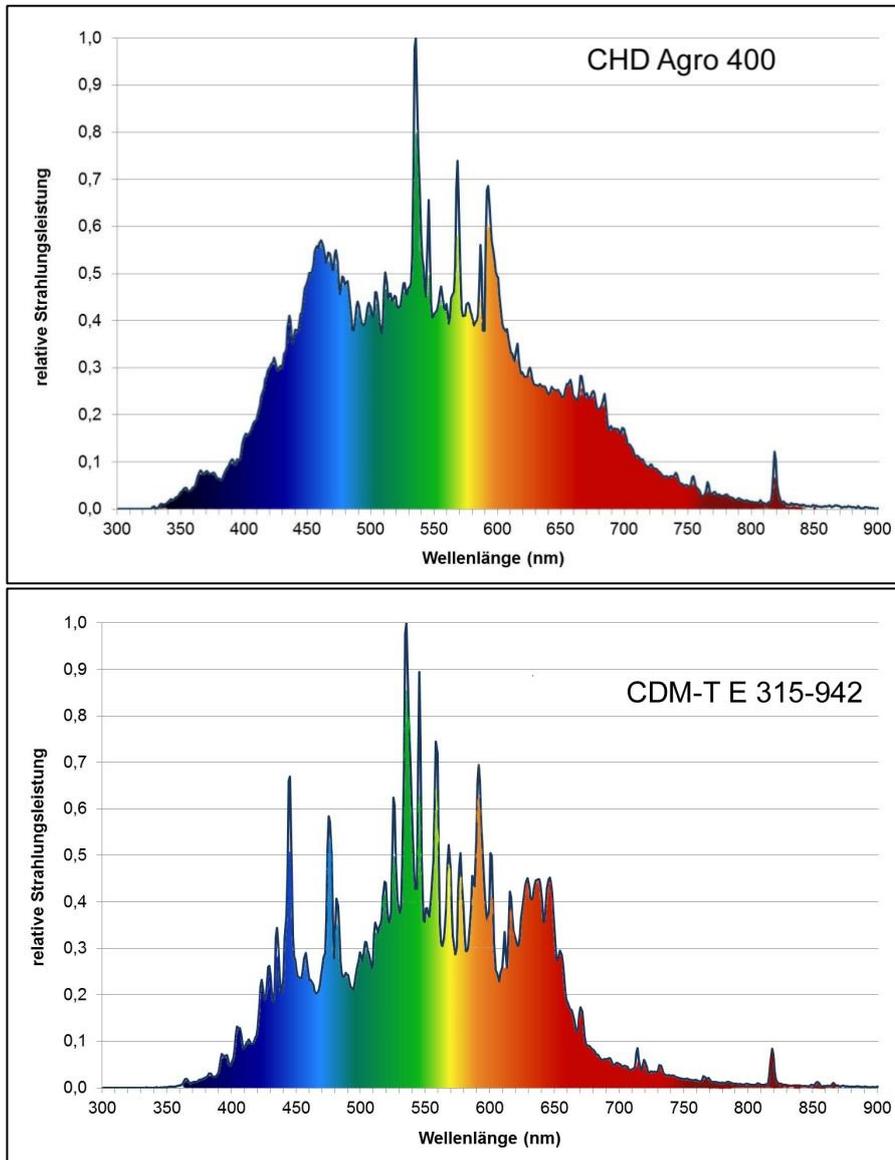


Abbildung 7: Relative spektrale Verteilung bei den beiden verwendeten Keramik-Metallhalogendampflampen (Messgerät: AvaSpec-2048, Avantes)



Abbildung 8: Gewächshausabteil mit der Leuchte MGR-E 315 und CDM-Leuchtmittel

3.3 LED

LED-Leuchten haben bereits in vielen privaten und wirtschaftlichen Bereichen Einzug gehalten. In der Assimilationsbelichtung im Gewächshaus ist die Bedeutung bisher noch relativ gering. Der Vorteil eines speziell auf die Pflanze abgestimmten Lichtspektrums kann durch die vorhandene Außenstrahlung nicht immer genutzt werden. Die meisten bisher angebotenen Systeme sind sehr teuer oder benötigen eine Kühlung. Eine hohe Photonenflussausbeute macht sie dennoch interessant und die weitere Entwicklung passender LED-Leuchten für den Gartenbau sollte unbedingt verfolgt werden.

In den Versuchen wurde die LED-Toplight von Philips eingesetzt (siehe Abbildung 9). Die Installation erfolgte auf ein ähnliches PAR-Strahlungsniveau wie in den anderen Gewächshausabteilen. Die Lampen sind mit roten, blauen und weißen LEDs ausgerüstet, sodass auch im grün-gelben Wellenlängenbereich ein gewisser Anteil Strahlung vorhanden ist (siehe Abbildung 10). Das Licht wirkt allerdings für das menschliche Auge violett und eher dunkel und es kommt zu sehr starken Störungen in der Farbwahrnehmung.



Abbildung 9: Gewächshausabteil mit LED-Belichtung

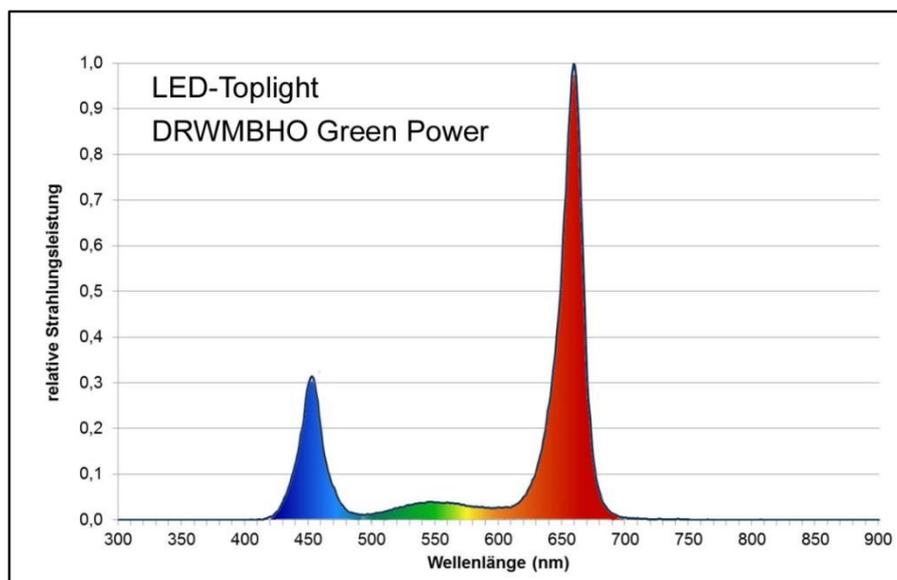


Abbildung 10: Relative spektrale Verteilung der Philips LED-Toplight (Messgerät: AvaSpec-2048, Avantes)

3.4 Schwefelplasmalampe

Bei den Schwefelplasmalampen (Abbildung 11) wird mit Hilfe von Mikrowellen in einem rotierenden Glaskolben ein Schwefelgemisch in Plasma verwandelt. Es entsteht ein sehr helles Licht mit einem sonnenähnlichen Spektrum (Abbildung 12). Der Photonenfluss ist dabei etwa doppelt so hoch wie bei einer herkömmlichen Natriumdampflampe, die Leistungsaufnahme liegt aber bei 1000 W. Das vorteilhafte Lichtspektrum steht dadurch einer relativ geringen Strahlungsausbeute gegenüber. Die gleichmäßige Verteilung der Strahlung auf der Tischfläche ist bei dem verwendeten Reflektor nicht gegeben, die Wärmestrahlung direkt unter der Lampe ist relativ hoch. Ein großer Nachteil ist die Empfindlichkeit des rotierenden Glaskolbens. So kann dieser Lampentyp bisher nicht empfohlen werden.



Abbildung 11: Schwefelplasmalampen PLM-E 950-75K im Einsatz

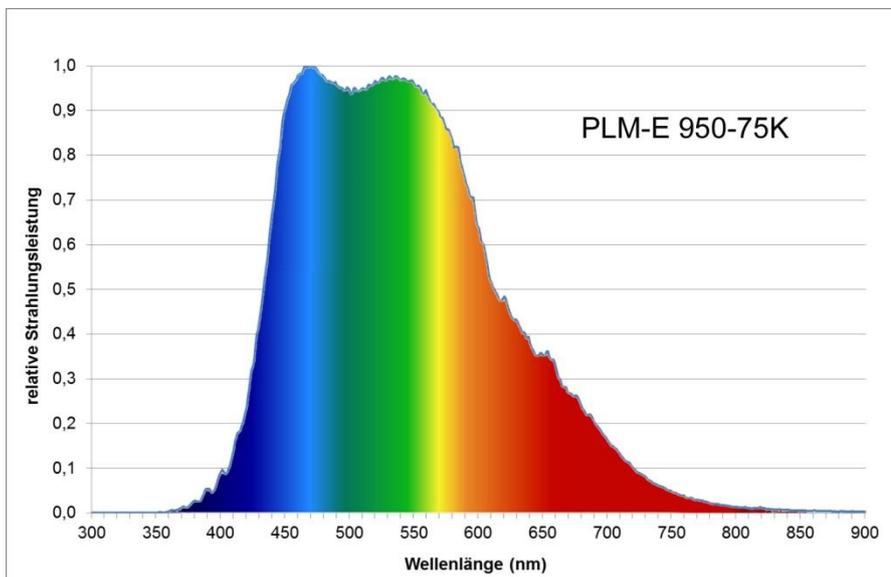


Abbildung 12: Relative spektrale Verteilung der Schwefel-Plasmalampe (Messgerät: AvaSpec-2048, Avantes)

4 Steuerung der Assimilationsbelichtung

Die Assimilationsbelichtung in Gewächshäusern ergänzt die fehlende Außenstrahlung in den Wintermonaten oder an besonders trüben Tagen. Bei der Steuerung der Belichtung ist deshalb eine Abschaltfunktion bei hoher Außenstrahlung vorgesehen. Dieser Abschaltpunkt wird sinnvollerweise im Bereich der von den Pflanzen nutzbaren Beleuchtungsstärke liegen und lässt sich in der Klimasteuerung der Gewächshäuser einstellen. Bei der Einstellung ist zu beachten, ob sich der Wert nach der Außenhelligkeit oder den Innenwerten richtet.

4.1 Zeitsteuerung

Bei einer Zeitsteuerung der Assimilationsbelichtung werden die Uhrzeit bzw. die Dauer der Assimilationsbelichtung festgelegt. Dabei sollte eine Mindest-Nachtruhe von vier Stunden für die Pflanzen eingeplant werden. Wenn im Kulturverlauf ein Drop-Programm geplant ist, sollte aus energetischer Sicht die Assimilationsbelichtung nicht bei geöffneten Lüftungsklappen eingeschaltet werden, sondern zum Beispiel erst nach dem Wiederaufheben der Lüftungstemperatur. Die Assimilationsbelichtung schaltet sich nur bei einer hohen Außenstrahlung ab und realisiert für die Pflanzen eine täglich gleiche Tageslänge.

4.2 Lichtsummensteuerung

Ausgehend von dem Wissen, dass eine bestimmte tägliche Lichtmenge für die optimale Pflanzenentwicklung ausreichend ist, kann die Steuerung auch über die Lichtsumme erfolgen. Dafür werden Bewertungsgrenzen festgelegt und die Lichtmenge innerhalb dieser Grenzen summiert. Bei dem Erreichen der eingestellten Tageslichtsumme schaltet die Belichtung aus. Zur Berechnung der Tageslichtsumme kann ein Sensor im Gewächshaus oder ein Außenlichtsensor verwendet werden.

Außensensor

Bei der Verwendung des Außenlichtsensors ist nur ein Sensor für den gesamten Betrieb notwendig. Die Innenlichtsumme für das jeweilige Abteil wird mit einem Faktor für die Lichtdämmung des Gewächshauses und die installierte Belichtung und deren Brenndauer berechnet. Dieser Wert ist relativ ungenau, da die Dämmung der Einstrahlung durch die Gewächshaushülle sehr stark vom Sonnenstand und der Bewölkung abhängig ist.

Innensensor

Ein Innenlichtsensor sollte in Pflanzenhöhe im Gewächshaus installiert sein. Beschattung durch die Gewächshauskonstruktion und Einbauten wirken sich ähnlich wie für die Pflanzen aus. Bei der Verwendung eines Innensensors ist für jedes Abteil bzw. jeden Bereich ein extra Sensor notwendig. Dieser ist teuer und muss gewartet werden. Unbedingt ist darauf zu achten, dass der Sensor an einer typischen Stelle im Gewächshaus positioniert ist und nicht von Pflanzen überwachsen wird.

5 Versuche

In den Jahren 2015 bis 2019 wurden umfangreiche Versuche zum Einsatz von Assimilationsbelichtung durchgeführt. Dabei konnten die verschiedenen Belichtungssysteme unter Praxisbedingungen getestet werden. In den Versuchsgewächshäusern in Dresden-Pillnitz war jeweils ein Abteil mit einem Lampentyp ausgestattet und es konnte der Verbrauch an Elektroenergie und an Heizenergie für jedes Abteil erfasst werden. In den meisten Versuchen wurden innerhalb der Lichtvarianten noch andere Fragestellungen untersucht. Die Schwefelplasmalampe wurde in einzelnen Tastversuchen im Vergleich zu den anderen Leuchtmitteln innerhalb eines Gewächshausabteiles getestet. Hier sind keine Angaben zum unterschiedlichen Energieverbrauch gemessen worden.

In Tabelle 3 ist ein Überblick zu den durchgeführten Versuchen dargestellt. Die einzelnen Versuchsberichte wurden bereits im Internet unter www.hortigate.de und auf den Internetseiten des LfULG veröffentlicht und sind in dieser Schriftenreihe, nach den Versuchszeiträumen Herbst, Winter und Frühjahr geordnet, zusammengefasst. Für eine optimale Ausnutzung der Investition in Assimilationslicht ist eine Anbaufolge sinnvoll. Allerdings müssen natürlich auch die Absatzmöglichkeiten berücksichtigt werden.

Tabelle 3: Übersicht zu den Versuchen mit Assimilationslicht in Dresden-Pillnitz

Versuchsjahr	Zeitraum	Pflanzenarten
2015/2016	KW 48 bis KW 08	Topfpflanzen (<i>Begonia</i> , <i>Streptocarpus</i> , <i>Sinningia</i> , <i>Gerbera</i> , <i>Pelargonium</i> u. a.)
	KW 11 bis KW 22	samenvermehrte Beet- und Balkonpflanzen
2016/2017	KW 45 bis KW 14	<i>Pelargonium x grandiflorum</i>
	KW 49 bis KW 08	Hortensientreiberei
2017/2018	KW 50 bis KW 10	<i>Pelargonium x grandiflorum</i> und andere Topfpflanzen
	KW 50 bis KW 10	Hortensientreiberei
	KW 10 bis KW 22	Beet- und Balkonpflanzen
2018/2019	KW 38 bis 49	<i>Pelargonium x grandiflorum</i> und andere Topfpflanzen
	KW 50 bis KW 10	<i>Pelargonium x grandiflorum</i> und andere Topfpflanzen
	KW 05 bis KW 19	Beet- und Balkonpflanzen

5.1 Versuche mit Assimilationslicht in den Herbstmonaten

In den Herbstmonaten kann die natürliche Einstrahlung noch relativ hoch sein. In diesen Situationen ist die spektrale Verteilung der Assimilationsbelichtung von untergeordneter Bedeutung. Der Einsatz von Leuchtmitteln mit einer geringeren Wärmestrahlung, wie bei den LED, kann sich positiv auf den Gesamtenergieverbrauch auswirken, da die Lüftung länger geschlossen bleiben kann.

5.1.1 Versuchsbericht Topfpflanzen ab KW 38-2018 (DALLMANN, WARTENBERG 2019c)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Anzucht von Topfpflanzen am LfULG in Dresden-Pillnitz im Herbst 2018 wurden vier verschiedene Leuchtmittel miteinander verglichen. Bei einem Belichtungsbeginn in KW 38 wurden durch die einstrahlungsreiche Witterung kaum pflanzenbauliche Unterschiede in der Pflanzenentwicklung

zwischen den verschiedenen Lampen beobachtet. Der Verbrauch an Elektroenergie war bei der Belichtung mit LEDs im Versuchszeitraum um 40 % geringer als bei der Natriumdampflampe, der Gesamtenergieeinsatz um 13 % niedriger. Die Kulturdauer verlängerte sich mit LEDs bei einzelnen Arten um bis zu vier Tage. Die Ergebnisse der Varianten mit Keramik-Metallhalogendampflampen lagen im Gesamtenergieverbrauch zwischen LED und Natriumdampflampen.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Neben herkömmlichen Natriumdampflampen wurden zwei verschiedene Keramik-Metallhalogendampflampen und LED-Leuchten hinsichtlich Stromverbrauch und Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

Im Herbst 2018 wurden in Dresden-Pillnitz verschiedene Topfpflanzen mit Assimilationsbelichtung kultiviert. Kulturbeginn war in Kalenderwoche 38. In den vier Varianten (siehe Tabelle 4) wurde auf eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² belichtet. Nach Erreichen der Tageslichtsumme erfolgte zusätzlich eine photoperiodische Belichtung auf eine Tageslänge von einheitlich 20 Stunden. Der Verbrauch an Elektro- und Heizenergie wurde für jede Variante separat erfasst. Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsstufe.

Auf Grund der einstrahlungsreichen Witterung im Versuchszeitraum (siehe Abbildung 13) konnten kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Belichtungsvarianten beobachtet werden. Von den zehn untersuchten Pflanzenarten in verschiedenen Sorten erreichten *Whitfieldia elongata* und *Exacum affine* im Versuchszeitraum keine Verkaufsstufe. Die samenvermehrten *Callistephus chinensis* waren im untersuchten Zeitraum ohne chemische Wachstumsregulierung nicht als Topfpflanzen geeignet. Die Kulturdauer und die Pflanzenentwicklung der anderen Arten unterschieden sich zwischen den Lampentypen nur geringfügig (siehe Tabelle 5). Es gab eine leichte Tendenz zu einer etwas geringeren Pflanzenhöhe bei LED-Belichtung. Ein positiver Effekt des breiten Lichtspektrums der Keramik-Metallhalogendampflampen auf die Pflanzenqualität konnte auf Grund der hohen Außenstrahlung nicht beobachtet werden.

Deutlicher fielen die Unterschiede im Energieverbrauch der Belichtungsvarianten aus. Da durch den warmen und sonnigen Herbst insgesamt ein geringer Energieeinsatz notwendig war, konnte sich die niedrige installierte Leistung bei den LEDs auch im Gesamtenergieverbrauch niederschlagen. Der Einsatz an Heiz- und Elektroenergie war in der LED-Variante um 13 % geringer als bei der Variante mit Natriumdampflampen (siehe Abbildung 14). Bei den Keramik-Metallhalogendampflampen betrug der Gesamtenergieeinsatz gegenüber der Natriumdampflampe bei der CDM-T 315 92 % und bei der CHD-Lampe 99 %.

Tabelle 4: Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung bei blühenden Topfpflanzen ab KW 38-2018 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Leuchtmittel	DRWMBHO Green Power	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ	LED	Natrium- dampf- lampe	Keramik-Metall- halogendampf- lampe	Keramik-Metall- halogendampf- lampe
Leuchte	Philips LED-Toplight	Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	MGR-K-CHD
Installierte Leistung in W/m ²	33,3	50	39,4	50
PAR-Strahlung in µmol/m ² s	60	58	50	56
Brenndauer in h Assimilationslicht**	631	653	792	756
Brenndauer in h photoperiodisches Licht**	294	276	222	240
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ² **	22,2	37,6	33,7	41,0
% zu SON-T	59		90	109

* Herstellerangaben; ** bis Versuchsende (77 Kulturtage)

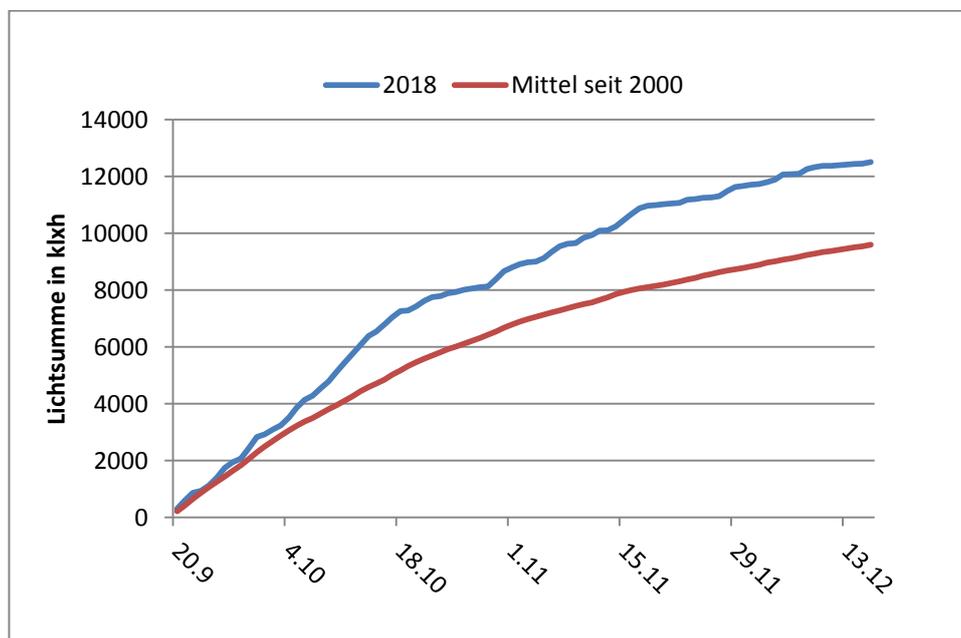


Abbildung 13: Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

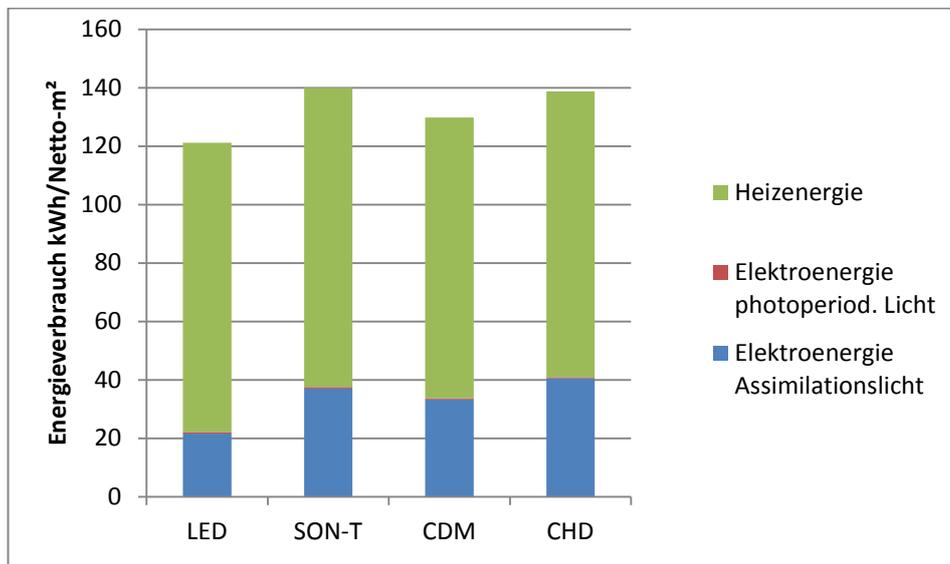


Abbildung 14: Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bis Versuchsende (77 Kultur-tage; LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Tabelle 5: Ausgewählte Pflanzenmerkmale zum Blühbeginn in den unterschiedlichen Lichtvarianten bei verschiedenen Topfpflanzen (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Pflanzenart	Merkmal	Green Power LED	SON-T	CDM-T 315	CHD AGRO
<i>Gerbera</i> (6 Sorten)	Kulturdauer in d	75	74	75	75
	Pflanzenhöhe in cm	23,8	24,9	23,5	25,0
	Anzahl Blüte + Knospen	5,7	5,0	4,7	5,2
	Sprossmasse in g	89	91	83	97
	Gesamteindruck*	8,1	8,2	8,0	8,3
<i>Sinningia</i> (4 Sorten)	Kulturdauer in d	59	55	56	57
	Pflanzenhöhe in cm	14,2	15,8	14,8	14,8
	Anzahl Blüte + Knospen	18,8	19,6	20,0	22,9
	Sprossmasse in g	125	129	122	129
	Gesamteindruck*	8,8	8,9	8,9	8,9
<i>Begonia</i> Elati-or-Grp. (6 Sorten)	Kulturdauer in d	79	79	79	80
	Pflanzenhöhe in cm	23,6	26,3	25,2	25,2
	Anzahl Blütenstände	11,0	9,9	10,1	10,9
	Sprossmasse in g	202	208	192	207
	Gesamteindruck*	8,4	8,1	8,5	8,7
<i>Platycodon</i> (2 Sorten)	Kulturdauer in d	67	64	65	64
	Pflanzenhöhe in cm	22,0	22,1	21,9	22,3
	Anzahl Blüte + Knospen	13,5	12,5	12,4	13,5
	Sprossmasse in g	31	29	28	31
	Gesamteindruck*	7,2	7,1	6,7	7,2

Fortsetzung Tabelle 5: Ausgewählte Pflanzenmerkmale zum Blühbeginn in den unterschiedlichen Lichtvarianten bei verschiedenen Topfpflanzen (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Pflanzenart	Merkmal	Green Power LED	SON-T	CDM-T 315	CHD AGRO
<i>Saintpaulia</i> (3 Sorten)	Kulturdauer in d	73	73	72	72
	Pflanzenhöhe in cm	9,6	9,8	9,8	9,5
	Anzahl Blüte + Knospen	30,3	30,8	32,4	30,6
	Sprossmasse in g	66	62	64	64
	Gesamteindruck*	8,6	8,7	8,8	8,9
<i>Hypoestes</i> (4 Sorten)	Kulturdauer in d	54 (Bonitur an einem Stichtag je Sorte)			
	Pflanzenhöhe in cm	17,4	15,9	18,6	17,0
	Sprossmasse in g	24	24	24	24
	Gesamteindruck*	6,5	6,7	6,4	6,6
<i>Euphorbia</i> (Syn.: <i>Chamaesyce</i> , 3 Sorten)	Kulturdauer in d	54 (Bonitur an einem Stichtag je Sorte)			
	Pflanzenhöhe in cm	26,1	26,5	26,0	28,9
	Sprossmasse in g	27	24	24	29
	Gesamteindruck*	6,5	6,5	6,9	7,0

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

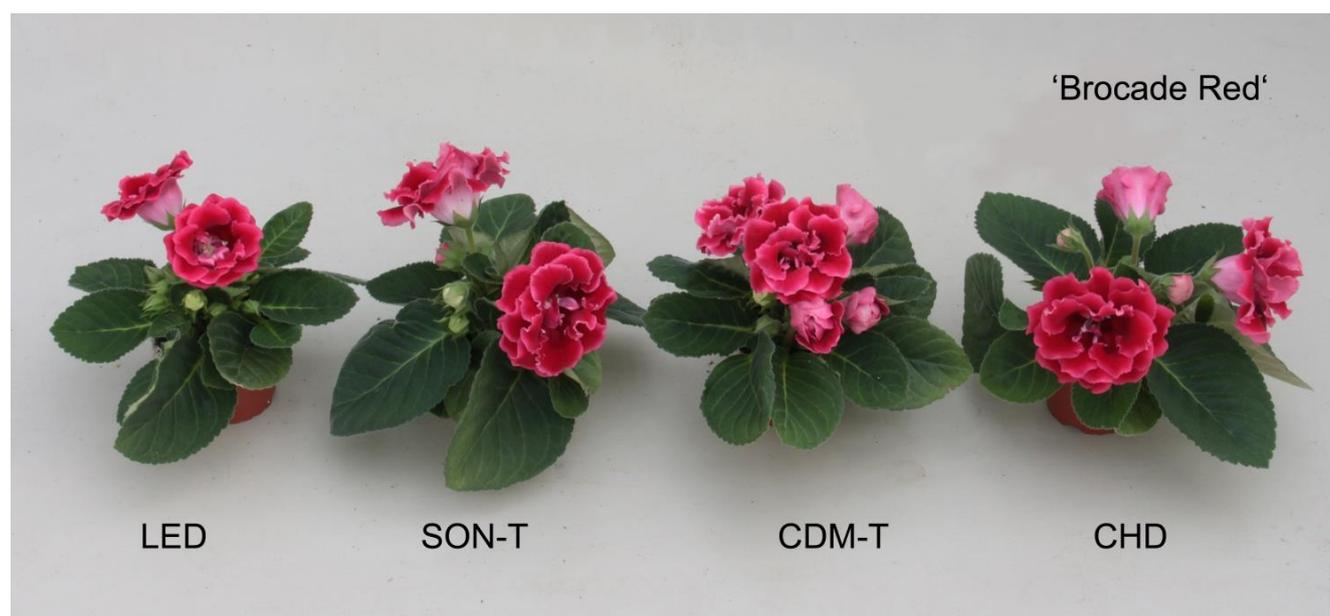


Abbildung 15: Etwas späterer Blühbeginn in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei *Sinningia* 'Brocade Red' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

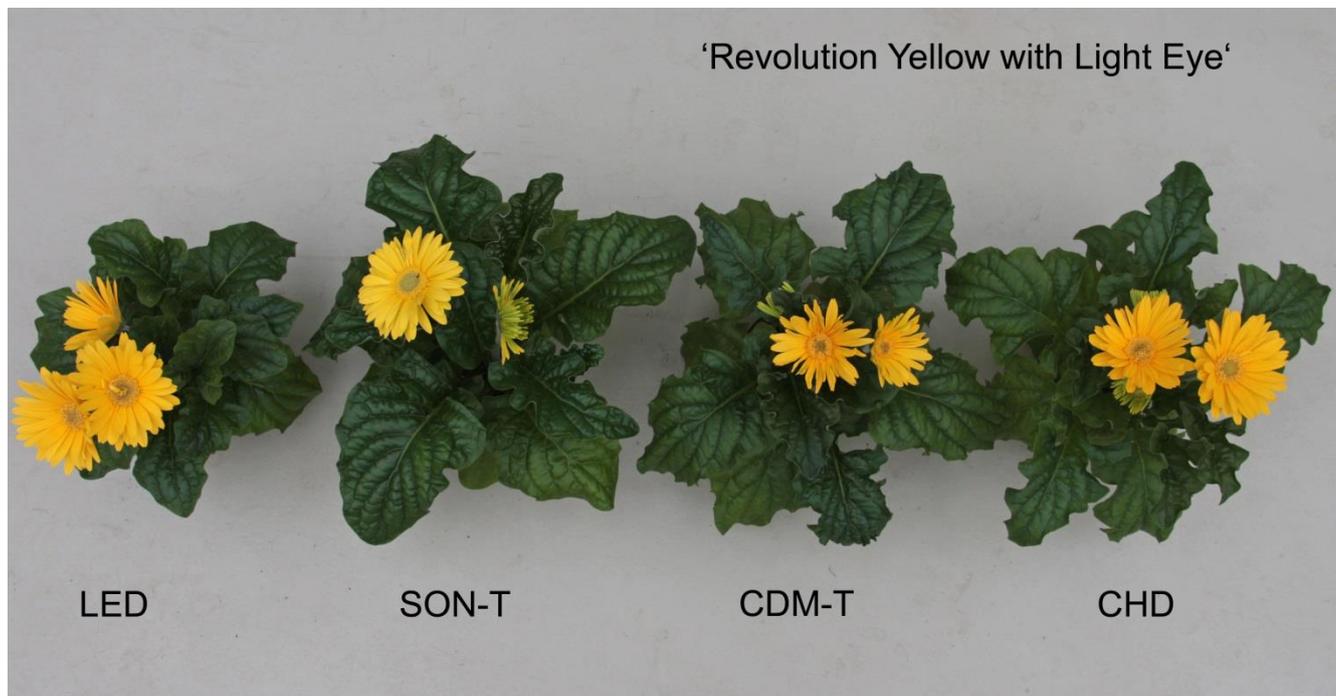


Abbildung 16: Kompakte Pflanzen und höhere Knospenzahl in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei *Gerbera* 'Revolution Yellow with Light Eye' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Aussaat ab KW 28; Topfen KW 38, 11er Topf, Substrat Stender D400 mit Cocopor; Heizungssollwert 18 °C, Lüftungssollwert T/N 20/21 °C; Bewässerungsdüngung mit 0,5 g/l Ferty EcoPhos 3 (18-6-18);

Belichtung: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschalt-punkt 10 klx innen, Tagverlängerung auf 20 h mit photoperiodischer Belichtung

Tabelle 6: Überblick über untersuchte Arten und Sorten in den Lichtvarianten ab KW 38 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Art	Herkunft	Sorten	Lieferung
<i>Begonia</i>	Rieger	Barkos-Gruppe: 'Baladin', 'Binos Softpink' Ilona-Gruppe: 'Carneval', 'Netja Dark', 'Nadine', 'Peggy'	Jungpflanzen
<i>Callistephus chinensis</i>	PanAmerican Seed	'Pot-n-Patio Scarlet', 'Pot-n-Patio White'	Saatgut
<i>Euphorbia graminea</i>	PanAmerican Seed	'Glitz F1'	Saatgut
<i>Euphorbia hypericifolia</i>	Kientzler	'Diamond Frost', 'Exp. DC 89'	Eigenvermehrung Stecklinge
<i>Exacum affine</i>	PanAmerican Seed	Royal Dane Deep Blue	Saatgut
<i>Gerbera jamensonii</i>	PanAmerican Seed	'Revolution Scarlet Red with Dark Eye', 'Revolution Yellow with Light Eye'	Saatgut
<i>Gerbera jamensonii</i>	Sakata	'Majorette Sunset Orange', 'Majorette Pink Halo', 'Majorette Red Dark Eye', 'Majorette Yellow Dark Eye'	Saatgut
<i>Hypoestes phyllostachya</i>	PanAmerican Seed	'Splash Select White', 'Splash Select Rose'	Saatgut
<i>Hypoestes phyllostachya</i>	Sakata	'Confetti Compact White', 'Confetti Compact Rose'	Saatgut
<i>Platycodon grandiflorus</i>	Sakata	'Astra Blue F1', 'Astra Pure White F1'	Saatgut
<i>Saintpaulia</i>	Holtkamp	Typ 024 blau 'Taro', Typ 054 rosa 'Mina', Typ 66 'Akira'	Jungpflanzen
<i>Sinningia speciosa F1</i>	Sakata	'Avanti Scarlet', 'Avanti Blue with White Edge', 'Brocade Red', 'Brocade Blue & White'	Saatgut
<i>Whitfieldia elongata</i>	Humboldt-Universität Berlin		Eigenvermehrung: Stecklinge

5.1.2 Versuchsbericht Edelpelargonien ab KW 38-2018 (DALLMANN, WARTENBERG 2019d)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Anzucht von Edelpelargonien am LfULG in Dresden-Pillnitz im Herbst 2018 wurden vier verschiedene Leuchtmittel miteinander verglichen. Bei einem Belichtungsbeginn in KW 38 wurden durch die einstrahlungsreiche Witterung kaum pflanzenbauliche Unterschiede in der Pflanzenentwicklung zwischen den verschiedenen Lampen beobachtet. Der Verbrauch an Elektroenergie war bei der Belichtung mit LEDs um 32 % geringer als bei der Natriumdampflampe, der Gesamtenergieeinsatz um 5 % niedriger. Die Kulturdauer verlängerte sich mit LEDs um etwa vier Tage. Die Ergebnisse der Varianten mit Keramik-Metallhalogendampflampen lagen sowohl im Energieverbrauch als auch in der Kulturdauer zwischen LED und Natriumdampflampen.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Neben dem Einsatz herkömmlicher Natriumdampflampen wurden verschiedene Keramik-Metallhalogendampflampen und LED-Leuchten hinsichtlich Stromverbrauch und Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

Im Herbst 2018 wurden in Dresden-Pillnitz Edelpelargonien mit Assimilationsbelichtung kultiviert. Die Anzucht begann in Kalenderwoche 33. Für eine gleichmäßige Blütenentwicklung wurden die Jungpflanzen in einer Variante für drei Wochen in der Kühlzelle bei 4 °C unter Schwachlichtbedingungen (300 Lux, Tageslänge 18 Stunden) gelagert. Bei den anderen Jungpflanzen sollte eine Kühlphase im Gewächshaus erfolgen, konnte aber auf Grund der hohen Außentemperaturen nicht realisiert werden. Ab KW 38 wurden alle Pflanzen auf eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² belichtet. Nach Erreichen der Tageslichtsumme erfolgte eine photoperiodische Belichtung auf eine Tageslänge von 20 Stunden. Der Verbrauch an Elektro- und Heizenergie wurde für jede Variante separat erfasst. Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsreife.

Tabelle 7: Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung bei *Pelargonium x grandiflorum* ab KW 38-2018 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Leuchtmittel	DRWMBHO Green Power LED	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ	LED	Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte	Philips LED-Toplight	Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	MGR-K-CHD
Installierte Leistung in W/m ²	33,3	50	39,4	50
PAR-Strahlung in µmol/m ² s	60	58	50	56
Brenndauer in h Assimilationslicht**	514	475	610	540
Brenndauer in h photperiodisches Licht**	294	276	222	240
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ² **	18,3	27,4	25,1	28,3
% zu SON-T	68		91	103

* Herstellerangaben; ** entsprechend der mittleren Kulturdauer je Variante

Auf Grund der einstrahlungsreichen Witterung im Versuchszeitraum (siehe Abbildung 17) konnten kaum Unterschiede zwischen den verschiedenen Belichtungsvarianten beobachtet werden. Durch teilweise schlechte Jungpflanzenqualitäten, die relativ hohen Temperaturen und den Verzicht auf eine chemische Wachstumsregulierung war die Pflanzenqualität nicht sehr gut. Die Pflanzen waren zu hoch mit einem relativ geringen Blüten- und Knospenansatz.

Die kompaktesten Pflanzen waren unter der LED-Belichtung zu finden. Hier wurden auch die höchste Anzahl Knospen und der beste Gesamteindruck verzeichnet. Die Kulturdauer war aber im Mittel der Sorten um vier Tage länger als unter Natriumdampflampen.

Ein positiver Effekt des breiteren Lichtspektrums der Keramik-Metallhalogendampflampen auf die Pflanzenqualität konnte auf Grund des hohen natürlichen Lichtangebotes nicht beobachtet werden.

Die Kühlung der Jungpflanzen in der Kühlzelle konnte in diesem Versuch die Pflanzenqualität nicht verbessern Die Kulturdauer war im Mittel einen Tag kürzer und die Pflanzen kleiner und leichter, mit weniger Laub und weniger Knospen.

Durch die einstrahlungsreiche Witterung lag der Gesamtenergieverbrauch relativ niedrig und in den Varianten mit geringerer installierter Leistung war nur ein geringfügig höherer Einsatz an Heizenergie notwendig.

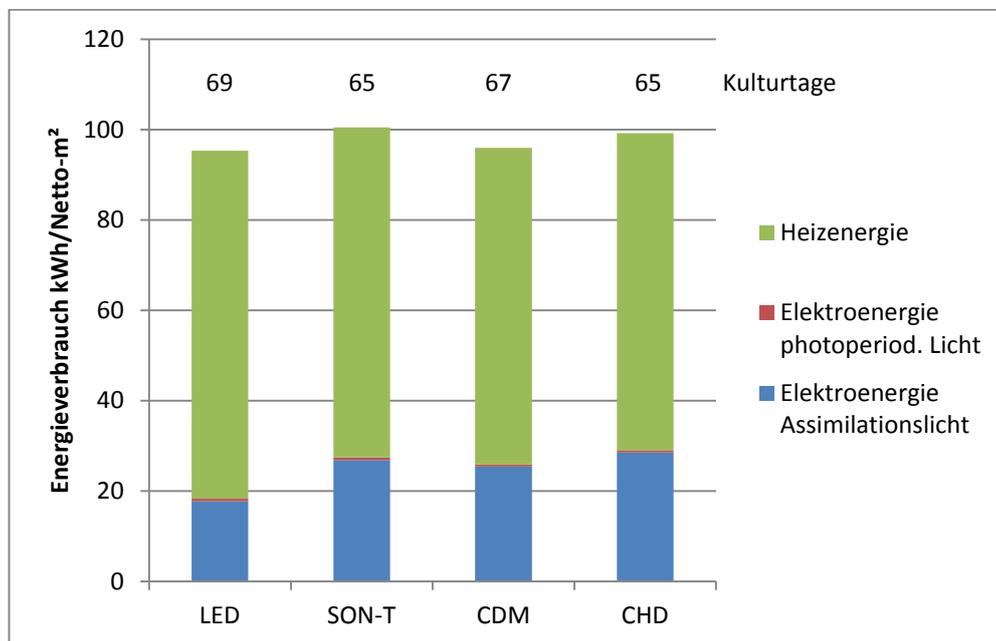


Abbildung 17: Energieverbrauch in verschiedenen Belichtungsvarianten bei *Pelargonium x grandiflorum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Tabelle 8: Merkmale in den verschiedenen Licht- und Kühlvarianten bei *Pelargonium x grandiflorum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Leuchtmittel	LED		SON-T		CDM		CHD	
	GWH	Kühlzelle	GWH	Kühlzelle	GWH	Kühlzelle	GWH	Kühlzelle
Kulturdauer ab Belichtungsbeginn in Tagen	70	69	65	65	66	68	64	65
Gesamteindruck*	7,1	7,0	6,9	6,9	6,9	7,0	7,0	6,8
Pflanzenhöhe in cm	35,5	31,9	36,4	33,3	36,6	34,2	36,6	34,6
Pflanzenbreite in cm	40,2	37,8	39,6	37,7	40,0	38,3	38,9	37,3
Anzahl Blüten- und Knospenstände je Pflanze	10,6	7,6	9,7	7,6	9,7	8,1	10,8	8,6
Sprossmasse in g	177	134	158	124	159	136	149	127
PAR-Summe in mol/m²	502	496	472	472	450	459	460	465
Temperatursumme in °C x d	1.370	1.351	1.259	1.259	1.284	1.320	1.238	1.257

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)



Abbildung 18: Späterer Blühbeginn bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Bermuda Pink' in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

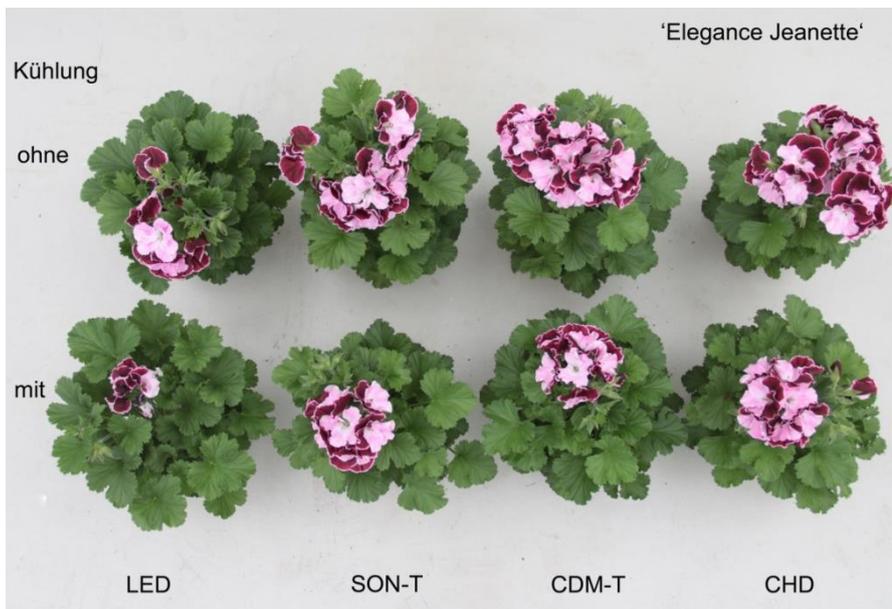


Abbildung 19: Etwas schwächere Pflanzen nach drei Wochen Jungpflanzenkühlung in der Kühlzelle bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Elegance Jeanette' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Sorten: 'Aristo Orchid', 'Aristo Pink', 'Bermuda Pink', 'Candy Flowers Bright Red' (pac Elsner)
 'Novita Red', 'Novita Purple Red', 'Novita Classics Early Lavender', 'Novita Violet', 'Novita Classics Plum',
 'Novita Classics Raspberry' (Selecta One)
 'Elegance Bravo', 'Elegance Jeanette', 'Patricia' (Hendriks Young Plants)

Topfen: KW 33, 11er Topf, Substrat Stender D400 mit Cocopor; Heizen 18 °C, Lüften 20 °C;

Kühlphase im GWH von KW 35 bis KW 38 (Heizungssollwert 5 °C, Lüftungssollwert 7°C, gemessene Tagesmitteltemperatur 21 °C);

Kühlung in Kühlzelle als Jungpflanze von KW 33 bis KW 36 (4 °C; 300 Lux; Tageslänge 18 h);

Heizungssollwert 18 °C, Lüftungssollwert T/N 20/21 °C;

Bewässerungsdüngung mit 0,5 g/l Ferty EcoPhos 3 (18-6-18);

Belichtung ab KW 38: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltzeitpunkt 10 klx innen, Tagverlängerung auf 20 h mit photoperiodischer Belichtung

5.2 Versuche in den Wintermonaten

Die Monate November bis Februar sind die einstrahlungsärmsten. In diesen Monaten wirkt sich das Lichtspektrum der Leuchtmittel deutlich auf die Pflanzenentwicklung aus. Vollspektrumlampen führen bei vielen Pflanzenarten zu einer Verbesserung der Pflanzenqualität gegenüber Natrium-Hochdrucklampen. Die Einsparung an Elektroenergie bei den Lampen muss mit mehr Heizenergie ausgeglichen werden.

5.2.1 Versuchsbericht Edelpelargonien und andere Topfpflanzen ab KW 48-2015

(DALLMANN, WARTENBERG 2016a)

In einem Lichtversuch am LfULG in Dresden-Pillnitz 2015/2016 mit einem Tageslichtsummensollwert von 5,76 mol/m² PAR-Strahlung, das entspricht etwa 90 klxh je Tag, war der Einsatz an Elektroenergie für die Belichtung bei Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM-T 315) am geringsten und die Pflanzengröße und -qualität bei den meisten untersuchten Pflanzenarten am besten. Der Einsatz von Vollspektrum-Leuchtmitteln (CHD-Agro) in vorhandenen Leuchten (Philips MGR 400) führte zu einer etwas besseren Pflanzenentwicklung gegenüber Natriumdampflampen, aber auch zu höheren Stromkosten.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei einer Kultur von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteleuropa für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht notwendig. Keramik-Metallhalogendampflampen bieten dabei gegenüber den herkömmlichen Natriumdampflampen den Vorteil eines breiteren Lichtspektrums. Der Einsatz von Keramik-Metallhalogendampflampen im Vergleich zu Natriumdampflampen wurde in dem Versuch hinsichtlich Stromverbrauch und Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

In einem Versuch im Winter 2015/16 wurden in Dresden-Pillnitz verschiedene Topfpflanzen unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Es kamen drei verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen zum Einsatz (siehe Tabelle 9). Jede Versuchsvariante wurde in zwei Gewächshausabteilen realisiert. Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei in allen Versuchsvarianten eine Tageslichtsumme von 5,76 mol/m² zu erreichen (ab KW 52 4,32 mol/m²). In den lichtärmsten Monaten Dezember und Januar war dafür an den meisten Tagen eine Belichtung über den gesamten Freigabezeitraum von 20 Stunden je Tag notwendig.

Die Pflanzenentwicklung war in allen Versuchsvarianten gut. Der beste Gesamteindruck wurde bei fast allen Pflanzenarten unter den Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM) erreicht. Die Kulturdauer unter den CDM-Lampen war kürzer als unter den beiden anderen Lichtquellen. Da die Bonitur aus versuchstechnischen Gründen je Pflanzenart zu einem Termin erfolgte, spiegelt sich die Pflanzenentwicklung in der Sprossmasse und der Anzahl offener Blüten wieder.

Eine ähnlich gute Entwicklung konnte bei dem Vollspektrum-Leuchtmittel CHD-Agro festgestellt werden. Die Stromkosten waren bei den 400-W-Lampen aber deutlich höher und die gemessene PAR-Strahlung geringer. Das breite Lichtspektrum wirkte sich jedoch positiv auf die Pflanzen aus. Die schwächsten Pflanzen mit der langsameren Entwicklung gab es bei allen Pflanzenarten unter den Natriumdampflampen. Die wichtigsten Parameter je Pflanzenart sind in Tabelle 10 dargestellt. Der deutlichste Entwicklungsvorsprung unter den CDM-Lampen war bei *Streptocarpus Cv.*, *Gerbera jamensonii* und *Pelargonium grandiflorum* erkennbar.

Die Brenndauer und die installierte Leistung der Assimilationsbelichtung wirkten sich natürlich auch auf den Heizenergieverbrauch aus. Der lag in den Varianten mit niedrigem Verbrauch an Elektroenergie entsprechend höher. Im Gesamtenergieverbrauch sind zwischen den Versuchsvarianten über die gesamte Versuchsdauer kaum Unterschiede sichtbar (Abbildung 20). Eine kürzere Kulturdauer durch die beste Belichtungsvariante reduziert jedoch den Energieeinsatz je Pflanze.

Tabelle 9: Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung in Dresden Pillnitz 2015/16

Leuchtmittel	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ	Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte	Philips MGR 400	MGR-E 315-CDM	Philips MGR 400
Elektrische Leistung in W	400	315	400
Photonenfluss in $\mu\text{mol/s}$	725	569	665
Photonenflussausbeute in $\mu\text{mol/sW}$	1,81	1,81	1,66
Lichtstrom in lm	58.500	36.200	40.000
Lichtausbeute in lm/W	146	115	100
Farbtemperatur in K	2.100	4.200	4.200
Beleuchtungsstärke in klx	3,7	3,4	2,3
PAR-Strahlung in $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$	46	47	36
Brenndauer in h	1.072	1.196	1.332
Lichtsumme PAR in mol/m^2	486	471	445
Stromverbrauch in kWh je Netto- m^2	63,6	51,6	73,2
% zu SON-T		81,1	115,1

Tabelle 10: Pflanzenmerkmale in den unterschiedlichen Belichtungsvarianten in Dresden-Pillnitz 2015/16

Art/Sorte	Kultur-dauer in d	Lichtquelle	Gesamt-eindruck*	Anzahl offene Blüten	Spross-masse in g
<i>Begonia</i> Cv. Elatior-Grp. 'Batik'	56	SON-T Pia Green Power	6,7 ^a	2,1 ^a	34,7 ^a
		CDM-T 315W	7,0 ^a	2,3 ^a	42,7 ^b
		CHD Agro 400	6,7 ^a	1,8 ^a	38,4 ^a
<i>Begonia</i> Cv. Elatior-Grp. 'Baladin'	76	SON-T Pia Green Power	5,3 ^a	0,4 ^a	36,8 ^a
		CDM-T 315W	5,9 ^b	0,4 ^a	44,4 ^b
		CHD Agro 400	6,3 ^b	1,4 ^b	49,6 ^b
<i>Chamaesyce hypericifolia</i> 'Glamour Euphorbia'	50	SON-T Pia Green Power	6,9 ^a		7,2 ^a
		CDM-T 315W	6,9 ^a		8,5 ^b
		CHD Agro 400	6,9 ^a		8,0 ^b
<i>Gerbera</i> Cv. 'Mini Revolution Red Light Eye'	92	SON-T Pia Green Power	5,9 ^a	0,6 ^a	30,0 ^a
		CDM-T 315W	6,4 ^b	1,5 ^b	36,1 ^c
		CHD Agro 400	5,8 ^a	0,6 ^a	33,2 ^b
<i>Pelargonium crispum</i> 'Angeleyes Burgundy'	83	SON-T Pia Green Power	6,5 ^a	1,3 ^a	29,5 ^a
		CDM-T 315W	7,8 ^b	6,1 ^b	33,7 ^b
		CHD Agro 400	6,9 ^a	2,5 ^a	31,9 ^{a,b}
<i>Pelargonium crispum</i> 'Angeleyes Orange'	59	SON-T Pia Green Power	6,2 ^a	2,3 ^a	13,5 ^a
		CDM-T 315W	6,3 ^a	3,8 ^b	15,6 ^b
		CHD Agro 400	6,5 ^a	3,2 ^{a,b}	15,4 ^b
<i>Pelargonium crispum</i> 'Angeleyes Randy'	83	SON-T Pia Green Power	6,8 ^a	6,5 ^a	24,8 ^a
		CDM-T 315W	7,0 ^a	14,5 ^b	31,7 ^b
		CHD Agro 400	6,5 ^a	17,5 ^b	31,4 ^b
<i>Pelargonium grandiflorum</i> 'Aristo Red Beauty'	91	SON-T Pia Green Power	5,5 ^a	0,1 ^a	81,8 ^a
		CDM-T 315W	6,1 ^b	2,5 ^b	99,2 ^b
		CHD Agro 400	6,1 ^b	1,7 ^b	96,7 ^b
<i>Pelargonium grandiflorum</i> 'Bermuda Pink'	86	SON-T Pia Green Power	5,8 ^a	1,3 ^a	66,7 ^a
		CDM-T 315W	6,9 ^b	4,3 ^b	84,4 ^b
		CHD Agro 400	7,2 ^b	3,8 ^b	82,2 ^b
<i>Ptilotus exaltatus</i> 'Joey'	84	SON-T Pia Green Power	5,1 ^a		38,5 ^a
		CDM-T 315W	5,2 ^a		43,2 ^b
		CHD Agro 400	4,8 ^a		45,2 ^b
<i>Sinningia</i> Cv. 'Avanti Scarlet'	90 ⁺	SON-T Pia Green Power	5,7 ^a		32,5 ^a
		CDM-T 315W	5,9 ^b		39,0 ^b
		CHD Agro 400	5,6 ^{a,b}		34,9 ^{a,b}
<i>Streptocarpus</i> Cv. 'Marleen Rubina'	69	SON-T Pia Green Power	5,8 ^a	0,3 ^a	46,4 ^a
		CDM-T 315W	6,4 ^b	1,8 ^b	62,1 ^b
		CHD Agro 400	5,9 ^a	0,8 ^a	58,4 ^a

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

^{a,b,c}Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$ ⁺ ohne Blüten, Versuchsende

Kultur- und Versuchshinweise

Topfen in KW 48, Substrat: Vogteier Sondermix LfULG A2; Heizungssollwert T/N 17/17 °C (ab KW 4: 18/18 °C); Lüftungssollwert T/N 19/20 °C (ab KW 4: 20/21 °C); Schattierung aus; Energieschirm Schaltpunkt 4 klx, von 1,5 Stunden vor Sonnenuntergang bis 1,5 h nach Sonnenaufgang; Belichtung: Freigabe von SA bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5,76 mol/m² (etwa 90 klx), ab KW 52: 4,32 mol/m² (67 klx), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen; cool morning (drop) vom 2.12. bis 15.1.: 45 min vor SA HT 8°C, 30 min vor SA Schirm auf, mit SA LT 12 °C, 30 min nach SA LT 19 °C, 2 h nach SA HT 17 °C

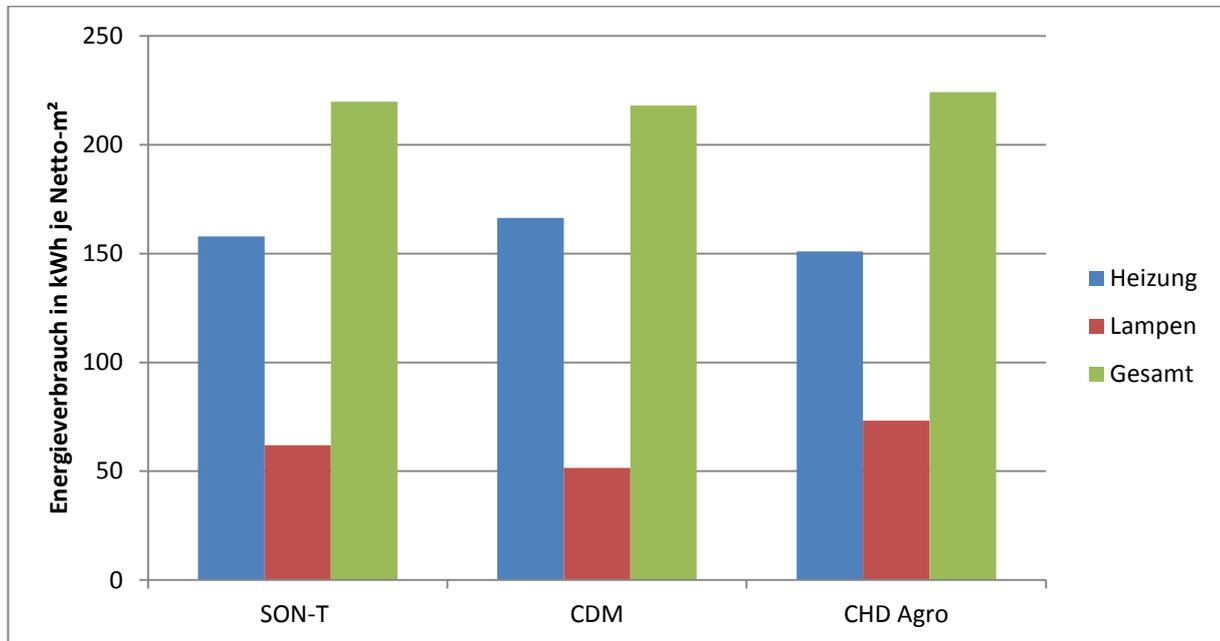


Abbildung 20: Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten über den gesamten Versuchszeitraum (94 Tage)



Abbildung 21: Früherer Blühbeginn unter Keramik-Metallhalogendampflampen bei *Pelargonium grandiflorum* 'Aristo Red Beauty' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)

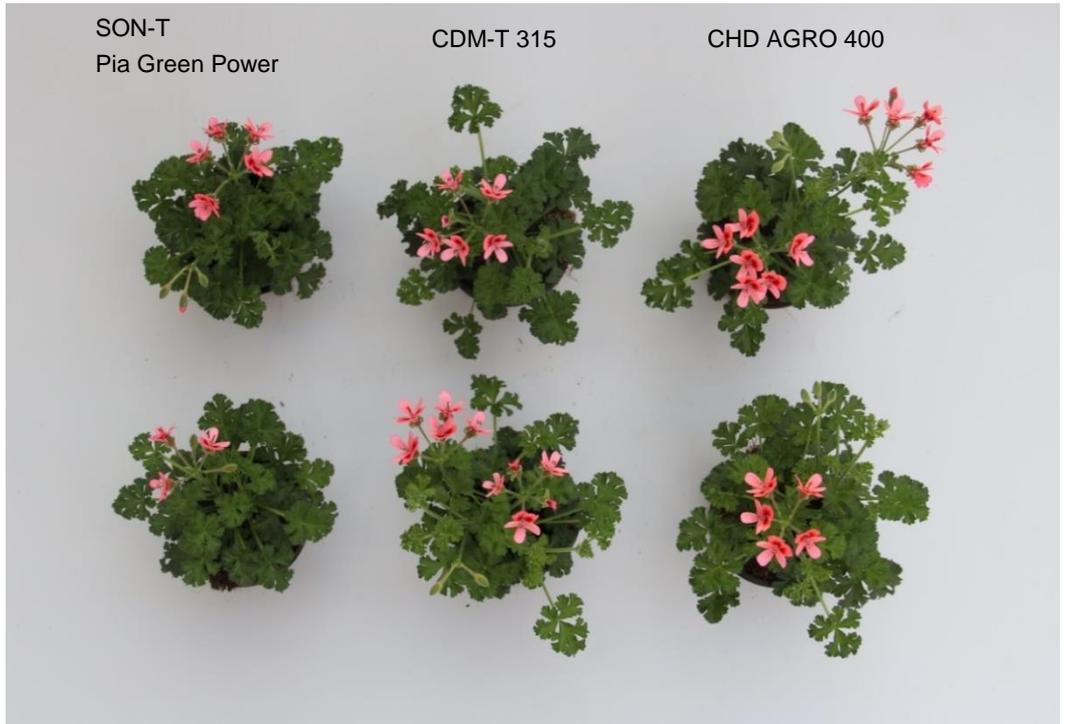


Abbildung 22: Unterschiedlicher Pflanzenaufbau in KW 03 bei *Pelargonium crispum* 'Angeleyes Orange' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)



Abbildung 23: Früherer Blühbeginn unter Keramik-Metallhalogendampflampen bei *Gerbera* 'Mini Revolution Red Light Eye' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)



Abbildung 24: Größere Pflanzen in KW 03 beim Einsatz von Keramik-Metallhalogendampflampen bei *Begonia* Cv. Elatior-Grp. 'Batik' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)

5.2.2 Versuchsbericht Edelpelargonien mit Kühlvarianten ab KW 45-2016 (DALLMANN, WARTENBERG 2017c)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung von *Pelargonium x grandiflorum* am LfULG in Dresden-Pillnitz 2016/2017 mit einem Tageslichtsummensollwert von 5 mol/m² PAR-Strahlung war die Pflanzenqualität in den Versuchsvarianten mit Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM-T und CHD Agro) etwas besser als unter Natriumdampflampen. Die kürzeste Treibdauer und der geringste Energieeinsatz wurden bei der CDM-T-Lampe festgestellt. Die Varianten der Kühlung beeinflussten durch den unterschiedlichen Treibbeginn das Energieverbrauchsniveau.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei einer Kultur von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht notwendig. Keramik-Metallhalogendampflampen bieten dabei gegenüber den herkömmlichen Natriumdampflampen den Vorteil eines breiteren Lichtspektrums. Der Einsatz von Keramik-Metallhalogendampflampen im Vergleich zu Natriumdampflampen wurde in dem Versuch hinsichtlich Stromverbrauch und Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

Im Winter 2016/17 wurden in Dresden-Pillnitz 40 Sorten von *Pelargonium x grandiflorum* nach unterschiedlicher Kühlbehandlung unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Es kamen drei verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen zum Einsatz (siehe Tabelle 11). Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei in allen Versuchsvarianten eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² zu erreichen. In den lichtärmsten Monaten Dezember und Januar war dafür an den meisten Tagen eine Belichtung über den gesamten Freigabezeitraum von 20 Stunden je Tag notwendig.

Nach dem Topfen der Pflanzen in KW 45 erfolgte die Kultur ab KW 47 in den Versuchsvarianten „ohne Kühlung“, „3 Wochen Kühlung“ und „6 Wochen Kühlung“. Durch die unterschiedlich lange Kühlbehandlung konnte ein deutlicher Einfluss auf die Kulturdauer und die Pflanzenqualität festgestellt werden. Die Pflanzenentwicklung war im Versuch durch die unterschiedliche Kühlbehandlung stärker beeinflusst als durch die verschiedenen Lampentypen. Durch die versuchsbedingte terminliche Verschiebung des Treibbeginns der Kühlvarianten war bei dem Satz mit 6 Wochen Kühlung der Anteil der natürlichen Strahlung am höchsten. Trotzdem gab es keine wesentlich andere Abstufung der Unterschiede in den erfassten Merkmalen. In allen Versuchsvarianten wurde eine gute Verkaufsqualität erreicht. Der Gesamteindruck und die Anzahl der Blüten- und Knospenstände war unter den Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM und CHD) am besten (siehe Tabelle 12). Die gemessene PAR-Strahlung war bei den 400-W-Lampen (CHD Agro) geringer. Dadurch waren die Pflanzen nicht so kompakt wie unter der CDM-Lampe. Das breite Lichtspektrum wirkte sich gegenüber der Natriumdampflampe aber positiv auf die Anzahl an Blüten und Knospen aus.

Der höchste Stromverbrauch wurde durch die längere Brenndauer und die installierte Leistung bei den CHD-Agro-Lampen festgestellt. Dies wirkte sich auch auf den Heizenergieverbrauch aus. Der lag in den Varianten mit niedrigem Verbrauch an Elektroenergie entsprechend höher. Im Gesamtenergieverbrauch sind innerhalb der verschiedenen Kühlungsvarianten nur geringe Unterschiede sichtbar (Abbildung 25). Da der Preis für die Elektroenergie aber höher ist, sind die Unterschiede in den Energiekosten entsprechend größer (Abbildung 26).

Tabelle 11: Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Edelpelargonien (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Leuchtmittel	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ	Natriumdampflampe	Keramik-Metall-halogendampflampe	Keramik-Metall-halogendampflampe
Leuchte	Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	Philips MGR 400 (schwarz)
PAR-Strahlung in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	56	50	40
Brenndauer in h	1.204	1.278	1.378
Lichtsumme PAR in mol/m^2	515	468	437
Stromverbrauch in kWh je Netto- m^2	53,7	41,7	59,7
% zu SON-T		78	111

Tabelle 12: Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten über alle Sorten und Kühlvarianten (LfULG Dresden-Pillnitz 2017)

Lichtquelle	CDM-T315W	CHD-Agro 400	SON-T Pia Green Power
Treibdauer in Tagen	77	78	84
Gesamteindruck*	8,5	8,2	8,1
Sprossmasse in g	149	157	171
Höhe in cm	28,6	30,4	30,4
Breite in cm	33,4	34,2	34,4
Anzahl Blüten und Knospenstände	12,6	12,2	10,4
Anzahl offene Blüten	14,4	14,2	13,6
PAR-Summe (ohne Kühlphase)	468	436	515
Temperatursumme ab Treibbeginn	1326	1329	1436

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

Signifikanzgruppen TUKEY B, $\alpha = 0,05$ durch unterschiedlich graue Hintergrundfarbe dargestellt

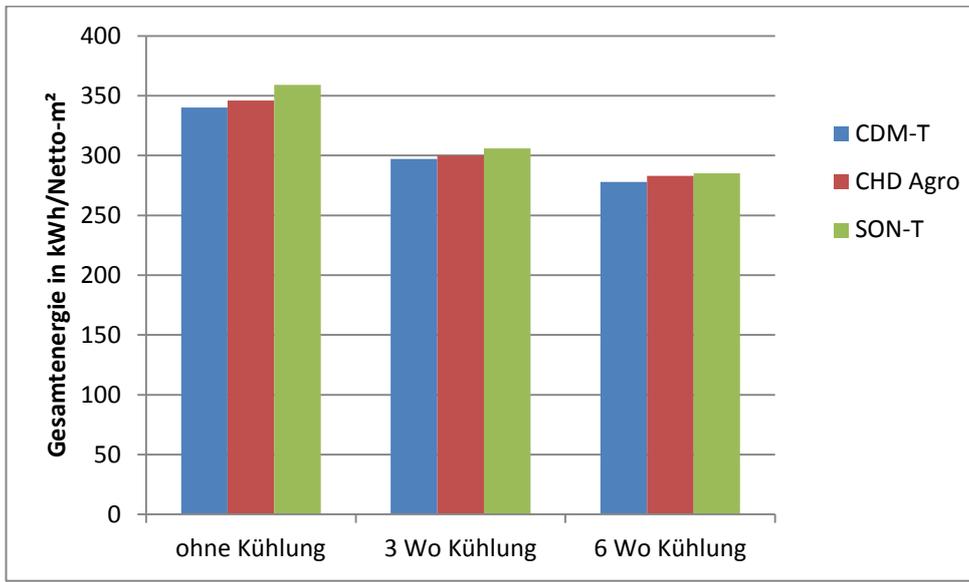


Abbildung 25: Gesamtenergieverbrauch entsprechend der Treibdauer der Versuchsvariante (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

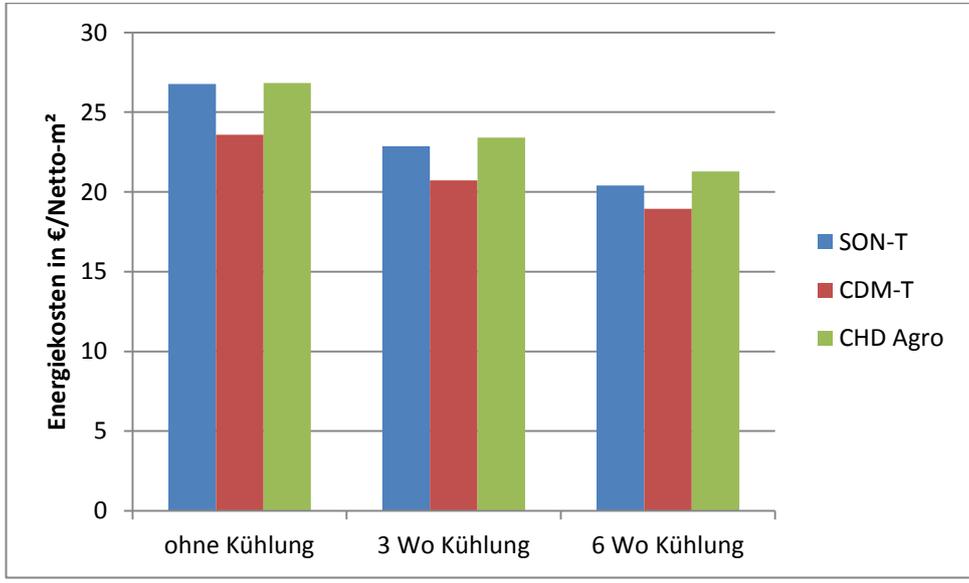


Abbildung 26: Energiekosten je Versuchsvariante bei angenommenen Heizkosten von 0,05 €/kWh und einem Strompreis von 0,19 €/kWh (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)



Abbildung 27: Höhere Blüten- und Knospenanzahl bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Candy Flowers Peach Cloud' unter Keramik-Metallhalogendampflampen (Variante 3 Wochen Kühlung; LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)



Abbildung 28: Bessere Pflanzenqualität bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Mikado' unter der Keramik-Metallhalogendampflampe CDM-T (Variante 6 Wochen Kühlung; LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)



Abbildung 29: Bessere Pflanzenqualität bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Novita Violet' unter der Keramik-Metallhalogendampflampe CDM-T (Variante 3 Wochen Kühlung; LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)



Abbildung 30: Bessere Pflanzenqualität bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Elegance Bravo' unter der Keramik-Metallhalogendampflampe CDM-T (Variante 6 Wochen Kühlung; LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Kultur- und Versuchshinweise

Topfen in KW 45, Substrat: Vogteier Sondermix LfULG A3, 12er Topf; Heizungssollwert T/N 18/18 °C; Lüftungssollwert T/N 20/21 °C; Schattierung aus; Energieschirm Schaltpunkt 4 klx, von 1,5 Stunden vor Sonnenuntergang bis 1,5 h nach Sonnenaufgang; Belichtung: Freigabe von SA bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen;

cool morning (drop) ab KW 48: 45 min vor SA HT 8°C, 30 min vor SA Schirm auf, mit SA LT 12 °C, 30 min nach SA LT 20 °C, 2 h nach SA HT 18 °C

Kühlbehandlung: Heizen T/N 5/5 °C, Boden Heizung 5 °C, Lüften T/N 7/7 °C, keine Zusatzbelichtung

5.2.3 Versuchsbericht Edelpelargonien ab KW 50-2017 (DALLMANN, WARTENBERG 2018b)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Anzucht von Topfpflanzen am LfULG in Dresden-Pillnitz 2017/2018 wurden vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien miteinander verglichen. Bei *Pelargonium x grandiflorum* wurde die kürzeste Kulturdauer in der Variante mit CHD-Agro-Lampen erreicht. Die Variante mit LED-Belichtung auf eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² hatte die längste Kulturdauer. Trotzdem lag der Einsatz an Elektroenergie nur bei 58 % gegenüber den Natrium-Dampflampen. Der Bedarf an Heizenergie war aber entsprechend höher.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Neben dem Einsatz herkömmlicher Natriumdampflampen wurden verschiedene Keramik-Metallhalogendampflampen und LED-Leuchten hinsichtlich Stromverbrauch und Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

Im Winter 2017/18 wurden in Dresden-Pillnitz vier Sorten Edelpelargonien unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Dabei war das Lichtspektrum der Lampen zum Teil sehr unterschiedlich. Es kamen vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen (Tabelle 13) und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien zum Einsatz. Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte in vier Varianten über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei, eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² zu erreichen. In zwei Varianten wurde auf eine Tageslänge von 20 Stunden belichtet. Der Abschaltzeitpunkt der Belichtung lag bei einer Außenhelligkeit von 20 klx. Der Verbrauch an Elektro- und Heizenergie wurde für jede Variante separat erfasst. Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsfähigkeit.

Die Jungpflanzen wurden in KW 45 getopft und nach einer 2-wöchigen Startphase bei 18 °C für eine gleichmäßige Blütenentwicklung drei Wochen bei 5 °C gekühlt. Da die Außentemperaturen niedrig waren, wurde in der Kühlphase ein tatsächliches Temperaturmittel von 6,6 °C gemessen.

Die Belichtung in den verschiedenen Varianten erfolgte ab KW 50. Die kürzeste Kulturdauer konnte bei der Belichtung mit der CHD-Agro-Lampe festgestellt werden (siehe Tabelle 14). Diese Keramik-Metallhalogendampflampe hatte durch die höhere installierte Leistung vermutlich auch eine höhere Wärmestrahlung als die CDM-Lampe. Eine um 9 Tage längere Kulturdauer wurde bei der LED-Belichtung festgestellt.

In der Bewertung der Pflanzen gab es zum Blühbeginn nur geringe Unterschiede. Die Pflanzenhöhe war in der LED-Variante etwas geringer und der Gesamteindruck wurde besser bewertet als in den anderen Varianten mit Steuerung auf die Tageslichtsumme.

Die Brenndauer der Lampen in den beiden Varianten mit 20 Stunden Belichtungsdauer war um 15 % länger als bei einer Steuerung auf die Tageslichtsumme, wirkte sich aber nicht auf die Kulturdauer aus. Die Sprossmasse dieser Pflanzen war jedoch etwas größer und sie hatten die meisten Blüten- und Knospenstände.

Den geringsten Verbrauch an Elektroenergie hatten erwartungsgemäß die LED-Leuchten. Er lag bei 58 % gegenüber der Natriumdampflampe bei Steuerung auf eine Tageslichtsumme von 5 mol/m². Durch den deutlich höheren Verbrauch an Heizenergie und die längere Kulturdauer lag der Gesamtenergiebedarf aber um 9 % höher als bei SON-T (Abbildung 31).

Tabelle 13: Lampen-Leuchten-Kombinationen zur Assimilationsbelichtung ab KW 50-2017 (LfULG Dresden-Pillnitz 2017-2018)

Leuchtmittel	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	DRWMBHO Green Power LED	CHD AGRO 400
Typ	Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	LED	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte	Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	Philips LED-Toplight	MGR-K-CHD
Installierte Leistung in W/m ²	50	39,4	33,3	50
PAR-Strahlung in µmol/m ² s	58	50	60	56

Tabelle 14: Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei *Pelargonium x grandiflorum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Leuchtmittel	SON-T	CDM-T	CHD AGRO	LED	SON-T	CDM-T
Belichtungsstrategie	5 mol/m ² d	20 h/d	20 h/d			
Kulturdauer ab Belichtungsbeginn in Tagen	60 ^{b,c}	61 ^c	57 ^a	66 ^d	59 ^b	61 ^{b,c}
Gesamteindruck*	8,6 ^{a,b}	8,5 ^a	8,6 ^{a,b}	8,8 ^b	8,8 ^b	8,6 ^{a,b}
Pflanzenhöhe in cm	24	25	25	24	25	25
Pflanzenbreite in cm	29	29	29	29	29	29
Anzahl Blüten- und Knospenstände je Pflanze	15,9 ^a	18,5 ^b	16,6 ^a	18,8 ^{b,c}	20,5 ^c	22,3 ^d
Sprossmasse in g	97 ^a	98 ^a	97 ^a	118 ^d	103 ^b	108 ^c
PAR-Summe in mol/m ²	320	315	305	362	373	348
Temperatursumme in °C x d	1.104	1.109	1.024	1.217	1.068	1.116
Brenndauer in h	953	1.030	945	905	1.119	1.154
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ²	55,3	44,6	51,1	31,9	65,4	49,7
% zu „SON-T 5 mol/m ² “		81	92	58	118	90

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut); ^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUKEY B, α = 0,05

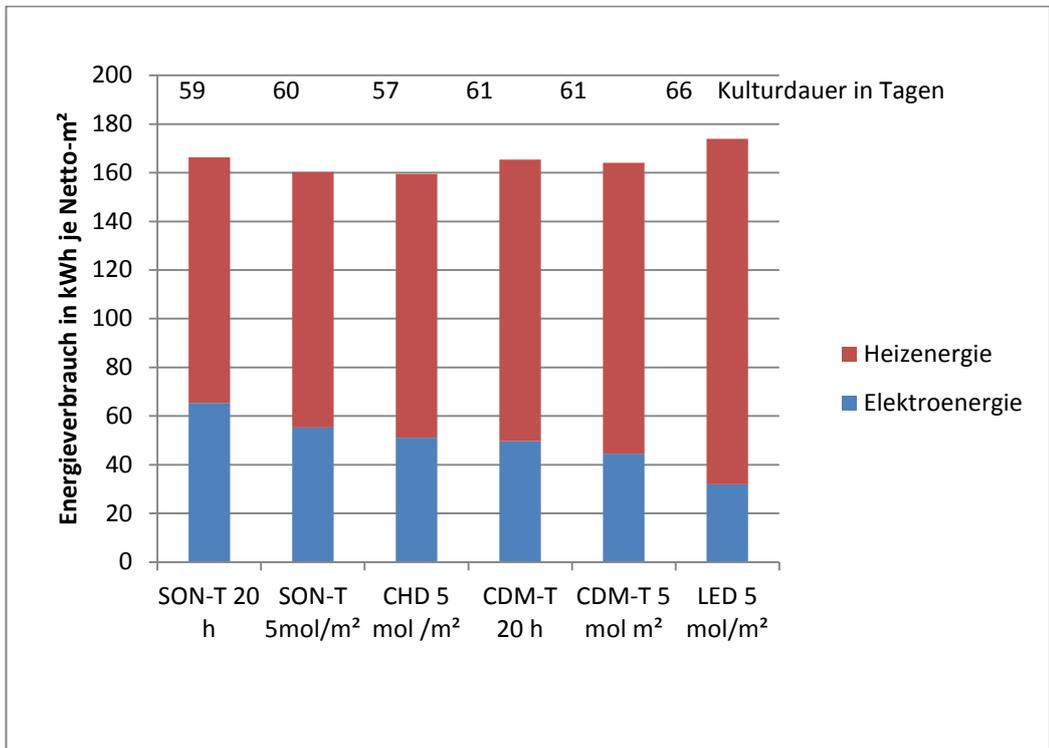


Abbildung 31: Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis zum mittleren Blühtermin bei Edelpelargonien 2017/2018 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)



Abbildung 32: Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität bei der Kultur von *Pelargonium x grandiflorum* 'Elegance Bravo' unter verschiedenen Assimilationslampen und Belichtungsstrategien (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Sorten: 'Novita Violet' (Selecta One), 'Elegance Bravo' (Hendriks Young Plants), 'Bermuda Pink' (pac Elsner Jungpflanzen), 'Aristo Orange' (pac Elsner Jungpflanzen)

Topfen: KW 45, 11er Topf; Substrat Stender D400 mit Cocopor, Heizen 18 °C, Lüften 20 °C
Kühlphase im GWH von KW 47 bis KW 50 (Heizungssollwert 5 °C, Lüftungssollwert 7°C)
Bewässerungsdüngung mit 0,5 g/l Ferty EcoPhos 3 (20-5-20);
Heizungssollwert 18 °C, Lüftungssollwert T/N 20/21 °C; KW 02 bis KW 06 drop, ab KW 06 Heizungssollwert 20 °C
Belichtung ab KW 50: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klx) oder Freigabe für 20 Stunden, Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen

5.2.4 Versuchsbericht Begonien ab KW 50-2017 (DALLMANN, WARTENBERG 2018g)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Anzucht von Topfpflanzen am LfULG in Dresden-Pillnitz 2017/2018 wurden vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien miteinander verglichen. Bei den Elatior-Begonien gab es zwischen den Versuchsvarianten nur geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität. Die kürzeren Kulturauern wurden in den Varianten ohne Abschaltung nach Lichtsumme und damit einer längeren Brenndauer und bei der CHD-Agro-Leuchte erreicht. Die Variante mit Natrium-Dampflampen und Steuerung auf eine Lichtsumme von 5 mol/m² hatte die längste Kulturdauer. Der Einsatz an Elektroenergie lag bei der LED-Variante nur bei 56 % gegenüber den Natrium-Dampflampen. Der Bedarf an Heizenergie war aber entsprechend höher.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Neben dem Einsatz herkömmlicher Natriumdampflampen wurden in dem Versuch verschiedene Keramik-Metallhalogendampflampen und LED-Leuchten hinsichtlich Stromverbrauch und Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

Im Winter 2017/18 wurden in Dresden-Pillnitz zwei Sorten Elatior-Begonien unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Dabei war das Lichtspektrum der Lampen zum Teil sehr unterschiedlich. Es kamen vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen (Tabelle 13) und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien zum Einsatz. Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte in vier Varianten über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei in vier Varianten eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² zu erreichen. In zwei Varianten wurde auf eine Tageslänge von 20 Stunden belichtet. Der Abschaltpunkt der Belichtung lag bei einer Außenhelligkeit von 20 klx. Der Verbrauch an Elektro- und Heizenergie wurde für jede Variante separat erfasst. Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsfähigkeit mit zwei offenen Blüten.

Die Kulturdauer war bei den Begonien in den Varianten mit 20 Stunden Belichtungszeit und unter den CHD-Agro-Leuchten am kürzesten. Die Anzahl der Blüten- und Knospenstände war allerdings in den 20 h Varianten geringer als bei einer Abschaltung nach Tageslichtsumme. Auch im Gesamteindruck wurden die Pflanzen der 20-h-Varianten etwas schlechter bewertet. Diese Unterschiede sind aber alle sehr gering.

Der geringste Verbrauch an Elektroenergie wurde erwartungsgemäß in der LED-Variante registriert. Der Heizenergieverbrauch lag in dieser Variante am höchsten. Der Gesamtenergieverbrauch der LED-Variante war aber durch die relativ kurze Kulturdauer geringer als bei der Natrium-Dampflampe mit Steuerung auf die Tageslichtsumme von 5 mol/m² (Abbildung 33).

Tabelle 15: Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei *Begonia* Cv. (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Leuchtmittel	SON-T	CDM-T	CHD AGRO	LED	SON-T	CDM-T
Belichtungsstrategie	5 mol/m ² xd	20 h/d	20 h/d			
Kulturdauer ab Belichtungsbeginn in Tagen	75 ^c	73 ^{b,c}	68 ^a	73 ^{b,c}	67 ^a	70 ^{a,b}
Gesamteindruck*	8,4 ^b	8,1 ^{a,b}	8,5 ^b	8,2 ^{a,b}	7,7 ^a	7,7 ^a
Pflanzenhöhe in cm	24	24	22	23	24	22
Pflanzenbreite in cm	33	31	31	30	30	29
Anzahl Blüten- und Knospenstände	7,8 ^b	7,3 ^b	7,5 ^b	7,8 ^b	5,7 ^a	6,0 ^a
Sprossmasse in g	141	138	136	130	136	127
PAR-Summe in mol/m ²	433	394	398	430	445	427
Temperatursumme in °C x d	1.415	1.357	1.246	1.361	1.232	1.302
Brenndauer in h	1.006	1.095	1.038	927	1.253	1.297
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ²	58,2	47,3	56,1	32,6	73,3	55,8
% zu „SON-T 5 mol/m ² “		81	95	56	124	95

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUKEY B, $\alpha = 0,05$

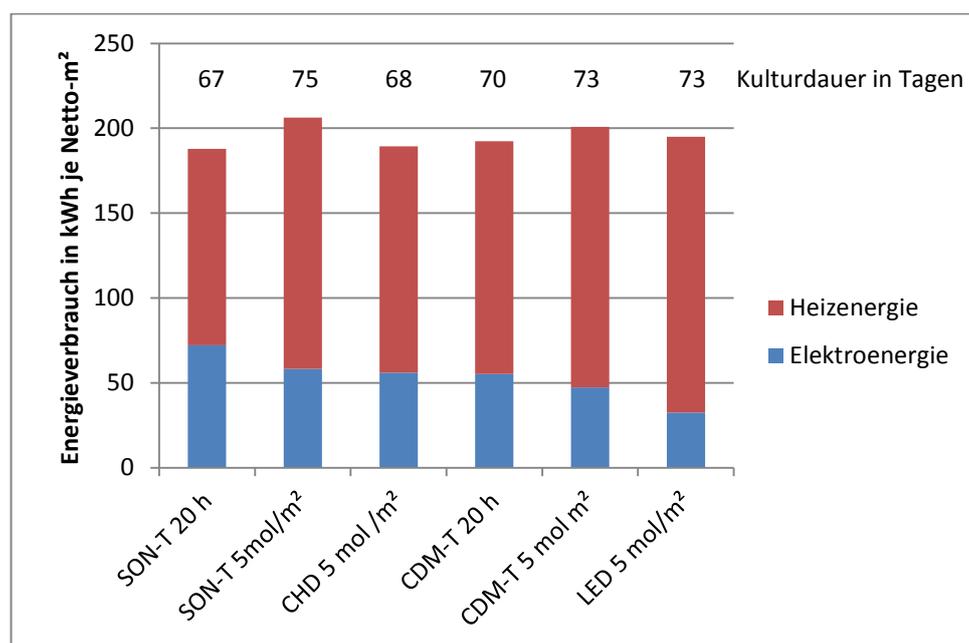


Abbildung 33: Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis zum mittleren Blühtermin bei *Begonia* Cv. 2017/2018 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

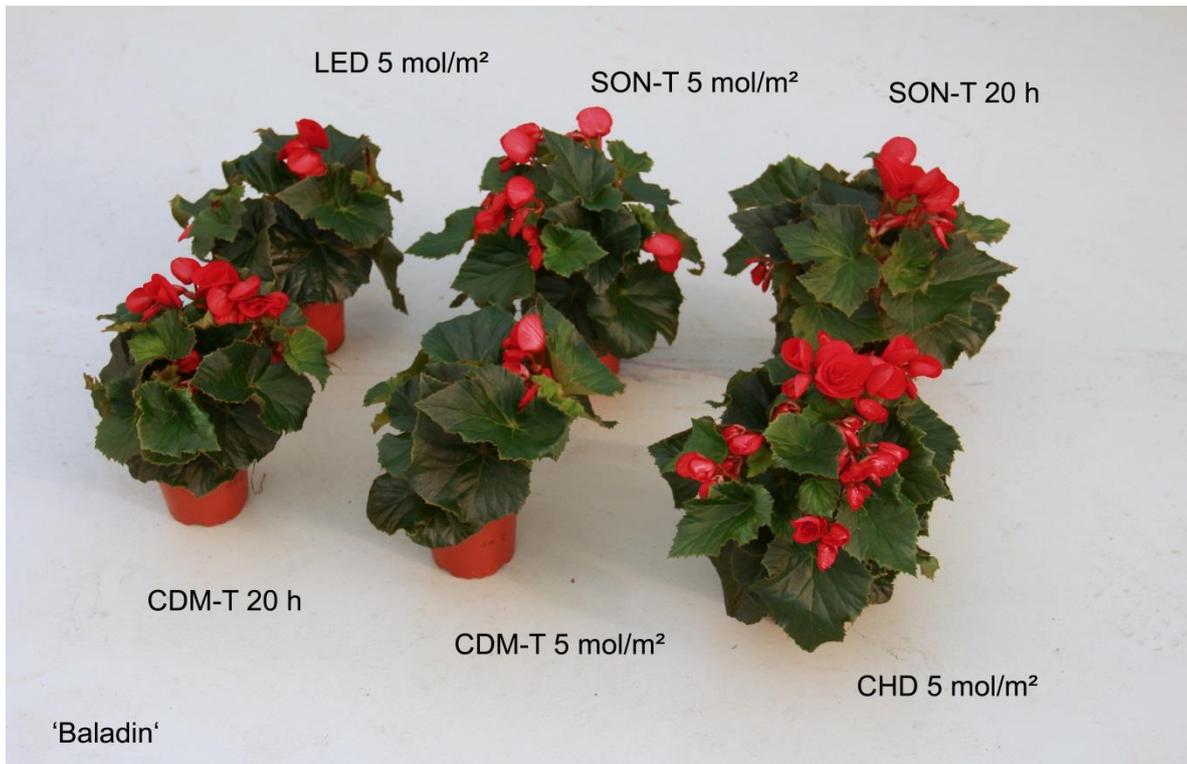


Abbildung 34: Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität bei der Kultur von *Begonia* Cv. 'Baladin' unter verschiedenen Assimilationslampen und Belichtungsstrategien (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Sorten: *Begonia* Cv. Elatior-Grp.: 'Baladin', 'Batik' (Rieger)

Topfen in KW 50

11er Topf; Substrat Stender D400 mit Cocopor

Bewässerungsdüngung mit 0,5 g/l Ferty EcoPhos 3 (20-5-20);

Heizungssollwert 18 °C, Lüftungssollwert T/N 20/21 °C; KW 02 bis KW 06 drop, ab KW 06 Heizungssollwert 20 °C

Belichtung: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh) oder Freigabe für 20 Stunden, Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltzeitpunkt 10 klx innen;

5.2.5 Versuchsbericht Edelpelargonien und andere Topfpflanzen ab KW 50-2018

(DALLMANN, WARTENBERG 2019a)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Anzucht von Topfpflanzen am LfULG in Dresden-Pillnitz im Winter 2018/19 wurde LED-Belichtung mit Natriumdampflampen verglichen. Bei Belichtungsbeginn in KW 50 gab es nur geringe Unterschiede in der Pflanzenentwicklung. Bei den Edelpelargonien verlängerte sich die Kulturdauer im Mittel der Sorten unter LED-Licht um drei Tage, aber die Anzahl an Knospen war höher als unter Natriumdampflampen. Die Entwicklung von Gerbera und Begonien war dagegen unter LED-Licht geringfügig schneller. Die Einsparung an Elektroenergie lag bei den LED über den gesamten Versuchszeitraum bei 38 % gegenüber Natriumdampflampen. Durch die dunkle und kühle Witterungsperiode musste aber entsprechend mehr Heizenergie eingesetzt werden.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Topfpflanzen in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Der Einsatz herkömmlicher Natriumdampflampen wurde mit LED-Leuchten hinsichtlich Energieverbrauch und Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung verglichen.

Ergebnisse im Detail

Mit Versuchsbeginn im Dezember 2018 wurden in Dresden-Pillnitz verschiedene Topfpflanzen unter Assimilationsbelichtung mit LED im Vergleich zu Natriumdampflampen kultiviert. Die Belichtung erfolgte einheitlich auf eine Tageslichtsumme von 6 mol/m². Auch die Temperatursteuerung erfolgte in beiden Varianten gleich. Der Verbrauch an Elektro- und Heizenergie wurde für beide Varianten separat erfasst. Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsreife.

Die Einstrahlung von außen war gering und typisch für die Monate Dezember bis Februar (Abbildung 35). In dem zur Verfügung stehenden Zeitrahmen von 80 Tagen erreichten *Sinningia* Cv. und *Exacum affine* keine Verkaufsreife. Die samenvermehrten *Callistephus chinensis* waren im untersuchten Zeitraum ohne chemische Wachstumsregulierung nicht als Topfpflanzen geeignet. Bei den anderen Pflanzenarten wurde in beiden Belichtungsvarianten eine ähnlich gute Verkaufsqualität erreicht (siehe Tabelle 17).

Bei den Edelpelargonien war die Kulturdauer der Pflanzen mit LED-Belichtung im Mittel der Sorten drei Tage länger. Dagegen kamen Begonien und Gerbera unter LED-Licht etwas schneller in Blüte als unter Natriumdampflampen. Auffallend war die höhere Anzahl an Knospen bei *Pelargonium x grandiflorum* und *Campanula* bei LED-Belichtung. Auch bei der Bonitur des Gesamteindruckes wurden die Pflanzen aus der LED-Variante oftmals etwas besser bewertet.

Deutlicher fielen die Unterschiede im Elektroenergieverbrauch aus. Die Brenndauer der Lampen in den beiden Varianten war fast gleich und durch die geringere installierte Leistung lag der Stromverbrauch in der LED-Variante nur bei 61,5 % gegenüber den Natriumdampflampen.

Der Verbrauch an Heizenergie war im Versuchszeitraum in der LED-Variante höher, da bei den Natriumdampflampen ein höherer Anteil der eingesetzten Elektroenergie in Wärme umgewandelt wird. So war der Gesamtenergieeinsatz in beiden Belichtungsvarianten gleich (siehe Abbildung 36). Durch die kürzere Kulturdauer ist bei den Edelpelargonien der Gesamtenergieeinsatz bei den Natriumdampflampen geringfügig geringer als bei den LEDs.

Tabelle 16: Vergleich der eingesetzten Leuchtmittel bei Topfpflanzen mit Kulturbeginn in KW 50 (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Leuchtmittel	DRWMBHO Green Power	SON-T Pia Green Power
Typ	LED	Natriumdampflampe
Leuchte	Philips LED-Toplight	Philips MGR 400 (schwarz)
Installierte Leistung in W/m ²	33,3	50
PAR-Strahlung in µmol/m ² s	60	58
Brenndauer in h Assimilationslicht**	1181	1150
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ² **	41,6	67,6
% zu SON-T	61,5	

* Herstellerangaben; ** bis Versuchsende (80 Kulturtage)

Tabelle 17: Ausgewählte Pflanzenmerkmale zum Blühbeginn bei verschiedenen Topfpflanzen (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Pflanzenart	Merkmal	Green Power LED	SON-T
<i>Pelargonium x grandiflorum</i> (18 Sorten)	Kulturdauer in d	66	63
	Pflanzenhöhe in cm	24,1	24,1
	Anzahl Blüten- und Knospenstände	22,4	16,4
	Sprossmasse in g	109	95
	Gesamteindruck*	8,7	8,6
<i>Begonia</i> (4 Sorten)	Anteil blühende Pflanzen zum Versuchsende in %	83	56
	Pflanzenhöhe in cm	23,1	24,2
	Anzahl Blüten- und Knospenstände	8,1	10,9
	Sprossmasse in g	170	180
	Gesamteindruck*	7,3	8,0
<i>Campanula</i> (3 Sorten)	Kulturdauer in d	78	77
	Pflanzenhöhe in cm	25,3	24,5
	Anzahl Blüte und Knospen	31	21
	Sprossmasse in g	49	37
	Gesamteindruck*	8,5	8,0
<i>Euphorbia</i> (Syn.: <i>Chamaesyce</i>) (1 Sorte)	Kulturdauer in d	61 (Bonitur an einem Stichtag)	
	Pflanzenhöhe in cm	39,6	34,6
	Sprossmasse in g	41,3	29,2
	Gesamteindruck*	7,7	7,0
<i>Gerbera</i> (2 Sorten)	Anteil blühende Pflanzen zum Versuchsende in %	56	25
	Pflanzenhöhe in cm	39,7	39,2
	Anzahl Blüte und Knospen	7,4	6,8
	Sprossmasse in g	94,6	85,3
	Gesamteindruck*	7,9	7,2
<i>Saintpaulia</i> (3 Sorten)	Kulturdauer in d	79	79
	Pflanzenhöhe in cm	7,7	8,4
	Anzahl Blüten und Knospen	34	32
	Sprossmasse in g	59	61
	Gesamteindruck*	7,6	8,0
<i>Streptocarpus</i> (3 Sorten)	Kulturdauer in d	75	77
	Pflanzenhöhe in cm	17,9	17,6
	Anzahl Blüten- und Knospenstände	13,8	13,2
	Sprossmasse in g	68	67
	Gesamteindruck*	8,3	8,2

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

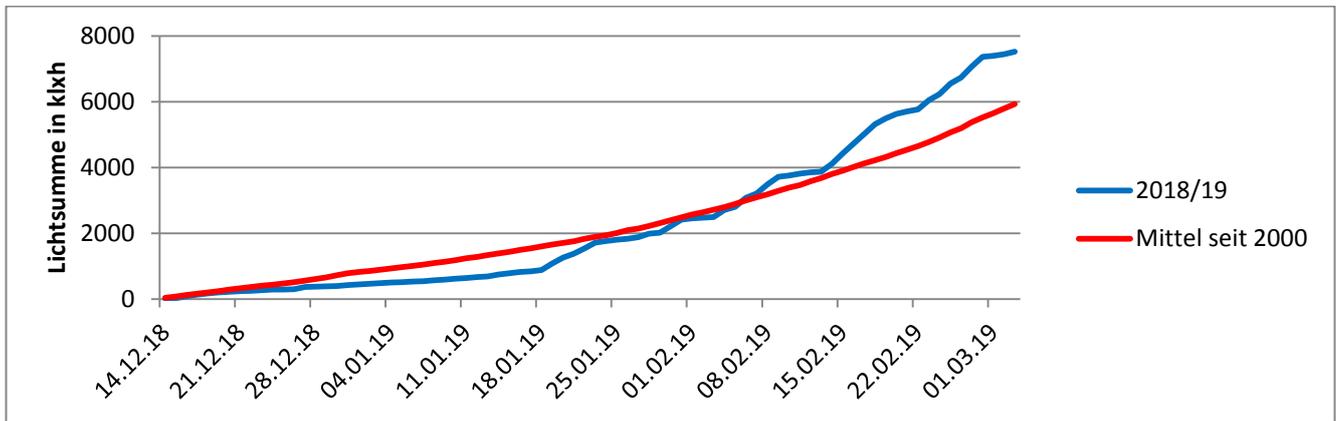


Abbildung 35: Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

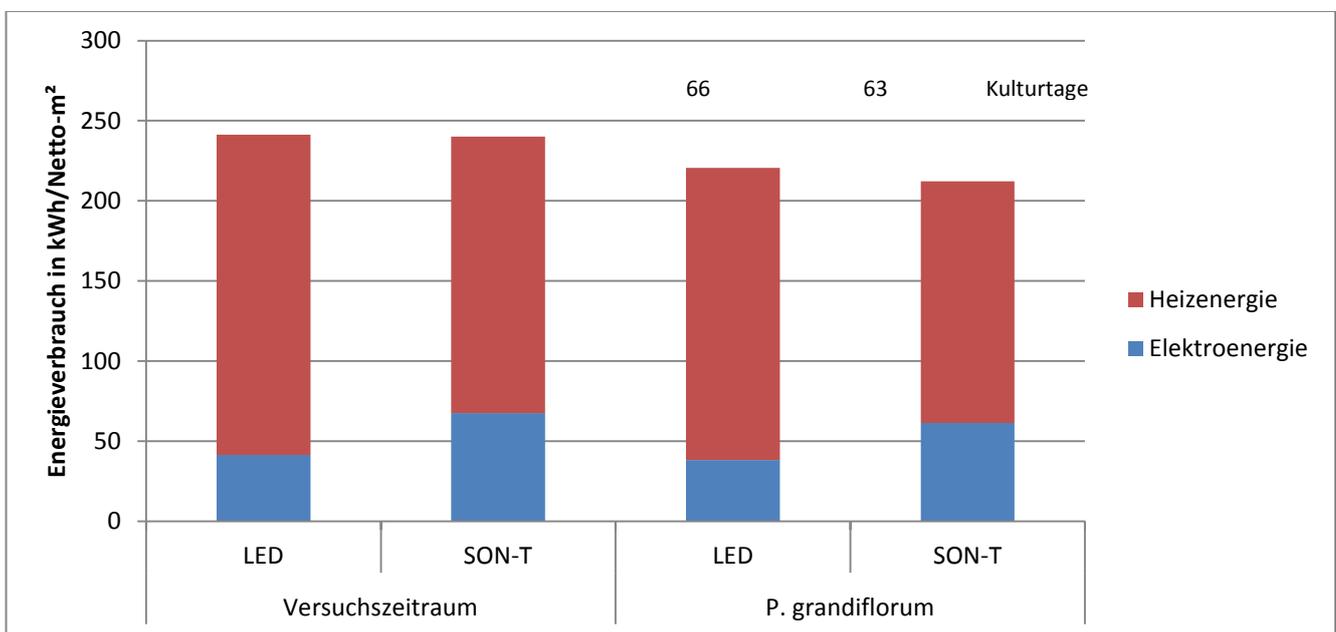


Abbildung 36: Gesamt-Energieverbrauch der Belichtungsvarianten bis Versuchsende (80 Kulturtage) und bei *Pelargonium x grandiflorum* bis zum mittleren Blühbeginn (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

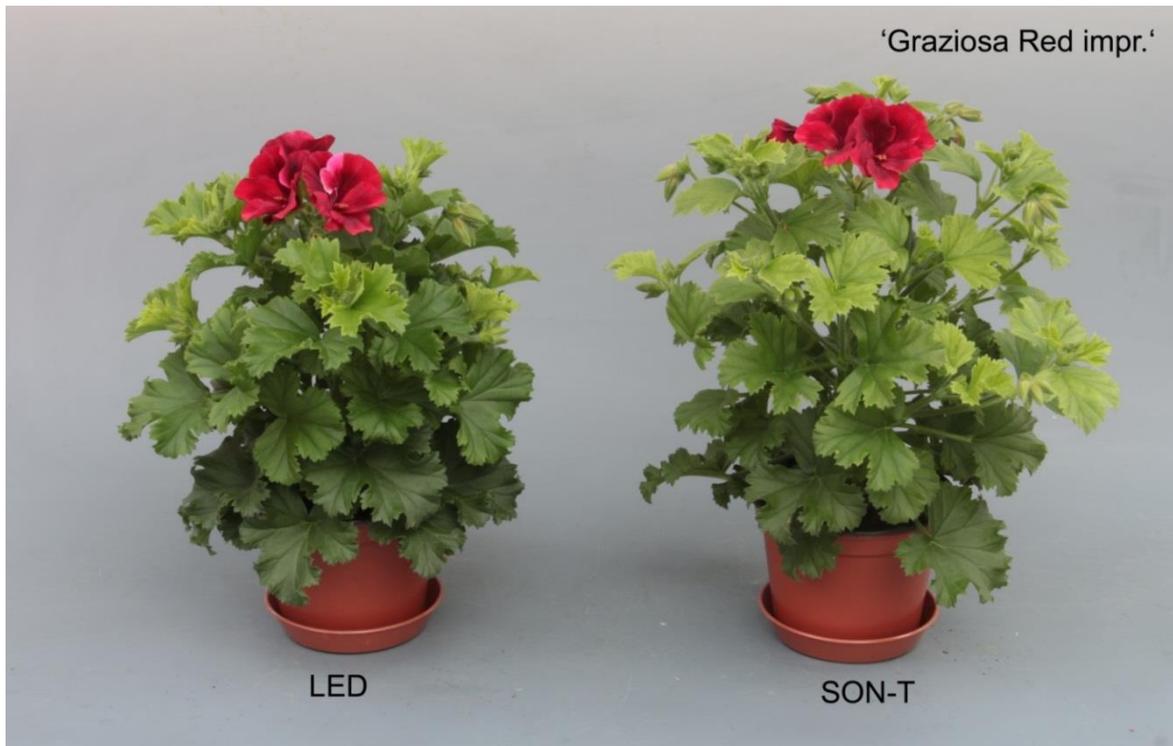


Abbildung 37: Kompakte Pflanzen mit LED-Belichtung bei *Pelargonium x grandiflorum* 'Graziosa Red impr.' (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

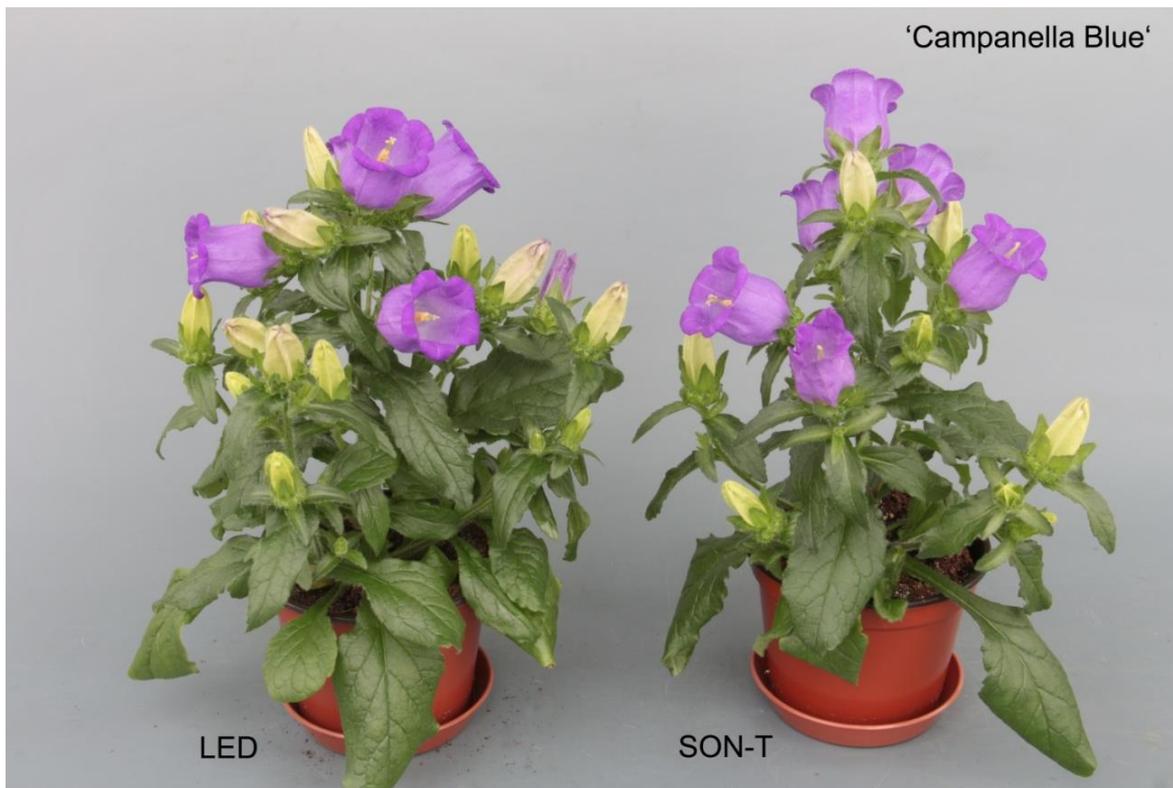


Abbildung 38: Höhere Knospen- und Blütenanzahl in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei *Campanula medium* 'Campanella Blue' (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

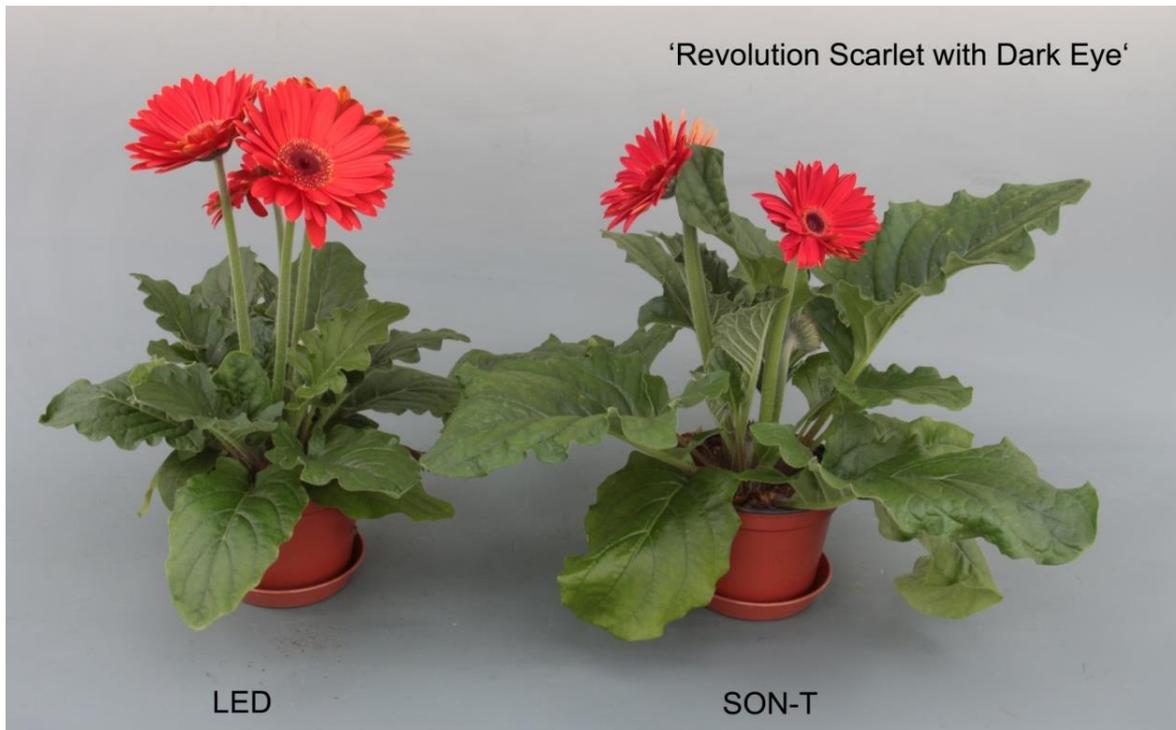


Abbildung 39: Höhere Knospenzahl und besserer Gesamteindruck in der Versuchsvariante mit LED-Belichtung bei *Gerbera* 'Revolution Scarlet with Dark Eye' (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

5.2.6 Versuchsbericht Hortensientreiberei ab KW 49-2016 (DALLMANN, WARTENBERG 2017b)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung von Hortensien in der Treibphase am LfULG in Dresden-Pillnitz 2016/2017 mit einem Tageslichtsummensollwert von 5 mol/m² PAR-Strahlung gab es keine Unterschiede in der Treibdauer und Pflanzenqualität zwischen Natriumdampflampen (SON-T Pia Green Power) und Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM-T 315 und CHD Agro 400). Durch die geringere PAR-Strahlung der CHD-Agro-Lampe war in dieser Variante der höchste Einsatz an Elektroenergie notwendig. Bei der CDM-Lampe wurden 21 % weniger Elektroenergie als bei der herkömmlichen Natriumdampflampe eingesetzt.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Beim Treiben von Hortensien in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Keramik-Metallhalogendampflampen bieten dabei gegenüber den herkömmlichen Natriumdampflampen den Vorteil eines breiteren Lichtspektrums. Der Einsatz von Keramik-Metallhalogendampflampen im Vergleich zu Natriumdampflampen wurde in dem Versuch hinsichtlich Stromverbrauch und Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

In einem Versuch im Winter 2016/17 wurden in Dresden-Pillnitz sechs Sorten Hortensien aus verschiedenen Anzuchtvarianten in der Vorkultur unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Es kamen drei verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen zum Einsatz (siehe Tabelle 18). Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei in allen Versuchsvarianten eine Tageslichtsumme von 5 mol/m² zu erreichen. In den lichtarmen Monaten Dezember und Januar war dafür an vielen Tagen eine Belichtung über den gesamten Freigabezeitraum von 20 Stunden je Tag notwendig (Abbildung 40).

Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsreife (ein Blütenstand voll entwickelt). Da aus betriebstechnischen Gründen eine Lichtvariante in KW 8 beendet werden musste, sind in die Auswertung nur die Sorten 'Diva Fiore', 'Clarissa' und 'Hot Red', die bis dahin bereits blühten, einbezogen worden.

Wie in Tabelle 19 ersichtlich, gab es keine Unterschiede in der Treibdauer und der Pflanzenqualität zwischen den Belichtungsvarianten. Die im Mittel etwas kürzere Treibdauer und höhere Sprossmasse bei den Keramik-Metallhalogendampflampen CDM-T und CHD Agro konnte statistisch nicht abgesichert werden.

Der höchste Stromverbrauch wurde durch die längere Brenndauer bei den CHD-Agro-Lampen festgestellt. Der Heizenergieverbrauch war entsprechend niedriger als in den Varianten mit effizienterer Belichtung (Abbildung 41).

Um die Varianten in Bezug auf den Gesamtenergiekosten vergleichen zu können, wurde in der Abbildung 42 von Stromkosten von 0,19 €/kWh und Heizkosten von 0,05 €/kWh ausgegangen. Danach sind die Energiekosten in der CDM-Variante 9 % niedriger und bei der CHD-Agro-Variante 7 % höher als bei Natriumdampflampen.

Tabelle 18: Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Hortensien (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Leuchtmittel		SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ		Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte		Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	Philips MGR 400 (schwarz)
Herstellerangaben	Elektrische Leistung in W	400	315	400
	Photonenfluss in $\mu\text{mol/s}$	725	569	665
	Photonenflussausbeute in $\mu\text{mol/sW}$	1,81	1,81	1,66
	Lichtstrom in lm	58.500	36.200	40.000
	Lichtausbeute in lm/W	146	115	100
	Farbtemperatur in K	2.100	4.200	4.200
	Messwerte (Kernversuch 64 Tage Belich- tung)	PAR-Strahlung in $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$	56	50
Brenndauer in h		735	840	932
Lichtsumme PAR in mol/m^2		373	359	333
Messwerte (Kernversuch 64 Tage Belich- tung)	Stromverbrauch in kWh je Netto- m^2	42,3	33,3	51,3
	% zu SON-T		79	121

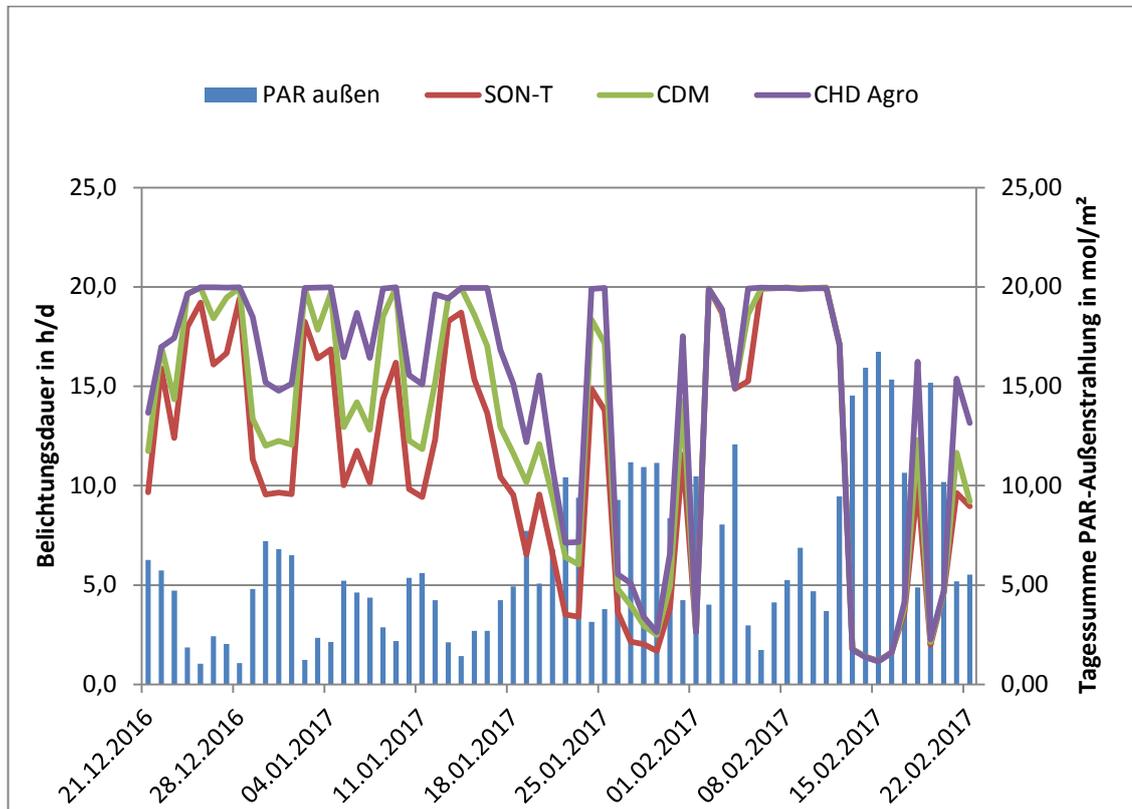


Abbildung 40: Tagessumme der PAR-Strahlung (außen) und Belichtungsdauer der verschiedenen Belichtungsvarianten bei Hortensien (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Tabelle 19: Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei der Treiberei von Hortensien (Mittelwerte der Sorten 'Diva Fiore', 'Clarissa' und 'Hot Red'; LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Lichtquelle	SON-T	CDM-T 315W	CHD Agro 400
Treibdauer in Tagen	76	75	75
Gesamteindruck*	7,8	7,7	7,8
Sprossmasse in g	151	159	159
Höhe in cm	22,1	22,8	23,0
Breite in cm	43,1	43,7	43,4
Anzahl Blütenstände	4,6	4,5	4,7
Durchmesser Blütenstand in cm	18,3	18,0	18,0
PAR-Summe in mol/m ²	373	359	333
Temperatursumme in °C x d	1.430	1.438	1.431

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

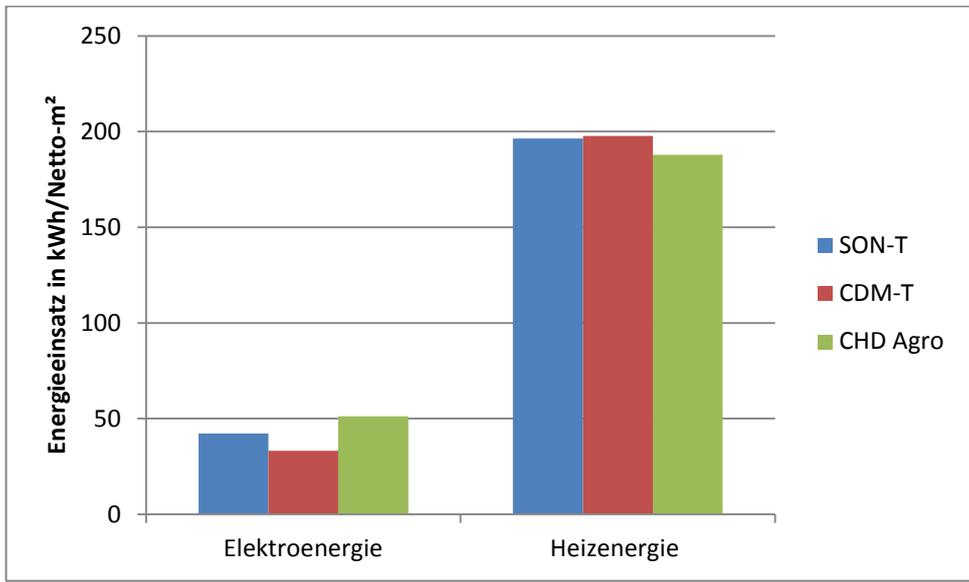


Abbildung 41: Energieeinsatz während der Belichtung von Hortensien unter unterschiedlichen Assimilationslampen (64 Tage); LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017

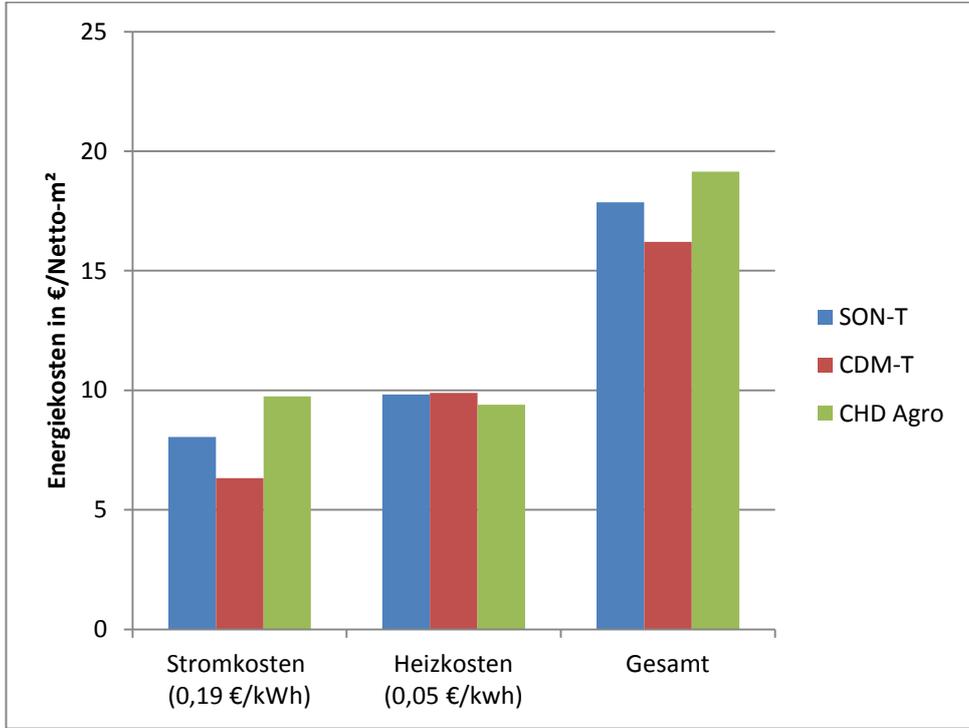


Abbildung 42: Energiekosten je Belichtungsvariante bei angenommenen Heizkosten von 0,05 €/kWh und einem Strompreis von 0,19 €/kWh (LfULG Dresden-Pillnitz 2016-2017)

Kultur- und Versuchshinweise

Vorkultur im Freiland, verschiedene Substrat- und Düngungsvarianten, 14-cm-Topf; Kühlagerung ab KW40 Kühlzelle bei 2 °C;

Treiberei ab KW 49: Bewässerungsdüngung mit 0,7 g/l Kristalon blau (19-6-20);

Heiztemperaturen: KW 49 20 °C
KW51 16 °C und drop
KW02 18 °C
KW04 19 °C
KW07 21 °C

Lüftungstemperatur jeweils 3 K höher

Belichtung ab KW 51: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen;

Wachstumsregulierung: KW51 Regalis Plus (2,5 kg/ha in 1000 l Wasser/ha)
KW01 Carax (0,7 l/ha mit 1000 l Wasser/ha)

5.2.7 Versuchsbericht Hortensientreiberei ab KW 50-2017 (DALLMANN, WARTENBERG 2018f)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung in der Treibphase von Hortensien am LfULG in Dresden-Pillnitz 2017/2018 konnten vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien miteinander verglichen werden. In der Pflanzenentwicklung gab es kaum Unterschiede. Die kürzeste Treibdauer wurde in den Varianten ohne Abschaltung nach Lichtsumme und damit einer längeren Brenndauer erreicht. Die Variante mit LED-Belichtung auf eine Lichtsumme von 5 mol/m² war im Mittel der Sorten um vier Tage später als mit Natrium-Dampflampen, der Einsatz an Elektroenergie lag aber nur bei 57 %. Der Bedarf an Heizenergie war jedoch entsprechend höher.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Beim Treiben von Hortensien in den lichtarmen Monaten ist in Mitteldeutschland für eine gute Pflanzenqualität der Einsatz von Assimilationslicht vorteilhaft. Neben dem Einsatz herkömmlicher Natriumdampflampen wurden in dem Versuch verschiedene Keramik-Metallhalogendampflampen und LED-Leuchten hinsichtlich Stromverbrauch und Pflanzenentwicklung untersucht.

Ergebnisse im Detail

In einem Versuch im Winter 2017/18 wurden in Dresden-Pillnitz fünf Sorten Hortensien unter Assimilationsbelichtung kultiviert. Die Rohware stammt aus einem Versuch zur Anzucht in torfreduzierten Substraten. Es kamen vier verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen und zwei unterschiedliche Belichtungsstrategien zum Einsatz (siehe Tabelle 20). Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte in vier Varianten über die Messung der PAR-Strahlung mit einem Sensor je Gewächshausabteil. Das Ziel war dabei eine Tageslichtsumme von 5 mol/m². In zwei weiteren Varianten wurde auf eine Tageslänge von 20 Stunden belichtet. Der Abschaltpunkt der Belichtung lag immer bei einer Außenhelligkeit von 20 klx.

Die Erfassung der Pflanzenmerkmale erfolgte zur Verkaufsreife (ein Blütenstand voll entwickelt). Die Auswertung der Messdaten zeigte nur in einzelnen Fällen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten (siehe Tabelle 21). Die höchste Sprossmasse und die größten Blütenstände wurden in den beiden Varianten mit den längeren Belichtungszeiten (20-h-Varianten) erreicht. Die LED-Variante wirkte längere Zeit kompakter, zum Versuchsende war der Unterschied in der Pflanzhöhe aber nur sehr gering.

Die Treibdauer war erwartungsgemäß in den Varianten mit der längeren Belichtungszeit am kürzesten. Die Pflanzen unter LED-Licht benötigten die längste Zeitspanne, diese unterschied sich im Mittel der Sorten aber nur um vier Tage.

Da kaum pflanzenbauliche Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten zu beobachten waren, ist der unterschiedliche Energieverbrauch für die Bewertung der Systeme entscheidend. Der Stromverbrauch hing von der installierten Leistung und der Brenndauer der Lampen ab. Er wurde je Gewächshausabteil gemessen und für die mittlere Treibdauer der Versuchsvariante bestimmt (siehe Tabelle 21). Den absolut geringsten Elektroenergieverbrauch hatte das Gewächshausabteil mit LEDs. Er lag bei 57 % gegenüber Natriumdampflampen bei einer Steuerung auf die gleiche Lichtsumme (PAR). Die längere Brenndauer in der Variante SON-T ohne Abschaltung nach Lichtsumme erhöhte den Stromverbrauch um 33 %. Die Keramik-Metallhalogendampflampen CDM-T hatten durch die geringere installierte Leistung einen jeweils um etwa 20 % geringeren Stromverbrauch. Bei der CHD-Agro-Leuchte war der Stromverbrauch auf dem gleichen Niveau wie bei der Natrium-Dampflampe.

Setzt man diesen unterschiedlichen Werten im Stromverbrauch den Heizenergiebedarf gegenüber, so ist festzustellen, dass die Varianten mit dem höchsten Stromverbrauch den geringsten Heizenergiebedarf hatten (Abbildung 43). Dieser wurde ebenfalls je Gewächshausabteil gemessen.

Betrachtet man den Gesamtenergiebedarf der Varianten, so hatte die Natrium-Dampflampe mit Steuerung auf die Lichtsumme von 5 mol/m² den niedrigsten. In den Varianten mit etwas längerer Treibdauer war der Gesamtenergiebedarf um bis zu 5 % höher.

Tabelle 20: Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei Hortensien (LfULG Dresden-Pillnitz 2017-2018)

Leuchtmittel	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	DRWMBHO Green Power LED	CHD AGRO 400
Typ	Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	LED	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte	Philips MGR 400 (schwarz)	MGR-E 315-CDM	Philips LED-Toplight	MGR-K-CHD
Installierte Leistung in W/m ²	50	39,4	33,3	50
PAR-Strahlung in μmol/m ² s	58	50	60	56

Tabelle 21: Merkmale in den verschiedenen Lichtvarianten bei der Treiberei von Hortensien (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

	SON-T 5 mol/m ²	CDM-T 5 mol/m ²	CHD AGRO 5 mol/m ²	LED 5 mol/m ²	SON-T 20h	CDM-T 20h
Treibdauer in Tagen	81 ^b	83 ^c	82 ^c	84 ^d	80 ^a	80 ^{a,b}
Gesamteindruck*	7,1	7,0	7,2	7,2	7,2	7,0
Pflanzenhöhe in cm	37 ^a	40 ^{b,c}	39 ^{a,b,c}	37 ^a	38 ^{a,b}	41 ^c
Pflanzenbreite in cm	57	58	58	57	58	58
Anzahl Blütenstände	3,9	4,0	4,1	3,9	4,0	3,9
Durchmesser Blütenstand in cm	19,2 ^{a,b}	19,5 ^b	19,8 ^b	19 ^a	20,4 ^c	20,4 ^c
Sprossmasse in g	195 ^a	198 ^{a,b}	211 ^{b,c}	202 ^{a,b,c}	216 ^c	214 ^{b,c}
PAR-Summe in mol/m ²	435	424	425	467	522	467
Temperatursumme in °C x d	1.534	1.555	1.526	1.582	1.494	1.501
Brenndauer bis Termin in h	1.002	1.102	1.056	933	1.324	1.325
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ²	57,86	47,62	56,97	32,82	76,67	56,43
% zu „SON-T 5 in mol/m ² “		82	98	57	133	98

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

^{a,b,c} Signifikanzgruppen TUKEY B, $\alpha = 0,05$

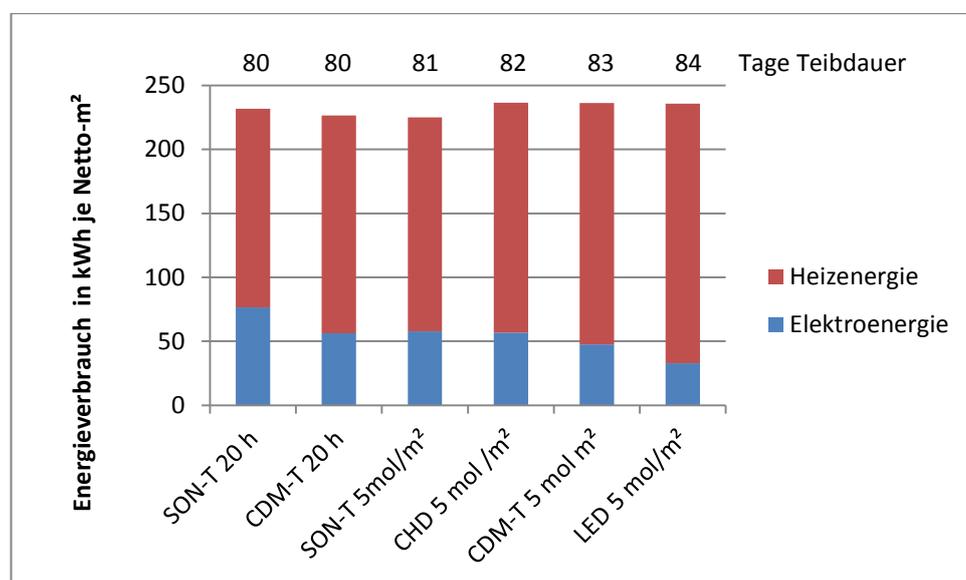


Abbildung 43: Energieverbrauch je Variante bis zum mittleren Blühtermin während der Belichtung bei Hortensien 2017/2018 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Kulturdaten: Vorkultur im Freiland, verschiedene Substrat- und Düngungsvarianten, 14-cm-Topf;

Sorten: 'Saxon Bright Red'

'Saxon Bright White'

'Gräfin Cosel'

'Clarissa'

'Hot Red'

Kühlagerung ab KW 39, Kühlzelle bei 2 °C;

Treiberei ab KW 49: Bewässerungsdüngung mit 0,65 g/l Ferty EcoPhos 3 (20-5-20)

Heiztemperaturen: KW 49: 20 °C; KW 50: 18 °C; KW 02 bis KW 06 drop; KW 06: 20 °C

Lüftungstemperatur jeweils 2 K höher

Belichtung ab KW 50: Freigabe von Sonnenaufgang (SA) bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5 mol/m² (etwa 90 klxh) oder Freigabe für 20 Stunden, Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen;

Wachstumsregulierung: KW 50 Regalis Plus (2,5 kg/ha in 1000 l Wasser/ha)

KW 52 Carax (0,7 l/ha mit 1000 l Wasser/ha)

Durch einen Trockenschaden in der Freilandphase waren die Pflanzen vermutlich nicht genügend ausgereift in das Kühlager gegangen. Bei der Auslagerung mussten starke Schädigungen der Knospen durch Botrytis festgestellt werden.

5.3 Versuche mit Beet- und Balkonpflanzen

Bei der Kultur in den Frühjahrsmonaten kann eine Assimilationsbelichtung besonders für die Startphase von zeitigen Säeten von Bedeutung sein. Auch die Tageslänge spielt neben dem höheren Lichtangebot bei vielen Arten eine Rolle. Ähnlich wie bei den Herbstkulturen sind die spektrale Verteilung der Leuchtmittel von untergeordneter Bedeutung und ein geringer Einsatz von Elektroenergie von Vorteil.

5.3.1 Versuchsbericht samenvermehrte Beet- und Balkonpflanzen ab KW 11-2016

(DALLMANN, WARTENBERG 2016b)

Der Einsatz verschiedener Assimilationslampen in einem Versuch am LfULG in Dresden-Pillnitz im Frühjahr 2016 bei der Anzucht von samenvermehrten Beet- und Balkonpflanzen ab KW 11 führte nur bei wenigen Pflanzenarten zu einer besseren Pflanzenqualität gegenüber der unbelichteten Kontrolle. In den belichteten Varianten war der Energieeinsatz bei den Keramik-Metallhalogendampflampen (CDM-T 315) am geringsten und bei einzelnen Pflanzenarten war eine geringfügige Qualitätsverbesserung zu beobachten. Durch die zunehmende Außenstrahlung ist der Einsatz von Assimilationslampen nur in den ersten Wochen und bei sehr trübem Wetter sinnvoll.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Bei der Anzucht von Beet- und Balkonpflanzen ist in den ersten Wochen die natürliche Einstrahlung ein begrenzender Wachstumsfaktor. Der Einsatz von Assimilationslicht kann zu einem Wachstums- und Entwicklungsvorsprung führen. Dabei bieten Keramik-Metallhalogendampflampen gegenüber den herkömmlichen Natriumdampflampen den Vorteil eines breiteren Lichtspektrums. Der Einsatz von Keramik-Metallhalogendampflampen im Vergleich zu Natriumdampflampen wurde in dem Versuch hinsichtlich Stromverbrauch und Pflanzenentwicklung untersucht. Da das Außenlichtangebot ab KW 11 bereits wieder deutlich zunimmt, wurde auch eine unbelichtete Variante in den Versuch einbezogen.

Ergebnisse im Detail

Im Frühjahr 2016 wurden am LfULG in Dresden-Pillnitz 50 verschiedene Arten/Sorten von generativ vermehrten Beet- und Balkonpflanzen mit und ohne Assimilationsbelichtung kultiviert. Es kamen drei verschiedene Lampen-Leuchten-Kombinationen zum Einsatz (siehe Tabelle 22). Die Steuerung der Belichtungsdauer erfolgte über die Messung der PAR-Strahlung im Gewächshaus. Das Ziel war dabei eine Tageslichtsumme von 5,76 mol/m². Durch die zunehmende Einstrahlung war nur in den ersten Wochen die Tageslichtsumme im Gewächshaus bei den belichteten Varianten höher. An nur acht Tagen war die Tageslichtsumme in der unbelichteten Variante unter 5,76 mol/m². Gegen Kulturrende war ein großer Einfluss der Position der Gewächshäuser auf die Tageslichtsumme festzustellen. Die Belichtungsdauer bei den verschiedenen Lampentypen unterschied sich nur an sehr trüben Tagen.

Die zu Kulturbeginn etwas bessere Pflanzenentwicklung in den belichteten Varianten war zu Versuchsende kaum noch zu finden. Die Sprossmasse war bei 14 Arten/Sorten in der unbelichteten Variante am geringsten (Tabelle 23) und unter den Keramik-Metallhalogendampflampen bei den meisten Arten am größten. Diese Unterschiede konnten ebenso wie die Unterschiede im Gesamteindruck nicht immer statistisch abgesichert werden. Auch die Messungen der Pflanzenhöhe und -breite sowie des Blütendurchmesser ergaben kaum Unterschiede.

In der Auswertung wurden positive Effekte durch die Assimilationsbelichtung bei kurzen Kulturauern und lichthungrigen Pflanzen erfasst (z. B. *Chamaesyce*, *Calibrachoa*, *Celosia*). Die Unterschiede zwischen den Lampentypen wurden im Versuchsverlauf durch die zunehmende Außenstrahlung überdeckt. Bei einzelnen Arten/Sorten (z. B. *Pentas*, *Melampodium*, *Neuguinea-Impatiens*) waren die Varianten mit den Vollspektrumlampen (CDM und CHD) etwas besser als die Variante mit Natriumdampflampen.

Der Einsatz an Elektroenergie in den belichteten Varianten hatte einen Einfluss auf den Verbrauch an Heizenergie (Abbildung 44). Ein Teil der durch die Lampen erzeugten Wärme ging aber auch über die geöffnete Lüftung verloren.

Tabelle 22: Versuchsvarianten zur Assimilationsbelichtung bei samenvermehrten Beet- und Balkonpflanzen in Dresden Pillnitz 2016

Leuchtmittel	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 Watt	CHD AGRO 400
Typ	Natriumdampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe	Keramik-Metall- halogendampflampe
Leuchte	Philips MGR 400	MGR-E 315-CDM	Philips MGR 400
Beleuchtungsstärke in klx	3,7	3,4	2,3
PAR-Strahlung in µmol/m ² s	46	47	36
Brenndauer in h (KW 11 bis 21)	207	209	226
Lichtsumme PAR in mol/m ² (85 Tage)	1145	1125	1115
Stromverbrauch in kWh je Netto-m ²	12,3	9,1	12,6
% zu SON-T		74,0	102,6

Tabelle 23: Kulturdauer und Sprossmasse zum Kulturende von ausgewählten Pflanzenarten in den unterschiedlichen Belichtungsvarianten in Dresden-Pillnitz 2016

Art	Kulturdauer in Tagen	Sprossmasse in g			
		SON-T	CDM	CHD Agro	Kontrolle
<i>Ageratum houstonianum</i> 'Hawaii F1 Blue'	68	67	70	72	68
<i>Begonia boliviensis</i> 'La Paz F1 Orange'	58	83	95	87	85
<i>Begonia semperflorens</i> 'BabyWing Bicolor'	64	193 ^a	234 ^b	218 ^b	183 ^a
<i>Begonia semperflorens</i> 'Brasil F1 Scarlet'	56	64 ^{a,b}	76 ^b	73 ^b	58 ^a
<i>Begonia x tuberhybrida</i> 'Tubby F1 White'	68	186 ^b	141 ^{a,b}	121 ^a	154 ^{a,b}
<i>Calibrachoa</i> Cv. 'Kabloom Deep Blue'	69	56	63	62	54
<i>Calibrachoa</i> Cv. 'Kabloom White'	69	62 ^b	68 ^b	72 ^b	47 ^a
<i>Celosia argentea</i> 'Calimba Scarlet'	69	50 ^{a,b}	58 ^b	51 ^{a,b}	48 ^a
<i>Celosia argentea</i> 'Ice Cream Pink'	75	67 ^a	79 ^b	80 ^b	73 ^{a,b}
<i>Chamaesyce hypericifolia</i> 'Glitz '	55	24 ^{a,b}	26 ^b	23 ^{a,b}	19 ^a
<i>Gazania rigens</i> 'Kiss F1 Orange'	68	81	97	90	88
<i>Gerbera jamesonii</i> 'Mini Revolution Yellow'	84	58	69	61	63
<i>Impatiens</i> Cv. Neuguinea-Grp. 'Divine F1 Scarlet Red'	82	111	130	116	119
<i>Impatiens walleriana</i> 'Super Elfin XP Blue Pearl'	48	52 ^b	58 ^c	48 ^{a,b}	47 ^a
<i>Isotoma axillaris</i> 'Tristar Sky Blue'	77	86	92	86	73
<i>Lavandula angustifolia</i> 'Ellagance Purple'	82	49	54	56	53
<i>Lobelia erinus</i> 'Riviera Marine Blue'	47	43 ^{a,b}	46 ^b	41 ^a	44 ^{a,b}
<i>Lobularia maritima</i> 'Easter Bonnet Violet'	48	21	23	22	21
<i>Melampodium paludosum</i> 'Derby'	56	22 ^a	30 ^b	24 ^a	21 ^a
<i>Mimulus</i> Cv. 'Magic F1 Mix'	41	49 ^{a,b}	54 ^b	47 ^a	51 ^{a,b}
<i>Nemesia</i> Cv. 'Sundrops Mix'	55	78 ^a	87 ^b	83 ^{a,b}	82 ^{a,b}
<i>Papaver nudicaule</i> 'Panama Orange'	56	43	59	50	55
<i>Pennisetum glaucum</i> 'Purple Majesty'	56	36 ^a	38 ^{a,b}	43 ^b	40 ^{a,b}
<i>Pentas lanceolata</i> 'Graffiti F1 Rose'	84	37 ^a	44 ^b	40 ^{a,b}	37 ^a
<i>Pentas lanceolata</i> 'Graffiti F1 White'	84	31 ^b	36 ^b	34 ^b	26 ^a
<i>Phlox drummondii</i> 'Dolly F1 Sky Blue'	69	56	59	59	50
<i>Tagetes erecta</i> 'Taishan Yellow Improved'	64	86 ^a	96 ^c	93 ^{b,c}	91 ^b
<i>Tagetes patula</i> 'Hot Pak Yellow'	41	22 ^a	25 ^b	22 ^a	21 ^a
<i>Tagetes patula</i> 'Texana Orange'	41	25 ^a	30 ^c	28 ^b	25 ^a
<i>Tagetes tenuifolia</i> 'Luna Orange'	55	60	64	66	62
<i>Zinnia angustifolia</i> 'Zahara White'	64	62 ^{a,b}	72 ^c	66 ^{b,c}	58 ^a
<i>Zinnia elegans</i> 'Columbus F1 Yellow'	55	51 ^a	61 ^b	59 ^b	53 ^a

^{a,b,c}Signifikanzgruppen TUCKEY B, $\alpha = 0,05$; bei fehlenden Buchstaben keine signifikanten Unterschiede

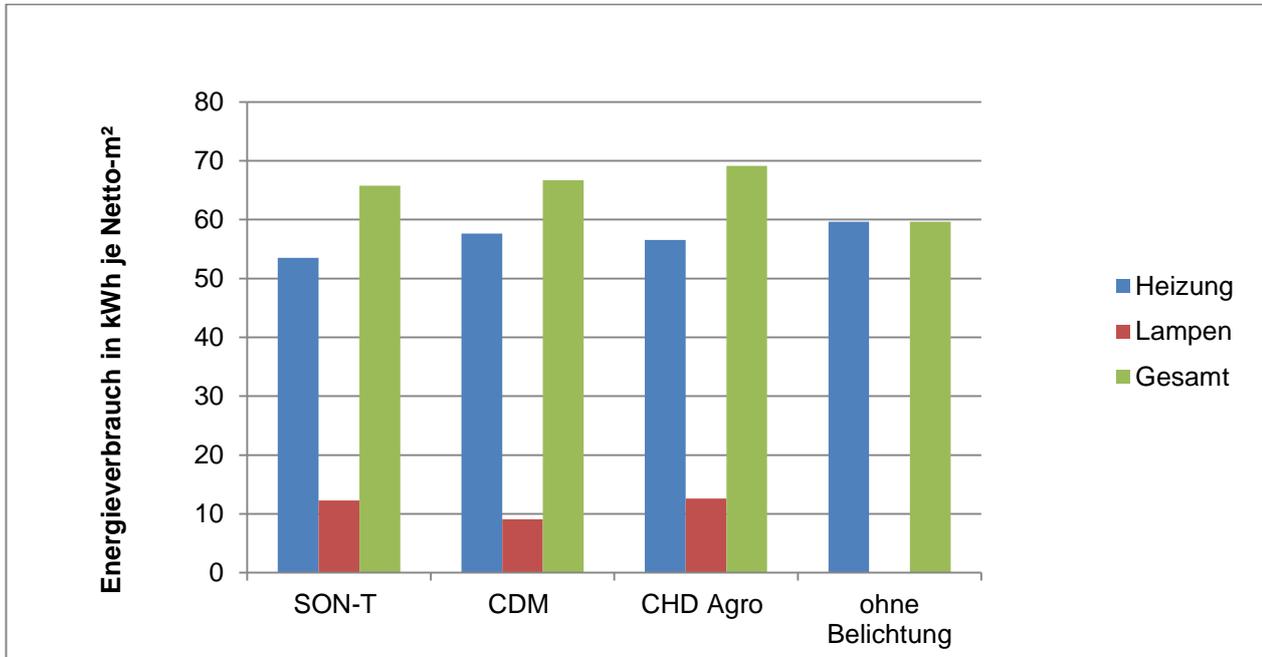


Abbildung 44: Energieverbrauch je Variante über den gesamten Versuchszeitraum (86 Tage; LfULG Dresden-Pillnitz 2016)

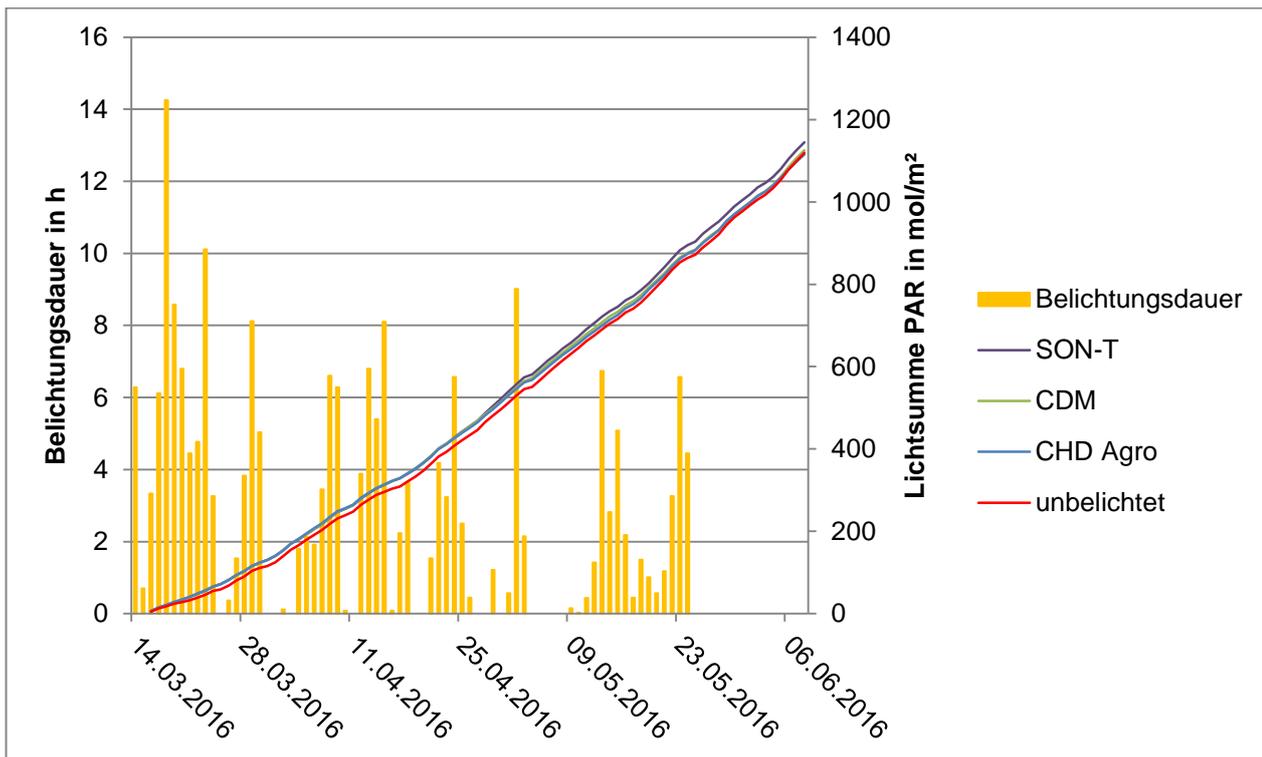


Abbildung 45: Tägliche Belichtungsdauer und gemessene Lichtsumme in den unterschiedlichen Varianten der Assimilationsbelichtung (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)



Abbildung 46: Etwas früherer Blühbeginn bei *Pentas lanceolata* 'Graffiti F1 Rose' unter Keramik-Metallhalogendampflampen CDM-T (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)



Abbildung 47: Geringe Unterschiede durch Assimilationsbelichtung bei *Begonia semperflorens* 'Brasil F1 Scarlet' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)



Abbildung 48: Geringe Unterschiede in der Pflanzenqualität in den Versuchsvarianten bei *Celosia argentea* 'Calimba Scarlet' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)

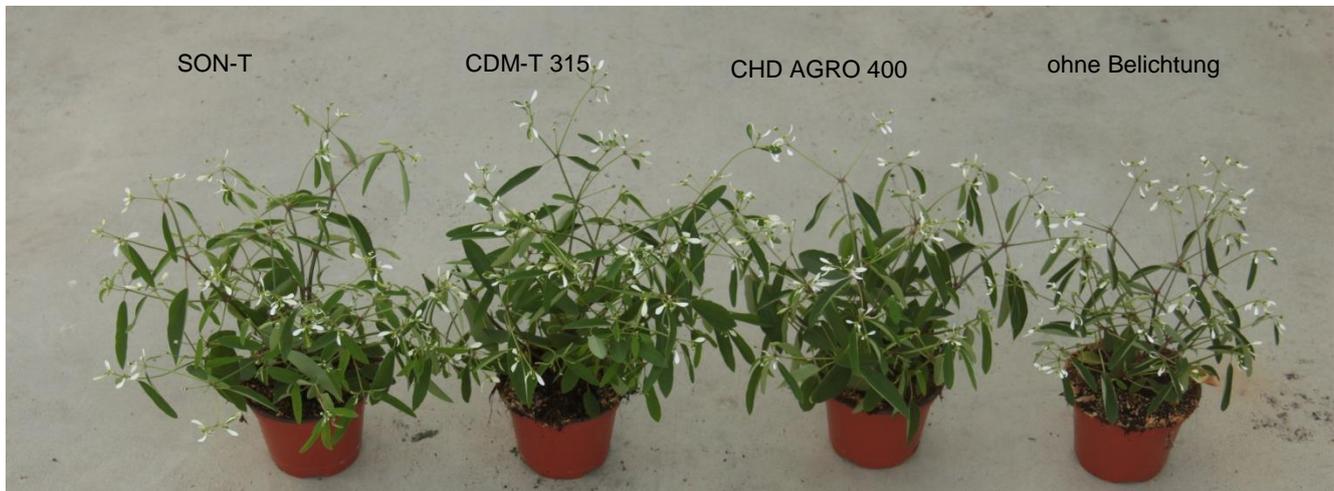


Abbildung 49: Bessere Pflanzenqualität durch Assimilationsbelichtung bei *Chamaesyce hypericifolia* 'Glitz' (LfULG Dresden-Pillnitz 2016)

Kultur- und Versuchshinweise

gestaffelte Aussattermine ab KW 4; Topfen in KW 11; Substrat: Vogteier Sondermix-LfULG-A2 und -A3 (unterschiedlicher P-Gehalt); Heizungssollwert T/N 18/18 °C, ab KW 13: 14/16 °C; Lüftungssollwert T/N 20/21 °C, ab KW 13: 16/19 °C; Schattierung 30 klx, ab KW 12 60 klx; Energieschirm Schaltpunkt 4 klx, von 1 Stunden vor Sonnenuntergang bis 1,5 h nach Sonnenaufgang; Belichtung: Freigabe von 2 Stunden nach SA bis 4 Stunden vor SA, Lichtsummen-Tagessollwert 5,76 mol/m² (etwa 90 klxh), Bewertungsgrenzen Minimum 20 µmol/m²s (etwa 1 klx), Maximum 300 µmol/m²s (etwa 17 klx), Abschaltpunkt 10 klx innen;

Bewässerungsdüngung in 2 Varianten N:P₂O₅:K₂O= 1:0,3:1 und 1:0,1:1 bei 100 mg N/l;

keine chemische Wachstumsregulierung; cool morning (drop) ab KW 13: 45 min vor SA HT 8°C, 30 min vor SA Schirm auf, mit SA LT 12 °C, 30 min nach SA LT 16 °C, 2 h nach SA HT 14 °C

5.3.2 Versuchsbericht Beet- und Balkonpflanzen ab KW 10-2018 (DALLMANN, WARTENBERG 2018c)

In einem Tastversuch mit 20 verschiedenen Arten am LfULG in Dresden-Pillnitz ab Kalenderwoche 10-2018 verbesserte eine Assimilationsbelichtung auf die Tageslänge von 16 h die Pflanzenqualität nur bei wenigen Arten. Die Kulturdauer wurde durch die Belichtung nur bei einzelnen Arten verkürzt. Durch die zunehmende Außenhelligkeit im Frühjahr hatten die verschiedenen Spektren der Lichtquellen LED, Natriumdampfampe und Keramik-Metallhalogendampfampe kaum Einfluss auf die Pflanzenqualität. Durch die Wärmestrahlung der Assimilationslampen wurde weniger Heizenergie benötigt, der Gesamtenergieverbrauch lag aber in den belichteten Varianten höher.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Lässt sich bei der Kultur von Beet- und Balkonpflanzen mit Kulturbeginn in Kalenderwoche 10 durch eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden die Kulturdauer verkürzen? Gibt es Unterschiede in den Reaktionen der Arten? Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Spektren verschiedener Leuchtmittel?

Ergebnisse im Detail

In dem Versuch mit Kulturbeginn in KW 10 verbesserte die Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden nur bei wenigen der getesteten Arten die Pflanzenqualität oder die Kulturdauer (siehe Tabelle 24).

Neben den belichteten Varianten mit LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe gab es eine unbelichtete Variante und eine unbelichtete Variante mit niedrigem Heizungssollwert, hohem Lüftungssollwert und Entfeuchtung mit dem Eco Climate Converter. Diese Pflanzen wiesen oftmals einen ganz anderen Habitus auf und sollen hier nicht weiter betrachtet werden.

Die zunehmende Außenhelligkeit im Frühjahr reduzierte mögliche Effekte der unterschiedlichen Lampentypen. Ab Ende März gab es in diesem Jahr in Pillnitz nur einzelne stark bewölkte Tage und insgesamt hohe Einstrahlungen. Dennoch traten bei den Keramik-Metallhalogendampflampen mit einem breiten Lichtspektrum am häufigsten positive Effekte auf. Alle Unterschiede waren aber sehr gering und hatten keinen Einfluss auf die Vermarktungsfähigkeit der Pflanzen.

Der Energieverbrauch konnte direkt gemessen werden. Durch die Assimilationsbelichtung wurde weniger Heizenergie benötigt. Der Gesamtenergieverbrauch war aber in der unbelichteten Variante am geringsten. Am Beispiel der Nemesien wurde der Energieverbrauch entsprechend der Kulturdauer ausgewertet (Abbildung 52). Trotz der längeren Kulturdauer in der unbelichteten Variante war der Energieverbrauch dort am niedrigsten.

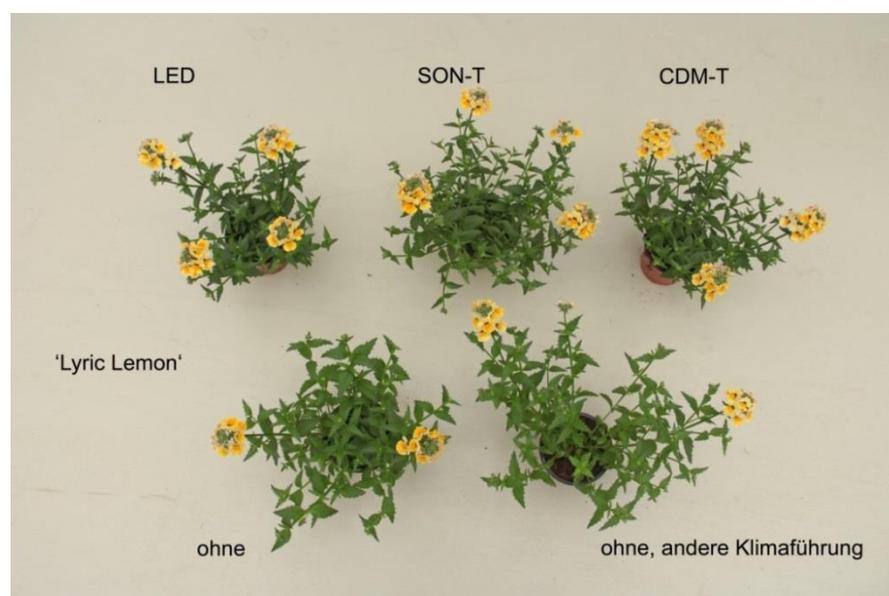


Abbildung 50: Früherer Blühbeginn mit Assimilationsbelichtung bei *Nemesia* Cv. 'Lyric Lemon' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Tabelle 24: Veränderungen von Kulturdauer und Pflanzenqualität durch Assimilationsbelichtung auf 16 h im Verhältnis zur unbelichteten Kultur (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Art/Sorte	Herkunft	Einfluss auf Kulturdauer		Einfluss auf Pflanzenqualität
		Verkürzung um	Größte Effekte bei	
<i>Alternanthera bettzickiana</i> 'Ariba Deep Red'	Volmary			
<i>Argyranthemum frutescens</i> 'Aramis Semi Double Caramel'	Volmary			mehr Blüten, größere Blüten
<i>Bidens ferulifolia</i> 'Lemon Eye'	Florensis			besserer Gesamteindruck
<i>Bidens triplinervia</i> 'Hawaiian Floore Neon Orange'	Volmary			
<i>Brachyscome multifida</i> 'Fresco Purple'	Florensis	2 bis 5 Tage	CDM	
<i>Calibrachoa</i> Cv. 'Superbells Double Ruby'	Kientzler			höhere Blütenanzahl
<i>Chamaesyce hypericifolia</i> 'Starpleasure'	Volmary			
<i>Cuphea hyssopifolia</i> 'Myrto White'	Volmary			besserer Gesamteindruck
<i>Cuphea llavea</i> 'Tiny Mice'	Volmary			
<i>Fuchsia</i> Cv. 'Jollies Miraval'	Brandkamp	3 bis 7 Tage	LED, CDM	
<i>Gaura lindheimeri</i> 'Gaudi White'	Florensis			größere Sprossmasse
<i>Lobelia erinus</i> 'Laura Heavenly Blu'	Volmary			größere Sprossmasse
<i>Lobelia erinus</i> 'Lobelix Blue 2018'	Kientzler			größere Sprossmasse, mehr Blüten
<i>Mecardonia</i> Cv. 'Aurita'	Volmary			größere Sprossmasse
<i>Monopsis unidentata</i> 'Bluetiful'	Volmary			besserer Gesamteindruck, mehr Blüten
<i>Nemesia</i> Cv. 'Lyric Lemon'	Volmary	2 bis 5 Tage	CDM	
<i>Osteospermum ecklonis</i> 'Sunny Elektra'	Beekenkamp	0 bis 6 Tage	CDM	
<i>Salvia coccinea</i> 'Summer Yewel Red'	Florensis			
<i>Salvia farinacea</i> 'Farina Silver Blue'	Volmary			besserer Gesamteindruck, mehr Blüten
<i>Sanvitalia procumbens</i> 'Santiago Q13-6521-2'	Florensis			
<i>Sutera diffusus</i> 'Baristo Double Lavender'	Volmary	2 bis 4 Tage	CDM, LED	besserer Gesamteindruck, größere Blüten
<i>Sutera diffusus</i> 'MegaCopa White 17889 Versa'	Florensis			
<i>Verbena</i> Cv. 'River Dance up Rose Star'	Brandkamp	0 bis 5 Tage	CDM	besserer Gesamteindruck
<i>Verbena</i> Cv. 'Lanai Twister Pink'	Beekenkamp			

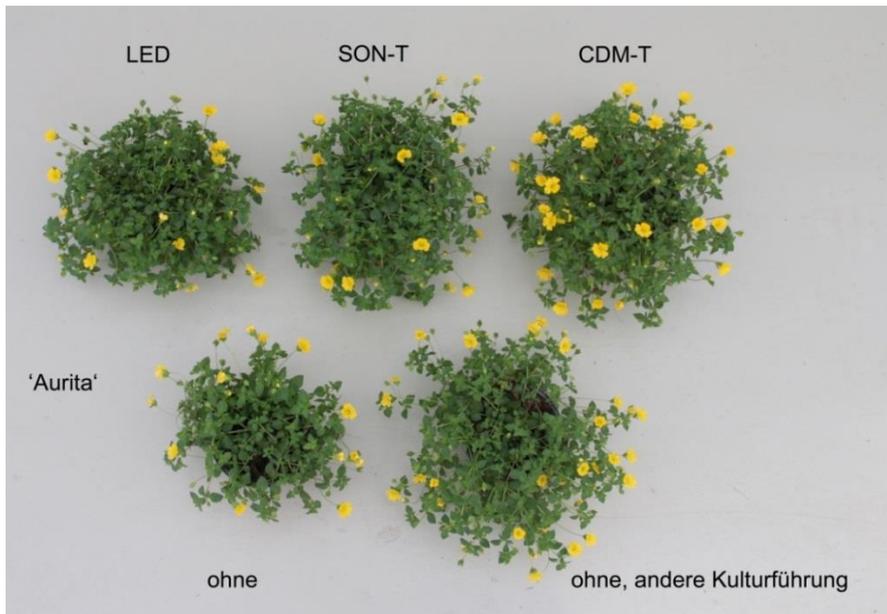


Abbildung 51: Größere Pflanzen durch Assimilationsbelichtung bei *Mecardonia* Cv. 'Aurita' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

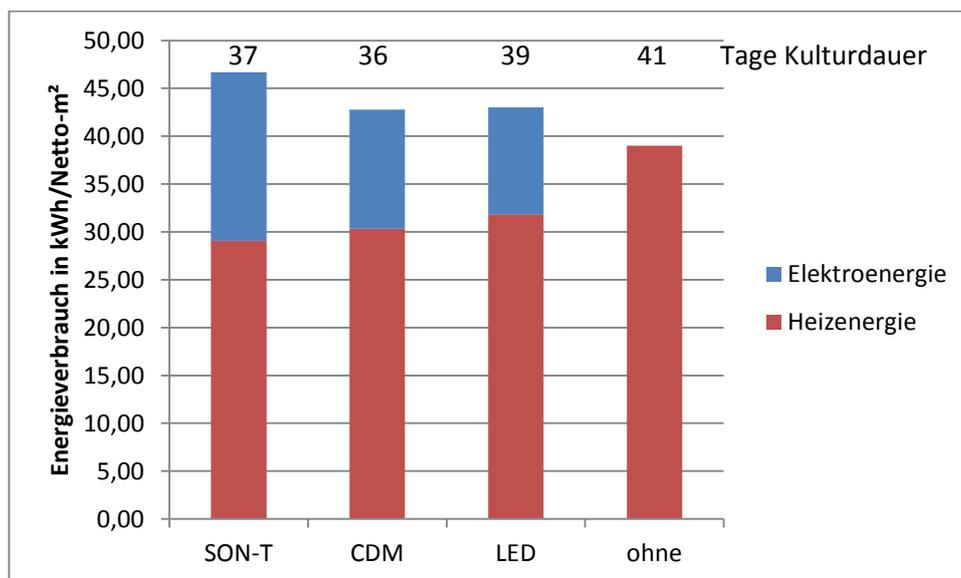


Abbildung 52: Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bei *Nemesia* Cv. 'Lyric Lemon' (LfULG, Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Assimilationsbelichtung

Belichtung von 1 h nach bis 8 h vor Sonnenaufgang, Abschaltzeitpunkt 5 klx Innenhelligkeit

- LED (Philips LED-Toplight DRWMBHO Green Power LED, 60 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Natriumdampflampe (Philips MGR 400 mit SON-T Pia Green Power; 58 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Keramik-Metallhalogendampflampe (MGR-E 315-CDM mit CDM-T 315-942; 50 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- ohne
- ohne, mit veränderten Klimaeinstellungen (Heizungssollwert 8 °C, Lüftungssollwert 25 °C und Luftfeuchteregelung mit Eco Climate Converter auf max. 85 % rLF)

Topfen KW 10, 11er Töpfe, Substrat Stender D400 Cocopor; Bewässerungsdüngung 0,06 % Ferty Eco Phos 3; Klimaprogramm dAT+dLK+WK+7TMK mit drop, Steuerung auf TMT 18 °C; Basisheizungssollwert T/N 16 °C, Basislüftungssollwert T/N 19 °C; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

5.3.3 Versuchsbericht *Petunia* und *Scaevola* ab KW 10-2018 (DALLMANN, WARTENBERG 2018d)

Bei Versuchen ab Kalenderwoche 10-2018 am LfULG in Dresden-Pillnitz verkürzte eine Assimilationsbelichtung auf die Tageslänge von 16 h gegenüber einer unbelichteten Variante die Kulturdauer von *Petunien* um sechs bis sieben Tage und die von *Scaevola* um vier bis fünf Tage. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Lampentypen (LED, Natriumdampf- und Metallhalogendampflampe) waren gering. Bei *Petunien* wurde die Pflanzenqualität nach LED-Belichtung etwas besser bewertet, bei *Scaevola* schnitten alle Lichtquellen annähernd gleich ab. Durch die kürzere Kulturdauer sowie die Wärmestrahlung der Assimilationslampen wurde in den belichteten Varianten weniger Heizenergie benötigt als in den unbelichteten, der Gesamtenergieverbrauch lag jedoch höher. Die Belichtung von *Scaevola* oder *Petunia* mit Kulturbeginn KW 10 ist nur sinnvoll, wenn sich durch die wenige Tage kürzere Kulturdauer ein entsprechender Markt- bzw. Preisvorteil ergibt.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Lässt sich bei der Kultur von *Petunien* und *Scaevola* mit Kulturbeginn in Kalenderwoche 10 durch eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden die Kulturdauer verkürzen? Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Spektren verschiedener Leuchtmittel?

Ergebnisse im Detail

In dem Versuch mit Kulturbeginn in KW 10 verkürzte die Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden bei *Petunia* (vier Sorten) und *Scaevola* (fünf Sorten) die Kulturdauer (Abbildung 53). Neben den belichteten Varianten mit LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe gab es eine unbelichtete Variante und eine unbelichtete Variante mit niedrigem Heizungssollwert, hohem Lüftungssollwert und Entfeuchtung mittels Eco Climate Converter. In dieser Variante entwickelten sich die Pflanzen deutlich anders und können durch zusätzlichen Störlichteinfluss nicht direkt verglichen werden.

Die deutlichste Verkürzung der Kulturdauer trat bei einer Assimilationsbelichtung mit Keramik-Metallhalogendampflampen und bei den jeweils „schnellen“ Sorten auf. Das waren bei *Petunien* 'Surprise Blue Sky' und 'Sanguna Purple' (sieben bzw. sechs Tage Kulturzeitverkürzung) und bei *Scaevola* 'Scala Blue Shades' und 'Purp-le Haze' (vier bzw. fünf Tage Kulturzeitverkürzung).

In der Pflanzenqualität und -größe konnten nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Versuchsvarianten festgestellt werden (Abbildung 54). Bei *Petunien* wurde die Variante mit LED-Belichtung leicht besser bewertet.

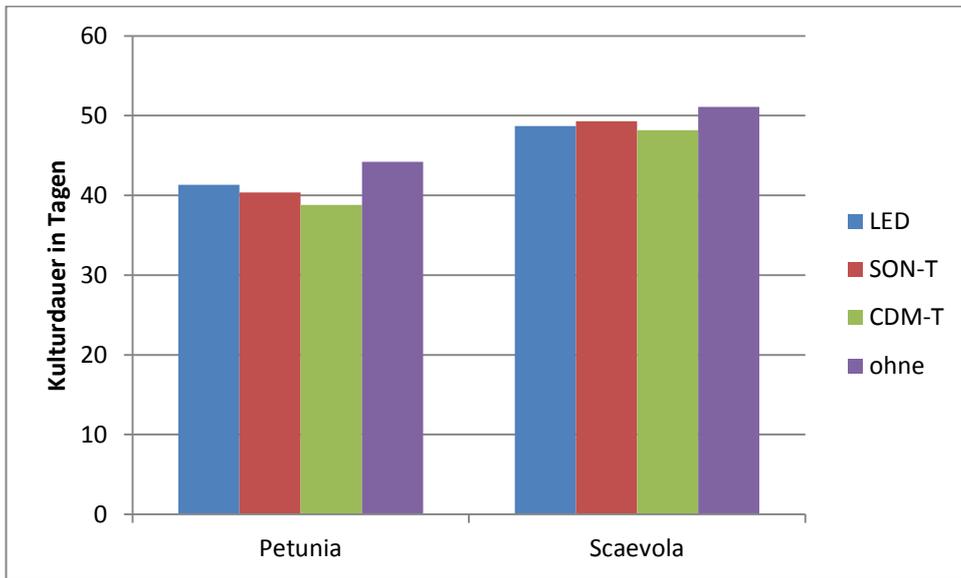


Abbildung 53: Mittelwert der Kulturdauer über die Sorten bei *Petunia* und *Scaevola* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

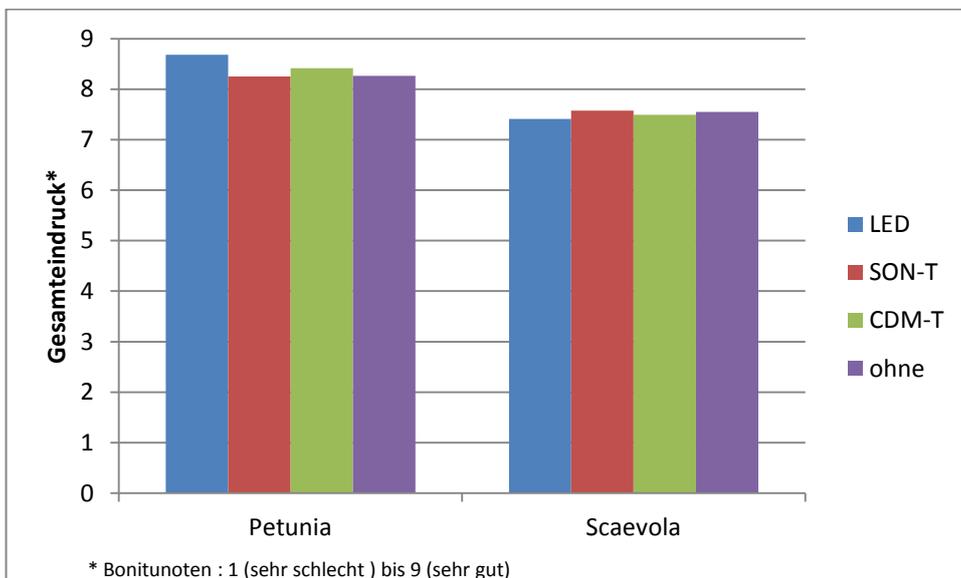


Abbildung 54: Mittelwert der Bonitur des Gesamteindruckes bei *Petunia* und *Scaevola* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

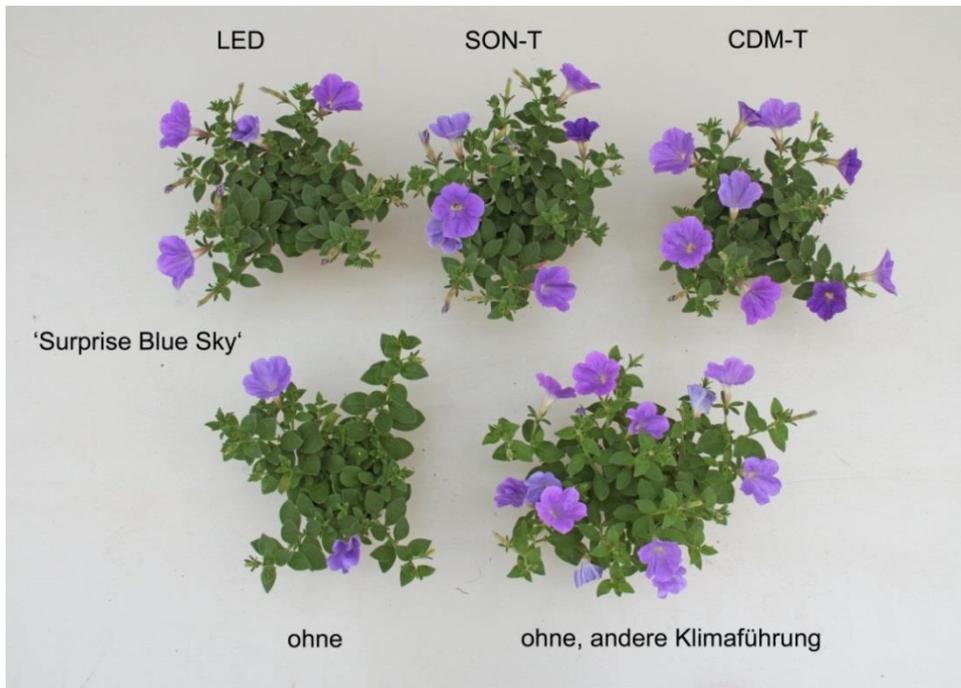


Abbildung 55: Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationslicht auf 16 h Tageslänge bei *Petunia* Cv. 'Surprise Blue Sky' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

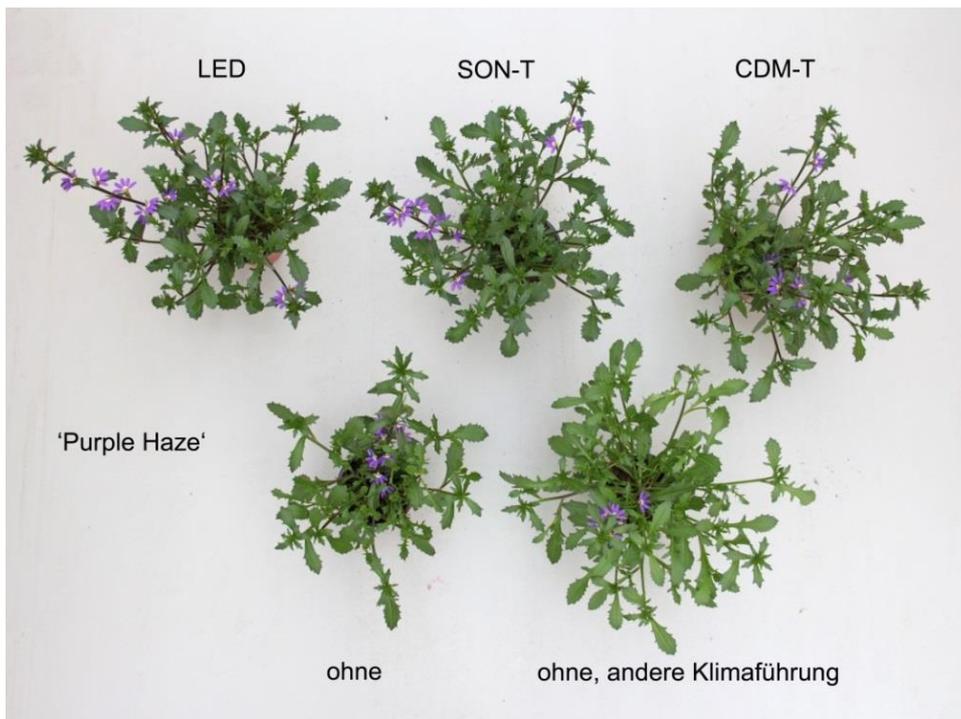


Abbildung 56: Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationslicht auf 16 h Tageslänge bei *Scaevola aemula* 'Purple Haze' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Der Einsatz von Heiz- und Elektroenergie konnte in den Versuchsvarianten direkt gemessen werden. Durch die Assimilationsbelichtung wurde in den entsprechenden Gewächshausabteilen weniger Heizenergie benötigt. Dies resultierte sowohl aus der Verkürzung der Kulturdauer als auch aus dem direkten Beitrag der Assimilationsbelich-

tung zur Heizleistung. Der Gesamtenergieverbrauch war aber in der unbelichteten Variante trotz der längeren Kulturdauer am niedrigsten.

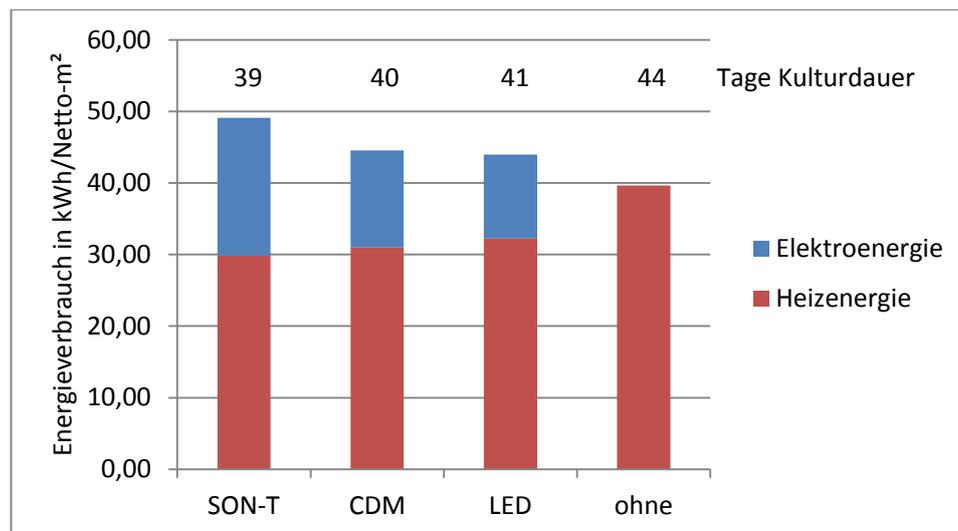


Abbildung 57: Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten bei *Petunia* (LfULG, Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Assimilationsbelichtung

Belichtung von 1 h nach bis 8 h vor Sonnenaufgang, Abschaltzeitpunkt 5 klx Innenhelligkeit

- LED (Philips LED-Toplight DRWMBHO Green Power LED, 60 $\mu\text{mol PAR/m}^2\text{s}$)
- Natriumdampflampe (Philips MGR 400 mit SON-T Pia Green Power; 58 $\mu\text{mol PAR/m}^2\text{s}$)
- Keramik-Metallhalogendampflampe (MGR-E 315-CDM mit CDM-T 315-942; 50 $\mu\text{mol PAR/m}^2\text{s}$)
- ohne
- ohne, mit veränderten Klimaeinstellungen (Heizungssollwert 8 °C, Lüftungssollwert 25 °C und Luftfeuchteregelung mit Eco Climate Converter auf max. 85 % rLF)

Sorten:

Petunia Cv. 'Surprise Blue Sky' (DümmenOrange), 'SURFINIA Deep Red' (Kientzler), 'VERANDA Purple' (Kientzler), 'Sanguna Purple' (S&G Syngenta)

Scaevola aemula 'Scala Blue Shades' (Dümmen Orange), 'SURDIVA Blue' (Kientzler), 'Saphir' (Jungpflanzen Kühne), 'Purple Haze' (Jungpflanzen Kühne), 'Farol Blue' 13' (Selecta One)

Topfen KW 10, 11er Töpfe, Substrat Stender D400 Cocopor; Bewässerungsdüngung 0,06 % Fertyl Eco Phos 3; Klimaprogramm dAT+dLK+WK+7TMK mit drop, Steuerung auf TMT 18 °C; Basisheizungssollwert T/N 16 °C, Basislüftungssollwert T/N 19 °C; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

Die Assimilationsbelichtung erfolgte ohne Lichtsummenregelung auf eine Tageslänge 16 h. Bei dem hohen natürlichen Lichtangebot im Frühjahr 2018 wurde über das Optimum hinaus belichtet.

5.3.4 Versuchsbericht *Calibrachoa* und *Lantana* ab KW 10-2018 (DALLMANN, WARTENBERG 2018e)

Bei den Versuchen mit *Calibrachoa* und *Lantana* am LfULG in Dresden-Pillnitz ab Kalenderwoche 10-2018 verbesserte eine Assimilationsbelichtung auf die Tageslänge von 16 h die Pflanzenqualität. Zwischen den verschiedenen Lichtquellen LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe waren kaum Unterschiede festzu-

stellen. Die Kulturdauer wurde durch die Belichtung nur unwesentlich verändert, da besonders die *Calibrachoa* schon als Jungpflanzen Blüten hatten. Durch die Wärmestrahlung der Assimilationslampen wurde weniger Heizenergie benötigt, der Gesamtenergieverbrauch lag aber in den belichteten Varianten höher.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Lässt sich bei der Kultur von *Calibrachoa* und *Lantana* mit Kulturbeginn in Kalenderwoche 10 durch eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden die Kulturdauer verkürzen? Gibt es Unterschiede in den Reaktionen der Sorten? Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Spektren verschiedener Leuchtmittel?

Ergebnisse im Detail

In dem Versuch mit Kulturbeginn in KW 10 verbesserte die Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden bei *Calibrachoa* (3 Sorten) und *Lantana* (4 Sorten) die Pflanzenqualität. Die Auswertung erfolgte sortenweise zu einem Stichtag, da beide Pflanzenarten schon vor Erreichen der Verkaufsqualität Blüten hatten.

Neben den belichteten Varianten mit LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe gab es eine unbelichtete Variante und eine unbelichtete Variante mit niedrigem Heizungssollwert, hohem Lüftungssollwert und Entfeuchtung mit dem Eco Climate Converter.

Bei *Calibrachoa* und *Lantana* wurden die belichteten Varianten jeweils besser bewertet und erreichten eine höhere Sprossmasse als die unbelichteten (Abbildung 58 und Abbildung 59). Dabei waren bei *Calibrachoa* die besten Pflanzen mit LED-Licht und bei *Lantana* unter der Keramik-Metallhalogendampflampe zu verzeichnen. In allen Versuchsvarianten wurde bei *Calibrachoa* eine gute Verkaufsqualität erreicht. Bei den Lantanen wies die Variante mit großen Tagesschwankungen in der Temperatur sehr lange Internodien und damit einen sparrigen Wuchs auf.

Der Energieverbrauch konnte in vier Versuchsvarianten direkt gemessen werden. Durch die Assimilationsbelichtung wurde in den entsprechenden Gewächshausabteilen weniger Heizenergie benötigt. Der Gesamtenergieverbrauch war aber in der unbelichteten Variante am geringsten.

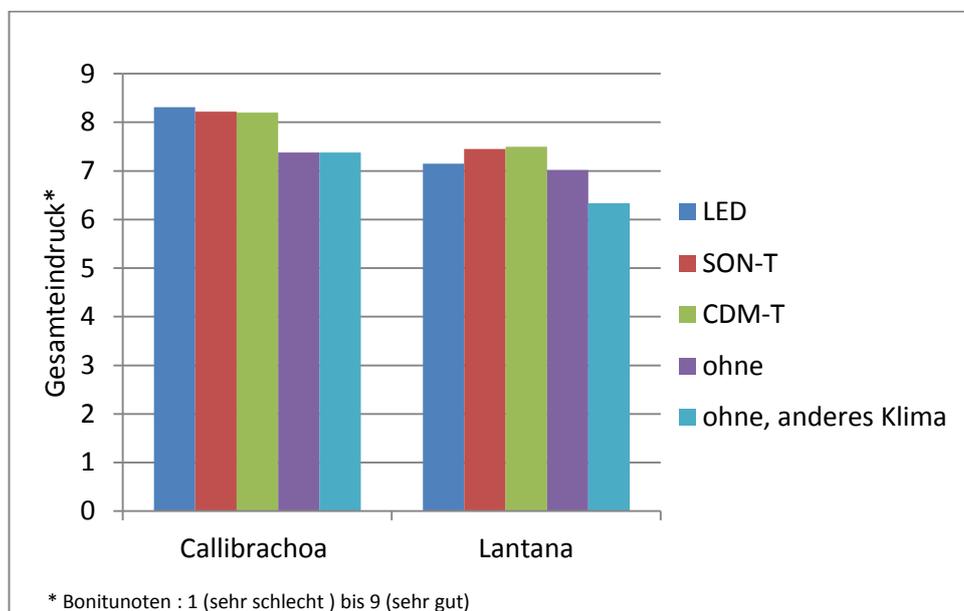


Abbildung 58: Mittelwert des Gesamteindruckes über die Sorten bei *Calibrachoa* und *Lantana* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

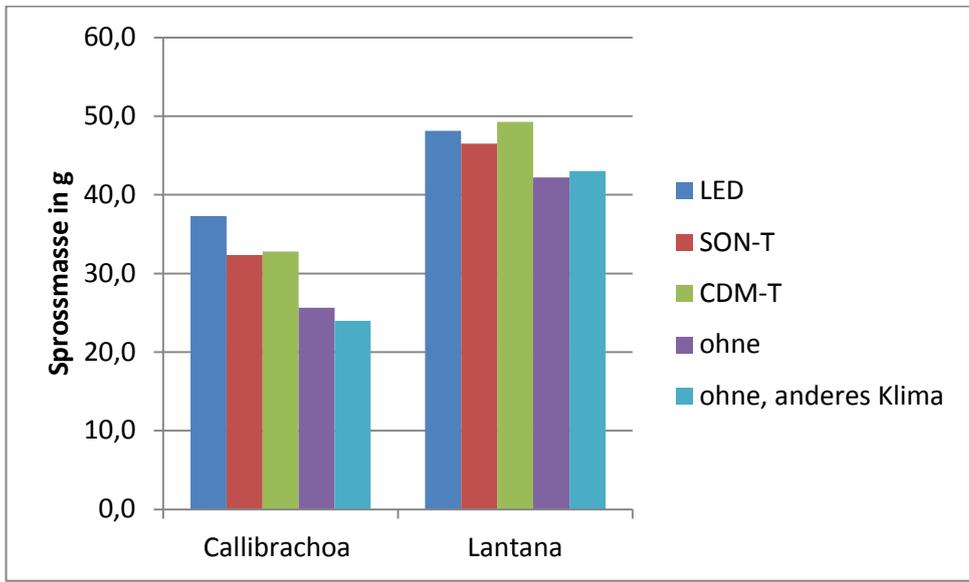


Abbildung 59: Mittelwert der Sprossmasse über die Sorten bei *Calibrachoa* und *Lantana* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

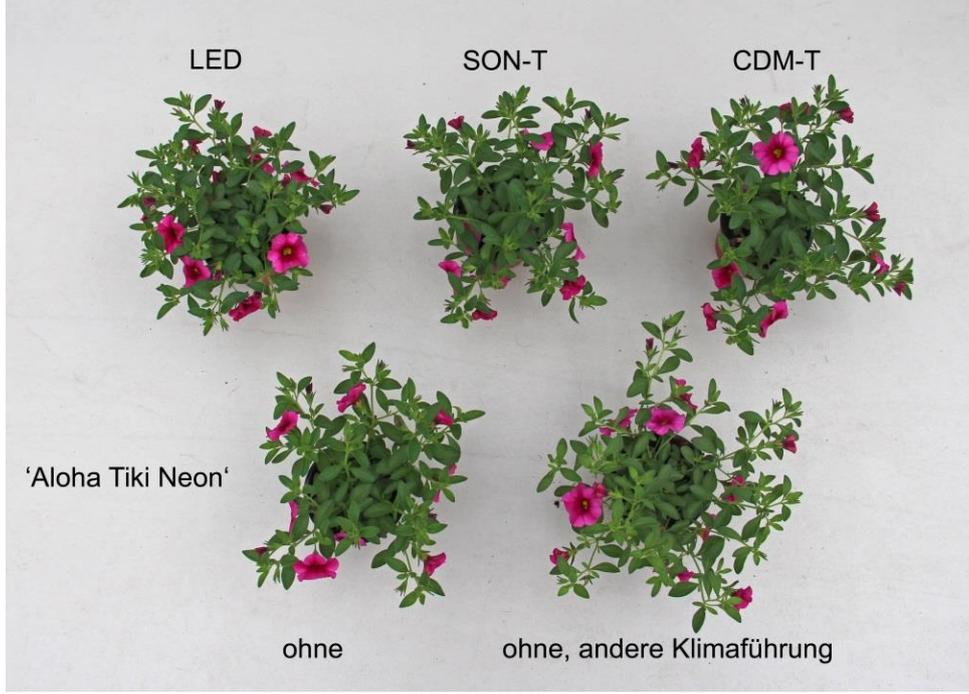


Abbildung 60: Sehr gute Pflanzenentwicklung mit LED-Belichtung bei *Calibrachoa* 'Aloha Tiki Neon' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

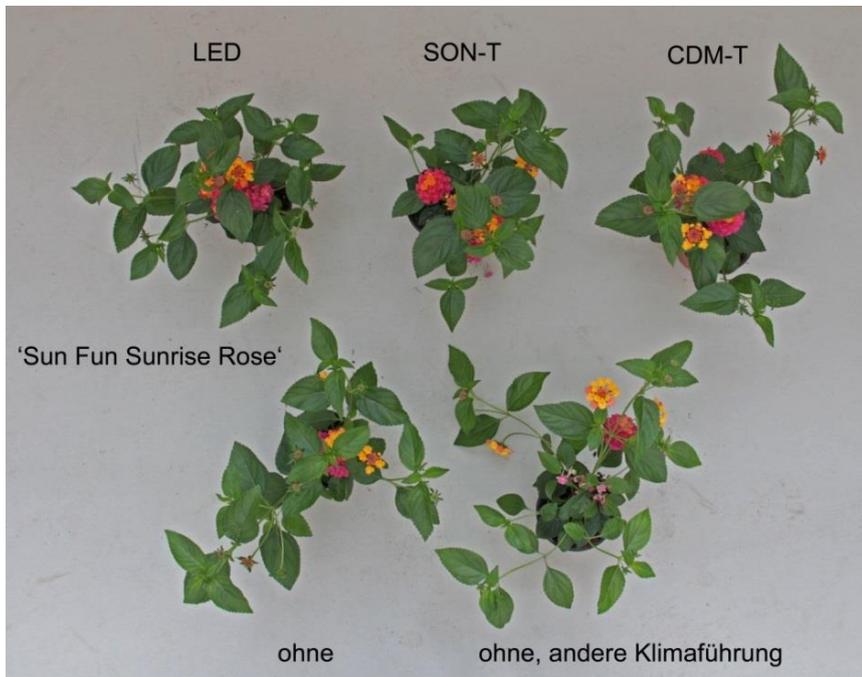


Abbildung 61: Besserer Pflanzenaufbau durch Assimilationsbelichtung bei *Lantana* 'Sun Fun Sunrise Rose' (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

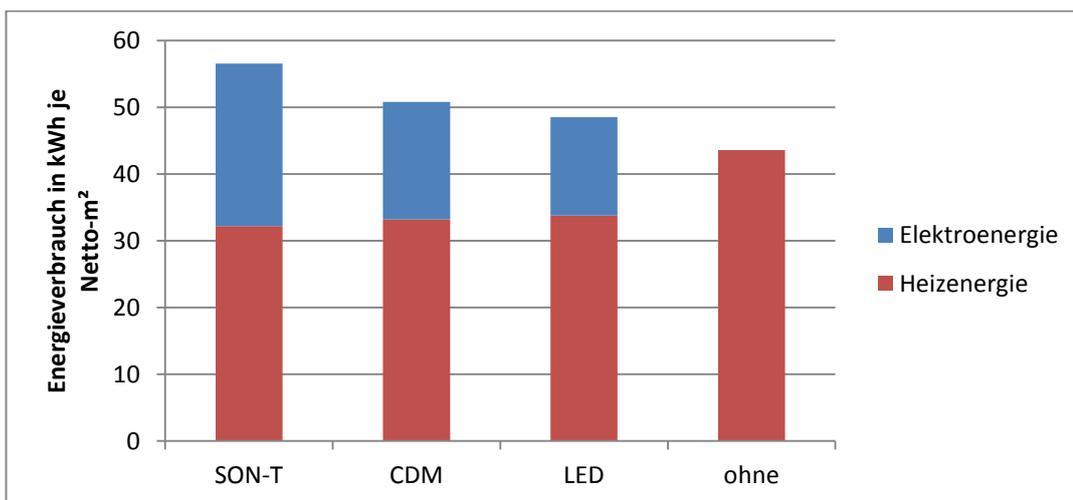


Abbildung 62: Energieverbrauch in den verschiedenen Belichtungsvarianten (56 Kulturtage bis KW 18; LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Assimilationsbelichtung

Belichtung von 1 h nach bis 8 h vor Sonnenaufgang, Abschaltzeitpunkt 5 klx Innenhelligkeit

- LED (Philips LED-Toplight DRWMBHO Green Power LED, 60 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Natriumdampflampe (Philips MGR 400 mit SON-T Pia Green Power; 58 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Keramik-Metallhalogendampflampe (MGR-E 315-CDM mit CDM-T 315-942; 50 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- ohne
- ohne, mit veränderten Klimaeinstellungen (Heizungssollwert 8 °C, Lüftungssollwert 25 °C und Luftfeuchterege- lung mit Eco Climate Converter auf max. 85 % rLF)

Sorten:

Calibrachoa 'Mini Famous Neo Royal Blue'16' (Selecta One), 'Mini Famous Piu White' (Selecta One), 'Aloha Tiki Neon' (Dümmen Orange)

Lantana 'Havana Sunrise' (Dümmen Orange), 'Sun Fun Sunrise Rose' (Selecta One), 'Bandana Orange' (S&G Syngenta), 'CALIPPO Red' (Kientzler)

Topfen KW 10, 11er Töpfe, Substrat Stender D400 Cocopor; Bewässerungsdüngung 0,06 % Ferty Eco Phos 3; Klimaprogramm dAT+dLK+WK+7TMK mit drop, Steuerung auf TMT 18 °C; Basisheizungssollwert T/N 16 °C, Basislüftungssollwert T/N 19 °C; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

5.3.5 Versuchsbericht *Leucanthemum* ab KW 10-2018 (WARTENBERG, DALLMANN 2018)

Bei Versuchen mit *Leucanthemum* am LfULG in Dresden-Pillnitz ab Kalenderwoche 10-2018 verkürzte eine Assimilationsbelichtung auf die Tageslänge von 16 h die Kulturdauer wesentlich. Die auch unbelichtet frühe Sorte 'Angelle' blühte durch Belichtung 10 Tage eher bereits Ende April. Die extrem späte Sorte 'Goldfinch' kam unbelichtet erst Ende Juli langsam zur Blüte, in den belichteten Varianten dagegen 50 Tage früher Ende Mai. Die verschiedenen Lichtquellen LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe hatten keinen wesentlichen Einfluss auf die Kulturdauer.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Der Arbeitskreis Beet- und Balkonpflanzen untersuchte im Jahr 2018 das Sortiment und kulturtechnische Fragen bei der Produktion von *Leucanthemum* Cv.. Von besonderem Interesse waren dabei die Möglichkeiten zur Erzeugung marktfähiger, blühender Ware Ende April/Anfang Mai durch Auswahl spezieller Sorten oder besondere Kulturmaßnahmen ohne sehr frühen Kulturbeginn und aufwendige Kühlphase während der Wintermonate. Lässt sich bei der Kultur von *Leucanthemum* Cv. mit Kulturbeginn in KW 10 durch eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 Stunden die Kulturdauer verkürzen? Gibt es Unterschiede in den Reaktionen der Sorten? Welche Auswirkungen haben die unterschiedlichen Spektren verschiedener Leuchtmittel?

Ergebnisse im Detail

Die Assimilationsbelichtung ab Kulturbeginn in KW 10 auf eine Tageslänge von 16 Stunden verkürzte die Kulturdauer von *Leucanthemum* Cv. bei allen untersuchten sechs Sorten wesentlich. Der Blühbeginn trat 10 bis mehr als 50 Tage früher ein. Zwischen den Sorten gab es sowohl bezüglich der Kulturdauer ohne Belichtung als auch hinsichtlich der Reaktion auf die Zusatzbelichtung gravierende Unterschiede (siehe Abbildung 63).

Durch die Zusatzbelichtung auf 16 h Tageslänge ab Kulturstart in KW 10 ließ sich bei der ohnehin frühen Sorte 'Angelle' eine Vermarktungsfähigkeit ab KW 17/18 erreichen. Ohne Belichtung blühte sie 10 Tage später auf. Die extrem späte Sorte 'Goldfinch' begann ohne Belichtung erst Ende Juli zu blühen. In den belichteten Varianten blühte sie dagegen Ende Mai. Die anderen Sorten lagen dazwischen. Mit zunehmender sortenbedingter Kulturdauer in der unbelichteten Vergleichsvariante nahm die Anzahl Tage der Verfrühung durch die Belichtung zu.

Zwischen den Lichtquellen LED, Natriumdampflampe und Keramik-Metallhalogendampflampe waren keine wesentlichen Unterschiede in den Auswirkungen auf die Kulturdauer festzustellen.

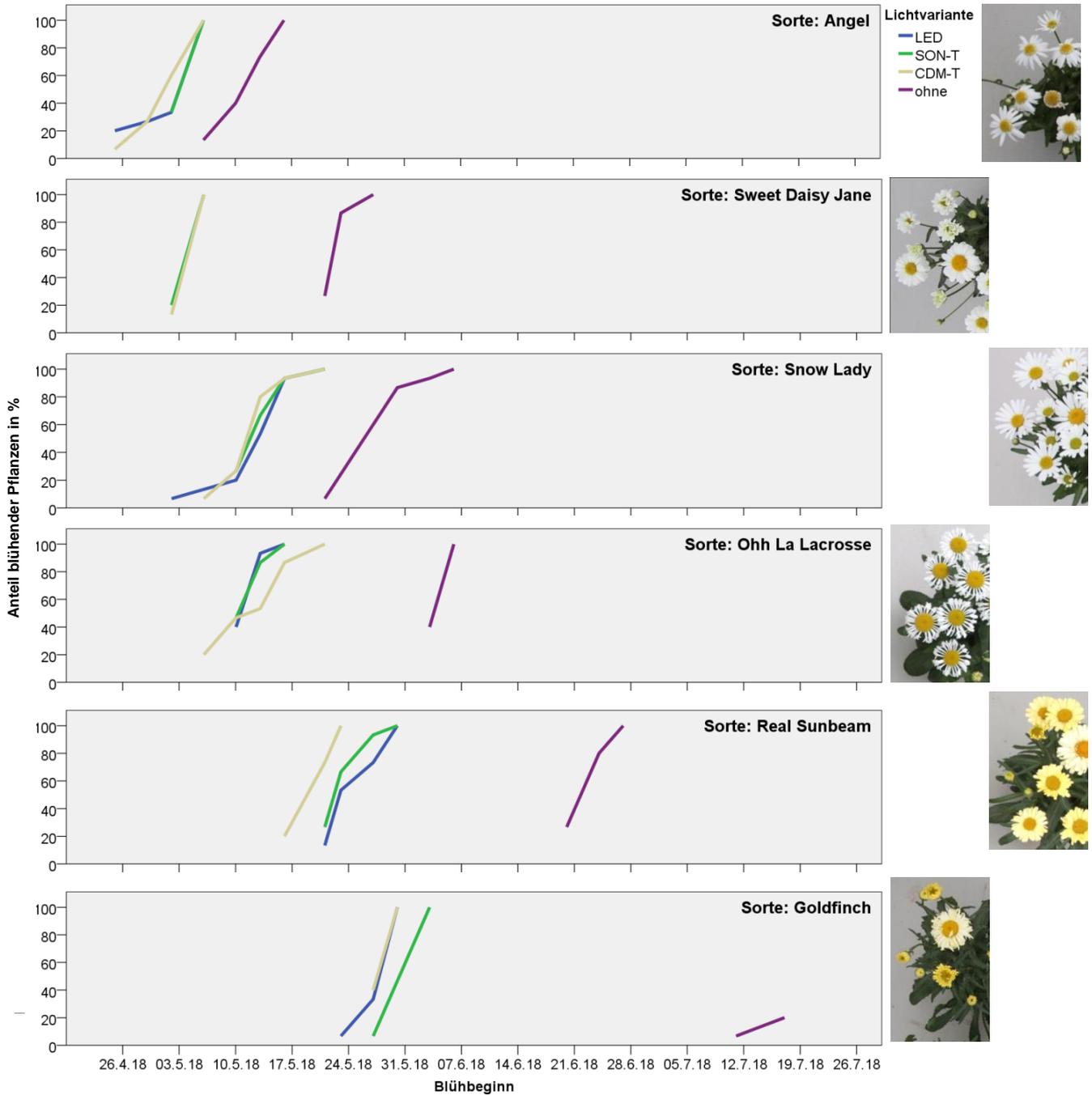


Abbildung 63: Aufblühverhalten von sechs Sorten *Leucanthemum* nach Assimilationsbelichtung auf 16 h Tageslänge bei ansonsten gleicher Kulturführung mit Topfen am 09.03.2018 (LfULG Dresden-Pillnitz)

Der spätere Blühtermin der unbelichteten Varianten führte durch die längere Kulturdauer zu größeren Pflanzen mit einer höheren Sprossmasse (Abbildung 64). Auch im Vergleich der Sorten gilt: je länger ihre Kulturdauer, desto größer ist die Sprossmasse. In der Tendenz nahm die Sprossmasse bei den Leuchtmitteln von LED zu SON-T zu CDM-T etwas ab, die Unterschiede waren aber marginal.

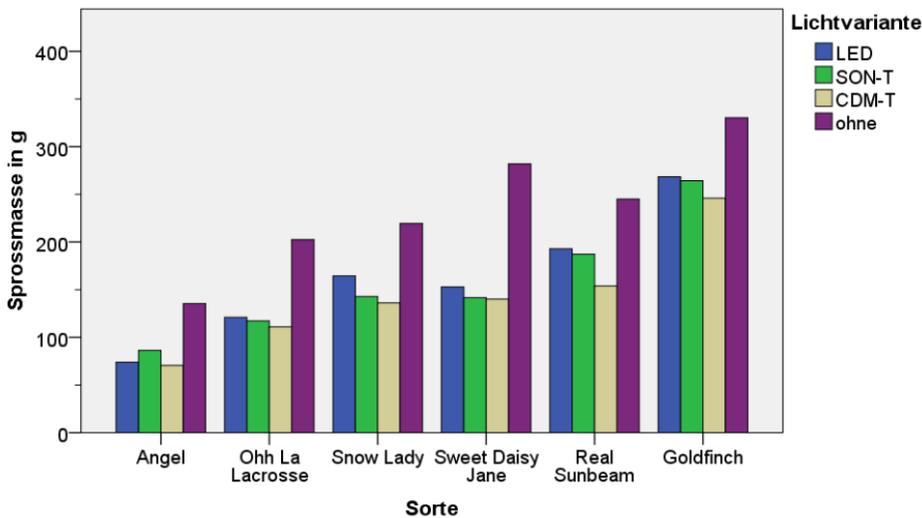


Abbildung 64: Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf die Sprossmasse bei *Leucanthemum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Die Anzahl Blüten und Knospen war bei den unbelichteten, größeren Pflanzen in der Regel höher als bei den belichteten. Ausnahmen davon waren die beiden sehr späten Sorten 'Goldfinch' und 'Real Sunbeam' (Abbildung 65).

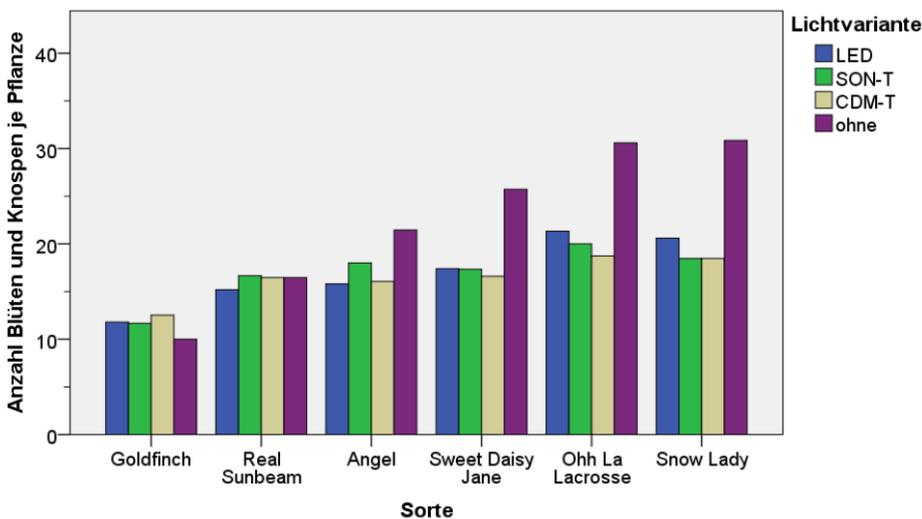


Abbildung 65: Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf die Anzahl Blüten und Knospen je Pflanze bei *Leucanthemum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Dagegen förderte die Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 16 h offensichtlich das generative Wachstum auch hinsichtlich der Einzelblütengröße. Diese lag bei den belichteten Varianten aller Sorten über der der unbelichteten, wenn auch in unterschiedlichem Maße (Abbildung 66). Für die untersuchten Leuchtmittel war hier keine Tendenz erkennbar.

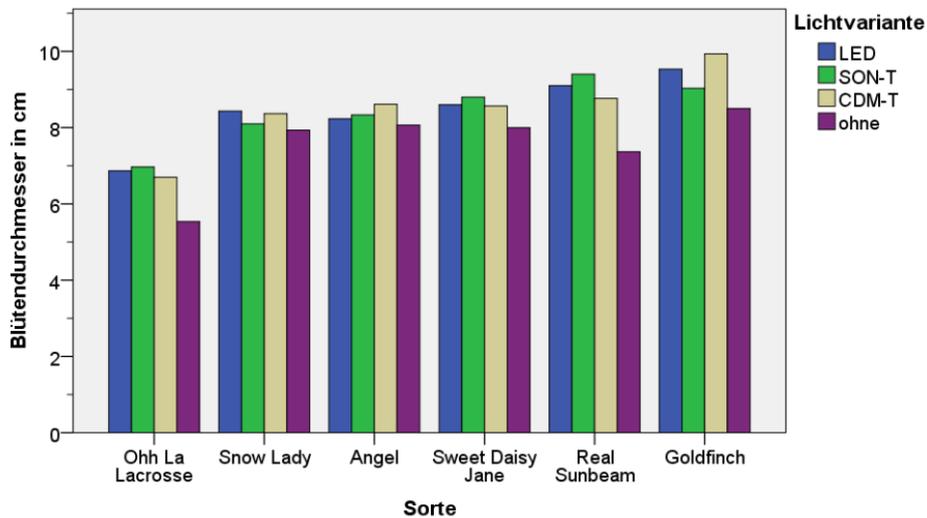


Abbildung 66: Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf den Blütendurchmesser bei *Leucanthemum* (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Die Pflanzen aller Varianten erreichten Verkaufsqualität (Abbildung 67). Ausnahme war die unbelichtete Vergleichsvariante der extrem späten Sorte 'Goldfinch', die bis zum Blühbeginn zu viel Laub entwickelte.

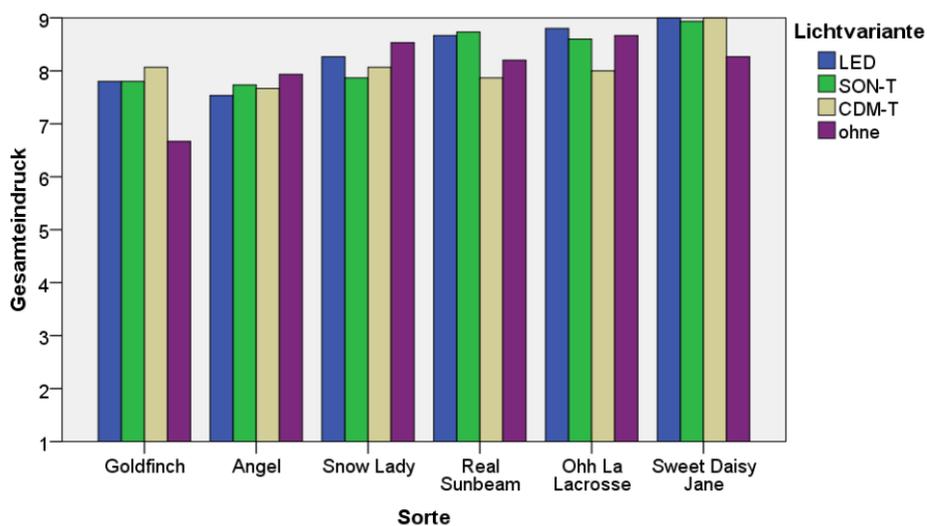


Abbildung 67: Einfluss der Sorte sowie der Belichtungsvariante auf den Gesamteindruck bei *Leucanthemum* (1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut; LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Kultur- und Versuchshinweise

Assimilationsbelichtung

Belichtung von 1 h nach bis 8 h vor Sonnenaufgang, Abschaltzeitpunkt 5 klx Innenhelligkeit

- LED (Philips LED-Toplight DRWMBHO Green Power LED, 60 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Natriumdampflampe (Philips MGR 400 mit SON-T Pia Green Power; 58 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- Keramik-Metallhalogendampflampe (MGR-E 315-CDM mit CDM-T 315-942; 50 $\mu\text{mol PAR}/\text{m}^2\text{s}$)
- ohne

Sorten (Herkunft)

- 'Ohh La Lacrosse' (Florensis)
- 'Snow Lady ' (samervermehrt, Florensis)
- 'Real Sunbeam' (DümmenOrange,)
- 'Sweet Daisy Jane' (DümmenOrange)
- 'Goldfinch ' (Volmary)
- 'Angel' (Kientzler)

Topfen KW 10, 13er Töpfe, Substrat Stender D400 Cocopor; Bewässerungsdüngung 0,06 % Ferty Eco Phos 3; Klimaprogramm dAT+dLK+WK+7TMK mit drop, Steuerung auf TMT 18 °C; Basisheizungssollwert T/N 16 °C, Basislüftungssollwert T/N 19 °C; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

Als Blühbeginn war das Stadium „eine vollgeöffnete Blüte und eine farbezeigende Knospe je Pflanze“ festgelegt. Zu diesem Termin erfolgten pflanzenweise alle Merkmalerfassungen.

Die Belichtung erfolgte als Assimilationslicht. Anhand dieses Versuches kann keine Aussage getroffen werden, ob eine photoperiodische Belichtung mit geringer Beleuchtungsstärke die Kulturdauer bei *Leucanthemum* ebenfalls wesentlich verkürzt.

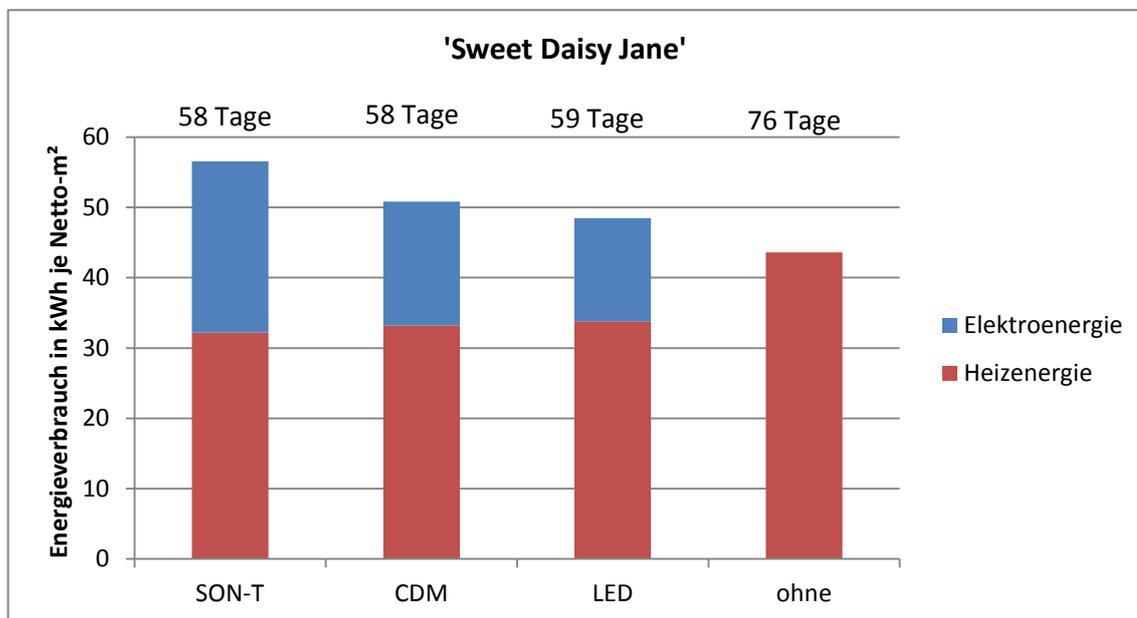


Abbildung 68: Energieverbrauch bei *Leucanthemum* 'Sweet Daisy Jane' bezogen auf die Kulturdauer in den einzelnen Lichtvarianten

5.3.6 Versuchsbericht Fuchsien ab KW 02-2019 (DALLMANN, WARTENBERG 2019e)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung und Tageslänge bei Fuchsien ab KW 02-2019 am LfULG in Dresden-Pillnitz wurden elf Sorten untersucht. Bei einem Belichtungsbeginn in KW 05 konnte durch photoperiodische Belichtung eine Kulturzeitverkürzung von 15 Tagen realisiert werden. Die Assimilationsbelichtung verkürzte die Kulturdauer im Mittel der Sorten um weitere acht Tage. Die Sorten reagierten unterschiedlich. Der geringste Gesamtenergieverbrauch bezogen auf die Kulturdauer wurde bei der photoperiodischen Belichtung gemessen. Eine Intervall-Belichtung mit Assimilationslicht reduzierte den Einsatz von Elektroenergie gegenüber einer normalen Assimilationsbelichtung, die Kulturzeit lag im Bereich der photoperiodischen Belichtung.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Eine Tageslängenreaktion von Fuchsien ist bekannt. Wie reagieren sie auf Assimilationslicht und ist eine Intervallbelichtung bei Assimilationslicht möglich? Gibt es Unterschiede in den Reaktionen der Sorten?

Ergebnisse im Detail

In der Kalenderwoche 02-2019 wurden am LfULG in Dresden-Pillnitz elf Fuchsienarten getopft. Die Pflanzen wurden in KW 04 gestutzt und ab KW 05 belichtet. Neben der photoperiodischen Belichtung erfolgte eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 18 Stunden und eine Intervallbelichtung auf dieselbe Tageslänge (Tabelle 25). Die Variante mit natürlicher Tageslänge wurde verdunkelt um Störlicht aus den Nachbarkabinen zu vermeiden. Dadurch wurden allerdings das Nachtklima und der Energieverbrauch in dieser Variante beeinflusst.

Die Belichtung führte bei allen Sorten zu einer Kulturzeitverkürzung, zu einer besseren Pflanzenqualität und einem höheren Knospenbesatz. Bei den Sorten 'Shadow Dancer Helena' und 'Diva Cherry-White' war der Blühbeginn mit Assimilationslicht bereits in KW 12 und damit 30 Tage vor der unbelichteten Variante.

Die Pflanzenqualität war in allen belichteten Varianten zum Blühbeginn sehr gut. Durch die längere Kulturdauer in der unbelichteten Variante waren die Pflanzen zu Blühbeginn deutlich größer und schwerer und die enge Standweite von 25 Pfl./m² führte zu Qualitätsverlusten.

Der günstigste Gesamtenergieverbrauch bezogen auf die Kulturdauer ist bei einer photoperiodischen Belichtung festzustellen. Der hohe Verbrauch an Elektroenergie in den Varianten mit Assimilationslicht wurde durch einen geringeren Bedarf an Heizenergie zum Teil ausgeglichen (siehe Abbildung 69). In der Variante mit Assimilationsbelichtung im 2-h-Intervall war der Bedarf an Elektroenergie entsprechend niedriger, allerdings die Kulturdauer auch länger.

Tabelle 25: Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Fuchsien mit Kulturbeginn in KW 02 und Belichtung ab KW 05 (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Variante	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslänge
Einstellung		ab 2 h nach Sonnenaufgang für 16 h		ab Sonnenuntergang bis - aufgang
Leuchtmittel	Energiesparlampe** 20 W	CDM-T 315 W	CDM-T 315 W	-
PAR-Strahlung in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	2	50	50	-
Schaltpunkt	0,5 klx innen	5 klx innen	5 klx innen	-
Lichtsumme in mol/m^2 *	562	694	610	516
Brenndauer in h*	486	924	488	-
Stromverbrauch in kWh/Netto-m ² *	0,97	39,8	20,6	-

* bis Ende Belichtung (84 Tage); **Kompaktleuchtstofflampe

Tabelle 26: Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn bei Fuchsien in den Lichtvarianten (Mittelwerte von elf Sorten; LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslänge
Kulturtage ab Belichtung	74	66	72	89
Pflanzenhöhe in cm	18,0	31,7	30,4	35,7
Pflanzenbreite in cm	36,8	41,1	37,3	40,9
Gesamteindruck*	8,4	8,3	8,4	7,7
Frischmasse in g	92	102	103	135
Homogenität Parzelle*	8,6	8,5	8,7	8,0
Reichblütigkeit Parzelle*	8,2	8,6	8,4	7,1

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

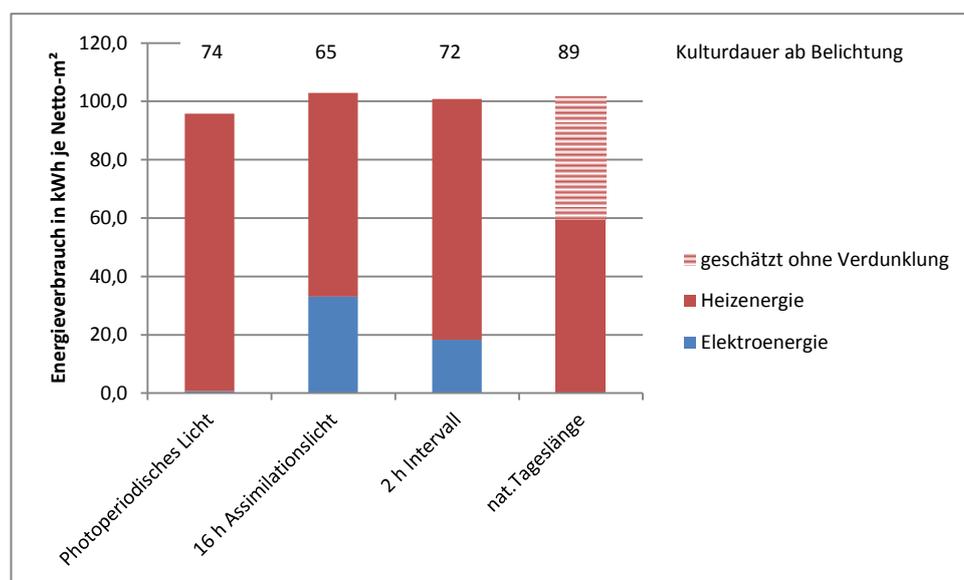


Abbildung 69: Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer bei Fuchsien (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

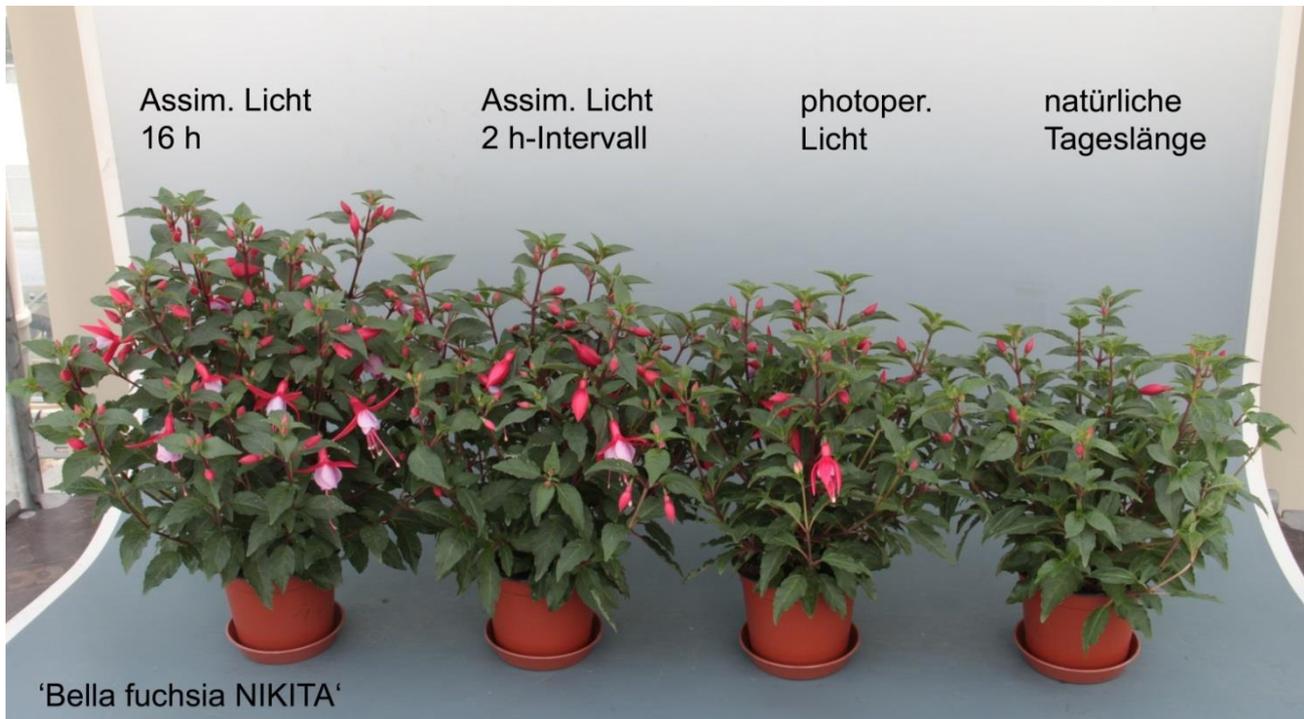


Abbildung 70: Kulturzeitverkürzung mit Zusatzlicht bei *Fuchsia* Cv. 'Bella fuchsia NIKITA' (Aufnahme KW 15, LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

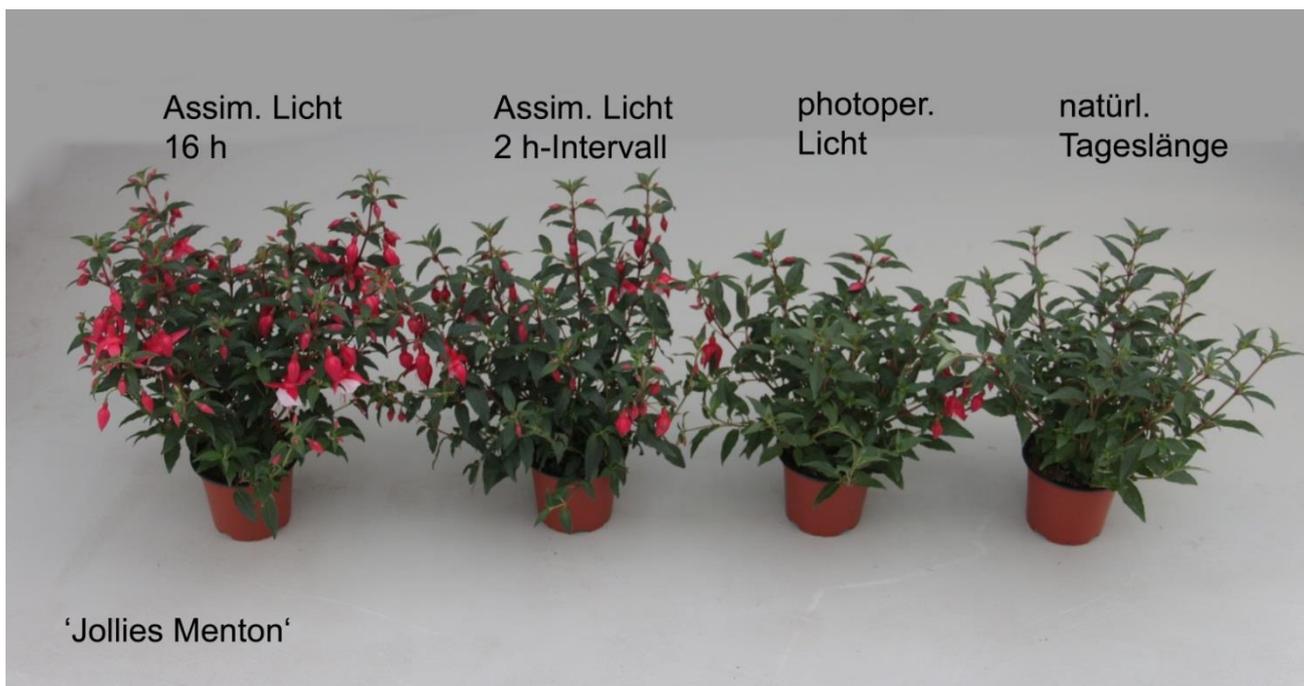


Abbildung 71: Kulturzeitverkürzung mit Zusatzlicht bei *Fuchsia* Cv. 'Jollies Menton' (Aufnahme KW 15, LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Kultur- und Versuchshinweise

Topfen KW 02 in 11er Töpfe, Substrat Stender D400 mit Cocopor, Bewässerungsdüngung mengenbilanziert 500 mg N/Pflanze; Heizungssollwert T/N 18 °C; Stutzen KW04;

Heizungssollwert ab KW 05 T/N 16 °C,
ab KW 07 T/N 15 °C mit drop,
ab KW 10 T/N 14 °C mit drop

Lüftungssollwert jeweils +2 K; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

5.3.7 Versuchsbericht Beet- und Balkonpflanzen ab KW 05-2019 (DALLMANN, WARTENBERG 2019b)

In einem Versuch zur Assimilationsbelichtung und Tageslänge mit verschiedenen Beet- und Balkonpflanzen ab Kalenderwoche 05-2019 am LfULG in Dresden-Pillnitz konnte bei vier Arten eine deutliche Kulturzeitverkürzung erreicht werden. *Argyranthemum*, *Osteospermum* und *Scaevola* reagierten auf die photoperiodische Belichtung und durch das Assimilationslicht wurde die Pflanzenentwicklung deutlich beschleunigt. Bei *Brachyscome* war keine Tageslängenreaktion zu beobachten, aber eine deutlich schnellere Entwicklung mit Assimilationslicht. Die Neuguinea-*Impatiens* reagierten nicht auf die Belichtung.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Wie reagieren verschiedene Balkonpflanzenarten auf eine Tagverlängerung mit photoperiodischem oder Assimilationslicht bei einem zeitigen Start in KW 05? Ist eine Intervallbelichtung bei Assimilationslicht möglich? Gibt es Unterschiede in den Reaktionen der Sorten?

Ergebnisse im Detail

In der Kalenderwoche 05-2019 wurden am LfULG in Dresden-Pillnitz Jungpflanzen von fünf Beet- und Balkonpflanzenarten getopft und in verschiedenen Belichtungsvarianten kultiviert. Neben der photoperiodischen Belichtung erfolgte eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 18 Stunden und eine Intervallbelichtung auf dieselbe Tageslänge (siehe Tabelle 27). Die Variante mit natürlicher Tageslänge wurde verdunkelt um Störlicht aus den Nachbarkabinen zu vermeiden. Dies wirkte sich allerdings auf das Nachtklima und den Energieverbrauch in dieser Variante aus.

Die Pflanzen wurden einheitlich nicht gestutzt und erhielten auch keine chemische Wachstumsregulierung. Je Art erfolgte die Kultur von zwei oder drei Sorten.

Bei den *Impatiens* Cv. Neuguinea-Grp. zeigten die Pflanzen keine Reaktion auf die verschiedenen Lichtvarianten (siehe Abbildung 72 und Tabelle 28). *Brachyscome* reagierten auf das erhöhte Lichtangebot bei der Assimilationsbelichtung mit einer Kulturzeitverkürzung um zwei Wochen, auf die photoperiodische Belichtung reagierten sie kaum.

Eine Kulturzeitverkürzung um drei Wochen erfolgte bei einer Assimilationsbelichtung bei *Argyranthemum* und der gefüllt blühenden Sorte '3D-Banana Shake' bei *Osteospermum*. Die anderen beiden *Osteospermum*-Sorten waren mit Assimilationslicht zwei Wochen schneller als die Pflanzen mit natürlicher Tageslänge. Bei beiden Arten verkürzte die photoperiodische Belichtung die Kulturdauer um etwa eine Woche und die Intervall-Belichtung um 10 bis 14 Tage gegenüber der unbelichteten Variante.

Auch *Scaevola* blühte mit Assimilationslicht etwa zwei Wochen eher. Die Kulturzeitverkürzung durch die photoperiodische Belichtung betrug im Mittel der Sorten nur vier Tage. Die geringere Lichtmenge bei der Intervallbelichtung wirkte sich in einer fünf Tage längeren Kultur gegenüber der kontinuierlichen Assimilationsbelichtung aus.

Die Bonitur der Einzelpflanzen erfolgte jeweils zu Blühbeginn. In allen Varianten wurde eine gute Verkaufsqualität erzielt. Die Pflanzen mit längerer Kulturdauer waren zu Blühbeginn meistens etwas schwerer und hatten eine höhere Knospenanzahl.

Der günstigste Gesamtenergieverbrauch bezogen auf die Kulturdauer ist bei einer photoperiodischen Belichtung festzustellen (siehe Abbildung 73). Der hohe Verbrauch an Elektroenergie in den Varianten mit Assimilationslicht wurde durch einen geringeren Bedarf an Heizenergie zum Teil ausgeglichen. In der Variante mit Assimilationsbelichtung im 2-h-Intervall war der Bedarf an Elektroenergie entsprechend niedriger.

Tabelle 27: Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Beet- und Balkonpflanzen mit Kulturbeginn in KW 05 (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Variante	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslänge
Einstellung		ab 2 h nach Sonnenaufgang für 16 h		ab Sonnenuntergang bis -aufgang
Leuchtmittel	Energiesparlampe* 20 W	CDM-T 315 W	CDM-T 315 W	-
PAR-Strahlung in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	2	50	50	-
Schaltpunkt	0,5 klx innen	5 klx innen	5 klx innen	-
Lichtsumme in mol/m^2 *	562	694	610	516
Brenndauer in h*	486	924	488	-
Stromverbrauch in $\text{kWh}/\text{Netto-m}^2$	0,97	39,8	20,6	-

* bis Ende Belichtung (84 Tage); ** Kompaktleuchtstofflampe

Tabelle 28: Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn in den Lichtvarianten (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilations- belichtung 18 h Ta- geslänge	Assimilations- belichtung 18 h Ta- geslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslän- ge
<i>Argyranthemum frutescens</i> (2 Sorten)				
Kulturtage	73	57	63	80
Pflanzenhöhe in cm	39	35,1	37,6	31,7
Pflanzenbreite in cm	29,7	24,9	26,1	33,4
Anzahl Blüten und Knospen	26,3	14,8	19,5	38,3
Gesamteindruck*	7,4	6,6	6,9	7,7
Frischmasse in g	70,2	37,4	46,5	83,8
<i>Brachyscome</i> Cv. (2 Sorten)				
Kulturtage	63	52	57	66
Pflanzenhöhe in cm	19,4	19,1	19,6	17,3
Pflanzenbreite in cm	30,6	30,4	30,8	27,9
Gesamteindruck*	8	7,9	8	8,1
Frischmasse in g	27	21	22,9	27,2
<i>Impatiens</i> Cv. Neuguinea-Grp. (2 Sorten)				
Kulturtage	88	84	83	87
Pflanzenhöhe in cm	14,1	15,8	14,6	15,3
Pflanzenbreite in cm	30,8	35	32,5	35,1
Anzahl Blüten und Knospen	15,3	18,7	16,4	17,4
Gesamteindruck*	7,8	8,3	8,2	8,3
Frischmasse in g	90,7	112,6	92,2	103,9
<i>Osteospermum ecklonis</i> (3 Sorten)				
Kulturtage	68	57	63	74
Pflanzenhöhe in cm	30,6	28,4	29,6	29,9
Pflanzenbreite in cm	29,8	28,2	29,3	31,8
Anzahl Blüten und Knospen	18,9	11,6	13,9	20,5
Gesamteindruck*	8,3	7,6	7,9	8,4
Frischmasse in g	50,5	40,2	45,6	62,1
<i>Scaevola aemula</i> (3 Sorten)				
Kulturtage	66	55	60	70
Pflanzenhöhe in cm	22,4	20	21,1	11,8
Pflanzenbreite in cm	48,5	49,3	48,3	44,2
Anzahl Blüten und Knospen	11,5	10	10,1	11,1
Gesamteindruck*	7,8	7,4	7,4	8,5
Frischmasse in g	57,4	46,1	49	58,9

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

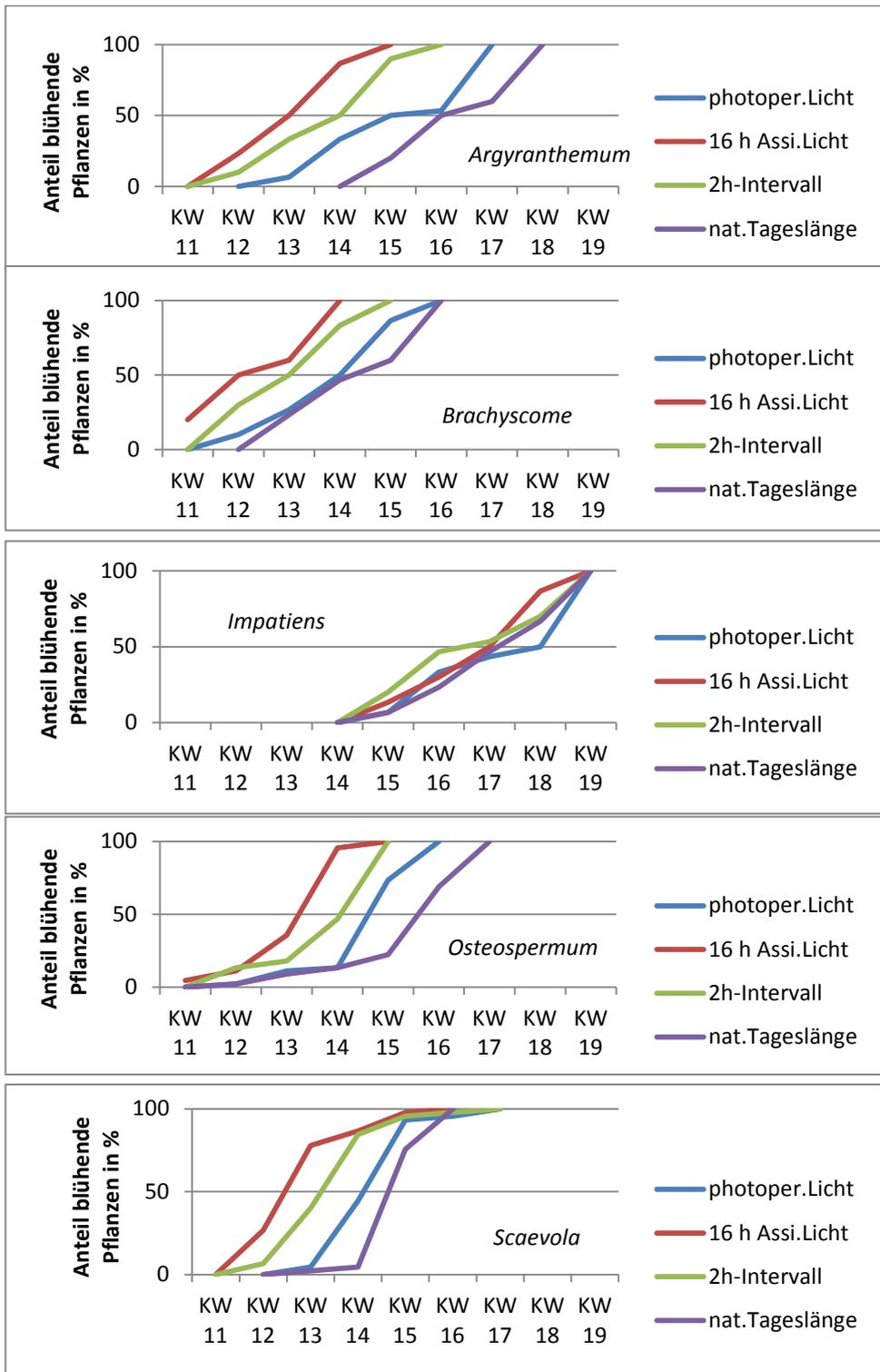


Abbildung 72: Aufblühverhalten der untersuchten Beet- und Balkonpflanzen in den verschiedenen Lichtvarianten (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

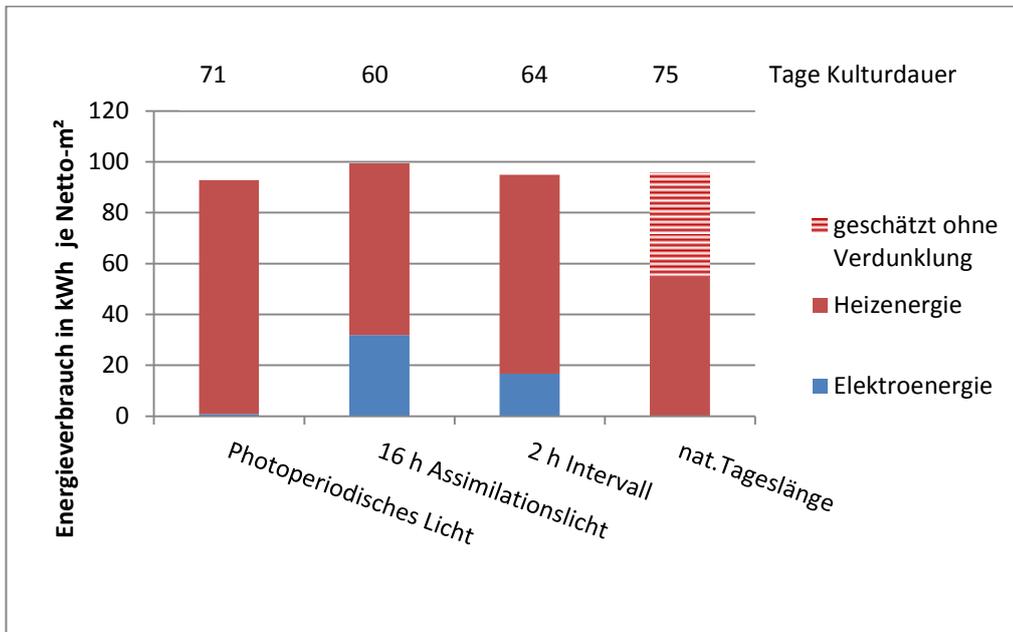


Abbildung 73: Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer der Beet- und Balkonpflanzen (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

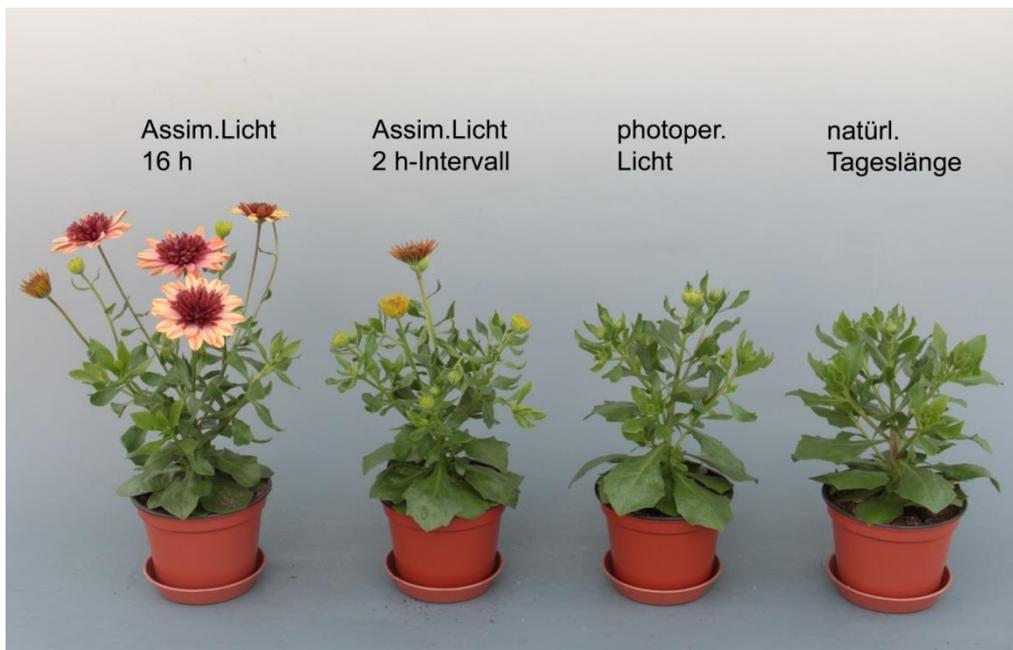


Abbildung 74: Kulturzeitverkürzung um drei Wochen gegenüber der Variante mit natürlicher Tageslänge bei *Osteospermum ecklonis* '3D Banana Shake' (Aufnahme KW 14; LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

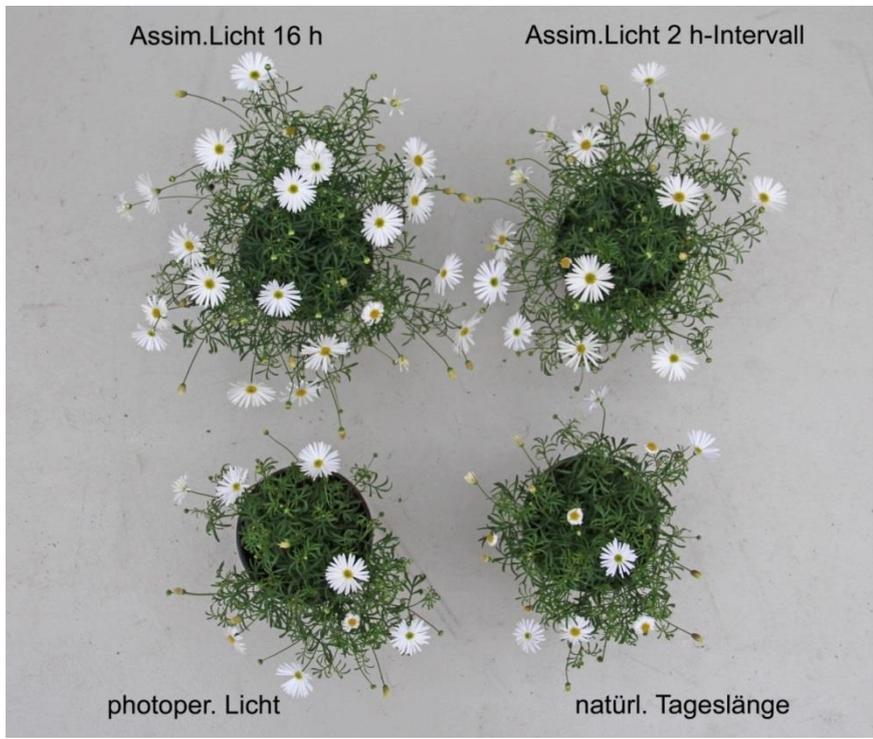


Abbildung 75: Schnellere Pflanzenentwicklung mit Assimilationsbelichtung bei *Brachyscome multifida* 'Surdaisy White Improved' (Aufnahme KW 13; LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Kultur- und Versuchshinweise

Topfen KW 05 in 11er Töpfe, Substrat Stender D400 mit Cocopor, Bewässerungsdüngung 0,6 g/l EcoPhos 3 (18-6-18); Standweite 20 Pfl./m²
 Belichtung von 2 h nach SA für 16 Stunden;
 Heizungssollwert T/N 16 °C; ab KW 07 T/N 15 °C mit drop; ab KW 10 T/N 14 °C mit drop
 Lüftungssollwert jeweils +2 K; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

Tabelle 29: Überblick über untersuchte Arten und Sorten im Versuch (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Art	Sorten (Herkunft)
<i>Argyranthemum frutescens</i>	'Golden Butterfly', 'White Mocha'(Kientzler)
<i>Brachyscome angustifolia</i>	'Fresco Candy'(beekenkamp)
<i>Brachyscome multifida</i>	'SURDAISY White Improved'(Kientzler)
<i>Impatiens</i> Cv. Neuguinea-Grp.	'Paradise Dark Moyo'(Kientzler), 'Impacio Magenta Star'(pac Elsner)
<i>Osteospermum ecklonis</i>	'3D Banana Shake' (selecta), 'SUMMERSMILE Yellow'(Kientzler), 'Dalina Felipa'(Bongartz)
<i>Scaevola aemula</i>	'Saphira', 'Purple Haze' (Kühne), 'Scala Blue Shades'(Dümmen)

5.3.8 Versuchsbericht Pelargonien ab KW 05-2019 (DALLMANN, WARTENBERG 2019f)

In dem kombinierten Versuch zur Assimilationsbelichtung und Tageslänge bei verschiedenen Beet- und Balkonpflanzen am LfULG in Dresden-Pillnitz wurden elf Sorten Pelargonien untersucht. Bei einem Belichtungsbeginn in KW 05 konnte keine Reaktion auf eine photoperiodische Belichtung festgestellt werden. Die Assimilationsbelichtung verkürzte die Kulturdauer im Mittel der Sorten um acht Tage. Die Sorten reagierten unterschiedlich. Der geringste Gesamtenergieverbrauch bezogen auf die Kulturdauer wurde bei der photoperiodischen Belichtung gemessen. Eine Intervall-Belichtung mit Assimilationslicht reduzierte den Einsatz von Elektroenergie gegenüber einer normalen Assimilationsbelichtung, die Kulturzeit war fünf Tage kürzer als ohne Belichtung.

Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Wie reagieren moderne Pelargonienarten auf eine Tagverlängerung mit photoperiodischem oder Assimilationslicht bei einem zeitigen Start in KW 05? Ist eine Intervallbelichtung bei Assimilationslicht möglich?

Ergebnisse im Detail

In der Kalenderwoche 05-2019 wurden am LfULG in Dresden-Pillnitz elf Pelargonienarten getopft und sofort in den verschiedenen Lichtvarianten kultiviert. Neben der photoperiodischen Belichtung erfolgte eine Assimilationsbelichtung auf eine Tageslänge von 18 Stunden und eine Intervallbelichtung auf dieselbe Tageslänge (Tabelle 30). Die Variante mit natürlicher Tageslänge wurde verdunkelt, um Störlicht aus den Nachbarkabinen zu vermeiden. Dadurch wurden allerdings das Nachtklima und der Energieverbrauch in dieser Variante beeinflusst.

In der Anzuchtperiode war eine überdurchschnittlich hohe Außenstrahlung in den Monaten Februar und April zu verzeichnen. Im März lag die Einstrahlung etwas geringer als das langjährige Mittel (siehe Abbildung 76). So war auch in der unbelichteten Variante eine gute Pflanzenentwicklung gewährleistet. Zwischen den Versuchsvarianten gab es zum Blühbeginn kaum Unterschiede in der Pflanzenqualität. In den beiden Varianten mit Assimilationslicht war die Anzahl der Blüten- und Knospenstände etwas höher. Die Kulturdauer bis Blühbeginn wurde durch die Assimilationsbelichtung in Abhängigkeit von der Sorte um bis zu 12 Tage verkürzt. Die Sorten reagierten unterschiedlich. Die Assimilationsbelichtung im 2-h-Intervall verkürzte die Kulturdauer im Mittel der Sorten um fünf Tage gegenüber der unbelichteten Variante. Eine Reaktion auf die photoperiodische Belichtung wurde nicht festgestellt.

Der günstigste Gesamtenergieverbrauch bezogen auf die Kulturdauer ist bei einer photoperiodischen Belichtung festzustellen. Der hohe Verbrauch an Elektroenergie in den Varianten mit Assimilationslicht wurde durch einen geringeren Bedarf an Heizenergie zum Teil ausgeglichen (siehe Abbildung 77). In der Variante mit Assimilationsbelichtung im 2-h-Intervall war der Bedarf an Elektroenergie entsprechend niedriger, allerdings die Kulturdauer auch länger.

Tabelle 30: Lichtvarianten und Verbrauch an Elektroenergie bei Pelargonien mit Kulturbeginn in KW 05 (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Variante	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslänge
Einstellung		ab 2 h nach Sonnenaufgang für 16 h		ab Sonnenuntergang bis -aufgang
Leuchtmittel	Energiesparlampe** 20 W	CDM-T 315 W	CDM-T 315 W	-
PAR-Strahlung in $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	2	50	50	-
Schaltpunkt	0,5 klx innen	5 klx innen	5 klx innen	-
Lichtsumme in $\text{mol}/\text{m}^2 *$	562	694	610	516
Brenndauer in h*	486	924	488	-
Stromverbrauch in kWh/Netto- $\text{m}^2 *$	0,97	39,8	20,6	-

* bis Ende Belichtung (84 Tage); **Kompaktleuchtstofflampe

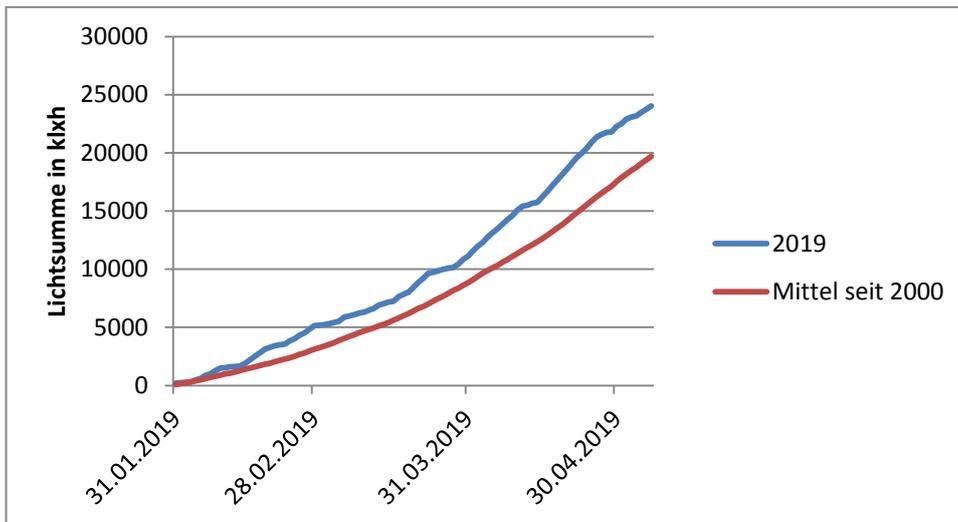


Abbildung 76: Lichtsumme der Außenhelligkeit im Versuchszeitraum im Vergleich zum langjährigen Mittel (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Tabelle 31: Kulturdauer und Pflanzenmerkmale zu Blühbeginn bei Pelargonien in den Lichtvarianten (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

	Photoperiodische Belichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge	Assimilationsbelichtung 18 h Tageslänge; 2-h-Intervall	Verdunklung auf natürliche Tageslänge
Kulturtage	71	64	67	72
Pflanzenhöhe in cm	27,1	27,0	27,8	26,8
Pflanzenbreite in cm	31,4	31,5	32,2	31,9
Anzahl Blüten- und Knospenstände	4,9	5,4	5,1	4,9
Gesamteindruck*	7,6	7,8	7,7	7,9
Frischmasse in g	90	93	94	94

* Boniturnoten 1-9 (von 1 = sehr schlecht bis 9 = sehr gut)

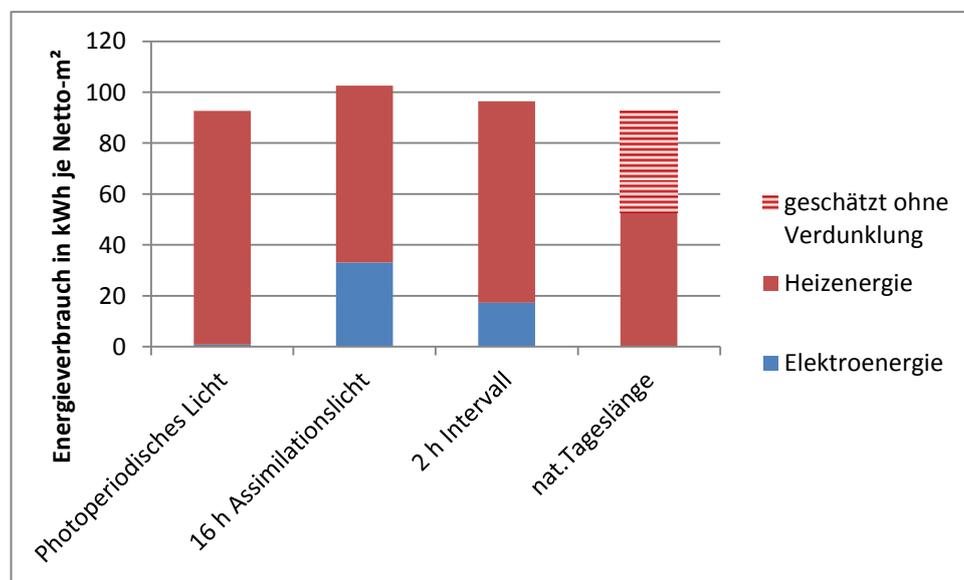


Abbildung 77: Energieverbrauch in den Belichtungsvarianten entsprechend der mittleren Kulturdauer bei Pelargonien (LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

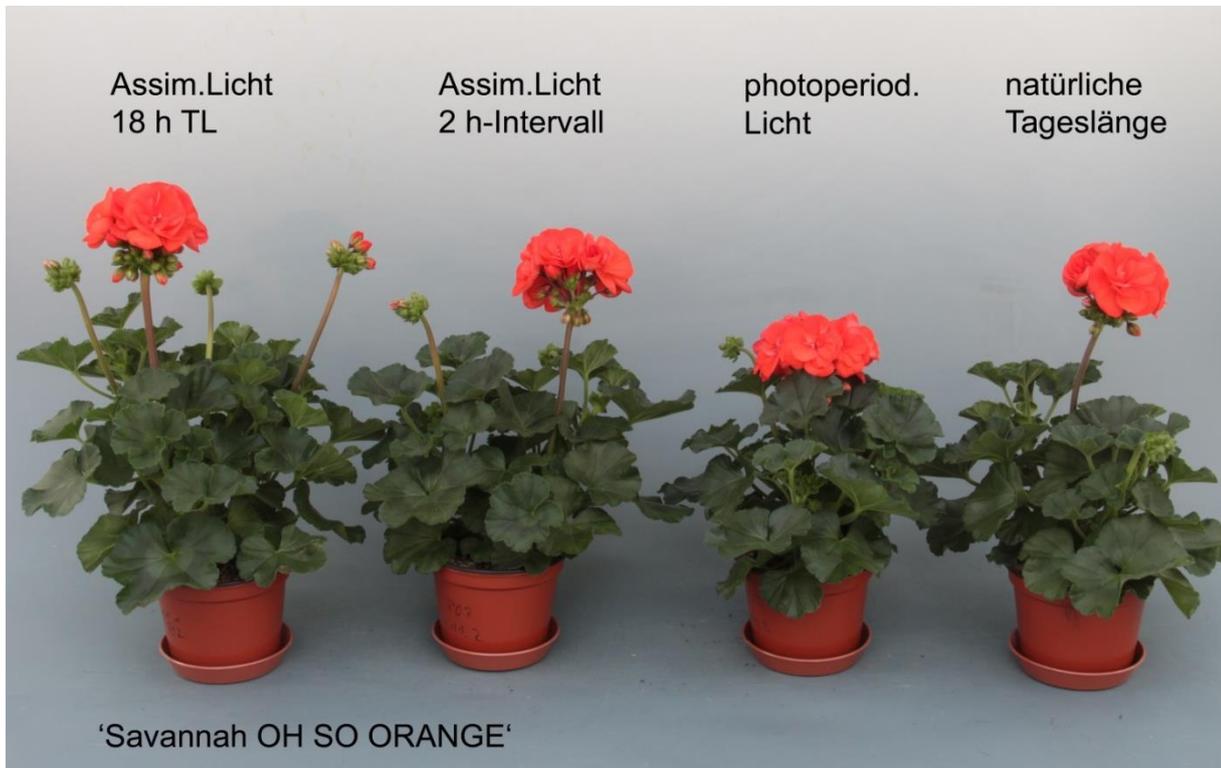


Abbildung 78: Mehr Blüten- und Knospenstände mit Assimilationsbelichtung bei *Pelargonium* Cv. Zonale-Grp. 'Savannah OH SO ORANGE' (Aufnahme KW 15, LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

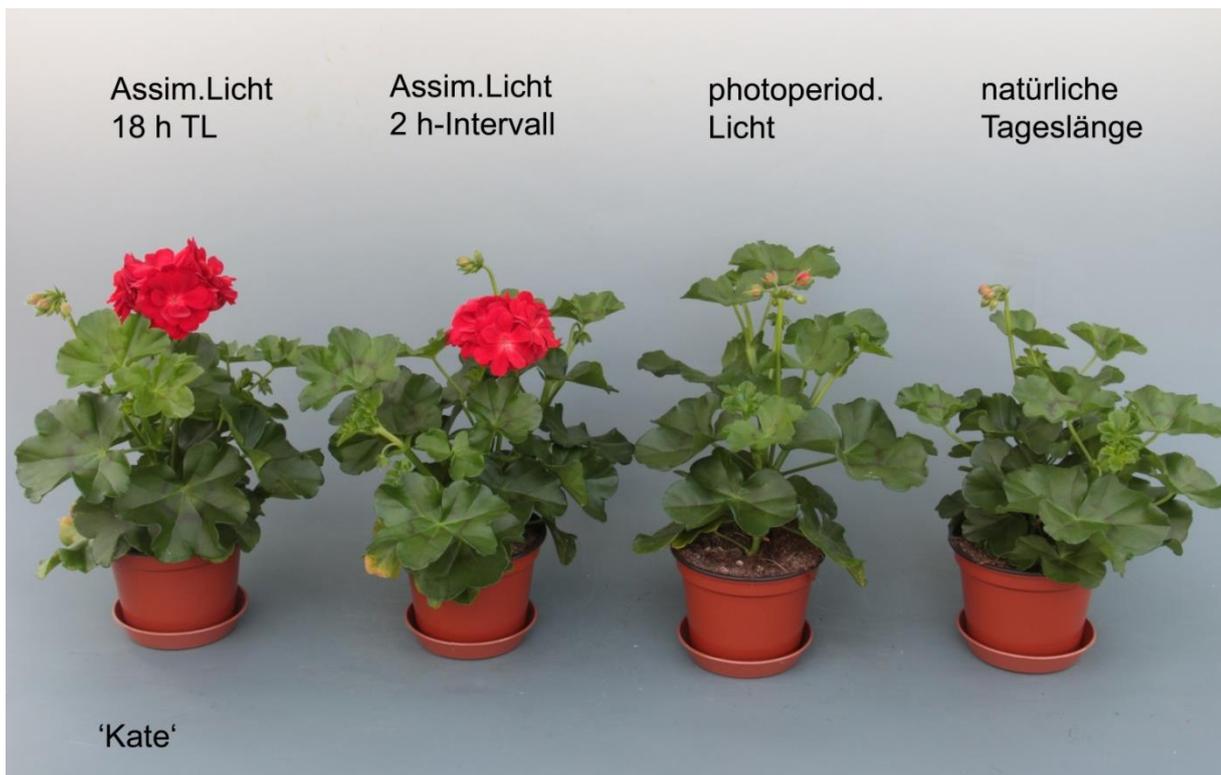


Abbildung 79: Kulturzeitverkürzung mit Assimilationslicht bei *Pelargonium* Cv. Peltatum-Grp. 'Kate' (Aufnahme KW 15; LfULG Dresden-Pillnitz 2019)

Kultur- und Versuchshinweise

Topfen KW 05 in 11er Töpfe, Substrat Stender D400 mit Cocopor, Bewässerungsdüngung mengenbilanziert 500 mg N/Pflanze mit EcoPhos 3 (18-6-18); Standweite 20 Pfl/m²

Heizungssollwert T/N 16 °C; ab KW 07 T/N 15 °C mit drop; ab KW 10 T/N 14 °C mit drop

Lüftungssollwert jeweils + 2 K; Schattiersollwert nach Abhärtung 60 klx

5.4 Zusammenfassung der Versuche mit Plasmalampen

In mehreren Tastversuchen wurde am LfULG in Dresden-Pillnitz die Schwefelplasmaleuchte im Verhältnis zu Natriumdampf- und Keramik-Metallhalogendampflampen getestet. Der Einsatz erfolgte sowohl in den Herbst- und Wintermonaten bei *Pelargonium x grandiflorum* und anderen Topfpflanzen als auch bei Beet- und Balkonpflanzen. Die pflanzenbaulichen Ergebnisse waren in allen Versuchen sehr gut und lagen im ähnlichen Bereich wie bei den Keramik-Metallhalogendampflampen (siehe Abbildung 80 und Abbildung 81)

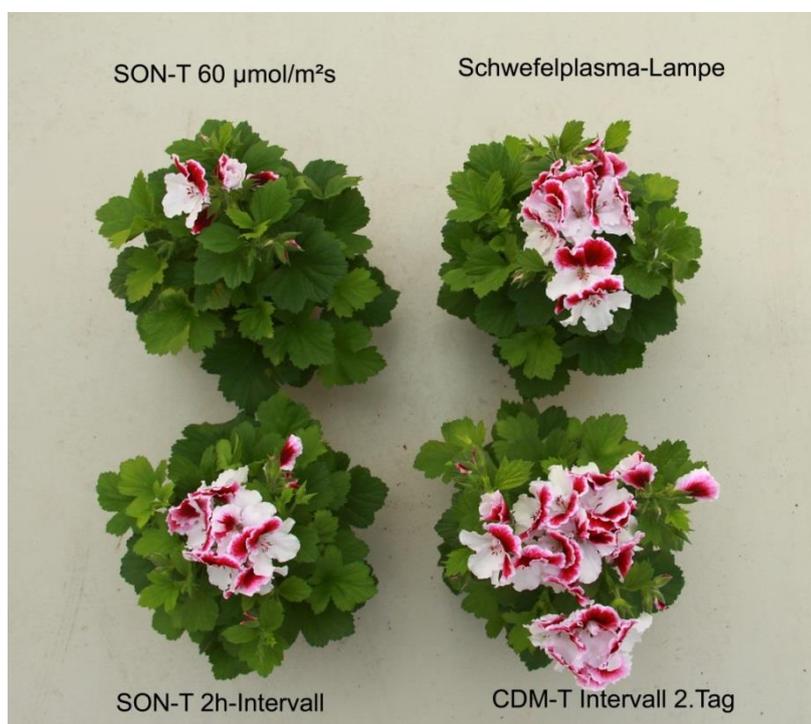


Abbildung 80: *Pelargonium x grandiflorum* 'Elegance Bravo' aus verschiedenen Belichtungsvarianten bei Belichtung ab KW 50 (LfULG Dresden-Pillnitz 2017)

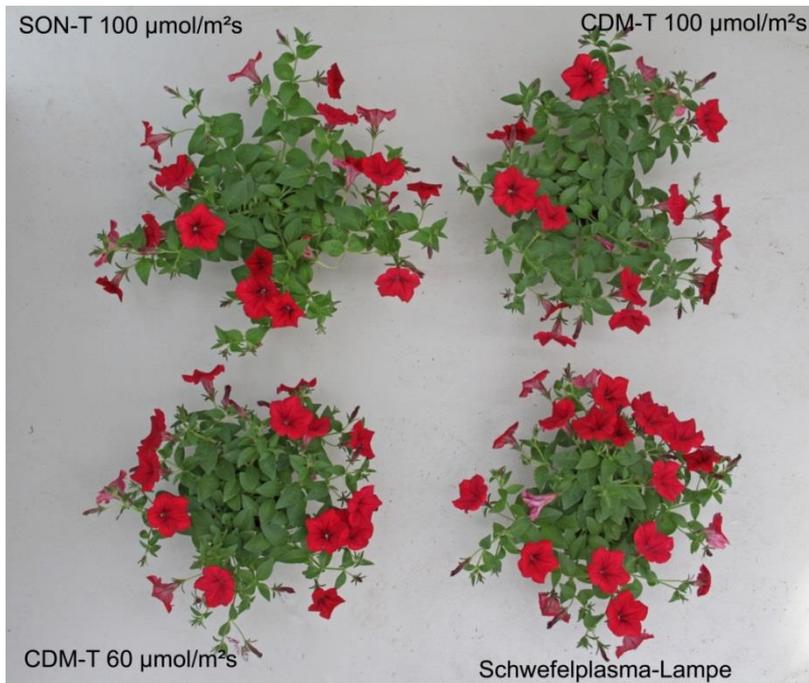


Abbildung 81: *Petunia* Cv. 'SURFINIA Deep Red' in verschiedenen Belichtungsvarianten ab KW 10 (LfULG Dresden-Pillnitz 2018)

Der Einsatz der Lampen kann bisher nicht empfohlen werden. Der rotierende Glaskolben ist sehr stör anfällig und die Photonenflussausbeute der Lampen ist relativ gering. So kann nicht von einer energieeffizienten Belichtung gesprochen werden. Außerdem sind die Anschaffungskosten mindestens dreimal höher als bei Natriumdampflampen.

6 Betriebswirtschaft

Zur Bewertung der untersuchten Belichtungssysteme ist eine Betrachtung der Kosten entscheidend. Den Einsparmöglichkeiten an Elektroenergie bei LED und Keramik-Metallhalogendampflampen stehen höhere Investitionskosten gegenüber. Dabei können die Kosten für die Leuchten sehr unterschiedlich sein und sollten vor einer Investition unbedingt aktuell von verschiedenen Anbietern erfragt werden. Neben der Betrachtung der Kosten für das Assimilationslicht müssen die Heizkosten für einen Vergleich der Systeme mit erfasst werden. Die zugeführte Elektroenergie ins Belichtungssystem wird zum größten Teil in Wärme umgewandelt und reduziert damit den Verbrauch an Heizenergie. Der Einsatz von Lampen mit höherer Lichtausbeute erfordert deshalb einen entsprechend höheren Einsatz an Heizenergie. In den Gartenbaubetrieben liegen die Kosten für Heizenergie mit 3 bis 7 Cent je Kilowattstunde jedoch deutlich unter denen für Elektronenergie (17 bis 25 ct/kWh).

6.1 Bewertungsmodell Licht

Im Rahmen des F/E-Projektes „Anbaufolgen unter Zusatzlicht im Zierpflanzenbau“ in Dresden-Pillnitz von 2003 bis 2005 wurde ein Bewertungsmodell auf Basis von Excel-Tabellen entwickelt. Als Grundlage diente die „Datensammlung für die Betriebsplanung im Topfpflanzenbau“ des Arbeitskreises für Betriebswirtschaft im Gartenbau Hannover. Die Basisdaten wurden dabei zum Teil übernommen, der Bereich für die Berechnung der Kosten für das Assimilationslicht wurde erweitert und verfeinert.

Für die Bewertung der untersuchten Assimilationsbelichtungssysteme erfolgte die Berechnung für eine Anbaufolge mit drei Sätzen in den verschiedenen Lichtvarianten. Es wurde eine Gewächshausgröße von 1000 m² Bruttofläche und eine Heiztemperatur von 18 °C festgelegt. Die Berechnung der Stromkosten erfolgte auf Grund von festen Belichtungszeiten von 4 bis 24 Uhr. Eine Abschaltung entsprechend des langjährigen Wochenmittels der Außenhelligkeit wird in dem Programm berücksichtigt. Die verwendeten Kosten für die Leuchten und Lampen entsprechen den aktuellen Angaben der Hersteller zu den in Pillnitz verwendeten Assimilationsleuchten (siehe Tabelle 33). Der Heizölpreis wurde mit 0,61 €/l festgelegt und der Strompreis mit 0,22 €/kWh. Die Ergebnisse dieser Modellberechnung sind in Tabelle 32 dargestellt.

Durch die geringere installierte Leistung je Fläche bei den CDM-Leuchten und den LED ist eine deutliche Einsparung an Elektroenergie möglich. Dem gegenüber sind in diesen beiden Varianten die anteiligen Investitionskosten und auch die Heizkosten höher.

In dem Kalkulationsprogramm können viele verschiedene Faktoren festgelegt und an die betrieblichen Bedingungen angepasst werden. Durch die beispielhafte Berechnung ist aber deutlich zu erkennen, dass bei den bisher noch relativ hohen Anschaffungskosten der LED trotzdem eine Kostenersparnis möglich ist.

Tabelle 32: Beispielrechnung mit Bewertungsmodell für 1000 m² Gewächshausfläche für drei Kultursätze ab KW 40 bis KW 17

Variante	Hochdruck-Natriumdampflampe	Keramik-Metallhalogendampflampe		LED-Toplight
Leuchte	Philips MGR	MGR-E 315-CDM	MGR-K 400-CHD	LED-Toplight Modul
Anzahl Leuchten	125	125	125	166
Installierte Leistung in W/m ²	50	40	50	33
Brenndauer je Saison in h	3.157	3.157	3.157	3.157
kWh je Saison	140.268	112.215	140.268	92.577
Kosten Elektroenergie	30.858 €	24.687 €	30.858 €	20.367 €
Heizkosten	29.420 €	30.835 €	29.420 €	31.826 €
Anteilige Investitionskosten	11.589 €	15.894 €	13.565 €	16.070 €
Gesamt	71.866 €	71.416 €	73.842 €	68.263 €
% gegenüber SON-T		99 %	103 %	95 %

6.2 Berechnung nach Messwerten in Pillnitz

Anhand der Verbrauchswerte an Elektro- und Heizungsenergie kann für die Gewächshäuser in Dresden-Pillnitz eine etwas konkretere Berechnung erfolgen. Zur beispielhaften Berechnung der Kosten für Kulturen mit Assimilationsbelichtung wurden folgende Festlegungen getroffen:

■ Anbaufolge

- KW 38 bis KW 49 blühende Topfpflanzen (z. B. *Gerbera*, *Sinningia*, *Saintpaulia* u. a.); Heiztemperatur 18 °C
- KW 50 bis KW 07 *Pelargonium x grandiflorum* (nach Kühlphase); Heiztemperatur 18 °C
- KW 08 bis KW 17 Beet- und Balkonpflanzen; Heiztemperatur 16 °C

■ Nettofläche 120 m²; PAR-Strahlung durch Assimilationsbelichtung etwa 50 µmol/m²; Tagessummensollwert 5 mol/m²

■ Verbrauch an Elektro- und Heizenergie entsprechen den Versuchen in Dresden-Pillnitz, Nutzungsdauer 10 Jahre, Austausch der Leuchtmittel nach angegebener Lebensdauer

■ Investitionskosten nach aktuellen Preisinformationen der Hersteller

Tabelle 33: Beispielrechnung für Investitionskosten von Assimilationsbelichtung bei einer Nutzfläche von 120 m² (Preisangaben nach telefonischen Informationen bezogen auf die Versuchsgewächshäuser in Dresden-Pillnitz, Mai 2019)

Variante	Hochdruck-Natriumdampf Lampe	Keramik-Metallhalogendampf Lampe		LED-Toplight
Leuchte	Philips MGR 400	MGR-E 315-CDM	MGR-K 400-CHD	LED-Toplight Modul
Lampe	SON-T Pia Green Power	CDM-T 315 W	CHD AGRO 400	DRWMBHO Green Power LED
Anzahl Leuchten	15	15	15	20
Anschaffungskosten je Leuchte	448,50 €	591,75€	472,50 €	650,00 €
Installationskosten	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €	2.000,00 €
Kosten für Leuchtmittel nach ca. 5 Jahren	30,00 €	90,75 €	88,00 €	-
Gesamt für 120 m²	9.177,50 €	12.237,50 €	10.407,50 €	15.000,00 €

In den Pillnitzer Versuchsgewächshäusern müssen Assimilationsleuchten konstruktionsbedingt mit der Schutzklasse IP 65 ausgerüstet sein. Das bedeutet eine geschlossene Leuchte mit einer Glasscheibe, die in den Anschaffungskosten deutlich höher ist als eine offene Assimilationsleuchte mit der Schutzklasse IP 23. Bezogen auf Tabelle 33 könnten die Investitionskosten für offene Natriumdampf Lampen bei 4.900 € für 120 m² und bei 9.000 € für CDM-Lampen liegen. So kann der Anschaffungspreis für offene Leuchte über 50 % niedriger als bei einer geschlossenen Leuchte sein. In der Abbildung 82 sind die theoretischen Investitionskosten für offene Leuchten gestreift dargestellt.

Tabelle 34: Kostenrechnung für die Assimilationsbelichtung in den Pillnitzer Versuchsgewächshäusern anhand von Herstellerangaben und gemessenem Verbrauch an Energie für 120 m² Nutzfläche und Produktion in drei Sätzen

Variante	Hochdruck-Natriumdampf Lampe	Keramik-Metallhalogendampf Lampe		LED-Toplight
Leuchte	Philips MGR	MGR-E 315-CDM	MGR-K 400-CHD	LED-Toplight Modul
Anzahl Leuchten	15	15	15	20
gemessene Leistungsaufnahme je Leuchte in W	465	337	452	212
Brenndauer je Saison in h	2.053	2.289	2.206	2.028
kWh je Saison	14.320	11.571	14.957	8.600
Kosten Elektroenergie bei 0,22 €/kWh	3.150 €	2.546 €	3.290 €	1.892 €
Heizenergie Herbst in kWh/m ²	102	96	98	99
Heizenergie Winter in kWh/m ²	170	180	180	199
Heizenergie Beet- und Balkonpfl. in kWh/m ²	32	33	30	33
MWh je Saison bei 120 m ²	36,5	37,1	37,0	39,7
Heizkosten bei 50 €/MWh	1.824 €	1.854 €	1.848 €	1.986 €
Anteilige Investitionskosten	1.377 €	1.836 €	1.561 €	1.947 €
Gesamt	6.351 €	6.235 €	6.699 €	5.825 €
% gegenüber SON-T		98 %	105 %	92 %

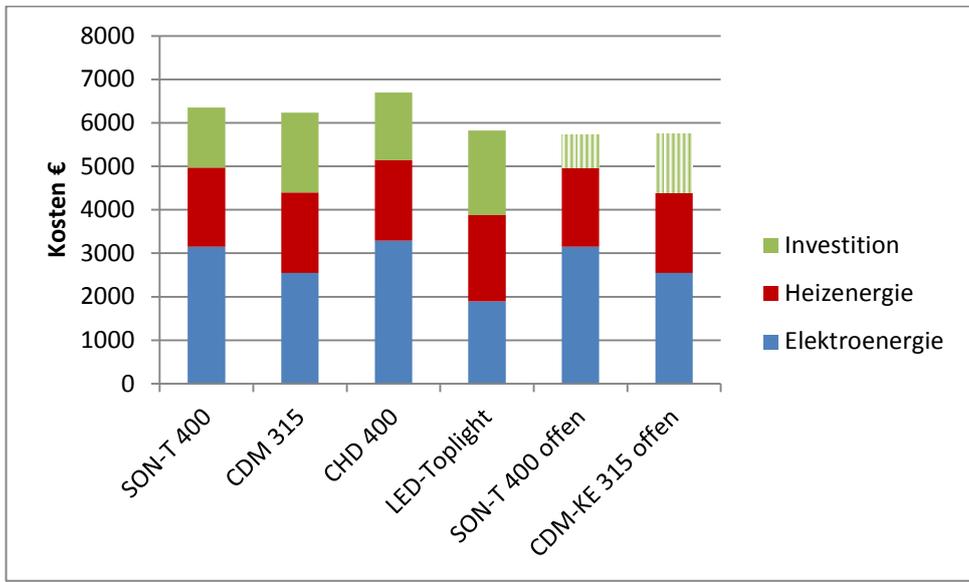


Abbildung 82: Vergleich der jährlichen Kosten für die Assimilationsbelichtung und Heizung bezogen auf die Beispiel-Anbaufolge in den Pillnitzer Versuchsgewächshäusern

In der Abbildung 83 sind die Veränderungen der Kostenanteile in dem Pillnitzer Beispielanbau dargestellt. Durch die Steuerung der Assimilationsbelichtung nach einer Lichtsumme ist in dieser Berechnung mit den LED eine Kostenersparnis von 13 % möglich und mit der CDM-T 315 von 5 %. Auch hier zeigt sich das mit der CHD-Agro keine Einsparung an Energiekosten möglich ist.

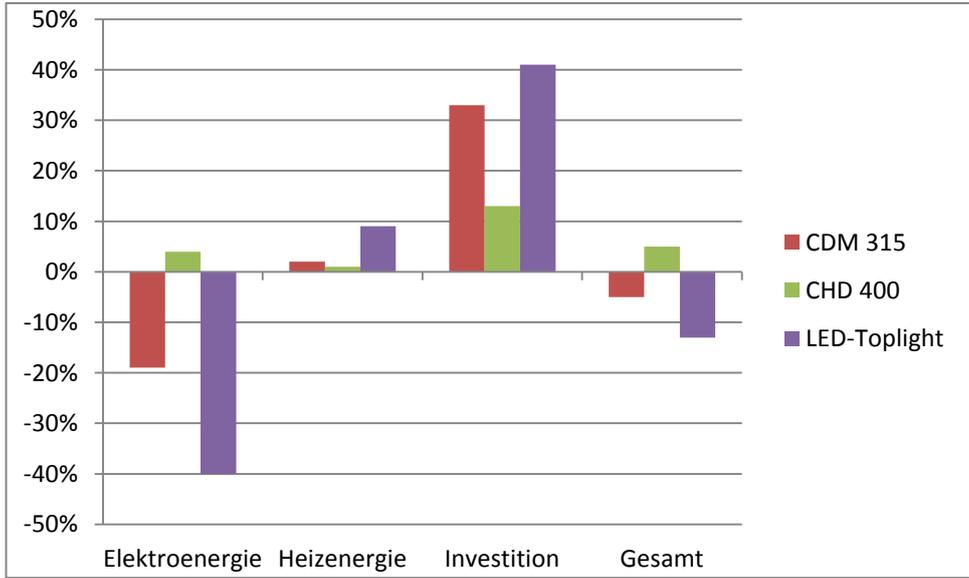


Abbildung 83: Veränderung der Kosten gegenüber einer Assimilationsbelichtung mit Natriumdampflampen in Prozent bei einem Beispielanbau mit drei Sätzen

In den Versuchen wurde in allen belichteten Varianten eine gute Verkaufsqualität erreicht. Mit den neueren Leuchtmitteln wurde mindestens eine gleichwertige und zum Teil eine bessere Qualität als mit Natriumdampflampen erreicht. Inwieweit sich eine etwas höhere Knospenanzahl oder ein besserer Pflanzenaufbau in höheren Erlösen realisieren lassen ist fraglich und wahrscheinlich am ehesten in den Wintermonaten möglich.

7 Zusammenfassung und Empfehlungen

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse in Bezug auf Pflanzenqualität und Kulturdauer ist durch die Verschiedenartigkeit der Versuche kaum möglich. In allen Varianten wurde eine gute Qualität der Pflanzen erzielt. In dem untersuchten Lichtniveau von etwa 50 bis 60 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ waren alle untersuchten Lampen für eine Assimilationsbelichtung geeignet. Durch die geringere Wärmestrahlung der LED waren in dieser Variante oftmals geringfügig kompaktere Pflanzen zu beobachten. Die Kulturdauer verlängerte sich dabei um einige Tage.

In den meisten Versuchen wurde die Assimilationsbelichtung über eine Lichtsummenregelung gesteuert. Dafür ist ein PAR-Sensor im Gewächshaus von entscheidender Bedeutung und sollte beim Einsatz verschiedener Lampentypen immer genutzt werden. Durch den Einsatz der Lichtsummensteuerung sind in den Versuchen 15 bis 25 % an Elektroenergie eingespart worden (siehe Kapitel 5.2.3). Allerdings ist mehr Heizenergie notwendig.

Vergleicht man den Energieeinsatz in den einzelnen Versuchsjahren so kann man in Abhängigkeit von der Witterung und den Kulturen Unterschiede feststellen. Das Projektziel einer Einsparung an Gesamtenergie von mindestens 10 % konnte nur in den Herbst- und Frühjahrsmonaten mit der LED-Belichtung erreicht werden. Deutliche Einsparungen an Elektroenergie waren aber auch mit der Keramik-Metallhalogendampflampe CDM-T 315 möglich. In der Tabelle 35 sind die prozentualen Veränderungen gegenüber der Natriumdampflampe zusammengefasst.

Tabelle 35: Zusammenfassung der prozentualen Abweichungen im Energieverbrauch in den verschiedenen Versuchen

Versuch	Elektroenergie % zu SONT			Heizung % zu SONT			Gesamtenergie % zu SONT		
	CDM	CHD	LED	CDM	CHD	LED	CDM	CHD	LED
Topfpflanzen Winter 2015	81	115		105	96		99	102	
Beet- und Balkonpflanzen 2016	74	103		108	106		101	105	
Hortensien 2016	79	121		101	96		97	100	
Edelpelargonien Winter 2016	78	111		100	95		97	98	
Edelpelargonien Winter 2017	81	92	58	114	103	135	103	100	109
Hortensien Winter 2017	82	98	57	112	106	120	98	103	91
Begonien Winter 2017	81	96	59	104	90	110	97	92	95
Beet- und Balkonpflanzen 2018	72		59	104		104	92		86
Topfpflanzen Herbst 2018	90	109	58	94	96	97	93	100	87
Edelpelargonien Herbst 2018	95	107	66	96	96	105	96	99	95
Topfpflanzen Winter 2018			62			116			100

Durch den Einsatz der Keramik-Metallhalogendampflampe CDM-T 315 konnte im Durchschnitt 20 % an Elektroenergie eingespart werden. In den meisten Versuchen war der Gesamtenergieeinsatz durch den höheren Verbrauch an Heizenergie nur knapp unter dem der Natriumdampflampen. Das breitere Lichtspektrum führt in den Wintermonaten zu einer besseren Pflanzenqualität. Dieser Vorteil ist bei zunehmender Außenhelligkeit im Herbst und Frühjahr allerdings nicht von Bedeutung. Durch die geringere installierte Leistung der Leuchten ist der Bedarf

an Heizenergie an kühlen Tagen höher als bei Natriumdampflampen. Die Investitionskosten sind entsprechend der Beispielrechnung um 33 % höher als bei Natriumdampflampen. Vergleicht man die Gesamtkosten bei einer geplanten 10-jährigen Nutzung mit drei Kultursätzen so kann man 5 % Kosten sparen.

Die Keramik-Metallhalogendampflampe CHD-Agro 400 hat eine relativ geringe Photonenflussausbeute von 1,66 $\mu\text{mol}/\text{J}$. Wenn bereits passende Armaturen für die Assimilationsbelichtung vorhanden sind, kann durch den Austausch der Leuchtmittel die Pflanzenqualität in den Wintermonaten durch das breite Lichtspektrum gegenüber Natriumdampflampen verbessert werden. In den Frühjahrs- und Herbstmonaten sind aber kaum pflanzenbauliche Vorteile zu erwarten und der Energieverbrauch lag für die gleiche PAR-Summe etwas höher.

In der LED-Variante lag die Einsparung an Elektroenergie bei etwa 40 %. In den Wintermonaten war der Gesamtenergieeinsatz aber nahe 100 % gegenüber der Natriumdampflampe, in den Übergangsjahreszeiten 90 %.

Entscheidend für die Einsatzempfehlungen für LEDs sind hier die weitere Preisentwicklung der Leuchten und der Bedarf an Wärmestrahlung in den Kulturen. Da die Wärmestrahlung in Richtung Pflanzen deutlich geringer als bei Gasentladungslampen ist, kann sich das positiv auf den Habitus der Pflanzen auswirken oder auch negativ auf die Pflanzenentwicklung. Die geringere Wärmestrahlung muss mit zusätzlicher Heizenergie ausgeglichen werden. Spektrale Effekte wurden nicht untersucht. In den Wintermonaten war bei einigen Pflanzenarten eine Kulturzeitverzögerung von drei bis sieben Tagen zu beobachten. Die hohen Investitionskosten für LED werden sich in den nächster Zeit vermutlich noch weiter reduzieren und liegen bei einigen Leuchten bereits jetzt in einem interessanten Bereich.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist Gartenbaubetrieben bei ohnehin geplanter Neuinstallation zu Keramik-Metallhalogendampflampen oder LED-Systemen zu raten. Aufgrund wesentlicher Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen am Markt muss dabei sorgfältig ausgewählt und die geringere Wärmestrahlung der LED beachtet werden. Der Ersatz von bestehenden Natriumdampflampen durch die neueren Systeme ist aufgrund der geringen Unterschiede in den Gesamtkosten derzeit betriebswirtschaftlich nicht sinnvoll.

Literaturverzeichnis

- BORNWASSER, T. (2013): Leuchtmittel für die Pflanzenbelichtung im Produktionsgartenbau. KTBL-Arbeitsblatt, Lfd.Nr. 0732, 2013
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2016a): Bessere Pflanzenqualität mit Keramik-Metallhalogendampflampen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2016
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2016b): Geringe Wirkung von Assimilationsbelichtung bei der Anzucht samenvermehrter Beet- und Balkonpflanzen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2016
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2017a): Edelpelargonien unter Keramik-Metallhalogendampflampen. In Gärtnerbörse Dezember 2017, S. 36-39
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2017b): Energieeinsparung durch Keramik-Metallhalogendampflampen CDM-T bei der Treiberei von Hortensien. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2017
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2017c): Kürzere Treibdauer und bessere Pflanzenqualität bei der Belichtung von Edelpelargonien mit Keramik-Metallhalogendampflampen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2017
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018a): Assimilationsbelichtung in der Hortensientreiberei. In Gärtnerbörse Juli 2018, S. 64-66
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018b): Assimilationsbelichtung mit verschiedenen Leuchtmitteln bei Pelargonium x grandiflorum. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018c): Bei Kulturbeginn in KW10 hatte eine Assimilationsbelichtung auf 16 h Tageslänge nur bei wenigen Balkonpflanzenarten geringe Vorteile. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018d): Bei Petunien und Scaevola mit Kulturbeginn KW 10 verkürzte eine Assimilationsbelichtung auf 16 h Tageslänge die Kulturdauer um einige Tage. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018e): Bei Calibrachoa und Lantanen mit Kulturbeginn KW 10 verbesserte eine Assimilationsbelichtung auf 16 h Tageslänge die Pflanzenqualität. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018f): Geringe Unterschiede zwischen verschiedenen Belichtungsvarianten in der Treiberei von Hortensien. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018g): Nur geringe Unterschiede bei Elatior-Begonien unter verschiedenen Assimilationslampen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2018h): Versuche mit unterschiedlichen Assimilationslampen in Pillnitz. In Gärtnerbörse Januar 2018, S. 55-57
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019a): 38 % Einsparung an Elektroenergie bei LED-Belichtung von Topfpflanzen in den Wintermonaten im Vergleich mit Natriumdampflampen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019b): Bis zu 3 Wochen Kulturzeitverkürzung durch Assimilationslicht bei Beet- und Balkonpflanzen mit Kulturbeginn in KW 05. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019c): Energieeinsparung mit LED in einstrahlungsreichen Herbstmonaten bei Topfpflanzen. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019

- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019d): Geringe pflanzenbauliche Unterschiede mit unterschiedlicher Assimilationsbelichtung ab KW 38 bei Edelpelargonien. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019e): Kulturzeitverkürzung um 2 bis 3 Wochen bei Fuchsien mit Kulturbeginn in KW 02 durch Belichtung ab KW05. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019
- DALLMANN, M.; WARTENBERG, S. (2019f): Kulturzeitverkürzung um bis zu 12 Tage bei Pelargonien durch Assimilationslicht ab Kulturbeginn in KW05. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2019
- DH-LICHT (2019): Internetauftritt: <https://www.dhlight.de/assimilationsbelichtung/>, letzter Zugriff am 13.6.2019
- PHILIPS (2015): GreenPower LED toplighting, Produktbroschüre 11/2015
- RATH, T.(2006): Individuelle Kostenkalkulation für Gewächshausanlagen und deren Ausstattung. KTBL-Arbeitsblatt, Lfd.Nr. 0717, 2006
- RÜTHER, K.; LUDOLPH, D.; BEßLER, B. (2018): Assimilationsbelichtung mit LED-geht das? In Gärtnerbörse April 2018, S. 70-73
- RÜTHER, K.; LUDOLPH, D. (2018): LED-das Lichtsystem der Zukunft. In Taspo Nr.19; 11. Mai 2018
- RÜTHER, K.; LUDOLPH, D.; BEßLER, B. (2018): Belichtung mit LED hat positive Auswirkungen auf Streckungswachstum und Blütenentwicklung bei Hortensien. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- SCHRAMM, B.; WARTENBERG, S. u.a. (2005): Anbaufolgen unter Zusatzlicht. LfULG <http://www.gartenbau.sachsen.de/forschungsprojekte-im-zierpflanzenbau-23684.html>, letzter Zugriff am 13.6.2019
- SCHORN, W. (2018): Belichtung mit LED oder Keramik-Metalllampen hat Vorteile. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018
- SCHWEND, T.; PRUCKER, D.; HAAS, H.-P.; MEMPEL, H. (2016): Einfluss von Wärmestrahlung und LED auf das Streckungswachstum von *Pelargonium peltatum*. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2016
- TANTAU, H.-J. (2014): Was leisten LEDs? In DEGA Gartenbau November 2014, S. 50-53
- WARTENBERG, S.; DALLMANN, M. (2018): Assimilationsbelichtung auf 16 h verkürzte die Kulturdauer bei *Leucanthemum* wesentlich, aber mit großen Sortenunterschieden. In Versuche im deutschen Gartenbau Zierpflanzenbau 2018

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft.

Autor:

Margret Dallmann

Abteilung Gartenbau/Referat Zierpflanzenbau

Lohmener Str. 10, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-8204

Telefax: +49 351 2612-8099

E-Mail: margret.dallmann@smul.sachsen.de

Redaktion:

siehe Autor

Fotos:

LfULG, Margret Dallmann und Burkhardt Lehmann (Seite 15)

Redaktionsschluss:

28.10.2019

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/> heruntergeladen werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de