

„Wo bleiben technische Leitlinien für Agroforstsysteme?“

Wissenschaftliche Analysen und Reflexionen.

Dr. Anja Gassner, Valentina Jüngert, Center for International Forestry Research and World Agroforestry (CIFOR-ICRAF), Bonn, Deutschland



„Wo bleiben technische Leitlinien für Agroforstsysteme?“

Wissenschaftliche Analysen und Reflexionen.

Dr. Anja Gassner, Valentina Juergens, Center for International Forestry Research and World Agroforestry (CIFOR-ICRAF), Bonn, Deutschland

Zusammenfassung

Die Kakaoproduktion ist ein entscheidender Wirtschaftszweig, von dem weltweit Millionen Bäuerinnen und Bauern sowie ihre Familien leben. Doch der Klimawandel stellt den Sektor zunehmend vor große Herausforderungen: Steigende Temperaturen, unregelmäßige Niederschläge und anhaltende Trockenperioden gefährden die Erträge und damit die Lebensgrundlage der Landwirte, insbesondere in wichtigen Anbauregionen in Westafrika, Südamerika und Südostasien. Agroforstsysteme, die verschiedene (idealerweise einheimische) Baumarten mit Kakaokulturen kombinieren, gelten als vielversprechender Ansatz, indem sie die Regulierung des Mikroklimas verbessern, den Wasserkreislauf fördern und die Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaschwankungen erhöhen. Doch bislang besteht eine kritische Wissenslücke in Bezug auf optimale Agroforstkonzepte, die auf die lokalen Bedingungen und zukünftige Klimaszenarien zugeschnitten sind.

Dieser Artikel plädiert für umfangreiche Investitionen in Forschung und Entwicklung, um einen „Goldstandard“ für Kakao-Agroforstsysteme zu schaffen, der ökologische Nachhaltigkeit und bessere Lebensbedingungen für die bäuerlichen Gemeinschaften ermöglicht. Öffentlich-private Partnerschaften sind unerlässlich, um diese Lücke zu schließen und den Kakaosektor in einen integrativeren und klimaresistenteren Wirtschaftszweig zu transformieren. Als Teil dieses Beitrags liefern die Autorinnen eine umfassende Literaturübersicht auf Basis umfangreicher Recherchen (einschließlich etwa 100 Studien und Berichte über die Verfügbarkeit von agronomischen Daten zur Kakaoproduktion im öffentlichen Bereich). Ihr Fazit: Es mangelt an zugänglicher Forschung, die sich mit der Anpassung des Kakaoanbaus an die neuen klimatischen Bedingungen durch innovative agronomische Praktiken befasst.

Eine der größten Herausforderungen ergibt sich aus Agroforstversuchen mit sonnenverträglichen Kakao-sorten. Unter diesen Bedingungen können die Pflanzen anfällig für Krankheiten werden. Außerdem reagieren viele Klonsorten empfindlich, wenn sie mit Stressfaktoren wie längeren Dürreperioden oder übermäßig intensiven und lang anhaltenden starken Regenfällen konfrontiert werden, die ganze Gebiete überfluten können. Die Schließung der bestehenden Wissenslücke ist daher entscheidend für den Übergang von der Anpflanzung von Bäumen zur Minderung von Produktionsrisiken und zur Verbesserung der Rentabilität in der Kakaolieferkette.

Kurz gesagt: Ohne erhebliche Investitionen in die Forschung bleiben die zentralen technischen Hebel für eine klimaresistente, nachhaltige Kakaoproduktion unklar – mit gravierenden Konsequenzen für die bäuerlichen Gemeinschaften, die gesamte Kakao-Lieferkette und letztlich die Umwelt.



©:relations, S. Tischer

Einführung

Die Herstellung von Schokoladenprodukten – eine der Hauptverwendungen von Kakao (*Theobroma cacao* L.) – ist ein weltweites Multimilliarden-Dollar-Geschäft. Im Jahr 2024 belief sich der Umsatz auf etwa 133 Milliarden US-Dollar, mit einem prognostizierten künftigen Wachstum von 4,7 Prozent pro Jahr. Kakao wird auch häufig in der Kosmetikindustrie und anderen Lebensmittelbranchen verwendet. Die weltweite Kakaoerzeugung wurde für das Geschäftsjahr 2024/25 auf 4.840.000 Tonnen geschätzt, während die Kakaovermahlung 4.650.000 Tonnen erreichen sollte [1]. Kakao stammt ursprünglich aus dem oberen Amazonasbecken und ist nicht nur für die europäische Küche unverzichtbar – jeder Einwohner des Kontinents verbraucht durchschnittlich 5 Kilogramm Schokolade pro Jahr –, son-

dern sichert auch den Lebensunterhalt von 5 bis 6 Millionen Bauern weltweit [2].

Durch geografische Produktionsvorteile sowie Größenvorteile haben die Akteure des Sektors ausgeklügelte und robuste Systeme entwickelt, um effiziente Kakao-Lieferketten weltweit aufzubauen [3]. Dies hat zu einer Spezialisierung sowohl in Bezug auf die Erzeuger als auch auf die Produktion geführt, die durch große, von Kakao dominierte Landschaften in wichtigen Erzeugerländern wie Ghana, Nigeria, Kamerun, Côte d'Ivoire, Indonesien und Brasilien gekennzeichnet ist. Allein in Ghana gibt es über 800.000 Kakaobauern, in Nigeria etwa 300.000, in Kamerun rund 600.000 und in Côte d'Ivoire mehr als eine Million [4], [5]. Für viele dieser Bauern macht der Kakaoanbau zwischen 60 und 90 Prozent des Haushaltseinkommens aus [6]. Diese Einkünfte sind unerlässlich

für die Deckung der täglichen Ausgaben – einschließlich Nahrung, Bildung und das Wohlergehen der Familie – was die sozio-ökonomische Bedeutung des Sektors in diesen Regionen unterstreicht [7]. Es bleibt ungewiss, ob und wie die höheren Rohkakaopreise der letzten zwei Jahre die Situation der Bauern verbessert haben, insbesondere in den Haupterzeugerländern wie der Côte d'Ivoire und Ghana.

Im Laufe des letzten Jahrhunderts hat sich die Kakaoproduktion weltweit ausgeweitet, wobei Westafrika die dominierende Produktionsregion wurde. Nachhaltigkeit war lang gleichbedeutend mit gesteigerter Produktionseffizienz, was eine Intensivierung der Ertragsproduktion bei geringerem Flächen- und Düngemittelverbrauch bedeutete [8]. Von den 1920er bis zu den 1980er Jahren trug der Anbau in Monokulturen, ermöglicht durch neu entwickelte, vollsonnentoleranten Kakaosorten, zur Ertragssteigerung bei, führte aber auch zu Abholzung und Armut der Bauern. Die 1990er Jahren erlebten den Aufstieg von Fair-Trade und der Nachhaltigkeitszertifizierung. In den 2010er Jahren wurden der Klimawandel, Kinderarbeit und die Transparenz der Lieferkette zu wichtigen Themen, die Unternehmen und Behörden zum Handeln veranlassten. Heute ist die Branche von Vorschriften zur Vermeidung oder dem Verbot von Entwaldung, Initiativen zur Erreichung existenzsichernden Einkommen und einer regenerativen Landwirtschaft geprägt. Ethische Konsummuster bei Verbraucherinnen und Verbrauchern gewinnen offenbar an Bedeutung und veranlassen Markenhersteller zu einer auf Nachhaltigkeitsgrundsätzen fußenden Kakaobeschaffung, während neue Technologien zu einer besseren Rückverfolgbarkeit der Waren und verbesserten Lebensbedingungen der bäuerlichen Gemeinschaften führen sollen.

Trotz dieser Fortschritte bleibt das Erreichen von Nachhaltigkeit per se eine zentrale Herausforderung für den Sektor. Nur wenn die Wertschöpfungsketten integrativer und gerechter werden und sich

„Die ökologischen und sozialen Vorteile der Agroforstwirtschaft sind gut dokumentiert“

höhere Kakaopreise auf dem Weltmarkt auch in höheren Ab-Hof-Preisen und effektiv besseren Lebensbedingungen für die Kakaobauern niederschlagen, lässt sich ein echter Wandel in der Branche erwarten.

Agroforstwirtschaft – also die kombinierte Nutzung von Bäumen mit Ackerbau, Viehzucht oder beiden auf derselben Fläche – spielt eine wichtige Rolle in der Diskussion über nachhaltige Kakaoproduktion [8]. Die ökologischen und sozialen Vorteile der Agroforstwirtschaft sind gut dokumentiert, und viele Schokoladenhersteller sich verpflichtet, die Integration von Bäumen in Kakaoanbauregionen zu fördern, aus denen sie Rohkakao beziehen. Dennoch gibt es nach wie vor eine große Wissenslücke in Bezug auf Daten und Erfahrungen, um Kakaoproduzenten zu bestmöglichen Agroforstkonzepten für ihre jeweils spezifischen lokalen Gegebenheiten zu beraten, insbesondere unter Berücksichtigung der fortschreitend sich ändernden klimatischen Bedingungen [9].

Dieses Paper plädiert für groß angelegte öffentliche und private Investitionen in die Agroforstforschung für Kakao. Die Grüne Revolution – ein von internationalen Gebern finanziertes Forschungs- und Entwicklungsprogramm zur Schaffung



Die wichtigsten Auswirkungen für Kakao auf der Grundlage der SYR-Projektionen:

1. Temperaturanstieg und Hitzestress
2. Veränderungen der Niederschlagsmuster
3. Zunehmende Häufigkeit von extremen Klimaereignissen (Überschwemmungen, Hitzewellen und Stürme)
4. Sozioökonomische Anfälligkeit
5. Dringender Anpassungsbedarf in allen Sektoren. Im Falle von Kakao kann dies Folgendes umfassen:
 - a. Entwicklung klimaresistenter Kakaosorten.
 - b. Verlagerung der Anbaugebiete.
 - c. Agroforstwirtschaft und Schattenmanagement.
 - d. Verbesserte Wasserschutzpraktiken

Illustration © 2022 CIFOR-ICRAF
All rights reserved,
by Roy Oliver Corvera and
María Angela Espinosa

und Einführung ertragreicher Mais-, Weizen- und Reissorten sowie zur Umsetzung einer großflächigen intensiven Landwirtschaft – führte in Asien zu hohen Produktivitätsgewinnen und sinkenden Nahrungsmittelpreisen [10].

Dasselbe wird für schattige Kakaoanbausysteme benötigt. Nur wenn das Wissen aus der Forschung mit der praktischen Erfahrung lokaler Erzeuger kombiniert wird, kann ein „Goldstandard“ für die Kakaoproduktion entwickelt werden, der über die Erfüllung der ökologischen, sozialen und Governance-Anforderungen (ESG) hinausgeht und sicherstellt, dass Millionen von Kakaobäuerinnen und -bauern von den Synergien einer diversen

Pflanzengemeinschaft in Kakao-Agroforstsystemen profitieren und ihre Produktion erfolgreich diversifizieren.

Das Paper ist in drei Abschnitte gegliedert. Zunächst wird der aktuelle Forschungsstand zu den Auswirkungen des Klimawandels auf kakaoproduzierende Regionen erläutert, wie er im Synthesebericht (SYR) des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) im sechsten Sachstandsbericht (AR6) zusammengefasst ist. Im Anschluss wird erklärt, wie Agroforstsysteme für Kakao klimabedingte Produktionsrisiken abfedern können und welches agronomische Wissen zur Optimierung von Agroforstsystemen erforderlich ist. Anschließend erfolgt ein





© :relations

Literaturüberblick über die öffentliche Verfügbarkeit von agronomischen Daten über die Kakaoproduktion.

Ziel ist es, deutlich zu machen, dass es bisher an zugänglicher Forschung zur Anpassung der Kakaoproduktion an neue klimatische Bedingungen durch innovative agronomische Praktiken mangelt. Die Schließung dieser Wissenslücke ist entscheidend für den Übergang von der Anpflanzung von Bäumen zur Minderung der Produktionsrisiken und zur Verbesserung der Rentabilität in der Kakaolieferkette.

Auswirkungen des Klimawandels und Prognosen für den Kakaosektor

Theobroma cacao reagiert besonders empfindlich auf Temperatur- und Niederschlagsschwankungen, was ihn anfällig für die Launen des Klimawandels macht. Die tropische Pflanze ist im Amazonasregenwald beheimatet und gedeiht am besten in immerwarmem, feuchtem Klima mit einem maximalen Jahresdurchschnitt von 30 bis 32 °C und einem minimalen Durchschnitt von 18 bis 21 °C [11]. Neben der

Temperatur wirken sich Niederschläge stärker als jeder andere Klimafaktor auf die Erträge aus [12]; die Fähigkeit des Bodens, Feuchtigkeit zu speichern, ist beispielsweise nur während Trockenperioden relevant und spielt in Regionen, in denen die Niederschläge gleichmäßig über das Jahr verteilt sind, keine Rolle [13]. Grundsätzlich gilt: Kakao braucht viel Niederschlag – 1.500 bis 2.000 mm pro Jahr. Innerhalb dieses Rahmens schränken die saisonalen Niederschläge und die Länge der Trockenzeiten den Anbau erheblich ein. Eine kritische Schwelle ist erreicht, wenn in der Trockenzeit weniger als 100 mm Niederschlag über mehr als drei Monate fallen, was Wachstum und Ertrag von Kakao deutlich einschränkt [14], [15].

Längere Trockenperioden können, wie andere klimabedingte Ereignisse auch, die Größe und den Ertrag von Kakaobohnen aufgrund höherer Absterberaten und verstärkter Verwelkung der Blüten erheblich verringern [16], [17]. Längere Trockenperioden beeinträchtigen die Blütenbildung und führen zum Absterben der Blüten, wodurch die Überlebensrate bestäubter Blüten, die Größe der Kakaoschoten und der Ertrag der Trockenbohnen verringert werden. Auch die Anzahl der Bohnen pro Kakaofrucht sowie die Größe und das Gewicht der Bohnen nehmen ab [13].

Die Auswirkungen eines Wasserdefizits auf die frühe Entwicklung der Kakaoschoten sind bislang unzureichend erforscht.



© SR07XC3/stock.adobe.com

Klar ist aber: Kakaosamen wandeln Saccharose in Öl und Lipide um. Es wird vermutet, dass die reduzierte Kohlenstoffaufnahme unter Wasserstress den Zuckertransport und die Lipidablagerung einschränken könnte. Dies könnte eine Erklärung für das geringere Samengewicht sein, das unter Wassermangel beobachtet wird [13].

Einigen Züchtern ist es zwar gelungen, Sorten zu züchten, die weniger empfindlich auf Trockenheit reagieren. Allerdings können diese Klone nur für bestimmte klimatische Bedingungen optimiert werden, nicht für Variationen der Niederschlagsmuster über den gesamten Lebenszyklus [18]. Kakaobäume können bis zu 100 Jahre alt werden, sind aber nur etwa 25 bis 30 Jahre lang am produktivsten; zwischen drei und fünf Jahren erreicht der Baum seine Reife und beginnt Früchte zu tragen, wobei die Schoten innerhalb von sechs Monaten reifen. Ab dem fünften Jahr ist die volle Produktion erreicht und bleibt bis zu 25 Jahre lang stabil, bevor der Baum in eine Abbauphase eintritt, die eine Verjüngung oder Neupflanzung erfordert [19]. Ein Sortenwechsel aufgrund sich ändernder klimatischer Bedingungen innerhalb des produktiven Lebenszyklus ist eine Übergangsinvestition, die sich Kleinbauern nicht leisten können.

Die nachfolgende Tabelle 1 veranschaulicht die Vielfalt der Klima- und Produktionsbedingungen in den wichtigsten Kakaoanbauländern [20]. Im Folgenden werden die spezifischen Auswirkungen des Klimawandels und die Zukunftsprognosen für die wichtigsten Kakaoanbaugebiete in Westafrika, Südamerika und Südostasien untersucht.

1. Westafrika: Ghana und Côte d'Ivoire
Westafrika, allen voran Ghana und die Côte d'Ivoire, ist das Zentrum der welt-



©:relations, S. Tischer

„Die Auswirkungen eines Wasserdefizits auf die frühe Entwicklung der Kakaofrüchte sind bislang nur unzureichend erforscht“

weiten Kakaoproduktion und liefert über 60 Prozent des weltweiten Kakaos. Der Klimawandel setzt den Anbausystemen in diesem Sektor zunehmend zu und wirkt sich auf die Erträge, die Lebensgrundlage der Bauern und die wirtschaftliche Stabilität aus.

Nach Angaben der Weltbank (2023) stieg die jährliche Niederschlagsmenge in Ghana zwischen 2017 und 2018 von

Hauptsaison für die Kakaoernte nach Ländern

| Land | JUL | AUG | SEP | OKT | NOV | DEZ | JAN | FEB | MÄR | APR | MAI | JUN |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Kamerun | | | | | | | | | | | | |
| Elfenbeinküste | | | | | | | | | | | | |
| Ghana | | | | | | | | | | | | |
| Liberia | | | | | | | | | | | | |
| Togo | | | | | | | | | | | | |
| Indien | | | | | | | | | | | | |
| Indonesien | | | | | | | | | | | | |
| Philippinen | | | | | | | | | | | | |
| Vietnam | | | | | | | | | | | | |
| Bolivien | | | | | | | | | | | | |
| Brasilien (Bahia) | | | | | | | | | | | | |
| Costa Rica | | | | | | | | | | | | |
| Dominikan. R. | | | | | | | | | | | | |
| Ecuador | | | | | | | | | | | | |
| Haiti | | | | | | | | | | | | |
| Mexiko | | | | | | | | | | | | |
| Nicaragua | | | | | | | | | | | | |
| Venezuela | | | | | | | | | | | | |
| Kolumbien | | | | | | | | | | | | |

Tabelle 1: Hauptjahreszeiten der Kakaoproduktion nach Ländern (braun = Haupternte, gelb = Beginn der Blüte, grün = Jäten und Rückschnitt)

1.134,45 mm auf 1.315,23 mm und stieg im Jahr 2019 dann auf 1.450,32, bevor sie 2020 wieder auf 1.232,11 mm zurückging [21]. Zusätzlich zu diesen erratischen Niederschlagsmustern sind auch die steigenden Temperaturen eine zusätzliche Belastung für die Kakaoanbausysteme. Hinzu kommt das zunehmende Auftreten von Erkrankungen wie der Schwarzen Schotenfäule (Black Pod) und dem Cocoa Swollen Shoot Virus (CSSV), die die reifenden Schoten bzw. die Kakaostämme stark schädigen [16], [22]. Dieses Phänomen hat auf den Kakaofarmen bereits in allen Produktionsregionen Ghanas zu Ertragseinbußen geführt [23].

Der IPCC-Bericht für das Jahr 2023 geht davon aus, dass Westafrika voraussichtlich einen Anstieg der Temperatur und Veränderungen der Niederschlagsmuster erleben wird [24]. Für die westlichen Teile der Region wird ein Rückgang der Niederschläge mit einer kürzeren Regenzeit prognostiziert, während in den östlichen Teilen eine Zunahme der Niederschläge zu erwarten ist. Diese Veränderungen dürften die Dürren und Überschwemmungen verschärfen und damit erhebliche Risiken für den Regenfeldbau im Kakaoanbau mit sich bringen [25].

Auch das Klimaphänomen El Niño hat im vergangenen Jahr durch ungewöhnlich hohe Temperaturen und Regenfälle zu Ernteaussfällen geführt. In Ghana sank die jährliche Kakaoproduktion auf 429.323 Tonnen, was einen Rückgang von über 50 Prozent gegenüber dem früheren Höchststand bedeutet. Die Landwirte sehen sich nun mit steigenden Kosten für Bewässerung und Schädlingsbekämpfung konfrontiert, da der Regen durch Klimaschwankungen nicht mehr zuverlässig einsetzt [26], [20], [27], [25].

Für die Kakaoanbaugebiete in Ghana und der Côte d'Ivoire prognostiziert der IPCC

(2023), dass die jährlichen und monatlichen Minimal- und Maximaltemperaturen zunächst bis 2030 deutlich und dann bis 2050 schrittweise weiter ansteigen werden (um bis zu 2,0 °C). Die jährlichen und monatlichen Niederschläge dürften sich dagegen nur geringfügig ändern, während der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre deutlich zunimmt.

Welche konkreten Auswirkungen der Klimawandel auf die Kakaoproduktion haben wird, ist schwer vorherzusagen, da die gängigen Modelle für die Artenvertei-

Gesunde Blüten entwickeln sich aus dem Stamm des Kakaobaums

© :relations, S. Tischer

Unten: Nach einer massiven Hitzewelle sind Kakaoblüten völlig verbrannt

© :relations, S. Tischer



lung kaum Rückschlüsse auf Ertragsänderungen zulassen [28]. Sie müssen erst durch physiologische Pflanzenmodelle ergänzt werden, die Wachstums- und Ertragsprozesse einschließlich der Auswirkungen des erhöhten atmosphärischen CO₂ berücksichtigen. Erhöhte CO₂-Konzentrationen könnten potenziell die Kakaoerträge steigern, indem sie die Photosyntheseraten erhöhen und die Wassernutzungseffizienz verbessern. Da diese Gewinne allerdings nicht direkt einer erhöhten Nettoprimärproduktivität entsprechen, erschwert dies eine genaue Vorhersage der Ertragsergebnisse [29].

„Neben erratischen Niederschlagsmustern sind auch die steigenden Temperaturen eine Belastung für die Kakaoanbausysteme“

2. Südamerika: Brasilien

Brasilien ist ein weiterer bedeutender Kakaoproduzent, vor allem im Amazonasgebiet und im Nordosten des Landes. Der Klimawandel beeinträchtigt den Sektor durch steigende Temperaturen, veränderte Regenzeiten und Umweltzerstörung. Der IPCC (2023) prognostiziert einen Temperaturanstieg in allen Kakaoanbauregionen des Landes, wobei die Niederschläge im Nordosten deutlich zurückgehen und im westlichen Amazonasgebiet zunehmen werden, was sowohl zu Dürre als auch zu Überschwemmungsrisiken führt [30], [31]. Veränderungen des Beginns und Rückgangs der Regenzeit erschweren darüber hinaus die Planung und Produktivität der Betriebe erheblich [30], [20].

Diese sich verändernden klimatischen Bedingungen zwingen die Bauern, ihre Praktiken anzupassen, um ihre Produkti-

vität zu erhalten. Auf den traditionellen Kakaofarmen treten zudem vermehrt Schädlinge und Krankheiten auf, die einen erhöhten Einsatz von Pestiziden erfordern. Da der Sektor stark auf natürliche Regenbewässerung angewiesen und von ihr abhängig ist, ist er auch besonders anfällig für Klimaschwankungen. Steigende Temperaturen und Wasserknappheit erhöhen den Bewässerungsbedarf, was wiederum Ressourcen kostet.

3. Südostasien: Indonesien

Indonesien ist ein wichtiges Kakaoanbauland in Südostasien und steht aufgrund seiner geografischen Lage und komplexer Wettermuster vor besonderen klimatischen Herausforderungen. Der IPCC (2023) geht davon aus, dass es in der Region häufiger zu starken Regenfällen kommen wird, die zu Überschwemmungen und Bodenerosion führen und damit die Kakaoproduktion stark beeinträchtigen können [20], [32].

Zudem können diese extremen Wetterereignisse zu Bodenerosion, Nährstoffverlusten und Staunässe führen. Steigende Temperaturen und längere Trockenperioden beeinträchtigen auch die Gesundheit der Kakaobäume und machen sie anfälliger für Schädlinge und Krankheiten [20], [32], [33].

Wie Agroforstsysteme mit Kakao klimabedingte Produktionsrisiken verringern können

Agroforstsysteme gelten grundsätzlich als widerstandsfähiger gegenüber Klimaschwankungen als ihre konventionellen Pendanten. Der Grund: Der Synergieeffekt der verschiedenen Pflanzenarten verbessert die ökologische Funktionsweise der

Plantage, wodurch der Kakao gesünder und die Produktion langfristig widerstandsfähiger wird. Darüber hinaus verändern Bäume in Agroforstsystemen unmittelbar die mikroklimatischen Bedingungen in den Pflanzungen und Parzellen durch Schatten- und Temperaturregulierung sowie einen verbesserten Wasserkreislauf.

Vorteile der Kakao-Agroforstwirtschaft für die Regulierung des Mikroklimas

1. Schattenregulierung:

Beschattung in Agroforstsystemen kann die Temperaturen für Kakaopflanzen um bis zu 5° C senken, verglichen mit exponierten Bereichen außerhalb des Kronendachs, wodurch eine höhere Luftfeuchtigkeit entsteht. Dies wiederum verringert das Dampfdruckdefizit, das die Transpirationsrate der Pflanzen beeinflusst. Studien zeigen, dass agroforstliche Praktiken die Evapotranspiration von Kakao senken können und damit das Überleben und Gedeihen der Kakaopflanzen auch unter suboptimalen Klimabedingungen verbessern [34], [13].

2. Regulierung des Mikroklimas:

Baumkronen in Agroforstsystemen tragen einem stabileren Mikroklima bei, indem sie Temperaturextreme reduzieren und Kakaopflanzen vor direkter Sonneneinstrahlung und Starkregen schützen.

3. Wasserzirkulation:

Agroforstsysteme sind zirkuläre landwirtschaftliche Systeme, die den natürlichen Wasserfluss von Waldökosystemen nachahmen. Bäume ziehen Wasser aus Bodenschichten, die der Kakao nicht erreichen kann, und ein Teil dieses Wassers wird sodann durch Transpiration in die Luft der Umgebung abgegeben. Dadurch bleibt das tiefer liegende „Stockwerk“ der Kakaoschicht feuchter und somit auch feuchter als in einem System mit voller Sonneneinstrahlung [8].



Häufige Kakao-Krankheiten

Schwarzfäule, Black Pod (Phytophthora spp.)

Pilzähnliche Oomyceten, insbesondere *Phytophthora palmivora* und *P. megakarya*

- Symptome: Dunkelbraune bis schwarze Läsionen auf den Schoten; die Früchte verfaulen und mumifizieren.
- Auswirkungen: Weltweit am weitesten verbreitet und schädlichste Krankheit.



Cocoa Swollen Shoot Virus (CSSV)

Virus, das von Wollläusen verbreitet wird

- Symptome: Anschwellen der Blattrippen, Stängel- und Stammschwellungen, verminderte Fruchtproduktion, schließlich Absterben der Pflanze.
- Auswirkungen: Verheerend in Westafrika, vor allem in Ghana und zunehmend in Côte d'Ivoire enorme Verringerung der riesigen Kakao Erntemengen.



Frosty Pod Rot (Monilia) *Moniliophthora roreri* (Pilz)

- Symptome: Weißes Pilzwachstum auf den Schoten (kann die ganze Kakaokapsel bedecken), die sich später braun verfärben und mumifizieren; innere Schotenschäden.
- Auswirkungen: Großes Problem in Zentral- und Südamerika.



Kakao-Hexenbesen-Krankheit *Moniliophthora pernicioosa* (Pilz)

- Symptome: Abnormes Triebwachstum, das einem „Hexenbesen“ ähnelt, missgebildete Schoten, Absterben des Baums.
- Auswirkungen: Großes Problem in Südamerika, insbesondere Brasilien.

Modellierung eines
Agroforstsystems mit Kakao

© 2022 CIFOR-ICRAF
All rights reserved,
by Roy Oliver Corvera and
María Angela Espinosa

Damit Agroforstsysteme ihr Potenzial voll entfalten können und sichergestellt wird, dass der dort angebaute Kakao eine größere Resistenz und Widerstandsfähigkeit gegenüber Klimaschwankungen aufweist, müssen die richtigen Arten und Bewirtschaftungsmethoden für das System ausgewählt werden. Der Beschattungsgrad muss sorgfältig geplant, überwacht und während der gesamten Lebensdauer eines schattigen Kakaosystems bewirtschaftet werden. Denn zu viel oder zu wenig Schatten kann gravierende Folgen haben: Zu wenig beschattete Bäume zeigen Verkümmern, Anzeichen von Wasserstress, verbrühte Blätter und Stämme, durch Verbrühung beschädigte Blütenkissen, weniger Blätter und niedrigere Erträge. Zu stark beschattete Bäume zeigen ebenfalls ein verkümmertes Wachstum, zusammen mit verlängerten Stängeln und Blättern, weniger Blüten, weniger Früchten, einer erhöhten Anfälligkeit für Krankheiten

(einschließlich Phytophthora, Cherelle-Fäulnis, Schotenfäule und Cocoa Swollen Shoot Virus) und einem stärkeren Auftreten von Schädlingen wie dem Pod Borer [8].

Die Optimierung des Designs von Kakao-Agroforstsystemen zur Maximierung der Synergie zwischen den Komponenten erfordert daher Fachwissen über die Physiologie und Phänologie der einzelnen Arten – das heißt über den Zeitpunkt des Blattverlusts, der Produktion neuer Blätter und Triebe, der Blüte und der Fruchtbildung [35], [8].

Multistrata-Agroforstsysteme, wie etwa das in einem beschatteten Kakaoanbau, nutzen die unterschiedlichen Licht-, Wasser- und Nährstoffbedürfnisse der Pflanzen optimal aus. Sie gehören zu den komplexesten aller Arten von Agroforstwirtschaft. In solchen Systemen sollen die



einzelnen Komponenten komplementär zusammenarbeiten, auch „Synergie“ genannt. Zur Erzielung von Synergieeffekten werden Bäume, Nutzpflanzen und manchmal auch Nutztiere so angeordnet, dass Nährstoffe, Wasser und Energie (Licht) innerhalb der Systeme optimal genutzt werden, während gleichzeitig der Wettbewerb um diese Ressourcen gesteuert wird. Die bestmögliche (volle) Synergie wird erreicht, wenn die Produktivität eines Agroforstsystems höher ist, als sie es wäre, wenn die Komponenten in getrennten Monokulturen angebaut würden.

Agroforstsysteme mit Multistrata sind „mehr als die Summe ihrer Teile“. Der Wettbewerb wird durch die sorgfältige Auswahl von Arten kontrolliert, die sich gegenseitig unterstützen. Ein Beispiel: In vielen Agroforstsystemen wächst Kakao in der unteren Schicht unterhalb der Baumkronen. In einem gut geführten System können unter dem Kakao auch

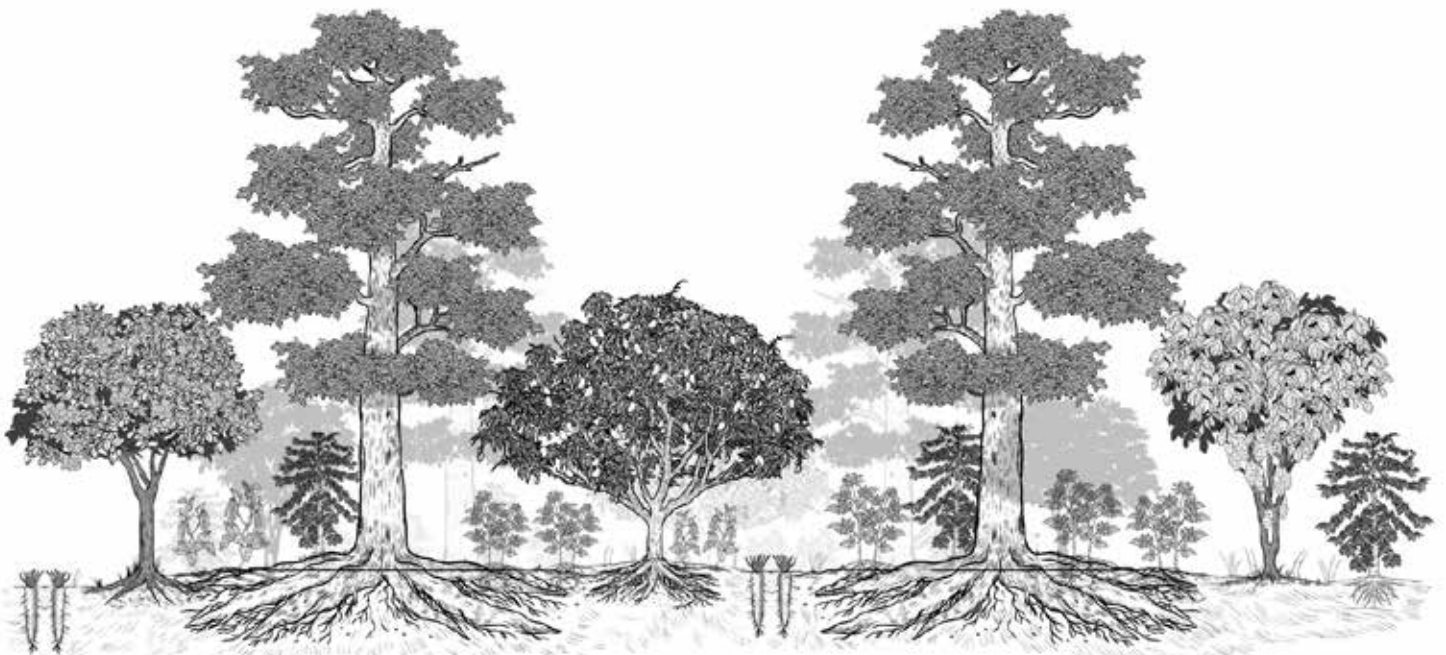
Bodendecker wie Futterpflanzen, Leguminosen und Gräser angebaut werden. Die Schichten optimieren die Nutzung von Licht, Wasser, Nährstoffen und Raum.

Die Aufwuchs- und Überdachungsschichten maximieren die Lichtnutzung und spenden Schatten für die Kakaopflanzen, die sowohl direktes als auch diffuses Licht absorbieren. Unter der Erde ermöglicht die unterschiedliche Wurzeltiefe dem System, mehr Wasser und Nährstoffe zu nutzen, und schützt den Boden vor Erosion und Erdbeben.

Tief wurzelnde Bäume bringen Nährstoffe wie Nitrat, Phosphat und organische Säuren aus der Bodentiefe nach oben und machen diese über ihre Streu für flach wurzelnde Bäume, einschließlich Kakao, verfügbar. Selbstbeschattung bei Kakaobäumen tritt auf, wenn die oberen Blätter und benachbarten Bäume die unteren Blätter beschatten, was den zusätzlichen

Veranschaulichung von Multistrata- (mehrstöckigen Wald-) Systemen

© 2022 CIFOR-ICRAF
All rights reserved,
by Roy Oliver Corvera and
María Angela Espinosa





© :relations, S. Tischer

Schattenbedarf durch andere Baumarten reduziert. Faktoren wie das Alter der Pflanzen, die Intensität des Rückschnitts, Veredelungen und Pflanzabstand beeinflussen den Grad der sogenannten Selbstbeschattung erheblich. Eine stärkere Selbstbeschattung verringert den Bedarf an Beschattung durch den Oberwuchs (aus den oberen Stockwerken), schränkt jedoch zusätzliche Produktion und Dienstleistungen in der Kakaoparzelle ein [8].

Agroforstsysteme regulieren nicht nur die mikroklimatischen Bedingungen, sondern mildern auch klimabedingte Produktions-

risiken, indem sie mehr als eine Nutzpflanze auf demselben Betrieb anbauen. Ein Beispiel sind die Kakao-Ölpalmen-Agroforstsysteme in Brasilien, die von einem Konsortium aus Forschungsorganisationen, einem globalen Kosmetikkonzern und Landwirten entwickelt wurden. In diesen Systemen wachsen Ölpalmen und Kakaobäume in Mischkultur, wobei die Ölpalmen als obere Schattenschicht für die Kakaopflanzen dienen. Die Bewirtschaftung der einzelnen Kulturen kann dabei flexibel angepasst werden, damit abhängig von den aktuellen Marktpreisen jeweils die Produktion einer Ware gegenüber der anderen bevorzugt wird.

Forschungslage und verfügbare Daten zu Kakao-Agroforstsystemen

Wer sich für ein gezieltes Auswahlprogramm von Kakaogenotypen unter Agroforstbedingungen einsetzt, wie in mehreren Fachbeiträgen gefordert [9], stößt auf ein grundlegendes Problem: Der Mangel an agronomischen Leistungsdaten zu Kakaosorten, die unter schattigen Bedingungen angebaut werden. Die meisten verfügbaren Daten zu Ertrag, Schädlings- und Krankheitsresistenz sowie Düngerreaktion auf Kakao-Genetikversuchen beruhen auf vollsonnigen Bedingungen.

Um festzustellen, ob sich die Datenlage inzwischen geändert hat, wurde eine systematische Literaturrecherche mit zwei Suchbegriffen im Fachportal Web of Science durchgeführt. Der erste String lautete TS = ((“cacao” OR “Theobroma cacao”) AND (“agricultural management” OR “genotype” OR “planting distance” OR “fertilization” OR “yield”) AND (“full sun” OR “shaded” OR “shade management”)). Der zweite String lautete: TS = ((“cocoa” OR “cacao” OR “Theobroma cacao”) AND (“agronom*”) AND (“agricultural management” OR “genotype” OR “planting distance” OR “fertilization” OR “fertilisation” OR “yield” OR “full sun” OR “shad*” OR “shade management” OR “agrofor*”)).



© Marlon del Aguila Guerrero/CIFOR-ICRAF

Der erste String ergab 52 Treffer, von denen 44 relevante agronomische Daten enthielten. Der zweite String ergab 90 Treffer, von denen 56 relevante agronomi-

„Das begrenzte Verständnis für erfolgreiche Kakaoanbaumodelle ist ein großes Hindernis für die Einführung innovativer Praktiken“

sche Daten enthielten. Insgesamt lassen sich die Publikationen grob in zwei Kategorien unterteilen: Züchtung und genetische Verbesserung (38 Prozent) und Agroforstwirtschaft (47 Prozent).

Studien, die sich auf die Wechselwirkung zwischen den zwei Kategorien konzentrieren, d. h. die Auswirkungen von Schatzen auf die Leistungsfähigkeit verschiedener Kakaogenotypen, sind bislang sehr selten [34], [36]. Häufig handelt es sich bei diesen Studien um Feldversuche, wobei die Daten sehr spezifisch für die spezifischen Feldbedingungen und nur begrenzt übertragbar sind. Von allen analysierten Arbeiten enthielten nur 22 tatsächlich agronomische Daten zu beschattetem Kakao auf den Ebenen Landschaft und agroökologisches System (siehe Tabelle 2).

Diese Übersicht zeigt: Die vorhandene Forschung konzentriert sich auf Anbaumethoden, die auf den lokalen Bedingungen und den ökologischen Vor- und Nach-



© :relations, S. Tischer

Öffentlich verfügbare agronomische Daten zur Kakaoerzeugung

| | Betrieb/Boden | Agarökologisches System | Land |
|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Düngemittel | 6 % ^{Referenzen A} | 3 % ^{Referenzen B} | Costa Rica, Malaysia, Ghana, Elfenbeinküste, weltweit, Lateinamerika und die Karibik |
| Genotyp | 20 % ^{Referenzen C} | 18 % ^{Referenzen D} | Costa Rica, Indonesien, Brasilien, Ghana, Bolivien, Kolumbien, Elfenbeinküste, weltweit, Trinidad und Tobago, Ecuador |
| Pflanzabstand | 6 % ^{Referenzen E} | 3 % ^{Referenzen F} | Costa Rica, Bolivien, Kamerun, Ghana, Lateinamerika und die Karibik |
| Beschattung | 34 % ^{Referenzen G} | 13 % ^{Referenzen H} | Peru, Indonesien, Mexiko, Brasilien, Ghana, Nigeria, Ecuador, Kamerun, Honduras, Costa Rica, Kolumbien, Bolivien, Lateinamerika und die Karibik, Argentinien, Guinea, Mexiko, Togo |
| schatten-spendende Seite | 16 % ^{Referenzen I} | 7 % ^{Referenzen J} | Costa Rica, Indonesien, Malaysia, Bolivien, Ghana, Kamerun, Honduras, Kolumbien, Lateinamerika und die Karibik, Peru, Argentinien, Guinea |

■ = 0 bis 10 % der begutachteten Arbeiten;
 ■ = 10 bis 30 % der begutachteten Arbeiten;
 ■ = > 30 % der begutachteten Arbeiten;

Tabelle 2: Öffentlich zugängliche agronomische Daten zur Kakaoproduktion – nach Thema, Umfang und Land.

teilen von sonnen- bzw. schattig angebautem Kakao beruhen. Systematische Datensätze von agronomischen Daten zu schattigen Kakaosystemen sind nach wie vor rar. Daymond et al. (2022) [20] betonen diese Lücke: Das begrenzte Verständnis erfolgreicher Kakaoanbaumodelle sei ein großes Hindernis für die Einführung innovativer Praktiken. Gleichzeitig zeige die Literatur das vielfältige Spektrum an Agroforstpraktiken.

In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Literaturrecherche in Bezug auf die behandelten Themen (Düngemittel, Genotyp, Pflanzabstand, Beschattung und schatten-spendende Baumarten), den Untersuchungsmaßstab (Betrieb/Boden oder

agrarökologisches System insgesamt) und Land der Forschung aufgeführt.

Zeit für Investitionen in einen neuen Goldstandard

Der Klimawandel führt zu Schwankungen der Niederschlags- und Temperaturmuster in allen großen Kakaoanbaugebieten, was tiefgreifende Auswirkungen auf die Kakaoerträge hat. Die Vorteile der Integration von Bäumen in Kakaofeldern, -plantagen und -landschaften sind wissenschaftlich gut belegt, sowohl im Hinblick auf ökologischen als auch auf sozialen Nutzen.

Die Science Based Targets Initiative (SBTi) empfiehlt Agroforstsysteme als regenerative Praxis und integriert sie in ihre Leitlinien für landintensive Sektoren zur Umstellung auf eine kohlenstoffarme Wirtschaft durch die Festlegung wissenschaftlich fundierter Ziele [37]. Auch alle wichtigen Zertifizierungsstandards sprechen sich für die Integration von Bäumen aus. In den letzten zehn Jahren hat die Branche Bäume in ihre Plantagen aufgenommen und erheblich in die Zusammenarbeit mit den Erzeugern

investiert, um eine stärkere Verbreitung von Agroforstwirtschaft innerhalb ihrer Wertschöpfungsketten zu erreichen. Dennoch gibt es bis heute erstaunlich wenig öffentlich zugängliche Forschung zu neuen agronomischen Technologiekonzepten, die den Kakaoanbau unter veränderten klimatischen Bedingungen gezielt untersuchen. Systematische Studien, die die Kombination unterschiedlicher Kakaosorten mit Schattenbäumen unter wechselnden Temperatur- und Niederschlagsbedingungen



© Marlon del Aguila Guerrero/CIFOR

auf Landschaftsebene bewerten, sind praktisch nicht vorhanden.

Gleichzeitig ist innerhalb der Fachgemeinschaft unbestritten, dass der volle Nutzen von Kakao-Agroforstsystemen nur dann erzielt werden kann, wenn die richtigen Baumarten mit den richtigen Kakaosorten kombiniert werden sowie wenn der Schatten richtig verwaltet wird.

Insgesamt zeigt sich eine deutliche Diskrepanz zwischen dem Bedarf an innovativen, klimaresilienten Kakaoanbausystemen, einschließlich der Agroforstwirtschaft, und den derzeitigen Prioritäten öffentlicher Forschungseinrichtungen.

Angesichts der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Bedeutung von Kakao sowohl in den Erzeuger- als auch in den verarbeitenden Ländern, ist jetzt ein Ansatz der Grünen Revolution für Kakao-Agroforstsysteme erforderlich.

Öffentlich-private Partnerschaften werden von entscheidender Bedeutung sein. Regierungen und Entwicklungsbanken können in Forschung und Infrastruktur finanzieren, wie z. B. Investitionen in Saatgut und Setzlingssysteme für Schattenbäume. Erzeugerunternehmen wiederum können sich an langfristigen Versuchen beteiligen, die idealen standortangepassten Sorten für verschiedene Schattierungssysteme unter zukünftigen Klimaszenarien zu identifizieren.

Es bedarf gemeinsamer Anstrengungen aller Akteure, um die derzeitige Wissenslücke zu schließen und die Entstehung bzw. Entwicklung eines neuen „Goldstandards“ für Kakaoanbau zu ermöglichen: eines neuen Maßstabs für Spitzenleistungen, den die Branche nutzen kann, um ein Höchstmaß an Qualität, Nachhaltigkeit und Compliance zu gewährleisten, gestützt auf wissenschaftliche und evidenzbasierte Krite-

rien, die in transparente und messbare Leistungsindikatoren umgesetzt werden. Nur wenn es uns gelingt, die derzeitige Wissenslücke zu schließen, können wir davon abkommen, Bäume nur aus Gründen

© 2022 CIFOR-ICRAF All rights reserved, by Roy Oliver Corvera and Maria Angela Espinosa



„Es gibt eine Diskrepanz zwischen dem Bedarf an innovativen Kakaoanbausystemen und den Prioritäten der Forschungseinrichtungen“

der Compliance zu pflanzen, und stattdessen Bäume pflanzen, um Produktionsrisiken wirksam zu mindern und die Rentabilität zu steigern.

Im Wesentlichen fehlen noch die technischen Parameter für eine optimale Kakao-Agroforstwirtschaft – aber mit vereinten Kräften kann ein neuer „Goldstandard“ geschaffen werden, um diese offene Flanke zu schließen.

Referenzen Tabelle 2

Öffentlich verfügbare agronomische Daten zur Kakaoerzeugung

(Alle Internetquellen der Literaturstudie
letzter Zugriff am 25. Juni 2025)

Referenzen A

- (1) Asare, R., Asare, R. A., Asante, W. A., Markussen, B., & Ræbild, A. (2017). Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, 53(3), 416–431. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1536>
- (2) Goudsmit, E., Rozendaal, D. M. A., Tosto, A., & Slingerland, M. (2023). Effects of fertilizer application on cacao pod development, pod nutrient content and yield. *Scientia Horticulturae*, 313(December 2021). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111869>
- (3) Hawkins, J. W., Gallagher, E. J., van der Haar, S., Sevor, M. K. E., Weng, X., Rufino, M. C., & Schoneveld, G. C. (2024). Low-emissions and profitable cocoa through moderate-shade agroforestry: Insights from Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 367(March), 108961. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108961>
- (4) Muñoz, F., & Beer, J. (2001). Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), 119–130. <https://doi.org/10.1023/A:1010651203815>
- (5) Vanhove, W., Vanhoudt, N., & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>

Referenzen B

- (1) Meyer Zu Drewer, J., Köster, M., Abdulai, I., Rötter, R. P., Hagemann, N., & Schmidt, H. P. (2022). Impact of Different Methods of Root-Zone Application of Biochar-Based Fertilizers on Young Cocoa Plants: Insights from a Pot-Trial. *Horticulturae*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040328>
- (2) Orozco-Aguilar, L., Lopez-Sampson, A., Cerda, R. H., Casanoves, F., Ramirez-Argueta, O., Diaz Matute, J., Suárez Salazar, J. C., Rüegg, J., Saj, S., Milz, J., Schneidewind, U., Mora Garces, A., Baez Daza, E., Rojas Molina, J., Jaimes Suarez, Y., Agudelo-Castañeda, G. A., Deheuvels, O., Brito Sosa, E., Gómez, J. H., ...
- (3) Ruseani, N. S., Vanhove, W., Susilo, A. W., & Van Damme, P. (2022). Cocoa Clones Reveal Variation in Plant Biomass, Root Nitrogen Uptake, and Apparent Nitrogen Recovery at the Seedling Stage. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 4727–4738. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00955-0>

Referenzen C

- (1) Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Hohmann, P., & Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- (2) Arévalo-Gardini, E., Farfán, A., Barraza, F., Arévalo-Hernández, C.O., Zúñiga-Cernades, L.B., Alegre, J. and Baligar, V.C., 2021. Growth, physiological, nutrient-uptake-efficiency and shade-tolerance responses of cacao genotypes under different shades. *Agronomy*, 11(8), p.1536. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1536>
- (3) Borrone, J., Brown, J., Motamayor, J. C., & Schnell, R. (2007). Microsatellite markers developed from *Theobroma cacao* L. expressed sequence tags. *Molecular Ecology Notes*, 7, 236–239. <https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2006.01561.x>
- (4) Boza, E., Motamayor, J. C., Amores, F., Cedeño-Amador, S., Tondo, C., Livingstone, D., Schnell, R., & Gutierrez, O. (2014). Genetic Characterization of the Cacao (*Theobroma cacao* L.) Cultivar 'CCN 51' and its impact and significance on global cacao improvement and production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. American Society for Horticultural Science, 139, 219. <https://doi.org/10.21273/JASHS.139.2.219>
- (5) Cervantes-Martinez, C., Brown, J., Schnell, R. J., Phillips-Mora, W., Takrama, J., & Motamayor, J. C. (2006). Combining Ability for Disease Resistance, Yield, and Horticultural Traits of Cacao (*Theobroma cacao* L.) Clones. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. American Society for Horticultural Science, 131. <https://doi.org/10.21273/JASHS.131.2.231>
- (6) de Almeida, C. M. V. C., dos Santos Dias, L. A., & de Paula Silva, A. (2009). Caracterização agrônômica de acessos de cacau. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(4), 368–373. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009000400006>
- (7) de Araújo, R. P., de Almeida, A. A. F., Barroso, J. P., de Oliveira, R. A., Gomes, F. P., Ahnert, D., & Baligar, V. (2017). Molecular and morphophysiological responses cocoa leaves with different concentrations of anthocyanin to variations in light levels. *Scientia Horticulturae*, 224(iii), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.008>
- (8) DuVal, A., Gezan, S. A., Mustiga, G., Stack, C., Marelli, J. P., Chaparro, J., Livingstone, D., Royaert, S., & Motamayor, J. C. (2017). Genetic parameters and the impact of off-types for *theobroma cacao* L. In a breeding program in Brazil. *Frontiers in Plant Science*, 8(December), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02059>
- (9) Frimpong, E. B., & Safo, J. (1991). Chemical approach towards the improvement of the agronomic performance of cocoa varieties. 35(3), 191–195. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.016>
- (10) Georges, M., Melo, C., Souza, M., & Corrêa, R. (2023). Cacao genotypes cultivated in agroforestry systems in Bahia have wide genetic variability in morpho-agronomic characters. *Ciência e Agrotecnologia*, 47. <https://doi.org/10.1590/1413-7054202347004923>

- (11) Iwaro, A. D., Butler, D. R., & Eskes, A. B. (2006). Sources of Resistance to Phytophthora Pod Rot at the International CocoaGenebank, Trinidad. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 53(1), 99–109. <https://doi.org/10.1007/s10722-004-1411-1>
- (12) Johnson, E. S., Mora, A., & Schnell, R. J. (2007). Field Guide efficacy in the identification of reallocated clonally propagated accessions of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(6), 1301–1313. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-9111-7>
- (13) Kuhn, D. N., Figueira, A., Lopes, U., Motamayor, J. C., Meerow, A. W., Cariaga, K., Freeman, B., Livingstone, D. S., & Schnell, R. J. (2010). Evaluating *Theobroma grandiflorum* for comparative genomic studies with *Theobroma cacao*. *Tree Genetics and Genomes*, 6(5), 783–792. <https://doi.org/10.1007/s11295-010-0291-0>
- (14) Lachenaud, P., Paulin, D., Ducamp, M., & Thevenin, J.-M. (2007). Twenty years of agronomic evaluation of wild cocoa trees (*Theobroma cacao* L.) from French Guiana. *Scientia Horticulturae*, 113, 313–321. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.016>
- (15) Livingstone, D., Stack, C., Mustiga, G. M., Rodezno, D. C., Suarez, C., Amores, F., Feltus, F. A., Mockaitis, K., Cornejo, O. E., Motamayor, J. C., & Batley, J. (2018). Corrigendum: A larger chocolate chip – development of a 15K theobroma cacao L. SNP array to create high-density linkage maps. *Frontiers in Plant Science*, 9(July), 3389. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00948>
- (16) Muñoz, F., & Beer, J. (2001). Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), 119–130. <https://doi.org/10.1023/A:1010651203815>
- (17) Ofori, A., Padi, F., Ansah, F., Akperter, A., & Anin-Kwapong, G. (2016). Genetic variation for vigour and yield of cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones in Ghana. *Scientia Horticulturae*, 213. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.003>
- (18) Padi, F. K., Ofori, A., & Arthur, A. (2017). Genetic variation and combining abilities for vigour and yield in a recurrent selection programme for cacao. *The Journal of Agricultural Science*, 155(3), 444–464. <https://doi.org/10.1017/S0021859616000459>
- (19) Santos, E. S. L., Bernard, C., Cerqueira-Silva, M., Mori, G. M., Ahnert, D., Mello, D. L. N., Pires, J. L., Corrêa, R. X., & De Souza, A. P. (2015). Genetic Structure and Molecular Diversity of Cacao Plants Established as Local Varieties for More than Two Centuries: The Genetic History of Cacao Plantations in Bahia, Brazil. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145276>
- (2) Akoa, S. P., Onomo, P. E., Ndjaga, J. M., Ondobo, M. L., & Djocgoue, P. F. (2021). Impact of pollen genetic origin on compatibility, agronomic traits, and physicochemical quality of cocoa (*Theobroma cacao* L.) beans. *Scientia Horticulturae*, 287, 110278. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110278>
- (3) Araújo, M. S., Chaves, S. F. S., Pereira, G. R., Guimarães, M. H. D., Alves, A. K. S., Dias, L. A. S., Souza, C. A. S., & Aguilár, M. A. G. (2024). Multi-trait selection for nutritional and physiological quality of cacao genotypes in irrigated and non-irrigated environments. *Scientific Reports*, 14(1), 6368. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-56556-7>
- (4) Cosme, S., Cuevas, H., Zhang, D., & Irish, B. (2016). Genetic diversity of naturalized cacao (*Theobroma cacao* L.) in Puerto Rico. *Tree Genetics & Genomes*, 12. <https://doi.org/10.1007/s11295-016-1045-4>
- (5) De La Rosa, R., Yockteng, R., Bieng Marie Ange, N., Motamayor, J. C., Mustiga, G. M., Gezan, S. A., Phillips-Mora, W., Arciniegas-Leal, A., & Mata-Quirós, A. (2018). Phenotypic Description of *Theobroma cacao* L. for Yield and Vigor Traits From 34 Hybrid Families in Costa Rica Based on the Genetic Basis of the Parental Population. *Frontiers in Plant Science*, 1, 808. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00808>
- (6) Konaté, N., Ouattara, Y., Kouakou, A. K., & Barima, Y. S. S. (2024). Effects of Traditional Agroforestry Practices on Cocoa Yields in Côte d'Ivoire. *Sustainability (Switzerland)*, 16(22). <https://doi.org/10.3390/su16229927>
- (7) Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Hölscher, D., Köhler, M., Leitner, D., Michalzik, B., Prihastanti, E., Tjitrosemto, S., & Schwendenmann, L. (2010). Response of cocoa trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 79(2), 171–187. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9303-1>
- (8) Nieves-Orduña, H. E., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2023). Geographic distribution, conservation, and genomic resources of cacao *Theobroma cacao* L. *Crop Science*, 63(4), 1750–1778. <https://doi.org/10.1002/csc.2.20959>
- (9) Nieves-Orduña, H. E., Müller, M., Krutovsky, K. V., & Gailing, O. (2024). Genotyping of cacao (*Theobroma cacao* L.) germplasm resources with SNP markers linked to agronomic traits reveals signs of selection. *Tree Genetics and Genomes*, 20(3), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11295-024-01646-w>
- (10) Obeng-Bio, E., Asare Bediako, K., Dadzie, A. M., Ofori, A., Anokye, E., Arthur, A., & Padi, F. K. (2024). Exploitation of ortet-ramet relationship for the development of superior cocoa (*Theobroma cacao* L.) clones. *Euphytica*, 220(6), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03341-2>
- (11) Pokou, N. D., N'Goran, J. A. K., Kébé, I., Eskes, A., Tahi, M., & Sangaré, A. (2008). Levels of resistance to *Phytophthora* pod rot in cocoa accessions selected on-farm in Côte d'Ivoire. *Crop Protection*, 27(3), 302–309. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.07.012>

Referenzen D

- (1) Acheampong, K., Daymond, A. J., Adu-Yeboah, P., & Hadley, P. (2019). Improving field establishment of cacao (*Theobroma cacao*) through mulching, irrigation and shading. *Experimental Agriculture*, 55(6), 898–912. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000479>

- (12) Schneider, M., Andres, C., Trujillo, G., Alcon, F., Amurrio, P., Perez, E., Weibel, F., & Milz, J. (2017). Cocoa and total system yields of organic and conventional agroforestry vs. monoculture systems in a long-term field trial in Bolivia. *Experimental Agriculture*, 53(3), 351–374. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000417>
- (13) Suárez, J. C., Gelpud, C., Noriega, J. E., & Ortiz-Moreno, F. A. (2021). How do different cocoa genotypes deal with increased radiation? An analysis of water relation, diffusive and biochemical components at the leaf level. *Agronomy*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/agronomy11071422>
- (14) Tezara, W., Urlich, R., Jaimez, R., Coronel, I., Araque, O., Azocar, C., & Chacón, I. (2016). Does Criollo cocoa have the same eco-physiological characteristics as Forastero? *Botanical Sciences*, 94, 563. <https://doi.org/10.17129/botsci.552>
- (15) Wibaux, T., Konan, D.-C., Snoeck, D., Jagoret, P., & Bastide, P. (2018). Study of tree-to-tree yield variability among seedling-based cacao populations in an industrial plantation in Côte d'Ivoire. *Experimental Agriculture*, 54(5), 719–730. <https://doi.org/10.1017/S0014479717000345>
- (16) Wibaux, T., Normand, F., Vezy, R., Durand, J. B., & Lauri, P. É. (2024). Does seasonal flowering and fruiting patterns of cacao only depend on climatic factors? The case study of mixed genotype populations in Côte d'Ivoire. *Scientia Horticulturae*, 337(March). <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113529>

Referenzen E

- (1) Asante, P. A., Rahn, E., Zuidema, P. A., Rozendaal, D. M. A., van der Baan, M. E. G., Läderach, P., Asare, R., Cryer, N. C., & Anten, N. P. R. (2022). The cocoa yield gap in Ghana: A quantification and an analysis of factors that could narrow the gap. *Agricultural Systems*, 201, 103473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103473>
- (2) Djuidéu, C. T. L., Bisseleua, H. D. B., Kekeunou, S., & Ambele, F. C. (2021). Rehabilitation practices in cocoa agroforestry systems mitigate outbreaks of termites and support cocoa tree development and yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 311(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107324>
- (3) Hawkins, J. W., Gallagher, E. J., van der Haar, S., Sevor, M. K. E., Weng, X., Rufino, M. C., & Schoneveld, G. C. (2024). Low-emissions and profitable cocoa through moderate-shade agroforestry: Insights from Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 367(March), 108961. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108961>
- (4) Marconi, L., Seidel, R., & Armengot, L. (2022). Herb assemblage dynamics over seven years in different cocoa production systems. *Agroforestry Systems*, 96(5), 873–884. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00747-6>
- (5) Muñoz, F., & Beer, J. (2001). Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), 119–130. <https://doi.org/10.1023/A:1010651203815>

Referenzen F

- (1) Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Hohmann, P., & Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- (2) Orozco-Aguilar, L., Lopez-Sampson, A., Cerda, R. H., Casanoves, F., Ramirez-Argueta, O., Diaz Matute, J., Suárez Salazar, J. C., Rüegg, J., Saj, S., Milz, J., Schneidewind, U., Mora Garces, A., Baez Daza, E., Rojas Molina, J., Jaimes Suarez, Y., Agudelo-Castañeda, G. A., Deheuvels, O., Brito Sosa, E., Gómez, J. H., ...
- (3) Ramírez-Argueta, O., Orozco-Aguilar, L., Dubón, A. D., Díaz, F. J., Sánchez, J., & Casanoves, F. (2022). Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.941743>

Referenzen G

- (1) Abdulai, I., Hoffmann, M., Kahiluoto, H., Diploid, A., M., Ahmed, M. A., Asare, R., Asante, W. A., & Rotter, R. P. (2025). Functional Groups of Leaf Phenology Are Key To Build Climate-Resilience in Cocoa Agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 379, 28 February 2025. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109363>
- (2) Acheampong, K., Daymond, A. J., Adu-Yeboah, P., & Hadley, P. (2019). Improving field establishment of cacao (*Theobroma cacao*) through mulching, irrigation and shading. *Experimental Agriculture*, 55(6), 898–912. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000479>
- (3) Arévalo-Gardini, E., Farfán, A., Barraza, F., Arévalo-Hernández, C.O., Zúñiga-Cernades, L.B., Alegre, J. and Baligar, V.C., 2021. Growth, physiological, nutrient-uptake-efficiency and shade-tolerance responses of cacao genotypes under different shades. *Agronomy*, 11(8), p.1536. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/8/1536>
- (4) Asante, P. A., Rahn, E., Zuidema, P. A., Rozendaal, D. M. A., van der Baan, M. E. G., Läderach, P., Asare, R., Cryer, N. C., & Anten, N. P. R. (2022). The cocoa yield gap in Ghana: A quantification and an analysis of factors that could narrow the gap. *Agricultural Systems*, 201, 103473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agry.2022.103473>
- (5) Asare, R., Asare, R. A., Asante, W. A., Markussen, B., & RÆbild, A. (2017). Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, 53(3), 416–431. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000466>
- (6) Bos, M. M., Steffan-Dewenter, I., & Tschantke, T. (2007). Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2–4), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.004>

- (7) Djuideu, C. T. L., Bisseleua, H. D. B., Kekeunou, S., & Ambele, F. C. (2021). Rehabilitation practices in cocoa agroforestry systems mitigate outbreaks of termites and support cocoa tree development and yield. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 311(October 2020). <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107324>
- (8) Djuideu, T. C. L., Bisseleua, D. H. B., Kekeunou, S., Meupia, M. J., Difouo, F. G., & Ambele, C. F. (2020). Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 94(1), 185–201. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00380-w>
- (9) Hernández-Núñez, H. E., Gutiérrez-Montes, I., Sánchez-Acosta, J. R., Rodríguez-Suárez, L., Gutiérrez-García, G. A., Suárez-Salazar, J. C., Casanoves, F. (2020). Agronomic conditions of cacao cultivation: its relationship with the capitals endowment of Colombian rural households. *Agroforestry Systems*, 94, 2367–2380. <https://doi.org/10.1007/s10457-020-00556-9>
- (10) Esche, L., Schneider, M., Milz, J., & Armengot, L. (2023). The role of shade tree pruning in cocoa agroforestry systems: agronomic and economic benefits. *Agroforestry Systems*, 97(2), 175–185. <https://doi.org/10.1007/s10457-022-00796-x>
- (11) Famuwagun, I. B., Agele, S. O., & Aiyelari, O. P. (2018). Shade Effects on Growth and Development of Cacao Following Two Years of Continuous Dry Season Irrigation. *International Journal of Fruit Science*, 18(2), 153–176. <https://doi.org/10.1080/15538362.2017.1416326>
- (12) Famuwagun, I. B., & Agele, S. O. (2021). Micro-Climatic Conditions, Weed Diversity, Flowering and Yield of Young Cacao Plants as Affected by Shade Regimes. *International Letters of Natural Sciences*, 81(February), 31–41. <https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilns.81.31>
- (13) Fassbender, H. W., Beer, J., Heuvelink, J., Imbach, A., Enriquez, G., & Bonnemann, A. (1991). Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 45(1), 173–183. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90215-H](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90215-H)
- (14) Felicitas, A. C., Hervé, B. D. B., Ekesi, S., Akutse, K. S., Djuideu, C. T. C. L., Meupia, M. J., & Babalola, O. O. (2018). Consequences of shade management on the taxonomic patterns and functional diversity of termites (Blattodea: Termitidae) in cocoa agroforestry systems. *Ecology and Evolution*, 8(23), 11582–11595. <https://doi.org/10.1002/ece3.4607>
- (15) Gras, P., Tscharrntke, T., Maas, B., Tjoa, A., Hafsa, A., & Clough, Y. (2016). How ants, birds and bats affect crop yield along shade gradients in tropical cacao agroforestry. *Journal of Applied Ecology*, 53(3), 953–963. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12625>
- (16) Hawkins, J. W., Gallagher, E. J., van der Haar, S., Sevor, M. K. E., Weng, X., Rufino, M. C., & Schoneveld, G. C. (2024). Low-emissions and profitable cocoa through moderate-shade agroforestry: Insights from Ghana. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 367(March), 108961. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108961>
- (17) Ilany, T., Ashton, M. S., Montagnini, F., & Martinez, C. (2010). Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agroforestry Systems*, 80(3), 399–409. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9317-8>
- (18) Jagoret, P., Michel, I., Ngnogué, H. T., Lachenaud, P., Snoeck, D., & Malézieux, E. (2017). Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(6), 60. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0468-0>
- (19) Krauss, U., & Soberanis, W. (2001). Rehabilitation of diseased cacao fields in Peru through shade regulation and timing of biocontrol measures. *Agroforestry Systems*, 53(2), 179–184. <https://doi.org/10.1023/A:1013376504268>
- (20) Lucio-Palacio, C., & Ibarra-Núñez, G. (2015). Arboreal spiders from cocoa plantations with different management type in Chiapas, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 78(5255), 459–482. <https://doi.org/10.7550/RMB.41027>
- (21) Mensah, E. O., Ræbild, A., Asare, R., Amoatey, C. A., Markussen, B., Owusu, K., Asitoakor, B. K., & Vaast, P. (2023). Combined effects of shade and drought on physiology, growth, and yield of mature cocoa trees. *Science of the Total Environment*, 899(July), 165657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165657>
- (22) Middendorp, R. S., Vanacker, V., & Lambin, E. F. (2018). Impacts of shaded agroforestry management on carbon sequestration, biodiversity and farmers income in cocoa production landscapes. *Landscape Ecology*, 33(11), 1953–1974. <https://doi.org/10.1007/s10980-018-0714-0>
- (23) Morato, K. V., Morante-Filho, J. C., Cabral, J. P., Heming, N. M., & Faria, D. (2024). Landscape forest cover and local vegetation structure mediate multitrophic relationships but not the leaf damage in cacao trees. *Forest Ecology and Management*, 572(June). <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2024.122286>
- (24) Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Barboza, L. A., Borda, M. J., Leandro-Muñoz, M. E., Bordeaux, M., Cerda, R. H., Villega, E. A., & Somarriba, E. (2024). Risk analysis and cacao pod survivorship curves to improve yield forecasting methods. *Frontiers in Agronomy*, 6(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1290035>
- (25) Osei-Bonsu, K., Opoku-Ameyaw, K., Amoah, F. M., & Oppong, F. K. (2002). Cacao-coconut intercropping in Ghana: agronomic and economic perspectives. *Agroforestry Systems*, 55(1), 1–8. <https://doi.org/10.1023/A:1020271608483>
- (26) Osorio Zambrano, M. A., Pérez, L. R., Sierra Ríos, R., & Terán, W. (2023). Photosynthetic Light Response Curves: Elucidating the Photosynthetic Capacity of Cacao Plants (*Theobroma cacao* L.) To Full Sun Light in Cundinamarca, Colombia. *Botanical Sciences*, 101(2), 435–448. <https://doi.org/10.17129/botsci.3118>
- (27) Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. *PLoS ONE*, 11(2), 1–22. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149949>

- (28) Ramos, M. J., Beilhe, L. B., Alvarado, J., Rapidel, B., & Allinne, C. (2024). Disentangling shade effects for cacao pest and disease regulation in the Peruvian Amazonia. *Agronomy for Sustainable Development*, 44(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s13593-024-00948-6>
- (29) Riedel, J., Kägi, N., Armengot, L., & Schneider, M. (2019). Effects of rehabilitation pruning and agroforestry on cacao tree development and yield in an older full-sun plantation. *Experimental Agriculture*, 55(6), 849–865. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000431>
- (30) Schroth, G., Jeusset, A., Gomes, A. da S., Florence, C. T., Coelho, N. A. P., Faria, D., & Läderach, P. (2016). Climate friendliness of cocoa agroforests is compatible with productivity increase. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 21(1), 67–80. <https://doi.org/10.1007/s11027-014-9570-7>
- (31) Vanhove, W., Vanhoudt, N., & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>
- (32) Waldburger, T., Anken, T., Walter, A., Nasser, H. R., Monney, P., & Cockburn, M. (2024). Growing cocoa in semi-arid climate and the rhythmicity of stem growth and leaf flushing determined by dendrometers. *Heliyon*, 10(11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32266>
- (33) Waldron, A., Justicia, R., & Smith, L. E. (2015). Making biodiversity-friendly cocoa pay: combining yield, certification, and REDD for shade management. *Ecological Applications*, 25(2), 361–372. <https://doi.org/10.1890/13-0313.1>
- (6) Jagoret, P., & Jadin, P. (1992). Pursuit of suitable techniques for cacao replanting in Togo. III. Initial results of the technical innovations proposed for cacao replanting in the peasant environment. *Cafe Cacao The (France)*, 36(4).
- (7) Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Barboza, L. A., Borda, M. J., Leandro-Muñoz, M. E., Bordeaux, M., Cerda, R. H., Villega, E. A., & Somarriba, E. (2024). Risk analysis and cacao pod survivorship curves to improve yield forecasting methods. *Frontiers in Agronomy*, 6(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1290035>
- (8) Ramírez-Argueta, O., Orozco-Aguilar, L., Dubón, A. D., Díaz, F. J., Sánchez, J., & Casanoves, F. (2022). Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.941743>
- (9) Schneider, M., Andres, C., Trujillo, G., Alcon, F., Amurrio, P., Perez, E., Weibel, F., & Milz, J. (2017). Cocoa and total system yields of organic and conventional agroforestry vs. monoculture systems in a long-term field trial in Bolivia. *Experimental Agriculture*, 53(3), 351–374. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000417>
- (10) Siebert, S. F. (2002). From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. *Biodiversity & Conservation*, 11(11), 1889–1902. <https://doi.org/10.1023/A:1020804611740>
- (11) Tschardtke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Jührbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., & Wanger, T. C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - A review. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619–629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x>
- (12) Zuidema, P. A., Leffelaar, P. A., Gerritsma, W., Mommer, L., & Anten, N. P. R. (2005). A physiological production model for cocoa (*Theobroma cacao*): model presentation, validation and application. *Agricultural Systems*, 84(2), 195–225. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.06.015>

Referenzen H

- (1) Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Hohmann, P., & Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- (2) Bertrand, B., & Jadin, P. (1992). Pursuit of suitable techniques for cacao replanting in Togo. I. Comparative study of various cacao-planting methods. *Cafe Cacao The (France)*, 36(2).
- (3) Bos, M. M., Veddeler, D., Bogdanski, A. K., Klein, A. M., Tschardtke, T., Steffan-Dewenter, I., & Tylianakis, J. M. (2007). Caveats to quantifying ecosystem services: fruit abortion blurs benefits from crop pollination. *Ecological Applications*, 17(6), 1841–1849.
- (4) Camara, A., Dugue, P., Cheylan, J.-P., & Kalms, J.-M. (2009). De la forêt naturelle aux agroforêts en Guinée forestière. *Cahiers Agricultures*, 18, 425–432. <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0325>
- (5) Graefe, S., Meyer-Sand, L. F., Chauvette, K., Abdulai, I., Jassogne, L., Vaast, P., & Asare, R. (2017). Evaluating Farmers' Knowledge of Shade Trees in Different Cocoa Agro-Ecological Zones in Ghana. *Human Ecology*, 45. <https://doi.org/10.1007/s10745-017-9899-0>

Referenzen I

- (1) Abdulai, I., Hoffmann, M., Kahiluoto, H., Dipploid, A. M., Ahmed, M. A., Asare, R., Asante, W. A., & Rotter, R. P. (2025). Functional Groups of Leaf Phenology Are Key To Build Climate-Resilience in Cocoa Agroforestry Systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 379, 28 February 2025. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.109363>
- (2) Alfonso-Alfonso, L., Escobar-Pachajoa, L. D., Montealegre-Bustos, F., Carvalho, F. E., Carvajal-Rivera, A. S., & Rojas-Molina, J. (2024). Assessment of transitory crops in cocoa (*Theobroma cacao* L.) agroforestry in Páez, Boyacá. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 41(1), e1225. <https://doi.org/10.22267/rcia.20244101.225>

- (3) Armengot, L., Ferrari, L., Milz, J., Velásquez, F., Hohmann, P., & Schneider, M. (2020). Cacao agroforestry systems do not increase pest and disease incidence compared with monocultures under good cultural management practices. *Crop Protection*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.105047>
- (4) Asare, R., Asare, R. A., Asante, W. A., Markussen, B., & Ræbild, A. (2017). Influences of shading and fertilization on on-farm yields of cocoa in Ghana. *Experimental Agriculture*, 53(3), 416–431. <https://doi.org/10.1017/S0014479716000466>
- (5) Atalaya-Marin, N., Goñas, M., Tineo, D., Chuquibala-Checan, B., Arce-Inga, M., Tarrillo, E., Alvarez-Robledo, Y. A., Tafur-Culqui, J., Cabrera-Hoyos, H., & Gómez-Fernández, D. (2025). Integrating remote sensing and in-situ data to determine climate diversity and variability in cocoa systems in the provinces of Jaén and San Ignacio, Cajamarca (NW Perú). *Trees, Forests and People*, 19, 100749. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100749>
- (6) Bos, M. M., Steffan-Dewenter, I., & Tscharntke, T. (2007). Shade tree management affects fruit abortion, insect pests and pathogens of cacao. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 120(2–4), 201–205. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.09.004>
- (7) Djuideu, T. C. L., Bisseleua, D. H. B., Kekeunou, S., Meupia, M. J., Difouo, F. G., & Ambele, C. F. (2020). Plant community composition and functional characteristics define invasion and infestation of termites in cocoa agroforestry systems. *Agroforestry Systems*, 94(1), 185–201. <https://doi.org/10.1007/s10457-019-00380-w>
- (8) Fassbender, H. W., Beer, J., Heuveldop, J., Imbach, A., Enriquez, G., & Bonnemann, A. (1991). Ten year balances of organic matter and nutrients in agroforestry systems at CATIE, Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, 45(1), 173–183. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(91\)90215-H](https://doi.org/10.1016/0378-1127(91)90215-H)
- (9) Ilany, T., Ashton, M. S., Montagnini, F., & Martinez, C. (2010). Using agroforestry to improve soil fertility: effects of intercropping on *Ilex paraguariensis* (yerba mate) plantations with *Araucaria angustifolia*. *Agro-forestry Systems*, 80(3), 399–409. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9317-8>
- (10) Jagoret, P., Michel, I., Ngnogué, H. T., Lachenaud, P., Snoeck, D., & Malézieux, E. (2017). Structural characteristics determine productivity in complex cocoa agroforestry systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(6), 60. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0468-0>
- (11) Muñoz, F., & Beer, J. (2001). Fine root dynamics of shaded cacao plantations in Costa Rica. *Agroforestry Systems*, 51(2), 119–130. <https://doi.org/10.1023/A:1010651203815>
- (12) Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. *PLoS ONE*, 11(2), 1–22.

- (13) Riedel, J., Kägi, N., Armengot, L., & Schneider, M. (2019). Effects of rehabilitation pruning and agroforestry on cacao tree development and yield in an older full-sun plantation. *Experimental Agriculture*, 55(6), 849–865. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000431>
- (14) Vanhove, W., Vanhoudt, N., & Van Damme, P. (2016). Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of a 22-year-old degraded cocoa (*Theobroma cacao* L.) plantation. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 219, 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005>

Referenzen J

- (1) Camara, A., Dugue, P., Cheylan, J.-P., & Kalms, J.-M. (2009). De la forêt naturelle aux agroforêts en Guinée forestière. *Cahiers Agricultures*, 18, 425–432. <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0325>
- (2) Graefe, S., Meyer-Sand, L. F., Chauvette, K., Abdulai, I., Jassogne, L., Vaast, P., & Asare, R. (2017). Evaluating Farmers' Knowledge of Shade Trees in Different Cocoa Agro-Ecological Zones in Ghana. *Human Ecology*, 45. <https://doi.org/10.1007/s10745-017-9899-0>
- (3) Moser, G., Leuschner, C., Hertel, D., Hölscher, D., Köhler, M., Leitner, D., Michalzik, B., Prihastanti, E., Tjitrosemito, S., & Schwendenmann, L. (2010). Response of cocoa trees (*Theobroma cacao*) to a 13-month desiccation period in Sulawesi, Indonesia. *Agroforestry Systems*, 79(2), 171–187. <https://doi.org/10.1007/s10457-010-9303-1>
- (4) Orozco-Aguilar, L., López-Sampson, A., Barboza, L. A., Borda, M. J., Leandro-Muñoz, M. E., Bordeaux, M., Cerda, R. H., Villega, E. A., & Somarriba, E. (2024). Risk analysis and cacao pod survivorship curves to improve yield forecasting methods. *Frontiers in Agronomy*, 6(March), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fagro.2024.1290035>
- (5) Ramírez-Argueta, O., Orozco-Aguilar, L., Dubón, A. D., Díaz, F. J., Sánchez, J., & Casanoves, F. (2022). Timber growth, cacao yields, and financial revenues in a long-term experiment of cacao agroforestry systems in northern Honduras. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.941743>
- (6) Siebert, S. F. (2002). From shade- to sun-grown perennial crops in Sulawesi, Indonesia: implications for biodiversity conservation and soil fertility. *Biodiversity & Conservation*, 11(11), 1889–1902. <https://doi.org/10.1023/A:1020804611740>



Korrespondenzanschrift



© CIFOR

Dr. Anja Gassner
Center for International Forestry Research
and World Agroforestry (CIFOR-ICRAF)
Charles-de-Gaulle-Straße 5
53113 Bonn
a.gassner@cifor-icraf.org

Hinweise

Alle im Text und Literaturverzeichnis angegebenen Links wurden sorgfältig auf ihre Richtigkeit und korrekte Funktionalität geprüft. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Links über die Zeit hinweg verändert, abgeschaltet oder aus anderen Gründen nicht mehr aktiviert werden können.

Wenige Teile und/oder Elemente dieses Beitrags wurden unter Zuhilfenahme von KI generiert bzw. erstellt und inhaltlich noch einmal auf Richtigkeit überprüft.

Alle Internetquellen letzter Zugriff am 23. Juli 2025

Literaturverzeichnis

- [1] ICCO. (2025). ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. LI, No.1, Cocoa year 2024/25. Published 28/02/2025
- [2] Bermudez, S., Voora, V., Larrea, C., & Luna, E. (2022). Global Market Report: Cocoa prices and sustainability. The International Institute for Sustainable Development.
<https://www.iisd.org/system/files/2022-11/2022-global-market-report-cocoa.pdf>
- [3] Gassner, A., Dobie, P., Harrison, R., Vidal, A., Somarriba, E., Pythoud, F., Kumar, C., Laumonier, Y. and Chhatre, A. (2020). Making the post-2020 global biodiversity framework a successful tool for building biodiverse, inclusive, resilient and safe food systems for all. Environmental Research Letters, 15(10), 101001.
- [4] Oyekale, A. S. (2022). Determinants of Cocoa Farmers' Compliance with Agrochemical Safety Precautions in Ogun and Osun States, Nigeria. Toxics, 10(8).
<https://doi.org/10.3390/toxics10080454>
- [5] UNDP. (2021). Farmers adopt environmentally friendly practices to boost cocoa production. United Nations Development Programme (UNDP), Ghana.
<https://www.undp.org/ghana/stories/farmers-adopt-environmentally-friendly-practices-boost-cocoa-production>
- [6] Voora, V., Bermudez, S., & Larrea, C. (2019). Global market report: Cocoa. Sustainable commodities marketplace series 2019. The International Institute for Sustainable Development, Winnipeg.
- [7] Bymolt, R., Laven, A., & Tyszler, M. (2018). The importance of cocoa. In Demystifying the Cocoa Sector: Ghana and Côte D'Ivoire (24: 1, 132–143). The Royal Tropical Institute (KIT).

- [8] Gassner, A. and Dobie, P. eds. (2022). *Agroforestry: A primer*. CIFOR-ICRAF.
- [9] Vaast, P., & Somarriba, E. (2014). Trade-offs between crop intensification and ecosystem services: the role of agroforestry in cocoa cultivation. *Agroforestry Systems*, 88(6), 947–956. <https://doi.org/10.1007/s10457-014-9762-x>
- [10] Evenson, R.E. and Gollin, D. (2003). Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, 300(5620), 758–762.
- [11] M'Bo, K. A. A, Akobe, L. J., Goli, S., Bene, Y, Apshara, A. E., Kouame, C. (2022). Stability of productivity parameters of six cocoa clones [*Theobroma cacao* (Malvaceae)] during the main production season in Côte d'Ivoire. *African Journal of Agricultural Research*, 18(6), 399–406. <https://doi.org/10.5897/AJAR2022.15947>
- [12] Parra-Paitan, C., Meyfroidt, P., Verburg, P. H., & zu Ermgassen, E. K. H. J. (2024). Deforestation and climate risk hotspots in the global cocoa value chain. *Environmental Science and Policy*, 158(May), 103796. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2024.103796>
- [13] Mensah, E. O., Ræbild, A., Asare, R., Amoatey, C. A., Markussen, B., Owusu, K., Asitoakor, B. K., & Vaast, P. (2023). Combined effects of shade and drought on physiology, growth, and yield of mature cocoa trees. *Science of the Total Environment*, 899(July), 165657. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165657>
- [14] Ariza-Salamanca, A. J., Navarro-Cerrillo, R. M., Quero-Pérez, J. L., Gallardo-Armas, B., Crozier, J., Stirling, C., de Sousa, K., & González-Moreno, P. (2023). Vulnerability of cocoa-based agroforestry systems to climate change in West Africa. *Scientific Reports*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37180-3>
- [15] Bunn, C., Lundy, M., Läderach, P., & Castro, F. (2017). Global climate change impacts on cocoa. 2017 International Symposium on Cocoa Research (ISCR), November, 13–17.
- [16] Anning, A. K., Ofori-Yeboah, A., Baffour-Ata, F., & Owusu, G. (2022). Climate change manifestations and adaptations in cocoa farms: Perspectives of smallholder farmers in the Adansi South District, Ghana. *Current Research in Environmental Sustainability*, 4(June), 100196. <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100196>
- [17] Niether, W., Glawe, A., Pfohl, K., Adamtey, N., Schneider, M., Karlovsky, P., & Pawelzik, E. (2020). The effect of short-term vs. long-term soil moisture stress on the physiological response of three cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Plant Growth Regulation*, 92(2), 295–306. <https://doi.org/10.1007/s10725-020-00638-9>
- [18] Benjamin, C.S., Dias, L.A., Martins, S.C., Aucique-Perez, C.E. and Rosmaninho, L.B., 2025. Unlocking the potential of cacao yield with full sun cultivation. *Scientific Reports*, 15(1), p.4368.
- [19] ICCO. (n.d.). 'Growing Cocoa'. International Cocoa Organization website. Retrieved January 31, 2025, from <https://www.icco.org/growing-cocoa/> ICCO. (2025). ICCO Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. LI, No.1, Cocoa year 2024/25. Published 28/02/2025
- [20] Daymond, A. J., Mendez, D. G., Hadley, P., Bastide, P., Abdoellah, S., Acheampong, K., Amores-Puyutaxi, F. M., Anher, D., & Konan, D. C. (2022). A Global Review of Cocoa Farming Systems. Project Funded by the International Cocoa Organisation (ICCO) and the Swiss Foundation of the Cocoa and Chocolate Economy.
- [21] World Bank. (2023). Ghana average precipitation. World Bank Group. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ghana/climate-data-historical>

- [22] Asitoakor, B. K., Asare, R., Ræbild, A., Ravn, H. P., Eziah, V. Y., Owusu, K., Mensah, E. O., & Vaast, P. (2022). Influences of climate variability on cocoa health and productivity in agroforestry systems in Ghana. *Agricultural and Forest Meteorology*, 327(October), 109199. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109199>
- [23] Afele, J. T., Agbenyega, O., Barnes, V. R., Amisah, S., Acheampong, E., Owusu, V., Anokye, J., Asante, R., Opoku, S., Laten, E., & Danquah, E. (2024). Understanding and addressing climate change impacts on cocoa farming in Ghana. *Environmental Challenges*, 14 (August 2023), 100823. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100823>
- [24] IPCC. (2023). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 1-34. https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf
- [25] Trisos, C. H., Adelekan, I. O., Totin, E., Ayanlade, A., Efitre, J., Gemed, A., Kalaba, K., Lennard, C., Masao, C., Mgaya, Y., Ngaruiya, G., Olago, D., Simpson, N. P., & Zakielde, S. (2022). Africa. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1285–1455). Cambridge University Press, UK. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.011>
- [26] Adombila, M. A. (2024). Ghana cocoa output is half of average with harvest almost complete. Reuters, July 17, 2024. <https://www.reuters.com/markets/commodities/ghana-cocoa-output-is-half-average-with-harvest-almost-complete-2024-07-16/>
- [27] Niether, W., Jacobi, J., Blaser, W. J., Andres, C., & Armengot, L. (2020). Cocoa agroforestry systems versus monocultures: A multi-dimensional meta-analysis. *Environmental Research Letters*, 15(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb053>
- [28] Läderach, P. (2011). Predicting the Impact of Climate Change on the Cocoa-Growing Regions in Ghana and Côte d'Ivoire. *International Center for Tropical Agriculture (CIAT)*, 1–26.
- [29] Asante, P.A., Rahn, E., Anten, N.P., Zuidema, P.A., Morales, A. and Rozendaal, D.M. (2025). Climate change impacts on cocoa production in the major producing countries of West and Central Africa by mid-century. *Agricultural and Forest Meteorology*, 362, p.110393.
- [30] Castellanos, E., Lemos, M. F., Astigarraga, L., Chacón, N., Cuví, N., Huggel, C., Miranda, L., Vale, M. M., Ometto, J. P., Peri, P. L., Postigo, J. C., Ramajo, L., Roco, L., & Rusticucci, M. (2022). Central and South America. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 1689–1816). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.014>
- [31] Lee, H., Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P., Trisos, C., Romero, J., & Aldunce, P. (2022). IPCC Sixth Assessment Report - Synthesis Report. In *Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2023.

- [32] Shaw, R., Luo, Y., Cheong, T. S., Halim, S. A., Chaturvedi, S., Hashizume, M., Insarov, G. E., Ishikawa, Y., Jafari, M., Kitoh, A., Pulhin, J., Singh, C., Vasant, K., & Zhang, Z. (2022). Asia. In H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.), *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (1457–1579). Cambridge University Press, UK.
<https://doi.org/10.1017/9781009325844.011>
- [33] Yamanaka, M. D., Ogino, S. Y., Wu, P. M., Jun-ichi, H., Mori, S., Matsumoto, J., & Syamsudin, F. (2018). Maritime continent coastlines controlling Earth's climate. *Progress in Earth and Planetary Science*, 5(1).
<https://doi.org/10.1186/s40645-018-0174-9>
- [34] Acheampong K, Hadley P, Daymond AJ (2013). Photosynthetic activity and early growth of four cacao genotypes as influenced by different shade regimes under West Africa dry and wet season conditions. *Expl Agric*, 49: 31–42.
- [35] Abou Rajab, Y., Leuschner, C., Barus, H., Tjoa, A., & Hertel, D. (2016). Cacao cultivation under diverse shade tree cover allows high carbon storage and sequestration without yield losses. *PLoS ONE*, 11(2), 1–22.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149949>
- [36] Arévalo-Gardini, E., Farfán, A., Barraza, F., Arévalo-Hernández, C.O., Zúñiga-Cernades, L.B., Alegre, J. and Baligar, V.C. (2021). Growth, physiological, nutrient-uptake-efficiency and shade-tolerance responses of cacao genotypes under different shades. *Agronomy*, 11(8), p.1536.
- [37] Anderson, CM., Bicalho, T., Wallace, E., Letts, T., and Stevenson, M. (2022). *Forest, Land and Agriculture Science-Based Target-Setting Guidance*. World Wildlife Fund, Washington, DC.

Impressum / Herausgeber, Redaktion und Rückfragen:

Lebensmittelchemisches Institut (LCI) des Bundesverbandes der Deutschen Süßwarenindustrie e. V.
Dr. Frank Heckel (V.i.S.d.P.) · Adamsstraße 52-54 · 51063 Köln,
Tel. (0221) 623 061 · E-Mail: lci-koeln@lci-koeln.de

oder Rückfragen an:

:relations Gesellschaft für Kommunikation mbH
Kuhgasse 9 · 63571 Gelnhausen
Tel. (06051) 4 90 84 - 11 · E-Mail: NadW@relations.de