

Asimina triloba (L.) Dunal: Botanik, Kulturgeschichte, Kulturführung und Verwendungszwecke – Eine Literaturübersicht

Asimina triloba (L.) Dunal: Botany, History, Cultivation and Usage – A Review

Christoph Lehner^{1*}, Thomas Roth¹, Hans-Peter Kaul²,
Reinhard W. Neugschwandtner²

¹ Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn und Österreichische Bundesgärten, Abteilung für Gehölzkunde und Baumschulwesen, Jägerhausgasse 77, 1120 Wien, Österreich

² Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nutzpflanzenwissenschaften, Institut für Pflanzenbau, Konrad-Lorenz-Straße 24, 3430 Tulln an der Donau, Österreich

* Korrespondierender Autor: christoph.lehner@gartenbau.at

Einreichung: 1. November 2021, überarbeitete Einreichung: 16. März 2022, Annahme: 20. März 2022

Zusammenfassung

Die in Nordamerika heimische Dreilappige Papau (*Asimina triloba* (L.) Dunal) wird aufgrund ihres Potenzials als Ziergehölz, Fruchtpflanze und als Quelle wichtiger Sekundärprodukte mit Antitumor- und Pestizideigenschaften zunehmend geschätzt. Sie erfreut sich wachsender Beliebtheit in Gärtnereien und Baumschulen, vor allem als solitäres Obstgehölz für den Hausgarten, aber auch als Kuriosität in Obstbaubetrieben und in der Gourmetküche. Die Art ist wenig anfällig für Schädlinge oder Krankheiten und trägt Früchte mit einem einzigartigen Geschmack. Das Fruchtfleisch hat einen hohen Nährwert, ist reich an den Vitaminen A, B3 und C, Eiweiß und Mineralien, und kann als ausgezeichnete Quelle für Eisen, Kalium, Kalzium, Magnesium und Phosphor angesehen werden. Diese Mikronährstoffe fehlen häufig in der Ernährung von Kindern und Senioren.

Schlagwörter: Dreilappige Papau, Superfood, Annonin-Acetogenine, Antitumorwirkung, biologisches Breitbandinsektizid

Summary

The North American Pawpaw (*Asimina triloba* (L.) Dunal) is known for its potential as an ornamental or fruit tree, and for its chemical compounds with antitumor and pesticide characters. This species is receiving increasing attention in nurseries as solitary fruit tree for the garden, or as a curiosity in orchards and the gourmet cuisine. It is only little susceptible to pests and bear fruits with a unique flavor. The pulp has a high nutritional value, is rich in ascorbin, carotin, niacin, minerals and protein. It can be considered as an excellent source of calcium, iron, magnesium, phosphorus, and potassium. These important micronutrients are often missing in the diet of children and elderly people.

Keywords: North American Pawpaw, superfood, annonaceous acetogenins, anticancer effects, biological multi-purpose insecticide

Vorwort

- Alle Teile von *Asimina triloba* sind giftig. Erst mit fortschreitender Fruchtreife wird das Fruchtfleisch genießbar (Vines, 1960, in: Layne, 1996). Ein Verzehr von Schale, zerkauten Samen oder unreifen Früchten, aber auch übermäßiger Konsum von reifem Fruchtfleisch wirkt bei Tier und Mensch emetisch und diarrhöis zugleich. Im Jahr 2006 wurde die Lebensmittel- und Arzneimittelbehörde der USA (Food and Drug Administration) um Stellungnahme gebeten. Diese kam zum Schluss, dass im Anbetracht der Kulturgeschichte ein Verzehr von ausgelesenen Sorten bedenkenlos sei (McLaughlin, 2008).
- Da im historischen Kontext dieser Frucht der Trivialname „Indianerbanane“ Anstoß erregen könnte, wird im Folgenden nur mehr der Trivialname „Papau“ verwendet.
- Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wurde auf eine geschlechtsspezifische Differenzierung verzichtet. Personenbezogene Ausdrücke umfassen jedes Geschlecht gleichermaßen.

1. Einleitung

Asimina triloba ist eine mehrfach wiederentdeckte nordamerikanische Wildfrucht mit tropischer Verwandtschaft. Ihr cremiges Fruchtfleisch schmeckt nach einer Mischung aus Banane, Mango und Ananas mit einem Hauch Vanille (Pomper und Layne, 2005, 2008). Sie ist in den Vereinigten Staaten die größte heimische Baumfrucht (Darrow, 1975, in: Finneseth et al., 1998). In Nordamerika trägt ein guter Baum zehn bis zwanzig Kilogramm. Die Ernte für einen einzelnen Baum erstreckt sich in der Regel über drei bis vier Wochen (Pomper und Layne, 2005, 2008). Die Früchte der Papau haben sowohl Frischmarkt- als auch Verarbeitungspotenzial vor allem als Gourmetspeise (Pomper et al., 2009d). Mit der Auslese und Kultivierung herausragender Sorten stieg die Popularität auch in Europa. Trotz ihres Potenzials gibt es nur wenige Obstplantagen. Jene Früchte, welche auf Bauernmärkten oder bei Verkostungen angeboten werden, stammen zumeist aus Forschungseinrichtungen oder privaten Arboreten. Derzeit reicht die Erzeugerbasis nicht aus, um sie kommerziell vermarkten zu können. Die sehr verderbliche Natur der Früchte kann aber auch das verfügbare Angebot einschränken (Archbold et al., 2003a).

Ein wesentliches Hindernis für die Kultivierung einer neuen Art ist der Mangel an verfügbaren wissenschaftlichen

Informationen darüber, wie die Kultur wächst und wie sie am besten angebaut werden kann (Layne, 1996). Im Gegensatz zur amerikanischen gibt es kaum deutschsprachige Literatur zu dieser Art, was dazu führt, dass hiesige Gärtner und Obstbauern viel experimentieren müssen, obwohl die meisten spezifischen Informationen aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen und einigen Fachbüchern entnommen werden können. Ein primäres Leitziel dieser Arbeit besteht deshalb darin, dass alle Erkenntnisse in der deutschen Sprache auch jenen Personen barrierefrei zur Verfügung gestellt werden können, welche zwar im Fachbereich tätig sind, nicht aber über ausreichende Sprachkenntnisse verfügen oder schlichtweg keinen wissenschaftlichen Zugang haben.

2. Botanik

2.1. Taxonomie

Die Gattung *Asimina* gehört zu den überwiegend tropischen Annonengewächsen (*Annonaceae*), einer großen Familie aus der Ordnung der Magnolienartigen (*Magnoliales*). Die Familie der *Annonaceae* umfasst rund 130 Gattungen mit rund 2400 Arten (Couvreur et al., 2011), wovon rund 900 Arten dem Florenreich der Neotropis (Südamerika, Mittelamerika, die Westindischen Inseln, der südliche Teil von Mexiko sowie die Südspitze Floridas) zugeordnet werden (Chatrou et al., 2004, in: Hormaza, 2014). Zur dieser Familie gehören auch mehrere köstliche tropische Früchte wie die Netzannone (*Annona reticulata*), der Rahmapfel (*Annona cherimola*), der Zimtapfel (*Annona squamosa*) und die Stachelannone (*Annona muricata*), von denen einige bereits von präkolumbianischen Kulturen in Mittel- und Südamerika als Nahrungsquelle verwendet wurden (Popenoe, 1989, in: Hormaza, 2014; Lora et al., 2018). Die Gattung *Asimina* umfasst neun Arten, wobei *A. triloba* das größte Potenzial als Nutzpflanze hat, da sie die größten Früchte ihrer Gattung produziert und zudem im gemäßigten Florenreich der Holarktis (dem Großteil der nördlichen Hemisphäre) gedeihen kann (Layne, 1996; Pomper und Layne, 2005, 2008).

2.2. Natürliches Verbreitungsgebiet

Die Gattung *Asimina* umfasst in Nordamerika acht heimische Arten, von denen vier (*A. obovata*, *A. pygmaea*, *A. reticulata* und *A. tetramera*) ausschließlich in Florida vorkommen,

zwei davon (*A. incana* und *A. longifolia*) wachsen in Florida und im Süden von Georgia, und eine (*A. parviflora*) gedeiht von Florida bis West-Texas und im Norden bis North Carolina (Brett und Callaway 1992; Callaway 1993; USDA, 2020). *A. triloba* wächst wild als Großstrauch in Hartholzwäldern in einem Gebiet von Nordflorida, im Westen bis nach Nebraska (Kral, 1960, in: Layne, 1996) und im Norden sogar bis nach Südontario (Fox, 2012). In Wäldern vergesellschaftet sie sich mit Eichen (*Quercus* spec.), Hickory (*Carya* spec.), Schwarznüssen (*Juglans nigra*) und Tulpenbäumen (*Liriodendron tulipifera*) (Moore, 2015). Abbildung 1 zeigt jene Staaten und Provinzen, in denen *A. triloba* heimisch ist, sowie den nordamerikanischen Papau-Gürtel, ein Gebiet mit besonders hoher Artabundanz.

2.3. Beschreibung der Pflanze

A. triloba gedeiht am Naturstandort auf fruchtbaren Schwemmlandböden (Moore, 2015). Sie bevorzugt saure

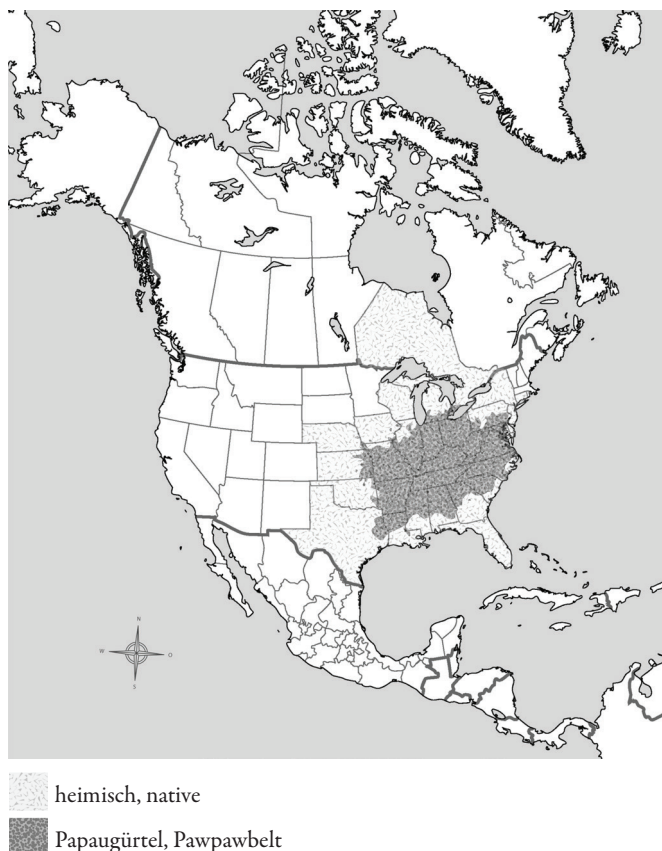


Abbildung 1. Natürliches Verbreitungsgebiet der Papau (Datenquelle: Moore, 2015; USDA, 2020)

Figure 1. Natural distribution area of pawpaw (Source: Moore, 2015; USDA, 2020)

Böden sowie mildes Klima, verträgt aber auch winterliche Temperaturen bis -30 °C (Pomper und Layne, 2005, 2008). Das Kernholz ist mit 390 kg/m³ sehr leicht. Das physiologisch aktive Splintholz ist verhältnismäßig dünn und besteht aus nur wenigen Jahrringen. Sargent (1890) beschreibt die großlumigen Gefäße gar als schwammig. Die Bäume erreichen eine Höhe von fünf bis acht Meter und werden auf Grund von Wurzelbrut in der Regel als natürliche Tuffs (Sprossenfamilien) gefunden. An sonnigen Standorten bilden die Bäume den juvenilen pyramidenförmigen und später den adulten ovalen Habitus, mit einem geraden Terminaltrieb (Leittrieb) und üppigen, dunkelgrünen, langen herabhängenden Blättern. Diese sind wechselständig angeordnet, können 15 bis 30 cm lang und 10 bis 15 cm breit werden. Zudem entwickeln sie eine kräftig gelbe Herbstfärbung (Pomper und Layne, 2005, 2008). Alle Knospen bilden sich am Holz des Vorjahres, wobei die dunkelbraun behaarten Blütenknospen hängend sind. Vegetative Knospen sind grau, schmal und spitz (Schulz, 2014). Die dunkelroten Blüten sind hypogyn (oberständiger Fruchtknoten) und stets protogyn (zuerst weiblich, dann männlich blühend). Die Narben sind bereits vertrocknet, wenn sich die Staubblätter öffnen (Abbildung 2). Das Gynäzeum (weibliches Blühorgan) kann drei bis sieben Ovarien (Fruchtknoten) ausbilden, weshalb aus einer Blüte drei bis sieben (selten auch neun) Früchte hervorgehen (Lampton, 1957; Wilson und Schemske, 1980). Grundsätzlich gibt es zwei Reproduktionsmöglichkeiten, die generative und die vegetative, also über Sämlinge und Sprösslinge. In gärtnerischer Kultur lassen sich vegetative Sprösslinge mit einem Rasenmäher leicht in Schach halten, wodurch der Pflanze mehr Energie für die generative Reproduktion bleibt (Reich, 2004).

2.4. Reproduktionsbiologie

2.4.1. Vegetative Reproduktionsbiologie

Am Naturstandort schießen regelmäßige Sprosse in einiger Entfernung vom Stamm hoch, sodass sich ein einzelner Baum schließlich zu einem Dickicht mit mehr als 500 Stämmen ausbreitet (Hosaka et al., 2005). Eine Sprossenfamilie mit einem einzigen Wurzelsystem kann einen Viertel Hektar (2500 m²) umfassen (Reich, 2004). Durch die starke vegetative Vermehrung ist invasives Potential zu erwarten. Im Bundesstaat Massachusetts entwickeln sich gepflanzte Landschaftsbäume zu Kolonien (Standley und Katzenberg, 2019). Infolge der Abnahme von Waldbränden seit 1966 verbreitet sie sich im Bundesstaat Illinois stark. Wenn sich eine Pflanze zur Kolonie entwickelt, nimmt sie auf der



Abbildung 2. Blütenontogenese: frühes weibliches Stadium (links), spätes männliches Stadium (rechts)

Figure 2. Floral ontogeny: early female stage (left), late male stage (right)

Ausbreitungsfläche den Großteil des Vegetationsanteils ein (Larimore et al., 2003). Die standorttypische Flora und Fauna wird durch das dichte Unterholz zunehmend verdrängt und erschwert die Waldpflege. Bekämpfungsversuche mit unterschiedlichen Herbiziden waren wenig erfolgreich (Olson und Keeley, 2018). Genetische Studien haben gezeigt, dass es in der Wildnis auch chimäre Sprossfamilien gibt, also einen zusammenhängenden Organismus mit zwei oder mehreren Genotypen (Pomper et al., 2003b, 2009a). In unterschiedlichen Versuchsreihen wurde beobachtet, dass sich Sämlinge der Papau bereits im sehr frühen Keimstadium durch Zusammenwuchs der Hypokotyle der Sämlinge (Sprossachsen unterhalb der Keimblätter) zu einer Chimäre vereinen können (Lehner et al., s. a.).

2.4.2. Generative Reproduktionsbiologie

Die Papau ist ein Fremdbefruchter, ihr Bestäubungserfolg in Wildbeständen ist infolge der Autosterilität (Selbstinkompatibilität) wenig effektiv. Generell setzen große Wildbestände nur sehr selten Früchte an (Lagrange und Tramer, 1985; Reich, 2004), vermutlich auch wegen der starken vegetativen Vermehrung. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Obstproduktion an Wildbäumen hauptsächlich durch unzureichende Bestäubung begrenzt war. In freier Wildbahn setzten nur 0,41 % der natürlich bestäubten Blüten Früchte an, während 17 % der handbestäubten Blüten Früchte tragen konnten (Wilson und Schemske, 1980). Möglicherweise führen

in dichten Wildbeständen auch niedrigere Lichtverhältnisse zu einer verminderten Photosyntheseleistung, welche den Fruchtausatz beeinträchtigen könnte (Pomper et al., 2003c). Bei Solitärpflanzen (Einzelgänger) soll weniger als ein Prozent der Blüten Früchte ansetzen, was ebenfalls auf die Selbstinkompatibilität der Art zurückzuführen ist. Für einen guten Fruchtausatz sind mehrere genetisch unterschiedliche Sorten mit Kreuzbestäubung notwendig (Reich, 2004). Bei einigen Sorten kann sich der Start in die Blühsaison jedoch um wenige Tage unterscheiden. Noch vor dem Blattaustrieb Ende April schwellen die behaarten Blühknospen an. Aus phänologischer Sicht startet *Asimina triloba* unmittelbar nach dem Höhepunkt des Blüten-Hartriegels (*Cornus florida*) (Layne, 1996). Die Blütenblätter der Papau sind anfangs noch grün, werden rasch rosa, später dunkelrot bis violett und zuletzt kastanienbraun (Pomper und Layne, 2005, 2008). Im Vergleich zu anderen *Annonaceae*-Arten zeigen Einzelblüten von *A. triloba* mit einer Blühdauer von elf Tagen eine besonders lange Empfänglichkeit für Pollen. Die Narben sind bereits empfänglich, wenn sich die Blüte zu öffnen beginnt und die Blütenblätter noch grün sind (Losada et al., 2017). Die Blüten öffnen sich langsam nacheinander, weshalb eine Kreuzbestäubung im Zeitraum von mehreren Wochen möglich ist (Pomper et al., 2008a). Die Blütezeit eines Einzelbaumes erstreckt sich in der Regel über drei bis vier Wochen, weshalb auch die Früchte zu unterschiedlichen Zeitpunkten reifen. (Pomper und Layne, 2005, 2008; Reich, 2004). Eine längere Blütezeit oder eine besonders hohe Blütenzahl hat keine Auswirkungen auf den Fruchtausatz (Pomper et al., 2008a). Die Papau konnte in einigen Beobachtungen auch remontant sein und nach der Hauptblüte neue Blütenknospen ausbilden. Keine dieser Blüten entwickelte Fruchtstände, was mutmaßlich auf mangelnde Bestäubungserfolge mit anderen Sorten zurückgeführt werden kann (Lehner et al., s. a.). Die Blüten selbst (Abbildung 2) werden nicht von Bienen, sondern vorwiegend von Aasfliegen und Käfern bestäubt und verströmen einen vergorenen, hefeartigen Duft (Goodrich et al., 2006). Bienen zeigen kein Interesse an den dunklen, stinkenden Blüten (Pirc, 2015).

2.5. Beschreibung der Frucht

Die Beeren werden zumeist in Trauben aber selten auch einzeln getragen und erreichen ein Einzelgewicht bis zu 600 Gramm. Abbildung 3 zeigt eine Traube mit besonders großen Früchten. Sie sind sehr nahrhaft und haben zwei Samenreihen mit rund 12 bis 20 Samen, die bis zu drei Zentimeter lang sein können. Das Fruchtfleisch hat ein starkes



Abbildung 3. Eine Traube der Sorte 'NC-1'
Figure 3. Cluster of the variety 'NC-1'

Aroma und einen einzigartigen Geschmack (Pomper und Layne, 2005, 2008). Mit fortschreitender Fruchtreife intensiviert sich der Geschmack zunehmend (Pomper et al., 1999). Überreife Früchte haben ein unappetitliches Aussehen und ein unangenehmes Aroma, welche die Verbraucher oft abschrecken (Duffrin und Pomper, 2006). Die Literatur beschreibt zwei unterschiedliche Fruchttypen: einen großen, gelbfleischigen, stark aromatischen, frühreifenden Typ und einen kleineren, weißfleischigen, milden, spätreifenden Typ, wobei die gelb gefärbten Früchte tendenziell besser schmecken sollen als weiße. Sargent (1890) hat die weißfleischigen Früchte gar als ungenießbar beschrieben. Aus Sicht der Botanik werden diese Fruchttypen nicht als getrennte Arten unterschieden (Callaway, 1991; Reich, 2004).

3. Historischer Abriss

3.1. Evolutionsgeschichte

Asimina triloba ist ein lebendes Fossil. Der nordamerikanische Kontinent vor 56 Millionen Jahren unterscheidet sich aber grundlegend von jenem Land, welches wir heute kennen. Vom äquatorialen Zentrum bis zum nördlichen Polarkreis gediehen Palmen, in den Sümpfen Alaskas lebten Alligatoren, es gab riesige Bodenfaultiere, aktive Vulkane, Säbelzähntiger, Wollhaarmammuts und alte Baumfarne, aber auch schon die Gattung *Asimina* (Moore, 2015). Paläontologische Ausgrabungen belegen, dass sie bereits im Paläozän und Eozän in den heutigen Bundesstaaten Mississippi und New Jersey gewachsen ist, wobei die Archäologen

nicht zwischen den neun rezenten *Asimina*-Arten differenzierten konnten (Berry, 1916, in: Hormaza, 2014; Peterson 1991). Beide Epochen waren nach geologischen Maßstäben zwei sehr kurze Warmzeiten, welche zusammen nur knapp 200.000 Jahre gedauert haben sollen (Sluijs et al., 2009). Die ältesten Samen, welche eindeutig von *A. triloba* stammen, wurden dem Miozän vor etwa 23 bis 5,3 Millionen Jahren zugeordnet (Berry, 1916, in: Hormaza, 2014). Die große, fleischige, süße Frucht mit ihren zahlreichen großen Samen entwickelte sich nur zu einem bestimmten Zweck, nämlich um bemerkt, gegessen und schließlich über das Verdauungssystem der Megafauna verbreitet zu werden (Janzen und Martin, 1982). Da diese mit dem Ende des Pleistozäns vor rund 11.700 Jahren ausgestorben war, vermutete Barlow (2001), dass die Gattung *Asimina* nur überleben konnte, da sie die Fähigkeit zur vegetativen Vermehrung innehat. Spätestens seit dem Ende der letzten Eiszeit, dem Beginn des Holozäns, wird die Papau vom Menschen verbreitet. In archäologischen Stätten der frühesten nordamerikanischen Ureinwohner wurden versteinerte Samen in großen, konzentrierten Mengen gefunden, was eine saisonale Ernte nahelegt (Peterson, 1991).

3.2. Indigene Kultivierung

Der erste schriftliche Bericht über die indigene Kultivierungsform stammt aus dem Jahr 1541, als spanische Pioniere Ureinwohner fanden, welche im Schwemmland des Mississippi Papaufrüchte anbauten und aßen (Pickering, 1879, in: Pomper und Layne, 2005; Sargent, 1890). Es wird auch vermutet, dass die indigenen Stämme das Papau-Sortiment erweitert haben (Barlow, 2002, in: Moore, 2015). Keener und Kuhns (1997) mutmaßten, dass die Papau in New York und Südontario nur durch indigenen Anbau etabliert werden konnte, wohingegen Murphy (2001) eine unabsichtliche Verbreitung über das menschliche Verdauungssystem erwog. Infolge eines gezielten Anbaus wäre es naheliegend, dass wünschenswerte Eigenschaften ausgewählt wurden. Heutige wildwachsende Papau-Tuffs mit herausragender Fruchtbildung könnten also durchaus Überbleibsel eines vor langer Zeit verlassenen Obstgartens sein (Moore, 2015). Die Papau war für die Ureinwohner mehr als nur Nahrung. Aus der faserigen Rinde des Baumes wurden bis ins 19. Jahrhundert Seile, Schnüre und sogar Fischernetze hergestellt (Sargent, 1890). Aus der schamanischen Medizin wird berichtet, dass zur Behandlung gegen Kopfläuse Samen zu Pulver gemahlen und auf die Kopfhaut aufgetragen wurde (Moerman, 1998, in: Moore, 2015).

3.3. Kulturelle Bedeutung in Nordamerika

Nicht ohne Grund sind in den USA viele Straßen, Schulen, Bäche, ja sogar ganze Ortschaften, Inseln oder Friedhöfe nach dem englischen Trivialnamen „Pawpaw“ benannt (Layne, 1996). Angesichts der Tatsache, dass jeder dieser Orte nach der natürlichen Abundanz dieser Pflanze benannt wurde, ist es bemerkenswert, dass Pioniere und Stadtgründer ihre Wertschätzung gegenüber der Papau damit zum Ausdruck brachten. Neben jenen Personen, welche sich mit der indigenen Kultur identifizieren, ist die Papau auch für Amerikaner, deren Wurzeln bis in die Kolonialzeit zurückreichen, von besonderer Bedeutung. Zweifellos waren alle Kolonialisten für Nahrung aus der Wildnis dankbar, aber besonders die Spanier brachten neben Vieh auch Samen und landwirtschaftliche Traditionen aus der Alten Welt mit. Abgesehen davon, dass sie vertraute Speisen an einem unbekannten Ort ermutigten, hätten sie wahrscheinlich auch nicht daran gedacht, etwas Anderes anzubauen als das, was sie bisher immer gekannt hatten. Aber der neu eroberte Kontinent zwang sie bald dazu, sich anzupassen, insbesondere dann, wenn Siedlungsgebiete auf unbestimmte Zeit verlassen wurden. Befestigte Verteidigungsanlagen und Handelsplätze waren mitunter bis zu 1000 km voneinander entfernt. Erst unter diesen Umständen wurden alte Wildfrüchte, darunter die Papau oder die Amerikanische Persimone (*Diospyros virginiana*), als Nahrungsmittel wiederentdeckt (Moore, 2015). Für die versklavten Afroamerikaner entwickelte sich die Papau zu einem der wichtigsten Nahrungsmittel, welche die mageren Vorräte ergänzte, insofern sie überhaupt die Freiheit hatten, nach wilden Lebensmitteln zu suchen oder gar zu jagen. Häufig fanden diese Aktivitäten nachts statt, wenn mit den süßen Früchten auch Waschbären, Opossums und andere nachtaktive Kleintiere geködert werden konnten, welche meist mitsamt den Früchten verkocht und verspeist wurden (Moore, 2015). Der Duft, die Textur und das Aroma der Papau wären auch jedem Afrikaner mit Erinnerungen an die Heimat vertraut gewesen. Es gibt mindestens 400 *Annonaceae*-Arten, welche in den tropischen Regionen des afrikanischen Kontinents heimisch sind. Die Papau ähnelt also in vielerlei Hinsicht jenen Früchten, welche in Afrika gegessen werden (National Research Council, 2008, in: Moore, 2015).

Im amerikanischen Bürger- und Unabhängigkeitskrieg lernten Soldaten die Früchte wegen ihres Nährwerts zu schätzen und betrieben damit als Tauschgut Handel. Als die Grenzen geregelt waren, die Städte und Handelsnetzwerke wuchsen,

nahm die Bedeutung der Wildkost ab. Die Papau geriet über zwei Jahrhunderte beinahe in Vergessenheit (Moore, 2015). Nur wenige Waldbesitzer kannten Papau-Tuffs mit guter Fruchtbildung und hielten die herbstliche Waldernte als Tradition aufrecht (Crabtree und Pomper, 2019).

3.4. Der Weg zur Domestizierung

Im Jahr 1916 kündigte die „American Genetics Association“ einen Wettbewerb an, um die besten Papaufrüchte zu finden. Als Preis sollten 50 \$ ausbezahlt werden (50 USD von 1916 entsprechen in etwa einer heutigen Kaufkraft von rund 1.200 €). Ziel des Wettbewerbs war es, Gene überlegener Wildfrüchte zu sammeln. Die Sponsoren waren der Meinung, dass mit gezielter Züchtung Nachteile beseitigt und Sorten mit kommerzieller Qualität entwickelt werden könnten. Die Einsendung erfolgte per Paketpost an das Büro des Verbandes in Washington D.C. Die Kommission soll daraufhin festgestellt haben, dass die schnellverderbliche Natur der Früchte der Hauptausschlussfaktor für eine Kommerzialisierung sei (Popenoe, 1916, 1917, in: Archbold et al., 2003a; Pomper et al., 2003c).

Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts beschäftigten sich nur einige wenige Enthusiasten mit der Entdeckung überlegener Selektionen aus der Wildnis (Peterson, 2003). Im Jahr 1981 erfuhr die Papau eine bessere Vermarktung, als Neal Peterson aus Harpers Ferry (West Virginia) die PawPaw-Foundation (PPF) gründete (Pomper und Barney, 2003). Im Jahr 1990 wurde der Wettbewerb von 1916 an der Kentucky State University (KSU) wiederholt (Callaway, 1991), einerseits, um neues Genmaterial zu sammeln, andererseits, um das öffentliche Interesse zu stärken (Callaway, 1992). Im Jahr 1993 schlossen sich zwölf Institutionen der PPF an, um Aspekte wie den Klimaeinfluss, die Kulturführung, Schädlinge und Fruchteigenschaften der Papau zu bewerten (Pomper et al., 2003c). Erst zur Jahrtausendwende haben das niedrige landwirtschaftliche Nettoeinkommen und die anhaltend niedrigen Rohstoffpreise viele US-Landwirte veranlasst, alternative Kulturen zu prüfen, insbesondere Kulturen mit hoher Gewinnspanne wie Obst (Peterson, 2003). Zwischen 1995 und 2005 führte die KSU Untersuchungen an 26 Sorten und einigen Wildauslesen durch (Pomper et al., 2005). In Princeton und Frankfurt (Kentucky) haben sich die Sorten 'NC-1', 'Overleese', 'PA-Golden 1', 'Potomac', 'Shenandoah', 'Sunflower', 'Susquehanna' und 'Wabash' gut bewährt (Pomper und Layne, 2005, 2008; Pomper et al., 2008b).

3.5. Ausblick: Forschung an Hybriden

In der letzten Dekade haben gezielte Kreuzungsverfahren auf Basis genetischer Marker das Interesse von Forschern geweckt. Somit könnten wünschenswerte Eigenschaften ohne ein langwieriges Ausleseverfahren erzielt werden. Bei *A. triloba* wurde ein hohes Maß an genetischer Diversität festgestellt, was eine Identifizierung herausragender Marker für besonders gute Fruchteigenschaften erheblich erschwert (Pomper et al., 2010). Eine darauffolgende Vergleichsstudie hat gezeigt, dass ältere Sorten und Wildauslesen einen größeren Genpool bilden als neue Selektionen (Lu et al., 2011). Alte Studien über gezielte Art-Hybriden wurden nicht weiterverfolgt. So soll der Gärtner George A. Zimmerman aus Picketown (Pennsylvania) in einem 18-jährigen Projekt eine fruchttragende Hybride aus *Asimina triloba* und *A. obovata* gekreuzt haben. Er starb 1941, bevor seine anderen Kreuzungen mit *Asimina longijfolia*, *A. incana* und *A. reticulata* Fruchtersatz zeigen konnten. Sein Obstgarten ist seit Jahrzehnten verwildert, die Pflanzen sind vermutlich tot (Peterson, 2003). DeLaney (2010) berichtete, dass in Florida eine natürliche Hybridisierung zwischen *A. triloba* und *A. parviflora* wahrscheinlich ist. In South Carolina wurde 2006 eine ungewöhnliche Sprossenfamilie gefunden, die als potenziell hybriden Ursprungs identifiziert wurde (Horn, 2015).

3.6. Etablierung in Europa

Die erste Entsendung von Samen nach Europa wurde durch den Botaniker John Bartram im Jahr 1736 dokumentiert. Auch der amerikanische Gründungsvater Thomas Jefferson soll Anfang des 19. Jahrhunderts Samen nach Europa versendet haben (Moore, 2015). Da die Samen ohne Kühlung binnen weniger Tage vertrocknen und der Embryo im Samen seine Lebensfähigkeit verliert (Finneseth et al., 1998, 2002b), ist es eher unwahrscheinlich, dass mit diesen Samen ein Keimerfolg stattgefunden hat. Der Mikrofilm eines Originalmanuskripts soll belegen, dass ebenfalls im Jahr 1736 im Garten des gelehrten Lord Robert Petre aus Thorndon Hall (England) drei Magnolien (*Magnolia grandiflora*, *M. tripetala* und *M. virginiana*), ein Trompetenbaum (*Catalpa bignonioides*) und ein Papaubaum (*Asimina triloba*) erstmalig vorgestellt wurden (Miller, s. a., in: Laird, 1999). Da die großen Blüten und Blätter auf die Gesellschaft im Rokoko und Klassizismus sehr exotisch gewirkt haben müssen, wurde sie fortan in botanischen Gärten und selten auch als Ziergehölz kultiviert (Sargent, 1890). Über eine Ernte von Früchten zu dieser Zeit wurde nicht berichtet, was mutmaßlich auf die

Autosterilität (Selbstinkompatibilität) der Papau zurückzuführen ist. Die erste schriftliche Erwähnung in der deutschsprachigen Literatur erfolgte durch Alfred Karásek (1901). In den 1930er Jahren gedieh in Siebenbürgen (Rumänien) eine autofertile (selbstfruchtende) Pflanze. Deren Samen entstammten einer Frucht, welche als Reiseproviand einer Familie gedacht war, und im Hof ihres Hauses angebaut wurde. Viele Jahre lang war diese Pflanze eine Kuriosität für die Einheimischen, aber aus Mangel an Wissen konnte sie nicht verbreitet werden. Stănikă (2012) berichtet, dass die ursprüngliche Pflanze dort noch wachsen soll. Die Fähigkeit zur Autofertilität (Selbstbefruchtung) faszinierte auch den italienischen Obstbauern Domenico Montanari aus Faenza (Italien), der im Jahr 1983 erste Experimente startete, aus denen sich ein Zuchtprogramm entwickelte. Aus diesem geht die renommierte Sorte 'Prima 1216-60' hervor (Bellini und Montanari, 1992, 2000, in: Bellini et al., 2003). Erst zur Jahrtausendwende wurde die Art auf Basis der amerikanischen Forschungsbemühungen auch in anderen europäischen Sichtungsgärten in Italien, Rumänien, Bayern und Österreich etabliert (Pomper und Layne, 2005, 2008). Die Versuchsplantage der HBLFA Schönbrunn wurde 2003 in Hetzendorf (Wien) angelegt und 2009 in einen angrenzenden Versuchsgarten verpflanzt (Pirc, 2015).

3.7. Namensgebung

3.7.1. Trivialnamen

Im Laufe der Jahre gab es in Nordamerika viele Trivialnamen wie beispielsweise „bandango“, „custard apple“, „fetid-bush“, oder „poor man's banana“ (Moore, 2015). Langfristig hat sich aber ein ganz anderer Trivialname durchgesetzt. Im Jahr 1886 berichteten die Gebrüder John und Curtis Lloyd, dass Negrosklaven der Westindischen Inseln diese Früchte nach einer ihnen bekannten Art als „Paw Paw“ bezeichnet hatten. Dies war das erste Mal, dass sich das Wort „Pawpaw“ in der Druckschrift auf *Asimina triloba* bezieht (Lloyd und Lloyd, 1886, in: Moore, 2015). Der hiesige Trivialname „Dreilappige Papau“ ist die deutsche Übersetzung des lateinischen Art- (*triloba*) und des englischen Trivialnamens (Pawpaw).

3.7.2. Gattungsname

Der Kolonist William Strachey beschrieb sie 1612 mit dem Wort „Assimin“, nach der indigenen Bezeichnung vom Stamm der Powhatan „Assessin“. Der französische Entdecker Julien Binniteau beschrieb die Gattung 1699 ebenfalls mit dem indigenen Wort des Stammes der Algonquin

als „Asimines“ (Drechsel, 1997, in: Moore, 2015). Diese Wortstämme bedeuten in der indigenen Sprache Beere oder Frucht (Greenawalt, 2016). Schließlich benannte der französische Naturforscher Michel Adanson im Jahre 1763 die Gattung *Asimina* (Drechsel, 1997, in: Moore, 2015).

3.7.3 Artnamen

Der Artnamen *triloba* soll sich auf die Blütenontogenie beziehen. Voll entfaltete Blüten haben einen äußeren und einen inneren Quirl aus dreilappigen Blütenblättern (Abbildung 2) (Pomper und Layne, 2005, 2008).

4. Kulturführung

4.1. Obstbaumproduktion in der Baumschule

Wild- und Sämlingspflanzen der Papau entwickeln zumeist Früchte mit unangenehmem Geschmack. Mittels einer Veredelung können die Eigenschaften einer erprobten Pflanze vervielfältigt werden (Layne, 1996). Vor der Veredelung werden deshalb kräftige Sämlingsunterlagen herangezogen, auf welche später Triebspitzen oder Einzelknospen transplantiert werden. Diese Technik ermöglicht somit den Erhalt der Ursprungsorte als Klon (Davies und Geneve, 2002).

4.1.1. Samengewinnung und -aufbewahrung

Die Samenernte sollte nur von frischen Früchten erfolgen, da Fermentierungsprozesse in älterem Fruchtfleisch den Embryo töten können (Bonner, 2008). Durch technische Mazeration der Früchte und anschließendes Abschwemmen von Fruchtfleischresten soll das Extrahieren von Samen erleichtert werden (Finneseth et al., 2000b). Zur Verhinderung einer Pilz- und Bakterienkontamination während der Kaltstratifikation (Keimruhe) können die Samen für ein bis zwei Minuten in einer 10 bis 20 %igen Natriumhypochloritlösung [NaClO] gebadet werden (Layne, 1996). Eine Samendesinfektion konnte die Embryonen bei Brombeeren (*Rubus*) vor Pilzbefall schützen und die Keimfähigkeit signifikant steigern (Zasada und Tappeiner, 2008), bei *A. triloba* zeigten zwölf Versuchsreihen mit je 130 Samen nur eine schwache Steigerung des Keimerfolges. Ein kurzes Bad in Natriumhypochloritlösung erleichterte aber das Entfernen von Fruchtfleischresten immens (Lehner et al., s. a.). Die Samen der Papau vertragen keine vollständige Austrocknung. Bei wenigen Tagen Raumtemperatur oder unter freiem Himmel kann der Feuchtigkeitsgehalt stark sinken und zu einem vollständigen Verlust der Lebensfähigkeit führen. Auch die

Lagerung in einem Gefrierschrank bei -15°C soll den Embryo töten. Die Samen konnten aber im Kühlschrank bis zu drei Jahre auf Sphagnummoos (feuchtem Torfmoos) in Ziplockbeuteln gelagert werden (Callaway, 1993; Finneseth et al., 1998, 2002b).

4.1.2. Keimung

Bevor der Keimprozess beginnt, müssen die Samen 60 bis 100 Tage kaltstratifiziert werden. Im Versuch wurde dabei die Keimfähigkeitsrate von 1 auf 70 % erhöht. Der Keimerfolg könnte durch konstante Umweltbedingungen zusätzlich gesteigert werden. Im Laborversuch zeigte sich die höchste prozentuale Keimung bei konstant 27°C Bodenwärme unter Lichtabschluss (Evert und Payne, 1991). Es wird auch vermutet, dass weitere Vorkeimfaktoren die Keimfähigkeitsrate beeinflussen. So zeigte Hydrogel (Polyacrylamid-Copolymer) als Stratifizierungsmedium signifikant schnellere Keimerfolge als die Vergleichsgruppen in Quarzsand. Darüber hinaus kann die Keimung bereits im Stratifizierungsmedium erfolgen (Abbildung 4). Dies ermöglicht es Samen mit abgestorbenen Embryonen noch vor dem Anbau auszusortieren. Die Radicula (Keimwurzel) reagiert aber sehr empfindlich auf einen Tausch des Substrats (Lehner et al., s. a.).

Die Keimung bleibt oft unbemerkt, da sie unterirdisch stattfindet. Die Samen sind hypogäische Dunkelkeimer, ihre Capsulae (Samenkapseln) verbleiben in der Erde, weshalb sie einen Zentimeter tief eingegraben werden sollten. Optional können sie in einem abgedunkelten und beheizten Keimapparat vorkeimen (Finneseth et al., 2000b).



Abbildung 4. Ontogenese der Keimachse: Austritt der Radicula (links), Hypokotylverlängerung (zentral) und bewurzeltes Hypokotyl (rechts), Raster in cm

Figure 4. Ontogenesis of the embryo axis: radicle protrusion (left), hypocotyl elongation (middle) and rooted hypocotyl (right), scale in cm

Die Kotyledonen (Keimblätter) sind haustorial, sie verbleiben in ihren Samenkapseln und verlagern das Speichermaterial vom Endosperm (Nährgewebe) in den Embryo (Finneseth et al., 1998). Erst 45 bis 90 Tage nach dem Anbau stößt das Hypokotyl (Sprossachse unterhalb der Keimblätter) samt Samenkapsel durch die Erdoberfläche. Das Wurzelwerk ist zu diesem Zeitpunkt bereits gut entwickelt (Reich, 2004). Die Samenkapsel und die darin eingeschlossenen Keimblätter werden nur benötigt, solange das Endosperm metabolisiert wird (Finneseth et al., 1998). Eigene Versuchsreihen haben gezeigt, dass einige Jungpflanzen zum Zeitpunkt der Keimblattabzission (Abwurf) das vegetative Wachstum unterbrechen, mitunter auch vollständig einstellen konnten. Obwohl während des gesamten Versuchszeitraums geeignete Wachstumsbedingungen aufrechterhalten wurden und das Wurzelwerk größtenteils vital war, konnte keine dieser Pflanzen eine Sprossachse oberhalb der Keimblätter (Epikotyl) entwickeln. Viele Sämlingspflanzen mit vertrockneten Samenkapseln waren aber nach rund

zwölf Monaten imstande, Adventivtriebe (aus remeristematisierten Knospen) aus dem vitalen Hypokotyl (Sprossabschnitt unterhalb der Keimblätter) auszubilden (Abbildung 5), weshalb eine Dormanz (Entwicklungsverzögerung) im Wurzelgewebe naheliegt (Lehner et al., s. a.). Die Literatur nennt keine Ursachen für diese Ruhezeit bei *A. triloba*. In diesem Kontext zeigen beispielsweise Sandelholzbäume (*Santalum album*) ein sehr ähnliches Keimverhalten, wobei nur wenige Sämlinge eine Sprossachse ausbilden können (Sahai und Shivanna, 1984). Laborversuche konnten dies auf das Fehlen unterschiedlicher Mykorrhiza Symbiosepartner zurückführen (Ouyang et al., 2016).

4.1.3. Aufzucht der Pflanzunterlage

Da der Wurzelballen junger Papaupflanzen bruchempfindlich ist, vermehren die meisten Züchter die Papaubäume nicht in einem Baumschulbeet, sondern in hohen Containern, sogenannten Roottrainern. Dies führt in der Produktion zu deutlich höheren Kosten für die Endverbraucher (Pomper et al., 2003a). Als Containersubstrat hat sich in verschiedenen Versuchsreihen ein 50:50-Gemisch aus ProMix®-Mycorrhizae™ (saures Torfmoos pH: 5,0–5,6) mit Sand bei einer Bodenwärme von 32 °C als ideal erwiesen (Pomper et al., 2002b). Sämlinge, welche einer optimalen Bodenwärme ausgesetzt waren, zeigten im Versuch höhere Werte bei der Pflanzenhöhe, der Gesamtblattfläche und der Biomasse als jene, die einer suboptimalen Temperatur ausgesetzt waren. Eine Bodenheizung könnte somit die Produktionszeit einer verkaufsfähigen Pflanze als auch die Heizkosten für Gewächshäuser senken (Pomper et al., 2003a). Um Ringelwuchs der Pfahlwurzel zu vermeiden, kann ein Farbanstrich auf Latexbasis an der Innenseite des Roottrainers gemischt mit Kupfer(II)-hydroxid $[\text{Cu}(\text{OH})_2]$ vorgenommen werden. Das Kupfer löst sich lokal an der Wurzelspitze, was im Allgemeinen zu Verbrennungen und einer stärkeren seitlichen Verzweigung führt. Im Versuch an jungen Papaubäumen stimulierte dies die Entwicklung eines feinfaserigen Wurzelsystems statt einer Pfahlwurzel (Pomper et al., 2002a). Am Ende des Versuchs zeigten jedoch jene Pflanzen, deren Roottrainer mit $\text{Cu}(\text{OH})_2$ bestrichen wurden, eine Gelbfärbung der Blätter sowie einen verringerten Chlorophyllgehalt, was darauf schließen lässt, dass die Pflanzen an der Kupfertoxizität litten und eine Konzentration unter 100 g/L verwendet werden sollte (Pomper et al., 2003a). Ein Versuch über den Düngemittelbedarf von Topfware hat gezeigt, dass es langfristig keine signifikanten Unterschiede zwischen einer wöchentlichen Applikation von 500 mg/L „Peters® liquid-feed fertilizer“ oder



Abbildung 5. Entwicklung einer photosynthetisch aktiven, adventiven Sprossachse, ein Jahr nach der Unterbrechung des vegetativen Wachstums infolge der Keimblattabzission, Raster in cm

Figure 5. Growth of a photosynthetically active adventitious shoot, one year after developmental delay due to cotyledonabscission, scale in cm

einer einmaligen Beimengung von $0,81 \text{ kg/m}^3$ des Langzeitdüngers „Osmocote“ gab (Pomper et al., 2002c). Keimlinge hingegen, deren Anzuchtsubstrat der Langzeitdünger „Osmocote“ beigemischt wurde, zeigten ein schnelleres Wurzelwachstum als deren Vergleichsgruppen (Finneseth et al., 1998). Sobald ein Jungbaum ein Dutzend oder mehr Blätter ausgebildet hat, muss er in einen größeren Roottrainer verpflanzt werden. Andernfalls kann die Endknospe am Terminaltrieb ihr Wachstum einstellen. Durch eine künstlich verlängerte Photoperiode mit Bodenheizung und Düngemittelapplikation konnte ein Spitzenwachstum von 1,5 m im ersten Jahr erzielt werden. Somit könnte bereits im zweiten Jahr okuliert werden (Layne, 1996).

4.1.4. Überwinterung von Topfware

Ohne die oben genannten Maßnahmen braucht die Pfropfunterlage zwei bis drei Jahre, bis das Stämmchen solch einen Durchmesser erreicht, sodass es Edelreis tragen kann. Auch nach dem Veredeln benötigt die Jungpflanze einen geschützten, überdachten Standort, damit Gewebeimplantate einwachsen können. Die Zeitspanne, bis ein Jungbaum einen verkaufsfähigen Zustand erreicht, könnte mitunter etliche Jahre in Anspruch nehmen. Während der Produktionszeit sollten die Pflanzen deshalb im Topf wachsen und auch überwintern (Pomper et al., 2003a).

Obwohl die Art sehr winterhart ist, reagieren die Wurzeln von Jungpflanzen äußerst sensibel auf Temperaturen unter -1°C . Experimente in Kentucky haben gezeigt, dass eine Überwinterung im Freiland möglich sein kann, aber nur mithilfe von Dämmmaterialien, Nagetierködern und eines Elektrozauns gegen Wildverbiss (Layne, 1996). Studien aus Illinois deuteten zudem darauf hin, dass die Sorten 'Overleese' und 'Sunflower' ganz besonders kälteempfindlich sein können (Bratsch et al., 2003).

4.1.5. Veredelung

Nur wenige aus Samen gezogenen Pflanzen bringen große, wohlschmeckende Früchte hervor. Die meisten Sämlingsbäume entwickeln ein schleimig-faseriges Fruchtfleisch oder ein zu reichhaltiges Aroma mit bittersüßem Terpentinnachgeschmack (Pomper und Layne, 2005). Sämlingspflanzen sind demnach nur für Baumschulen und Züchter interessant und sollten durch eine Okulation oder Pfropfung veredelt werden. Veredelte Papaubäume überleben aber in der Regel nur zwanzig Jahre (Pomper und Layne, 2005), Sämlingsbäume und Sprossenfamilien können hingegen über Jahrhunderte bestehen (Barlow, 2001; Moore, 2015). Studien zeigten eine hohe Diversität im Genpool der Papau

(Pomper et al., 2003b; Pomper et al., 2010). Dies deutet darauf hin, dass eine genetische Inkompatibilität vom Wurzelstock mit dem Spross zu Vitalitätseinbußen führen könnte und erhärtet die Empfehlung, dass Klone nur auf Sämlingspflanzen ihrer eigenen Sorte gepfropft werden sollten, um Gewebeabstoßungsreaktionen zu minimieren und somit die Lebensdauer und Abwehrpotenz gegenüber Pathogenen zu erhöhen (Bratsch et al., 2003; Pomper und Layne, 2005; Pomper et al., 2010).

Alle Veredelungsmethoden außerhalb der Vegetationsperiode sind gut geeignet. Als besonders effektiv wird die Kopulation mit Gegenzungen genannt (Pomper und Layne, 2005). Die Methode hat den Vorteil, dass der kambiale Überlappungsbereich stark vergrößert wird, ist aber sehr zeitaufwändig und wird deshalb in Europa eher selten angewandt (Davies und Geneve, 2002; Stangl, 2014; Klock, 2015). Die Kopulation mit Gegenzungen ist zu rund 90 Prozent erfolgreich, wenn die Pfropfunterlage einen Durchmesser von fünf Millimetern hat und bereits im Saft ist (Pomper und Layne, 2005). Eine vereinfachte Alternative zur Kopulation mit Gegenzungen ist das Sattelpfropfen (Klock, 2001). Abbildung 6 zeigt die oben genannten Schnitttechniken beim Veredeln außerhalb der Vegetationsperiode.

Bei der klassischen Okulation während der Vegetationsperiode wird nur eine ruhende Knospe in das Kambium der Trägerpflanze implantiert, wobei konkurrierende Triebe die Photosynthese aufrechterhalten. Wenn die veredelte Knospe angewachsen ist, werden üblicherweise alle konkurrierenden Triebe entfernt (Davies und Geneve, 2002). Bei der Papau soll dieser Rückschnitt jedoch möglichst spät erfolgen, andernfalls kann ein signifikanter Rückgang des Veredelungserfolgs von 87 auf 55 % eintreten (Pomper et al., 2009b). Finneseth et al. (2000b) berichteten bei okulierten Bäumen über eine jährliche Ausbildung von Reiteraten der Pfropfunterlage. Der Begriff Reiteration (engl.: Wiederholung) wurde erstmals von Oldemann (1974) eingeführt und beschreibt preventive Stammaustriebe (aus schlafenden Knospen) welche den Terminaltrieb ersetzen, obwohl die bestehende Krone der Pflanze die Photosynthese aufrechterhalten könnte. Mittels der Okulation könnten auch mehrere Sorten zu einem Familienbaum veredelt werden. Die Sorten 'Davis', 'IXL', 'Overleese', 'Sunflower' und 'Shenandoah'™ zeigen eine enge genetische Verwandtschaft und könnten somit auch langfristig kompatibel zueinander sein (Pomper et al., 2010).

4.1.6. In-vitro-Vermehrung

Es wurde auch versucht, den Papaubaum durch Gewebekultur verschiedener Sorten in verschiedenen physiologischen

Zeiträumen in-vitro zu klonen. Die hauptsächliche Einschränkung bei der Gewebekultur von *A. triloba* besteht darin, dass die Klone im Glas keine Wurzeln ausbilden können, wie mehrere Versuchsreihen gezeigt haben (Finneseth et al., 2000a; Bellini et al., 2003; Geneve et al., 2003, 2007). Ähnliches Verhalten zeigten auch andere *Annona*-Hybriden oder der nahe verwandte Zimtapfel (*Annona squamosa*) (Nair et al., 1984a, b, in: Layne, 1996), wodurch eine Vermehrung von *Asimina*-Hybriden ungemein erschwert werden würde.

4.1.7. Vegetative Vermehrung

Das Bewurzeln von Stammstecklingen soll schwierig und keine kommerzielle Geschäftspraxis sein. Experimente mit Stecklingen verschiedener Altersstufen zeigten einen signifikanten Einfluss des Alters der Stecklinge auf die Bewurzelungsfähigkeit. Stecklinge von besonders jungen Sprösslingen welche mit 10.000 ppm des Phytohormons L-1-IBA [4-(Indol-3-yl)buttersäure] behandelt wurden, zeigten im

Versuch eine Bewurzelungsrate von 75 % und bildeten im Durchschnitt zwei Wurzeln pro Steckling. Jene Stecklinge, welche älter als zwei Monate waren, hatten offenbar ihre Bewurzelungsfähigkeit verloren (Finneseth et al., 2000b; Geneve et al., 2003). Wenn aus Stecklingen geklonte Pflanzen anwachsen, könnten Sorten auch durch Ableger kostengünstig vermehrt werden. Dabei wird ein Sprössling mit einem Spaten von der Mutterpflanze getrennt, dieser muss aber noch ein Jahr an Ort und Stelle anwachsen, bevor er verpflanzt werden kann. Der Erfolg beim Züchten von Papaupflanzen aus Sprösslingen soll variabel sein und vom jeweiligen Klon abhängen (Reich, 2004). Vegetative Vermehrungsversuche durch Absenker oder Hügelschichtung waren ebenfalls erfolgreich, aber nur zu einem geringen Prozentsatz (Hickmann, 1985, in: Layne, 1996).

4.2. Anwuchs im Freiland

In den Forschungsgärten der Pawpaw-Foundation wurden unterschiedliche Anwuchsquoten dokumentiert, was indes auf mangelnde Kenntnisse über die Kulturführung beruht haben dürfte. In manchen Anlagen konnte gar nur die Hälfte der gepflanzten Bäume anwachsen (Pomper et al., 2003c).

4.2.1. Auspflanzung

Die Wurzeln junger Papau-Bäume reagieren sensibel auf einen Milieuwechsel, Topf- und Pflanzgrubensubstrat sollten einen neutralen bis leicht sauren pH-Wert aufweisen. Die Bäume bevorzugen mäßig feuchte und nährstoffreiche Böden (Jones et al., 1998; Pomper und Layne, 2005). Zwei Studien zeigten, dass grobporige Böden für das Papauwachstum besser geeignet sind als feinporige (Lagrange und Tramer 1985; Greenawalt, 2016). Die Pflanzen gedeihen nicht, wenn sie in häufig überfluteten oder in schwer durchnässelten Böden gepflanzt werden (Lagrange und Tramer 1985; Nash und Graves 1993). Obwohl die Art am natürlichen Standort im Schatten gedeiht, soll sie an einem vollsonnigen Wuchsort deutlich mehr, größere und süßere Früchte entwickeln (Moore, 2015). Für eine Neubegründung einer Plantage wird empfohlen, die Bäume in Nord-Süd-Reihen im Abstand von 3,7 bis 4,6 m zu pflanzen. Der Pflanzabstand in der Reihe sollte mehr als 2,4 m betragen. Jungbäume, die bei der Pflanzung bereits 45 bis 90 cm hoch waren, erzielten im Langzeitversuch eine niedrigere Sterblichkeitsrate als kleinere Bäume (Layne, 1996). Zudem sind jene Pflanzen, deren Roottrainer mit $\text{Cu}(\text{OH})_2$ behandelt wurden, schneller angewachsen (Pomper und Layne, 2005). Eine tiefe, mit Substrat befüllte Pflanzgrube kann ebenfalls den Anwuchs

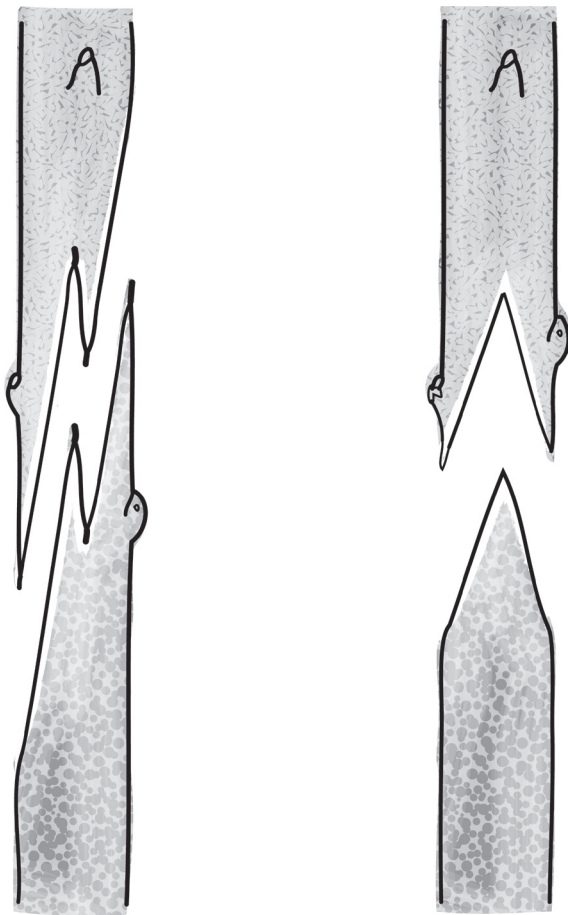


Abbildung 6. Kopulation mit Gegenzungen (links) und Sattelpfropfen (rechts)

Figure 6. Whip and tongue grafting (left) and saddle grafting (right)

beschleunigen. Solches Milieu bevorzugen jedoch Wühlmäuse für ihre Winterquartiere, die mitunter die dünne Pfahlwurzel des Bäumchens durchtrennen können (Layne, 1996). Nestbauliche Studien über die Gemeine Feldmaus (*Microtus arvalis*), der am häufigsten vorkommenden Wühlmaus in Europa haben gezeigt, dass die Durchschnittstiefe der Nester bei 22 cm und die Tunnel in maximal 24 cm Tiefe liegen (Brügger et al., 2010). Somit könnte die Pflanzgrube mit einer verzinkten Drahtgitter-Röhre geschützt werden, wenn auch der Stamm des Bäumchens vollständig umschlossen wird. Eine Umpflanzung sollte generell vermieden werden, zumal schon junge Pflanzen eine lange, tief in den Boden reichende Pfahlwurzel ausbilden, welche sehr leicht verletzt werden kann (Layne, 1996; Reich, 2004).

4.2.2. Umgang mit Jungpflanzen im Freiland

Junge Papaubäume sollten in den ersten Jahren im moderaten Schatten gehalten werden (Peterson, 1991; Pomper et al., 2003a). Jones et al. (1998) berichteten zudem einen besonders starken Transplantationsschock, wenn Pflanzen aus der Schattenhalle direkt ins Freiland gesetzt wurden. Auch ein Versuch in New York hat gezeigt, dass das Laub in gewöhnlichen doppelwandigen Polyethylen-Wuchshüllen (Verbisschutz) hitzebedingt vertrocknete. Offene Stammschutzgitter mit einem Durchmesser von 45 cm konnten die Jungbäume ausreichend schattieren und gleichzeitig durchlüften (Merwin et al., 2003). New York ist rund acht geographische Breitengrade (rund 800 km) südlich von Österreich situiert. Da die sommerliche Strahlungsintensität äquivalent zu Mittel- und Südeuropa ist, kann auch hierzulande eine Freilandschattierung empfohlen werden. Nach einigen Jahren am endgültigen Wuchsort im Halbschatten scheinen die Pflanzen nicht mehr unter direkter Sonneneinstrahlung zu leiden. Vielmehr sollen sie in praller Sonne höhere Zuwachsraten zeigen (Wilson und Schemske, 1980).

4.2.3. Unkrautbekämpfungsmittel

Um die Konkurrenzvegetation einzuschränken, ist Unkrautbekämpfung besonders im Gründungsjahr einer Plantage wichtig. Es gibt jedoch keine Herbizide, welche dezidiert für die Verwendung bei *A. triloba* zugelassen sind (Layne, 1996). Zur chemischen Unkrautbekämpfung wurde an den Versuchsflächen in New York erfolgreich mit Glyphosat und Paraquat experimentiert, keiner der Bäume wurde durch die Herbizidapplikation in Mitleidenschaft gezogen (Merwin et al., 2003). Auch in einer Versuchsplantage in Illinois konnten keine Beeinträchtigungen durch die Applikation von 2 %iger Glyphosatlösung festgestellt

werden (Bratsch, 2003). Zudem hat eine waldbauliche Studie gezeigt, dass Wildbestände der Papau nur bedingt auf verschiedenste Herbizidapplikationen reagierten (Olson und Keeley, 2018). Eine herbizidfreie Unkrautbekämpfung wurde in der Theorie angedacht, aber nicht wissenschaftlich untersucht: Pomper et al. (2019) diskutierten über einen möglichen Einsatz von traktormontierten Unterstockfräsen sowie über den möglichen Einsatz von Bodenflamngeräten. Abbildung 7 zeigt eine organische Mulchung in Hetzendorf (Wien), vegetative Sprösslinge müssen aufwändig von Hand entfernt werden.

4.2.4. Düngung

Der Düngemittelbedarf ausgewachsener Bäume wurde noch nicht bestimmt. In den Versuchsflächen in Kentucky wurde je einmal im Mai, Juni und Juli mit wasserlöslichem NPK Dünger (20-8,6-16,6) und löslichen Spurenelementen gedüngt, wobei ein jährlicher Zuwachs von 30 bis 45 cm erreicht werden konnte. Ein ausgezeichnetes Wachstum konnte auch mit 30 bis 60 g körnigem Ammoniumnitratdünger (34-0-0) pro Baum erzielt werden, der im Frühjahr vor dem Blattaustrieb unter den Bäumen ausgestreut wurde (Pomper und Layne, 2005). Über Mischkulturen mit stickstoffanreichernden Arten, wie Erlen (*Alnus spec*), Lupinen (*Lupinus spec*) oder Robinien (*Robinia spec*), wurde bislang nicht berichtet.



Abbildung 7. Organische Mulchung einer Papauplantage in Hetzendorf, Wien, 2019

Figure 7. Organic mulching of a pawpaw plantation in Hetzendorf, Vienna, 2019

4.3. Bestäubung

Die protogynen Blüten sind so konzipiert, dass sie sich nicht selber bestäuben können (Jones et al., 1998), siehe Kapitel 2.3. Eine gezielte künstliche Bestäubung ist zwar möglich, aber nur dann erforderlich, wenn genetisch unterschiedliche Bestäubungspartner fehlen. Die Pollen der Sorte 'Little Rosie' sollen beispielsweise hervorragende Bestäubungsergebnisse erzielen (Pomper und Layne, 2005). Merwin et al. (2003) vermuteten, dass manche Sorten zueinander inkompatibel sein könnten. Barton und Menges (2018) mutmaßten zudem, dass ein geringer Fruchtansatz auch auf das Fehlen eines wirkungsvollen Bestäubers wie Käfer und Aasfliegen zurückzuführen sein kann. Eigene Versuche lassen vermuten, dass die Sorten 'Overleese', 'Prima-1216-60' und 'Sunflower' autofertil (selbstfruchtend) sein können. Im Versuch von 2019 wurden sieben Blütenknospen pro Sorte mit einem Sack aus Pollen-Stop Gewebe umhüllt, sechs davon wurden später mit einem separaten Pinsel autogam (mit Pollen der eigenen Sorte) bestäubt. Jede handbestäubte Blüte dieser drei Sorten brachte Fruchtstände hervor (Lehner et al., s. a.).

4.3.1. Händische Bestäubung

Zur händischen Bestäubung soll sich ein abgeschnittenes, von Blütenblätter und Narbe befreites Androeceum (Sitz der Staubblätter) besonders gut eignen. Narben zeigen ihre Bereitschaft für den Pollen, wenn sie frisch und glänzend aussehen. Das eben geerntete Androeceum wird vorsichtig an die glänzende Narbe gedrückt, wobei darauf zu achten ist, dass die empfindliche Narbe dabei nicht abbricht (Reich, 2004). Jones et al. (1998) warnten, dass eine intensive Bestäubung zwar den Gesamtertrag steigern, die Fruchtgröße aber mindern könnte, wohingegen Pomper et al. (2008a) keine Korrelation zwischen Blütenzahl und Fruchtgröße feststellen konnten. Greenawalt (2016) warnt, dass die Handbestäubung zu einem übermäßigen Fruchtansatz führen kann, was zu einem verringerten Baumwachstum bis hin zum Zusammenbruch der Krone führen könnte.

4.3.2. Natürliche Bestäubung

Die Blüten verströmen für uns einen vergorenen, leicht hefeartigen Duft und werden nicht von Bienen, sondern von Aasfliegen und Käfern bestäubt (Goodrich et al., 2006). Faegri und van der Pijl (1971) beschreiben die Bestäubungstätigkeit durch Fliegen und Käfer generell als wenig effektiv. Um gezielt Fliegen anzulocken, wurden in Florida verwandte *Annona*-Arten, welche dieselben Blühmechanismen

und Bestäubungsdefizite aufweisen, erfolgreich mit verschiedenen Kohlenwasserstoffpheromonen (Botenstoffe) eingesprüht (Peña et al., 1999). Der Papau-Züchter Corvin Davis aus Eaton Rapids (Michigan) hat über dreißig Jahre mit einer eher unkonventionellen Bestäubungsmethode gearbeitet: Er förderte absichtlich die Vermehrung von Aasfliegen, indem er kurz vor der Blütezeit Hühnerhäute, überfahrene Wildtiere, Austernschalen und andere verwesende Fleischabfälle in die Äste der Bäume hängte. „Der einzige Einwand besteht darin, dass Ihre Nachbarn die Idee vielleicht nicht besonders mögen“, schrieb er (Moore, 2015).

4.4. Baumschnitt

Das Zurückschneiden erfolgt am besten im späten Winter, vor Beginn der Vegetationsperiode. Häufig bilden Äste von kleinfruchtenden Sorten sehr spitze Winkel zum Terminaltrieb (Abbildung 8). Bei starkem Schneefall oder Fruchtansatz können diese Äste bis tief ins Kernholz einreißen. Mit einem vorbeugenden Rückschnitt können spitze Gabelungen gezielt entfernt werden (Jones et al., 1998; Pomper und Layne, 2008). Bei schweren Stürmen können ganze Äste verdrehen. Das Holz soll dabei aber keinen strukturellen Schaden nehmen,

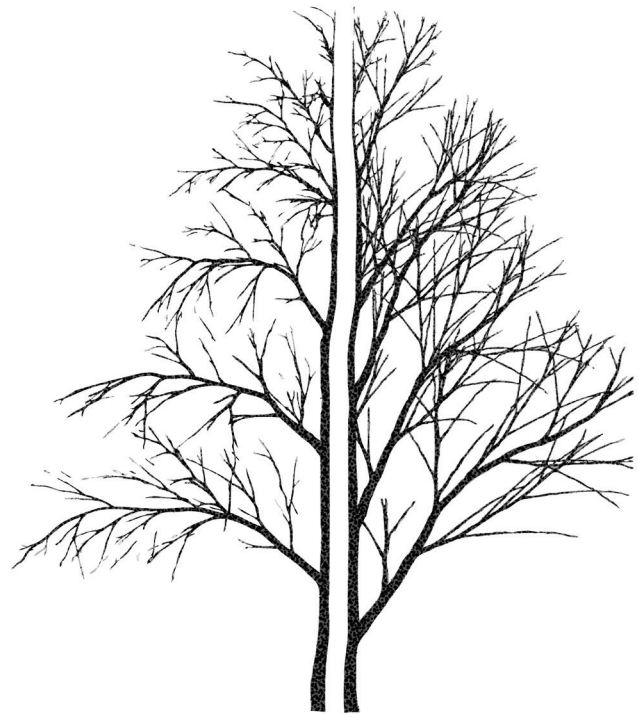


Abbildung 8. Pyramidenförmiger Habitus von groß- (links) und kleinfruchtenden Sorten (rechts)

Figure 8. Pyramidal Habitus of large (left) and small (right) fruiting varieties

sondern sich binnen 24 Stunden wieder in die Ausgangssituation zurückrichten (Goodrich et al., 2016). Studien an zahlreichen nordamerikanischen Laubbäumen zeigten, dass ein stammparalleler Schnitt stärkere Langzeitschäden bewirkt als der Astringschnitt (Liese et al., 1988). Werden Jungtriebe zur Gänze oder bis auf wenige Knospen eingekürzt, bilden Bäume Proventivtriebe (Angsttriebe aus schlafenden Knospen im Achselgewebe) (Stangl, 2014).

Ausdünnen ist aufgrund des geringen Fruchtansatzes zumeist nicht erforderlich, könnte aber die Fruchtgröße steigern. Eine Studie bestätigt diese Annahme, aber die Autoren warnen, dass die erhöhten Kosten für händisches Ausdünnen nicht durch die zunehmende Qualität kompensiert werden kann (Crabtree et al., 2009, 2010).

4.5. Schädlinge

Auch wenn in einigen Publikationen berichtet wird, dass es kaum Schädlinge für die Papau gibt, konnten im Zuge dieser Literaturrecherche etliche Schadorganismen identifiziert werden. Es gibt in Amerika einige hochspezialisierte, aber in Europa nicht invasive Schadinsekten, wie *Choristoneura parallela* (Norman et al., 1992; Pomper und Layne, 2005), *Omphalocera munroei* (Damman, 1986; Mercader et al., 2020), *Protographium marcellus* (Haribal und Feeny, 1998; Pomper und Layne, 2005; Moore, 2015) und *Talponia plummeriana* (Reich, 2004; Heinrich, 1926, in: Pomper und Layne, 2005), auf welche hier nur hingewiesen wird.

4.5.1. Mikrobielle Schädlinge

- Im Herbst 1995 berichtete die Versuchsanstalt der „National Clonal Germplasm Repository“ in Corvallis (Oregon) über eine hohe Mortalität in einer erst zwei Jahre alten Plantage. Bis 2001 war schließlich die Hälfte der Plantage inklusive der adulten Sämlingsbäume abgestorben. Aus dem toten Gewebe konnten keine Pilze isoliert werden, aber eine Reihe von Bakterien (*Bacteria*), wobei kein spezifischer Erreger für die Ursache ergründet wurde. Trotzdem wird angenommen, dass ein bakterieller Erreger die Ursache für die Mortalität war. Besonders anfällig waren die Sorten 'Overleese', 'Taytoo' und 'Wells' (Postman et al., 2003; Pomper und Layne, 2005).
- Gelegentlich verwelken in den USA unmittelbar nach dem Blattaustrieb ganze Äste, mitunter auch ganze Bäume, wobei sich das Splintholz schwarz oder blau verfärbt. Die Krankheit wird als „Bläue“ bezeichnet. Diese Symptome wurden insbesondere an und oberhalb der Pflanznarbe, selten auch bei krebstartiger

Rindenaufspaltung beobachtet. Mehrere Pilzarten der Gattungen *Ceratocystis* und *Leptographium* werden mit dieser Krankheit assoziiert. In den meisten Fällen wurde die Verbreitung dieser Pilze auf verschiedene Insekten zurückgeführt (Postman et al., 2003; Reich, 2004; Solheim et al., 1996 und Jacobs et al., 2000, in: Pomper und Layne, 2005).

- Die Fliegenschmutz- oder Regenfleckenkrankheit (ein Komplex aus *Gloeodes pomigena*, *Geastrum polystigmatis*, *Leptodontidium elatius*, *Peltaster fructicola* und anderen) kommt an Äpfeln vor, wurde aber auch an *Asimina*-Früchten nachgewiesen. Sie hat keine Auswirkungen auf die Qualität als Lebensmittel oder die Vitalität der Pflanze, die Früchte sehen nur unappetitlich aus (Hemnani et al., 2008). In Japan wurde *Zygophiala jamaicensis* identifiziert (Nasu und Kunoh, 1987) und in den USA wurde *Scleroramularia asiminae* als Erreger der Krankheit auf Papaufrüchten beschrieben (Li et al., 2011).
- Die Blätter können Blattflecken aufweisen (meist einfach nur *Phyllosticta* genannt), welche hauptsächlich aus einem Pilzkomplex von *Mycocentrospora asiminae*, *Rhopaloconidium asiminae* und *Phyllosticta asiminae* bestehen. Bei diesem Befall verwelken die Blätter und Früchte werden abgeworfen (Pomper und Layne, 2005). Die Sorten 'Lynn's Favorite', 'NC-1', 'PA-Golden 1 – 4', 'ShenandoahTM', und 'Sue' sind gegen diese Pilzerkrankung resistent, wohingegen die Sorte 'PotomacTM' besonders anfällig sein soll (Moore, 2015).

4.5.2. Schadinsekten

- Die Grüne Huschspinne (*Micrommata virescens*) jagt aktiv, also ohne Netz (Sugumaran et al., 2004). In der Schönbrunner Versuchsanlage wurde sie zahlreich in den Blüten lauernd gefunden (Lehner et al., s. a.). Da eine Kreuzbestäubung durch Aasfliegen mit anderen Bäumen unterbunden wird, könnte die Art als Schädling angesehen werden.
- Der Japankäfer (*Popillia japonica*) kann sich im ausgewachsenen Stadium auch von den Blättern des Papaubaaumes ernähren. Diese Art hat in Nordamerika und Kanada bereits massive Schäden angerichtet (Pomper und Layne, 2005). Sie wurde im Juni 2014 zuerst in Norditalien (Fluss Ticino), später auch in Österreich (Flughafen Wien-Schwechat) und in Deutschland (Nordrhein-Westfalen) gemeldet (Seelmann, 2018).
- Blattläuse (*Sternorrhyncha*) können junge Blätter und Triebspitzen befallen. Mehrere Arten der Gattung

Aphis (*A. craccivora*, *A. fabae*, *A. solanella* ...) konnten bestimmt werden. Vivipare (Frühentwicklungsstadium) unterscheiden sich von Nymphen und Imagines (adoleszentes und erwachsenes Entwicklungsstadium) vornehmlich durch ihre Wirtspflanzen und ihre Anpassungen daran. Da diese nicht bekannt sind, kann auch keine Art als Schädling zweifelsfrei bestimmt werden (Lehner et al., s. a.). Im Allgemeinen verursachen alle *Aphis* Arten gleiche Schäden. Sie können Viren übertragen, reduzieren den Zuckergehalt der Assimilate, verursachen Kümmerwuchs und mindern die Vitalität der Pflanze. Die zuckerhaltigen Ausscheidungen wiederum fördern das Wachstum von Schwärzepilzen (*Dematiaceae*), welche die Photosynthese hemmen (Blackman und Eastop, 1994, 2006).

- Der Johannisbeer-Glasflügler (*Synanthedon tipuliformis*) ist ein in ganz Europa verbreiteter Schmetterling, dessen Larven sich vom Mark junger Triebe ernähren. Dass diese Art auch *A. triloba* als Wirtspflanze wählen kann, wurde bislang nur an einem einzigen Baum der Sorte 'Prima 1216-60' in der Slowakei wissenschaftlich dokumentiert (Kollár und Bakay, 2015).
- Wespen (*Vespinae*) und Rosenkäfer (*Cetoniinae*) sind im Allgemeinen keine Bestäuber, sie können aber in die Blüten klettern und die Narbe abfressen (Lehner et al., s. a.). Bei den Wespen (*Vespinae*) ist bekannt, dass sie Aasgeruch aufsuchen, mitunter auch aktiv Fliegen jagen, um proteinhaltige Nahrung für ihre Brut zu sammeln (Schmolz, 2007). Rosenkäfer (*Cetoniinae*) ernähren sich im Frühjahr überwiegend von zarten Blütenteilen (Vuts et al., 2010). In der Schönbrunner Versuchsanlage haben sie auch schon ganze Blüten abgefressen (Pirc, 2015).
- Der Asiatische Ambrosia-Käfer (*Xylosandrus crassiusculus*) und Schwarzzstammborher (*Xylosandrus germanus*) sind die ersten nachgewiesenen Borkenkäfer, welche auch die toxische Rinde von *A. triloba* befallen können. Die Käfer sind insofern gefährlich, da sie *Fusarium*-Pilze in sich tragen können, welche die Gefäße von Bäumen verstopfen. Große Holzstapel sollten nicht in der Nähe von Papaubäumen gelagert werden, da sie als Brutstätte dienen könnten. Es gibt keine Berichte über ökonomische Schäden an der Papau (Vandenberg et al., 2000).

4.5.3. Weich- und Säugetiere

- Wühlmäuse (*Arvicolinae*) können während der Anwuchssphase die Pfahlwurzel durchtrennen (Layne, 1996) siehe Kapitel 4.2.2.

- Rehe (*Capreolus*) fressen zwar weder Blätter noch Zweige, aber sie fressen Früchte. Gelegentlich reiben männliche Hirsche ihr Geweih an jungen Bäumen, streifen die Rinde ab und brechen mitunter auch ganze Äste ab (Pomper und Layne, 2005). Dem Verfegen kann vorgebeugt werden, indem die Bäume nicht auf Hochstamm, sondern als Großstrauch verschult werden. Seitlich abstehende Zweige stechen das Rotwild im Gesicht und erschweren somit einen direkten Kontakt zwischen Geweih und stärkeren Ästen. (Greenawalt et al., 2019).
- An der Westküste der USA werden aufgrund des trockenen Klimas die Blätter an Papaubäumen von Schnecken (*Gastropoda*) abgefressen, oft bleibt von den Blättern nur der Blattansatz (Reich, 2004).

4.5.4. Streusalz [NaCl]

- Im Allgemeinen ist Chlor für Gehölze besonders schädlich (Dubson, 1991), aber diese Pflanzen reagieren auch auf Natrium sensibel. Streusalzapplikation sollte im Umfeld vermieden werden. Im Süden der USA sind natriumbelastete Böden häufig, weshalb in einem Versuch das Bodenmilieu verändert wurde. Durch Zugabe von 1,5 t Gips pro Ar und einer reinen Süßwasserberegnung zeigten die Papaubäume höhere Zuwachsraten als die Kontrollgruppen auf unbehandelten Böden (Picchioni et al., 2004).

4.6. Ernte

Gepfropfte Edelreiser können bereits im dritten Jahr einige Früchte ausbilden (Jones et al., 1998). Ab dem siebten Standjahr am endgültigen Wuchsort produzieren die meisten Bäume zuverlässig Früchte. Die Erträge können zwischen den Jahren alternieren, nach mehreren ertragsreichen Jahren können ertragsschwache folgen (Pomper et al., 2008b). Jährliche Vorerntefaktoren, vor allem das Wetter, sowie Bodeneigenschaften (pH-Wert oder Bodennährstoffe), Sonnenlicht und Bewässerung können die Obstproduktion erheblich beeinflussen. Die retrospektive Studie von Greenawalt et al. (2019) hat gezeigt, dass gleiche Sorten an unterschiedlichen Standorten in den selben Versuchsjahren signifikant unterschiedliche Saisonlängen und Saisonstarts zeigten. Somit ist es empfehlenswert, im Spätsommer oder Frühherbst den Reifefortschritt an jedem Standort separat zu überprüfen. Empirisch gesehen erfolgt der Erntesaisonstart rund 160 Tage oder rund 2600 Wachstumsgradtage (Wärmesumme seit Vegetationsbeginn) nach dem Start in die Blühsaison (Reich, 2004). Aus phänologischer Sicht ist

dies wenn Goldruten (*Solidago spec.*) in voller Blüte stehen (Moore. 2015). Im fortschreitenden Reifeprozess zeigt sich eine Erweichung des Fruchtfleisches durch die Zunahme an löslichen Feststoffen, ein erhöhter Gasausstoss von Ethyl- und Methylester, sowie eine Abnahme der grünen Farbsintensität, welche zwischen Genotypen variieren kann (McGrath und Karahadian, 1994a, b). Die größte Herausforderung im Papau-Anbau ist die Bestimmung der Fruchtreife. Derzeit gibt es keine standardisierte Methode, um den Reifegrad zu bestimmen, die Entscheidung liegt meist im Ermessen der Erntehelfer (Greenawalt, 2016). Um den Reifegrad zu bestimmen, wird jede Frucht, wie bei einem Pfirsich, leichtem Druck ausgesetzt und mit einem sanften, leicht drehenden Zug gepflückt (Pomper und Layne, 2005, 2008). Beeren einer Traube entstammen von einer Blüte und reifen im Abstand von wenigen Tagen. Abbildung 9 zeigt eine Traube, welche bereits eine Beere abgeworfen hat, der Fruchts蒂el der Traube ist tief eingerissen.

Ein guter Baum trägt in Amerika zehn bis zwanzig Kilogramm, wobei die Früchte erst abfallen, wenn sie voll ausgereift sind. Eine harte, unreif gepflückte Frucht wird bald schwarz und verfault. Die Ernte für einen einzelnen Baum erstreckt sich über einen Zeitraum von drei bis vier Wochen. Je nach Sorte und Fruchtreife sind daher mehrere Nacherten notwendig (Duffrin und Pomper, 2006; Pomper und Layne, 2005, 2008).



Abbildung 9. Fruchtfall einer Beere bei Vollreife, zwei Beeren hängen noch auf der Traube

Figure 9. Abscission of a mature fruit, two berries are still hanging on the cluster

4.7. Lagerung

Auch wenn Cai et al. (2019) in einer Verbraucherakzeptanzstudie festgestellt haben, dass sich die Wertschätzung im Allgemeinen durch frische Früchte ausdrückt, erschwert die schnell verderbliche Natur der Früchte sogar eine Direktvermarktung. Derzeit scheint eine Kommerzialisierung langfristig nur durch Tieffrieren (Reich, 2004) oder mittelfristig durch eine Pasteurisierung von Fruchtpüree (Fang et al., 2007; Zhang et al., 2017; Brannan et al., 2019) möglich zu sein.

4.7.1. Lagerung frischer Früchte

Die Früchte der Papau sind klimakterisch, Studien haben gezeigt, dass die fortschreitende Fruchtreife durch Kühlung verlangsamt werden kann (Archbold und Pomper, 2003). Zudem vermindert eine Lagerung auf Holzwohle (Abbildung 10) Quetschungen durch das Eigengewicht (Lehner et al., s. a.).

In unterschiedlichen Versuchsreihen waren sowohl unreife als auch reife Früchte bei 4 °C rund einen Monat lagerfähig, wobei vereinzelt eine Lagerfähigkeit von 60 Tagen und mehr erreicht werden konnte. Bei einer Lagerung unter 4 °C entwickelten die Früchte ein unangenehmes Aroma. Während der Lagerung im Kühlhaus nimmt die Fruchtfestigkeit stetig ab (Galli et al., 2009). Mit dem größten Rückgang der Fruchtfestigkeit ging im Laborversuch ein Ethylenpeak hervor, was darauf hinweist, dass niedrige Ethylengehalte ausreichen könnten, um den Reifungsprozess zu beschleunigen (Koslanund et al., 2005b). Überreife Früchte entwickelten eine innere bräunliche Verfärbung, Gewebesäuerung und eine schleimige Textur ohne Geschmack (Galli et al., 2009). Diese Erweichung ist vermutlich kälteinduziert und zeigt sich zuerst durch eine braun-schwarze Verfärbung der Schale, was mutmaßlich auf eine anaerobe Stoffwechseltätigkeit zurückzuführen ist (Galli et al., 2008). Der Verfärbungsprozess der Schale geht binnen zwei bis drei Tagen vonstatten (Koslanund et al., 2005a). Somit kann ein Überschreiten der Lagerfähigkeit bereits Tage im Voraus erkannt werden. Abbildung 11 zeigt eine stark fortgeschrittene Verfärbung der Schale.

Die Lagerfähigkeit reifer Früchte wird vor allem durch Schäden, welche im Zuge der Ernte entstanden sind (Schnittverletzungen an der Schale, Quetschungen beim Pflücken, Fallschäden oder eingerissene Fruchts蒂el), limitiert. Die Ernte mitsamt dem Fruchts蒂el erhöht die Lagerfähigkeit nicht. Zudem stellt ein scharfkantig abgeschnittener Fruchts蒂el ein gewisses Verletzungsrisiko für andere Früchte dar (Crabtree et al., 2010). Mit einem organisierten Managementplan, kombiniert mit einer Reihe unterschiedlicher Sorten mit verschiedenen Erntezeiten, könnte die Saison von vier bis sechs Wochen



Abbildung 10. Lagerung auf Holzwolle
Figure 10. Storage on wood wool

auf acht bis zwölf Wochen verlängert werden (Archbold et al., 2003a). Zur Erstellung solch eines Managementplans sind weitere Untersuchungen zu den Reifeverteilungen und den Lagerungseigenschaften einzelner Sorten erforderlich.

4.7.2. Dörren

Die Früchte können auch gedörzt werden. Amerikanische Ureinwohner sollen zum Beispiel die getrockneten Früchte mit Asche oder Lauge behandelt und später zu Eintopf verkocht oder als Brot gebacken haben. Heutzutage deuten mehrere Berichte darauf hin, dass ein Verspeisen von gedörrttem Papau-Fruchtfleisch zu akuten Krankheitsanfällen führen kann (Vines, 1960, in: Pomper und Layne, 2005; Moore, 2015). Möglicherweise haben amerikanische Ureinwohner die gedörzten Früchte zusammen mit Holzkohle zum Zweck der Entgiftung im Magen-Darm-Trakt verspeist, wie es beispielsweise von Sansibar-Stummelaffen (*Ptilocolobus kirkii*) bekannt ist, wenn toxische Nahrung aufgenommen wird (Cooney und Struhsaker, 1997).

4.7.3. Tieffrieren

Hervorragende Lagerungseigenschaften erzielt Tieffrieren. Dabei werden die Früchte zuerst entkernt, das Fruchtfleisch ausgekratzt und mit etwas Zitronensaft püriert (Reich, 2004). Das Tieffrieren ganzer Früchte ist nicht empfehlenswert, da die Schale ihre Festigkeit verliert, wodurch das Auskratzen von Fruchtfleisch immens erschwert wird (Lehner et al., s. a.). Tieffrieren kann zudem das Reduktionspotenzial von Papau-Fruchtfleisch erhöhen. Harris und Brannan (2009) konnten bei -18 °C über 300 Tage eine Vervierfachung der Gesamtphe-nole und Flavonoide (Antioxidanzien) nachweisen.

4.7.4. Enzymatischer Umbau

Die Hauptursache für die Verfärbung von Papau-Früchten ist auf die Aktivität der Polyphenoloxidase (PPO) zurückzuführen. Mittels einer Hochdruckverarbeitung über 500 MPa können Enzyme (biochemische Katalysatoren) wie PPO inhibiert werden. Bei hochdruckverarbeiteten Papaufrüchten konnten nach 45 Tagen bei 4 °C nur geringe Farbveränderungen festgestellt werden. Auch wenn die PPO-Aktivität durch die Hochdruckverarbeitung nicht vollständig inhibiert werden konnte, könnte diese Verarbeitung eine besonders interessante Alternative sein, da keine Geschmacksveränderung festgestellt wurde (Zhang et al., 2017). Im Zuge einer Folgestudie stellten Brannan et al. (2019) fest, dass nach einer Hochdruckverarbeitung unterschiedliche Sorten unterschiedliche Lagerungseigenschaften erzielten, was indes auf eine Hemmung von zellwand-modifizierenden Enzymen hindeutet. Bemerkenswert ist, dass die Sorten 'Overleese' und 'IXL' eine geringere PPO-Aktivität als andere Papau-Sorten aufwiesen (Brannan und



Abbildung 11. überreife Frucht der Sorte 'Taytwo', kommerziell unverkäuflich, Raster in cm

Figure 11. Overripe fruit of the variety 'Taytwo', commercially not sellable, scale in cm

Wang, 2017). PPO-Abbau ist bei Pfirsich oder Apfelpüree auch durch die Zugabe von Ascorbinsäure oder Steviosiden möglich. Die Zugabe von Steviosiden erzeugte bei der Papau ein süßeres und zugleich bittereres Fruchtfleisch. Farberhaltung und Lagerfähigkeit konnten zusätzlich erhöht werden. Ascorbinsäureadditive erzeugten stark variierende Ergebnisse (Zhang et al., 2017). Auch kurzes Erhitzen auf 40 bis 80 °C konnte im Versuch ebenfalls zu einer raschen Minderung oder einer vollständigen Inhibierung der PPO-Enzymaktivität führen (Fang et al., 2007).

5. Verwendungszwecke

5.1. Verwendung von reifem Fruchtfleisch als Nahrungsmittel

In den letzten Jahren erfreuten sich die Früchte wachsender Beliebtheit, vor allem als exotische Gartenfrucht oder als Gourmetspeise (Pomper et al., 2009d). Besonders beliebt waren im Verkostungsversuch von Tempelton et al. (2003) Eiscreme, Pudding, Erfrischungsgetränke und Torten. Bei Letzterem konnte das Fruchtfleisch das Fett in Backwaren teilweise (Wise und Duffrin, 2003) oder vollständig (Duffrin et al., 2001) ersetzen. Das Fruchtfleisch soll sich auch gut fermentieren lassen, weshalb es zu Bier gebraut oder zu Wein gegärt und später zu Brandy gebrannt werden könnte (Moore, 2015; Ogodo et al., 2015). Schalen, Samen und unreifes Fruchtfleisch sind aus toxischen Gründen nicht zur Weiterverarbeitung geeignet (McLaughlin, 2008).



Abbildung 12. Halbierte Frucht der Sorte 'Davis', Raster in cm
Figure 12. Fruit divided in two parts of the variety 'Davis', scale in cm

Frisch verzehrt werden die Früchte am besten, wenn sie mit einem scharfen Messer entlang der Bauchseite (längs, nicht quer) eingeschnitten werden (Abbildung 12). Durch sanftes Drehen der Hälften löst man die Kerne. Diese werden am besten mit einem Löffel entfernt, um anschließend das Fruchtfleisch wie bei einer Kiwi auszulöffeln. Das Fruchtfleisch um die Kerne hat eine schleimig-faserige Konsistenz mit bittersüßem Terpentin-Nachgeschmack und wird üblicherweise nicht verspeist (Layne, 1996).

Reifes Fruchtfleisch zeigt einen bemerkenswert hohen Anteil an Antioxidantien (Kobayashi, et al., 2008; Harris und Brannan, 2009). In einer Studie von Galli et al. (2007) wurde die phytochemische Nährstoffzusammensetzung der Papau im Vergleich zu den häufig konsumierten Früchten Äpfel, Bananen und Orangen untersucht. Dabei zeigte sich, dass die Papau höhere Anteile an Gesamtfett und Proteinen hat. Bei den Vitaminen zeichnet sie sich vor allem durch hohe Gehalte an den Vitaminen B3 und C aus. Bei den Mineralstoffen hat sie im Vergleich zu Apfel, Banane und Orange deutlich höhere Gehalte an Eisen, Kalzium, Kupfer, Magnesium, Mangan, Phosphor und Zink. Das sind mitunter sehr wichtige Mikronährstoffe, welche häufig in der Ernährung von Kindern und Senioren fehlen. Die hohen Nährstoffgehalte machen diese Frucht zusammen mit dem einzigartigen Geschmack zu einem veritablen Superfood. Es ist anzunehmen, dass die Papau eine ausgewogene Ernährung fördert, welche dazu beitragen kann, Krebs- und Herzproblemen vorzubeugen, den häufigsten Todesursachen in den entwickelten Ländern (Galli et al., 2007). Die phytochemische Zusammensetzung zwischen den Sorten variierte aber ebenso wie die Fruchtgröße, die Schalenfarbe und der Zuckergehalt, wie anhand von zehn Sorten gezeigt werden konnte. Zudem waren die jeweiligen Anteile stets abhängig vom jeweiligen Reifegrad (Brannan et al., 2015).

5.2. Verwendung von Gewebeextrakten

Neben der Verwendung von Früchten als Lebensmittel können auch Gewebeextrakte für unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten als chemisches Ausgangsprodukt verwendet werden. Aus Zweigen, Blättern sowie Schalen und Samen können biologisch aktive Acetogenine (natürlich vorkommende polyketide Fettsäuren) extrahiert werden (Alali et al., 1999). Der Verzehr davon kann unterschiedliche Krankheitsbilder verursachen. Ein Versuch an Beagle-Hunden hat gezeigt, dass oral keine letale Dosis aufgenommen werden kann, da akut toxische Wirkungen durch Emesis und Diarrhö vermieden werden (McLaughlin, 2008).

5.2.1 Schneitelung zur Gewinnung von Gewebeextrakten

Die Ernte von Ruten (Schneitelung) war eine Jahrhunderte alte Tradition der Futterwirtschaft. Bei dieser Schnitttechnik werden einjährige Triebe immer an derselben Stelle entfernt. Erfolgt dieser Rückschnitt jährlich überwallt ein Kallus die Schnittverletzung und schützt diese vor eindringenden Pathogenen (Machatschek, 2002). Ruten, welche aus dem Kallusgewebe sprießen sind aus botanischer Sicht remeristematisierte (neugebildete) Adventivtriebe, sie sprießen nicht aus Knospen der Blattachsen oder Triebspitzen (Torres, 1989) und eignen sich hervorragend zur Ernte und Weiterverarbeitung. Schneitelbäume mit mehreren verzweigten Ästen haben eine größere Kallusoberfläche als Kopfbäume und neigen deshalb zu einer stärkeren Ausbildung von Adventivtrieben (Abbildung 13) (Machatschek, 2002). Studien über Kopfweiden zeigen zudem, dass ältere Gehölze höhere Biomassezuwachsrate als junge Pflanzen aufweisen (Frédette et al., 2019). Mit dieser Schnitttechnik können auch zuverlässig Papauzweige geerntet werden. Gu et al. (1999) haben gezeigt, dass die Konzentration von Acetogeninen monatlich variiert und im Mai und Juni am höchsten ist. Die Zweige können zu diesem Zeitpunkt geerntet, getrocknet, gemahlen und dann für die spätere Extraktion gelagert werden (Johnson et al., 1996). Im Rahmen einer phytochemischen Studie über Papauzweige konnte Jerry McLaughlin (2008) anhand von Proben aus dem Sichtungsgarten von Neal Peterson aus Harpers Ferry (West Virginia) feststellen, dass der Gehalt an Acetogeninen von 135 Auslesen um den Faktor 1000 variieren kann.

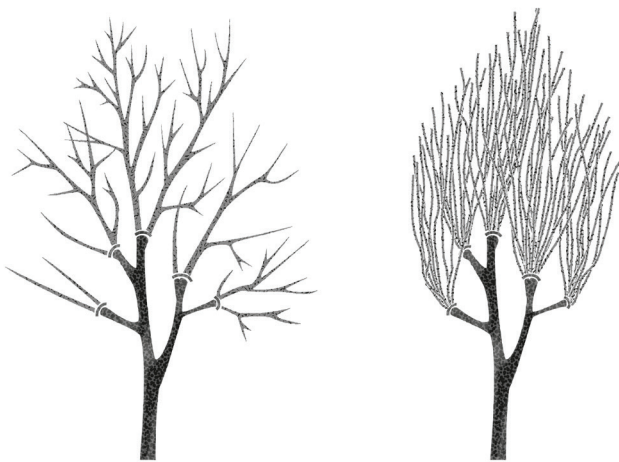


Abbildung 13. Adventivtriebe (Angsttriebe aus remeristematisierten Knospen) nach einem starken Rückschnitt eines Stammbushes
Figure 13. Adventitious shoots (syn. Substitutive shoots) due to pruning of a trunked bush (Feathered Tree)

5.2.2 Anwendungsmöglichkeiten

In folgenden Bereichen können Gewebeextrakte eine Anwendung finden:

- Desinfektionsmittel: Aus unreifen Papaufrüchten könnte ein Desinfektionsmittel hergestellt werden. Phenolverbindungen in unreifen Früchten haben in-vitro hohe Hemmwirkungen gegen verschiedene an- und aerobe Bakterienstämme gezeigt (Nam et al., 2019).
- Emetikum: Ende des 19. Jahrhunderts wurde von „Eli Lilly and Company“ ein flüssiges Extrakt als schnell wirkendes Vomitivum (Breachmittel) verkauft (McLaughlin, 2008).
- Körperpflege: Jerry McLaughlin aus Spanish Fork (Utah) hat kommerzielle Kopflaus-, Flöhe- und Zecken-Shampoos sowie verschiedene Salben wie beispielsweise gegen Herpes (Herpes-simplex- und Varizella-Zoster-Viren), Akne, Fußpilz, Hautkrebs, Hautinfektionen, etc. aus Papauextrakten entwickelt (Pomper und Layne, 2005; McLaughlin, 2008). Das Kopflausshampoo wurde in einer klinischen Studie an Schulkindern getestet, von denen einige bis zu drei Jahre Kopfläuse infolge von Pyrethrin-Resistenzen gehabt hatten. Es zeigte rasch eine hundertprozentige Erfolgsquote (McCage et al., 2002). Die Produktion von Haustierschampoos gegen Flöhe und Zecken wurden eingestellt, nachdem sie auf unzureichenden Absatz gestoßen waren (McLaughlin, 2008).
- Krebsforschung: Mehrere Studien haben gezeigt, dass Acetogenine zu den potentesten Krebsbekämpfungssubstanzen gehören (Rupprecht et al., 1986; McLaughlin und Hui, 1993; Zhao et al., 1994b). Aus den rund 130 Gattungen und rund 2400 Arten der Familie der *Annonaceae* (Couvreur et al., 2011) wurden rund 400 bioaktive Verbindungen isoliert und größtenteils charakterisiert (Sica et al., 2016). Asimicin, Bullatacin, Bulletin und Bullanin aus *A. triloba* zeigen hohes in-vitro-Potenzial gegen menschliche Krebszellen (McLaughlin et al., 2004). Asimicin, Bullatacin und Trilobacin konnten auch synthetisiert werden (Sinha et al., 1996; Avedisian et al., 2000). Die Wirkungsweise der Acetogenine besteht in der Störung des Elektronentransports in den Mitochondrien schnell wachsender Krebszellen (Zhao et al., 1994a; McLaughlin et al., 2004). Morré et al. (1995) konnten feststellen, dass Bullatacin die NADH-Oxidase, ein Enzym im ersten Komplex der Atmungskette, stark hemmt. Dieses Enzym ermöglicht es einer Zelle ATP (Adenosintriphosphat) zu produzieren (Alali et al., 1999). Aus biochemischer Sicht unterscheidet sich eine Krebszelle von einer gesunden Zelle durch einen

erhöhten ATP-Bedarf. Eine Unterbrechung zum Zeitpunkt der Zellteilung stört oder zerstört dabei die sich teilende Krebszelle (McLaughlin, 2008). Acetogenine zeigten sich bei einem in-vivo-Versuch mit implantierter L-1210-Leukämie bei Mäusen im Labor 300-mal effektiver als das Antitumormittel Paclitaxel. Außerdem verloren die mit Paclitaxel behandelten Mäuse während des Testzeitraums 10 % ihres Körpergewichts, während die mit Bullatacinon behandelten Mäuse 5 % zunahmen, was möglicherweise auf eine geringere Toxizität hinweisen könnte (Ahammadshah et al., 1993, in: McLaughlin, 2008). Ein Gesetz in Nevada erlaubt es Krebspatienten im Endstadium, unter Anweisung ihres Arztes neue Behandlungen auszuprobieren. Einer Reihe von freiwilligen Probanden mit fortgeschrittenem Brust-, Lungen-, Prostata-, Lymph- und Darmkrebs wurden Extrakte in Kapselform (Paw Paw Cell-Reg®) verabreicht. Der Nachweis der Wirksamkeit umfasst messbare Verringerungen der Tumorgrößen, eine Hemmung weiterer Metastasen, eine Gewichtszunahme, eine erhöhte Mobilität und Vitalität, sowie eine längere Überlebensdauer (McLaughlin, 2008). Das Produkt ist seit 2003 als Nahrungsergänzungsmittel im freien Handel erhältlich, ein U.S.-Patent schützt diese Extrakte und ihre Antitumorverwendung bei Tieren und Menschen (McLaughlin und Benson, 2003).

- Parkinsonismus und Demenz: Im Rahmen einer klinischen Studie auf den Westindischen Inseln wurde Patienten Kräutertee aus den Blättern von *Annona muricata*, *A. reticulata* und *A. squamosa* gegen Parkinsonismus- und Demenzsymptome verabreicht, wobei ein signifikant atypischer, meist positiver Krankheitsverlauf bestätigt werden konnte (Caparros-Lefebvre und Elbaz, 1999). Jüngeren Patienten soll sogar eine Regression ihres Krankheitsverlaufes widerfahren sein (McLaughlin, 2008; Pomper et al., 2009c).
- Schädlingsbekämpfung: Ein Teil der Antitumorforschung war auf die Entwicklung eines umweltfreundlichen organischen Pflanzenschutzmittels gerichtet (McLaughlin et al., 1997). Acetogenine sind Fettverbindungen, welche von Natur aus in den Sommermonaten als Gift gegen Schädlingsfraß produziert werden (Alali et al., 1999), zwei U.S.-Patente schützen die kommerzielle Verwendung von Acetogeninen als Insektizid (Mikolajczak et al., 1988, 1989). Diese Verbindungen wurden in einer 9,5 %igen Ethanollösung [C_2H_5OH] extrahiert und getestet. Das Extrakt wirkte bei Blattläusen und Gallmücken effektiver und schneller als die neurotoxische Verbindung Phosmet [$C_{11}H_{12}NO_4PS_2$] in der

Vergleichsgruppe (Sampson et al., 2002). Der primäre Wirkungsmechanismus von Acetogeninen gegen Kohlschaben (*Plutella xylostella*) liegt in der Inhibierung der ATP-Produktion (Londerhausen et al., 1991). Lewis et al. (1993) konnten zudem einen geringeren Sauerstoffverbrauch bei behandelten Maiszünslerlarven (*Ostrinia nubilalis*) nachweisen und den Wirkort von Asimicin ebenfalls in der NADH-Oxidase lokalisierten. Die schnelle Mortalität und die komplexe Wirkungsweise von Acetogeninen beugen einer Entstehung von Resistenzen vor (Alkofahi et al., 1989; Alali et al., 1998). In mehreren Versuchsreihen wirkten sie erfolgreich gegen Kakerlaken, Kartoffelkäfer, Fleischfliegenlarven, mexikanische Bohnenkäfer und deren Larven, Bohnenblattkäfer, Mückenlarven, zweifleckige Spinnmilben, gestreifte Gurkenkäfer, Maiszünsler, Baumwollblattläuse und 15 weitere Arten von Arthropoden und Nematoden (Rupprecht et al., 1986; Sampson et al., 2002; Pomper et al., 2009c). Zudem haben diese Versuchsreihen gezeigt, dass flüssige Extrakte als Schädlingsbekämpfungsmittel nicht näher ausdifferenziert werden müssen. Somit könnte ein experimentierfreudiger Gärtner mit Haushaltsmitteln ein biologisches Breitbandinsektizid für den Eigenbedarf herstellen, indem Äste gehäckselt, mazeriert und in Alkohol eingelegt werden (Reich, 2004).

6. Schlussfolgerung

Aufgrund der Nährstoffzusammensetzung sind die Früchte der Papau von großem Interesse, aber deren schnell verderbliche Natur ist ein komplexes Hindernis für eine Kommerzialisierung. Ein Vertrieb als verarbeitetes Fruchtpüree wäre für die Vermarktung förderlich, wenn Konservierungsmethoden optimiert werden könnten. Aufgrund der heterogenen Fruchtform und der partiellen Giftigkeit ist aber eine rein maschinelle Verarbeitung am Stand der Technik nicht möglich. Mit einer manuellen Verarbeitung geht eine intensive Saisonarbeit einher, was sich direkt im Preis für die Konsumenten ausdrückt. Es gibt einen Absatzmarkt für die Gourmetküche vor allem als gefrorene Eiscreme. Es ist aber anzunehmen, dass die Früchte ein saisonales Nischenprodukt bleiben, zumal in den USA nach dreißig Jahren Forschung kein lukrativer Markt etabliert werden konnte. Deshalb scheint das größte kommerzielle Potenzial von *Asimina triloba* in der Produktion von Pflanzen für den Hausgarten zu liegen (Achtung: Vermehrungslizenzen). Versuche an der HBLFA-Schönbrunn lassen vermuten, dass die

Sorten 'Overleese', 'Prima-1216-60' und 'Sunflower' selbstfruchtend sein können. Die zeitliche und genetische Bestäubungskompatibilität zwischen einzelnen Sorten wurde noch nicht untersucht. Mehrere Langzeitversuche haben aber gezeigt, dass auch andere Sorten zuverlässig Fruchtansatz zeigen, wenn mehrere Bestäubungspartner in der Nähe wachsen. Somit ist eine Kultivierung auch im Hausgarten möglich, wenn vegetative Sprösslinge entfernt werden. Aus naturschutzfachlicher Sicht sollte dahingehend sensibilisiert werden, dass die Pflanzen bei Kulturaufgabe gerodet werden sollten. Eine wildwachsende Pflanze kann sich durch Wurzelausschlag im Radius von dreißig Meter zu einem dichten Gestrüpp ausbreiten und dabei den Großteil des Vegetationsbestandes einnehmen.

Neben den Früchten als Nahrungsmittel sind auch bioaktive Verbindungen als Desinfektions- oder Schädlingsbekämpfungsmittel von Interesse, falls die notwendigen Zulassungskriterien erfüllt werden könnten. Auch für die Krebsforschung sind die Inhaltsstoffe von Interesse. Das Antitumorpotenzial ist seit knapp vierzig Jahren bekannt, dessen Wirkungsweise ist seit 2003 patentiert. Aus pharmakologischer Sicht würde der Einsatz eines wirkungsvollen Naturprodukts die Erzeugung und den Absatz erprobter Pharmazeutika schwächen. Aus diesem Grund macht eine klinische Anwendung auch wenig Sinn, weshalb „Paw Paw Cell-Reg[®]“ als reines Nahrungsergänzungsmittel vertrieben wird.

Literatur

- Ahammadsahib, K. I., Hollingworth, R. M., McGovern, J. P., Hui, Y. H., McLaughlin, J. L., 1993. Mode of action of bullatacin: A potent antitumor and pesticidal annonaceous acetogenin. *Life Sciences* 53, 1113-1120.
- Alali, F. Q., Kaakeh, W., Bennett, G. W., McLaughlin, J. L., 1998. Annonaceous acetogenins as natural pesticides: potent toxicity against insecticide-susceptible and -resistant german cockroaches (*Dictyoptera*). *Journal of Economic Entomology* 91, 641-649.
- Alali, F. Q., Liu, X.-X., McLaughlin, J. L., 1999. Annonaceous acetogenins: Recent progress. *Journal of Natural Products* 62, 504-540.
- Alkofahi, A., Rupprecht, J. K., Anderson, J. E., McLaughlin, J. L., Mikolajczak, K. L., Scott, B. A., 1989. Search for new pesticides from higher plants. In: Arnason, J. T., Philogene, B. J. R., Morand, P. (Hrsg.), *Insecticides of plant origin*. ACS Symposium Series 387, American Chemical Society, Washington D.C., 25-43.
- Archbold, D. D., Koslanund, R., Pomper, K. W., 2003a. Ripening and postharvest storage of pawpaw. *HortTechnology* 13, 439-441.
- Archbold, D. D., Pomper, K. W., 2003b. Ripening pawpaw fruit exhibit respiratory and ethylene climacterics. *Postharvest Biology and Technology* 30, 99-103.
- Avedissian, H., Sinha, S. C., Yazbak, A., Sinha, A., Neogi, P., Sinha, S. C., Keinan, E. J., 2000. Total synthesis of Asimicin and Bullatacin. *The Journal of Organic Chemistry* 65, 6035-6051.
- Barlow, C., 2002. The ghosts of evolution – Nonsensical fruit, missing partners, and other ecological anachronisms. *Basic Books*, New York, 304 S.
- Barlow, C., 2001. Anachronistic fruits and the ghosts who haunt them. *Arnoldia* 61, 14-21.
- Barton, L. K., Menges, E. S., 2018. Effects of fire and pollinator visitation on the reproductive success of *Asimina reticulata* (*Annonaceae*), the netted pawpaw. *Castanea* 83, 323-333.
- Bellini, E., Montanari, D., 1992. La coltura dell' *Asimina triloba*, *Annonaceae* per i climi temperati. *L'Informatore Agrario* 38, 59-72.
- Bellini, E., Montanari, D. 2000. *Asimina triloba*, una realtà per la frutticoltura amatoriale italiana. *Frutticoltura* 1, 54-64.
- Bellini E., Nin, S., Cocchi, M., 2003. The pawpaw research program at the Horticulture Department of the University of Florence. *HortTechnology* 13, 455-457.
- Berry, E. W., 1916. The lower Eocene floras of southeastern North America. United States Geological Survey, Professional Paper 91, 90.
- Blackman, R. L., Eastop, V. F., 1994. *Aphids on the world's trees: an identification and information guide*. CABI International, Wallingford, UK, 1024 S.
- Blackman, R. L., Eastop, V. F., 2006. *Aphids on the world's herbaceous plants and shrubs*. J. Wiley & Sons, Chichester, UK, 1456 S.
- Bonner, F. T., 2008. *Asimina*. In: Bonner, F. T., Karrfalt, R. T. (Hrsg.), *The woody plant seed manual*. Agriculture Handbook no. 727, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C., S. 281-282.
- Brannan, R. G., Peters, T., Talcott, S. T., 2015. Phytochemical analysis of ten varieties of pawpaw (*Asimina triloba* [L.] Dunal) fruit pulp. *Food Chemistry* 168, 656-661.
- Brannan, R. G., Faik, A., Goelz, R., Pattahil, S., 2019. Identification and analysis of cell wall glycan epitopes and polyphenol oxidase in pawpaw (*Asimina triloba* [L.] Dunal) fruit pulp as affected by high pressure processing and

- refrigerated storage. *Food Science and Technology International* 25, 711-722.
- Brannan, R. G., Wang, G., 2017. Effect of frozen storage on polyphenol oxidase, antioxidant content, and color of pawpaw (*Asimina triloba* [L.] Dunal). *Journal of Food Research* 6, 93-101.
- Bratsch, A., Bellm, R., Kniepkamp, D., 2003. Early growth characteristics of seven grafted varieties and non-grafted seedling pawpaw. *HortTechnology* 13, 423-427.
- Brett, M., Callaway, D. J., 1992. Our native pawpaw: the next new commercial fruit? *Arnoldia* 52, 21-29.
- Brügger, A., Nentwig, W., Airolidi, J.-P., 2010. The burrow system of the common vole (*M. arvalis*, *Rodentia*) in Switzerland. *Mammalia* 74, 311-315.
- Cai, Z., Gold, M., Brannan, R. G., 2019. An exploratory analysis of US consumer preferences for North American pawpaw. *Agroforestry Systems* 93, 1673-1685.
- Callaway, M. B., 1991. Germplasm collection using public contests – The *Asimina triloba* example. *HortScience* 26, 722.
- Callaway, M. B., 1992. Current search for the commercial development of pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal]. *HortScience* 27, 191.
- Callaway, M. B., 1993. Pawpaw (*Asimina triloba*): A “tropical” fruit for temperate climates. In: Janick, J., Simon, J. E. (Hrsg.), *New crops*. Wiley, New York, NY, S. 505-515.
- Caparros-Lefebvre, D., Elbaz, A., 1999. Possible relation of atypical parkinsonism in the French West Indies with consumption of tropical plants: A case-control study. *Lancet* 354, 281-286.
- Chatrou, L. W., H. Rainer, Mass, P. J. M., 2004. *Annonaceae*. In: Stevenson, D. W., Heald, S. V., Smith, N., Mori S. A., Henderson, A. (Hrsg.), *Flowering plants of the Neotropics*. Princeton University Press, Princeton, NJ, S. 18-20.
- Cooney, D. O., Struhsaker, T. T., 1997. Adsorptive capacity of charcoals eaten by Zanzibar red colobus monkeys: Implications for reducing dietary toxins. *International Journal of Primatology* 18, 235-246.
- Couvreur, T. L. P., Pirie, M. D., Chatrou, L. W., Saunders, R. M. K., Su, Y. C. F., Richardson, J. E., Erkens, R. J., 2011. Early evolutionary history of the flowering plant family *Annonaceae*: steady diversification and boreotropical geodispersal. *Journal of Biogeography* 38, 664-680.
- Crabtree, S. B., Pomper, K. W., Lowe, J. D., 2009. Utilizing within-cluster hand-thinning to Increase Pawpaw Fruit Weight. *HortScience* 44, 1108.
- Crabtree, S. B., Pomper, K. W., Lowe, J. D., 2010. Within-cluster hand-thinning increases fruit weight in North American pawpaw. *Journal of the American Pomological Society* 64, 234-240.
- Crabtree, S. B., Pomper, K. W., 2019. Forest production of pawpaw. Kentucky State University Cooperative Extension, https://www.kysu.edu/documents/college-of-agriculture-communities-the-sciences/pawpaw_forestproduction_2019.pdf.
- Damman, H., 1986. Facultative interactions between two lepidopteran herbivores of *Asimina*. *Oecologia* 78, 214-219.
- Darrow, G. M., 1975. Minor temperate fruits. In: Janick, J., Moore, J. N. (Hrsg.), *Advances in fruit breeding*. Purdue University Press, S. 276-277.
- Davies, F. T. und R. L. Geneve (2002). Technique of grafting. In: Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., Geneve, R. L. (Hrsg.), *Plant Propagation: Principles and Practices*. 7. Auflage, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, S. 461-479.
- DeLaney, K., 2010. *Asimina manasota* (*Annonaceae*), a new pawpaw from westcentral Florida, with notes on variation and natural hybridization within the genus. *Botanical Explorer* 4, 1-68.
- Dobson, M. C., 1991. De-icing salt damage to trees and shrubs. *Forestry Commission Bulletin* 101, 1-56.
- Drechsel, E. J., 1997. Mobilian Jargon: Linguistic and socio-historical aspects of a native American pidgin. Clarendon Press, Oxford, UK, 392 S.
- Duffrin, M. W., Holben, D. H., Bremner, M. J., 2001. Consumer acceptance of pawpaw (*Asimina triloba*) fruit puree as a fat-reducing agent in muffins, compared to muffins made with applesauce and fat. *Family and Consumer Sciences Research Journal* 29, 281-287.
- Duffrin, M. W., Pomper, K. W., 2006. Development of flavor descriptors for pawpaw fruit puree: A step toward the establishment of a native tree fruit industry. *Family and Consumer Sciences Research Journal* 35, 118-130.
- Evert, D. R., Payne, J. A., 1991. Germination of *Asimina triloba* and *A. parviflora*. *HortScience* 26, 777.
- Faegri, K., van der Pijl, L., 1971. The principles of pollination ecology. Pergamon Press, New York, NY, S. 77-87.
- Fang, C., Wang, C., Xiong, Y. L., Pomper, K. W., 2007. Extraction and characterization of polyphenol oxidase in pawpaw (*Asimina triloba*) fruit. *Journal of food Biochemistry* 31, 603-620.
- Finneseth, C. L. H., Layne, D. R., Geneve, R. L., 1998. Morphological development of the North American pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal] during germination and seedling emergence. *HortScience* 33, 802-805.

- Finneseth, C. L. H., Geneve, R. L., Layne, D. R., 2000a. Establishment of North American pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal] shoots in in-vitro vom mature or juvenile explants. *Acta Horticulturae* 520, 97-102.
- Finneseth, C. L. H., Kester, S., Geneve, R., Pomper, K. W., Layne, D. R., 2000b. Propagation of pawpaw (*Asimina triloba*). Combined Proceedings International Plant Propagator's Society 50, 413-416.
- Fox, S., 2012. Picking up the pawpaws: the rare woody plants of Ontario program at the University of Guelph Arboretum. *Arnoldia* 69, 2-13.
- Frédette, C., Labrecque, M., Comeau, Y., Brisson, J., 2019. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix*. *Journal of Environmental Management* 246, 526-537.
- Galli, F., Archbold, D. D., Pomper, K. W., 2007. Pawpaw: An old fruit for new needs. *Acta Horticulturae* 744, 461-466.
- Galli, F., Archbold, D. D., Pomper, K. W., 2008. Loss of ripening capacity of pawpaw fruit with extended cold storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56, 10683-10688.
- Galli, F., Archbold, D. D., Pomper, K. W., 2009. Pawpaw fruit chilling injury and antioxidant protection. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134, 466-471.
- Geneve, R., Pomper, K. W., Kester, S. T., Egilla, J. N., Finneseth, C. L. H., Cabtree, S. B., Layne, D. R., 2003. Propagation of pawpaw – A review. *HortTechnology* 13, 428-433.
- Geneve, R., Kester, S., Pomper, K. W., 2007. Autonomus shoot production in pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal] on Plant Growth Regulator Free Media. *Propagation of Ornamental Plants* 7, 51-56.
- Goodrich, K. R., Zjhra, M. L., Ley, C. A., Raguos, R. A., 2006. When flowers smell fermented: The chemistry and ontogeny of yeasty floral scent in pawpaw (*Asimina triloba*: *Annonaceae*). *International Journal of Plant Sciences* 167, 33-46.
- Goodrich, K. R., Ortiz, L. A., Coughlin, D. J., 2016. Unusual twig "twistiness" in pawpaw (*Asimina triloba*) provides biomechanical protection for distal foliage in high winds. *American Journal of Botany* 103, 1872-1879.
- Greenawalt, L. M., 2016. Comparative analysis of pawpaw production data from 2005-2012. Masterthesis, Ohio University, Athens, OH, 64 S.
- Greenawalt, L. M., Powell, R., Simon, J., Brannan, R. G., 2019. A retrospective analysis of pawpaw (*Asimina triloba* [L.] Dunal) production data from 2005-2012. *Journal of the American Pomological Society* 73, 2-11.
- Gu, Z.-M., Zhou, D., Lewis, N. J. Wu, J., Johnson, H. J., McLaughlin, J. L., Gordon, J., 1999. Quantitative evaluation of annonaceous acetogenins in monthly samples of paw paw (*Asimina triloba*) twigs by liquid chromatography/electrospray ionization/tandem mass spectrometry. *Phytochemical Analysis* 10, 32-38.
- Haribal, M., Feeny, P., 1998. Oviposition stimulant for the zebra swallowtail butterfly, *Eurytides marcellus*, from the foliage of pawpaw, *Asimina triloba*. *Chemoecology* 8, 99-110.
- Harris, G. G., Brannan, R. G., 2009. A preliminary Evaluation of antioxidant compounds, reducing potential, and radical scavenging of pawpaw (*Asimina tribloba*) fruit pulp from different stages of ripeness. *LWT – Food Science and Technology* 42, 275-279.
- Heinrich, C., 1926. Revision of the North American moths of the subfamilies *Laspeyresinae* and *Olethreutinae*. *Bulletin of the United States National Museum* 132, 1-126.
- Hemnani, K., O'Malley, P. J., Tanović, B., Batzer, J. C., Gleason, M. L., 2008. First report of seven species of sooty blotch and flyspeck fungi on *Asimina triloba* in Iowa. *Plant Disease* 92, 1366.
- Hickman, J. W., 1985. *Asimina triloba* (pawpaw) propagation by cuttings. *Pomona* 18, 284.
- Hormaza, J. I., 2014. The Pawpaw, a Forgotten North American Fruit Tree. *Arnoldia* 72, 12-23.
- Horn, C., 2015. A new hybrid of *Asimina* (*Annonaceae*) based on morphological and ecological data. *Castanea* 80, 262-272.
- Hosaka, N., Gómez, S., Kachi, N., Stuefer, J. F., Whigham, D. F., 2005. The ecological significance of clonal growth in the understory tree, pawpaw (*Asimina triloba*). *Northeastern Naturalist* 12, 11-22.
- Jacobs, K., Wingfield, M. J., Bergdahl, D. D., 2000. New *Leptographium* species from Indonesia and eastern North America. *Mycoscience* 41, 595-607.
- Janzen, D. H. Martin, P. S., 1982. Neotropical anachronisms: The fruits the gomphotheres ate. *Science* 215, 19-27.
- Johnson, H. A., Gordan, J., McLaughlin, J. L., 1996. Monthly variations in biological activity of *Asimina triloba*. In: Janick, J. (Hrsg.), *Progress in new crops*. ASHS Press, Arlington, VA, S. 609-614.
- Jones, S. C., Peterson, R. N., Turner, T., Pomper, K. W., Layne, D. R., 1998. Pawpaw planting guide. Kentucky State University Cooperative Extension Program,

- <https://kysu.edu/academics/cafs/s/pawpaw/pawpaw-planting-guide/>.
- Karásek, A., 1901. *Asimina triloba*. In: Burgerstein A. und F. Abel (Hrsg.), Wiener illustrierte Gartenzeitung. Verlag von Wilhelm Frick, K. und K. Hofbuchhandlung, Wien, AT, S. 134-136.
- Keener, C., Kuhns, E., 1997. The impact of Iroquoian populations on the northern distribution of pawpaws in the northeast. *North American Archaeologist* 18, 327-342.
- Klock, P., 2001. Veredeln, Obst und Ziergehölze, Kübelpflanzen BLV Verlag, München, DE, S. 51-53.
- Klock, P., 2015. Veredeln: Obstgehölze und Zierpflanzen BLV Verlag, München, DE, S. 46-47.
- Kobayashi, H., Wang, C. und K. W. Pomper (2008). Phenolic content and antioxidant capacity of pawpaw fruit (*Asimina triloba* L.) at different ripening stages. *HortScience* 43, 268-270.
- Kollár, J., Bakay, L., 2015. The currant clearwing moth *Synanthedon tipuliformis* (Clerck, 1759) as a new pest for pawpaw (*Asimina triloba* L.) in Slovakia – short communication. *Plant Protection Science* 51, 153-155.
- Koslanund, R., Archbolt, D. D., Pomper, K. W., 2005a. Pawpaw [*Asimina triloba* (L.) dunal] fruit ripening. I. Ethylene biosynthesis and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130, 638-642.
- Koslanund, R., Archbolt, D. D., Pomper, K. W., 2005b. Pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal] fruit ripening. II. Activity of selected cell-wall degrading enzymes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 130, 643-648.
- Kral, R., 1960. A revision of *Asimina* and *Deeringothamnus* (*Annonaceae*). *Brittonia* 12, 233-278.
- Lagrange, R. L., Tramer, E. J., 1985. Geographic variation in size and reproductive success in the paw paw (*Asimina triloba*). *The Ohio Journal of Science* 85, 40-45.
- Laird, M., 1999. The flowering of the landscape garden: English pleasure grounds, 1720-1800. University of Pennsylvania Press, Pennsylvania, PA, S. 396.
- Lampton, R. K., 1957. Floral morphology in *Asimina triloba* Dunal, development of ovule and embryo sac. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 84, 151-156.
- Larimore, R. L., Busmeyer, D. T., Ebinger, J. E., 2003. Pawpaw, *Asimina triloba* (L.) Dunal (*Annonaceae*), in the Prairie Peninsula of Illinois. *Natural Areas Journal* 23, 356-361.
- Layne, D. R., 1996. The pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal]: A new fruit crop for Kentucky and the United States. *HortScience* 31, 777-784.
- Lehner, C., Roth, T., Förster, A., Rozhon, C., s. a.. Unveröffentlichte Versuchsergebnisse. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Gartenbau Schönbrunn, Wien, Österreich.
- Lewis, M. A., Arnason, J. T., Philogene, B. J., Rupprecht, J. K., McLaughlin, J. L., 1993. Inhibition of respiration at site I by asimicin, an insecticidal acetogenin of the pawpaw, *Asimina triloba* (*Annonaceae*). *Pesticide Biochemistry and Physiology* 45, 15-23.
- Li, H., Sun, G., Carlson-Batzer, J., Crous, P. W., Groenewald, J. Z., Karakaya, A., Gleason, M. L., 2011. *Scleroramularia* gen. Nov. associated with sooty blotch and flyspeck of apple and pawpaw from the Northern Hemisphere. *Fungal Diversity* 46, 53-66.
- Liese, W., Dujesiefken, D., Bremer, J., 1988. Wundreaktionen bei Linde nach Astung in der Baumpflege. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 107, 184-196.
- Lloyd, J. U., Lloyd, C. G., 1886. Drugs and medicines of North America: A quarterly devoted to the historical and scientific discussion of the botany, pharmacy, chemistry and the therapeutics of the medicinal plants of North America, their constituents, products and sophistications. J. U. und C. G. Lloyd, Cincinnati, OH.
- Londerhausen, M., Leicht, W., Lieb, F., Moeschler, H., Weiss, H., 1991. Molecular mode of action of annonins. *Pesticide Science* 33, 427-438.
- Lora, J., Larranaga, N., Hormaza, J. I., 2018. Genetics and breeding of fruit crops in the *Annonaceae* family: *Annona* spp. and *Asimina* spp. Springer International Publishing, CH, S. 651-672.
- Losada, J. M., Hormaza, J. I., Lora, J., 2017. Pollen-pistil interaction in pawpaw (*Asimina triloba*), the northernmost species of the mainly tropical family *Annonaceae*. *American Journal of Botany* 104, 1891-1903.
- Lu, L., Pomper, K. W., Lowe, J. D., Crabtree, S. B., 2011. Genetic variation in pawpaw cultivars using microsatellite analysis. *American Society for Horticultural Science* 136, 415-421.
- Machatschek, M., 2002. Laubgeschichten: Gebrauchswissen einer alten Baumwirtschaft, Speise- und Futterlaubkultur. Böhlau Verlag, Wien, AT, S. 89-170.
- McCage, C. M., Ward, S. M., Palling, C. A., Fisher, D. A., Flynn, P. J., McLaughlin, J. L., 2002. Development of paw paw herbal shampoo for removal of head lice. *Phyto-medicine* 9, 743-748.
- McGrath, M. J., Karahadian, C., 1994a. Evaluation of physical, chemical, and sensory properties of pawpaw fruit

- (*Asimina triloba*) as indicators of ripeness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 42, 968-974.
- McGrath, M. J., Karahadian, C., 1994b. Evaluation of head-space volatiles and sensory characteristics of ripe pawpaws (*Asimina triloba*) from select cultivars. *Food Chemistry* 51, 255-262.
- McLaughlin, J. L., Hui, Y.-H., 1993. Chemotherapeutically active acetogenins. U.S. Patent 5,229,419.
- McLaughlin, J. L., Zeng, L., Oberlies, N. H., Alfonso, D., Johnson, H. A., Cummings, B. A., 1997. Annonaceous acetogenins as new natural pesticides: recent progress. In: Hedin, P. A., Hollingworth, R. M., Masler, E. P., Miyamoto, J., Thompson, D. G. (Hrsg.), *Phytochemicals for pest control*. ACS Symposium Series 658, American Chemical Society, Washington D.C., 117-133.
- McLaughlin, J. L., Benson, G. B., 2003. Control of cancer with annonaceous extracts. U.S. Patent 10,717,746.
- McLaughlin, J. L., Benson, G. B., Forsythe, J. W., 2004. A novel mechanism for the control of clinical cancer. Cancer Screening and Treatment Center of Nevada, <http://www.pawpawresearch.com/pawpaw-trials1.pdf>.
- McLaughlin, J. L., 2008. Paw Paw and cancer: Annonaceous acetogenins from discovery to commercial products. *Journal of Natural Products* 71, 1311-1321.
- Mercader, R. J., Paulson, T. J., Engelken, P. J., Appenfeller, L. R., 2020. Defoliation by a native herbivore, *Omphalocera munroei*, leads to patch size reduction of a native plant species, *Asimina triloba*, following small-scale removal of the invasive shrub, Amur honeysuckle, *Lonicera maackii*. *Plant Ecology* 221, 125-139.
- Merwin, I. A., Byard, R., Pomper, K. W., 2003. Survival, growth and establishment of grafted pawpaws in Upstate New York. *HortTechnology* 13, 421-422.
- Mikolajczak, K. L., McLaughlin, J. L., Rupprecht, J. K., 1988. Control of pests with annonaceous acetogenins (pesticidal use patent on acetogenins). U.S. Patent 4,721,727.
- Mikolajczak, K. L., McLaughlin, J. L., Rupprecht, J. K., 1989. Control of pests with annonaceous acetogenins (divisional patent on asimicin). U.S. Patent 4,855,319.
- Miller, P., s. a.. A Catalogue of the plants in the garden of the right honorable Lord Petre at Thorndon Hall Essex drawn up by Mr. Philip Miller. Mikrofilm ist verfügbar in der Botanikbibliothek des Naturhistorischen Museums London, Nummer 245 12.
- Moermann, D. E., 1998. Native American ethnobotany. Timber Press, Portland, OR, 927 S.
- Moore, A., 2015. Pawpaw: In search of America's forgotten fruit. Chelsea Green Publishing, White River Junction, VT, 320 S.
- Morré, D. J., de Cabo, R., Farley, C., Oberlies, N. H., McLaughlin, J. L., 1995. Mode of action of bullatacin, a potent antitumor acetogenin: Inhibition of NADH oxidase activity of HELA and HL-60, but not liver, plasma membranes. *Life Sciences* 56, 343-348.
- Murphy, J. L., 2001. Pawpaws, persimmons, and possums: On the natural distribution of pawpaws in the Northeast. *North American Archaeologist* 22, 93-115.
- Nair, S., Gupta, P. K., Mascarenhas, A. F., 1984a. In-vitro propagation of *Annona* hybrid (*Annona squamosa* L. × *Annona cherimola* L.). *Indian Journal of Horticulture* 41, 160-165.
- Nair, S., Gupta, P. K., Shirgurkar, M. V., Mascarenhas, A. F., 1984b. In-vitro organogenesis from leaf explants of *Annona squamosa* Linn. *Plant Cell Tissue and Organ Culture* 3-4, 29-40.
- Nam, J. S., Park, S. Y., Oh, H. J., Jang, H. L., Rhee, Y. H., 2019. Phenolic profiles, antioxidant and antimicrobial activities of pawpaw pulp (*Asimina triloba* [L.] Dunal) at different ripening stages. *Journal of Food and Science* 84, 174-182.
- Nash, L. J., Graves, W. R., 1993. Drought and stress effects on plant development and leaf water relations of five Taxa of trees native to bottomland habitats. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 118, 845-850.
- Nasu, H., Kunoh, H., 1987. Scanning electron microscopy of flyspeck of apple, pear, Japanese persimmon, plum, Chinese quince, and pawpaw. *Plant Disease* 71, 361-364.
- National Research Council, 2008. Lost crops of Africa, Volume: III Fruits. The National Academies Press, Washington, D.C., 380 S.
- Norman, E. M., Rice, K., Cochran, A., 1992. Reproductive biology of *Asimina paviflora* (Annonaceae). *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 119, 1-5.
- Ogodo, A. C., Ugbogu, O. C., Ugbogu, A. E., Ezeonu, C. S., 2015. Production of mixed fruit (pawpaw, banana and watermelon) wine using *Saccharomyces cerevisiae* isolated from palm wine. *SpringerPlus* 4, 1-11.
- Oldeman, R. A. A., 1978. Architecture and energy exchange of dicotyledonous trees in the forest. In: Tomlinson P. B., Zimmermann, M. H. (Hrsg.), *Tropical trees as living systems*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, S. 535-560.

- Olson, M. G., Keeley, M. T., 2018. Controlling dense layers of pawpaw (*Asimina triloba*) in mesic upland forest understories. *Forest Science* 64, 324-329.
- Ouyang, Y., Zhang, X., Chen, Y., Teixeira de Silva, J. A., Ma, G., 2016. Growth, photosynthesis and haustorial development of semiparasitic *Santalum album* L. penetrating into roots of three hosts: a comparative study. *Trees* 30, 317-328.
- Peña, J. E., Castiñeiras, A., Bartelt, R., Duncan, R., 1999. Effect of pheromone bait stations for sap beetles (*Coleoptera: Nitidulidae*) on *Annona* spp. fruit set. *Florida Entomologist* 82, 475-480.
- Peterson, R. N., Cherry, J. P., Simmons, J. G., 1982. Composition of pawpaw (*Asimina triloba*) fruit. *Annual Report of the Northern Nut Growers Association* 73, 97-107.
- Peterson, R. N., 1991. Pawpaw (*Asimina*). *Acta Horticulturae* 290, 569-602.
- Peterson, R. N., 2003. Pawpaw variety development: A history and future prospects. *HortTechnology* 13, 449-454.
- Picchioni G. A., Graham, C. J., Ulery, A. L., 2004. Gypsum effects on growth and macroelement uptake of field-grown *Asimina triloba* (Pawpaw) irrigated with low-saline, sodic water. *HortScience* 39, 1104-1109.
- Pickering, C., 1879. *Chronological history of plants*. Little, Brown, and Co, Boston, MA, 1222 S.
- Pirc, H., 2015. *Enzyklopädie der Wildobst- und seltenen Obstarten*. Leopold Stocker Verlag, Graz und Stuttgart, S. 42-50.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Peterson, R. N., 1999. The pawpaw regional variety trial. In: Janick, J. (Hrsg.), *Perspectives on new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, S. 353-357.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Jones, S. C., 2002a. Incident irradiance and cupric hydroxide container treatment effects on early growth and development of container-grown pawpaw seedlings. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127, 13-19.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Jones, S. C., Kwantes, M. G., 2002b. Growth enhancement of container-grown pawpaw seedlings as influenced by media type, root-zone temperature, and fertilization regime. *HortScience* 37, 329-333.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Reed, E. B., 2002c. Determination of the optimal rate of slow-release fertilizer for enhanced growth of pawpaw seedlings in containers. *HortTechnology* 12, 397-401.
- Pomper, K. W., Barney, R. J., 2003. Introduction to the second international pawpaw conference. *HortTechnology* 13, 410-411.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Jones, S. C., 2003a. Container production of pawpaw seedlings. *HortTechnology* 13, 434-438.
- Pomper, K. W., Crabtree, S. B., Brown, S. P., Jones, S. C., Bonney, T. M., Layne, D. R., 2003b. Assessment of genetic diversity of pawpaw varieties with inter-simple sequence repeat markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 128, 521-525.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., Peterson, R. N., Wolfe, D., 2003c. The pawpaw regional variety trial: background and early data. *HortTechnology* 13, 412-417.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., 2005. The North American pawpaw: Botany and horticulture. *Horticultural Reviews* 31, 349-382.
- Pomper, K. W., Layne, D. R., 2008. *Asimina triloba* - Pawpaw. In: Janick, J. und R. Paul (Hrsg.), *The encyclopedia of fruit and nuts*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, S. 62-68.
- Pomper, K. W., Crabtree, S. B., Layne, D. R., Peterson, R. N., 2008a. Flowering and fruiting characteristics of eight pawpaw [*Asimina triloba* (L.) Dunal] selections in Kentucky. *Journal of the American Pomological Society* 62, 89-97.
- Pomper, K. W., Crabtree, S. B., Layne, D. R., Peterson, R. N., Masabni, J., Wolfe, D., 2008b. The Kentucky pawpaw regional variety trial. *Journal of the American Pomological Society* 62, 58-69.
- Pomper, K. W., Lowe, J. D., Lu, L., Crabtree, S., Collins, L. A., 2009a. Clonality of pawpaw (*Asimina triloba*) patches in Kentucky. *Continuation of Transactions of the Kentucky Academy of Science* 70, 3-11.
- Pomper, K. W., Crabtree, S. B., Lowe, J. D., 2009b. Enhancing pawpaw chip budding success and scion growth of two cultivars on two seedling rootstocks in greenhouse container production. *Journal of the American Pomological Society* 63, 145-149.
- Pomper, K. W., J. D. Lowe, S. B. Crabtree, Keller, W., 2009c. Identification of annonaceous acetogenins in the ripe fruit of the North American pawpaw (*Asimina triloba*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, 8339-8343.
- Pomper, K. W., S. Crabtree, J. D. Lowe, Lehman, J., 2009d. Pawpaw and the American persimmon: Niche tree fruit crops for the midwest and eastern united states. *HortScience* 44, 982-983.

- Pomper, K. W., Lowe, J. D., Lu, L., Crabtree, S. B., Dutta, S., Schneider, K., Tidwell, J., 2010. Characterization and identification of pawpaw cultivars and advanced selections by simple sequence repeat markers. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 135, 143-149.
- Pomper, K. W., Crabtree, B. B., Lowe, J. D., 2019. Organic production of pawpaw. Kentucky State University Cooperative Extension, https://kysu.edu/wp-content/uploads/2019/07/Pawpaw_03_2019.pdf.
- Popenoe, H., 1989. Lost crops of the Incas: little known plants of the Andes with promise of worldwide cultivation. The National Academies Press, Washington, D.C. 428 S.
- Popenoe, W., 1916. Where are the best pawpaws? *Journal of Heredity* 7, 291-296.
- Popenoe, W., 1917. The best pawpaws! *Journal of Heredity* 8, 21-33.
- Postman, J. D., Hummer, K. E., Pomper, K. W., 2003. Vascular disease in Oregon regional pawpaw variety trial. *HortTechnology* 13, 418-420.
- Reich, L., 2004. Uncommon fruits for every garden. Timber Press, Portland, OR, S. 41-52.
- Rupprecht, J. K., Chang, C. J., Cassady, J. M., McLaughlin, J. L., 1986. Asimicin, A new cytotoxic and pesticidal acetogenin from the pawpaw, *Asimina triloba* (Annonaceae). *Heterocycles* 24, 1197-1201.
- Sahai, A., Shivanna, K. R., 1984. Seed germination, seedling growth and haustorial induction in *Santalum album*, a semi-root parasite. *Proceedings: Plant Sciences* 93, 571-580.
- Sampson, B., McLaughlin, J. L., Wedge, D., 2002. Pawpaw extract as a botanical insecticide. *Arthropod Management Tests* 28, L5.
- Sargent, S. C., 1890. *Silva of North America: a description of the trees, which grow naturally in North America exclusive of Mexico*. Boston, Houghton, Mifflin and company, NY, S. 23-25.
- Schmolz, E., 2007. Wespen und andere Hautflügler. *Umweltmedizinischer Informationsdienst* 3, 31-34.
- Schulz, B., 2014. *Gehölzbestimmung im Winter*. Ulmer Verlag, Stuttgart, 360 S.
- Seelmann, L., 2018. Informationsblatt: *Popillia japonica*. Österreichisches Bundesamt für Ernährungssicherheit, https://www.baes.gv.at/fileadmin/user_upload/Infoblatt_Popillia_japonica_-_Februar_2018.pdf.
- Sica, V. P., El-Elmat, T., Oberlies, N. H., 2016. In-situ analysis of *Asimina triloba* (paw paw) plant tissues for acetogenins via the droplet-liquid microjunction-surface sampling probe coupled to UHPLC-PDA-HRMS/MS. *Analytical Methods* 8, 6143-6149.
- Sinha, S. C., Sinha, A., Yazbak, A., Kienan, E. J., 1996. Toward chemical libraries of annonaceous acetogenins. Total synthesis of trilobacin. *The Journal of Organic Chemistry* 61, 7640-7641.
- Sluijs, A., Schouten, S., Donders, T., Schoon, P. L., Röhl, U., Reichart, G.-J., Sangiorgi, F., Kin, J.-H., Damsté, J. S. S., Brinkhuis, H., 2009. Warm and wet conditions in the Arctic region during Eocene thermal Maximum. *Nature Geoscience* 2, 777-780.
- Solheim H., Safranyik, L., 1997. Pathogenicity to sitka spruce of *Ceratocystis rubipenni* and *Leptographium abietinum*, blue-stain fungi associated with spruce beetle. *Canadian Journal of Forest Research*, 1336-1342.
- Standley, L. A., Katzenberg, B., 2019. Pawpaw *Asimina triloba* (Annonaceae): A record of establishment in Massachusetts. *Rhodora* 121, 54-55.
- Stangl, M., 2014. Der Nutzgarten. In: *Das große BLV Handbuch Garten*. 9. Auflage, BLV Verlag, München, DE, S. 404-479.
- Stănikă, F., 2012. *Asimina triloba* germplasm in Romania. *Scientific Papers, Series B, Horticulture Vol. LVI*, 267-272.
- Sugumaran, M. P., Kumar, M. G., Ramasamy, K., Vincent, S., 2004. Observations on life cycle of certain spiders from Western Ghats of Tamil Nadu. *Journal of Environmental Biology* 25, 325-328.
- Tempelton, S. B., Marlette, M., Pomper, K. W., Jones, S. C., 2003. Favorable taste ratings for several pawpaw products. *HortTechnology* 13, 445-448.
- Torres, K. C., 1989. *Tissue Culture Techniques for Horticultural Crops*. Springer, Boston, MA, 224 S.
- USDA, 2020. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. Datenbank verfügbar unter: <http://plants.usda.gov>
- Vandenberg, N., Rabaglia, R. J., Bright, D. E., 2000. New records of two *Xyleborus* (Coleoptera: Scolytidae) in North America. *Proceedings of the Entomological Society of Washington* 102, 62-68.
- Vines, R. A., 1960. *Trees, shrubs and woody vines of the southwest*. University of Texas Press, Austin, TX, 1104 S.
- Vuts, J., Imrei, Z., Tóth, M., 2010. New co-attractants synergizing attraction of *Cetonia aurata* and *Potosia cuprea* to the known floral attractant. *Journal of Applied Entomology* 134, 9-15.
- Wilson, M. F., Schemske, D. W., 1980. Pollinar limitation, fruit production and floral display in pawpaw (*Asimina triloba*). *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 107, 401-408.

- Wise, T. D., Duffrin, M. W., 2003. Effects of substituting pawpaw fruit puree for fat on the sensory properties of a plain shortened cake. *HortTechnology* 13, 442-444.
- Zasada, J. C., Tappeiner, J. C., 2008. *Rubus* L. In: Bonner, F. T. und R. T. Karrfalt (Hrsg.), The woody plant seed manual. Agriculture Handbook no. 727, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Washington, D.C., S. 984-996.
- Zhang, L., Dai, S., Brannan, R. G., 2017. Effect of high pressure processing, browning treatments, and refrigerated storage on sensory analysis, color, and polyphenol oxidase activity in pawpaw (*Asimina triloba* L.) pulp. *LWT – Food Science and Technology* 86, 49-45.
- Zhao, G. X., Kozłowzki, J. F., Smith, D. L., McLaughlin, J. L., 1994a. Bulletin and Bullani: two novel, highly cytotoxic acetogenins from *Asimina triloba*. *Heterocycles* 38, 1897-1908.
- Zhao, G. X., Miesbauer, L. R., Smith, D. L., McLaughlin, J. L., 1994b. Asimin, asiminacin and asiminecin: Novel highly cytotoxic asimicin isomers from *Asimina triloba*. *Journal of Medicinal Chemistry* 37, 1971-1976.