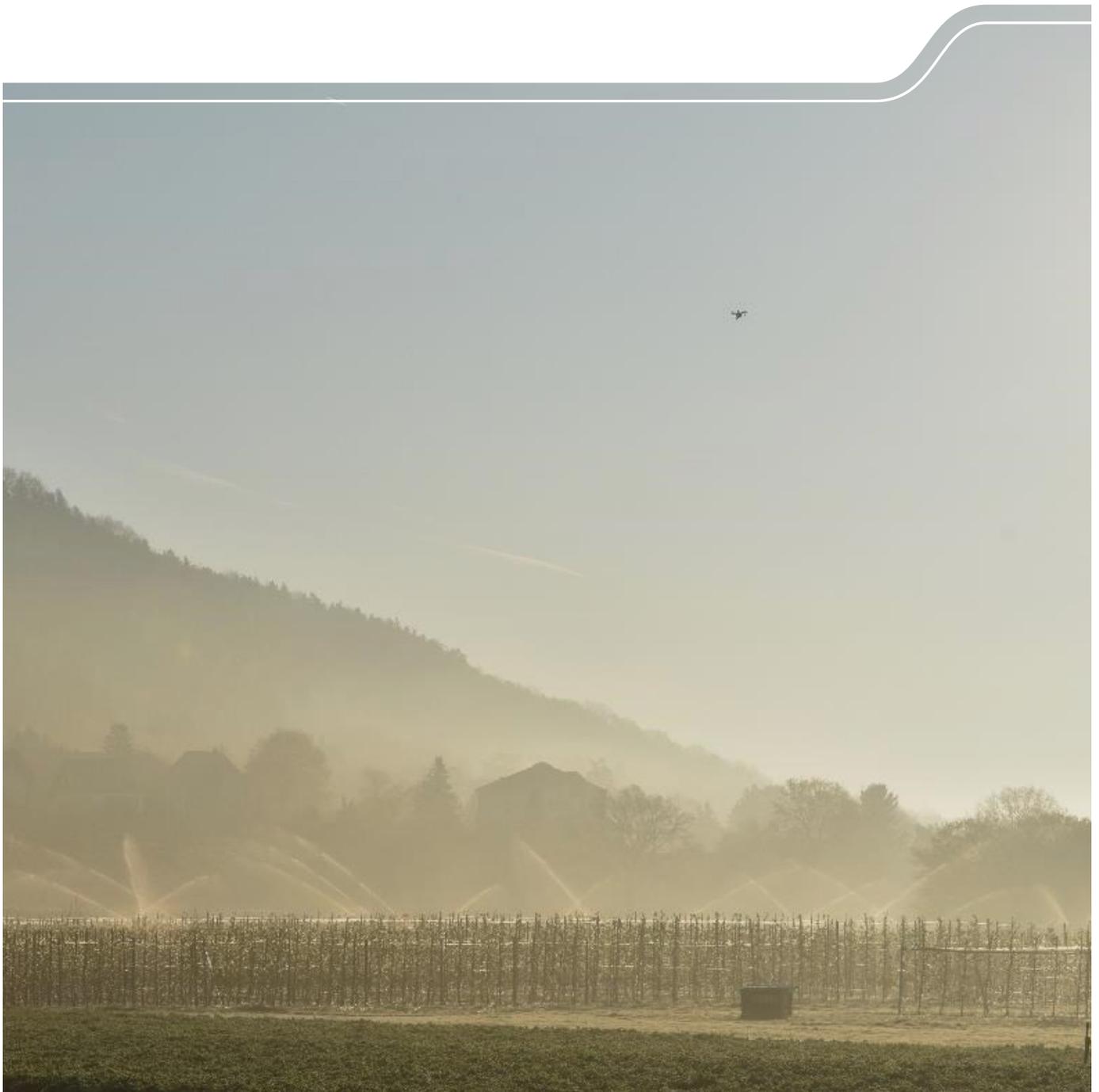




Apfelanbau im Klimawandel

Schriftenreihe, Heft 5/2021



Optimierung ressourcenschonender Anbau- konzepte zur Qualitätssicherung bei Apfel unter Berücksichtigung des Klimawandels

Christian Kröling

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Auswirkungen des Klimawandels im Obstbau.....	6
1.2	Auswirkungen auf den Vegetationsverlauf	6
1.3	Entstehung und Prävention von Spätfrostschäden.....	7
1.4	Wasserversorgung des Bodens	9
1.5	Neue Ausdünnstrategien zur Verbesserung Fruchtqualität	11
1.6	Anbausysteme zur Sicherung von Ertrag und Qualität.....	12
2	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	13
2.1	Beginn der Apfelblüte am Standort Dresden Pillnitz.....	13
2.1.1	Spätfröste am Standort Dresden-Pillnitz	13
2.1.2	Vermeidungsstrategien von Spätfrostschäden	16
2.1.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	17
2.2	Bewässerung.....	18
2.2.1	Versuchsfrage und Versuchshintergrund	18
2.2.2	Kultur- und Versuchshinweise.....	18
2.2.3	Auswirkungen auf Bodenwasser, Ertrag, äußere Fruchtqualität.....	19
2.2.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	25
2.3	Ausdünnung mit Metamitron	25
2.3.1	Versuchsfrage und Versuchshintergrund	25
2.3.2	Kultur- und Versuchshinweise.....	25
2.3.3	Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität Sorte 'RoHo3615'.....	26
2.3.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	29
2.4	Anbausysteme zur Sicherung von Ertrag und Qualität.....	29
2.4.1	Versuchsfrage und Versuchshintergrund Sorten 'Jonagold'	29
2.4.2	Kultur- und Versuchshinweise.....	29
2.4.3	Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität	30
2.4.4	Versuchsfrage und Versuchshintergrund Sorte 'Gala'	34
2.4.5	Kultur- und Versuchshinweise.....	34
2.4.6	Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität	34
2.4.7	Zusammenfassung und Schlussfolgerung	36
3	Abschließende Betrachtung	37
	Literaturverzeichnis	38

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beginn der Apfelblüte und Dauer der Vegetationsperiode im deutschen Durchschnitt	7
Abbildung 2:	Frostschutzkerzen in einer Apfelpflanzanlage im Jahr 2017	8
Abbildung 3:	Frostschutzberechnung am 01. April 2020 nach 10 h Berechnung und bis zu - 6 °C Lufttemperatur	9
Abbildung 4:	Mittlerer Blühbeginn des Apfels in Dresden-Pillnitz 1992 bis 2020	13
Abbildung 5:	Auftreten und Intensität von Spätfrostereignissen am Standort Dresden-Pillnitz, gemessen in 2 m Höhe, im Zeit von 2015 bis 2020	14
Abbildung 6:	Abgestorbener Blütenstand einer terminalen Endknospe, der Sorte 'Jonagold', aus dem Jahr 2020, am Standort Dresden Pillnitz	14
Abbildung 7:	Fruchtschäden als Spätfrostfolgen in der Fruchtentwicklung Anfang Mai 2014	15
Abbildung 8:	Frostschutzwirkung von Frostschutzberechnung und Parafinkerzen in verschiedenen Entfernungen	17
Abbildung 9:	Gemittelte Werte der Saugspannung in 0 - 30 cm Bodentiefe im Zeitraum von 2015 bis 2017	19
Abbildung 10:	Gemittelte Werte der Saugspannung in 30 - 60 cm Bodentiefe im Zeitraum von 2015 bis 2017	20
Abbildung 11:	Modellierung der Bodenfeuchte in einer Tiefe von 0 bis 60 cm ohne zusätzliche Bewässerung in den Jahren 2015 bis 2017	20
Abbildung 12:	Modellierung der Bodenfeuchte in einer Tiefe von 0 bis 60 cm ohne zusätzliche Bewässerung in den Jahren 2018 bis 2020	21
Abbildung 13:	Kumulierter Ertrag, durchschnittliche Anzahl Früchte je Baum und durchschnittliches Fruchtgewicht in den verschiedenen Bewässerungsvarianten	22
Abbildung 14:	Kumulierter Ertrag, durchschnittliche Anzahl Früchte je Baum und durchschnittliches Fruchtgewicht in den verschiedenen Bewässerungsvarianten aus den Trockenjahren 2018 und 2019	22
Abbildung 15:	Kumulierte prozentuale Anteile von Früchten der fünf Deckfarbenkassen in den Bewässerungsvarianten für die Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince im Zeitraum von 2015 bis 2019	24
Abbildung 16:	Mittlere Blühstärke der Bewässerungsvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince im Zeitraum von 2015 bis 2019	24
Abbildung 17:	Finalfruchtansatz bezogen auf 100 Infloreszenzen	27
Abbildung 18:	Zusätzliche Ausdünnung per Hand	27
Abbildung 19:	Vergleich der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich des prozentualen Anteil von Früchten der Versuchsvarianten an den fünf Deckfarbenkassen in der Sorte 'RoHo3615'	28
Abbildung 20:	Vergleich der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich des Anteils von Früchten an den acht Fruchtgrößenklassen in der Sorte 'RoHo3615'	28
Abbildung 21:	Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht	30
Abbildung 22:	Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht	31
Abbildung 23:	Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht	32
Abbildung 24:	Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht	32

Abbildung 25: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprine® hinsichtlich des Anteil von Früchten an den fünf den fünf Deckfarbenkassen	33
Abbildung 26: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich des Anteil von Früchten an den fünf den fünf Deckfarbenkassen	33
Abbildung 27: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Gala' Galaxy® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbegang und Fruchtgewicht.....	35
Abbildung 28: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten und Schnittvarianten der Sorte 'Gala' Galaxy® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbegang und Fruchtgewicht.....	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Bewässerungsvarianten	19
Tabelle 2: Entwicklungsstadien und und Aufwandsmengen in der Sorte 'RoHo3615' Evelina®	26
Tabelle 3: Bezeichnung und Beschreibung der Pflanzvarianten.....	30
Tabelle 4: Bezeichnung und Beschreibung der Pflanzvarianten.....	34

Abkürzungsverzeichnis

AB	Arbeitsbreite
IT	Informationstechnik
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

1 Einleitung

1.1 Auswirkungen des Klimawandels im Obstbau

Die Folgen des Klimawandels sind in allen Bereichen spürbar. Dies äußert sich in höheren Temperaturen, begleitet von einer verlängerten Vegetationsperiode und einem erhöhten Wasserbedarf von Kultur- und Wildpflanzen. Die Vorteile einer erhöhten Assimilationskapazität, begünstigt durch den Anstieg der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre, können nur unter der Voraussetzung einer optimalen Wasser- und Nährstoffversorgung genutzt werden. Dies führt zu einem erhöhten Bewässerungsbedarf, insbesondere in den Sommermonaten (CHMIELEWSKI und BLÜMEL 2013).

Wenn die Voraussetzungen für die Nutzung der positiven Auswirkungen des Klimawandels in Form von Bewässerung und Nährstoffnachlieferung gegeben sind, ist es aufgrund der hohen Komplexität und der damit verbundenen Variabilität der Erträge dennoch schwierig, die Ertragsbildung von Äpfeln allein anhand von Klimaparametern zu beschreiben. Nach der von HANDSCHACK (2000) vorgestellten Ertragsformel spielen der Vorjahreseertrag, die Alternanz, die Blühneigung der Sorte, die Anzahl der Blütenknospen, der endgültige Fruchtansatz sowie das Gewicht der Einzelfrucht eine wichtige Rolle bei der Ertragsbildung (HOLTHUSEN und CHMIELEWSKI 2011).

Eine Vorhersage oder gar eine Modellierung eines möglichen Ertrags unter dem Einfluss unterschiedlicher Wetterbedingungen, zum Beispiel an verschiedenen Standorten oder unter den sich ändernden Bedingungen des Klimawandels, ist bisher gescheitert. Dies ist auf weitere Einflussfaktoren und Parameter zurückzuführen, die die Ertragsbildung von Obst im Allgemeinen und von Äpfeln im Besonderen beeinflussen. Dazu gehören die Kombination von Sorten und Unterlagen, die Pflanzung und der Reihenabstand, die Erziehung der Bäume mit Höhe, Form und Art des Rückschnitts und natürlich das Alter der Bäume, was eine "meteorologische Ertragsanalyse", wie sie bei anderen Kulturen bereits bekannt ist, schwierig macht (CHMIELEWSKI und BLÜMEL 2013).

1.2 Auswirkungen auf den Vegetationsverlauf

Der Blühbeginn von Obstbäumen ist einer der am besten untersuchten Indikatoren für die Folgen des Klimawandels in Deutschland. Am Beispiel der Apfelblüte lässt sich in allen Bundesländern der Trend zu einem früheren Blühbeginn und einer Verlängerung der Vegetationsperiode zeigen (Abbildung 1). Der Hauptgrund dafür ist der frühere Beginn der Vegetationsperiode. Dies kann neben weiterer ökologischer Effekten zu einer Zunahme von Spätfrostschäden an Obstbäumen führen (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ 2018).

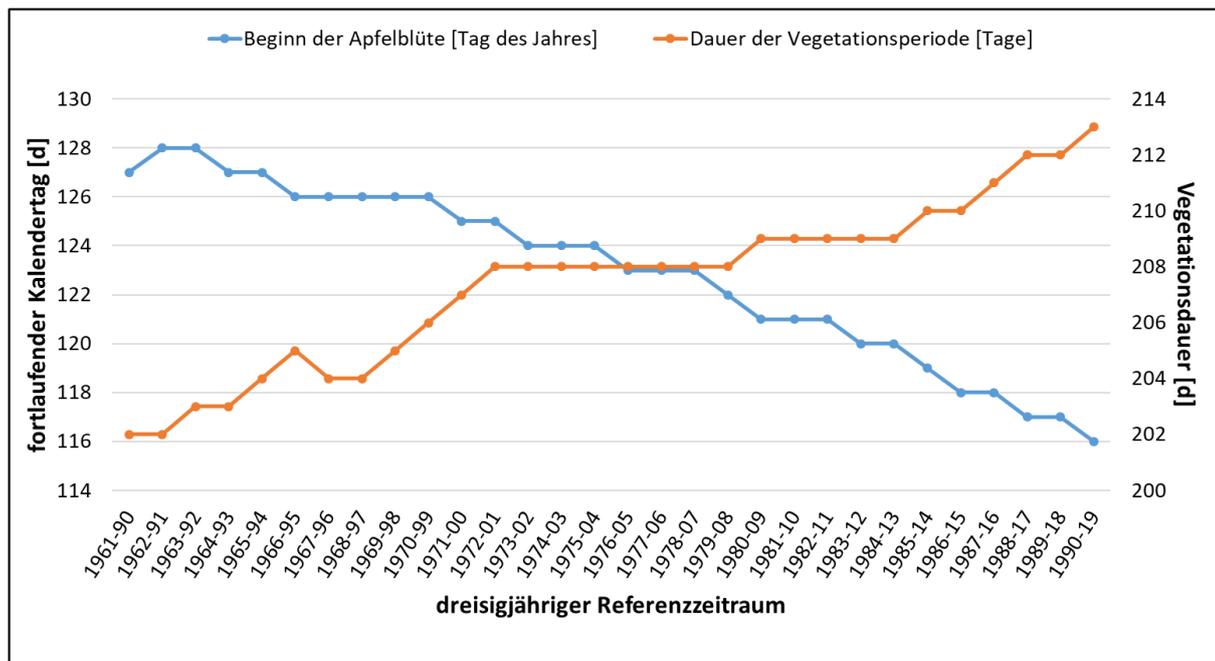


Abbildung 1: Beginn der Apfelblüte und Dauer der Vegetationsperiode im deutschen Durchschnitt (LiKi 2020)

1.3 Entstehung und Prävention von Spätfrostschäden

Temperaturen unter dem Gefrierpunkt können schwere Schäden an den generativen Organen von Obstbäumen verursachen. Äpfel sind weniger frostempfindlich als Kirschen, Pflaumen und Birnen. Wenn jedoch milde Winter einen frühen Austrieb begünstigen, steigt das Risiko von Ertragsverlusten durch Blütenfrost. Frostschäden in Pflanzenzellen werden durch die Bildung von Eiskristallen oder durch die Dehydrierung des Pflanzengewebes verursacht. Dies ist ebenfalls die Folge der Eiskristallbildung da den Zellen währenddessen Wasser entzogen wird. Pflanzen können jedoch Frostsituationen überleben, indem sie die Bildung von Eiskristallen vermeiden. Einer der Mechanismen, durch den der Kristallbildung ausgewichen wird, ist die Unterkühlung, z.B. das Absinken der Temperatur unter den Gefrierpunkt von Wasser, ohne dass sich Kristalle bilden, so genanntes metastabiles Wasser (SPUHLER und NEUWALD 2015).

Entscheidend für die Frostbeständigkeit eines Baumes ist die in den Knospen in Form von Kohlenhydraten gespeicherte Energie. Diese Reserven werden mit dem Austrieb der Blüten im Frühjahr aufgebraucht. Damit einher geht eine Zunahme der Empfindlichkeit des Gewebes gegenüber Temperaturen im Frostbereich (HANDSCHACK 2000). Das Maß zur Bestimmung der Frostgefahr ist jedoch nicht etwa die absolute Lufttemperatur, sondern die sogenannte Feuchtkugeltemperatur. Diese Variable beschreibt die niedrigste Temperatur, die durch Verdunstungskühlung erreicht werden kann (KÖPCKE 2012). Sie wird, wie der Taupunkt, mit Hilfe der aktuellen relativen Luftfeuchtigkeit (rF) und der Lufttemperatur bestimmt. Nach FRIEDRICH (1993) treten Frostschäden ab einer Feuchtkugeltemperatur von -2 °C in voller Blüte auf.

Spätfrostereignisse können unterschiedliche Ursachen haben. Nachts gibt der Boden die tagsüber gespeicherte Wärme langsam als langwellige Strahlung ab. Diese wird vom bewölkten Nachthimmel absorbiert und dann als langwellige Strahlung wieder an den Boden, aber auch von ihm weg, abgegeben. Dadurch kühlt sich die Luft sehr langsam ab. Fehlt diese Schutzschicht, geht die Wärmestrahlung verloren und der Boden und die unmittelbar darüber liegenden Luftschichten kühlen ab. Da kalte Luft schwerer als warme Luft ist, sammelt sie sich am Boden und darüber werden Luftmassen mit höheren Temperaturen geschichtet. Dies nennt man Inversionswetter.

Dieser Effekt wird bei der Verwirbelung von Luftmassen genutzt, bei der die Luft künstlich mit Windmaschinen oder Hubschrauberflügen vermischt wird. Nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten die sogenannten "Selective inverted sinks". Sie saugen die kalte Luft am Boden an und blasen sie dann in eine Höhe von ca. 90 m. Dadurch soll ein Rückfluss warmer Luft ausgelöst werden.

Darüber hinaus können auch Methoden der Geländeheizung eingesetzt werden. Hier spielen verschiedene Paraffinkerzen, Festbrennstofföfen sowie mobile und stationäre Gasheizungen wie Frost Guard® oder Frostbuster® eine gewisse Rolle, die jedoch alle sehr energie- und kostenintensiv sind. Insbesondere die Effektivität der letztgenannten lässt sich in Feldversuchen nur auf sehr homogenen großen Flächeneinheiten testen, weshalb Untersuchungen zumeist keine eindeutigen Ergebnisse zur Folge haben (WURM 2010a). Dennoch konnte in einigen Regionen Ungarns und Rumäniens Temperatursteigerungen in Frostnächten, durch den Einsatz derartiger Geräte dokumentiert werden (LAKATOS, et al. 2011; SITO 2014)



Abbildung 2: Frostschutzkerzen in einer Apfeljunganlage im Jahr 2017

Eine sehr effektive Methode ist die Frostschutzberegnung, bei der bis zu 40 m³ Wasser pro Hektar und Stunde über die Baumkronen verteilt werden. Die beim Einfrieren freigesetzte Erstarrungsenergie hält die Blütenorgane auf einer Temperatur von ca. 0 °C. Die Bildung von Eiskristallen in den Blüten wird verhindert und die Organe bleiben intakt. Dieser Ansatz hat gegenüber anderen Schutzmethoden mehrere Vorteile. Erstens verursacht die Beregnung im Vergleich zum Einsatz fossiler Brennstoffe nur eine geringe Treibhausgasemission, zweitens kann der Betrieb eines Bewässerungssystems kostengünstiger sein, und drittens können Teile des Bewässerungssystems zu anderen Zeiten der Vegetationsperiode eingesetzt werden, um Wasserstress zu vermeiden (TSIPOURIDIS et al. 2006). Nachteil dieser sehr effizienten Methode ist der sehr hohe Wasserbedarf von bis zu 400 m³ Wasser pro Hektar und Nacht. Weshalb ein Einsatz immer nur unter der Voraussetzung erfolgen kann, dass Wasser am Standort ausreichend verfügbar ist.



Abbildung 3: Frostschutzberegnung am 01. April 2020 nach 10 h Beregnung und bis zu - 6 °C Lufttemperatur

Bei Spätfrösten während Advektionswetterlagen werden jedoch Kaltluftmassen mit Temperaturen unter 0 °C horizontal aus ihren Entstehungsgebieten heraus verfrachtet (DWD Wetterlexikon). Dies wird auch als Strömungs- oder Windfrost bezeichnet, der in allen topographischen Lagen Schäden verursachen kann, da sich in der Regel keine Inversionsschichtung ausbildet. In diesen Fällen sind Methoden der Luftmischung wirkungslos und Flächenheizungen nur bedingt hilfreich.

Dennoch können auch Mischformen von Inversions- und Advektionswetterlagen auftreten, wie es am 21. März 2020 geschah, als trockene und kalte polare Luft aus dem Norden nach Sachsen strömte und Temperaturen um 0°C erreicht wurden. In der Nacht klarte der Himmel auf und der Wind flaute ab, folglich bildeten sich die typischen Luftschichten einer Inversionswetterlage mit bis zu - 9 °C in 2 m Höhe.

1.4 Wasserversorgung des Bodens

„Die Zusatzbewässerung ist im Kern- und Steinobstbau mit hohen Pflanzdichten unter Verwendung schwach wachsender Unterlagen eine notwendige Kulturmaßnahme. Wesentliche Ziele der Wasserversorgung sind die Ertragssicherung und Qualitätsverbesserung.“, so schreibt es KÖHLER in der 33., erweiterten Auflage des Lehrbuchs „Lucas‘ Anleitung zum Obstbau“.

Um diese Thesen zu prüfen, müssen verschiedene Aspekte des Anbaus berücksichtigt werden. Dazu gehören die Standortfaktoren: Boden, Klima und Niederschlagsverteilung sowie Wasserbedarf und -verbrauch in Abhängigkeit von der Vegetationsperiode und der physiologischen Entwicklung.

Unter natürlichen Bedingungen wird der Boden durch Niederschläge mit Wasser versorgt. Der Teil des Regenwassers, der in den mittleren und feinen Poren gehalten wird, steht nun der Pflanze zur Verfügung. Dieser der Pflanze zur Verfügung stehende Anteil entspricht der nutzbaren Feldkapazität. Grobporen hingegen, ab einem äquivalenten Porendurchmesser von 50 µm, entwässern sehr schnell. Sehr feine Poren, kleiner als 0,2 µm, halten das Wasser so stark gebunden, dass es für die meisten Pflanzen nicht mehr nutzbar ist, sondern als totes Wasser im Boden verbleibt. Die Grenze zwischen nutzbarer Feldkapazität und Totwasser beschreibt den permanenten Welkepunkt.

Abhängig von der Korngröße der Bodenpartikel und der daraus resultierenden Porengrößenzusammensetzung lässt sich für jeden Bodentyp eine andere nutzbare Feld- und Wasserkapazität ableiten. Nach SCHÖNBERG (1972) beträgt diese Kapazität im Hauptwurzelbereich in einer Bodentiefe von 0 bis 50 cm bei Sand 33 bis 40 mm, bei lehmigem Sand 75 bis 82 mm und bei sandigem Lehm 108 bis 116 mm. Dies veranschaulicht, dass die Bodenzusammensetzung einen großen Einfluss auf die Wasserspeicherung hat, was sich wiederum auf die Art und Weise der Bewässerung auswirkt. Wird nun Wasser entzogen, entweder als unproduktive Verdunstung des Bodens (Evaporation) oder durch produktive Transpiration der Pflanzen, wird es durch die Oberflächenkräfte an den Bodenpartikeln festgehalten (Adhäsion). Diese Kraft kann mit geeigneten Messgeräten, sogenannten Tensiometern, gemessen werden. Am Ende erhält man den Betrag eines Unterdrucks, der als Wasser- oder Saugspannung bezeichnet wird und der bei Austrocknung des Bodens zunimmt.

Neben der Möglichkeit, die Bodenfeuchte mit Hilfe von Tensiometern zu überwachen, die einen hohen Pflege- und Wartungsaufwand erfordern, gibt es eine Vielzahl weiterer Messsysteme und Sensoren. Einer der bekanntesten ist der Watermark Sensor, der indirekt die Saugspannung bestimmt und dessen Vorteile Frostbeständigkeit, Wartungsfreiheit, relativ geringe Anschaffungskosten und die Möglichkeit der digitalen Integration in Messnetze oder Regelsysteme sind.

Die einzige direkte Methode zur Messung des Bodenwassers ist die gravimetrische Bodenwasserbestimmung, bei der Bodenproben entnommen und gewogen werden. Nach Trocknung bei 105 °C und erneutem Wiegen ist die Differenz das zuvor in der Probe enthaltene Wasser. Dieses Verfahren ist jedoch sehr aufwendig.

Nicht nur der Boden, sondern auch Temperatur, Wind und Strahlung, die die Transpiration der Pflanzen und auch die Verdunstung des Bodens sowie die Verteilung und Menge der Niederschläge steuern, spielen eine wichtige Rolle. Diese Faktoren beeinflussen maßgeblich den klimatischen Wasserhaushalt des Standortes, anhand dessen Zeitpunkt und Menge der zusätzlichen Bewässerung bestimmt werden können.

Vor der Überlegung, ob eine Bewässerung im Apfelanbau notwendig ist, stellt sich zunächst die Frage, wie viel Wasser ein Apfelbaum in einer Plantage mit rund 3.000 Bäumen pro Hektar tatsächlich benötigt. Ein Blick in die Literatur gibt Auskunft über den Wasserbedarf von Obstbäumen. 1977 zitierte FRIEDRICH in "Der Obstbau" die Arbeiten von KREMER und SCHULZ (1938), die einen Zusammenhang zwischen der Durchschnittstemperatur in der Zeit von Mai bis September und den gefallenen Niederschlägen herstellten. Demnach ergibt sich bei einer Durchschnittstemperatur von 16 °C eine notwendige Niederschlagsmenge für Äpfel von 700 mm, die mit jedem weiteren Grad Temperaturanstieg um 80 mm zunimmt.

Natürlich hängt der Wasserbedarf auch von der jeweiligen Entwicklungsphase des Baumes ab. Mit der Befruchtung der Blüte beginnt auch die Intensivierung der Zellteilung im Blütenboden bis zu ihrem Höhepunkt, dem so genannten T-Stadium des Apfels. Während dieser Zeit sollten auf leichten bis mittleren Böden 80 % des nutzbaren Bodenwassers zur Verfügung stehen, was einer Saugspannung von 200 bis 300 hPa entspricht.

Die zweite Phase der wasserabhängigen Entwicklung liegt zwischen dem T-Stadium und dem Triebabschluss. In dieser Phase ist ein gewisser Trockenstress erwünscht und dient dem terminalen Knospenschluss, der Blütenknospeninduktion und reduziert die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe in der Zellstreckungsphase der Früchte. Der Anteil des nutzbaren Bodenwassers kann nun ohne größere Auswirkungen auf den Ertrag auf 30 bis 60 % sinken. Dies entspricht einer Saugspannung von 450 bis 600 hPa.

Nach dem Triebabschluss bzw. nach dem Junifruchtfall bis zur Ernte findet in der Frucht fast ausschließlich die Zellstreckung statt. In dieser Periode wachsen die Zellen in den Früchten und werden mit Wasser gefüllt. Das Maximum der Zellgröße in den Äpfeln wird jedoch nur unter optimalen Bedingungen erreicht, weshalb der Anteil des nutzbaren Bodenwassers nun nicht unter 65 % fallen sollte. Dies entspricht einer Saugspannung von 300 bis 400 hPa (WURM 2010b; KÖHLER 2018).

1.5 Neue Ausdünnstrategien zur Verbesserung Fruchtqualität

Metamitron steht seit August 2016 unter dem Handelsnamen Brevis® (150 mg/kg Metamitron) zur Ausdünnung zur Verfügung und kann zweimal mit maximal 2,2 kg/ha bei einer Fruchtgröße von 8 - 16 mm appliziert werden. Zwischen den Anwendungen sollten idealerweise 7 - 10 Tage vergehen.

Wichtige Qualitätsmerkmale von Äpfeln, die den Marktwert bestimmen, sind die Fruchtgröße und die Ausprägung der Deckfarbe. Diese weisen eine positive Korrelation zum baumspezifischen Blatt- und Fruchtanteil (HANSEN 1980; PALMER 1992) und damit zum Kohlenhydratangebot auf. Eine geringe Kohlenhydratzufuhr, durch Konkurrenz zwischen den Früchten, reduziert das Fruchtwachstum und verzögert möglicherweise die Fruchtentwicklung. Wird nun der Baum aktiv entlastet, indem Früchte entfernt werden, wird die Blattfläche pro Frucht innerhalb der einzelnen Bäume automatisch erhöht und damit die Kohlenhydratversorgung pro Frucht verbessert. Dies wiederum verbessert die Größe und Qualität der Früchte und ist somit ein wesentliches Hilfsmittel bei der Obstproduktion. Die Ausdünnung kann durch mechanisches Entfernen der Frucht (KON et al. 2013) oder durch Auslösen eines Fruchtfallereignisses (BANGERTH 2000) erfolgen, z.B. als Reaktion der Bäume auf ein Kohlenhydratdefizit oder durch verstärkte Konkurrenz um Kohlenhydrate zwischen der Frucht und anderen Organen, wie z.B. den wachsenden Triebspitzen (BYERS et al. 1990; ZIBORDI et al. 2009).

Die Wirkungsweise des Herbizids Metamitron beruht auf der Hemmung der Photosynthese, insbesondere des Elektronentransports vom Photosystem II zum Photosystem I, was sich auf die photochemische Effizienz und damit auf die Kohlenstoffassimilation der Blätter auswirkt. Metamitron kann je nach Sorte, Aufwandmenge und Fruchtentwicklungsstadium bis zu 29 Tage aktiv sein (KÖPCKE 2004; MCARTNEY et al. 2012). Dies führt zu einem Assimilationsdefizit, das die Konkurrenz zwischen den wachsenden Früchten verstärkt. Danach kommt es zu einem verstärkten Fruchtabfall. Daher ist Metamitron ein wirksames Fruchtausdünnungsmittel für Äpfel, wenn es in der Zeit vom Fruchtfall nach der Blüte bis zu einem Fruchtdurchmesser von 20 mm und Aufwandmengen von 200 - 700 g / ha angewendet wird (KÖPCKE 2004). Entscheidend für die Ausdünnungswirkung von Metamitron ist jedoch die Temperatur vor, während und nach der Applikation, wobei die Nachttemperaturen nach der Applikation entscheidend sind. Diese sollten im Zeitfenster zwischen 21:00 und 05:00 Uhr im Mittel 10 °C nicht unterschreiten (CLEVER 2018). Hohe Temperaturen fördern in der Regel die mitochondriale Atmung in den Baumorganen, weshalb sich der Bedarf an Kohlenhydraten erhöht (LAKSO 2011). Konkret fördern hohe Nachttemperaturen auch die Abszission von Früchten (KONDO und TAKAHASHI 1987), da dies dazu führt, dass ein großer Teil des zuvor produzierten Zuckers wieder verbraucht wird und die Früchte schneller um die verbleibenden Reserven konkurrieren. Darüber hinaus verstärken niedrige Photonflussraten während der schnellen Blattentwicklung, zwei bis drei Wochen nach der Vollblüte diesen Effekt (LAKSO 2011). Eine effektive Ausdünnung mit Metamitron ist jedoch erst ab einer Globalstrahlung von 16 MJ pro m² und Tag über mindestens 2 bis 3 Tage zu erwarten (CLEVER 2018). Ist der Wert niedriger, ist im Allgemeinen mit einer geringen Assimilation zu rechnen. Ist der Wert an klaren Tagen deutlich höher, ist die hemmende Wirkung möglicherweise nicht ausreichend und es muss eine höhere Dosis oder eine Wiederholung der Anwendung erfolgen (PENZEL und KRÖLING 2020).

Für eine optimale Planung der Applikation von Metamitron sollten warme Tage mit geringer bis mäßiger Strahlung und warme Nächte vorhergesagt sein.

Ziel der vorliegenden Untersuchungen war die Ermittlung der Anwendungsbedingungen des neuartigen Behangsregulator zur Fruchtausdünnung, mit photosynthesereduzierenden Eigenschaften, Metamitron im Zusammenhang mit den sich ändernden Klimabedingungen. Im speziellen der Einfluss der Temperatur und der Strahlung auf die Ausdünnwirkung, Ertrag und Fruchtqualität.

1.6 Anbausysteme zur Sicherung von Ertrag und Qualität

Die zunehmende Verknappung von Land und Wasser für die Landwirtschaft erfordert eine effiziente Nutzung dieser natürlichen Ressourcen. Die Anlage von Apfelanlagen mit hoher Dichte in Kombination mit einer schlanken Kronenform kann eine ressourcenschonende Methode für die Obstproduktion darstellen.

Die Optimierung der Pflanzdichte von Obstplantagen gilt als Schlüsselfaktor für deren erfolgreiche Bewirtschaftung. Dies erfordert eine optimale Kombination von natürlichen, technischen und finanziellen Ressourcen (WEBER 2000). Während die Einführung von Apfelanlagen mit hoher Dichte in den letzten Jahrzehnten zu einer deutlichen Verbesserung des Ertrags und der Fruchtqualität geführt hat, gibt es große Meinungsverschiedenheiten über die optimale Dichte oder die optimale Baumform (LORDAN et al. 2018).

Die erfolgreiche Bewirtschaftung von Apfelbäumen in Pflanzsystemen mit hoher Pflanzdichte hängt von der Aufrechterhaltung eines Gleichgewichts zwischen vegetativem Wachstum und Fruchtbildung ab. Wenn die Wuchskraft zu gering ist, führt dies zu übermäßiger Fruchtbildung. Die Fruchtgröße nimmt ab, Neigung zur Alternanz nimmt zu und die Bäume füllen die ihnen zugeteilte Fläche nur langsam aus. Wenn das vegetative Wachstum zu hoch ist, verringern sich Blüte und Fruchtbildung und der Baum wächst ggf. über die vorgesehene Fläche hinaus. Das Gleichgewicht zwischen vegetativem Wachstum und Fruchtbildung führt zu "ruhigen" Bäumen, die hohe jährliche Erträge liefern und nur einen leichten jährlichen Rückschnitt erfordern (ROBINSON 2007).

Für jedes Anbausystem ist die Gestaltung der Pflanzung (d.h. die Anordnung der Reihen) streng an die Pflanzdichte gebunden. Das Verhältnis zwischen der Anzahl Bäume pro Hektar und der Produktivität ist jedoch nicht linear. Es kann ein Schwellenwert definiert werden, der von einer einzelnen Reihe auf mehrere Reihen ansteigt und über dem die Gesamtproduktivität nicht durch eine Erhöhung der Anzahl Bäume pro Hektar gesteigert werden kann. Neben dem Fruchtertrag werden Qualitätsfaktoren wie der Anteil der Deckfarbe und die Fruchtgröße als entscheidende wirtschaftliche Faktoren betrachtet. Die Fruchterträge sind endlich und können nicht beliebig durch Erhöhung der Pflanzdichte gesteigert werden (WEBER 2000). Die Fruchtqualität nimmt bei höheren Pflanzdichten ab. Es ist daher klar, dass die Kosten-Nutzen-Schwelle für Pflanzungen mit hoher Pflanzdichte sowohl auf der Grundlage der Fruchtqualität als auch der Fruchtmenge bestimmt werden muss (CORELLI und SANSAVINI 1988). Bei zweispindligen Systemen führte eine Erhöhung der Baumdichte um den Faktor 3,54 nur zu einer Erhöhung des Fruchtertrags um den Faktor 1,29. Daher muss die optimale Pflanzdichte gefunden werden. Höhere Pflanzdichten können in den ersten Jahren höhere Erträge erzielen (WEBER 2000).

ROBINSON (2007) schlägt für eine moderne Apfelanlage einen Pflanzabstand von 90 bis 150 cm vor. Bei einem Reihenabstand von 300 bis 425 cm entspricht dies rund 1.400 bis 3.300 Bäume je Hektar und entspricht den aktuellen Standardpflanzungen in Sachsen. Explizit für 'Jonagold' werden unter den Klimabedingungen von New York 120 x 330 cm und für Gala 90 x 300 cm empfohlen.

Ziel war es nun zu prüfen, in wieweit sich mit der Erhöhung der Pflanzdichte, unter Berücksichtigung der Wuchshöhe, eine Ertragssteigerung auf der Fläche, unter den Sächsischen Klimabedingungen, erzielen lässt.

2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

2.1 Beginn der Apfelblüte am Standort Dresden Pillnitz

Seit dem Jahr 1992 werden gezielt verschiedene phänologische Eckpunkte der Apfelerwicklung festgehalten. Der Beginn der Blüte wird markiert durch den Tag, an dem etwa 10 % der Blüten geöffnet sind und gilt als der Indikator für den Vollfrühling sowie als ein Indiz für eventuelle klimatische Veränderungen. Als Datengrundlage dient der Durchschnitt der Hauptsorten 'Elstar', 'Gala', 'Pinova', 'Jonagold', 'Golden Reinders', 'Idared', 'Braeburn'. Mit dem Blühbeginn startet auch die Fruchtentwicklung und damit die entscheidende Phase der Vegetation für den Obstanbau.

Lag der Blühbeginn der Apfelsorten am Standort Dresden-Pillnitz zu Beginn der Erfassungen noch Ende April bis Anfang Mai, so liegt er nun ca. eine Woche früher. Tendenziell kann aus diesen Aufzeichnungen ein schwacher Trend zu einem früheren Blühbeginn und damit zu einer verlängerten Vegetationsperiode abgeleitet werden (Abbildung 4). Das Bestimmtheitsmaß mit $R^2=0,1904$ zeigt jedoch, dass ein stetig früherer Blühbeginn nur mit großer Unsicherheit angenommen werden kann.

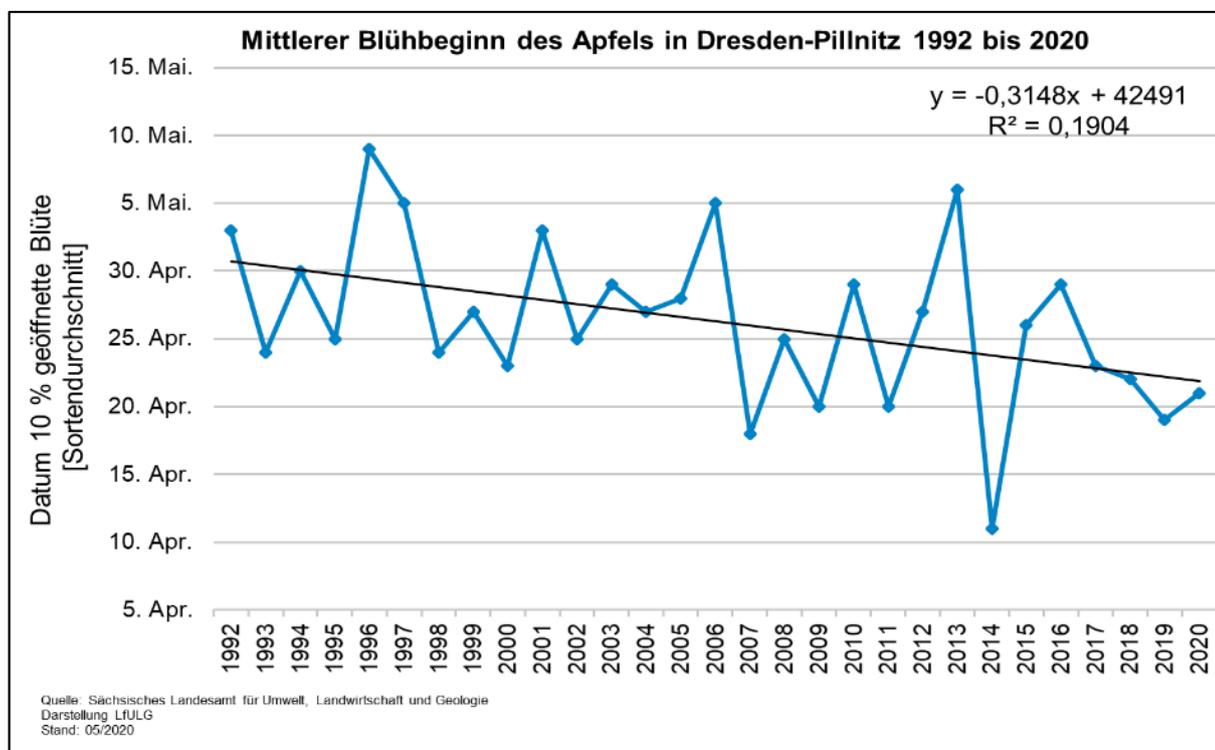


Abbildung 4: Mittlerer Blühbeginn des Apfels in Dresden-Pillnitz 1992 bis 2020

2.1.1 Spätfröste am Standort Dresden-Pillnitz

Während der Dormanzphase (BBCH 00) sind die Knospen in der Regel frosthart. Dies wird von verschiedenen temperaturabhängigen Mechanismen beeinflusst. Dazu gehören Abhärtung, Enthärtung oder Rückhärtung der Knospen im Zusammenhang mit niedrigen Temperaturen. Die Vermeidung von extrazellulärer Eisbildung durch Dehydrierung steht hier ebenso im Vordergrund wie die Kompensation von Schäden durch Kälteeinwirkung und Dehydrierung (SALZER 2000).

Mit dem Einsetzen der Vegetation nimmt auch die Frostbeständigkeit der Knospen ab. Bereits beim Aufbrechen der Knospen (BBCH 07) reichen - 17 °C über 4 Stunden aus, um 90 % der Schäden zu verursachen. Sinkt die Temperatur jedoch nur auf - 9 °C, beträgt die Schädigungswirkung 10 % (SALZER 2000). In Jahren mit frühem Vegetationsbeginn, wie z.B. im exemplarischen Jahr 2014, ist ein Knospenaufbrechen

um den 10. März zu beobachten, in späten Jahren, wie 2006 oder 2013, erst im April. Im Durchschnitt der Jahre kann dieses Stadium jedoch zwischen dem 20. und 26. März beobachtet werden. In einigen Jahren kommt es jedoch bereits Ende Februar bis Anfang März zum Aufbrechen der Knospen, wie in den Jahren 2008 und 2020. Treten in diesem Zeitraum sehr niedrige Temperaturen auf, wie dies 2018 der Fall war (Abbildung 5), können auch in diesem Stadium Schäden auftreten.

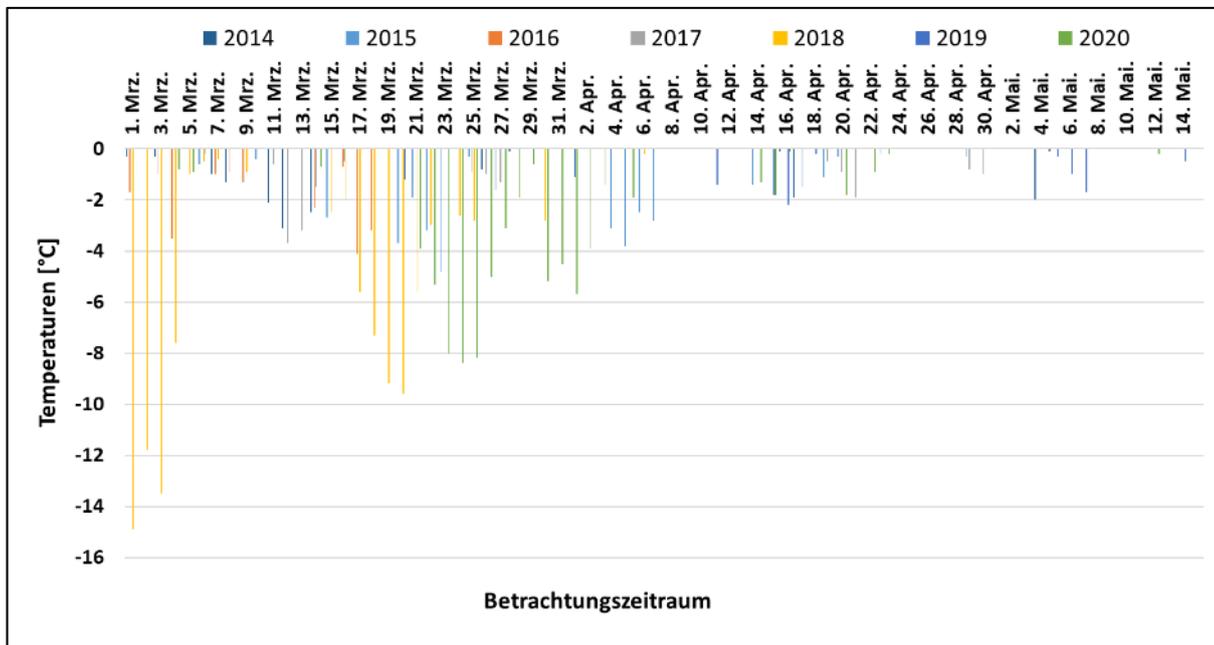


Abbildung 5: Auftreten und Intensität von Spätfrostereignissen am Standort Dresden-Pillnitz, gemessen in 2 m Höhe, im Zeit von 2015 bis 2020

Bis zum Mausohrstadium (BBCH 10) nimmt die Frosttoleranz der Blüten weiter ab und bei längerer Exposition über 4 h treten bereits bei - 5 °C erste Schäden auf, die ab - 9 °C bis zu 90 % betragen können (SALZER 2000). Dieses Stadium tritt in der Regel Anfang bis Mitte April auf, und Frostereignisse in diesen Kategorien sind eher die Ausnahme (Abbildung 5). In sehr frühen Jahren, wie z.B. 2008 oder 2020, kann das Mausohrstadium bereits Mitte März eintreten. In dieser Zeit sind starke Nachtfröste von weniger als - 5 °C nicht die Regel, können aber auftreten, was dann zu erheblichen Schäden bis hin zum Absterben der Blüten an den endständigen Endknospen führt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Abgestorbener Blütenstand einer terminalen Endknospe, der Sorte 'Jonagold', aus dem Jahr 2020, am Standort Dresden Pillnitz

Mit Beginn des Ballonstadiums (BBCH 59) können die ersten Frostschäden bereits bei einer Temperatur von $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ auftreten. Dieses Vegetationsstadium tritt in der Regel zwischen dem 20. und 25. April auf, kann aber schon in sehr frühen Jahren, wie 2014, aber auch schon am 09. April erreicht werden. Gerade in dieser Zeit treten Frostereignisse mit Temperaturen in 2 m Höhe, knapp unter dem Gefrierpunkt, häufiger auf (Abbildung 5). In Bodennähe sind diese noch einmal 0,5 bis 1 K niedriger und erreichen damit den kritischen Bereich. Die relative Luftfeuchtigkeit ist ein weiterer Faktor. Zusammen mit der Lufttemperatur kann die niedrigste Temperatur, die durch direkte Verdunstungskühlung erreicht werden kann, die Feuchtkugeltemperatur, berechnet werden. In Nächten mit Inversionswetterlagen steigt die relative Luftfeuchtigkeit mit sinkenden Temperaturen an und erreicht in der Regel 90 bis 100 %. Zu diesem Zeitpunkt sind die Feuchtkugeltemperatur und die Lufttemperatur vergleichbar. Allerdings kann die Feuchtkugeltemperatur den kritischen Bereich deutlich vor der Lufttemperatur erreichen, wodurch sich die Dauer des Effekts erheblich verlängert.

Treten Spätfrostereignisse erst nach der Blüte auf, können Fruchtschäden in den verschiedensten Ausführungen die Folge sein (Abbildung 7).



(Fotos: Sylvia Metzner, LfULG)

Abbildung 7: Fruchtschäden als Spätfrostfolgen in der Fruchtentwicklung Anfang Mai 2014

In der Nacht vom 16. April auf den 17. April 2014 sank die Temperatur im Versuchsgelände Dresden-Pillnitz des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) auf $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ in zwei Metern Höhe bei 96 % relativer Luftfeuchtigkeit. Dies entsprach einer Feuchtkugeltemperatur von $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ und stellte ein akutes Schadenspotential für die Bäume im Stadium der Vollblüte dar (BBCH-Code 65). Eine zweite Nacht mit Frost am 3. Mai und 4. Mai 2014 mit Feuchtkugeltemperaturen von bis zu $-2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ in zwei Metern Höhe traf die jungen Früchte.

Um den Schaden zu beurteilen, wurden gemäss den Richtlinien für die Durchführung von Obstbauversuchen 100 Blüten pro Sorte in einer Höhe von ca. 170 cm entnommen. Um zusätzliche Effekte auszuschließen, wurde die Beurteilung an bereits geöffneten Blüten durchgeführt. Frostschäden wurden erfasst, wenn der Fruchtknoten und/oder die Samenanlage verbräunt waren. In der Regel wurden Bäume mit ähnlicher Entwicklung verglichen (KRÖLING und METZNER 2015).

Es wurden einige Unterschiede zwischen den Sorten festgestellt, die wiederum einen Hinweis auf mögliche Faktoren der Frosttoleranz geben. Zum Beispiel zeigten die beiden Mutanten von 'Delcorf', 'Delbar Red' (45 % Schaden) und 'Delbar Celeste' (25 % Schaden), mit vergleichbarer Blühstärke und Anteil offener Blüten und identischem Pflanzjahr, deutliche Unterschiede im Grad der Schädigung.

Die Bäume der Sorte 'Nicoter' wiesen trotz einer unterschiedlichen Lebensdauer von sechs Jahren eine Schädigungsrate von etwa 55 % auf, was darauf hindeutet, dass das Alter des Baumes von untergeordneter Bedeutung zu sein scheint. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass eine intensive Blüte keinen direkten Einfluss auf die Spätfrostresistenz hat, aber die absolute Überlebensrate bei gleichem relativen Schaden logischerweise erheblich höher ist.

Nach der Frostnacht Anfang Mai wurde ein breites Spektrum von Schadbildern unterschiedlicher Intensität beobachtet (Abbildung 7).

Nach beiden Frostereignissen waren 'RoHo3615' Evelina®, 'Greenstar', 'Mairac' und 'Gala' Jugala die ertragreichsten Sorten, mit einem sehr geringen Anteil geschädigter Früchte bei der Ernte (KRÖLING und METZNER 2015).

2.1.2 Vermeidungsstrategien von Spätfrostschäden

Abgesehen vom Vermischen von Luftschichten ist das Aufstellen und Anzünden von Paraffinkerzen im Obstbau eine weit verbreitete Methode, aber ihre Wirkung ist sehr begrenzt. Dies ist auf das "Entfernungsquadratgesetz" zurückzuführen, das die Abnahme der Strahlungsintensität von Punktquellen in umgekehrtem proportionalem Verhältnis zur Entfernung beschreibt. Es besagt also, dass bei einer Verdoppelung der Entfernung die Strahlungsintensität um das Vierfache abnimmt (TIPLER und MOSCA 2015).

$$I_2 = I_1 * \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

I_1 Strahlungsintensität am ersten Messpunkt [W / m^2]

I_2 Strahlungsintensität am zweiten Messpunkt [W / m^2]

r_1 Entfernung des ersten Messpunktes zur Punktquelle [cm]

r_2 Entfernung des zweiten Messpunktes zur Punktquelle [cm]

Geht man davon aus, dass der Temperatureffekt ausschließlich auf die Strahlung der Frostschutzkerzen zurückzuführen ist, verbleiben in einem Abstand von 200 cm nur noch 0.25 % der Strahlungsintensität. Zur Ermittlung der Entfernung der Wärmestrahlungsquelle zur Hauptertragszone bildet man ein Dreieck zwischen der Kerze (Dochthöhe 30 cm) in der Mitte der Fahrgasse (320 cm) und dem Baum in 150 cm Kronenhöhe, so ergibt die Hypotenuse diesen Abstand von 200 cm.

Um einen ausreichenden Schutz zu gewährleisten sollen nach den Anweisungen des Herstellers bis zu 300 Kerzen pro Hektar bei einer Temperatur von - 3 °C aufgestellt und entzündet werden, so dass sich ein Abstand von 10 m zwischen den einzelnen Kerzen in einer Reihe ergibt. Werden die Kerzen in jeder Reihe um 5 m versetzt, beträgt der maximale Abstand zwischen einem Baum und einer Kerze \approx 300 cm. In 150 cm Höhe entspricht dies \approx 320 cm.

In einem Versuch zur Bestimmung des Temperaturanstieges durch Parafinkerzen unter Praxisbedingungen wurden geeichte Thermometer in der Nacht vom 20. April zum 21. April 2017, in einer Baumhöhe von 1,50 m un aufgehangen. Die Kerze wurde in der Mitte der 320 cm breiten Fahrgasse aufgestellt, woraus sich die Entfernungen der Thermometer zur Energiequelle von 2 m bzw. 320 cm ergaben. Ein dritter Temperaturfühler befand sich 3 Baumreihen und somit 1120 cm entfernt.

Nach der Entzündung um 00:15 stieg die Temperatur in 200 cm Entfernung von - 2,8 °C auf - 1 °C, am Temperatursensor in 320 cm Entfernung hingegen lediglich auf - 2,3 °C (Abbildung 8)

Die Frostschutz Beregnung, welche zur selben Zeit in einer benachbarten Anlage anlie, bewirkte hingegen einen Temperatursprung auf - 0,5 °C. Mit der Erwärmung der Umgebungstemperatur überstiegen die Werte an den Thermometern in Kerzennähe am schnellsten die 0 °C Marke. Der zusätzliche Temperaturanstieg unter Einfluss der Frostschutzberegnung hingegen war nur sehr gering (Abbildung 8).

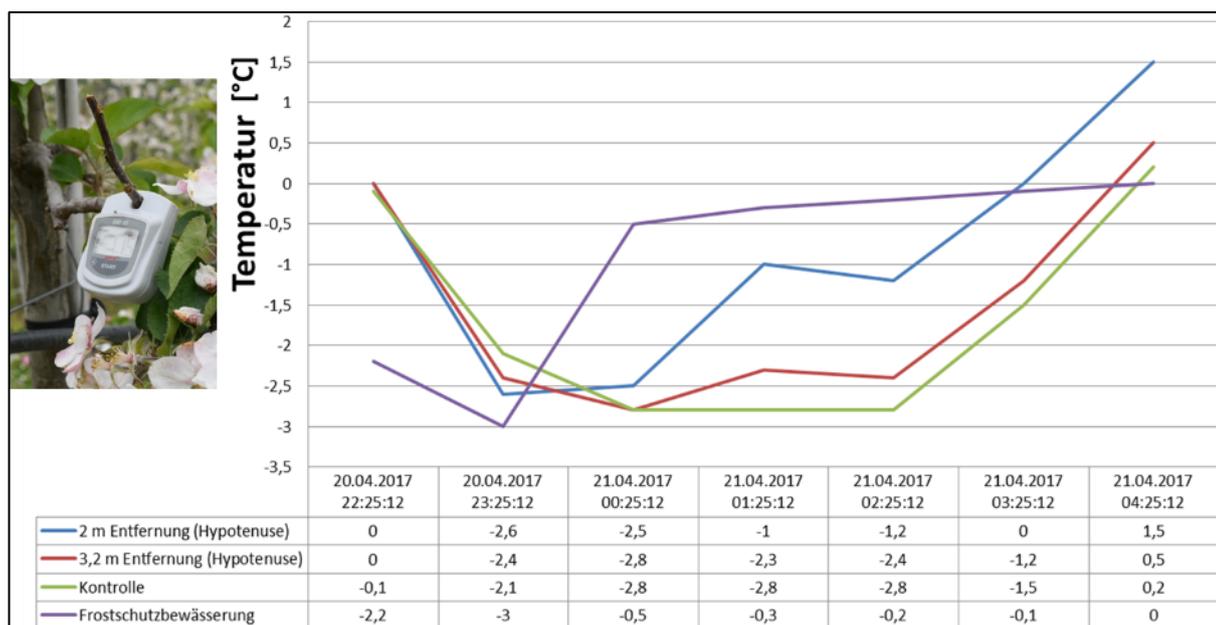


Abbildung 8: Frostschutzwirkung von Frostschutzberegnung und Parafinkerzen in verschiedenen Entfernungen

2.1.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Der Anbau von Sorten mit einer gewissen Widerstandsfähigkeit gegenüber Spätfrosten ist ein weiterer Ansatz, wobei sich hierfür nur bedingt Ansatzpunkte ergeben. So sind Sorten mit einer sehr starken Blühneigung in der Regel weniger betroffen, da die Anzahl überlebender Blüten deutlich höher ist als in schwach blühenden Sorten. Weiter kann ein sehr später Blühbeginn von Vorteil sein, da somit ganze Blütenstände oder zu mindestens Teile von diesen entwicklungsbedingt weniger anfällig für Blütenfrost sind (KRÖLING und METZNER 2015).

Die wirkungsvollste Methode zur Spätfrostprävention, bleibt die Frostschutzberegnung. Diese ist jedoch verbunden mit extrem hohen Wasseraufwendungen und kommt somit nur für Betriebe in Betracht, die auf ein ausreichendes Wasservorkommen zurückgreifen können.

Luftverwirbelungsmethoden sind nicht für alle Frostereignisse geeignet und vor allem im urbanen Raum, aufgrund der Lärmentwicklung in der Nacht, bezüglich der Anwohnerakzeptanz zu hinterfragen. In Inversionswetterlagen, welche den Hauptteil der Frostereignisse ausmachen, haben Sie jedoch einen hohen Wirkungsgrad. Ein Test dieser Technik auf den Versuchsflächen des LfULG war jedoch nicht möglich.

Alternativen, wie das Aufstellen und Entzünden von Kerzen oder das Verbrennen von Gas sind sehr relativ Kosten- und arbeitsintensiv und im Wirkungsgrad deutlich schlechter. Diese Methoden bieten einen gewissen Schutz im Temperaturgrenzbereich und sollten aus wirtschaftlicher Sicht nur in Kulturen und Sorten mit hohem Erlöspotential zum Einsatz kommen, wenn eine Beregnung nicht möglich ist.

In den produzierenden Betrieben spielen verschiedene Paraffinkerzen, Festbrennstofföfen sowie mobile und stationäre Gasheizungen, wie Frost Guard® oder Frostbuster® eine gewisse Rolle. Insbesondere die Effektivität der letztgenannten lässt sich in Feldversuchen nur auf sehr homogenen großen Flächeneinheiten testen, weshalb Untersuchungen keine eindeutigen Ergebnisse zur Folge haben (Wurm 2010a). Einzelne Berichten dokumentieren jedoch Temperatursteigerungen in Frostnächten, durch den Einsatz derartiger Geräte (LAKATOS, et al. 2011; SITO 2014).

Die praktikabelste Lösung ist und bleibt die Frostschtzberegnung. Kann diese, aufgrund mangelnder Wasserverfügbarkeit, nicht genutzt werden, so ist der Einsatz von Windmaschinen denkbar. Diese bieten jedoch keinen Schutz in Frostnächten mit Konvektionswetterlagen. Flächenheizsysteme haben nur einen geringen Wirkungsgrad und sind lediglich in Nächten mit Temperaturen im Bereich der Schadschwelle sinnvoll. Diese Schwelle ist stark vom Vegetationsstadium der Bäume abhängig.

Eine der wichtigsten produktionstechnischen Maßnahmen ist die Standortwahl der Obstanlage. Durch die Vermeidung von Kaltluftbecken in Senken und Talsohlen lassen sich Schäden zu Inversionswetterlagen stark reduzieren.

Weiter erhöht eine regelmäßige, mittlere bis starke Blüte die Wahrscheinlichkeit der Erntesicherheit, trotz Spätfrostschäden. Um dies zu erreichen spielt die Sortenwahl, sowie die termingerechte Fruchtreduktion eine wichtige Rolle. Die Verlagerung der Hauptausdünnphase von der Blüte in die frühe Fruchtentwicklung kann ebenfalls die Ertragssicherheit erhöhen, ist jedoch aus ertragsphysiologischen Gesichtspunkten nicht uneingeschränkt zu empfehlen.

Auf der Seite der Züchtung kann die Selektion auf Sorten mit spätem Vegetationsbeginn und später Blüte vorteilhaft sein. Dem entgegen steht jedoch eine steigende Gefahr einer Feuerbrandinfektion, welche bei hohen Temperaturen zur Blüte gegeben ist.

2.2 Bewässerung

2.2.1 Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Der Fokus der Untersuchungen lag auf den Auswirkungen verschiedener Bewässerungsstrategien von Äpfeln der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince® am Standort Dresden-Pillnitz, auf sandigem Lehm, in verschiedenen Stadien der Vegetations- und Fruchtentwicklung auf Ertrag, Fruchtgröße und -gewicht sowie Deckfarbenausprägung der Früchte. Die Integration einer Variante mit Bewässerung nach dem Verdunstungsmodell des DWD (DWD Beregnungsberatung, im Rahmen des DWD Agrowetters) dient der Feststellung, welches Wassereinsparpotential innerhalb einer optimalen Bewässerung möglich ist. Parallele Bodenuntersuchungen und Tensiometermessungen sollten die Auswirkungen auf das Bodenwasser klären.

2.2.2 Kultur- und Versuchshinweise

Die Untersuchungen wurden unter praxisorientierten Bedingungen an der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince® durchgeführt. Die Pflanzung erfolgte 2009 auf der Unterlage M9 in 6 Reihen zu je 80 Bäumen mit einem Reihen- und Pflanzabstand von 3,2 m x 0,8 m auf dem Versuchsgelände Dresden-Pillnitz auf den Versuchsfeldern des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie. Die Art der Bewirtschaftung entsprach den Grundsätzen des kontrollierten, integrierten Anbaus.

Die Bewässerungsvarianten sind in Tabelle 1 aufgeführt und definiert. Die Bewässerung erfolgte praxisnah mit Tropferschläuchen und einem Tropferabstand von 30 cm.

Tabelle 1: Bewässerungsvarianten

Varianten	Beschreibung
VP_1	Vegetationsperiode 1: Bewässerung von der Blüte bis zum Junifruchtfall; 3 x 20 l/m ² im Baumstreifen abzüglich des gefallenen Niederschlags
VP_2	Vegetationsperiode 2: Bewässerung vom Junifruchtfall bis zur Ernte; 3 x 20 l/m ² im Baumstreifen abzüglich des gefallenen Niederschlags
VP_1+2	Vegetationsperiode 1+2: Bewässerung von der Blüte bis zur Ernte; 3 x 20 l/m ² und Woche im Baumstreifen abzüglich des gefallenen Niederschlags
DWD	Bewässerung nach dem Modell der Beregnungsberatung des DWD Agrowetter Beregnung
Keine Bewässerung	gefallenen Niederschlag ohne jede Zusatzbewässerung

2.2.3 Auswirkungen auf Bodenwasser, Ertrag, äußere Fruchtqualität

Auf den Versuchsfeldern in Dresden-Pillnitz herrscht ein sandiger Lehm mit einer Bodenzahl von 76 vor. Tensiometermessungen über einen Zeitraum von 3 Jahren (2015 bis 2017) belegten, die Änderungen des Wassergehaltes in 30 bzw. 60 cm Tiefe bei regelmäßiger Zugabe von großen Wassermengen (inklusive des gefallenen Niederschlags 20 l/Baum, dreimal in der Woche, alle 2 Tage).

So zeigte sich, für eine Bewässerung beginnend nach dem Junifruchtfall, dass eine Durchfeuchtung des Bodens in einer Tiefe von 30 cm sieben bis zehn Tage dauert. Umgekehrt trocknete der Boden, bei Beendigung der Zusatzbewässerung nach dem Junifruchtfall nicht vollständig aus (Abbildung 9).

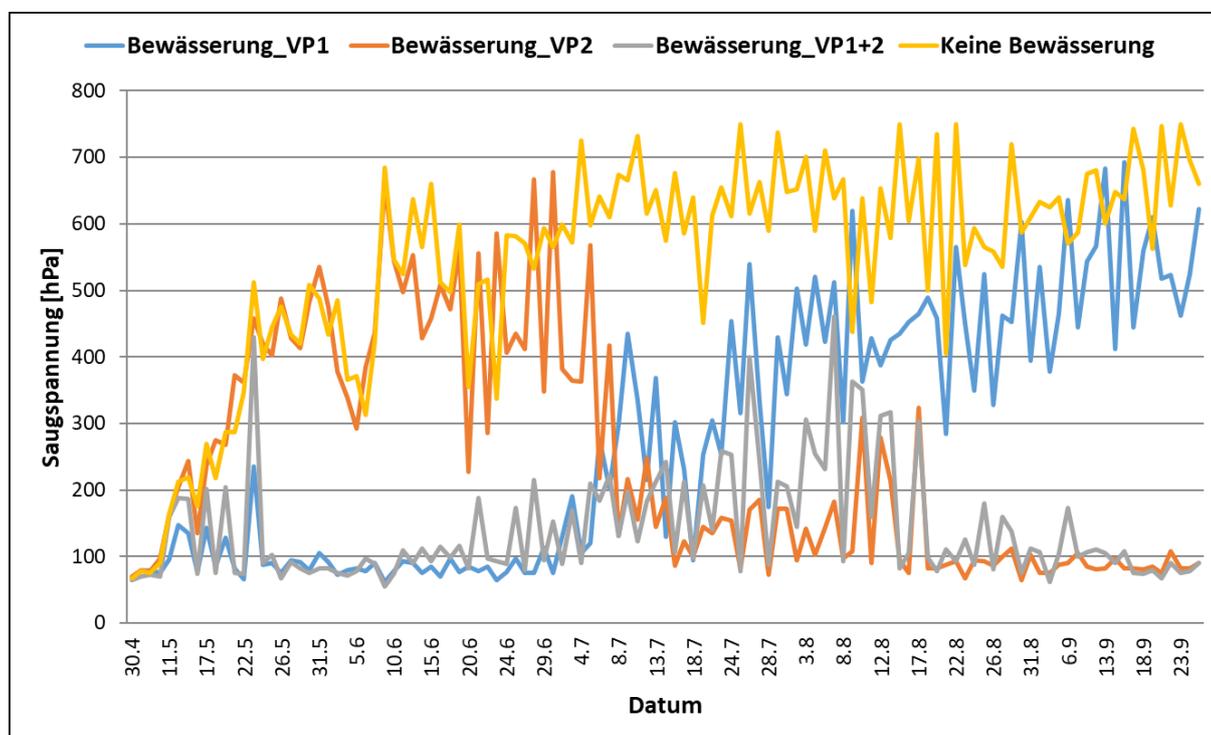


Abbildung 9: Gemittelte Werte der Saugspannung in 0 - 30 cm Bodentiefe im Zeitraum von 2015 bis 2017

Dieser Trend ist auch in den tieferen Bodenschichten sichtbar. Die Wiederbefeuchtung des Bodens auf das Niveau der Dauerbewässerung benötigte hier jedoch zehn bis vierzehn Tage. Da der Unterboden in 30 bis 60 cm Tiefe, in den Jahren 2015 bis 2017 nur mäßig austrocknete, wurden die absoluten Werte der oberen Bodenschicht nicht erreicht (Abbildung 10).

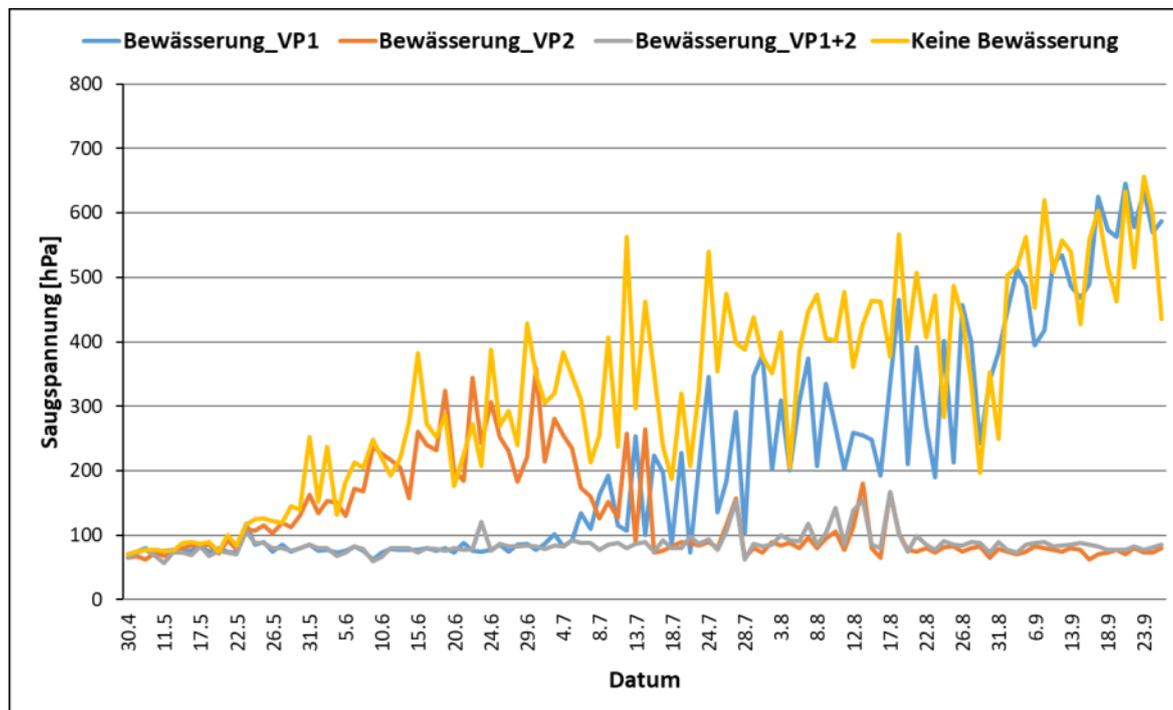


Abbildung 10: Gemittelte Werte der Saugspannung in 30 - 60 cm Bodentiefe im Zeitraum von 2015 bis 2017

Die Methode der gravimetrischen Bodenwasserbestimmung wurde im Zeitraum von 2015 bis 2020 vom Deutschen Wetterdienst (DWD) genutzt um den Verlauf des Bodenwassergehaltes, nur in den nicht zusätzlich bewässerten Parzellen des Bewässerungsversuchs, am Standort Dresden-Pillnitz zu verfolgen. Anhand dieser Daten konnte gezeigt werden, dass in den Jahren 2015 bis 2017, in einer Bodentiefe von 0 bis 60 cm, zu keiner Zeit der permanente Welkepunkt erreicht wurde und somit ein Mindestmaß an pflanzenverfügbarem Wasser vorhanden war (Abbildung 11).

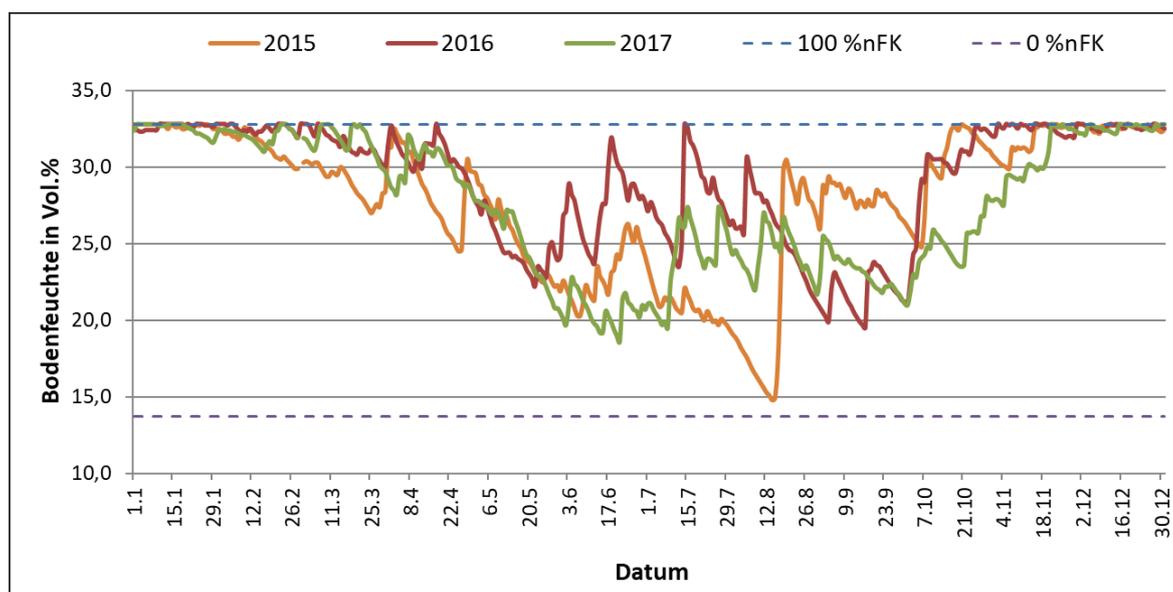


Abbildung 11: Modellierung der Bodenfeuchte in einer Tiefe von 0 bis 60 cm ohne zusätzliche Bewässerung in den Jahren 2015 bis 2017 (Daten: DWD, Falk Böttcher)

Im Jahr 2018 trocknete der Boden hingegen derartig stark aus, dass bereits Ende Juli bis in 60 cm Bodentiefe kein pflanzenverfügbares Wasser mehr vorhanden war. Ein ähnliches Bild war im ebenfalls sehr trockenen Jahr 2019 zu beobachten (Abbildung 12).

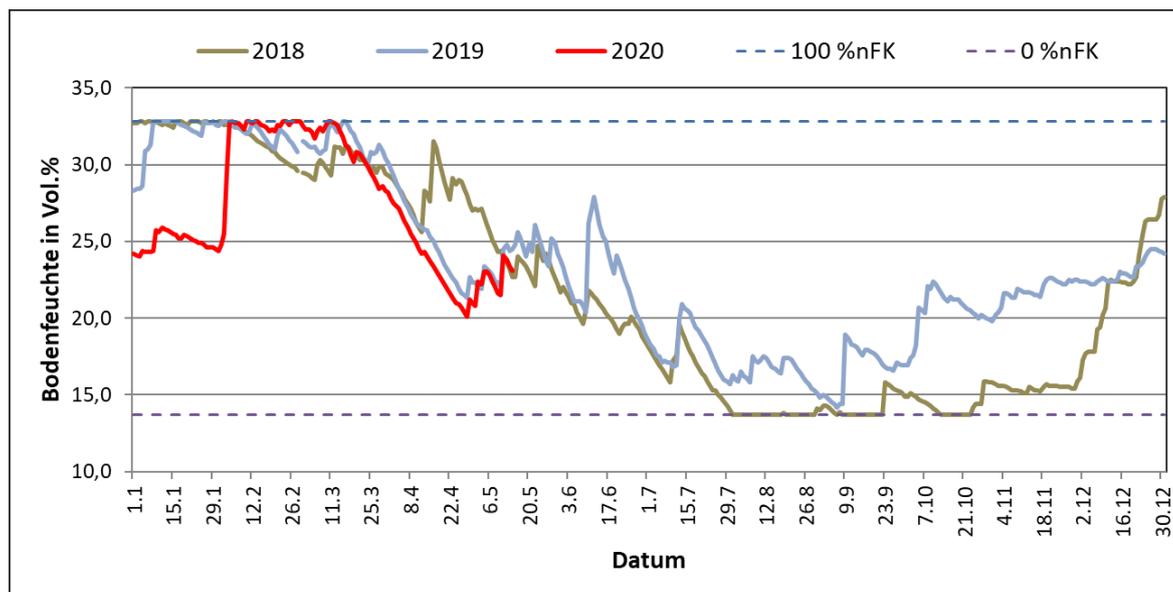


Abbildung 12: Modellierung der Bodenfeuchte in einer Tiefe von 0 bis 60 cm ohne zusätzliche Bewässerung in den Jahren 2018 bis 2020 (Daten: DWD, Falk Böttcher)

Im Dürrejahr 2018 lag der Wasserbedarf, bedingt durch die hohen Durchschnittstemperaturen, im Zeitraum von Mai bis September, von $\bar{\varnothing}$ 19 °C, bei 940 mm. Zudem fielen in diesem Zeitraum nur 142 mm Niederschlag und im gesamten Jahr lediglich 297 mm. Im Jahr 2016, welches eher einen 'normalen' Witterungsverlauf aufwies, lag die Niederschlagsmenge bei rund 550 mm und die durchschnittliche Temperatur von Mai bis September erreichte $\bar{\varnothing}$ 17,8 °C, was einen Wasserbedarf von rund 850 mm mit sich brachte. In Abhängigkeit des jährlichen Witterungsverlaufes betrug das Wasserdefizit in den drei Jahren 300 bis 640 mm.

Hierauf basierend, wurde ein Bewässerungsversuch mit vier Varianten in einer randomisierten Blockanlage, mit 4 Wiederholungen, der 2009 gepflanzten Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince etabliert.

Die Bewässerungsvariante VP_1 erhielt von der Blüte bis zum Junifruchtfall, inklusive des gefallenen Niederschlags, 20 l/Baum, dreimal in der Woche, alle 2 Tage, mit dem Resultat, dass kein statistisch nachweisbarer Ertragsunterschied zu den nicht bewässerten Bäumen festgestellt werden konnte und dies trotz zusätzlicher Wassergaben von $\bar{\varnothing}$ 355 l/Baum (Abbildung 13). Daraus kann abgeleitet werden, dass der Bodenwassergehalt des sandigen Lehms im Frühjahr ausreicht, um die Versorgung der Bäume sicherzustellen.

Die Bewässerungsvariante VP_2 wurde nach demselben Schema, jedoch erst vom Ende des Junifruchtfalls bis zur Ernte bewässert. Zwar wies der Fruchtbehang der Bäume keinen Unterschied zur Kontrolle auf, jedoch hatten die Früchte ein um mehr als 25 g höheres Einzelfruchtgewicht. Dies resultierte in einem Mehrertrag von mehr als 90 dt/ha, jedoch bei zusätzlichen Wassergaben von insgesamt 565 l/Baum (Abbildung 13). Aufgrund der guten Effekte der Zusatzbewässerung in der Zellstreckungsphase, nach dem Junifruchtfall, kann geschlossen werden, dass die Früchte, zu diesem Entwicklungsabschnitt positiv auf intensive Wassergaben reagieren. Der Mehrertrag in der Zellstreckungsphase konnte durch eine Bewässerung von der Blüte bis zur Ernte, wie sie in der Bewässerungsvariante VP_1+2 praktiziert wurde, nicht mehr gesteigert werden (Abbildung 13). Diese Ergebnisse unterstreichen den Nutzen einer bedarfsgerechten Bewässerung hinsichtlich möglicher Wasserersparnisse bei gleichzeitiger Ertragssteigerung, da Wassergaben vor dem Junifruchtfall offensichtlich keinen wesentlichen Einfluss auf den Ertrag haben.

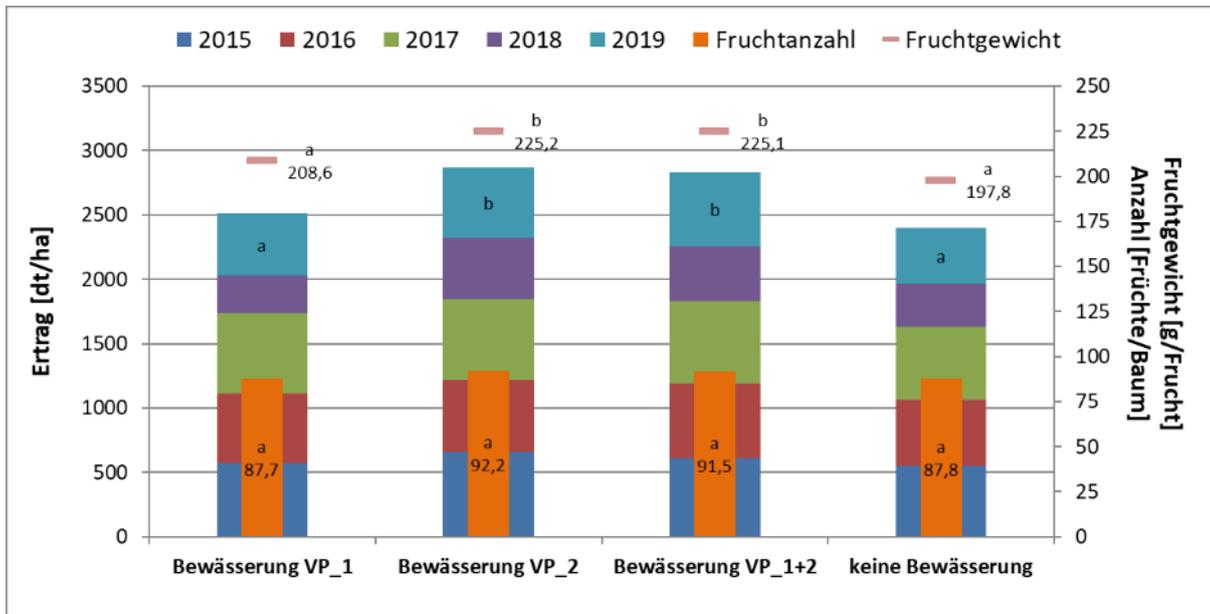


Abbildung 13: Kumulierter Ertrag, durchschnittliche Anzahl Früchte je Baum und durchschnittliches Fruchtgewicht in den verschiedenen Bewässerungsvarianten; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

In den Jahren 2015 bis 2017 erreichten die Messwerte der Saugspannung ohne Zusatzbewässerung diesen kritischen Bereich von 400 hPa, auch in den tieferen Bodenschichten, ab Mitte bis Ende Juli (Abbildung 10). Dies unterstreicht die positiven Ertragseffekte der Zusatzbewässerung nach dem Junifruchtfall. In den Dürrejahren 2018 und 2019 war die Bodenaustrocknung auf das oben beschriebene Niveau bereits Anfang Mai bzw. Mitte Juni erreicht, weshalb mit einem deutlichen Effekt der Frühjahrsbewässerung auf den Ertrag zu rechnen war. Dieser blieb jedoch aus (Abbildung 14).

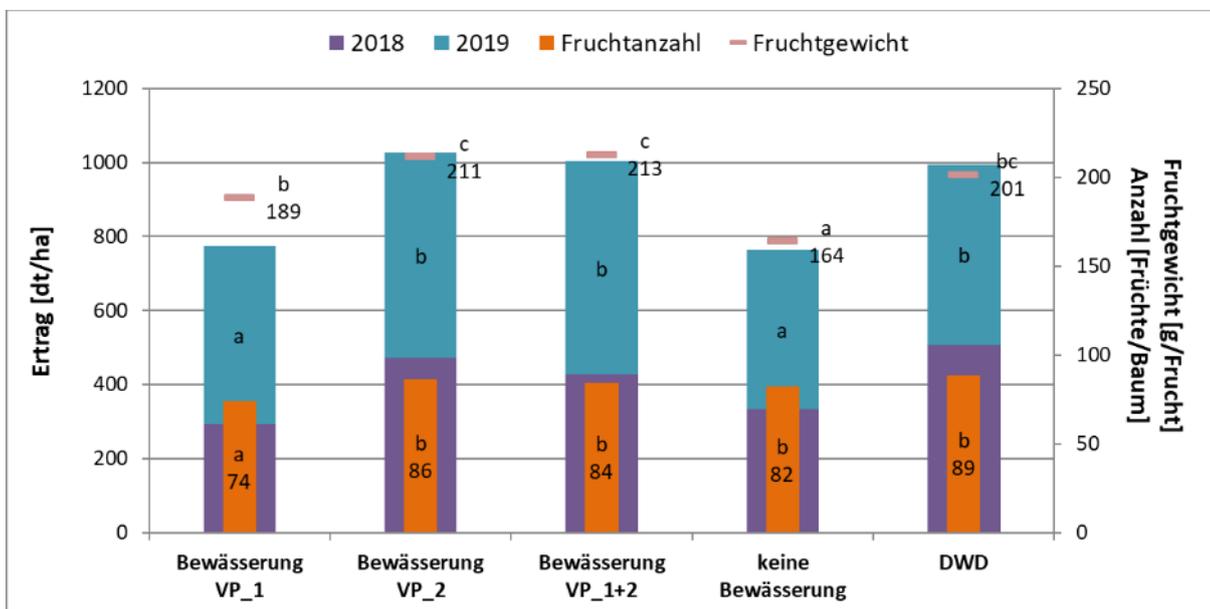


Abbildung 14: Kumulierter Ertrag, durchschnittliche Anzahl Früchte je Baum und durchschnittliches Fruchtgewicht in den verschiedenen Bewässerungsvarianten aus den Trockenjahren 2018 und 2019; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

In Dresden-Pillnitz wurde was in den Trockenjahren 2018 und 2019, in Zusammenarbeit mit dem DWD realisiert und eine zusätzliche Variante, in Anpassung an die kritischen Bodenwassergehalte der Entwicklungsphasen, nach dem Modell des „DWD Agrowetter Berechnung“ bewässert. Zur Berechnung der Bewässerungsempfehlung verwendet der DWD das, auf der klassischen Penman-Monteith-Beziehung basierende Modell „AMBAV“. Mittels der Kenngrößen Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Globalstrahlung, thermische Himmelsstrahlung können somit die potentielle und reale Evapotranspiration (Transpiration und Evaporation), die Bodenfeuchte, das Sickerwasser und die Interzeptionsverdunstung ermittelt werden. Auf der Basis der Berechnungen des Bewässerungsmodells wurden zusätzliche Wassergaben zwischen 448 l/Baum im Jahr 2018 und 330 l/Baum im Jahr 2019 verabreicht. Vor dem Triebabschluss waren es lediglich 152 l/Baum (2018) und 60 l/Baum (2019), nach dem Triebabschluss jedoch 296 l/Baum (2018) und 270 l/Baum (2019).

Die Betrachtung der Versuchsergebnisse aus den beiden Trockenjahren auf sandigem Lehm untersetzt die zuvor geschilderten Ergebnisse aus den Bewässerungsvarianten. Eine Bewässerung ausschließlich bis zum Junifruchtfall (VP_1) brachte selbst unter den extremen Bedingungen 2018 und 2019 keinen zusätzlichen Ertragsvorteil. Lediglich ein Zuwachs im Fruchtgewicht, jedoch in Verbindung mit einer geringeren Anzahl Früchte je Baum, war zu verzeichnen (Abbildung 14).

Ein statistisch gesicherter Ertragsunterschied zwischen einer Bewässerung ausschließlich nach dem Junifruchtfall (VP_2) und einer Bewässerung von der Blüte bis zur Ernte (VP_1+2) konnte ebenso wenig festgestellt werden, wie zur Variante mit Bewässerung nach dem Modell des „DWD Agrowetter Berechnung“. Alle drei Varianten unterschieden sich jedoch sowohl im Ertrag als auch im durchschnittlichen Einzelfruchtgewicht signifikant von der Variante ohne Zusatzbewässerung und das bei vergleichbarem Behang (Abbildung 14). Damit wird der ertragsfördernde Effekt einer Zusatzbewässerung nach dem entwicklungspezifischen Wasserbedarf der Bäume, mit Schwerpunkt nach dem Junifruchtfall, unterstrichen. Kein Unterschied hingegen konnte bezüglich Ausfärbung, Berostung oder Stippeneigung der Früchte festgestellt werden.

Vergleicht man nun die durchschnittlichen Erträge der Jahre 2015 bis 2017 (Abbildung 13) mit denen von 2018 und 2019 (Abbildung 14), so zeichnet sich ein Ertragsunterschied von ca. 30 % ab, was die Bedeutung einer Bewässerung in Trockenjahren weiter hervorhebt.

Keinen Einfluss hatte die Bewässerung auf die Neigung zur Alternanz (Abbildung 16), welche mittels einer Schätzung der Blühstärke ermittelt wurde. Weiter konnte bei dieser Sorte auch kein Einfluss auf den Anteil der Deckfarbe gefunden werden (Abbildung 15).

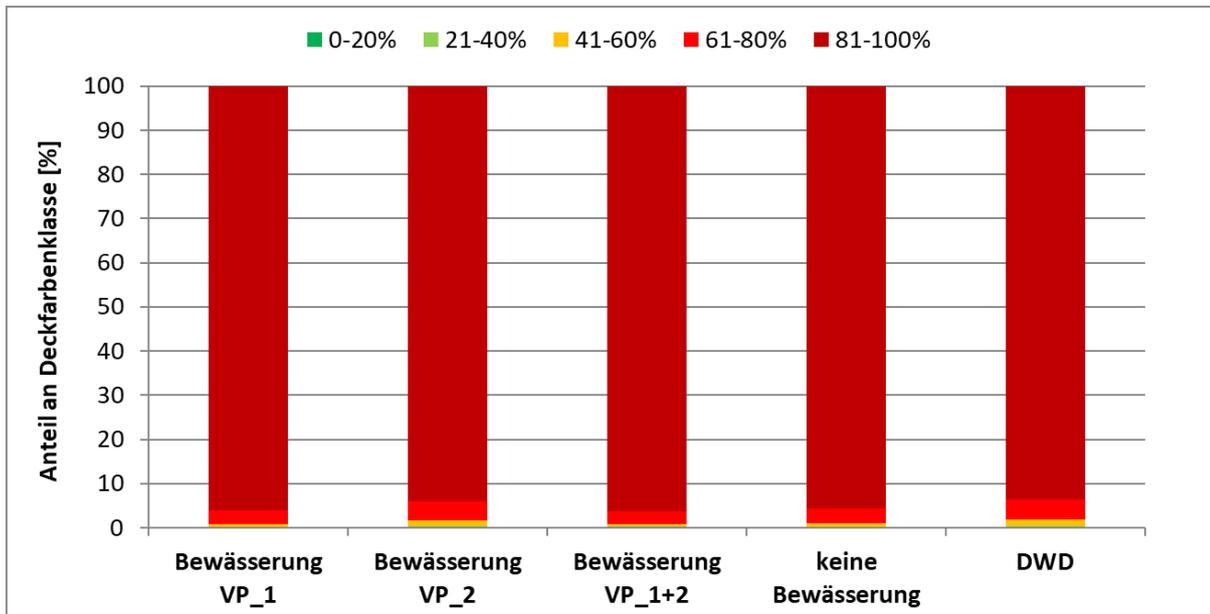


Abbildung 15: Kumulierte prozentuale Anteile von Früchten der fünf Deckfarbenklassen in den Bewässerungsvarianten für die Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince im Zeitraum von 2015 bis 2019

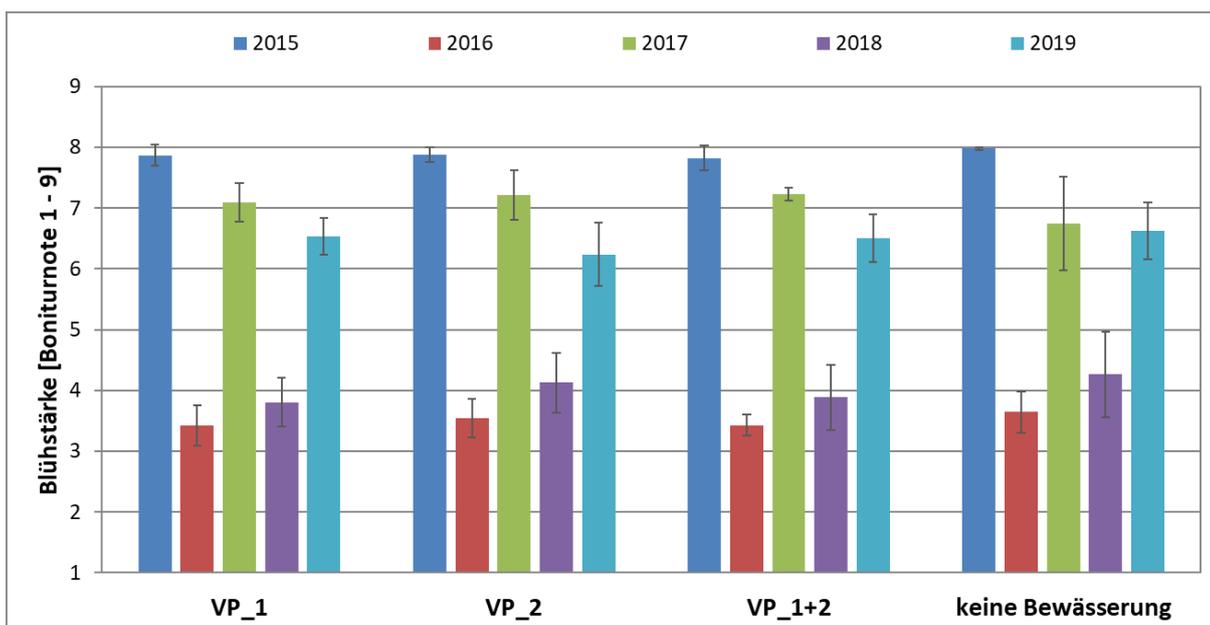


Abbildung 16: Mittlere Blühstärke der Bewässerungsvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprince im Zeitraum von 2015 bis 2019

2.2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Abschließend ist festzuhalten, dass durch eine Zusatzbewässerung auf Standorten mit hoher nutzbarer Feldkapazität und durchschnittlich 550 mm Jahresniederschlag, unter Nutzung von Berechnungsmodellen oder sensorgesteuerter Bewässerung, ein gesichert höherer Ertrag und größere Fruchtkaliber erreicht werden. Bei der Häufung von Extremjahren, wie 2018 und 2019, mit extremer Trockenheit und hohen Temperaturen werden diese positiven Effekte noch gesteigert. Im Umkehrschluss ist, bei einer Zunahme von Trockenjahren, ohne Zusatzbewässerung auch auf Standorten mit guten Böden mit deutlichen Ertragseinbußen zu rechnen.

In den kommenden Jahren muss die Entwicklung von Strategien zur Verminderung des Wasserverbrauchs in der Apfelproduktion im Fokus stehen. Neben der Bewässerung nach Verdunstungsmodellen oder sensorgestützter Entscheidungshilfe können Hagelnetze eine gewisse Rolle spielen, da unter diesen die Strahlungsintensität signifikant reduziert wird (HANDSCHACK 2013; KRÖLING 2019). Dies kann zu einem geringeren Wasserverbrauch bei einigen Apfelsorten führen (FRIEDRICH 1978). Hieraus würden sich weitere Vorteile bezüglich strahlungsbedingter Sonnenbrandschäden an Früchten und der Prävention vor Hagelschlag ergeben.

Einen zweiten Aspekt stellt die Bereitstellung von Wasser dar. In Regionen ohne effektiven Zugang zu Wasser aus Brunnen oder aus Fließgewässern, kann der Ausbau von Sammelbecken für Oberflächenwasser eine geeignete Möglichkeit darstellen.

2.3 Ausdünnung mit Metamitron

2.3.1 Versuchsfrage und Versuchshintergrund

Im Fokus der Untersuchungen standen die Wirksamkeit einer frühen und einer späten einmaligen Anwendung von Brevis® (Wirkstoff: Metamitron) auf den Fruchtfall einer jungen, 2014 gepflanzten Bäumen, der Sorte 'RoHo3615' Evelina®, unter Berücksichtigung der Witterung und im Vergleich zu einer zweimaligen Anwendung verglichen.

Des Weiteren wurde untersucht, ob durch den Zusatz von Zitronensäure oder Regalis®Plus die Löslichkeit von Brevis erhöht werden kann und dadurch eine stärkere Wirkung auftritt.

Neben der Ausdünnwirkung wurde auch der Einfluss von Brevis® auf die innere und äußere Fruchtqualität begutachtet.

2.3.2 Kultur- und Versuchshinweise

In den Jahren 2016 und 2017 wurden zwei Feldversuche an 2014 gepflanzten Bäumen der Apfelsorte 'RoHo3615' Evelina® (*Malus x domestica* Borkh) auf einem sandigen Lehmboden am Standort Dresden-Pillnitz durchgeführt. Die Bäume wurden als schlanke Spindel mit einem Abstand von 3,2 m x 1,0 m erzogen und nach den Bundesbestimmungen der Integrierten Produktion bewirtschaftet. Der Versuch wurde in randomisierten Blöcken mit vier Replikationen von fünf Bäumen pro Behandlung durchgeführt. Um die Varianz zwischen den Bäumen so gering wie möglich zu halten, wurden Bäume mit einer ähnlichen Anzahl von Blütenbüscheln vorselektiert ('RoHo3615': 2016: 165 ± 29 ; 'RoHo3615' 2017: 149 ± 18).

Des Weiteren wurde untersucht, ob die Wirksamkeit durch Zusatz von Regalis® Plus (84,8 g/kg Prohexadion, 25,2 g/kg Ca-Salz) oder Zitronensäure (0,1 %ig) beeinflusst wird. Die Konzentrationen der Präparate sind in Tabelle 2 dargestellt.

Die erste (frühe) Applikationen der Präparate erfolgte am 19. Mai 2016 bzw. 17. Mai 2017, die zweite (spät) am 27. Mai 2016 bzw. 25. Mai 2017 (Tabelle 2). Nach dem Junifruchtfall wurden alle Bäume per Hand auf die Anzahl von 2 Früchten je Fruchtstand ausgedünnt und die Anzahl der entnommenen Früchte gezählt.

Tabelle 2: Entwicklungsstadien und und Aufwandsmengen in der Sorte 'RoHo3615' Evelina®

Varianten	Beschreibung	1. Termin: 8-10 mm Fruchtgröße	2. Termin: 12-14 mm Fruchtgröße
1	Handausdünnung		
2	Brevis® 2x	1,1 kg/ha	1,1 kg/ha
3	Brevis®	1,1 kg/ha	--
4	Brevis®	--	1,1 kg/ha
5	Brevis® + Regalis® Plus	1,1 kg/ha + 1,25 kg/ha	--
6	Brevis® + Zitronensäure	1,1 kg/ha + 500 g/ha	--

2.3.3 Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität Sorte 'RoHo3615'

Der Finalfruchtansatz nach dem Junifruchtfall gilt als optimaler Zeitpunkt zur Bewertung der Ausdünnwirkung einer Maßnahme nach der Blüte. Zur besseren Vergleichbarkeit der Bäume, auch bei leichten Differenzen der Gesamtfruktzahl je Baum werden die Früchte je 100 Infloreszenzen als Bewertungsgrundlage herangezogen. In beiden Untersuchungsjahren gelang es, mit zweimaliger Anwendung von Brevis® in der Sorte 'Roho3615' Evelina® den Finalfruchtansatz, im Vergleich zur Kontrolle, signifikant um 30 % zu reduziert. Die einmalige frühe Anwendung hingegen reduzierte die Fruchtzahl im Jahr 2016 nur unzureichend. Im Folgejahr hingegen konnte ein statistisch gesicherter Unterschied dieser beiden Varianten nachgewiesen werden (Abbildung 17). Der Hauptunterschied zwischen den beiden Versuchsjahren, zu diesem Applikationstermin, ist in den Nachttemperaturen zu finden. Diese lag 2016 bei 9,1 °C in der ersten und steigerte sich auf 12,4 °C in der dritten Nacht nach der Behandlung, ab dann lagen sie kontinuierlich über 15 °C. Im Jahr 2017 hingegen lag die Durchschnittstemperatur in der Nacht mit 18,3 °C und 15,4 °C bereits in den ersten beiden Nächten deutlich über den Temperaturen des Vorjahres. Erst danach fielen Sie auf 10 °C und weniger ab.

Die späte Anwendung bewirkte in beiden Untersuchungsjahren eine gesicherte Reduktion des Behangs der Bäume (Abbildung 17). Die bessere Wirksamkeit der späten Anwendung ist vor allem im ersten Jahr auf die Witterung zurückzuführen. Die Temperaturen in den fünf Nächten nach der späten Behandlung lag um 1,9 K höher als nach der frühen Behandlung. Bei einer Betrachtung der ersten drei unmittelbar auf die Anwendung folgenden Nächte lag dieser Unterschied sogar bei 4,8 K.

2017 hingegen fiel die Temperaturen sehr schnell von Ø 15,6 °C in der ersten Nacht nach der zweiten Applikation auf 10,2 bzw. 7,8 °C in der zweiten und dritten Nacht ab. Dennoch war die Wirkung vergleichbar mit der der ersten Behandlung. Die Tagessumme der Globalstrahlung einen Tag vor und drei Tage nach der späten Anwendung lag um rund 1350 W/m² niedriger im Vergleich zur frühen Anwendung. Physiologisch betrachtet ist die bessere Wirksamkeit einer späteren Anwendung in der zeitlichen Nähe zum Junifruchtfall zu finden. Etwa drei Wochen nach Vollblüte kommt der Embryo in eine Phase starken Wachstums. In dieser Zeit werden kaum Phytohormone gebildet und die Früchte reagieren sensibler auf Wachstumsregulatoren (FERREE und WARRINGTON 2003).

Der Zusatz von Regalis® Plus oder Zitronensäure konnte in keinem Fall die Wirksamkeit von Brevis® erhöhen oder verringern (PENZEL und KRÖLING 2018; PENZEL und KRÖLING 2020).

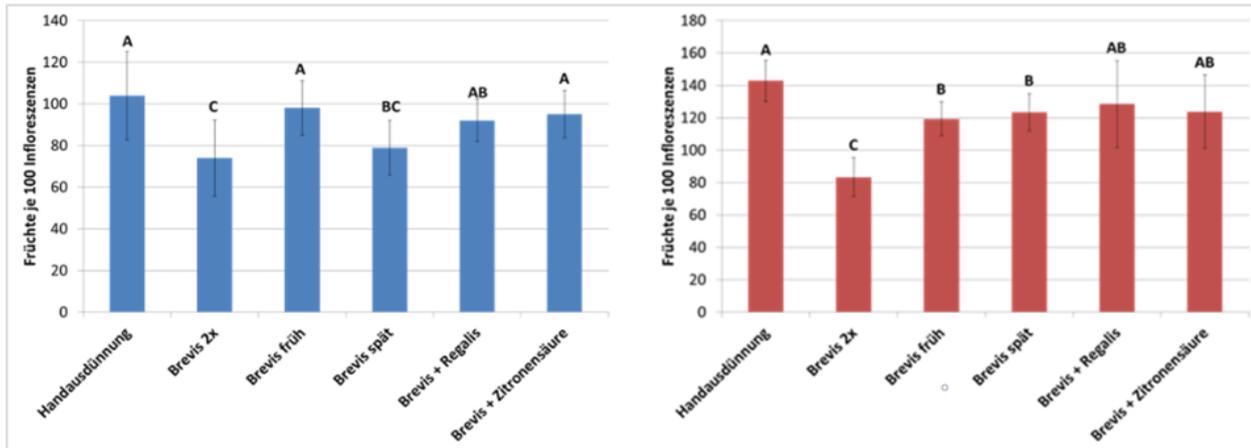


Abbildung 17: Finalfruchtansatz bezogen auf 100 Infloreszenzen (blau: 2016; rot: 2017). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar; unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

Besonders deutlich macht sich der starke Ausdünnungseffekt bei der Doppelbehandlung bemerkbar (Abbildung 17). Dies liegt begründet in einer Verlängerung der unterdrückenden Wirkung der Photosynthese und somit in einer länger anhaltenden Assimilatkonkurrenz zwischen den Früchten. Da die schwächeren und kleineren Früchte eines Fruchtstands bevorzugt abgeworfen werden, verringert sich die Anzahl der zu entlastenden Fruchtstände und somit auch der Früchte je Baum nach dem Junifruchtfall maßgeblich, was ein enormes Potenzial zur Einsparung kostenintensiver Handarbeit darstellt (Abbildung 18).

Bei einer Ausdünnungsrate von 1.500 bis 2.500 Früchten je Arbeitskraftstundestunde und im Mittel 50 zusätzlich zu entfernenden Früchten je Baum entspricht dies 577 bis 961 € je ha. Vorausgesetzt wurden bei dieser Rechnung eine Anzahl von 2.800 Bäumen je ha und der Einsatz von Saisonarbeitern mit einem Arbeitgeberbruttolohn von 10,30 € je Akh. Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Obstausdünnung mit Brevis® müssen die Einsparungen den Kosten des Ausdünnmittels und der Anwendung gegenübergestellt werden, die sich in diesem Beispiel auf ca. 500 € je ha belaufen. Bei älteren Bäumen und schwer auszudünnenden Sorten, wie z.B. 'Gala' (1 bis 2 Anwendungen mit 1,65 bis 2,20 kg/ha), können die Mittelkosten jedoch um 50 bis 100 % höher liegen. Parallel steigt allerdings auch der Behang der Bäume und somit auch die Kosten für die potentielle Handausdünnung.

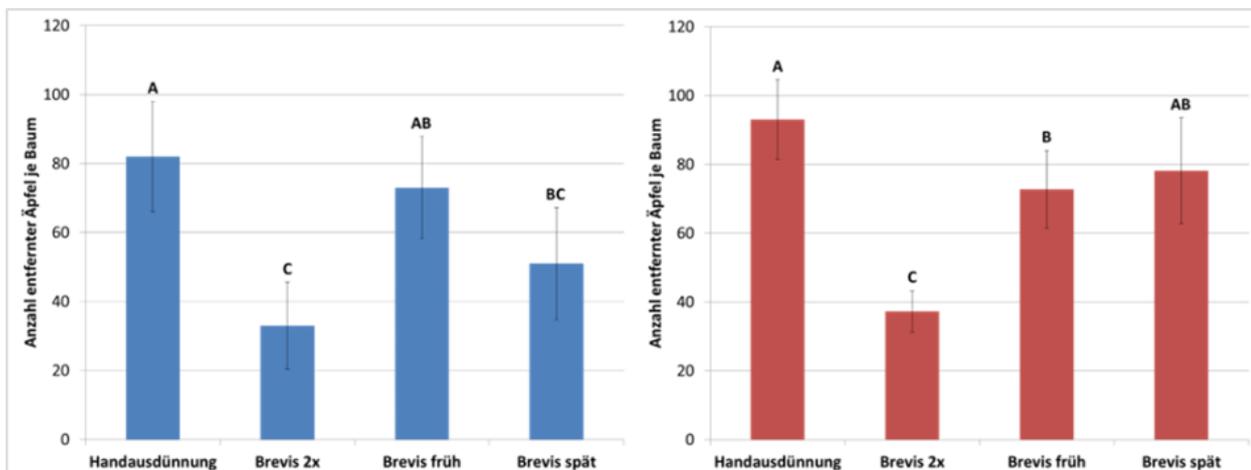


Abbildung 18: Zusätzliche Ausdünnung per Hand (blau: 2016; rot: 2017). Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar; unterschiedliche Buchstaben signifikante Unterschiede zwischen den Varianten.

Aus Gründen der Vergleichbarkeit von Fruchtgröße und Fruchtausfärbung erfolgte zusätzliche die Einstellung eines gleichmäßigen Behangs in allen Varianten. Die beiden genannten Parameter wurden in jedem Versuchsglied einzelbaumweise ermittelt, wobei kein wesentlicher Unterschied zwischen den Varianten in Bezug auf die Ausfärbung der Früchte festgestellt werden konnte (Abbildung 19).

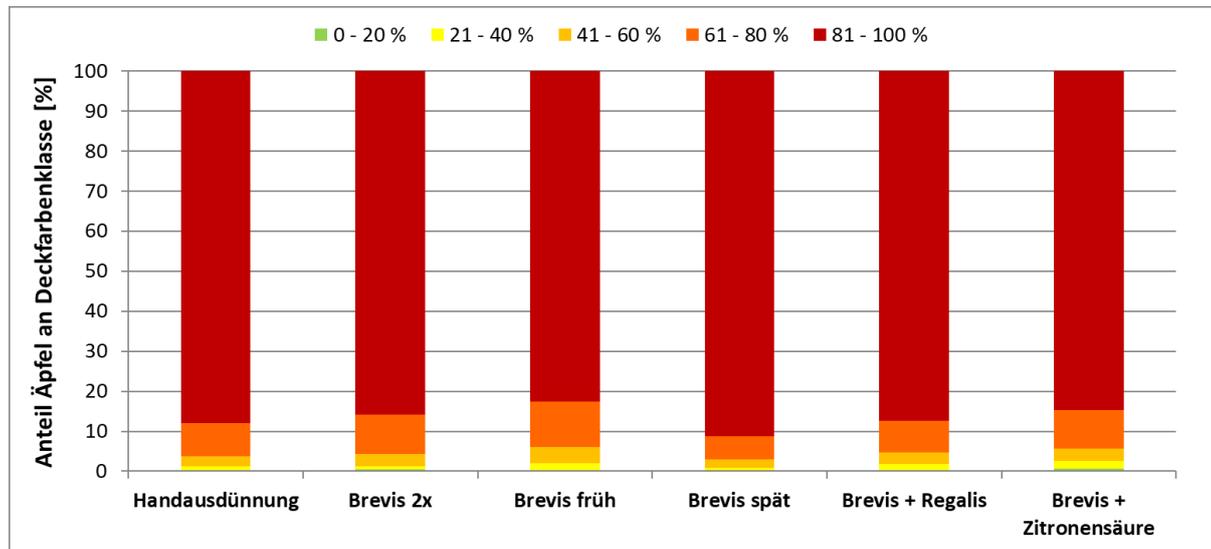


Abbildung 19: Vergleich der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich des prozentualen Anteil von Früchten der Versuchsvarianten an den fünf Deckfarbenklassen in der Sorte 'RoHo3615'

Die offensichtliche Zunahme großer Fruchtkaliber bei einer in der Variante mit zweimaliger Brevis®-Behandlung liegt im, trotz Handausdünnung, niedrigeren Behang von 91 Früchten je Baum, im Vergleich zu den übrigen Varianten mit 103 bis 110 Früchten je Baum begründet (Abbildung 20). Somit ist ein zusätzlicher Effekt des Präparates z. B. auf die Fruchtgröße, wie er für 6-BA beschrieben ist, nicht ersichtlich (GREENE 1989).

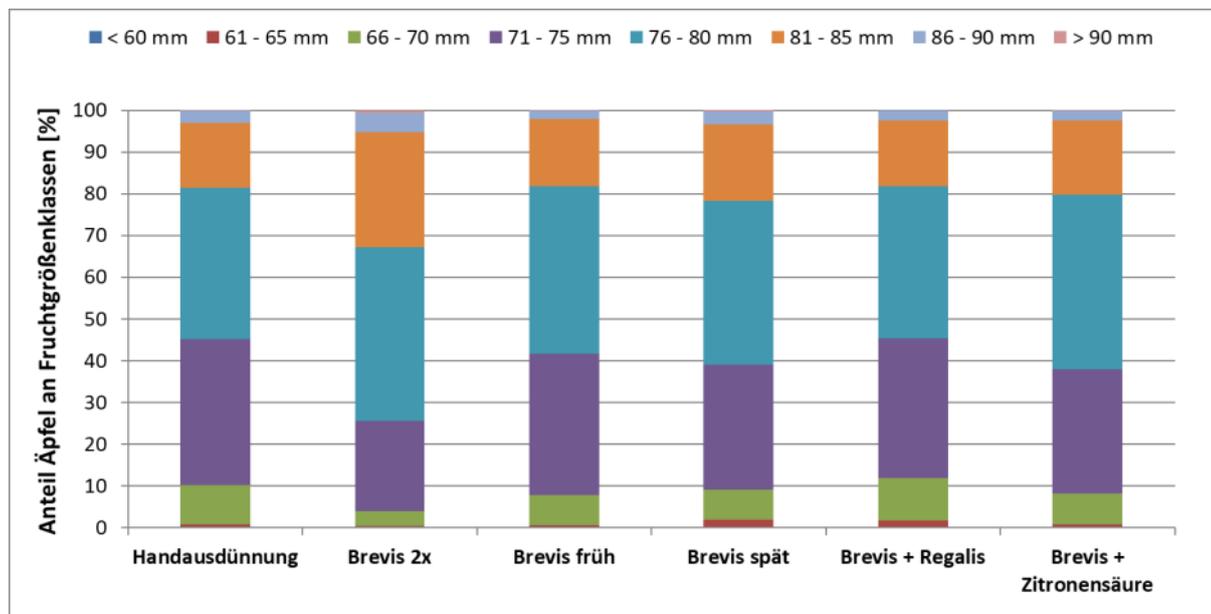


Abbildung 20: Vergleich der verschiedenen Versuchsvarianten hinsichtlich des Anteils von Früchten an den acht Fruchtgrößenklassen in der Sorte 'RoHo3615'

2.3.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Bei einer Aufwandmenge von 1,1 kg/ha konnten mit den zwei Anwendungen, bei 8 mm und 12 mm Fruchtdurchmesser bei der Sorte 'Pinova' Evelina® gute Ausdünnergebnisse erzielt werden. Der Aufwand für die Handausdünnung wurde um mehr als 50 % verringert. Tendenziell wirkt Brevis® zu einem späteren Anwendungszeitpunkt besser als zu einem früheren, Nachttemperatur und Globalstrahlung haben jedoch einen entscheidenden Einfluss. Bei Anwendung innerhalb der zugelassenen Konzentrationen können geringe Blattschäden auftreten, Fruchtschäden sind nicht zu erwarten. Brevis® kann zur Ergänzung der bestehenden Ausdünnverfahren empfohlen werden. In Junganlagen sollte das Präparat niedriger (1,10 - 1,65 kg/ha) konzentriert werden als in Vollertragsanlagen (1,65 - 2,2 kg/ha). In der Praxis sollte jeder Betrieb individuell, zunächst auf kleineren Flächen, Erfahrungen im Umgang mit dem Präparat sammeln, um zu prüfen, ob es sich in die betriebliche Ausdünnstrategie einfügen lässt. Zu beachten ist die Wettervorhersage in der Woche vor und nach der Anwendung. Hohe Nachttemperaturen und wolkgiger bis bewölkter Himmel 3 bis 5 Tage nach der Anwendung steigern die Ausdünnwirkung. Wenn zu niedrige Nachttemperaturen, mit Werten unter 10°C, angesagt sind, ist es ratsam, auf höhere Temperaturen zu warten, damit das Präparat optimal wirken kann (PENZEL und KRÖLING 2018).

Wolkiges Wetter, vom Zeitpunkt der Vollblüte bis 10 mm Fruchtdurchmesser, kann den Fruchtbehang von Apfelbäumen reduzieren. Voraussetzung ist, dass diese Wetterlage mindestens 3 Tage andauert. Hierdurch kommt es zu einem Assimilatdefizit und die Konkurrenz zwischen den jungen Früchten wird verstärkt (BYERS et al. 1990). Somit liegt die Vermutung eines Zusammenhangs zwischen der Wirkung von Photosynthese hemmenden Substanzen und der Witterung nah (PENZEL 2017).

Unterschiedliche Wirksamkeiten zur Fruchtausdünnung mit Metamitron bei unterschiedlicher Witterung konnten ebenfalls in Versuchen mit mehreren Versuchsjahren gezeigt werden (BASAK 2011). Durch eine einmalige Behandlung bei schlechtem Wetter konnte der Fruchtbesatz mit Metamitron im 1. Versuchsjahr signifikant reduziert werden, wobei eine zweimalige Behandlung einen übermäßig starken Fruchtfall zur Folge hatte. Bei guter Witterung im zweiten Versuchsjahr hingegen, konnten ähnlich gute Ergebnisse nur in dem Versuchsglied mit zweimaliger Anwendung von Metamitron festgestellt werden. Die Beobachtungen deuteten erstmals auf den Einfluss der Witterung auf die Wirksamkeit von Metamitron hin.

2.4 Anbausysteme zur Sicherung von Ertrag und Qualität

2.4.1 Versuchsfrage und Versuchshintergrund Sorten 'Jonagold'

Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die Auswirkungen unterschiedlicher Baumhöhen, Reihen- und Pflanzabstände von Apfelbäumen der Sorten 'Jonagold' Red Jonaprince® und 'Jonagold' Novajo® am Standort Dresden-Pillnitz, auf sandigen Lehm, auf Ertrag, Fruchtgröße und -gewicht sowie auf die Färbung der Früchte. Hintergrund war die Optimierung der Flächennutzung und somit der Einsparung von Produktionsmitteln je produzierte Einheit.

2.4.2 Kultur- und Versuchshinweise

Die Untersuchungen wurden unter praxisähnlichen Bedingungen in einer 2015 gepflanzten und kontrolliert integriert bewirtschafteten Apfelintensivanlage mit den Sorten 'Jonagold' Red Jonaprince® und 'Jonagold' Novajo® auf der Unterlage M9, mit einem Reihen- und Pflanzabstand von 1,00 m x 3,50 m und 1,20 m x 3,50 m sowie 0,70 m x 2,80 m und 0,80 m x 2,80 m, am Versuchsstandort Dresden-Pillnitz auf den Versuchsflächen des LfULG geplant und durchgeführt. Die Kronenhöhe der Bäume wurde den verschiedenen Reihenabständen angepasst. Insgesamt erreichten die auf 3,50 m gepflanzten Bäume eine Endhöhe von 3,25 m plus den jährlichen Zuwachs, die auf 2,80 m gepflanzten hingegen nur 2,50 m plus den jährlichen Zuwachs (Tabelle 3).

Tabelle 3: Bezeichnung und Beschreibung der Pflanzvarianten

Varianten	Beschreibung
0,7 m x 2,8 m	Pflanzenabstand 0,7 m; Reihenabstand 2,8 m; Baumhöhe 2,5 m + jährlicher Zuwachs; 4.592 Bäume/ha; 12.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 14.800 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)
0,8 m x 2,8 m	Pflanzenabstand 0,8 m; Reihenabstand 2,8 m; Baumhöhe 2,5 m + jährlicher Zuwachs; 4.018 Bäume/ha; 12.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 14.800 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)
1,0 m x 3,5 m	Pflanzenabstand 1,0 m; Reihenabstand 3,5 m; Baumhöhe 3,2 m + jährlicher Zuwachs; 2.571 Bäume/ha; 13.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 15.400 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)
1,2 m x 3,5 m	Pflanzenabstand 1,2 m; Reihenabstand 3,5 m; Baumhöhe 3,2 m + jährlicher Zuwachs; 2.143 Bäume/ha; 13.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 15.400 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)

2.4.3 Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität

Im Durchschnitt der ersten vier Jahren war, mit zunehmender Pflanzdichte ein sinkender Ertrag je Baum festzustellen. Dieser belief sich im Fall einer Pflanzung auf 1,00 m x 3,50 m bzw. 1,20 m x 3,50 m, bei der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprine® auf ≈ 14 kg/Baum und bei der Sorte 'Jonagold' Novajo® auf ≈ 14 kg/Baum. Die Varianten mit 2,80 m Reihenabstand erreichten in beiden Sorten lediglich 9,5 kg/Baum bis 10,5 kg/Baum (Abbildung 21 und Abbildung 22). Somit unterschieden sich die Einzelbaumerträge nur zwischen den Varianten mit unterschiedlichen Reihenabständen signifikant voneinander. Ähnlich verhielt es sich auch im Hinblick auf den Behang je Baum, so dass auch hierbei ein statistisch gesicherter Effekt nur zwischen den Varianten mit unterschiedlichem Reihenabstand festgehalten werden konnte (Abbildung 21 und Abbildung 22).

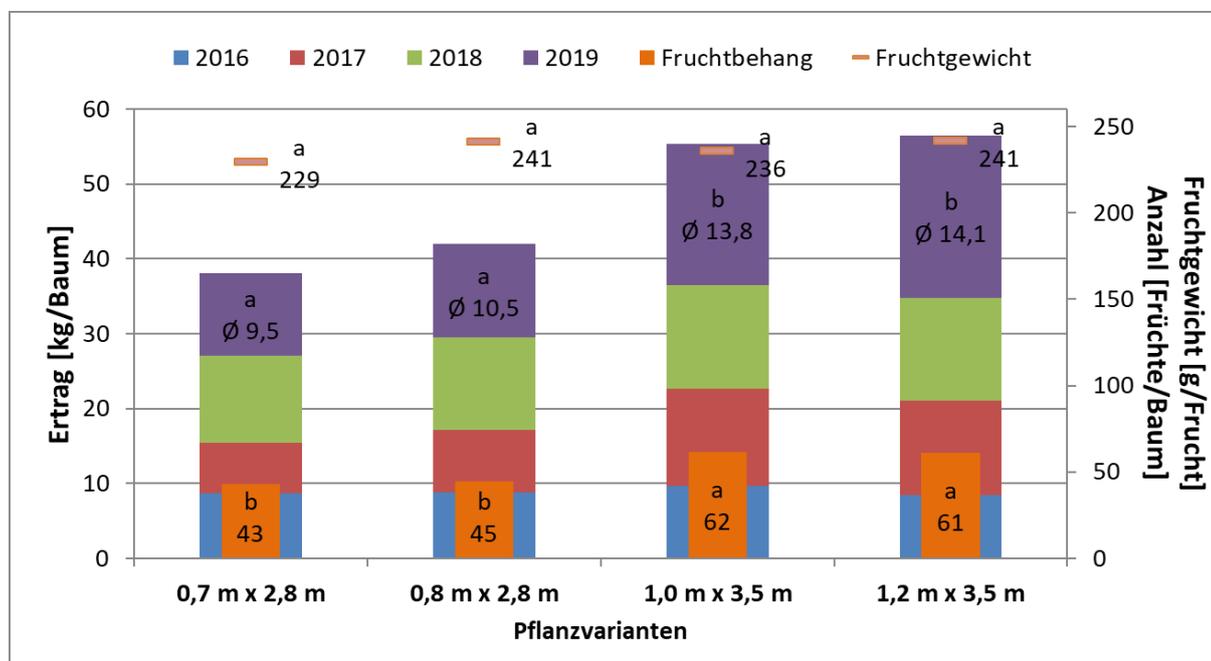


Abbildung 21: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonaprine® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

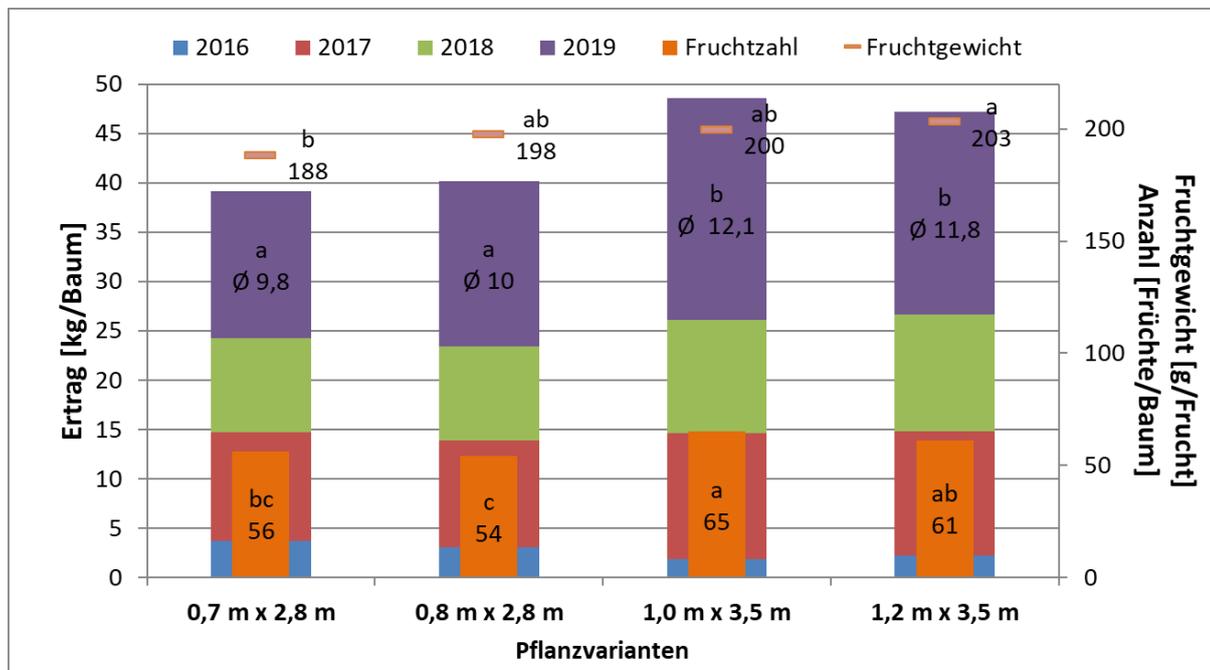


Abbildung 22: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Mit zunehmendem Reihenabstand vergrößerte sich auch die Höhe der Baumkronen. An diesen Bäumen könnten mehr Äpfel bei gleicher oder verbesserter Fruchtgröße geerntet werden, was die Schlussfolgerung zulässt, dass höhere Baumkronen in Verbindung mit einer größeren Standfläche mehr Früchte tragen können als niedrigere Bäume auf einer kleineren Standfläche. Diese Aussagen unterstützend zeigt die Entwicklung der Stammdurchmesser einen tendenziell stärkeren Zuwachs bei den Bäumen, welche einen weiteren Pflanz- und Reihenabstand aufweisen. Zu diesem Zeitpunkt ist, aufgrund des Alters der Bäume eine endgültige Beurteilung noch nicht möglich.

Aufgrund der unterschiedlichen Pflanz- und Reihenabstände ergaben sich Abweichungen in der Anzahl an Bäumen je Hektar, weshalb die Erträge auf der Netto-Fläche nicht dem Verlauf des Einzelbaumertrages folgten. Mit zunehmender Pflanzdichte stieg in den ersten vier Ertragsjahren auch der Flächenertrag signifikant an (Abbildung 23; Abbildung 24). Dieser Effekt schwächt sich jedoch bei der Sorte 'Jonagold' Red Jonapriner® mit abnehmendem Pflanzabstand ab, sodass kein signifikanter Unterschied zwischen den Varianten 0,7 m x 2,8 m und 0,8 m x 2,8 m rechnerisch zu ermitteln war (Abbildung 23). Im Fall von 'Jonagold' Novajo® ist ein eindeutiger Ertragsunterschied zwischen allen Varianten feststellbar (Abbildung 24).

Bei annähernd gleichem Behang konnten, zwischen den Varianten mit gleichem Reihenabstand, tendenzielle Unterschiede hinsichtlich der Fruchtgrößenverteilung aufgezeigt werden. Ein statistisch gesicherter Unterschied war jedoch nur im Fall von 'Jonagold' Novajo®, in Bezug auf den engsten und weitesten Pflanzabstand feststellbar (Abbildung 24).

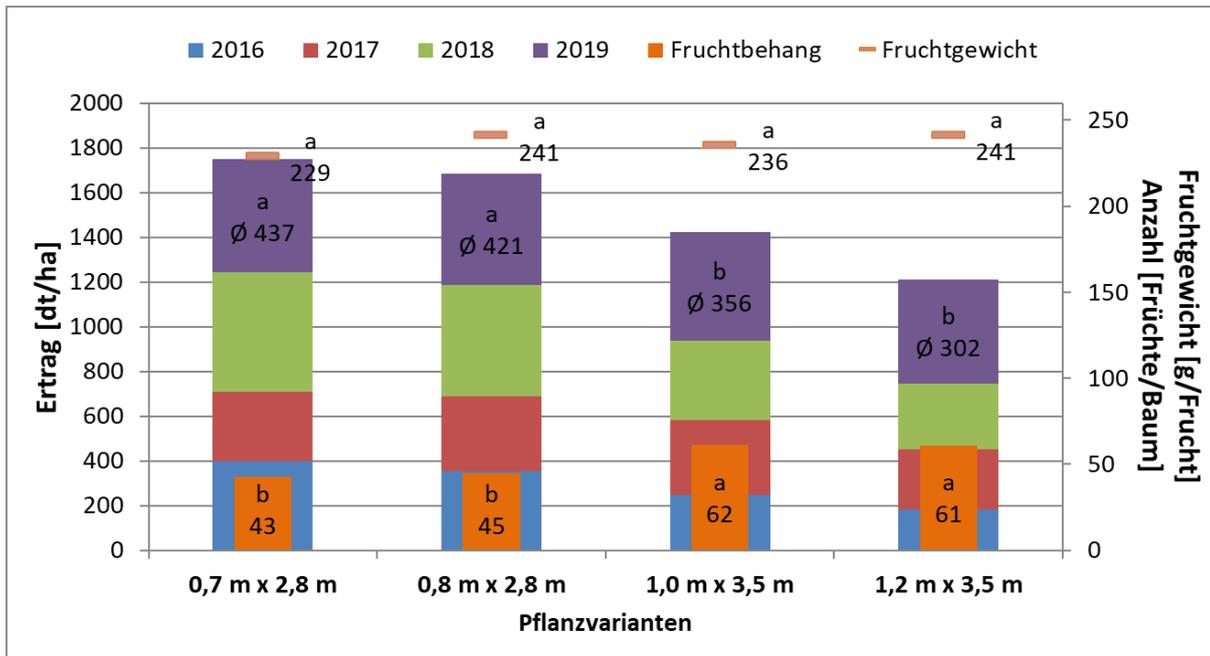


Abbildung 23: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonapriner® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

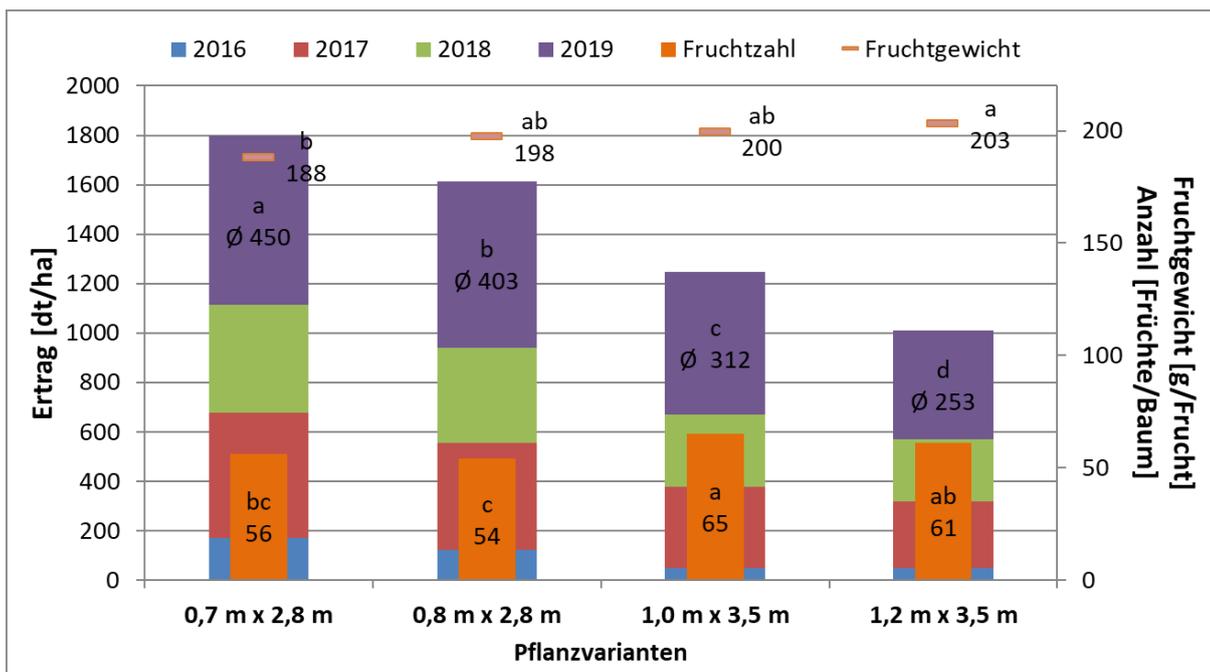


Abbildung 24: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

Bei der stark färbenden Mutante 'Jonagold' Red Jonapriner® konnte kein Einfluss auf die Fruchtausfärbung festgestellt werden (Abbildung 25). Bei der Sorte 'Jonagold' Novajo® ist der Unterschied zwischen den Varianten mit unterschiedlichen Reihenabständen jedoch offensichtlich. Einen möglichen Erklärungsansatz hierfür liefern die eindeutigen Behangsunterschiede, da die Anzahl der Früchte je Baum die Ausfärbung deutlich beeinflussen kann. Deshalb sollte bei den Sorten mit engem Reihenabstand ein noch geringerer Behang gewählt werden. Dies würde jedoch zu einer Zunahme der Fruchtgröße führen, was bei der großfruchtigen, triploiden Sorte 'Jonagold' nicht erwünscht ist.

Ein zweiter Erklärungsansatz wäre die bessere Lichtnutzung bei höheren Bäumen mit weitem Reihen- und Pflanzabstand, da diese in den ersten Jahren die Standfläche noch nicht ausfüllen und somit mehr Licht zu den Früchten gelangt.

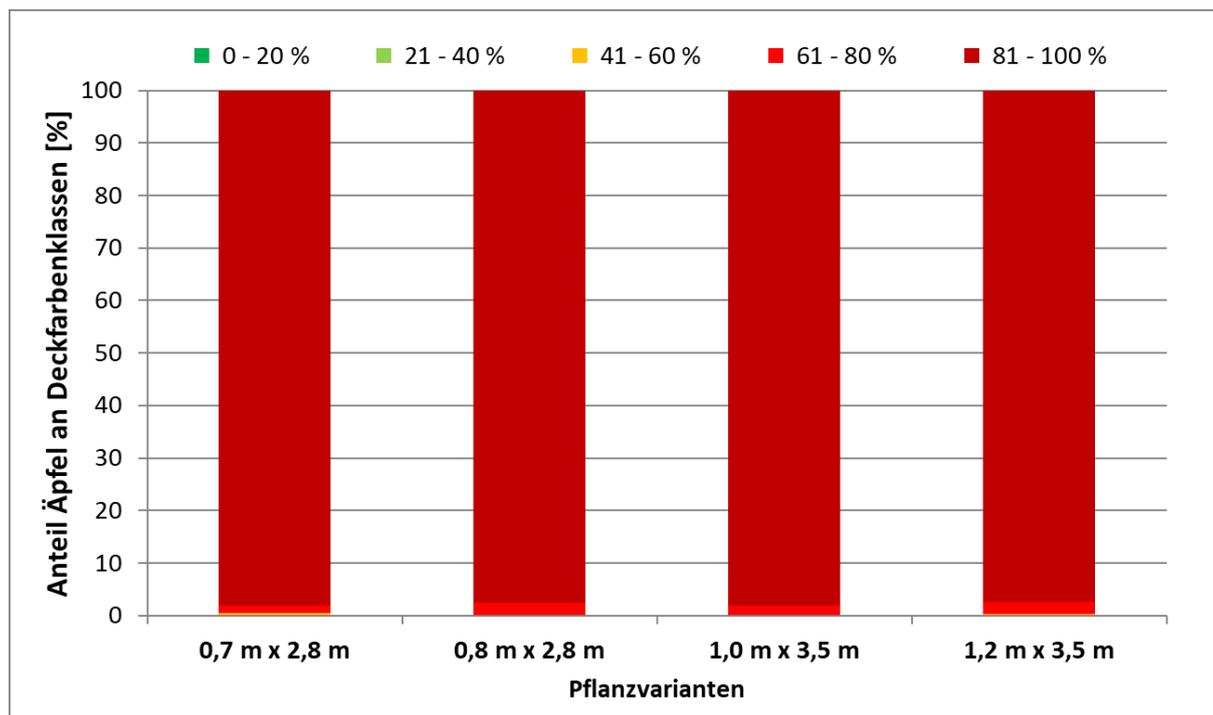


Abbildung 25: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Red Jonapriner® hinsichtlich des Anteil von Früchten an den fünf den fünf Deckfarbenklassen

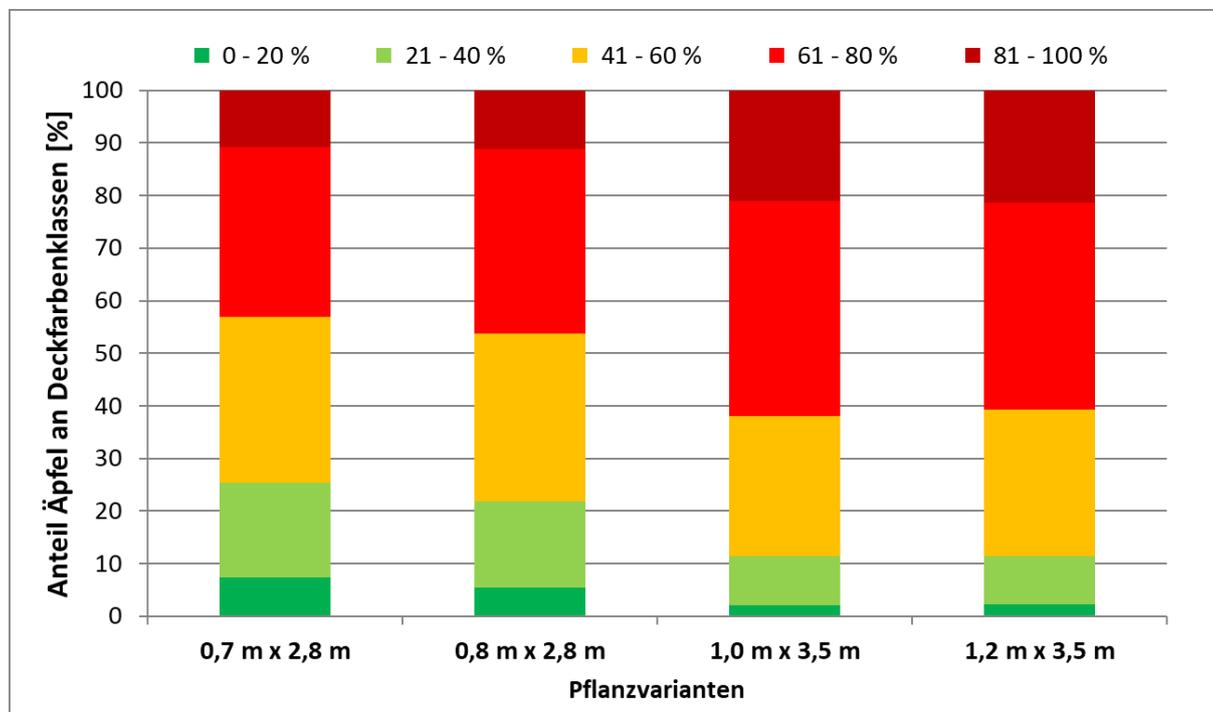


Abbildung 26: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Jonagold' Novajo® hinsichtlich des Anteil von Früchten an den fünf den fünf Deckfarbenklassen

2.4.4 Versuchsfrage und Versuchshintergrund Sorte 'Gala'

Im Fokus der Untersuchungen standen die Effekte verschiedener Baumhöhen, Reihen- und Pflanzabstände von Apfelbäumen der Sorte 'Gala' Galaxy® am Standort Dresden-Pillnitz, auf sandigem Lehm, auf Ertrag, Fruchtgröße bzw. -gewicht und Ausfärbung der Früchte. Die Einbindung einer Variante mit maschinellem Schnitt nach der Ernte sollte prüfen, inwiefern sich diese Schnittvariante unter den Bedingungen verschiedener Baumhöhen, Pflanz- und Reihenabständen auswirken. Hintergrund ist die Optimierung der Flächennutzung und somit der Einsparung von Produktionsmitteln je produzierte Einheit.

2.4.5 Kultur- und Versuchshinweise

Die Untersuchungen wurden unter praxisähnlichen Bedingungen in einer 2015 gepflanzten und kontrolliert integriert bewirtschafteten Apfelintensivanlage mit der 'Gala' Galaxy® auf der Unterlage M9. Der Reihen- und Pflanzabstand von 1,00 m x 3,50 m und 0,80 m x 2,80 m am Versuchsstandort Dresden-Pillnitz auf den Versuchsflächen des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie geplant und durchgeführt. Die Kronenhöhe der Bäume wurde den verschiedenen Reihenabständen angepasst. Insgesamt erreichen die auf 3,50m gepflanzten Bäume eine Endhöhe von 3,25 m plus den jährlichen Zuwachs, die auf 2,80 m gepflanzten hingegen 2,50 m plus den jährlichen Zuwachs (Tabelle 4). Der maschinelle Schnitt erfolgte nach der Ernte mit einem Balkenschnittgerät mit Fingermessern (Typ: Edward, Fruitec)

Tabelle 4: Bezeichnung und Beschreibung der Pflanzvarianten

Varianten	Beschreibung
0,8 m x 2,8 m	Pflanzabstand 0,8 m; Reihenabstand 2,8 m; Baumhöhe 2,5 m + jährlicher Zuwachs; 4.018 Bäume/ha; 12.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 14.800 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)
1,0 m x 3,5 m	Pflanzabstand 1,0 m; Reihenabstand 3,5 m; Baumhöhe 3,2 m + jährlicher Zuwachs; 2.571 Bäume/ha; 13.900 m ² Laubwandfläche (zweiseitig; excl. 50 cm Stammhöhe; 15.400 m ² incl. Zuwachs von 30 cm)

2.4.6 Auswirkungen Ertrag und äußere Fruchtqualität

Wie bereits in den 'Jonagold' - Varianten gezeigt, stieg der Einzelbaumertrag und -behang mit zunehmender Standfläche deutlich an (Abbildung 27). Tendenziell war auch hier eine geringe Abnahme des Fruchtgewichts zu verzeichnen, was jedoch statistisch nicht gesichert war. Der Flächenertrag erhöhte sich, wie ebenfalls bei der Sorte 'Jonagold' gesehen, mit zunehmender Pflanzdichte signifikant (Abbildung 28).

Diese Unterschiede traten, sowohl in den von Hand geschnittenen Bäumen, als auch in den maschinengeschnittenen Bäumen auf. Ein schnittabhängiger Ertragseffekt konnte im Untersuchungszeitraum nicht festgestellt werden. Durch den Maschineneinsatz reduzierte sich jedoch der Schnittaufwand per Hand im Jahr 2019 um \approx 50 % bis 70 %, in Abhängigkeit der Pflanzdichte. Die Ableitung einer abschließenden allgemeingültigen Aussage über den Schnittaufwand war, aufgrund des Alters der Bäume, zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich.

Unterschiede in der Ausfärbung waren, wie auch bei 'Jonagold' Red Jonaprince® faktisch nicht vorhanden. Auch hier ist eine allgemeingültige Aussage, aufgrund des Alters der Bäume, noch nicht möglich.

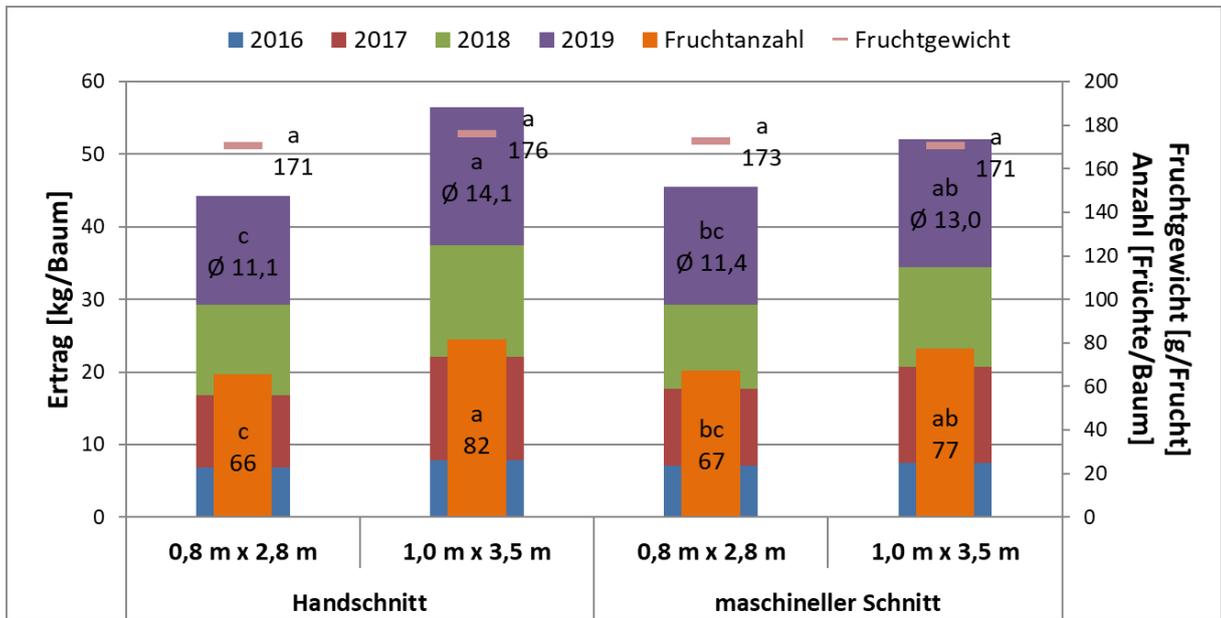


Abbildung 27: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten der Sorte 'Gala' Galaxy® hinsichtlich Einzelbaumertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

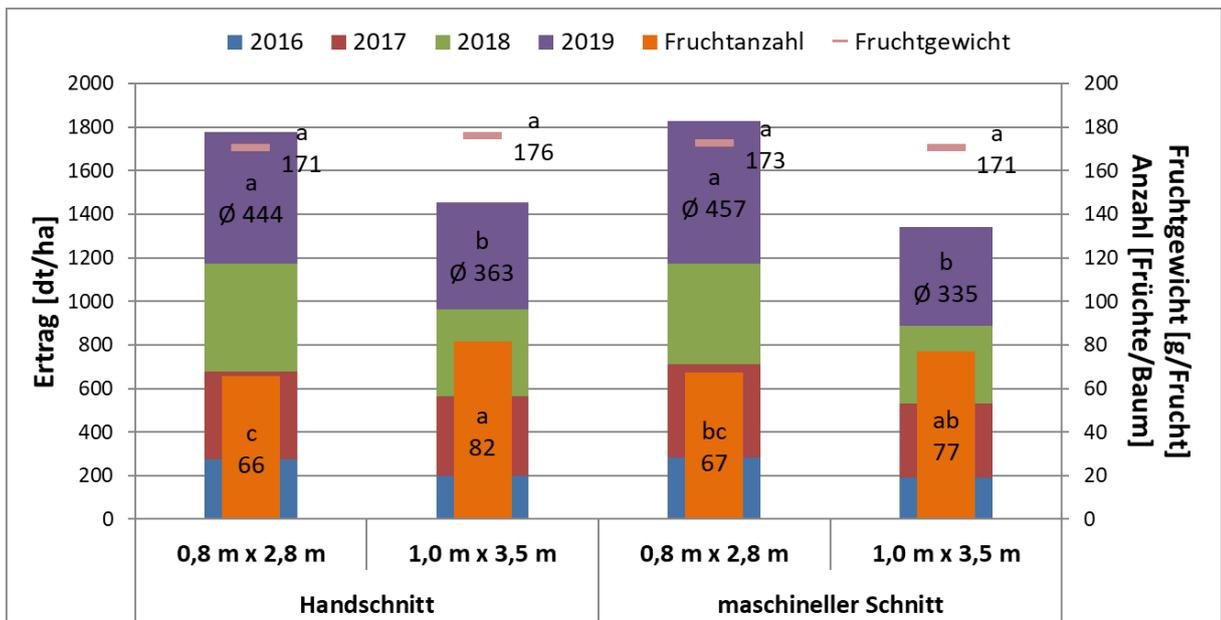


Abbildung 28: Vergleich der verschiedenen Pflanzvarianten und Schnittvarianten der Sorte 'Gala' Galaxy® hinsichtlich Flächenertrag, Einzelbaumbehang und Fruchtgewicht; unterschiedliche Buchstaben signalisieren signifikante Unterschiede

2.4.7 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Am Beispiel der Sorten 'Jonagold' Red Jonaprine®, 'Jonagold' Novajo® und 'Gala' Galaxy® wurden die Haupteinflüsse verschiedener Pflanzvarianten auf Ertrag und Qualität aufgezeigt. Der Einzelbaumertrag nahm mit zunehmender Pflanzdichte stark ab, der Ertrag pro Flächeneinheit stieg hingegen deutlich an. Auch die Fruchtgröße verringerte sich mit zunehmender Pflanzdichte, wobei ein Einfluss des Fruchtbehangs nicht auszuschließen war. Ein negativer Einfluss geringer Pflanzabstände auf die Färbung der Früchte kann nicht ausgeschlossen werden, wobei die Ursache für den Rückgang des Anteils der Deckfarbe sowohl im Behang als auch im Reihenabstand zu suchen ist. Weitere Untersuchungen sollten durchgeführt werden.

Gemäß Weber (2000) können Pflanzen mit höheren Pflanzdichten in den ersten Jahren höhere Erträge erzielen. Negative Einflüsse auf Fruchtgröße, Farbe und lösliche Trockensubstanz sind zudem nur in Plantagen mit einer extrem hohen Dichte von mehr als 8.000 Bäumen/ha zu erwarten. Eine Erhöhung der Baumzahl auf bis zu 6.400 Bäume/ha brachte in der Bodenseeregion finanzielle Vorteile gegenüber Systemen mit geringerer Pflanzdichte. Die Gewinnschwelle der dichten Pflanzungen war bereits nach 5 bis 6 Jahren erreicht und eine optimale Pflanzdichte für die Bodenseeregion wurde mit 4.000 Bäumen/ha gefunden.

In der landwirtschaftlichen Versuchsstation des Staates New York, wurden die vier Sorten 'Empire', 'Fuji', 'Gala' und 'McIntosh' in acht Baumpflanzdichten gepflanzt und 20 Jahre lang evaluiert. Zusätzlich zu den drei dichten Pflanzungen mit 2.243, 3.262 und 5.382 Bäumen pro Hektar wurden auch weite Pflanzungen mit 598, 840, 1.026, 1.283 und 1.655 Bäumen pro Hektar berücksichtigt, die zum Teil auf verschiedenen Unterlagen gepflanzt wurden. In Bezug auf Ertrag und Pflanzdichte wurde für jede Sorte ein anderes Muster beobachtet. Für 'Fuji' und 'Gala' waren konisch-spindelartige Bäume mit hoher Pflanzdichte am besten geeignet. Für 'Empire' und 'McIntosh' war die hohe Pflanzdichte jedoch nicht so vorteilhaft. Die höchsten Erträge von 'McIntosh' wurden bei spindelartigem Training mit 3.262 Bäumen/ha erzielt (LARDON et al. 2018).

3 Abschließende Betrachtung

Aus den vorliegenden Untersuchungen können nachfolgende Punkte abgeleitet werden:

- Aufgrund ganzjährig ansteigender Temperaturen verschiebt sich der Vegetations- und Blühbeginn der Äpfel weiter in Richtung Winter und beginnendes Frühjahr, wobei eine Abnahme des Spätfrosttrisikos mit den Vorhandenen Daten nicht ersichtlich wird.
- Eine der wirkungsvollsten Methoden zur Spätfrostprävention, die Frostschutzberegnung ist verbunden mit extrem hohen Wasseraufwendungen und somit für viele Betriebe nicht realisierbar.
- Alternativen, wie das Aufstellen und Entzünden von Kerzen oder das Verbrennen von Gas sind sehr kosten- und arbeitsintensiv. Diese Methoden bieten einen gewissen Schutz im Temperaturgrenzbereich und sollten aus wirtschaftlicher Sicht nur in Kulturen und Sorten mit hohem Erlöspotential zum Einsatz kommen, wenn eine Beregnung nicht möglich ist.
- Luftverwirbelungsmethoden sind nicht für alle Frostereignisse geeignet und vor allem im urbanen Raum, aufgrund der Lärmentwicklung in der Nacht, bezüglich der Anwohnerakzeptanz zu hinterfragen. In Inversionswetterlagen haben Sie jedoch einen hohen Wirkungsgrad.
- Die zusätzliche Bewässerung von Apfelbäumen, auch auf Standorten mit guter Wasserspeicherkapazität führt in Jahren mit durchschnittlichen Temperaturen und Niederschlägen zu einer Ertragssteigerung und in Trockenjahren zu einer Sicherung der Produktivität.
- Die Wassergaben können, über Ermittlung der realen Bodenfeuchten oder der Berechnung der klimatischen Wasserbilanz optimiert werden, wobei sich zeigte, dass bis zum Junifruchtfall bzw. beginnenden Triebabschluss in der Regel keine oder nur sehr seltene Wassergaben notwendig sind.
- Mit ansteigender Temperatur, vor allem im Frühjahr, ergibt sich die Möglichkeit der Einbindung neuer Strategien zur Fruchtausdünnung. Insbesondere die Hemmung der Photosynthese spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Aufgrund zuverlässig auftretender Nachttemperaturen über 10 °C während der frühen Fruchtentwicklung ist eine sichere Ausdünnwirkung auch in Zukunft zu erwarten.
- Engpflanzungen sind im sächsischen Anbaugebiet geeignet, um in den ersten vier Anbaujahren den Ertrag einer Anlage signifikant zu steigern. Hierbei ist ein besonderes Augenmerk auf den Einsatz gut ausfärbender Sorten bzw. Mutanten zu legen, damit den hohen Ansprüchen an die Deckfarbe Rechnung getragen wird.
- Anlagen mit weiten Pflanz- und Reihenabstände erreichen in den ersten 4 Jahren nicht das Ertragspotential in der Fläche, weisen aber einen signifikant höheren Einzelbaumertrag und -behang auf und das bei zuverlässig guter Ausfärbung.
- Eine Reduktion des Schnittaufwandes ist, durch die Einbindung des maschinellen Schnitts möglich. Die erzielbaren Erträge in der Sorte Gala sind, sowohl in Engpflanzungen mit niedrigen Bäumen, als auch in Weitpflanzungen mit hohen Bäumen vergleichbar mit dem Handschnitt.

Literaturverzeichnis

- Bangerth, F. (2000): Abscission and thinning of young fruit and their regulation by plant hormones and bioregulators. In: *Plant Growth Regul.* 31, S. 43 - 49. DOI: 10.1023/A:1006398513703
- BASAK, A. (2011): Efficiency of fruitlet thinning in apple 'Gala Must' by use of metamitron and artificial shading. *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research* 19, S. 51 - 62.
- BYERS, R.E., BARDEN, J.A., Polomski, R.F., YOUNG, R.W., CARBAUGH, D.H. (1990). Apple thinning by photosynthetic inhibition. In: *J. Amer. Soc. Hortic. Sci.* 115, S. 9 - 13.
- CHMIELEWSKI, F-M., BLÜMEL, K (2003): Klimawandel im Obstbau. In: *promet*, Nr. 1/2, S. 32 - 41.
- CLEVER, M. (2018): Effects of solar irradiation and night-time temperature on the thinning efficacy of metamitron (Brevis®) in apple. In: *Acta Hortic.* 1221, S. 23 - 30.
- CORELLI, L., SANSAVINI, S. (1988): Light interception and photosynthesis related to planting density and canopy management in apple. In: *IV International Symposium on Research and Development on Orchard and Plantation Systems* 243 S. 159 - 174.
- FERREE, D.C., WARRINGTON, I.J. (2003). *Apples: Botany, Production and Uses*
- FRIEDRICH, G. (1977): *Der Obstbau*. 7., Naumann Verlag Leipzig, 333 - 341
- FRIEDRICH, G. Naumann, D., Vogel, M. (1978): *Physiologie der Obstgehölze*. Akademie verlag Berlin., 163 - 180
- GREENE, D. W., AUTIO, W. R. (1989): Evaluation of benzyladenine as a chemical thinner on 'McIntosh' apples. In: *Journal of the American Society for Horticultural Science (USA)*.
- HANDSCHACK, M. (2000): Komponenten der Ertragsbildung, Ertragsschwankungen und ihre Ursachen, Bekämpfung der Alternanz. In: Friedrich, G., Fischer, M., *Physiologische Grundlagen des Obstbaues Stuttgart (Hohenheim): Ulmer*, S. 210 - 227.
- HANDSCHACK, M. (2013): Apfelanbau unter Hagelnetz. In: *Schriftenreihe des Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie* 11, S. 31.
- HANSEN, P., (1980): Yield components and fruit development in 'Golden Delicious' apples as affected by the timing of nitrogen supply. In: *Sci. Hortic.-Amsterdam* 12, 243 - 257.
- HOLTHUSEN, Heinrich H. F., Chmielewski, F-M. (2011): Klimawandel und Apfelertrag - Einfluss von Witterung und Klima auf die Ertragsbildung an der Niederelbe. In: *DGG-Proceedings* 1, S. 1 - 5.
- KLINA, B. L. A. G. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft „Klima, Energie, Mobilität–Nachhaltigkeit“ (2018): *Umweltbezogene Nachhaltigkeitsindikatoren 2018. Information zur Umweltqualität in den Bundesländern*.
- KON, T.M., Schupp, J.R., Winzeler, H.E., Marini, R.P. (2013): Influence of mechanical string thinning treatments on vegetative and reproductive tissues, fruit set, yield, and fruit quality of 'Gala' apple. In: *HortScience* 48, S. 40 - 46.
- KONDO, S., Takahashi, Y., (1987): Effects of high temperature in the nighttime and shading in the daytime on the early drop of apple fruit 'Starking Delicious'. In: *J. Jpn Soc. Hortic. Sci.* 56, S. 142 - 150.
- KÖHLER, H. (2018). *Pflege- und Kulturmaßnahmen*. In BÜCHELE M. (ed.), *Lucas' Anleitung zum Obstbau*. 33., Stuttgart: Ulmer, S. 273 - 284
- KÖPCKE, D. (2004): *Untersuchungen zur chemischen Fruchtausdünnung mit Metamitron bei Apfelbäumen (Malus x domestica Borkh.)*. Ph.D. thesis. Universität Hannover
- KÖPCKE, D. (2012): *Erfolgreicher Frostschutz in Obstanlagen - Unter Berücksichtigung der thermodynamischen Prozesse*. In: *Obstbau-Berlin* 37, S. 286.
- KRÖLING, C. METZNER, S. (2015): Damoklesschwert Frühjahrsfröste. In: *Obstbau* 5, S. 292 - 295
- KRÖLING, C. (2019): Apfelanbau unter Einzelreihen Hagelnetz. In: *Schriftenreihe des Sächsisches Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie* 9, S. 11.
- KRÖLING, C. (2020): Gezielte Wassergabe, In: *Poma*, S. 21 - 25

- LAKATOS, L., ANCZA, E., SZÉL, J., SOLTÉSZ, M., SZABÓ, Z., NYÉKI, J. (2011): The tests of effectiveness of Frostbuster under excessive weather conditions in an apricot plantation. *International Journal of Horticultural Science* 17, S. 87 - 91.
- LAKSO, A.N., ROBINSON, T.L., GREENE, D.W. (2006): Integration of environment, physiology and fruit abscission via carbon balance modeling – implications for understanding growth regulator responses. In: *Acta Hort.* 727, S. 321 - 326.
- LORDAN, J., FRANCESCOTTO, P., DOMINGUEZ, L. I., ROBINSON, T. L. (2018): Long-term effects of tree density and tree shape on apple orchard performance, a 20 year study - Part 1, agronomic analysis. In: *Scientia Horticulturae* 238, S. 303 - 317.
- MCARTNEY, S.J., OBERMILLER, J.D., ARELLANO, C. (2012): Comparison of the effects of metamidron on chlorophyll fluorescence and fruit set in apple and peach. In: *HortScience* 47, S. 509 - 514.
- PALMER, J.W. (1992): Effects of varying crop load on photosynthesis, dry matter production and partitioning of Crispin/M.27 apple trees. In: *Tree Physiol.* 11, S. 19 - 33.
- PENZEL, M. (2017): Chemische Ausdünnung beim Apfel durch Metamidron, Masterarbeit, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
- PENZEL, M., KRÖLING, C. (2018): Erfahrung mit Brevis. *Gartenbauprofi*. In: *Monatsschrift für Obst, Gemüse und Zierpflanzen*. S. 12-14.
- PENZEL, M., KRÖLING, C. (2020): Thinning efficacy of metamidron on young 'RoHo 3615' (Evelina®) apple. In: *Scientia Horticulturae*, 272, S. 109586.
- ROBINSON, T. L. (2007). Managing high-density apple trees for high yield and fruit quality. In *New England Veg. and Fruit Conf.* Manchester, NH.
- ROBINSON, T.L., LAKSO, A.N., GREENE, D. (2017): Precision crop load management: The practical implementation of physiological models. In: *Acta Hort.* 1177, S. 381 - 390.
- SCHÖNBERG, G. (1972): Wechselbeziehungen zwischen Bodenpflege, Düngung und Bewässerung bei Apfelniederstämmen. In: *Gartenbau* 19, 61-62.
- SITO, S., SKENDROVIĆ BABOJELIĆ, M., ŠKET, B., VODOPIVC, J., ŠKET, M., KUŠEC, V., MILODANOVIĆ, M. (2014). Applying Frostbuster in protecting orchards from frost. In: *Glasnik Zaštite Bilja* 37, S. 58 - 58.
- TSIPOURIDIS, C., THOMIDIS, T., XATZICHARISIS, I. (2006): Effect of sprinkler irrigation system on air temperatures and use of chemicals to protect cherry and peach trees from early spring frost. In: *Australian Journal of Experimental Agriculture* 46, S. 697 - 700.
- TIPLER, P. A., MOSCA, G. (2015): Die Maxwell'schen Gleichungen – Elektromagnetische Wellen. In *Physik*. S. 979 - 1003.
- WEBER, M. S. (2000): Optimizing the tree density in apple orchards on dwarf rootstocks. In: *VII International Symposium on Orchard and Plantation Systems* 557. *ISHS Acta Horticulturae*, S. 229 - 234.
- WURM, L. (2010a): Determination of the effectiveness of "Frost Busters" for frost protection for apricots. In: *Mitteilungen Klosterneuburg, Rebe und Wein, Obstbau und Früchteverwertung* 60, S. 106 - 107.
- WURM, L. (2010b): Ertrags und Qualitätssichernde Maßnahmen. In Wurm, L., G. LAFER, M. KICKENWEIZ, T. RÜHMER, L. STEINBAUER (ed.), *Erfolgreicher Obstbau*. AVBuch-Österr. Agrarverl. S.105 - 110.
- ZIBORDI, M., DOMINGOS, S., CORELL GRAPPADELLI, L. (2009): Thinning apples via shading: an appraisal under field conditions. In: *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* (ISAFRUIT special issue), S. 138 - 144.
- ZUDE-SASSE, M., HEROLD, B., GEYER, M. (2000): Comparative study on maturity prediction in 'Elstar' and 'Jonagold' apples. In: *Gartenbauwissenschaft*, Heft 65, S. 260 - 265.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: lfulg@smul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Autor:

Christian Kröling

Abteilung 8 / Referat 81

Lohmener Straße 12, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 26128711

Telefax: +49 351 26128299

E-Mail: christian.kroeling@smul.sachsen.de

Redaktion:

Christian Kröling

Abteilung 8 / Referat 81

Lohmener Straße 12, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 26128711

Telefax: +49 351 26128299

E-Mail: christian.kroeling@smul.sachsen.de

Fotos:

Christian Kröling und Sylvia Metzner

Redaktionsschluss:

17.08.2020

ISSN:

1867 – 2868

Hinweis:

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

Verteilerhinweis

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

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

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de