

Leuchtmittel für die Pflanzenbelichtung im Produktionsgartenbau

1 Einleitung

Pflanzen sind photoautotrophe Organismen, d.h. sie nutzen Licht als Energiequelle. Beispielsweise bei der Assimilation, dem Prozess der Photosynthese, werden aus Kohlendioxid und Wasser mithilfe der einfallenden Strahlung komplexe organische Verbindungen aufgebaut. Dabei wird Sauerstoff freigesetzt. Auch für etliche Entwicklungs- und Wachstumsprozesse ist die Strahlung von Bedeutung (Photomorphogenese), wie z.B. für die Keimung, die Blütenbildung, für Ruhephasen oder den Phototropismus (Ausrichtung der Pflanze zur Sonne). Sowohl das Pflanzenwachstum als auch die Pflanzenentwicklung werden durch die Belichtungsdauer, die Bestrahlungsstärke und die Strahlungsqualität der Lampe beeinflusst. Unter Strahlungsqualität versteht man die spektrale Zusammensetzung der emittierten Strahlung (Strahlungsspektrum) einer Leuchte.

Zur Steigerung des Wachstums, des Ertrages oder zur Verbesserung der Qualität können Pflanzen neben der natürlichen Sonneneinstrahlung zusätzlich künstlich belichtet werden (Assimilationsbelichtung). Dieses kann bei der Pflanzenproduktion notwendig werden, wenn die Strahlungsintensität durch die natürliche Sonneneinstrahlung im Gewächshaus zu gering ist (Abb. 1). Pflanzen werden in der Gewebekultur und teilweise in



Abb. 1: Assimilationsbelichtung bei einsetzender Dämmerung
(Quelle: Fa. DHLicht 2012)

der Jungpflanzenvermehrung, unter Ausschluss natürlicher Einstrahlung, künstlich belichtet.

Die Belichtung kann auch genutzt werden, um bestimmte Entwicklungsvorgänge zu steuern, z.B. die Blüteninduktion, die Samenkeimung und den Beginn oder die Beendigung der Knospenruhe (photoperiodische Belichtung). Dabei genügt oft schon eine sehr geringe Bestrahlungsstärke, um den gewünschten Effekt, z.B. über die künstliche Verlängerung der Tageslänge, hervorzurufen. Die Leuchtmittel, die zur Assimilationsbelichtung in Kulturkammern oder im Gewächshaus als Zusatzbelichtung eingesetzt werden können, sowie einige Leuchtmittel zur photoperiodischen Belichtung werden im Folgenden beschrieben.

2 Bewertung der Strahlung – Einheiten und Definitionen

Pflanzen „sehen“ das Licht anders als der Mensch, weshalb das Licht für Pflanzen nicht nach der Empfindlichkeit des menschlichen Auges bewertet wird, sondern nach dem für die Assimilation wichtigen Teil der Strahlung. Die photosynthetisch aktive Strahlung (PAR = photosynthetically active radiation) beschreibt den für die Photosynthese wichtigen Wellenlängenbereich der elektromagnetischen Strahlung. Dieser Wellenlängenbereich wurde international zwischen 400 und 700 nm festgelegt (CIE 106/8 1993). Für die quantitative Bewertung der zur Photosynthese genutzten Strahlung kann der photosynthetisch aktive Anteil der Strahlung nach der auf einem Blatt einfallenden Energie oder nach der Anzahl der von einem Blatt absorbierten Photonen (Lichtteilchen) im PAR-Bereich beschrieben werden. Die Einheit zur Quantifizierung der PAR ist die photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD). Die photosynthetische Photonenflussdichte beschreibt die Anzahl an Photonen (Lichtteilchen) im Wellenlängenbereich der PAR, die innerhalb einer Sekunde auf einer Fläche auftreten und von einem Blatt absorbiert werden können. Die photosynthetische Photonenflussdichte wird in der Einheit $[\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$ angegeben.

Es gibt einige speziell für die Belichtung von Pflanzen entwickelte Leuchtmittel, die durch die Angaben des photosynthetischen Photonenflusses (PPF), also die Anzahl der Photonen im Bereich der PAR, die innerhalb einer Sekunde von einem Leuchtmittel ausgehen (gemessen in $\mu\text{mol s}^{-1}$), beschrieben werden. Auch sind Angaben über die photosynthetische Photonenflussausbeute (PFA) zu finden oder können leicht berechnet werden (Tab. 3). Die photosynthetische Photonenflussausbeute eines Leuchtmittels beschreibt die Umwandlung der elektrischen Leistung [W] einer Strahlungsquelle in den Photonenfluss im Wellenlängenbereich zwischen 400 und 700 nm. Die Ausbeute des photosynthetischen Photonenflusses aus einem Watt zugeführter elektrischer Leistung wird in der Einheit [$\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$] oder in [$\mu\text{mol J}^{-1}$] angegeben (1 J = 1 Ws).

Im Gartenbau werden jedoch viele herkömmliche, nicht speziell für diesen Einsatz entwickelte Leuchtmittel, verwendet, bei denen Angaben über die für die Assimilation wichtige Strahlung fehlen. Dies spiegelt sich auch in den Tabellen 4 bis 6 wieder, für die die Werte teilweise berechnet werden mussten (Angaben in Klammern). Die meisten herkömmlichen Leuchtmittel werden nach der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges in photometrischen Einheiten beschrieben (Lumen oder Lux). So erkennt der Mensch, mit seinen Rezeptoren im blauen, grünen und roten Bereich des Strahlungsspektrums, die elektromagnetische Strahlung in einem Wellenlängenbereich zwischen 380 nm und 780 nm. Die maximale Empfindlichkeit des menschlichen Auges liegt bei 555 nm für das Tagsehen (DIN 5031 1982). Die hiernach bewertete Strahlungsleistung, die von einer künstlichen Strahlungsquelle ausgeht, ist der Lichtstrom, gemessen in Lumen [lm]. Die Beleuchtungsstärke gibt den auf einer Fläche auffallenden Lichtstrom im Verhältnis zur bestrahlten Fläche an und wird in Lux [lx] gemessen ($1 \text{ lx} = 1 \text{ lm m}^{-2}$). Die Lichtausbeute eines Leuchtmittels beschreibt die Umwandlung der elektrischen Leistung [W] einer Strahlungsquelle in den Lichtstrom. Die Ausbeute des Lichtstroms aus einem Watt zugeführter elektrischer Leistung wird in der Einheit [lm W^{-1}] angegeben. Die photometrischen Einheiten und die dazu äquivalenten Einheiten basierend auf der PAR sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Das menschliche Auge bewertet die Strahlung im blauen und roten Wellenlängenbereich, also am Rand des für den Menschen sichtbaren Bereichs, geringer als die Strahlung im grünen Wellenlängenbereich. Diese starken Unterschiede in der Gewichtung gibt es bei der PAR

nicht, weshalb Lichtstrom- und PPF-Angaben nicht miteinander vergleichbar sind und durch die unterschiedliche, wellenlängenabhängige Bewertung auch nicht allgemein auf die jeweils andere Einheit rückgeschlossen werden kann. Deshalb gibt es für unterschiedliche Leuchtmittel, aufgrund verschiedener Strahlungsspektren, auch spezifische Umrechnungsfaktoren (siehe Kapitel 4). Dies zeigt sich beispielsweise in Tabelle 4 bei Philips Master Green Power 600 W und 1000 W. Hier steigt die photosynthetische Photonenflussausbeute eines Leuchtmittels und die Lichtausbeute verringert sich.

Die im Arbeitsblatt aufgeführten Informationen beziehen sich auf die einzelnen Lampen (Leuchtmittel). Die Anschlussleistung einer Leuchte, unter Berücksichtigung von benötigten Vorschaltgeräten bzw. elektrischen Baugruppen, ist höher als die der einzelnen Leuchtmittel, wodurch die Werte der in den Tabellen dargestellten photosynthetischen Photonenflussausbeuten und die der Lichtausbeuten der Lampen geringer sind als die der eigentlich zum Einsatz kommenden Leuchten.

Beispiel:

Die Anschlussleistung einer nicht gedimmten 58-W-Leuchtstofflampe beträgt ca. 70 W.

3 Anwendungsbereiche der Pflanzenbelichtung

Reicht die Intensität der Strahlung, also die photosynthetische Photonenflussdichte, für die Pflanzenkultur im Gewächshaus in der Zeit zwischen September und März nicht aus oder steht wie in Kulturkammern kein natürliches Sonnenlicht zur Verfügung, werden die Pflanzen mit einer Assimilationsbelichtung (zusätzlich) belichtet. Wie hoch die photosynthetische Photonenflussdichte auf der Fläche sein sollte, hängt von der Anwendung und der jeweiligen Kultur ab, da Pflanzen unterschiedliche Ansprüche haben. Daraus kann sich auch die Dauer der Belichtung ergeben, die eingehalten werden muss, um die benötigte Strahlungsmenge zu erhalten. Pflanzen mit einem hohen Strahlungsbedarf, wie z.B. Kakteen oder *Rosa* Hybriden müssen entweder mit stärkeren Strahlungsquellen oder erheblich länger belichtet werden als eine Pflanze mit niedrigerem Strahlungsbedarf. Haben Pflanzen einen niedrigen Strahlungsbedarf reicht eine photosynthetische Photonenflussdichte zwischen 10 und 30 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aus. Bei mittlerem Strahlungsbedarf benötigen die Pflanzen 30 bis

Tab. 1: Einheitenvergleich basierend auf der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) und auf der Hellempfindlichkeit des menschlichen Auges

Bewertung der elektromagnetischen Strahlung...	Einheiten basierend auf der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR)	Entsprechende photometrische Einheiten
...emittiert durch eine Strahlungsquelle.	photosynthetischer Photonenfluss (PPF) $\mu\text{mol s}^{-1}$	Lichtstrom lm
..., die auf eine Fläche auftrifft.	photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD) $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	Beleuchtungsstärke $\text{lx} = \text{lm m}^{-2}$
..., die aus einem Watt zugeführter Leistung erzielt wird.	photosynthetische Photonenflussausbeute (PFA) $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1} = \mu\text{mol J}^{-1}$	Lichtausbeute lm W^{-1}

50 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ und bei hohem Bedarf bis 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Eine weitere Steigerung der photosynthetischen Photonenflussdichte führt zu keinem vorteilhafteren Effekt, da sich die Photosyntheseleistung langsam einem oberen Grenzwert, dem Sättigungspunkt, nähert, der bei vielen Pflanzenarten bei ungefähr 200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ liegt. Eine weitere Steigerung der photosynthetischen Photonenflussdichte hat dann eher negative Auswirkungen auf diese Pflanzen, wie Verbrennungsschäden, Blattaufwölbungen oder Verhärtungen des Gewebes.

Als Zusatzbelichtung zur Steigerung der photosynthetischen Photonenflussdichte im Gewächshaus werden überwiegend Leuchten mit Hochdruck-Natriumdampflampen (NDL) oder auch Metallhalogen-Dampflampen (MHDL) eingesetzt. Für die Assimilationsbelichtung in Gewächshäusern und in der In-vitro-Kultur ist vor allem die Leuchtstofflampe zu nennen. Leuchten mit Licht emittierenden Dioden (LED) sind mittlerweile für beide Anwendungsgebiete erhältlich. In diesem Bereich ist eine schnelle Entwicklung zu beobachten.

Anmerkung:

Leuchten = Gehäuse mit Fassung, Lampe, ggf. Reflektor, ggf. Vorschaltgerät

Lampen = Leuchtmittel, künstliche Licht- und Strahlungsquelle

Zur photoperiodischen Belichtung können auch die Leuchtmittel eingesetzt werden, die als Assimilationsbelichtung Verwendung finden. Dabei werden oft Leuchtmittel mit einem hohen, kurzwelligen Infrarot-Anteil bevorzugt. In Frage kommen hierfür herkömmliche Glühlampen, teilweise mit eingefärbten Gläsern, um den Blauanteil zu erhöhen, spezielle Glühlampen (z.B. Superlux Agro Pro 150 W, Philips Flower-Power Lampe 100 W), aber auch Gasentladungslampen (Hochdruck-Natriumdampflampen, Leuchtstofflampen, Kompaktleuchtstofflampen (Energiesparlampen)). Die Hochdruck-Natriumdampflampe hat eine sehr hohe Strahlungsleistung und wird daher selten zur photoperiodischen Belichtung eingesetzt, da für einen Effekt durch die photoperiodische Belichtung eine nur geringe photosynthetische Photonenflussdichte ($< 5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) notwendig ist. Leistungsstarke Leuchtmittel müssen für diesen Einsatzzweck sehr hoch im Kulturraum installiert und mit einem sehr weit streuenden Reflektor versehen werden. Auch Leuchten mit LEDs werden mittlerweile für die photoperiodische Belichtung (z.B. Philips Green Power LED flowering) angeboten. Ausführliche Informationen über die photoperiodische Belichtung sind im AEL Merkblatt 27 „Photoperiodische Pflanzenbelichtung“ (CREMER et al. 1998) aufgeführt.

4 Umrechnung der unterschiedlichen Einheiten

Oft fehlen bei den Leuchtmitteln Angaben, die sich auf die photosynthetisch aktive Strahlung beziehen. Dabei lassen sich die allgemein gängigen Angaben des Lichtstroms (Lumen) nicht mit einem allgemeinen Faktor in die photosynthetische Photonenflussdichte umrechnen. Der Um-

rechnungsfaktor hängt von dem Strahlungsspektrum des Leuchtmittels ab. Mithilfe der Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 2 lassen sich die in Tabelle 3 aufgeführten Umrechnungen durchführen. Dennoch können selbst kleine Veränderungen in den Emissionsspektren, wie z.B. eine speziell für die Pflanzenbelichtung entwickelte Hochdruck-Natriumdampflampe, eine herkömmliche Hochdruck-Natriumdampflampe oder eine warm- und kaltweiße Leuchtstofflampe, zu einer Änderung des Umrechnungsfaktors führen. Aus diesem Grund können die tatsächlichen Werte auch von den hier berechneten Werten abweichen.

Tab. 2: Umrechnungsfaktoren von Strahlungsintensitäten (Elsner 2004)

Strahlungsquelle	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ je $W_{\text{PAR}} \text{ m}^{-2}$	lx oder lm je $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Tageslicht	4,57	54
Blauer Himmel	4,24	52
Hochdruck-Natriumdampflampe	4,95	82
Metallhalogen-Dampflampe	k. A.	71
Leuchtstofflampe, warmweiß	4,67	76
Leuchtstofflampe, kaltweiß	4,59	74

Beispielrechnungen

Der Lichtstrom einer Hochdruck-Natriumdampflampe ist vom Hersteller mit einem Lichtstrom von 50 000 lm angegeben. Der photosynthetische Photonenfluss (PPF) kann nach der entsprechenden Formel (Tab. 3) und dem leuchtmittelspezifischen Umrechnungsfaktor aus Tabelle 2 berechnet werden:

$$\text{PPF} = \frac{50\,000 \frac{\text{lm}}{\frac{\text{lm}}{\mu\text{mol s}^{-1}}}}{82 \frac{\text{lm}}{\mu\text{mol s}^{-1}}} \approx 610 \mu\text{mol s}^{-1}$$

Wird die Beleuchtungsstärke (z.B. 7 380 lx) unter einer Hochdruck-Natriumdampflampe auf dem Gewächshaus gemessen, kann die photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD) mit dem gleichen Umrechnungsfaktor bestimmt werden:

$$\text{PPFD} = \frac{7\,380 \frac{\text{lx}}{\frac{\text{lx}}{\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}}}}{82 \frac{\text{lx}}{\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}}} = 90 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$$

Soll die Beleuchtungsstärke aus einer Messung der PPFD (z.B. 40,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) unter einer kaltweißen Leuchtstofflampe berechnet werden, wird der entsprechende Umrechnungsfaktor (Tab. 2) mit dem gemessenen PPFD-Wert multipliziert:

$$\text{Beleuchtungsstärke} = 40,5 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \cdot 74 \frac{\text{lx}}{\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}} \approx 3\,000 \text{ lx}$$

5 Leuchtmittel

Gasentladungslampen

Die Hochdruck-Natriumdampflampen (NDL), die Metallhalogen-Dampflampen (MHDL) und die Leuchtstofflampen (LSL) gehören zu den Gasentladungslampen. Bei ih-

Tab. 3: Berechnungen unterschiedlicher Kennwerte mithilfe von Herstellerangaben

Berechnung	Einheit	Formel
Photosynthetischer Photonenfluss (PPF)	$[\mu\text{mol s}^{-1}]$	$\text{PPF} = \frac{\text{Lichtstrom [lm]}}{\text{Umrechnungsfaktor [lx] oder [lm } \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]}$
Photosynthetische Photonenflussdichte (PPFD)	$[\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$	$\text{PPFD} = \frac{\text{Beleuchtungsstärke [lx]}}{\text{Umrechnungsfaktor [lx] oder [lm } \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]}$
Lichtstrom	[lm]	$\text{Lichtstrom} = \text{PPF } [\mu\text{mol s}^{-1}] \cdot \text{Umrechnungsfaktor [lx] oder [lm } \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$
Beleuchtungsstärke	[lx]	$\text{Beleuchtungsstärke} = \frac{\text{PPFD } [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}] \cdot \text{Umrechnungsfaktor [lx] oder [lm } \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]}{\text{PPFD } [\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]}$
Photosynthetische Photonenflussausbeute (PFA)	$[\mu\text{mol s}^{-1} \text{ W}^{-1}]$	$\text{PFA} = \frac{\text{PPF } [\mu\text{mol s}^{-1}]}{\text{elektrische Leistung [W]}}$
Lichtausbeute	$[\text{lm W}^{-1}]$	$\text{Lichtausbeute} = \frac{\text{Lichtstrom [lm]}}{\text{elektrische Leistung [W]}}$

nen fließt Strom durch ein Gas in einem Glasrohr, wodurch Strahlung erzeugt wird. Bei der Hochdruck-Natriumdampflampe und der Metallhalogen-Dampflampe befindet sich das Glasrohr mit dem Gas (Brennrohr) zusätzlich in einem Glaskolben. Gasentladungslampen benötigen Vorschaltgeräte mit Zünder, welche zu Betriebsbeginn die Lampe zünden und eine konstante Spannung gewährleisten. Teilweise sind die Lampen über ein elektronisches Vorschaltgerät (EVG) dimmbar. Vor allem die Hochdruck-Natriumdampflampen und die Metallhalogen-Dampflampen benötigen nach dem Zünden einige Minuten bis sie die volle Strahlungsleistung erreicht haben.

Hochdruck-Natriumdampflampe (NDL)

Die Hochdruck-Natriumdampflampen fallen durch ihre gelbliche Lichtfarbe auf. Die Strahlung wird überwiegend im grüngelben und im roten Wellenlängenbereich erzeugt. Das Strahlungsspektrum ist bei der Hochdruck-Natriumdampflampe teilweise speziell für die Pflanzenbelichtung

optimiert. Sie haben eine hohe Strahlungsleistung und verfügen über eine gute Photonenflussausbeute (Tab. 4). Sie sind in Ausführungen ab 50 W bis über 1000 W in Röhren- oder Ellipsoidform erhältlich. Im Gewächshaus werden überwiegend Ausführungen mit 400 und 600 W und teilweise mit 250- und 1000-W-Ausführungen in Röhrenform verwendet. Das Vorschaltgerät mit Zündung befindet sich in einem Gehäuse mit Halterung für die Lampe und einem über der Lampe liegenden Reflektor aus Aluminium (Abb. 2). Die Lebensdauer, also die Zeit bis die Strahlungsleistung einer Lampe unter 90 % des Ausgangswertes fällt, liegt nach Herstellerangaben zwischen 8000 und 13000 Stunden.

Metallhalogen-Dampflampe (MHDL)

Die Metallhalogen-Dampflampen emittieren den höchsten Anteil der Strahlung im grünen und roten Wellenlängenbereich. Im Gegensatz zu den Hochdruck-Natriumdampflampen wird auch im violetten und blauen Wellenlängenbereich Strahlung emittiert. Dadurch erscheint das Licht neben rötlich scheinenden Hochdruck-Natriumdampflampen bläulich-kalt und wird als tageslichtähnlich beschrieben. Für Anwendungen im Gartenbau werden überwiegend Leuchten mit Leistungen von 250 und 400 W angeboten (Tab. 5). Zwar wurden keine Metallhalogen-Dampflampen speziell für die Anwendung im Unterglasanbau konzipiert, sie finden aber trotzdem Anwendung als Assimilationsbelichtung. Oft werden sie in Kombination mit Hochdruck-Natriumdampflampen verwendet. Die Lebensdauer der Lampen liegt unterhalb der von Hochdruck-Natriumdampflampen und wird mit etwa 7000 bis 10000 Stunden angegeben. Bei den Metallhalogen-Dampflampen, ebenso wie bei der Hochdruck-Natriumdampflampe, sind die Quarztechnologie und die neuere Keramiktechnologie zu unterscheiden. Der Unterschied liegt dabei in den



Abb. 2: Leuchte mit Reflektor und Vorschaltgerät
(Quelle: Fa. DHLicht 2012)

Tab. 4: Herstellerangaben und mit den Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 2 berechnete Kennwerte (Werte in Klammern) für Hochdruck-Natriumdampflampen

Hersteller	Lampe	Elektrische Leistung W	Photonenfluss $\mu\text{mol s}^{-1}$	Photonenflussausbeute $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm W^{-1}
GE Lighting	LucaloxTM PSL ¹⁾	420	725	1,7	56 500	135
	LucaloxTM PSL ¹⁾	615	1 100	1,8	90 000	146
	LucaloxTM PSL ¹⁾	755	1350	1,8	112 000	148
	LucaloxTM	600	(1 098)	(1,8)	90 000	150
Osram	Plantastar®250W inter ¹⁾	250	420	1,68	33 200	133
	Plantastar®400W ¹⁾	400	725	1,8	56 500	141
	Plantastar®600W ¹⁾	600	1 100	1,8	90 000	150
	Vialox NAV-T	400	(689)	(1,7)	56 500	141
	Vialox NAV-T	600	(1 098)	(1,8)	90 000	150
Philips	MASTER Green Power CG T ¹⁾	400	725	1,8	58 500	146
	MASTER Green Power CG T ¹⁾	600	1 100	1,8	88 800	148
	MASTER Green Power Plus 1000W EL ¹⁾	1 000	2 020	2,02	135 000	135
	MASTER Agro T ¹⁾	400	660	1,65	55 000	138
	MASTER SON-T Pia Plus	250	(412)	(1,6)	33 800	135
	MASTER SON-T Pia Plus	400	(688)	(1,7)	56 400	141
	MASTER SON-T Pia Plus	600	(1 098)	(1,8)	90 000	150
Sylvania	SHP-TS Grolux ¹⁾	265	425	1,6	(34 850)	132
	SHP-TS Grolux ¹⁾	425	713	1,7	(58 450)	138
	SHP-TS Grolux ¹⁾	615	1 100	1,8	(90 200)	147
	SHP-TS Super	255	(407)	(1,6)	33 400	131
	SHP-TS Super	400	(689)	(1,7)	56 500	141
	SHP-TS Super	600	(1 098)	(1,8)	90 000	150

¹⁾ Speziell für die Pflanzenbelichtung entwickelte Hochdruck-Natriumdampflampe.
 Aufgeführte Lampen sind in Ausführungen für 230 V, teilweise auch für 400 V erhältlich.
 Quellen: Herstellerangaben von GE Lighting, Osram, Philips, Sylvania.
 Ähnliche Lampen sind auch von anderen Herstellern erhältlich.

Tab. 5: Herstellerangaben und mit den Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 2 berechnete Kennwerte (Werte in Klammern) für Metallhalogen-Dampflampen

Hersteller	Lampe	Elektrische Leistung W	Photonenfluss $\mu\text{mol s}^{-1}$	Photonenflussausbeute $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm W^{-1}
GE Lighting	ARC/T/H	250	(268)	(1,1)	19 000	76
Philips	MASTER HPI-T Plus ¹⁾	400	540	1,35	38 000	95
	MASTER HPI-T Plus ²⁾	400	490	1,225	35 000	80
Osram	HQI-T/N/SI	250	(279)	(1,1)	19 800	79
	HQI-T/N/SI	400	(465)	(1,2)	33 000	83
Sylvania	HSI-THX	250	(282)	(1,1)	20 000	78
	HSI-THX	400	(507)	(1,3)	36 000	90

¹⁾ An SON-T Vorschaltgerät. ²⁾ An HPI-Vorschaltgerät.
 Quellen: Herstellerangaben von GE Lighting, Osram, Philips, Sylvania. Ähnliche Lampen sind auch von anderen Herstellern erhältlich.

Tab. 6: Herstellerangaben und mit den Umrechnungsfaktoren aus Tabelle 2 berechnete Kennwerte (Werte in Klammern) für Leuchtstofflampen

Hersteller	Lampe	Elektrische Leistung W	Photonenfluss $\mu\text{mol s}^{-1}$	Photonenfluss- ausbeute $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$	Lichtstrom lm	Lichtausbeute lm W^{-1}
GE Lighting	F40PL/AQ/ECO ¹⁾	40	26	0,7	1 900	48
	Polylux XLR	36	(45)	(1,3)	3 350	93
	Polylux XLR	58	(70)	(1,2)	5 200	90
	covRguard	36	(44)	(1,2)	3 250	90
	covRguard	58	(68)	(1,2)	5 050	87
Osram	Fluora ¹⁾	36	(19)	(0,5)	1 400	39
	Fluora ¹⁾	58	(31)	(0,5)	2 250	39
	Lumilux T8	36	(42)	(1,2)	3 100	86
	Lumilux T8	58	(70)	(1,2)	5 200	90
Philips	Master TL-D Super 80	36	(45)	(1,3)	3 350	93
	Master TL-D Super 80	58	(71)	(1,2)	5 240	90
	Master TL-D Reflex	36	47	1,3	3 350	93
	Master TL-D Reflex	58	73	1,3	5 240	90
	Master TL-D Secura	36	45	1,3	3 200	89
	Master TL-D Secura	58	70	1,2	5 000	86
Sylvania	Grolux ¹⁾	36	(19)	(0,5)	1 400	39
	Grolux ¹⁾	58	(35)	(0,6)	2 500	43
	Luxline Plus	36	(45)	(1,3)	3 350	93
	Luxline Plus	58	(70)	(1,2)	5 200	90
	Luxline Plus Reflektor	58	(70)	(1,2)	5 200	90
	Luxline Plus Splitterschutz	36	(43)	(1,2)	3 180	88
	Luxline Plus Splitterschutz	58	(67)	(1,2)	4 940	90

¹⁾ Speziell für die Pflanzenbelichtung entwickelte Leuchtstofflampe.

Quellen: Herstellerangaben von GE Lighting, Osram, Philips, Sylvania. Ähnliche Lampen sind auch von anderen Herstellern erhältlich.

Materialien für das Brennrrohr. Auf der Keramiktechnologie basierende Lampen sind meist langlebiger und haben eine höhere Farbstabilität. Weiterhin kann die Photonenflussausbeute durch die neuere Technologie erhöht werden.

Leuchtstofflampe (LSL)

Leuchtstofflampen gibt es in unterschiedlichen Formen und mit unterschiedlichen elektrischen Leistungen. Sie gehören zu den Niederdruck-Gasentladungslampen und sind innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet. Zur Belichtung von Kulturkammern werden Leuchtstofflampen in Röhrenform mit einem Durchmesser von 16 mm (T5) und 26 mm (T8) in unterschiedlichen Längen und dementsprechend unterschiedlichen elektrischen Leistungen verwendet. Allen voran sind die T8 Leuchtstofflampen mit 58 W (1 500 mm) und 36 W (ca. 1 200 mm) die am häufigsten anzutreffenden Ausführungen. Leuchtstofflampen sind meist als warmweiß, neutralweiß oder

kaltweiß leuchtende Lampen erhältlich, aber auch in speziell für die Pflanzenbelichtung entwickelten Ausführungen. Diese weisen dann einen höheren Anteil im blauen und roten Spektralbereich gegenüber herkömmlichen Leuchtstofflampen auf. Allerdings werden für die Pflanzenbelichtung in den Kulturkammern und den Regaletagen der In-vitro-Kultur öfter herkömmliche Lampen verwendet, da die Kosten für Speziallampen teilweise wesentlich höher sind. Überwiegend werden kaltweiße Leuchtstofflampen in Kulturkammern eingesetzt, oft, weil sie die höchste Lichtausbeute erzielen. Es werden jedoch auch, je nach zu belichtender Kultur, warmweiße oder neutralweiße Leuchtstofflampen verwendet. Für die bessere Ausnutzung der von der Leuchtstofflampe emittierten Strahlung empfiehlt sich der Einsatz von Reflektoren über den Leuchtstofflampen, damit die nach oben ausgehende Strahlung nach unten zu den Pflanzen reflektiert wird. Es sind auch Leuchtstofflampen mit einem innen liegenden Reflektor erhältlich (z. B. Philips Master TL-D Reflex, Syl-

vania Luxline Plus Reflektor; Tab. 6). Die Lebensdauer von Leuchtstofflampen wird mit 10 000 bis zu 14 000 Stunden angegeben.

Licht emittierende Diode (LED)

Licht emittierende Dioden (engl.: light emitting diode) sind Halbleiterbauelemente, bei denen der Chip aus Halbleitermaterialien besteht. Beim Anlegen einer Spannung und des entstehenden Stromflusses wird Strahlung in einer vom Halbleitermaterial abhängigen Wellenlänge emittiert (Elektrolumineszenz). Diese kann im Wellenlängenbereich der UV-Strahlung, der sichtbaren Strahlung (VIS) oder im nahen Infrarot (NIR) liegen. LEDs zeichnen sich durch sehr schmale Emissionsspektren aus und sind in unterschiedlichen Farben und Weißtönen erhältlich. Dementsprechend vielfältig sind auch die Angebote an Leuchten. LEDs sind für Anwendungen im Gewächshaus, wie die Assimilationsbelichtung, die photoperiodische Belichtung und die Belichtung im Pflanzenbestand (intercrop lighting, Abb. 3) sowie in Kulturkammern erhältlich und werden aus unterschiedlichen Farben in einem bestimmten Verhältnis zusammengesetzt.

Die hohe Photonenflussausbeute und die lange Lebensdauer machen sie zu einem interessanten und innovativen Leuchtmittel. Die Lebensdauer einzelner LEDs wird mit bis zu 50 000 Stunden angegeben, die von LED-Leuchten mit bis zu 25 000 Stunden. Die photosynthetische Photonenflussausbeute von roten LEDs reicht derzeit bis $2,0 \mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$ und liegt damit höher als die von Hochdruck-Natriumdampflampen. Blaue LEDs liegen derzeit etwas über $1,0 \mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$. Kaltweiße LEDs liegen zwischen den Werten der blauen und der roten LEDs. Durch die Entwicklung der LEDs wird die PFA von grünen und orangen LEDs in den Wertebereich der blauen LEDs angehoben.

Die hohen Preise und die für die Assimilationsbelichtung im Gewächshaus zu geringe Strahlungsleistung sind von Nachteil. Um bei LED-Leuchten hohe Leistungen zu erzielen, müssen sehr viele LEDs in einer Leuchte untergebracht werden. Dabei spielen die Leuchtengröße (Beschattung) und das Temperaturmanagement (Wärmeabfuhr), welches sich auf die Lebensdauer und die Photonenflussausbeute auswirkt, eine wichtige Rolle. Um eine mit einer NDL-Leuchte vergleichbare photosynthetische Photonenflussdichte zu erzielen, müssen meist mehrere LED-Leuchten eingesetzt werden, die bereits einzeln wesentlich teurer sind als eine NDL-Leuchte. Derzeit sind die LED-Leuchten für diese Anwendung mit einem Stückpreis von 1.000 € einzuordnen. Eine ökonomisch lohnenswerte Stromeinsparung ist bei der Assimilationsbelichtung im Gewächshaus mit LEDs derzeit nicht möglich. In Kulturräumen mit Regaletagen, also in der In-vitro-Kultur, bei der der Abstand zwischen Leuchte und Pflanze sehr gering ist, können LEDs schon heute zur Energieeinsparung beitragen. Dennoch machen auch hier die hohen Preise einen ökonomisch sinnvollen Einsatz fraglich.

Das optimale Strahlungsspektrum der Leuchte (Strahlungsqualität), das durch die Zusammenstellung unterschiedlicher LED-Typen und die Einstellmöglichkeiten der vielen Farbverhältnisse durch eine einfache Dimmung der



Abb. 3: Einsatz einer LED-Beleuchtung im Pflanzenbestand (intercrop lighting) (Quelle: Fa. DHLicht 2012)

einzelnen LED-Typen erzielt werden kann, stellt eine große Herausforderung dar. Das optimale Strahlungsspektrum ist pflanzenartspezifisch und kann sogar sortenabhängig sein. Durch die Vielfältigkeit der möglichen Strahlungsspektren der Leuchten kann hier kein allgemeiner Umrechnungsfaktor genannt werden. Dementsprechend gibt es bereits viele LED-Leuchten auf dem Markt, bei denen unterschiedliche Ausführungen mit verschiedenen Kombinationen der LED-Typen vorhanden sind oder bei denen die LED-Typen nach Wunsch zusammengestellt werden. Wie auch bei den anderen Leuchtmitteln sind die Herstellerangaben nicht einheitlich und deshalb teilweise nur schwer vergleichbar (Tab. 7).

Ein ökonomisch sinnvoller Einsatz der LEDs wird durch ihre Weiterentwicklung, durch steigende Photonenflussausbeuten, sinkende Preise und Untersuchungen zu den optimalen Strahlungsqualitäten mittelfristig möglich sein.

6 Installation und Kosten

Die Leuchten- und Kabelinstallationen müssen fach- und sachgerecht entsprechend den einschlägigen gesetzlichen Vorschriften und Normen ausgeführt werden. Bei anschlussfertigen Komplett-Sets gibt es kaum Probleme, andere Installationen werden über vom VDE zugelassene Installateure durchgeführt. Zum Schutz vor Berührungen, Fremdkörpern und Wasser müssen die entsprechenden Schutzarten nach DIN 40050-9 (1993) und DIN EN 60529 (2000); VDE 0470-1:2000-09 berücksichtigt werden.

Bei Einsetzen oder dem Austausch von Lampen ist auf die elektrische Leistung (Watt-Angabe), auf das entsprechende Vorschaltgerät und die Fassung zu achten. Überwiegend benötigen die Leuchten elektrische Betriebsgeräte, die nur für einen bestimmten Lampentyp mit festgelegter Leistungsaufnahme geeignet sind. Die meisten Belichtungsinstallationen sind über einen Regelcomputer bedien- und regelbar, um die benötigte photosynthetische Photonenflussdichte und Belichtungsdauer an die Kulturbedürfnisse anpassen und Regelstrategien leicht umsetzen zu können.

Die Kosten für eine Lampe oder Leuchte können je nach Hersteller, Lampenausführung (Speziallampe zur

Tab. 7: Beispiele von LED-Leuchten für den Einsatz im Gartenbau. Die Zusammenstellung wurde auf Grundlage der zur Verfügung stehenden Informationen ausgearbeitet und gibt keine Wertung ab. Viele LED-Leuchten mussten aufgrund des vielseitigen Angebots auf dem Markt und unzureichender Informationen außer Acht gelassen werden.

Hersteller	Leuchte	Elektrische Leistung W	Verwendete LED-Typen	Weitere Herstellerangaben
AIBC International Inc.	600WRB0-660	600	B / O / R	650 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bei 50 cm Abstand
Growl LED Inc.	LED Grow Plant Screw-In Lamp	300	R / B / O	12 000 lm
Guangzhou Londeed Opto Co., Ltd.	High Powerful 600w led grow light	600	B / R Verhältnis 2:8	20 160 lm
Lux Lighting Co., Ltd	LED Grow Lights	7-576	Variabel: B / G / O / R / W	17 280 lm, 5 800 lx bei 1 m Abstand
Market Smart, Inc.	Extreme Flower LED	360	B / R / DR	12 500 lm, 16 m ² Ausleuchtung
Philips	GreenPower LED module	10-14	B / R / DR	10 μmol pro Modul bei 50 cm Abstand (1,0 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$)
	Green Power LED ProductionDR/B 120 LO	20	B / DR	31 μmol bei 50 cm Abstand (1,55 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$)
	GreenPower LED interlighting module	114	DR / B	220 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ bei 50 cm Abstand (1,92 $\mu\text{mol s}^{-1} \text{W}^{-1}$)
Sunshine Systems, LLC	GrowPanel Pro	300	B / R / DR	45,06 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ direkt unter Leuchte bei 1 m Abstand

B = blau, O = orange, R = rot, G = grün, W = weiß, DR = dunkelrot

Quellen: Herstellerangaben. Ähnliche Leuchten sind auch von anderen Herstellern erhältlich.

Pflanzenbelichtung, elektrische Leistung), Schutzklasse und Qualität, sowie Auftragsvolumen (Anzahl zu installierender Leuchten) und Angebot des Verkäufers stark variieren. Dabei liegen die Kosten für eine NDL und MHDL im Bereich von 20 bis 70 €, entsprechende Leuchten mit Vorschaltgerät und Reflektor zwischen 150 und 380 €. Die Leuchtstofflampen sind zwischen 3 und 20 € erhältlich, die Leuchten liegen bei 25 bis 60 €. Bei den LED-Leuchten schwanken die Preise erheblich und fangen bei etwa 100 € als Ersatz für eine Leuchtstofflampe an und reichen für die Assimilationsbelichtung im Gewächshaus bei einer Leuchte mit mindestens 300 W bis über 1.000 € pro Leuchte.

Für eine sinnvolle Berechnung der Wirtschaftlichkeit der für die Pflanzenbelichtung eingesetzten Leuchten sind unter anderem die Investitionskosten, der Stromverbrauch und die Lebensdauer der Leuchtmittel zu beachten. Natürlich muss vor allem auf die Eignung für die jeweilige Pflanzenkultur geachtet werden, da sonst z.B. ein geringerer Ertrag oder geringeres Wachstum die Wirtschaftlichkeit stark verringern kann.

Aus vermeintlichen Sparsamkeitsgründen werden Lampen häufig über ihre empfohlene Betriebsstundenzahl hinaus benutzt. Dies ist sehr ineffizient, da für die verbrauchte (und bezahlte) elektrische Kilowattstunde weniger Licht erzeugt wird. Darüber hinaus starten die Gasentladungslampen dann verzögert oder gar nicht. Da der Starter/das Vorschaltgerät die Lampe jedoch zünden will,

erfolgt der stromintensive Zündvorgang häufig hintereinander und führt zur Überhitzung. Die Folge kann eine Zerstörung des Leuchtengehäuses sein, wodurch die heiße Leuchte abstürzen und darunter befindliche Materialien in Brand setzen kann.

7 Zusammenfassung

Die Leuchtmittel sollten nach Anwendungsbereich der Belichtung und den Kulturansprüchen ausgewählt werden. Hochdruck-Natriumdampflampen werden überwiegend zur Assimilationsbelichtung in den Gewächshäusern verwendet und Leuchtstofflampen in Kulturkammern. Viele Informationen über die Kulturansprüche hinsichtlich der Belichtung (z.B. photosynthetische Photonenflussdichte, geeignetes Leuchtmittel) können meist bei Jungpflanzenunternehmen und Züchtern erfragt werden. Die Informationen in diesem Arbeitsblatt helfen bei fehlenden Angaben die vorhandenen Daten in die PAR bezogenen Einheiten umzurechnen und so vergleichbarer zu machen.

Bei Angaben zur Anschlussleistung kann die photosynthetische Photonenflussausbeute der kompletten Leuchte berechnet werden (Tab. 3). Gehäuse mit geeigneten Reflektoren für die Pflanzenbelichtung, die eine gute Strahlungsverteilung auf der zu belichtenden Fläche ermöglichen, sind für die jeweiligen Leuchtmittel und in ausreichender Menge auf dem Markt vorhanden.

Literatur

CIE 106/8 (1993): Terminology of photosynthetically active radiation for plants. CIE Collection in Photobiology and Photochemistry (CIE 106-1993)

CREMER, D., DOMKE, O., KÄMPER, H. (1998): Photoperiodische Pflanzenbelichtung. AEL Merkblatt 27. Arbeitsgemeinschaft für Elektrizitätsanwendung in der Landwirtschaft e.V. AEL, Berlin

DIN 40 050-9 (1993): Straßenfahrzeuge; IP-Schutzarten; Schutz gegen Fremdkörper, Wasser und Berühren; Elektrische Ausrüstung. Ausgabedatum: 1993-05, Beuth-Verlag, Berlin

DIN 5031 (1982): Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik. Beuth-Verlag, Berlin

DIN EN 60529; VDE 0470-1:2000-09 (2000): Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code) (IEC 60529:1989 + A1:1999); Deutsche Fassung EN 60529:1991 + A1:2000

GEORGE, E. F.; HALL, M. H.; DE KLERK, G.-J. (2008): Plant propagation by tissue culture. 3rd edition. Springer Verlag, New York, 1-64; pp. 423-464

VON ELSNER, B. (2004): Grundlagen, Messung und Regelung von Wachstumsfaktoren - Optische Strahlung - Wärmestrahlung. Vorlesungsskript, Leibniz Universität Hannover

Herstellerangaben von GE Lighting, Osram, Philips, Sylvania

Weiterführende Literatur

EG-Verordnung 244/2009 (2009): Verordnung zur Durchführung der Richtlinie 2005/32/EG des Europäischen Parlaments und des Rates im Hinblick auf die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Haushaltslampen mit ungebündeltem Licht, Amtsblatt der Europäischen Union

JANSEN, D. (2001): Licht in der Innenraumbegrünung. KTBL-Arbeitsblatt 700. KTBL, Darmstadt

MASSA, G. D.; EMMERICH, J. C.; MORROW, R. C.; BOURGET, C. M.; MITCHELL, C. A. (2006): Plant-growth lighting for space life support: a review. Gravitational and Space Biology 19(2), pp. 19-29

MCCREE, K. J. (1972): The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. Agric. Meteorol. 9, pp. 191-216

MCCREE K. J. (1972): Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. Agric. Meteorol., 10, pp. 443-453

MORROW, R. C. (2008): LED lighting in horticulture. Hort-Science 43(7), pp. 1947-1950

OHNO, Y. (1999): OSA Handbook of Optics. Vol. III Visual Optics and Vision Chapter for Photometry and Radiometry. Optical Technology Division, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, USA, pp. 3-9

ÖKO-DESIGN-RICHTLINIE 2009/125/EG (2009): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Oktober 2009 zur Schaffung eines Rahmens für die Festlegung von Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte. Amtsblatt der Europäischen Union

PROFESSIONAL LIGHTING (2010): Professional Lighting - Licht der neuen Generation. Produktbroschüre, DHLicht GmbH, Wülfrath

Glossar

CIE = internationale Beleuchtungskommission mit Sitz in Wien. Sie wurde eingerichtet zur weltweiten Zusammenarbeit und zum Informationsaustausch in allen Bereichen der Licht- und Photobiologiewissenschaften.

EVG = elektronisches Vorschaltgerät. Das EVG betreibt die Gasentladungslampe mit höherer Frequenz; typisch für Leuchtstofflampen sind 32 bis über 40 kHz. Die Lampe erreicht durch ein EVG einen höheren Wirkungsgrad und flackert nicht.

NIR = nahes Infrarot. Als nahes Infrarot wird jener Bereich des elektromagnetischen Spektrums bezeichnet, der sich in Richtung größerer Wellenlängen an das sichtbare Licht anschließt. Dieser Bereich des Infrarotlichts erstreckt sich von 780 nm bis 3 µm.

nm = Nanometer. In der klassischen Elektrodynamik wird Licht als eine hochfrequente elektromagnetische Welle aufgefasst und deshalb in Längeneinheiten gemessen. Im engeren Sinne ist „Licht“ nur der für das menschliche Auge sichtbare Teil des elektromagnetischen Spektrums, also Wellenlängen zwischen ca. 380 und 780 nm.

VDE = Verband der Elektrotechnik, Elektronik und Informationstechnik. Der VDE engagiert sich für ein besseres Innovationsklima, Sicherheitsstandards, für eine moderne Ingenieurausbildung und eine hohe Technikakzeptanz in der Bevölkerung. Der VDE vereint Wissenschaft, Normung und Produktprüfung.

VIS = sichtbares Licht (engl.: visible).

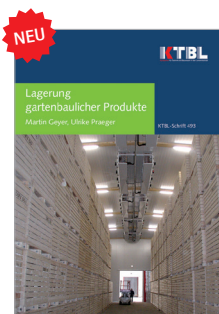
Veröffentlichungen zum Thema Gartenbau



Baumschule

Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen
2012, 268 S., 25 €, Best.-Nr. 19505

Das Buch unterstützt mit Arbeitszeiten, Preisen und Mengen für betriebsindividuelle Kalkulationen die eigene Planung und Erfolgskontrolle in der Baumschulproduktion. Praxisbeispiele helfen beim Einsatz der Kalkulationsdaten. Die dazugehörige Excel-Kalkulationsanwendung ermöglicht es, die Kalkulationstabellen für individuelle Berechnungen betriebspezifisch zu erweitern bzw. anzupassen.



Geyer, M; Praeger, U.

Lagerung gartenbaulicher Produkte

2012, 296 S., 24 €, Best.-Nr. 11493

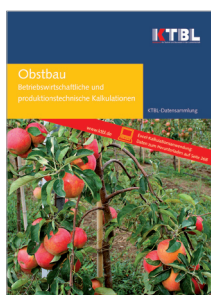
Schwerpunkte der Schrift sind neben der Planung und der maschinellen Ausstattung der Betrieb von Kühllagern und die Beschreibung der Kühlverfahren von der Ernte bis zur Vermarktung. Eine beispielhafte Kältebedarfsrechnung rundet diese Schrift ab.



Containerbaumschule

Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen
2010, 140 S., 24 €, Best.-Nr. 19496

Mit der Datensammlung können Produktionsverfahren speziell für Containerbaumschulen geplant und kalkuliert werden. Ergänzend zur Schrift finden Sie unter www.ktbl.de „Fachinfo“ im Downloadbereich eine Excel-Anwendung für betriebsindividuelle Berechnungen.



Obstbau

Betriebswirtschaftliche und produktionstechnische Kalkulationen
2010, 4. Auflage, 268 S., 25 €, Best.-Nr. 19502

Die Datensammlung bietet produktionstechnische, betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulations- und Planungsdaten von der Neuanlage über die Bestandesführung bis hin zur Lagerung und Vermarktung des Obstes. Für Kern-, Stein- und Beerenobstarten sind Planungsrechnungen exemplarisch aufgeführt.

Bestellservice:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL)
Bartningstraße 49 | 64289 Darmstadt
Tel.: 06151 7001-189 | E-Mail: vertrieb@ktbl.de

➤ **Weitere Angebote
finden Sie unter
www.ktbl.de**