



Praxistaugliches Anbausystem für Mandeln in der Schweiz

Autorinnen und Autoren

Julien Kambor, Thomas Schwizer, Sonja Kay, Andreas Naef

Finanzierung

Das Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung der Fondation Sur-la-Croix umgesetzt.

Impressum

Kontakt	Agroscope Müller-Thurgau-Strasse 29 8820 Wädenswil www.agroscope.ch
Auskünfte	Andreas Naef andreas.naef@agroscope.admin.ch
Redaktion, Gestaltung	Julien Kambor
Fotos	Agroscope, Dr. Philipp Eisenbarth, Jean-Michel Montagnon
Titelbild	Blüte der Zürichmandel am Breitenhof (BL)
Download	www.agroscope.ch/transfer
Copyright	© Agroscope 2025
ISSN	2296-7214 (online)

Haftungsausschluss :

Die in dieser Publikation enthaltenen Angaben dienen allein zur Information der Leser/innen. Agroscope ist bemüht, korrekte, aktuelle und vollständige Informationen zur Verfügung zu stellen – übernimmt dafür jedoch keine Gewähr. Wir schliessen jede Haftung für eventuelle Schäden im Zusammenhang mit der Umsetzung der darin enthaltenen Informationen aus. Für die Leser/innen gelten die in der Schweiz gültigen Gesetze und Vorschriften, die aktuelle Rechtsprechung ist anwendbar.

Inhalt

Zusammenfassung	4
1 Einleitung	5
2 Methodik	8
2.1 Sortenprüfung	8
2.1.1 Sortenprüfung Steinobstzentrum Breitenhof	8
2.1.2 Sortenprüfung Wädenswil	12
2.2 Betriebsnetzwerk	13
2.3 Akteursplattform	15
3 Resultate	16
3.1 Sortenprüfung	16
3.1.1 Sortenparameter	16
3.1.2 Sortenportraits	25
3.2 Standort- und Umweltfaktoren	35
3.3 Krankheiten & Schädlinge	37
3.3.1 Krankheiten	37
3.3.2 Schädlinge	41
3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen	44
3.4 Kulturführung	45
3.5 Marktperspektiven & Wirtschaftlichkeit	48
3.6 Umweltdienstleistungen	50
3.7 Landschaftsintegration	51
4 Fazit	52
4.1 Zusammenführung der Ergebnisse	52
4.2 Praxistaugliches Anbausystem für Mandeln in der Schweiz	53
4.3 Ausblick und Handlungsempfehlungen	54
4.4 Schlussfolgerung	54
Danksagung	55
Literatur	56

Zusammenfassung

Der Mandelbaum (*Prunus dulcis*) ist wegen seiner grossen Sortenvielfalt vielseitig beliebt: als Speisemandel zum direkten Verzehr, als Bittermandel in Backwaren und auch wegen seiner schönen Blüten. In der Schweiz wächst das Interesse an einem kommerziellen Anbau, besonders in milden Lagen. Erste Studien deuten auf Potenzial hin, doch Herausforderungen bestehen in Sortenwahl, Kulturführung und Wirtschaftlichkeit. Das vorliegende Projekt (2021–2024) testete Sorten, untersuchte Anbaubedingungen und förderte die Vernetzung von Akteuren und Praxisbetrieben. Ziel war die Entwicklung eines praxistauglichen Anbausystems für Mandeln in der Schweiz.

Die Mandel-Sortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof untersuchte die Anbaueignung von 26 Sorten unter Schweizer Bedingungen. Die Bewertung umfasste Blühverhalten, Wuchsform, Krankheitsresistenz und Ertragsqualität. Für diverse Beobachtungen wurde ein Betriebsnetzwerk aufgebaut, um praktische Erfahrungen in verschiedenen Regionen zu generieren. Das Netzwerk brachte zusätzliche Erkenntnisse zu Sortenwahl, Frostresistenz, Kulturführung und Ertragspotenzial. Parallel dazu wurde eine Akteursplattform geschaffen, um Wissenstransfer und Austausch zu fördern. Fachseminare, Exkursionen und ein Newsletter unterstützten den Austausch zwischen Produzenten, Baumschulen und Forschenden. Erste Verkostungen analysierten die sensorische Qualität verschiedener Sorten.

Der Mandelanbau in der Schweiz weist anhand der Projektergebnisse ein gewisses Potenzial auf, ist jedoch mit Herausforderungen verbunden. Die Sortenprüfung zeigt eine hohe Variabilität hinsichtlich verschiedener Parameter, wobei langfristige Daten bisher fehlen. Standortfaktoren wie fehlende Spätfröste sind entscheidend für den Erfolg, während ein hoher Niederschlag im Frühjahr das Risiko von Pilzkrankungen erhöht. Pilzkrankheiten wie Monilia stellen erhebliche Risiken dar, insbesondere da keine Fungizide zugelassen sind. Mechanisierte Ernteverfahren erfordern hohe Investitionen, und die Konkurrenz mit Weltmarktpreisen erschwert die Wirtschaftlichkeit.

Eine ertragsorientierte Mandelproduktion in der Schweiz ist unter den aktuellen Bedingungen risikobehaftet. Ohne gezielten Pflanzenschutz, Bewässerung, Düngung und weitere Pflege sind konstante Erträge kaum erreichbar. Spätfröste gefährden besonders früh blühende Sorten, während feucht-kühle Jahre bei gegenwärtig fehlenden Fungizidzulassungen zu hohen Ausfällen führen. Solange keine gesicherten Erkenntnisse zu standortspezifischen Anbaustrategien vorliegen, empfiehlt Agroscope daher Zurückhaltung beim grossflächigen Anbau.

Angesichts dieser Unsicherheiten sollte ein praxistaugliches Anbausystem den Fokus verstärkt auf die multifunktionale Nutzung der Mandel legen. Die Mandelblüte könnte als touristische Attraktion genutzt oder die Blütenzweige floristisch vermarktet werden. Eine Vermarktung von Mandeln als Premium-Produkt mit Schweizer Herkunftslabel könnte höhere Preise ermöglichen, bleibt jedoch durch Krankheitsrisiken und benötigte mechanisierte Ernteverfahren limitiert. Hingegen könnten Agrartourismus und Direktvermarktung Potenzial für zusätzliche Einnahmequellen bieten.

In Zukunft wird die Sortenprüfung in reduziertem Umfang fortgesetzt, während ein selbstverwaltetes Netzwerk aus Betrieben weitere Erkenntnisse zur Standorteignung liefern will. Da Pilzkrankheiten erhebliche Ernteverluste verursachen, ist für einen ertragsorientierten Anbau die Zulassung wirksamer Pflanzenschutzmittel erforderlich. Bei Interesse ist diesbezüglich ein koordiniertes Vorgehen der Obstbranche wichtig, um das Potenzial des Mandelanbaus in der Schweiz zu nutzen.

1 Einleitung

Der Mandelbaum (*Prunus dulcis*) gehört zur Gattung *Prunus* innerhalb der Familie der Rosaceae. Im Gegensatz zu anderen Steinobstgewächsen wird die Mandel jedoch nicht wegen des Fruchtfleischs, sondern wegen des Samens kultiviert. Botanisch betrachtet ist die Mandel eine Steinfrucht (Abb. 1), wird aber häufig den Nüssen bzw. dem Hartschalenobst zugeordnet. Die Ursprünge des Mandelanbaus reichen weit zurück und sind eng mit der natürlichen Hybridisierung verschiedener Wildarten verbunden, die in Zentralasien beheimatet sind (Socias i Company et al., 2017). Diese Hybridisierungen haben die Grundlage für die heutige Vielfalt der Mandelkulturen gelegt. Moderne Mandelsorten zeigen eine hohe genetische Variabilität, was sich in einer grossen Bandbreite von Sorteneigenschaften widerspiegelt (Abb. 2). Diese Vielfalt ermöglicht es, Mandelsorten gezielt für verschiedene klimatische Bedingungen und Anbausysteme auszuwählen. In traditionellen Anbaugebieten wie Südeuropa setzt man mittlerweile häufig auf spätblühende Sorten, die besser vor Spätfrösten geschützt sind (Dicenta et al., 2017), während in anderen Regionen wie Kalifornien frühblühende Sorten bevorzugt werden, um die Reifezeit vor die heisse Sommerperiode zu verkürzen.

Auch die Morphologie des Mandelbaums spielt eine zentrale Rolle im Anbausystem (Arquero & Jarvis-Shean, 2017). Die Wurzelstruktur hängt stark von der verwendeten Unterlage ab und beeinflusst die Wuchsstärke sowie die Anpassungsfähigkeit des Baums an unterschiedliche Böden. Das Kronenwachstum wird wiederum durch die Sorte, den Schnitt und die Anbaustrategie bestimmt. Im modernen Erwerbsanbau mit mechanischer Ernte werden Bäume oft als «Gobelet» bzw. offene Vase ohne Mitteltrieb erzogen, da die natürliche Wuchsform von Mandelbäumen oft sehr aufrecht ist. Ein wesentliches Merkmal der Mandel ist ihre Reproduktionsbiologie. Die meisten traditionellen Sorten sind selbstunfruchtbar und benötigen Fremdbestäubung, was eine genaue Auswahl und Verteilung kompatibler Sorten in Obstanlagen erfordert. Neue Züchtungen setzen zunehmend auf selbstfertile Sorten, um die Abhängigkeit von Fremdbestäubung zu reduzieren und den Anbau effizienter zu gestalten (Socias i Company, 2017). Insgesamt zeigt der Mandelanbau eine hohe Vielfalt an Anbausystemen, die je nach Region und klimatischen Bedingungen variieren.



Abbildung 1: Die Mandel gehört zum Steinobst und blüht schon früh im Jahr. Bei Reife öffnet sich die grüne Fruchthülle und gibt den Stein frei. Der im Stein enthaltene Samen, der Kern der Frucht, ist die essbare Mandel.

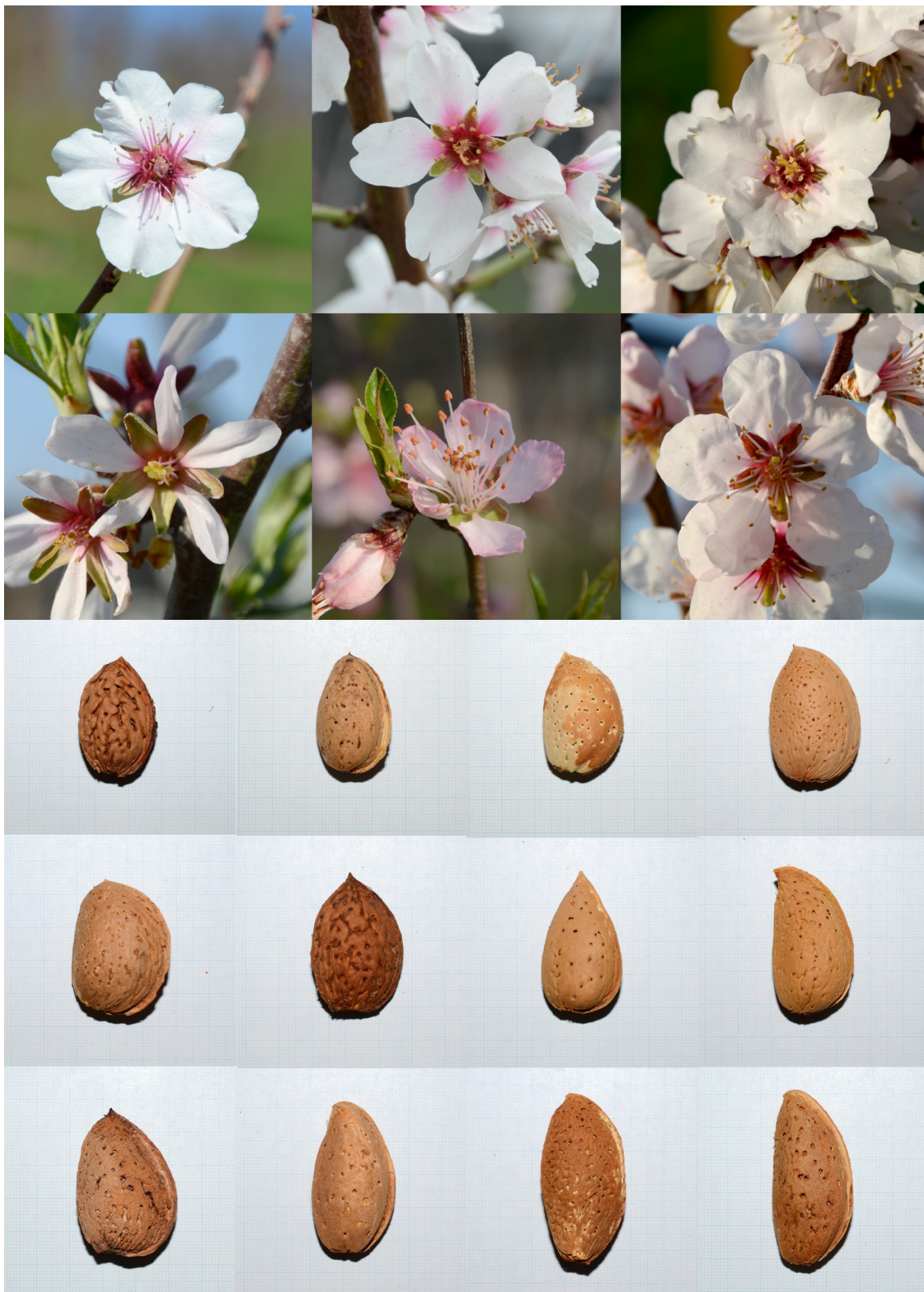


Abbildung 2: Mandeln zeichnen sich durch eine hohe genetische Variabilität aus: Blüten und Steine unterschiedlicher Sorten.

In der Schweiz werden Mandeln sowohl in der landwirtschaftlichen Praxis als auch auf dem Abnehmermarkt als interessante Kultur für die Zukunft betrachtet. Eine Vorstudie zeigte, dass Mandeln unter bestimmten Bedingungen auch bei uns gedeihen können (Reutimann et al., 2020). In milden Lagen wie Weggis am Vierwaldstättersee oder im Wallis gibt es sogar Hinweise auf eine alte Tradition des Mandelanbaus, belegt durch Flurnamen oder verwilderte Bäume (Abb. 3). In den letzten Jahren wurde diese in Vergessenheit geratene Steinfrucht wieder vermehrt angepflanzt, und einige Betriebe erzielten erste Erträge. Expertenbefragungen (Reutimann et al., 2020) und klimatische Modellierungen (Heinz et al., 2024) deuteten darauf hin, dass steigende Temperaturen und zunehmende Trockenheit im Zuge des Klimawandels die Anbaueignung verbessern könnten.



Abbildung 3: Mandelbaum in Sion (VS). Nebst gepflanzten Einzelbäumen in Rebbergen und Gärten findet man an den trockenen Hängen des Rhonetals hie und da verwilderte Bäume als Zeitzeugen einer Tradition des Mandelanbaus im Wallis.

In diesem Zusammenhang stellte sich die Frage, wie sich ein geeignetes Anbausystem für Mandeln in der Schweiz entwickeln lässt. Obwohl Interesse an einer Schweizer Mandelproduktion vorhanden war, bestanden weiterhin viele offene Fragen. Herausforderungen lagen insbesondere in der Auswahl geeigneter Sorten, der optimalen Kulturführung sowie im Umgang mit agronomischen Risiken wie Spätfrösten oder Krankheiten wie Monilia. Zudem war unklar, inwieweit eine Schweizer Produktion wirtschaftlich mit Importmandeln konkurrieren und welche Vermarktungsstrategien langfristig tragfähig sein könnten. Um belastbare Erkenntnisse für den künftigen Anbau von Schweizer Mandeln zu gewinnen, bedurfte es gezielter Forschung und Praxisversuche.

Das vorliegende Projekt knüpft an die Ergebnisse der Vorstudie an und verfolgt das Ziel, gemeinsam mit verschiedenen Akteuren eine nachhaltige, standortangepasste Produktion zu entwickeln und einen Leitfaden für den Mandelanbau in der Schweiz zu erarbeiten. Im Zentrum der Projektaktivitäten von 2021 bis 2024 stehen der Aufbau einer Mandel-Sortenprüfung am Agroscope-Steinobstzentrum Breitenhof, der Aufbau eines Betriebsnetzwerks zur Evaluation der lokalen Anbaubedingungen sowie einer Plattform zur Vernetzung der Akteurinnen und Akteure.

2 Methodik

2.1 Sortenprüfung

2.1.1 Sortenprüfung Steinobstzentrum Breitenhof

Im Mittelpunkt des Projekts stand die Prüfung verschiedener Mandelsorten am Steinobstzentrum Breitenhof. Der Betrieb liegt in Wintersingen (Baselbiet) auf 550 m ü. M. und umfasst eine Fläche von 13.5 ha. Davon sind derzeit 3.5 ha mit Kirschen, 2.5 ha mit Zwetschgen sowie 1.5 ha mit Aprikosen, Wildobst und Baumnüssen bepflanzt. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt 1000 mm, die mittlere Jahrestemperatur 10.5 °C (2011–2021). Die Böden des Versuchsbetriebs sind lehmig-tonig, weisen einen hohen Kalkgehalt auf und haben einen pH-Wert zwischen 7.5 und 8. In der Demonstrationsanlage BR30M (Abb. 4), die eine starke Hangneigung von 29 % aufweist und nach Südosten ausgerichtet ist, wurden insgesamt 26 Mandelsorten gepflanzt (Tab. 1). Ziel war es, erste Erkenntnisse über die Sorten zu gewinnen und langfristig ihre Anbaueignung für die Nordwestschweiz zu prüfen.

Die gepflanzten Mandelbäume stammten aus verschiedenen Quellen. Einige Sorten wurden von Baumschulen im In- und Ausland bezogen, andere von Privatpersonen, die sich für den Mandelanbau engagieren. Um eine Vergleichbarkeit der Sorten zu gewährleisten, wurden Edelreiser in einer Baumschule auf die starkwüchsige Unterlage GF677 okuliert. Die ersten 18 Sorten wurden im November 2021 gepflanzt. Aufgrund von Lieferschwierigkeiten erfolgte eine zweite Pflanzung mit weiteren acht Sorten erst im Frühjahr 2023. Fünf Sorten wurden neben GF677 auf der schwachwüchsigen Unterlage Rootpac20 gesetzt. Reservebäume von 13 Sorten wurden auf einer Versuchsparzelle der ZHAW in Wädenswil gepflanzt.

Es wurden jeweils zwei Bäume pro Sorte im Abstand von 2.5 m und einem Reihenabstand von 5.0 m gepflanzt. Am Breitenhof erfolgte die Erziehung als Hochstammspindeln, da für die Sortenprüfung nur begrenzter Platz zur Verfügung steht. Nach einem Pflanzschnitt im Herbst 2021 und einem Formschnitt im Frühjahr 2023 wurde im Frühjahr 2024 auf einen weiteren Schnitt verzichtet, um im letzten Projektjahr möglichst viele Blütenknospen zu erhalten. Die Mandelbäume wurden im Rahmen des Versuchs einem IP-Pflanzenschutzprogramm unterzogen.

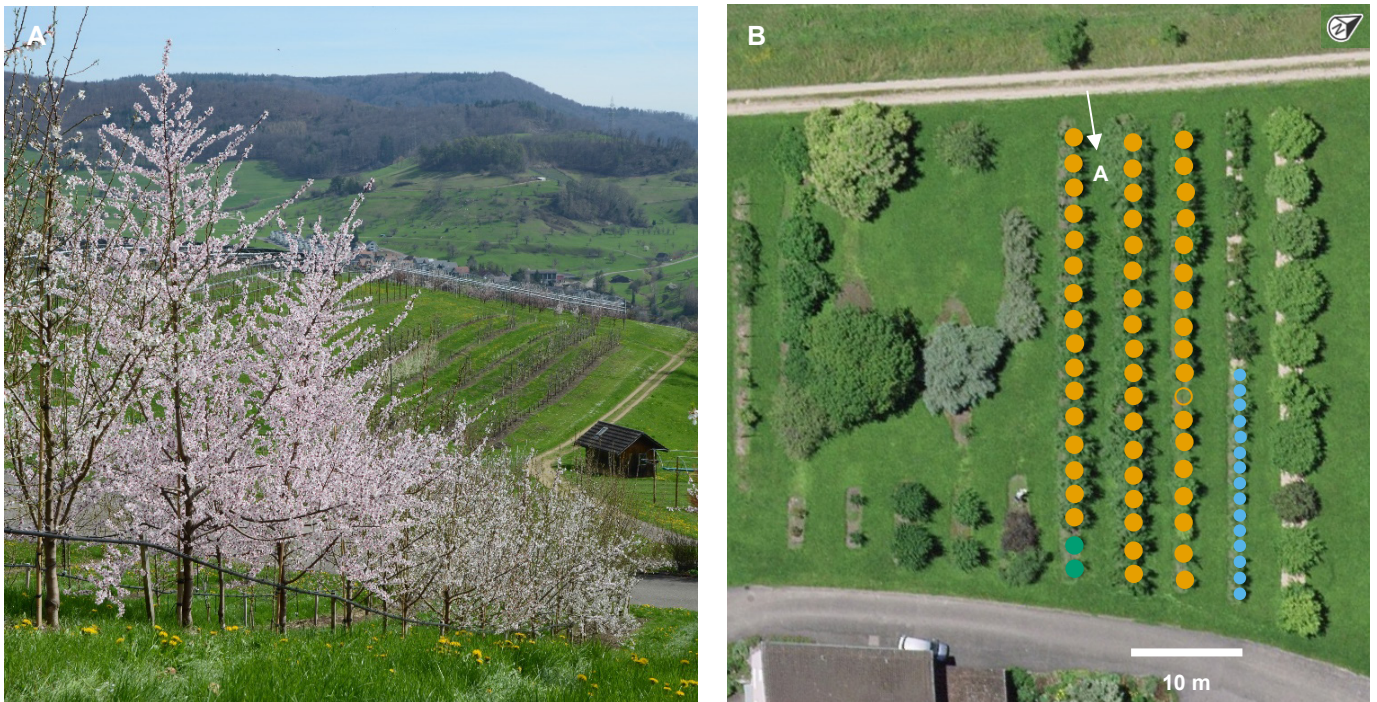


Abbildung 4: A) Ansicht der Mandelsortenprüfung am Breitenhof zur Blüte im 3. Standjahr (März 2024). B) Schematischer Pflanzplan Demonstrationsanlage Süssmandeln (BR30M), mit Sorten auf der Unterlage GF677 (gelb), Rootpac20 (blau) und WavIt (grün). Der Pfeil zeigt die Ansicht A.

Tabelle 1: Mandelsorten am Steinobstzentrum Breitenhof mit Angaben zu Unterlage, Sortenherkunft (? = unsichere Angaben), Selbstfertilität und Pflanzjahr (H = Herbst, F = Frühjahr). Zusätzlich wurden aus der gleichen Lieferung 13 Sorten mit je einem Baum in einer Steinobst-Demonstrationsanlage der ZHAW in Wädenswil geprüft (Parzelle WA94, siehe Kapitel 2.1.2).

Sorte	Unterlage	Sortenherkunft	selbstfertil	Pflanzjahr	WA94
Mandel Sion	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	H 2021	●
Walliser Spitzmandel	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	H 2021	●
Walliser Süsse Lange	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	H 2021	●
Zürichmandel	GF677	Schweiz (Zürich)	Nein	H 2021	●
Dürkheimer Krachmandel	GF677	Deutschland	Nein	H 2021	●
Keilmandel	GF677	Deutschland	Nein	H 2021	●
Palatina	GF677	Deutschland	Nein	H 2021	
Ungsteiner Süssmandel	GF677	Deutschland	Nein	H 2021	●
Ferraduel	GF677	Frankreich	Nein	H 2021	●
Ferragnes	GF677	Frankreich	Nein	H 2021	
Ferrastar	GF677	Frankreich	Nein	H 2021	●
Princesse	GF677	Frankreich	Nein	H 2021	●
Aï	GF677	Frankreich	Nein	F 2023	
Ardéchoise	GF677	Frankreich	Nein	F 2023	
Lauranne / Avijor	GF677	Frankreich	Ja	F 2023	
Tenero	GF677	Italien (?)	Nein	H 2021	
Robijn	GF677	Niederlande	Ja (?)	F 2023	
Ingrid	GF677	Skandinavien (?)	Ja (?)	F 2023	
Marcona	GF677	Spanien	Nein	H 2021	●
Isabelona	GF677	Spanien	Ja	F 2023	
Pentacebas	GF677	Spanien	Ja	F 2023	
Soleta	GF677	Spanien	Ja	F 2023	
Vialfas	GF677	Spanien	Ja	F 2023	
Nonpareil	GF677	USA	Nein	H 2021	●
Texas	GF677	USA	Nein	H 2021	●
Lauranne / Avijor	Rootpac20	Frankreich	Ja	H 2021	
Isabelona	Rootpac20	Spanien	Ja	H 2021	
Pentacebas	Rootpac20	Spanien	Ja	H 2021	
Soleta	Rootpac20	Spanien	Ja	H 2021	
Vialfas	Rootpac20	Spanien	Ja	H 2021	
Papiersky	Wavit	Tschechien (?)	Nein	H 2021	

Die Sortenprüfung orientierte sich an den etablierten Protokollen der Steinobst-Sortenprüfungen, die Agroscope seit vielen Jahren durchführt. Zudem wurden Erkenntnisse aus internationaler Fachliteratur zur Mandel-Sortenprüfung in die Planung einbezogen (Gordon et al., 2020; Lampinen et al., 2020; Sideli et al., 2020; Socias i Company et al., 2017). Die meisten Bewertungskriterien wurden auf Ebene der Baumgruppe erfasst. Eine Baumgruppe besteht aus zwei gleichzeitig gepflanzten Einzelbäumen derselben Sorte mit identischer Unterlage aus derselben Baumschule und derselben Lieferung. Bonitur-Noten werden in der Regel auf einer qualitativen Skala von 1 bis 9 vergeben. Sie beschreiben einen kontinuierlichen Verlauf einer Eigenschaft und wären quantitativ nur mit hohem Zusatzaufwand messbar.

Tabelle 2: Bewertungskriterien für die Bäume der Mandelsortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof. Zahlen ohne explizite Beschreibung können zur Darstellung von Zwischenwerten oder Extremwerten verwendet werden. Die Wuchsstärke wird beispielsweise mit 3 = schwach, 5 = mittel und 7 = stark beschrieben, wobei 5 als Optimum gilt. Eine Bewertung mit 4 bedeutet, dass das Wachstum eher gering, aber noch akzeptabel ist. Noten von 1 oder 2 kennzeichnen nahezu fehlendes Wachstum.

Zeitpunkt	Kriterium	Beschreibung (<i>Optimum</i>)	Datentyp
Blüte	Blühbeginn	5% der Blüten offen	Datum
	Beginn Vollblüte	50% der Blüten offen	Datum
	Blühende	95% der Blüten offen	Datum
	Monilia	1 = kein Befall , 5 = mittel, 9 = voll	Skala 1-9
	Blühstärke	1 = fast leer , 9 = blüht überall	Skala 1-9
Sommer	Wuchsstärke	3 = schwach, 5 = mittel , 7 = stark	Skala 1-9
	Wuchsform	3 = aufrecht, 5 = breitwüchsig , 7 = überhängend	Skala 1-9
	Verzweigung	3 = locker, 5 = mittel, 7 = dicht	Skala 1-9
	Neigung zur Verkahlung	3 = gering , 5 = mittel, 7 = stark	Skala 1-9
	Dichte der Belaubung	3 = locker, 5 = mittel , 7 = dicht	Skala 1-9
	Nachblütefruchtfall	1 = kein , 5 = tragbar, 9 = sehr viel	Skala 1-9
	Krankheiten, Schädlinge	Qualitative Beschreibungen	-
Ernte	Beginn Schalenbruch	5% Früchte mit Schalenbruch	Monatsdekade
	Ende Schalenbruch	95% Früchte mit Schalenbruch	Monatsdekade
	Ertrag	Bruttogewicht pro Baum (inkl. Schale)	Gewicht (kg)
	Krankheiten, Schädlinge	Qualitative Beschreibungen	-



Abbildung 5: Frostbonitur: Sezierte Mandelblüten mit braunem, erkranktem Fruchtknoten (links) und gesundem Fruchtknoten (rechts).

Bei Frostereignissen während der Blüte wurde in der darauffolgenden Woche eine Frostbonitur durchgeführt, um den Anteil erfrorener Fruchtknoten zu bestimmen. Die Bonitur erfolgte nur bei Sorten mit einer ausreichenden Anzahl an Blüten. Pro Sorte wurden 40 Einzelblüten gesammelt und seziiert. Erfrorene Fruchtknoten waren braun oder schwarz und konnten visuell von gesunden Fruchtknoten unterschieden werden (Abb. 5).

Im Jahr 2023 trugen die Bäume erstmals wenige Mandeln. Die Steine wurden von Hand geerntet und anschliessend einige Tage bei 30 °C mit Umluft getrocknet. Die Ernte 2024 erfolgte ebenfalls manuell unter Verwendung von Leitern. Von Ende August bis Ende Oktober wurden zweimal pro Woche alle Mandeln geerntet, deren Schale sich geöffnet hatte. Die grüne Fruchthülle wurde ebenfalls von Hand entfernt. Im Gegensatz zu 2023 erfolgte die Trocknung der Steine mit Kaltluft (Abb. 6).



Abbildung 6: Trockenschrank für Mandeln und andere Nussfrüchte.

Nach der Ernte wurde die Qualität anhand einer Stichprobe pro Sorte bewertet (Tab. 3). Pro Baumgruppe wurden, sofern verfügbar, 40 Steine geknackt und analysiert. Der sogenannte «Crackout» gibt den Anteil des Kerngewichts am Gesamtgewicht der Ernte inklusive Schale an und ist entscheidend für die Schätzung der vermarktbaren Menge. Ausschuss kann verschiedene Ursachen haben: Er kann sortenbedingt (Doppelkerne, Zwillingkerne), anbaubedingt (verschrumpelte Kerne durch Wasserstress, Pilz- oder Insektenschäden) oder verarbeitungsbedingt (beschädigte Kerne beim Knacken) sein. Die Ergebnisse ermöglichen eine Einschätzung, ob Fehler in der Kulturführung vorliegen oder ob bestimmte Sorten natürlicherweise einen hohen Ausschuss aufweisen.

Tabelle 3: Bewertungskriterien für die Ernte in der Mandelsortenprüfung

Zeitpunkt	Kriterium	Beschreibung	Datentyp
Nachernte	Stichprobengrösse	Zufällige Fruchtprobe der Ernte	Zahl
	Steingewicht total	Gewicht der Probe mit Schale	Gewicht (g)
	Kerngewicht total	Gewicht der Probe ohne Schale	Gewicht (g)
	Kerngewicht verwertbar	Gewicht ohne Ausschuss	Gewicht (g)
	Crackout total	Anteil Kerngewicht am Gesamtgewicht	Anteil (%)
	Crackout verwertbar	Anteil des verwertbaren Kerngewichts am Gesamtgewicht der Probe	Anteil (%)
	Ausschuss total	Sämtliche nicht verwertbaren Kerne	Zahl
	Zerstört beim Knacken	Beim Knacken gerissen oder zerdrückt	Zahl
	Doppelkerne	Zwei Kerne in einem Stein	Zahl
	Zwillingkerne	Zwei Steine zusammengewachsen	Zahl
	Verschrumpelte Kerne	Sichtbar deformierte Kerne	Zahl
	Pilz-Schäden	Schwarze Stellen, sichtbare Sporen	Zahl
	Insekten-Schäden	Kot-Spuren, Frass-Schäden, etc.	Zahl
	Verwertbar	Stichprobengrösse minus Ausschuss	Zahl
	Härte beim Knacken	1 = Von Hand ohne Druck, 3 = Von Hand mit Druck, 5 = Normaler Nussknacker, 7 = Hammer, 9 = Schraubstock	Skala 1-9

Die geknackten Mandeln wurden fotografisch dokumentiert und bis zur Degustation luftdicht verpackt in einem kühlen Raum gelagert. In einer ersten Bewertung wurde geprüft, ob es sich bei den Sorten um Süssmandeln handelte oder ob bittere Kerne vorhanden waren. Weitere Verkostungen wurden im Rahmen der Akteursplattform durchgeführt.

2.1.2 Sortenprüfung Wädenswil

In der Steinobst-Demonstrationsanlage der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW) in Wädenswil wurden zusätzlich 13 Mandelsorten geprüft (Abb. 7, Tab. 4). Die Versuchsfläche (Parzelle WA94) liegt auf 515 m ü. M. mit einer jährlichen Niederschlagsmenge von 1537 mm und einer mittleren Jahrestemperatur von 10.3 °C (2005–2021). Der tiefgründige, mittelschwere Boden des Versuchsbetriebs ist ein sandiger Lehm mit einem pH-Wert von 5.9 bis 7.6. Ziel der Prüfung in Wädenswil war es, die Beobachtungen vom Breitenhof zu validieren und Sortenunterschiede zu bestätigen oder zu widerlegen.

Aus Platzgründen wurde pro Sorte nur ein Baum gepflanzt, mit einem Abstand von 2.4 m und einem Reihenabstand von 3.8 m. Die Bäume wurden in Drapeau-Form erzogen, indem sie nach der Pflanzung in einem Winkel von ca. 45° am Drahtgerüst formiert wurden, um das Wachstum der Mitte zu begrenzen. Die gesamte Anlage war von April bis August mit einer Regenschutzfolie überdacht und ganzjährig seitlich mit einem Insektenschutznetz geschützt. In der Parzelle wurde zu Versuchszwecken ein reduziertes Bio-Pflanzenschutzprogramm umgesetzt. Die Bonituren entsprachen denen am Breitenhof (Tab. 2, Tab. 3).

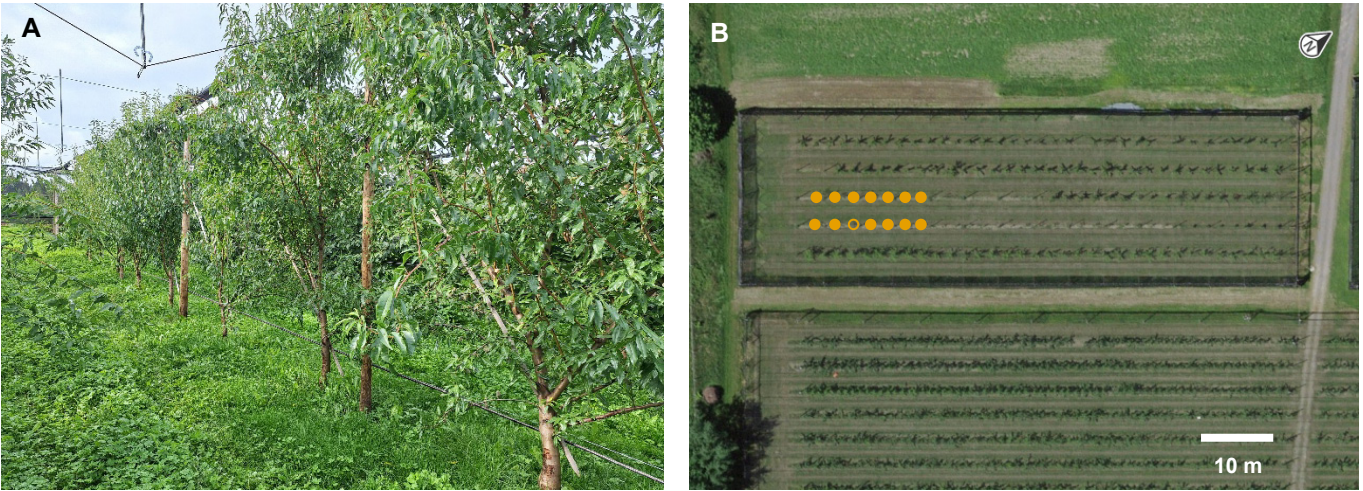


Abbildung 7: A) Ansicht der Mandelsortenprüfung in Wädenswil zur Ernte im 3. Standjahr (September 2024). B) Schematischer Pflanzplan der Demonstrationsanlage Steinobst (WA94) mit Sorten auf der Unterlage GF677 (gelb).

Tabelle 4: Mandelsorten in der Demonstrationsanlage Wädenswil (Parzelle WA94) mit Angaben zu Unterlage, Sortenherkunft, Selbstfertilität und Pflanzjahr (F = Frühjahr).

Sorte	Unterlage	Sortenherkunft	Selbstfertil	Pflanzjahr
Mandel Sion	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	F 2022
Walliser Spitzmandel	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	F 2022
Walliser Süsse Lange	GF677	Schweiz (Wallis)	Nein	F 2022
Zürichmandel	GF677	Schweiz (Zürich)	Nein	F 2022
Dürkheimer Krachmandel	GF677	Deutschland	Nein	F 2022
Keilmandel	GF677	Deutschland	Nein	F 2022
Ungsteiner Süssmandel	GF677	Deutschland	Nein	F 2022
Ferraduel	GF677	Frankreich	Nein	F 2022
Ferrastar	GF677	Frankreich	Nein	F 2022
Princesse	GF677	Frankreich	Nein	F 2022
Marcona	GF677	Spanien	Nein	F 2022
Nonpareil	GF677	USA	Nein	F 2022
Texas	GF677	USA	Nein	F 2022

2.2 Betriebsnetzwerk

Die Klima- und Bodenverhältnisse in der Schweiz variieren je nach Standort erheblich. Daher sollten Sorten- und Anbauempfehlungen unter verschiedenen klimatischen und standortspezifischen Bedingungen entwickelt werden. Ziel des Projekts war der Aufbau eines Netzwerks mit Betrieben im Mittelland, in der Westschweiz, im Wallis und in Graubünden (Abb. 8). Dafür wurden auf sechs Betrieben kommerziell verfügbare Sorten auf standortangepassten Unterlagen gepflanzt. Zudem wurden interessierte landwirtschaftliche Betriebe, die bereits Mandeln gepflanzt hatten, sowie Baumschulen mit Mandelbäumen in das Netzwerk integriert. Insgesamt besteht das Netzwerk aus 17 Betrieben.

In diesem Netzwerk wurden vereinfachte Bonituren durchgeführt und ein enger Austausch der Praxisbetriebe etabliert, um Fragen zur Standorteignung, Kulturführung, Krankheits- und Schädlingsbefall sowie zum Ertragspotenzial zu klären. Der Blühzeitpunkt verschiedener Sorten wurde von engagierten Betrieben selbst erfasst und dokumentiert. Im Sommer und Herbst fanden in den verschiedenen Anlagen vereinfachte Erhebungen zu Baumverhalten, Krankheiten, Schädlingen, Ertrag und Fruchtqualität statt, die mit den Daten der Sortenprüfung verglichen wurden. Die Erntemengen wurden dabei meist geschätzt statt gewogen. Die Einbindung der Betriebe ins Netzwerk und die Häufigkeit der Zusammenarbeit variierte je nach Betriebsstruktur und verfügbarer Ressourcen.

Die Pflanzungen wurden nach Bedarf beratend begleitet, insbesondere zu Fragen des Schnitts, der Düngung und des Schädlingsmanagements. Zudem wurden spezielle Fragestellungen zu Krankheiten und Schädlingen durch vertiefte Analysen untersucht. So wurde beispielsweise 2023 eine Mandelprobe auf Mykotoxine analysiert und 2024 ein Monitoring des Pfirsichwicklers und der Pfirsichmotte mithilfe von Pheromonfallen durchgeführt. Diese Untersuchungen flossen gemeinsam mit Literaturrecherchen und dem Austausch im Betriebsnetzwerk in die Ergebnisse ein.

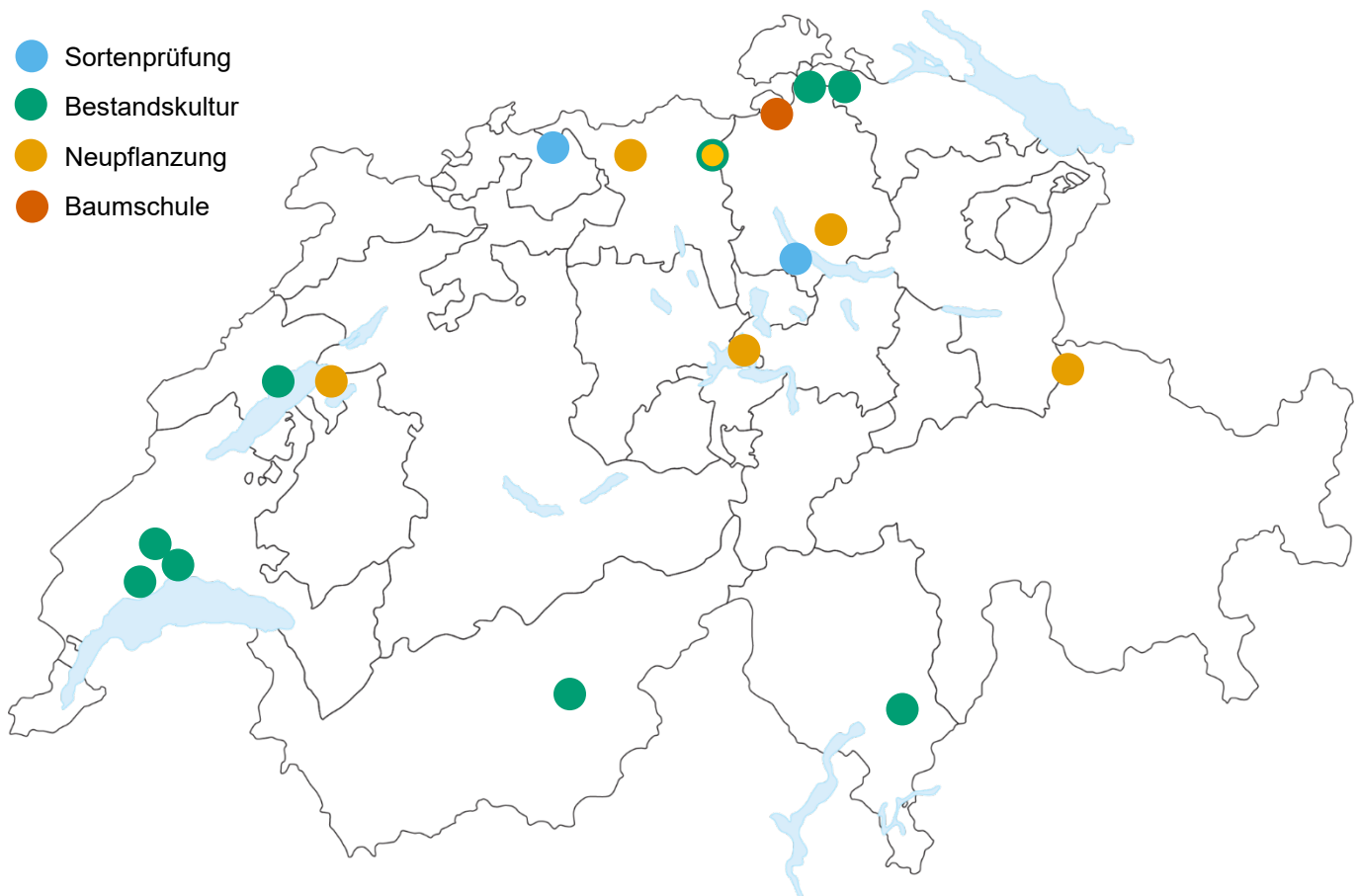


Abbildung 8: Karte des Schweizer Mandel-Betriebsnetzwerks. Sie zeigt die Standorte der Sortenprüfungen am Breitenhof und in Wädenswil (blau), bestehende Mandelkulturen auf Praxisbetrieben (grün), die während des Projekts angelegten Neupflanzungen (gelb) und Baumschulen mit Mandeln im Sortiment (rot).

Das Betriebsnetzwerk umfasste verschiedene landwirtschaftliche Betriebe. Klassische, spezialisierte Obstbaubetriebe waren nicht vertreten. Stattdessen gehörten Betriebe mit Fokus auf Spezialkulturen, gemischte Betriebe mit Tierhaltung und Hochstamm-Feldobstbäumen, Nebenerwerbsbetriebe mit Interesse an neuen Kulturen sowie Vereine und Privatpersonen, welche nur wenige Mandelbäume gepflanzt hatten, zum Netzwerk. Abbildung 9 veranschaulicht die Vielfalt der angelegten Mandelkulturen.



Abbildung 9: Vielfalt der Mandel-Anbausysteme im Betriebsnetzwerk. Vertreten waren Betriebe mit Spezialkulturen über gemischte Betriebe mit Hochstamm-Obstbäumen, Tierhaltung und Ackerbau bis hin zu Nebenerwerbsbetriebe.

2.3 Akteursplattform

Die Vorstudie zeigte, dass bereits verschiedene Akteurinnen und Akteure aus unterschiedlichen Bereichen am Thema «Mandeln» arbeiten. Ziel war es daher, dieses Wissen zu bündeln und über eine Plattform einen regelmässigen Austausch zwischen Produzentinnen und Produzenten, Baumschulen, Beratungsstellen, Abnehmern, Verbänden und der Forschung zu ermöglichen (Abb. 10). Dabei sollten zentrale Fragen aufgegriffen werden, die für die Weiterentwicklung des lokalen Mandelanbaus wichtig sind, jedoch im Rahmen der Projektpflanzungen nicht vertieft bearbeitet werden konnten. Dazu zählten unter anderem die Eignung von Sorten für die Weiterverarbeitung, etwa der Vergleich von solchen mit harter Schale und weichschaligen Krachmandeln, sowie die sensorische Qualität der Mandeln. Der Austausch sollte zudem helfen, die Beobachtungen im aktuellen Marktumfeld besser einzuordnen und potenzielle Absatzwege und Marktchancen für eine künftige Schweizer Mandelproduktion zu identifizieren.

Im Winter wurde jeweils das Mandelseminar am Wallierhof in Riedholz (SO) organisiert. Zwischen 2021 und 2024 fanden insgesamt zehn [Vorträge](#) zu verschiedenen Aspekten des Mandelanbaus statt. Dabei wurden die Projektergebnisse jährlich mit wechselnden Schwerpunkten präsentiert. Highlights waren die Vorträge von Philipp Eisenbarth, Pomologe aus der Pfalz, der Einblicke in die Mandelkultur in Südwestdeutschland gab, und Jean-Michel Montagnon, Berater für Mandelanbau aus Südfrankreich, der über die erfolgreiche Pflanzung von Mandelbäumen sowie den korrekten Schnitt referierte. Die Seminare wurden intensiv für den Austausch und die Vernetzung der Teilnehmenden genutzt. Ergänzend dazu informierte ein regelmässig erscheinender Newsletter die Projektbeteiligten über Neuigkeiten aus dem Schweizer Mandelanbau.

Neben den Seminaren wurden zwei Exkursionen zu Praxisbetrieben angeboten. Claire Legrand von der Union fruitière lémanique organisierte 2023 eine Betriebsbesichtigung bei Quentin Ducommun am Neuenburgersee, einem Pionier des Mandelanbaus in der Westschweiz. Im Herbst 2024 fand eine Exkursion zu Brupbacher Spezialkulturen statt, dem Betrieb mit den bisher umfangreichsten Mandelpflanzungen in der Schweiz. Am Nachmittag desselben Tages besuchten die Teilnehmenden die Sortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof und erhielten einen ersten Eindruck zu den verschiedenen Sorten. Die erste Ernte der Sortenprüfung wurde anschliessend verkostet. Vierzehn Teilnehmende bewerteten dabei neun Mandelsorten subjektiv in Bezug auf ihr Erscheinungsbild, ihre Konsistenz und ihren Geschmack.



Abbildung 10: Impressionen der Projektaktivitäten zu Wissenstransfer und Vernetzung: Betriebsbesichtigungen bei Quentin Ducommun (2023) und Marius Brupbacher (2024) sowie Vorträge im Rahmen der Mandelseminare 2021 und 2022 am Bildungszentrum Wallierhof.

3 Resultate

3.1 Sortenprüfung

3.1.1 Sortenparameter

Dieses Kapitel gibt einen Überblick und Vergleich der beobachteten Parameter der Mandelsorten. Im folgenden Kapitel 3.1.2 werden die Sorten dann in Porträts präsentiert, was eine umfassende Übersicht über die Eigenschaften jeder Sorte bietet.

Blühzeitpunkt

Mandeln blühen früh im Jahr, wobei sich die Sorten erheblich im Blühzeitpunkt unterscheiden (Abb. 11). 2023 öffneten die frühesten Sorten ihre Blüten bereits Mitte Februar. 2024 begann die Blüte später, verlief jedoch schneller. Die Vollblüte lag je nach Sorte zwischen Anfang März und Mitte April, wobei die meisten Sorten in der zweiten Märzhälfte blühten. Damit fällt die Blütezeit der meisten Mandelsorten zwischen die von Aprikosen und Kirschen. Abbildung 11 zeigt auch, welche Sorten sich anhand der bisherigen Beobachtungen am ehesten für eine gegenseitige Bestäubung eignen.

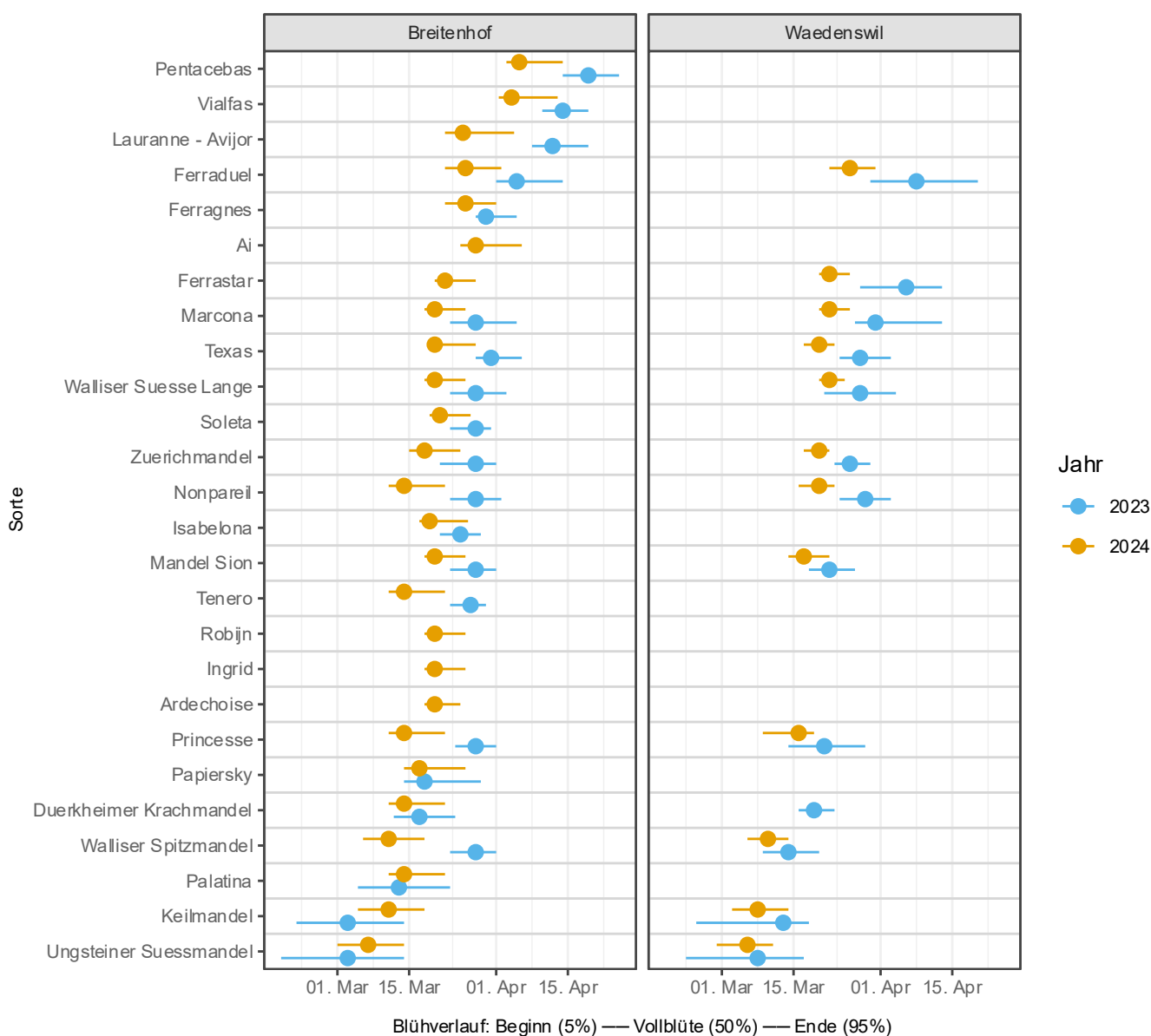


Abbildung 11: Blühverlauf der Mandelsorten am Steinobstzentrum Breitenhof und in Wädenswil in den Jahren 2023 und 2024. Die Blühverläufe auf den Unterlagen GF677 und Rootpac20 zeigten keine signifikanten Unterschiede und wurden zusammengefasst. Die Sorten sind nach absteigendem Durchschnittsdatum der Vollblüte geordnet.

Blühstärke

Der Ertrag von Mandelbäumen hängt laut Studien aus Kalifornien stärker von der Gesamtzahl der Blüten als von der Fruchtansatzrate ab (Tombesi et al., 2017). Bäume mit mehr Blüten erzielten tendenziell höhere Erträge, unabhängig vom relativen Fruchtansatz. Daher ist das Erzielen einer grossen Menge gesunden, blühenden Fruchtholzes entscheidend für einen langfristigen und hohen Mandelertrag.

Zwar variierte die Blühstärke zwischen den verschiedenen Mandelsorten, jedoch sind belastbare Ergebnisse noch nicht verfügbar. Während einige Sorten bereits im zweiten Standjahr kräftig blühten, zeigten andere verstärkt vegetatives Wachstum. Tendenziell blühten frühe Sorten wie die Keilmandel oder die Ungsteiner Süssmandel in den ersten Standjahren stärker als spätblühende. Die Blühintensität im Vollertrag ab dem vierten oder fünften Standjahr lässt sich derzeit noch nicht abschätzen.

Auffällig war der Unterschied zwischen den Pfirsich-Mandel-Hybriden (Ingrid, Robijn, Zürichmandel) und den Süssmandeln (Abb. 12). Die Pfirsichmandeln blühten stark am einjährigen Holz und bereits im ersten Standjahr. Ihre Blüten reichten von dunkelrosa (Ingrid, Robijn) bis blassrosa (Zürichmandel). Trotz der höchsten Blütenanzahl aller Sorten setzte die Zürichmandel kaum Früchte an, was auch auf einem Praxisbetrieb bestätigt wurde. Die Erkenntnisse aus Kalifornien können demnach nicht auf Pfirsichmandeln übertragen werden.



Abbildung 12: Die Blühstärke der Pfirsich-Mandel-Hybriden war deutlich höher als die der Süssmandeln und unterschied sich in der Blütenfarbe: Ingrid (oben links) und Zürichmandel (oben rechts) mit rosa Blüten. Zum Vergleich unten die Sorte Nonpareil mit den für Süssmandeln typischen weissen Blütenblättern.

Blütenmonilia

Die Hauptkrankheit von Mandelbäumen in unseren Breitengraden ist die Blüten- und Zweigdürre, verursacht durch Pilze der Gattung *Monilia sp.* (Eisenbarth, 2020). In der Sortenprüfung konnten bisher keine verlässlichen Unterschiede bezüglich Anfälligkeit festgestellt werden. Aufgrund des jungen Alters der Bäume trat erstmals 2024 ein Befall auf. In Wädenswil wurden Bio-Fungizide eingesetzt. Am Breitenhof waren die Infektionen deutlich geringer (Abb. 13), da dort chemisch-synthetische Fungizide eingesetzt wurden, die im übrigen Steinobstanbau nach ÖLN-Richtlinien zugelassen sind. Erste Beobachtungen deuten darauf hin, dass früh blühende Sorten anfälliger sind als spät blühende, diese Tendenz muss jedoch noch bestätigt werden.

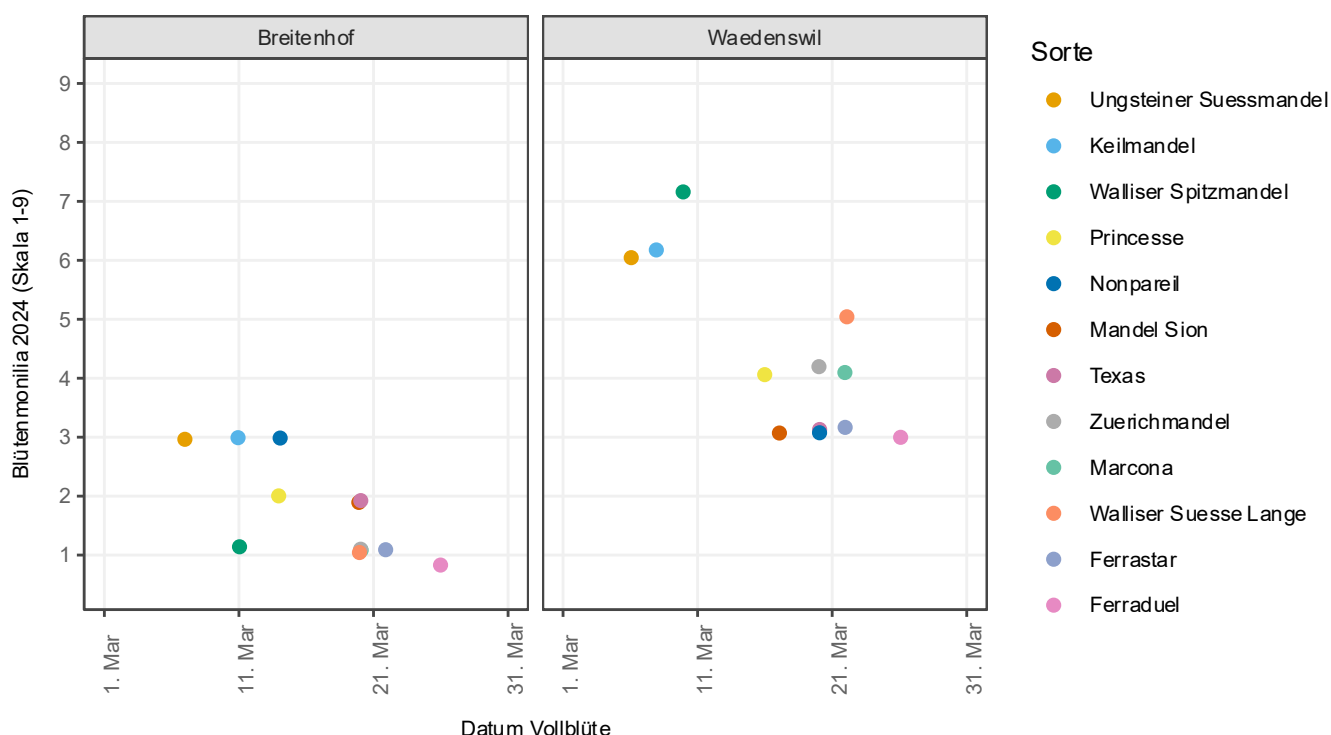


Abbildung 13: Blütenmonilia-Befall in der Sortenprüfung Breitenhof und Wädenswil 2024 bei Sorten, die an beiden Standorten vertreten sind. Die Skala reicht von 1 (kein oder sehr wenig Befall) über 3 (geringer Befall) bis 9 (sehr starker Befall).

Frosttoleranz

Nur im Jahr 2023 trat an den Standorten der Sortenprüfung während der Mandelblüte Frost auf. Am Breitenhof gab es Anfang April zwei Frosträchte mit Tiefstwerten von $-2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, kurz nach der Vollblüte der meisten Sorten. In Wädenswil sank die Temperatur in drei aufeinanderfolgenden Nächten auf $-0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-0.7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Obwohl die Temperaturen dort weniger stark fielen als am Breitenhof, wirkte sich die unterschiedliche Topographie der Standorte negativ aus: Während die Mandeln am Breitenhof an einem relativ steilen Hang stehen, befinden sie sich in Wädenswil in einer leichten Mulde. In dieser Mulde verursachte der Frost grössere Schäden. Fünf von sechs Sorten waren in Wädenswil deutlich stärker betroffen als am Breitenhof (Abb. 14).

Die Beobachtungen bestätigen, dass früh blühende Sorten wie die Ungsteiner Süssmandel oder die Keilmandel anfälliger für Frosts Schäden sind als spät blühende wie Ferraduel (Abb. 14). Auch zwischen gleichzeitig blühenden Sorten traten Unterschiede auf: So zeigte sich beispielsweise Texas anfälliger als Marcona. Diese Tendenzen müssen jedoch weiter überprüft werden, um gesicherte Aussagen zur relativen Frosthärtigkeit einzelner Sorten treffen zu können. Zudem waren Sorten mit mittlerem Blühzeitpunkt auf der schwachwüchsigen Unterlage Rootpac20 tendenziell stärker betroffen als gleichzeitig blühende Sorten auf GF677, da ihre Blüten näher am Boden lagen als jene auf der starkwüchsigen Unterlage GF677.

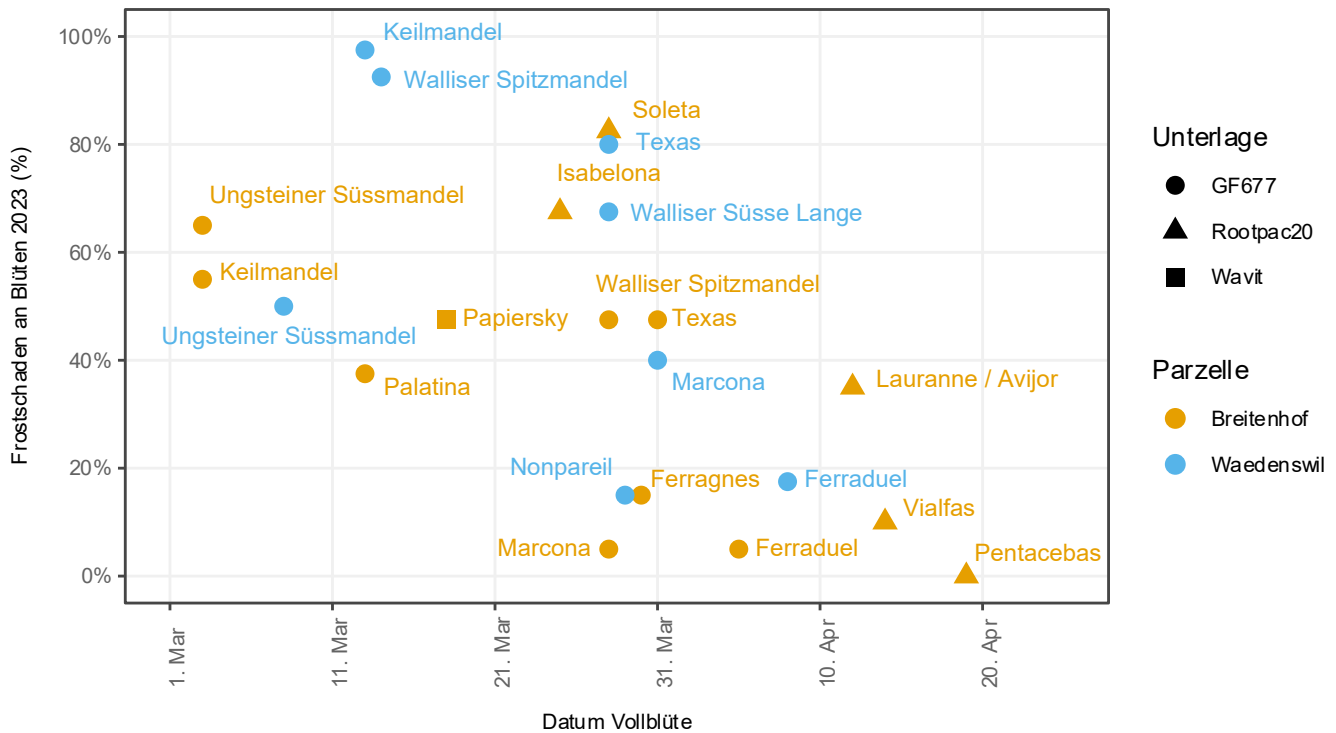


Abbildung 14: Anteil frostgeschädigter Blüten in Abhängigkeit vom Datum der Vollblüte am Breitenhof und in Wädenswil 2023.

Nachblütefruchtfall

Die Gründe für einen Nachblütefruchtfall sind vielfältig, Einfluss haben z.B. Frostereignisse, fehlende Befruchtung, physiologisches Ungleichgewicht oder Krankheiten wie Monilia. In der Sortenprüfung war der Fruchtfall generell hoch, ähnlich wie auf Schweizer Praxisbetrieben. 2023 wurden am Breitenhof alle Blüten sowie die Früchte zur Ernte gezählt, wobei sich bei den meisten Sorten über 90 % der Blüten nicht zu Früchten entwickelten. Aussagekräftige Sortenunterschiede konnten bislang nicht quantifiziert werden. Sie sind vermutlich aufgrund variierender Spätfrostereignisse und Befruchtungsbedingungen während der Blüte immer weniger stark ausgeprägt als Unterschiede zwischen verschiedenen Jahren.

Baumeigenschaften

Die Wuchsstärke der Bäume auf der Unterlage GF677 (Tab. 5) war sehr hoch und entsprach nicht dem gewählten Pflanzabstand in der Sortenprüfung (Abb. 15). Während Rootpac20 eine geringe Wuchsstärke zeigte, wies Wavit ein mittleres Wachstum auf. Unterschiede zwischen den Sorten auf GF677 waren vorhanden, jedoch nicht von besonderer Bedeutung. Die Pfirsichmandeln (Zürichmandel, Ingrid, Robijn) erwiesen sich im zweiten Standjahr als die wüchsigsten Sorten, während die Dürkheimer Krachmandel im ersten Standjahr deutlich schwächer wuchs, später jedoch aufholte. Grössere Unterschiede zeigten sich zwischen den Pflanzzeitpunkten: Sorten, die im Herbst 2021 gepflanzt wurden, wuchsen insgesamt kräftiger als jene, die im Frühjahr 2023 gepflanzt wurden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Boden vor der Herbstpflanzung 2021 gefräst wurde, wodurch Stickstoff mobilisiert wurde, der bei der Pflanzung im Frühjahr 2023 nicht mehr in gleicher Menge verfügbar war.



Abbildung 15: Mandelbäume auf der Unterlage GF677 im zweiten (!) Standjahr am Steinobstzentrum Breitenhof 2023

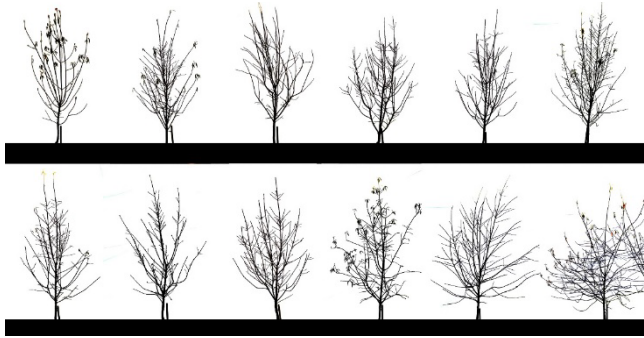


Abbildung 16: Wuchsform verschiedener Mandelsorten auf GF677 am Breitenhof nach dem 2. Standjahr

In Wädenswil wurden die Mandelbäume in Drapeau-Form erzogen, erwiesen sich jedoch als wenig anpassungsfähig an diese Erziehungsform und bildeten zahlreiche senkrecht nach oben wachsende Neutriebe (Abb. 17). Im Vergleich zu Kirschen verzweigen sich Mandelbäume dichter, zudem ist die Apikaldominanz, sprich der Drang zu einem dominanten Mitteltrieb, stärker ausgeprägt. Dadurch führt ein starkes Triebwachstum der Wasserschosse zu Kraftverlust in den Leitästen. Ein Sommerschnitt könnte das Wachstum gezielt steuern, wurde jedoch aus Zeitgründen nicht durchgeführt. Die Belaubungsdichte war insgesamt hoch und unterschied sich kaum zwischen den Sorten.



Abbildung 17: Mandel Sion auf einer Pfirsich-Sämlingsunterlage im 10. Standjahr (Törbel, VS)

Im Gegensatz zur Wuchsstärke variierte die Wuchsform zwischen den Sorten deutlich (Abb. 16). Während viele Sorten, darunter die Französischen «Ferra»-Sorten und Lauranne Avijor, einen sehr aufrechten Wuchs entwickelten, bildeten Sorten wie die Walliser Spitzmandel oder Aï überhängende Triebe und wuchsen buschförmig. Für die Erziehung als Gobelet (siehe Kapitel 3.4) sind aufrecht wachsende Sorten besser geeignet. Überhängende Sorten sind weniger für die maschinelle Ernte mit Schüttlern geeignet, könnten jedoch für andere Anbausysteme von Interesse sein.



Abbildung 18: Die Wuchsstärke der Unterlage GF677 war zu stark für die Erziehung der Mandeln im Drapeau.

Einige Sorten zeigten eine ausgeprägte Tendenz zur Verkahlung im unteren Baumbereich, insbesondere die Mandel Sion, Tenero, Texas und die Dürkheimer Krachmandel. Auch auf Praxisbetrieben wurde beobachtet, dass ältere Bäume der Mandel Sion (Abb. 18) und Texas stark verkahlen und im unteren Bereich kein produktives Fruchtholz mehr ausbilden.

Die Tendenz zur Verkahlung scheint bei Mandeln die kritischste Baumeigenschaft zu sein (Tab. 5). Ob sich bestimmte Sorten aufgrund anderer Merkmale als ungeeignet erweisen, wird erst langfristig durch weitere Beobachtungen deutlich werden.

Tabelle 5: Baumeigenschaften verschiedener Mandelsorten am Breitenhof, erhoben im 2. Standjahr. Die Tendenz zur Verkahlung ist der kritischste Parameter für die Bewertung der Eignung. Rot = kritisch, gelb = evtl. kritisch.

Kategorie	Sorte	Unterlage	1. Standjahr	Verkahlung	Wuchsform	Wuchsstärke
Verkahlung kritisch	Mandel Sion	GF677	2022	7	4	8
	Tenero	GF677	2022	7	3	6
	Texas	GF677	2022	6	4	7
	Dürkheimer Krachmandel	GF677	2022	6	3	5
Wuchsform kritisch	Walliser Spitzmandel	GF677	2022	1	7	7
	Zürichmandel	GF677	2022	2	6	9
	Aï	GF677	2023	1	6	8
Wuchsstärke evtl. kritisch	Ingrid	GF677	2023	1	5	9
	Robijn	GF677	2023	1	5	9
Keine	Ferragnes	GF677	2022	1	3	8
	Ferraduel	GF677	2022	1	3	8
	Palatina	GF677	2022	5	5	7
	Keilmandel	GF677	2022	3	4	7
	Ferrastar	GF677	2022	2	3	7
	Nonpareil	GF677	2022	1	5	7
	Ungsteiner Süssmandel	GF677	2022	1	5	7
	Isabelona	GF677	2023	1	5	7
	Marcona	GF677	2023	1	4	7
	Soleta	GF677	2023	1	4	7
	Princesse	GF677	2022	3	5	6
	Pentacebas	GF677	2023	2	4	6
	Vialfas	GF677	2023	1	4	6
	Walliser Süss Lange	GF677	2022	1	3	6
	Lauranne Avijor	GF677	2023	1	3	5
	Ardéchoise	GF677	2023	3	4	4
	Papiersky	Wavit	2022	1	4	4

Blattkrankheiten

Im Oktober 2023 und 2024 wurden die Blattkrankheiten Schrotschuss (Abb. 19) und Rost (siehe Kapitel 3.3.1) auf Mandelsorten am Breitenhof erfasst. Aufgrund der Pflanzenschutzstrategie waren die Schrotschuss Symptome gering und ohne praktische Relevanz, dennoch könnten weitere Beobachtungen Hinweise auf die Sortenanfälligkeit liefern. Der Rostbefall zeigte einen deutlichen Standorteffekt und war nicht aussagekräftig, der Schrotschussbefall hingegen folgte keinem erkennbaren Muster. Die Bonitur ermöglichte eine erste Einschätzung der Schrotschussanfälligkeit verschiedener Mandelsorten in der Nordwestschweiz (Abb. 20). Die Pfirsichmandeln erwiesen sich am Breitenhof tendenziell als robust, während auf einem Praxisbetrieb ein starker Befall auf Robijn beobachtet wurde. Ferraduel zeigte am Breitenhof und auf Praxisbetrieben eine höhere Anfälligkeit für Schrotschuss als Ferragnes und Ferrastar. Während die Walliser Spitzmandel am Breitenhof fast symptomfrei blieb, wurde sie im Wallis als anfällig eingestuft. Diese Vergleiche verdeutlichen, dass die relative Anfälligkeit standortabhängig ist und die Ergebnisse nicht allgemeingültig übertragen werden können.



Abbildung 19: Starker Schrotschussbefall auf der Sorte Robijn (Wettingen, ZH)

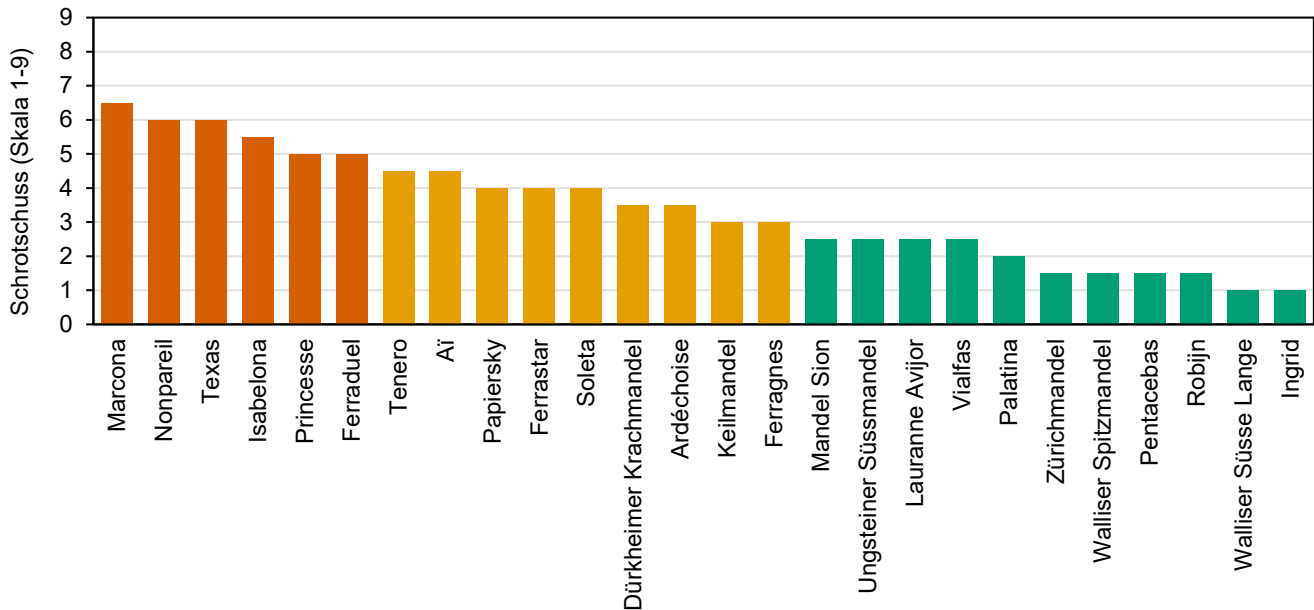


Abbildung 20: Durchschnittliche Bewertung des Schrotschuss-Befalls verschiedener Mandelsorten am Breitenhof in den Jahren 2023 und 2024. Rot (≥ 5) = tendenziell anfällig, gelb = unklar, grün (< 3) = tendenziell robust.

Ernteparameter

Die reifen Mandeln wurden regelmässig geerntet, getrocknet und analysiert. Der Erntezeitpunkt wurde im Feld zwischen Beginn und Ende des Schalenbruchs dokumentiert (Abb. 21) und in Monatsdrittel unterteilt (Anfang, Mitte, Ende). 2024 reiften Papiersky und Nonpareil als erste Sorten ab Ende August, während Texas erst Ende Oktober begann und nicht mehr vollständig ausreifen konnte. Die Kulturdauer von Texas ist für die Schweiz zu lang, ebenso wie in der Pfalz (mündl. Mitteilung Philipp Eisenbarth). Sorten auf der schwachen Unterlage Rootpac20 reiften schneller als auf GF677, was mit dem lichterem Wuchs erklärt werden kann. Ebenso kann der Erntezeitpunkt von Papiersky (auf Wavit) nicht mit den restlichen Sorten verglichen werden.

Die Reife einzelner Sorten verlief unterschiedlich schnell. Palatina sowie die Pfirsichmandeln Robijn, Ingrid und Zürichmandel reiften rasch ab, was vorteilhaft ist, da die geöffneten Früchte so kürzer am Baum verbleiben. Ab Ende September 2024 führte ein Kälteeinbruch zu einer starken Verzögerung der Reife der übrigen Sorten. Besonders lange dauerte die Reifeperiode von Ferragnes, Ferrastar und Ferraduel. Aï hatte noch kaum Früchte am Baum, weshalb die Daten nicht aussagekräftig sind. Lauranne Avijor trug auf der Unterlage GF677 noch keine Früchte.

Die Stein- bzw. Knackhärte der untersuchten Sorten variierte stark (Abb. 22). Papiersky und Nonpareil liessen sich mühelos von Hand öffnen, waren jedoch nahezu vollständig durch Vogelfrass beschädigt (siehe Kapitel 3.3.2). Am anderen Ende des Spektrums konnten Ferraduel und die Pfirsichmandeln nur mit erheblichem Kraftaufwand geknackt werden. Ein herkömmlicher Nussknacker war ungeeignet, während nur ein Schraubstock die Steine erfolgreich öffnete. Mittelharte Steine scheinen optimal zu sein. Die meisten Steine brachen unregelmässig, mit Ausnahme von Isabelona und Marcona, die sich sauber in zwei Hälften teilten.

Der «Crackout» bezeichnet den Anteil des Kerngewichts am Gesamtgewicht der Ernte einschliesslich Schale und ist ein entscheidender Faktor zur Schätzung der vermarktaren Menge. Nonpareil, Papiersky und Princesse wiesen die leichtesten Schalen auf und erzielten daher den höchsten Crackout. Die negative Korrelation zwischen Steinhärte und Crackout ist gut belegt (Socias i Company et al., 2017) und wurde durch die Beobachtungen am Breitenhof bestätigt. Ohne Berücksichtigung von Qualitätsverlusten ist der Crackout jedoch wenig aussagekräftig. In allen geknackten Stichproben hatte die Qualität erhebliche Auswirkungen auf den tatsächlich verwertbaren Ernteanteil.

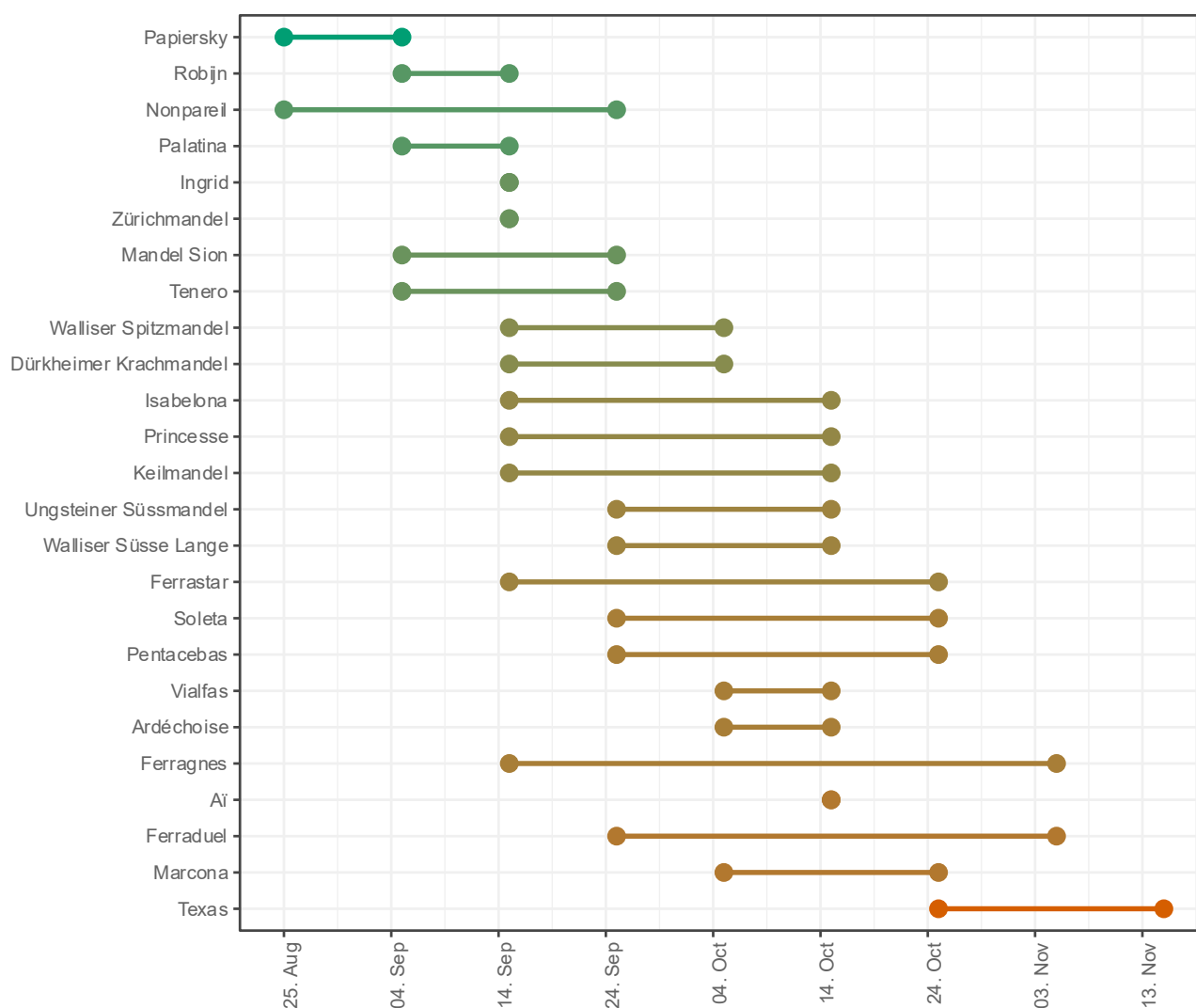


Abbildung 21: Schematische Darstellung des Erntezeitpunkts verschiedener Mandelsorten am Breitenhof 2024. Die Beobachtungen wurden für jedes Monatsdrittel (Beginn, Mitte, Ende Monat) festgehalten. Lesebeispiel: Erntezeitpunkt der Zürichmandel = Mitte September, Erntezeitpunkt von Marcona = Anfang bis Ende Oktober.

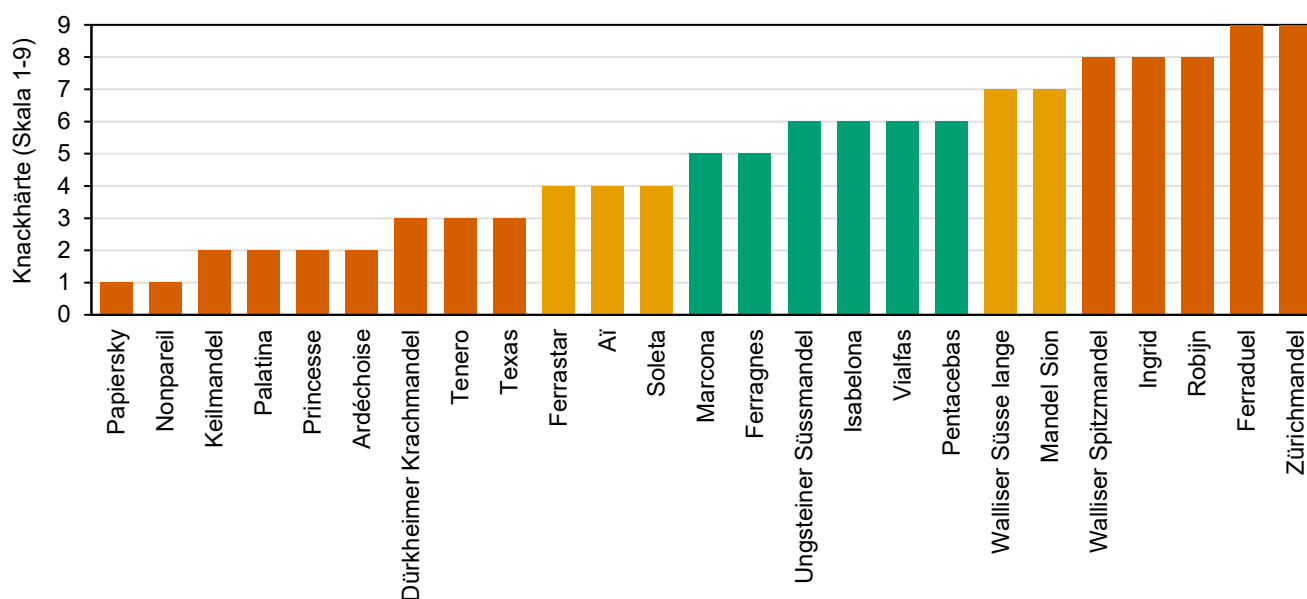


Abbildung 22: Knackhärte der Mandelsorten auf einer qualitativen Skala von 1-9 (1 = Von Hand ohne Druck, 3 = Von Hand mit Druck, 5 = Normaler Nussknacker, 7 = Hammer, 9 = Schraubstock)

Die Qualität der Mandeln, gemessen am verwertbaren Anteil in einer Stichprobe geknackter Steine, variierte stark zwischen den Sorten (Abb. 24). Die Zürichmandel, Princesse, Soleta, Pentacebas und Ferragnes wiesen die schlechteste Qualität auf. Mehr als 90 % der Kerne der Zürichmandel waren verschumpelt. Auch Ingrid, Robijn, Ungsteiner Süssmandel und Vialfas zeigten einen hohen Anteil verschumpelter Kerne. Princesse wies 90 % Doppelkerne auf, was zu deformierten Mandeln führte. Vogelfrass wurde bereits bei der Ernte aussortiert, trat aber dennoch bei Sorten in Erscheinung, die bereits im Feld einen hohen Ausschuss erzeugten. Insektenschäden wurden am Breitenhof nicht beobachtet.

Ferragnes, Pentacebas und Soleta wiesen einen hohen Anteil verpilzter Mandeln auf, meist erkennbar an kleinen schwarzen Flecken. Pilzbefall an Mandelkernen stellt einen besonders limitierenden Faktor dar (Abb. 23). Für die Direktvermarktung von Mandeln in der Schale, wie sie derzeit von den meisten Praxisbetrieben angestrebt wird, sind einwandfreie Qualitätsmerkmale essenziell. Die beste Fruchtqualität zeigten Marcona und Isabelona. Ihre Schale wirkte optimal „abgedichtet“ und liess sich, wie bereits erwähnt, am besten knacken. Dies könnte erklären, warum sie kaum Anzeichen von Pilzinfektionen und anderen Qualitätseinbussen aufwiesen.

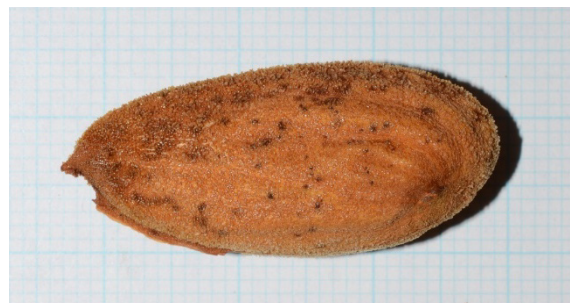


Abbildung 23: Pilzinfektionen auf einer Mandel. Trotz schneller Trocknung traten Qualitätseinbussen auf.

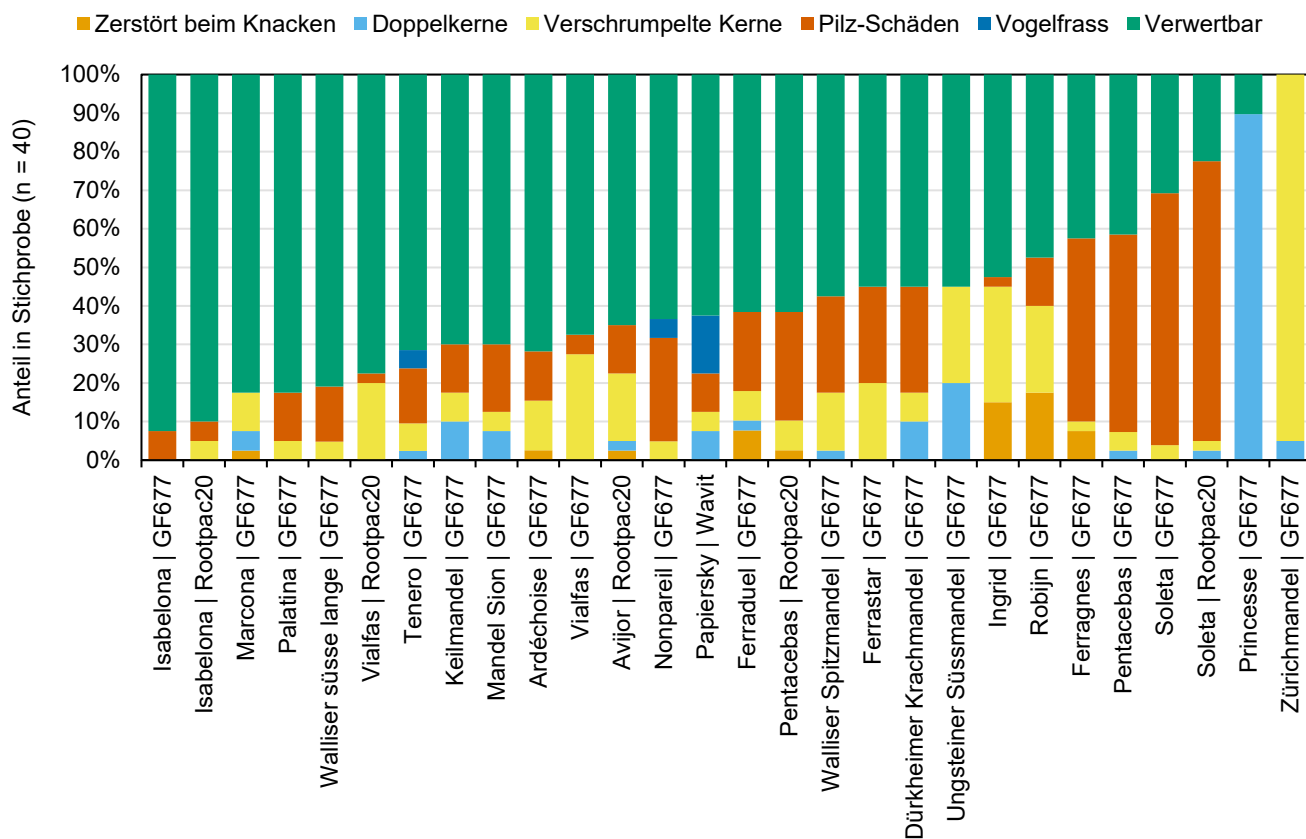


Abbildung 24: Qualität der Mandelernte 2024 am Breitenhof, basierend auf dem Anteil verwertbarer Kerne und der Kategorisierung des Ausschusses (Stichprobe: 40 Mandeln pro Sorte und Unterlage). Texas und Aï wiesen nicht genügend Kerne für eine Auswertung auf

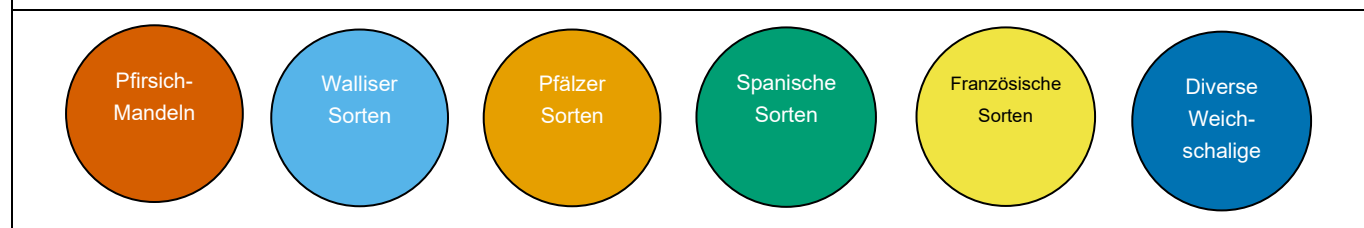
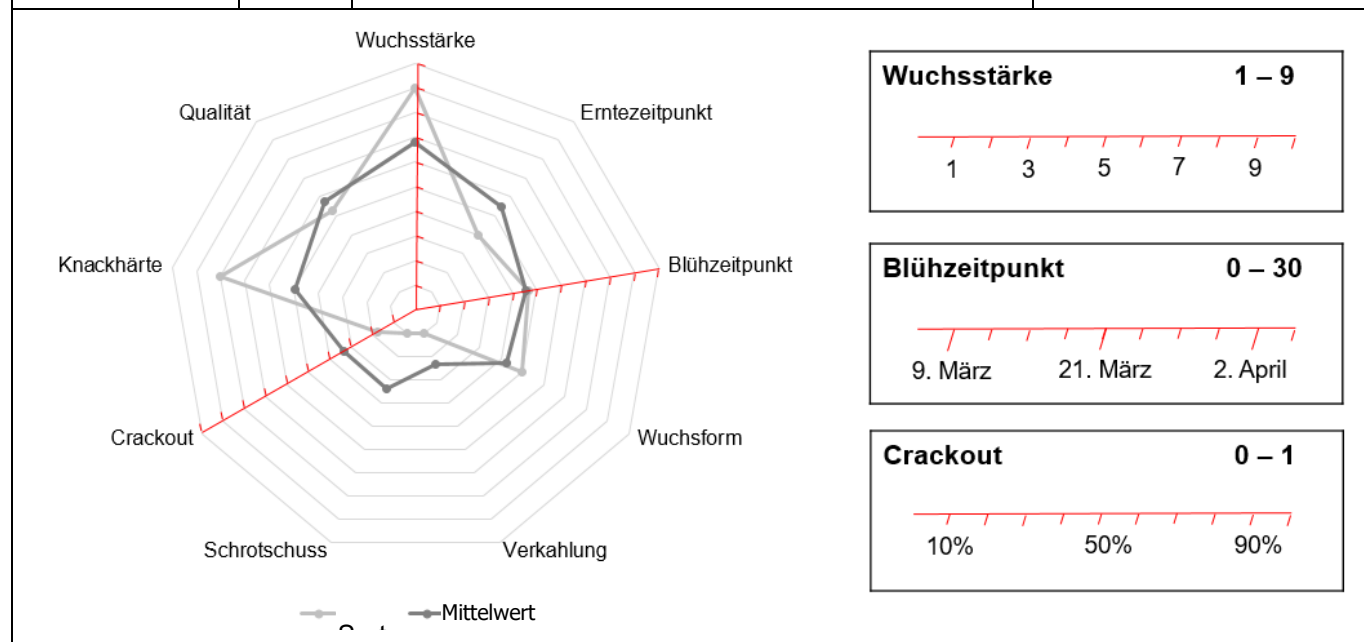
Marcona und Isabelona scheinen anhand der Qualitätsmerkmale interessante Kandidatinnen für eine Qualitätsproduktion zu sein, sind aber beide anfällig für Schrotschuss. Marcona reift erst sehr spät im Herbst und könnte in kälteren Jahren eventuell nicht ausreifen. Eine abschliessende Beurteilung der Sorten ist erst nach mehrjährigen Beobachtungsreihen möglich und sollte noch nicht vorgenommen werden.

3.1.2 Sortenportraits

Dieses Kapitel bietet einen Überblick über die Eigenschaften der beobachteten Mandelsorten mit Fokus auf den Resultaten des Steinobstzentrums Breitenhof. Ausgewählte Parameter werden mit dem Durchschnitt aller Sorten verglichen, um Extreme zu identifizieren. Die gewählte Darstellungsform illustriert den Gesamteindruck der Sorte (Tab. 6). Auf den nächsten Seiten folgen die Sortenportraits.

Tabelle 6: Portraits der Mandelsorten am Steinobstzentrum Breitenhof (Parameter, Skala, Einheit, Datengrundlage). Die mittlere Grafik veranschaulicht schematisch, wie die Bewertungsdarstellung zu interpretieren ist und die Gruppierungen der Sorten sind in der unteren Grafik aufgelistet. Auf den nächsten Seiten folgen die Sortenportraits.

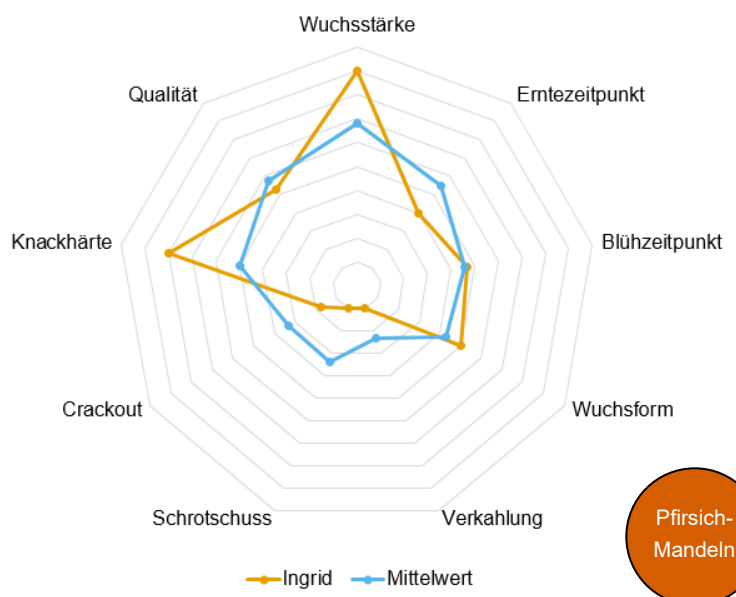
Parameter	Skala	Einheit	Datengrundlage
Blühzeitpunkt	0 – 30	0 = 6. März / 30 = 5. April	Datum Vollblüte 2024
Wuchsstärke	1 – 9	3 = schwach, 5 = mittel, 7 = stark	Bonitur 2. Standjahr
Wuchsform	1 – 9	3 = aufrecht, 5 = breitwüchsig, 7 = überhängend	Bonitur 2. Standjahr
Verkahlung	1 – 9	3 = schwach, 5 = mittel, 7 = stark	Bonitur 2. Standjahr
Schrotschuss	1 – 9	3 = schwach, 5 = mittel, 7 = stark	Herbst 2023 + 2024
Erntezeitpunkt	1 – 9	3 = Anfang Sep, 5 = Ende Sep, 7 = Mitte Okt	Ernte 2023 + 2024
Knackhärte	1 – 9	1 = von Hand, 5 = Nussknacker, 9 = Hammer	Ernte 2023 + 2024
Crackout	0 – 1	Kerngewicht / Fruchtgewicht total (%)	Ernte 2024 (n = 40)
Qualität	0 – 1	Anteil verwertbarer Kerne (%)	Ernte 2024 (n = 40)



Ingrid

Herkunft: Skandinavien (?)

- Steine kaum knackbar
- Pfirsichmandel mit bitteren Kernen
- Dunkelrosa Blüte (einjähriges Holz)
- Bisheriges Fazit: Zierbaum

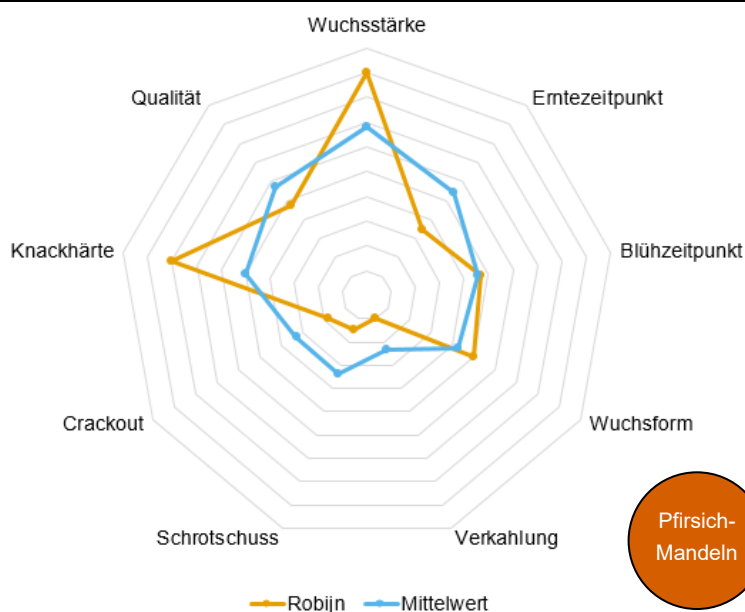


Pfirsich-Mandeln

Robijn

Herkunft: Niederlande

- Steine kaum knackbar
- Pfirsichmandel mit bitteren Kernen
- Dunkelrosa Blüte (einjähriges Holz)
- Praktisch identisch zu Ingrid

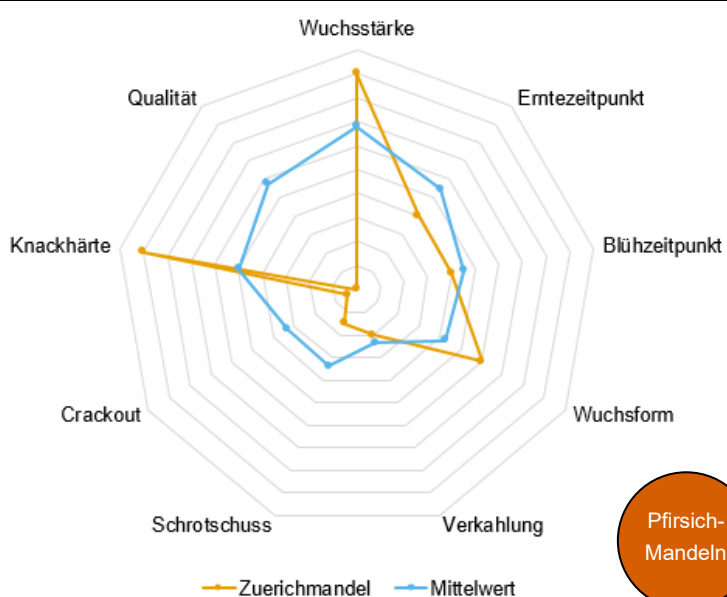


Pfirsich-Mandeln

Zürichmandel

Herkunft: Schweiz (Zürich)

- Höchste Blühstärke aller Sorten
- Sehr tiefer Fruchtansatz (bitter)
- Blass-rosa Blüte (einjähriges Holz)
- Bisheriges Fazit: Zierbaum

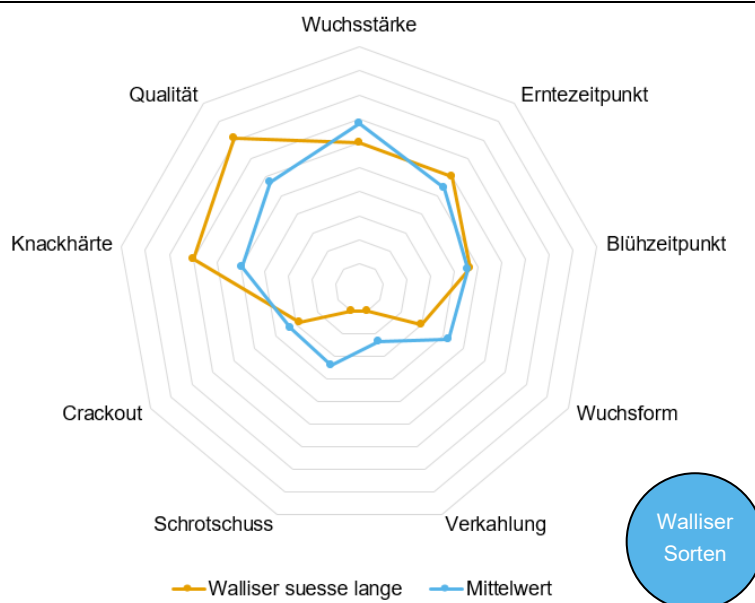


Pfirsich-Mandeln

Walliser Süsses Lange

Herkunft: Schweiz (Wallis)

- Bisher tiefer Fruchtansatz
- Ziemlich kleiner, harter Stein
- Gute Qualität der Kerne
- Gesunder Baum

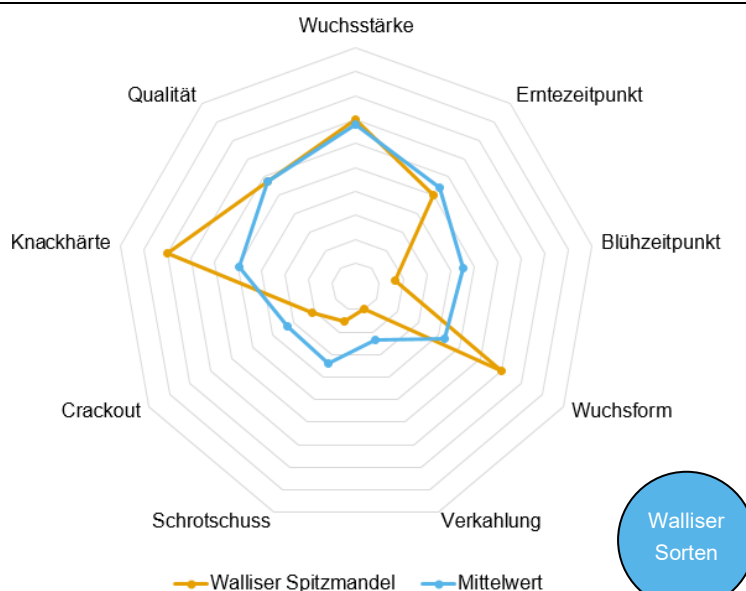
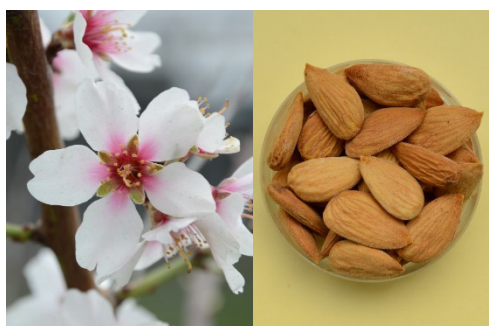


Walliser
Sorten

Walliser Spitzmandel

Herkunft: Schweiz (Wallis)

- Sehr buschiger Wuchs
- Frühe Blüte
- Ziemlich harter Kern
- Eher anfällig auf Rost und Monilia

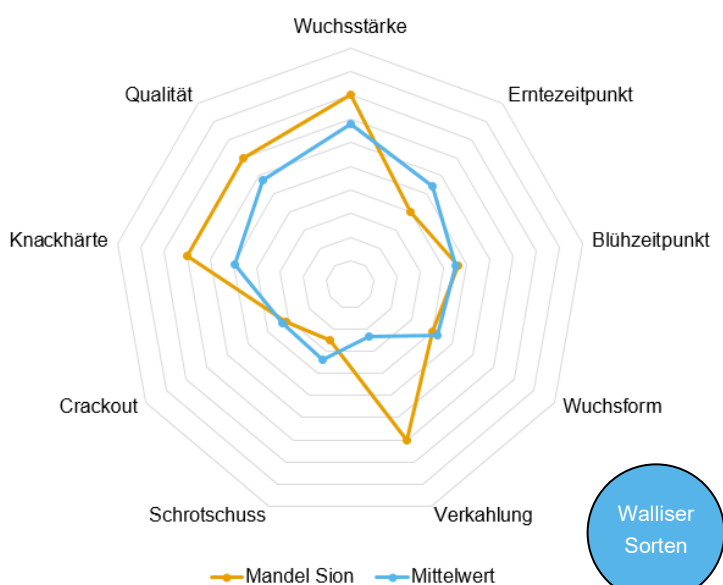


Walliser
Sorten

Mandel Sion

Herkunft: Schweiz (Wallis)

- Starke Tendenz zur Verkahlung
- Schwierig in der Erziehbarkeit
- Gute Schalenlösbarkeit, frühe Ernte
- Gute Qualität

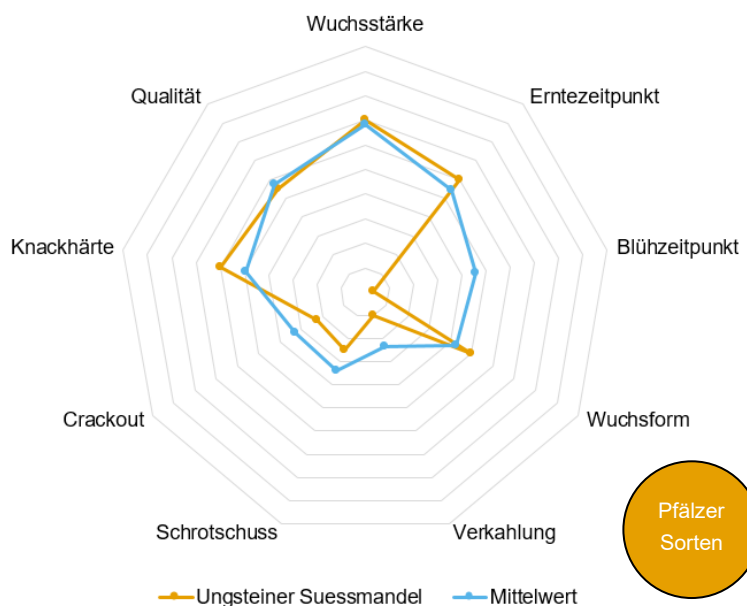


Walliser
Sorten

Ungsteiner Süssmandel

Herkunft: Deutschland (Pfalz)

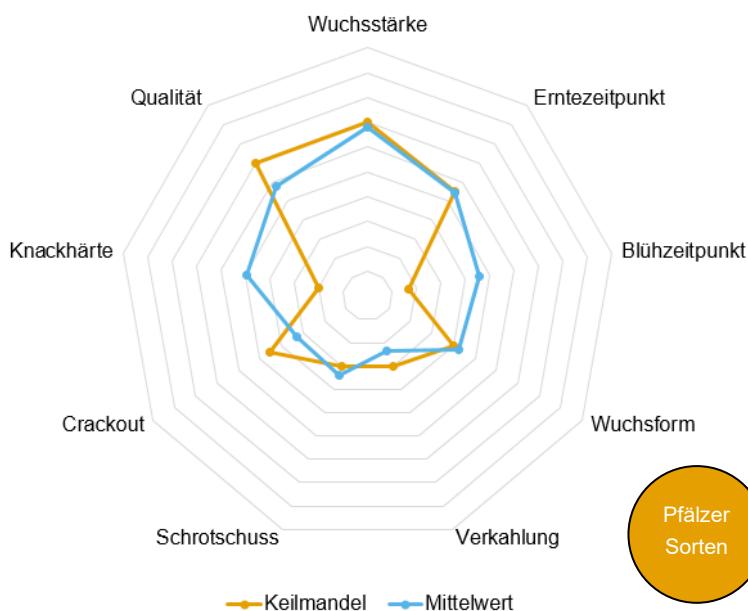
- Früheste Blüte aller Sorten
- Anfällig für Monilia / Rost
- Blattfall 2024 vor Fruchtreife
- Harter Stein



Keilmandel

Herkunft: Deutschland (Pfalz)

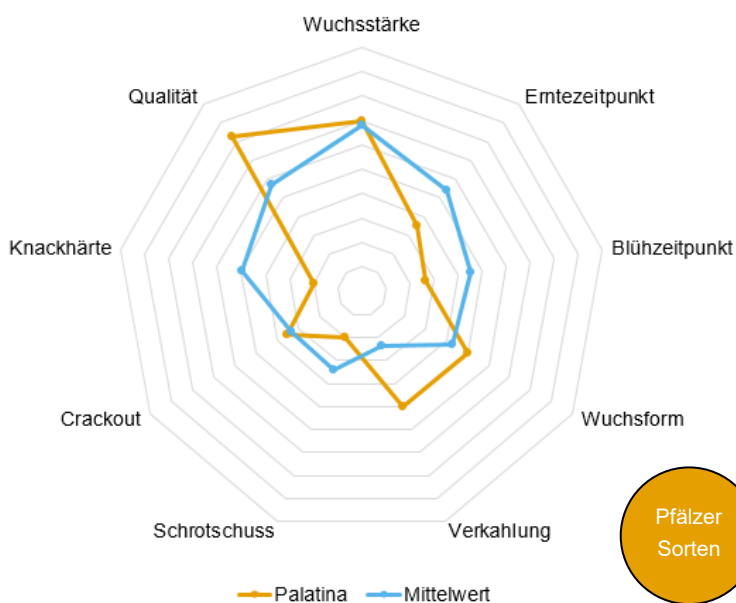
- Sehr frühe Blüte (nach Ungsteiner)
- Sehr dünne Schale
- Anfällig für Monilia
- Gute Qualität



Palatina

Herkunft: Deutschland (Pfalz)

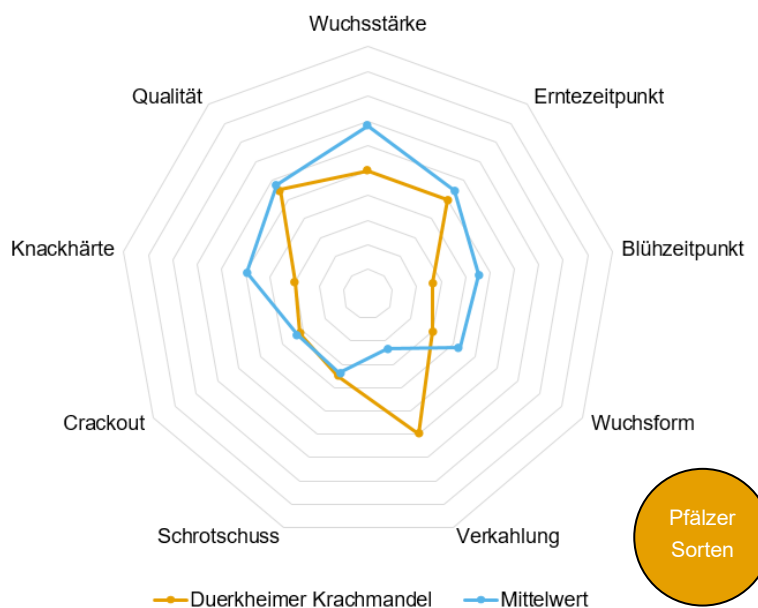
- Mittelfrühe Blüte
- Frühe Ernte, gleichmässige Reifung
- Gute Qualität
- Baum neigt leicht zur Verkahlung



Dürkheimer Krachmandel

Herkunft: Deutschland (Pfalz)

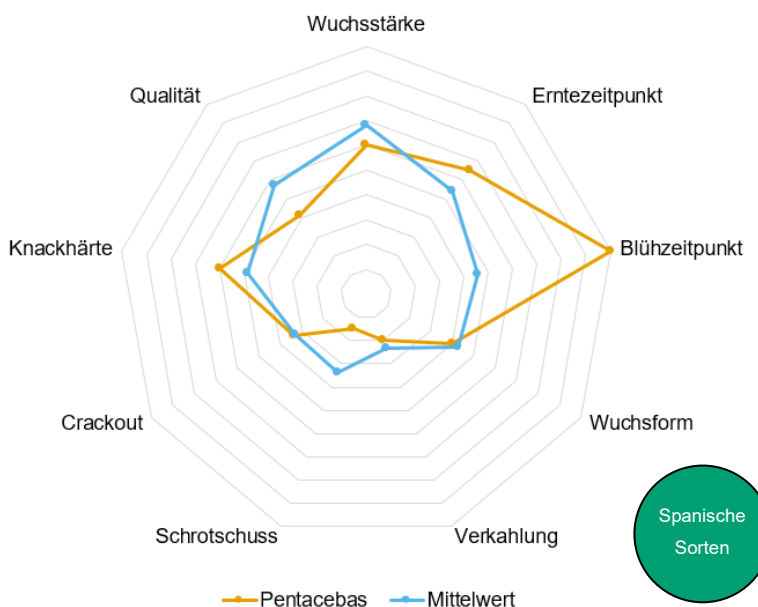
- Startschwierigkeiten (Wachstum)
- Sehr grosse Früchte
- Tendenz zur Verkahlung
- Bisher wenig Aussagekraft



Pentacebas

Herkunft: Spanien

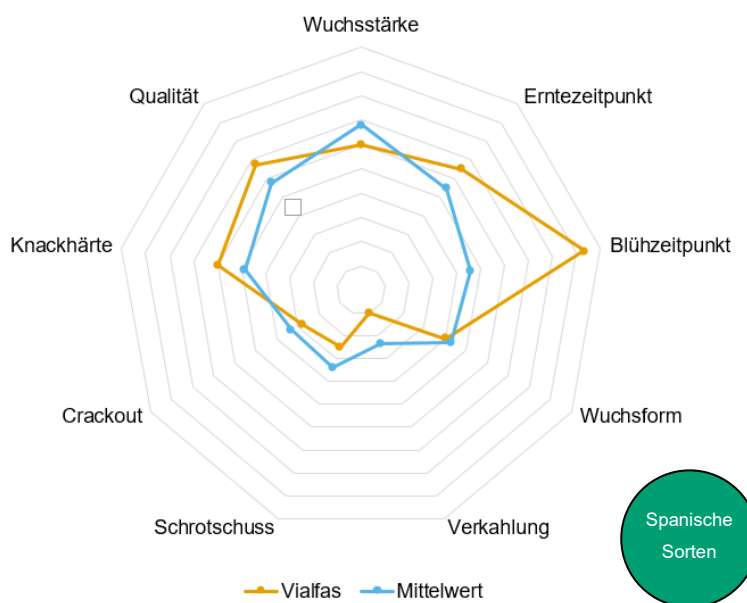
- Sehr späte Blüte (wie Kirschen)
- Harte Schale
- Tiefe Qualität (Pilzschäden)
- Kleiner Kern



Vialfas

Herkunft: Spanien

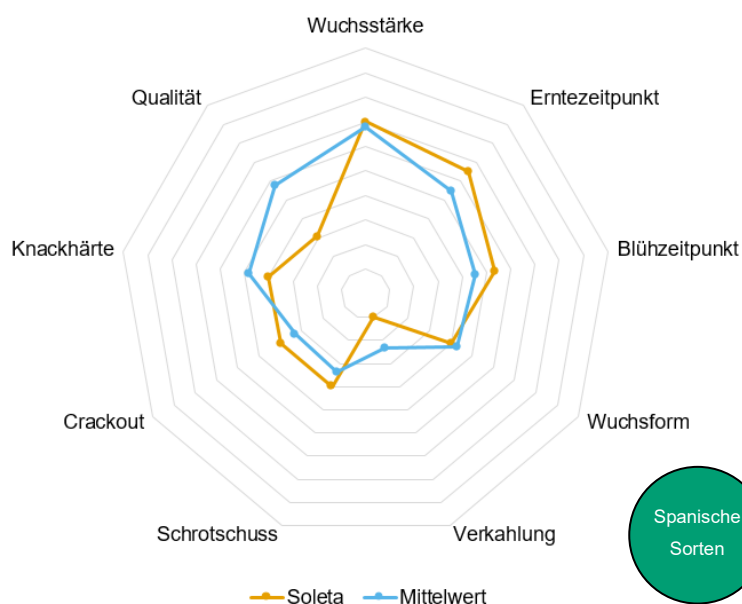
- Sehr späte Blüte, vor Pentacebas
- Späte Ernte
- Bessere Qualität als Pentacebas
- Interessante Mandelform



Soleta

Herkunft: Spanien

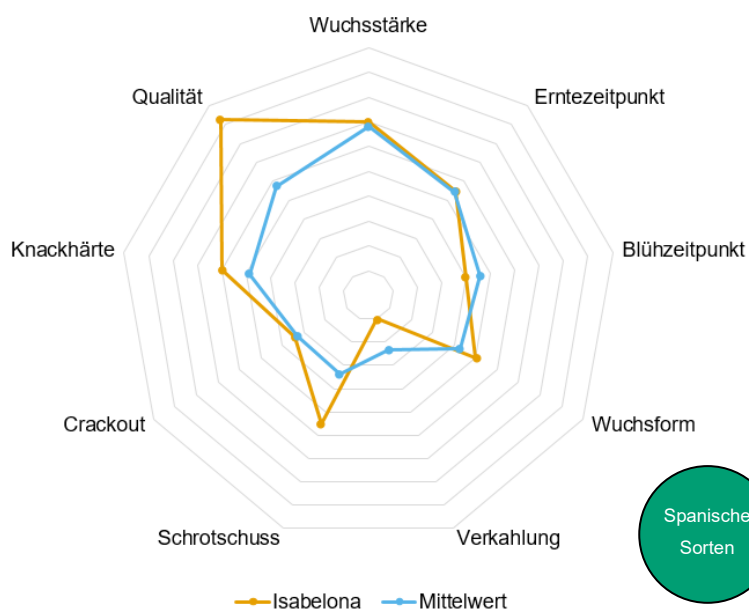
- Sehr tiefe Qualität (Pilzschäden)
- Dichter Wuchs
- Blattfall vor Ernte (Rost)
- Früchte ohne Schalenbruch



Isabelona

Herkunft: Spanien

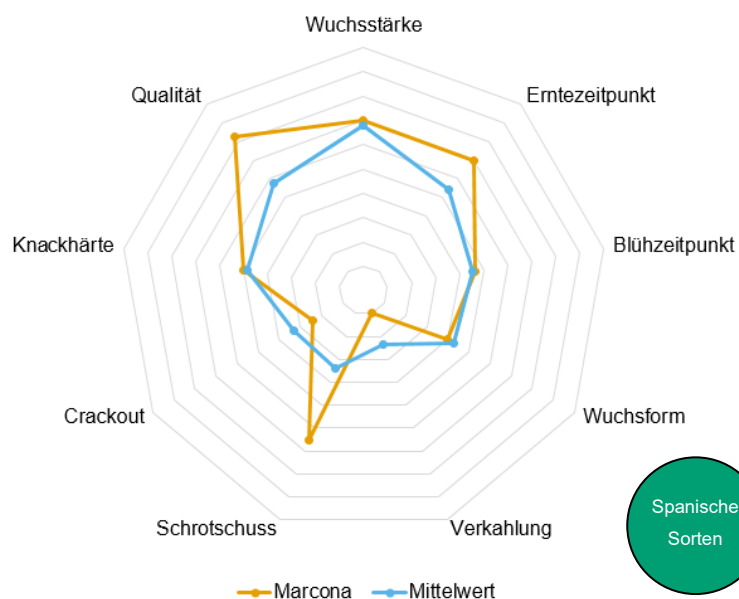
- Höchste Qualität am Breitenhof
- Gutes Knacken (sauberer Bruch)
- Dichter Wuchs, mittelfrühe Blüte
- Anfällig auf Schrotschuss



Marcona

Herkunft: Spanien

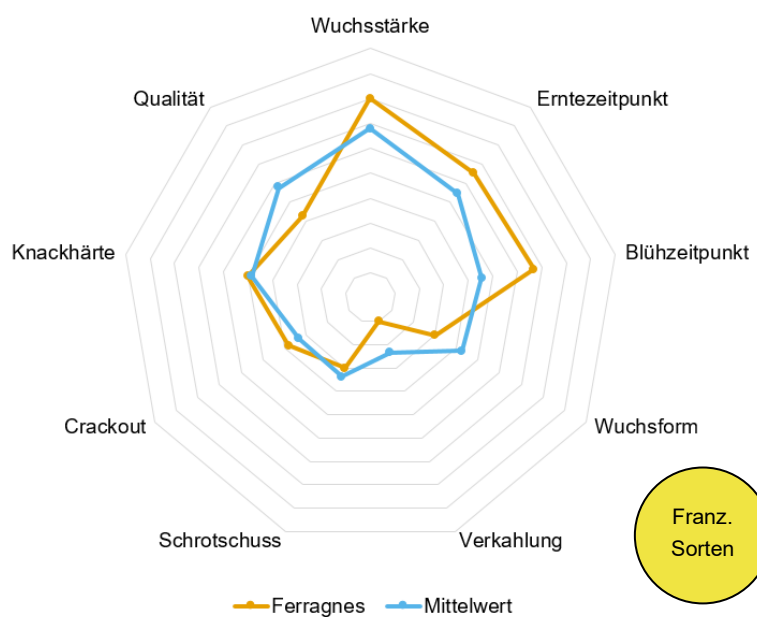
- Sehr hohe Qualität
- Allgemein ähnlich wie Isabelona
- Spezielle Blütenblätter
- Späte Ernte (Mitte – Ende Okt.)



Ferragnes

Herkunft: Frankreich (Hauptsorte)

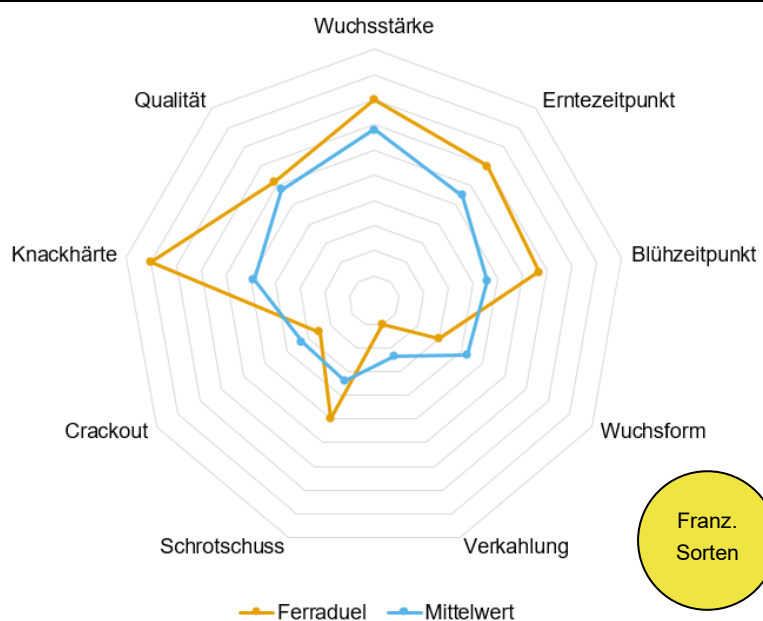
- Späte Blüte, späte Ernte
- Starker, aufrechter Wuchs
- Mittlere Knackhärte
- Bisher erstaunlich tiefe Qualität



Ferraduel

Herkunft: Frankreich

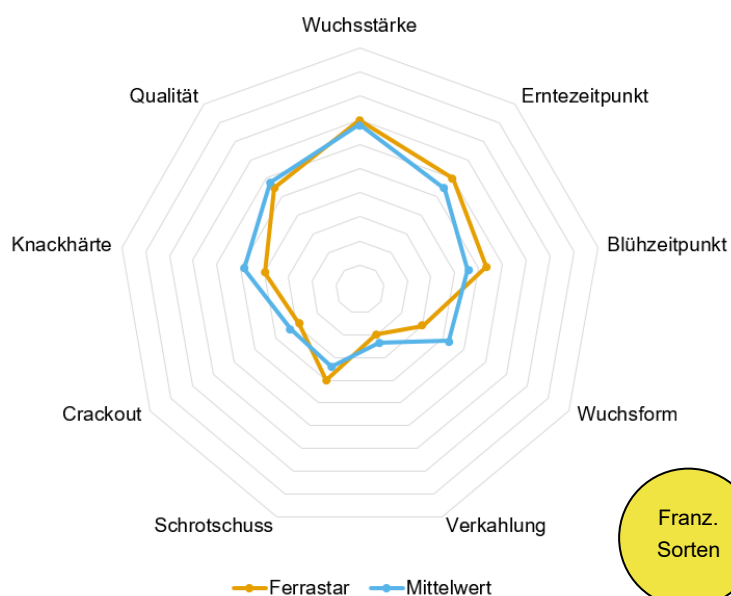
- Befruchter von Ferragnes
- Ähnlicher Habitus wie Ferragnes
- Sehr harter Stein (Schraubstock)
- Anfällig für Pilzkrankheiten



Ferrastar

Herkunft: Frankreich

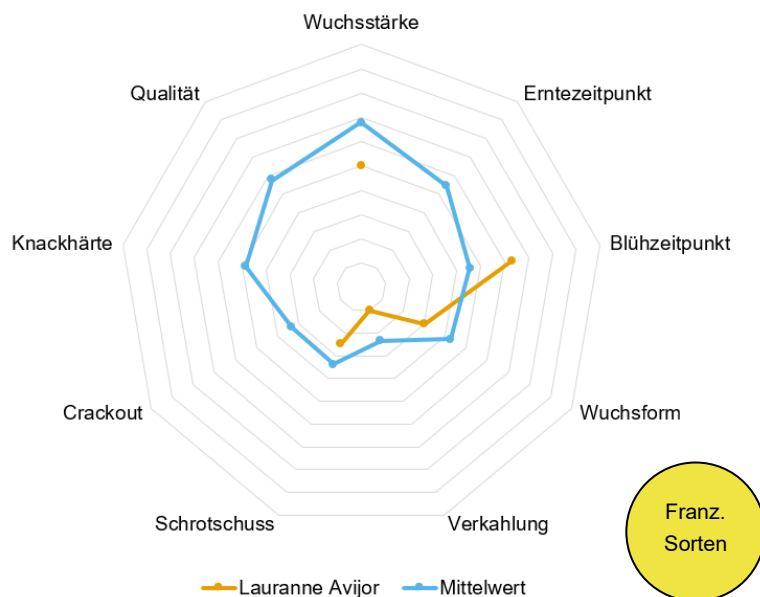
- Blüht etwas früher als Ferragnes
- Schwierig aus Schalen zu lösen
- Sehr aufrechter Wuchs
- Literatur: Alternanz



Lauranne® / Avijor

Herkunft: Frankreich

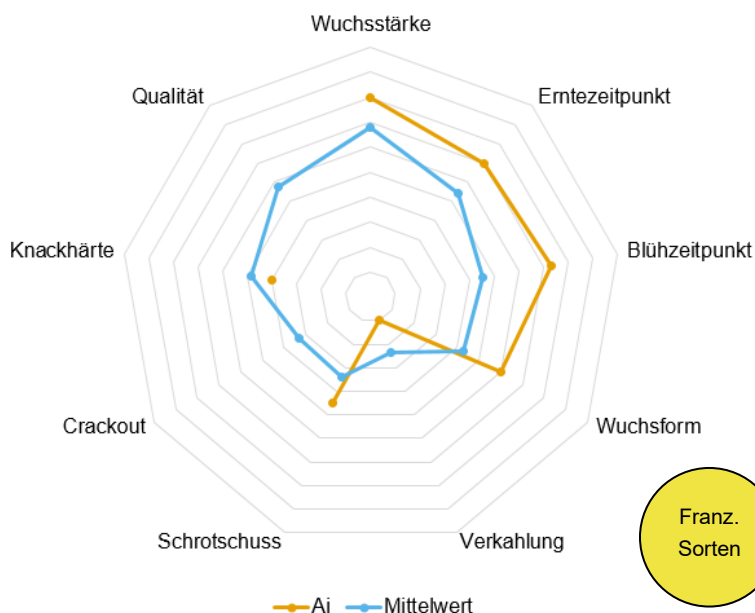
- Bisher nur Resultate auf Rootpac20
- Noch keine Aussagekraft
- Selbstfertile Sorte
- Literatur: Späte Blüte, Frühe Ernte



Aï

Herkunft: Frankreich

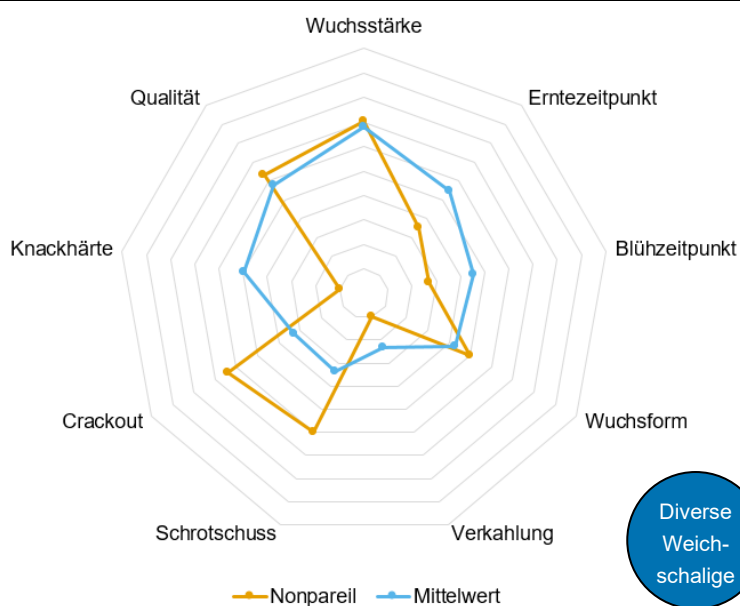
- Bisher in Sortenprüfung keine Ernte
- Noch keine Aussagekraft
- Praxis: Weichschalig, überhängend, späte Blüte, eher tiefe Qualität (Pilz)



Nonpareil

Herkunft: USA (Hauptsorte)

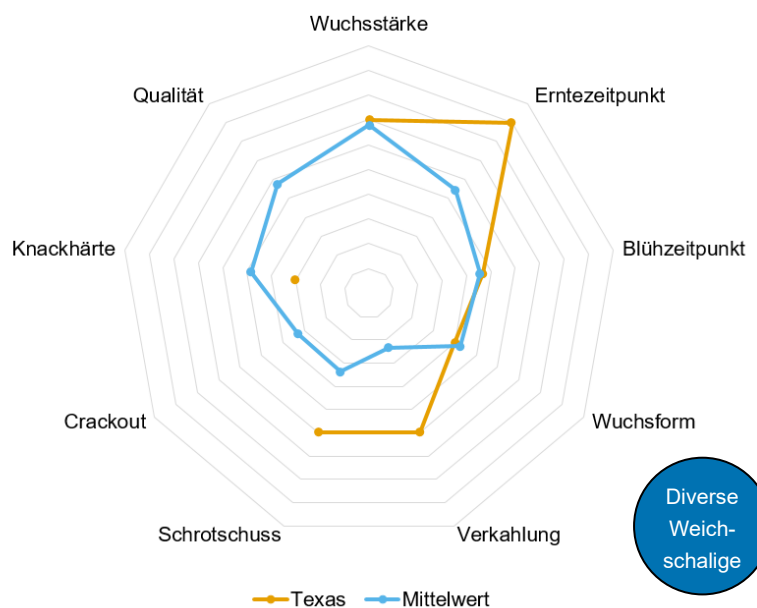
- Höchstes Crackout aller Sorten
- Krankheitsanfällig
- Sehr weichschalig
- Sehr starker Vogelfrass (>90%)



Texas

Herkunft: USA

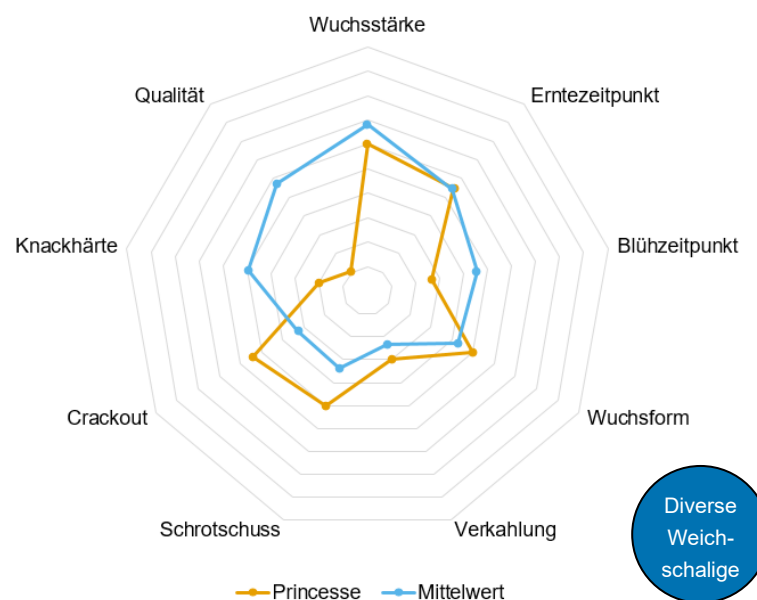
- Reifezeitpunkt ab November
- Kulturdauer für Schweiz zu lange
- Anfällig für Schrotschuss
- Neigung zur Verkahlung



Princesse

Herkunft: Frankreich

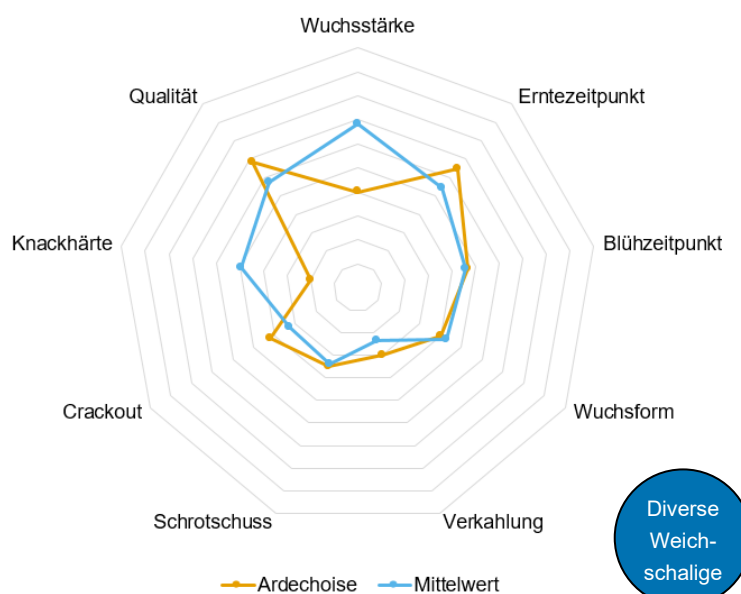
- Mittelfrühe Blüte
- Fast 90% Doppelkerne
- Eher anfällig für Pilzkrankheiten
- Starker Vogelfrass



Ardéchoise

Herkunft: Frankreich

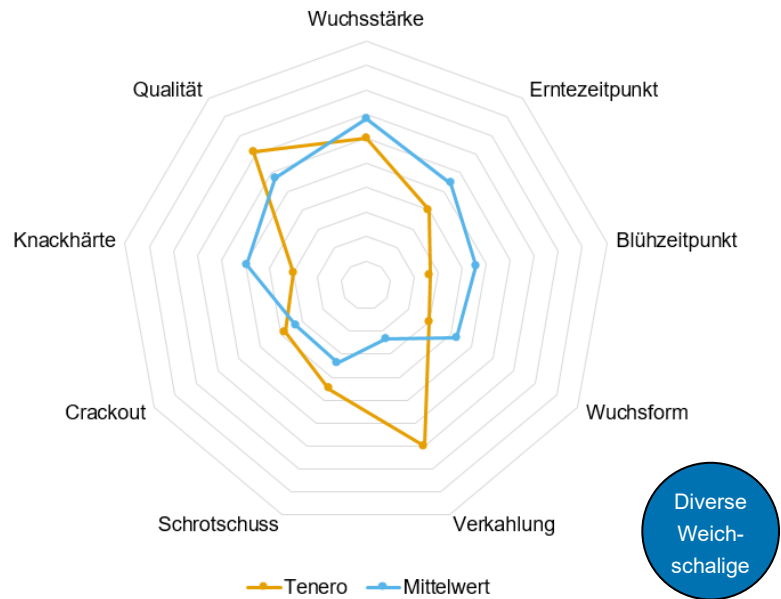
- Bisher wenig Aussagekraft
- Elternsorte von Ferragnes
- Relativ gute Qualität
- Geringe Wuchsstärke



Tenero

Herkunft: Italien (?)

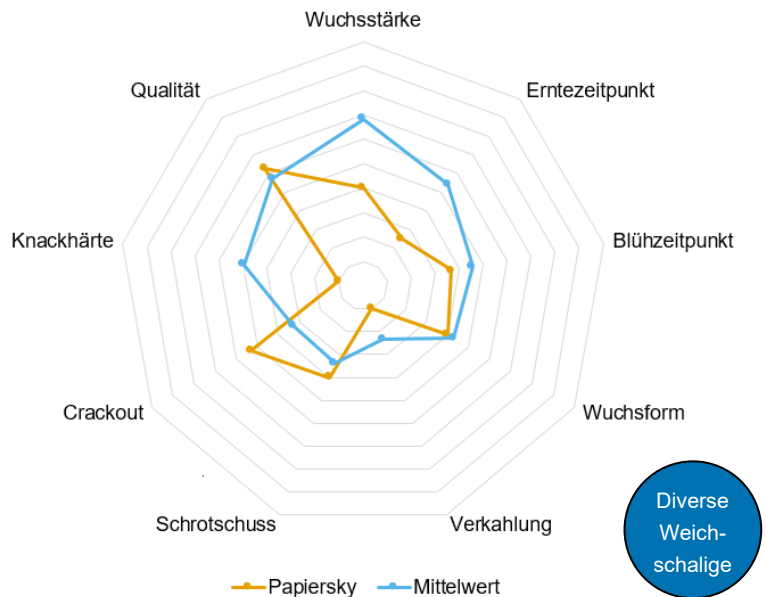
- Sehr sperriger Wuchs
- Starke Neigung zur Verkahlung
- Später Ertragseintritt, gute Qualität
- Vogelfrass



Papiersky

Herkunft: Tschechien (?)

- Einziger Baum auf Unterlage Wavit
- Resultate nicht vergleichbar
- Früheste Ernte aller Sorten
- Sehr starker Vogelfrass



Die Wahl der geeigneten Mandelsorte ist ein vielschichtiger Prozess. Obwohl das Projekt bereits erste Erkenntnisse liefern konnte, ist es für gut abgesicherte Empfehlungen noch zu früh. Ein entscheidender Faktor bei der Sortenwahl ist der Ertrag, der bisher jedoch noch nicht aussagekräftig ist, da die Bäume ihren Vollertrag voraussichtlich erst ab 2026 erreichen werden. Dennoch lassen sich bereits erste Tendenzen erkennen und einzelne Sorten ausschliessen. Die bisherigen Resultate können eine Orientierung bieten und zur Entscheidungsfindung bei der Sortenwahl beitragen. Schliesslich geht es um eine sorgfältige Abwägung zahlreicher Eigenschaften, die je nach Standort und Ziel der Mandelpflanzung variieren kann.

3.2 Standort- und Umweltfaktoren

Gemäss Interviews mit Expertinnen und Experten aus verschiedenen europäischen Ländern eignen sich für Mandelbäume insbesondere sandige Lehmböden mit guter Drainage in Regionen, in denen auch Aprikosen und Wein angebaut werden (Reutimann et al., 2020). Weiter wurde die klimatische Eignung für den Anbau von Mandeln im Schweizer Mittelland anhand von Niederschlags- und Temperaturdaten modelliert. Dabei zeigte sich für die Jahre 2040-2100 in zwei Klimaszenarien eine deutlich verbesserte Anbaueignung gegenüber der Referenzperiode 1981-2010 (Heinz et al., 2024).

Unsere Beobachtungen sollen eine erste Einschätzung verschiedener Standort- und Umweltfaktoren anhand Praxisbeobachtungen in der Schweiz ermöglichen und die Ergebnisse in Hinblick auf zukünftige Entwicklungen einordnen. Wesentlich ist dabei nicht nur die Standorteignung für ein generelles Wachstum der Bäume, sondern auch die Eignung zur Erwirtschaftung eines zufriedenstellenden Ertrags. Da die Pflanzungen im Betriebsnetzwerk häufig erst wenige Jahre alt sind, liegen hierzu bislang noch keine belastbaren Daten vor. Künftig können Beobachtungen im Netzwerk jedoch wertvolle Hinweise zur Standortwahl für den Mandelanbau liefern.

Boden

Die Empfehlung zur guten Drainage wurde durch Beobachtungen auf Praxisbetrieben bestätigt. Der entscheidende Bodenfaktor bei der Parzellenwahl ist Staunässe: Für den Mandelanbau sind vernässte Flächen ungeeignet und können zu Totalausfällen von Neupflanzungen führen. Gemäss Erfahrungen aus Frankreich sind sandige Lehmböden mit einem pH-Wert zwischen 6.5 und 8.5 optimal (Montagnon, 2023). Am Steinobstzentrum Breitenhof wuchsen die Bäume auf der Unterlage GF677 in tonigem Lehm Boden zwar sehr kräftig, jedoch bleibt abzuwarten, ob Mandeln auf solch schweren Böden auch langfristig gedeihen können.

Temperatur

Hinsichtlich der Temperatur gedeihen Mandelbäume in der Schweiz bereits in vielen Regionen, vom Tessin über das Mittelland bis in höhere Lagen des Wallis. In der Nordwestschweiz war die Kulturdauer lediglich für die spätreifende Sorte Texas eindeutig zu lang. Auf mehreren Praxisbetrieben in der Deutschschweiz wurde beobachtet, dass 2022 – nach dem relativ nassen und kühlen Jahr 2021 – Sorten mit längerer Kulturdauer wie Ferragnes oder Ferraduel keine Blüte ausbildeten. Blütenknospen werden bei Mandeln erst relativ spät im Jahr angelegt (Socias i Company et al., 2017), was darauf hindeutet, dass aktuell in manchen Jahren die Temperatursumme für Sorten mit langer Kulturdauer in der Deutschschweiz nicht ausreicht.

Frost

Spätfröste stellen beim Anbau von Mandeln ein deutlich grösseres Risiko dar als reine Temperaturanforderungen. Früh blühende Sorten (Abb. 25) können in der Pfalz in seltenen Fällen schon im Dezember mit der Blüte beginnen (mündl. Mitteilung Philipp Eisenbarth). Spätblühende Sorten sind zwar grundsätzlich weniger gefährdet, wie auch Beobachtungen in der Sortenprüfung zeigen, allerdings ist die «späte» Blüte relativ. Mittel- bis spätblühende Mandelsorten wie Lauranne oder Ferragnes liegen den Beobachtungen zufolge zeitlich zwischen der Aprikosen- und Kirschblüte. Wenn an einem Standort bereits Erfahrungen mit diesen Kulturen vorliegen, lässt sich das Frostrisiko besser abschätzen. Beispielsweise kann für das Steinobstzentrum Breitenhof in der Nordwestschweiz von einem hohen Frostrisiko für die meisten Mandelsorten ausgegangen werden.

In den vergangenen Jahrzehnten führten steigende Frühlingstemperaturen zu einer kontinuierlich früheren Blüte heimischer Obstarten (Neuwald & Büchele, 2022).

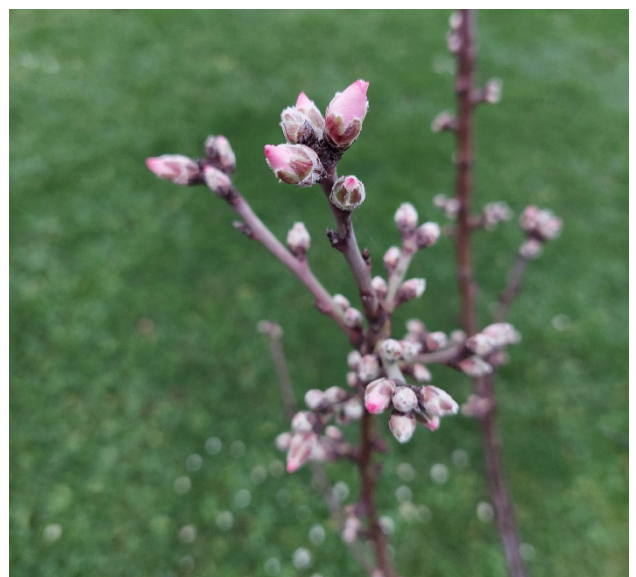


Abbildung 25: Keilmandel in Wädenswil am 09.01. 2023 kurz vor der Blüte. Eine Wärmeperiode im Dezember 2022 sorgte für einen Entwicklungsschub, der durch einen anschliessenden Kälteeinbruch gebremst wurde.

Gleichzeitig treten jedoch im März und April weiterhin regelmässig Frostnächte mit teils stark negativen Temperaturen auf, deren Häufigkeit im Mittel nicht abnimmt. Für den Mandelanbau in der Schweiz ist daher künftig mit einem höheren Frostausrisikozu rechnen. Da Frostschutzmassnahmen sehr kostenintensiv sind, hat die sorgfältige Standortwahl oberste Priorität. Grenzlagen bergen erhebliche Risiken und sollten ebenso wie Muldenlagen, in denen sich Kaltluft ansammeln kann, gemieden werden. Eine gute Durchlüftung in zugigen Lagen reduziert sowohl das Frost- als auch das Krankheitsrisiko. Nach Süden exponierte Hänge können hingegen zu einer verfrühten Blüte durch stärkere Einstrahlung im Winter führen.

Niederschlag

Mandelbäume können bereits bei einem Jahresniederschlag von rund 190 mm überleben, erzielen jedoch erst bei einem Wasserangebot von etwa 1400 mm pro Jahr ihre maximale Produktivität (Reutimann et al., 2020). Tritt nach der Blüte Trockenstress auf, kommt es häufig zu verschrumpelten Kernen und einem reduzierten Einzelkerngewicht. In trockenen Regionen, wie dem Wallis, ist daher in den meisten Jahren eine Bewässerung notwendig. Am Breitenhof hingegen war während des Projekts nur im Hitzesommer 2022 eine zusätzliche Wasserversorgung erforderlich. Künftige Klimaprognosen gehen von höheren Niederschlagsmengen im Winter, aber abnehmenden im Sommer aus (CH2018). Aufgrund zunehmender Sommertrockenheit ist somit davon auszugehen, dass Mandelbäume in der Schweiz, wie auch andere Obstkulturen, auf Bewässerung angewiesen sein werden, um zufriedenstellende Erträge zu liefern (Abb. 26).



Abbildung 26: Mandelbäume an verschiedenen Standorten in der Schweiz (v.l.n.r. Wallis, Zürcher Weinland, Wädenswil). Die Wasserverfügbarkeit kann je nach Standort und Jahr stark variieren. Bereits jetzt müssen Mandeln teilweise bewässert werden, um einen Ertrag zu erwirtschaften. In Zukunft ist davon auszugehen, dass eine Bewässerung für einen ansprechenden Ertrag essentiell ist.

Auch Pilzkrankheiten stehen in engem Zusammenhang mit der Niederschlagsmenge. Die kritischste Infektionsphase der wichtigsten Erreger, wie etwa Monilia, fällt in die Blütezeit im März und Anfang April. Klimamodellen zufolge könnte im Frühling der Niederschlag im Norden der Schweiz leicht zunehmen (CH2018), was auf einen steigenden Krankheitsdruck schliessen liesse. Bisherige Einschätzungen zur zukünftigen Eignung des Mandelanbaus in der Schweiz haben diesen Aspekt nicht berücksichtigt. Die Aussage, dass sich Mandeln in Gebieten eignen, in denen auch Aprikosen und Wein angebaut werden, muss hinsichtlich Pilzkrankheiten für Schweizer Verhältnisse präzisiert werden. In der Schweiz sind sowohl bei Aprikosen als auch bei Reben in allen Regionen des Landes Pflanzenschutzmassnahmen gegen Pilzkrankheiten – sowohl im Bio-Anbau als auch im Anbau nach ÖLN-Richtlinien – unerlässlich, um im Ertragsanbau erhebliche wirtschaftliche Ausfälle zu verhindern. Gleiches gilt anhand der Beobachtungen auf Praxisbetrieben auch für Mandeln.

3.3 Krankheiten & Schädlinge

3.3.1 Krankheiten

Monilia



Abbildung 27: Mit *Monilia* befallene Blüte (o. L.), stark befallener Trieb (o. R.), Krebsstelle mit Befall im Frühjahr (u. L.) und Fruchtmumie (u. R.)

Monilia sp. überwintert in Krebsstellen, eingetrockneten Trieben, Blüten und Fruchtmumien. Auf diesen befallenen Pflanzenteilen bildet sich im Folgejahr das Primär-Inokulum, das durch Wind und Regen verbreitet wird. Die Infektion beginnt ab dem Ballonstadium der Blüte, wobei offene Blüten am anfälligsten sind. Das Infektionsrisiko ist besonders hoch bei kalter, nasser Witterung und verzögerter Abtrocknung der Blüten.

Die Entfernung befallener Pflanzenteile ist entscheidend, um das Infektionsrisiko zu reduzieren. Fruchtmumien sollten sowohl vom Baum als auch vom Boden entfernt und befallene Zweige 20–30 cm ins gesunde Holz zurückgeschnitten werden. Standortwahl, Pflanzabstand, Schnitt und Formierung sollten so gestaltet werden, dass ein rasches Abtrocknen der Blüten begünstigt wird. Eine standortangepasste Düngung kann die Vitalität der Bäume erhöhen und *Monilia*-Infektionen verringern. Bei übermässiger Stickstoffdüngung wird die Anfälligkeit jedoch erhöht. Die Wahl robuster Sorten könnte das Risiko weiter minimieren, jedoch besteht hier noch eine Wissenslücke. In der Sortenprüfung erwiesen sich bisher vor allem früh blühende Sorten als anfällig. Beobachtungen auf Praxisbetrieben deuten darauf hin, dass französische «Ferra»-Sorten tendenziell anfällig sind. Ferraduel zeigte eine höhere Anfälligkeit als Ferrastar und Ferragnes.

Die Blüten- und Zweigdürre (Abb. 27), verursacht durch Pilze der Gattung *Monilia* sp., war in unseren Untersuchungen die bedeutendste Krankheit von Mandelbäumen. Die Infektion erfolgt hauptsächlich über die Blüte, insbesondere den Stempel, seltener über Staubbeutel und Blütenblätter. Von dort breitet sich der Pilz in den Blütenstiel aus, wodurch Blüte und Stiel vertrocknen (Blütendürre). In vielen Fällen dringt die Infektion weiter in die Triebe vor, was zu Harzfluss und Wucherungen führt. Befallene Zweige können von der Infektionsstelle bis zur Triebspitze absterben (Zweigdürre). Im Vergleich zu Kirschen, deren Blütenstiele länger sind und Infektionen häufig auf die Frucht beschränken, haben Mandeln kürzere Blütenstiele, wodurch der Pilz leichter ins Holz eindringen kann – ähnlich wie bei Aprikosen. Die Anfälligkeit von Mandeln für *Monilia* liegt nach bisherigen Beobachtungen zwischen der von Aprikosen und Kirschen. In ungünstigen Jahren können Bäume stark geschädigt werden (Abb. 28).



Abbildung 28: Stark geschädigter Mandelbaum (Ferragnes) nach Infektionen mit *Monilia* im nassen Frühjahr 2023

Der Befall in Praxisparzellen variierte, war im Durchschnitt jedoch hoch (Abb. 29). Einige Betriebe setzten zu Versuchszwecken Fungizide ein, die in der Schweiz für andere Steinobstkulturen zugelassen sind, wodurch der Befall auf einem akzeptablen Niveau gehalten werden konnte.

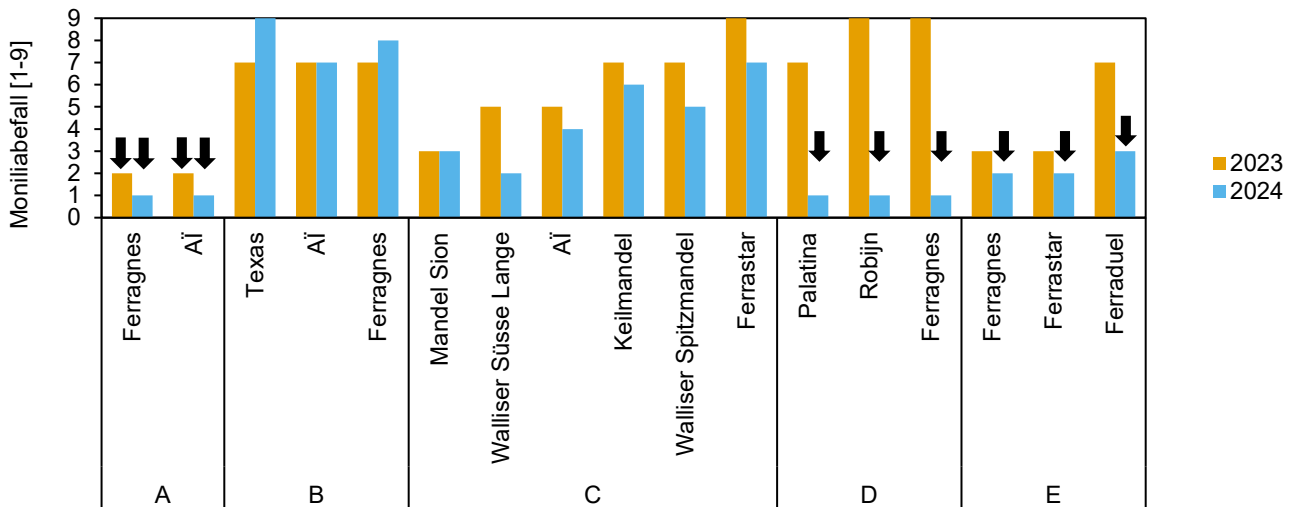


Abbildung 29: Monilibefall (Zweigdürre, bewertet von 1 = kein Befall bis 9 = sehr starker Befall) in Praxisparzellen (A-E). Pfeile signalisieren den Einsatz von Fungiziden zu Versuchszwecken, ohne dass die Ernte vermarktet wurde.

Schrotschuss

Der Schrotschuss (*Wilsonomyces carpophilus*) befällt austreibende Blätter, Früchte, Triebe und Knospen (Abb. 30). Typisch sind kreisförmige, rot-violette Läsionen, aus denen das abgestorbene Blattgewebe herausfällt, wodurch die charakteristischen Schrotschusslöcher entstehen. Auf den Früchten hinterlässt der Pilz verkorkte Läsionen, die den Mandelkern jedoch nicht beeinträchtigen. An einjährigen Trieben treten kreisförmige Läsionen auf, während starker Befall mehrjähriger Triebe Knospen zerstören und daher eine hohe Relevanz haben kann. Im Vergleich zu Kirschen, bei denen Schrotschuss häufig auftritt, aber keine Triebinfektionen verursacht, ist dieses Symptom der Krankheit bei Mandeln relevanter. Während Triebinfektionen in südlichen Ländern selten sind, traten sie auf allen untersuchten Schweizer Praxisbetrieben häufig auf.

Der Erreger überwintert in infizierten Trieben und Knospen. Im Frühjahr verbreiten sich die Konidien durch Regen, wodurch neue Infektionen der austreibenden Blätter begünstigt werden, insbesondere bei anhaltend feuchtem Wetter.

Ein optimaler Pflanzabstand, gezielter Schnitt und eine angepasste Baumform fördern ein rasches Abtrocknen der Blätter und reduzieren auch beim Schrotschuss das Infektionsrisiko. Resistente Sorten sind bisher nicht bekannt, und die Anfälligkeit einzelner Sorten ist noch nicht abschliessend geklärt. Erste Hinweise aus der Sortenprüfung deuten auf Unterschiede in der Anfälligkeit hin, stimmen jedoch nicht immer mit Beobachtungen auf Praxisbetrieben überein.



Abbildung 30: Schrotschuss auf Blättern (o.l.), Früchten (o.r.), sowie verschiedenen Stadien des Befalls auf Trieben und Knospen (m., u.) Triebinfektionen mit Schrotschuss am zwei- und mehrjährigen Holz waren auf allen Betrieben häufig.

Rost

Rost (*Tranzschelia discolor* f. sp. *dulcis*) zeigt sich im Frühjahr und Sommer durch grün-gelbe Flecken auf den Blättern. Im Spätsommer bilden sich orange-braune Pusteln auf der Blattunterseite (Abb. 31), die bei starkem Befall zu vorzeitigem Blattfall führen können. Der Erreger weist einen besonderen Lebenszyklus auf, bei dem *Anemone coronaria* als Alternativwirt dient. Eine asexuelle Vermehrung ist jedoch direkt auf Mandeln möglich. Die Infektion der Blätter kann unter verschiedenen klimatischen Bedingungen erfolgen. Bisher wurde Rost nur an wenigen Standorten beobachtet, dort jedoch mit teilweise starkem Befall.



Abbildung 31: Rostbefall auf der Mandelblattunterseite



Abbildung 32: Kräuselkrankheit auf Zürichmandel (l.) vs. Pfirsich

Kräuselkrankheit

Die Kräuselkrankheit (*Taphrina deformans*) verursacht rot-grün-weiße Verformungen an den Blättern, betrifft jedoch hauptsächlich Pfirsich-Mandeln wie die Zürichmandel, Robijn und Ingrid. Infektionen finden sehr früh im Jahr beim Austrieb statt. Theoretisch kann es bei starkem Befall zu Triebstauchungen kommen, was insbesondere in Junganlagen problematisch sein könnte. Im Vergleich zu Pfirsichen blieb der Befall jedoch nach bisherigen Beobachtungen gering (Abb. 32) und hat keine relevante wirtschaftliche Bedeutung.

Valsa

Im Frühsommer 2024 wurden abgestorbene Triebe (Abb. 33) von Mandeln in der Sortenprüfung am Breitenhof auf Erreger untersucht, wobei verschiedene Isolate identifiziert wurden. Dieselben Symptome wurden auch in Wädenswil und auf einem Praxisbetrieb beobachtet. Die Infektion wurde vermutlich durch Pilze der Gattung *Valsa* sp. verursacht, die auch Zwetschgen befallen können. Die Symptome ähneln stark denen von *Fusicoccum amygdali* (neuere Bezeichnung *Diaporthe amygdali*), der Hauptkrankheit im französischen Mandelanbau (Fraisie et al., 2016). Bisher traten solche Symptome nur vereinzelt auf. Sollte das Triebsterben zunehmen, wäre eine genauere Untersuchung erforderlich, um *Fusicoccum* als mögliche Ursache erneut auszuschliessen.



Abbildung 33: Triebwelke auf Mandeln mit dunkler Läsion an der Triebbasis und späterem Austrocknen von Trieben.

Fruchtfäulen

Das aussergewöhnlich nasse Jahr 2024 führte zu einem verstärkten Auftreten von Fruchtfäulen kurz nach der Blüte, im Sommer und zur Ernte (Abb. 34). Die Hauptverursacher von Fruchtfäulen sind *Botrytis cinerea*, *Monilia* sp. und *Sclerotinia sclerotiorum*. Mit trockeneren Sommern wird die Relevanz in Zukunft abnehmen. Bisherige Beobachtungen zeigen, dass weichschalige Sorten eher anfällig sind, wobei Nonpareil besonders betroffen war.

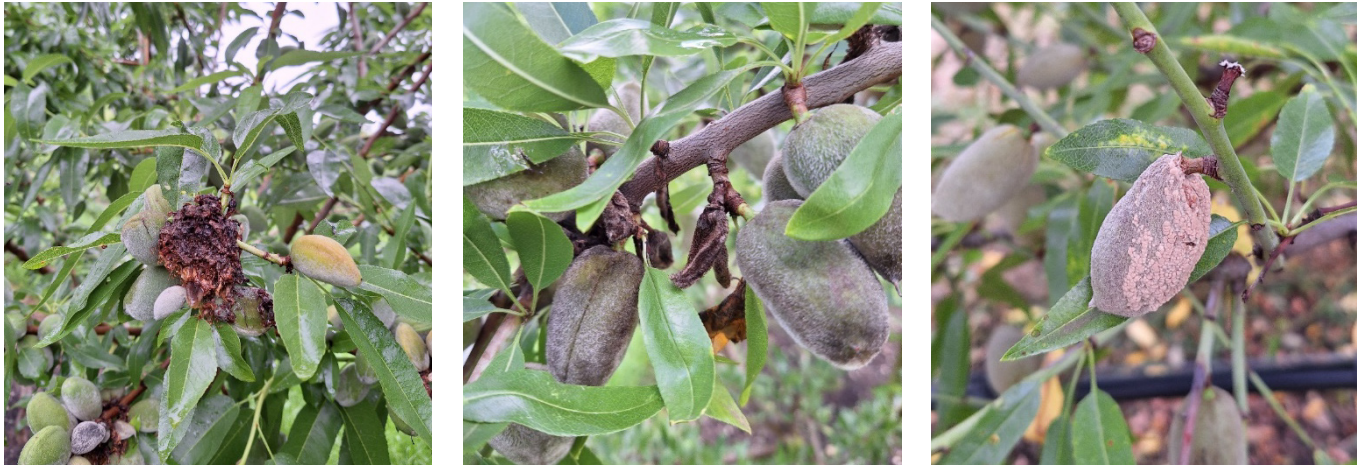


Abbildung 34: Fruchtfäule nach der Blüte (l.), im Sommer (r.) und vor der Ernte im Herbst (r.)

Schimmelpilze auf Mandelkernen

Pilzinfektionen an Mandelkernen sind ein erheblicher limitierender Faktor (Abb. 35). Infektionen können durch verschiedene Pathogene wie *Alternaria*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* oder *Rhizopus* verursacht werden. Nasse Witterung im Frühjahr sowie vor und während der Ernte begünstigt die Infektion (Teviotdale et al, 2002), während unsachgemässe Trocknung die Symptome verstärkt. Ein längeres Verbleiben der Mandeln am Baum verschärft nach unseren Beobachtungen die Infektion, weshalb bei nassem Wetter im Herbst eine frühzeitige Ernte empfohlen wird. Tendenziell waren Mandeln mit einer vollständig geschlossenen Schale weniger stark von Pilzbefall betroffen.

Schimmelpilze auf Nüssen können Mykotoxine wie Aflatoxine und Ochratoxine bilden. *Aspergillus flavus* und *Aspergillus parasiticus* produzieren Aflatoxine, wobei Aflatoxin B1 bereits in geringsten Mengen als krebserregend gilt. Bisher wurden in der Sortenprüfung jedoch keine typischen Infektionen mit *Aspergillus flavus* beobachtet. Eine Mykotoxinanalyse einer Probe aus einem Praxisbetrieb (zwei Sorten, jeweils 1. Klasse und Ausschuss) ergab, dass im Ausschuss elf verschiedene Mykotoxine nachweisbar waren, hauptsächlich verursacht durch *Fusarium* und *Alternaria* (Abb. 36). In der 1. Klasse waren nur noch Spuren von drei Mykotoxinen vorhanden. Dies unterstreicht die Bedeutung einer sorgfältigen Sortierung geknackter Mandeln. Ausschuss sollte nur weiterverarbeitet werden, wenn keine visuellen Anzeichen von Pilzbefall wie Myzel oder schwarze Flecken erkennbar sind. Zudem sind weitere Analysen erforderlich, um Unterschiede in der Kontamination mit Mykotoxinen zwischen Mandeln mit schwarzen Flecken und solchen mit offensichtlichem Wachstum von Pilzmyzel zu klären.



Abbildung 35: Schimmelpilze auf Mandelkernen in unterschiedlicher Ausprägung. Wachstum von Myzel war meist nur bei unsachgemässer Trocknung vorhanden, kleine schwarze Flecken waren jedoch je nach Sorte häufig.

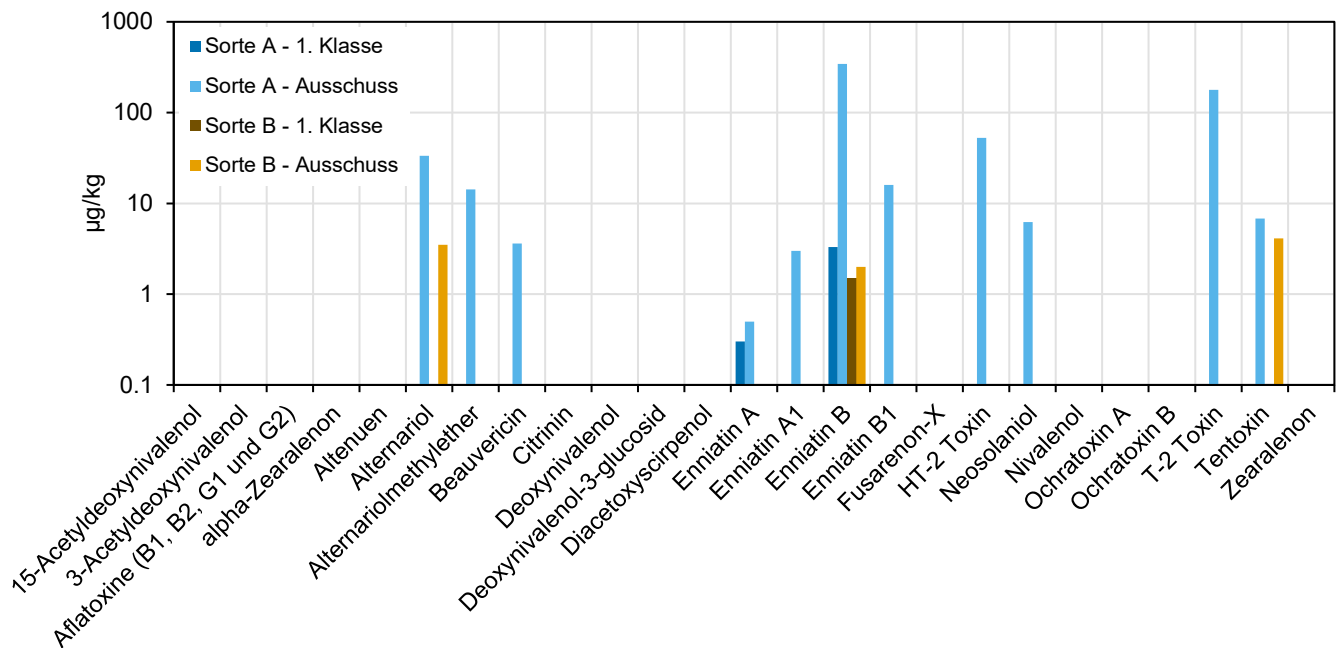


Abbildung 36: Resultate einer Multi-Mykotoxin-Analyse an zwei Mandelsorten, unterteilt in 1. Klasse (frei von visuellen Beeinträchtigungen) und Ausschuss (Pilzmyzel, schwarze Flecken). Die nachgewiesenen Mykotoxine werden durch Infektionen mit *Fusarium* und *Alternaria* gebildet.

3.3.2 Schädlinge

Vögel

Vögel stellen nach Beobachtungen auf Praxisbetrieben und in der Sortenprüfung derzeit die wichtigsten tierischen Schädlinge im Mandelanbau dar (Abb. 37). Neben grösseren Arten wie dem Eichelhäher, der bereits an ungeöffneten Früchten frisst, wurden auch Kohlmeisen beobachtet, die Schalen aufpicken, sobald die grüne Fruchthülle aufsprang. In Einzelbäumen traten Verluste von über 90 % auf. In grösseren Pflanzungen dürfte das Problem weniger gravierend sein. Bis anhin waren vor allem weichschalige Sorten wie Nonpareil und Papiersky besonders betroffen. Massnahmen gegen Vögel sind kaum umsetzbar, weshalb die wichtigste Präventionsstrategie die Wahl hartschaliger Sorten bleibt.



Abbildung 37: Vogelfrass an weichschaliger Mandel

Raupenschädlinge



Abbildung 38: Frostspannerraupe auf Mandelblatt

Zwei polyphage Raupenarten wurden auf Schweizer Mandeln nachgewiesen. Der Rote Knospenwickler (*Spilonota ocellana*) überwintert als Raupe auf Obstbäumen und wird vor der Blüte aktiv. Er befällt Knospen und junge Triebe. Der Kleine Frostspanner (*Operophtera brumata*) überwintert als Ei und schlüpft in der Blüte. Nach der Blüte kann er einen Frass an jungen Früchten und Blättern verursachen (Abb. 38). Beide Arten traten bisher nur in geringer Zahl auf und verursachten keine relevanten Schäden. Während der Frostspanner in Kirschen hohe Populationen aufbauen kann, bleibt abzuwarten, ob dies auch bei Mandeln der Fall sein wird.

Ein häufiger Schädling auf Mandeln in der Deutsch- und Westschweiz ist der Pfirsichwickler (*Grapholita molesta*, Abb. 39). Der Kleinschmetterling überwintert als Raupe am Stamm oder in den oberen Bodenschichten. Die nach der Blüte schlüpfenden Falter legen Eier, deren Larven junge Triebe und unreife Früchte befallen. Eine zweite und partielle dritte Generation kann auch die Mandelkerne schädigen. Auf einem Praxisbetrieb war der Befall mit 3.3 % geschädigter Mandeln in einer weichschaligen Sorte höher als in einer mittelweichen Sorte (1.7 %). Bisher wurden aber vor allem Raupen in der grünen Fruchthülle gefunden.

In den nächsten Jahrzehnten könnte der Pfirsichwickler den potenziell kritischsten Insektenschädling im Mandelanbau darstellen, da die Anzahl Generationen abhängig von der Temperatur ist. In südlichen Regionen treten fünf bis sechs Generationen pro Jahr auf, wodurch sich das Schadpotenzial mit jedem zusätzlichen Zyklus exponentiell erhöht. Eine Bekämpfung wäre theoretisch möglich, doch die effizienteste Massnahme scheint derzeit die Wahl hartschaliger Sorten zu sein.

Die Pfirsichmotte (*Anarsia lineatella*) wurde ebenfalls in einjährigen Trieben nachgewiesen. Sie tritt gelegentlich auch an Aprikosen im Wallis auf. Eine Überwachung mit Pheromonfallen auf mehreren Praxisbetrieben zeigte, dass der Pfirsichwickler häufig vorkommt, während die Pfirsichmotte nur sporadisch gefangen wurde. In Südeuropa befällt sie auch Mandelkerne, weshalb ein zunehmendes Schadpotenzial in Zukunft nicht ausgeschlossen werden kann.



Abbildung 39: Die Raupen des Pfirsichwicklers (o.L.) verursachen im Frühsommer Triebsschäden (o.R.), während sie später im Jahr grüne Früchte (u.L.) und bei weichschaligen Sorten auch Kerne (u.R.) befallen

In Kalifornien ist der Navel Orangeworm (*Amyelois transitella*) der Hauptschädling im Mandelanbau (Zalom et al., 2017). Er befällt neben Mandeln auch Pistazien und Walnüsse und seine Ausscheidungen stellen ein ideales Milieu für Aspergillus-Pilze dar, die wiederum Aflatoxine bilden können. In Europa wurde er bisher nicht nachgewiesen, eine zukünftige Verbreitung ist jedoch möglich. Eine wichtige Präventionsmassnahme ist die Wahl von Sorten mit einer harten, gut geschlossenen Schale, die den Zugang der Raupe zur Mandel erschwert (Wilson et al., 2020).

Baumwanzen

Die invasive Marmorierte Baumwanze (*Halyomorpha halys*, Abb. 40) kann auch Mandeln befallen und durch Saugtätigkeit Gummifluss sowie deformierte Kerne verursachen. Bisher wurden keine erheblichen Schäden beobachtet. In anderen Kulturen treten Baumwanzen oft lokal gehäuft auf und können erhebliche Schäden verursachen. Der natürliche Gegenspieler der Marmorierten Baumwanze, die Samuraiwespe (*Trissolcus japonicus*), breitet sich derzeit in der Schweiz aus, was langfristig zu einer Reduktion der Baumwanzenproblematik im Obstbau allgemein führen könnte.



Abbildung 40: Marmorierte Baumwanze auf Mandel am Breitenhof

Blattläuse

Mehrere Blattlausarten können Mandeln befallen (Abb. 41). Die Schwarze Pfirsichblattlaus (*Brachycaudus persicae*) überwintert an den Wurzeln und wandert schon vor der Blüte an die Knospen. An einem Standort wurde sie in hoher Zahl beobachtet, jedoch bald durch Nützlinge dezimiert. Die Pfirsichblattlaus (*Myzus persicae*) kann nach der Blüte starke Blattdeformationen verursachen, trat bisher aber nur verstärkt an Pfirsich-Mandeln wie der Zürichmandel auf. Eine weitere Generalistenart, die Bohnenblattlaus (*Aphis fabae*), befiel gelegentlich Triebe, hatte aber keine relevanten Auswirkungen. Insgesamt scheinen Blattläuse im Vergleich zu anderen Obstarten ein geringes Problem darzustellen.



Abbildung 41: Blattläuse auf Mandeln. Die Schwarze Pfirsichblattlaus (links) befällt Knospen schon vor der Blüte, die Pfirsichblattlaus kann auf Pfirsichmandeln starke Blattdeformationen verursachen (mitte) und die generalistische Bohnenblattlaus tritt an Trieben im Frühsommer auf (rechts), hat aber keine relevanten Auswirkungen

Sporadische Blattschädlinge

Verschiedene polyphage Rüsselkäferarten, darunter Schmalbauch bzw. Grünrüssler-Arten (*Phyllobius* sp.) sowie der Buchenspringrüssler (*Orchestes fagi*), wurden auf Mandeln nachgewiesen (Abb. 42). Der Blattverlust blieb jedoch meist gering und war nicht von wirtschaftlicher Bedeutung. Zudem wurde die Kirschenblattwespe (*Caliroa cerasi*) beobachtet, deren Relevanz ebenfalls als gering einzustufen ist.



Abbildung 42: Buchenspringrüssler mit Frassschaden (l.) und Fensterfrass der Kirschenblattwespe an Bittermandel (r.)

Säugetiere

In extensiven Wiesen mit hohem Graswuchs können Mäuse erhebliche Baumaufälle verursachen (Abb. 43), weshalb solchen Flächen entweder vermieden werden sollten oder ein Frassschutz im Boden empfehlenswert ist. Kleinsäuger wie Siebenschläfer können sich in Einzelbäumen an einer beträchtlichen Anzahl von Früchten bedienen (mündl. Mitteilung A. Zimmermann, LWG Bayern). Vereinzelt wurde Frass von Rehen an frischen Mandeltrieben am Breitenhof beobachtet.



Abbildung 43: Baumaufall durch Mäusefrass an Wurzeln (l.) und Triebfrass durch Rehe (r.)

3.3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen

Im Juli 2023 hat das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) die Kulturbezeichnungen in den Schweizer Bewilligungen für Pflanzenschutzmittel im Obstbau überarbeitet. Die Mandel, die bisher nicht definiert war, wird neu der Überkategorie «Hartschalenobst» zugeordnet. Diese Anpassung orientiert sich an den Kulturbezeichnungen in den Nachbarländern. Konkret bedeutet dies, dass bei Mandeln nur jene Pflanzenschutzmittel (PSM) eingesetzt werden dürfen, die für «Hartschalenobst» oder «Mandeln» zugelassen sind. Eine Liste der derzeit in Hartschalenobst zugelassenen PSM ist auf www.psm.admin.ch abrufbar.

Aktuell (Stand März 2025) sind für die Kultur «Mandeln» überhaupt keine PSM und für «Hartschalenobst» keine Fungizide zugelassen, weder für den Bio-Anbau noch gemäss ÖLN-Richtlinien. In der Mandel-Sortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof werden PSM im Rahmen der allgemeinen Versuchsbewilligung von Agroscope weiterhin eingesetzt. Sobald die Bäume mehrere Jahre im Vollertrag stehen, könnte ein Projekt initiiert werden, in dem der Ertrag verschiedener Sorten ohne PSM-Einsatz über mehrere Jahre hinweg verfolgt wird. So liesse sich einschätzen, welche Erträge bei verschiedenen Sorten ohne Pflanzenschutzmittel realistisch sind. In einer Studie mit 51 Aprikosensorten, die ohne PSM angebaut wurden, erwiesen sich im Wallis nur vier Sorten als rentabel, wobei der langfristige Einfluss auf die Baumgesundheit nicht berücksichtigt wurde (Christen et al., 2021).

Die Mandel ist generell eine anfällige Kultur. Auch in den trockenen Hauptanbaugebieten werden Fungizide gegen verschiedene Krankheiten wie *Fusicoccum*, *Monilia*, Schorf, Anthracnose, Rost, *Alternaria* oder *Polystigma* eingesetzt (Palacio-Bielsa et al., 2017). Auch mit Blick auf künftig zunehmende Sommertrockenheit laut aktueller Klimamodelle wären für einen professionellen Mandelanbau in der Schweiz zugelassene Fungizide zur Bekämpfung diverser Krankheiten notwendig. Eine Zulassung von Fungiziden für Mandeln in der Schweiz ist aktuell jedoch nur möglich, wenn Pflanzenschutzmittelfirmen entsprechende Anträge stellen oder wenn die Pflanzenschutzmittelverordnung angepasst und Wirkstoffzulassungen der EU übernommen würden.

Nach unserer Einschätzung ist ein kommerzieller Ertragsanbau von Mandeln in der Schweiz ohne Fungizide unter den aktuellen Rahmenbedingungen sehr schwierig bis nahezu unmöglich.

3.4 Kulturführung

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Erfahrungen mit dem Ertragsanbau von Mandeln in Frankreich (Montagnon, 2023), ergänzt durch Beobachtungen aus der Schweiz und Informationen aus der Fachliteratur (Fraise, 2016; Riquet, 2021; Arquero et al., 2013, Arquero & Jarvis-Shean, 2017; Espada Carbo & Connell, 2017)

Pflanzung & Bestäubung

Die Qualität der Jungbäume ist entscheidend für den erfolgreichen Anbau. In Frankreich wird empfohlen, kräftige, hochgewachsene Bäume mit einem gut entwickelten Wurzelsystem zu wählen. Schwache Bäume verzögern die Entwicklung und reduzieren den späteren Ertrag. Falls möglich, sollten die Jungbäume direkt vor Ort in der Baumschule ausgewählt werden.

Bei der Pflanzung ist sorgfältiges Vorgehen erforderlich. Ein ausreichend grosses Pflanzloch sollte vorbereitet und die ursprüngliche Erde mit Kompost oder Pflanzerde vermischt werden. Zur Sicherstellung eines guten Anwuchses wird ein Giessrand empfohlen, der direkt nach der Pflanzung mit etwa 20 Litern Wasser pro Baum gefüllt wird. Die Wurzeln sollten während der Pflanzung stets bedeckt bleiben, insbesondere bei windigem oder sonnigem Wetter. Der Veredelungspunkt muss sich 10–12 cm über dem Boden befinden.

Das System im Ertragsanbau ist auf die maschinelle Ernte optimiert. In Frankreich werden Mandeln üblicherweise auf starkwüchsigen Unterlagen (GF 677) als Gobelet (offene Vase) erzogen (Abb. 44). Dafür beträgt der Baumabstand zwischen 5 - 6 m, der Reihenabstand 6 m. Eine versetzte Pflanzung fördert die Lichtverteilung im ausgewachsenen Stadium.

In den USA wird für eine optimale Bestäubung ein Pflanzschema empfohlen, bei dem jede Reihe der Hauptsorte von zwei Reihen mit Bestäubersorten flankiert wird: eine mit einer etwas früher und eine mit einer etwas später blühenden Sorte. Dadurch entsteht ein Muster, in dem jede zweite Reihe aus der Hauptsorte besteht, was die Bestäubungseffizienz maximiert. In Frankreich werden 6 Bienenstöcke pro ha für die Bestäubung empfohlen.



Abbildung 44: Ertragsanlage in Südfrankreich.
Foto: J.-M. Montagnon

In der Schweiz gibt es nur wenige Baumschulen, die Mandelbäume anbieten. Die verfügbaren Mengen sind meist für Privatpersonen ausgelegt. Bisherige Erfahrungen mit Pflanzungen aus französischen oder spanischen Baumschulen sind durchwachsen, mit teilweise hohen Baumausfällen. Zudem ist die Sortenauswahl begrenzt. Eine aktuelle Liste von Schweizer Baumschulen mit Mandelsortiment ist in Tabelle 7 ersichtlich.

Tabelle 7: Schweizer Baumschulen mit Mandelbäumen im Sortiment (Stand März 2025. Angaben ohne Gewähr)

Baumschule	Ort	Webseite
Hauenstein AG	8197 Rafz	www.hauenstein-rafz.ch
Toni Suter Baumschule - Gartenbau AG	5413 Birmenstorf (AG)	www.tonisuter.ch
Glauser's Bio-Baumschule GmbH	3116 Noflen	www.bioglauser.ch
Peter Küttel Pflanzen Garten	6403 Küssnacht am Rigi	www.bioterra.ch/gartenprofis/peter-kuettel-pflanzen-garten

Schnitt

Im Erwerbsanbau dient der Schnitt in den ersten Jahren vor allem dazu, eine offene Kelchform (Gobelet) zu entwickeln (Abb. 45). Beim Pflanzschnitt werden die Bäume auf 100 – 110 cm Höhe eingekürzt. Die Seitenäste auf 75 – 100 cm bzw. 85 – 110 cm Höhe werden auf 2-3 cm eingekürzt, um mit einem kräftigen Neuaustrieb die Bildung von Leitästen zu fördern. Alle Seitentriebe auf 0 – 75 bzw. 85 cm Höhe werden entfernt. Allfällige Neuaustriebe, auch aus der Unterlage, werden im ersten Standjahr regelmässig entfernt, um die Wuchskraft in die Leitäste zu lenken.

Im ersten Standjahr erfolgt ein erster Sommerschnitt. Sobald die Triebe rund 40 cm Länge erreicht haben, werden 5 – 6 Triebe als Primärleitäste selektiert. Gleichzeitig wird der Innenraum der Krone ausgelichtet, damit ausreichend Licht ins Bauminnere gelangt. In windigen Lagen werden die Spitzen von aufrecht wachsenden Trieben gekappt. Der erste Sommerschnitt stärkt die Entwicklung der Leitäste und fördert zudem die Ausbildung von lateralen Fruchtholztrieben.

Im ersten Winter werden die Leitäste meist auf drei bis vier Haupttriebe reduziert. Wichtig ist die Auswahl des optimalen Astwinkels von etwa 45 Grad, da dies stabile, widerstandsfähige Leitäste begünstigt. Der vertikale Abstand zwischen den Leitästen am Stamm sollte mindestens einige Zentimeter betragen, um Bruchstellen zu vermeiden. Von oben betrachtet, verteilen sich drei Leitäste in jeweils 120 Grad Abstand bzw. vier Leitästen in jeweils 90 Grad Abstand für eine ausgewogene Gewichtsverteilung gleichmässig um den Stamm. Die Enden der Leitäste werden bei sehr aufrecht wachsenden Sorten eher nicht eingekürzt, damit sich die Leitäste später unter ihrer Eigenlast nach aussen biegen. In den USA mit der Hauptsorte Nonpareil ist ein Rückschnitt auf etwa 100 bis 120 cm üblich, um eine bessere Verteilung der Sekundärleitäste zu erreichen. Die Leitäste von Sorten, die zur Verkahlung neigen, sollten generell kürzer geschnitten werden, um die Verzweigung anzuregen.

Im zweiten Standjahr wächst der Baum vor allem nach aussen und oben. Bei Bedarf werden im Sommer zentrale Wasserschosse entfernt, um die Baumkrone licht und gesund zu halten. Im Winter richtet sich der Schnitt dann nach dem Wuchsverhalten der Sorte: Zunächst entfernt man erneut Wasserschosse und übereinander liegende Triebe, bevor man die Sekundärleitäste auf zwei bis drei pro Primärleitast mit rund 30 cm Abstand reduziert. Bei stark aufrechten Sorten wie Ferragnes sollten eher verzweigte Triebe stehen bleiben, während bei überhängenden Sorten wie Aï vor allem aufrechter wachsende Triebe gefördert werden sollten, um ein stabiles Kronengerüst zu formen.

Nach drei bis vier Jahren ist die gewünschte Baumform weitgehend erreicht. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt nur noch ein minimaler Erhaltungsschnitt, der darauf abzielt, die Baumform zu bewahren, krankes Holz zu entfernen und genügend Licht in die Krone zu bringen, damit weiterhin neues Fruchtholz entsteht. Langfristig genügt ein leichter Verjüngungsschnitt, um die Krone gesund zu halten und eine kontinuierliche Fruchtbildung zu sichern.

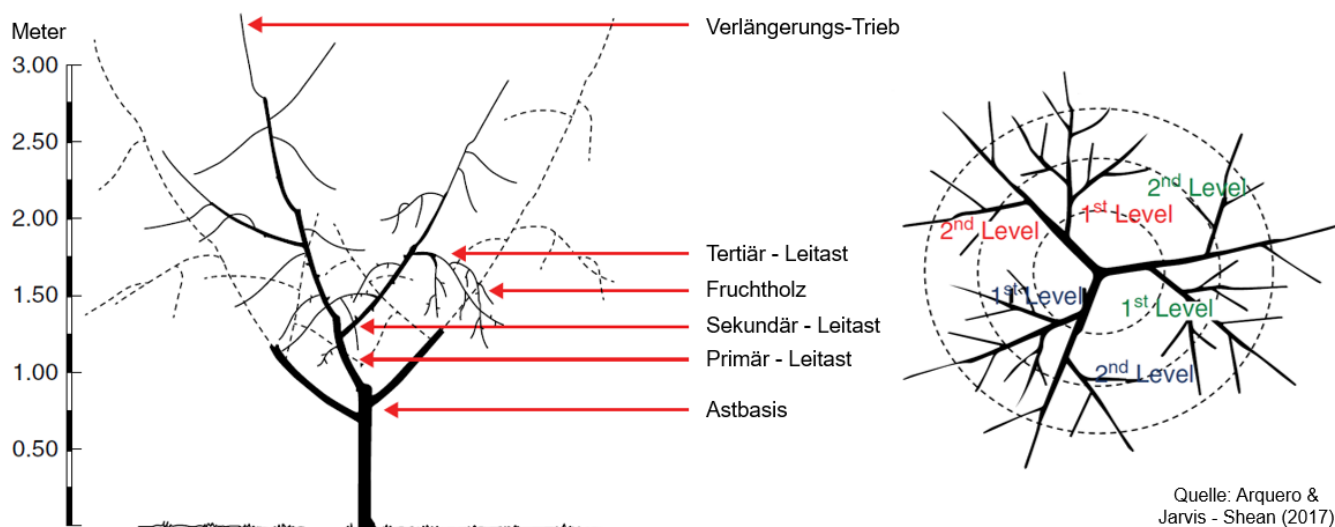


Abbildung 45: Grundstruktur der Erziehung eines Mandelbaums im Gobelet. Quelle: Arquero & Jarvis-Shean (2017)

Düngung

Die Düngung hat das Ziel, den Nährstoffbedarf der Pflanze zu decken, wenn dieser nicht vom Boden in den erforderlichen Mengen und zum richtigen Zeitpunkt bereitgestellt wird. Verschiedene Böden weisen eine grosse Variabilität hinsichtlich ihrer physikalisch-chemischen Eigenschaften und ihrer Fruchtbarkeit auf. Ebenso variieren die Nährstoffanforderungen je nach Alter sowie nach vegetativen und produktiven Phasen des Baumes.

Grundsätzlich richtet sich die Düngung nach dem erzielten Ertrag. Richtwerte aus Frankreich reichen von 30-20-40 kg N-P-K bei einem Ertrag von 1000 kg / ha (bezogen auf Mandeln in der Schale) bis 90-50-100 kg N-P-K bei einem Ertrag von 4000 kg / ha. Im Vergleich mit Düngeempfehlungen für andere Obstkulturen in der Schweiz (Kuster et al., 2017) sind diese Werte sehr hoch. Auf unseren eher schweren Böden ist die Düngung sicherlich zu reduzieren, vor allem wenn tiefere Erträge erzielt werden. Erfahrungen zur optimalen Düngung in Ertragsanlagen der Schweiz fehlen bisher.

Ernte und Weiterverarbeitung

Traditionell wurden Mandeln in trockenen Regionen mit Stöcken aus den Bäumen auf Netze geschlagen und anschliessend aufgesammelt. Die meisten Sorten lassen bei uns ihre Früchte nicht von selbst fallen, sodass kräftiges Schütteln erforderlich ist. Obwohl eine händische Ernte für einzelne Bäume in der Direktvermarktung denkbar ist, ist der Aufwand erheblich.

Im grossflächigen Anbau ist eine maschinelle Ernte unumgänglich. In Kalifornien werden Mandeln auf den trockenen Boden geschüttelt, in die Reihenmitten gekehrt und anschliessend maschinell aufgesammelt. In Frankreich kommen Schirmschüttler zum Einsatz: Eine Schüttelmaschine greift den Stamm, während ein Schirm die herabfallenden Mandeln auffängt. Die Ernte beginnt, sobald etwa 80 % der Früchte ihre grüne Schale geöffnet haben. Auch in der Schweiz nutzen die beiden grössten Betriebe solche Schüttler (Abb. 46). Die langen Reifezeiträume in der Schweiz erschweren jedoch den optimalen Erntezeitpunkt. Mehrere Durchgänge (mindestens zwei bis drei) sind erforderlich, um bereits geöffnete Früchte nicht zu lange am Baum zu belassen.



Abbildung 46: Ernte mit einem Schirmschüttler in Areuse NE

Nach der Ernte müssen die Mandeln von der grünen Fruchthülle getrennt werden. In Frankreich übernehmen dies spezialisierte Maschinen mit rotierenden Schraubenwalzen. Einige Schüttler verfügen über integrierte Systeme zur Schalenentfernung. Bei einer händischen Verarbeitung variiert der Aufwand je nach Sorte erheblich. Die getrockneten Mandeln dürfen einen Feuchtigkeitsgehalt von maximal 6 % aufweisen. In der Sortenprüfung konnte nicht abschliessend geklärt werden, welches Trocknungssystem für Schweizer Mandeln am besten geeignet ist. Langjährige Beobachtungen am Breitenhof mit Walnüssen legen nahe, dass Nüsse, die ohne Hitze getrocknet wurden, weniger schimmelbedingte Qualitätsmängel aufweisen. Im gleichen System getrocknete Mandeln wiesen hingegen trotzdem pilzliche Schäden auf. Weitere Erfahrungen sind erforderlich.

Nach dem Trocknen werden die Mandeln geknackt. Da in der Schweiz keine spezialisierten Mandelknackmaschinen existieren, wurde 2023 ein Versuch mit einer Walnusssknackmaschine durchgeführt (nussknacken.ch). Dabei wurden 400 Mandeln pro Sorte (Aï, Ferragnes) geknackt und der Anteil ganzer, beschädigter und gebrochener Kerne erfasst. Der Anteil gebrochener Kerne war beim maschinellen Knacken mit 8.8 – 16.2 % höher als beim händischen (1.7 – 2.5 %). Ob dieser Ausschuss akzeptabel ist, muss sich in der Praxis zeigen. Aï erwies sich als schwieriger zu knacken als Ferragnes, da ihre weichere Schale zu unregelmässigen Bruchstellen führte. Laut Einschätzung des Anlagenbetreibers lassen sich Mandeln mit harter Schale maschinell besser knacken, da ihr Verhalten eher dem von Walnüssen entspricht. Eventuell geeignet könnten die beiden mittelhartschaligen Sorten Isabelona und Marcona sein, da sie sich bereits von Hand leicht in zwei Hälften teilen liessen und den Kern problemlos freigaben.

3.5 Marktperspektiven & Wirtschaftlichkeit

Mandeln werden in vielfältiger Form gehandelt und konsumiert (Verdú et al., 2017). In der Schweiz blieb der Pro-Kopf-Konsum in den letzten Jahren relativ konstant, verzeichnete jedoch zwischen 2014/15 und 2020/21 einen leichten Rückgang um 4,3 % (Benzi Schmid, 2023). Da der Mandelimport nicht kontingentiert ist, unterliegt der Markt den Weltmarktpreisen. Eine direkte Konkurrenz mit diesen Preisen ist für eine Schweizer Produktion nicht realistisch. Obwohl Abnehmer grundsätzlich Interesse signalisiert haben, fehlt es bislang an grossflächiger Produktion, weshalb es in diesem Sektor noch keine etablierten Handelsstrukturen gibt. Aktuell bietet sich daher vor allem die Direktvermarktung an. Die Preisgestaltung ist aktuell noch flexibel, da bislang keine Richtpreise existieren.

Die zentrale Frage ist, wie sich Schweizer Mandeln vom internationalen Angebot abheben können. In der Anfangsphase dürfte der Wert der Neuheit eine wichtige Rolle spielen und als treibender Faktor für die Nachfrage wirken. Während des Projekts erhielt der Mandelanbau eine hohe mediale Aufmerksamkeit, mit zahlreichen Anfragen für Interviews. Dies bietet Betrieben die Möglichkeit, sich regional als Pioniere im Schweizer Mandelanbau zu positionieren. Langfristig wird es jedoch schwierig sein, Mandeln allein über «Swissness» zu vermarkten. Ein Blick auf andere Nussarten zeigt, dass Schweizer Walnüsse trotz deutlich höherer Preise oft geringere Qualität als Importware aufweisen. Pioniere setzen daher auf spezialisierte Nischenprodukte, wie beispielsweise rote Walnüsse. Eine ähnliche Strategie könnte für Mandeln sinnvoll sein, um eine nachhaltige Marktposition aufzubauen.

Alleinstellungsmerkmal für Schweizer Mandeln

Im Rahmen einer Exkursion zum Breitenhof wurde eine Degustation durchgeführt, bei der neun verschiedene Mandelsorten hinsichtlich Erscheinung, Geschmack und Konsistenz (Knackigkeit) subjektiv bewertet wurden. Zusätzlich wurden Schweizer Nonpareil-Mandeln mit einer importierten Probe aus den USA (Bezugsquelle: Lidl) verglichen (Abb. 47).

Die Supermarktware wurde in Bezug auf ihr Erscheinungsbild signifikant besser bewertet, da sie eine gleichmässige, vollkernige Form aufwies. Die Schweizer Nonpareil-Mandeln waren dagegen tendenziell verschrumpelter, was vermutlich auf die optimierte Bewässerung in den USA im Vergleich zur Schweiz zurückzuführen ist. Hinsichtlich des Geschmacks und der Konsistenz zeigten sich jedoch keine signifikanten Unterschiede. In der Bewertung der neun anderen Sorten waren die grössten Differenzen im Erscheinungsbild erkennbar, während Geschmack und Konsistenz zwar in der Bewertung stark streuten, im Durchschnitt aber kaum variierten. Die deutlichen Unterschiede in der Form der Mandeln legen nahe, dass dies ein mögliches Alleinstellungsmerkmal (Unique Selling Proposition, USP) für Schweizer Mandeln sein könnte (Abb. 48).

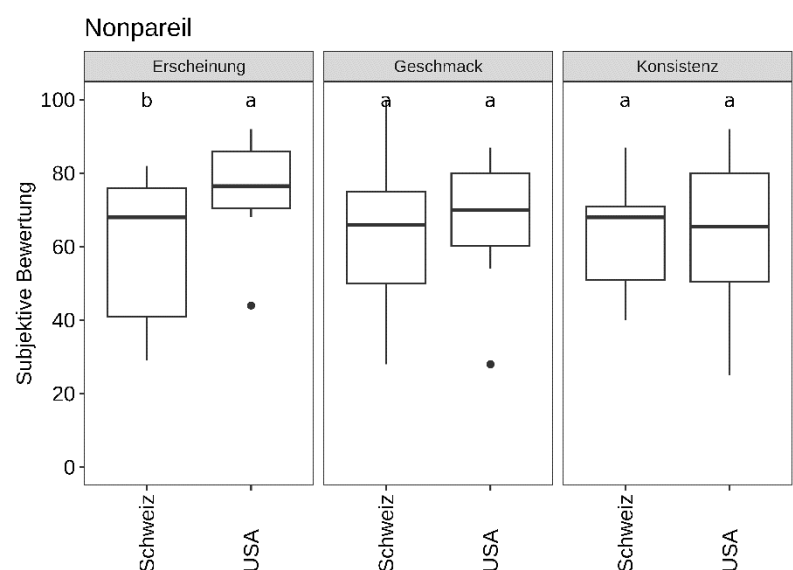


Abbildung 47: Unterschiede in der subjektiven Bewertung von Nonpareil-Mandeln aus der Schweiz und den USA bezüglich Erscheinung, Geschmack und Konsistenz (n = 14). Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede ($p > 0.05$)

In Spanien werden nur wenige Sorten sortenrein vermarktet, darunter Desmayo Lagueta, für Snacks und geröstete Mandeln, und Marcona, vor allem für Nougat (Arquero et al., 2013; Gradziel et al., 2017). Marcona zeichnet sich nicht nur durch ihre hohe Qualität, sondern auch durch ihre spezielle Form aus. Eine vielversprechende Alternative ist Isabelona, eine neuere Züchtung, die aufgrund ihrer Selbstfertilität als potenzieller Ersatz für Marcona gehandelt wird. Sie kombiniert ebenfalls eine hohe geschmackliche Qualität mit einer markanten Form, was sie für eine differenzierte Vermarktung interessant macht.



Abbildung 48: Form verschiedener Mandelsorten im Vergleich. Isabelona und Marcona haben abgeflachte, ovale Kerne und gelten in Spanien als Sorten mit der höchsten Qualität. Nonpareil ist die Standardsorte in den USA und bei uns häufig in Supermärkten zu finden. Ferragnes ist die führende Sorte in Frankreich.

Rentabilität des Mandelanbaus

Die Rentabilität des Mandelanbaus in der Schweiz wurde von Reutimann et al. (2020) als positiv eingeschätzt, basierend auf der Annahme eines Ertrags von 40 kg Mandeln in Schale pro Baum ab dem 4. Standjahr. In der Praxis zeigen sich jedoch deutlich geringere Erträge: Auf extensiv bewirtschafteten Flächen lagen die Erträge ab dem 4. Standjahr meist zwischen 0 und 2 kg pro Baum. Ein wirtschaftlich tragfähiger Ertragsanbau ist nur möglich, wenn der Input in Form von Düngung und Pflanzenschutzmitteln erheblich gesteigert wird, um die Erntemenge deutlich zu erhöhen. Aufgrund der grossen Unsicherheiten wurde auf weitere Rentabilitätsberechnungen verzichtet.

Der Anbau von Mandeln in der Schweiz steht vor wirtschaftlichen Herausforderungen, insbesondere aufgrund der geringen Erträge in extensiven Pflanzungen und der Konkurrenz mit Weltmarktpreisen. Während eine extensive Produktion derzeit nicht rentabel erscheint, bietet die Direktvermarktung eine Möglichkeit für landwirtschaftliche Betriebe, sich mit einem Nischenprodukt zu positionieren. Hochstamm-Feldobstbäume werden in der Schweiz durch Direktzahlungen gefördert und könnten zur Etablierung der Kultur beitragen. Zu beachten ist, dass Mandeln dabei unter die Regelungen für Steinobst fallen. Dies unterscheidet sich von der Einstufung im Pflanzenschutz, wo sie als Hartschalenobst klassifiziert werden. Langfristig wird der Erfolg des Schweizer Mandelanbaus davon abhängen, ob ausreichende Mengen produziert werden können und sich dann ein klarer Mehrwert gegenüber Importware herausstellen lässt. Erste Hinweise deuten darauf hin, dass neben der regionalen Herkunft auch spezifische Eigenschaften, insbesondere besondere Formen und hochwertige Qualitätssorten wie Marcona oder Isabelona, ein Differenzierungsmerkmal sein könnten.

3.6 Umweltdienstleistungen

Mandelbäume können einen wichtigen Beitrag für die Umwelt leisten, indem sie vielen Insekten, darunter Honigbienen, Hummeln, verschiedenen Wildbienenarten (z.B. Mauerbienen) und Schwebefliegen, bereits früh im Jahr Nahrung bieten (Abb. 49). Im Rahmen einer Masterarbeit (Torche, 2021) wurde der Einfluss von Bestäubergemeinschaften auf den Mandelanbau in der Schweiz untersucht. In einer untersuchten Anlage wurden beispielsweise regelmässig auch bei schlechtem Wetter Mauerbienen (*Osmia cornuta*) auf den Blüten beobachtet, was bestätigt, dass diese Art schon bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen aktiv ist. Sobald das Wetter sonniger und wärmer wurde, machten allerdings Honigbienen den Grossteil der Bestäuber aus. Dass sowohl Wildbienen als auch Honigbienen die Blüten besuchten, zeigte sich in allen beobachteten Flächen, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität.

Gerade Mauerbienen und Hummeln wurden in der Masterarbeit als wichtige „Schlechtwetter-Spezialisten“ bestätigt, da sie Mandelblüten häufig auch bei Bewölkung und moderatem Wind bestäubten, während Honigbienen bei diesen Bedingungen weniger aktiv waren. Mandelbäume wirken somit als Frühjahrsressource in einer Phase, in der andere Nahrungsquellen oft noch fehlen, und schliessen so eine entscheidende Lücke für Bestäuber. Das vermehrte Angebot an Nektar und Pollen kann zudem nachweislich zu einer höheren Aktivität weiterer Insekten führen, die sich zum Teil nicht nur auf Mandelblüten beschränken, sondern anschliessend auch umliegende Wild- und Kulturpflanzen besuchen.

Die Masterarbeit zeigt ausserdem, dass das Anlegen von Mandelbaumkulturen, insbesondere wenn sie von naturnahen Elementen wie artenreichem Grünland, Hecken oder Waldrändern umgeben sind, eine stärkere Vernetzung der Landschaft fördert. Dadurch werden verschiedenste Wildbienen gefördert, die oft auf Totholz oder offene Bodenstellen zum Nestbau angewiesen sind. Die Beobachtung, dass es an Standorten mit höherem Gehölzanteil oder zusätzlichen Blühflächen in der Umgebung insgesamt eine grössere Vielfalt an Bestäubern gab, deutet darauf hin, dass Mandelbäume in Kombination mit vielfältigen Landschaftsstrukturen die Stabilität lokaler Ökosysteme verbessern können. Wo Spätfröste wenige Blüten überleben liessen, war zwar die Erntemenge reduziert, trotzdem konnten Insekten selbst in solchen Jahren von den frühen Mandelblüten profitieren und so ihre Bestände stärken.

Insgesamt verdeutlichen diese konkreten Feldbeobachtungen, dass Mandelbäume nicht nur als reine Kulturpflanzen anzusehen sind, sondern durch ihr frühes Blühangebot eine Schlüsselrolle für die Nahrungssicherung und den Fortbestand unterschiedlichster Bestäubergemeinschaften einnehmen können.



Abbildung 49: Schwebefliege auf einer Blüte der Sorte Marcona

3.7 Landschaftsintegration

Vitiforst

Die Einbindung von Mandelbäumen in Weinberge – ein Ansatz, der im Kontext der sogenannten Vitiforstwirtschaft diskutiert wird – bietet Winzerinnen und Winzern vielfältige Chancen, ist jedoch auch mit gewissen Herausforderungen verbunden. Im Rahmen einer Masterarbeit (Basile, 2022) wurden Motive zur Integration von Mandelbäumen in den Weinbau identifiziert. Historische Belege deuten darauf hin, dass gerade in mitteleuropäischen Weinregionen Mandeln früher schon teils gemeinsam mit Reben angebaut wurden. Heute weckt die erneute Integration der Mandel im Weinbau Interesse, da sie ökologische, ästhetische und ökonomische Potenziale verspricht.

Ein zentrales Motiv für die Pflanzung von Mandelbäumen im Weinberg liegt in der Förderung der Biodiversität. Durch ihre frühe und üppige Blüte stellen Mandelbäume gerade für Bestäuber eine wertvolle Nahrungsquelle dar; gleichzeitig erhöhen sie durch ihr Wurzelsystem sowie ihren Wuchs die strukturelle Vielfalt. Auch die Landschaftsästhetik spielt für viele Winzerinnen und Winzer eine wichtige Rolle. Vor allem im zeitigen Frühjahr, wenn nur wenig andere Pflanzen in Blüte stehen, verleiht das Rosa-Weiss der Mandelbäume den Rebflächen einen besonderen Reiz.

Neben den genannten Potenzialen gibt es aber rechtliche und betriebswirtschaftliche Grenzen: In manchen Regionen schränken gesetzliche Auflagen den Anbau von Bäumen im Weinberg ein, vor allem, wenn diese Flächen für die Produktion von Weintrauben zugelassen bleiben sollen. Daher bedarf es gegebenenfalls Sondergenehmigungen oder alternativer Lösungen, wie etwa Einzelbäume am Rand der Parzellen. Zudem bedeutet die händische Mandelernte in steilen Lagen oder auf Einzelbäumen einen erheblichen Aufwand während der Weinlese.

Bisher ungeklärt bleibt die Frage, ob Mandeln als zusätzliche Wertschöpfung über Direktvermarktung oder lokale Gastronomie für die Diversifizierung des betrieblichen Einkommens tatsächlich relevant sein können.

Tourismus

Die Pfalz in Deutschland ist bekannt für ihre beeindruckende Mandelblüte, die eine lange Tradition hat (Eisenbarth, 2020). Erste Bestrebungen zur Aufwertung von Strassen durch Mandelbäume gehen auf die Zeit vor dem Ersten Weltkrieg zurück, wobei die ästhetische Wirkung der rosa Blüte im Vordergrund stand (Abb. 50).

Eine der bekanntesten Pflanzungen ist die Mandelallee, die von Neustadt über Gimmeldingen bis Königsbach verläuft. Im Laufe der Zeit wurden hier tausende Mandelbäume gepflanzt, vor allem die «Perle der Weinstrasse», eine Pfirsich-Mandel-Hybride mit intensiv rosa Blüten.

Die Blütezeit der Mandeln wird in der Pfalz gezielt touristisch genutzt und zieht jährlich zahlreiche Besucher an. Besonders bekannt ist das Mandelblütenfest, das den Beginn der Blüte feiert und die Mandelkultur erlebbar macht. Entlang des Mandellehrpfads können Interessierte mehr über die Geschichte und Bedeutung des Mandelanbaus in der Region erfahren. Während der „Rosa Wochen“ wird die Region intensiv beworben. Wanderwege, darunter der Pfälzer Mandelpfad, führen entlang der Weinberge und entlang blühender Mandelbäume.



Abbildung 50: Blühende Mandelbäume entlang eines Rebbergs in der Pfalz. Die rosa blühenden Mandeln sind besonders attraktiv, deren Früchte aber nicht essbar. Foto: P. Eisenbarth

4 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt, dass der Mandelanbau in der Schweiz durchaus Potenzial aufweist, jedoch mit erheblichen Herausforderungen verbunden ist. Erstmals wurden belastbare Daten durch Feldbeobachtungen erhoben, zahlreiche offene Fragen bleiben jedoch bestehen. Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse aus den vorangehenden Kapiteln zusammengefasst, in einen übergeordneten Zusammenhang gestellt und die sich daraus ergebenden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Dabei werden auch die spezifischen Punkte integriert, die für den künftigen Mandelanbau relevant sind.

4.1 Zusammenführung der Ergebnisse

- **Sortenprüfung:** Die Sortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof und in Wädenswil bestätigt, dass Mandelsorten eine hohe Variabilität verschiedener Eigenschaften aufweisen. Während sich einige Sorten durch hohe Blühintensität oder späte Blüte auszeichneten, zeigten andere eine geringe Kernqualität oder eine ausgeprägte Neigung zur Verkahlung. Ein entscheidender Faktor bei der Sortenwahl ist der Ertrag, der bisher jedoch noch nicht aussagekräftig ist. Die bisherigen Resultate können jedoch eine grobe Orientierung bieten und zur Entscheidungsfindung bei der Sortenwahl beitragen.
- **Standort- und Umweltfaktoren:** Der Einfluss der lokalen Klimabedingungen, insbesondere von Spätfrösten, zeigt sich sehr deutlich. Der Anbau in Regionen mit geringerem Spätfrostisiko ist zu bevorzugen. Parzellen mit Staunässe sind ungeeignet. Ein hoher Jahresniederschlag verringert den Bedarf an Bewässerung, erhöht aber das Risiko für Pilzkrankheiten. Insgesamt fehlen systematische Resultate, um in der Schweiz räumlich abgrenzen zu können, auf welchen Flächen sich der Mandelanbau wirtschaftlich lohnt und wo die Risiken langfristig zu hoch sind.
- **Krankheiten & Schädlinge:** Mandeln sind relativ anfällig für verschiedene Schaderreger. Als häufigste Probleme treten Pilzkrankheiten wie Monilia auf. Ein weiterer limitierender Faktor scheint zudem die Infektion von Mandelkernen mit Pilzen zu sein. Aktuell sind im Mandelanbau keine Fungizide zugelassen, in nassen Jahren kann dies zu erheblichen Ertrags- und Qualitätsproblemen führen. Darüber hinaus sind Schädlinge wie Vögel oder der Pfirsichwickler zu beobachten, was für eine Wahl von hartschaligen Sorten spricht.
- **Kulturführung:** Die Baumerziehung wird im Ertragsanbau an die mechanische Ernte mit Schüttelmaschinen angepasst. Der hohe Mechanisierungsgrad der Kultur erfordert finanzielle Investitionen sowie regionale Zusammenschlüsse (Knackmaschinen). Weiter ist die Erntemenge stark abhängig vom Input an Dünger, Pflanzenschutzmitteln und Wasser.
- **Marktperspektiven & Wirtschaftlichkeit:** Eine direkte Konkurrenz mit Weltmarktpreisen ist für eine Schweizer Produktion nicht realistisch. Eine Premium-Strategie könnte die höheren Produktionskosten in der Schweiz eventuell kompensieren. Dennoch bleibt die Frage nach langfristiger Rentabilität offen, wenn / solange das Risiko von Frost und Krankheiten hoch ist.
- **Umweltdienstleistungen & Landschaftsintegration:** Mandeln können die heimische Biodiversität bereichern, insbesondere als zusätzliche Nahrungsquelle für Bestäuber früh im Jahr. Landschaftlich haben Mandelbäume in Blüte eine starke ästhetische Wirkung und könnten ähnlich wie Kirschblüten-Wanderungen touristische Impulse geben.

4.2 Praxistaugliches Anbausystem für Mandeln in der Schweiz

Die Ergebnisse zeigen, dass regelmässig hohe Erträge nur durch gezielten Einsatz von Pflanzenschutz, Düngung, Bewässerung und Pflege erzielt werden können. Fehlt einer dieser Faktoren – etwa durch den Verzicht auf Fungizide in einem nassen Jahr oder unzureichende Bewässerung in Trockenperioden – können Ertrags- und Qualitätseinbussen erheblich sein. Während in den Hauptproduktionsgebieten der Mandel die Mechanisierung weit fortgeschritten ist, gibt es in der Schweiz bisher nur erste Ansätze, meist in kleineren Betriebsstrukturen. Dies wirft die Frage nach der ökonomischen Tragfähigkeit intensiv bewirtschafteter Mandelanlagen in der Schweiz auf.

Der kommerzielle Ertragsanbau ist mit zahlreichen Herausforderungen verbunden. Langfristige Erfahrungen zur Standorteignung fehlen, und viele Sorten sind noch nicht ausreichend erprobt. Spätfröste können erhebliche Schäden verursachen, insbesondere bei früh blühenden Sorten. Zwar könnten spätere Blütezeiten helfen, doch auch spät blühende Sorten öffnen ihre Blüten noch vor den Kirschen. In feucht-kühlen Jahren ist ohne den Einsatz von Fungiziden mit hohen Ausfällen durch Monilia und anderen Pilzkrankheiten zu rechnen. Zudem stehen die hohen Produktionskosten preisgünstiger Importware gegenüber, was die Wirtschaftlichkeit weiter einschränkt.

Angesichts dieser Unsicherheiten empfiehlt Agroscope vorerst Zurückhaltung beim Ertragsanbau von Mandeln, solange keine zugelassenen Fungizide und standortspezifischen Strategien verfügbar sind.

Vor diesem Hintergrund muss ein praxistaugliches Anbausystem die Multifunktionalität der Mandel nutzen. In Diskussionen mit verschiedenen Akteuren kamen Ideen auf, die nicht von hohen Erträgen abhängig sind und durch Kombination zusätzliche Synergien schaffen könnten:

- **Mandelblüte als touristische Attraktion:** Nach dem Vorbild der Pfalz könnte die gezielte Inszenierung der Blüte regionalwirtschaftliche Impulse setzen. Die Zürichmandel, die am Breitenhof die höchste Blühstärke aufwies und mit ihrer blassrosa Blüte besonders auffiel, wäre eine potenziell interessante Sorte.
- **Floristische Vermarktung:** Der Verkauf von Blütenzweigen an Floristikfachgeschäfte könnte eine frühe Einnahmequelle erschliessen. Besonders Ingrid und Robijn mit ihren intensiv rosa Blüten wären hierfür zu prüfen.
- **Mandelhonig:** Als frühe Bienenweide könnten Mandeln zur Produktion von Premium-Honig genutzt werden. Unklar ist jedoch, welche Flächengrösse erforderlich wäre, um wirtschaftlich relevante Mengen zu erzielen. Eine Kombination mit touristischen Pflanzungen könnte Synergien schaffen.
- **Premium-Produkte:** Die Vermarktung hochwertiger Sorten mit Herkunftslabel («Schweizer Mandeln») könnte höhere Preise rechtfertigen. Besonders Marcona und Isabelona zeichnen sich durch ihre spezielle Form und hohe Qualität aus. Allerdings bleiben Herausforderungen wie Krankheiten und rationelle Ernteverfahren bestehen.
- **Agrartourismus und Direktvermarktung:** Mandeln haben eine hohe Medienwirksamkeit, die Betriebe für regionale Positionierung und Kundenbindung nutzen könnten. Hofläden, Workshops oder Bildungsangebote bieten Möglichkeiten, alternative Einkommensquellen zu erschliessen.

4.3 Ausblick und Handlungsempfehlungen

- **Aktivitäten von Agroscope:** Die Sortenprüfung am Steinobstzentrum Breitenhof wird in reduziertem Umfang weitergeführt, um belastbare Daten zu Ertrag, Frostresistenz und Krankheitsanfälligkeit zu generieren.
- **Mandelnetzwerk:** An der Abschlussveranstaltung des Projekts beschlossen mehrere Betriebe, das Betriebsnetzwerk selbstverwaltet weiterzuführen. Ein langfristiger Austausch wird bessere Erkenntnisse zur Standorteignung liefern.
- **Pflanzenschutz:** Da pilzliche Erkrankungen wie Monilia in feucht-kühlen Jahren zum Totalausfall führen können, braucht es – sofern ein gewisser Ertragsfokus im Mandelanbau angestrebt wird – die Zulassung wirksamer Pflanzenschutzmittel. Hierfür muss die Obstbranche aktiv werden und sich bei Bedarf organisieren.
- **Entwicklung mehrwertorientierter Konzepte:** Eine rein ertragsorientierte Produktion erscheint unter den gegenwärtigen Bedingungen schwierig. Stattdessen könnten Betriebe mit multifunktionalen Nutzungskonzepten höhere Wertschöpfung erzielen. Erfolgsversprechend sind dabei regionale Alleinstellungsmerkmale (z. B. Verbindung von Mandelblüte, Weinbau und Tourismus).
- **Zurückhaltung mit Ertragsanbau:** Auf Basis der heutigen Erkenntnisse empfiehlt Agroscope Zurückhaltung beim ertragsorientierten Anbau von Mandeln. Neue Produktionsanlagen sollten nur schrittweise etabliert werden.

4.4 Schlussfolgerung

Der Schweizer Mandelanbau steckt noch in den Kinderschuhen. Eine erfolgreiche Entwicklung hängt stark von passenden Sorten, geeigneten Standorten, funktionierender Kulturführung inklusive Pflanzenschutz und tragfähigen Vermarktungsstrategien ab. Die bisherigen Forschungs- und Praxiserfahrungen zeigen deutlich die Grenzen auf: Frost, Pilzkrankheiten und fehlende Fungizide stellen zentrale Risiken dar, und ohne umfassende technische Investitionen ist ein Ertragsanbau nur begrenzt realisierbar.

Ein praxistaugliches Anbausystem bedarf einer anderen, multifunktionalen Ausrichtung. Gerade die hohe Wertschöpfung über touristische Angebote, Direktvermarktung und Premium-Produkte könnte eine Nische schaffen, in der sich Schweizer Mandeln langfristig etablieren. Damit dies gelingt, ist eine koordinierte Branchenentwicklung nötig, die gleichermassen Innovationen wie auch Risikomanagement vorantreibt. Nur so kann das Potenzial des Mandelanbaus in der Schweiz sinnvoll genutzt und weiter ausgebaut werden.

Danksagung

Herzlichen Dank für die Unterstützung des Projekts an:

Marius Brupbacher (Stammheim)
Quentin Ducommun (Areuse)
Stefan Germann (Törbel)
Susanne & Hanspeter Wepfer (Rudolfingen)
Stephan Kim (Wettingen)
Mario Moser (Hauenstein, Rafz)
Martin & Judith Frei (Grüt)
Stephan Gysi (Grüt)
Julien Bugnon (Cottens)
Pierre Olivier Pflirter (Saint-Prex)
Maxime Ormond (Vullierens)
Pierre & Arnaud Gillard (Préverenges)
Daniel Schilliger (Weggis)
Iris & Stephan Bachmann-Rieder (Mur, Vully)
Till Rieder (Mur, Vully)
Albert von Felten (Zeihen)
Reto Brunner (Maienfeld)
Roger Feher (Bellinzona)
Christoph König (Münchenbuchsee)
Philipp Gut (BZ Wallierhof)
Julia Lietha (ZHAW Wädenswil)
Jürg Boos (ZHAW Wädenswil)
Claire Legrand (Union fruitière lémanique)
Jonathan Schuler (Union fruitière lémanique)
Philipp Eisenbarth (Bad Dürkheim)
Jean-Michel Montagnon (Chambre d'agriculture des Bouches du Rhône)
Susanne Schwizer (Agroscope)
Peter Freiermuth (Agroscope)
Léa Torche (Agroscope)
Lara Basile (Agroscope)
Anita Schöneberg (Agroscope)
Tanja Müller (Agroscope)
Leslie McCluckie (Agroscope)
Jonas Inderbitzin (Agroscope)
Matthias Hofer (Fondation Sur La Croix)
Willy Kessler (Fondation Sur La Croix)

Wir danken zudem allen weiteren Beteiligten und Mandel-Interessenten!

Das Projekt wurde mit finanzieller Unterstützung der Fondation Sur-la-Croix umgesetzt.

Literatur

- Arquero, O. & Jarvis-Shean, K. (2017): Orchard management. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (240-253)
- Arquero, O. et al. (2013): Manual del Almendro. Sevilla: Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural (80 S.)
- Basile, L. (2022): Mandelbäume im Weinbau – Eine qualitative Studie zur Identifizierung von Motiven zur Integration von Mandelbäumen in den Weinbau. Masterarbeit (unveröffentlicht). Göttingen: Georg-August-Universität (84 S.)
- Benzi Schmid, C. (2023): Nahrungsmittelbilanz für die Schweiz: Überblick zum angenäherten Verzehr und zu dessen Entwicklung in den vergangenen acht Jahren. Schweizer Ernährungsbulletin. doi: 10.24444/blv-2023-0111
- CH2018 (2018), CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, National Centre for Climate Services, Zurich, 271 pp.
- Christen, D., Lebleu, F., Stefani, P., Del Cueto, J., Solioz, B., Maret, M. & Charles, R. (2021) : Peu de variétés d'abricots sont résilientes aux stress biotiques. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 53 (2), 68-77
- Dicenta, F., Sánchez-Pérez, R., Batile, I. & Martínez-Gómez, P. (2017): Late-blooming Cultivar Development. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (168-187)
- Eisenbarth, P. (2020): Einheimische Mandeln – Kulturgeschichte des Mandelbaums und Mandelanbau in Deutschland. Hamburg: Pomologen-Verein e.V. (132 S.)
- Espada Carbó, J.L. & Connell, J.H. (2017): Almond Harvesting. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (406-427)
- Fraisse, F., Montagnon, J.-M., Alcover, A., Bameule, M., Boyer, I., Duval, H., Lheureux, F., Millan, M. & Rovier, J.-P. (2016): Referentiel technique pour la culture de l'amandier en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aix-en-Provence : Chambre d'Agriculture PACA.
- Gordon, P., Duncan, R., Milliron, L., Lampinen, B. & Gradziel, T. (2020): Field Evaluation of Almond Varieties. *West Coast Nut* 9, 4-15.
- Heinz, M., Galetti, V. & Holzkämper, A. (2024): How to find alternative crops for climate-resilient regional food production. *Agricultural Systems* 213, 103793.
- Lampinen, B., Gordon, P., Duncan, R. & Milliron, L. (2020): Field Evaluation of Almond Varieties. Davis, CA: University of California.
- Montagnon, J.M. (2023): *Principes de formation des jeunes amandiers*. In Mandelseminar 2023. Wallierhof: Riedholz
- Neuwald, D.A. & Büchele, F. (2022): Obstproduktion im Zeichen des Klimawandels: Was tun gegen Frost? *Schweizer Zeitschrift für Obst und Weinbau* 158(9), 20-21.
- Palacio-Bielsa, A., Cambra, M., Martínez, C., Olmos, A., Pallás, V., López, M.M., Adaskaveg, J.E., Förster, H., Cambra, M.A., Duval, H. & Esmenjaud, D. (2017): Almond Diseases. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (321-374)
- Reutimann, A., Kay, S., Schwizer, T., Herzog, F. & Naef, A. (2020): Können Mandelbäume eine valable Alternative zu Hochstamm-Feldobstkirschen darstellen? *Agroscope Transfer*, 349, 1-16.
- Riquet, J. (2021): L'amandier en agriculture conventionnelle et verger adapté à la récolte mécanique du type vibreur à corolle. Fiche de Référence. Castanet Tolosan Cedex: Chambres d'Agriculture Occitanie (9 S.)
- Sideli, G., De Jong, T., & Saa, S. (2020): Almond Varieties and Selections – Evaluation of National and International Varieties or Selections Under Development. Modesto, CA: Almond Board of California.
- Socias i Company, R. (2017): Pollen–Style (In)compatibility: Development of Autogamous Cultivars In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (168-187)
- Socias i Company, R., Ansón, J.M. & Espiau, M.T. (2017): Taxonomy, Botany and Physiology. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (1-42)
- Teviotdale, B.L., Michailides, T.J. & Pscheidt, J.W. (2002): Compendium of Nut Crop Diseases in Temperate Zones. St. Paul, Minnesota: The American Phytopathological Society (89 S.)
- Tombesi, S., Lampinen, B.D., Metcalf, S. & DeJong, T.M. (2017): Yield in almond is related more to the abundance of flowers than the relative number of flowers that set fruit. *California Agriculture* 71(2), 68-74.
- Torche, L. (2021). Almond production in Switzerland: impact of climate conditions and pollinator communities. Master thesis (unpublished). Zurich: Swiss Federal Institute of Technology (90 S.)
- Verdú, A., Izquierdo, S. & Socias i Company, R. (2017): Processing and Industrialization. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (460-482)
- Wilson, H., Burks, C.S., Reger, J.E. & Wenger, J.A. (2020): Biology and Management of Navel Orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) in California. *Journal of Integrated Pest Management* 11(1): 25, 1-15.
- Zalom, F.G., Núñez, E. & Baldwin, R.A. (2017): Almond Pests. In Socias i Company, R. & Gradziel, T. (Eds.): *Almonds: Botany, production and uses*. Boston, MA: CABI. (375-405)