

Abschlussbericht EIP-Projekt

Primefruit

Autoren:

M.Sc. Martin Penzel, M.Sc. Nikos Tsoulas, Dr. habil. Manuela Zude-Sasse

Zuwendungsempfänger:

Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

Prof. Dr. agr. habil. Barbara Sturm (Wissenschaftliche Direktorin)

Tel.: 0331 5699 100; E-Mail: BSturm@atb-potsdam.de

Projektkoordination:

Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

Max-Eyth-Allee 100

14469 Potsdam

Dr. habil. Zude-Sasse, Manuela (Projektkoordinatorin)

Tel.: 0331 5699612; E-Mail: mzude@atb-potsdam.de

Projektlaufzeit: 2016-2021

Gesamtbudget: 484.325,37 €

Stand: 22.04.2021

Mitglieder der Operationellen Gruppe:

Obsthof Lindicke, Stefan Lindicke

Am Plessower Eck 1, 14542 Werder (Havel)

Tel.: 0177 4562433, E-Mail: obsthof.lindicke@t-online.de

Obstgut Marquardt GbR, Lutz Kleinert

Satzkorn Dorfstraße 10, 14476 Potsdam

Tel.: 0172 321 8127, E-Mail: obstgut@t-online.de

BB Brandenburger Obst GmbH, Paolo Dallago

Dorfstraße 37, 15345 Altlandsberg-Wesendahl
Tel.: 03341-498770, E-Mail: guenzel@bb-obst.com

Leibniz Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB), Dr. habil. Manuela Zude-Sasse
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
Tel.: 0331 5699612; E-Mail: mzude@atb-potsdam.de

Mitglieder ohne Antrag auf Zuwendung und neue, assoziierte Mitglieder:

HU-Berlin, Agrarklimatologie, Prof. Dr. Frank Chmielewski
Albrecht-Thaer-Weg 5, 14195 Berlin
Tel.: 030-2093-46395, E-Mail: chmielew@agrar.hu-berlin.de

Havelfrucht GmbH, Thomas Giese
Dorfau 6b, 14550 Groß Kreutz
Tel.: 03327-79608, E-Mail: t.giese@havelfrucht-werder.de

Apfelgalerie Claudia Schernus & Thomas Bröcker GbR, Thomas Bröcker
Buckower Str. 25, 15236 Frankfurt (Oder)
Tel.: 015111535034, E-Mail: apfelgalerie@hotmail.com

Obsthof Herzberg, Wilhelm Herzberg
Bodenreform 9, 15234 Frankfurt (Oder)
Tel.: 0177 4494425, E-Mail: info@obsthof-herzberg.de

Märkische Obstbau GmbH, Manfred Seidel
Schmiedegasse 5 a, 14778 Groß Kreutz
Tel.: 0172 9372899, E-Mail: MaerkischeObstbauGmbH@web.de

Inhalt

Kurzfassung in deutscher Sprache

Kurzfassung in englischer Sprache

Situation zu Projektbeginn

 Ausgangssituation

 Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Projektverlauf

Projektergebnisse

 Scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens

 Modellparameter

 Blattfläche der Bäume

 Photosyntheseleistung der Blätter

 Fruchtwachstum und Fruchtatmung

 Modellierung der Fruchtertragskapazität und gemessene Erträge

Diskussion und Schlussfolgerungen

Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

Quellen

Anhang

Kurzfassung in deutscher Sprache

Die Vermarktungsnormen für Kern- und Steinobst basieren auf der Größe und der Ausfärbung der Früchte. Für Apfel und Süßkirsche sind Mindestfruchtdurchmesser von 65 mm bzw. 24 mm für den Zugang zum Frischmarkt erforderlich. Da die Obstbäume in der Produktion natürlicherweise hohe Fruchtzahlen ansetzen, die zu hohen Erträgen mit kleinen Früchten führen können, ist eine Ausdünnung überzähliger Blüten und/oder Früchte notwendig. Die Ausdünnung gilt daher als eine der wichtigsten Kulturmaßnahme, mit dem Ziel alljährlich qualitativ hochwertige Früchte zu erzeugen. Bei der Ausdünnung stellen die heterogenen Böden Brandenburgs eine zusätzliche große Herausforderung für die Betriebe dar, da diese sich im Habitus und im Ertragsverhalten der Pflanzen widerspiegeln. Feldeinheitliche Ausdünnung führt daher häufig zu suboptimalen Fruchtbehängen der Bäume mit entsprechenden Ertragsverlusten. Ein Zielwert für die optimale Ausdünnungsintensität gab es bislang nicht. Dementsprechend stand auch kein quantitatives Maß für den optimalen Fruchtbehang bei heterogenem Baumbestand zur Verfügung.

Im Projekt Primefruit wurde eine neue Methode entwickelt, um durch den Einsatz optischer Sensoren georeferenziert die Fruchtertragskapazität einzelner Bäume zu erfassen. Inputfaktoren sind die individuelle Blattfläche der Bäume (mittels LiDAR-Technologie), Wachstums- und Atmungsraten der Früchte, saisonale Wetterdaten (Einstrahlung, Tageslänge, Temperatur) sowie die Zielfruchtgröße. Das Modell kann dazu genutzt werden, für bestimmte Zielfruchtgrößen baumspezifisch den optimalen Fruchtbehang zu bestimmen.

Das Modell wurde mit Ertragsdaten aus drei Anlagen validiert. Es wurde gezeigt, dass die modellierte Fruchtertragskapazität der Bäume mit geringen Abweichungen der Anzahl an verkäuflichen Früchten pro Baum entspricht. Mit dem Modell wurde der Fruchtbehang einzelner Bäume bewertet und dabei festgestellt, dass die feldeinheitliche Ausdünnung von heterogenen Bäumen bei maximal 20 % der Bäume zu deutlichen Ertragsverlusten führen kann. Die Ergebnisse wurden für die jeweiligen Anlagen räumlich dargestellt und in zwei Anlagen wurden daraus zusätzlich Managementzonen für die Ausdünnung generiert. Für die Übertragung des Modells auf Steinobst wurden Versuche an zwei Süßkirschensorten durchgeführt. Auch hier wurde die zur Erzeugung verkäuflicher Früchte erforderliche Blattfläche berechnet.

Das Modell zur Bestimmung der Fruchtertragskapazität kann sowohl als pflanzenphysiologisches als auch als agronomisches Modell zur Entscheidungsfindung im Betrieb verwendet werden, um die Ausdünnung von Bäumen zukünftig (bei Verfügbarkeit von kommerziellen LiDAR-Sensoren) baumindividuell durchzuführen. Das Modell zur feldeinheitlichen Fruchtertragskapazität wurde im Projektbudgetrahmen durch eine externe Firma (Pixofarm) in eine kommerzielle mobile Applikation für das Smartphone implementiert,

die Test-Betrieben direkt zu Verfügung steht. Pixofarm hatte bereits eine Ertragsprognose App entwickelt und ist auf Obstbautagen präsent. Die Implementierung der App ist zum Projektende abgeschlossen. Die Validierung wird in der Saison 2022 vom ATB aus Haushaltsmitteln erfolgen, um die Verstetigung der Projektergebnisse voranzutreiben. Desweiteren wurden die Ergebnisse in wissenschaftlichen Fachbeiträgen zur Thematik der Fruchtertragskapazität publiziert.

Kurzfassung in englischer Sprache

Marketing standards for pome and stone fruit rely on fruit size and coloration, with minimum fruit diameters of 65 mm and 24 mm required for apple and sweet cherry, respectively, to access the fresh market. The tree's natural fruit set is mostly too high, which can result in high yields of small fruit. Therefore, thinning of excess flowers and/or fruit is frequently required as one of the most important management practices to ensure production of high quality fruit each year. The thinning in fruit orchards planted on Brandenburg's heterogeneous soils is a major challenge for growers, because soil heterogeneity affects growth of individual trees. Resulting, field-uniform thinning often leads to number of fruit per tree that differs from their optimum for achieving a desired target fruit size. So far no method for calculating the optimum thinning intensity of individual trees was available.

In the Primefruit project, a new method was developed for mapping and georeferencing individual tree's fruit bearing capacity (FBC) by utilising optical LiDAR sensor. Input factors for the model are: leaf area of the trees, seasonal weather data (irradiance, day length, temperature) and target fruit size. The model can be applied for evaluating the actual number of fruit per tree in comparison to a specific production target on the individual tree scale.

The FBC model was validated with yield data from individual trees of three commercial orchards. It was demonstrated that the modeled fruit bearing capacity of the trees, with little deviation, coincided with the actual number of marketable fruit per tree. Furthermore, the mean fruit mass and mean soluble solids content per tree correlated with the amount of photons absorbed by the tree per fruit during the cell expansion stage. The model was utilised to evaluate the fruit set of individual trees of two orchards. The field-uniform thinning of heterogeneous trees revealed avoidable yield losses on 20% of the trees. All results were figured spatially, and for two orchards management zones for fruit thinning were generated. For the future application of fruit bearing capacity model in stone fruit, experiments were carried out on two sweet cherry cultivars. The necessary leaf area demand to produce marketable fruit was calculated likewise.

The FBC model can serve both as a plant physiological and as an agronomic model for decision taking in crop load management of fruit trees and to enable variable rate application in future fruit thinning. The missing tool here is the commercial LiDAR sensor. The field-uniform analysis of fruit bearing capacity was implemented in a commercial mobile app solution for using with a smart phone, which is available for evaluation by farmers.

Situation zu Projektbeginn

Ausgangssituation

Die Fruchtgröße beeinflusst maßgeblich den wirtschaftlichen Erfolg einer Obstanlage. In der Vermarktung nach Handelsnorm sind Fruchtmindestdurchmesser von 65 mm bei Apfel und 24 mm bei Süßkirsche vorgeschrieben. Darüber hinaus sind neben der Fruchtgröße auch die Ausfärbung, der Gehalt an löslicher Trockensubstanz und die Festigkeit entscheidende Qualitätskriterien bei der Vermarktung von Kernobst und Steinobst, die die Käuferakzeptanz und den Preis beeinflussen. Zur Erzeugung hochwertiger Früchte ist neben einer ausreichenden Nährstoffversorgung und Bewässerung, die Ausdünnung der Blüten und/oder Früchte die wichtigste Kulturmaßnahme. Die heterogenen Böden Brandenburgs mit charakteristischen Sand- und Tonlinsen stellen dabei in der Praxis eine große Herausforderung dar, da diese sich deutlich im Habitus der Pflanzen und im Ertragsverhalten (Käthner und Zude-Sasse, 2015) widerspiegeln. In sandigen Bereichen einer Anlage sind die Bäume oft kleiner und haben eine verringerte Blattfläche im Vergleich zu Bäumen in den tonigeren Bereichen. Bei feldeinheitlicher Ausdünnung - dem aktuellen Stand der Technik - treten deshalb oft Bereiche im Schlag auf, die zu stark ausgedünnt werden, was zu Ertragsverlusten führt (Penzel et al., 2021) und die Häufigkeit von Früchten mit Stippigkeit erhöhen kann (Volz et al., 1993). Außerdem werden manche Bereiche in den Anlagen zu schwach ausgedünnt, wodurch die Bäume, die Ertragskapazität übersteigend, viele kleine Früchte tragen und folglich der Anteil vermarktungsfähiger Ware für den Frischmarkt verringert ist. Da die Sand- und Tonlinsen in ihrer Größe sehr variabel sind, ist es nicht immer möglich diese aufzufinden bzw. bei Kulturmaßnahmen wie der Bewässerung gezielt entgegen zu wirken. Die Situation stellt für den Obstbauern einen Standortnachteil dar, da die Variabilität der Früchte für die Einlagerung hoch ist und sich die Früchte trotz ähnlicher Größe und Ausfärbung in ihrem Lagerverhalten unterscheiden können. Daher sollten langfristig Verfahren entwickelt werden, die es ermöglichen das Management der Obstanlagen, inklusive der Ausdünnung, zu automatisieren und dabei gezielt an die Bedürfnisse einzelner Pflanzen anzupassen (Zude-Sasse et al., 2016). Am Beispiel der Ausdünnung kann ein an den Habitus der Bäume angepasstes Management potenziell zu einer einheitlicheren Fruchtqualität im ganzen Bestand führen, was sich ebenfalls positiv auf alle nachgelagerten Schritte in der Produktionskette auswirkt.

Um den Fruchtbehang einzelner Bäume bewerten zu können, sind Zielwerte notwendig, welcher Fruchtbehang zu welcher mittleren Fruchtgröße führt. Dafür werden in der Praxis entweder historische Ertragsdaten der Anlagen (Handsack und Schmidt, 1991) oder die Stammquerschnittsfläche (Treder et al., 2010) verwendet. Die mittleren Ertragsdaten der gesamten Obstanlage werden häufig durch die Anzahl der Bäume und die gewünschte

durchschnittliche Frischmasse der Früchte geteilt, um zu einer Zielfruchtzahl je Baum zu gelangen. Jedoch ist es sehr wahrscheinlich, dass diese in Anlagen mit variabler Baumgröße von der Fruchttragfähigkeit einzelner Bäume abweicht. Daher ist diese Methode nicht ausreichend, um Zielfruchtzahlen von Einzelbäumen einer Obstanlage zu generieren, die hinsichtlich ihrer Fruchtertragskapazität heterogen sind. In homogenen Anlagen korreliert die Stammquerschnittsfläche mit der Blattfläche der Bäume (Lo Bianco, 2019), einer Kennzahl für die Fruchtertragskapazität. Die Zuwachsrate der Stammquerschnittsfläche eines Baumes variiert jedoch von Jahr zu Jahr (Treder et al., 2010) und kann zusätzlich durch den Fruchtbehang oder die Verfügbarkeit von Wasser beeinflusst werden (Mills et al., 1996). Außerdem werden die Bäume jährlich geschnitten, um jedes Jahr eine ähnliche Anzahl und Verteilung von Trieben zu erzielen. Daher sind Aussagen zur Fruchtertragskapazität anhand der Stammquerschnittsfläche jahresspezifisch und folglich nicht geeignet, um präzise den Zielertrag einzelner Bäume zu bestimmen. Es wurde bereits in vergangenen Projekten am ATB nachgewiesen (Fig. 1), dass die Erträge einzelner Bäume nicht mit dem Stammdurchmesser korrelieren.

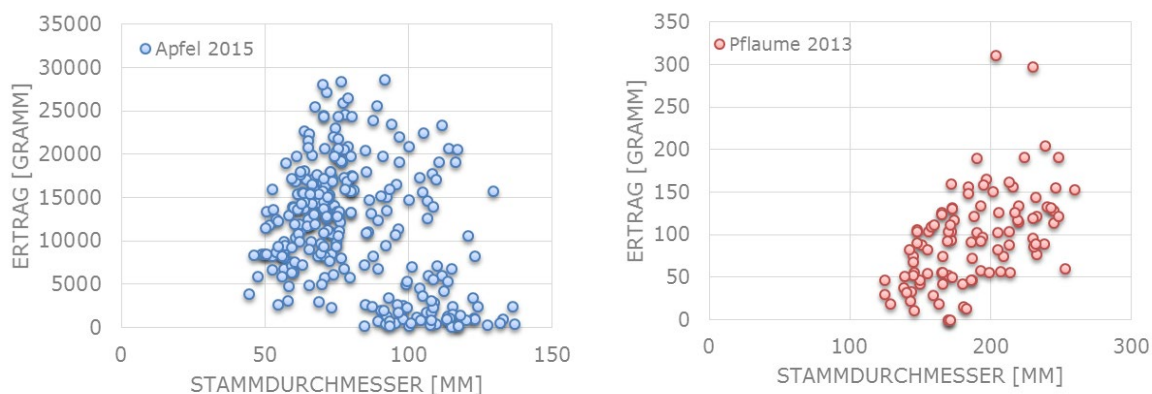


Abb. 1: Derzeit wird in der Praxis der Stammdurchmesser als Anhaltspunkt für die Fruchtertragskapazität und den in der Ausdünnung angestrebten Fruchtansatz verwendet. Ein Zusammenhang zwischen Stammdurchmesser und Ertrag konnte jedoch in Brandenburg weder bei Apfel (links) noch bei Pflaume (rechts) festgestellt werden.

Bisher wurde in keinem nationalen oder internationalen Projekt die teilflächenspezifische Fruchtertragskapazität ermittelt. Lediglich die Anzahl an Früchten (Apolo-Apolo et al., 2020) und die Erträge (Manfrini et al., 2020) je Baum in einheitlich bewirtschafteten Anlagen wurden räumlich erfasst. Kartierungen der Fruchtertragskapazität in den Brandenburger Anbauregionen würden jedoch eine notwendige Zielgröße sowohl für die flächeneinheitliche wie auch für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung liefern.

Aufgabenstellung und Ziele des Vorhabens

Das Ziel des Projekts Primefruit bestand darin, einen Ansatz zu entwickeln, um die Fruchtertragskapazität einzelner Bäume für verschiedene Zielfruchtgrößen zu modellieren und das Modell in Praxisanlagen zu testen.

Das Modell zur Fruchtertragskapazität sollte auf einem physiologischen Kohlenstoffbilanzierungsmodell basieren. Inputfaktoren sind Fruchtwachstum und Fruchtatmung, die Assimilationsleistung der Blätter sowie die Blattfläche der Bäume und saisonale Wetterdaten. Für die großflächige Erfassung der Blattfläche einzelner Bäume gab es zu Projektbeginn noch keine publizierte Methode. Daher war es ein Projektziel, eine Methode zu entwickeln, um einzelne Bäume innerhalb eines Schlages zu lokalisieren, zu georeferenzieren und die Blattfläche zu messen. Dabei sollte für die Kartierung der Blattfläche der einzelnen Bäume ein terrestrischer zweidimensionaler Light Detection and Ranging (LiDAR) Laserscanner verwendet werden, da dieser unabhängig von der Einstrahlung eingesetzt werden kann. Für die Assimilationsleistung der Blätter und der Fruchtatmung gab es zu Projektbeginn keine publizierten Werte aus Brandenburg oder Modelle, um den saisonalen Verlauf und den Einfluss der Temperatur auf selbige zu berechnen. Sowohl die Assimilationsleistung der Blätter als auch die Atmung der Früchte wurden im Projektrahmen in mehreren Anlagen im Verlauf der Saison regelmäßig erfasst. Zusätzlich zur Fruchtertragskapazität wurde die scheinbare elektrische Bodenleitfähigkeit in den Praxisanlagen gemessen, um die Variabilität der Bodeneigenschaften zu kartieren.

Folgende Meilensteine sollten im Laufe des Projektes erreicht werden:

Meilenstein 1 (Projektmonat 24): *Am Ende des zweiten Projektjahres liegt ein validiertes Messprotokoll für die vollständige Datenerhebung in der Produktionsanlage und im Labor vor. Für acht Anlagen liegen Daten zu Bodenmustern und Wachstumskapazität vor.*

Meilenstein 2 (Projektmonat 38): *Es liegen räumlich aufgelöste Daten zur effektiven Wachstumskapazität und zum Ertrag vor. Das sortenspezifische Niveau der Fruchtatmungsraten wurde für die Anbaustandorte ermittelt.*

Meilenstein 3 (Projektmonat 44): *Karten zur Ertragskapazität liegen für vier Anlagen in Brandenburg vor.*

Ein weiterer Meilenstein wurde zur Verstetigung der Projektergebnisse im letzten Projektjahr 2020 formuliert, wobei das erarbeitete **Model zur Fruchtertragskapazität in eine mobile App** zur Nutzung mit dem Smartphone implementiert werden sollte.

Die zum Erreichen der Meilensteine geplanten Arbeitspakete sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Zeitliche Übersicht der Arbeiten bei zwei Apfelsorten und einer Süßkirschensorte. Fett markiert ist extrem hohes Arbeitsaufkommen in den Flächenversuchen.

Arbeitspaket	Projekthalbjahr							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Messungen								
LIDAR Vorversuch	X	X						
LiDAR Messungen				X		X		
Boden ECa	X		X					
Blattgaswechsel, Blattflächenreferenz	X	X		X				
Fruchtwachstum		X		X		X		
Fruchtatmung Vorversuch		X						
Fruchtatmung Messungen				X		X		
Beprobung ganzer Bäume				X		X		X
Ertragsbestimmung						X		X
Datenanalyse								
Georeferenzierte Datenaufbereitung		X	X	X	X	X		
Kartierung Wachstumskapazität				X	X	X	X	
Entwicklung Korrekturfaktoren			X	X				
Ertragskartenerstellung					X		X	X
Mittlere Ertragskapazität					X		X	X
Statistische Auswertung		X	X		X		X	
Kartierung der Ertragskapazität						X	X	X
Verbreitung								
Offener Workshop							X	
Fachzeitschrift							X	
Presse						X		X
Wissenschaftliche Zeitschriften					X		X	X
Bibliotheksdatenbank								X
Projekttreffen	X		X		X		X	

Im Rahmen eines Änderungsantrages wurde die Projektdauer um 6 Monate verlängert. In diesem Zeitraum sollte die Publikation der Projektergebnisse in einer Praktikerzeitschrift sowie die Implementierung des Modells zur Fruchtertragskapazität in eine kommerzielle mobile App erfolgen.

Projektverlauf

Das Projekt startete im Dezember 2016. Am 02.03.2017 fand das Kick-Off-Meeting (Tabelle 2) statt, auf dem sich alle Teilnehmenden kennenlernten, die Anlagen und Sorten in den jeweiligen Betrieben/Anbauregionen festgelegt (Tab. 3) und die Versuche für 2017 geplant wurden.

Tabelle 2: Vom ATB organisierte Veranstaltungen im Rahmen des Projekts Primefruit

Datum	Anlass	Anzahl Teilnehmer
02. März 2017	Kick-Off-Meeting	8
18. Dezember 2017	1. Projekttreffen	9
23. März 2018	offener Ausdünnworkshop	32
10. Dezember 2018	2. Projekttreffen	12
11. Dezember 2019	3. Projekttreffen	6
02. März 2021	Abschlusstreffen	24/112 (Hybridveranstaltung, https://youtu.be/_qlj9WB5oHY)

Tabelle 3: Im Projekt Primefruit beprobte Anlagen

Standort	Fruchtart	Sorte	Größe [ha]
Werder (Havel)		Pinova	6
Marquardt		Pinova	0.3
		Gala	1
Altlandsberg	Apfel	Evelina	ca. 5
		Gala	ca. 2,6
		Pinova	0.5
Frankfurt (Oder)		Gala Schniga	2
Schmergow		Gala Schniga	0.1
Werder (Havel)		Diverse Sorten, inkl. Bellise, Regina	0.7
Berlin	Süßkirsche	Regina, Karina, Summit	0.1
Altlandsberg		Kordia	0.3

Im ersten Projektjahr wurde ein Messprotokoll erstellt, wonach in den darauffolgenden Jahren die einzelnen Anlagen beprobt werden. Es wurde eine Methode etabliert, um mit dem LiDAR georeferenziert 3D Daten einzelner Bäume zu erfassen und in den Anlagen der Betriebe wurden Bäume markiert, deren Erträge der nächsten Jahre analysiert werden sollten.

Es wurde Kontakt zu Prof. Dr. Alan Lakso (Cornell University, New York, USA) aufgenommen. Dieser entwickelte das im Projekt angewendete MaluSim Modell zur Kohlenstoffbilanzierung von Apfelbäumen. Im Dezember 2017 reiste Martin Penzel in die USA, um an einem Workshop zu dem Modell teilzunehmen und den Original-Algorithmus in der Diskussion mit Alan Lakso zu erhalten, damit das Model an Brandenburger Wachstumsfaktoren angepasst und um die baumindividuelle Berechnung erweitert werden konnte.

Im zweiten und dritten Projektjahr wurden die Anlagen anhand der erstellten Protokolle beprobt. Da es aufgrund von Spätfrost zu Ausfällen in mehreren Anlagen kam, konnten nicht in jedem Jahr alle Anlagen beprobt werden.

Im letzten Versuchsjahr wurde ein Versuch zur Validierung des Modells durchgeführt und die Projektergebnisse wurden publiziert (siehe Publikationsliste).

2021 erfolgte zur Implementierung des Modells eine Ausschreibung mit dem Ziel das Modell in Form einer App zu programmieren. Die App liegt bei Projektende in beta Version vor und wird im Verlauf der laufenden Saison erprobt, wofür Haushaltsmittel des ATB und des Lehr- und Versuchszentrum Gartenbau in Erfurt (neue Arbeitsstelle des Projektbearbeiters Martin Penzel) verwendet werden. Zu der beauftragten Firma besteht über das Projektende hinaus ein reger Kontakt, um die App baldestmöglich als fertigzustellen.

Während der gesamten Projektlaufzeit kam die OG regelmäßig zusammen, um Ergebnisse zu diskutieren und neue Versuche zu planen (Tabelle 2). Die beteiligten Projektpartner wurden im Vorfeld über die notwendigen Messungen im Feld informiert und die genauen Termine wurden telefonisch oder direkt im Betrieb abgestimmt. Die Obstbauern informierten die Projektleitung regelmäßig über durchgeführte Managementmaßnahmen in den Versuchsanlagen wie z.B. Pflanzenschutz. Es fand ein regelmäßiger, produktiver telefonischer und persönlicher Austausch statt.

Im Projekt entstanden drei Bachelorarbeiten von Studenten des Studiengangs Gartenbauliche Phytotechnologie an der Beuth Hochschule in Berlin, die ihr Pflichtpraktikum in der Arbeitsgruppe Präzisionsgartenbau am ATB absolvierten:

Laura Kay, laufend

„Untersuchungen zur Fruchtertragskapazität bei *Malus x domestica* 'Gala' und deren Einfluss auf die Fruchtqualität“

Bachelorarbeit bei Dr. habil. Manuela Zude-Sasse (ATB), Prof. Richter (Beuth Hochschule für Technik Berlin)

Nele Handtke, Arbeit ist abgegeben, Verteidigung voraussichtlich Ende 2021

„Untersuchungen zum pflanzenverfügbarem Wasser bei *Prunus avium* 'Kordia' während der Fruchtentwicklung und dessen Einfluss auf die Fruchtqualität“

Bachelorarbeit bei Dr. habil. Manuela Zude-Sasse (ATB), Prof. Richter (Beuth Hochschule für Technik Berlin)

Evgeny Gubin, verteidigt am 16.11.2020

„Neutriebzuwachs und Fruchtqualität bei *Prunus avium* 'Kordia' in Abhängigkeit von der Bodenleitfähigkeit (ECa) am Produktionsstandort Altlandsberg“

Bachelorarbeit bei Dr. habil. Manuela Zude-Sasse (ATB), Prof. Richter (Beuth Hochschule für Technik Berlin)

Projektergebnisse

Scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens

Die scheinbare elektrische Leitfähigkeit (ECa) des Bodens wird von einer Reihe von Bodenparametern beeinflusst, wie z. B. dem Salzgehalt, der Bodentextur, der Feuchtigkeit, dem Anteil an Wurzeln und anderen organischen Stoffen. Somit liefert die ECa-Messung wertvolle Informationen zur Variabilität der Bodeneigenschaften im Feld und kann die Abgrenzung von Zonen ermöglichen. In vorangegangenen Arbeiten am ATB wurde gezeigt, dass die ECa, gemessen in Brandenburg, einen Einfluss auf das vegetative und generative Wachstum von Obstbäumen hat (Käthner und Zude-Sasse, 2015) und sich dies auf den Bewässerungsbedarf der einzelnen Kulturen auswirkt. Im Projekt Primefruit wurde die ECa als Indikator für die Bodenvariabilität in allen Anlagen erfasst. Zudem wurden in einzelnen Anlagen zusätzlich zur ECa Bodenproben entnommen und die Bodentexturzusammensetzung (Korngrößenverteilung) im Labor bestimmt.

Die ECa-Messung des Bodens wurde mit einem galvanisch gekoppelten Widerstandssystem mit einer Wenner-Elektrodenkonfiguration bei Feldkapazität durchgeführt. Die vier Elektroden waren äquidistant. Die vier Elektroden waren in einer geraden Linie an der Bodenoberfläche angeordnet, wobei die beiden äußeren Elektroden als Strom- oder Senderelektroden dienten, während die beiden inneren Elektroden die Potential- oder Empfängerelektroden darstellten. Die Untersuchungstiefe ist durch Elektrodenabstand definiert. Er wurde auf 50 cm festgelegt, was einer Untersuchungstiefe von 25 cm entspricht.

In allen Praxisanlagen (Tab. 2) wurde eine räumliche Variabilität der ECa festgestellt (Abb 2; A1–A9). Die Variabilität der ECa konnte durch die Variabilität der Bodenzusammensetzung erklärt werden (Tsoulias et al., 2020). Die Ergebnisse der Bodentexturanalyse sind in den Tabellen A1 und A2 zusammengefasst.

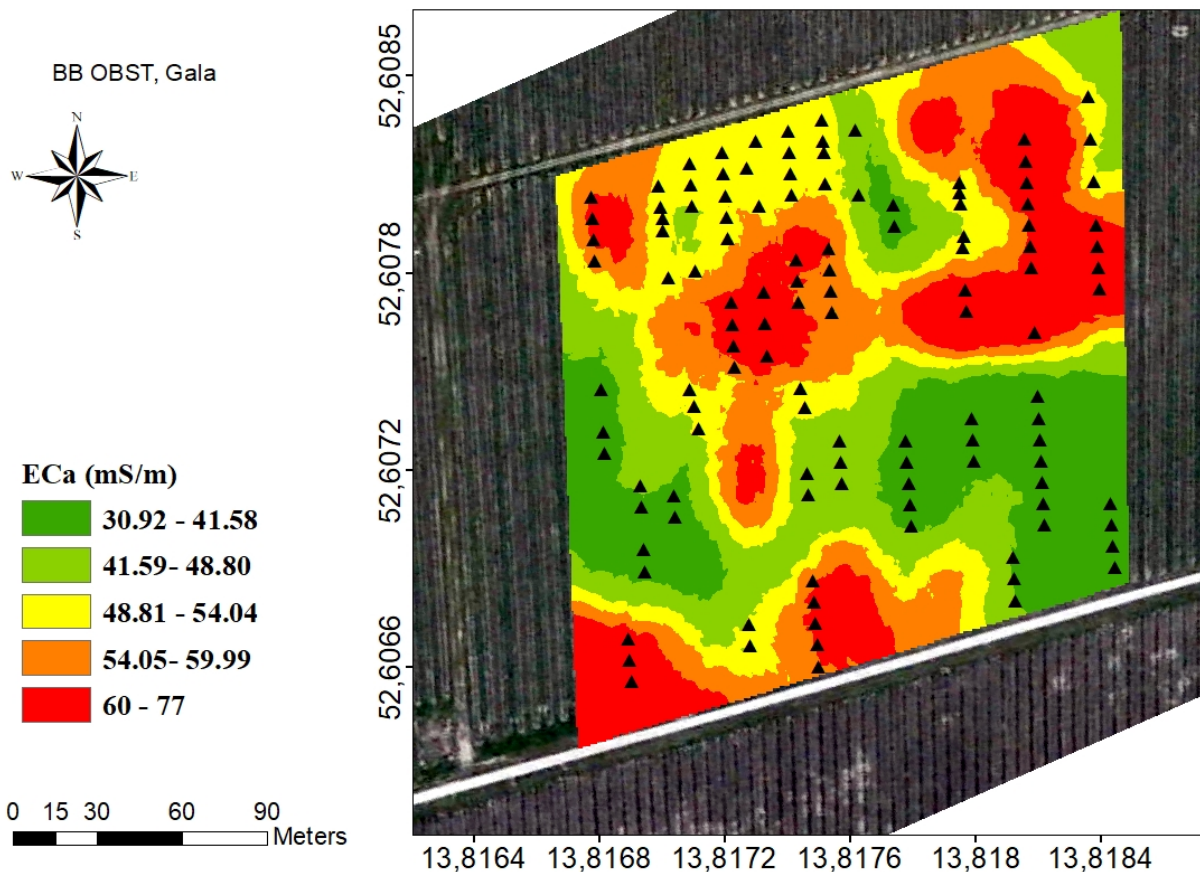


Abb. 2: Räumliche Karte der scheinbaren elektrischen Bodenleitfähigkeit (ECa) in Altlandsberg (Gala) in 2018. Die Dreiecke zeigen die Messbäume für Ertrags- und Fruchtqualitätsgrößenmessung. LiDAR-Messungen wurden an allen Bäumen der Anlage vorgenommen.

Modellparameter

Um das Modell zur Fruchtertragskapazität zu erarbeiten, wurden folgende Baumdaten benötigt:

- Fruchtwachstumsraten zunächst im Verlauf der gesamten Fruchtentwicklung
- Fruchtatmungsraten bei unterschiedlichen Temperaturen
- CO₂-Gaswechselraten der Blätter
- Blattfläche der Einzelbäume
- Tägliche Werte der Einstrahlung, Tageslänge, Temperatur
- Fruchtqualität (Größe und Brixwert)
- Ertrag

Da alle gemessenen Parameter saisonalen Schwankungen unterliegen, wurde zur Bemessung der Fruchtertragskapazität ein Zeitraum gewählt, zu dem die Blattfläche der Bäume bereits voll ausgebildet war und die Früchte die höchsten Wachstumsraten (höchsten Bedarf) auswiesen. In diesem Zeitraum und auch darüber hinaus wurden die genannten Baumdaten regelmäßig erfasst. Zur Anlagencharakterisierung wurden die elektrische Bodenleitfähigkeit in den Anlagen und die Einzelbaumerträge der Bäume stichprobenartig (50–100 Bäume je Anlage) erfasst. Aus den räumlichen Daten zum Boden ECa und der Fruchtertragskapazität wurden Karten für die entsprechenden Anlagen erstellt.

Blattfläche der Bäume

Da die Blätter eines Baumes die einzigen Organe darstellen, die eine Netto-Kohlenstoffassimilation durchführen, spiegelt die Blattfläche die Wachstumskapazität wider und bestimmt dadurch auch die Fruchtertragskapazität. Bisher konnte die Blattfläche von Bäumen nur geschätzt bzw. durch Zählen und Vermessen einzelner Blätter ermittelt werden. Die letztere Methode ist sehr aufwendig, da Apfelbäume oft über 3000 Blätter haben.

Im Projekt wurde eine Methode entwickelt, um die Blattfläche einzelner Bäume zerstörungsfrei zu ermitteln. Dabei kommt ein zweidimensionaler Laserscanner (LiDAR) zum Einsatz (Abb. 3). Der LiDAR wird zusammen mit einem RTK-GPS an einem Traktor befestigt.

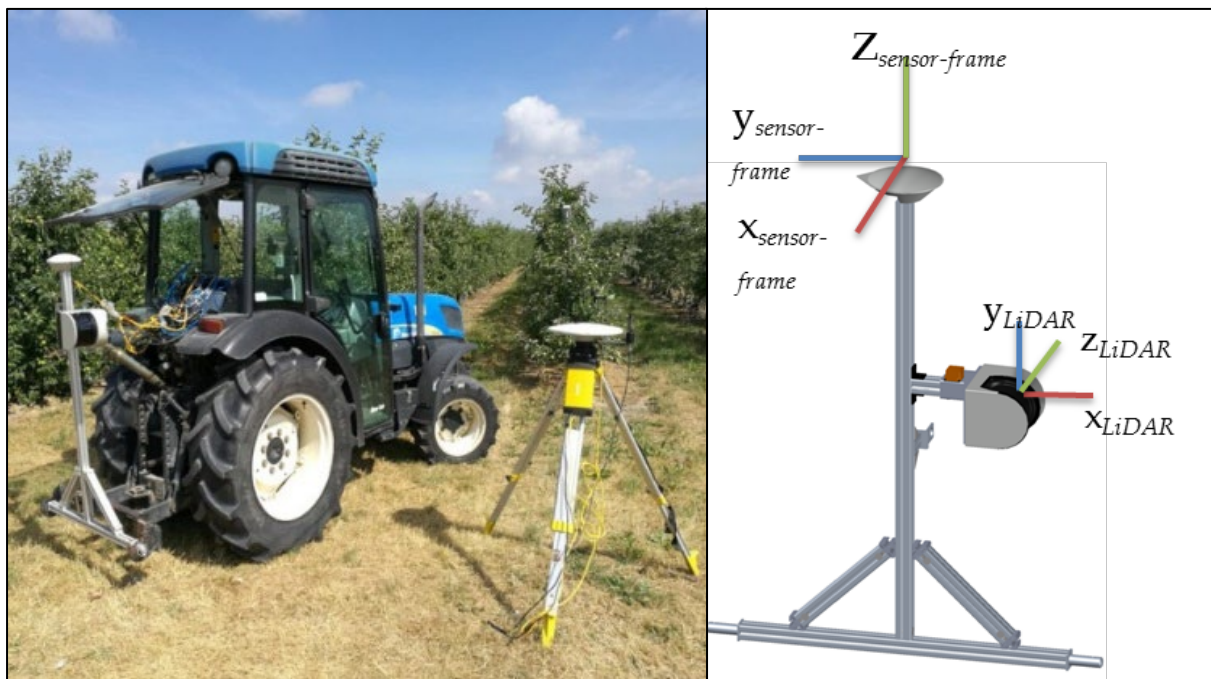


Abb. 3: Der LiDAR wird zusammen mit dem RTK-GPS mit einer am ATB entworfenen Vorrichtung (links) am Traktor montiert

1. Georeferenziertes Zusammenführen der 3D Punktwolken

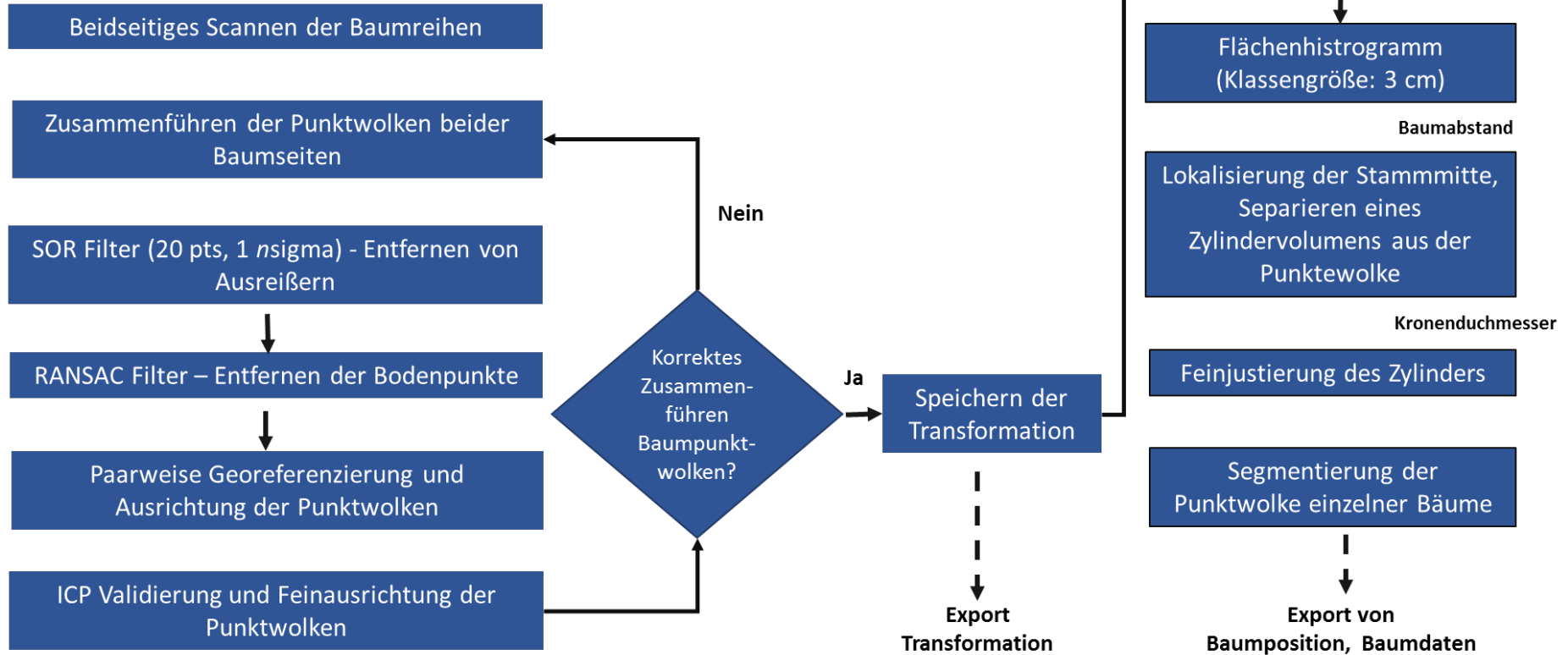


Abb. 4: Datenaufbereitung von der Punktwolke zu baumspezifischen Daten

Für die Messung von Baumparametern wie z.B. der Blattfläche werden beide Seiten der Baumreihen gescannt. Die Auswertung der Daten erfolgt nach einem in der Arbeitsgruppe entwickelten Protokoll (Abb. 4). Der LiDAR zeichnet Punkte der Bäume in einem dreidimensionalen Koordinatensystem auf. Als erster Schritt werden die Punktwolken beider Seiten der Baumreihe zusammengeführt und Ausreißer in den Punktwolken entfernt. Sobald die beiden Seiten korrekt zusammengeführt wurden, kann die exakte Position des Baumstamms ermittelt werden. Ausgehend von der Position des Baumstamms wird jeder Baum als ein dreidimensionaler Zylinder, mit den Dimensionen der mittleren Höhe der Bäume und des mittleren Kronendurchmessers, betrachtet. Die Lasertreffer pro Zylinder und Baum korrelieren mit der Blattfläche der Bäume (Abb. 4). Diese wird von einzelnen Bäumen manuell erfasst und daraus ein lineares Modell entwickelt (Abb. 5), um die Lasertreffer jedes Baumes in die Blattfläche zu konvertieren. Für jede Anlage wurde ein eigenes Kalibriermodell zur Konvertierung der Lasertreffer pro Baum in die Blattfläche entwickelt.

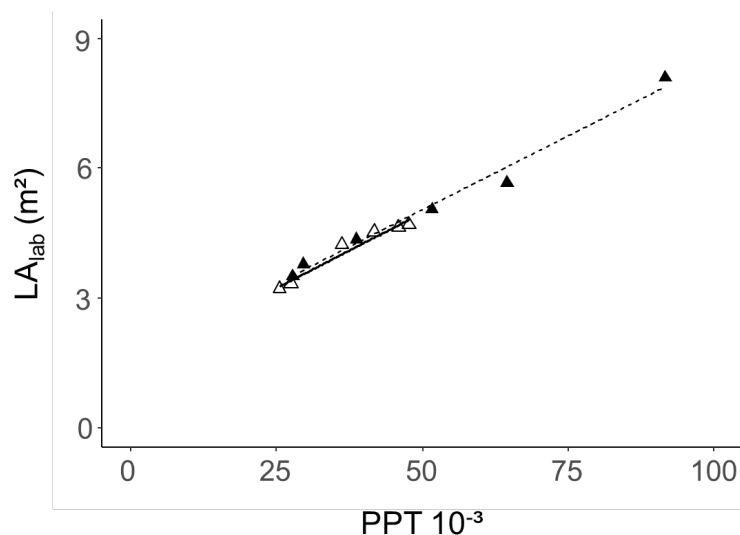


Abb.5: Beziehungen zwischen Lasertreffern pro Baum, PPT, und manuell gemessener Gesamtblattfläche pro Baum, LA_{lab} [m²]. ('RoHo3615': geschlossenes Symbol, gepunktete Linie; $LA_{lab} = 1,6 + (6,822 \times 10^{-5} \times PPT)$, $R^2 = 0,98$; 'Pinova': offenes Symbol, durchgezogene Linie; $LA_{lab} = 1,49 + (6,987 \times 10^{-5} \times PPT)$, $R^2 = 0,96$)

Die mittlere Blattfläche der Bäume unterschied sich in allen gemessenen Anlagen (Tabelle 4). Die Blattfläche der Bäume geteilt durch die Grundfläche der Bäume (Pflanzabstand) ergibt den Blattflächenindex der Anlage, mit dem sich die Lichtinterzeption, LI [%], (Gleichung 1) berechnen lässt. Dazu wird der Lichtextinktionsfaktor (Schlanke Spindel ca. 0,5) und der maximale Anteil der eintreffenden Lichtmenge die für die Bäume verfügbar ist ($F_{max} = 0,7$)

benötigt. Bei $F_{\max} = 0,7$ wird angenommen, dass 30 % der Einstrahlung direkt auf dem Boden in der Fahrgasse landet, ohne von den Blättern der Bäume aufgenommen zu werden.

$$(1) LI[\%] = F_{\max} \times (1 - e^{(-k \times \frac{LA_{\text{orchard}}}{F_{\max}})}) \times 100$$

Die Lichtinterzeption ist ein Indikator für die Produktivität einer Obstanlage, da die Erträge (mit Ausnahme von Frostjahren) mit der Lichtinterzeption korrelieren. Die Bäume der jungen Pinova-Anlage in Werder und die jungen Gala-Bäume in der Experimentierstation des ATB hatten dabei eine deutlich niedrigere Lichtinterzeption als die Bäume in allen anderen, etablierteren Anlagen (Tab. 4). Die Blattflächen ganzer Bäume aus weiteren Anlagen, die im Projekt als Referenzmessungen dienten, sind in Tabelle A4 dargestellt.

Tabelle 4: Pflanzabstände, mittlere Blattfläche und Lichtinterzeption der Bäume in den untersuchten Apfelanlagen.

Sorte/Standort/Jahr	Anzahl Bäume	Pflanzabstand [m]	Pflanzjahr	Blattfläche [m ² , Mittelwert ± SD]	Lichtinterzeption [%, Mittelwert ± SD]
Gala, Altlandsberg, 2018	1996	3.2 x 0.95	2006	5,75 ± 1,3	50 ± 5
Gala, Altlandsberg, 2019	1996	3.2 x 0.95	2006	5,33 ± 1,15	48 ± 6
Evelina, Altlandsberg, 2018	1300	3.2 x 1.0	2007	5,4 ± 1,1	50 ± 5,1
Pinova, Werder (Havel), 2018	1670	3.5 x 1.25	2014	3,2 ± 0,5	28,5 ± 3,1
Gala, Frankfurt (Oder), 2018	600	3.3 x 0.9	2013	8,4 ± 1,2	60 ± 3

Photosyntheseleistung der Blätter

Im Laufe der Saisons erfolgten entsprechend der Frucht- und Blattentwicklungsphasen wiederholte Messungen der CO₂-Austauschrate an den Blättern in Abhängigkeit zur Einstrahlung. Es wurden dabei die Netto-CO₂-Gaswechselrate bei Lichtsättigung ($[\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}]$, $^{\max}J_{\text{CO}_2}$) sowie die maximale Quantenausbeute bei einer Einstrahlung zwischen 0–100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ($[\text{mol mol}^{-1}]$, $^{\max}\alpha$) an einzelnen Blättern sowie die Blatttemperatur gemessen (Abb. 6,

A10, A11; Matyssek und Herppich, 2019). $^{max}\alpha$ zeigte geringe saisonale Schwankungen und war in allen Anlagen ähnlich (Abb. 6, A10, A11). $^{max}J_{CO_2}$ hingegen unterlag saisonalen Schwankungen, die sich durch Schwankungen des Blatt-Luft-Wasserdampfdruckdefizits erklären lassen (Abb. 7; Penzel et al., 2020). Das Blatt-Luft-Wasserdampfdruckdefizit regelt die stomatäre Leitfähigkeit, die die vom Blatt aufgenommene Menge an CO_2 limitiert.

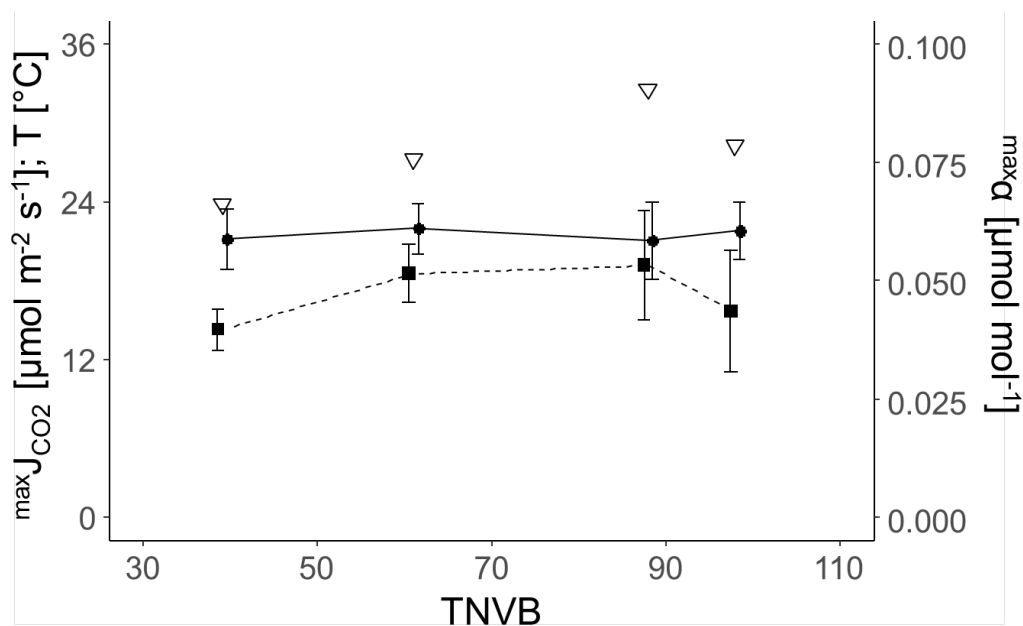


Abb.6: Saisonaler Verlauf (Tage nach Vollblüte [TNVB]) der maximalen Quantenausbeute [mol mol^{-1}], $^{max}\alpha$ (gefüllter Kreis, durchgezogene Linie), des lichtgesättigten netto CO_2 -Gasaustauschs [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$], $^{max}J_{CO_2}$ (gefülltes Quadrat, gestrichelte Linie), und der Blatttemperatur [$^{\circ}\text{C}$], T_{leaf} , (offenes Dreieck) während der Gaswechselfmessungen an sich entwickelnden 'Gala'/M.9-Apfelblättern in der Vegetationsperiode 2018 (Frankfurt (Oder)). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an.

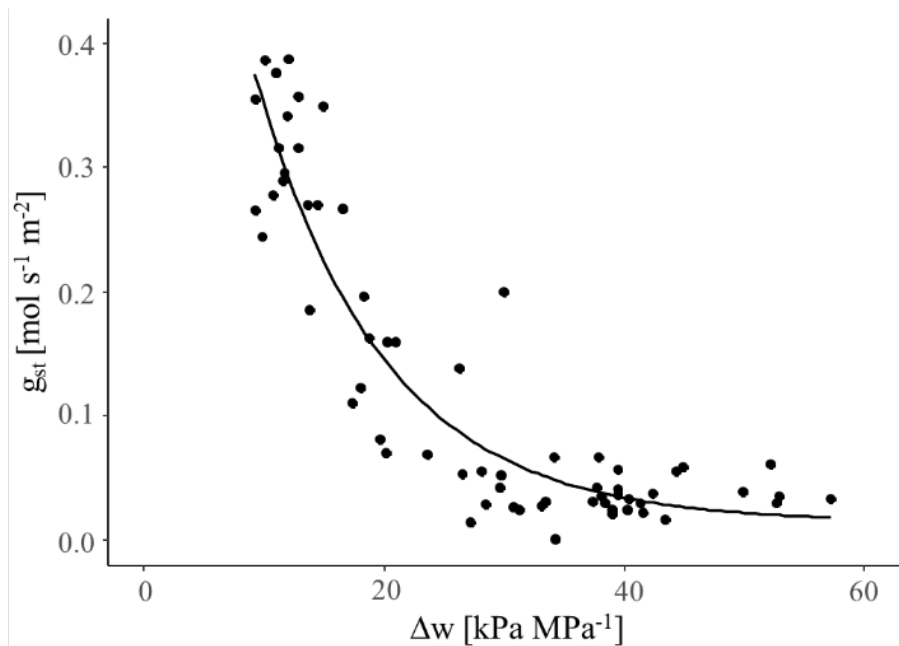


Abb. 7: Beziehung zwischen der stomatären Leitfähigkeit für Wasserdampf (g_{st} [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]) und dem Blatt-Luft-Wasserdampfdruckdefizit (Δw [kPa MPa^{-1}]) von voll entwickelten 'Gala'-Blättern in den Jahren 2018 und 2019. Die durchgezogene Linie stellt ein Regressionsmodell ($p < 0,05$) dar, um g_{st} aus Δw vorherzusagen ($g_{st} = 0,857 \times \text{EXP}(-0,0941 \times \Delta w) + 0,0149$; $R^2=0,84$). Quelle: Penzel et al., 2020b.

Fruchtwachstum und Fruchtatmung

Die Frischmasse und/oder der Durchmesser der Früchte wurden im Verlauf der Saison an mehreren Standorten sowohl bei Apfel als auch bei Kirsche erfasst. Dabei wurden i.d.R. je Messtermin 30 nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Früchte beprobt. Zudem wurden von den Früchten an einzelnen Standorten die Trockenmasse der Früchte sowie der Kohlenstoffgehalt der Trockenmasse gemessen. Um mittlere Tageswerte der Frischmasse und des Kohlenstoffgehaltes der Früchte zu erhalten wurden die gemessenen Werte mit einem sigmoiden Wachstumsmodell über die Zeit zu interpoliert (Abb. 8a, e). Die erste Ableitung der Wachstumsfunktionen entspricht der absoluten täglichen Wachstumsrate (FM, C) der Früchte. In Abbildung 8 sind die gemessenen Werte der Frischmasse, Trockenmasse und des C-Gehalts der Früchte von Pinova in Werder (Havel) und Evelina (RoHo 3615) in Altlandsberg dargestellt. Die saisonalen Verläufe des Fruchtwachstums weiterer Anlagen befinden sich im Anhang (Abb. A12–A13). Durch Normalisierung der sigmoiden Wachstumsfunktionen können zudem Wachstumsfunktionen und Wachstumsraten von Früchten mit verschiedenen Fruchtdurchmessern zur Ernte modelliert werden. Im Projekt wurden dabei Fruchtdurchmesser zwischen 65 mm und 80 mm verwendet (Abb. A12). Die allometrische Beziehung zwischen Fruchtdurchmesser und Frischmasse bei Gala ist in Abb. A15 dargestellt.

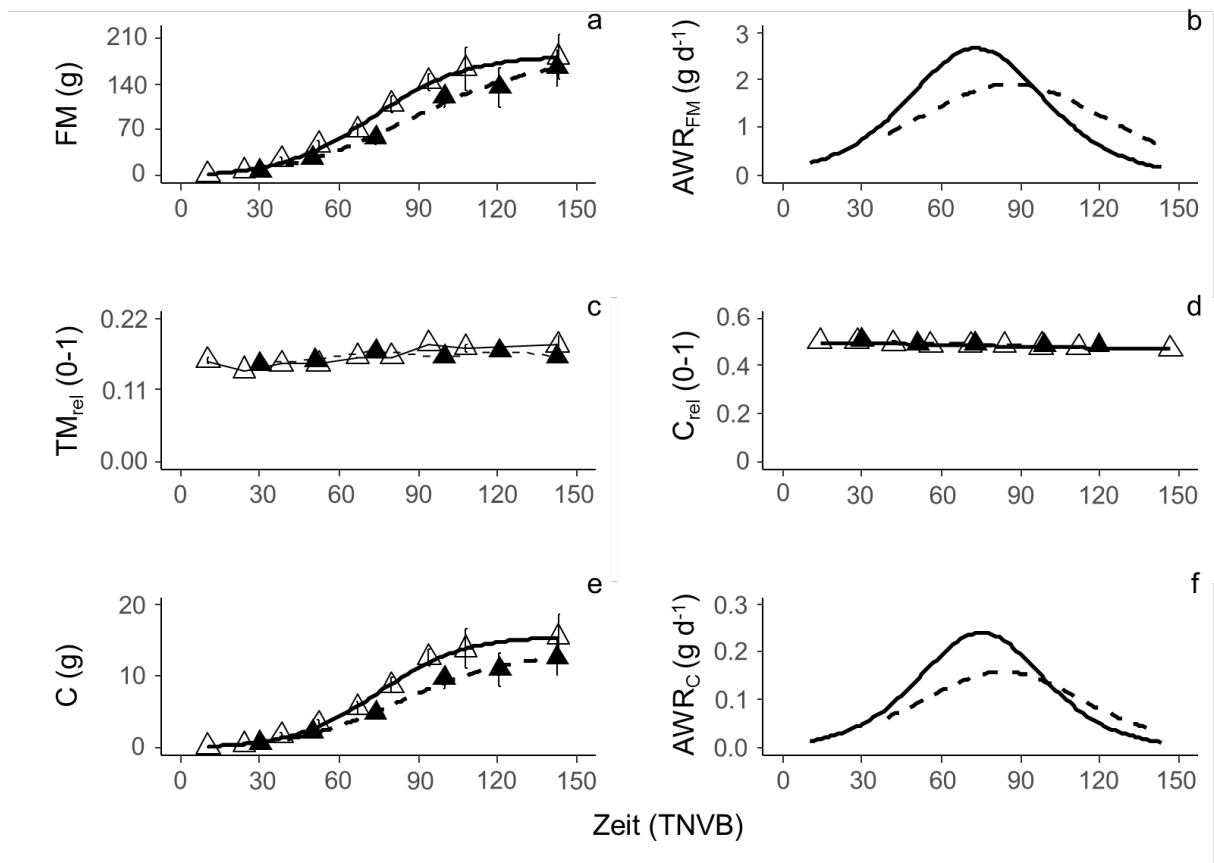


Abb. 8: Zeitlicher Verlauf in Tagen nach der Vollblüte (TNVB): (a) Frischmasse [g] (FM), (b) absolute Wachstumsrate der Frischmasse [g d⁻¹] (AWR_{FM}), (c) relativer Anteil der Trockensubstanz (TM_{rel}) an FM [0-1], (d) relativer Anteil von elementarem C an TM_{rel} [0-1] (C_{rel}), (e) absoluter C-Gehalt [g], (f) absolute Wachstumsrate in C [g d⁻¹](AWR_C) von sich entwickelnden Apfelfrüchten 'Pinova'/M.26 (offenes Symbol, durchgezogene Linie), Werder (Havel) und 'RoHo 3615'/M.9 (geschlossenes Symbol, gestrichelte Linie), Altlandsberg, während der Vegetationsperiode 2018. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an.

Der Anteil der Trockenmasse an der FM, TM_{rel} , und der C-Gehalt an der Trockenmasse, C_{rel} , der Früchte der untersuchten Sorten folgten ähnlichen saisonalen Verläufen (Abb. 8c, 7d, A14). Während TM_{rel} leichte saisonale Schwankungen zeigte, nahm C_{rel} bei allen beprobten Früchten linear in einem Bereich von 0,51 bis 0,47 ab.

Im Gegensatz zum Apfel erfolgte bei Süßkirsche eine Zunahme der Fruchtdurchmesser mit doppelt-sigmoidem Verlauf (Abb. 9, A16). Bei Kordia in Altlandsberg konnten leichte Unterschiede bei den Fruchtwachstumsraten von Bäumen festgestellt werden, die auf niedrigen und hohen ECa-Bereichen standen.

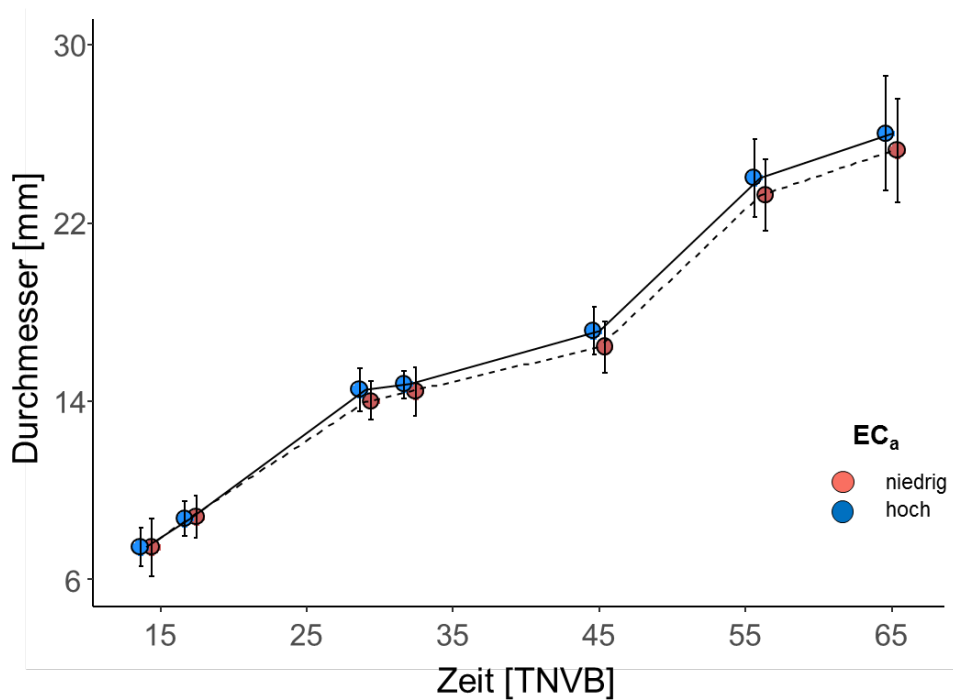


Abb. 9: Saisonaler Verlauf der Fruchtdurchmesser von Kordia/Gi.5 in Altlandsberg in 2019. Es wurden je Messtermin 30 Früchte in verschiedenen ECa-Bereichen der Anlage beprobt. Die Fehlerbalken markieren die Standardabweichung der einzelnen Messwerte

Die Dunkelatemungsraten pro Frischmasseeinheit nahmen sowohl bei Apfel (Abb. 10, A17) als auch bei Kirsche (Abb. A 18) bei den jeweiligen Sorten während der Fruchtentwicklung ab. Da die Fruchtatmungsrate im Labor bei unterschiedlichen Temperaturen gemessen wurde, konnten Modelle für die Bestimmung der Fruchtatmungsrate für die Früchte unter den jeweils im Feld gemessenen Temperaturen (Abb. 10c) entwickelt werden (Abb. A17). Die Q_{10-20} -Werte zeigten, dass eine Temperaturerhöhung von 10°C auf 20°C zu einer 1,4 bis 4,0-fachen Erhöhung der Fruchtatmungsrate führte (Abb. 10b). Die Modelle wurden dafür genutzt, um die tägliche Menge an veratmetem Kohlenstoff pro Frucht zu quantifizieren.

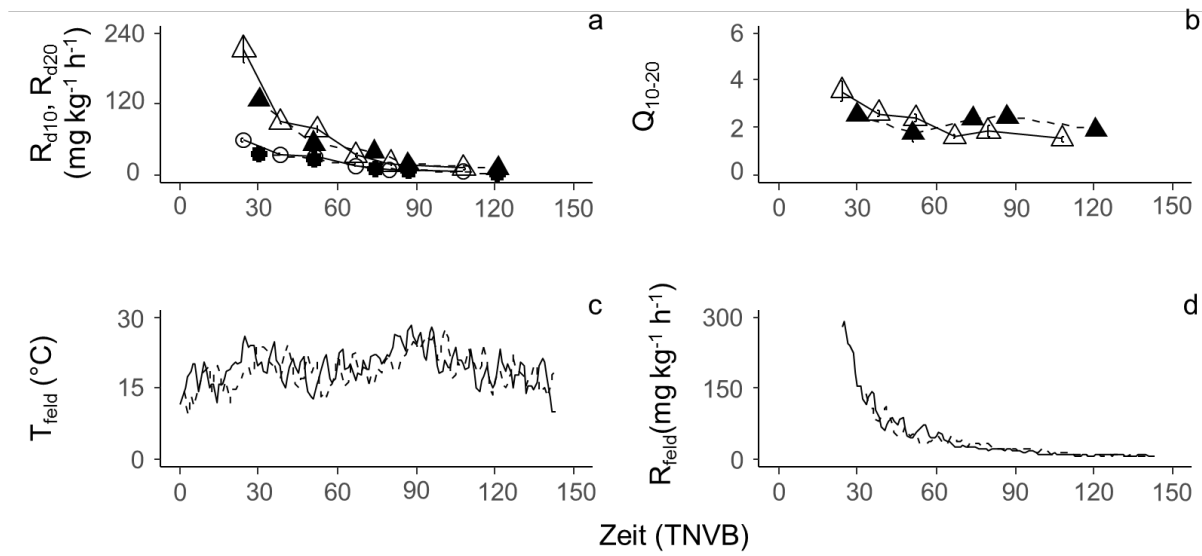


Abb. 10: Zeitlicher Verlauf in Tagen nach Vollblüte (TNVB) von (a) Frucht-CO₂-Atmungsrate [$\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$] bei 10°C (R_{d10} ; Kreis) und 20°C (R_{d20} ; Dreieck), (b) Q_{10-20} -Werte für die Fruchtatmung zwischen 10°C und 20°C, (c) mittlere Tagestemperatur [$^{\circ}\text{C}$] in 2 m Höhe (T_{feld}), (d) für T_{feld} berechnete geschätzte Fruchtatmungsraten [$\text{mg kg}^{-1} \text{h}^{-1}$], R_{feld} , bei 'Pinova'/M. 26 in Werder (Havel) (offenes Symbol, durchgezogene Linie) und 'RoHo 3615'/M.9 in Altlandsberg (geschlossenes Symbol, gestrichelte Linie) Früchten während der Vegetationsperiode 2018. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an

Bei 'Pinova' in Werder (Havel) betrug die Menge an veratmetem Kohlenstoff pro Frucht in 2018 1,67 g, bei 'RoHo 3615' in Altlandsberg 1,33 g, was 10,4 % bzw. 10 %, des kumulierten täglichen C-Bedarfs pro Frucht ausmachte. Die tägliche Schwankung des prozentualen Anteils der Fruchtatmung am gesamten Kohlestoffbedarf pro Frucht schwankte zwischen 6 % und 44 %. Somit wurde der Kohlenstoffbedarf je Frucht hauptsächlich durch das Wachstum beeinflusst, was sich in einem ähnlichen saisonalen Verlauf wie beim saisonalen Kohlenstoffbedarf widerspiegelt. Insgesamt verbrauchten die Früchte von 'RoHo 3615' im Zeitraum vom 30 DAFB bis zur Ernte 13,3 g C und erreichten eine durchschnittliche FM von 165 g, während die Früchte von 'Pinova' im gleichen Zeitraum 16,1 g C verbrauchten und 182 g FM erreichten. Berechnet für verschiedene Zielfruchtgrößen (Abb. A19) stieg der tägliche C-Verbrauch bei 'Pinova'-Früchten bei einer Zielfruchtgröße von 80 mm auf maximal 0,35 g d^{-1} an, was 244 g FM bei der Ernteentsprach.

Saisonale Schwankungen des Kohlestoffverbrauchs pro Frucht wurden auch bei Gala festgestellt. Der saisonale Kohlestoffverbrauch pro Frucht für verschiedene Zielfruchtgrößen zur Ernte war dabei in zwei aufeinanderfolgenden Jahren (Tab. 5; Abb. A19) vergleichbar. Insgesamt wurde bei allen Sorten ein saisonaler Anstieg des Kohlestoffbedarfs pro Frucht

festgestellt, der zwischen 90 und 100 Tagen nach Vollblüte ein Maximum erreichte und danach abnahm.

Tabelle 5: C-Verbrauch pro Frucht bei 'Gala' in Altlandsberg (2018 und 2019) für verschiedene Frucht Durchmesser.

	2018	2019
Fruchtdurchmesser zur Ernte	$\sum_{30\text{ TNVB}}^{\text{Ernte}} C_{\text{daily}}$	$\sum_{30\text{ TNVB}}^{\text{Ernte}} C_{\text{daily}}$
	[g]	[g]
65 mm	7.52	7.3
70 mm	9.47	9.19
75 mm	11.81	11.46
80 mm	14.56	14.13

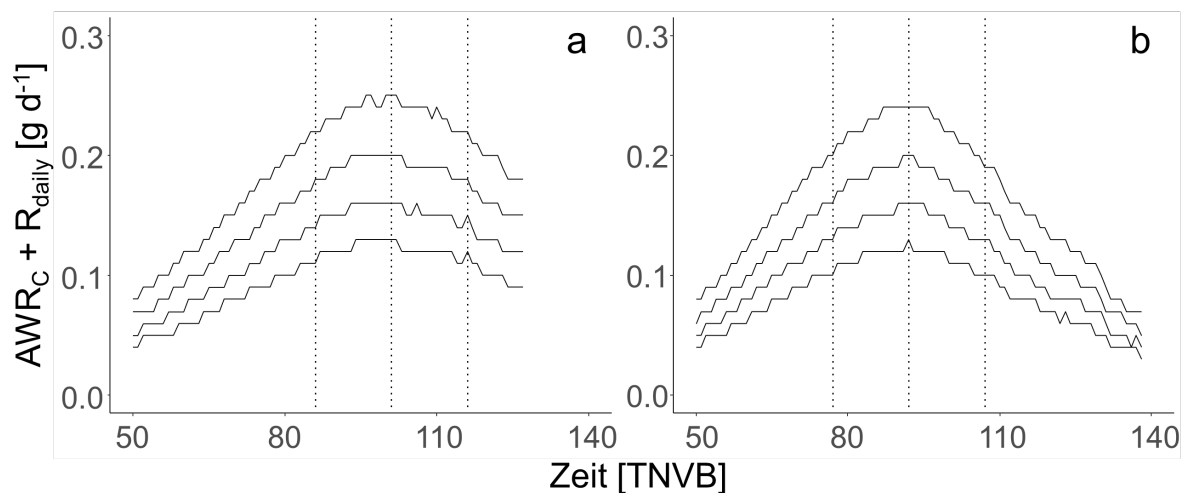


Abb. 11: Zeitlicher Verlauf des täglichen C-Bedarfs (absolute Wachstumsrate + Fruchtatmung) von 'Gala'-Früchten in Altlandsberg mit unterschiedlichen Erntefruchtgrößen (von unten nach oben: 65 mm, 70 mm, 75 mm, 80 mm) in 2018 (a) und 2019 (b). Vertikale Linien markieren den Zeitraum (30 d) des höchsten Kohlenstoffbedarfs pro Frucht in beiden Jahren

Der tägliche Kohlenstoffverbrauch pro Frucht bei Süßkirsche (Abb. 11) war 2019 zur Vollblüte am niedrigsten ('Bellise': 0,004 g d⁻¹; 'Regina': 0,002 g d⁻¹) und zur Ernte 2018 am höchsten ('Bellise': 0,09 g d⁻¹, 'Regina': 0,06 g d⁻¹). Ab 40 TNVB bzw. 47 TNVB (2018) sowie ab 39 TNVB bzw. 40 TNVB (2019) bei 'Bellise' und 'Regina' respektive, stieg der tägliche C-Verbrauch pro

Frucht bis zur Ernte an und nahm kurz vor Ernte wieder leicht ab. Von 16 TNVB bis zur Ernte verbrauchten die Früchte von 'Bellise' in 2018 bzw. 2019 0,93 g C und 0,92 g C, während 'Regina'-Kirschen 1,18 g C und 1,09 g C in 2018 bzw. 2019 verbrauchten. Die Werte beider Jahre weisen auf einen etwas höheren Gesamt-C-Bedarf pro Frucht bei 'Regina' im Vergleich zu 'Bellise' hin.

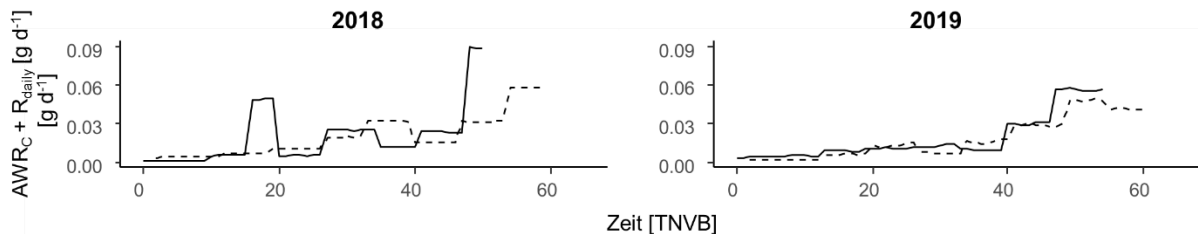


Abb. 12: Zeitlicher Verlauf des täglichen Kohlenstoffbedarfs pro Frucht von wachsenden 'Bellise' (durchgezogene Linie) und 'Regina' (gestrichelte Linie) Süßkirschen in den Vegetationsperioden 2018 und 2019. Quelle: Penzel et al., 2020

Modellierung der Fruchtertragskapazität und gemessene Erträge

Die tägliche CO₂-Assimilation der Bäume (Abb. 12) wurde mit einem Modell von Lakso und Johnson (1990) berechnet (Gleichung 2).

$$(2) P_{\text{daily}} [\text{C}; \text{g d}^{-1}] = (\alpha_{\text{max}} \times S \times DL \times J_{\text{CO}_2}^{\text{max}} \times P_T \times LI) / (\alpha_{\text{max}} \times k \times S + DL \times J_{\text{CO}_2}^{\text{max}} \times P_T) \times 0.27$$

$$(3) P_T [0-1] = 0,535 + 0,0384 \times T - 0,0004126 \times T^2 - 0,00001576 \times T^3$$

Inputfaktoren sind neben α_{max} , $J_{\text{CO}_2}^{\text{max}}$, k und LI die Tageslänge (DL [s]), die Globalstrahlung (S [$\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$]) und eine Gleichung P_T [0-1] (Gl. 3), die den relativen Effekt der Temperatur (T [$^{\circ}\text{C}$]) auf $J_{\text{CO}_2}^{\text{max}}$ beschreibt. Die Gleichung P_T wurde aus mehreren Studien an der Cornell AgriTech ermittelt (Lakso et al., 1999). Als Referenzzeitraum für die Bemessung der Fruchtertragskapazität wurde für jede Anlage der Zeitraum ± 15 d zu dem Tag, an dem die Früchte den größten Kohlenstoffverbrauch hatten, gewählt. In dem Zeitraum war die Blattfläche der Bäume voll entwickelt.

In einer Arbeit aus den Niederlanden wurde für diesen Zeitraum festgestellt, dass an tragenden Bäumen etwa 80 % vom täglich assimilierten Kohlenstoff für das Wachstum und die Atmung der Früchte zur Verfügung stehen (Wagenmakers, 1996). Diese Annahme wurde für die Berechnung der Fruchtertragskapazität getroffen.

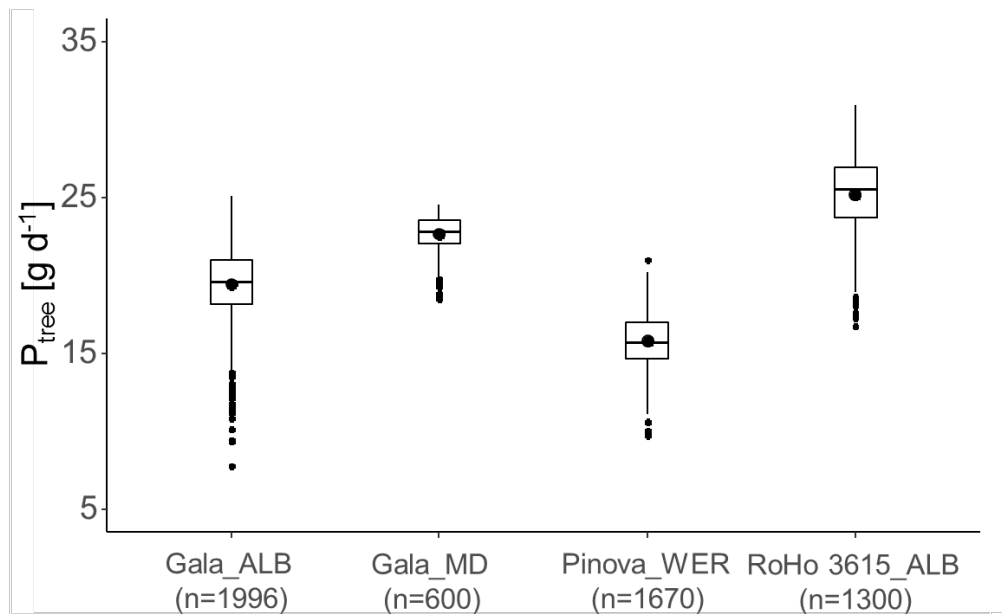


Abb. 13: Mittlerer täglich assimilierter C pro Baum (P_{tree}) im Zeitraum des maximalen täglichen Fruchtkohlenstoffbedarfs in vier Apfelanlagen. Die unteren und oberen Querlinie der Boxplots entsprechen dem ersten und dritten Quartil, die Querlinie innerhalb der Box dem Median und der Punkt dem Mittelwert

Die Fruchtertragskapazität jedes einzelnen Baumes um Früchte mit einem angestrebten mittleren Fruchtdurchmesser zu produzieren kann anhand der für die Früchte verfügbaren Menge an täglich assimilierten C und dem Kohlenstoffverbrauch wachsender Früchte berechnet werden (Abb. 12, A20). Wie schon bei der Blattfläche der Bäume und der mittleren täglichen Menge an assimilierten Kohlenstoff pro Baum zeigte sich auch bei der Fruchtertragskapazität der einzelnen Bäume eine hohe Variabilität zwischen den Bäumen einer Anlage (Abb. 13). Bei Gala in Altlandsberg war die Variationsbreite der Fruchtertragskapazität der Bäume zwischen den Jahren 2018 und 2019 ähnlich. Jedoch unterscheidet sich die Fruchtertragskapazität einzelner Bäume zwischen zwei Jahren.

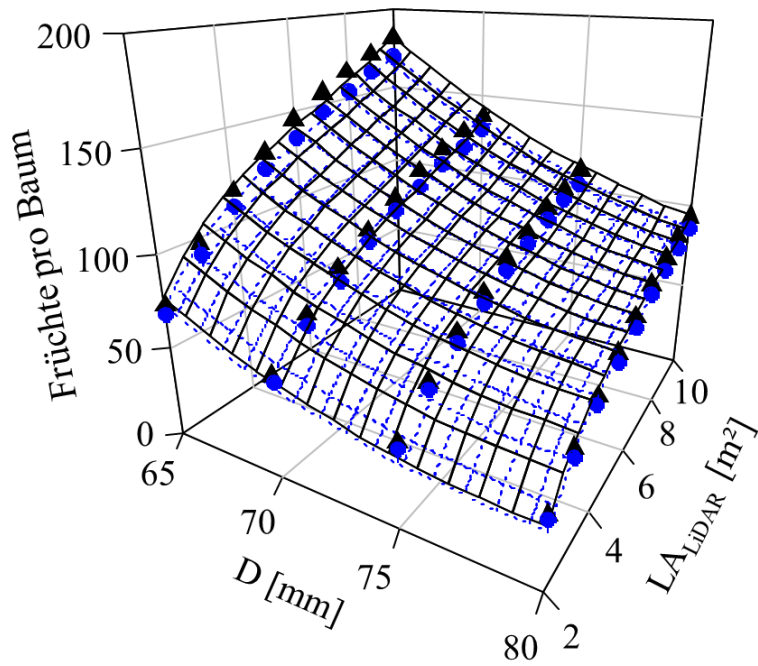


Abb. 14: Fruchtertragskapazität der Bäume in Abhängigkeit zur Zielfruchtgröße und der Blattfläche bei 'Gala'/M.9 in Altlandsberg in 2018 (blauer Kreis, blau gestrichelte Linie) und 2019 (schwarzes Dreieck, durchgezogene Linie). Quelle: Penzel et al., 2020

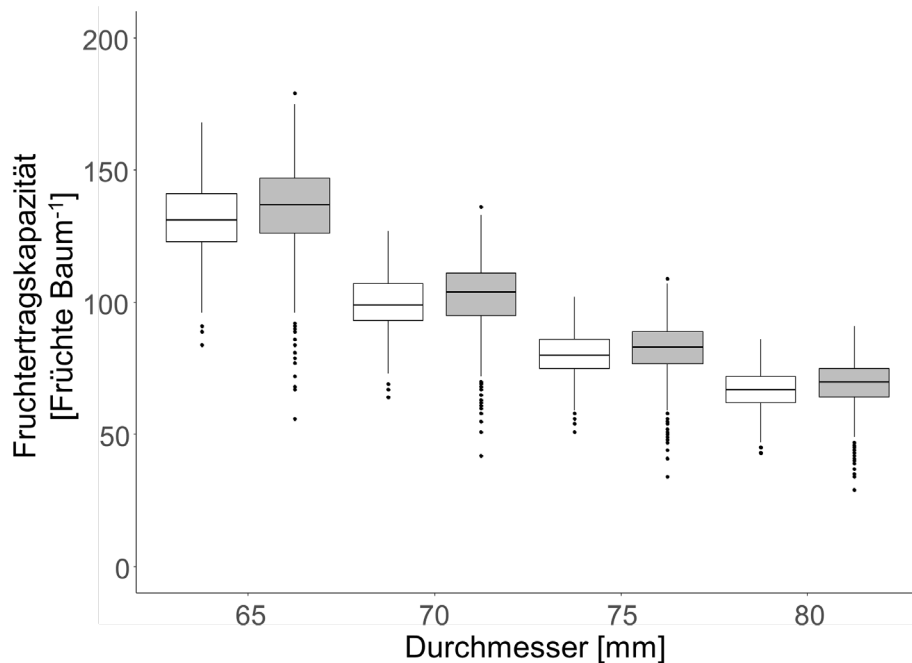


Abb. 15: Mittlere Fruchtertragskapazität [Früchte Baum⁻¹] von jeweils 996 Bäumen, berechnet für verschiedene Zielfruchtdurchmesser bei 'Gala'/M.9 in Altlandsberg in den Jahren 2018 (transparente box plots) und 2019 (graue box plots). Bemessungszeitraum: 15 d vor und nach dem höchsten täglichen Frucht-C-Bedarf (2018: 86 TNVB - 116 TNVB, 2019: 77 TNVB - 107 TNVB). Quelle: Penzel et al., 2021

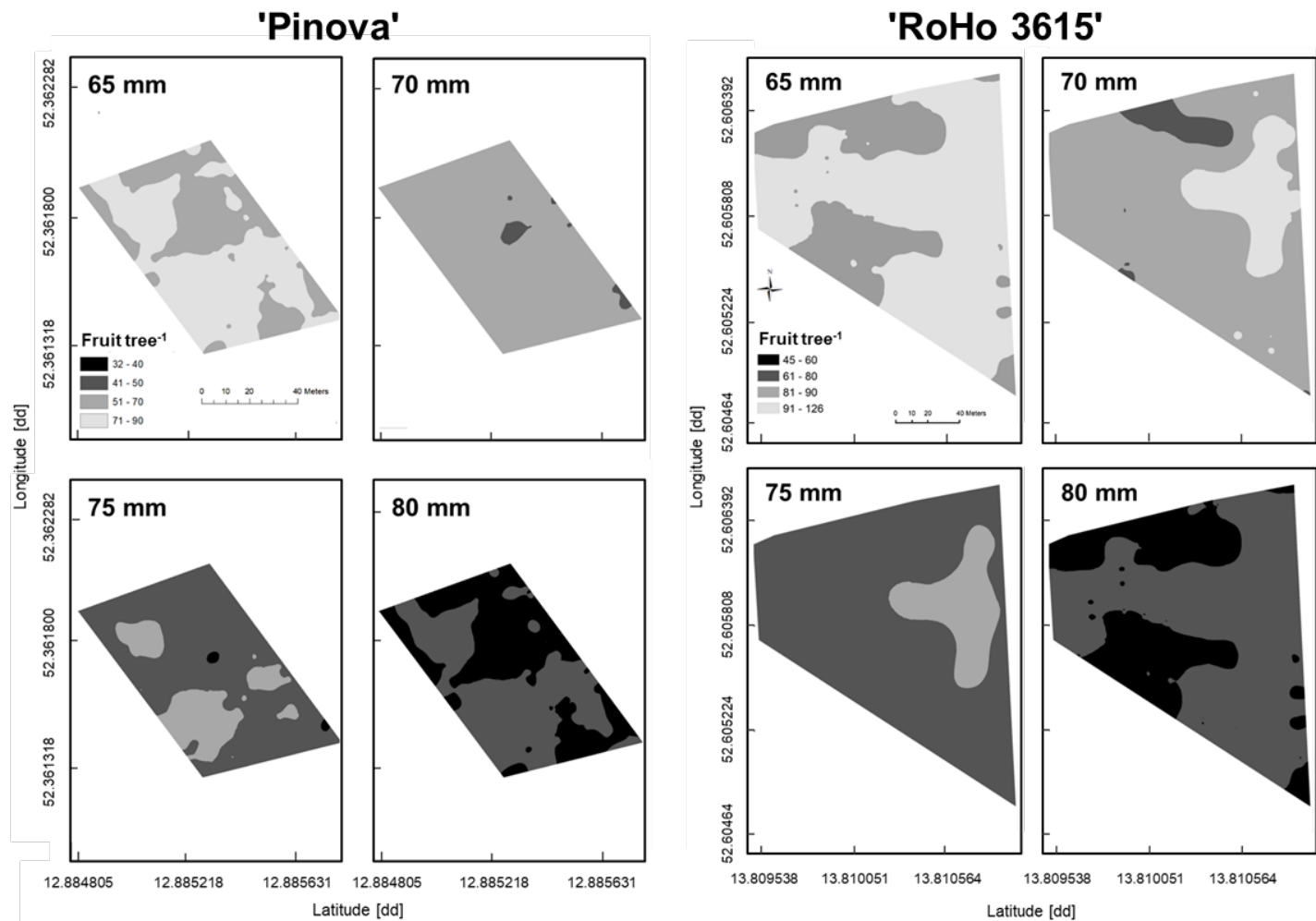


Abb. 16: Karten der Fruchtertragskapazität 2018 bei 'Pinova'/M26 (Werder (Havel) und 'RoHo 3615'/M9 (Altlandsberg) in Abhängigkeit zum Zielfruchtdurchmesser zur Ernte. Penzel et al., 2021

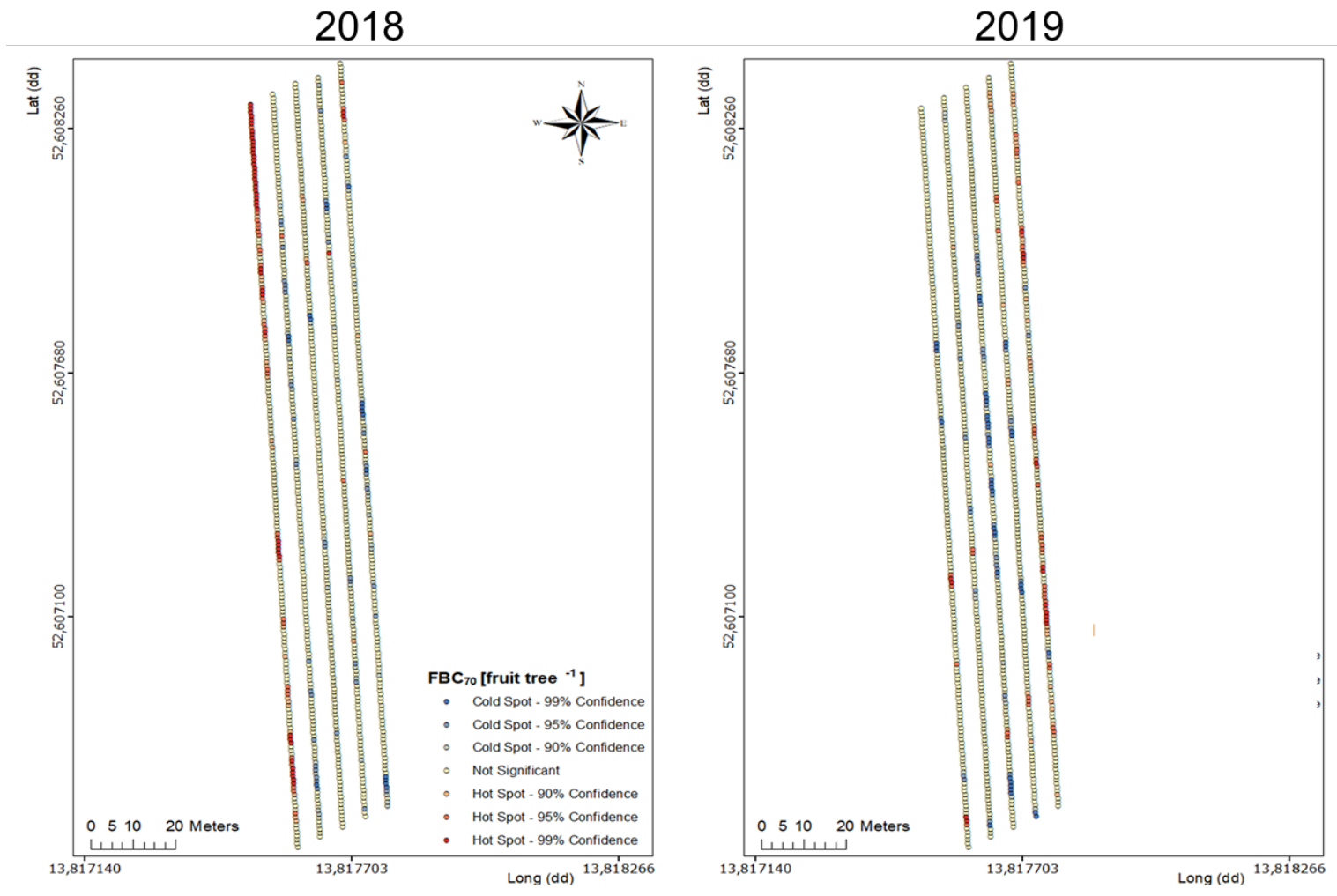


Abb. 17: Karten der z-Scores in der Getis-Ord-Analyse (Peeters et al., 2015), angewendet auf die Fruchtertragskapazität für einen mittleren Fruchtdurchmesser von 70 mm, unter Berücksichtigung von 996 Bäumen von 'Gala'/M.9 (Altlandsberg) pro Jahr in 2018 und 2019

Anhand der räumlichen Karten der Fruchtertragskapazität (Abb. 16, 17 A21) können Baumgruppen bzw. Bereiche innerhalb der Anlagen lokalisiert werden, in denen sich die Fruchtertragskapazität von denen der umgebenden Bäume unterscheidet. Die Lokalisierung von Bäumen mit niedriger, mittlerer bzw. hoher Fruchtertragskapazität ist die Voraussetzung dafür Bäume individuell ausdünnen zu können.

Erträge und Validierung der Fruchtertragskapazität

Die Erträge einzelner Bäume in den untersuchten Apfelanlagen schwankten je nach Pflanzabstand und Alter der Anlage (Tab. 6). Die Anzahl an Infloreszenzen pro Baum war in allen Anlagen ausreichend um die Fruchtertragskapazität der Bäume zu erreichen, wenn angenommen wird, dass pro Infloreszenz 1-2 Früchte bis zur Ernte am Baum verbleiben. Die Fruchtertragskapazität bei Pinova und RoHo3615, um die mittlere Fruchtgröße die bei 35 bzw. 45 beprobten Bäumen gemessen wurde zu erreichen, wurde mit der Anzahl an Früchten pro Baum der zur Ernte validiert (Abb. 17). Die Ergebnisse zeigen, dass die mittlere Fruchtanzahl pro Baum bei beiden Sorten nahe an der berechneten FBC lag. Allerdings trugen 23 % der 'Pinova'-Bäume und 31 % der 'RoHo 3615'-Bäume weniger Früchte pro Baum als deren Fruchtertragskapazität. Die durchschnittliche Frischmasse der Bäume betrug 165 g bzw. 159 g für 'Pinova' und 'RoHo 3615'. Im Gegensatz dazu trugen 16 % der Bäume von 'RoHo 3615' zu viele Früchte pro Baum und überstiegen die Fruchtertragskapazität um durchschnittlich 19 Früchte pro Baum, was zu einer geringen durchschnittlichen Fruchtgröße von unter 65 mm führte (Abb. 18a), was die Mindestanforderung für den Frischmarktzugang darstellt.

Bei Gala in Altlandsberg wurde ebenfalls zur Validierung des Modells die Fruchtertragskapazität von zufällig beprobten Bäumen in 2018 und 2019 für deren gemessene Blattfläche und die mittlere Fruchtmasse zur Ernte berechnet. In beiden Jahren war das Verhältnis der durchschnittlichen Anzahl von Früchten pro Baum mit einem Fruchtdurchmesser über 65 mm zur Fruchtertragskapazität 1,0 (Tab. 7). Die hohe Standardabweichung (SD) zeigt jedoch, dass ein signifikanter Anteil der Bäume eine Anzahl von Früchten pro Baum mit einem Fruchtdurchmesser > 65 mm über oder unter der FBC hatte. Der Vergleich zwischen der modellierten Fruchtertragskapazität und der Anzahl an Früchten mit Durchmesser > 65 mm zeigte, dass das Konzept der FBC in der Lage ist, die potentielle Ertragsleistung eines Baumes zu simulieren. Allerdings hatte ein beträchtlicher Teil der Bäume mehr Früchte als die Fruchtertragskapazität, ohne dass dies negative Auswirkungen auf die durchschnittliche Fruchtgröße hatte. Dies zeigt, dass das Modell bisher die variable Verteilung der Blattflächen innerhalb der Baumkrone, die den Lichtextinktionskoeffizienten (K) der Baumkrone bestimmt, nicht abbilden kann.

Tabelle 6: Ertragsparameter pro Baum ausgewählter Apfel-Anlagen im Primefruit Projekt

Sorte/Standort/Jahr	Anzahl	Pflanzabstand [m]	Pflanzjahr	Infloreszenzen pro Baum (Mittelwert \pm SD)	Ertrag pro Baum [kg]			Ertrag pro 0,9 ha [t]	Früchte pro Baum (Mittelwert \pm SD)	Mittleres Fruchtgewicht [g] (Mittelwert \pm SD)
					Mittelwert \pm SD	Min	Max			
Gala, Altlandsberg, 2018	111	3.2 x 0.95	2006	134,9 \pm 39,0	16,6 \pm 5,4	6,2	26,5	49,1	123,7 \pm 44,8	137,5 \pm 20,8
Gala, Altlandsberg, 2019	76	3.2 x 0.95	2006	139,0 \pm 48,2	17,4 \pm 5,9	5,2	32,7	51,5	122,4 \pm 49,7	145,6 \pm 25,1
Gala, Altlandsberg, 2020	150	3.2 x 0.95	2006	176,0 \pm 58,8	17,9 \pm 5,7	3,5	31,8	53,0	161,7 \pm 54,4	111,8 \pm 14,4
Evelina, Altlandsberg, 2017	45	3.2 x 1.0	2007	241,8 \pm 42,3	25,9 \pm 5,6	15,3	35,6	72,8	223,6 \pm 44,4	115,8 \pm 13,2
Evelina, Altlandsberg, 2018	45	3.2 x 1.0	2007	304,2 \pm 59	18,1 \pm 4,6	9,3	27,7	50,9	115,6 \pm 31,1	159,0 \pm 21,9
Pinova, Werder (Havel), 2018	35	3.5 x 1.25	2014	176,8 \pm 49,4	13,0 \pm 3,6	6,6	19,9	26,7	72,6 \pm 19,3	180,2 \pm 18,5
Pinova, Frankfurt (Oder), 2017	43	5,0 x 1,0		277 \pm 51,5	24,2 \pm 6,8	12,3	39,6	43,6	145,6 \pm 63,3	177,2 \pm 37,9
Pinova, Frankfurt (Oder), 2018	43	5,0 x 1,0		241,0 \pm 55,0	28,4 \pm 8,8	12,3	47,7	51,1	226,3 \pm 74,8	127,1 \pm 20,1
Gala, Frankfurt (Oder), 2017	47	3.3 x 0.9	2014	-	18,4 \pm 3,2	11,7	27,0	55,8	107,1 \pm 26,0	177,7 \pm 42,3
Gala, Frankfurt (Oder), 2018	45	3.3 x 0.9	2014	253,2 \pm 89	17,0 \pm 5,0	7,3	27,0	51,5	136,9 \pm 55,8	132,2 \pm 25,7

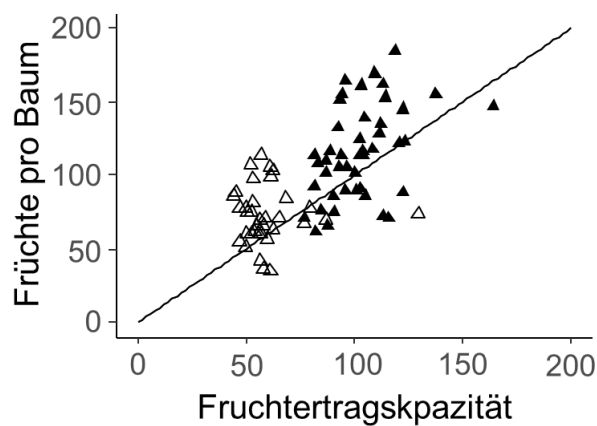


Abb. 18: Vergleich zwischen der Fruchtertragskapazität zum Erreichen des gemessenen durchschnittlichen Fruchtdurchmessers und der tatsächlichen Anzahl an Früchte pro Baum bei 'Pinova' (offenes Symbol) und 'RoHo 3615' (geschlossenes Symbol) im Jahr 2018

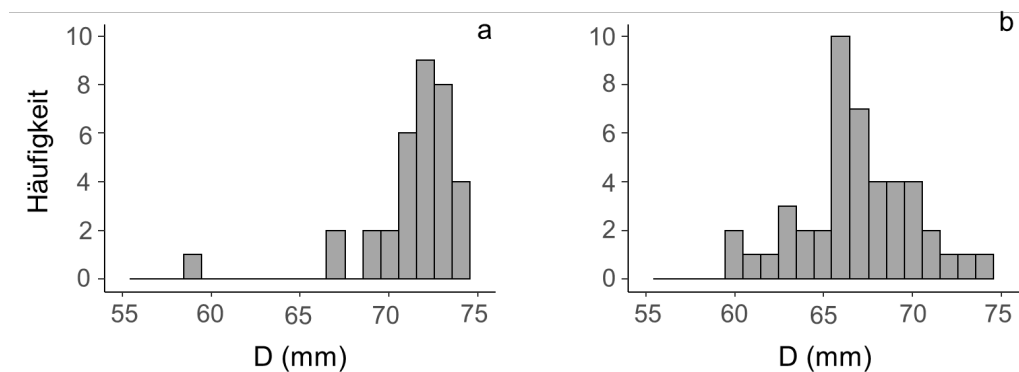


Abb. 19: Verteilung des durchschnittlichen Fruchtdurchmessers* [mm] einzelner Apfelbäume, bei 'Pinova' (a, n = 35) und 'RoHo 3615' (b, n = 45;) im Jahr 2018

Tabelle 7. Verhältnis zwischen der Anzahl der Früchte pro Baum mit einem Durchmesser (D) > 65 mm und der berechneten Fruchtertragskapazität mit zur Erzeugung von Früchten mit der gemessenen mittleren Fruchtmasse bei 'Gala' in zwei Jahren.

Jahr	Anzahl an Bäumen	Verhältnis zwischen der Anzahl an Früchten > 65 mm und der Fruchtertragskapazität (Mittelwert ± Standardabweichung)	
		Mittelwert	Standardabweichung
2018	100	0.97	± 0.39
2019	75	1.05	± 0.29

Die Variabilität von K kommt jedoch häufig in kommerziellen Anlagen vor. Ein Grund dafür ist, dass der Schnitt der Bäume von mehreren Personen durchgeführt wird und dabei jede Person

einen individuellen Schnittstil hat. Daher kann es zusätzlich notwendig sein, die K der einzelnen Bäume zu kartieren, um die Genauigkeit der Fruchtertragskapazität zu erhöhen. Allgemeingültig wurde in 2018 und 2019 festgestellt, dass 550 cm² Blattfläche pro Frucht notwendig sind, damit mindestens 80 % der Früchte einen Fruchtdurchmesser > 65 mm zur Ernte erreichen.

In 2020 wurde nach dem Petalenfall bei 50 Bäumen die Blattfläche mit dem LiDAR gemessen. Es wurde angenommen, dass zu dieser Zeit bereits 40 % der finalen Blattfläche ausgebildet waren. Anhand der geschätzten Blattfläche wurden die Bäume noch vor dem Fruchtfall von Hand ausgedünnt. Um Zielfruchtzahlen für jeden Baum zu ermitteln wurde angenommen, dass 550 cm² Blattfläche pro Frucht notwendig sind um vermarktbar Fruchtkapazitäten zur Ernte zu erzeugen. Von den 50 Bäumen wurden 5 beprobt und die Frischmasse, der Gehalt an löslicher Trockensubstanz (SSC) und die Festigkeit von allen Früchten erfasst. Ebenfalls wurden diese Merkmale von nicht ausgedünnten und mit ATS ausgedünnten Bäumen, ein gängiges Verfahren der Blütenausdünnung, erfasst. Beim Vergleich der drei Varianten wurde gezeigt, dass die von Hand ausgedünnten Bäume eine höhere Mittlere Fruchtmasse hatten als die anderen beiden Varianten (Abb. 20a). Die beiden ausgedünnten Varianten hatten zudem einen erhöhten Gehalt an SSC als die Kontrolle, was bedeutet das die Fruchtentwicklung in diesen Varianten vorangeschritten war. Die Festigkeit der Früchte wurde jedoch nicht durch die Ausdünnung beeinflusst.

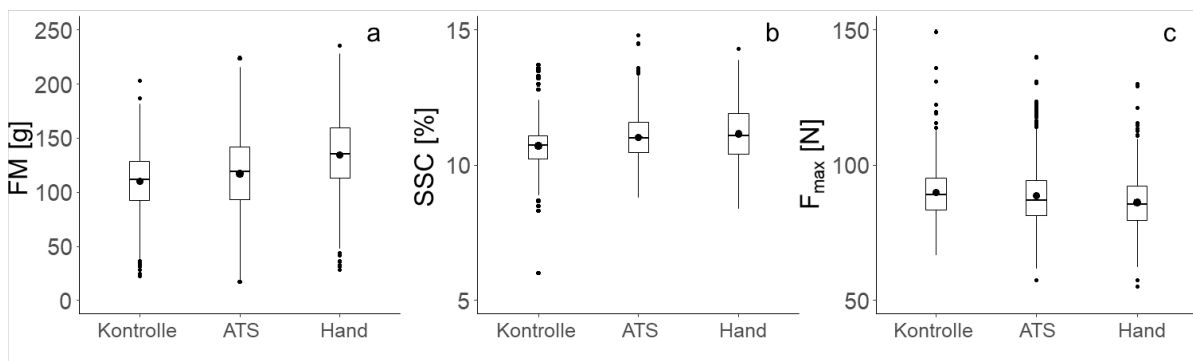


Abb. 20: Einfluss der Ausdünnung auf die Fruchtqualität bei 'Gala' in 2020. (Es wurden alle Früchte von 5 Bäumen je Variante beprobt)

Diskussion und Schlussfolgerungen

Mit dem entwickelten Modell zur Berechnung der Fruchtertragskapazität einzelner Bäume kann die tatsächliche Anzahl an Früchten pro Baum bewertet werden. Somit dient das Modell als Entscheidungshilfe für die Ausdünnung, um zu entscheiden ob und in welcher intensität Ausdünnung von bestimmten Bäumen notwendig ist um ein vorher definiertes Produktionsziel zu erreichen, in diesem Fall angestrebte mittlere Fruchtdurchmesser. Der Modellierungsansatz

orientierte sich an früheren Arbeiten von Alan N. Lakso und Mitarbeitern der Cornell University (Francesconi et al., 1996; Lakso et al., 1996). Um das Modell für die Praxis verfügbar zu machen müssen bestimmte Annahmen für die Obstbäume getroffen werden, z.B. bei der Assimilationsrate der Blätter, da diese sich nicht mehrfach innerhalb einer Saison von Anbauern messen lassen. Außerdem sind nicht in jeder Anlage Wetterstationen verfügbar. Daher könnten für die Modellierung der Fruchtertragskapazität einer bestimmten Anlage Satellitendaten von Einstrahlung und Temperatur genutzt werden. Diese stimmen häufig mit den Daten die von Wetterstationen in einer Anlage erhoben wurden überein (Zude-Sasse, persönliche Mitteilung).

Um die Ausdünnung von Blüten oder Früchten baumangepasst durchführen zu können ist es notwendig Technik zu entwickeln, die dazu fähig ist. Diese wird aus Sensoren bestehen, die Baummerkmale z.B. Anzahl an Blüten, Früchten oder die Blattfläche, erfassen und einem Programm was diese verarbeitet. Damit Entscheidungen für jeden Baum getroffen werden können ist ein Algorithmus notwendig, um die Ausdünngeräte zu steuern. Für solch einen Algorithmus kann das im Projekt Primefruit entwickelte Modell zur Berechnung der Fruchtertragskapazität eingesetzt werden. Das Modell dient als pflanzenphysiologisches Modell um die Fruchtertragskapazität zu berechnen und als agronomisches Modell um den tatsächlichen Fruchtbehang der Bäume zu bewerten. In Abbildung 21 sind die verschiedenen Schritte der Ausdünnung (Blütenausdünnung, Fruchtausdünnung, Handausdünnung) schematisch dargestellt. Für die technische Umsetzung der baumangepassten Ausdünnung sind neben dem tatsächlichen Fruchtbehang und der Fruchtertragskapazität noch die Einstellungen vom Ausdünngerät, die Traktorgeschwindigkeit und der Abstand des Ausdünngerätes zum Baum zu berücksichtigen.

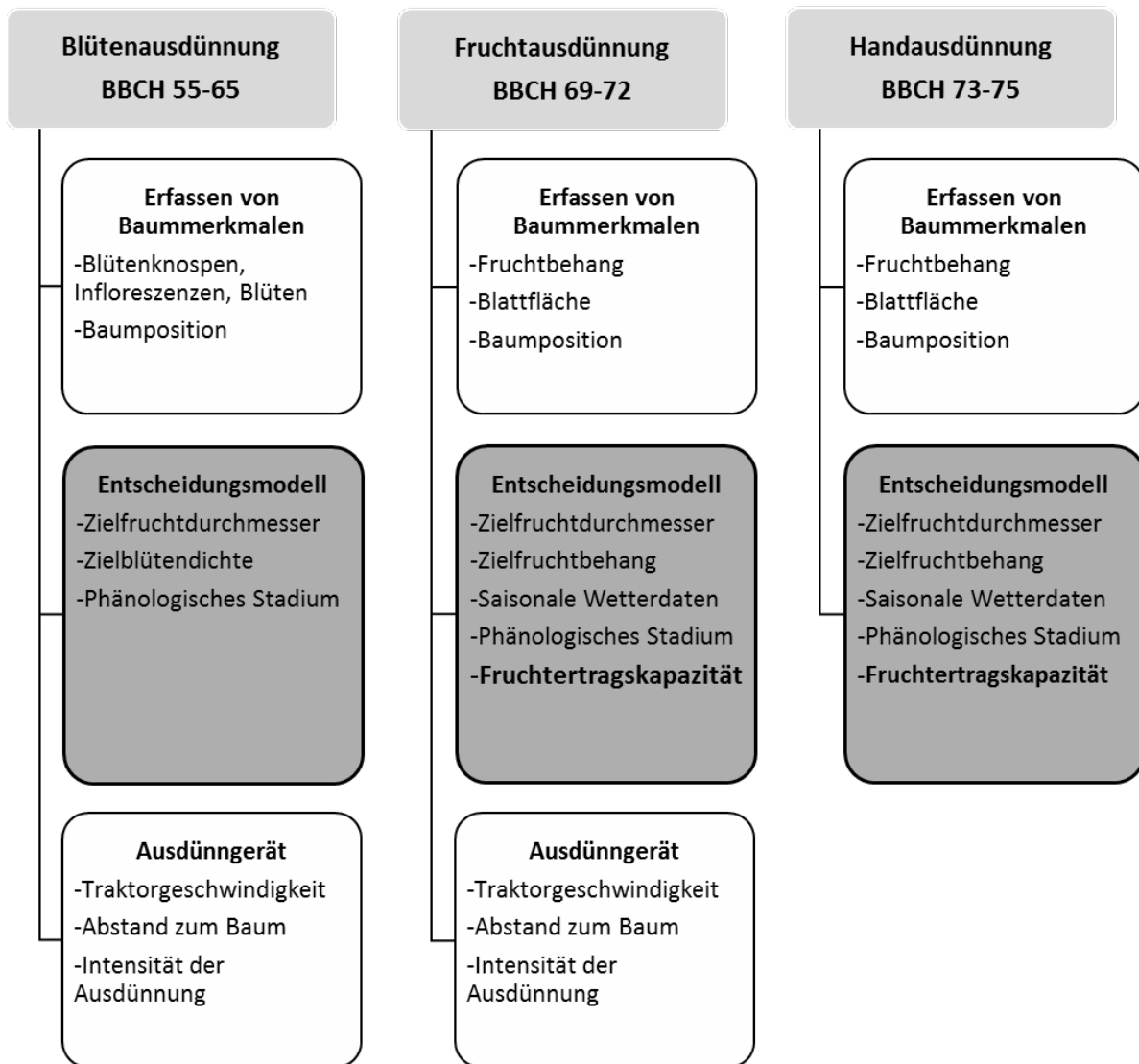


Abb. 21: Schematische Darstellung einer baumangepassten Ausdünnung bei Apfel und die mögliche Anwendung des Modells zur Fruchtertragskapazität darin.

Beitrag der Ergebnisse zu förderpolitischen EIP-Zielen

Im Projektrahmen hat ein Austausch zwischen Praxis und ATB-Forschung stattgefunden. Die Projektergebnisse zeigen das Potenzial auf, Ertragsverluste bei der Ausdünnung heterogener Anlagen zu vermeiden, was eine baumangepasste Ausdünnung für die Betriebe mit sich bringen würde. Die Idee dazu kam direkt aus der Praxis, da hier die Variabilität der Bodenzusammensetzung seit Jahrzehnten eine große Herausforderung für die Betriebe darstellt. Es wurde gezeigt, dass die präzise Ausdünnung hierbei einen deutlichen Beitrag leisten kann. Wenn sich die baumangepasste Ausdünnung in der Praxis umsetzen lassen würde, könnte dies zu einer erhöhten Ressourcennutzungseffizienz in den Anlagen führen.

Für nachgelagerte Bereiche in der Wertschöpfungskette wäre eine baumangepasste Ausdünnung ebenfalls von großem Nutzen, da die Fruchtqualität innerhalb der Anlage potenziell eine geringere Variabilität aufweist als bei einheitlicher Ausdünnung heterogener Bäume und sich somit Nachernteverluste womöglich verringern lassen.

Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Eine der dringenden Fragen in der Obstproduktion ist die Ertragsoptimierung, um die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu verbessern.

Durch das Projekt wurden belastbare Daten gewonnen, um den Einfluss der Bodenvariabilität auf das Vertragsverhalten der Bäume und der Fruchtertragskapazität zu beurteilen. Solche Daten sind wertvoll für das Management von Obstanlagen und können auch für die wirtschaftliche Betrachtung einzelner Maßnahmen herangezogen werden.

Die im Projekt entwickelten Methoden und Protokolle zur Erfassung räumlicher Daten und zur Modellierung der Fruchtertragskapazität können für die Entwicklung von Verfahren genutzt werden, um die Ausdünnung anhand des Habitus der Bäume in variablen Raten durchzuführen. Hierdurch werden neue Geräteentwicklungen angestoßen.

Eine kommerzielle App-Lösung zur Bereitstellung des Fruchtertragskapazität (FEK)-Modell liegt in beta Version vor und wird auch nach Projektende in der Saison 2022 erprobt. Seitens des ATB wird angestrebt die Projektergebnisse im Nachgang des Projektes zu verstetigen, wofür die Arbeitsgruppe um Dr. Zude-Sasse kostenneutral die Implementierung in die Praxis unterstützen möchte.

Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen

Die in der Vorhabenbeschreibung geplanten Arbeiten und Ziele wurden vollständig umgesetzt.

Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit und weiterführende Fragestellungen

In den Gesprächen der Projektpartner im Verlauf der letzten Projektmonate sowie im Abschlusstreffen auch überregional bestätigt, wurde festgestellt, dass die feldeinheitliche Bestimmung des optimalen Fruchtbehangs bislang in der Praxis nie angewendet wurde und die Berechnung der hierfür notwendigen Fruchtertragskapazität einen hohen Innovationsgrad besitzt. Die komplexen Berechnungen können weder von einem Betrieb noch von Beratern mit vielfältigen Arbeitsschwerpunkten geleistet werden. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung entstand unabhängig vom Projekt ein breites hohes Interesse auf online Lösungen zuzugreifen und die gerechnete Kompetenz einzusetzen. Die bewilligte Projektverlängerung ermöglichte die Implementierung des Fruchtertragskapazitäts-Modell in eine online Lösung durch die Firma PIXOFARM. Die Algorithmen können jedoch auch anderen Firmen zur Verfügung gestellt werden, da die Entwicklungskosten bei Pixofarm durch das Projekt getragen wurden und die Rechte an den Algorithmen bei der operationellen Gruppe verblieben sind. Obwohl die Implementierung der Algorithmen im Projektrahmen durchgeführt werden konnte, ist jedoch die kostenfreie Bereitstellung des Service nicht möglich. Die Software muss gepflegt, angepasst und gewartet werden und es wird ein Ansprechpartner bei Rückfragen notwendig. Die Frage der Finanzierung der Digitalisierung ist somit nicht gelöst. Fachlich wird die beta Version der digitale Berechnung der Fruchtertragskapazität (FEK) in der kommenden Saison am ATB und dem Lehr- und Versuchszentrum Gartenbau in Erfurt erprobt und mit der Firma zu einem kommerziellen Produkt weiterentwickelt. Hierbei werden Betriebe aus Brandenburg einbezogen.

Für die baumindividuelle Ausdünnung sind technische Lösungen zu finden: Zum einen muss die Ausdünn-Technik von bestehenden Prototypen einiger Anbieter zur Praxisreife entwickelt werden. Weiterhin muss die baumindividuelle Blattflächenbestimmung mit preiswerten Sensoren vorangetrieben werden. Hierzu wird das ATB in den kommenden Jahren weitere Entwicklungen beitragen. Auch ist die Universität Wageningen, die Universität Bologna und die Laimburg an Erprobungen interessiert. In der Industrie wurden bereits preiswerte LiDAR-Systeme entwickelt, die derzeit beispielsweise am iPhone und einem chinesischen Mobiltelefonanbieter (Redme) LiDAR Sensoren anbieten. Hier sollte man am Ball bleiben.

Zusammenarbeit der operationellen Gruppe

Aufgabenteilung und Form der Zusammenarbeit der OG-Partner

Die Versuche wurden entsprechend der besprochenen Versuchsfragen geplant, die sich aus den jährlichen Projekttreffen (Tabelle 2) ergaben. Aufgrund von Spätfrost konnten in manchen Anlagen (Markendorf 2019, Marquardt 2017 und 2019) keine Versuche durchgeführt werden,

weshalb sich die Versuchsaktivität in den Jahren auf die Standorte Altlandsberg und Werder (Havel) beschränkte. Detaillierte Versuchspläne wurden jährlich von M. Penzel, N. Tsoulas und M. Zude-Sasse in Absprache mit den beteiligten Projektpartnern erstellt. Die Anbauer waren für die Bewirtschaftung der Anlagen nach guter fachlicher Praxis zuständig. Vor allen anfallenden Arbeiten/Messungen in den jeweiligen Anlagen wurde mit den Projektpartnern das genaue Vorgehen besprochen, um die regulär anfallenden Arbeiten in den Anlagen, v.a. Pflanzenschutzmaßnahmen, entsprechend terminieren zu können. Außerdem war es teilweise erforderlich, dass Mitarbeiter des Betriebs bei den Arbeiten in den Versuchen mithalfen (Handausdünnung, Ernte, Sortierung). Es herrschte ein reger Austausch mit den Betriebsleitern zum Zustand der Anlage, zu laufenden Messungen, zum Ausdünnenerfolg etc., der oft in konstruktiven Diskussionen endete und für alle Beteiligten nutzbringend war. Am ATB fanden regulär im 14-tägigen Rhythmus, bei erhöhtem Bedarf auch täglich, Treffen in der Arbeitsgruppe (Penzel, Tsoulas, Zude-Sasse) zum aktuellen Stand und Fortschritt des Projektes (Versuche, Publikationen, Messungen) statt. Zusätzlich gab es eine rege Kommunikation der Projektpartner per E-Mail.

Aufgaben des Projektkoordinators

Koordination des Projekts. Übergeordnete Kommunikation mit den beteiligten Obstbauern, der ILB und der Arbeitsgruppe am ATB. Planung der Messungen und Publikationen. Kommunikation mit dem externen Berater. Inhaltliche Planung des Workshops. Die operative Arbeit wurde vollständig durch den Projektbearbeiter Herrn Martin Penzel übernommen, der dem Projekt auch in der Nachbereitung an seinem neuen Arbeitsplatz am Lehr- und Versuchszentrum Obstbau in Erfurt, verbunden bleibt.

Organisation der Prozesse zur Entscheidung und Steuerung

In den regulären Besprechungen am ATB hat jeder die Möglichkeit Vorschläge zur Umsetzung von Messungen, zur Anwendung von Modellen etc. einzubringen. Die Projektkoordinatorin hat die Entscheidungsgewalt bei der Umsetzung. Die Nachwuchswissenschaftler haben die Befugnis im Feld, in Absprache mit den Obstbauern, eigenständig Entscheidungen zu treffen.

Instrumente und Verfahren zum inhaltlichen und finanztechnischen

Projektcontrolling

Der Nachwuchswissenschaftler am ATB dokumentiert sämtliche Vorgänge. Die finanztechnische Überwachung erfolgt durch die Buchhaltung des ATB. Die Projektkoordinatorin koordiniert.

Probleme und/oder Verbesserungspotentiale in der Zusammenarbeit

keine

Kommunikations- und Disseminationskonzept

Die Projektergebnisse wurden im Rahmen von Obstbautagen, am Tag der offenen Tür, mit Ständen auf öffentlichen Veranstaltungen (Anhang: Nachweis der Veröffentlichungen) kommuniziert. Besonders während des Ausdünnworkshops und des online live übertragenen Abschlusstreffens konnten viele Obstbauern aus der Region und anderen Regionen angesprochen werden. Es wurde eine Reihe von Open Access-Publikationen erstellt, die im Internet frei verfügbar sind. Alle Publikationen und Veranstaltungen wurden auf dem Twitter Account der Arbeitsgruppe Präzisionsobstbau (@prec_hort) und teilweise auf der Homepage vom ATB beworben. Es fand zudem ein reger Austausch mit VersuchsanstellerInnen aus anderen Bundesländern statt, vor allem aus Sachsen, Thüringen und Baden-Württemberg. Im Laufe des Jahres 2021 wurden und werden noch weitere Artikel für die Zeitschriften „Obstbau“ und „Besseres Obst“ verfasst.

Die EIP-Förderung ist ein geeignetes Instrument um Wissen vor Ort zu generieren und sowohl der Praxis als auch der Wissenschaft zur Verfügung zu stellen. Die EIP-Förderung ermöglichte es zudem M. Penzel und N. Tsoulas Versuche durchzuführen, deren Ergebnisse beide als Grundlage für ihre Promotionen nutzen konnten. Die vierjährige Projektlaufzeit ist für ein Promotionsvorhaben sehr gut geeignet. Weiterhin entstanden im Projekt drei Bachelorarbeiten von Studenten des Studiengangs Gartenbauliche Phytotechnologie an der Beuth Hochschule in Berlin.

Quellen

Apolo-Apolo, O.E., Perez-Ruiz, M., Martinez-Guanter, J., Valente, J., 2020. A cloud-based environment for generating yield estimation maps from apple orchards using UAV imagery and a deep learning technique. *Front. Plant Sci.* 11, 1086. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01086>.

Handsack, M., Schmidt, S., 1991. Die Bedeutung von Blühstärke, Finalfruchtansatz und Fruchtmasse für den Ertrag von Apfelbestandseinheiten. *Arch. Gartenbau* 39, 37–46.

Käthner, J., Zude-Sasse, M., 2015. Interaction of 3d soil electrical conductivity and generative growth in *Prunus domestica* L. *Eur. J. Hortic. Sci.* 80(5), 231–239. <http://doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.5.5>

Lo Bianco, R., 2019. Water-Related Variables for Predicting Yield of Apple under Deficit Irrigation. *Horticulturae* 5, 8. <https://doi.org/10.3390/horticulturae5010008>

Manfrini, L., Corelli-Grappadelli, L., Morandi, B., Losciale, P., Taylor, J.A., 2020. Innovative approaches to orchard management: variability in yield and maturity in a 'Gala' apple orchard using a simple management unit modeling approach. *Eur. J. Hortic. Sci.* 85, 211–218.

Matyssek R., Herppich W.B., 2019. Physikalische Grundlagen von Transpiration, CO₂-Aufnahme, Gasleitfähigkeiten und deren Bestimmungen. In: Experimentelle Pflanzenökologie. Springer Reference Naturwissenschaften. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-53465-6_10

Mills, T.M., Behboudian, M.H., Clothier, B.E., 1996. Water relations, growth, and the composition of Braeburn'apple fruit under deficit irrigation. *J. Am. Soc.Hortic. Sci.* 121, 286–291. <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.2.286>

Penzel, M., Lakso, A.N., Tsoulas, N., Zude-Sasse, M., 2020. Carbon consumption of developing fruit and individual tree's fruit bearing capacity of 'RoHo 3615' and 'Pinova' apple. *International AgroPhysics* 34: 409–423. <https://doi.org/10.31545/intagr/127540>

Penzel, M., Möhler, M., Weltzien, C., Herppich, W., Zude-Sasse, M., 2020. Estimation of daily carbon demand in sweet cherry (*Prunus avium*) production. *Journal of Applied Botany and Food Quality* 93: 149-158. <https://doi.org/10.5073/JABFQ.2020.093.019>

Penzel, M., Tsoulas, N., Herppich, W.B., Weltzien, C., Zude-Sasse, M., 2021. Modeling of individual fruit-bearing capacity of trees is aimed at optimizing fruit quality of *Malus x domestica* Borkh. 'Gala'. *Front. Plant Sci.*, 13 July 2021, <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.669909> .

Penzel, M., Pflanz, M., Gebbers, R., Zude-Sasse, M., 2021. Tree adapted mechanical flower thinning prevents yield loss caused by over thinning of trees with low flower set in apple. *eJHS*, 86: 86–96. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2021/86.1.10>

Treder, W., Mika, A., Krzewińska, D., 2010. Relations between tree age, fruit load and mean fruit weight. *J. Fruit Ornament. Plant Res.* 18, 139–149.

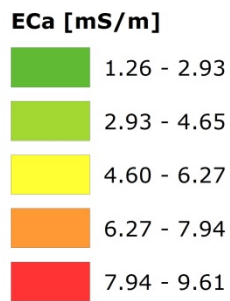
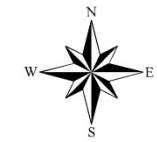
Tsoulas, N., Gebbers, R. & Zude-Sasse, M., 2020. Using data on soil ECa, soil water properties, and response of tree root system for spatial water balancing in an apple orchard. *Precision Agric* 21, 522–548. <https://doi.org/10.1007/s11119-019-09680-8>

Volz, R.K., Ferguson, I.B., Bowen, J.H., Watkins, C.B., 1993. Crop load effects on mineral nutrition, maturity, fruiting and tree growth of 'Cox's Orange Pippin' apple. *Journal of Horticultural Science* 68, 127–137

Zude-Sasse, M., Fountas, S., Gemtos, T.A., Abu-Khalaf, N., 2016. Applications of precision agriculture in horticultural crops. *European Journal of Horticultural Science* 81 (2), 78–90. <https://doi.org/10.17660/eJHS.2016/81.2.2>

Anhang

Weitere Abbildungen und Tabellen



1 cm = 5 meters

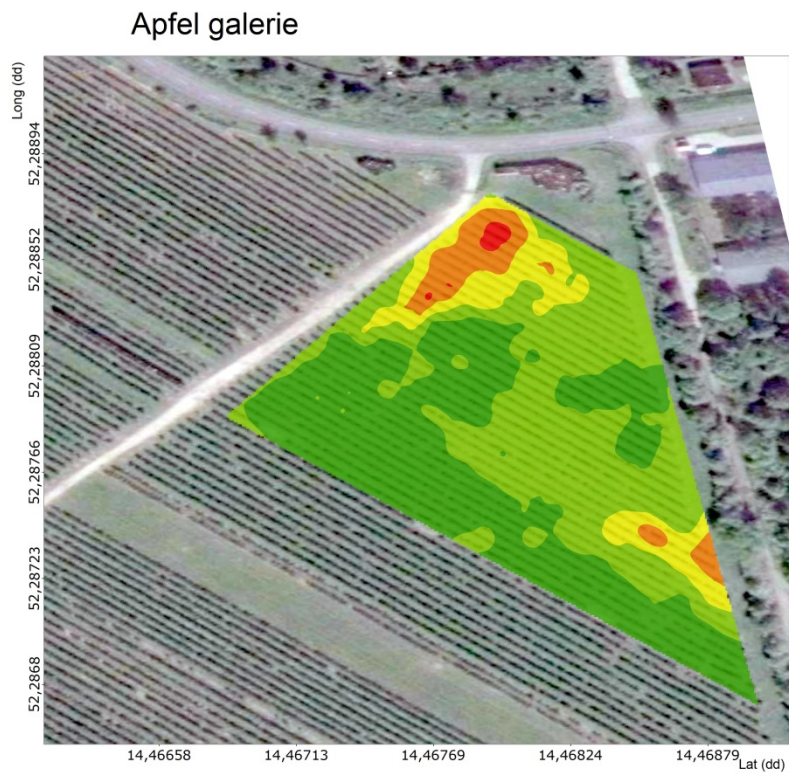
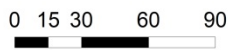


Abbildung A1: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Pinova Markendorf 2017



BB OBST, Evelina

ECa [mS/m]

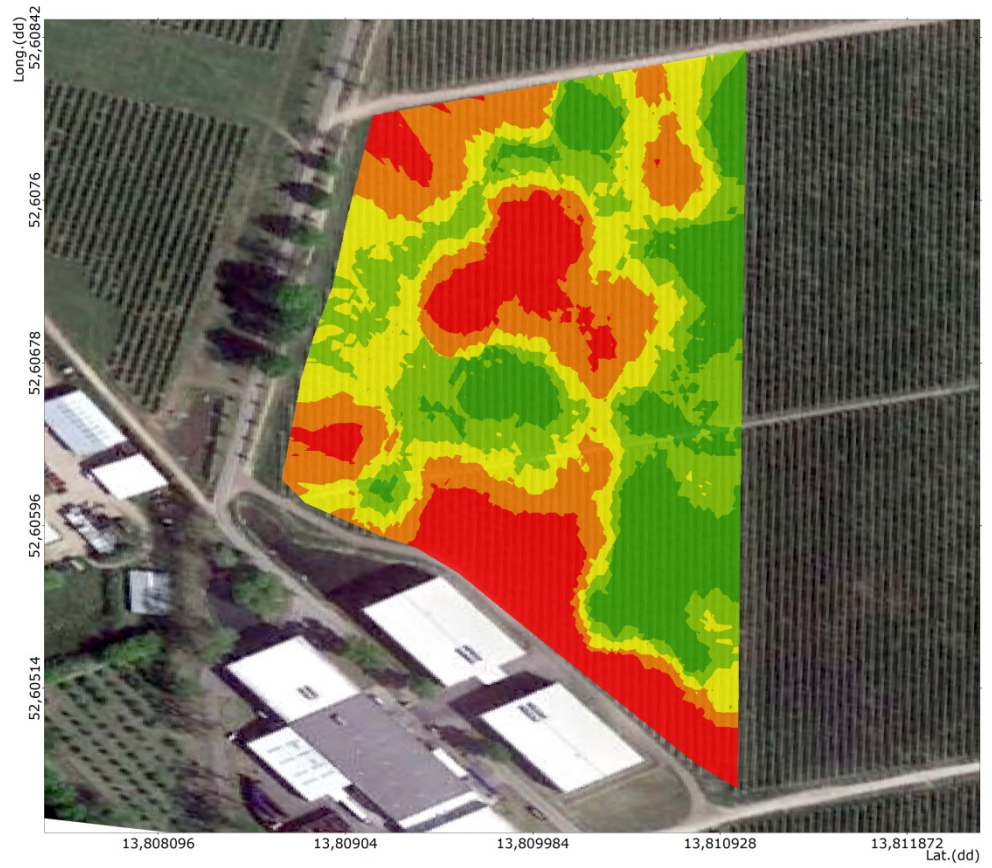
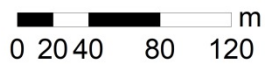
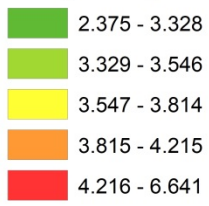


Abbildung A2: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Pinova Altlandsberg 2017



Havelfrucht, Pinova

ECa [mS/m]

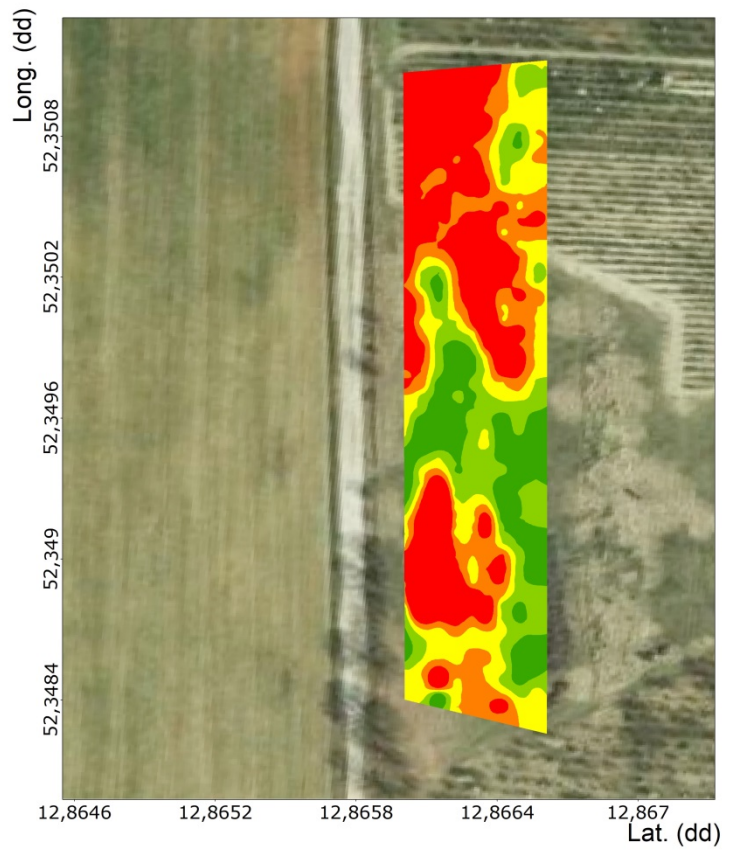
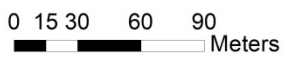
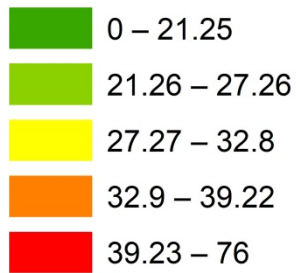


Abbildung A3: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Pinova Glindow 2017



Herzberg Gala

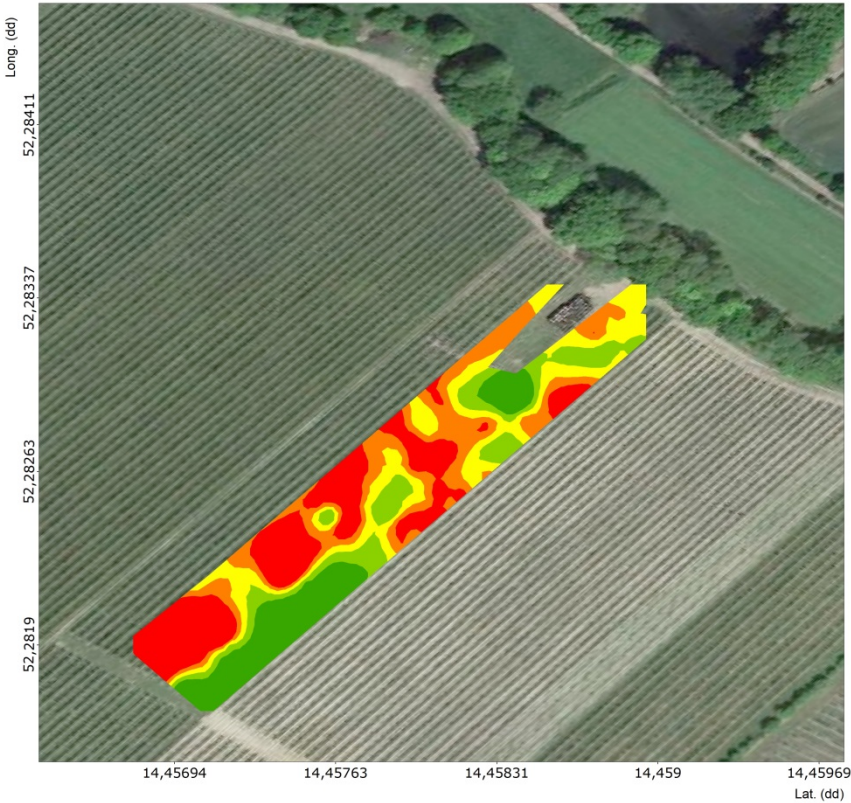
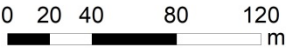
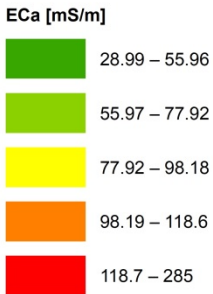


Abbildung A4: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Gala Markendorf 2018



Abbildung A5: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Süßkirschen Glindow 2017



Schmergow Gala

ECa (mS/m)

Row 24-25

- 0.9115 - 2.096
- 2.096 - 4.769
- 4.769 - 5.397
- 5.397 - 5.769
- 5.769 - 6.838

Row 28-29

- 1.238 - 2.476
- 2.476 - 3.470
- 3.470 - 3.854
- 3.854 - 4.273
- 4.273 - 5.685

Row 60-61

- 1.993 - 2.579
- 2.579 - 3.089
- 3.089 - 3.802
- 3.802 - 6.860
- 6.861 - 8.492

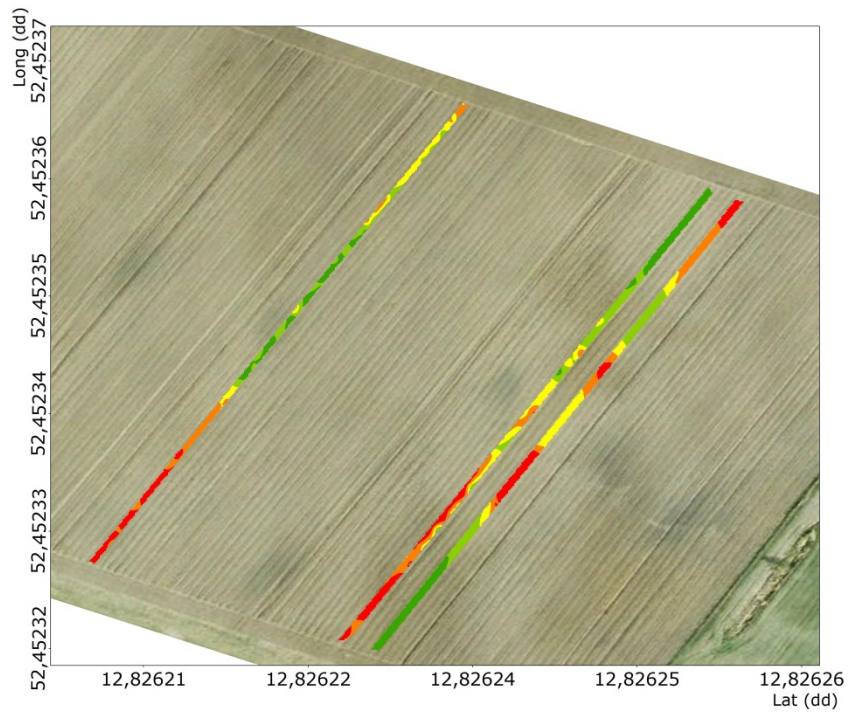


Abbildung A6: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Gala Schmergow 2017

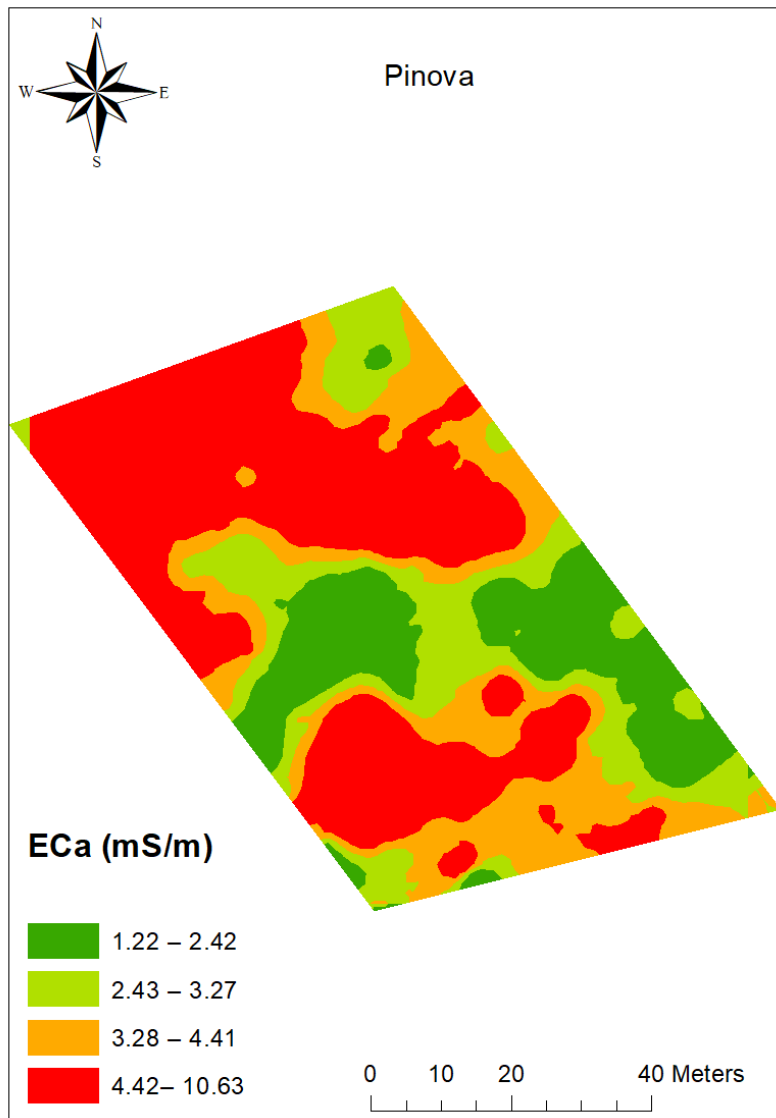


Abbildung A7: Räumliche Karte der Bodenleitfähigkeit, Pinova Glindow 2019

Tabelle A1: Ergebnisse der Untersuchungen von Bodenproben auf Korngrößenzusammensetzung aus der Gala Anlage in Altlandsberg

Probe Bezeichnung	Ton < 0.002	Feinschluff 0.002-0.0063	Mittelschluff 0.0063-0.02	Grobschluff 0.02-0.063	Feinsand 0.063-0.2	Mittelsand 0.2-0.63	Grobsand 0.63-2.0	Bodenart (nach KA5)
1 - 116 30 cm	5.9	2.5	6.5	15.8	34.7	29.2	5.5	Sl2
1 - 116 60 cm	5.2	4.7	6.8	11.3	35.4	30.9	5.7	Sl2
1 - 140 30 cm	6.3	2.2	6.7	13.8	34.8	30.3	5.9	Sl2
1 - 140 60 cm	6.8	3.5	6.8	12.9	35.0	29.4	5.6	Sl2
3 - 58 30 cm	5.3	4.4	4.0	14.3	34.9	31.4	5.7	Sl2
3 - 58 60 cm	5.1	4.4	4.2	11.4	35.4	33.0	6.5	Sl2
3 - 60 30 cm	4.5	2.8	5.9	13.3	35.6	32.2	5.7	Su2
3 - 60 60 cm	6.7	3.1	7.0	12.8	33.3	30.6	6.4	Sl2
6 - 104 30 cm	5.3	3.5	6.4	13.5	35.2	30.2	5.8	Sl2
6 - 104 60 cm	4.6	7.5	7.6	10.5	34.8	29.1	5.9	Su3
6 - 112 30 cm	8.6	2.1	3.5	15.3	34.8	29.7	6.0	Sl3
6 - 112 60 cm	7.5	4.6	6.2	14.5	34.8	27.5	4.9	Su3
12 - 80 30 cm	3.5	3.2	5.9	13.3	36.6	31.1	6.4	Su2
12 - 80 60 cm	4.7	3.1	5.7	12.9	36.7	31.1	5.7	Su2
12 - 88 30 cm	5.4	1.8	7.1	14.2	36.4	29.6	5.4	Sl2
12 - 88 60 cm	5.4	3.9	6.3	13.4	34.6	30.1	6.3	Sl2
14 - 0 30 cm	7.1	4.2	7.1	15.7	34.5	27.1	4.3	Su3
14 - 0 60 cm	6.8	5.0	7.8	14.4	34.5	27.2	4.4	Su3
14 - 8 30 cm	7.3	4.0	6.9	14.9	34.8	27.3	4.8	Su3
14 - 8 60 cm	7.8	3.7	7.0	14.0	36.3	26.6	4.7	Sl2

Tabelle A2: Ergebnisse der Untersuchungen von Bodenproben auf Korngrößenzusammensetzung aus der Pinova Anlage in Glindow

Row	Tree	Ton	Feinschluff	Mittelschluff	Grobschluff	Feinsand	Mittelsand	Grobsand
		< 0.002	0.002- 0.0063	0.0063- 0.02	0.02-0.063	0.063-0.2	0.2-0.63	0.63-2.0
1	60	3.8	2.5	4.8	11.5	35.4	36.0	6.1
2	20	6.1	3.8	3.8	11.4	35.9	32.3	6.7
2	30	5.0	2.2	5.4	10.3	37.9	33.4	5.8
2	110	2.8	2.3	2.7	6.7	27.5	44.1	13.9
3	10	5.1	3.6	6.0	8.5	37.1	32.9	6.8
3	110	2.3	2.7	3.8	7.2	31.5	42.9	9.6
4	75	4.9	3.3	5.8	9.6	38.1	32.3	6.0
4	112	3.4	1.6	4.0	8.0	32.2	41.6	9.3
4	145	4.4	1.6	4.9	7.5	32.5	41.2	7.8
5	110	3.0	1.9	3.3	6.0	24.8	41.6	19.5
5	140	3.9	2.7	4.0	7.2	32.3	40.7	9.3
7	20	2.2	3.4	3.4	6.4	26.9	46.9	10.7
7	45	5.3	2.3	4.2	7.7	30.3	37.9	12.3
7	110	3.6	1.5	3.0	7.1	27.1	40.6	17.1
8	45	2.7	3.1	4.3	5.8	28.1	41.8	14.2
8	110	2.1	2.2	2.2	4.2	15.3	45.4	28.5
9	25	4.7	3.8	3.9	7.7	32.6	39.0	8.2
9	110	2.8	3.0	2.2	6.9	20.8	43.5	20.8
9	130	4.5	1.1	2.7	5.8	23.4	43.7	18.9
10	17	7.9	3.4	6.1	10.0	36.0	32.6	4.0
10	60	7.5	2.8	6.9	9.9	36.8	31.9	4.2
10	100	4.8	4.0	5.4	8.8	39.3	33.6	4.1
13	50	9.7	4.3	4.6	7.6	36.3	32.9	4.6
13	90	6.6	3.8	6.1	7.3	37.7	34.1	4.4

Tabelle A3: Blattflächen und Anzahl an Blättern ganzer Bäume bei Apfel und Kirsche.

Datum	Standort	Obstart	Sorte	Blattfläche (gesamt) [m ²]	Anzahl der Blätter	Mittlere Einzelblattfläche [cm]
17.09.2018	Markendorf	Apfel	Gala	6,9	3723	18,6
17.09.2018	Markendorf	Apfel	Gala	6,4	2948	21,5
17.09.2018	Markendorf	Apfel	Gala	6,8	2776	24,6
23.10.2018	Marquardt	Apfel	Gala	1,1	801	13,5

23.10.2018	Marquardt	Apfel	Gala	1,4	1003	14,4
23.10.2018	Marquardt	Apfel	Gala	0,9	654	13,8
23.10.2018	Marquardt	Apfel	Gala	0,4	375	11,5
20.05.2019	Marquardt	Apfel	Gala	1,6	16458	1,0
20.05.2019	Marquardt	Apfel	Gala	1,9	19218	1,0
20.06.2019	Marquardt	Apfel	Gala	2,1	21069	1,0
20.06.2019	Marquardt	Apfel	Gala	4,2	41778	1,0
19.07.2019	Marquardt	Apfel	Gala	2,3	23065	1,0
19.07.2019	Marquardt	Apfel	Gala	1,2	12364	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	1,4	13572	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	1,4	14133	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	2,1	20921	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	1,8	18027	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	2,2	22430	1,0
13.05.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	2,1	20672	1,0
24.06.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	4,8	48284	1,0
24.06.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	7,4	73842	1,0
24.06.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	5,0	50442	1,0
24.06.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	8,1	81474	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	3,2	32491	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	4,1	40808	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	4,4	44009	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	8,6	86329	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	4,2	42047	1,0
28.08.2020	Altlandsberg	Apfel	Gala	2,9	29427	1,0
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	11,8	4223	27,9
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	17,6	5572	31,6
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	29,5	6166	47,8
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	22,8	6169	36,9
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	18,0	5591	32,2
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	26,0	6507	40,0
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	9,4	2973	31,6
07.08.2018	Erfurt	Kirsche	Bellise	23,4	6430	36,4
13.05.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	6,2	2192	28,1
13.05.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	4,1	1676	24,5
13.05.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	2,6	1020	25,1
24.06.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	8,6	2089	41,4

24.06.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	13,8	3376	40,9
10.07.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	15,9	3716	42,8
10.07.2019	Altlandsberg	Kirsche	Kordia	18,8	4244	44,4

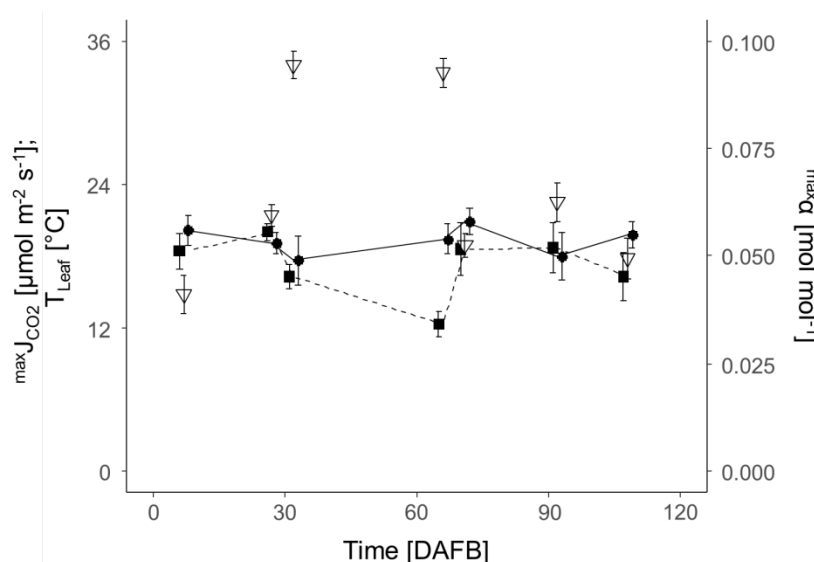


Abbildung A8: Saisonaler Verlauf (Tage nach Vollblüte (DAFB)) der maximalen Quantenausbeute der Photosynthese [$\mu\text{mol mol}^{-1}$], $\max \alpha$, (gefüllter Kreis, durchgezogene Linie), des lichtgesättigten CO_2 -Gaswechsels [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$], $\max J_{\text{CO}_2}$ (gefülltes Quadrat, gestrichelte Linie), und der Blattemperatur [$^{\circ}\text{C}$], T_{leaf} , (offenes Dreieck) während der Gaswechsellmessungen an 'RoHo 3615'/M.9-Apfelblättern in Altlandsberg in der Vegetationsperiode 2018. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichungen an. Quelle: Penzel et al., 2020a

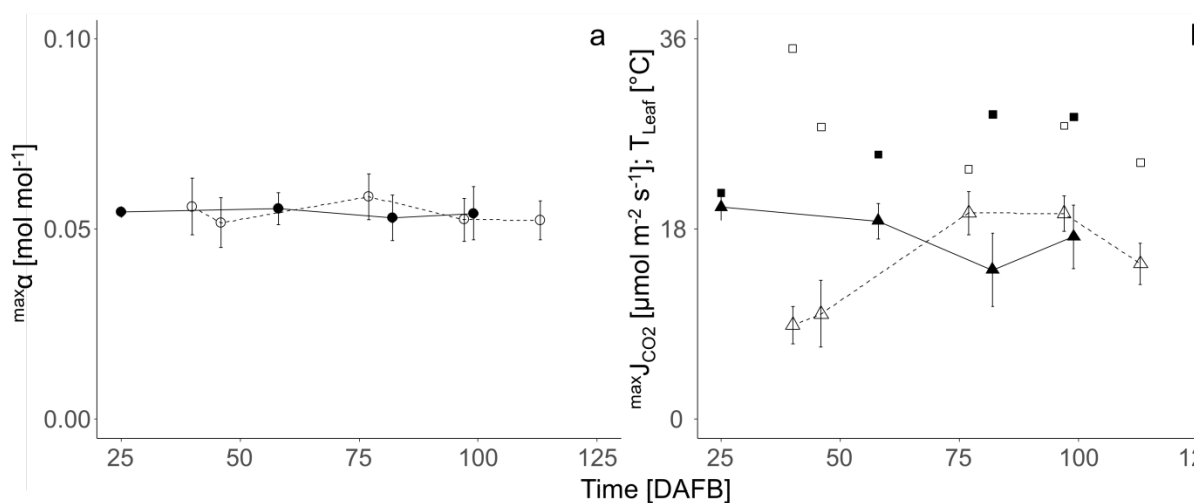


Abbildung A9: Saisonaler Verlauf (Tage nach Vollblüte, DAFB) der Mittelwerte (\pm SD; $n = 9$) von (a) der maximalen Quantenausbeute der Photosynthese ($\max \alpha$, Kreise), (b) der

lichtgesättigten maximalen CO₂-Gaswechselrate ($^{max}J_{CO_2}$, Dreiecke) und der Blatttemperatur (T_{leaf} , Quadrate) von voll entwickelten 'Gala'/M.9-Apfelsblättern in Altlandsberg in 2018 (geschlossene Symbole, durchgezogene Linien) und 2019 (offene Symbole, gestrichelte Linie). Quelle: Penzel et al., 2021

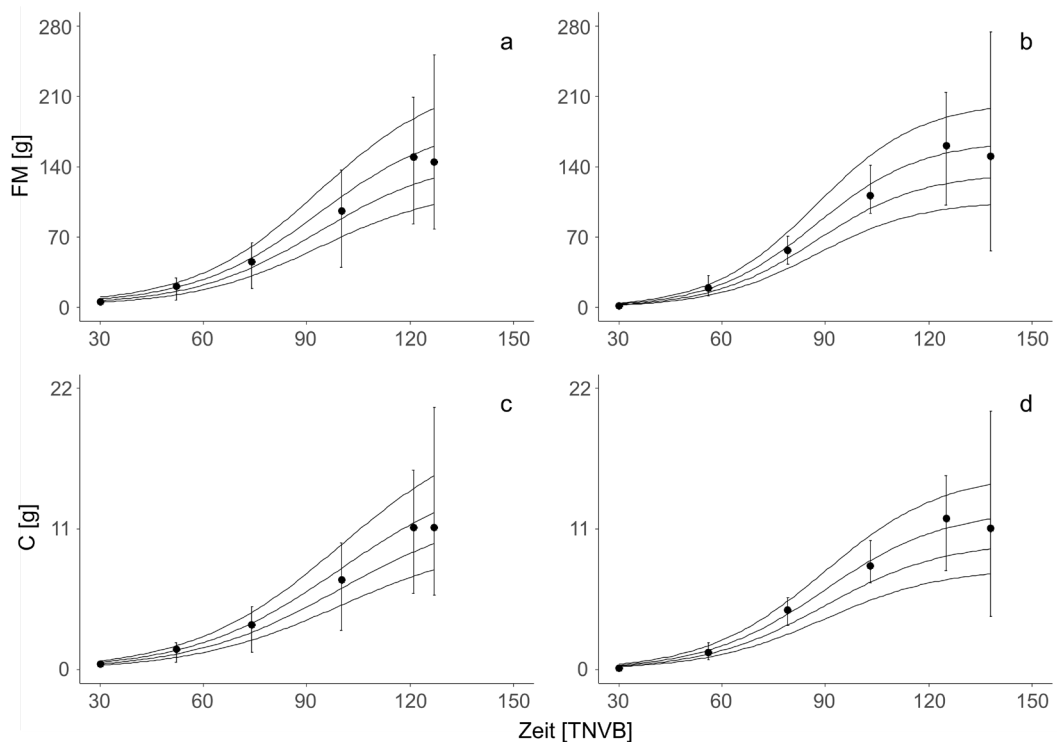


Abb. A10. Frischmasse (FM) (a, b) und absoluter C-Gehalt (c, d) von 'Gala'/M.9 Früchten (Altlandsberg) im saisonalen Verlauf in Tagen nach Vollblüte (TNVB) in 2018 (a, c) und 2019 (b, d). Kreise stellen die gemessenen Mittelwerte dar, Fehlerbalken zeigen die gesamte Spannbreite der gemessenen Werte und die durchgezogenen Linien die simulierten sigmoiden Wachstumsfunktionen für Früchte mit 65 mm, 70 mm, 75 mm und 80 mm Durchmesser bei der Ernte (von unten nach oben). Quelle: Penzel et al., 2021

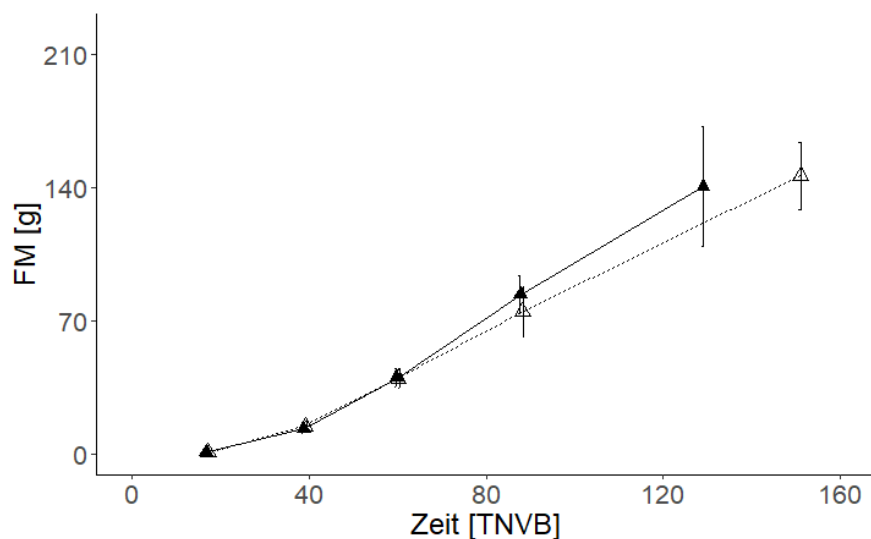


Abb. A11. Frischmasse (FM) (a, b) von 'Gala'/M.9 (gefüllte Dreiecke) und Pinova/M.9 (offene Dreiecke) Früchten in Frankfurt (Oder) in 2018 im saisonalen Verlauf in Tagen nach Vollblüte (TNVB). Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung der gemessenen Werte

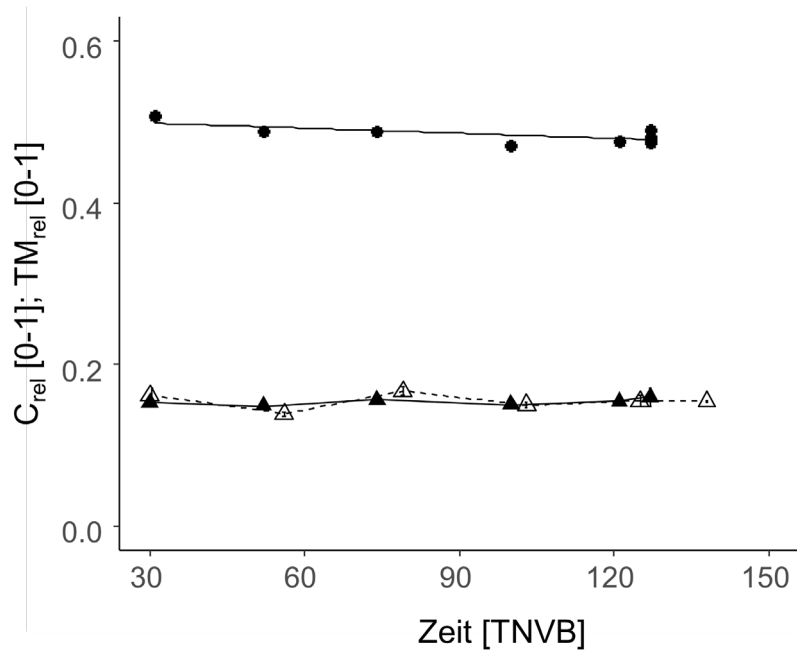


Abbildung A12: Zeitlicher Verlauf (Tage nach der Vollblüte (TNVB)) der Anteile an Trockensubstanz an der Frischmasse (Dreiecke, TM_{rel}) in 2018 (gefüllt), 2019 (offen) und der Anteile an elementarem C an TM_{rel} in 2018 (Kreis, C_{rel}) von sich entwickelnden 'Gala'/M.9-Apfel Früchten in Altlandsberg ($C_{rel} = 50,837 - 0,0273 \times TNVB$, $R^2 = 0,72$)

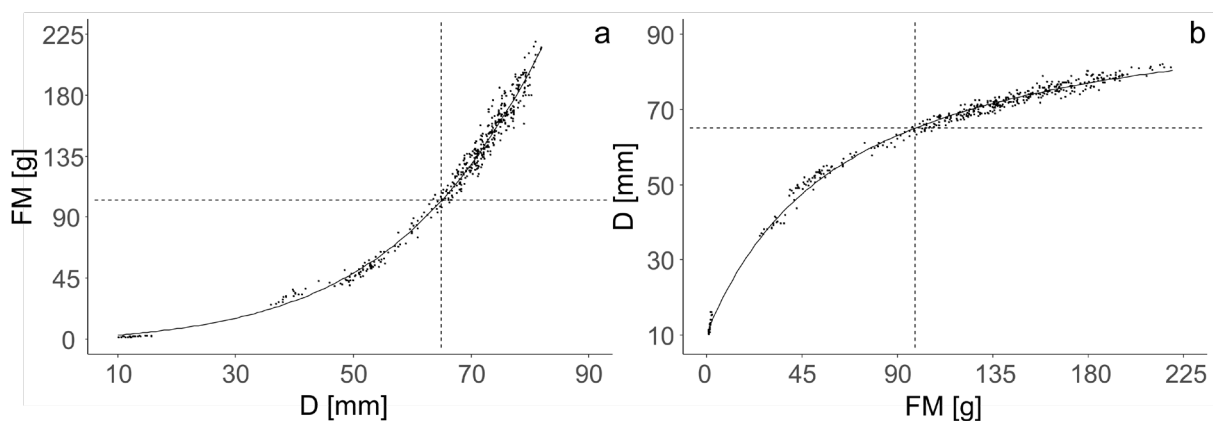


Abbildung A13: Allometrische Beziehung zwischen Durchmesser (D) und Frischmasse (FM) (a), und FM und D (b) bei 'Gala'/M.9 Äpfeln in den Jahren 2018 und 2019 während der Fruchtentwicklung und zur Ernte. (Die gepunkteten Linien markieren die Mindestfruchtgröße für den Markteintritt von 65 mm)

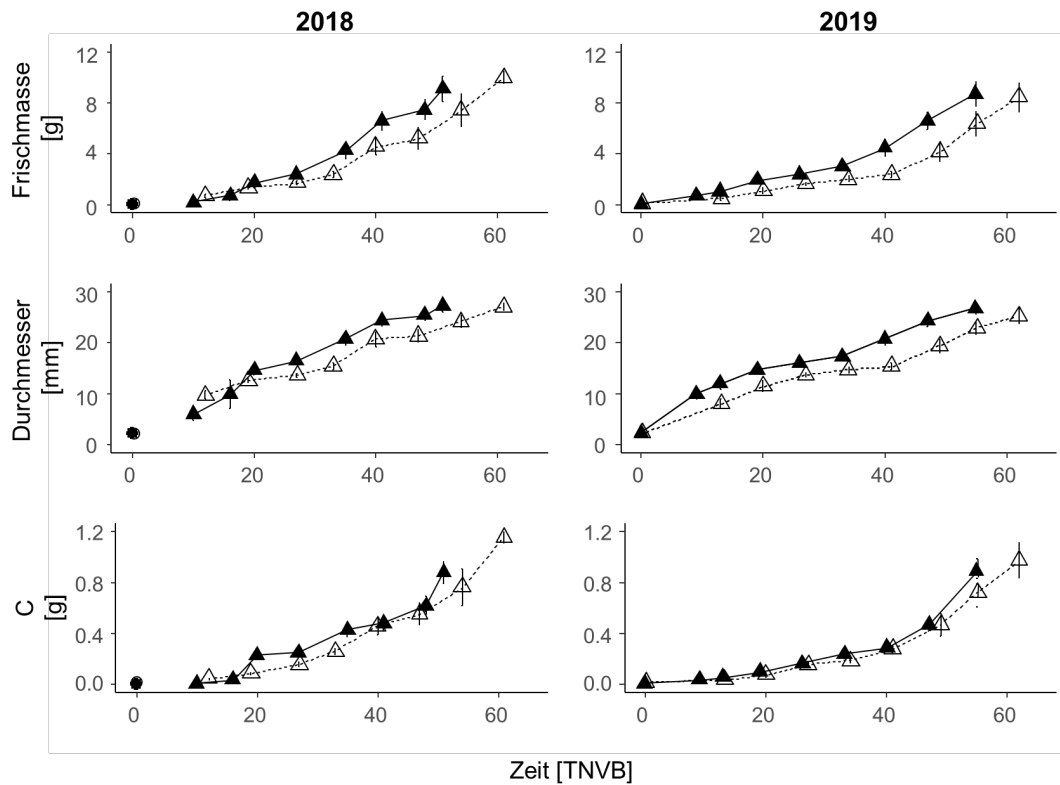


Abbildung A14: Zeitlicher Verlauf der Frischmasse, des Durchmessers und des Kohlenstoffgehalts von sich entwickelnden Süßkirschfrüchten der Sorten 'Bellise' (geschlossenes Symbol, durchgezogene Linie) und 'Regina' (offenes Symbol, gestrichelte Linie) während zweier Vegetationsperioden. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung

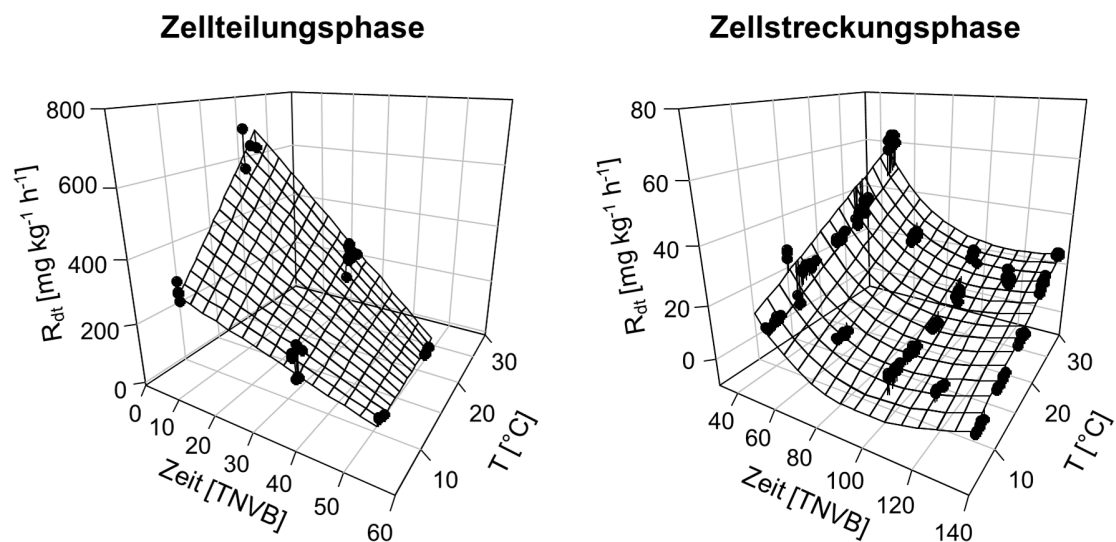


Abbildung A15: Zeitlicher Verlauf der Dunkelatemungsrate wachsender Apfel Früchte ('Gala' in 2018, 2019) während der Zellteilungsphase ($R^2 = 0.96$) und der Zellstreckungsphase ($R^2=0.87$). Altlandsberg

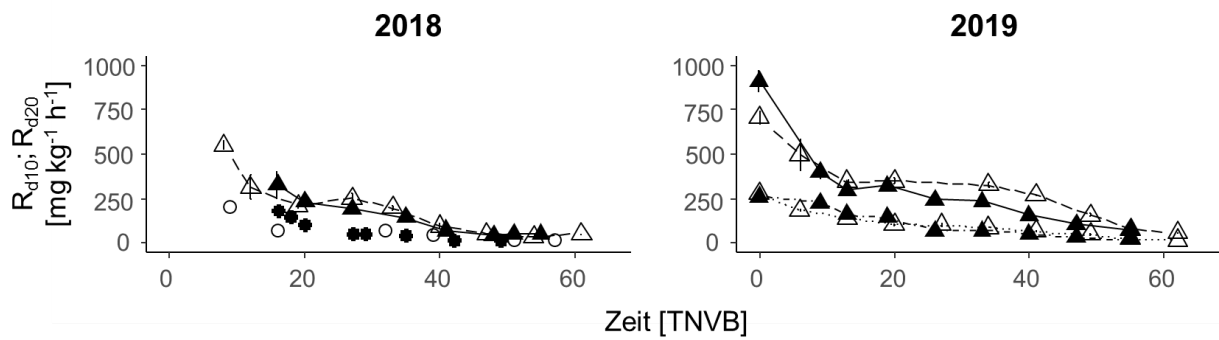


Abb. A16: Zeitlicher Verlauf der Fruchtdunkelatmungsrate bei 10°C (R_{d10} ; gepunktete und gestrichelt-gepunktete Linie) und 20°C (R_{d20} ; durchgezogene und gestrichelte Linie) von sich entwickelnden 'Bellise' (geschlossenes Symbol) und 'Regina' (offenes Symbol) Früchten in zwei Jahren (Werder (Havel)). Die Kreise in 2018 stellen geschätzte Werte der R_{d10} auf Grundlage der gemessenen Q_{10} Werte für beide Sorten dar. Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung

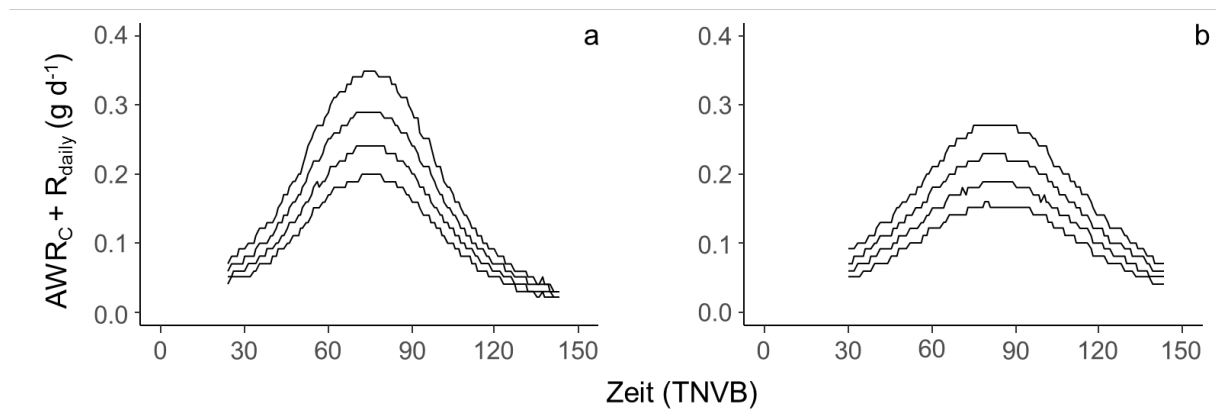


Abb. A17: Zeitlicher Verlauf in Tage nach der Vollblüte (TNVB) des täglichen C-Bedarfs pro Frucht (g d^{-1}) von (a) 'Pinova'/M.26 (Werder (Havel)) und (b) 'RoHo 3615'/M.9 (Altlandsberg) Apfelfrüchten mit unterschiedlichen Zielfruchtgrößen (von unten nach oben: 65 mm, 70 mm, 75 mm, 80 mm) im Jahr 2018

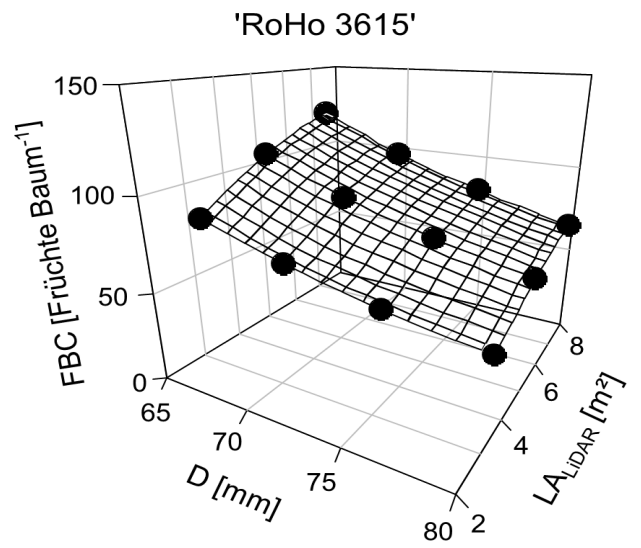
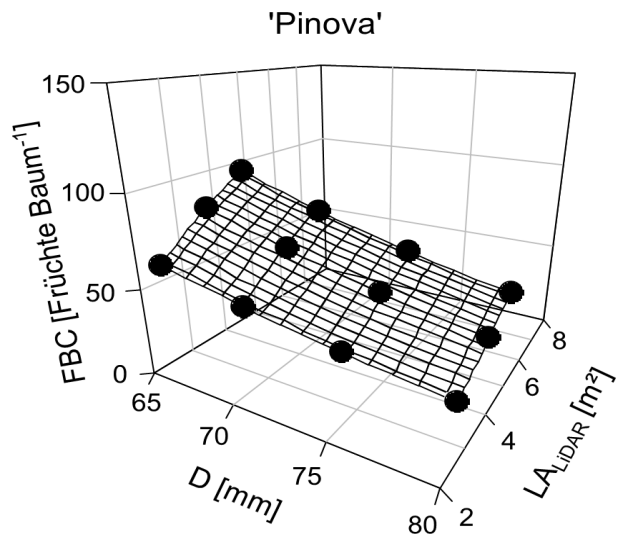


Abb. A18: Fruchtertragskapazität bei 'Pinova' (Werder (Havel) und 'RoHo 3615' (Altlandsberg) in Relation zur Blattfläche der Bäume und dem Zielfruchtdurchmesser zur Ernte in 2018.
Quelle: Penzel et al., 2020

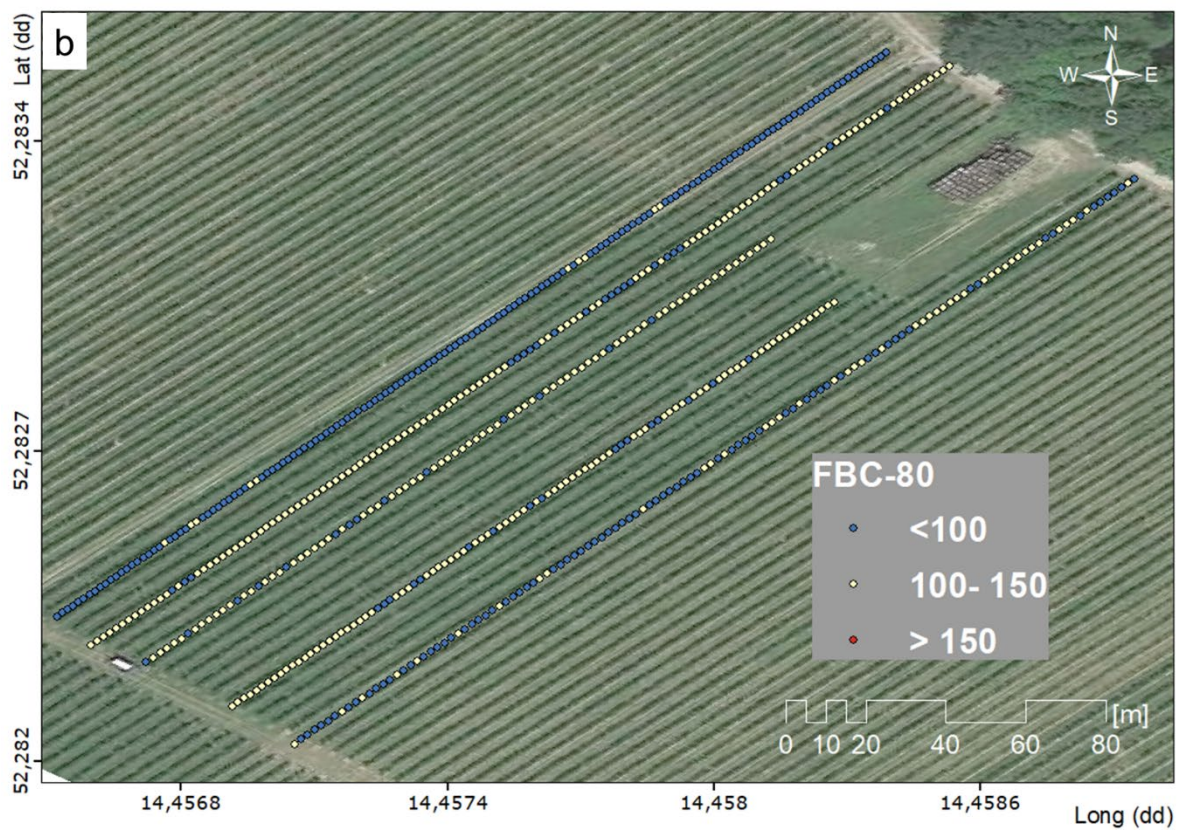
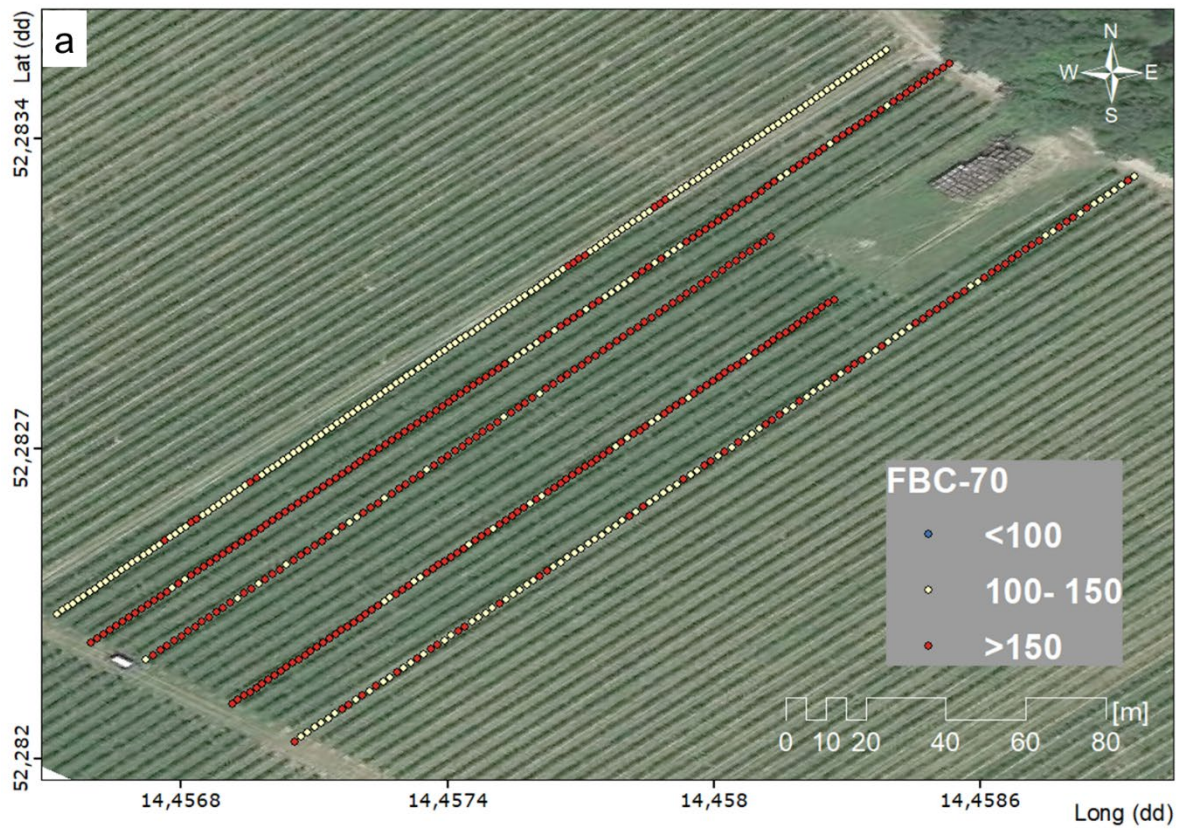


Abb. A19: Karten der Fruchtertragskapazität für einen mittleren Fruchtdurchmesser von 70 mm (a), 80 mm (b) unter Berücksichtigung von 600 Bäumen von 'Gala'/M.9 (Markendorf) pro Jahr in 2018