

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Fakultät Life Sciences

Klimawandel und Lebensmittelsicherheit – Erntestrategien zur Minderung von Mykotoxinen in
Getreide

Bachelorarbeit

Ökotrophologie (B.Sc.)

vorgelegt von

Maibritt Krause

■■■■■

Hamburg

Am 03. April 2023

Gutachter: Prof. Dr.

Katharina Riehn (HAW Hamburg)

Gutachter: Prof. Dr.

Stefan Lunkenbein (HAW Hamburg)

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis.....	IV
1	Abstrakt..... 1
2	Einführung..... 1
3	Theoretischer Hintergrund..... 3
3.1	Die Maispflanze..... 3
3.1.1	Aufbau der Maispflanze und dessen Bestäubung..... 3
3.1.2	Wachstums- und Entwicklungsstadien der Maispflanze..... 3
3.1.3	Anbaubedingungen..... 5
3.2	Mykotoxine..... 7
3.2.1	Was sind Mykotoxine?..... 7
3.2.2	Wie wird ihr Wachstum begünstigt?..... 8
3.2.3	Einteilung der Pilzinfektions-Phasen von Mais..... 9
3.2.4	In Mais vorkommende Aflatoxine.....10
3.2.5	Der Klimawandel und die Aflatoxin-Produktion.....10
3.2.6	AFB1 - Verdauung und Toxizität.....11
3.3	Auswirkungen des Klimawandels auf Kenia.....13
3.3.1	Agroklimatische Zonen Kenias.....13
3.3.2	Sich verändernde Niederschlags- und Temperaturmuster.....15
3.3.3	Auswirkung auf die Maiserträge.....17
3.3.4	Auswirkung auf die sozioökonomische Lage.....17
3.4	AFB1-Kontamination von kenianischem Mais.....19
3.5	Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern.....22
3.5.1	Studienlage.....22
3.5.2	Vorerntepraktiken.....22
3.5.3	Erntepraktiken.....23
3.5.4	Nacherntepraktiken.....24
4	Methodik.....27
4.1	Methodik der Studie (PICOR-Schema).....27
4.2	Verwendete Datenbanken und Limitationen der Literatursuche.....28
4.3	Der Prozess der Literaturrecherche.....30
5	Ergebnisse.....34
5.1	Erhebungsdaten von intervenierenden Vor- und Nacherntestudien.....34

5.2	Studie Nr. 1.....	35
5.2.1	Feldintervention	35
5.2.2	Lagerintervention	36
5.3	Studie Nr. 2.....	38
6	Diskussion	40
6.1	Methodendiskussion	40
6.1.1	Methodik des theoretischen Hintergrundes	40
6.1.2	Methodik bei der Beantwortung der Forschungsfrage.....	41
6.2	Ergebnisdiskussion.....	42
6.2.1	Bewertung des aktuellen Forschungsstandes.....	42
6.2.2	Studie Nr. 1.....	42
6.2.3	Studie Nr. 2.....	44
6.2.4	Nationales und internationales Aflatoxin-Management in Kenia	45
7	Schlussfolgerung	47
8	Rechtsquellenverzeichnis	48
9	Literaturverzeichnis	48
10	Anhang.....	56
10.1	Erntepraktiken kenianischer Maisbauern	56
10.2	Eidesstattliche Erklärung.....	62

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Maispflanze in dem Stadium der physiologischen Reife	3
Abbildung 2: Vergleich der Durchschnittstemperaturen zwischen dem Jahr 2020 und dem Zeitraum 1981-2012	15
Abbildung 3: Vergleich des jährlichen durchschnittlichen Niederschlags zwischen dem Jahr 2020 und dem Zeitraum 1981-2012	16
Abbildung 5: Search-Flow-Chart.....	32
Abbildung 6: Vorkommen (in %) von Aspergillus-Sektion Flavi in den Maiskörnern der verschiedenen Beimpfungsbehandlungen und der Kontrolle nach der Ernte und in den verschiedenen Lagerstadien.....	36
Abbildung 7: Durchschnittlicher AFB1-Gehalt (in µg/kg) der Maiskörner der verschiedenen Beimpfungsbehandlungen und der Kontrolle nach der Ernte und in den verschiedenen Lagerstadien.....	37

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wachstums- und Entwicklungsstadien von Mais modifiziert nach (Nleya et al. 2019).....	3
Tabelle 2: Temperaturschwellenwerte für die wichtigsten physiologischen Prozesse der Maispflanze in verschiedenen phänologische Phasen modifiziert nach (Sánchez et al. 2014).....	5
Tabelle 3: Wasserverbrauchsraten für die Maispflanze in den verschiedenen Wachstumsphasen modifiziert nach (Solaimalai et al. 2021).....	6
Tabelle 4: Auswirkungen der Dürre auf den Maisertrag in verschiedenen Entwicklungsphasen modifiziert nach (Solaimalai et al. 2021).....	7
Tabelle 6: Agroklimatische Zonen Kenias und deren landwirtschaftliche Nutzung modifiziert nach (Kogo et al. 2021).....	14
Tabelle 7: Wahrscheinliche sektorale Auswirkungen in Kenia der durch den Klimawandel auftretenden Überschwemmungen und Dürren modifiziert nach (Marigi 2017).....	18
Tabelle 8: Übersicht über Studien, die AFB1-Gehalte von kenianischen Mais erheben.....	19
Tabelle 10: Angewendetes PICOR Schema.....	27
Tabelle 11: Genutzte Datenbanken und Limitationen der Literatursuche für Kapitel 3.4 und 3.5.....	28
Tabelle 12: Genutzte Datenbanken für die Beantwortung der Forschungsfrage.....	29
Tabelle 13: Limitationen der Literatursuche für die Beantwortung der Forschungsfrage.....	29
Tabelle 14: Für das Kapitel „3.4 AFB1-Kontamination von kenianischem Mais“ verwendete Suchanfragen	30
Tabelle 15: Für das Kapitel „3.5 Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern“ verwendete Suchanfragen	30
Tabelle 16: Suchstrategietabelle für die systematische Literaturrecherche für die Beantwortung der Forschungsfrage.....	31
Tabelle 17: Ergebnisse der systematischen Literatursuche nach dem PICOR Schema.....	34
Tabelle 18: Vorkommen von <i>Aspergillus</i> ssp. (in %) in Abhängigkeit des Jahres, der Hybridart und der Pflanzendichte modifiziert nach (Krnjaja et al. 2019).....	39
Tabelle 19: Durchschnittlicher Aflatoxin B1-Gehalt (in µg/kg) in Abhängigkeit des Jahres, der Hybridart und der Pflanzendichte modifiziert nach (Krnjaja et al. 2019).....	40
Tabelle 9: Vorernte-, Ernte- und Nacherntepraktiken kenianischer Maisbauern	56

1 Abstrakt

Studien zu Folge werden Mykotoxine durch den Klimawandel vermehrt in Getreide vorkommen (van der Fels-Klerx et al. 2016; Battilani et al. 2016). In hohen Dosen kann das Mykotoxin Aflatoxin B1 tödliche Wirkung haben, in geringen Dosen über längeren Zeitraum zur chronischen Toxizität führen (Munkvold et al. 2019). Es wird untersucht, welche Vorernte-, Ernte- und Nacherntestrategien gezielt die Aflatoxin B1-Kontamination der Mais-Rohware der *Zea mays* reduzieren können, die in Zukunft von kenianischen Maisbauern adaptiert werden könnten. Mittels systematischer Literaturrecherche wurden Studien, welche diese Fragestellung untersuchen, gesammelt. Dazu wurden studienintern die AFB1-Gehalte in $\mu\text{g}/\text{kg}$ der Kontroll- mit den Interventionsgruppen verglichen. In der Datenbank ScienceDirect wurden englische, peer-reviewed, frei oder nicht frei verfügbare Forschungsartikel aus dem Veröffentlichungszeitraum 2018 bis 2022 gesucht. Durch atoxigene *A. flavus* Stämme beimpfter Mais wies zum Zeitpunkt der Ernte und der drei- und sechsmonatigen Lagerung einen signifikant geringeren durchschnittlichen AFB1-Gehalt auf. Der durchschnittliche AFB1-Gehalt war in beimpften und unbeimpftem Mais in hermetischen Säcken nach 3 und 6 Monaten Lagerung signifikant geringer (Zanon et al. 2022). Maispflanzen, die mit einer Pflanzendichte von 64 000 oder 75 000 Pflanzen/ha gepflanzt wurden, wiesen einen signifikant höheren durchschnittlichen AFB1-Gehalt auf jener mit der Pflanzendichte von 55 000 Pflanzen/ha (Krnjaja et al. 2019). Institutionen Kenias ergriffen in Vergangenheit Initiativen zum Aflatoxin-Management und interagierten mit internationalen Organisationen und Forschungseinrichtungen. Flächendeckend muss der Bedarf kenianischer Maisbauern ermittelt und durch Schulungen und Hilfsgüter unterstützt werden.

2 Einführung

Mykotoxine sind toxische sekundäre Stoffwechselprodukte von Pilzen (Pleadin et al. 2019). Diese kontaminieren auf globaler Ebene 60% bis 80% der Grundnahrungsmittel, ein Viertel dieser weisen eine Kontamination auf, die über die gesetzlichen Grenzwerte hinausgehen (Eskola et al. 2020). Studien quantitativer Abschätzungen, die den zukünftigen Effekt des globalen Klimawandels auf die Mykotoxinkontamination von Getreide überprüfen, kommen zum Ergebnis, dass in Zukunft eine erhöhte Mykotoxinkontamination von Getreide durch die Folgen des Klimawandels erwartet werden kann (van der Fels-Klerx et al. 2016; Battilani et al. 2016). Mais ist in Ostafrika für circa 132 Millionen Menschen ein Grundnahrungsmittel, durch das sie den Großteil ihres Kalorienbedarfs decken. Shirima et al. weisen auf, dass der tägliche Maiskonsum in dieser Region mit der vorherrschenden Mykotoxin-Belastung der dort lebenden Bevölkerung in Verbindung steht (Shirima et al. 2013). Aflatoxine sind die Sekundärmetaboliten der Spezies *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* und

der Gattung *Penicillium* (El-Sayed et al. 2022). Sie weisen unter den Mykotoxinen mitunter die größte akute Toxizität und Kanzerogenität auf (Munkvold et al. 2019). Viele Studien, die die Aflatoxinkontamination von Mais aus verschiedenen Regionen Kenias untersuchten, kamen zu dem Ergebnis, dass hohe Anteile der untersuchten Proben die gesetzlichen Grenzwerte von 10µg/kg für Gesamtaflatoxin und 5µg/kg für Aflatoxin B1 überschritten (Sirma et al. 2016; Kiarie et al. 2016; Mutiga et al. 2015; Mutiga et al. 2014; Sirma et al. 2018). Shepard schätzte die tägliche Exposition unter der Annahme eines 60 kg schweren erwachsenen Kenianers, der 233 Gramm Mais pro Tag mit einer mittleren Kontamination von 17 ng/kg, konsumiert bei einer Exposition von 66 ng/kg Körpergewicht/Tag ein (Shephard 2008). Eines der Mykotoxingruppe der Aflatoxine ist das Aflatoxin B1 (AFB1). Dieses kommt im Rahmen der natürlichen Kontamination am häufigsten vor (Munkvold et al. 2019). Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stuft das Aflatoxin B1 als bekanntes Karzinogen der Gruppe 1 ein. (Ostry et al. 2017). In hohen Dosen kann das Aflatoxin B1 tödliche Wirkung haben und in geringen Dosen über längeren Zeitraum zur chronischen Toxizität führen (Munkvold et al. 2019). AFB1 ist eines der stärksten Leberkarzinogene. Schätzungen zu Folge ist AFB1 Ursache für 28% der weltweiten Leberkarzinom-Fälle (Liu und Wu 2010). Studien zeigen ebenfalls, dass das Mykotoxin Ursache für Unterernährung (Vries et al. 1990), Wachstumsstörungen (Gong et al. 2002; Turner et al. 2007) sein und immunsupprimierende Wirkung haben kann (Adhikari et al. 1994).

Studien weisen auf, dass sowohl Vorernte- als auch Nacherntepraktiken die Mykotoxin-Anreicherung von Mais wirksam reduzieren können (Chulze 2010; Mahuku et al. 2019). Aufgrund der weit verbreiteten Exposition der kenianischen Bevölkerung gegenüber Aflatoxin B1 in Mais und dessen starker Toxizität, welche schwerwiegende Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit haben kann, soll in dieser systematischen Literaturrecherche untersucht werden, welche Vorernte-, Ernte- und Nacherntestrategien gezielt die Aflatoxin B1-Kontamination von Mais reduzieren können, die in Zukunft von kenianischen Maisbauern adaptiert werden könnten.

3 Theoretischer Hintergrund

3.1 Die Maispflanze

3.1.1 Aufbau der Maispflanze und dessen Bestäubung

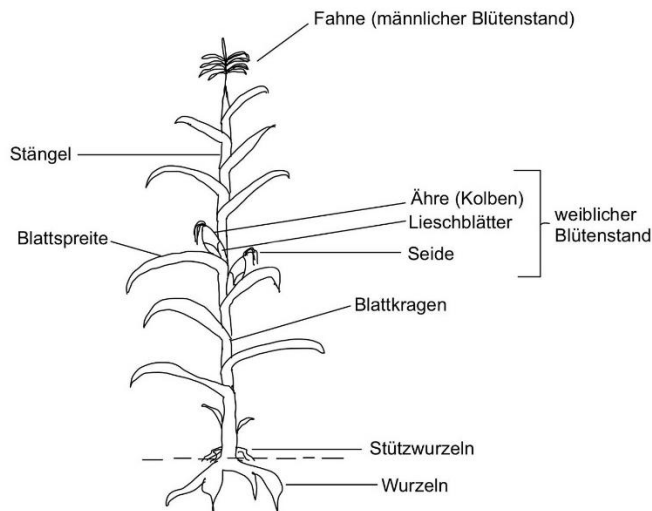


Abbildung 1: Schematischer Aufbau einer Maispflanze in dem Stadium der physiologischen Reife modifiziert nach (Awata et al. 2019)

Aus dem oberen Teil der Hauptähre der Fahne, des männlichen Blütenstandes, wird der Pollen aus den herangereiften Staubbeuteln abgeworfen. Dieser Vorgang geschieht in der Regel ein bis zwei Tage vor der Bildung der „Seide“ des weiblichen Blütenstandes. Die Verteilung des Pollens gelingt durch Luftströmungen, wodurch dieser in zwei Wellen in zwei aufeinander folgenden Tagen auf die weiblichen Blüten, der Seide, gelangt. Anschließend erfolgt die Befruchtung der weiblichen Pflanze. Der darauf folgende Prozess der Kernentwicklung dauert circa 40 bis 50 Tage (Vincent und Leszek D. 2001).

3.1.2 Wachstums- und Entwicklungsstadien der Maispflanze

Allgemein können nach Ritchie et al., wie in Tabelle 1 dargestellt, die Wachstumsstadien der Maiskulturpflanze in vegetative und reproduktive Stadien unterteilt werden (Ritchie et al. 1986):

Tabelle 1: Wachstums- und Entwicklungsstadien von Mais modifiziert nach (Nleya et al. 2019)

Vegetative Stadien		Reproduktive Stadien	
VE	Erscheinen	R1	Seidenstadium
V1	Erster Blattkragen	R2	Korn-Blasen-Stadium
V2	Zweiter Blattkragen	R3	Korn-Milch-Stadium
V3	Dritter Blattkragen	R4	Korn-Teig-Stadium
V(n)	n. Blattkragen	R5	Korn-Dellen-Stadium
VT	Vollständige Fahnenbildung	R6	Physiologische Reife

Die vegetativen Stadien beginnen mit dem VE-Stadium (engl. Emergence), in dem die Koleoptile, das Schutzorgan des ersten aufgehenden Blattes, die Oberfläche des Bodens durchdringt und in Erscheinung tritt. Die weiteren vegetativen Stadien sind numerisch nach der Anzahl der Blätter, welche über einen Kragen verfügen, bis zur Bildung der Fahne (VT), nummeriert. Der sogenannte Blattkragen ist die Stelle, wo das Blatt sich vom Stamm der Pflanze trennt. In dem Fahnenstadium VT (engl. Tasseling), in dem die Fahne, der männliche Blütenstand, vollständig ausgebildet wird, hat die Maispflanze ihre maximale physiologische Größe erreicht. Die Seide hat sich in diesem Stadium noch nicht aus der Ähre des weiblichen Blütenstandes gebildet (Ritchie et al. 1986).

Die Fortpflanzungsperiode der Pflanze beginnt mit dem Seidenstadium R1. Bei diesem bildet jedes unentwickelte Korn eine eigene Seide aus. Diese treten aus der Schale der Ähre hervor und fangen jenen Pollen ein, der von der Fahne abgeworfen wurde. Die Pollen befruchteten nun innerhalb eines Tages die Eizellen der weiblichen Ähre, aus denen sich schließlich die Körner bilden. Trockene und heiße klimatische Bedingungen können zu dem Austrocknen der Seide und dem Absterben der Pollen führen, was eine verminderte Befruchtung nach sich zieht. In Kernblasenstadium R2 bilden sich zehn bis 14 Tage nach der Seidenbildung die Körner aus, welche anfangs eine blasse weiße Farbe aufweisen und dem Aussehen von kleinen Bläschen entsprechen. Die Seide beginnt während des Stadiums auszutrocknen und verfärbt sich braun. Mit der Einleitung der Phase der Kernfüllung, startet die Ansammlung von Stärke in den Körnern. Die Feuchtigkeit der Kerne liegt bei 85%. Zusätzliches durch etwa Niederschläge oder Überschwemmungen auftretendes Wasser kann während dieses Stadiums oder danach zu Krankheiten in Korn und Stängel führen. Das Korn-Milch-Stadium R3 tritt nach circa 22 Tage nach Seidenbildung ein. Durch die Zellausdehnung und die Akkumulation von Stärke im Korn, nimmt dieser an Größe zu. Zusätzlich verfärben sich die Körner meist gelb, das Innere des Korns enthält eine Flüssigkeit von einer weißen milchigen Konsistenz. Der Feuchtigkeitsgehalt des Korns liegt in diesem Stadium bei 80%. Durch klimatische Bedingungen induzierter Stress kann in dieser Phase das Gewicht und die Größe der Pflanze vermindern. In dem Kern-Teig-Stadium R4 ändert sich die Konsistenz der milchartigen Flüssigkeit zu einer klebrigen, weichen Masse. Das Gewicht der Körner entspricht etwa der Hälfte, welches sie bei ihrer vollen Reife erreichen. Ebenfalls verändert sich die Farbe des Kolbens zu einem rosa bis hellroten Ton. In dem Stadium bilden sich um den Maiskolben vier embryonale Blätter aus und die Körner verfügen über einen Feuchtigkeitsgehalt von circa 70%. In dem Kern-Dellen-Stadium R5 sind die meisten Kronen der Körner eingedrückt. Der Feuchtigkeitsgehalt in diesem Stadium ist auf etwa 55% reduziert worden. Die physiologische Reife tritt circa 55 bis 66 Tage nach der Seidenbildung ein. Das Maximum des Trockengewichtes der Körner wird in diesem Stadium erreicht. Der Feuchtigkeitsgehalt der Körner sinkt weiter auf 30% bis 35%. Der Kern beinhaltet, bis auf seine Spitze, ausgehärtete Stärke und erscheint von außen durchgehend gelb. Nur Ährenkrankheiten oder Insektenfraß können den Kornertrag in diesem Stadium beeinflussen (Ritchie et al. 1986).

3.1.3 Anbaubedingungen

Die Tabelle 2 stellt Temperaturschwellenwerte für die wichtigsten physiologischen Prozesse des Maiswachstums dar.

Tabelle 2: Temperaturschwellenwerte für die wichtigsten physiologischen Prozesse der Maispflanze in verschiedenen phänologische Phasen modifiziert nach (Sánchez et al. 2014)

Phänologische Phase	Durchschnittstemperatur (°C)		
	T _{min}	T _{opt}	T _{max}
Aussaat bis VE	10.0±2.2	29.3±2.5	40.2±2.1
Aussaat bis VT	9.3±2.7	28.3±3.8	39.2±0.6
R1	7.7±0.5	30.5±2.5	37.3±1.3
R2	8.0±2.0	26.4±2.1	36.0±1.4
Gesamte Pflanze	6.2±1.1	30.8±1.6	42.0±3.3
Legende			
T _{min} : Temperaturminimum; T _{opt} : optimale Temperatur ; T _{max} : Temperaturmaximum; VE: VE-Stadium (Erscheinen); VT: VT-Stadium (vollständige Fahnenausbildung); R1: Seidenstadium; R2: Korn-Blasen-Stadium			

Je nach Entwicklungsstadium reagiert die Maispflanze unterschiedlich auf die Umgebungstemperatur. In den reproduktiven Stadien ist die Pflanze beispielsweise weniger temperaturempfindlich als in vegetativen Stadien. Bei Temperaturen zwischen 21°C und 32°C ist die Entwicklungsrate der Maispflanze am schnellsten. Maximale Maiserträge sind auf Tagestemperaturen von 24-30°C zurückzuführen (Serna-Saldivar 2019).

Temperaturen unter 4,4°C reduzieren die Fotosynthese der Pflanzen. Wie in Tabelle 2 zu sehen ist, stellt für die ausgewachsene Pflanze 6,2±1.1 °C der minimale Grenzwert dar. Hoher Temperaturstress während der Ähren- und Kornbildung reduziert die Maiserträge. Im Regenfeldbau beginnt der Hitzestress bei dem Übersteigen von Lufttemperaturen von 32,3°C während der Phase der Fahnenausbildung (VT), der Seidenbildung (R1) und dem Kornfüllstadium (R2) (Solaimalai et al. 2021).

Die Lichtaufnahme der Kulturpflanzen kann durch deren Pflanzungsdichte auf dem Feld reguliert werden. Der optimale Lichtindex (Anzahl der Pflanzen pro ha/ Reihenabstand) beträgt durchschnittlich 150 für große späte Sorten, und 500 für die kleinen frühen Sorten. Die Bodenfruchtbarkeit und Wasserversorgung sind Faktoren, auf die die Aussaatdichte angepasst werden sollte (Maize, o. D.).

Die Mais-Kulturpflanze ist mit vielen Böden kompatibel. Optimal für ihr Wachstum ist allerdings ein gut durchlüfteter und durchlässiger Boden, welcher das Auftreten von Staunässe verhindert, eine mittlere Schwere aufweist und ausreichend organische Nährstoffe aufweist. Mais benötigt in etwa bis zu 60 bis 100 kg/ha Kalium, 50 bis 80 kg/ha Phosphor und 200 kg/ha Stickstoff. Bei gegebener Bodenfruchtbarkeit kann die Kulturpflanze kontinuierlich angebaut werden. Da ohne äußere Einwirkung der Nährstoffvorrat schnell auf das Existenzminimum sinkt, ist eine zusätzliche Anwendung von Dünger für die Sicherung der Erträge notwendig. Für den Anbau von Mais ist ein pH-Wert im

Bereich von 5,0 bis 8,0 günstig. Der pH-Wert von 6,0 ist jedoch das Optimum (Maize, o. D.; Verheye 2010).

Während der Wachstumsphase benötigt eine Maispflanze normalerweise 50 bis 55cm Wasser. Die benötigte Wassermenge hängt von dem jeweiligen Entwicklungsstadium der Maispflanze ab (Solaimalai et al. 2021). Tabelle 3 zeigt die Wasserverbrauchsrate der Maispflanze abhängig von ihrem Wachstumsstadium.

Tabelle 3: Wasserverbrauchsrate für die Maispflanze in den verschiedenen Wachstumsphasen modifiziert nach (Solaimalai et al. 2021)

Wachstumsstadium	Wasserverbrauchsrate (cm/Tag)
Vor V12	<0,50
V12	0,60
Frühes VT Stadium	0,70
R1	0,75
R2	0,65
R3	0,60
R5	0,50
Spätes R5 Stadium	0,45
Legende V12: 12. Blattkragen; VT: Vollständige Fahnenbildung; R1: Seidenstadium; R2: Korn-Blasen-Stadium; R3: Korn-Milch-Stadium; R5: Korn-Dellen-Stadium	

Wie in Tabelle 3 zu sehen ist, hat die Pflanze während des Stadiums der Seidenbildung ihren höchsten Wasserverbrauch. Durch starke Niederschläge kommt es zur Überflutung von Böden, welche abhängig von dem Stand der Entwicklung der Pflanze unterschiedlich schwere Schäden verursachen kann. In der Pflanze wird überwiegend dadurch Stress ausgelöst, indem deren Wurzelsystem durch die Überschwemmung an nicht genügend Sauerstoff gelangt. Je weiter die Pflanze in ihrer Wachstums- und Entwicklungsphase fortgeschritten ist, desto toleranter ist sie gegenüber diesen Überflutungen. Maispflanzen, welche in den frühen Wachstumsphasen, vor dem Stadium des sechsten Blattkragens, stehen, können eine Überflutung nicht länger als 5 bis 6 Tage überleben. Jene, die sich bereits in dem sechsten bis achten Blattkragenstadium befinden, überleben eine Überflutung für circa eine Woche oder länger. Weitere Folgen einer starken Überflutung bei Pflanzen höherer Wachstumsstadien ist die steigende Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung, ein verringertes Wurzelwachstum und -entwicklung. Ein Wurzelschaden wirkt sich am stärksten vor und nach der Bestäubung des weiblichen Blütenstandes auf den Ertrag aus. Dazu ist die Nährstoffaufnahme der Pflanze aus einer stark mit Niederschlägen gesättigten Erde deutlich verringert. Der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens muss mengenmäßig den Verdunstungsbedarf der Pflanze decken. Die Verdunstung einer Pflanze hat die Funktion, ihre Temperatur zu regulieren und weitere elementare physiologische Prozesse zu erhalten. Der Verdunstungsbedarf ist im Allgemeinen bei Klima, welches zugleich heiß, trocken, sonnig und windig ist, höher (Solaimalai et al. 2021).

Folgende Tabelle 4 zeigt die Auswirkung von Dürre, welche durch das „Welken an vier aufeinander folgenden Tagen“ sichtbar ist, auf den Ertrag der Maiskulturpflanze in verschiedenen Entwicklungsphasen (Solaimalai et al. 2021):

Tabelle 4: Auswirkungen der Dürre auf den Maisertrag in verschiedenen Entwicklungsphasen modifiziert nach (Solaimalai et al. 2021)

Entwicklungsstadien	Ertragsminderung (%)
Frühes vegetatives Stadium	5-10
VT	10-25
R1	40-50
R2	30-40
R4	20-30
Legende VT: Vollständige Fahnenbildung; R1: Seidenstadium; R2: Korn-Blasen-Stadium ; R4: Korn-Teig-Stadium	

Befindet sich die Pflanze in einer der späteren vegetativen Phasen, weist sie eine höhere Toleranz gegenüber Dürre auf. Im Vergleich dazu ist diese in dem Zeitraum der Bestäubung sehr empfindlich, hier kann Dürre zu schwerwiegenden Ernteverlusten führen. Eine Dürre während des R2 Stadiums hat eine geringere Auswirkung auf den Ernteertrag. Auch der Mangel an Wasser kann zu einer verminderten Nährstoffaufnahme führen, da durch die trockene Erde erschwert Nährstoffe, natürlich in der Erde vorkommend oder durch Dünger appliziert, von der Pflanze aufgenommen werden können (Solaimalai et al. 2021).

3.2 Mykotoxine

3.2.1 Was sind Mykotoxine?

Das Wort „Mykotoxin“ leitet sich von den griechischen Wörtern „mykes“ (Pilz) und „toxikon“ (Gift) ab, es bedeutet also so viel wie Pilzgift. Mykotoxine sind sekundäre Stoffwechselprodukte von Pilzen (El-Sayed et al. 2022). Primäre Stoffwechselprodukte liefern dem Pilz für das Überleben notwendige Substanzen. Diese werden aus Kohlenstoff-, Nitrat- und anorganischen Salzquellen, sowie Wasser verstoffwechselt. Sekundäre Stoffwechselprodukte sind nicht essentiell für Wachstum und Vermehrung eines Pilzes. Der Sekundärstoffwechsel ist lediglich eine Reaktion auf äußere Umwelteinflüsse (Fleurat-Lessard 2017; Miller 1995; Magan und Lacey 1984a, 1984b). Die Pilzgattungen, die am häufigsten mit der Entstehung von Mykotoxinen in Verbindung gebracht werden, sind Fusarium, Aspergillus und Penicillium (Coppock und Dziwenka 2014).

Zwei Hauptgruppen, die den biologischen Ursprung im Kontext der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion der Mykotoxine beschreiben, sind die Feld- und Lagermykotoxine. Mykotoxine, die vorwiegend auf dem Feld produziert werden, sind vor allem von der Gattung Fusarium produzierte

Myktoxine wie Zearalenon (Zea), Deoxynivalenol (DON), T-2/HT-2-Toxine und Fumosine (Desjardins et al. 2003). Mykotoxine, die hauptsächlich während der Lagerung produziert werden, sind Aflatoxine, welche durch Gattungen wie *Aspergillus flavus*, *A. parasiticus*, *A. nomius* und *Penicillium* hergestellt werden und Ochratoxine, welche unter anderem Mykotoxine der Pilzgattungen *Aspergillus penicillium*, *A. ochraceus*, *P. nordicum* und *P. verrucosum* sind. Mykotoxine haben pathogene Wirkung auf Wirbeltiere, andere wirbellose Tiergruppen sowie Pflanzen und Mikroben (Desjardins et al. 2003).

Bezüglich ihrer Toxizität können Mykotoxine in drei Gruppen aufgeteilt werden. Zu der ersten Gruppe zählen alle stark toxischen Mykotoxine, die in Mengen $< 1\text{mg/kg}$ Körpergewicht eine tödliche Wirkung haben. Gruppe zwei umfasst hochtoxische Mykotoxine wie Aflatoxin B1 und Trichothecene, die bei einem Verzehr von 1 bis 10mg/kg Körpergewicht tödlich sein können. Alle anderen toxischen Mykotoxine werden der Gruppe drei zugewiesen, die in Mengen von mehr als 20mg/kg Körpergewicht tödlich wirken. Zu ihren pathogenen Wirkungen gehören unter anderem Karzinogenität, Immuntoxizität, Hepatotoxizität, Reproduktions- und Entwicklungstoxizität, Tetratogenität, Neurotoxizität, Nephrotoxizität und Verdauungsstörungen (Fleurat-Lessard 2017).

3.2.2 Wie wird das Mykotoxinwachstum begünstigt?

Das Ausmaß der Mykotoxinkontamination steht zum einen in unmittelbarer Beziehung zu den abiotischen Umweltfaktoren wie der Temperatur der Umgebung, der relativen Luftfeuchtigkeit und des Sauerstoffgehaltes, als auch zu dem Feuchtigkeitsgehalt, der Wasseraktivität, dem pH-Wert und der Zusammensetzung des Nährstoffsubstrats. Entscheidend ist auch der Zustand seiner physikalischen Beschädigung und der Frage der Anwesenheit von Schimmelsporen. Der Temperaturbereich zwischen 20°C und 30°C ist für die meisten Mykotoxine optimal. Die ideale Wasseraktivität liegt über einem Wert von 0,7. Das Schimmelpilzwachstum ist relativ pH-Wert tolerant, ausgenommen sind jedoch stark saure oder alkalische Substrate (Desjardins et al. 2003). Die Schimmelbildung und deren Wachstum wird durch eine höhere Feuchtigkeit der Böden, der Getreidepflanzen und ihrer Beschädigung erhöht. Die Feuchtigkeit der Getreidekörner wird durch den Grad der Feuchtigkeit während der Ernte, durch die Belüftung des Getreides und deren Durchlüftung vor und nach der Ernte bestimmt. Das Schimmelpilzwachstum steht auch im Zusammenhang mit den Stoffwechselreaktionen anderer Mikroorganismen und Insekten. Eine Mykotoxinkontamination auf dem Feld kann agrartechnisch durch eine höhere Pflanzendichte, geringes Unkrautmanagement und monokulturellen Anbau hervorgerufen werden. Bezüglich der Erntepraxis birgt eine mechanische Ernte in Umgebungen mit höherer Feuchtigkeit größere Gefahren der Mykotoxinkontamination, da diese Art der Ernte eine höhere Wahrscheinlichkeit der physischen Beschädigung des Maiskorns aufweist. Auch

bei der Lagerung muss beachtet werden, dass große Lagerhallen zu einer wahrscheinlicheren Vermischung von kontaminiertem und nicht kontaminiertem Getreide führt (Pleadin et al. 2019).

3.2.3 Einteilung der Pilzinfektions-Phasen von Mais

Während der Maisproduktion gibt es drei Phasen, in denen Mykotoxine entstehen können: Vor der Ernte, während der Ernte und Trocknung und nach der Ernte. Zu den toxigenen Pilzen, die Mais auf dem Feld infizieren, die „Feldpilze“, gehören überwiegend *Fusarium*-Arten. Die „Feld-Pilze“ wachsen während der Ernte und Trocknung weiter und produzieren Mykotoxine. Während der Lagerung wird ihre Produktion aber meistens durch den geringen Feuchtigkeitsgehalt limitiert. *Aspergillus*- und *Penicillium*-Arten zählen bezüglich Mais zu den „Lagerpilzen“. Die Infektion von Maiskörnern mit diesen Gattungen findet während der Ernte und Trocknung statt, wenn diese durch mechanisches Einwirken einem physischen Schaden unterzogen werden. Die Einteilung in die Feld- und Lagerkategorie kann jedoch nicht mit vollständiger Eindeutigkeit vorgenommen werden (Munkvold et al. 2019), da es Lagerpilzgattungen wie *Aspergillus*, beispielsweise *Aspergillus flavus*, gibt, die Kornfäule bei der Maispflanze auf dem Feld verursacht (Smith und White 1988). Genauso kann die Lagerpilzgattung *Fusarium* bei hohem Feuchtigkeitsgehalt im gelagerten Mais vorkommen (Munkvold et al. 2019)

Eine genauere Einteilung toxigener Pilze, welche diese in ihr Kontaminationsverhalten gegenüber Pflanzen in verschiedenen Stadien des Produktionsprozesses beschreibt, definierte Miller. Dieser teilte die toxigenen Pilze in vier Gruppen ein: Zum einen in die Gruppe der aggressiven Pflanzenkrankheitserreger, wie zum Beispiel *Fusarium gramineum*. Des Weiteren in die Gruppe der Pflanzenkrankheitserreger, welche die Pflanzen nur im immunsupprimierten Zustand, aufgrund von Krankheit, Stress oder Alter, infizieren und Mykotoxine produzieren. Beispiel hierfür sind *Aspergillus flavus* und *Fusarium verticillioides*. Die Gruppe drei der Pilze, welche die Pflanzen vor und während der Ernte infizieren und nach der Ernte die Folge für die Mykotoxinkontamination sind, ist beispielsweise *Aspergillus flavus*. Die Gruppe vier umfasst die im Boden und im verrottendem Pflanzenmaterial vorkommenden Pilze, welche dann später während der Lagerung Mykotoxine bilden. Hierzu zählen unter anderem *Penicillium verrucosum* und *Aspergillus ochraceus* (Miller 1995).

3.2.4 In Mais vorkommende Aflatoxine

Aflatoxine weisen unter den Mykotoxinen mitunter die größte akute Toxizität und Kanzerogenität auf. Sie sind die Sekundärmetaboliten der Spezies *Aspergillus flavus* und *A. parasiticus*. Zu der Mykotoxingruppe gehören Aflatoxin B1, B2, G1, G2 und M1. Im Rahmen der natürlichen Kontamination kommt Aflatoxin B1 (AFB1) am häufigsten vor (Ito et al. 2001; Desjardins et al. 2003). Aflatoxine werden zu den am stärksten in der Natur vorkommenden Leberkrebs fördernden Substanzen gezählt. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) stuft diese in die Gruppe eins der für Menschen bekannten Karzinogene ein (Munkvold et al. 2019). In hohen Dosen können Aflatoxine eine tödliche Wirkung haben, in geringeren Dosen zu chronischer Toxizität oder Krebs, besonders Leberkrebs, führen (Desjardins et al. 2003). Neben ihrer mutagenen Wirkung können sie ebenfalls eine teratogene und immunsuppressive Wirkung haben (D'Mello et al. 1997). Die Nukleinsäure- und Proteinbiosynthese wird durch die Gruppe der Mykotoxine unterdrückt, was bei vergifteten Tieren zur Wachstumshemmung und Läsionen der Leber führen kann. Dazu greift Aflatoxin bei verschiedenen Tierarten die Immunfunktion gegen Infektionen, welche durch Parasiten, Pilze oder Bakterien ausgelöst werden können, an. Beispielsweise wurden Ausbrüche von Salmonellose bei Schweinen mit Maisfutter, welches stark mit Aflatoxin kontaminiert war, in Verbindung gebracht. Eine chronische Aflatoxin-Exposition führt bei Tieren zu einer verminderten Futterraufnahme sowie -verwertung und damit zu einem Gewichtsverlust. Eine solche Exposition wirkt sich ebenfalls auf die Reproduktion der Tiere aus. Bei Kühen geht die Milchproduktion zurück, in der Geflügelindustrie die Eierproduktion. Diese Folgen stellen wichtige wirtschaftliche Auswirkungen dar. Menschen mit akuten Symptomen weisen das Krankheitsbild einer akuten Hepatitis auf. Zu diesem können leichtes Fieber, Gelbsucht, Durchfall, Anorexie, Depression und krankhafte Gewebsveränderungen der Leber gehören (Desjardins et al. 2003). Neben den Aflatoxinen kontaminieren hauptsächlich Fumonisine, Trichothecene, Zearalenon, Ochratoxine und Penicillium-Toxine Mais (Munkvold et al. 2019).

3.2.5 Der Klimawandel und die Aflatoxin-Produktion

Die Maislandwirtschaft Afrikas südlich der Sahara ist hauptsächlich durch Regenfeldbau, eine abschließliche Bewässerung durch natürliche Niederschläge, geprägt. Dies bedeutet eine unmittelbare Abhängigkeit der Maiskulturen gegenüber des Niederschlagsmusters (Nji et al. 2022). Neben Trockenheit sind weitere Faktoren, die zu geringen Erträgen führen, die niedrige Fruchtbarkeit des Bodens, Schädlinge, Unkräuter, Krankheiten und ungeeignetes Saatgut (Leggieri et al. 2021). Die durch den Klimawandel herbeigeführten Temperatur- und CO₂-Konzentrationserhöhungen sowie Trockenstress und Niederschlagsschwankungen wirken sich neben der Ertragsminderung auch auf die

Prävalenz des Schimmelpilzes *Aspergillus flavus* aus. Dieses veränderte klimatische Muster begünstigt das Pilzwachstum und die Sporenausbreitung, was sich wiederum auf das Maiswachstum auswirkt (Nleya et al. 2018; Ojiambo et al. 2018). Lang anhaltende Trockenheit stimuliert die Produktion des *A. flavus* von Aflatoxin vor, wie auch nach der Ernte (Kachapulula et al. 2017; Dövényi-Nagy et al. 2020). Kachapula et al. und Sirma et al. berichteten von höheren Aflatoxinwerten in Mais aus Zonen mit höheren Temperaturen und geringerem Niederschlagsaufkommen verglichen zu niederschlagsreicheren und kühleren Zonen (Kachapulula et al. 2017; Sirma et al. 2016).

3.2.6 AFB1 - Verdauung und Toxizität

Aflatoxin B1 wird enzymatisch in der Leber zu dem Karzinogen Aflatoxin B1-8,9-Exposid (AFBO) umgewandelt (Baertschi et al. 1988; Raney et al. 1992). Ein Isomer des AFBO kann aufgrund seiner starken elektrophilen Eigenschaft spontan mit biologischen Aminen aus Proteinen und Nucleinsäuren reagieren. Reagiert dieses mit der DNA, so verbindet es sich als Addukt mit der Nucleinbase Guanin. Das sogenannte AFB1-N7-Guanin-Addukt kann schlussendlich zur Karzinogenese führen (Iyer et al. 1994; Johnson und Guengerich 1997). Das Mykotoxin kann auch enzymatisch in verschiedene Hydroxylierungsprodukte wie Aflatoxin M1 (AFM1), Aflatoxin P1 (AFP1), Aflatoxin Q1 (AFQ1), Aflatoxicol (AFL), Aflatoxin B2a (AFB2a) und Aflatoxicol H1 (AFH1) umgewandelt werden. Von diesen hydroxylierten Stoffwechselprodukten hat das AFM1 die am stärksten kanzerogene Wirkung (Cullen et al. 1987). Da dieser Metabolit sich vermehrt in der Milch der Milchkuh und des Menschen befindet, ist die Exposition des Menschen durch die Ernährung weit verbreitet (Giovati et al. 2015). Weil AFM1 nach der AFB1-Aufnahme in höheren Konzentrationen vom Organismus mit dem Urin wieder ausgeschieden wird, ist der Metabolit ein Biomarker für die Exposition durch AFB1 (Ross et al. 1992).

Eine erhöhte Aufnahme von Aflatoxinen kann zu chronischen Leberschäden führen (Desjardins et al. 2003). Studien zeigten, dass Regionen Kenias und Ugandas mit hoher Leberkrebsinzidenz ebenfalls eine hohe Rate an mit Aflatoxin kontaminierten Lebensmitteln aufzeigen (Alpert et al. 1971; Peers und Linsell 1973). Studien haben ebenfalls festgestellt, dass die Synergie zwischen AFB1 und dem Hepatitis-B-Virus das Risiko für die Entwicklung eines Leberkarzinoms erheblich erhöht. Ebenfalls bestehen Hinweise über die synergetische Wirkung vom Hepatitis-C-Virus mit AFB1 (Sun et al. 1999; Ming et al. 2002; Kew 2003). Schätzungen zu Folge ist AFB1 Ursache für 28% der weltweiten Leberkarzinom-Fälle (Liu und Wu 2010). Aflatoxin B1 hat eine LD50 von 6,0mg/kg Körpergewicht bei Ratten, welche die Dosis über die Bauchhöhle verabreicht bekommen haben (Munkvold et al. 2019).

In Tierversuchen und Humanstudien wurde nachgewiesen, dass AFB1 Ursache für Wachstumsstörungen und Unterernährung sein kann. In verschiedenen afrikanischen Ländern an Kwashiorkor oder Marasmus erkrankte Kinder verfügten über höhere AFB1-Biomarker-Werte, wenn man diese mit gesunden Gleichaltrigen verglich (Vries et al. 1990). Studien zeigten, dass eine erhöhte AFB1 Exposition mit einer verminderten Mikronährstoffaufnahme in Verbindung steht. Ghanaer mit hohem AFB1-Albumin-Spiegel wiesen niedrigere Serumspiegel der Vitamine A und E auf (Obuseh et al. 2011; Tang et al. 2009). Ebenfalls wurde in Studien erhoben, dass AFB1 eine toxische Wirkung auf den Darm hat. Die Epithelzellen des Darms und dessen Struktur können durch die zellschädigende und proteinsynthese-hemmende Wirkung des AFB1 zerstört werden, was die Nährstoffaufnahme beeinträchtigt (Maresca und Fantini 2010; Smith et al. 2012). In Studien konnte ein enger Zusammenhang zwischen Darmerkrankungen und Unterernährung bei Kindern festgestellt werden, weshalb daraus geschlossen werden könnte, dass die toxische Wirkung des AFB1 auf den Darm ursächlich für das von dem Mykotoxin verursachte Symptom der Mangelernährung sein kann (Humphrey 2009; Ngure et al. 2014).

Ein großes Risiko für ein Kind, Wachstumsstörungen zu erleiden, ist die Exposition gegenüber AFB1 und dessen Metaboliten durch den fetalen Kreislauf während der Schwangerschaft (Rushing und Selim 2019). Studien bestätigen, dass AFB1-Metaboliten und Biomarker in Nabelschnurblut, Serum oder Muttermilch vorhanden sein können, was eine direkte Exposition des Fötus und neugeborenen Kindes mit AFB1 durch seine Mutter bedeutet (Ghianian und Maghsood 2012; Mahdavi et al. 2010; Sadeghi et al. 2009). Eine kenianische Studie mit 125 schwangeren Frauen erhob, dass Neugeborene, deren Mütter Aflatoxin-Biomarker im Blut aufwiesen, ein geringeres Geburtsgewicht aufwiesen (Turner et al. 2007). Die nach der Schwangerschaft anhaltende Exposition der Kinder sollte ebenfalls beachtet werden. In der Studie von Gong et al., welche 479 Kinder aus Benin und Togo einschloss, wurde erhoben, dass der AFB1-Albumin-Wert nach der Entwöhnung des Kindes von der Muttermilch nach mehr als 3 Jahren höher war als zuvor. Hier bestand eine signifikante negative Korrelation zwischen dem AFB1-Albuminwerte und dem Körpergewicht und der Körpergröße der Kinder (Gong et al. 2002). Nach einer erneuten Auswertung der Daten dieser Studie wurde festgestellt, dass in der Zeit der Umstellung von der Muttermilch zur festen Nahrung die AFB1-Albuminpiegel erheblich anstiegen, was mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit, kontaminierte Lebensmittel wie Mais zu verzehren, begründet sein könnte (Gong et al. 2003). Diese Erkenntnisse zeigen, dass der Zeitpunkt der Entwöhnung ein hohes Risiko für eine starke Aflatoxin-Exposition darstellt, weshalb die Ernährung des Kindes in diesem Zeitraum gut überwacht werden sollte (Rushing und Selim 2019).

Die immunsupprimierende Wirkung des AFB1 bei Mensch und Tier ist in vielen Studien erhoben worden (Rushing und Selim 2019). Adhikari et al. untersuchte in seiner Studie die Auswirkung von Aflatoxinen auf die Immunfunktion, indem er die Zahl der Infizierten und die Krankenhausaufenthaltsdauer zwischen Aflatoxin-positiven und -negativen Kinder aus Südafrika miteinander verglich,

wobei beide Gruppen an Kwashiorkor erkrankt sind. Die Ergebnisse zeigten, dass Aflatoxin-Biomarker aufweisende Kinder im Durchschnitt eine längere Krankenhausaufenthaltsdauer aufweisen und zum anderen eine höhere Anzahl an Infektionen während des Aufenthalts, wie z.B. Lungenentzündungen oder Durchfallerkrankungen, erlitten (Adhikari et al. 1994).

Wie eingangs in diesem Unterkapitel beschrieben, sind Menschen gegenüber dem stark kanzerogenen AFM1 durch den Verzehr von Kuh- oder Muttermilch exponiert, wenn die Kuh oder die Mutter mit AFB1 kontaminiertem Futter beziehungsweise Nahrung zu sich genommen haben (Giovati et al. 2015). Dabei sieht der Stoffwechselweg des von einer Milchkuh über Futter verzehrten AFB1 wie folgt aus: Zunächst nimmt die Milchkuh mit AFB1 kontaminiertes Futter auf. Im Pansen wird das AFB1 teilweise von Mikroben zu Aflatoxicol umgewandelt. Im Dünndarm wird das verbleibende AFB1, welches den Pansen unverändert passiert ist, von dem Dünndarm durch sein niedriges Molekulargewicht und seine lipophilen Eigenschaften relativ schnell absorbiert. Anschließend wird das Mykotoxin über die Pfortader zur Leber transportiert. Dort kann AFB1 unterschiedlichen Transformationswegen, der Reduktion, der Hydroxylierung, der Epoxidierung und Demethylierung unterlaufen (Yiannikouris und Jouany 2002). Bei diesen werden jeweils folgende Metaboliten gebildet: Aflatoxicol (Reduktion), AFM1 und Aflatoxin Q1 (Hydroxylierung), AFB1-8,9-Epoxid (Epoxidierung), und Aflatoxin P1 (Demethylierung). Bis auf Aflatoxin Q1 und P1, welche eine geringere Toxizität aufweisen, sind die anderen Metaboliten hoch toxisch (Wu et al. 2009). Sie werden hauptsächlich über die den Kot und den Urin ausgeschieden (Dohnal et al. 2014). AFM1 gelangt mit dem Blutstrom in die Brustdrüse des Tieres, wo es sich verteilt und in die Milch abgegeben wird (Caruso et al. 2009)

3.3 Auswirkungen des Klimawandels auf Kenia

3.3.1 Agroklimatische Zonen Kenias

Das Land Kenia entspricht einer Fläche von 582.646 km², welche aus 98,1% Landfläche und 1,9% Wasser besteht (Kogo et al. 2021). Wie in der Tabelle 6 zu sehen ist, kann das Klima des Landes in sieben agroklimatische Zonen eingeteilt werden, welche verschiedene Temperatur- und Niederschlagsmerkmale besitzen. Diese Zonen sind durch den Feuchtigkeitsindex klassifiziert, welcher das Verhältnis zwischen der jährlichen Niederschlagsmenge und der potenziellen Wasserverdunstung darstellt (Sombroek et al. 1982).

Tabelle 5: Agroklimatische Zonen Kenias und deren landwirtschaftliche Nutzung modifiziert nach (Kogo et al. 2021)

Zone	Klima-Klassifizierung	Feuchtigkeitsindex (%)	Durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge (mm)	Mittlere Jahrestemperatur (°C)	Landwirtschaftliche Eignung
I	Humid	<80	1100-2700	<10	Molkerei, Schafe, Tee, Zuckerrohr, Weizen und Mais
II	Subhumid	65-80	1000-1600	10-12	Weizen, Mais, Bohnen, irische Kartoffeln
III	Semihumid	50-65	800-1400	12-14	Bohnen und andere Hülsenfrüchte, Mais, Weizen, Baumwolle, Maniok
IV	Semihumid und semiarid	40-50	600-1100	14-16	Gerste, Baumwolle, Mais, Erdnuss, Sorghum
V	semiarid	25-40	450-900	16-18	Bohnen, Straucherbse, Süßkartoffeln, Sorghum, Hirse, Viehzucht
VI	arid	15-25	300-550	18-20	Viehzucht und Ackerbau nur unter Bewässerung
VII	Sehr arid	<15	150-350	20-30	Nomadentum

12% des Landes nehmen die Zonen I, II und III ein, welche durch hohen Niederschlag und Bodenfruchtbarkeit geprägt sind. Durch diese klimatischen Bedingungen ist der Anbau vieler Kulturen, wie Tee, Kaffee, Obst, Gemüse und Getreide, in diesen Zonen möglich (Biamah 2005). Die Zonen IV und V, welche ein semihumides bis semiarides Klima auszeichnet, sind circa mit einem zwanzigprozentigem Anteil in dem Land vertreten und in ihnen werden größtenteils Trockenkulturen wie Hirse und Sorghum produziert. Wegen der verminderten Feuchtigkeit ist die landwirtschaftliche Produktion häufiger durch Missernten geprägt. Den Großteil des Landes nehmen mit circa 68% die ariden Zonen ein, welche aufgrund der geringen und unzuverlässigen Niederschläge nicht für den Regenfeldbau geeignet und in dem der Ackerbau nur mit künstlicher Bewässerung erfolgreich betrieben werden kann (Kogo et al. 2021).

3.3.2 Sich verändernde Niederschlags- und Temperaturmuster

Das Klima Kenias wird durch seine geographische Lage, dass es in der Nähe zum Äquator, zur Intertropischen Konvergenzzone (ITCZ) und zum Indischen Ozean liegt, geprägt (Biamah 2005). Die saisonale Variabilität und Intensität der ITCZ ist ausschlaggebend für das Niederschlagsmuster des Landes. Die lange Regenzeit erstreckt sich in der Regel von März bis Mai und die kurze Regenzeit von Oktober bis Dezember. Die jährlichen mittleren Niederschläge liegen im Norden des Landes zwischen 200-300mm, im Zentrum und Südwesten des Hochlands erreichen sie bis zu 1400 mm (Kogo et al. 2021).

In dem Klimabericht des „Kenya Meteorological Department“ von 2020 wurden die Durchschnittstemperaturen und -niederschläge von 2020 mit denen des Zeitraums von 1981 bis 2012 verglichen. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, waren die durchschnittlichen Temperaturwerte des Jahres 2020 höher als die Durchschnittstemperaturen des Zeitraums 1981-2012. Die Temperaturabweichungen reichen von 0,35°C im April 2020 bis zu 1°C im August 2020. Die größte Abweichung besteht also in der kalten Jahreszeit (Nying`uro et al. 2021)

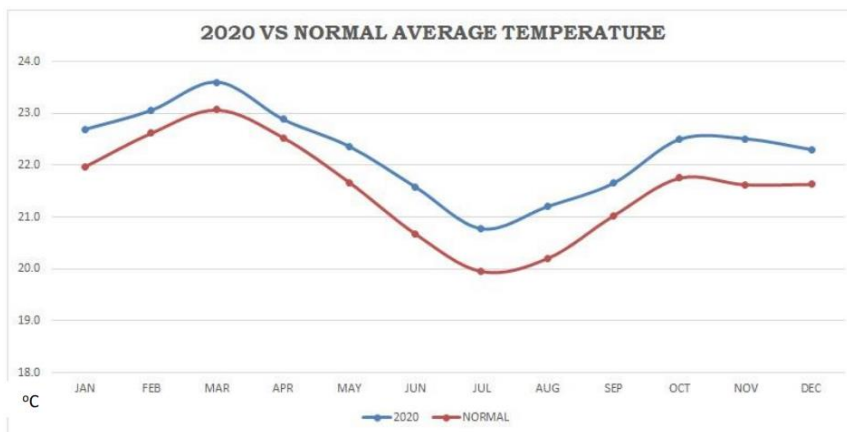


Abbildung 2: Vergleich der Durchschnittstemperaturen zwischen dem Jahr 2020 und dem Zeitraum 1981-2012 aus (Nying`uro et al. 2021)

Bei dem Vergleich der durchschnittlichen Niederschlagswerte zwischen dem Jahr 2020 und dem Zeitraum 1981-2012 verzeichnete sich im Januar 2020 eine Abweichung von bis zu 2500 mm. Die lange Regenzeit in Kenia von März bis Mai (MAM) war im Vergleich auch mit einem höheren Niederschlag, der den Langzeitdurchschnitt um ca. 200 mm übertraf, geprägt. In der kurzen Regenzeit zwischen Oktober und Dezember (OND) verzeichneten die Monate November und Dezember einen verminderten durchschnittlichen Niederschlag. November hatte einen geringeren durchschnittlichen Niederschlag von bis zu 400mm, Dezember von bis zu 1000mm (Nying`uro et al. 2021). Dies ist folgenden Abbildung 3 zu entnehmen:



Abbildung 3: Vergleich des jährlichen durchschnittlichen Niederschlags (in mm) zwischen dem Jahr 2020 und dem Zeitraum 1981-2012 aus (Nying`uro et al. 2021)

Aus diesen Daten kann ein klarer Trend des Temperaturanstiegs seit des langen Zeitraums von 1981 bis 2012 in 2020 verzeichnet werden. Ebenfalls lässt sich ein Trend des verstärkten Regenfalls in der langen Regenzeit und des verminderten Niederschlags in der kürzeren Regenzeit in 2020, verglichen zu den Langzeitmittelwerten, erkennen (Nying`uro et al. 2021).

Des Weiteren dokumentierte der Klimabericht klimatische Extremereignisse des Jahres 2020. In der kurzen Regenzeit (OND) wurden aufgrund der verminderten Niederschläge in einigen Bezirken des Landes Dürrezustände verzeichnet. Über die Bezirke Mandera, Wajir und Garissa wurde im Oktober 2022 die Warnstufe des Dürrestatus ausgerufen. Die Folge dieses klimatischen Zustandes war die akute Unterernährung der Bevölkerung in den Bezirken des ariden und semiariden Landes (ASAL). Das Niveau der Ernährungsunsicherheit in dem Zeitraum war auf dem niedrigsten Stand der letzten 15 Jahre (Nying`uro et al. 2021). Mit Blick in die jüngere Vergangenheit lässt sich feststellen, dass der zeitliche Abstand der auftretenden Dürren sich immer weiter verkürzt hat. Zwischen den Dürre-jahren 1964 und 1984 lagen zunächst 20 Jahre, zwischen 1984 und 1996 12 Jahre, zwischen den in 2004 und 2006 auftretenden Dürren lagen nur noch 2 Jahre und zwischen den Jahren 207 und 2012 traten jährlich Dürren auf (Kogo et al. 2021). Das Kenya Meteorological Department hat in diesem Jahr ebenfalls mehrere Überschwemmungen und Sturzfluten verzeichnet. Diese wurden durch starke Regenfälle hauptsächlich in der langen Regenzeit (MAM) ausgelöst (Nying`uro et al. 2021).

3.3.3 Auswirkung auf die Maiserträge

Die Studie von Mumo et al. untersucht die Beziehung zwischen der Klimavariabilität und des nationalen Maisertrages in Kenia. In dieser wurden die von dem Kenya Meteorological Department (KMD) erhobenen durch 33 im Land verteilte Wetter-Stationen meteorologischen Wetterdaten Kenias und die von dem kenianischen Landwirtschaftsministerium erhobenen jährlichen nationalen Daten des Maisertrags des Zeitraums 1979-2012 analysiert (Mumo et al. 2018).

Die maximale und minimale Temperatur der Oberflächenluft weisen in der Studie von Mumo et al. in den meisten Studienstandorten während der Maisanbausaison (während der Regenzeiten MAM und OND) im Untersuchungszeitraum einen ansteigenden Trend auf. Der Niederschlag weist dagegen in manchen Stationen einen sinkenden Trend auf. Die Analyse der meteorologischen Wetter- und Maisertragsdaten zeigen, dass in der langen Regenzeit ein abnehmender Trend des Niederschlags, jedoch bei einem nicht statistisch signifikanten Konfidenzniveau von 90%, besteht. Aus den tendenziell sinkendem Niederschlägen und den steigenden Temperaturen folgt ein begrenztes Pflanzenwachstum. Die steigenden Temperaturen führen zu einer verstärkten Evapotranspiration, der Wasserverdunstung von Pflanzen und von Boden- und Wasseroberflächen, sowie zu höheren Bodentemperaturen. Beide Folgen des Temperaturanstiegs ziehen die Reduktion der für die Pflanzenproduktion notwendige Bodenfeuchtigkeit nach sich. In den meisten Wetterstationen wurde ein Anstieg der Mindesttemperatur verzeichnet, was die Tagesdurchschnittstemperaturwerte erhöht und ebenfalls eine negative Auswirkung auf den Ertrag der Maiskultur hat. Die Mindesttemperatur stieg besonders während der kurzen Regenzeit in den meisten Stationen signifikant an. Aus den Maisertragsdaten des KMD konnte erhoben werden, dass der Maisertrag des Landes um 0,07 Tonne Hektar pro Jahr zurück geht. Im Vergleich dazu nimmt der globale Maisertrag mit einer Rate von 0,6 Tonnen Hektar pro Jahrzehnt zu. Die Studie führt diese Abnahme auf die in Kenia signifikant steigende Temperatur und die sinkenden saisonalen Niederschläge zurück (Mumo et al. 2018).

3.3.4 Auswirkung auf die sozioökonomische Lage

Überschwemmungen und Dürren haben laut der Vulnerabilitäts- und Wirkungsanalyse des Klimawandels in Kenia des American Journal of Climate Change die größten Auswirkungen auf die sozioökonomische Entwicklung des Landes (Marigi 2017). Tabelle 7 stellt dar, welche negativen Auswirkungen Überschwemmungen und Dürren auf die verschiedenen sozialen und wirtschaftlichen Sektoren haben können.

Tabelle 6: Wahrscheinliche sektorale Auswirkungen in Kenia der durch den Klimawandel auftretenden Überschwemmungen und Dürren modifiziert nach (Marigi 2017)

Sektor	Überschwemmungen	Dürre
Landwirtschaft und Ernährungssicherung	<ul style="list-style-type: none"> - Ernte- und Viehverluste durch starke Regenfälle und Überschwemmungen - begünstigter Ausbruch tödlicher Viehkrankheiten (Lungenentzündung, Rift Valley Fieber etc.) - Auslaugung, Unfruchtbarwerden der Böden. Physische Beschädigung der Ernte. Folglich geringere Erträge - Verschlammung von Gewässern, die zur Bewässerung oder als Viehtränke genutzt werden 	<ul style="list-style-type: none"> - totale Ernteausfälle oder geringere Erträge - Auftreten von Krankheiten, die nach Dürren mit anschließenden Regenfällen auftreten (z.B. Heerwurm) führt zu Ernteverlusten - schlechtes Weideland und somit unzureichendes Viehfutter - Viehverluste - die als Kompensation erhöhte Fischproduktion führt zu einer Überfischung
Wasser und aquatische Ökosysteme	<ul style="list-style-type: none"> - Schäden an der Wasserversorgungs- und Abwasserentsorgungsinfrastruktur - Überlaufende Dämme - Küstenerosion, verstärkte Verschlammung und Überflutung von Küstengebieten → negative Beeinträchtigung aquatischer Ökosysteme 	<ul style="list-style-type: none"> - Anstieg der Wasserkosten und längere Zeit der Zugänglichkeit - steigende Nachfrage an Bewässerungswasser, welche zu Konflikten führen kann - in Dämmen und Flüssen absinkender Wasserspiegel kann zu einer sinkenden Wasserqualität führen
Gesundheit, sanitäre Einrichtung, menschliche Besiedelung	<ul style="list-style-type: none"> - Nahrungsmittelknappheit beeinträchtigt die Gesundheit von Kindern - Auftreten von durch Wasser übertragbare Krankheiten nach Überschwemmung - Körperverletzung und Tod - Zerstörung der Infrastruktur, Wohnsiedelungen, Gesundheitseinrichtungen - Beeinträchtigung der psychischen Gesundheit 	<ul style="list-style-type: none"> - absinkender Wasserspiegel in Flüssen → sinkende Wasserqualität durch höheren prozentualen Anteil von Abwässern → erhöhtes Krankheitsrisiko - verringerte Nahrungsmittelproduktion → kann zu Hungersnöten führen → Zunahme von Unterernährung und Krankheiten wie der Protein-Energie-Mangelernährung
Energie und relevante Infrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> - Beschädigung des Stromnetzes durch umfallende Strommasten - Unterbrechung der Erdölproduktion und -verteilung z.B. für Koch-Gas - verstärkte Sedimentation kann zu Ausfällen in Kraftwerken führen → verringerte industrielle Aktivität - verminderte Biomasseproduktion von Pflanzen und Tieren 	<ul style="list-style-type: none"> - Geringere Wasserkrafterzeugung wegen des niedrigen Wasserstandes - durch den Strommangel kann es zu Einkommensverlusten der Industrien kommen - teurer Strom muss aus dem Ausland importiert werden
Terrestrisches Ökosystem (inklusive Forstwirtschaft und Tourismus)	<ul style="list-style-type: none"> - Zerstörung der von der Tourismusindustrie genutzten Infrastruktur - Schädigung von Ökosystemen, von denen der Tourismus abhängt (z. B. Korallenriffe) 	<ul style="list-style-type: none"> - Zunehmender Verlust von Bäumen durch Brände und Krankheiten - Dürreperioden schädigen die Tier- und Pflanzenwelt und schmälert dessen Attraktivität für Touristen

Bezüglich der Maisproduktion haben die durch den Klimawandel induzierten Überschwemmungen und Dürren direkte Auswirkungen auf den Landwirtschaftssektor. Beide kann die Maisernteerträge aufgrund verschlechterter agroklimatischer Bedingungen mindern. Eine Folge dieser können das Auftreten von Pflanzenkrankheiten sein, welche die betroffenen Pflanzen für den menschlichen

Verzehr unbrauchbar machen. Die geringeren Maiserträge durch Überschwemmungen und Dürreperioden können sich auf die Gesundheit der kenianischen Bevölkerung auswirken und zu Hungersnöten und Krankheiten der Mangelernährung führen (Marigi 2017).

3.4 AFB1-Kontamination von kenianischem Mais

Die Tabelle 8 fasst ausgewählte Studien zusammen, die den AFB1-Gehalt in kenianischen Mais erhoben haben. Sie beschreibt den Zeitraum und den Standort, an denen die Studien durchgeführt wurden. Ebenfalls definiert diese die Art und Anzahl der Maisproben sowie den Untersuchungszeitpunkt, wann diese für die AFB1-Analyse gesammelt wurden. Die Ergebnisse der AFB1-Kontamination werden jeweils als Vorkommen in % und als Mittelwert und Median in der Einheit $\mu\text{g}/\text{kg}$ dargestellt.

Tabelle 7: Übersicht über Studien, die AFB1-Gehalte von kenianischen Mais erheben

Nr.	Zeitraum	Studienstandorte	Produktart & Untersuchungszeitpunkt	Probenanzahl (n)	AFB1-Kontamination (in % und $\mu\text{g}/\text{kg}$)	Referenz
1	Zwischen 2009 und 2011	Ostkenia: Bezirke Embu, Makueni, Machakos Südwesten Kenias: Homabay, Migori und Kisii	Maisproben vom Feldern der Maiskleinbauern, im Reifestadium R6	n= 789	<u>Gesamt</u> V= 64,3% MW= 46,9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ME= 5,2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ <u>Östliche Region:</u> V: 65,9% MW= 67.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ME= 6.2 $\mu\text{g}/\text{kg}$ <u>Süd-westliche Region:</u> V=62,5% MW= 22,3 $\mu\text{g}/\text{kg}$ ME= 4.01 $\mu\text{g}/\text{kg}$	(Mahuku et al. 2019)
2	Juli-August 2013	Aus 38 Bezirken Kenias; 12 Bezirke Tansanias; von „Kleinbauern-Ständen“ und „Haushalten“	Maiskörner; während der Ernte oder einige Wochen später	<u>Kenia</u> n=471 <u>Tansania</u> n= 100	V= 29,4% ME= 4,775 $\mu\text{g}/\text{kg}$	(Temb a et al. 2021)
3	Mai und Dezember 2013	Ostkenia; Transekt zwischen Machakos und Kitui; Sammlung aus den „Haushalten“ der Kleinbauern;	Geschälte Maiskörner, für den sofortigen Verzehr 2 Monate nach Ernte	n= 50 <u>Ernte lange RZ</u> n= 25 <u>Ernte kurze RZ</u> n=25	Ernte lange RZ: V= 100% MW: 5,68 \pm 6,31 $\mu\text{g}/\text{kg}$ Ernte kurze RZ: V= 72% MW: 10,77 \pm 10,14 $\mu\text{g}/\text{kg}$	(Obonyo und Salano 2018)

4	November 2017	Von 57 lokalen Märkten aus 8 Bezirken der Provinzen Nyanza, Western und Rift Valley, Westkenia	Maiskörner; verschiedene Sorten und Saatgutart, verschiedene Herkunft (insgesamt aus 13 Bezirken)	<u>Westkenia</u> n= 204	n= 204 V= 80% 55% ≤ 5 µg/kg 25% > 5 µg/kg	(Ngure et al. 2021)
5	Juni-Juli 2018	Aus den Bezirken Siaya und Makueni	„Frisch“ geerntete Maiskörner, frisch gemahlenes Maismehl aus Haushalten von Kleinbauern	n=338 <u>gemahlen</u> n= 173 <u>Körner</u> n= 165	V= 97,1% MW=76,2 µg/kg ME= 59,3 µg/kg	(Nabwire et al. 2020)
6	kein Erhebungszeitraum genannt	Bezirke Meru, Embu, Isiolo, Makueni und Machakos in der östlichen Region Kenias	Trockenmais; Aus 29 Lagern der National Cereal and Produce Board, der Bezirksmärkte, der Einzelhandelsgeschäfte und der Bauerngeschäfte	n= 280	V= 100% MW= 50,08 ± 4,42 ng/g	(Jacob et al. 2020)
Legende: V= Vorkommen (in%); MW= Mittelwert (in µg/kg); ME= Median (in µg/kg); RZ= Regenzeit						

Ein Vergleich und daraus resultierende Schlussfolgerungen sind aufgrund des unterschiedlichen Forschungsdesigns und Ausführlichkeit der Methodenbeschreibung der Studien erschwerter zu ziehen. Ein Großteil der AFB1-Erhebungen aus kenianischen Maisproben sind schon älter und daher können sie den aktuellen Ist-Zustand nicht repräsentativ widerspiegeln. Jedoch können aus den Studienergebnissen ungefähre Tendenzen abgeleitet werden. In den Studien von Jacob et al., Mahuku et al. und Nabwire et al. weisen die Maisproben aus den Bezirken, die in der östlichen Regionen angesiedelt sind, vergleichsweise höhere AFB1-Kontaminationen auf (Jacob et al. 2020; Mahuku et al. 2019; Nabwire et al. 2020). In der Studie von Mahuku et al. waren Hybride und lokale Sorten gleich anfällig für das Mykotoxin, ebenfalls zeigten die AFB1-Gehalte, dass AFB1 schon vor der Ernte in der Pflanze vorhanden ist. Dies bestätigt die Wichtigkeit von Vorentmaßnahmen zur wirksamen Reduktion einer AFB1-Belastung (Mahuku et al. 2019). Temba et al. beobachteten, dass ein geringes Niederschlagsaufkommen in der frühen Vegetationsphase, als auch erhöhte Temperaturen in der späten Anbauphase mit erhöhter AFB1-Kontamination in Verbindung steht (Temba et al. 2021). Dies unterstreicht die These, dass die Klimavariabilität mit einem erhöhten AFB1-Kontamination zusammenhängt. Obonyo und Salano erhoben in ihrer Studie einen signifikant höheren Gehalt an AFB1 in Maisproben aus der kurzen Regenzeit im Vergleich zu jenen aus der langen Regenzeit (Obonyo und Salano 2018). Die Aussagen des Klimaberichtes des „Kenya Meteorological Department“, zitiert in Kapitel 3.3.2, zeigen, dass das Klima in der kurzen Regenzeit, wenn man die durchschnittliche Niederschlagsmenge des Zeitraums 1981-2012 mit dem des Jahres 2020 vergleicht, tendenziell

trockener wird, begleitet von einer steigenden durchschnittlichen Tagestemperatur (Nying`uro et al. 2021). Das klimatische Phänomen könnte ein beeinflussender Faktor dieser Studienergebnisse sein. In der Studie von Jacob et al. variierte der AFB1-Gehalt der Maisproben in den gleichen Lagertypen verschiedener Bezirke (Jacob et al. 2020). Der AFB1-Gehalt hängt jedoch von vielen Faktoren ab. Zum Beispiel von den Anbaubedingungen, der Erntetechnik, der Trocknung und weiteres. In dieser Studie sind keine ausführlichen Informationen über die Handhabungen vermittelt worden, deshalb kann auch nicht pauschal darauf geschlossen werden, dass der Lagertyp keinen Einfluss auf die AFB1 Anreicherung hat.

Der europäische Grenzwert für AFB1 bei Mais, welcher vorsortiert oder einer anderen physikalischen Behandlung unterzogen wurde, liegt bei $5\mu\text{g}/\text{kg}$ (Anhang Abschnitt 2, 2.1.6 & 2.1.7 VO (EG) Nr. 1881/2006). Der Grenzwert für Mais, der diesen Kriterien nicht entspricht liegt bei $2\mu\text{g}/\text{kg}$. Der Grenzwert der Vereinigten Staaten, für unter anderem Mais, liegt bei $20\mu\text{g}/\text{kg}$ (U.S. Food and Drug Administration Guidelines for Aflatoxin Levels, o. D.). Wenn man sich die Studien anguckt, welche den Median statistisch ausgewertet haben, so sieht man, dass die entweder knapp über oder unter dem gesetzlichen Grenzwert der EU liegen (Mahuku et al. und Temba et al.). Eine Ausnahme ist der hohe Median von Nabwire et al.. Die Studien von Mahuku et al., Nabwire et al. und Jacob et al. weisen relativ hohe AFB1 Mittelwerte zwischen circa 20 bis $75\mu\text{g}/\text{kg}$ auf. Die Studienergebnisse von Obony und Salano weisen etwas geringere Mittelwerte auf ($5\text{-}10\mu\text{g}/\text{kg}$). Hohe Mittelwerte bei deutlich geringeren Medianen, wie bei Mahuku et al. in Tabelle 8 zu sehen ist, können auf vereinzelte Ausreißer von Maisproben mit sehr hohen AFB1-Gehalten zurückzuführen sein. Vier von sechs Studien weisen ein Vorkommen von 80-100% auf, die beiden anderen Studien weisen ein AFB1-Vorkommen von 30% und 60% auf. Die sechs Studien repräsentieren nicht annähernd die AFB1-Kontaminationslage des Landes, es lässt sich jedoch die Tendenz schließen, dass das AFB1 in der Maiskultur relativ weit verbreitet ist.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die AFB1-Gehalte in der statistischen Größe des Medians um den Europäischen Grenzwert von $5\mu\text{g}/\text{kg}$ herum, tendenziell leicht darüber, liegen. Die Mittelwerte weisen höhere AFB1-Gehalte zwischen 20 bis $75\mu\text{g}/\text{kg}$ auf. Die in Zukunft klimabedingt weiter ansteigende AFB1-Kontamination von Mais macht es unbedingt notwendig, landwirtschaftliche Praktiken zur Reduktion des AFB1-Gehalts umzusetzen.

3.5 Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern

3.5.1 Studienlage

Tabelle 9, welche im Anhang 10.1 zu finden ist, gibt einen Überblick über Studien, welche die Vor- und Nacherntepraktiken von kenianischen Maisbauern, umfassen. Die Tabelle gibt den Zeitraum und die Art und Weise, wie die Daten der Erntepraktiken erhoben worden sind, an. Genauso wie den Standort und die Anzahl der Maisbetriebe. Ebenfalls werden zusammenfassend die angewandten Vor- und Nacherntepraktiken der Maisbauern in prozentualem Anteil dargestellt.

Im Folgenden wird auf die Vorernte- Ernte- und Nacherntepraktiken der verschiedenen Erhebungen eingegangen und ein Fazit aus diesen gezogen.

3.5.2 Vorerntepraktiken

Die Vorerntepraktiken umfassen alle Tätigkeiten von der Auswahl der Maissorte bis zur letzten Tätigkeit vor der Ernte.

Bei dem Vergleich der ausgewählten Studien zeichnet sich ein relativ heterogenes Bild von dem Trend des Maissortengebrauches der Maisbauern ab. In den einzelnen Studien bestehen unterschiedliche prozentuale Anteile der von den Maisbauern ausgewählten Maissorten, ob lokale bzw. traditionelle oder hybride Sorten, in den verschiedenen Bezirken des Landes und den verschiedenen Zeitpunkten der Erhebungen. In der Studie von Midega et al, der Erhebung von Herbst 2014 in Westkenia, nutzten 17,6% Maisbauern ausschließlich hybrides Saatgut (Midega et al. 2016). Njeru et al. erhoben im Frühjahr 2017 in Westkenia einen Hybridgebrauch von 34% (Njeru et al. 2019). Gachara et al. werteten aus dem Erhebungszeitraum Juni bis November 2021, ebenfalls in der westlichen Region Kenias, einen Hybrid-Gebrauch der Landwirte von 94,8% aus. In diesem Studiengebiet, dem Rift Valley, wird unter anderem Mais großflächig angebaut (Gachara et al. 2022). Es lässt sich vermuten, dass die Auswahl der Maissorte abhängig von dem Einkommen, dem landwirtschaftlichen Fachwissen, dem Grad der traditionellen Prägung der Landwirte ist, als auch die Zugänglichkeit hybrider und zertifizierter Maissorten, ist.

In nur zwei Studien, von Njeru et al. und Maina et al (2017), sind die Ackervorbereitungsmethoden erwähnt worden. Diese umfassten das Ochsen-Pflügen und das Pflügen mit der Handhacke (Njeru et al. 2019; Maina et al. 2017). Die in den Studien befragten Landwirte waren Kleinbauern. Die von den Maisbauern für das Pflügen genutzten Geräte stehen wahrscheinlich ebenfalls mit dessen Einkommen und der Größe der zu bewirtschaftenden Agrarfläche in Verbindung. Landwirte, die

größere Agrarflächen besitzen, über höhere Erträge und damit einen größeren finanziellen Gewinn verfügen, können sich vermutlich tendenziell teure maschinellen Erntegeräte leisten.

Nur Njeru et al., als auch Kang`ethe et al. stellten in ihren Studien den Anteil der Maisbauern dar, die Fruchtfolge betrieben, Njeru beschrieb ebenfalls den Anteil an Landwirten, die Zwischenfruchtanbau anwendeten. Njeru et al. berichteten, dass Maisbauern, welche Fruchtfolge praktizierten (ca. 28%), am häufigsten mit den Süßkartoffel-, Hirse-, Maniok-, und Erdnusskulturen rotierten. Für den Zwischenfruchtanbau verwendeten die Landwirte (73%) hauptsächlich Bohnen (Njeru et al. 2019). Kang`ethe et al. erhoben, dass insgesamt 21,7% der Maisbauern Fruchtfolge mit Leguminosen praktizierten (Kang`ethe et al. 2017). Die ausgewählten Studien bilden leider kein repräsentatives Bild von der aktuellen Lage der landwirtschaftlichen Anwendung von Fruchtfolge- und Zwischenfruchtanbau durch die kenianischen Maisbauern. In den beiden genannten Erhebungen wendete ein Anteil von circa 22-28% der Landwirte Fruchtfolge an. Laut Hell et al. steigert das Anwenden von Fruchtfolge den Nährstoffgehalt des Bodens und senkt den, durch Nährstoffmangel entstehenden, Nährstoffstress der Pflanze. Diese landwirtschaftliche Praxis senke ebenfalls das Risiko einer Vorernte-Kontamination durch toxische Pilze und somit jenes einer Mykotoxinkontamination von Mais (Hell et al. 2010). Aus diesen genannten Aspekten wäre ein höherer Anteil an kenianischen Maisbauern, welche Fruchtfolge anwenden, erstrebenswert.

Laut Kang`ethe et al. verwendete die Mehrheit der Landwirte der beiden Bezirke Bodenverbesserung in Form von Düngemittel und Tiermist. 81,9% (Makueni) und 79,7% (Nandi) verwendeten Düngemittel, 22% der Landwirte beider Bezirke wendeten eine Mischung aus Düngemittel und Mist an (Kang`ethe et al. 2017). In der Studie von Njeru et al. wendeten die Maisbauern ebenfalls sowohl organischen als auch mineralischen Dünger an. Zu den mineralisch genutzten Düngern gehören Diammoniumphosphat (43%) sowie Calcium-Ammonium-Nitrat (27%). Organisch düngten die Bauern mit Kompostdünger (32%) und Stalldünger (70%) (Njeru et al. 2019). In diesen beiden Studien, welche den Gebrauch und die Art des Düngers darstellten, düngte ein Großteil der Maisbauern ihre Acker für Maisproduktion entweder mit mineralischen oder organischen Dünger.

3.5.3 Erntepraktiken

Eine der ausgewählten Studien erhoben die Art und Weise, wie die Maisbauern den richtigen Erntezeitpunkt bestimmten. Maina et al. berichteten, dass 96,7% der Maisbauern den Zeitpunkt der Ernte visuell bestimmten. Hierbei wurde der Mais als erntereif befunden, wenn die Blätter begannen, auszutrocknen, sich die Farbe von grün zu gelb änderte, die Kolben anfangen, abzufallen und die Kronen der Körner Dellen bekamen. Nur 6,7% bestimmten den Erntezeitpunkt anhand der Anzahl vergangener Tage, seit dem die Pflanze gesät worden war (Maina et al. 2016).

Njeru et al erhoben, dass 50% der Landwirte den Mais auf dem Feld entstielten, um die Maiskolben dann von seinen Hüllblättern zu entfernen, zu trocknen und manuell zu schälen. 40% dagegen schnitten den Stamm mitsamt dem/der Kolben ab und stapelten diese auf dem Feld zum Trocknen auf und entspelzten und schälten den Mais dann hinterher manuell (Njeru et al. 2019). Ebenso verhält sich die prozentuale Aufteilung von den Ernterhebungen von Kang`ethe et al. in einem ähnlichen Rahmen. Hier ernteten in den beiden Bezirken Makueni und Nandi ebenfalls mit 42,5% und 48,7% circa die Hälfte der Landwirte den/die Kolben von dem Stamm der Maispflanze ab und die andere Hälfte mit jeweils 55,4% und 49,0% ernteten den Kolben mitsamt Stiel ab, um diese zum Trocknen auf dem Feld aufzustellen (Kang`ethe et al. 2017).

3.5.4 Nacherntepraktiken

Aufgrund der Vielzahl von Nacherntepraktiken werden diese im Folgenden in Vorbereitungspraktiken für die Einlagerung, Lagerungspraktiken und dem Schädlings- und Mykotoxinmanagement eingeteilt.

Die Vorbereitung des Einlagerns umfasst die Trocknung, das Aussortieren und das Schälen von Mais sowie das Entfernen von Fremdbesatz.

Kang`ethe et al. werteten in ihrer Erhebung aus, dass in den Bezirken Makueni und Nandi 60,7% und 72,4% der Landwirte die Maiskolben auf einer Plane trockneten. 39,1% und 37,6% ließen die Maiskolben auf dem Erdboden oder mitsamt des Stammes der Pflanze auf dem Feld trocknen (Kang`ethe et al. 2017). Koskei et al. erhoben, dass 100% der Landwirte ihre Maiskolben an der Sonne trocknen ließen, 39,8% davon auf einer Plane auf dem Boden. (Koskei et al. 2020). Makinya et al. berichteten, dass 76% der Landwirte ihren Mais vor der Lagerung trockneten. Ein Großteil auf Planen auf dem Boden (78,5%), 16,5% auf der bloßen Erde, 4,2% auf Betonböden und 0,8% auf dem Dach (Makinya et al. 2021). Aus den Ergebnissen der drei in diesem Absatz genannten Studien geht hervor, dass nicht alle befragten Maisbauern ihren Mais zur Trocknung auslegten und, dass die Trocknung unter verschiedenen Bedingungen stattfand. Einige Landwirte ließen den Mais auf der bloßen Erde trocknen, auf der dieser etlichen Mikroorganismen, unter anderem toxischen Schimmelpilzen, ausgesetzt sein kann.

Gachara et al. berichteten, dass die Mehrheit von 94,37% der befragten Maisbauern verfaulte, mechanische und durch Schädlingsfraß defekte, sowie verdorbene Maiskörner aussortierten, 5,64% nahmen jedoch keine Sortierung vor. Die Sortierung wurde von den Landwirten in verschiedenen Stadien vorgenommen. Einige sortierten den defekten Mais während des Trocknens aus, andere während der Lagerung (Gachara et al. 2022). Njeru et al. erhoben, dass ebenfalls die Mehrheit der Landwirte mit 95% verfaulte und anderweitig schlechte Maiskolben vor dem Schälen aussortierten, 5%

sortierten nicht aus (Njeru et al. 2019). Genauso wie Makinya et al., in deren Erhebung 90,4% der Maisbauern ihre Maiskörner auf Defekte untersuchten und diese aussortierten. In dieser Erhebung gab der Großteil (81,2%) jener an, Schimmelschäden auszusortieren. In absteigender prozentualer Menge sortierten die Landwirte laut ihrer Aussage ebenfalls Insektenschäden (47,6%), Nagetierschäden (28,8%) und Vogelschäden (19,4%) aus (Makinya et al. 2021). Die genannten Studienergebnisse zeigen den Trend, dass die Mehrheit der Maisbauern defekten Mais aussortierten. Keine genaue Angabe wurde jedoch zu den Sortierungskriterien gemacht, aus welchen auf die Gründlichkeit des Sortierens geschlossen werden könnte.

Kang'ethe et al. befragten die für ihre Studie ausgewählten Landwirte wie diese die Maiskörner von den Kolben lösten. In den Bezirken Makueni und Nandi schälten jeweils 11,4% und 14,6% der Landwirte die Maiskolben mit der Hand, 11,4% und 30,7% nutzten zum Schälen eine Maschine, 76,8% und 52,1% lösten die Maiskörner durch manuelles Schlagen der Maiskolben (Kang'ethe et al. 2017). Ein Großteil der Befragten von Makinya et al. gaben an, ihre Maiskolben durch Dreschmaschinen zu schälen. Ein kleinerer Anteil schälte den Kolben durch das manuelle Schlagen mit einem Stock auf die bloßen Maiskolben (4,7%) und auf mit Maiskolben gefüllte Säcke (10,8%), 2,3% schälten die Kolben händisch (Makinya et al. 2021). Die in den beiden Studien befragten Landwirte nutzen verschiedene Arten des Schälen von Mais. Wahrscheinlich kann die Anwendung verschiedener Schälinstrumente und Methoden auf das Einkommen der Landwirte, dessen landwirtschaftliche Ausbildung und die traditionelle Prägung zurückgeführt werden.

Makinya et al. gaben an, dass die Landwirte ihrer Aussage nach zu 82,5% vor der Einlagerung des Maises diesen von Fremdmaterial entfernten. 86,9% sortierten die Spreu aus, 32,6% entfernten Staub von der Ware, 9,9% Sand und 7,4% Maiskolben-Bruch. Dies taten 68,8% der Landwirte durch die sogenannte händische Windtrennung, bei der die Maiskörner samt Fremdkörper in die Luft geworfen werden, wobei leichtes Fremdmaterial durch den Wind weggeweht wird und das schwere Material wieder zu Boden fällt. 41,1% siebten den Fremdbesatz aus und 12,8% lasen diesen per Hand aus (Makinya et al. 2021).

Größtenteils haben die Maisbauern in den Studien ihre Maiskörner in Sisalsäcken und Polypropylensäcken gelagert (Gachara et al. 2022), (Maina et al. 2016), (Okioma et al. 2020), (Makinya et al. 2021). In nur zwei von zehn Studien wurde der Gebrauch von hermetischen oder PICS-Säcken erwähnt. Makinya et al. berichteten von einem relativ geringen Gebrauch (8,3%), Gachara et al. erhoben jedoch von einem bedeutend größerem Anteil (38,21%) genutzter hermetischer Säcke (Makinya et al. 2021), (Gachara et al. 2022). Baribusta und Njorge erhoben allerdings in ihrer Studie, dass der Gebrauch von hermetischen Lagertechnologien von kenianischen Landwirten in den Jahren anstieg (Baribusta und Njoroge 2020). Somit kann zukünftig mit einem Anstieg der Verwendung hermetischer Säcke durch kenianische Maisbauern gerechnet werden. Es kam aber auch vor, dass,

wenn auch in sehr geringen Anteilen, die Maisbauern ihr Maisgetreide ohne Behältnis direkt auf dem Boden ihres Wohnhauses oder traditionellen Lagereinrichtung lagerten (Gachara et al. 2022), (Okioma et al. 2020), (Makinya et al. 2021). Hierbei erhoben Edoh Ognakossan et al. in ihrer Studie, dass nahezu alle Maisbauern ihre Maiskörner in Säcken in verschiedenen Lagereinrichtungen einlagerten, wogegen unter 10% der Landwirte ihre Maiskolben zum Lagern einsackten (Edoh Ognakossan et al. 2016).

Die in den verschiedenen Behältnissen, größtenteils in Säcken, abgefüllte Maiskörner wurden von den Maisbauern hauptsächlich in traditionellen Getreidespeichern und ihren Wohnhäusern gelagert (Gachara et al. 2022), (Kang'ethe et al. 2017), (Maina et al. 2016), (Koskei et al. 2020), (Midega et al. 2016), (Edoh Ognakossan et al. 2016), (Makinya et al. 2021). Nur ein relativ geringer Anteil der Maisbauern lagerte seinen Mais in modernen Lagereinrichtungen (Koskei et al. 2020), (Midega et al. 2016), (Gachara et al. 2022).

In diesem Abschnitt wird von den erhobenen Praktiken der Reduktion von Aflatoxinen und Schimmelpilzen berichtet, sowie von den Insekten- und Nagetierbekämpfungsmaßnahmen der Maisbauern. Gachara et al. befragten die Landwirte ihrer Erhebung, welche Praktiken sie zu der Reduktion von Aflatoxinen vornahmen. 30,5% der Landwirte gaben an, dass sie zur Reduktion des Mykotoxins während des Trocknens defekte Maiskolben aussortierten und der gleiche prozentuale Anteil nutzte für eine effektive Reduktion hermetische Säcke. 17,8% wiesen darauf hin, dass sie eine verminderte Aflatoxin-Anreicherung durch ein gründliches Trocknen anstrebten. Die Lagerung an belüfteten Orten wurde von 16,4% der Landwirte als Reduktions-Praxis angewendet. Ansonsten wendeten 8,5% Herbizide vor der Lagerung an (Gachara et al. 2022).

Koskei et al. befragten die Maisbauern ihrer Studie welche Praktiken sie zur Reduktion einer Schimmelpilzkontamination anwendeten. 93,3% gaben an, ausschließlich komplett trockenen Mais zu lagern. 59,2% wendeten dazu vor der Lagerung Insektizide auf die Mais-Rohware an. Des Weiteren lagerten die Landwirte den Mais zur Reduktion der Schimmelpilzkontamination in Tontöpfen (34,1%), Metallsilos (30,6%), Plastik-Säcken(22,3%) und Plastikbehältern (12,4%)(Koskei et al. 2020).

Die meisten Maisbauern wendeten für die Kontrolle der Schädlinge chemische Insektizide an. Darauf folgt das Schädlingsmanagement durch traditionelle Kontrollmethoden wie Asche und ein sachgemäßes Lüften und Sonnentrocknen des Maisgetreides. Der prozentuale Anteil an Maisbauern, die kein Schädlingsmanagement unternommen, variierte stark, von knapp 1% bis circa 33%, zwischen den Studien (Midega et al. 2016), (Edoh Ognakossan et al. 2016), (Koskei et al. 2020). Edoh Ognakossan et al., die auch die Kontrollmethoden gegen Nagetiere erhoben, stellten dar, dass die Mehrheit der Maisbauern, um die 60%, Rodentizide und im geringeren Anteil Katzen zur

Bekämpfung der Nagetiere verwendet wurden. Ebenfalls wendeten circa ein Viertel bis ein Sechstel keine Kontrollmethoden an (Maina et al. 2016).

4 Methodik

4.1 Methodik der Studie (PICOR-Schema)

Das in der Tabelle 10 aufgeführte PICOR-Schema beschreibt die Vorgehensweise dieser systematischen Literaturrecherche. Es regelt folgende Fragen: Welche Population der Gegenstand der Recherche ist, welche Intervention in dieser Arbeit durchgeführt wurde, welcher Vergleich angestellt worden ist und an welchen Parametern dieser gemessen worden ist und wie das schlussendliche Ergebnis aussieht.

Tabelle 8: Angewendetes PICOR Schema

Population	Maisrohware der Maispflanze (<i>Zea mays</i>) in Form des Kolbens oder der geschälten Maiskörner
Intervention	Es wird mittels systematischen Literaturrecherche untersucht, welche Strategien vor, während und nach der Ernte der Maispflanze die AFB1-Kontamination der Mais-Rohware, in Form des Kolbens oder der Maiskörner, reduzieren können.
Comparison	Vergleich des Verlaufs der AFB1-Kontamination zwischen Mais aus Kenia und dem Mais aus Studien mit intervenierenden Vor- und Nacherntestrategien
Outcome	AFB1-Gehalt in $\mu\text{g}/\text{kg}$
Result	...

In dieser Arbeit wird mittels systematischen Literaturrecherche untersucht, welche Strategien vor, während und nach der Ernte die AFB1-Kontamination der Maisrohware in Kolben- oder Körnerform reduzieren kann. Die Fragestellung wird am Fallbeispiel der Maisproduktion in Kenia gestellt, um aus den Ergebnissen Lösungsansätze für diese zu formulieren. Zur Beantwortung dieser soll ein Vergleich zwischen dem Verlauf der AFB1-Kontamination von Mais aus Kenia und jenem in Mais aus Studien intervenierender Vor- und Nacherntepraktiken angestellt werden. Der Verlauf des AFB1 in Mais erstreckt sich idealer Weise von vor bis zu einer definierten Lagerzeit nach der Ernte und erfordert Probenahmen für die AFB1 Analyse zu diese Zeitpunkten. Es soll also verglichen werden, ob angewendete Vorernte-, Ernte- und Nacherntestrategien die AFB1-Kontamination von Mais wirksam reduzieren können, was durch den Vergleich des Verlaufs der AFB1-Konzentrationen in $\mu\text{g}/\text{kg}$ beurteilt wird.

4.2 Verwendete Datenbanken und Limitationen der Literatursuche

Die Darstellung der Kapitel 4.2 *Verwendete Datenbanken und Limitationen der Literatursuche* und 4.3 *Der Prozess der Literaturrecherche* sind in ihren Unterkapiteln jeweils in den theoretischen Hintergrund und die Beantwortung der Forschungsfrage unterteilt worden, da diese sich methodisch unterscheiden. Die Darstellung des methodischen Vorgehens der beiden Kapitel 3.4 *AFB1-Kontamination von kenianischem Mais* und 3.5 *Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern* aus dem theoretischen Hintergrund wurde vorgenommen, da diese beiden Kapitel zum einen zentrale Literatur über die AFB1-Kontaminationslage von Mais aus Kenia und die landwirtschaftlichen Praktiken kenianischer Maisbauern enthalten. Auf diese Literatur baut die Beantwortung der Forschungsfrage unmittelbar auf. Zum anderen war der Rechercheumfang somit auch größer als in den anderen Kapiteln des theoretischen Hintergrundes. Aus diesem Grund wurden die methodische Vorgehensweise dieser beiden Kapitel aus dem theoretischen Hintergrund transparent dargestellt.

Tabelle 9: Genutzte Datenbanken und Limitationen der Literatursuche für Kapitel 3.4 und 3.5

Auswahlkriterien (Limitationen)	
Datenbanken	Google Scholar, ScienceDirect
Veröffentlichungszeitraum	<i>Kapitel 3.4 AFB1-Kontamination von kenianischem Mais</i> <i>Kapitel 3.5 Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern: 2016-2022</i>
Publikationstyp	Forschungsartikel
Sprache	englisch
Verfügbarkeit	online frei oder nicht frei zugängliche Volltexte
Ansprüche an die Literatur	peer-reviewed

Neben ScienceDirect, welches über einen detaillierten Literaturfilter verfügt, wurde auch Google Scholar für eine höhere Trefferquote verwendbarer Literatur verwendet. Für das Kapitel 3.4 *AFB1-Kontamination von kenianischem Mais* ist ein Veröffentlichungszeitraum von 2018 bis 2022 festgelegt worden, für das Kapitel 3.5 *Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern* ein größerer von 2016 bis 2022. Der größere Veröffentlichungszeitraum wurde gewählt, damit möglichst viele passende Studien ausgewählt werden können, die eine breite Palette an Vor-, Ernte- und Nachernte-strategien aufweisen, um ein vollständigeres Bild abgeben zu können. Des Weiteren wurden nur englische Forschungsartikel, welche online frei oder nicht frei zugänglich sind, in die Suche eingeschlossen. Artikel englischer Sprache wurden eingeschlossen, da die Sprache führend in dem internationalen wissenschaftlichen Austausch ist. Für die Beantwortung der beiden Fragestellungen ist Forschungsartikeln gesucht worden, welche die jeweiligen Gegenstände der Fragestellungen erhoben, bewertet und diskutiert haben. Nicht frei zugängliche Artikel sind über das soziale Netzwerk „Research Gate“ angefragt worden, das Vorgehen erhöhte die Anzahl potenziell verwendbarer Literatur. Es wurden ebenfalls nur peer-reviewed Artikel in die Suche eingeschlossen, da eine

unabhängige Bewertung ein wichtiges Qualitätsmerkmal für wissenschaftliche Literatur ist. Die Datenbank ScienceDirect verfügt ausschließlich über peer-reviewed Artikel. Die Artikel, welche über Google Scholar gefunden worden sind, mussten aufgrund fehlenden Filter der Peer-Review-Eigenschaft einzeln darauf überprüft werden, ob deren veröffentlichende Fachzeitschriften das Peer-Review-Verfahren vor der Veröffentlichung der Artikel anwenden. Dies wurde durch eine Internetrecherche auf den Seiten der jeweiligen Fachzeitschriften überprüft.

Tabelle 10: Genutzte Datenbanken für die Beantwortung der Forschungsfrage

Datenbanken	Datenbankspezifischer Filter
ScienceDirect	Jahre: 2022-2018; Artikeltyp: Forschungsartikel; Fachgebiete: Agrar- und Biowissenschaften, Umweltwissenschaften

Für die Beantwortung der Forschungsfrage ist für die systematische Literaturrecherche ausschließlich die Datenbank ScienceDirect verwendet worden. Dies bot sich aufgrund des spezifischen Filters, der eine genauere Eingrenzung der Literatur ermöglichte, der Datenbank und dessen Peer-Review-Verfahren an. Aufgrund einer sehr hohen Trefferanzahl auf die verwendeten Suchanfragen wurden die Treffer durch den Filter der Datenbank weiter eingegrenzt. Hier wurden neben den in Tabelle 13 aufgezählten Limitationen zusätzlich das Fachgebiet eingegrenzt. Folglich sind bei der Suche nur Artikel aus den Fachgebieten der Agrar- und Biowissenschaften sowie der Umweltwissenschaften eingeschlossen worden.

Tabelle 11: Limitationen der Literatursuche für die Beantwortung der Forschungsfrage

Auswahlkriterien (Limitationen)	
Veröffentlichungszeitraum	2018 – 2022
Publikationstyp	Forschungsartikel
Sprache	englisch
Verfügbarkeit	online frei oder nicht frei zugängliche Volltexte
Ansprüche an die Literatur	peer-reviewed

Die Limitationen der Literatursuche für die Beantwortung der Forschungsfrage sind fast identisch zu denen der beiden Kapitel des theoretischen Hintergrundes. Für die Forschungsartikel der Vorernte-, Ernte- und Nachernteinterventionen wurde ein Veröffentlichungszeitraum von 2018-2022 festgelegt, um einen aktuelleren Stand der Forschung abzubilden. Die Literaturrecherche ist, wie in Tabelle 16 zu sehen ist, im Oktober 2022 erfolgt.

4.3 Der Prozess der Literaturrecherche

Die Tabellen 14 und 15 stellen für die jeweils genannten Kapitel des theoretischen Hintergrundes dar, mit welcher Datenbank, mit welchen Schlagwörtern und Booleschen Operatoren, an welchem Tag, welche Literatur erhoben worden ist, die in dieser Arbeit zitiert wurde.

Tabelle 12: Für das Kapitel „3.4 AFB1-Kontamination von kenianischem Mais“ verwendete Suchanfragen

Suchanfrage (Nr.)	Datenbank	Schlagwörter und Booleschen Operatoren	Datum	Anzahl verwendeter Literatur	Referenz
1	Google Scholar	(AFB1 OR aflatoxin B1) AND maize AND kenya	12.10.2022	5	(Obonyo und Salano 2018; Temba et al. 2021; Ngure et al. 2021; Jacob et al. 2020; Nabwire et al. 2020)
2	Google Scholar	agricultural (practices OR strategies) against (aflatoxin OR aflatoxin B1 OR mycotoxins) contamination of "maize" in "kenya"	12.10.2022	1	(Mahuku et al. 2019)

Tabelle 13: Für das Kapitel „3.5 Landwirtschaftliche Praktiken kenianischer Maisbauern“ verwendete Suchanfragen

Suchanfrage (Nr.)	Datenbank	Schlagwörter und Booleschen Operatoren	Datum	Anzahl verwendeter Literatur	Referenz
1	Google Scholar	(AFB1 OR aflatoxin B1) AND maize AND kenya	12.10.2022	2	(Gachara et al. 2022; Njeru et al. 2019)
2	Google Scholar	Management of maize farms in Kenya AND (mycotoxins OR aflatoxins)	14.10.2022; 17.10.2022	5	(Okioma et al. 2020; Midega et al. 2016; Koskei et al. 2020; Maina et al. 2016; Kang'ethe et al. 2017)
3	Google Scholar	Management of maize farms in Kenya	18.10.2022	1	(Edoh Ognakossan et al. 2016)
4	Google Scholar	(pre-harvest management OR cultivation systems) of (maize farms OR maize farmers) from kenya	20.10.2022	1	(Maina et al. 2017)
5	Google Scholar	(pre-harvest OR harvest OR post-harvest) agronomic practises of kenian	20.10.2022	0	

		(maize farms OR maize farmers)			
6	ScienceDirect	(pre-harvest OR post-harvest) (strategies OR approaches OR practises) to (mitigate OR reduce) (AFB1 OR aflatoxin B1 OR aflatoxins) in (corn OR maize)	01.11.2022	1	(Makinya et al. 2021)

Tabelle 16 bildet die Suchanfrage der in der Datenbank ScienceDirect eingegebenen Schlagwörter und Booleschen Operatoren und die damit erzielten Treffer ab. In beiden Suchanfragen sind die Schlagwörter „aflatoxins“, auf Deutsch Aflatoxine, gewählt worden. Die Forschungsfrage zielt auf die Reduktion des Mykotoxins Aflatoxin B1 und nicht auf die Reduktion des Gehalts der Gesamtsumme der Aflatoxine ab. Für den Fall, dass eine AFB1 Erhebung in einem Volltext aufgeführt wird, dessen Titel und Abstrakt nur mit dem Terminus des Aflatoxins benannt ist, wurde dieser Begriff zusätzlich neben dem des Mykotoxins „Aflatoxin B1“ und dessen Abkürzung „AFB1“ aufgezählt.

Die Abbildung 5 stellt in einem Search-Flow-Chart den Prozess der systematischen Literatursichtung dar. Nachdem die Suchanfragen aus Tabelle 16 in die Datenbank eingegeben worden sind, wurden zunächst die Titel auf ihre inhaltliche Eignung und auf Doppelungen gescreent. Nachdem Duplikate und thematisch unpassende Artikel ausgeschlossen worden sind, sind die Abstracts gescreent worden, weitere Artikel wurden hierbei ausgeschlossen. Die übriggebliebenen Artikel wurden auf die Eignung ihres Volltextes untersucht. Dieser Prozess wurde mithilfe von Excel dokumentiert.

Tabelle 14: Suchstrategietabelle für die systematische Literaturrecherche für die Beantwortung der Forschungsfrage

Suchanfrage (Nr.)	Datenbank	Schlagwörter und Booleschen Operatoren	Treffer	Datum
1	ScienceDirect	agricultural (mitigation OR reduction) (strategies OR practices) of (AFB1 OR aflatoxin B1 OR aflatoxins) in (maize OR corn) AND (cultivation OR harvest OR storage)	335	01.10.2022
2	ScienceDirect	(pre-harvest OR post-harvest) (strategies OR approaches OR practises) to (mitigate OR reduce) (AFB1 OR aflatoxin B1 OR aflatoxins) in (corn OR maize)	371	01.10.2022

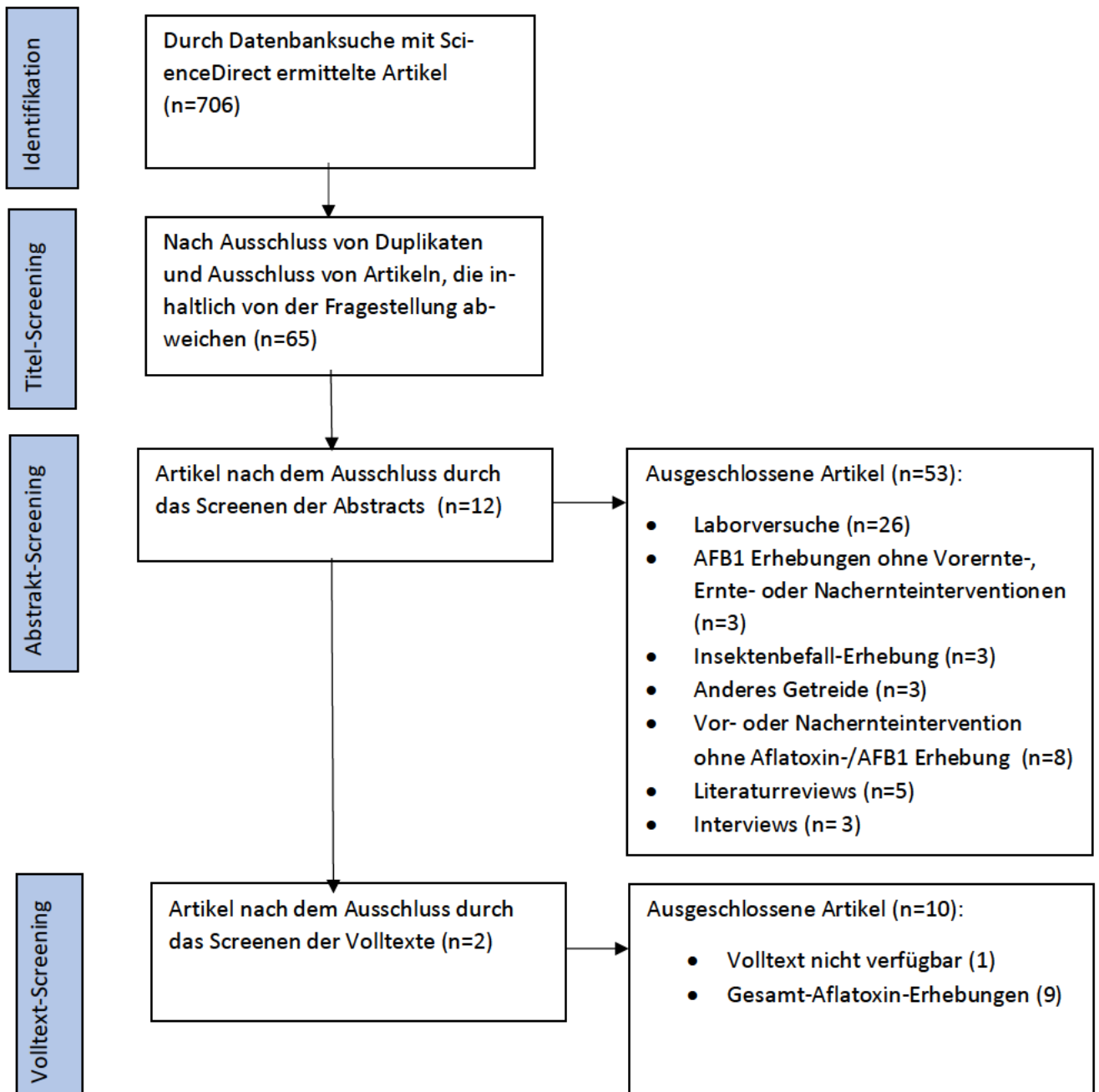


Abbildung 4: Search-Flow-Chart der systematischen Literaturrecherche

Inhaltliche Kriterien, welche die Studien erfüllen müssen, um in diese Arbeit eingeschlossen zu werden, sind, dass diese intervenierende Vorernte-, Ernte- und Nacherntestrategien der Maisproduktion enthalten müssen. Die Wirksamkeit dieser Interventionspraktiken müssen anschließend durch eine Analyse des in der Studie produzierten Maises auf AFB1 bewertet werden.

Demnach sind Forschungsartikel mit anderem Studieninhalt ausgeschlossen worden. Wie das Search-Flow-Chart beschreibt, wurden in der Phase des Abstract-Screenings 53 Artikel ausgeschlossen. Dazu gehören „Laborversuche“, bei denen verschiedene Technologien und dessen Auswirkung auf die Reduktion von Aflatoxin oder AFB1 in Mais unter Laborbedingungen getestet worden sind und

keine Vorernte-, Ernte- und Nacherntepraktiken mit späterer AFB1 Analyse durchgeführt wurden. Ebenfalls wurden „AFB1 Erhebungen ohne Vorernte-, Ernte- oder Nachernteinterventionen“ bei der Abstrakt-Sichtung ausgeschlossen. In diesen wurde lediglich der AFB1-Gehalt von Mais aus einer bestimmten Region nach der Ernte analysiert und dargestellt, ohne die Beschreibung einer solchen durchgeführten Intervention. Genauso wurden „Insektenbefall-Erhebungen“, welche den Insektenbefall in der Nacherntephase der Maisproduktion darstellten oder angestellte Nachernteinterventionen zur Untersuchung der Wirksamkeit von verschiedenen Insektenschädlingsbekämpfung-Maßnahmen nicht mit in den weiteren Literatursichtungsprozess einbezogen. Dazu schieden Forschungsartikel aus, die in ihrer Studie Vorernte-, Ernte- und Nachernteinterventionen auf anderes Getreide als Mais anwendeten. Unter den Suchergebnissen gehörten zusätzlich auch Studien, die nach den Vorernte-, Ernte- und Nachernteinterventionen jedoch andere Bewertungsparameter, wie den Feuchtigkeitsgehalt, andere sensorische Parameter oder den Gehalt an mykotoxigenen Pilzen untersuchten, nicht jedoch eine Erhebung des AFB1-Gehaltes des Maises. Ebenfalls wurden Literaturreviews, die Vorernte-, Ernte- und Nachernteinterventionen anderer Studien zusammenfassten und bewerteten, genauso wie Studien, die durch durchgeführte Interviews die landwirtschaftlichen Praktiken und die Einschätzung des Aflatoxin- oder AFB1-Gehaltes von Maisbauern wiedergaben. Auch wurden Artikel ausgeschlossen, die Modelle verschiedener Zwecke vorstellten. Die Abstracts zweier Studien stellten zum einen ein Modell zur Risikobestimmung von Aflatoxin in Mais und zum anderen ein Modell zur Darstellung der Reduktion von Aflatoxin in Mais durch eine bestimmte Technologie dar.

In der Phase des Volltext-Screenings wurden 10 Artikel ausgeschlossen. Der Volltext einer Studie war nicht verfügbar. Auf das Anschreiben der Autoren ist keine Antwort und Gewährung eines freien Zugriffes erfolgt. Somit konnte die Eignung des Volltextes für diese Arbeit nicht geprüft werden. Die restlichen ausgeschlossenen 9 Artikel waren „Gesamt-Aflatoxin-Erhebungen“, in welchen nach den Vorernte-, Ernte- und Nachernteinterventionen nur der Gesamtaflatoxingehalt erhoben worden ist. Wie bereits beschrieben, wurde bei dem Screening der Abstracts jene Studien in die weitere Literatursichtung eingeschlossen, welche lediglich den Terminus des „Aflatoxins“ enthielten, damit keine Volltexte vorschnell ausgeschlossen worden sind, die letztendlich doch unter anderem eine AFB1 Erhebung enthielten.

5 Ergebnisse

5.1 Erhebungsdaten von intervenierenden Vor- und Nacherntestudien

In Tabelle 17 sind nach dem bereits vorgestellten PICOR Schema die Studieninhalte der eingeschlossenen Forschungsartikel dargestellt. Sie weist auf, bei welchen Populationen welche Interventionen durchgeführt worden sind, ob und welche Kontrollgruppe es zum Vergleich mit den Interventionsgruppen gibt. Dazu werden in dem Schema die Parameter angegeben, mit denen das Ergebnis dargestellt wird, sowie das Ergebnis selbst. In den darauf folgenden Kapiteln 1.4.1.1 und 1.4.1.2 wird genauer auf die beiden Studienergebnisse eingegangen.

Tabelle 15: Ergebnisse der systematischen Literatursuche nach dem PICOR Schema

Nr.	Population	Intervention	Control	Outcome	Result	Referenz
1	Zea Mais L. Maisgenotyp Typ Nidera Ax 887 HCL-MG	Feldintervention: Anwendung von Bioformulierungen aus nicht-aflatoxigenen Stämmen (A. flavus AFCH2 und A. flavus ARG5/30) BB1: AFCHG2 BB2: AFCHG2 und ARG5/30 BB3: ARG5/30 Lagerintervention: Nutzung von hitzeversiegelten hermetischen Silo-Säcken	Feldintervention: Nicht beimpfte Maispflanzen Lagerintervention: Nutzung von nicht vollständig verschlossenen Silo-Säcken	Feldintervention und Lagerintervention: Aspergillus-Sektion Flavi Vorkommen (in %) Durchschnittlicher AFB1-Gehalt (in µg/kg)	Feldintervention: <u>Aspergillus-Sektion Flavi Vorkommen:</u> NbKP: 14,7 BB1: 42 BB2: 18,3 BB3: 37 <u>Durchschnittlicher AFB1-Gehalt:</u> NbKP: 10,9 ± 0,4 BB1: - BB2: - BB3: - Lagerintervention: Siehe Abbildung 6 und 7	(Zanon et al. 2022)
2	Serbische Mais-hybride der „FAO maturity group 700“: ZP 735; NS Zenit	3 Pflanzdichtebehandlungen: PD1: 55.000 Pflanzen/ha PD2: 64.000 Pflanzen/ha PD3 75.000 Pflanzen/ha	-	Vorkommen Aspergillus ssp. (in %) Durchschnittlicher AFB1-Gehalt (in µg/kg)	Vorkommen Aspergillus ssp.: PD1: 5,12 PD2: 6,94 PD3: 7,81 Durchschnittlicher AFB1-Gehalt: PD1: 1,32 PD2: 1,60 PD3: 1,66	(Krnjaja et al. 2019)
Legende NbKP: Nicht beimpfte Kontroll-Parzellen; BB: Beimpfungsbehandlung; PD: Pflanzdichtebehandlung; Aspergillus ssp.: Mehrere Arten der Gattung Aspergillus						

5.2 Studie Nr. 1

Zanon et al. führten in Ihrer Studie eine Feld- und Lagerintervention durch, um zu überprüfen, wie sich die Vorerntebehandlung atoxigener *A. flavus* Stämme sowie die Lagerung von Maiskörnern in hermetischen und nichthermetischen Säcken auf die Anreicherung von AFB1 in diesen während der Lagerung auswirkt (Zanon et al. 2022).

5.2.1 Feldintervention

Die Feldintervention war so aufgebaut, dass die Kontroll- und Behandlungsparzellen eine Größe von 60 mal 10 Metern hatten, welche in drei Unterparzellen, 20 mal 10 Meter groß, aufgeteilt waren. Die Unterparzellen bestanden aus den nicht beimpften Kontrollen und den durch die Bioformulierungen auf Basis des AFCHG2 Stammes (Beimpfungsbehandlung 1), der Mischung der AFCHG2 und ARG5/30 Stämme (Beimpfungsbehandlung 2) und des ARG5/30 Stammes (Beimpfungsbehandlung 3) beimpften Maispflanzen. In den vegetativen Stadien V4 bis V6 wurden 25 Kilogramm Beimpfung pro Hektar auf die Maispflanzen ausgebracht. In der Erntesaison im Juli des Jahres 2018 wurden aus jeder Behandlung und der Kontrolle 300 Maisähren geerntet und mechanisch geschält. Zanon et al. berichten, dass es während der Anbausaison der Studie, Dezember 2017 bis Juli 2018, nur wenig Niederschlag und eine durchschnittliche Höchsttemperatur von 25°C gab. Spitzenwerte erreichten 37°C. Diese Wetterbedingungen seien günstig für die Produktion von Aflatoxinen (Zanon et al. 2022).

Die Maiskörner wurden während der Studie zum Zeitpunkt der Ernte, nach drei und sechs Monaten auf das Vorkommen von Aspergillus-Sektion Flavi und Aflatoxin B1 analysiert. Die Aspergillus-Sektion Flavi umfasst mehr als 34 Arten, von denen ein Großteil Mykotoxine der Gruppe der Aflatoxine produziert (Habibi und Afzali 2021; Zanon et al. 2022).

Die Ergebnisse der Feldintervention zeigen ein Vorkommen (in %) von der Aspergillus-Sektion Flavi, die bei den nicht beimpften Kontrollunterparzellen 14,7% betrug und damit signifikant geringer ausfiel als die der Unterparzellen der Beimpfungsbehandlung 1 (42%), 2 (18,3%) und 3 (37%). Der durchschnittliche AFB1-Gehalt, betrug in den nicht beimpften Kontrollunterparzellen $10,9 \pm 0,4$ µg/kg. In den drei Beimpfungsbehandlungen ist kein AFB1 detektiert worden. Der durchschnittliche AFB1-Gehalt der Kontrolle ist statistisch signifikant höher als jener der drei Interventionsbehandlungen (Zanon et al. 2022).

5.2.2 Lagerintervention

Die Lagerintervention wurde so gestaltet, dass die Maiskörner in 30-Kilogramm-Säcken mit Silosackauskleidung, welche aus drei Schichten und einer Dicke von 235µm besteht, gelagert wurden (Zanon et al. 2022). Bei Silosäcken handelt es sich im eigentlichen Sinne um hermetische schlauchförmige Kunststoffsäcke mit einer Länge von 60 Metern und einem Durchmesser von 2,74 Metern. Wie in der Lagerintervention bestehen diese aus einer dreischichtigen Kunststoffhülle mit einer Dicke von 235 µm. Von außen ist diese weiß, von innen schwarz (Bartosik). Jede Behandlung wurde bei konstanter Raumtemperatur von 25°C ± 1°C über sechs Monate in hermetischen, hitzeversiegelten, oder nicht hermetischen, nur teilweise verschlossenen, Silosäcken gelagert. Während der Lagerung wurde zum einen die Luftdichtigkeit der hermetischen Säcke überprüft, zum anderen die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und die Gaskonzentration innerhalb der Beutel gemessen (Zanon et al. 2022).

Die in Abbildung 6 durch die Säulen abgebildeten Daten entspringen der Auswertung des Auftretens von *Aspergillus*-Sektion *Flavi* auf Maiskörnern der Kontrollen und Beimpfungsbehandlungen, welche in einem DG18-Nährmedium ermittelt worden sind. Die schmalen Balken auf den Säulen stellen die Standardabweichung der Wiederholung innerhalb jeder Behandlung, dar. Säulen, welche über keine gemeinsamen Buchstaben verfügen, weisen einen signifikanten Unterschied auf (Zanon et al. 2022).

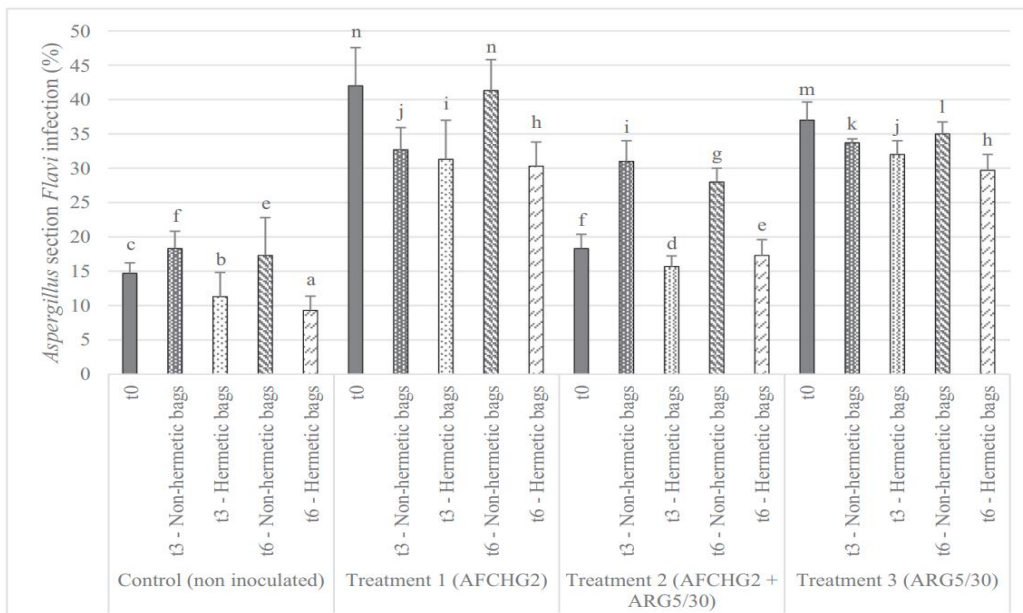


Abbildung 5: Vorkommen (in %) von *Aspergillus*-Sektion *Flavi* in den Maiskörnern der verschiedenen Beimpfungsbehandlungen und der Kontrolle nach der Ernte und in den verschiedenen Lagerstadien aus (Zanon et al. 2022)

In allen Beimpfungsbehandlungen und der nicht beimpften Kontrolle war das Vorkommen der Aspergillus-Sektion Flavi in den Analysezeiträumen, nach drei und sechs Monaten, in den Maiskörnern, welche in den nicht-hermetischen Säcken gelagert worden, signifikant höher als jene, welche in hermetischen Säcken gelagert wurden. Die nicht beimpfte Kontrolle wies zu allen Analysezeitpunkten und Lagerbedingungen ein signifikant geringeres Aspergillus-Sektion Flavi Vorkommen auf. Die Maiskörner, welche mit dem A. flavus AFCHG2 Stämmen beimpft worden sind (Beimpfungsbehandlung 1) zeigten in Summe aller Analysezeitpunkte und Lagerbedingungen, das höchste Vorkommen von Aspergillus-Sektion Flavi. Daraus schlussfolgerten Zanon et al., dass der Stamm A. flavus AFCHG2 als einzelne Beimpfung das beste Verhalten in der Besiedelung der Maiskörner aufzeigt als die anderen Beimpfungsbehandlungen. Die Untersuchung aflatoxigener Isolate zeigte, dass alle Beimpfungsbehandlungen die Toxizität der Populationen, verglichen mit der nicht beimpften Kontrolle, signifikant um 63,1% verringerten. Die Beimpfung mit A. flavus AFCHG2 war die wirksamste Behandlung zur Reduktion toxigener Populationen (Zanon et al. 2022).

Jede der Säulen des Diagrammes aus Abbildung 7 stellt den Durchschnitt von drei AFB1-Bestimmungen dar. Die schmalen Balken auf den Säulen stellen die Standardabweichung der Wiederholung innerhalb jeder Behandlung, dar. Säulen, welche über keine gemeinsamen Buchstaben verfügen, weisen einen signifikanten Unterschied auf (Zanon et al. 2022).

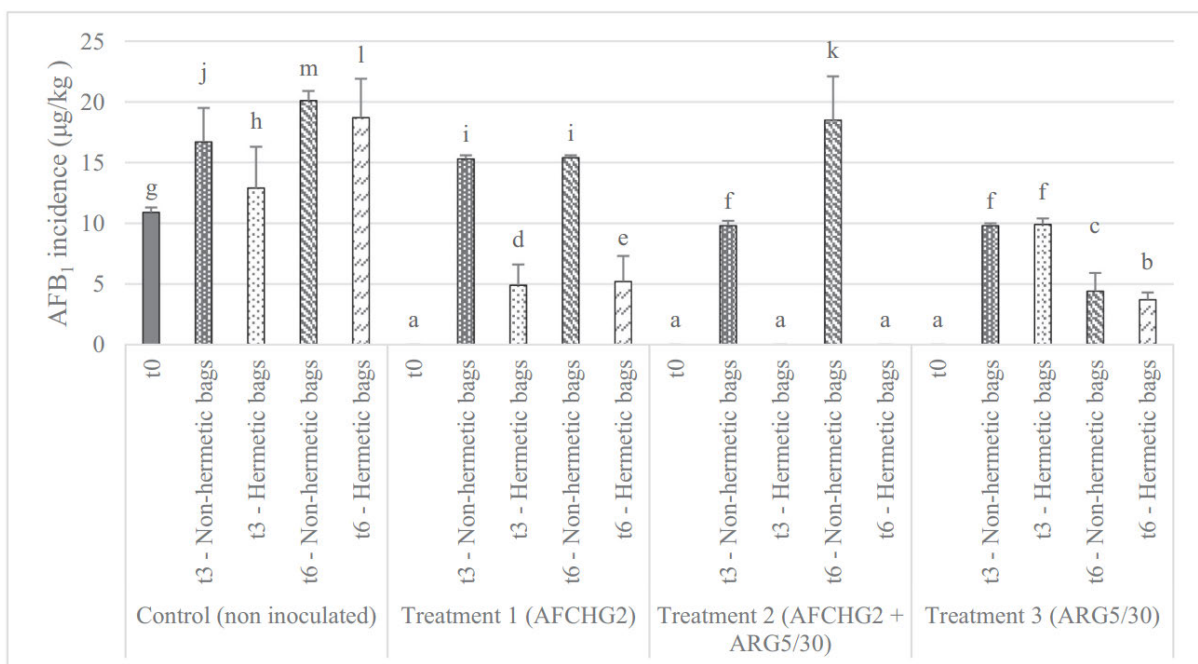


Abbildung 6: Durchschnittlicher AFB₁-Gehalt (in µg/kg) der Maiskörner der verschiedenen Beimpfungsbehandlungen und der Kontrolle nach der Ernte und in den verschiedenen Lagerstadien aus (Zanon et al. 2022)

In den Maiskörnern aller Beimpfungsbehandlungen und der Kontrolle war die durchschnittliche Kontaminationsrate von AFB₁ in nicht hermetischen Säcken nach drei und sechs Monaten signifikant höher, ausgenommen von der Beimpfungsbehandlung 3 nach der dreimonatigen Lagerung.

Nach der sechsmonatigen Lagerung wiesen die Maiskörner der Beimpfungsbehandlung 3 in hermetischen und nicht hermetischen Säcken signifikant niedrigere AFB1-Konzentrationen auf als jene der Beimpfungsbehandlungen 1 und 2, ausgenommen der in hermetischen Säcken gelagerten Beimpfungsbehandlung 2, nach der gleichen Lagerzeit. Stellt man einen Vergleich zwischen der Kontrolle und allen Beimpfungsbehandlungen zu allen Zeitpunkten und unter allen Lagerbedingungen an, so lässt sich ein signifikanter Rückgang der durchschnittlichen AFB1-Kontaminationsrate seitens jeder Beimpfungsbehandlung feststellen. Die mit der Beimpfungsbehandlung 2, mit den gemischten Stämmen, versehenen Maiskörner wiesen nach drei und sechs Monaten Lagerung in hermetischen Säcken keine detektierte AFB1-Konzentration auf (Zanon et al. 2022).

5.3 Studie Nr. 2

Die Studie wurde durchgeführt, um die Auswirkung verschiedener Pflanzendichten auf das Vorkommen von potenziell toxischen Pilzen und Mykotoxinen zu untersuchen. Die Studie wurde auf dem Versuchsfeld des Instituts für Tierhaltung in Belgrad mit zwei Maishybriden der „FAO maturity group 700“ ZP 735 und NS Zenit durchgeführt. Der Feldversuch ist nach dem „Split-Plot-Design“ angelegt worden: Dieses bestand aus randomisiert ausgewählten Hauptparzellen mit vier Wiederholungen. Die Hauptparzellen waren hierbei die Maishybride und die Unterparzellen die drei Pflanzendichten (PD) von 55.000 Pflanzen/ha (PD1), 64.000 Pflanzen/ha (PD2) und 75.000 Pflanzen/ha (PD3). Die Unterparzellen waren mit einer Größe von 6 × 2,8 Metern angelegt worden, welche einen 0,7 Meter großen Abstand voneinander hatten (Krnjaja et al. 2019).

Weizen wurde als Vorfrucht auf dem Ackerboden angebaut. Anfang bzw. Mitte April ist in beiden Saisonen ausgesät worden. Es ist in beiden Jahren ein Calcium-Ammonium-Nitrat-Dünger, der 37% Stickstoff und 8% Calcium enthielt, angewendet worden. Unkrautbekämpfung ist durch die Anwendung von Herbiziden erfolgt. Anfang Oktober 2013 und 2014 wurde der Mais geerntet. Dies fand statt als der Feuchtigkeitsgehalt der Körner unter 30% lag. Von jeder Unterparzelle wurden zehn Maisähren geerntet, deren Maiskörner händisch vom Kolben entfernt wurden. Für die Analyse sind die unterparzellen-internen Maiskörner gemischt worden (Krnjaja et al. 2019).

Die Wetterdaten für den Standort des Feldversuches stellte der Hydrometeorologische Dienst der Republik Serbiens zur Verfügung. In den Jahren 2013 und 2014 betrug die monatliche Durchschnittstemperatur zwischen Juli und Oktober 20,6°C bzw. 19,5°C. Die Gesamtregenmenge in dieser Zeitspanne betrug 157,9 mm bzw. 501,9 mm. Die Regenmenge im Jahr 2014 war deutlich höher. Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit in den beiden Jahren lag bei 60% bzw. 69,8%. Im Juli während des Seidenstadiums R1, waren die Temperaturen in beiden Jahren ähnlich. Im Juli 2013

herrschten 24,5°C, im selben Monat des Jahres 2014 23°C. Der gesamte monatliche Regenfall und die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit waren 2014 in diesem Monat jedoch signifikant höher (251.2 mm und 67%) als im Jahre 2013 (2.9 mm und 52%) (Krnjaja et al. 2019).

Die folgenden Tabellen 18 und 19 stellen das *Aspergillus ssp.* Vorkommen beziehungsweise den durchschnittlichen AFB1-Gehalt in µg/kg in den beiden Interventionsjahren, der beiden verwendeten Hybriden und den drei Pflanzendichten dar.

Tabelle 16: Vorkommen von Aspergillus ssp. (in %) in Abhängigkeit des Jahres, der Hybridart und der Pflanzendichte modifiziert nach (Krnjaja et al. 2019)

	Vorkommen Aspergillus ssp. (in %)
<i>Jahr</i>	
2013	13,25
2014	0
<i>Hybride</i>	
NS Zenit	8,25
ZP 735	5,0
<i>Pflanzendichte</i>	
PD1	5,12
PD2	6,94
PD3	7,81
Mittelwert	6,62
Legende PD: Pflanzdichte; PD1: 55 000 Pflanzen/ha; PD2: 64 000 Pflanzen/ha; PD3: 75 000 Pflanzen/ha	

Die Kontamination der Maispflanzen durch *Aspergillus ssp.*, d.h. alle Arten der Gattung *Aspergillus*, dominierten im Jahre 2013. Während der Fortpflanzungsstadien der Maispflanze, zwischen den Monaten Juli und Oktober, trat in diesem Jahr eine Dürreperiode mit sehr geringem Niederschlag auf. Im Jahre 2014, welches von einer höheren Gesamtniederschlagsmenge geprägt war, wurde keine *Aspergillus ssp.* in den analysierten Maisproben nachgewiesen. Die Maiskörner des Hybridtyps NS Zenit waren signifikant häufiger mit *Aspergillus ssp.* kontaminiert als jene des Hybrids ZP 735. Die Pflanzendichte hatte eine signifikante Auswirkung auf das Vorkommen von *Aspergillus ssp.*. Es gab also signifikante Unterschiede zwischen dem *Aspergillus ssp.*-Vorkommen auf den Maiskörnern der Pflanzen der verschiedenen Dichtebehandlungen PD1, PD2 und PD3. Mit steigender Pflanzendichte stieg das *Aspergillus ssp.*-Vorkommen signifikant an (Krnjaja et al. 2019).

Tabelle 17: Durchschnittlicher Aflatoxin B1-Gehalt (in $\mu\text{g}/\text{kg}$) in Abhängigkeit des Jahres, der Hybridart und der Pflanzendichte modifiziert nach (Krnjaja et al. 2019)

	Durchschnittlicher AFB1-Gehalt (in $\mu\text{g}/\text{kg}$)
<i>Jahr</i>	
2013	1,47
2014	1,58
<i>Hybride</i>	
NS Zenit	1,49
ZP 735	1,57
<i>Pflanzendichte</i>	
PD1	1,32
PD2	1,60
PD3	1,66
Mittelwert	1,53
Legende PD: Pflanzendichte; PD1: 55 000 Pflanzen/ha; PD2: 64 000 Pflanzen/ha; PD3: 75 000 Pflanzen/ha	

Der AFB1-Gehalt war im Jahr 2014 signifikant höher als im Jahr davor. Krnjaja et al. schlussfolgerten, dass der erhöhte Regenfall in 2014 zu dem erhöhten Gehalt aller, unter anderem AFB1, untersuchten Mykotoxinen beitrug. Ebenfalls erhoben Krnjaja et al., dass dieser in dem ZP 735 Hybrid signifikant höher war als in dem NS Zenit Hybrid. Die Maiskörner der Maispflanzen, welche mit der Pflanzendichte PD2 und PD3 ausgesät worden sind, wiesen signifikant höhere AFB1-Gehalte auf als jene, die mit der Pflanzendichte 1 gepflanzt worden sind. Zwischen PD2 und PD3 selbst bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den durchschnittlichen AFB1-Gehalten. Trotz der festgestellten Unterschiede überschritten die AFB1-Gehalte nicht den europäischen gesetzlichen Grenzwert von $5\mu\text{g}/\text{kg}$ (Krnjaja et al. 2019).

6 Diskussion

6.1 Methodendiskussion

6.1.1 Methodik des theoretischen Hintergrundes

Der tatsächliche Erhebungszeitpunkt der Studien, welche in die Kapitel 3.4 und 3.5 eingeflossen sind, liegt zeitlich teilweise deutlich hinter dem Veröffentlichungsdatum der Studien. Was dazu führt, dass die AFB1-Maiskontamination in Kenia und die in diesem Land von Maisbauern angewendeten landwirtschaftlichen Praktiken stärker veraltet sind und weniger die aktuellen Gegebenheiten abbilden. Dies ist eigentlich wichtig, um die Notwendigkeit von verbesserten landwirtschaftlichen Praktiken zu ermitteln. In dem Kapitel 3.5 ist der veraltete Erhebungszeitraum durch Setzen eines größeren Veröffentlichungszeitraums von 2016 bis 2022 verschuldet. Die Erweiterung des

Veröffentlichungszeitraums der Studien war eine Reaktion auf das vorherige in Bezug auf die Anzahl und den Inhalt der Studien limitierte Suchergebnis.

6.1.2 Methodik bei der Beantwortung der Forschungsfrage

Wie dem PICOR Schema des Methodenkapitels 4.1 entnommen werden kann, war die ursprüngliche Methode, den Verlaufs der AFB1-Kontamination zwischen Mais aus Kenia und Mais aus Studien mit intervenierenden Vor- und Nacherntestrategien zu vergleichen. Die Problematik, die sich bei dem Sichten der AFB1 Erhebungsstudien von kenianischem Mais und der intervenierenden Vor- und Nacherntestudien ergab, ist, dass ein Großteil der AFB1 Erhebungsstudien kenianischen Maises den AFB1-Gehalt nur zu einem Zeitpunkt untersuchten, hauptsächlich eine definierte Zeit nach der Ernte während der Lagerung oder des Vertriebes. Nur eine der intervenierenden Vor- und Nacherntestudien erhob den AFB1-Gehalt zu mehreren Zeitpunkten: Während der Ernte, nach drei- und sechsmonatiger Lagerung. Auf Grundlage dieser Ergebnislage kann kein differenzierter Vergleich angestellt werden. Der bloße Vergleich der einzelnen AFB1-Kontaminationswerte ist wenig aussagekräftig, da zu viele Faktoren, wie die klimatischen Bedingungen, andere Vorerntemaßnahmen, die verschiedenen Maissorten etc. Einfluss auf die Ergebnisse nehmen. Für ein zielgerichteteres Suchergebnis hätte der Begriff des „Verlaufs von AFB1“ mit in die Suchanfrage aufgenommen werden müssen. Anstelle dessen ist ein studieninterner Vergleich zwischen Ergebnissen der Kontroll- und der Interventionspopulationen der Vor- und Nachernteeinterventionsstudien angestellt worden, um zu vergleichen, ob angewendete Vorernte-, Ernte- und Nacherntestrategien die AFB1-Kontamination von Mais wirksam reduzieren können.

Die Anzahl der letztendlich verwendbaren Literatur der Suchergebnisse, welche mit der Datenbank ScienceDirect erhoben worden ist, ist sehr gering. Es scheint, als gäbe es eine Forschungslücke in dem Feld der Erntepraktiken zur Reduktion von AFB1 in Mais. Es hätten zusätzliche Datenbanken verwendet werden können, um die Wahrscheinlichkeit einer höheren Trefferquote verwendbarer Literatur zu erhöhen. ScienceDirect ist ausgewählt worden, weil sie zum einen über Literatur des für diese Arbeit benötigten Fachbereiches verfügt, als auch über einen spezifischen Datenbankfilter, unter anderem mit peer-review Eigenschaft. Schlussendlich ist somit keine umfassende Beantwortung der Forschungsfrage durch die systematische Literaturrecherche möglich gewesen.

6.2 Ergebnisdiskussion

6.2.1 Bewertung des aktuellen Forschungsstandes

Wenn man die systematische Literaturrecherche und die Anzahl der schlussendlich verwendbaren Literatur betrachtet, so lässt sich der Schluss ziehen, dass die gesuchte Literatur über Vor- und Nacherntepraktiken zur Reduktion von AFB1 in Mais sehr begrenzt verfügbar ist (n=2) und dass in diesem Feld dringender Forschungsbedarf besteht. Literatur, die die Reduktion von der gesamten Gruppe der Aflatoxine in Mais durch Vor- und Nachernteinterventionen untersucht, ist ebenfalls begrenzt, wurde jedoch häufiger in der Literatursuche gefunden als das spezifische Mykotoxin AFB1 (n=10).

6.2.2 Studie Nr. 1

Zanon et al. erhoben in ihrer Studie, dass das *Aspergillus*-Sektion *Flavi* Vorkommen (in %) deutlich höher in dem Mais der drei Beimpfungsbehandlungen war als in der Kontrolle. Laut der Autoren deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass die in den verschiedenen Beimpfungsbehandlungen angewendeten Stämme fähig waren, die Maispflanzen zu infizieren und in dem Agrarökosystem zu bleiben (Zanon et al. 2022). Dies ist eine wichtige Bedingung zur Verdrängung aflatoxigener *Aspergillus* Arten.

Zum Zeitpunkt der Ernte ist in dem Mais der drei Beimpfungsbehandlungen kein AFB1 detektiert worden. Der AFB1-Gehalt dieser war signifikant geringer im Vergleich zur der Kontrolle (Zanon et al. 2022). Dies zeigt, dass die Anwendung atoxigener *Aspergillus* Stämme eine wirksame Vorerntebehandlung zur Reduktion des AFB1-Gehaltes in Maispflanzen zum Zeitpunkt der Ernte ist. Während der gesamten Lagerdauer, nach jeweils drei und sechs Monaten, wiesen alle drei Beimpfungsbehandlungen unabhängig von der Lagerbedingung, ob hermetisch oder nicht, verglichen zu der Kontrolle einen signifikant geringeren durchschnittlichen AFB1-Gehalt auf (Zanon et al. 2022). Das wiederum zeigt, dass die Anwendung atoxigener *Aspergillus* Stämme vor der Ernte die Anreicherung von AFB1 in gelagertem Mais wirksam mindert.

Das Vorkommen von *Aspergillus*-Sektion *Flavi* in nicht hermetischen Säcken war zu allen Analysezeitpunkten in den Beimpfungsbehandlungen sowie in den nicht beimpften Kontrollen signifikant höher als jene in den hermetisch verschlossenen Säcken. Zanon et al. schlussfolgerten, dass dieses Ergebnis auf die größere Verfügbarkeit von Sauerstoff in nicht hermetischen Säcken zurückgeführt werden kann, welche das Pilzwachstum begünstigt. Auch der durchschnittliche AFB1-Gehalt in Mais der Kontrolle und der drei Beimpfungsbehandlungen, welcher in nicht hermetischen Säcken gelagert worden ist, war nach drei und sechs Monaten signifikant höher als jener in Mais

hermetischer Lagerung, mit Ausnahme der Beimpfungsbehandlung 3 nach dreimonatiger Lagerung (Zanon et al. 2022). Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, dass die Lagerung von Mais in luftdicht verschlossenen Behältnissen die Anreicherung der Aspergillus-Sektion Flavi senkt, wodurch ebenfalls die AFB1 Produktion reduziert wird.

Nach drei- und sechsmonatiger Lagerung wies die Beimpfungsbehandlung 2, mit der Bioformulierung gemischter Stämme, in hermetischen Säcken keine detektierten AFB1-Konzentration auf. Zanon et al. bewerteten diese Kombination aus der Anwendung gemischter atoxigener Aspergillus Stämme und hermetischer Lagerung als besonders wirksam (Zanon et al. 2022).

Wie Zanon et al. jedoch erwähnen, wird die hermetische Lagerung durch Maisbauern nicht immer auf so einem idealen Wege durchgeführt wie in der Studie durchgeführt, dass die Säcke vollständig luftdicht verschlossen sind, da die Versiegelung teilweise unsachgemäß ausgeführt wird (Zanon et al. 2022). Daraus erschließt sich eine Notwendigkeit, dass Maisbauern darin geschult werden, wie sie ihre hermetischen Säcke sachgemäß luftdicht verschließen, genauso wie die finanzielle Unterstützung durch den Staat, sodass die kenianischen Maisbauern qualitativ hochwertige hermetische Säcke beschaffen können. Wie in dem Kapitel 3.5.4 *Nacherntepraktiken* ausgewertet worden ist, nutzte der Großteil der Maisbauern anstelle von hermetischen Säcken Sisal- und Polypropylensäcke. Auf die Lagerung des Maises durch hermetische Säcke hat nur ein geringer Teil zurückgegriffen. Wie bereits in dem Kapitel erwähnt wurde, beobachteten Baribusta und Njorge jedoch mit den Jahren einen Anstieg des Gebrauchs von hermetischen Lagertechnologien von kenianischen Landwirten (Baribusta und Njoroge 2020). In Zukunft ist nach dieser Tendenz ein weiterer Anstieg zu erwarten. Dafür ist jedoch auch die finanzielle Förderung durch den Staat notwendig.

Die von Zanon et al. verwendeten nicht-aflatoxigenen Stämme sind deren Aussage nach in dem Studiengebiet heimische Stämme, welche an das dort vorherrschende agroökologische Gebiet angepasst sind (Zanon et al. 2022). Das wiederum bedeutet, dass für die Adaption einer solchen Vorerntepaxis durch nicht-aflatoxigene Stämme Forschung angestellt werden muss, welche nicht-aflatoxigenen Stämme in dem anzuwendenden Gebiet vorherrschen beziehungsweise welche nicht-aflatoxigenen Stämme fähig sind, das jeweilige agrarökologische Gebiet langfristig zu besiedeln. Darüber hinaus müssten jene Stämme ermittelt werden, welche eine Wirksamkeit in der Reduktion von AFB1 in Mais vor der Ernte und während der Lagerung bewirken und dazu jene, welche für eine optimierte Reduktionswirkung, unter hermetischen Lagerbedingungen, miteinander kombiniert werden könnten.

6.2.3 Studie Nr. 2

Bezüglich des Vorkommens von *Aspergillus* ssp. in Mais hatten die verschiedenen Dichtebehandlungen signifikante Auswirkungen. Jede Dichtebehandlung war zu den anderen signifikant unterschiedlich. Je geringer die Pflanzendichte, desto geringer war das *Aspergillus* ssp.-Vorkommen. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass eine geringere Pflanzendichte, in der Studie von Krnjaja et al. wies die Dichte von 55 000 Pflanzen pro Hektar die besten Werte auf, zu verminderter Besiedelung von *Aspergillus* ssp. in Mais zum Zeitpunkt der Ernte führen kann. Die durchschnittlichen AFB1-Gehalte wiesen nur signifikante Unterschiede zwischen der PD1 und PD2 sowie zwischen der PD1 und PD3 auf. Das heißt, dass eine geringere Pflanzendichte ebenfalls wirksam für die Reduktion des AFB1-Gehaltes in Mais nach der Ernte sein kann. Da die von Krnjaja et al. ausgewertete Statistik zeigt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen PD2 und PD3 bezüglich des durchschnittlichen AFB1-Gehaltes von Mais bestehen, bringt die Pflanzendichte 2, von 64 000 Pflanzen/ha, bereits eine wirksame Reduktion von AFB1 zum Zeitpunkt der Ernte (Krnjaja et al. 2019).

Die Erhebung, dass die durchschnittlichen AFB1 Werte des einen Hybrids, dem NS Zenit, unabhängig von der Dichtebehandlung signifikant geringer waren als die des anderen (Krnjaja et al. 2019), zeigen die Wichtigkeit des Einsatzes von Hybriden mit optimaler Resistenzwirkung gegenüber der im Agrarökosystem vorherrschenden Mykotoxine. In dem Kapitel 3.5.2 *Vorerntepraktiken* ist ausgewertet worden, dass nur teilweise Gebrauch von Maishybriden gemacht worden ist, ein großer Teil der kenianischen Maisbauern nutzte traditionelle bzw. lokale Maissorten. Mit der Aktualität der Literatur stieg tendenziell aber auch der Gebrauch hybrider Maissorten, was auf eine höhere Adaptionsrate in den letzten Jahren hinweist. Besonders für maisproduzierende Kleinbauern, die über ein geringeres Einkommen verfügen, ist es wichtig, dass diese bezüglich des Gebrauchs von Maishybriden geschult und beraten werden können, dass die Verfügbarkeit bzw. die Beschaffungswege infrastrukturell verbessert werden und der Staat einkommensschwache Maisbauern bei der Beschaffung finanziell unterstützt, um Hunger, Armut und Krankheit entgegenzuwirken.

Krnjaja et al. folgerten ebenfalls aus ihren Erhebungen, dass günstige Wetterbedingungen in der Zeit zwischen dem Stadium der Seidenausbildung (R1) und dem Reifestadium (R6) zu einer erhöhten Kontamination durch toxische Pilze und Mykotoxine führen kann. Günstige klimatische Bedingungen und eine hohe Pflanzendichte seien laut Krnjaja et al. eine günstige Kombination für die Kontamination von Mais. Dazu sagten sie aus, dass die Bestimmung der richtigen Pflanzendichte nicht so leicht vorzunehmen sei. Diese hänge von der geographischen Region mit ihrem spezifischen Klima und der genutzten Maissorte ab. Die Autoren der Studie wiesen darauf hin, dass für eine Reduktion einer Pilz- und Mykotoxinkontamination besonders in geographischen Regionen, in denen in der Wachstumsperiode der Maispflanze vermehrter Regenfall und vor der Ernte eine längere

Trockenheitsperiode herrscht, neben dem Anbau von gegen ausgewählte Mykotoxine resistente Hybride die optimale Pflanzendichte gewählt werden sollte (Krnjaja et al. 2019). Je nachdem wie die Situation des aktuellen Forschungsstandes bezüglich der Thematik der Pflanzendichte in der Maisproduktion in den verschiedenen Agrarökosystemen Kenias ist, müsste weitere Forschung dazu angestellt werden. Wichtig sind in der Praxis landwirtschaftliche Schulungs- und Beratungsangebote, welche auf nationaler Ebene für die Maisbauern zugänglich sind. Dies erfordert ebenfalls die finanzielle Unterstützung des Staates und die Organisation und Umsetzung des Ausbaus eines solchen Systems.

6.2.4 Nationales und internationales Aflatoxin-Management in Kenia

Im Folgenden soll schließlich erläutert werden, inwieweit die Institutionen des Landes sowie internationale Organisationen und Forschungseinrichtungen Reduktionsmaßnahmen von Aflatoxinen in Getreide planen und umsetzen als auch Präventionsmaßnahmen gegen eine hohe Aflatoxin-Exposition zum Schutze der Bevölkerung durchführen. Nachfolgend wird ein Überblick über Initiativen, die Maßnahmen zur Prävention und Reduktion von Aflatoxinen in landwirtschaftlichen Erzeugnissen vornehmen, gegeben.

Für eine verbesserte Überwachung von Aflatoxinen in Mais und die Beratung der Regierung in Ausbruchfällen und für deren Eindämmung ist ein interministerielles Team, die Task Force der kenianischen Regierung, bestehend aus Vertretern des Ministeriums für Landwirtschaft und Viehzucht, der Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation (KALRO), des Gesundheitsministeriums, Kenya Bureau of Standards (KEBS), der Kenya Plant Health Inspectorate Services (KEPHIS) und öffentlichen Universitäten, formiert worden. Aufgrund steigendes Bewusstseins der Gefahren, die von Aflatoxinen ausgehen, werden die Aufgaben der Task Force mittlerweile wieder von den Mitgliedsinstitutionen übernommen (Mutegi et al. 2018).

Ebenfalls gibt es ein „National Food Safety Coordinating Committee“ (NFSCC), welches sich unter anderem aus Ministerien, Staatsabteilungen und halbautonome Regierungsbehörden aus den Bereichen Landwirtschaft, Viehzucht, Fischerei, Gesundheit und Handel zusammensetzt. Zu den Aufgaben des Ausschusses gehört die Koordination zentraler Anliegen für die Verbesserung der Lebensmittelsicherheit. Dieser koordiniert die Überwachung und Bewertung von Lebensmittelsicherheitsprogrammen, die Harmonisierung der Durchführung von Lebensmittelkontrollmaßnahmen, Lebens- und Futtermittelanalysen eingeschlossen, die Formulierung von Lebensmittelsicherheitsstrategien und des Rechtsrahmens sowie die Durchsetzung von Informations-, Bildungs- und Kommunikationsmaßnahmen zur Lebensmittelüberwachung. Der Ausschuss führt dazu gemeinsam mit anderen Institutionen die jährliche Maisuntersuchung auf ihre Aflatoxinkontamination durch, wobei Mais mit

einer Aflatoxinkontamination über den gesetzlichen Grenzwert aus dem Verkehr gezogen wird. Das NFSCC führte gemeinsam mit der FAO eine Bedarfsanalyse mit dem Ziel durch, aus den von ihnen ermittelten Bedürfnisse von Akteuren der Maiswertschöpfungskette bezüglich ihrer Aufgabe der Prävention, dem Umgang mit und der Kontrolle von der Aflatoxinkontamination von Mais Präventions- und Kontrollmöglichkeiten von Aflatoxinen zu erarbeiten und Empfehlungen auszusprechen. Aus der Bedarfsanalyse sind bereits Schulungen für Beamte des Landwirtschafts- und Gesundheitswesens umgesetzt worden. In 17 Bezirken Kenias wurden diese zu Auszubildenden für Landwirte für die Aflatoxinprävention und das -management. Ebenfalls sorgte der Ausschuss für kapazitive Versorgung mit Aflatoxintests. Darüber hinaus ergriffen die NFSCC Mitgliedsinstitutionen weitere Eindämmungsmaßnahmen. Beispielsweise hat die Regierung das sogenannte „Warehouse Receipting System“ eingeführt, das Landwirten eine sachgemäße trockene Lagerung ihres Getreides gegen eine Gebühr ermöglicht. Ebenfalls beginnt die Regierung mit dem Kauf mobiler Trockner und dem Aufstellen dieser an verschiedenen Orten des Landes (Mutegi et al. 2018).

Die kenianischen Ministerien für Gesundheit und Landwirtschaft und Bewässerung erhalten Unterstützung von der FAO. Nach einem akuten Aflatoxikose-Ausbruch im Jahr 2004 arbeiteten alle Parteien an der Ursachenermittlung und an Präventionsmaßnahmen zukünftiger Ausbrüche. Zu den Präventionsmaßnahmen zählte unter anderem, dass landwirtschaftlichen Beratern Feuchtigkeitsmessgeräte und Aflatoxin-Testgeräte zur Verfügung gestellt wurden, damit diese Landwirte in der Kontrolle des Feuchtigkeits- und Aflatoxingehalts unterstützen konnten (Mutegi et al. 2018).

Das International Institute of Tropical Agriculture (IITA) und der „Agricultural Research Service“ des Landwirtschaftsministeriums der Vereinigten Staaten entwickelten zusammen mit der Kenya Agricultural and Livestock Research Organisation (KALRO) und dem National Irrigation Board, eine Körperschaft des kenianischen Staats, ein Biokontrollprodukt gegen Aflatoxin namens „Aflasafe KE01“. Dies war eine Reaktion auf erhobene Forschungsergebnisse, die zeigten, dass die Anwendung einheimischer atoxigener *A. flavus* Stämme Aflatoxin in Getreide potenziell bekämpfen können. Aflasafe KE01, bestehend aus vier einheimischen atoxigenen *A. flavus* Stämmen aus verschiedenen Regionen des Landes (Bandyopadhyay et al. 2016), wurde durch die Regierung in stark exponierte Aflatoxin-Bezirke eingesetzt (Mutegi et al. 2018). Die Regierung hat im Jahr 2015 270 Tonnen des Biokontrollmittels aus Nigeria transportieren lassen. Das Landwirtschaftsministerium ließ dieses in Gebieten mit besonders hoher Aflatoxin Exposition von 11 Bezirken verteilen. Der Einsatz des Aflasafe KE01 senkte laut Erhebung der Regierung in 99% der angewendeten Maisfelder die durchschnittliche Gesamtaflatoxinkontamination unter $4 \mu\text{g}/\text{kg}$. Die Ergebnisse dieser Erhebung wurde jedoch nicht veröffentlicht (Bandyopadhyay et al. 2016). 2017 hat die KALRO eine Produktionsanlage für Aflasafe KE01 in dem Distrikt Machakos errichten lassen, um das Biokontrollmittel lokal herstellen und für annehmbarere Preise verkaufen zu können (Mutegi et al. 2018; Bandyopadhyay et al. 2016). Die Mehrheit der in der Studie von Migwi et al. befragten Landwirte,

durchschnittlich 97,5% aus allen Erhebungsregionen, waren bereit, Aflasafe KE01 zu kaufen. Durchschnittlich lag die Kaufbereitschaft für Aflasafe KE01 in den drei Erhebungsregionen zwischen 113 Kenia-Schilling (1,33 USD) und 153 Kenia-Schilling (1,79 USD) pro Kilogramm. Bei der Untersuchung der Faktoren, die die Kaufbereitschaft der Landwirte positiv beeinflussten, wurde erhoben, dass Informationen von Ernteberatungsdiensten und der Zugang zu Krediten zu einer erhöhten Kaufbereitschaft beitrugen. Für eine erleichterte Einführung des Biokontrollproduktes ist die Arbeit der Ernteberatungsdienste weiter auszubauen, auch könnte das Biokontrollprodukt dafür in Kreditssysteme für Landwirte aufgenommen werden (Migwi et al. 2020).

7 Schlussfolgerung

Bezüglich der Fragestellung dieser Arbeit, welche Vor- und Nacherntestrategien die Aflatoxin B1-Kontamination von dem Anbau bis zur Lagerung von der Mais-Rohware reduzieren kann, kann folgendes zusammengefasst werden: Die Studienlage stellte bei der Recherche begrenzt passende Literatur zur Verfügung. Die Anwendung atoxigener Aspergillus Stämme vor der Ernte zeigte eine statistisch signifikante Reduktion des AFB1-Gehaltes in Mais zum Zeitpunkt der Ernte und einer Lagerdauer von drei und sechs Monaten (Zanon et al. 2022). Mais, der drei und sechs Monate in hermetischen Säcken aus Silosackmaterial gelagert worden ist, wies einen signifikant geringeren durchschnittlichen AFB1-Gehalt auf als jener, der unter nicht hermetischen Bedingungen gelagert worden ist (Zanon et al. 2022). Eine geringe Pflanzendichte wies in der Studie von Krnjaja et al. einen signifikant geringeren durchschnittlichen AFB1-Gehalt in Mais zum Zeitpunkt der Ernte auf. Laut der Autoren müsse diese unter Beachtung des in der jeweiligen geographischen Region vorherrschenden Klimas und der genutzten Maissorte bestimmt werden (Krnjaja et al. 2019). Mit Blick auf das nationale und internationale Aflatoxin-Management in Kenia kann hervorgehoben werden, dass die Körperschaften des öffentlichen Sektors in Zusammenarbeit bereits Initiativen ergriffen haben. Der öffentliche Sektor ist ebenfalls gut mit internationalen Organisationen und Forschungszentren vernetzt, welche im Hinblick auf die Aflatoxinkontamination von Getreide Präventiv- und Kontrollmaßnahmen planen und umsetzen. Ein wichtiges Projekt ist die Entwicklung, Produktion und Anwendung des Biokontrollmittels Aflasafe KE01 zur Reduktion von Aflatoxinen in Mais. Im Hinblick auf die erhobenen Vorernte-, Ernte- und Nacherntepraktiken aus Kapitel 3.5 der kenianischen Maisbauern an, so wird die Notwendigkeit der weiteren Ausbildung des landwirtschaftlichen Bildungsangebotes und der finanziellen Unterstützung der Maisbauern deutlich. Wichtig ist, dass Kleinmaisbauern durch die Initiativen flächendeckend im ganzen Land erreicht werden und dabei unterstützt werden, mit den Auswirkungen des Klimawandels auf ihre Maisproduktion umgehen zu können. Zu den Auswirkungen zählen verminderte Ernteerträge und die Anreicherung von gesundheitsschädlichen

Aflatoxinen in Mais (Mumo et al. 2018; Kos et al. 2018). Hierfür sollten fortlaufend auf nationaler Ebene Bedarfserhebungen der Maisbauern durchgeführt, um strategische Antworten auf den Bedarf zu finden.

8 Rechtsquellenverzeichnis

Anhang Abschnitt 2, 2.1.6 & 2.1.7 VO (EG) Nr. 1881/2006: VERORDNUNG (EG) Nr. 1881/2006 DER KOMMISSION vom 19. Dezember 2006 zur Festsetzung der Höchstgehalte für bestimmte Kontaminanten in Lebensmitteln. Online verfügbar unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=CELEX:32006R1881&from=DE>, zuletzt geprüft am 02.04.2023.

9 Literaturverzeichnis

- Adhikari, M.; Ramjee, G.; Berjak, P. (1994): Aflatoxin, kwashiorkor, and morbidity. In: *Natural toxins* 2 (1), S. 1–3. DOI: 10.1002/nt.2620020102.
- Alpert, M. E.; Hutt, M. S. R.; Wogan, G. N.; Davidson, C. S. (1971): Association between aflatoxin content of food and hepatoma frequency in Uganda. In: *Cancer* 28 (1), S. 253–260. DOI: 10.1002/1097-0142(197107)28:1<253::AID-CNCR2820280151>3.0.CO;2-G.
- Awata, L. A. O.; Tongoona, P.; Danquah, E.; Ifie, B. E.; Suresh, L. M.; Jumbo, M. B. et al. (2019): Understanding tropical maize (*Zea mays* L.): The major monocot in modernization and sustainability of agriculture in sub-Saharan Africa. In: *International Journal of Advance Agricultural Research*, S. 33–77. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/338749311_Understanding_tropical_maize_Zea_mays_L_The_major_monocot_in_modernization_and_sustainability_of_agriculture_in_sub-Saharan_Africa#fullTextFileContent, zuletzt geprüft am 22.03.2023.
- Baertschi, S. W.; Raney, K. D.; Stone, M. P.; Harris, T. M. (1988): Preparation of the 8, 9-epoxide of the mycotoxin aflatoxin B1: the ultimate carcinogenic species. In: *Journal of the American Chemical Society* 110 (23), S. 7929–7931. DOI: 10.1021/ja00231a083.
- Bandyopadhyay, R.; Ortega-Beltran, A.; Akande, A.; Mutegi, C.; Atehnkeng, J.; Kaptoge, L. et al. (2016): Biological control of aflatoxins in Africa: current status and potential challenges in the face of climate change. In: *World Mycotoxin Journal* 9 (5), S. 771–789. DOI: 10.3920/WMJ2016.2130.
- Baributsa, D.; Baoua, I.; Abdoulaye, T.; Murdock, L. (2015): Stored Grain. A Guide on the Use of PICS Bags for Grain Storage. Hg. v. D. Baributsa, I. Baoua, T. Abdoulaye und L. Murdock. Purdue University, Department of Entomology (E265-W). Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/303383608_A_Guide_on_the_Use_of_PICS_Bags_for_Grain_Storage, zuletzt geprüft am 21.02.2023.
- Baributsa, D.; Njoroge, A. W. (2020): The use and profitability of hermetic technologies for grain storage among smallholder farmers in eastern Kenya. In: *Journal of stored products research* 87, S. 101618. DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101618.
- Bartosik, R.: An inside look at the silo-bag system. In: Proc 9th. Int. Conf. on Controlled Atmosphere and Fumigation in Stored Products, Antalya, Turkey. 15 – 19 October 2012, S. 117–128. Online verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/292730400_An_inside_look_at_the_silo-bag_system.

- Battilani, P.; Toscano, P.; van der Fels-Klerx, H. J.; Moretti, A.; Camardo Leggieri, M.; Brera, C. et al. (2016): Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. In: *Sci Rep* 6 (1), S. 24328. DOI: 10.1038/srep24328.
- Biamah, E. K. (2005): Coping with drought: options for soil and water management in semi-arid Kenya. Wageningen University. Online verfügbar unter <https://search.proquest.com/open-view/0736e9e6a50cc3c3cf5442cedff0d87d/1?pq-origsite=gscholar&cbl=44156>.
- Caruso, M.; Mariotti, A.; Zizzadoro, C.; Zaghini, A.; Ormas, P.; Altafini, A.; Belloli, C. (2009): A clonal cell line (BME-UV1) as a possible model to study bovine mammary epithelial metabolism: metabolism and cytotoxicity of aflatoxin B1. In: *Toxicon : official journal of the International Society on Toxinology* 53 (4), S. 400–408. DOI: 10.1016/j.toxicon.2008.12.023.
- Chulze, S. N. (2010): Strategies to reduce mycotoxin levels in maize during storage: a review. In: *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 27 (5), S. 651–657. DOI: 10.1080/19440040903573032.
- Coppock, R. W.; Dziwenka, M. M. (2014). Chapter 32 - Mycotoxins. In: Gupta, R. C. (Ed.), *Bio-markers in Toxicology* (S. 549-562). Boston, Academic Press.
- Cullen, J. M.; Ruebner, B. H.; Hsieh, L. S.; Hyde, D. M.; Hsieh, D. P. (1987): Carcinogenicity of dietary aflatoxin M1 in male Fischer rats compared to aflatoxin B1. In: *Cancer research* 47 (7), S. 1913–1917.
- Desjardins, A. E.; Maragos, C.; Norred, W. P.; Pestka, J. J.; Phillips, T. D.; Vardon P. J. et al. (2003): Mycotoxins. Risks in plant, animal, and human systems. Hg. v. Richard, J. L., Payne, G. A., Desjardins, A. E., Maragos, C., Norred, W. P., Pestka, J. J., Phillips, T. D., van Egmond, H. P., Vardon P. J., Whitaker, T. B. und G. Wood. Council for Agricultural Science and Technology. Ames, Iowa (Task force report). Online verfügbar unter <https://www.cast-science.org/publication/mycotoxins-risks-in-plant-animal-and-human-systems/>, zuletzt geprüft am 01.04.2023.
- Dohnal, V.; Wu, Q.; Kuča, K. (2014): Metabolism of aflatoxins: key enzymes and interindividual as well as interspecies differences. In: *Arch Toxicol* 88 (9), S. 1635–1644. DOI: 10.1007/s00204-014-1312-9.
- Dövényi-Nagy, T.; Rácz, C.; Molnár, K.; Bakó, K.; Szláma, Z.; Józwiak, Á. et al. (2020): Pre-Harvest Modelling and Mitigation of Aflatoxins in Maize in a Changing Climatic Environment-A Review. In: *Toxins* 12 (12), S. 768. DOI: 10.3390/toxins12120768.
- Edoh Ognakossan, K.; Affognon, H. D.; Mutungi, C. M.; Sila, D. N.; Midingoyi, S. G.; Owino, W. O. (2016): On-farm maize storage systems and rodent postharvest losses in six maize growing agro-ecological zones of Kenya. In: *Food Sec.* 8 (6), S. 1169–1189. DOI: 10.1007/s12571-016-0618-2.
- El-Sayed, R. A.; Jebur, A. B.; Kang, W.; El-Demerdash, F. M. (2022): An overview on the major mycotoxins in food products: characteristics, toxicity, and analysis. In: *Journal of Future Foods* 2 (2), S. 91–102. DOI: 10.1016/j.jfutfo.2022.03.002.
- Eskola, M.; Kos, G.; Elliott, C. T.; Hajšlová, J.; Mayar, S.; Krska, R. (2020): Worldwide contamination of food-crops with mycotoxins: Validity of the widely cited 'FAO estimate' of 25. In: *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60 (16), S. 2773–2789. DOI: 10.1080/10408398.2019.1658570.
- Fleurat-Lessard, F. (2017): Integrated management of the risks of stored grain spoilage by seed-borne fungi and contamination by storage mould mycotoxins – An update. In: *Journal of stored products research* 71, S. 22–40. DOI: 10.1016/j.jspr.2016.10.002.

- Gachara, G.; Suleiman, R.; El Kadili, S.; Ait Barka, E.; Kilima, B.; Lahlali, R. (2022): Drivers of Post-Harvest Aflatoxin Contamination: Evidence Gathered from Knowledge Disparities and Field Surveys of Maize Farmers in the Rift Valley Region of Kenya. In: *Toxins* 14 (9). DOI: 10.3390/toxins14090618.
- Ghiasian, S.; Maghsood, A. (2012): Infants' Exposure to Aflatoxin M1 from Mother's Breast Milk in Iran. In: *Iranian Journal of Public Health* 41 (3), S. 119–126.
- Giovati, L.; Magliani, W.; Ciociola, T.; Santinoli, C.; Conti, S.; Polonelli, L. (2015): AFM₁ in Milk: Physical, Biological, and Prophylactic Methods to Mitigate Contamination. In: *Toxins* 7 (10), S. 4330–4349. DOI: 10.3390/toxins7104330.
- Gong, Y. Y.; Cardwell, K.; Hounsa, A.; Egal, S.; Turner, P. C.; Hall, A. J.; Wild, C. P. (2002): Dietary aflatoxin exposure and impaired growth in young children from Benin and Togo: cross sectional study. In: *BMJ (Clinical research ed.)* 325 (7354), S. 20–21. DOI: 10.1136/bmj.325.7354.20.
- Gong, Y. Y.; Egal, S.; Hounsa, A.; Turner, P. C.; Hall, A. J.; Cardwell, K. F.; Wild, C. P. (2003): Determinants of aflatoxin exposure in young children from Benin and Togo, West Africa: the critical role of weaning. In: *International journal of epidemiology* 32 (4), S. 556–562. DOI: 10.1093/ije/dyg109.
- Habibi, A.; Afzali, D. (2021): Aspergillus Section Flavi from Four Agricultural Products and Association of Mycotoxin and Sclerotia Production with Isolation Source. In: *Current microbiology* 78 (10), S. 3674–3685. DOI: 10.1007/s00284-021-02620-8.
- Hell, K.; Mutegi, C.; Fandohan, P. (Hg.) (2010): Aflatoxin control and prevention strategies in maize for Sub-Saharan Africa. 10th International Working Conference on Stored Product Protection. Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Quedlinburg.
- Humphrey, J. H. (2009): Child undernutrition, tropical enteropathy, toilets, and handwashing. In: *Lancet (London, England)* 374 (9694), S. 1032–1035. DOI: 10.1016/S0140-6736(09)60950-8.
- Ito, Y.; Peterson, S. W.; Wicklow, D. T.; Goto, T. (2001): Aspergillus pseudotamarii, a new aflatoxin producing species in Aspergillus section Flavi. In: *Mycological Research* 105 (2), S. 233–239. DOI: 10.1017/S0953756200003385.
- Iyer, R. S.; Coles, B. F.; Raney, K. D.; Thier, R.; Guengerich, F. P.; Harris, T. M. (1994): DNA Adduction by the Potent Carcinogen Aflatoxin B1: Mechanistic Studies. In: *J. Am. Chem. Soc.* 116 (5), S. 1603–1609. DOI: 10.1021/ja00084a001.
- Jacob, N. M.; Wandiga, S. O.; Kariuki, D. K.; Madadi, V. O. (2020): Occurrence and Distribution of Aflatoxin in Maize from Selected Counties, Eastern Region, Kenya. In: *JAP* 3 (2), S. 7–20. DOI: 10.47941/jap.438.
- Johnson, W. W.; Guengerich, F. P. (1997): Reaction of aflatoxin B1 exo-8,9-epoxide with DNA: kinetic analysis of covalent binding and DNA-induced hydrolysis. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 94 (12), S. 6121–6125. DOI: 10.1073/pnas.94.12.6121.
- Kachapulula, P. W.; Akello, J.; Bandyopadhyay, R.; Cotty, P. J. (2017): Aflatoxin contamination of groundnut and maize in Zambia: observed and potential concentrations. In: *J. Appl. Microbiol.* 122 (6), S. 1471–1482. DOI: 10.1111/jam.13448.
- Kang'ethe, E. K.; Korhonen, H.; Marimba, K. A.; Nduhiu, G.; Mungatu, J. K.; Okoth, S. A. et al. (2017): Management and mitigation of health risks associated with the occurrence of mycotoxins along the maize value chain in two counties in Kenya. In: *Food Quality and Safety* 1 (4), S. 268–274. DOI: 10.1093/fqsafe/fyx025.

- Kew, M. C. (2003): Synergistic interaction between aflatoxin B1 and hepatitis B virus in hepatocarcinogenesis. In: *Liver international : official journal of the International Association for the Study of the Liver* 23 (6), S. 405–409. DOI: 10.1111/j.1478-3231.2003.00869.x.
- Kiarie, G. M.; Dominguez-Salas, P.; Kang'ethe, S. K.; Grace, D.; Lindahl, J. (2016): Aflatoxin exposure among young children in urban low-income areas of Nairobi and association with child growth. In: *I* 16 (3), S. 10967–10990. DOI: 10.4314/ajfand.v16i3.
- Kogo, B. K.; Kumar, L.; Koech, R. (2021): Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. In: *Environ Dev Sustain* 23 (1), S. 23–43. DOI: 10.1007/s10668-020-00589-1.
- Kos, J.; Hajnal, E. J.; Šarić, B.; Jovanov, P.; Mandić, A.; Đuragić, O.; Kokić, B. (2018): Aflatoxins in maize harvested in the Republic of Serbia over the period 2012-2016. In: *Food additives & contaminants. Part B, Surveillance* 11 (4), S. 246–255. DOI: 10.1080/19393210.2018.1499675.
- Koskei, P.; Bii, C. C.; Musotsi, P.; Karanja, S. M. (2020): Postharvest Storage Practices of Maize in Rift Valley and Lower Eastern Regions of Kenya: A Cross-Sectional Study. In: *International journal of microbiology* 2020, S. 1–10. DOI: 10.1155/2020/6109214.
- Krnjaja, V.; Mandić, V.; Stanković, S.; Obradović, A.; Vasić, T.; Lukić, M.; Bijelić, Z. (2019): Influence of plant density on toxigenic fungal and mycotoxin contamination of maize grains. In: *Crop Protection* 116, S. 126–131. DOI: 10.1016/j.cropro.2018.10.021.
- Leggieri, M. C.; Toscano, P.; Battilani, P. (2021): Predicted Aflatoxin B1 Increase in Europe Due to Climate Change: Actions and Reactions at Global Level. In: *Toxins* 13 (4), S. 292. DOI: 10.3390/toxins13040292.
- Leszek, P.; Vincent, D. (2012). *Zea Mays (Maize, Corn)*. In: *Encyclopedia of Life Sciences*. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd.
- Liu, Y.; Wu, F. (2010): Global burden of aflatoxin-induced hepatocellular carcinoma: a risk assessment. In: *Environmental health perspectives* 118 (6), S. 818–824. DOI: 10.1289/ehp.0901388.
- Magan, N.; Lacey, J. (1984a): Effect of temperature and pH on water relations of field and storage fungi. In: *Transactions of the British Mycological Society* 82 (1), S. 71–81. DOI: 10.1016/S0007-1536(84)80213-2.
- Magan, N.; Lacey, J. (1984b): Effect of water activity, temperature and substrate on interactions between field and storage fungi. In: *Transactions of the British Mycological Society* 82 (1), S. 83–93. DOI: 10.1016/S0007-1536(84)80214-4.
- Mahdavi, R.; Nikniaz, L.; Arefhosseini, S. R.; Jabbari, M. V. (2010): Determination of aflatoxin M(1) in breast milk samples in Tabriz-Iran. In: *Maternal and child health journal* 14 (1), S. 141–145. DOI: 10.1007/s10995-008-0439-9.
- Mahuku, G.; Nzioki, H. S.; Mutegi, C.; Kanampiu, F.; Narrod, C.; Makumbi, D. (2019): Pre-harvest management is a critical practice for minimizing aflatoxin contamination of maize. In: *Food control* 96, S. 219–226. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.08.032.
- Maina, A. W.; Wagacha, J. M.; Mwaura, F. B.; Muthomi, J. W.; Woloshuk, C. P. (2016): Postharvest practices of maize farmers in Kaiti District, Kenya and the impact of hermetic storage on populations of *Aspergillus* spp. and aflatoxin contamination. University of Nairobi, Nairobi, Kenya. Online verfügbar unter <http://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/103442>, zuletzt geprüft am 01.04.2023.
- Maina, A. W.; Wagacha, J. M.; Mwaura, F. B.; Muthomi, J. W.; Woloshuk, C. P. (2017): Assessment of farmers maize production practices and effect of triple-layer hermetic storage on the

population of *Fusarium* spp. and fumonisin contamination. In: *World Journal of Agricultural Research* 5 (1), S. 21–30. DOI: 10.12691/wjar-5-1-4.

Maize. (o. D.). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/maize/en/>

Makinya, K. J.; Wagacha, J. M.; Odhiambo, J. A.; Likhayo, P.; Edoh-Ognakossan, K.; Tefera, T. et al. (2021): The importance of store hygiene for reducing post-harvest losses in smallholder farmers' stores: Evidence from a maize-based farming system in Kenya. In: *Journal of stored products research* 90 (101757). DOI: 10.1016/j.jspr.2020.101757.

Maresca, M.; Fantini, J. (2010): Some food-associated mycotoxins as potential risk factors in humans predisposed to chronic intestinal inflammatory diseases. In: *Toxicon : official journal of the International Society on Toxinology* 56 (3), S. 282–294. DOI: 10.1016/j.toxicon.2010.04.016.

Marigi, S. N. (2017): Climate Change Vulnerability and Impacts Analysis in Kenya. In: *AJCC* 06 (01), S. 52–74. DOI: 10.4236/ajcc.2017.61004.

Midega, C. A. O.; Murage, A. W.; Pittchar, J. O.; Khan, Z. R. (2016): Managing storage pests of maize: Farmers' knowledge, perceptions and practices in western Kenya. In: *Crop Protection* 90, S. 142–149. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.08.033.

Migwi, B.; Mutegi, C.; Mburu, J.; Wagacha, J.; Cotty, P.; Bandyopadhyay, R.; Manyong, V. M. (2020): Assessment of willingness-to-pay for Aflasafe KE01, a native biological control product for aflatoxin management in Kenya. In: *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 37 (11), S. 1951–1962. DOI: 10.1080/19440049.2020.1817571.

Miller, J. D. (1995): Fungi and mycotoxins in grain: Implications for stored product research. In: *Journal of stored products research* 31 (1), S. 1–16. DOI: 10.1016/0022-474X(94)00039-V.

Ming, L.; Thorgeirsson, S. S.; Gail, M. H.; Lu, P.; Harris, C. C.; Wang, N. et al. (2002): Dominant role of hepatitis B virus and cofactor role of aflatoxin in hepatocarcinogenesis in Qidong, China. In: *Hepatology (Baltimore, Md.)* 36 (5), S. 1214–1220. DOI: 10.1053/jhep.2002.36366.

Mumo, L.; Yu, J.; Fang, K. (2018): Assessing Impacts of Seasonal Climate Variability on Maize Yield in Kenya. In: *Int. J. Plant Prod.* 12 (4), S. 297–307. DOI: 10.1007/s42106-018-0027-x.

Munkvold, G. P.; Arias, S.; Taschl, I.; Gruber-Dorniger, C. (2019). Chapter 9 - Mycotoxins in Corn: Occurrence, Impacts, and Management. In: Serna-Salvidar, S. O. (Ed.), *Corn Chemistry and Technology* (3rd ed., S. 235-287). Duxford, Woodhead Publishing and AACC International Press.

Mutegi, C. K.; Cotty, P. J.; Bandyopadhyay, R. (2018): Prevalence and mitigation of aflatoxins in Kenya (1960-to date). In: *World Mycotoxin Journal* 11 (3), S. 341–357. DOI: 10.3920/WMJ2018.2362.

Mutiga, S. K.; Hoffmann, V.; Harvey, J. W.; Milgroom, M. G.; Nelson, R. J. (2015): Assessment of Aflatoxin and Fumonisin Contamination of Maize in Western Kenya. In: *Phytopathology* 105 (9), S. 1250–1261. DOI: 10.1094/PHYTO-10-14-0269-R.

Mutiga, S. K.; Were, V.; Hoffmann, V.; Harvey, J. W.; Milgroom, M. G.; Nelson, R. J. (2014): Extent and drivers of mycotoxin contamination: inferences from a survey of kenyan maize mills. In: *Phytopathology* 104 (11), S. 1221–1231. DOI: 10.1094/PHYTO-01-14-0006-R.

Nabwire, W. R.; Ombaka, J.; Dick, C. P.; Strickland, C.; Tang, L.; Xue, K. S.; Wang, J. (2020): Aflatoxin in household maize for human consumption in Kenya, East Africa. In: *Food additives & contaminants. Part B, Surveillance* 13 (1), S. 45–51. DOI: 10.1080/19393210.2019.1690053.

- Ngure, F. M.; Ngure, C.; Achieng, G.; Munga, F.; Moran, Z.; Stafstrom, W.; Nelson, R. J. (2021): Mycotoxins contamination of market maize and the potential of density sorting in reducing exposure in unregulated food systems in Kenya. In: *World Mycotoxin Journal* 14 (2), S. 165–178. DOI: 10.3920/WMJ2020.2631.
- Ngure, F. M.; Reid, B. M.; Humphrey, J. H.; Mbuya, M. N.; Pelto, G.; Stoltzfus, R. J. (2014): Water, sanitation, and hygiene (WASH), environmental enteropathy, nutrition, and early child development: making the links. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 1308, S. 118–128. DOI: 10.1111/nyas.12330.
- Njeru, N. K.; Midega, C. A. O.; Muthomi, J. W.; Wagacha, J. M.; Khan, Z. R. (2019): Influence of socio-economic and agronomic factors on aflatoxin and fumonisin contamination of maize in western Kenya. In: *Food science & nutrition* 7 (7), S. 2291–2301. DOI: 10.1002/fsn3.1070.
- Nji, Q. N.; Babalola, O. O.; Ekwomadu, T. I.; Nleya, N.; Mwanza, M. (2022): Six Main Contributing Factors to High Levels of Mycotoxin Contamination in African Foods. In: *Toxins* 14 (5), S. 318. DOI: 10.3390/toxins14050318.
- Nleya, N.; Adetunji, M. C.; Mwanza, M. (2018): Current Status of Mycotoxin Contamination of Food Commodities in Zimbabwe. In: *Toxins* 10 (5), S. 89. DOI: 10.3390/toxins10050089.
- Nleya, T.; Chungu, C.; Kleinjan, J. (2019). *Best Management Practices for Corn Production. Chapter 5 - Corn Growth and Development*. Hg. v. D. Clay, G. Carlson, S. Clay und E. Byamukama. South Dakota State University Extension. <https://extension.sdstate.edu/igrow-corn-best-management-practices-corn-production>.
- Nying'uro, P.; Kiptum, C.; Mwai, Z. (2021): STATE OF THE CLIMATE 2020. Hg. v. S. Aura. Kenya Meteorological Department (KMD). Online verfügbar unter <https://meteo.go.ke/resources/downloads/state-climate-report-kenya-2020>, zuletzt geprüft am 29.03.2023.
- Obonyo, M. A.; Salano, E. N. (2018): Perennial and seasonal contamination of maize by aflatoxins in eastern Kenya. In: *International journal of food contamination* 5 (6). DOI: 10.1186/s40550-018-0069-y.
- Obuseh, F. A.; Jolly, P. E.; Kulczycki, A.; Ehiri, J.; Waterbor, J.; Desmond, R. A. et al. (2011): Aflatoxin levels, plasma vitamins A and E concentrations, and their association with HIV and hepatitis B virus infections in Ghanaians: a cross-sectional study. In: *Journal of the International AIDS Society* 14, S. 53. DOI: 10.1186/1758-2652-14-53.
- Ojiambo, P. S.; Battilani, P.; Cary, J. W.; Blum, B. H.; Carbone, I. (2018): Cultural and Genetic Approaches to Manage Aflatoxin Contamination: Recent Insights Provide Opportunities for Improved Control. In: *Phytopathology* 108 (9), S. 1024–1037. DOI: 10.1094/PHYTO-04-18-0134-RVW.
- Okioma, M. S. N.; Gathuru, E. M.; Wagara, I. N.; Waithaka, P. N.; Githaiga, B. M. (2020): Post-harvest practices of maize farmers in selected Counties in Kenya and isolation of mycotoxin producing fungi from maize samples. In: *Indian Journal of Pure & Applied Biosciences* 8 (5), S. 20–30. DOI: 10.18782/2582-2845.8355.
- Ostry, V.; Malir, F.; Toman, J.; Grosse, Y. (2017): Mycotoxins as human carcinogens-the IARC Monographs classification. In: *Mycotoxin research* 33 (1), S. 65–73. DOI: 10.1007/s12550-016-0265-7.
- Peers, F. G.; Linsell, C. A. (1973): Dietary aflatoxins and liver cancer--a population based study in Kenya. In: *British journal of cancer* 27 (6), S. 473–484. DOI: 10.1038/bjc.1973.60.
- Phologolo, T.; Yu, C.; Mwasiagi, J. I.; Muya, N.; Li, Z. F. (2012): Production and Characterization of Kenyan Sisal. In: *Asian J. of Textile* 2 (2), S. 17–25. DOI: 10.3923/ajt.2012.17.25.

- Pleadin, J.; Frece, J.; Markov, K. (2019): Mycotoxins in food and feed. In: *Advances in food and nutrition research* 89, S. 297–345. DOI: 10.1016/bs.afnr.2019.02.007.
- Raney, K. D.; Meyer, D. J.; Ketterer, B.; Harris, T. M.; Guengerich, F. P. (1992): Glutathione conjugation of aflatoxin B1 exo- and endo-epoxides by rat and human glutathione S-transferases. In: *Chemical research in toxicology* 5 (4), S. 470–478. DOI: 10.1021/tx00028a004.
- Ritchie, S. W.; Hanway, J. J.; Benson, G. O. (1986): How a corn plant develops. Hg. v. J. C. Herman. Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service. Ames, Iowa (Special Report No. 48). Online verfügbar unter <https://publications.iowa.gov/18027/>.
- Ross, R. K.; Yuan, J. M.; Yu, M. C.; Wogan, G. N.; Qian, G. S.; Tu, J. T. et al. (1992): Urinary aflatoxin biomarkers and risk of hepatocellular carcinoma. In: *Lancet (London, England)* 339 (8799), S. 943–946. DOI: 10.1016/0140-6736(92)91528-g.
- Rushing, B. R.; Selim, M. I. (2019): Aflatoxin B1: A review on metabolism, toxicity, occurrence in food, occupational exposure, and detoxification methods. In: *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association* 124, S. 81–100. DOI: 10.1016/j.fct.2018.11.047.
- Sadeghi, N.; Oveisi, M. R.; Jannat, B.; Hajimahmoodi, M.; Bonyani, H.; Jannat, F. (2009): Incidence of aflatoxin M1 in human breast milk in Tehran, Iran. In: *Food control* 20 (1), S. 75–78. DOI: 10.1016/j.foodcont.2008.02.005.
- Sánchez, B.; Rasmussen, A.; Porter, J. R. (2014): Temperatures and the growth and development of maize and rice: a review. In: *Global change biology* 20 (2), S. 408–417. DOI: 10.1111/gcb.12389.
- Serna-Saldivar, S. O. (Hg.) (2019): Corn. Chemistry and Technology. 3rd ed. San Diego: Elsevier Science & Technology.
- Shephard, G. S. (2008): Risk assessment of aflatoxins in food in Africa. In: *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 25 (10), S. 1246–1256. DOI: 10.1080/02652030802036222.
- Shirima, C. P.; Kimanya, M. E.; Kinabo, J. L.; Routledge, M. N.; Srey, C.; Wild, C. P.; Gong, Y. Y. (2013): Dietary exposure to aflatoxin and fumonisin among Tanzanian children as determined using biomarkers of exposure. In: *Molecular Nutrition & Food Research* 57 (10), S. 1874–1881. DOI: 10.1002/mnfr.201300116.
- Sirma, A. J.; Lindahl, J. F.; Makita, K.; Senerwa, D.; Mtimet, N.; Kang'ethe, E. K.; Grace, D. (2018): The impacts of aflatoxin standards on health and nutrition in sub-Saharan Africa: The case of Kenya. In: *Global Food Security* 18, S. 57–61. DOI: 10.1016/j.gfs.2018.08.001.
- Sirma, A. J.; Senerwa, D. M.; Grace, D.; Makita, K.; Mtimet, N.; Kang'ethe, E. K.; Lindahl, J. F. (2016): Aflatoxin B1 occurrence in millet, sorghum and maize from four agro-ecological zones in Kenya. In: *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development* 16 (3), S. 10991–11003. DOI: 10.4314/ajfand.v16i3.
- Smith, J. E. (1997). Aflatoxins. In: D'Mello, J. P. (Ed.), *Handbook of Plant and Fungal Toxicants* (S. 269-285). Boca Raton, CRC Press.
- Smith, D. R.; White, D. G. (1988). Diseases of Corn. In: Sprague, G. F.; Dudley, J. W. (Eds.), *Corn and Corn Improvement* (3rd ed., S. 687–766). Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy.
- Smith, L. E.; Stoltzfus, R. J.; Prendergast, A. (2012): Food chain mycotoxin exposure, gut health, and impaired growth: a conceptual framework. In: *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)* 3 (4), S. 526–531. DOI: 10.3945/an.112.002188.

- Solaimalai, A.; Anantharaju, P.; Irulandi, S.; Theradimani, M. (2020). Chapter 8 - Climatic Effects on Maize Production. In: Solaimalai, A.; Anantharaju, P.; Irulandi, S.; Theradimani, M. (Eds.), *Maize Crop - Improvement, Production, Protection and Post Harvest Technology* (S. 93-119). London, CRC Press.
- Sombroek, W. G.; Braun, H. M. H.; van der Pouw, B. J. A. (1982): Exploratory soil map and agro-climatic zone map of Kenya, 1980, scale 1:1,000,000. Hg. v. Kenya Soil Survey. Nairobi (Exploratory soil survey report. Kenya Soil Survey, no. E1). Online verfügbar unter <https://research.wur.nl/en/publications/exploratory-soil-map-and-agro-climatic-zone-map-of-kenya-1980-sca>, zuletzt geprüft am 01.04.2023.
- Sun, Z.; Lu, P.; Gail, M. H.; Pee, D.; Zhang, Q.; Ming, L. et al. (1999): Increased risk of hepatocellular carcinoma in male hepatitis B surface antigen carriers with chronic hepatitis who have detectable urinary aflatoxin metabolite M1. In: *Hepatology (Baltimore, Md.)* 30 (2), S. 379–383. DOI: 10.1002/hep.510300204.
- Tang, L.; Xu, L.; Afriyie-Gyawu, E.; Liu, W.; Wang, P.; Tang, Y. et al. (2009): Aflatoxin-albumin adducts and correlation with decreased serum levels of vitamins A and E in an adult Ghanaian population. In: *Food additives & contaminants. Part A, Chemistry, analysis, control, exposure & risk assessment* 26 (1), S. 108–118. DOI: 10.1080/02652030802308472.
- Temba, B. A.; Darnell, R. E.; Gichangi, A.; Lwezaura, D.; Pardey, P. G.; Harvey, J. J. et al. (2021): The Influence of Weather on the Occurrence of Aflatoxin B1 in Harvested Maize from Kenya and Tanzania. In: *Foods (Basel, Switzerland)* 10 (2). DOI: 10.3390/foods10020216.
- Turner, P. C.; Collinson, A. C.; Cheung, Y. B.; Gong, Y.; Hall, A. J.; Prentice, A. M.; Wild, C. P. (2007): Aflatoxin exposure in utero causes growth faltering in Gambian infants. In: *International journal of epidemiology* 36 (5), S. 1119–1125. DOI: 10.1093/ije/dym122.
- U.S. Food and Drug Administration Guidelines for Aflatoxin Levels. (o. D.). Missouri Department of Agriculture. <https://agriculture.mo.gov/plants/feed/aflatoxin.php>
- van der Fels-Klerx, H. J.; Liu, C.; Battilani, P. (2016): Modelling climate change impacts on mycotoxin contamination. In: *World Mycotoxin Journal* 9 (5), S. 717–726. DOI: 10.3920/WMJ2016.2066.
- Verheye, W. H. (2010). Growth and production of maize : traditional low-input cultivation. In: Verheye, W. H. (Ed.), *Land use, land cover and soil sciences*. Oxford, UK: UNESCO-EOLSS Publishers.
- Vries, H. R. de; Maxwell, S. M.; Hendrickse, R. G. (1990): Aflatoxin excretion in children with kwashiorkor or marasmic kwashiorkor--a clinical investigation. In: *Mycopathologia* 110 (1), S. 1–9. DOI: 10.1007/BF00442763.
- Wu, Q.; Jezkova, A.; Yuan, Z.; Pavlikova, L.; Dohnal, V.; Kuca, K. (2009): Biological degradation of aflatoxins. In: *Drug Metabolism Reviews* 41 (1), S. 1–7. DOI: 10.1080/03602530802563850.
- Yiannikouris, A.; Jouany, J-P. (2002): Mycotoxins in feeds and their fate in animals: a review. In: *Anim. Res.* 51 (2), S. 81–99. DOI: 10.1051/animres:2002012.
- Zanon, M. S. A.; Bossa, M.; Chiotta, M. L.; Oddino, C.; Giovanini, D.; Cardoso, M. L. et al. (2022): Pre-harvest strategy for reducing aflatoxin accumulation during storage of maize in Argentina. In: *International journal of food microbiology* 380 (109887). DOI: 10.1016/j.ijfood-micro.2022.109887.

10 Anhang

10.1 Erntepraktiken kenianischer Maisbauern

Tabelle 18: Vorernte-, Ernte- und Nacherntepraktiken kenianischer Maisbauern

Nr.	Erhebungszeitraum	Erhebungsart	Standort	Vorernte-, Ernte- und Nacherntepraktiken	Referenz
1	August-Oktober 2014	Halbstrukturierte Fragebogen-Interviews und Gruppendiskussionen mit 330 Landwirten (55 aus jedem Unterbezirk)	6 Unterbezirke Westkenias: Homabay, Vihigi, Busia, Siaya, Bondo (in Siaya county), Migori	<p>Maissorten: Hybrid als auch lokale Sorten: 41,5% Hybrid: 17,6% Lokale: Sorten 40,9%</p> <p>Lagerort: Traditionelle Einrichtung (meist Holzwände und Grasstrohdächer): 17,6% moderne Einrichtung (Betonplattformen, Ziegelwände, Eisendächer): 0,9% Säcke in Wohnhäusern: 76,1% Andere*: 5,5% <i>*Metallbehälter und Plastik-Säcke</i></p> <p>Art des gelagerten Mais: Geschält: 90,3% Ungeschält: 9,7%</p> <p>Schädlingsmanagement: Belüftung/Sonnentrocknung: 88,2% Aussortieren: 21,2% Pestizidanwendung: 16,1% Lager ausräuchern: 5,5% Nichts tun: 0,9% Andere: 0,3%</p>	(Midega et al. 2016)
2	2014	Daten von 630 Maisbauern durch strukturierten Fragebogen erhoben	6 Agrarökologische Zonen: Central, Coast, Eastern, Nyanza, Rift Valley and Western Region Die Bezirke Busia, Bungoma, Kakamega, Uasin Gishu, Homa Bay, Kisumu, Bomet, Nakuru, Nyeri, Nyandarua, Kirinyaga, Muranga, Machakos, Kitui, Makueni, Taita-Tayeta, Kilifi, Mombasa, Kwale	<p>Lagerform Mais: Als Kolben: 16,5%, als Körner: 60,8%, beides: 22,7%</p> <p>Formen der Kolbenlagerung: In Schale: 16,2%, Ohne Schale :79%, beides: 4,9%</p> <p>Lagermethode: <i>Maiskolben</i> Traditionelle Getreidespeicher*: 33,2% Traditionelle „Cribs“*: 3,2% Verbesserte „Cribs“ mit Strohdach*: 9,7% Verbesserte „Cribs“ mit Eisenblechdach*: 39,3% Sack: 6,9% Zimmerboden: 4,1% Zimmerboden mit Matte ausgelegt: 11,3% An Seil hängend: 3,6% <i>Geschälte Maiskörner</i> Sack: 99,2% Zimmerboden: 2,1% Zimmerboden mit Matte ausgelegt: 16,4% Auf dem Boden verbesserter „Cribs“: 1,5%</p>	(Edoh Ognakossan et al. 2016)

				<p>Auf dem Boden traditioneller Getreidespeicher: 0,2%</p> <p>Metallsilo: 1,0%</p> <p>Hermetische Plastik-Säcke: 0,4%</p> <p>Plastikbehälter: 0,2%</p> <p>Plattform: 0,2%</p> <p>Tomatenkiste: 0,2%</p> <p>Lagerort geschälter Mais in Säcken:</p> <p>Wohnhäusern: 73,2%</p> <p>Getreidespeicher/“Cribs“: 25,1%</p> <p>Metallsilo: 1,7%</p> <p>Schädlingsmanagement:</p> <p><i>Maiskolben</i></p> <p><u>Insektenbekämpfung</u></p> <p>Keine Kontrollmethode: 32,8%</p> <p>Insektizide: 49,0%</p> <p>Holz-/Kuhdungasche: 6,5%</p> <p>Pflanzenblätter: 8,1%</p> <p>Sonneneinstrahlung: 8,9%</p> <p>Peperoni-Pulver: 2,0%</p> <p>Räuchern: 12,2%</p> <p><u>Nagetierbekämpfung:</u></p> <p>Keine Kontrollmethode: 25,9%</p> <p>Rodentizide: 57,1%</p> <p>Katze: 32,8%</p> <p>Rattenfalle: 19,0%</p> <p>Verputzen der Wand und des Bodens des Getreidespeichers: 3,2%</p> <p>Jagd: 2,0%</p> <p>Köder: 0,4%</p> <p><i>Maiskörner</i></p> <p><u>Insektenbekämpfung:</u></p> <p>Keine Kontrollmethode: 6,8%</p> <p>Insektizide: 83,7%</p> <p>Holz-/Kuhdungasche: 12,7%</p> <p>Pflanzenblätter: 1,5%</p> <p>Sonneneinstrahlung: 10,1%</p> <p>Peperoni-Pulver: 0,4%</p> <p>Räuchern: 0,2%</p> <p>Verwendung abgekochtes Wasser: 0,29%</p> <p>Metallsilo: 1,0%</p> <p>Hermetischer Plastik-Säcke: 0,4%</p> <p><u>Nagetierbekämpfung:</u></p> <p>Keine Kontrollmethode: 15,4%</p> <p>Rodentizide: 60,8%</p> <p>Katze: 45,8%</p> <p>Rattenfalle: 11,2%</p> <p>Jagd: 1,1%</p> <p>Köder: 2,3%</p> <p>Buchgummi/Klebeband: 0,6%</p> <p>Metallsilo: 1,0%</p>	
3	Oktober 2015	Erhebung durch semi-strukturierten Fragebogen;	Mukuyuni und Kilala im Distrikt Kaiti im Bezirk Makueni	<p>Bodenbearbeitungsverfahren:</p> <p>Ochsenpflug 66,7%</p> <p>Ochsenpflug und Handhacke; 33,3%</p> <p>Maissorten:</p>	(Maina et al. 2017)

		30 Landwirte (15 Mukuyuni und 15 aus Kilala)		verbesserte Maissorten 66,7% traditionelle Sorten 33,3% Lagermethode: Polypropylensäcke 83,3%, Sisalsäcke *: 16,7%	
4	Oktober 2015	Erhebung durch semi-strukturierten Fragebogen; 30 Landwirte (15 Mukuyuni und 15 aus Kilala)	Mukuyuni und Kilala im Distrikt Kaiti im Bezirk Makueni	Bestimmungsart des Erntezeitpunkts: Visuell: 96,7% anhand Anzahl vergangener Tage: 6,7% Trocknungsdauer: 1 Woche: 20% 2 Wochen: 36,7% 3 Wochen: 20% 4 Wochen: 23,3% Lagerort: Getreidespeicher (meist Holzkonstruktion mit Eisenblechbedachung): 56,7% Wohnhaus der Familie: 43,3% Lagermethode: gewebte Polypropylensäcke: 83,3% Sisalsäcke*: 16,7% Schädlingsmanagement vor Einlagerung: Insektizide: ca. 70% traditionelle Lagerschutzmittel (Asche): ca. 13% keine: ca. 17%	(Maina et al. 2016)
5	Januar-Februar 2017	Haushaltsbefragung von 255 Kleinbauern (116 Push and Pull Technologie; 139 Nicht Push and Pull Technologie); Interviews mit Hilfe eines semi-strukturier-ten Fragebo-gens	Bezirke Kisumu, Vi-higa, Siaya, Kakamega und Migori West-kenias	Bodenbearbeitungsverfahren: Ochsen-Pflügen: ca. 36% Pflügen mit Handhacke: ca. 77% Fruchtfolge: Ca. 28% Zwischenfruchtanbau: Ca. 73% Bodenverbesserungen DAP*: ca. 43% CAN* ca. 27% Kompostdünger: ca. 32% Stalldünger: ca. 70% Andere: ca. 5% <i>*DAP= Diammoniumphosphat, CAN: Calcium-Ammonium-Nitrat</i> Maissorte: Lokal: ca. 60% Hybrid: ca. 34% Ernte-Praktiken: Entstielen auf dem Feld: ca. 50% Stiel mitsamt Kolben abschneiden: ca. 40% Andere: ca. 10% Aussortieren von Mais: Ja: ca. 95% Nein: ca. 5%	(Njeru et al. 2019)

				<p>Verwendung von verfaultem Mais: Viehfutter: ca. 67% Verkauf an lokale Brauer: ca. 10% Kompostdünger: ca. 4% Entsorgen: ca. 17%</p> <p><i>prozentuale Anteile wurden zum Gesamtanteil der Landwirte umgerechnet</i></p>	
6	März-Oktober 2017	342 Landwirte wurden interviewt	Bezirk Nakuru	<p>Lagermethode: Sack: 98,2% Metallsilo: 0,3% Zimmerboden: 0,9% Getreidespeicherboden: 0,6%</p> <p>Genutzte Sackarten: Polypropylen-Sack: 87,5% Jute-/Sisal-Sack*: 1,5% Polypropylen-Sack und Jute-/Sisal-Sack*: 2,7% Verbesserte hermetische Säcke: 8,3%</p> <p>Lagerort: Getreidespeicher: 60,1% Wohnzimmer: 8,0% Schlafzimmer: 13,4% Küche: 3,3% Spezieller Lagerraum: 15,2%</p> <p>Vor-Einlagerungs-Maßnahmen: <i>Aussortierung geschädigter Körner: 90,4%</i> Insekten-Schäden: 47,6% Schimmel-Schäden: 81,2% Nagetier-Schäden: 28,8% Vogel-Schäden: 19,4% <i>Trocknung vor der Lagerung: 76%</i> Auf bloßer Erde: 16,5% Auf Planen: 78,5% Auf Betonböden: 4,2% Auf dem Dach: 0,8% <i>Dreschen: 100%</i> Hand-Dreschen: 2,3% Schlagen entspelzter Kolben mit Stock: 4,7% Schlagen von Kolben in einem Sack: 10,8% Dresch-Maschinen: 82,2% <i>Entfernen von Fremdmaterial: 82,5%</i> Unkrautsamen: 6,7% Spreu: 86,9% Sand: 9,9% Staub: 32,6% Maiskolben-Bruch: 7,4% <i>Säuberungsart</i> Sieben: 41,1% Windtrennung: 68,8% Handlese: 12,8%</p> <p>Lagersäuberungspraktiken: Reinigung vor Einbringung der Ernte: 89,8% <i>Reinigungsart</i> Fegen: 71,0% Wischen: 10,4%</p>	(Makinya et al. 2021)

				<p>Fegen und Wischen: 18,6% Reinigung nach Einbringung der Ernte: 49,7% <i>Reinigungsart</i> Fegen: 64,7% Wischen: 3,5% Abstauben: 10,0% Fegen und Wischen: 8,2% Fegen und Abstauben: 13,5% Desinfektion des Lagers: 44,4%</p> <p>Sack-Gebrauch und Recycling-Pflege: <i>Sack-Gebrauch</i> Verwendung neuer Säcke: 59,8% Wiederverwendung: 12,2% Beides: 28,0% <i>Behandlung wiederverwendeter Säcke:</i> Behandeln: 45,9% Nicht behandeln: 54,1% <i>Methoden der Sack-Behandlung:</i> Chemikalien: 53,2% Heißes Wasser: 19,4% Kaltes Wasser: 9,7% Sonneneinstrahlung: 17,7%</p>	
7	2017	Erhebung über halbstrukturier-ten Fragebogen von 314 Landwirten (165 Rift Valley), (149 Lower Eastern)	Region Rift Valley :Bezirke Bomet, Nakuru, Trans-Nzoia; Region Lower Eastern: Bezirke Machakos, Makueni und Kitui	<p>Handhabung direkt nach der Ernte: Maiskolben ohne Abdeckung auf Feld: 47,1% In separaten Raum (Zuhause) stapeln: 48,4% Maiskolben abgedeckt auf dem Feld: 33,8%</p> <p>Trocknen: Trocknen auf einer Plane auf dem Boden: 39,8% Sonnentrocknung: 100% mediane Tagesanzahl= 7 Tage</p> <p>Insektenbekämpfung: chemische Insektizide: 70,7% Sonnentrocknung/Belüften: 32,5% Asche: 8% keine: 1%</p> <p>Lagerort: kommerzielle Lagerhalle: 3,5% Lagerung zu Hause: 96,5%</p> <p>Lagerform Mais: Häufigkeit d. Lagerung entspelzter Maiskolben: 34,4% (always); 65,6% (never) Häufigkeit Lagerung als Körner: 97,8% (always); 2,2% (never) Häufigkeit Lagerung von Maiskolben in Schale: 26,2% (always); 83,4% (never)</p> <p>Reinigen des Lagers: vor neuer Ernte: 98,4%</p> <p>Praktiken zur Reduktion von Schimmelpilz Kontaminationen: Insektizid-Anwendung vor Lagerung: 59,2% Lagern von komplett trockenem Mais: 93,3% Lagerung in Plastik-Sack: 22,3%</p>	(Koskei et al. 2020)

				<p>Lagerung in Plastik-Behälter: 12,4%</p> <p>Lagerung in Metallsilo: 30,6%</p> <p>Lagerung in Tontopf: 34,1%</p>	
8	Juni -November 2021	Interview von 212 klein- und großbäuerlichen Maisbetrieben via Fragebogen	Bezirke Uasin Gishu und Elgeyo Marakwet aus der Region „Rift Valleys“	<p>Maissorten: Hybride: 94,8%</p> <p>traditionelle Saat: 5,2%</p> <p>Aussortieren von Mais: Ja: 94,37%</p> <p>Nein: 5,64%</p> <p>Lagermethode: Auf dem Boden: 0,94%</p> <p>Polypropylen-Sack: 8,49%</p> <p>PICS Sack*/ hermetischer Sack: 38,21%</p> <p>Schilf-/Sisal-Korb*: 0,47%</p> <p>Sisal-Sack*: 50,00%</p> <p>Andere*: 1,89%</p> <p>*Plastik Behälter, große Fässer</p> <p>Lagerort: Im Haus: 37,6%</p> <p>Modernes Lager: 21,90%</p> <p>Traditioneller Getreidespeicher: 40,48%</p> <p>Lagerdauer: 1-3 Monate: 12,80%</p> <p>3-6 Monate: 11,37%</p> <p>6-9 Monate: 61,14%</p> <p>>9 Monate: 14,69%</p> <p>Praktiken zur Aflatoxin-Reduktion: Ordnungsgemäßes Trocknen: 17,8%</p> <p>Sortieren während des Trocknens: 30,5%</p> <p>Lagerung an belüfteten Ort: 16,4%</p> <p>Gebrauch hermetischer Säcke: 30,5%</p> <p>Anwenden von Herbiziden vor Lagerung: 8,5%</p>	(Gachara et al. 2022)
9	keine Zeitan-gabe	Interview von 541 Landwirten (280 aus Makueni, 261 aus Nandi) via Fragebogen; Auf Grundlage des Fragebo-gens wurden Gruppendis-kussionen ab-gehalten	Bezirke Nandi und Makueni	<p>Vorernte-Praktiken Gebrauch zertifizierter Sorten: 44% (Makueni, n=273); 100% (Nandi, n=259)</p> <p>Bodenverbesserungen: 82,1% (Makueni, n=280); 93.9% (Nandi, n= 261)</p> <p>Fruchtfolge: 16,4% (Makueni, n= 280); 25.3% (Nandi, n= 261)</p> <p>Ernte-Praktiken Maiskolben mit Stiel abernten, in Stapeln auf dem Feld trocknen: 55.4% (Makueni, n= 280); 49.0% (Nandi, n= 261)</p> <p>Kolben von den Stielen abernten: 42.5% (Makueni, n= 280); 48.7% (Nandi, n= 261)</p> <p>Nachernte-Praktiken Trocknen auf Plane: 60.7% (Makueni, n= 280); 72.4% (Nandi, n= 261)</p> <p><i>Schälen</i> Hand: 11.4% (Makueni, n= 280); 14.6% (Nandi, n= 261)</p>	(Kang'ethe et al. 2017)

				<p>Maschine: 11.4% (Makueni, n= 280); 30.7% (Nandi, n= 261) Manuelles Schlagen: 76.8% (Makueni, n= 280); 52.1% (Nandi, n= 261) <i>Verwendung chemischer Konservierungsmittel:</i> 77.9% (Makueni, n= 280); 75.1% (Nandi, n= 261) <i>Lagerort (geschälter Mais in Prolypropylen-Säcken)</i> Erhöhte Getreidespeicher: 44,3% Auf Paletten im Haus: 48,6% Erhöhte „cribs“: 7,1%</p>	
10	<i>Keine Zeitan-gabe</i>	Erhebung durch Fragebo-gen	Bezirke Trans Nzoia, Kisii, Kisumu, Bungoma, Migori, Kericho, Machakos, Kitui, Meru	<p>Erntezeitpunkt: Mais gestapelt, zum Trocknen ausgelegt: 93,9% Vollständig getrocknet: 3,4% Bei Beginn der Trocknung: 1,6% Grün geerntet und verkauft: 1,1%</p> <p>Verwendung schlechten Maises: Viehfutter: 94,4% Verkauf: 3,4% Wegwerfen: 1,1% Selbstgebrauch: 1,1%</p> <p>Lagermethode: Sisal-Sack*: 44,6% Getreidespeicher: 39,2% Polypropylen-Sack: 8,7% Korb: 2,8% Boden des Familienhauses: 1,9% Tontopf: 1,5%, Polyethylen-Sack: 1,3%</p>	(Okioma et al. 2020)

Legende:

Sisal-Sack: Material des Stoffes sind Fasern von Agavenblättern (Phologolo et al. 2012)

Sisal-Korb: Gewebt aus den Fasern von Agavenblättern (Phologolo et al. 2012)

PICS Sack: Steht für: „Purdue Improved Crop Storage“. Luftdichte luftdichte Technologie bestehend aus zwei Polyethyle-Schichten und einer äußeren gewobenen Polypropylen-Sackschicht (Baributsa et al. 2015)

traditionelle Getreidespeicher: Große zylindrische Struktur aus gebogenen Stöcken, welche sich auf einer erhöhten Plattform befindet und von einem Grasstrohdach oder einer Holzplattform mit einer Wand aus Lehm bedeckt ist (Edoh Ognakossan et al. 2016)

traditionelle „Cribs“: Erhöhte zylindrische Strukturen aus gebogenen Stöcken, die oben mit Stroh gedeckt sind (Edoh Ognakossan et al. 2016)

verbesserte „Cribs“ mit Strohdach: Erhöhte rechteckige Strukturen mit Wänden aus Sisalstämmen, Holzsparren oder Holz und einem Strohdach (Edoh Ognakossan et al. 2016)

verbesserte „Cribs“ mit Eisenblechdach: Erhöhte rechteckige Strukturen mit Wänden aus Sisalstängeln, Holzsparren, Holz oder Drahtgeflecht zwischen den Stangen und einem Eisenblechdach (Edoh Ognakossan et al. 2016)

10.2 Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

Datum:

Unterschrift:

