

## **Verfrühung für Steinobst**

-Für Anfänger und Fortgeschrittene

Eigenschaften von Überdachungsmaterial und Kleinklima

Dr.-Ing. Burkhard von Elsner, Sachverständiger für Gartenbautechnik, Hannover

### **Anforderungen an Folienbauten**

Eine Überdachung von Kulturen wird aufgebaut, wenn ein Witterungs-, Regen- oder Vogelschutz erforderlich ist oder wenn durch weitgehende, transparente Umhüllung eine Temperaturerhöhung durch Verhinderung des Luftaustausches erreicht werden soll. Die Konstruktion und die Qualität der verwendeten Materialien sollte so gewählt werden, dass der Aufbau, Folienwechsel oder Winterschutz leicht vorgenommen werden kann. Eine Überdachung kann nur dann wirtschaftlich sinnvoll sein, wenn eine ausreichende Nutzungsdauer aller Teile erreicht werden kann.

Obstbauüberdachungen werden von einer Reihe von Herstellern angeboten, jedoch sind auch voll funktionsfähige Eigenbauten zu finden. Als Unterkonstruktionen kommen Holzpfosten, Betonpfeiler oder Stahlprofile zum Einsatz. Die Befestigung von Überdachungsfolien geschieht punktuell zeltartig mit dehnbaren Expanderseilen und/oder Spanschnüren sowie linienförmig mit einer Vielzahl von Plaketten, Nagelleisten oder Klemmprofilen. Wichtig dabei ist, dass die Folie nicht im Wind flattert oder auf die Unterkonstruktion schlägt und scheuert. Eine permanente Wechselbiegung oder permanentes Scheuern zerstört die langen Molekülketten des Kunststoff-Materials.

### **Eigenschaften von Folien**

Die wichtigsten Eigenschaften von geblasenen Überdachungsfolien aus Polyethylen niedriger Dichte (LDPE) sind in der Norm DIN EN 13206 „Thermoplastischen Abdeckfolien für den Einsatz in der Landwirtschaft und im Gartenbau“ zusammengestellt. Bei der Auswahl und dem Vergleich unterschiedlicher Angebote von Herstellern kann diese Norm als Leitfaden für die Beurteilung der Qualität dienen.

Darin sind u.a. Reißfestigkeit und Bruchdehnung für Folien unterschiedlicher Dicke mitgeteilt. Eine wichtige Messgröße ist die Bruchdehnung, die in einem kontrollierten Zugversuch ermittelt wird und - je nach Foliendicke - im Bereich von 200 % bis 400 % liegt. Sie ist ein Maß für die Dehnbarkeit und gleichzeitig ein Wert, mit dem die Festigkeit bei Alterung der Folie festgestellt werden kann. Die Folienhersteller garantieren eine bestimmte technische Lebensdauer. Am Ende dieser gewährleisteten Nutzungszeit muss dann noch 50 % der angegebenen Bruchdehnung in der Folie vorhanden sein. Am Ende der Garantiezeit ist die Folie nicht unbedingt verbraucht. Wurde sie pfleglich eingesetzt, hält sie noch über die garantierte Zeit hinaus.

Die Höhe der Reißfestigkeit wird in der Norm als Reißspannung mit der Einheit MPa (Mega-Pascal = 1.000.000 N/m<sup>2</sup>) angegeben. Unter dieser Angabe von z.B. 16 MPa kann man sich schwerlich etwas vorstellen. Hier hilft es, sich an einem Beispiel zu orientieren. In der Tabelle 1 sind einige Rechenwerte für Folienstreifen von 5 cm Breite unterschiedlicher Dicke angegeben. Es wird deutlich, dass mit Abnahme der Dicke auch die „Tragkraft“ bis zum Bruch proportional abnimmt. Das gleiche gilt für die sog. Weiterreißfestigkeit. Diese gibt einen Eindruck über das Verhalten bei einem Anriss in der Folie. Sie wird mit einer Probe ermittelt, die etwa zur Hälfte eingeschnitten ist. Die beiden schmalen Enden (wie die Hosenbeine einer Hose) werden in einen Zugapparat eingespannt und es wird die Kraft gemessen, die nötig ist, den Anriss weiter aufzureißen. Auch hier nimmt die Weiterreißfestigkeit proportional zur Abnahme der Dicke ab. Bemerkenswert ist der Vergleich der „Tragkraft“ der Folie mit der Gewichtskraft, die nötig ist, die Folie weiter zu reißen. Die Weiterreißkraft ist wesentlich geringer als die „Tragkraft“. Daraus kann die Aussage abgeleitet werden, dass die Reißfestigkeit eine Bedachungsfolie durch Anrisse, die sie durch scharfe Kanten beim Aufziehen auf die Unterkonstruktion erfährt, wesentlich geschwächt wird.

Tabelle 1:

Vergleich von transparenten Agrarfolien unterschiedlicher Dicke und einer Gewebefolie hinsichtlich ihrer „Tragkraft“ beim Reißen und Weiterreißen für Folienstreifen von 5 cm Breite

Foliendicke	200 µm	180 µm	150 µm	Gewebefolie 180 µm
Reißfestigkeit (LR, QR) (bei 23 °C), MPa	> 16	> 16	> 16	61
Tragkraft für 5 cm breiten Folienstreifen beim Reißen mit dem Gewicht von ... [kg]	> 16,3	> 14,7	> 12,2	> 56,0
Bruchdehnung (Längs-, Querrichtung), %	> 400	> 400	> 300	≈ 16
Weiterreißfestigkeit („Hosenprobe“), N/mm	≈ 164	≈ 164	≈ 164	
Gewichtskraft [kg] zum Weiterreißen	≈ 3,3	≈ 3,0	≈ 2,5	

Für die Überdachung kommen auch Gewebefolien zum Einsatz, die aus einem Gewebe aus HDPE-Bändchen (Polyethylen Hoher Dichte) mit einer LDPE-Folienkaschierung gefertigt sind (Bild 1). Die HDPE-Streifen haben eine sehr viel größere Zugfestigkeit und eine geringere Dehnbarkeit als entsprechende Streifen aus LDPE. Die in die Tabelle 1 eingetragenen Werte zeigen bei einer vergleichbaren Foliendicke eine etwa vierfach höhere Reißfestigkeit|“Tragkraft“ und eine um 25-fach geringere Dehnbarkeit.



Bild 1:  
Bändchengewebe aus HDPE-Streifen mit LDPE-Kaschierung und konventionelle transparente, geblasene Agrarfolie aus LDPE (LDPE – Low Density Polyethylen; HDPE – High Density Polyethylen)

An dieser Stelle soll aber besonders darauf hin gewiesen werden, dass eine Überdachungsfolie im Gebrauch nicht bis zu 10 % oder 400 % gedehnt werden darf, weil dann die Molekülketten bereits beginnen, aneinander vorbei zu gleiten. Die Folie ist dann nicht mehr elastisch und geht bei Entlastung nicht wieder auf ihre ursprüngliche Folienlänge zurück. Beim Aufziehen einer Folie sollte die Dehnung nicht mehr als maximal 1 % bis 2 % betragen!

## Alterung von Agrarfolien

Ein wichtiges Kriterium bei der Auswahl einer Bedachungsfolie ist die Alterungseigenschaft des Folienmaterials. Unter Alterung versteht man den Verlust an Lichtdurchlässigkeit und Reißfestigkeit. Die Alterung wird durch Witterungseinflüsse hervorgerufen, insbesondere durch die UV-Strahlung des Sonnenlichtes. Die langen Kunststoff-Molekülketten in einer ungeschützten Folie werden durch die energiereiche UV-Strahlung zerbrochen, so dass sie bei Belastung reißt. So altert eine übliche Verpackungsfolie, also eine transparente Folie ohne UV-Stabilisierung, innerhalb eines halben Jahres soweit, dass sie an den belasteten Stellen anfängt, brüchig und bröckelig zu werden. Als Schutz der Tunnelfolie werden daher im Herstellungsprozess Additive beigegeben, die die UV-Strahlung schon in der äußersten Folienschicht absorbieren oder die die absorbierte UV-Strahlung in der Folie einfangen und offene Bruchstellen der Molekülketten vor dem Andocken von freien Radikalen aus der Luft oder inneren Verunreinigungen schützen (sog. HALS-Stabilisatoren – **H**indered **A**mined **L**ight **S**tabilizers). Die Konzentration der UV-Stabilisatoren bestimmt die Widerstandsfähigkeit der Folie gegenüber der UV-Strahlung und somit ihre Haltbarkeit. Um die Wirksamkeit der UV-Stabilisatoren zu prüfen, gibt es spezielle, standardisierte Bewitterungsapparate mit hoher UV-Belastung für die Folienproben. Mit Ihnen kann die Bewitterungszeit bei künstlicher Bewitterung ermittelt werden. Anhand von Erfahrungswerten kann dann eine Übertragung auf die Haltbarkeit in natürlichem Klima vorgenommen werden. In Tabelle 2 ist dieser Zusammenhang dargestellt, wobei die jährliche Energie der UV-Belastung (dargestellt mit der veralteten amerikanischen Strahlungsenergieeinheit Langley, Ly) die geografisch bedingten UV-Strahlungsunterschiede der Klimazonen berücksichtigt. In den Datenblättern der Folienhersteller wird die gewährleistete Nutzungszeit darauf aufbauend für unterschiedliche Regionen angegeben. So hat eine 4-Jahres-Folie mit der Angabe „bei 90 kLy/a“ im Bewitterungsapparat 7 100 Bestrahlungsstunden standgehalten und ist für den vier- (oder mehr-)jährigen Einsatz in Deutschland geeignet. Andere Hersteller bevorzugen die Klassifizierung ihrer Folien gemäß Tabelle 3. So wäre für die 4-Jahresfolie bei 90 kLy/a auch die Angabe der Klasse „D“ gleichbedeutend.

*Tabelle 2:*

*Korrelation zwischen der künstlichen und natürlichen Bewitterung für transparente PE-Agrarfolien (nach DIN EN 13206)*

Klimazone	Künstliche Bewitterungszeit [h] für eine erwartete, garantierte Lebensdauer von			
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre
Nord- und Mitteleuropa: 70 bis 100 kLy/a*	1 700	3 500	5 300	7 100
Mittel- und Zentraleuropa: 100 bis 130 kLy/a	2 800	5 600	8 400	
Zentral- und Südeuropa, Mittelmeerraum: 130 bis 160 kLy/a	3 900	7 800		

\*Amerikanische Einheit für Bestrahlungsleistung (Langley): 1 kLy/a = 41,84 kJ/(m<sup>2</sup>a)

Klasse	Bewitterungszeit [h]
N	≥ 400
A	≥ 1 700
B	≥ 3 200
C	≥ 4 600
D	≥ 6 000
E	≥ 7 300

*Tabelle 3:*

*Transparente Agrarfolien – Klassifikation entsprechend der Verweilzeit in der künstlichen Bewitterung (nach DIN EN 13206)*

## Lichtdurchlässigkeit von Folien

Vergleicht man die auf dem Markt als Überdachungsfolien angebotenen Produkte, so kann man feststellen, dass ihre Lichtdurchlässigkeit mit Werten größer als 80 % angegeben wird. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass üblicherweise die Durchlässigkeit für den senkrechten Lichteinfall von direkter Strahlung gemessen wird. Direkte Strahlung liegt dann vor, wenn das Licht in parallelen Lichtstrahlen von einer Lichtquelle (z.B. von der Sonne) einfällt und ist deshalb mit einem deutlichen Schattenwurf hinter einem belichteten Gegenstand verbunden. Dagegen liegt diffuse Strahlung vor, wenn das Licht aus dem gesamten Halbraum über der Empfängerfläche einstrahlt. Die Messwerte für diffuses Licht liegen i.d.R. etwa 8 % unter dem Wert für direktes Licht. Der Grund dafür liegt in der verstärkten Reflexion der Lichtstrahlen, wenn sie unter einem Winkel auf die Oberfläche der Bedachung auftreffen. Transparente Agrarfolien können selbst auch durch ihre Beschaffenheit auftreffendes direktes Licht in diffuses Licht hinter der Folie verwandeln. Dies geschieht durch Streupigmente oder durch eine höhere Anzahl kristalliner Molekülketten in der Folie, die das Licht streuen. Bei der letztgenannten Produkteigenschaft bleibt die Gesamtlichtdurchlässigkeit hoch, da keine absorbierenden Pigmente vorhanden sind. Das Maß der Streueigenschaft wird auf den Datenblättern auch als „Haze“-Faktor (*engl. haze = trüb, milchig*) oder Diffusität angegeben. Dabei spricht man von einem hohem Steuungsfaktor, Haze-Faktor, Diffusität, wenn mehr als 60 % des durchgelassenen Lichtes diffus gestreut ist.

Welche Lichteigenschaft ist nun unter einer Überdachung erwünscht? – Die Lichtdurchlässigkeit einer guten, voll transparenten Folie und einer guten Diffus-Folie ist annähernd gleich. Die Diffus-Folie mag 2 % bis 3 % weniger Transmission aufweisen. Betrachtet man jedoch die Bestrahlung der Kultur unter diesen Folientypen, so findet man unter einer hochtransparenten Folie stark bestrahlte außenliegende Blätter und Sprosse sowie Bereiche der starken Verschattung inner- und unterhalb der Blätter. Dagegen ist ein Pflanzenbestand unter einer Diffus-Folie gleichmäßiger bestrahlt, Licht dringt besser in das Blattwerk ein und führt zu höherer Photosyntheseleistung sonst verschatteter Blätter. Zudem ist die Strahlungsbelastung der außenliegenden Sprosse, Blätter und Früchte nicht so groß, so dass weniger Hitzestress oder Verbrennungen auftreten werden.

## UV-Durchlässigkeit von Folien

Neben dem sichtbaren Licht bzw. der photosynthetisch aktiven Strahlung (*PAR – Photosynthetically Active Radiation*, 400 nm bis 700 nm) bringt das Sonnenlicht auch UV-Strahlung im Wellenlängenbereich von 315 nm bis 400 nm (UV-A) und 280 nm bis 315 nm (UV-B) mit sich auf die Erdoberfläche. Hohe UV-B-Leistungen bedeuten für alle Pflanzenteile Stress, da diese Strahlung zerstörerisch auf organische Verbindungen wirkt. Die Pflanzenteile schützen sich durch verstärkte Pigmentierung, dicke Wachs- und Kutikulaschichten oder absorbierenden Härchenbewuchs. Pflanzen können sich bis zu einem gewissen Grad an die UV-Bestrahlung akklimatisieren. Dabei wird in den Pflanzenzellen ein Reparaturmechanismus angestoßen, der durch die Bildung von Sonnenschutz-Metaboliten, Flavonoiden, Phenolen und Anthozyanen die Schädigung der DNA verhindert bzw. auch repariert. Die Fruchtausfärbung wird dadurch gefördert. Diese Inhaltsstoffe (Antioxidantien) sind für den Menschen beim Verzehr gesundheitsfördernd, so dass die unter einer UV-durchlässigen Überdachung gewachsenen Früchte „gesünder“ sind als die unter einer UV-undurchlässigen Bedachung.

Ist eine UV-blockierende Überdachung rundherum ganz geschlossen, so entsteht für Bestäuber wie Bienen und Hummeln das Problem, dass ihre im UV-Licht sehenden Augen behindert werden. Die Insektenaugen haben zwar auch im Blau- und im Grünlichtbereich Rezeptoren, jedoch führt die Ausblendung des UV-Rezeptors zu verstärkter Orientierungslosigkeit und höherer Mortalität. Die Bestäuber können den Nektar nicht oder schlechter erkennen, so dass die Bestäubungsleistung zurückgeht. Dies wurde in einer Reihe von Gewächshausversuchen herausgefunden.

## Verfrühung der Steinobstkultur durch Überdachung

Eine Verfrühung des Wachstums im Frühjahr kann durch erhöhte Temperatur herbeigeführt werden. Dazu muss die Überdachung weitgehend geschlossen sein, wie z.B. bei einem Folientunnel oder Foliengewächshaus. Das einfallende Sonnenlicht wird von den Pflanzen und dem Boden absorbiert, was dort zu einer erhöhten Oberflächentemperatur führt. Diese beheizt den Luftraum. Überschlagsmäßig bedeuten  $100 \text{ W/m}^2$  Einstrahlungsleistung etwa eine Temperaturerhöhung von  $3 \text{ }^\circ\text{C}$ . Liegt die Außentemperatur im März beispielsweise am Tag bei  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , so wird an einem sonnigen Tag unter einer weitgehend geschlossenen Überdachung die Temperatur auf  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  steigen. Dies führt natürlich zu einem verstärkten Austrieb. Fallen nachts die Temperaturen jedoch bis zum Gefrierpunkt, so können Schäden an den Sprossen und jungen Blättern auftreten. Unter diesen Witterungsbedingungen ist es daher ratsam, den Austrieb nicht durch zu hohe Temperaturen zu befördern, sondern durch intensives Lüften des überdachten Raumes nur eine geringere Übertemperatur mit geringerer Wachstumsbeschleunigung zuzulassen. Für eine gute Lüftungswirkung müssen auf eine überdachte Anlage bezogen etwa 20 % bis 30 % der Grundfläche als Lüftungsfläche eingerichtet sein. Neben der Lüftungsfläche spielt natürlich auch die Windgeschwindigkeit und die Ausrichtung der Lüftungsöffnungen zur Windrichtung eine Rolle. Innerhalb des überdachten Raumes ist die Windgeschwindigkeit auf etwa ein Drittel reduziert, so dass sich eine geringe Temperaturerhöhung gegenüber dem Freiland einstellt. Für das obige Beispiel kann man mit einer Übertemperatur von etwa  $2 \text{ }^\circ\text{C}$  rechnen.

## Wärmestahlungsdurchlässigkeit der Überdachung und Frostschutz

Gerade im Frühjahr des Jahres 2017 hat es im April erhebliche Frostschäden an Obst- und Weinkulturen gegeben. Es stellt sich daher die Frage, ob und inwieweit eine Folienüberdachung einen Frostschutz darstellen kann. – Übliche Überdachungsfolien haben aufgrund ihrer Additive zur Herstellung, zum UV-Strahlungsschutz und zur Herstellung ausreichender Flexibilität ein Blockierungsvermögen für Wärmestrahlung von etwa 20 % bis 30 % (80 % bis 70 % Wärmestahlungsdurchlässigkeit). Das reine Polyethylen der Verpackungs- oder Baufolien besitzt nur eine Blockierung von etwa 10 %, d.h. eine Wärmestahlungsdurchlässigkeit von 90 %.

***Exkurs:** Jeder Körper gibt entsprechend seiner Temperatur elektromagnetische (Wärme-)Strahlung ab. Die Strahlungsintensität hängt neben der Höhe der Oberflächentemperatur von dem Emissionskoeffizienten ab. Die höchste Emission hat ein ideal „schwarzer Körper“ mit dem Faktor 1. Alle technischen Oberflächen haben einen geringeren Faktor. Blätter haben die Emissionszahl von etwa 0,9. Entsprechend den vorherrschenden Temperaturen von  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  bis  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  liegt das Maximum der Strahlungswärmeabgabe im Bereich von  $7 \mu\text{m}$  bis  $14 \mu\text{m}$  Wellenlänge. Dies ist nicht sichtbare Infrarot-(IR-)Strahlung. - Auch die Atmosphäre gibt Wärmestrahlung entsprechend der Temperatur der Wasserdampfteilchen und sonstiger Aerosole in Richtung Erdoberfläche ab. Dies ist die „atmosphärische Gegenstrahlung“ (Meteorologie). Die Nettobilanz ist der Strahlungswärmeaustausch der entgegengesetzten Strahlungsströme von der Erdoberfläche gegenüber der atmosphärischen Gegenstrahlung. Bei nächtlich klarem Himmel ist die von den Pflanzenteilen an den Himmel abgegebene Wärmestrahlung so groß, dass ihre Körpertemperaturen unter die Lufttemperatur sinken. Ist die Lufttemperatur nicht zu niedrig und herrscht ein geringer Wind, so wird den Blättern durch die Luftströmung Wärme zugeführt. Bei vergleichsweise niedrigen Lufttemperaturen, geringem Wind und klarem Himmel ist die Abstrahlung von den Pflanzenteilen so groß, dass die Körpertemperaturen unter  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  sinken und im Extremfall Frostschäden an den Pflanzen auftreten (Strahlungsfrost).*

Werden Obst-Kulturen überdacht, so wird ein teilweise wärmestahlungsdurchlässiger Schirm zwischen Pflanzen und Himmel eingebracht. Gegenüber Standard-Folien kann durch spezielle Additive die Wärmestahlungsdurchlässigkeit bei Folien bis zu 90 % blockiert werden. Es wird dann nur noch 10 % der Wärmestrahlung durchgelassen. Bei diesen Folien spricht man von Folien mit hoher Thermizität, „thermischen Folien“ oder Folien mit hohem IR-Wirkungsgrad. Ein

Rechenbeispiel (Tabelle 4 und 5) soll zeigen, in welchem Maß die Blockierung des Wärmestrahlungsstroms die Blatttemperatur beeinflusst.

In den Tabellen 4 und 5 werden die Ergebnisse einer vereinfachten Simulationsrechnung dargestellt, wobei die nächtlichen Lufttemperaturen mit **2 °C** und **-2 °C** so gewählt wurden, wie sie im Frühjahr sehr wohl auftreten können. In der Berechnung wurde die Wolkenbedeckung von ganz klarem Himmel bis zur Bewölkung von 3/8, also fast der Hälfte, variiert. Weiter wurde die Windgeschwindigkeit im Bereich von Windstille bis 2 m/s und die Folienbedeckung mit steigender Thermizität variiert.

*Tabelle 4: Rechnerische, nächtliche Blatttemperatur im Freiland und unter Überdachungen mit unterschiedlicher Thermizität bei **2 °C Lufttemperatur**, bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und bei klarem Himmel bzw. 3/8 Wolken-Bedeckung des Himmels (Blattlänge in der Simulationsrechnung = 4,5 cm)*

Thermizität, IR-Wirkungsgrad	Blatttemperaturen [°C] bei 2 °C Lufttemperatur, Luftfeuchte 80 % rF* ...					
	W = 0,3 m/s		W = 1 m/s		W = 2 m/s	
	N = 0	N = 3/8	N = 0	N = 3/8	N = 0	N = 3/8
keine Folie	-5,8	-2,3	-3,0	-0,7	-2,4	-0,4
25 %	-6,2	-2,5	-3,3	-0,9	-2,0	-0,2
50 %	-4,3	-1,5	-1,9	-0,1	-0,8	0,4
75 %	-1,7	-0,1	-0,1	0,8	0,5	1,2
90 %	0,3	1,1	1,1	1,5	1,4	1,6

\*rF = relative Luftfeuchte, W =Windgeschwindigkeit, N = Wolken-Bedeckungsgrad

Wenn das Blatt durch Abstrahlung an den kalten, klaren Himmel unter die Lufttemperatur abkühlt, dann nimmt das Blatt Wärme aus der Umgebungsluft auf. Dies umso besser, je höher die Windgeschwindigkeit ist.

*Tabelle 5: Rechnerische, nächtliche Blatttemperatur im Freiland und unter Überdachungen mit unterschiedlicher Thermizität bei **-2 °C Lufttemperatur**, bei unterschiedlichen Windgeschwindigkeiten und bei klarem Himmel bzw. 3/8 Wolken-Bedeckung des Himmels (Blattlänge in der Simulationsrechnung = 4,5 cm)*

Thermizität, IR-Wirkungsgrad	Blatttemperaturen [°C] bei -2 °C Lufttemperatur, Luftfeuchte 80 % rF* ...					
	W = 0,3 m/s		W = 1 m/s		W = 2 m/s	
	N = 0	N = 3/8	N = 0	N = 3/8	N = 0	N = 3/8
keine Folie	-9,9	-6,4	-7,0	-4,8	-6,4	-4,5
25 %	-10,3	-6,6	-7,4	-5,0	-6,0	-4,2
50 %	-8,4	-5,5	-5,9	-4,2	-4,9	-3,6
75 %	-5,8	-4,1	-4,2	-3,2	-3,5	-2,9
90 %	-3,7	-2,9	-2,9	-2,5	-2,6	-2,4

\*rF = relative Luftfeuchte, W =Windgeschwindigkeit, N = Wolken-Bedeckungsgrad

In Tabelle 5 wurde die gleiche Berechnung jedoch mit **-2 °C** Lufttemperatur durchgeführt. Es zeigt sich, dass schon bei geringen Minusgraden unter klarem Himmel und bei geringer Windgeschwindigkeit eine so starke Abkühlung der Blätter erfolgen kann, dass Frostschäden auftreten können.

Die Ergebnisse der Tabelle 4 und 5 zeigen weiterhin, dass die Blatttemperaturen bei niedrigen Windgeschwindigkeiten unter einer Folie mit einer hohen Wärmestrahlungsdurchlässigkeit (IR-Wirkungsgrad = 25 %, d.h. 75 % Wärmestrahlungsdurchgang) auch unter die Blatttemperaturen im Freiland absinken können (grau unterlegte Zeile). Ist die Luftbewegung/der Wärmenachschub infolge der Überdachung zu stark reduziert, kann der Strahlungswärmeverlust nicht ausreichend kompensiert werden. Erst bei höherer Thermizität der Folie, kann ein gewisser Frostschutz erreicht werden.

Die üblichen Überdachungsfolien haben einen IR-Wirkungsgrad von 30 % bis maximal 50 % (eigene Messungen). Dieser Wertebereich gilt sowohl für geblasene, transparente Agrarfolien als auch für Gewebefolien aus HDPE-Bändchen-Gewebe mit LDPE-Kaschierung. Dies heißt, dass bei ungünstigen Witterungsbedingungen mit geringen Minustemperaturen der Luft, klarem Himmel und Windstille die vorhandenen Überdachungsfolien keinen sicheren Frostschutz bieten können. Erst Folien mit sehr hoher Thermizität können helfen, jedoch nur bei Strahlungsfrost.

Eine Überdachungsfolie liegt mit ihrer Eigentemperatur bei Strahlungsfrostbedingungen unterhalb des Gefrierpunktes. Wird nun mittels einer Unterkronenberegnung die Luftfeuchte unter der Überdachung erhöht, dann wird durch Kondensation an der Innenseite der Folie Reif und Eis entstehen. Damit wird die Abstrahlung der Pflanzen an den kalten Himmel unterbunden und es können Blattemperaturen etwa wie bei einer Thermizität von 90 % gehalten werden. Voraussetzung dabei ist jedoch, dass zu starker Wind die erzeugte Luftfeuchte nicht wegrägt. Im letzteren Fall ist die Gefahr zu starker Abkühlung der Blätter jedoch auch geringer, da der Wind gleichzeitig Wärme zuführen kann. Als Fazit kann man also nur sagen: Es kommt auf den Einzelfall an, ob an der individuellen Örtlichkeit bei einer extremen Witterung unter einer üblichen Überdachung jedoch mit Unterkronenberegnung ein Frostschutz herbeigeführt werden kann.

### **Literatur**

Blacquiere, T.; van der Aa-Furnee; Cornelissen, B.; Donders, J. (2006): Behaviour of honey bees and bumble bees beneath three different greenhouse claddings. - Proc. Neth. Entomol. Soc. Meet., 17, S. 93 - 102

[de.wikipedia.org/wiki/Atmosphärische\\_Gegenstrahlung](https://de.wikipedia.org/wiki/Atmosphärische_Gegenstrahlung)

DIN EN 13206 (2001): Thermoplastische Abdeckfolien für den Einsatz in der Landwirtschaft und im Gartenbau. – Berlin : Beuth

Morandin, L. (2000): Bumble Bee (*bombus impatiens*) Pollination of Greenhouse Tomatoes –Diss. The University of Western Ontario, London, Ontario, Canada

Thorpe, M.R.; Butler, D-R. (1977): Heat Transfer Coefficients for Leaves on Orchard Apple Trees. - Boundary-Layer Meteorology Vol. 12, No. 1, pp. 61 – 73.

Ulm, R.; Jenkins, G. (2015): Q&A: How do Plants Sense and Respond to UV-B Radiation? BMC biology. 13. 45. DOI: 10.1186/s12915-015-0156-y.

Whitelam, G.C.; Halliday, K.J. eds. (2007): Light and Plant Development. Annual Plant Reviews, Volume 30. – Oxford : Blackwell Publishing