

Die Frostschutz-Berechnung

Der Ursprung der Frostschutz-Berechnung liegt einige Jahrzehnte zurück und beruht auf einer zufälligen Beobachtung der Schutzwirkung des durch eine Beregnungsanlage in einer Frostnacht auf die Pflanzen ausgebrachten Wassers. Doch fand das Verfahren der Frostschutz-Berechnung erst sehr viel später nach der technischen Weiter-

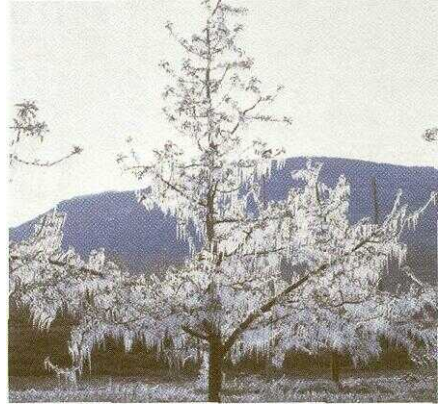


Abb. 1
Durch Beregnung vereister Apfelbaum

entwicklung der Beregnungsanlagen, insbesondere nach der Konstruktion der kleinen, betriebssicheren Drehstrahlregner, zögernd Eingang in die Praxis. Erste kräftige Impulse erhielt die Frostschutzberechnung nach den starken Maifrösten Jahre 1953. Die bei niederwüchsigen, großblättrigen und allgemein als frostempfindlich bekannten Intensivkulturen wie Erdbeeren, Kartoffeln, Tabak, Chrysanthemen usw. erzielten großartigen Erfolge, wurden in der Folgezeit auch als gültig für alle anderen zu schützenden Kulturen, insbesondere Weinreben und Obst, angenommen. Zwischen 1952 und 1957 wurden auf der Bemessungsgrundlage der für niederwüchsige Kulturen gewonnenen Werte und Planungsgrundlagen große Beregnungsanlagen erstellt. Praxis und Industrie entwickelten eine außerordentliche Aktivität; der Erfolg wurde dieser Initiative viele Jahre lang völlig gerecht und wurde auch von der Wissenschaft bestätigt.

Zu dieser schnellen Entwicklung hat zweifellos beigetragen, dass die Schutzwirkung der Beregnung unbestritten höher liegt als die z. B. des Räucherns, des Heizens und der Luftumwälzung, und dass das Beregnungsverfahren

gleichzeitig einen außerordentlich geringen Arbeitsaufwand und vor allen Dingen einen geringen Arbeitskräftebedarf während der Frostnächte erfordert. Als weiteres sehr wichtiges Moment kommt hinzu, dass die Berechnungsanlage im Sommer zur ertragserhöhenden und qualitätsverbessernden Bodenbefeuchtung eingesetzt werden kann, ebenso zur Düngung, Schädlingsbekämpfung, zur Klimatisierung und Farbverbesserung. Die ersten Rückschläge erlitt das Jahr 1957. Zum ersten Mal konnte die Frostschutzberechnung Schäden im Weinbau nicht verhindern. Man sprach sogar von einer Katastrophe, weniger wegen des Umfangs der Teilschäden als vielmehr wegen der Enttäuschung darüber, allem Anschein nach in der Frostschutzberechnung doch nicht das absolut sichere Mittel zur Frostschadenverhütung im Weinbau gefunden zu haben. Die damaligen Fehlschläge hatten aber ihr Gutes. Lebhaftige Diskussionen entspannen sich auf breiter Ebene über die Ursache der Schäden, über Handhabung und Grenzen der Frostschutzberechnung. Man erkannte, dass die Praxis und Industrie in ihrem Pionierhaften Elan der Wissenschaft davongelaufen waren und es zeigte sich, wie wenig man im Grunde über die Theorie dieser Frostschutzmaßnahmen wußte. Die Zahl der theoretischen und experimentellen Untersuchungen stieg daraufhin stark an. Aus dem Protokoll der von Perrot einberufenen *ersten Frostschutztagung in Bad Liebenzell* geht am besten hervor, wie widersprüchlich die Ansichten und die durch die Misserfolge eingetretene Unsicherheit damals waren.

Die Debatten über die Frage der richtigen Planung, des technischen Ausbaues, des rechtzeitigen Einschaltens der Berechnung, wie auch über die Wind- und Luftfeuchtigkeitseinflüsse, die Niederschlagsverteilung und Umdrehungsgeschwindigkeit der Regner waren noch nicht beendet, als die „zweite Katastrophe“ eintrat. Im April 1959, als sich die Reben wieder gerade „in der Wolle“ befanden,

kam es erneut zu Schäden, dieses Mal großen Ausmaßes. In manchen Fällen musste man sich der Erkenntnis beugen, dass die Schäden in den berechneten Weinbergen vielfach größer waren als in solchen, wo keine Frostschutzmaßnahmen durchgeführt worden waren. Die Diskussion um die Frostschutzberechnung entbrannte mit größerer Heftigkeit als je zuvor. In Anbetracht des besonderen und außergewöhnlichen Charakters der Fröste (geringe Luftfeuchtigkeit von 50 - 60% bei Frostbeginn und Tiefsttemperaturen teilweise bis -7°C und -10°C) wurde die Klärung der komplizierten physikalischen Vorgänge beim Einsatz der Berechnungsanlage als vordringlich erkannt. Man war sich klar, dass es sich offensichtlich viel weniger um technische Probleme als, um die Beherrschung der klimatologischen und pflanzen-physiologischen Zusammenhänge handelte. Weiterhin wurde es als Gebot der Stunde betrachtet, Vorschläge für die apparative Ausrüstung von Frostschutzanlagen hinsichtlich der Frostwarnung sowie der Messung, Registrierung und Überwachung der klimatologischen Daten (Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Wind) und des Betriebsablaufes während der Frostnacht (Einschalt- und Ausschaltzeitpunkt der Anlage, Betriebsunterbrechungen usw.) auszuarbeiten. Es zeigte sich nämlich, dass die Untersuchung der Schadensursachen außerordentlich erschwert war dadurch, dass kaum irgendwo objektive Aufzeichnungen über das Geschehen in Frostnächten zur Verfügung gestellt werden konnten und die Auskünfte des Einsatzpersonals sehr subjektiv gefärbt waren. Auch die Misserfolge der Frostschutzberechnung bei Reben im Frühjahr 1959 hatten einige Tagungen zur Folge. Die erste war die wiederum von PERROT veranstaltete *zweite Frostschutztagung in Bad Liebenzell* bei der seitens zahlreicher Sachverständiger aus dem In- und Ausland die neuen Gesichtspunkte und Erkenntnisse besprochen und erstmals auch die Idee der von PERROT entwickelten *intermittierenden Berechnung* bekannt gegeben worden war. Es

klärte sich deutlich ab, dass die Frühjahrsfrostschäden einmal auf die extrem tiefen Frosttemperaturen (zu geringe Wassermenge) zurückzuführen und zum anderen die Anlagen vielfach zu spät eingeschaltet worden waren.

Der Forderung insbesondere der Weinbauern nach Ausstellung verbindlicher Richtlinien zur Handhabung der Frostschutzberegnung wurde bei einer anschließenden *Tagung in Stuttgart-Hohenheim* stattgegeben. Dort wurde von Fachleuten und Praktikern aus Italien, der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland die Erstfassung der *Richtlinien für die Frostschutzberegnung* beraten und beschlossen. Mit diesen „Richtlinien“ wurde ein Meilenstein in der Geschichte der Frostschutzberegnung gesetzt. Sie wurden in der Folgezeit, jeweils neuen Erkenntnissen folgend, ergänzt und im Jahre 1964 von WITTE (40) im Auftrage des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn, veröffentlicht. Die „Richtlinien“ sind für die Praxis ausgearbeitet worden; sie sind in erster Linie für die Obst- und Weinbautechniker, die Vorstände der Winzer- und Obstbaugenossenschaften, Pflanzenschutztechniker, landwirtschaftlichen Berater, die Einsatzleiter bei der Frostabwehr sowie auch natürlich für die Projektgenieure bestimmt. Es kann mit Sicherheit gesagt werden, dass die gründliche Beachtung der ständig auf den neuesten Stand gebrachten „Richtlinien“ schon jetzt Mißerfolge mit der Frostschutzberegnung praktisch ausschließen.



Abb. 2
Frostschutzberegnung bei
Frühkartoffeln

Die Frostschutzberechnung und ihre wichtigsten physikalischen, pflanzenphysiologischen, meteorologischen und technischen Grundlagen

Frostschutzwirkung

Die Schutzwirkung der Frostschutzberechnung geht physikalisch gesehen von der bei der Umwandlung des Wassers in Eis freiwerdenden *Erstarrungswärme* aus. Das verregnete Wasser benetzt die Pflanzen, kühlt sich an diesen ab und gefriert ab 0°C oder etwas darunter. Beim Abkühlen wird bereits eine geringe Wärmemenge (1 cal je g Wasser und Grad Celsius) frei. Die weitaus größere Wärmemenge liefert jedoch das Wasser beim Gefrieren, nämlich 80 cal Erstarrungswärme je Gramm Wasser. Diese Wärmemenge reicht aus, um ein Absinken der Temperatur der vom gefrierenden Wasser umgebenen Pflanzenteile auf unterhalb von etwa -0,5°C liegende Temperaturen zu vermeiden, vorausgesetzt, dass eine dauernde Wärmezufuhr durch ständiges Gefrieren von Wasser erfolgt. Letzteres ist deswegen erforderlich, weil die Pflanze umgebende Eisschicht nur ein ganz geringes Isolierungsvermögen besitzt, d. h. nach Beendigung des Erwärmungsvorganges schnell die Abkühlung einsetzt (Verlust der vorher zugeführten Wärme in etwa 1-4 Minuten je nach Pflanzenart und -form, der Außentemperatur und den Ausstrahlungsbedingungen). Aus diesem Grunde ist also eine laufende Anfeuchtung der zu schützenden Pflanzenteile erforderlich.

Voraussetzungen für eine höchstmögliche Schutzwirkung sind genügende Berechnungsdichten und eine praktisch ununterbrochene Benetzung der Pflanzen. Ein pausenloser Tropfenfall wäre nur mit Düsen zu erreichen, deren Anwendung sich jedoch infolge der mit den viel zu hohen Berechnungsdichten verbundenen negativen Folgeerscheinungen und aus ökonomischen Gründen völlig verbietet. Statt dessen werden ausschließlich kleine

Drehstrahlregner mit geringer Beregnungsdichte zwischen 2-3,5 mm/h und einer Umdrehungszeit, die eine Minute nicht übersteigt, verwendet. Nur mit solchen kurzen Intervallen zwischen den Benetzungen ist eine rationelle Ausnutzung des verregneten Wassers und eine relativ hohe Schutzwirkung zu erzielen.

Die zur sicheren Frostschadensverhütung notwendige Beregnungsdichte ist von einer Reihe von Faktoren abhängig. Zu nennen wären zunächst die im Pflanzenbestand herrschende Temperatur, die Dauer der Benetzungsintervalle und die Windgeschwindigkeit. Bei Windfrost spielt auch die Größe der relativen Luftfeuchtigkeit eine wichtige Rolle für die notwendige Beregnungsdichte. Je niedrig die Luftfeuchte ist, desto größer ist der Wärmeentzug durch Verdunstung und damit desto stärker die Schutzwirkung der Beregnung gemindert. Von großer Bedeutung für die Schutzwirkung der einzelnen Beregnungsdichten ist weiterhin das Größenverhältnis der von Ästen, Zweigen, Knospen usw. gebildeten *Wasserauffangfläche* zur beregneten Bodenfläche, außerdem der Abstand der zu schützenden Pflanzenteile von der Bodenoberfläche. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass je größer die Pflanzenauffangfläche im Verhältnis zur gesamten Beregnungsfläche und je geringer der Pflanzenabstand vom Boden ist, um so geringer die für einen gewünschten Schutzeffekt benötigte Beregnungsdichte zu sein braucht. Aus diesen Betrachtungen erklärt sich die besonders gute Schutzwirkung und risikolose Anwendung der Frostschutzberegnung bei allen frostempfindlichen, niederwüchsigen Kulturen, wie Erdbeeren, Tabak, Tomaten, Frühkartoffeln, Buschbohnen und Zierpflanzen (z. B. Azaleen, Chrysanthemen, Dahlien), aber auch bei Obstgehölzen, die durch die Vielzahl ihrer Aste und Zweige trotz geringer Laubentwicklung zur Zeit der Frostgefährdung noch eine ausreichende Auffangfläche besitzen.

Allerdings muss hier die verregnete Wassermenge größer als bei den niedrigen Kulturen sein. Schwieriger sind die Verhältnisse bei den Reben. Hier ist Vorsicht geboten. Durch eine genaue Befolgung der „Richtlinien“ wird jedoch jedes Risiko ausgeschaltet.

Kritische Pflanzentemperatur

Es wurde weiter oben gesagt, dass das Gefrieren des in kurzen Intervallen zugeführten Wassers die Pflanzenteile auf einer Temperatur von etwa $-0,5^{\circ}\text{C}$ hält und sie damit vor dem Erfrieren schützt. In diesem Temperaturwert muss man also die *kritische Temperatur* sehen, unter die bei der Frostschutzberechnung die Pflanzentemperatur nicht absinken soll und bei der oder über der eine Anlage in Betrieb genommen werden muss. Hierzu ist zu bemerken, dass an und für sich die normale Frostresistenz der Pflanzen viel größer ist als die erwähnte kritische Temperatur, also tiefer als $-0,5^{\circ}\text{C}$ liegen kann. Dieses Phänomen ist auf den *Unterkühlungseffekt des Zellsaftes* zurückzuführen. Unter der Unterkühlungsfähigkeit hat man die Eigenschaft zu verstehen, dass selbst wärmebedürftige Kulturarten wie z.B. die Tomatenpflanze zeitweise Temperaturen bis $-2,5^{\circ}\text{C}$ überdauern, ohne Schaden zu nehmen, obwohl der *Gefrierpunkt des Zellsaftes* bei etwa $-0,5^{\circ}\text{C}$ liegt. Man nimmt an, dass sich der Zellsaft bei völliger Ruhe und langsam sinkender Temperatur unter seinen theoretischen Gefrierpunkt abkühlt ohne zu gefrieren.

Bis zu welcher Grenze das möglich ist, hängt vom physiologischen Entwicklungszustand der Pflanze ab, von der Düngung, von der Dauer der Kälteeinwirkung und der Intensität des Temperaturabfalles. Die kritische Temperatur ist also nicht arten- oder sortentypisch konstant.

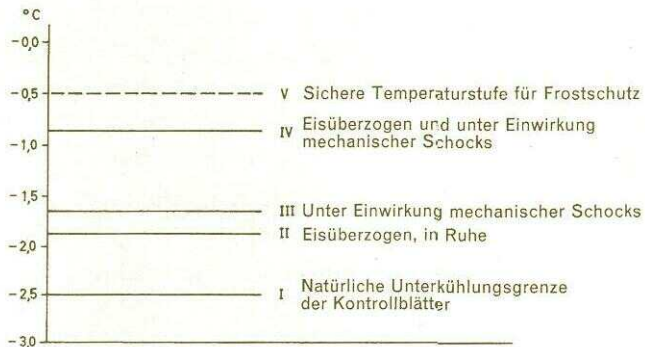


Abb.3
Kritische Pflanztemperaturen beim Frostschutz durch Beregnung
(nach V. Pogrell u. Kidder)

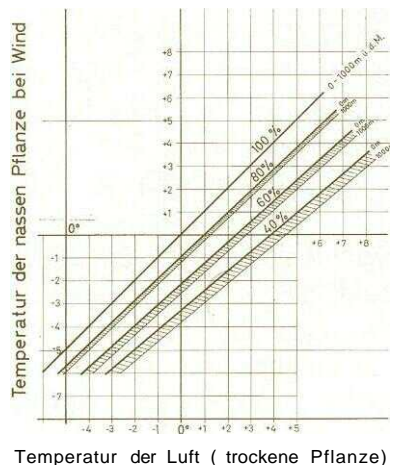
Durch die Beregnung wird nun diese Unterkühlungsfähigkeit der Pflanzen mehr oder weniger vollständig aufgehoben und die kritische Temperatur in den Bereich von 1°C bis $-0,5^{\circ}\text{C}$ angehoben. Man spricht in diesem Zusammenhang vom *Schütteleffekt der Beregnung*. Sollen also Schaden durch ein spätes Einschalten einer Anlage vermieden werden, dann musste in den „Richtlinien“ bestimmt werden, dass mit der Beregnung spätestens bei einer Pflanzentemperatur von $-0,5^{\circ}\text{C}$ zu beginnen ist.

Einfluß von Luftfeuchtigkeit und Wind

Nach den Misserfolgen von 1959 hat sich die Erkenntnis durchgesetzt, dass bei der Frostschutzberegnung der Verdunstungskälte und damit der Luftfeuchtigkeit und der Luftbewegung eine maßgebliche Bedeutung zukommt hinsichtlich der Beurteilung der Frostschutzwirksamkeit und

mehr noch des zeitgerechten Einschalten einer Frostschutzanlage. Man suchte die Schäden in erster Linie durch ein Gedankenexperiment zu erklären, indem man argumentierte: Die Temperatur feuchter Pflanzenteile entspricht keineswegs immer der mit dem *Trockenthermometer* festgestellten Lufttemperatur. Bei Beginn der Beregnung können vielmehr die Pflanzen Verdunstungswärme abgeben, womit ihre Temperatur unter die Lufttemperatur absinkt, und zwar annähernd auf den Wert der *Feuchtwärme* bzw. auf die Temperatur eines *Feuchten Thermometers*. Der Wärmeentzug durch Verdunstungskälte erfolgt so lange, als die Verdunstungskälte nicht durch die beim Gefrieren freiwerdende Wärmezufuhr kompensiert wird, so lange also noch keine Eisbildung stattfindet.

Dieser Abkühlungseffekt durch Verdunstung muß natürlich besonders groß sein bei geringer Luftfeuchte und bei Wind. So beträgt z.B. die sog. *Psychrometerdifferenz* (Differenz zwischen trockener Lufttemperatur und zugehöriger Feuchttemperatur bei bestimmter Luftfeuchte) bei 0°C Lufttemperatur und etwa 50% Luftfeuchte bereits 2,8°C. Man folgerte hieraus, dass bei diesem Einschaltzeitpunkt oder gar bei einem durch die sog. *Frosterkennungsscheiben* bestimmten Zeitpunkt, wie es damals noch häufig durchgeführt wurde, die Pflanzen (Reben) durch die Beregnung infolge der unzulässigen Abkühlung auf -2,8°C bereits erfroren, bevor die Eisbildung einsetzte. Diese Betrachtungen führten zu der Festlegung in den „Richtlinien“, eine



Berechnungsanlage dann einzuschalten, wenn die Temperatur der durch die *Beregnung feucht werdenden Pflanzenteile* auf einen Wert von 0°C bzw. $-0,5^{\circ}\text{C}$ abgesenkt wird. Spätere experimentelle Untersuchungen insbesondere von SCHNEIDER (36) haben zu einer gewissen Revision obiger Auffassung geführt. Gewebetemperaturmessungen an Reben vor der Blattentfaltung haben ergeben, dass trockenes Pflanzengewebe vor Beginn der Beregnung bereits stark durch *Ausstrahlung* abkühlt, und zwar um Beträge, die durchaus in der Größenordnung der Psychrometerdifferenz, allenfalls einige Zehntel Grad Celsius höher, liegen. Eine Befeuchtung bei Einsetzen der Beregnung kann also keine weitere Abkühlung mehr bringen, da ja die Pflanzentemperatur schon vorher durch Ausstrahlung die der gerade herrschenden Luftfeuchte entsprechende Temperatur eines Feuchtthermometers angenommen hat. Ungeklärt ist zunächst noch, ob die Unterkühlung durch Ausstrahlung im Blattstadium noch etwas größer oder geringer ist als im Wolle Stadium. Für die Praxis der Frostschutzberegnung ist es im Grunde bedeutungslos, ob die Beregnungsanlagen deswegen bei einer Feuchttemperatur von 0°C einzuschalten sind, weil sich die Pflanzen bereits vor der Beregnung (neuere Erkenntnis) oder aber nach Beginn der Beregnung (frühere Ansicht) auf diese Feuchttemperatur abkühlen. Infolgedessen ist es bei den in den „Richtlinien“ gegebenen Vorschlägen und Tabellen für die Bestimmung des Feuchttemperatur- Einschalt-Zeitpunktes aus Lufttemperatur und Luftfeuchte geblieben, zumal bei größeren Windgeschwindigkeiten doch nicht die Möglichkeit ausgeschlossen ist, dass die Abkühlung der Gewebeteile unter die Lufttemperatur nach Beregnungsbeginn noch eine Kleinigkeit größer wird.

Mindestberegnungsdichte

Die Angaben über mittlere Beregnungsdichten haben nur einen Aussagewert hinsichtlich des Wasserverbrauchs eines Regners und der Gesamtplanung, nicht aber unbedingt für die frostschadenverhütende Wirkung, denn letztere ist von der Art, d. h. Gleichmäßigkeit der Niederschlagsverteilung direkt abhängig. Deshalb muß bei der Planung von Beregnungsanlagen grundsätzlich beachtet werden, dass die für eine bestimmte Kultur als notwendig erkannte Beregnungsdichte den *Minimalwert* darstellt, der an keiner Stelle des zu schützenden Geländes unterschritten werden darf. Die technischen Daten für einen Frostschutzregner umfassen deswegen zweckmäßigerweise neben der mittleren Beregnungsdichte auch die *Mindestberegnungsdichte*, wie sie sich auf Grund der gemessenen Wasserverteilungskurve ergibt. Im Einzelfall ist also derjenige Regnerverband der Richtige, bei dem die entsprechend den „Richtlinien“ geforderte Mindestberegnungsdichte an allen Stellen des beregneten Bestandes tatsächlich erreicht wird. Um die minimale Beregnungsdichte an keiner Stelle zu unterschreiten, muß die mittlere Beregnungsdichte um so größer sein, je ungleichmäßiger die Wasserverteilung eines Regners bei Verbandsaufstellung ist und umgekehrt.



Abb. 5
Beregnungsanlage mit
Schnellkupplungs-
rohren, aufgestellt im
Rechteckverband
12 x 12mtr.

Die wichtigsten Regeln der Richtlinien für die Frostschutzberechnung

Die „Richtlinien“ stellen, wie in den einleitenden Sätzen ausgeführt wird, „das Ergebnis des derzeitigen Standes der Forschung und, soweit ein solcher nicht oder nicht ausreichend vorliegt, der praktischen Erfahrung dar. Sie erheben daher keinen Anspruch auf absolute Richtigkeit und können durch neue Erkenntnisse jederzeit verbessert werden. Die Richtlinien gelten für die Abwehr von Frösten im allgemeinen bis zu -6°C bei annähernder Windstille.

Was den genauen Wortlaut der Richtlinien und die dazu gemachten Erläuterungen betrifft, so wird auf die Literatur (40) verwiesen. Nachfolgend sollen die wichtigsten Regeln in Kurzfassung aufgeführt werden, wobei betont sei, dass darin die in den Jahren 1960 -1964 bekannt gegebenen Änderungen und Verbesserungen bereits eingebaut sind.

1. *Sicherung einer ausreichenden Wasserspeicherung* die so bemessen ist, dass die Entnahme für 3 aufeinanderfolgende Frostnächte mit je 10stündigem Betrieb gewährleistet ist.

Beispiel:

Gesamt zu schützende Fläche:	10,0 ha
Geforderte Mindestberechnungsdichte:	2,5 mm/h
Aus Wasserverteilungskurve und Verbandsaufstellung resultierende mittlere Berechnungsdichte:	3,2 mm/h
Benötigte Fördermenge:	32 m ³ /h je ha
Benötigter Speicherraum bzw. Wasservorrat:	10 X 32 X 30 = 9600 m ³

2. *Erforderliche Mindestberechnungsdichten* für die Abwehr von Frostschäden bei Lufttemperaturen bis zu -6°C :
 Bei niedrigen Kulturen (Frühkartoffeln, Erdbeeren, Tabak, Buschbohnen, Forstjungpflanzen usw.) 1,5-2 mm/h
 bei Obstanlagen 2 mm/h
 bei Rebanlagen 2 - 2,5 mm/h
3. Die *Differenz zwischen mittlerer und minimaler Berechnungsdichte* soll nicht kleiner als 30% der mittleren Berechnungsdichte sein. Größtmögliche Gleichmäßigkeit der Wasserverteilung ist anzustreben.
4. *Betriebsdruck am Regner*:
 3,5 - 4,5 bar bei 4,0 mm Düsenöffnung
 4,0 - 5,0 bar bei 4,2 mm Düsenöffnung
 4,5 - 5,5 bar bei 4,5 mm Düsenöffnung
5. Die *Dauer einer Umdrehung der Regner* soll höchstens eine Minute betragen.
6. Die *Schlagfrequenz der Schwinghebel* soll so groß sein, dass innerhalb der Wurfweite keine unberechneten Stellen auftreten.
7. Die *Betriebssicherheit der Regner* muss einwandfrei bis zu einer Temperatur von -10°C reichen.

8. Als *apparative Ausrüstung* eine Frostschutzanlage ist vorgesehen

- a.) Meßinstrumente für die Frostwarnung innerhalb des Beregnungsgeländes:
Trockenthermometer (Weinbergthermometer) zur Messung der Lufttemperatur, Hygrometer zur Messung der Luftfeuchtigkeit, oder anstelle dieser beiden Messgeräte Feuchttthermometer zur direkten Ablesung der Feuchttemperatur.
- b.) Meß- und Registrierungsinstrumente außerhalb des Beregnungsgeländes:
Thermometerhütte mit Thermohydrograph zur Aufzeichnung von Temperatur und Luftfeuchtigkeit, Minimumthermometer zur Festhaltung der niedrigsten Frosttemperatur, Windwegmesser und Windfahne.

9. Die *Überprüfung der Beregnungsanlage* vor dem Einsatz sieht vor

- a) Überprüfung und Pflege der Regner,
- b) Probelauf der gesamten Anlage im Monat März,
- c) Betriebsbereitschaft ab 1. April.

10. *Kein Einschalten einer Frostschutzberechnungsanlage*
 - a) bei einer Luftfeuchtigkeit unter 60% und einer Windgeschwindigkeit über 5 m/sec,
 - b) im Weinbau, wenn sich die Rebe noch in der Wolle oder in der ersten Entwicklung ohne nennenswerte Blattentfaltung befindet.Ausnahme: Die Berechnungsanlage ist auch in diesem Entwicklungsstadium einzuschalten, wenn die Reben kurz vor der Frostgefahr durch Regen oder Schnee durchnässt worden sind.

11. Die *Frostschutzberechnung im Weinbau ist ratsam*, wenn die Rebe genügend Blattbildung zeigt. Von 2 - 3 Blättern je Trieb (2/3 der Rebfläche) sollte jedes mindestens die Größe eines 2 Euro Stückes haben.

12. Das *Einschalten einer Frostschutzberechnungsanlage (Einschaltzeitpunkt)* erfolgt
 - a.) im allgemeinen dann, wenn die Temperatur der durch die Beregnung feucht werdenden Pflanzenteile auf 0,0°C abgesenkt würde bzw. die Temperatur der Pflanzen schon vor der Beregnung (durch Ausstrahlung, auch Wärmeentzug durch Verdunstungskälte bei Regen oder Schneeeinwirkung) den Wert von 0,0°C erreicht hat.

b.)Bei einem langsamen Temperaturrückgang (weniger als 1 °C je Stunde) und geringer Windgeschwindigkeit (weniger als 1,5m/sec) dann, wenn die Temperatur des Pflanzengewebes durch Befeuchtung auf-0,5°C abgesenkt würde bzw. schon vorher diese Temperatur in erster Linie durch Ausstrahlung erreicht hat.

13. *Frosterkennungsscheiben* sind zur Festlegung des Beregnungsbeginns ungeeignet. Die Beregnung würde zu spät einsetzen, wollte man warten, bis sich auf den Scheiben Eis gebildet hat.
14. *Keine Unterbrechung oder Ausschaltung der Beregnung* während des Frostes.
15. Die *Ausschaltung einer Beregnungsanlage* kann im allgemeinen dann erfolgen, wenn am trockenen Thermometer außerhalb des Beregnungsgeländes bei Windgeschwindigkeiten bis 1,5m/sec und eindeutig ansteigendem Temperaturverlauf (festzustellen am Thermohydrographen außerhalb der Beregnungsfläche) 0°C erreicht werden. Nur bei fehlender Sonneneinstrahlung (bewölkter Himmel, Beregnungsgelände im Schatten) und höheren Windgeschwindigkeiten erst ausschalten, wenn die Lufttemperatur auf 1° C angestiegen ist.

Ermittlung der für den Einschaltzeitpunkt maßgebenden Pflanzentemperatur (Feuchttemperatur)

Zur Ermittlung der Feuchttemperatur empfehlen die „Richtlinien“ in erster Linie ein Meßsystem, das unter Verwendung eines *Trockenthermometers* und *Hygrometers* (Feuchtigkeitsmessers) als Instrumentarium zusammen mit Hilfe von Tabellen durch laufend vorzunehmende Messungen es ermöglicht, aus den abgelesenen Werten für die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit diejenige zukünftige Trockentemperatur zu bestimmen, bei der die Feuchttemperatur gerade 0°C bzw. $-0,5^{\circ}\text{C}$ sein würde. Genügt es bei diesem System zunächst, nach Sonnenuntergang die Meßstelle nur jede Stunde abzulesen, so müssen die Intervalle zwischen den Messungen um so kürzer werden, je näher die Trockentemperatur der Einschalttemperatur kommt. Dieses Verfahren, über das die „Richtlinien“ im einzelnen unterrichten, ist ziemlich umständlich und unbequem; es ist arbeits- und zeitaufwendig, vor allen Dingen dann, wenn in einem größeren oder gegliederten Gelände mehrere Meßstellen an den frostgefährdetsten Stellen zu kontrollieren sind. Einfacher und eleganter in der Anwendung sind statt dessen *Feuchtthermometer*, die jeweils herrschende Feuchttemperatur direkt anzuzeigen. Die Ausbildung eines normalen Thermometers zum Feuchtthermometer geschieht dadurch, dass es über seinen Quecksilberbehälter ein *Musselinläppchen* gezogen bekommt, das mit einem dünnen Faden enganliegend festgebunden wird. Das freie Ende des Mullüberzuges taucht in ein mit destilliertem oder sauberem Regenwasser gefülltes Gefäß, das am Haltebügel für das Thermometer eingesetzt ist. Im Vorratsgefäß soll während der Frostperiode stets Wasser vorhanden sein, damit das Lämpchen immer gut befeuchtet ist.

Leitungswasser soll nicht benutzt werden, da sich beim Verdunsten Kalk und andere Salze absetzen, und dadurch die Messungen verfälschen.

Durch die Verdunstung des Wassers am Mullüberzug sinkt die Temperatur des Thermometers je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft und der Stärke des Windes mehr oder weniger stark unter die trockene Lufttemperatur auf die Feuchtttemperatur ab und gleicht sich damit der Gewebetemperatur der Pflanzen zwar nicht exakt, doch aber ziemlich gut an.

Es empfiehlt sich, zu Kontrollzwecken neben dem Feuchttthermometer ein Trockenthermometer an der Kontrollstelle anzubringen. Für das Umschalten der Berechnungsanlage liest man zwar beide Thermometer ab, richtet sich aber nur nach dem Feuchttthermometer. Es wird dringend geraten, während der Kontrollgänge die abgelesenen Werte mit genauer Zeitangabe aufzuschreiben.

Die Geräte kommen, um die natürlichen Verhältnisse möglichst genau wiederzugeben, frei exponiert zur Aufstellung. Dabei ist diejenige Stelle im Gelände auszusuchen, die aufgrund der Erfahrungen oder von genauen Messungen als die kälteste und luftigste festgestellt worden ist. Bei größerem Gelände werden mehrere Kontroll- bzw. Messstellen an den jeweils frostgefährdetsten Punkten eingerichtet, ebenso natürlich in einem gegliederten Gelände (verschiedene Hanglagen), wo einzelne Berechnungsabschnitte jeweils für sich allein unter Berechnung genommen werden können.

Geräte zur Frostwarnung und Betriebsüberwachung

Von der Ablesung eines Feuchtthermometers zur automatischen, meist akustischen Anzeige der Gefahrentemperatur am Feuchtthermometer ist nur ein kleiner, aber bedeutungsvoller Schritt. Er bringt die Unabhängigkeit von draußen im Freien, in der Kälte und in der Nacht laufend vorzunehmenden Ablesungen und auch die Ausschaltung von ~~Ableser als Methode~~ für die messtechnische Ermittlung der

Feuchttemperatur und der gleichzeitigen elektrischen Kontaktgabe zur Auslösung eines Warnsignals bietet sich die direkte Ausbildung eines sog. *Kontaktthermometers* als Feuchtthermometer an. Das geschieht auf die gleiche Weise, wie im vorigen Kapitel beschriebene Methode, durch die Anbringung eines Mullüberzuges, der gut anliegend am Tauchschaft des Kontaktthermometers festgebunden wird.

Sowohl für den Hersteller von Frostwarnanlagen wie auch für den Käufer sollte der Grundsatz gelten, dass sich solche Geräte durch höchste Präzision und gute Betriebssicherheit auszeichnen haben. Es steht zu viel auf dem Spiel, als dass man das Risiko eingehen könnte, die Inbetriebnahme einer teureren Berechnungsanlage zum Schutz wertvoller Kulturen von dem billigsten Warngerät abhängig zu machen.

Kombinierte Warn- und Registrieranlage

Für Großanlagen insbesondere auf genossenschaftlicher Basis empfehlen sich dringend elektrisch arbeitende Präzisionsgeräte (*Mehrfarbenschreiber*), die eine laufende Überwachung und damit vor allen Dingen auch die noch wichtigere spätere Kontrolle der Verhältnisse durch Aufzeichnung der Lufttemperatur und der Feuchtigkeit gestatten. Als elektrische Meßfühler dienen hierbei sog. *Widerstandsthermometer* und *Haarhygrometer* als Widerstandsferngeber. Ein zweites Widerstandsthermometer kann wie beschrieben direkt als Feuchttthermometer ausgebildet werden, so dass solcherart also auch die Feuchtttemperatur durch den Mehrfarbenschreiber aufgezeichnet wird.

Mehrfarbenschreiber lassen meist die Anbringung eines Grenzkontaktes zu, über den bei Erreichen der Gefahrentemperatur das Alarmsignal ausgelöst wird. Im übrigen sind alle Kombinationen von Registrierung, Warnung und technischer Überwachung des Betriebsablaufes auf dem elektrischen Übertragungsweg denkbar. Es sei hier nur die Möglichkeit skizziert, beispielsweise das der Frostwarnung dienende Warnsignal auch für die Anzeige bei unzulässiger Unterschreitung des Betriebsdruckes (*Druckwächter*) heranzuziehen. Ferner sei die - als Betriebskontrolle und für die Beurteilung der Frostschutzberegnung sehr bedeutsame - Registrierung des Einschalt- und Ausschaltzeitpunktes der Motorpumpen mit Hilfe eines *Betriebsschreibers* erwähnt, der in den Mehrfarbenschreiber gleich eingebaut werden kann.

Wasserversorgung bzw. mit Versorgung durch ein Hochspeicherbecken;

- d) ein *Elektromagnetventil* entsprechender Größe für einen oder wenige Einzelregner bei Versorgung durch die Hauswasserleitung.

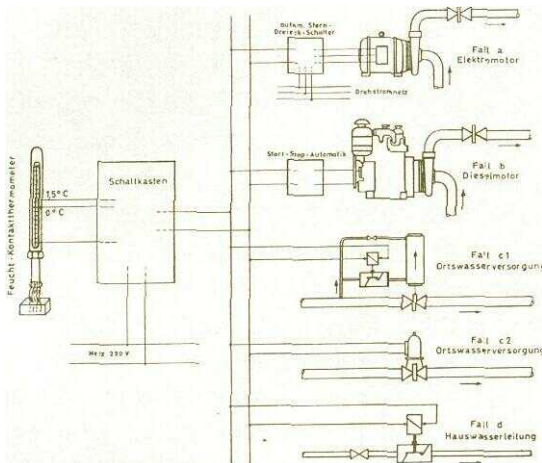


Abb. 6
Funktionsdarstellung
für automatische
Einschaltvorrichtung

Auch das *Abschalten* der Beregnungsanlage könnte grundsätzlich automatisch durch den Impuls eines trockenen außerhalb des Beregnungsgeländes aufgestellten Kontaktthermometers entsprechend den „Richtlinien“ bei 0°C vorgenommen werden, in Sonderfällen (siehe Punkt 15 der Richtlinien) allerdings erst bei 1°C. Die jeweils herrschenden Verhältnisse, aus denen sich die Abschalttemperatur ableitet, müssen also von Fall zu Fall überprüft werden. Da jedoch morgens gegen Frostende der Einsatzleiter oder Besitzer der Anlage immer anwesend sein wird, um den Erfolg der Beregnung zu begutachten, kann aber auf ein automatisches Abschalten ohnehin verzichtet und diese von Hand vorgenommen werden.

Die Beregnung zur Klimatisierung, Qualitäts- und Farbverbesserung

Ähnlich der Entwicklung, die zum Einsatz der Beregnungsanlage zur Verhütung von Frostschäden führte, ergab sich der Gebrauch des künstlichen Regens zur Vermeidung von Hitzeschäden, zum Schutz vor Wind und niedriger Luftfeuchtigkeit. Bei extremer Hitze nämlich, bei geringer Luftfeuchte und Wind sind die Pflanzen gezwungen, schneller zu transpirieren, als der Nachholmöglichkeit an Feuchtigkeit aus dem Wurzelbereich entspricht. Um dem beginnenden Welkprozess zu entgehen, versuchen die Pflanzen zunächst, die auf ihnen sitzenden Fruchtansätze für den Feuchtigkeitsnachschub heranzuziehen. Dies vermindert das Wachstum der Fruchtansätze und kann es völlig aufhören lassen. Dauern die ungünstigen klimatischen Verhältnisse längere Zeit (eine Reihe aufeinanderfolgender Tage zum Beispiel) an, kommt es zum Blütenabfall, zusammen mit dem Abfall zunächst der kleingeblienen oder unterentwickelten Früchte. Im Extrem fallen die reifen Früchte bzw. Pflanzenerzeugnisse ab.

Durch Hitzeschäden kann z.B. Alfalfa sowohl hinsichtlich des Blattwachstums leidet, wie auch durch eine Reduzierung eines Proteingehaltes. Bei Zuckerrüben wirkt sich die Hitzeeinwirkung in Form einer Minderung des Zuckergehaltes aus. Länger einwirkende hohe Temperaturen bewirken bei Stangenbohnen Blütenabfall und führen damit zu einer entsprechenden Ertragsminderung. Besonders empfindlich reagieren auch Weinreben auf Hitze. Bei einer Birnensorte werden bei extremer Hitze die Blätter ganzer Astpartien durch Sonnenbrand schwarz oder es können an Äpfeln durch Hitzeeinwirkung die Früchte völlig entwertet werden.

Diese Beispiele, die sich unschwer erweitern lassen würden, mögen genügen, um den schädlichen Einfluss lange andauernder großer Hitze auf die Kulturen darzulegen.

Hitzeschäden kann dadurch begegnet werden, dass man die Kulturen öfters in kurzen Abständen mit Langsamregnern beregnet. Die besten Ergebnisse bei der *Kühlung* im Fruchtanbau oder der *landwirtschaftlichen Klimatisierung* wie das Verfahren auch genannt wird, werden erreicht, wenn die meist im 12x12-Meter-Verband angeordneten Regner noch vor Eintritt der größten Mittagshitze in Betrieb genommen und die Beregnung bei einem Rhythmus von z.B.

15 Minuten Betrieb und 15 Minuten Pause bis zum späten Nachmittag weitergeführt wird. Es versteht sich, dass für eine solche Art der Beregnung eine stationäre Anlage mit einer niedrig ausgelegten stündlichen Beregnungsdichte besonders geeignet und wirksam und auch in der Bedienung bei weitem am günstigsten ist.

Beobachtungen haben ergeben, dass die verschiedenen Kulturen unterschiedliche sogenannte kritische Temperaturen haben. Die kritische Temperatur scheint bei Stangenbohnen und sonstigem Feingemüse bei 35°C zu liegen, bei Wein liegt sie bei 38°C und darüber. Vielfach werden seitens der Farmer in Kalifornien und Südafrika, wo dieses Beregnungsverfahren am meisten angewandt wird, 32°C als kritisch für die Temperaturkontrolle angesehen. Der Einsatz der Beregnungsanlage zur Klimatisierung wird jeweils beim Erreichen dieser kritischen Temperatur empfohlen.

Was bewirkt nun eigentlich die Beregnung? Sie bringt kurz gesagt eine Senkung der Temperatur bei gleichzeitiger Erhöhung der Luftfeuchtigkeit im Pflanzenbestand mit sich, und zwar in der Größenordnung von 3 - 10°C bzw. 6 - 12% relative Luftfeuchtigkeit. Dadurch wird die Voraussetzung für normale Assimilations- und Transpirationsbedingungen geschaffen, die ihrerseits wiederum optimale Wachstumsbedingungen für die Kulturen bedeuten.

Der klimatisierende Effekt der Beregnung konnte in besonders interessanten Untersuchungen bei der Beregnung von Weinreben festgestellt werden. Durch die Beregnung wird nicht nur die Dauer, sondern auch die Intensität der Lebensvorgänge in den Reiben vergrößert. Die Qualität des Weines erfährt eine wesentliche Verbesserung, indem sein Zuckergehalt, sein Aroma, sein „Körper“ günstig beeinflusst werden. In der über diese Untersuchungen erschienenen Arbeit (41) wird wörtlich gesagt: „Es konnte nachgewiesen werden, dass der klimatisierende Effekt der Beregnung im Bestände nur zu einem kleinen Teile von der angefeuchteten Bodenoberfläche verursacht, zum größten Teil aber durch die gesteigerten Stoffwechselforgänge der Rebe kausal bedingt wurde. Die Klimatisierung (Herabsetzung der Temperatur, Erhöhung der Feuchte) — ihrer Entstehung nach Indikator eines höheren Stoffwechsels der Reben — wirkt selbst wieder mäßigend auf den Stoffwechsel zurück, indem beispielsweise der physikalische Anreiz zur Wasserabgabe der Pflanzen verkleinert wird.“

Ein weiterer, die Qualität der Erzeugnisse verbessernder Effekt wird durch kurzfristige Inbetriebnahme der Beregnungsanlage am Morgen bewirkt. Man hat festgestellt, dass durch wiederholte, kurze Benetzungen von Äpfeln, Pfirsichen, Melonen, Blumen usw., bei Anwesenheit von Sonnenlicht und Wind, eine wesentlich bessere Ausfärbung der Früchte als Ergebnis dieser Maßnahme erzielt wird, die sich sehr vorteilhaft auf den Marktpreis besonders beim Tafelobst auswirkt. Man nimmt an, dass die positive Wirkung des Wassers auf den plötzlich ausgelösten Temperaturschock zurückzuführen ist. Das Verfahren, die Beregnungsanlage zur Erzielung stärkerer Pigmentierung an Früchten einzusetzen, wird landläufig als *Farbberegnung* bezeichnet.



Abb. 7
Beregnung einer Apfelbaumplantage in Südtirol zur Verbesserung der Ausfärbung der Äpfel



REGENANLAGEN
HELMUT BAUER GMBH
Dirnismaning 55
85748 Garching
Tel. 089 / 3 20 19 08
Fax 089 / 3 20 60 61
www.regenanlagen.de