

SCHLUSSBERICHT SIDATIM: Sachbericht

Zuwendungsempfänger:

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Professur für Waldwachstum

Tennenbacher Str. 4
79106 Freiburg

Förderkennzeichen:

2815ERA04C

Vorhabenbezeichnung:

Neue Wege der Biomasseproduktion: Evaluierung des Potenzials von *Sida hermaphrodita* und Wertholzbäumen (SIDATIM)

Laufzeit des Vorhabens: 01.05.2016 – 31.08.2019

Berichtszeitraum: 01.05.2016 – 31.08.2019



1. Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

In dem Verbundprojekt SIDATIM wurde das Potenzial von innovativen Agroforst-Systemen untersucht, wobei der Schwerpunkt auf folgenden zwei Teilforschungsbereichen lag: 1. Untersuchung der Eignung und der Biomasseproduktivität von nur wenig bekannten mehrjährigen Multipurpose-Pflanzen entlang eines Klimagradients in Europa; 2. Entwicklung eines Lichtmodells zur Modellierung und Quantifizierung des Schattenwurfs von Bäumen in Agroforst-Systemen.

Die in SIDATIM durchgeführten Arbeiten und die erzielten Ergebnisse tragen somit unmittelbar zu den förderpolitischen Zielen der FACCE-JPI-Ausschreibung *Sustainable and resilient agriculture for food and non-food systems* bei und nehmen besonders auf „Core Theme 2“ der *FACCE-JPI Strategic Research Agenda* Bezug. Diese beinhaltet die Förderung von Entwicklungen, die zu einer umweltverträglichen und nachhaltigen Intensivierung von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungspraktiken führen. Die Bewirtschaftung von Agroforst-Systemen mit dem in SIDATIM verfolgten Ansatz entspricht u.a. den folgenden in dieser *Research Agenda* niedergelegten Zielen:

- Bereitstellung neuer Ansätze zur Optimierung der Bewirtschaftung von landwirtschaftlichen Betrieben unter Berücksichtigung von jetzt und zukünftig herrschenden Klimabedingungen sowie Rohstoffverfügbarkeit.
- Diversifizierung von Produktionssystemen einschließlich Agroforst-Systemen, um natürliche Ressourcen effizienter nutzen zu können und zugleich die biologische Diversität auf hohem Niveau zu halten.
- Erarbeiten von Möglichkeiten, die nachhaltige Intensivierung der Landwirtschaft in eine Bioökonomie zu integrieren, welche die Produktion von Futtermitteln, Materialrohstoffen (z.B. Fasern) und Energie (Biogas, Lignozellulose-basierte Brennstoffe) in Wertschöpfungsketten auch in ländlichen Räumen fördert.

2. Aufzählung der wichtigsten wissenschaftlich-technischen Ergebnisse

Da die Professur für Waldwachstum an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (UF) der federführende Koordinator von SIDATIM ist, wird nach der Beschreibung der wichtigsten Aktivitäten und Ergebnisse der UF auch eine knappe Übersicht über die Arbeiten gegeben, von den übrigen am Projekt beteiligten Partnern geleistet wurden.

Zu den Hauptaufgaben der UF zählen im Rahmen von AP 5 (1) die Entwicklung eines Lichtmodells, das die Beschattung des Untergrundes unter freistehenden Wertholzbäumen in Agroforst-Systemen beschreibt (siehe Kapitel 1.1), sowie (2) die Entwicklung eines Biomasse-Modells, das die Entwicklung von Kronen von Wertholzbäumen und deren C-Speicherungskapazität prognostiziert (siehe Kapitel 1.2).

2.1. Entwicklung des Lichtmodells

Im Fokus dieses Arbeitspaketes stand die Erfassung der dreidimensionalen Struktur von Wertholzbäumen mit Hilfe terrestrischer Laserscanner (TLS) sowie das darauf aufbauende Entwickeln eines Modells, mit dem die Licht- bzw. Schattenprojektion von Baumkronen auf ihren Untergrund berechnet und visualisiert werden kann. Hierbei wurde wie folgt vorgegangen:

Die bereits an der UF entwickelte Software, mit der TLS-Scans in digitale Baummodelle verwandelt werden können, beruht auf einem Algorithmus, der Zylinder in die Punktwolken der gescannten Bäume fittet, so dass sowohl der Stamm als auch die Aststrukturen des Baumes als Zylindermodelle vorliegen. Der erste durchgeführte Arbeitsschritt bestand darin, gewonnene 3D-Baummodelle interaktiv zu visualisieren, um den gesamten Baum inklusive Stamm und Krone hochaufgelöst darstellen zu können (Abb. 1).

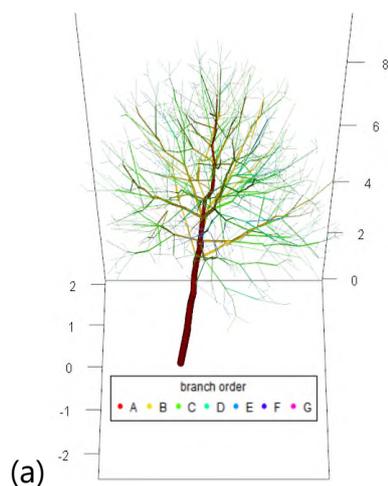


Abb. 1: Visualisierung eines Baummodells mit Informationen bezüglich der Aststruktur.

Im nächsten Schritt wurde die Lichtverfügbarkeit unter dem Baum modelliert, um sowohl die Quantifizierung als auch die Visualisierung vom Schattenwurf der Baummodelle zu ermöglichen. Hierfür wurde die mathematisch nutzbare Information der Sonnenposition mittels einer Funktion in die Software R integriert, die sowohl die Azimut und Zenit-Winkel der Sonne als auch den Einheitsvektor und die Sonnenposition als kartesische Koordinaten wiedergibt. Die Ergebnisse sind im 10-Minutentakt aufgelöst (Abb. 2).

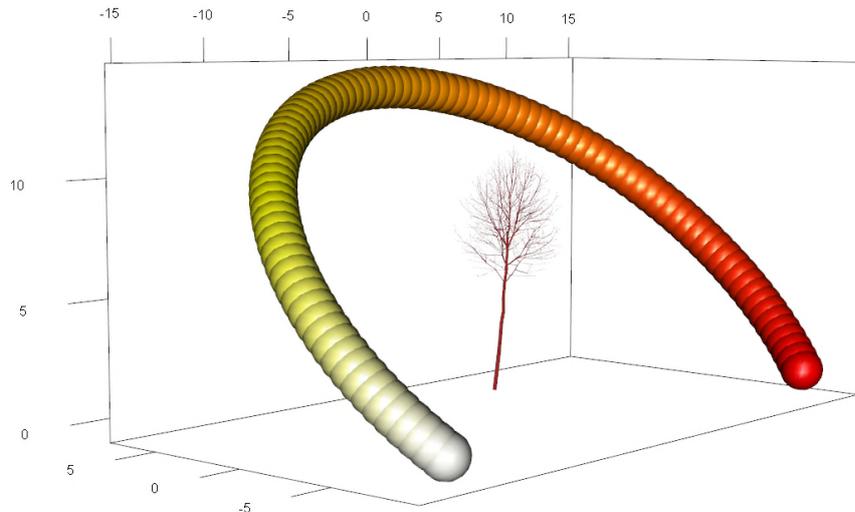


Abb. 2: Schematischer Sonnengang in 10-minütiger Auflösung, berechnet für den 01.06.2014 in Breisach, Südwest-Deutschland. Rot: Morgens, Weiß: Abends.

Die weiterhin benötigten Werte der Solarstrahlung werden vom Deutschen Wetterdienst (DWD, 2017) frei verfügbar bereitgestellt. Die verwendeten Daten der Solarstrahlung beruhen auf Messwerten der Station Freiburg, die 20 km östlich der Versuchsfläche liegt.

Aus der Information von Sonnenposition, Strahlungsdynamik und den Zylinder- basierten Baummodellen wurde ein Vektor-basiertes Modell entwickelt, welches Schatten sowohl zeitlich als auch räumlich hochaufgelöst darstellen kann und die dazu gehörige Information der Lichtverfügbarkeit ermittelt. Mittels Vektor-basierten Kreuzprodukten und Informationen aus den Zylindern kann nun für jeden noch so kleinen Zylinder des Baumes ein realistischer Schattenwurf projiziert werden (Abb. 3). Durch die Transformation der zweidimensionalen Schatten-Polygone auf dem Untergrund in ein Rastergrid mit einer Auflösung von 10 cm x 10 cm können den Schattenfeldern Strahlungsintensitäten zugeordnet werden. Im nachfolgenden Schritt werden die Schattenwürfe für verschiedene zeitliche Auflösungen modelliert (Tage, Monate, Jahr).

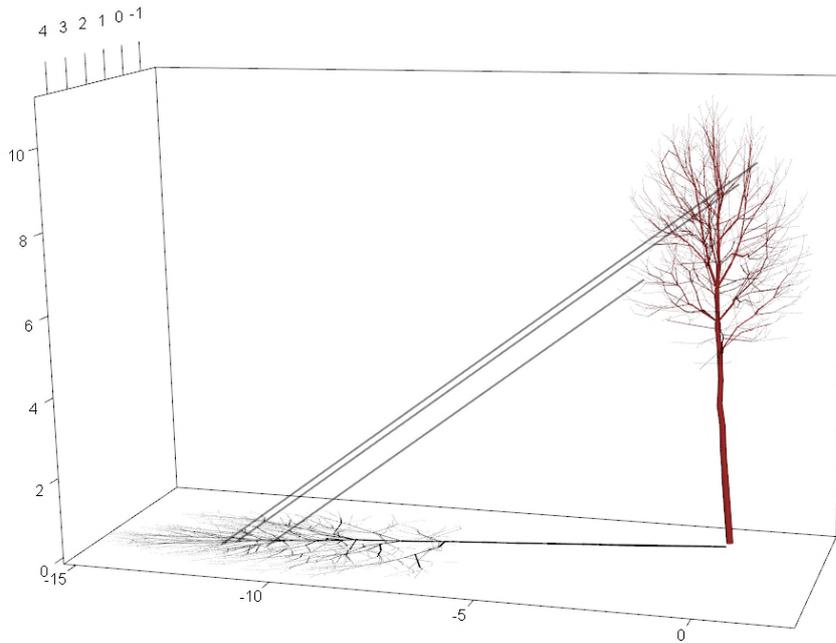


Abb. 3: Schattenwurf eines laubfreien Baummodells am 01.06.2014 um 09:30 in Breisach. Beispielsweise sind drei Schattenstrahlen zufällig dargestellt.

Das dergestalt entwickelte Modell wurde in einer renommierten Fachzeitschrift veröffentlicht: *Roskopf E, Morhart C, Nahm M (2017). Modelling shadow using 3D tree models in high spatial and temporal resolution. Remote Sensing 9, Article ID: 719.*

Im Anschluss daran wurde das Modell weiter verbessert, um die dynamischen Entwicklungen von Baumkronen bzw. deren Blättern im Verlauf eines Jahres realistischer simulieren zu können. Hierzu wurden folgende Arbeitsschritte vorgenommen:

- Entnahme von 58 Ästen aus verschiedenen Kronenbereichen von acht Wildkirschen (*Prunus avium*) sowie Vermessung der Verteilung der Blätter, ihrer Ansatzpunkte sowie Ansatzwinkel.
- Einscannen und Vermessen einer Auswahl von 630 Blättern von 20 Ästen; Erstellen von fünf verschiedenen Größenklassen (Tab. 1).

Tab. 1: Verteilung der Blattflächengröße von 630 Kirschbaum-Blättern.

Area (cm ²)	Mean Leaf Area (cm ²)	Frequency	Cumulated Frequency	Proportion (%)	Size class
(3.23,18.4]	10.81	116	116	18	Very small (1)
(18.4,33.6]	26.00	240	356	38	Small (2)
(33.6,48.7]	41.15	174	530	28	Medium (3)
(48.7,63.8]	56.25	81	611	13	Big (4)
(63.8,79]	71.4	19	630	3	Very big (5)

- Generierung von hexagonalen Blattformen deren Größe den Maßen der Mittelwerte der fünf Größenklassen entspricht.
- Entwicklung eines Entscheidungsschemas um den modellierten Ästen die passende Belaubung zuzuordnen, wobei auch die unterschiedlichen Verhältnisse bei Sonnenästen und Schattenästen sowie den inneren und äußeren Bereichen von Ästen berücksichtigt werden.
- Ernte von insgesamt 13 Ästen von Wildkirschen (*Prunus avium*) um die Verteilung der Blätter inklusive ihrer Biomasse entlang dieser Äste in 50 cm-Abschnitten zu bestimmen und die Biomasse auch in Bezug zum Durchmesser der Äste zu setzen. Abbildung 4 zeigt die durchschnittliche Verteilung der Blätter bzw. deren Biomasse entlang der beprobten Äste.

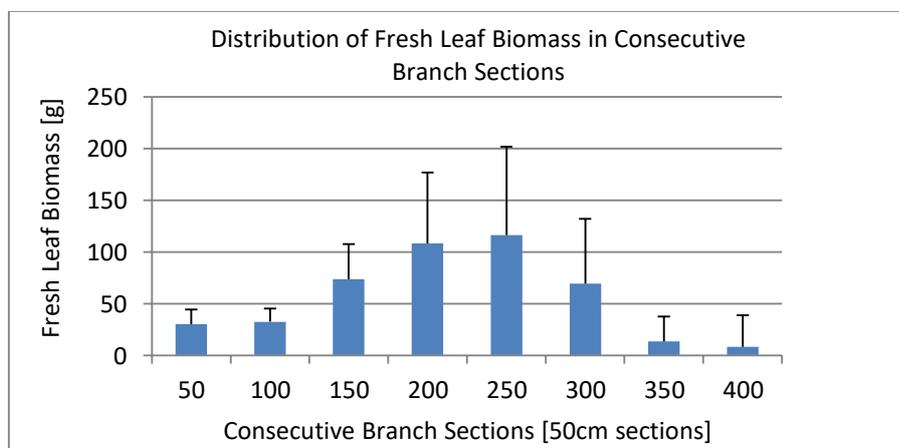


Abb. 4: Durchschnittliche Verteilung der Frisch-Biomasse von Blättern an Ästen von Kirschbäumen, die in 50 cm-Abschnitten vom Stamm gezählt und gewogen wurden.

In Abbildung 5 ist das Verhältnis zwischen Blattbiomasse und dem Astdurchmesser am Astansatz dargestellt. Die Daten zur Verteilung und Menge von Blättern in den verschiedenen Astabschnitten dienen der Verfeinerung der Simulation der Blattdarstellung von 3D-Modellen von Bäumen, die im laubfreien Zustand gescannt werden müssen, um ihr Äste erkennen und abbilden zu können.

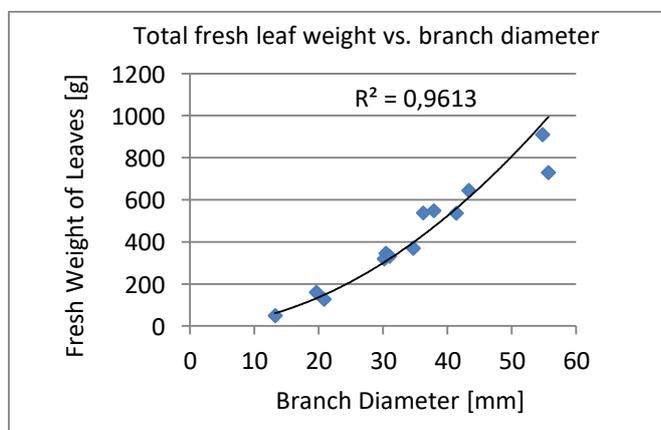


Abb. 5: Abhängigkeit der Frisch-Biomasse von Blättern an Ästen von Kirschbäumen vom Durchmesser der sie tragenden Äste am Stammansatz.

Weitere Optimierungsschritte bestanden in der Flexibilisierung der Blattabstände voneinander, der Blattanordnung am Ast sowie der Ermittlung und Simulation der zu erwartenden Blattflächen. Abbildung 6 zeigt beispielhaft, wie verschiedene Szenarien den Blattabstand in Abhängigkeit von Blattflächen wiedergeben; die Ideallinie wird durch die schwarze Linie repräsentiert.

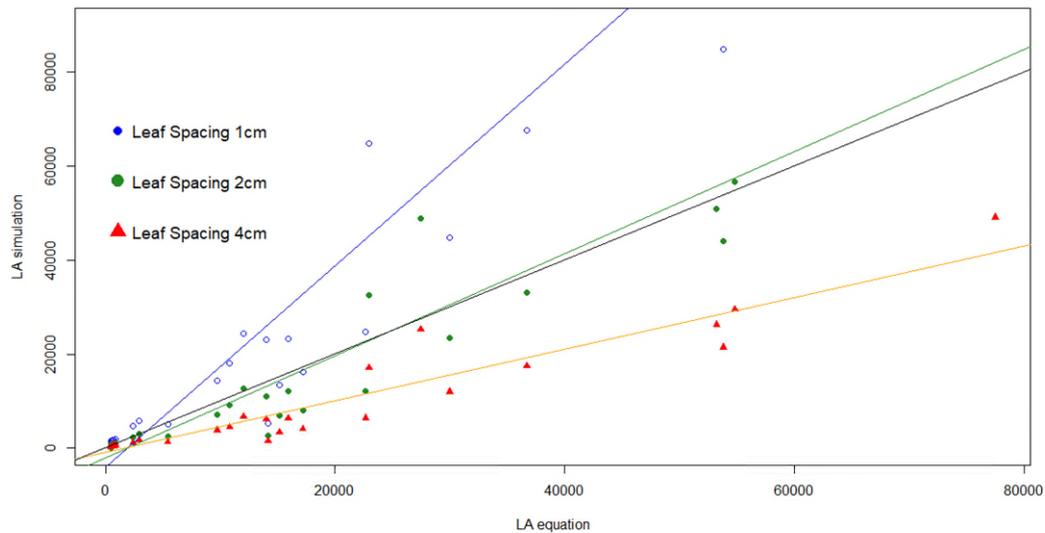


Abb. 6: Der Blattabstand in Abhängigkeit von Werten, die auf gemessenen und errechneten Blattflächen beruhen. Die ideale Situation wird durch die schwarze Linie repräsentiert, in diesem Fall liegt die grüne Linie sehr nahe daran. Sie entspricht dem Abstand von 2 cm.

Mit dem auf diese Weise verfeinerten Modell lassen sich bereits sehr realitätsnahe Simulationen von Bäumen erstellen. In Abb. 7 ist ein im Winter gescannter Kirschbaum zu sehen, dem gemäß den oben beschriebenen Modellierungsschritten Blätter angefügt wurden.

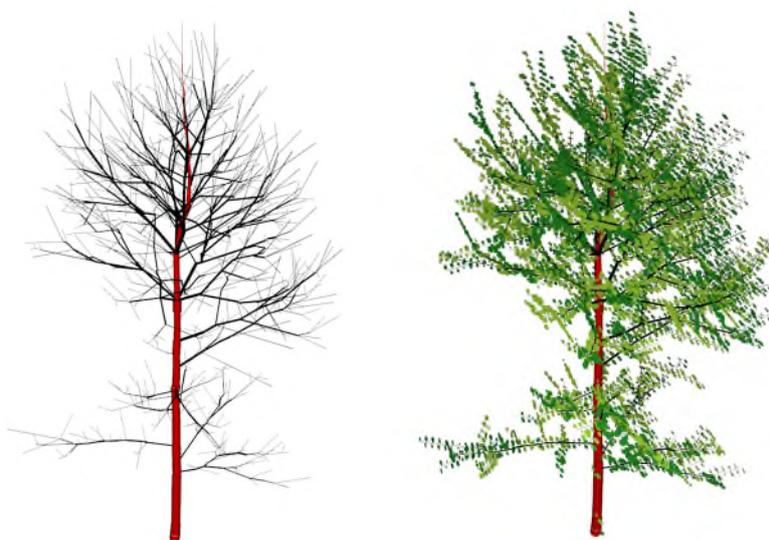


Abb. 7: 3D-Modell eines gescannten Kirschbaums. Linke Darstellung: Baum im blattlosen Zustand; rechte Darstellung: Baum mit modellierten Blättern.

Dieses Lichtmodell soll weiterhin noch hinsichtlich der Simulation des Blattwachstums im Frühling und des Blattfalls im Herbst optimiert werden, was im Sommer 2018 aufgrund technischer Probleme mit den eingesetzten Scannern nicht gelang. Diese Messungen wurden in 2019 nachgeholt, allerdings sind die Analysen der Daten noch nicht abgeschlossen. Mit dem gewählten Modellierungsansatz lassen sich jedoch bereits jetzt sehr realistische Modelle von Bäumen erstellen, mit denen wiederum sehr realistische Schattenprojektionen im Tages- und Jahresverlauf errechnet werden können (Abb. 8). Diese Berechnungen dienen wiederum als Grundlage für die Berechnung der Reduktion der Sonneneinstrahlung unter Bäumen in Agroforst-Systemen, was für die Bewertung der Gesamtsysteme vor allem in ökonomischer Hinsicht bedeutsam ist.

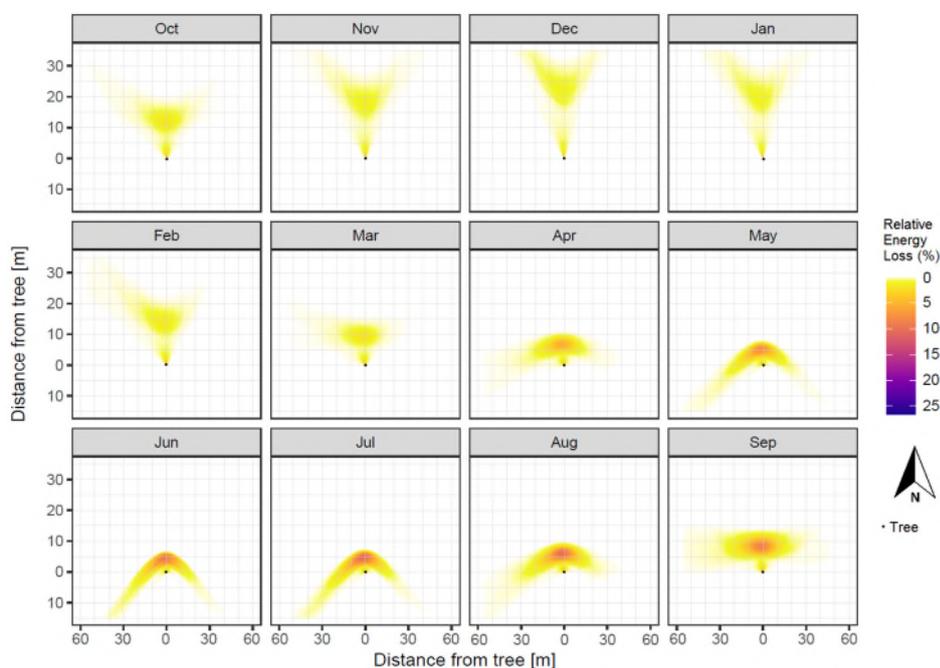


Abb. 8: Monatsweise Verteilung des Schattenwurfs bzw. der Reduktion der solaren Einstrahlung um einen einzelnen Kirschbaum.

Die ausgegebenen Schattierungswerte des bislang entwickelten Lichtmodells müssen schließlich noch validiert werden. Hierzu werden sie mit Werten verglichen, die über eine andere Methode der Bestimmung von Sonneneinstrahlung ermittelt werden, der Analyse hemisphärischer Fotografien von Bäumen. Zu diesem Zweck wurde mittels dieser Technik die Reduktion des einfallenden Sonnenlichts unter sechs freistehenden Kirschbäumen ermittelt. Abbildung 9 zeigt beispielhaft die Ergebnisse für einen Baum im Monat Mai, dargestellt mit einem für diesen Zweck an der Professur für Waldwachstum entwickelten Programm.

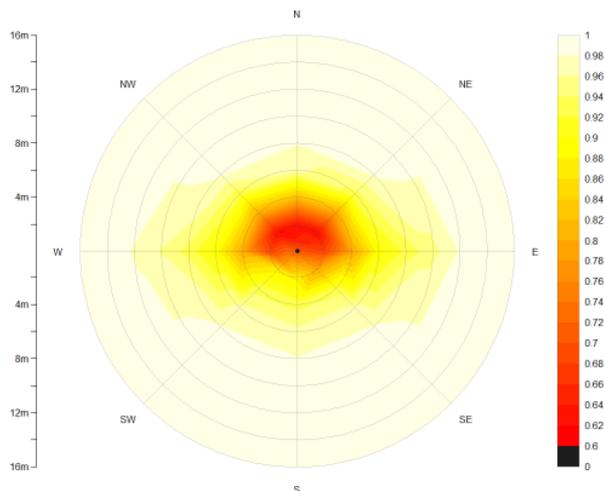


Abb. 9: Darstellung der Verteilung der globalen Sonneneinstrahlung im Radius von 16 m unter einem Kirschbaum im Monat Mai, ermittelt über die Auswertung von hemisphärischen Fotografien (GSF: Global Site Factor bzw. Globale Sonneneinstrahlung). Der Wert 1 repräsentiert die ungehinderte Rezeption des Sonnenlichts.

Zusätzlich wurde eine Funktion in R entwickelt, die es ermöglicht, Beschneidungen an den digital dargestellten Baummodellen durchzuführen. Beispielsweise können tief ansetzende Äste von Bäumen, die in Agroforst-Systemen als störend erachtet werden würden, digital „geästet“ werden, um so die gewünschten Beschattungsverhältnisse in Agroforst-Systemen digital darstellen zu können.

Es wurde bereits damit begonnen, eine Publikation über die Weiterentwicklungen des Lichtmodells für das Fachjournal *Remote Sensing* zu verfassen, in der die oben genannten Arbeitsschritte und Ergebnisse dargestellt werden sollen. Aufgrund der geschilderten Probleme mit dem in 2018 verfügbaren und eingesetzten terrestrischen Laserscanner konnte diese Publikation allerdings noch nicht abgeschlossen werden.

2.2. Entwicklung des Biomassemodells

Nebst der Wildkirsche spielt die Walnuss (*Juglans regia*) für die Wertholzproduktion in Agroforst-Systemen eine große Rolle, weswegen sie als zweite Baumart im Fokus der Tätigkeiten an der UF steht. Es wurden für beide Baumarten bereits Wachstumsmodelle erstellt, die beispielsweise deren Wachstumsdynamik in Abhängigkeit von ihrem Stammdurchmesser beschreiben. Um die Modelle zur C-Speicherung von Wertholzbäumen möglichst exakt gestalten zu können, werden im Rahmen von SIDATIM auch Stammscheiben vermessen und deren Dichte bestimmt. Beispielsweise wurde die mittlere Jahrringbreite von 22 Walnussbäumen bis zu ihrem Fälldatum in 2014 ermittelt.

In Abbildung 10a ist die Verteilung der mittleren Holzdichte der Nussbäume in Abhängigkeit der jeweiligen Jahrringbreite dargestellt; in Abbildung 10b die mittlere Dichte in den einzelnen

Jahren. Es wird deutlich, dass sich die mittlere Holzdicke der untersuchten Nussbäume außer in den ersten Jahren relativ konstant bei ca. 0,7-0,75 g/cm³ bewegt. Auch im Bezug zur Jahrringbreite scheint sie relativ konstant zu sein.

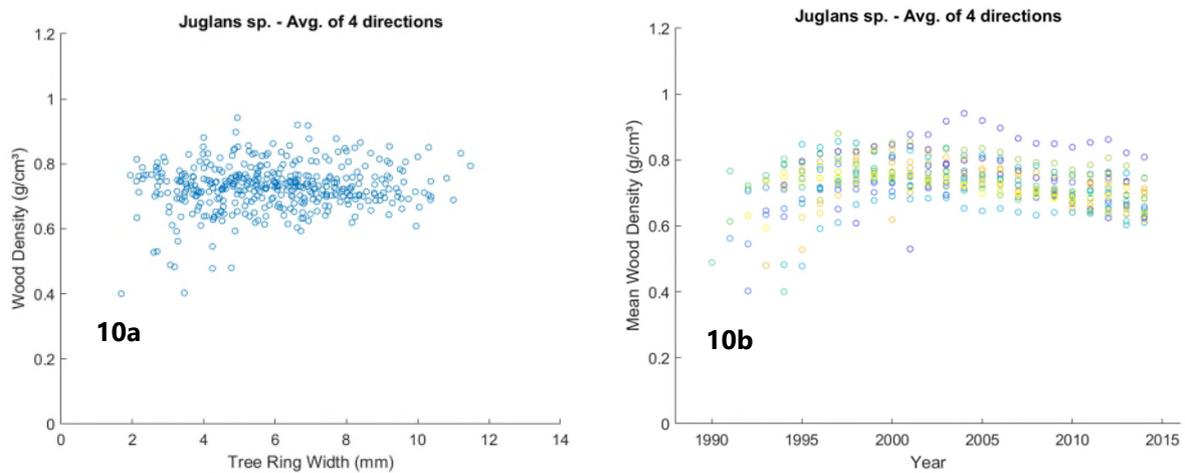


Abb. 10: Mittlere Holzdicke in Bezug zur jeweiligen Breite der Jahrringe (Abb. 10a) sowie die mittlere Holzdicke der Jahrringe (Abb. 10b) von 22 Walnussbäumen im Zeitraum von 1990-2014.

Die Durchschnittswerte der erhobenen Daten können in Abhängigkeit des Stammdurchmessers in Brusthöhe zur oberirdischen Biomasse und auch dem Kohlenstoff-Gehalt der Bäume dargestellt werden und dienen dann als Biomassemodell. Für die Wildkirsche ist das Modell in Abb. 11 dargestellt.

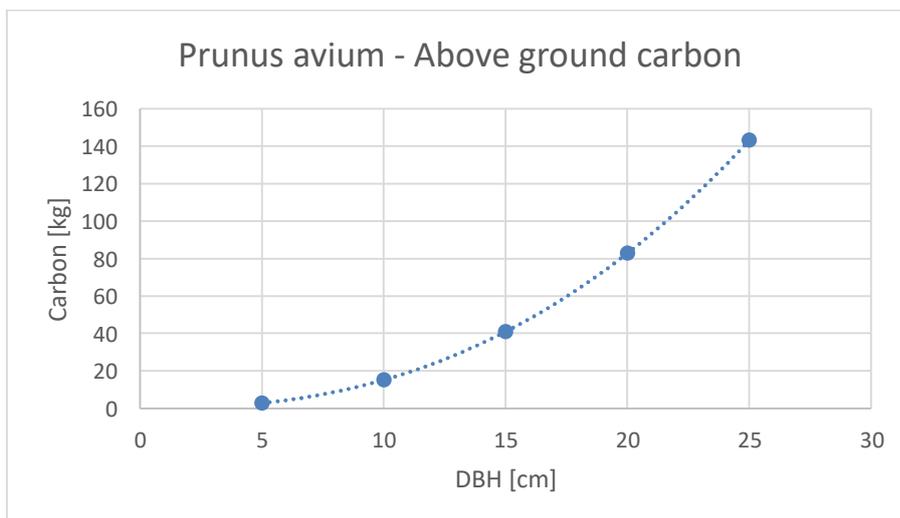


Abb. 11: Modell der oberirdischen Kohlenstoff-Allokation für Wildkirschen in Abhängigkeit des Stammdurchmessers in Brusthöhe.

Gemeinsam mit dem italienischen Partner CNR wurden in AP 4 anhand von selbst erhobenen Wachstumsdaten, GIS-Anwendungen sowie Literaturdaten Biomasse-Potenzialstudien für zwei Modellregionen in Zentralitalien durchgeführt (siehe weiter unten). Hierbei wurden für die

Baumarten *Quercus ilex*, *Q. cerris*, *Q. pubescens* sowie für *Juglans regia* das Volumen sowie die Kohlenstoffspeicherungskapazität berechnet. Dazu wurden die von existierenden Baumreihen in den Modellregionen ermittelten Werte genutzt und auf noch unbewachsene Randstreifen entlang von Feldern hochskaliert. Zum Beispiel betrug das Volumen an existierender Biomasse von *Q. ilex* und *Q. cerris* in Baumreihen auf den beiden Modellflächen 3,9 bzw. 7,1 m³; diese verteilten sich auf eine Gesamtlänge von 827 bzw. 1.273 m. Die Hochskalierung zeigte, dass sich bereits auf einer Länge von 100 m und einem Abstand der Bäume von 10 m das Volumen um das zehnfache erhöhen ließe, was auf 1.000 m bezogen einer hundertfachen Kapazität an Biomasseaufbau entspräche. Diese Ergebnisse verdeutlichen, dass auch im ländlichen Raum nennenswerte Mengen an holziger Biomasse produziert und somit Kohlenstoff gebunden werden kann.

2.3. Andere wesentliche Ereignisse

- Als ein Resultat der in SIDATIM generierten Initiative, Ergebnisse und Informationen haben Vertreter des Niedersächsischen Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz beschlossen, dass alle Neophyten, die einer landwirtschaftlichen Nutzung unterzogen werden sollen, zukünftig hinsichtlich ihres invasiven Potenzials sowie ihrer naturschutzfachlichen Bedeutung untersucht werden sollen, bevor sie von Landwirten auf Felder ausgebracht werden.
- Weiterhin wurde *Sida hermaphrodita* in Niedersachsen als förderfähige Pflanze im Greening-Programm ausgewiesen (Mitteilung unserer Projektpartner 3N).
- Um den Anbau von *Sida hermaphrodita* zukünftig besser umsetzbar zu machen, wurde ein erster Kurzleitfaden zum Anbau dieser Pflanze verfasst und in die Sprachen aller Projektpartner übersetzt (Englisch, Italienisch, Polnisch).

2.4. Tätigkeiten der anderen Projektpartner

Im folgenden Abschnitt wird eine kurze Übersicht über die Tätigkeiten dargestellt, die von den anderen Projektpartnern im Berichtszeitraum 2018 durchgeführt worden sind.

2.4.1. Gemeinsame Tätigkeiten

Alle Projektpartner außer der UF haben im Frühling 2016 bzw. 2017 landwirtschaftliche Versuchsflächen mit zwei Herkünften von *Sida hermaphrodita* und *Silphium perfoliatum* angelegt. Diese wurden jeweils auf zwei verschiedene Weisen ausgebracht: Über Saatgut und als Setzlinge. Tabelle 2 zeigt beispielhaft die Trockenmasse-Erträge der beiden Herkünfte von *Sida* zum Zeitpunkt der letzten Ernte im Februar / März 2019. Aufgrund der Lückenhaftigkeit der ausgesäten Plots werden nur die Ergebnisse der mit Setzlingen etablierten Plots gezeigt. Im Allgemeinen liegen die Biomasseerträge bei beiden Herkünften im mittleren Bereich von biogenen Festbrennstoffen wie z.B. Kurzumtriebsplantagen mit Weiden oder Pappeln.

Aufgrund der ökologischen Wertigkeit für Blütenbestäuber und der leichten Erntemöglichkeit mittels herkömmlicher Feldtechnik bietet sich *Sida* demnach als interessante Anbau-Alternative an.

Tab. 2: Trockenmasse-Erträge von *Sida hermaphrodita*. Die Ernte erfolgte im Februar / März 2019. Die Werte bei CU und CNR beziehen sich auf eine zweijährige Standzeit; bei den übrigen Partnern auf eine dreijährige Standzeit

Provenance	Biomass dry matter yield [t ha ⁻¹ a ⁻¹]				
	CU	WPUTS	3N	CREA	CNR
Sida 1	7.9	10.7	8.9	5.8	10.6
Sida 2	6.5	10.3	6.7	6.5	10.6

2.4.2. 3N, Werlte, Deutschland

Das 3N Kompetenzzentrum in Werlte legt einen eigenen Abschlussbericht vor. Die dort geleisteten Tätigkeiten umfassten nebst der Anlage, Betreuung und Vermessung von Versuchsflächen die Bestimmung von Biogas- und Methangehalten verschiedener Proben von *Sida* and *Silphium*, aber auch die Analyse der Fasern von *Sida* sowie ökologische Untersuchungen zu Blütenbestäubern.

Weiterhin war 3N federführend an der Entwicklung eines Fragebogens zum Anbau von *Sida* und *Silphium* beteiligt, der in Deutschland und Polen eingesetzt wurde. Anhand dieses Fragebogens wurden in Deutschland 41 Landwirte, die bereits mit diesen Pflanzen vertraut waren oder Interesse in ihnen hatten, per Telefon und in persönlichen Gesprächen zu Aspekten ihres Anbaus befragt. Die interviewten Personen standen beiden Pflanzen positiv gegenüber, wiesen aber auch auf verschiedene Hindernisse bei ihrer Kultivierung und Verwertung hin, wie beispielsweise die relativ hohen Anlagekosten.

2.4.3. WPUTS, Stettin, Polen

In Polen wurden im Frühjahr 2016 zwei experimentelle Versuchsflächen mit *Sida hermaphrodita* und *Silphium perfoliatum* angelegt. Als Kurzumtriebsgehölz dient Weide (*Salix viminalis*) zum Vergleich. Im Winter 2016/2017 erfolgten nach einem für alle Projektpartner festgelegten Schema die ersten Ernten der Biomasse, in den darauf folgenden zwei Wintern die weiteren Ernten. Hierbei wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Teilbereiche der Flächen beerntet, um die Biomassezuwächse für die Biogas- und die Festbrennstoffproduktion zu bestimmen. Zudem wurden zahlreiche Pflanzenproben gewonnen, die hinsichtlich biochemischer und thermophysikalischer Eigenschaften untersucht wurden und werden. Die Ergebnisse bestätigen die gute Eignung von *Sida* als regenerativer Festbrennstoff.

In Polen wurden 150 Landwirten der Fragebogen zur Nutzung von *Sida* und *Silphium* postalisch zugestellt. Es wurden 67 Fragebögen ausgefüllt zurückgesendet. Auch hier bestand ein großes

Interesse am Anbau dieser nachwachsenden Energiepflanzen, allerdings wurde das Fehlen eines existierenden Marktes für diese Produkte bemängelt, wozu auch das Fehlen von Popularisierungsstrategien sowie Infrastrukturen und mangelndes politisches Interesse beitragen würden.

Am 6. Oktober 2017 wurde in Stettin die Tagung „Neue Wege der Biomasseproduktion“ organisiert, auf der das Projekt SIDATIM und die darin behandelten Themen vorgestellt wurden. Fachvorträge zu weiteren Energiepflanzen-bezogenen Themen rundeten das Programm ab. Die Vorträge konnten aufgrund des Einsatzes von Übersetzern auf Polnisch, Deutsch und Englisch verfolgt werden.

Weiterhin wurde vom 19.-20. September 2018 in Stettin/Kobylanka die Konferenz "Novel and Sustainable Pathways of Biomass Production" gehalten, auf der Projektergebnisse von SIDATIM einem internationalen Teilnehmerkreis vorgestellt wurden und auch andere Redner aktuelle Projekte zur Biomasseproduktion mit mehrjährigen nicht verholzenden Pflanzen präsentierten.

2.4.4. CREA, Casale Monferrato, Italien

In Casale Monferrato, Norditalien, wurde im Frühling 2016 ebenfalls nach entsprechenden Voruntersuchungen wie geplant eine Versuchsfläche angelegt. Als Vergleichskultur im Kurzumtrieb wurden jedoch Pappel-Stecklinge gepflanzt. Auch auf dieser Fläche erfolgte die erste Ernte zur Analyse der Pflanzen im Oktober 2016, die zweite und dritte Ernte in den Jahren 2017 und 2018. Im Sommer 2018 wurde zudem untersucht, welche Bestäuber in welchem Umfang die Blüten von *Sida hermaphrodita* und *Silphium perfoliatum* besuchten (Abbildung 12). Während Hummeln und Honigbienen beide Pflanzenarten häufig besuchten, bevorzugten Vertreter anderer Bienenarten *Silphium* deutlich.

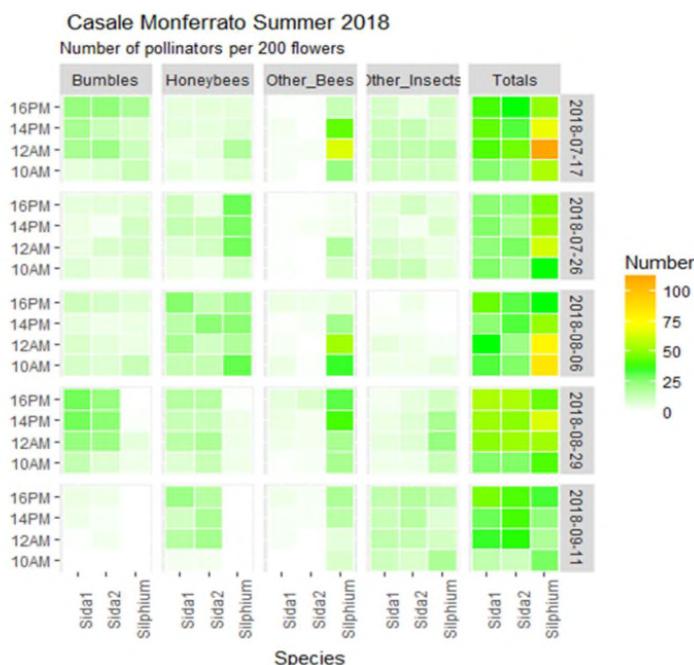


Abb. 12: Übersicht über die Verteilung der häufigsten blütenbesuchenden Insekten bei *Sida hermaphrodita* und *Silphium perfoliatum* auf der Versuchsfläche in Casale Monferrato.

Auch wurde anhand des Vorkommens von bodenlebenden Arthropoden der *Biological Soil Quality Index* auf den Versuchsflächen sowie auf Vergleichsflächen in einem Wald und einem Maisfeld untersucht. Es zeigte sich, dass dieser Index auf *Sida*- und *Silphium*-Flächen mit Werten um 70-80 höher lag als bei Mais mit einem Wert von 53, was die ökologische Wertigkeit dieser Kulturen unterstreicht. Der Waldboden lag mit einem Wert von 172 jedoch deutlich am höchsten.

Besonders erwähnenswert ist weiterhin die Entwicklung einer BBCH-Skala für *Silphium* durch Mitarbeiter von CREA, anhand derer sich die sukzessiven Entwicklungsstadien dieser Pflanzen im Detail und exakt ansprechen lassen. Eine solche Skala hat bislang für diese Pflanzenart noch nicht existiert, bietet jedoch große Vorteile für zukünftige Vergleiche zwischen verschiedenen Kulturen oder auch zur Bestimmung der optimalen Erntezeitpunkte für die Gewinnung von Biogas.

2.4.5. CNR, Porano, Italien

Aufgrund von administrativen Komplikationen konnte erst zu Beginn des Jahres 2017 mit den eigentlichen Projektaktivitäten begonnen werden. Daher wurden erst im Frühling 2017 die Versuchsflächen in Zentralitalien angelegt und die ersten Bodenuntersuchungen durchgeführt. Im Winter 2017/2018 erfolgte die erste Ernte zur Bestimmung der Biomasse und weiterer biophysikalischer Parameter. Zu Beginn des Jahres 2019 erfolgt die zweite Ernte der dort gepflanzten Pflanzen.

In einem Gewächshausversuch wurden zwei *Sida*-Herkünfte einem Trockenstress-Experiment unterzogen, wobei die Wasserverfügbarkeit variiert wurde und zudem ein Teil der *Sida*-Pflanzen gemeinsam mit Sonnenblumen kultiviert wurde. Die Reaktionen der Pflanzen auf die verschiedenen Behandlungsweisen wurden vornehmlich pflanzenphysiologisch untersucht, wobei Parameter wie fotosynthetische Kapazität, Transpiration, N-, C- und Wassergehalt determiniert wurden. Hierbei wies *Sida* zwar die niedrigste Assimilationsrate der untersuchten Pflanzenarten auf, allerdings wurde diese unter Trockenstress auch am wenigsten reduziert. *Sida* wies insgesamt die höchste Biomasseproduktivität auf.

In einem weiteren kontrollierten Topf-Experiment wurde das kompetitive Wachstumspotential von *Sida* untersucht. Hierfür wurde Saatgut von verschiedenen Pflanzen in Kombination mit *Sida* in Töpfe ausgebracht und deren Wachstum dokumentiert. Sowohl die Keimungsrate also auch die Konkurrenzkraft von *Sida* war hierbei eher gering ausgeprägt. Dies bestätigt bisherige Freilandbeobachtungen, wonach *Sida* nicht als invasive Art eingestuft wird.

Im Rahmen von AP 4 wurde zudem auf zwei Versuchsgebieten in orthogonalen Transekten zu existierenden Baumreihen sowie verschiedenen Kontrollpunkten im offenen Feld und im angrenzenden Wald Proben genommen, um den Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden

zu analysieren. Weiterhin wurden die Ernteerträge der Feldfrüchte entlang der Transekte ermittelt (Abbildung 13), in diesem Fall Weizen. Es konnten hierbei keine etwaigen Effekte der Beschattung auf das Wachstum des Weizens festgestellt werden.



Abb. 13: Übersichtskarte des zweiten Versuchsgebiets in Zentral-Italien, wo bei Baumreihen, auf dem freien Feld und auch im angrenzenden Wald Proben genommen wurden, um u.a. den Gehalt an Kohlenstoff und den Ertrag der Feldfrüchte zu ermitteln.

Mitarbeiter von CNR führten im Rahmen von AP 7 überdies eine GIS-Potenzialstudie in einer Modellregion in Zentral-Italien durch, um die Menge und Gesamtlänge der dort vorhandenen Reihen von Einzelbäumen entlang von Feldgrenzen zu ermitteln (Abbildung 14). Die Länge der Baumreihen betrug 14% des Umfangs der bewirtschafteten Flächen und etwa 67 m pro Hektar. Die Kronenschirmflächen bedeckten ca. 3% der bewirtschafteten Felder. Da wie beschrieben von diesen Baumkronen kein erkennbarer Effekt auf den Weizen hatte, wird deutlich, dass durch die Anlage und Pflege (Aufüstung) von Einzelbäumen landwirtschaftliche Regionen Südeuropas ökologisch aufgewertet werden können und einen Beitrag zur Kohlenstoff-Speicherung liefern können.

Die im Rahmen von AP 4 gemeinsam mit der UF durchgeführte Potenzialstudie wurde bereits weiter oben skizziert.

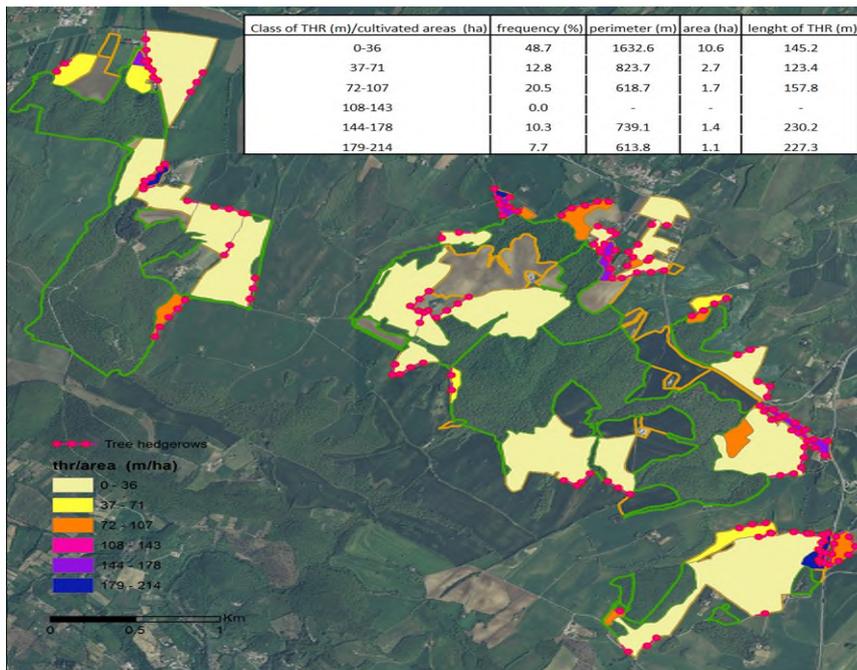


Abb. 14: Beispielkarte der Klassifizierung von Feldflächen und Baumreihen in einer der beiden Modellregionen in Zentralitalien.

2.4.6. Cranfield University, England

An der Universität Cranfield in England konnte das Projekt SIDATIM ebenfalls nur mit erheblicher Verzögerung begonnen werden, so dass auch hier die anfänglichen Bodenuntersuchungen und die Anlage der Versuchsflächen erst im Frühling 2017 realisiert werden konnten. Hierbei zeigte es sich, dass die Samenkörner von *Sida*, die über den Winter eingelagert waren, im Gegensatz zu Samen von *Silphium* kaum noch keimfähig waren. Auch verschiedene in der Literatur bekannte Methoden zur Stratifizierung von *Sida*-Saatgut erbrachte kaum eine Verbesserung der Situation. Für *Sida* lässt sich demnach sagen, dass Flächen auf jeden Fall mit frischem Saatgut oder mit Setzlingen angelegt werden sollten.

Im Winter 2017/2018 fand die erste Beerntung der Flächen statt, die zweite wurde auch hier zu Beginn des Jahres 2019 durchgeführt.

An der Cranfield University wurden auch ökonomische Analysen der Bewirtschaftung von *Sida hermaphrodita*, *Silphium perfoliatum* sowie von anderen Biomassepflanzen und Feldfrüchten durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass *Sida* stets wirtschaftlicher bewertet wurde als *Silphium*. Generell wurden sie auch besser bewertet als traditionelle Kurzumtriebsplantagen aus Weiden oder Pappeln. Traditionelle Feldfrüchte wie Weizen oder Mais erzielten allerdings höhere jährliche Kapitalwerte als *Sida* und *Silphium*. Wurden hingegen Umweltparameter wie Kohlenstoffbindung, Bodenerosion oder Biodiversität in monetäre Äquivalente umgerechnet und in die Analysen mit einbezogen, stiegen die jährlichen Kapitalwerte von *Sida* und *Silphium* etwa auf das Doppelte gegenüber den Feldfrüchten ($1.862 \text{ € ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, $1.919 \text{ € ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ bzw. $840 \text{ € ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Dieser Unterschied unterstreicht die Wichtigkeit der ökologischen Dimension der landwirtschaftlichen Anbaumethoden speziell hinsichtlich der Vermeidung von Umweltfolgeschäden.

Bezüglich der verschiedenen Bewirtschaftungsoptionen von *Sida* und *Silphium* per se konnte gezeigt werden, dass die Mehrfachernte innerhalb eines Jahres aus ökonomischer Sicht nicht attraktiv ist, da in diesen Fällen der Biomassertrag zu den jeweiligen Erntezeitpunkten zu gering ist, um den Arbeitsaufwand und die damit verbundenen Kosten aufwiegen zu können.

3. Darstellung und Erläuterung der Angemessenheit von Aufwand und Zeit

Die Gesamtkoordination des Projekts sowie die an der UF realisierten Projektziele erforderten unweigerlich eine aktive Mitwirkung an dem Projekt von seinem Beginn am 01.05.2015 bis zu seinem offiziellen Ende am 31.08.2019. Somit war der geleistete Aufwand im Rahmen der Projektlaufzeit in jedem Fall notwendig und angemessen.

4. Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Im Projektverlauf konnte zu allen geplanten und durchgeführten Arbeiten Lösungen gefunden werden.

5. Darstellung und Erläuterung der wissenschaftlichen Anschlussfähigkeit

Im Projekt SIDATIM standen zwei Forschungsfragen im Zentrum des Interesses, welche die Weiterentwicklung von modernen und innovativen Agroforst-Systemen ermöglichen sollten. Der eine Schwerpunkt betraf die Optimierung des Anbaus der innovativen Multipurpose-Pflanzen *Sida hermaphrodita* und *Silphium perfoliatum* in Mitteleuropa, die nebst ihrer energetischen Verwertung aufgrund ihres Blütenreichtum für bestäubende Insekten in Zukunft von besonderer Bedeutung sein könnten. Der zweite Schwerpunkt betraf die Entwicklung eines Lichtmodells für Agroforst-Systeme, um den Schattenwurf von Einzelbäumen modellieren und quantifizieren zu können, womit wiederum die Planung und Bewirtschaftung von Agroforst-Systemen erleichtert und auf spezifische Bedürfnisse abgestimmt werden kann.

Beide Forschungsfragen bewegen sich somit inmitten der gegenwärtig hochaktuellen Diskussionen um Möglichkeiten, den Auswirkungen der Intensivlandwirtschaft mit ökonomisch tragfähigen Alternativkonzepten entgegenzuwirken. Hinsichtlich der gewonnenen Projektergebnisse bieten sich somit vielseitige Anschlussmöglichkeiten, die von weiteren Untersuchungen zum Anbau von *Sida* unter verschiedenen klimatischen Bedingungen und ihrer Anfälligkeit für Pathogene bis hin zur Weiterentwicklung des Lichtmodells für bislang unberücksichtigte Baumarten und Baumreihen reichen.

Es ist in jedem Fall damit zu rechnen, dass der Untersuchung der praktischen Umsetzbarkeit von ökonomisch rentablen Agroforst-Systemen in den kommenden Jahren größere Bedeutung zukommen wird, und die in SIDATIM durchgeführten Arbeiten tragen zu dieser Entwicklung maßgeblich bei.

6. Einsatz der Bundesmittel für die Erreichung des geplanten Vorhabenziels

Die vorgestellten Arbeiten, Ergebnisse und Zukunftsperspektiven hätten ohne den Einsatz der bewilligten Bundesmittel nicht erreicht werden können.

7. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer / Darstellung der erfolgten und geplanten Veröffentlichungen

7.1. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Nach Beendigung des Projekts ergeben sich für mögliche Nutzer keine besonderen Präsentationsmöglichkeiten. Unter Zuhilfenahme des in SIDATIM erarbeiteten und publizierten Materials können allerdings Konferenzen und Praxisworkshops für beispielsweise *Sida*-Anbauer in Eigenregie organisiert werden.

7.2. Publikationen, Vorträge und Abschlussarbeiten

7.2.1. Liste aller in SIDATIM erstellten Publikationen mit Beteiligung der UF

Bury M, Facciotto G, Chiocchini F, Cumplido-Marin L, Czyz H, Graves A, Burgess P, Kahle H-P, Kitczak T, Martens R, Morhart C, Modzer E, Nahm M, Paris P, Siwek H, Wlodarczyk M (2019). Preliminary results regarding yields of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) in different condition of Europe. Proceedings of the 27th European Biomass Conference and Exhibition, 27-30.05.2019, Lissabon, Portugal, S. 101-104.

Chiocchini F, Ciolfi M, Sarti M, Lauteri M, Cherubini M, Leonardi L, Nahm M, Morhart C, Paris P (2018). Inventory of tree hedgerows in an Italian agroforestry landscape by remote sensing and GIS-based methods. Proceedings of the 4th EURAF Conference "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande, S. 433-436.

Facciotto G, Bury M, Chiocchini F, Cumplido Marín L, Czyz H, Graves A, Kitczak T, Martens R, Morhart C, Paris P, Nahm M (2018). Performance of *Sida hermaphrotita* and *Silphium perfoliatum* in Europe: Preliminary results. Proceedings of the 26th European Biomass Conference. Setting the course for a biobased economy, 14-17.05.2018, Kopenhagen, Dänemark, S. 350-353.

Morhart C, Larysch E, Nahm M, Kahle H-P (2019). The dark side of agroforestry: Modelling shadow projections based on 3D data. Proceedings of the 4th World Congress on Agroforestry, 20-22.05.2019, Montpellier, Frankreich, S. 834.

Morhart C, Roskopf E, Nahm M (2018). Modelling shadow in agroforestry systems based on 3D data. Proceedings of the 4th EURAF Conference "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande, S. 217-221.

- Nahm M, Augusti A, Bury M, Cumplido-Marin L, Facciotto G, Graves A, Lauteri M, Martens R, Morhart C, Paris P (2017). SidaTim. Novel pathways of biomass production: Assessing the potential of *Sida hermaphrodita* and valuable timber Trees. Proceedings of the IUFRO 125th Anniversary Congress, 18-22.09.2017, Freiburg, S. 370.
- Nahm M, Bury M, Facciotto G, Graves A, Kahle H-P, Morhart C, Paris P, Martens R (2018). Short Management Guide: *Sida hermaphrodita*. Anbauleitfaden; erhältlich in englischer, deutscher, italienischer und polnischer Sprache.
- Nahm M, Morhart C (2016). Multifunktionalität und Vielfalt von Agroforstwirtschaft. In C Böhm: Bäume in der Land(wirt)schaft – von der Theorie in die Praxis. Tagungsband mit Beiträgen des 5. Forums Agroforstsysteme, 30.11.-01.12.2016, Senftenberg, S. 17-24.
- Nahm M, Morhart C (2017). Potenziale nachhaltiger Landnutzung mit Agroforst-Systemen am Beispielprojekt SidaTim. Tagungsband des Kongresses Ecolnnovations from Biomass, 28-29.06.2017, Papenburg, S. 12.
- Nahm M, Morhart C (2018). Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) as perennial multipurpose crop: biomass yields, energetic valorization, utilization potentials, and management perspectives. *GCB Bioenergy*, 10, 393-404.
- Paris P, Augusti A, Burgess P, Bury M, Chiocchini F, Cumplido-Marin L, Facciotto G, Chiarabaglio PM, Graves A, Lauteri M, Leonardi L, Martens R, Morhart C, Rossi AE, Tarchi M, Nahm M (2018). SidaTim: Assessing the potential of new biomass crops and valuable timber trees in agroforestry systems. Proceedings of the 4th EURAF Conference "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande, S. 346-350.
- Roskopf E, Morhart C, Nahm M (2017). Modelling shadow using 3D tree models in high spatial and temporal resolution. *Remote Sensing* 9, Article ID: 719.

7.2.2. Liste aller Präsentationen mit Beteiligung der UF

- Bury M, Facciotto G, Chiocchini F, Cumplido-Marin L, Czyz H, Graves A, Burgess P, Kahle H-P, Kitczak T, Martens R, Morhart C, Modzer E, Nahm M, Paris P, Siwek H, Wlodarczyk M (2019). Preliminary results regarding yields of Virginia mallow (*Sida hermaphrodita* (L.) Rusby) and cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) in different condition of Europe. Posterpräsentation auf der 27. European Biomass Conference and Exhibition, 27-30.05.2019, Lissabon, Portugal.
- Chiocchini F, Cioffi M, Sarti M, Lauteri M, Cherubini M, Leonardi L, Nahm M, Morhart C, Paris P (2018). Inventory of tree hedgerows in an Italian agroforestry landscape by remote sensing and GIS-based methods. Posterpräsentation auf der 4. EURAF-Konferenz "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande.
- Facciotto G, Bury M, Chiocchini F, Cumplido Marín L, Czyż H, Graves A, Kitczak T, Martens R, Morhart C, Paris P, Nahm M (2018). Performance of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum* in Europe: Preliminary results. Posterpräsentation auf der 26. European Biomass Conference. Setting the course for a biobased economy, 14-17.05.2018, Kopenhagen, Dänemark.

- Morhart C, Larysch E, Nahm M, Kahle H-P (2019). The dark side of agroforestry: Modelling shadow projections based on 3D data. Posterpräsentation auf dem 4. World Congress on Agroforestry, 20-22.05.2019, Montpellier, Frankreich.
- Morhart C, Rosskopf E, Nahm M (2018). Modellierung des Schattenwurfes von Bäumen in Agroforstsystemen. Vortrag auf dem 6. Forum Agroforstsysteme, 9.-10.10.2018, Göttingen.
- Morhart C, Rosskopf E, Nahm M (2018). Modelling shadow in agroforestry systems based on 3D data. Vortrag auf der 4. EURAF-Konferenz "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande.
- Nahm M (2018). Overview on the project SidaTim. Vortrag auf der im Rahmen von SidaTim organisierten Konferenz "Novel and Sustainable Pathways of Biomass Production", 19-20.09.2018, Stettin, Polen.
- Nahm M (2018). SidaTim: Novel pathways of biomass production: Assessing the potential of *Sida hermaphrodita* and valuable timber trees. Vortrag sowie Posterpräsentation auf dem FACCE-SURPLUS End Term Meeting, 6.11.2018, Düsseldorf.
- Nahm M, Augusti A, Bury M, Cumplido-Marin L, Facciotto G, Graves A, Lauteri M, Martens R, Morhart C, Paris P (2017). SidaTim. Novel pathways of biomass production: Assessing the potential of *Sida hermaphrodita* and valuable timber trees. Posterpräsentation auf dem IUFRO 125th Anniversary Congress, 18-22.09.2017, Freiburg.
- Nahm M, Augusti A, Bury M, Cumplido-Marin L, Facciotto G, Graves A, Lauteri M, Martens R, Morhart C, Paris P (2017). SidaTim. Novel pathways of biomass production: Assessing the potential of *Sida hermaphrodita* and valuable timber trees. Posterpräsentation auf dem FACCE-SURPLUS Mid-Term Meeting, 15.-16.11.2017, Paris.
- Nahm M, Bury M, Chiocchini F, Cumplido Marín L, Facciotto G, Graves A, Kitczak T, Martens R, Morhart C, Paris P, Kahle H-P (2018). Novel pathways of biomass production: Assessing the potential of *Sida hermaphrodita* and valuable timber trees. Erste Ertragsergebnisse. Posterpräsentation auf dem 6. Forum Agroforstsysteme, 9.-10.10.2018, Göttingen.
- Nahm M, Morhart C (2016). Multifunktionalität und Vielfalt von Agroforstwirtschaft. Vortrag auf dem 5. Forums Agroforstsysteme, 30.11.-01.12.2016, Senftenberg.
- Nahm M, Morhart C (2017). Potenziale nachhaltiger Landnutzung mit Agroforst-Systemen am Beispielprojekt SidaTim. Vortrag auf dem Kongress Ecolnnovations from Biomass, 28-29.06.2017, Papenburg.
- Paris P, Augusti A, Burgess P, Bury M, Chiocchini F, Cumplido-Marin L, Facciotto G, Chiarabaglio PM, Graves A, Lauteri M, Leonardi L, Martens R, Morhart C, Rossi AE, Tarchi M, Nahm M (2018). SidaTim: Assessing the potential of new biomass crops and valuable timber trees in agroforestry systems. Vortrag auf der 4. EURAF-Konferenz "Agroforestry as Sustainable Land Use", 28-30.05.2018, Nijmegen, Niederlande.

7.2.3. Konferenzen / Workshops

- Bury M, Nahm M (2018). Organisation und Durchführung der internationalen Konferenz "Novel and Sustainable Pathways of Biomass Production", 19-20.09.2018, Stettin, Polen.

7.2.4. Vorlesungen / Exkursionen

Morhart C, Nahm M (2018, 2019). Valuable timber production in agro-forestry systems. Vorlesungen und Field Courses im Modul *Forest Resources and their Goods and Services* im MSc-Programm *Forest Sciences* der UF.

Morhart C, Sheppard J (2017). Valuable timber production in agro-forestry systems. Vorlesung und Field Course im Modul *Forest Resources and their Goods and Services* im MSc-Programm *Forest Sciences* der UF.

Nahm M (2017, 2018, 2019). Agroforestry systems: Current research projects at the Chair of Forest Growth. Jeweils aktualisierte Vorlesungen im Modul *Forest Resources and their Goods and Services* im MSc-Programm *Forest Sciences* der UF.

7.2.5. Studentische Abschlussarbeiten

Wulff C (2018). Determination of carbon storage potential using terrestrial laser scanning. Bachelor-Thesis.

Maurer E (2017). Bestimmung der Blattbiomasse an *Prunus avium*. Bachelor-Thesis.

Merola M (2019). Determination of shadow projections of single trees using hemispherical photography (Arbeitstitel; derzeit in Arbeit). Master-Thesis.

Huu Minh Pham aus Vietnam absolvierte in SIDATIM von Juni – Juli 2018 ein Praktikum an der UF im Rahmen der *MSc European Forestry (Erasmus Mundus) Applied Period*.

7.2.6. Geplante Veröffentlichungen

Im Nachgang des bereits abgeschlossenen Projekts sollen noch zwei Publikationen zu dem Lichtmodell erfolgen (Optimierung der Blattsimulationen im jahreszeitlichen Verlauf; Simulation von verschiedenen Ästungsregimes). Hinsichtlich des Anbaus von *Sida* und *Silphium* ist weiterhin eine zusammenfassende Publikation der Ergebnisse geplant (Biomasseproduktion auf den verschiedenen Flächen, Ökonomie).