

**Epidemiologie und Behandlung von Schlangenbissen in
den Gemeinden und Gesundheitseinrichtungen des
Departements Ogooué et des Lacs, Gabun**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Medizin (Dr. med.)

an der

Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von

Rica Artus

aus

Hamburg

2025

Betreuer:in/ Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Michael Ramharter

Gutachter:in der Dissertation: Prof. Dr. Jürgen May

Vorsitz der Prüfungskommission: Prof. Dr. Jürgen May

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Marylyn Addo

Mitglied der Prüfungskommission: Prof. Dr. Antonia Zapf

Datum der mündlichen Prüfung: 29.05.2026

Inhaltsverzeichnis

1	Darstellung der Publikation	1
1.1	Einleitung.....	1
1.2	Methoden	3
1.2.1	Studiendesign- und gebiet.....	3
1.2.2	Haushaltsbefragung.....	3
1.2.2.1	Stichprobengröße und Auswahl der Haushalte.....	3
1.2.2.2	Datensammlung	4
1.2.2.3	Datenmanagement und -analyse	4
1.2.3	Datenerhebung in den Gesundheitseinrichtungen	6
1.2.3.1	Auswahl der Gesundheitseinrichtungen und Datensammlung	6
1.2.3.2	Datenmanagement und -analyse	6
1.3	Ergebnisse	6
1.3.1	Studienpopulation und Inzidenz von Schlangenbissen.....	6
1.3.2	Beschreibung von Schlangenbissen.....	6
1.3.3	Klinische Symptome und Ergebnisse nach Schlangenbissen	7
1.3.4	Behandlungsverhalten nach Schlangenbissen.....	7
1.3.5	Erhaltene Behandlung nach Schlangenbissen.....	8
1.3.6	Behandlungskosten von Schlangenbissen.....	8
1.3.7	Schlangenbisse bei Haus- und Nutztieren.....	8
1.3.8	Inzidenz und Behandlung von Schlangenbissen anhand von Patient:innendaten aus Gesundheitseinrichtungen.....	9
1.3.9	Verfügbarkeit von Antiveninen in den Gesundheitseinrichtungen.....	9
1.4	Diskussion	9
1.5	Schlussfolgerungen.....	13
2	Artikel	14
3	Zusammenfassung/ Summary	31
3.1	Zusammenfassung.....	31
3.2	Summary.....	32
4	Literaturverzeichnis	33
5	Abkürzungsverzeichnis	38
6	Erklärung des Eigenanteils.....	39
7	Eidesstattliche Versicherung	41
8	Danksagung.....	42

1 Darstellung der Publikation

1.1 Einleitung

Schlangenbissvergiftungen sind ein globales Gesundheitsproblem, welches unterschätzt und vernachlässigt wird. Jährlich werden weltweit über 5,4 Millionen Menschen von Schlangen gebissen, wobei etwa die Hälfte eine Vergiftung erleidet. Die Krankheitslast ist besonders hoch in den ärmeren Regionen der Tropen und Subtropen, beispielsweise in Subsahara-Afrika, Süd- und Südostasien (Harrison et al. 2009, Gutiérrez et al. 2017, GBD 2019 Snakebite Envenomation Collaborators 2022). Hier sind vor allem Menschen in ländlichen Regionen mit geringem Einkommen, schlecht gebauten Häusern und eingeschränktem Zugang zu Bildung und medizinischer Versorgung betroffen (Gutiérrez et al. 2017).

Im Jahr 2017 nahm die Weltgesundheitsorganisation (WHO) Schlangenbissvergiftungen in die Liste der vernachlässigten Tropenkrankheiten auf und setzte sich zum Ziel, die Morbidität und Mortalität durch Schlangenbisse bis 2030 um 50 % zu senken (Williams et al. 2019). Um gezielt Ressourcen bereitstellen zu können, ist die genaue Identifikation von Regionen mit hoher Krankheitslast erforderlich. Insbesondere in Afrika sind die epidemiologischen Daten sehr lückenhaft (Kasturiratne et al. 2008, World Health Organization 2023a, World Health Organization 2024). Daten aus offiziellen Gesundheitseinrichtungen wie Krankenhäusern, Kliniken oder Praxen unterschätzen häufig die tatsächliche Inzidenz von Schlangenbissen (Chippaux 2011, Thang et al. 2020). So zeigte beispielsweise eine gemeindebasierte Querschnittsstudie in Kamerun eine etwa zehnmal höhere Anzahl von Schlangenbissen und Todesfällen im Vergleich zu früheren Schätzungen, die auf Daten aus Gesundheitseinrichtungen beruhten (Chippaux et al. 2002, Kasturiratne et al. 2008, Alcoba et al. 2024). Diese Diskrepanz liegt darin begründet, dass viele Betroffene nach einem Schlangenbiss keine offiziellen Gesundheitseinrichtungen aufsuchen zum Beispiel wegen langer Anfahrtswege, der Konsultation traditioneller Heiler:innen oder hoher Behandlungskosten (Vongphoumy et al. 2015, Schioldann et al. 2018, Alcoba et al. 2020, Steinhorst et al. 2022).

Ein Großteil der Schlangenbisse führt zu keinen oder nur milden klinischen Symptomen, da die Schlange entweder ungiftig ist oder nur wenig bis gar kein Gift injiziert hat (Gutiérrez et al. 2017). Je nach Schlangenspezies kann es durch das Gift jedoch zu lokalen Gewebeschäden mit Blasenbildung und Nekrosen (zytotoxische Wirkung) sowie zu lebensbedrohlichen Symptomen, wie systemischen Blutungen (hämotoxische Wirkung) und Lähmungen der Atemmuskulatur, (neurotoxische Wirkung) führen. Bei diesen schweren Vergiftungen sind die Gabe eines passenden Antivenins und gegebenenfalls operative Eingriffe, eine mechanische Beatmung oder Bluttransfusionen notwendig (World Health Organisation. Regional Office for Africa 2010, Gutiérrez et al. 2017). In vielen Regionen besteht jedoch ein Mangel an wirksamen Antiveninen (Vongphoumy et al. 2015, Alcoba et al. 2020, Ooms et al. 2020). Die Ermittlung des Bedarfs anhand epidemiologischer Daten könnte Anreize für eine vermehrte Produktion und Verfügbarkeit effektiver

Antivenine schaffen (World Health Organization 2023c). Da das Wissen des Gesundheitspersonals über den Umgang mit Schlangenbissen, einschließlich der Gabe von Antiveninen als unzureichend beschrieben wird (Taieb et al. 2018, Aron et al. 2022, Michael et al. 2022), sollten Wissenslücken identifiziert und in Schulungen thematisiert werden (Vongphoumy et al. 2015, Taieb et al. 2018, Sreekumar et al. 2025).

Schlangenbisse führen unter anderem durch Behandlungskosten und Arbeitsunfähigkeit zu erheblichen finanziellen Belastungen (Babo Martins et al. 2022, Schurer et al. 2023). Zusätzlich sind Nutz- und Haustiere von Schlangenbissvergiftungen mit hoher Mortalität betroffen (Bolon et al. 2019, Bolon et al. 2021, Alcoba et al. 2022, Babo Martins et al. 2022, Alcoba et al. 2024).

In Gabun, einem Land in Zentralafrika, sind mindestens 30 Giftschlangenarten heimisch (Pauwels 2009, Pauwels und Vande weghe 2013). Fünf dieser Arten (*Bitis gabonica*, *Bitis nasicornis*, *Dendroaspis jamesoni*, *Naja melanoleuca* und *Naja nigricollis*) wurden von der WHO als medizinisch hoch relevant eingestuft. Das bedeutet, dass für diese Arten ein wirksames Antivenin regional verfügbar sein sollte, da sie häufig in besiedelten Gebieten vorkommen und lebensbedrohliche Vergiftungen verursachen können (World Health Organization 2017). Über die klinischen Symptome und die Krankheitslast von Schlangenbissen in Gabun ist wenig bekannt. Die bisherigen Studien beschränkten sich auf eine retrospektive Analyse von 157 Schlangenbissfällen, die auf der Intensivstation in der Hauptstadt Libreville behandelt wurden (Tchoua et al. 2002) und auf eine kleine epidemiologische Pilotstudie mit 771 Befragten in dem ländlichen Dorf Sindara (Davi et al. 2024). Zu Beginn dieser Studie waren in Gabun landesweite Maßnahmen zum Management von Schlangenbissvergiftungen kaum entwickelt. Demgegenüber wurden andere vernachlässigte Tropenkrankheiten wie Tollwut bereits im Plan Nationale de Développement Sanitaire du Gabon¹(PNDS) mit Programmen und Ressourcen berücksichtigt (Ministère de la santé Gabon 2021).

Um die Krankheitslast durch Schlangenbisse besser zu verstehen und Lücken in der Behandlung von Schlangenbissen in Gabun zu identifizieren, wurde eine umfangreiche Haushaltsbefragung und eine retrospektive Analyse von Patient:innendaten im Departement Ogooué et des Lacs durchgeführt. Die Ergebnisse wurden im Journal of Global Health veröffentlicht (Artus et al. 2025).

¹ Nationaler Plan zur Entwicklung der Gesundheitsversorgung in Gabun

1.2 Methoden

1.2.1 Studiendesign- und gebiet

Die gemeindebasierte Querschnittsstudie (Haushaltsbefragung) wurde zwischen Oktober 2022 und Juni 2023 im Departement Ogooué et des Lacs in Gabun durchgeführt. Ziel war zum einen die Ermittlung der Inzidenz von Schlangenbissen, zum anderen die Beschreibung der Symptome und der klinischen Ergebnisse nach Schlangenbissen sowie der Inanspruchnahme von Behandlungen. Die für die Studie in Gesundheitseinrichtungen erhobenen Daten zu Patient:innen mit Schlangenbissen (retrospektive Analyse), beziehen sich auf den Zeitraum zwischen Oktober 2017 und Juni 2023. Anhand dieser Daten wurden die Behandlungspraktiken untersucht. Zusätzlich wurde die Verfügbarkeit und Art von Antiveninen ermittelt. Die Studie wurde von der Ethikkommission des Centre des Recherches Médicales de Lambaréné² (CERMEL) in Gabun und der Ärztekammer Hamburg genehmigt.

Das zentral in Gabun gelegene Departement Ogooué et des Lacs gehört zur Provinz Moyen-Ogooué. Es ist ein von dichtem Regenwald bedecktes Tieflandgebiet mit schätzungsweise 54.346 Einwohner:innen, von denen der Großteil in der Provinzhauptstadt Lambaréné lebt (Direction Générale de la Statistique 2015). Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Bewohner:innen bestehen aus Subsistenzlandwirtschaft, Fischerei, Jagd und der Arbeit auf Palmölplantagen.

1.2.2 Haushaltsbefragung

1.2.2.1 Stichprobengröße und Auswahl der Haushalte

Basierend auf der Pilotstudie wurde eine Inzidenz von mindestens 100 Schlangenbissen pro 100.000 Einwohner:innen angenommen (Davi et al. 2024). Um diese Inzidenz mit einem Konfidenzintervall von 95 %, einem Designeffekt von 1,5 und einer angestrebten Genauigkeit von ± 75 Fällen pro 100.000 Personenjahre abzuschätzen, wurde eine Stichprobengröße von 10.165 Personen berechnet (Dean et al. 2013). Unter Berücksichtigung einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von 3,5 Personen, basierend auf Daten des Health and Demographic Surveillance System (HDSS) (Ramharter et al. 2021) sowie einer angenommenen Nichtbeantwortung von 10 %, ergaben sich 3.200 zu befragende Haushalte.

Das Departement wurde anhand der Erreichbarkeit, Topografie und administrativen Struktur in drei Sektoren unterteilt. Der städtische Sektor umfasste Lambaréné, der ländliche Sektor die von Regenwald umgebenen Dörfer entlang der Hauptstraße des Departements. Der abgelegene Sektor umfasste Camps und Dörfer an unbefestigten Straßen im Regenwald sowie an Ufern, die nur mit Allradfahrzeugen oder Booten erreichbar waren (siehe Abbildung 1³). Da es für die ländlichen und abgelegenen Sektoren keinen zuverlässigen Stichprobenrahmen gab, wurde hier eine vollständige

² Zentrum für medizinische Forschung in Lambaréné.

³ Dies entspricht Abbildung 1 der Publikation (Artus et al. 2025).

Befragung aller Haushalte durchgeführt. Die verbleibenden Haushalte, die zum Erreichen der Stichprobengröße erforderlich waren, wurden nach dem Zufallsprinzip aus dem städtischen Sektor ausgewählt (Urbaniak und Plous 2013), wobei die Liste der Haushalte im HDSS als Stichprobenrahmen diente.

Haushalte wurden ausgeschlossen, wenn sie unbewohnt waren, von Personen bewohnt wurden, die nicht dauerhaft im Haushalt leben (z.B. Ferienhäuser) oder wenn die Bewohner:innen nach zwei Besuchen des Studienteams nicht angetroffen wurden.

1.2.2.2 Datensammlung

Die Befragung wurde mit einem strukturierten Fragebogen durchgeführt, der vom Studienteam entwickelt, getestet und angepasst wurde (siehe Supplement⁴). Neben Alter und Geschlecht aller Haushaltsmitgliedern wurden Details zu den gemeldeten Schlangenbissen erfasst. Wenn eine Person mehrere Schlangenbisse meldete, wurden die Informationen für jedes Ereignis separat erhoben. Mehrfach wandten sich Personen, die nicht dauerhaft in den befragten Haushalten lebten, an das Studienteam, um Schlangenbisse zu melden. Diese Personen wurden als zusätzliche Befragte in die Erhebung aufgenommen. Zudem wurden Angaben zu Schlangenbissen an Haus- und Nutztieren erfasst, sofern diese Tiere in den letzten 12 Monaten zum Haushalt gehörten. Die Datenerhebung und -verwaltung erfolgte mit der Softwareplattform REDCap (Research Electronic Data Capture) (Harris et al. 2009, Harris et al. 2019).

Es wurde eine schriftliche Einverständniserklärung vom Haushaltsvorstand oder einem Haushaltsmitglied über 17 Jahren sowie von allen zusätzlich Befragten eingeholt. Eine mündliche Einverständniserklärung wurde außerdem von jedem Schlangenbissopfer abgegeben.

1.2.2.3 Datenmanagement und -analyse

Schlängenbisse beim Menschen wurden ausgeschlossen, wenn sie als unglaubwürdig eingestuft wurden oder wenn die Beschreibung nicht ausreichte, um die Glaubwürdigkeit anhand der Klärungsfragen zu beurteilen.

Für die Inzidenzberechnung wurden nur Schlangenbisse berücksichtigt, die sich in den letzten 12 Monaten vor der Befragung ereignet hatten. Die Inzidenz von Schlangenbissen wurde für jeden Sektor getrennt berechnet als die Anzahl der Bisse dividiert durch die Personenzeit unter Risiko, die auf der Gesamtzahl der befragten Haushaltsmitglieder im jeweiligen Sektor basiert. Um eine Schätzung der Inzidenz für das gesamte Departement unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Stichprobenverfahren der Sektoren zu erhalten, wurde eine standardisierte Inzidenzrate berechnet. Dazu wurde für jeden der drei Sektoren (s) ein Gewichtungsfaktor (G_s) bestimmt, indem die geschätzte Gesamtbevölkerung des Sektors (N_s) durch die Stichprobenpopulation des Sektors (n_s) dividiert wurde. Die Anzahl der Bisse in jedem Sektor (B_s) wurde mit dem sektorspezifischen G_s

⁴ Dies entspricht dem Supplement zur Publikation (Artus et al. 2025).

multipliziert und die Summe dieser gewichteten Fallzahlen durch die geschätzte Gesamtbevölkerung des Departements ($N_{\text{Departement}}$) dividiert und mit 100.000 multipliziert:

$$G_s = \frac{N_s}{n_s}$$

Wobei s für städtisch, ländlich oder abgelegen steht

$$\text{standardisierte Inzidenzrate} = \frac{(G_{\text{städtisch}} \times B_{\text{städtisch}}) + (G_{\text{ländlich}} \times B_{\text{ländlich}}) + (G_{\text{abgelegen}} \times B_{\text{abgelegen}})}{N_{\text{Departement}}} \times 100.000$$

$$\text{Wobei } N_{\text{Departement}} = N_{\text{städtisch}} + N_{\text{ländlich}} + N_{\text{abgelegen}}$$

Die geschätzte Gesamtbevölkerung basierte für den städtischen Sektor (38.755) auf der letzten Volkszählung im Jahr 2013 (Direction Générale de la Statistique 2015) und wurde für den ländlichen (5.672) und abgelegenen Sektor (4.749) während der Haushaltsbefragung erhoben. Die 95% Konfidenzintervalle (KI) für die Inzidenzberechnungen wurden in R als Wald-Konfidenzintervalle berechnet (Freedman Ellis G et al. 2023, R Core Team 2023).

Die weitere deskriptive Analyse zur Beschreibung von Schlangenbissen beim Menschen (z.B. Umstände und Behandlung der Bisse) erfolgte nur für Bisse, die sich in den letzten fünf Jahren ereignet hatten, um mögliche Erinnerungsverzerrungen zu minimieren. Der Schweregrad und die Einteilung der Bisse in Syndrome wurden retrospektiv anhand von Kriterien klassifiziert, die das Studienteam in Übereinstimmung mit den Leitlinien der WHO und aktueller Literatur entwickelt hat (World Health Organisation. Regional Office for Africa 2010, Alcoba et al. 2022) (siehe Tabelle S1⁵). Bisse mit fehlenden Daten wurden in die Analyse einbezogen, aber von der Berechnung der betreffenden Variablen ausgeschlossen, was zu unterschiedlichen Nennern führte.

Bei Haus- und Nutztieren wurden Schlangenbisse ausgeschlossen, wenn die Schlange nicht gesehen wurde. Eine Gruppe von Tieren einer bestimmten Art, die zu einem Haushalt gehörten, wurde als Herde definiert (z.B. zwei Hühnerherdenbisse: mindestens ein gebissenes Huhn aus den Hühnerherden von zwei Haushalten) (Alcoba et al. 2022).

Zur Beschreibung der Studienpopulation und der Schlangenbisse bei Menschen und Tieren wurden deskriptive Statistiken verwendet, einschließlich Prozentsätzen, Häufigkeiten und Medianen mit Angabe des Interquartilsabstands (IQR). Die Behandlungskosten beim Menschen wurden in der Landeswährung Franc de la Coopération Financière en Afrique Centrale (XAF) erfasst. Die Umrechnung in US-Dollar (USD) erfolgte zum durchschnittlichen Wechselkurs des Jahres, in dem der Biss erfolgte (Exchange Rates UK 2023).

⁵ Dies entspricht Tabelle S1 im Supplement zur Publikation (Artus et al. 2025).

1.2.3 Datenerhebung in den Gesundheitseinrichtungen

1.2.3.1 Auswahl der Gesundheitseinrichtungen und Datensammlung

Insgesamt wurden 28 offizielle Gesundheitseinrichtungen besucht. Hierzu gehörten zwei regionale Krankenhäuser und 26 Primärversorgungseinrichtungen, darunter 21 Dispensaires (von Pflegefachpersonen geleitete Praxen), die vor allem im ländlichen und abgelegenen Sektor zu finden waren. Für die Bewertung der Antivenin-Verfügbarkeit wurde zusätzlich eine Apotheke befragt.

Die Patient:innendaten mit Schlangenbissen wurden aus den Registern mit REDCap anonymisiert erfasst (Harris et al. 2009, Harris et al. 2019).

1.2.3.2 Datenmanagement und -analyse

Die Inzidenz von Schlangenbissen wurde berechnet, indem die Zahl der registrierten Schlangenbisse bei Einwohner:innen des Departements in den Gesundheitseinrichtungen durch die geschätzte Gesamtbevölkerung des Departments (Personenzeit unter Risiko) dividiert wurde.

Die 95% (KI) wurden als Wald-Konfidenzintervalle für die Inzidenz berechnet (Freedman Ellis G et al. 2023, R Core Team 2023) und deskriptive Statistiken zur Beschreibung der Patient:innendaten verwendet. Fehlende Daten bei einzelnen Patient:innen führten zu unterschiedlichen Nennern in den untersuchten Variablen.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Studienpopulation und Inzidenz von Schlangenbissen

Im Rahmen der Haushaltsbefragung wurden insgesamt 3.215 Haushalte aufgesucht. Die Hauptgründe für einen Ausschluss waren Leerstand (4,1%, 133/3.215) und Abwesenheit (2,7%, 87/3.215) (siehe Abbildung S1⁶). Insgesamt konnten 2.909 Haushalte mit 12.480 Haushaltsmitgliedern in die Studie eingeschlossen werden. Davon lebten 5.477 Personen im ländlichen, 4.530 im abgelegenen und 2.473 im städtischen Sektor.

In den 12 Monaten vor der Befragung wurde von 46 Schlangenbissen unter den Haushaltsmitgliedern berichtet, was einer standardisierten Inzidenzrate von 246 Fällen pro 100.000 Personenjahre (95 %-KI:138–438) im Departement entspricht (siehe Tabelle 1⁷)

1.3.2 Beschreibung von Schlangenbissen

In den fünf Jahren vor der Befragung ereigneten sich 176 Schlangenbissfälle (siehe Tabelle 2⁸), davon 150 bei Haushaltsmitgliedern und 22 bei zusätzlich Befragten. Zwei Personen wurden jeweils zweimal und eine Person dreimal gebissen. In 59,7% der Fälle (105/176) waren Männer betroffen. Zum Zeitpunkt des Bisses lag das mediane Alter bei 42,5 Jahren (IQR: 26-54), wobei zu 10,3%

⁶ Dies entspricht Abbildung S1 im Supplement zur Publikation (Artus et al. 2025).

⁷ Dies entspricht Tabelle 1 der Publikation (Artus et al. 2025).

⁸ Dies entspricht Tabelle 2 der Publikation (Artus et al. 2025).

(18/176) Kinder unter 15 Jahren betroffen waren. Die Hälfte (88/176) aller Schlangenbissfälle ereignete sich tagsüber, 15,9 % (28/176) in der Dämmerung und 34,1% (60/176) nachts. Die meisten Schlangenbisse traten in Wäldern und/oder Plantagen (44,9%, 79/176), im (9,1%, 16/176) oder um das Haus (19,3%, 34/176) oder an Flüssen und Seen auf (14,8%, 26/176). Diese Bisse ereigneten sich vorwiegend beim Gehen (42,9%, 75/175), bei landwirtschaftlicher Handarbeit (20,6%, 36/175) oder bei der Jagd (16,0%, 28/175). In 84,1 %, (148/176) der Fälle wurde die für den Biss verantwortliche Schlange vom Opfer gesehen. In der überwiegenden Mehrheit der Fälle (75,4%, 132/175) war die untere Extremität betroffen, gefolgt von der oberen Extremität (22,9%; 40/175). In Einzelfällen wurden Personen auch in Kopf, Hals oder Abdomen gebissen.

1.3.3 Klinische Symptome und Ergebnisse nach Schlangenbissen

Trockene Bisse bzw. leichte Vergiftungen waren am häufigsten (81,7%, 143/175), gefolgt von mittelschweren (10,3%, 18/175) und schweren Vergiftungen (8,0%, 14/175) (siehe Tabelle 2⁹). Schlangenbissfälle mit schweren Vergiftungen wurden am häufigsten dem zytotoxischen (4,0%, 7/175) und neurotoxischen (2,9%, 5/175) Syndrom zugeordnet.

Es wurden fünf Todesfälle nach einem Schlangenbiss (2,8%, 5/176) registriert, alle waren weiblich und über 50 Jahre alt. Bei den übrigen 171 Schlangenbissfällen berichteten sechs (3,4%) über anhaltende körperliche Symptome, am häufigsten darunter Krämpfe, Schmerzen und Gangstörungen (jeweils 33,3%, 2/6) (siehe Tabelle 2¹⁰). Knapp die Hälfte der Betroffenen (74/159) berichteten nach dem Schlangenbiss von Angst, die bei 15,1% (24/159) die täglichen Aktivitäten beeinträchtigte.

1.3.4 Behandlungsverhalten nach Schlangenbissen

In der Mehrzahl der Schlangenbissfälle wurde als erstes eine offizielle Gesundheitseinrichtung aufgesucht (Krankenhaus: 36,0%, 63/175, Primärversorgungseinrichtung: 18,9%, 33/175), während in 22,3% (39/175) zuerst traditionelle Heiler:innen konsultiert wurden.

Insgesamt nahmen 22,9% (40/175) der Fälle keine Behandlung durch Gesundheitsdienstleister:innen in Anspruch, insbesondere bei Fällen aus den abgelegenen (30,0%, 18/60) und ländlichen (21,3%, 18/89) Regionen (siehe Tabelle S4¹¹). In 65% (26/40) der Fälle, bei denen keine Gesundheitseinrichtung aufgesucht wurde, behandelten sich die Betroffenen selbst mit traditionellen Heilmitteln. Nur 8,7% (14/175) der Fälle suchten nach dem Schlangenbiss sowohl traditionelle Heiler:innen als auch eine offizielle Gesundheitseinrichtung auf (siehe Abbildung 2¹²).

⁹ Dies entspricht Tabelle 2 der Publikation (Artus et al. 2025).

¹⁰ Dies entspricht Tabelle 2 der Publikation (Artus et al. 2025).

¹¹ Dies entspricht Abbildung S4 im Supplement zur Publikation (Artus et al. 2025).

¹² Dies entspricht Abbildung 2 der Publikation (Artus et al. 2025).

1.3.5 Erhaltene Behandlung nach Schlangenbissen

Von 105 Personen, die nach einem Schlangenbiss in einer Gesundheitseinrichtung behandelt wurden, gaben 85 (80%) an, ein Antivenin erhalten zu haben. Während 81,5% (75/92) der Personen mit leichten oder moderaten Symptomen ein Antivenin bekamen, erhielten dies nur 69,2% (9/13) derjenigen mit schweren Symptomen. Sechs der 105 Personen (5,7%) gaben an, dass ein Instrument namens Aspivenin (Sollitt Trading Company 2017) oder Venimex (Cooper 2025) verwendet wurde als Versuch, Schlangengift aus der Wunde zu ziehen.

In 62,3% (109/175) der Schlangenbissfälle wurden traditionelle Heilmittel eingesetzt. Entweder als lokale Anwendung (89,0%, 97/109) mit z.B. Schlangendarm, Urin oder Ohrenschmalz und/oder als orale Einnahme (48,6%, 53/109) vorwiegend als Zubereitung aus Wasser mit Zutaten wie Baumrinde und Kräuter. In fünf Fällen wurde über den Erhalt einer Impfung gegen Schlangenbisse durch traditionelle Heiler:innen berichtet. Dabei wurde meist ein Pulvergemisch aus Schlangenteilen, Wurzeln oder Blättern auf die eingeschnittene Haut aufgetragen. In etwa der Hälfte der Fälle (89/175) wurde über die Anlage eines Tourniquets berichtet.

1.3.6 Behandlungskosten von Schlangenbissen

Für die Hälfte (69/135) der Schlangenbissfälle mit berichteter Konsultation von Gesundheitsdienstleister:innen wurden Selbstkosten angegeben (Median: 132,0 USD, IQR: 32,1-165,0). Die durchschnittlichen Selbstkosten waren in Fällen mit alleiniger Behandlung in einer Gesundheitseinrichtung höher (139,1 USD, IQR: 64,1-165,0) als in Fällen mit alleiniger Behandlung durch traditionelle Heiler:innen (8,7 USD, IQR: 2,0-8,7).

1.3.7 Schlangenbisse bei Haus- und Nutztieren

Von den 2.899 befragten Haushalten mit Angaben zum Tierbesitz gab knapp die Hälfte (48,4%, 1.403/2.899) an, in den letzten 12 Monaten vor der Befragung mindestens eine Herde gehalten zu haben. Am häufigsten wurden Hühner (83,7%, 1.174/1.403) gehalten, gefolgt von Hunden und Katzen (41,6%, 584/1.403) (siehe Tabelle 3¹³).

Etwa ein Drittel der Haushalte mit Tieren (32,3%, 450/1.392) berichtete von einem Schlangenbiss in mindestens einer Herde in den letzten 12 Monaten. Fast alle dieser Herdenbisse (96,2%, 431/448) führten zu mindestens einem Todesfall innerhalb der Herde.

¹³ Dies entspricht Tabelle 3 der Publikation (Artus et al. 2025).

1.3.8 Inzidenz und Behandlung von Schlangenbissen anhand von Patient:innendaten aus Gesundheitseinrichtungen

Zwischen Juni 2022 und Juni 2023 wurden in den Registern der besuchten Gesundheitseinrichtungen 23 Schlangenbisspatient:innen mit Wohnort im Departement Ogooué et des Lacs dokumentiert. Basierend auf diesen Daten und der geschätzten Gesamtbevölkerung des Departements von 49.176 ergibt sich eine Inzidenz von 46,8 Schlangenbissen pro 100.000 Personenjahre (95% KI: 31,1-70,4).

Von Oktober 2017 bis Juni 2023 wurden insgesamt 130 Schlangenbisspatient:innen in Krankenhäusern (91,5%, 119/130) und Primärversorgungseinrichtungen (8,5%, 11/130) identifiziert. Bei 61,5% (80/130) der Schlangenbisspatient:innen wurden Symptome dokumentiert. Zwei Patient:innen entwickelten eine schwere Wundinfektion sowie Nekrose, weshalb ein chirurgisches Debridement durchgeführt wurde. Die häufigsten Symptome waren Schmerzen (40,0%, 32/80), Schwellungen (32,5%, 26/80) und Erbrechen (13,8%, 11/80). Bei 80,7% (96/119) der Patient:innen, zu denen Informationen zur Behandlung vorlagen, wurde ein Antivenin verabreicht. Von den Patient:innen, deren Dosierung des Antivenins dokumentiert wurde, erhielten 90,4% (47/52) eine Ampulle, während 9,6% (5/52) zwei Ampullen erhielten. Des Weiteren wurden Tetanusimpfungen (61,3%, 73/119), Analgetika (57,1%, 68/119), Kortikosteroide (51,3%, 61/119) sowie Antibiotika (41,2%, 49/119) eingesetzt. 72,3% der Patient:innen (83/114) mit Angaben zu einer stationären oder ambulanten Behandlung wurden stationär aufgenommen. Nur für 66 der stationären Patient:innen konnte eine Aufenthaltsdauer ermittelt werden, die im Median einen Tag betrug (IQR: 1-2 Tage). Für 66,3% (55/83) der stationären Patient:innen wurden Angaben zum klinischen Ergebnis dokumentiert. Zwei dieser Patient:innen wurden in Krankenhäuser in Libreville überwiesen. Bei drei weiteren Patient:innen wurde der Tod dokumentiert.

1.3.9 Verfügbarkeit von Antiveninen in den Gesundheitseinrichtungen

Von den 29 besuchten Gesundheitseinrichtungen verfügten fünf über ein Antivenin, darunter waren keine der 21 Dispensaires. Im Durchschnitt verfügten sie über drei Ampullen des polyvalenten Antivenins Inoserp PAN-AFRICA (Inosan Biopharma, Mexiko/Spanien) (Inosan Biopharm 2023).

1.4 Diskussion

Die vorliegende Studie liefert mit einer Inzidenzrate von 246 Schlangenbissen pro 100.000 Personenjahre die erste valide Schätzung der Krankheitslast in Gabun und übersteigt frühere Schätzungen für Subsahara-Afrika (Chippaux 2011). Zudem konnte eine Sterblichkeitsrate von 3% ermittelt werden. Hochgerechnet auf die Bevölkerung Gabuns, bei gleichmäßiger landesweiter Verteilung und unter Ausschluss der Hauptstadt Libreville (World Bank Group 2023, World Population Review 2024), entspricht dies etwa 3820 Schlangenbissen und 115 Todesfällen pro Jahr. Im Vergleich zu anderen vernachlässigten Tropenkrankheiten wie der Tollwut, die landesweit jährlich nur etwa einen Todesfall verursacht (Global Alliance for Rabies Control 2024) und bereits im PNDS 2017–2021 berücksichtigt wurde, blieb die deutlich höhere Krankheitslast durch

Schlangenbisse bisher unberücksichtigt. Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen jedoch die Relevanz, den Umgang diesbezüglich in Gabun zu verbessern und haben maßgeblich zur Aufnahme von Schlangenbissvergiftungen in den PNDS 2024-2028 beigetragen (Ministère de la santé Gabon 2024).

Hervorzuheben ist die unerwartet hohe Inzidenz von Schlangenbissen im städtischen Sektor. Dies lässt sich mit der Umwelt von Lambaréné erklären, die von dichter Vegetation, kleinen Plantagen und zahlreichen Gewässern geprägt ist und somit natürliche Lebensräume für Schlangen schafft. Zudem können eine Hühnerhaltung sowie die Lagerung von Abfällen in Wohnnähe Nagetiere anziehen und dadurch die Präsenz von Schlangen begünstigen (Pauwels 2009; Pauwels & Vande Weghe 2013). Die Arbeit vieler Stadtbewohner:innen in Landwirtschaft und Fischerei erhöht zusätzlich das Risiko von Schlangenbegegnungen. Ähnliche Gegebenheiten in anderen städtischen Regionen Afrikas sprechen dafür, städtische Bevölkerungen künftig stärker in epidemiologischen Studien zu Schlangenbissen einzubeziehen.

In den fünf Jahren vor der Studie ereigneten sich 45% der berichteten Schlangenbisse in Wäldern und Plantagen, was das erhöhte arbeitsbedingte Risiko in diesen Umgebungen bestätigt (Harrison et al. 2009, Vongphoumy et al. 2015, Gutiérrez et al. 2017, Alcoba et al. 2020, Farooq et al. 2022). Die Bisse ereigneten sich häufig in der Dämmerung oder Dunkelheit und etwa drei Viertel der Bisse betrafen die unteren Extremitäten. Dadurch ist anzunehmen, dass das Fehlen von Elektrizität, etwa beim Wasserholen oder beim Toilettengang, insbesondere im ländlichen Studiengebiet einen möglichen Risikofaktor darstellt. Präventionsmaßnahmen wie das Tragen von geschlossenem und hohem Schuhwerk, der Einsatz von Lichtquellen bei Dunkelheit und das Freihalten der Umgebung von dichter Vegetation sind essenziell. Subventionen für Schutzausrüstungen sowie verpflichtende Arbeitsschutzmaßnahmen für industrielle Plantagen könnten das Risiko zusätzlich senken (Alcoba et al. 2024). Informations- und Bildungskampagnen zu Prävention und schädlicher Erster Hilfe, etwa dem Einsatz von Tourniquets, haben sich in anderen Regionen als wirksam erwiesen (Samuel et al. 2020, Vaiyapuri et al. 2023) und sollten auch in Gabun eingeführt werden.

Knapp die Hälfte der Betroffenen berichtete von längerfristiger Angst, bei einem Drittel dieser Personen beeinträchtigte sie den Alltag. Studien aus anderen Ländern zeigen zudem hohe Prävalenzen von Posttraumatischen Belastungsstörungen und Depressionen unter den Betroffenen (Williams et al. 2011, Habib et al. 2021). Eine genauere Untersuchung psychologischer Folgen ist auch in Gabun geboten, um die Krankheitslast präziser zu bestimmen und geeignete Maßnahmen entwickeln zu können. In der Studie waren alle Personen, die nach einem Schlangenbiss verstarben, weiblich. Ähnliche Beobachtungen wurden aus Nepal, Indien und Ghana berichtet, wo Frauen jeweils häufiger verstarben (Dandona et al. 2018, Alcoba et al. 2022) oder Folgeschäden erlitten (Aglanu et al. 2022). Zur Erklärung werden sozioökonomische Faktoren diskutiert (Aglanu et al. 2022). Allerdings könnten auch biologische Faktoren eine Rolle spielen (Sankar et al. 2013, Iliyasu et al. 2023).

Demgegenüber zeigten Daten aus Sri Lanka, dass Männer häufiger Anzeichen einer schweren Vergiftung aufwiesen (Ediriweera et al. 2016). Weitere Forschung zu geschlechterspezifischen Risikofaktoren erscheint notwendig.

Wie in Ghana und Kenia suchte die Mehrheit der Betroffenen nach einem Schlangenbiss eine Gesundheitseinrichtung auf (Aglanu et al. 2022, Tianyi et al. 2024). Nur selten wurden sowohl traditionelle Heiler:innen als auch Gesundheitseinrichtungen aufgesucht. Etwa ein Drittel der Betroffenen wurde ausschließlich mit traditionellen Heilmitteln behandelt, für deren Wirksamkeit derzeit keine Evidenz vorliegt. Deren Anwendung kann jedoch eine verzögerte Gabe eines Antivenins und ein erhöhtes Risiko für Wundinfektionen bedingen (Chippaux et al. 2007, Singaravelu et al. 2021). Auch sogenannte Schlangenbissimpfungen, die ein falsches Sicherheitsgefühl vermitteln, werden eingesetzt, obwohl es keine wirksame Impfung gegen Schlangenbisse gibt. Soziokulturelle Faktoren, bessere Zugänglichkeit und geringere Kosten tragen jedoch dazu bei, dass weiterhin traditionelle Heiler:innen aufgesucht werden (Steinhorst et al. 2022). Deshalb sollte ihnen eine Schulung in wirksamer Erster Hilfe und im Erkennen von Symptomen, die eine sofortige Überweisung in eine Gesundheitseinrichtung erfordern, angeboten werden. Der Umgang mit dem Buruli-Ulkus in Kamerun zeigt, dass Kooperationen unter den Gesundheitsdienstleister:innen das Vertrauen stärken und Überweisungen erhöhen können (Awah et al. 2018, Steinhorst et al. 2022).

Die Selbstkosten für eine Behandlung in Gesundheitseinrichtungen waren im Durchschnitt 15-mal höher als bei traditionellen Heiler:innen. Dies könnte auf die hohen Preise für Antivenine zurückzuführen sein (132,0 USD für Versicherte und 169,4 USD für Unversicherte). Zusätzlich stellen Transportkosten und unzureichende Infrastruktur wie das Fehlen eines Krankenwagens oder Rettungsbootes ein Hindernis für die Behandlung in Gesundheitseinrichtungen dar. Maßnahmen wie höhere Subventionen für Antivenine, die Förderung des Beitritts zu Krankenversicherungen und Transportlösungen wie Motorradambulanzen, die sich in Kenia und Nepal bewährt haben, könnten die Zugänglichkeit erhöhen (Sharma et al. 2013, Barnes et al. 2021).

Die Studienergebnisse zeigen einen direkten Einfluss von Schlangenbissen auf Haus- und Nutztiere, denn rund ein Sechstel der Haushalte berichtete über den Verlust von Haus- und Nutztieren durch Schlangenbisse. Solche Verluste können indirekt auch den Lebensunterhalt der betroffenen Haushalte belasten. In Nepal übersteigen beispielsweise die durch Schlangenbisse verursachten Verluste bei Nutztieren (90,4 USD pro Haushalt) jene, die durch Behandlungskosten und Arbeitsausfall bei Personen mit Schlangenbiss entstehen (67,7 USD) (Babo Martins et al. 2022). Zudem können Haus- und Nutztiere das Risiko für Schlangenbisse beim Menschen erhöhen (Bolon et al. 2021, Alcoba et al. 2022, Alcoba et al. 2024). Sinnvolle präventive Maßnahmen umfassen die Stallhaltung mit engmaschigen Netzen, die Kontrolle von Nagetierpopulationen und ein besseres Abfallmanagement (Bolon et al. 2021, Alcoba et al. 2024).

Die Gemeindebefragung ergab eine rund fünfmal höhere Inzidenz als die Auswertung der Patient:innendaten und bestätigt die Untererfassung (Vongphoumy et al. 2015, Tchoffo et al. 2019, Alcoba et al. 2020). Ein Erklärungsansatz hierfür ist der hohe Anteil an Betroffenen, die keine Gesundheitseinrichtung aufsuchten. Zudem war die Dokumentation in den erfassten Einrichtungen unvollständig, da nur fünf der 26 primären Gesundheitseinrichtungen über vollständige Fallregister verfügten. Eine Einführung des District Health Information System 2, mit einer Erfassung von Schlangenbissen als meldepflichtiges Ereignis, könnte zur Verbesserung der Datenlage beitragen. Gleichzeitig könnte es zu einer Überschätzung der Konsultationen in Gesundheitseinrichtungen gekommen sein, bedingt durch die Erwartung der Befragten, dass das Studienteam traditionelle Medizin negativ bewerten könnte (Thorne-Lyman et al. 2023).

Das im Studiengebiet verfügbare polyvalente Antivenin (Inoserp PAN-AFRICA) soll gegen die fünf medizinisch relevanten Schlangenarten in Gabun wirksam sein (Inosan Biopharm 2023). Der Nutzen des Antivenins wurde in einer Studie aus Kamerun bestätigt (Chippaux et al. 2023), allerdings steht eine umfassende Nutzen-Risiko-Bewertung durch die WHO noch aus (World Health Organization 2023b). Inoserp PAN-AFRICA wurde in dem Studiengebiet häufig verabreicht, auch den Patient:innen mit milden Symptomen, die es in der Regel nicht benötigten. Dies erhöht die Kosten für die Betroffenen unnötig und könnte das Risiko allergischer Reaktionen steigern. Zudem erhielten die meisten Patient:innen nur eine der beiden empfohlenen Ampullen als Startdosis (Inosan Biopharm 2023), was die Bedenken hinsichtlich einer unangemessenen Nutzung der knappen Ressource weiter verstärken. Die Verwendung von Giftentfernern, häufige Behandlung mit Kortikosteroiden und Antibiotika sowie die zu niedrigen Tetanusimpfungen sind weitere Hinweise darauf, dass das medizinische Personal nicht über die notwendigen Kenntnisse über die Behandlung von Schlangenbissen verfügt (World Health Organisation. Regional Office for Africa 2010, Gutiérrez et al. 2017). Damit Patient:innen eine adäquate Behandlung erhalten, sind Schulungen des medizinischen Personals und Entwicklung von Richtlinien zur Behandlung von Schlangenbissen notwendig (Visser et al. 2004, Vongphoumy et al. 2015).

Diese Studie hat Limitationen wie beispielweise die unterschiedlichen Stichprobenverfahren in den drei Sektoren. Aufgrund des Fehlens eines offiziellen Stichprobenrahmens wurde in den ländlichen und abgelegenen Sektoren eine Vollerhebung aller Haushalte durchgeführt, wohingegen im städtischen Sektor eine Zufallsstichprobe gezogen wurde. Es wurde die standardisierte Inzidenzrate berechnet, die die Unterschiede im Anteil der Befragten an der gesamten Bevölkerung berücksichtigte und damit eine zuverlässige Schätzung der Schlangenbiss-Inzidenz im Untersuchungsgebiet liefert. Eine Übererfassung von Schlangenbissen mit schweren Vergiftungen durch zusätzliche Befragte ist möglich, der Anteil liegt jedoch im Rahmen internationaler Schätzungen (Alcoba et al. 2020, World Health Organization 2023c, Afroz et al. 2024). Zudem können Unterschiede in Bevölkerungsdichte, Umweltbedingungen, Wirtschaftsweise und Schlangenfaua die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Gebiete Gabuns einschränken.

Weitere Untersuchungen in anderen Landesteilen sowie vergleichbare Erhebungen zu Schlangenbissvergiftungen in anderen afrikanischen Ländern sind essenziell, um die Datenlücke zu schließen und das Verständnis für diese vernachlässigte tödliche Tropenkrankheit zu gewinnen (Pintor et al. 2021, World Health Organization 2024).

1.5 Schlussfolgerungen

Anhand der Ergebnisse dieser ersten umfassende epidemiologische Studie in ländlichen und städtischen Populationen in Gabun werden folgende Maßnahmen als prioritär erachtet: 1) Informations- und Aufklärungskampagnen zur Förderung von Prävention und Erster Hilfe; 2) Entwicklung von Strategien zur Zusammenarbeit mit traditionellen Heiler:innen; 3) Schulung von medizinischem Personal in der Behandlung von Schlangenbissen und Erstellung von Behandlungsrichtlinien; 4) Bereitstellung und Subventionierung wirksamer Antivenine; 5) Ausbau der nationalen und internationalen Forschung.

Electronic supplementary material:

The online version of this article contains supplementary material.

© 2025 The Author(s)

Cite as: Artus R, Rae J, Hunstig F, Mombo-Ngoma G, Houmenou Zinsou A, Okwu DG, Ndzebe Ndumba W, Zoleko Manego R, Ramharter M, Lell B, Kremsner PG, Aron MB, Blessmann J, Kreuels B. The epidemiology of snakebites, treatment-seeking behaviour, and snakebite management in the department of Ogooué et des Lacs, Gabon, Central Africa: a cross-sectional community and health facility-based survey. *J Glob Health*. 2025;15:04062.

The epidemiology of snakebites, treatment-seeking behaviour, and snakebite management in the department of Ogooué et des Lacs, Gabon, Central Africa: a cross-sectional community and health facility-based survey

Rica Artus^{1,2}, Jade Rae¹, Friederike Hunstig^{1,3}, Ghyslain Mombo-Ngoma^{2,4,5,6}, Alex Hounmenou Zinsou^{2,4}, Dearie Glory Okwu^{2,4}, Wilfrid Ndzebe Ndumba^{2,4}, Michael Ramharter^{2,5,6}, Rella Zoleko Manego^{2,5,6,7}, Bertrand Lell^{2,8}, Peter Gottfried Kremsner^{2,7,9}, Moses Banda Aron^{1,10}, Jörg Blessmann¹, Benno Kreuels^{1,11}

¹Research Group Neglected Diseases and Envenoming, Bernhard Nocht Center of Tropical Medicine, Hamburg, Germany

²Centre de Recherches Médicales de Lambaréné, Lambaréné, Gabon

³Division of Infectiology, Outpatient Center, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

⁴Research Group Drug Implementation, Department of Implementation Research, Bernhard Nocht Institute for Tropical Medicine Hamburg, Germany and I. Department of Medicine, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

⁵Center for Tropical Medicine, Bernhard-Nocht Institute for Tropical Medicine and I. Department of Medicine, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

⁶German Center for Infection Research (DZIF), Partner Site Hamburg-Luebeck-Borstel-Riems, Hamburg, Germany

⁷Institute of Tropical Medicine, Eberhard Karls University, Tübingen, Germany

⁸Division of Infectious Diseases and Tropical Medicine, I. Department of Medicine, Medical University of Vienna, Vienna, Austria

⁹German Center for Infection Research (DZIF), Partner Site Tübingen, Tübingen, Baden-Württemberg, Germany

¹⁰Partners In Health/Abwenzi Pa Za Umoyo, Neno, Malawi

¹¹Division of Tropical Medicine, Department of Medicine I, University Medical Center Hamburg-Eppendorf, Hamburg, Germany

Correspondence to:

Benno Kreuels
Research Group Neglected Diseases and Envenoming, Bernhard Nocht Institute for Tropical Medicine
Bernhard-Nocht-Straße 74, 20359 Hamburg
Germany
kreuels@bnitm.de

Background Snakebite envenoming is a neglected public health problem in many tropical countries, resulting in over 100 000 deaths and 400 000 disabilities worldwide each year. In Gabon, where venomous snakes are abundant, studies on the epidemiology and treatment of snakebites are lacking.

Methods Between October 2022 and June 2023, we conducted a cross-sectional community survey in the department of Ogooué et des Lacs in central Gabon to estimate the snakebite incidence, describe clinical presentations and treatment-seeking behaviours, and describe the burden of snakebites to animal populations in rural and urban communities. We also surveyed health facilities in the department to describe treatment practices and the availability of antivenom.

Results The standardised annual incidence rate was 246 snakebite cases per 100 000 person-years (95% confidence interval (CI)=138–438). Of the 175 snakebite cases reported in the five years prior to the survey, 18% showed signs of envenomation, predominantly with cytotoxic signs. The mortality among the bitten population was 3%. Snakebite treatment was first sought at a formal health facility in 55% of cases, from traditional healers in 22%, and with self-treatment or no treatment in the remaining 23%. Of snakebite patients treated at a formal health facility in the five years prior to the survey, 81% received antivenom, 41% received antibiotics, and 51% received corticosteroids. Almost one in six households reported animal deaths due to snakebites in the previous 12 months.

Conclusions This study provides the first robust epidemiological estimates of the burden of snakebites in Gabon and highlights the importance of community-based surveys in accurately assessing this high burden. Training health care workers, developing treatment guidelines, and ensuring the availability of effective and affordable antivenom are important steps to improving the outcome for snakebite victims.



In 2017, the World Health Organization (WHO) added snakebite envenoming to the list of neglected tropical diseases and proposed a strategy to reduce the mortality and morbidity of snakebite envenoming by 50% by 2030. This strategy focusses on four main areas: safe and effective treatment, empowering and engaging with communities, strengthening health systems, increasing partnerships, and improving coordination and resources [1].

For this strategy to be effective, resources should be directed to areas where the burden of snakebite is highest. This tends to be in rural areas of low-income countries in Asia, Africa, and Latin America due to a greater risk of snake-human interactions and limited access to effective treatment [2–4]. However, estimates of snakebite burden at a fine geographic scale are often lacking, and incidence estimates that have relied on health facility data alone are thought to underestimate the true burden, as only a small proportion of snakebite victims seek treatment within the formal health care system [2,5,6]. This is due to the ongoing preference for traditional medicine, the high out-of-pocket cost of treatment at health facilities, poor supplies and knowledge of health care workers [7–9], and the long distances required to travel to health facilities from rural areas [7,10–12].

A significant proportion of snakebites result in mild or no clinical signs, either because the snake is non-venomous or because little or no venom is injected. These cases do not require clinical intervention. However, the injected venom of some snake species can cause local tissue damage (cytotoxic effects), life-threatening effects such as paralysis of the respiratory muscles (neurotoxic effects), or severe bleeding (haematotoxic effects). Patients suffering from severe envenoming urgently require antivenom and supportive care [13,14]. To improve the clinical outcomes following envenomation, it is essential to educate health care workers and expand the availability of essential resources [7–9].

Snakebite envenoming is also associated with a significant financial burden due to the high out-of-pocket cost of treatment at health facilities and the inability of snakebite victims or caregivers to work during recovery. Additionally, high mortality rates among bitten domestic animals [15,16] further exacerbate the financial burden [17], particularly among populations that rely on domestic animals for their income.

Gabon, a country in Central Africa, is home to at least 30 species of venomous snakes [18], five of which are classified by the WHO as being of highest medical importance for which antivenom should be locally available, due their frequent presence in inhabited areas and their potential for life-threatening envenomation. These include *Bitis gabonica*, *Bitis nasicornis*, *Naja nigricollis*, *Dendroaspis jamesoni*, and *Naja melanoleuca* [19]. Studies in Gabon to date have been limited to a 2002 retrospective analysis of snakebite cases admitted to a hospital in the capital, Libreville [20], and a small pilot study in one rural village [21]. To better understand the snakebite burden and identify gaps in the management and treatment of snakebite victims in Gabon, we conducted a community-based survey and a retrospective analysis of cases admitted to health facilities in the department of Ogooué et des Lacs in the province of Moyen-Ogooué, in central Gabon.

METHODS

Study design

We used a structured questionnaire for the conduction of the survey ([Online Supplementary Document](#)). We conducted a household-based cross-sectional survey in the department of Ogooué et des Lacs, Gabon, between October 2022 and June 2023 to determine the incidence of snakebites and describe the treatment-seeking behaviours, symptoms, and clinical outcomes for those bitten. Additionally, we retrospectively extracted data on snakebite patients treated at health facilities in the department between October 2017 and June 2023 to determine treatment practices and assess the availability and type of antivenom in these facilities. We reported our findings according to STROBE guidelines ([Online Supplementary Document](#)).

Study area

Gabon has nine provinces subdivided into 49 departments. Ogooué et des Lacs is one of the two departments of the Moyen-Ogooué province in central Gabon. It is a lowland area, with dense rainforests covering approximately 80% of the department, and there are typically two annual rainy seasons [22,23]. The estimated population from the last census in 2013 was 54 346, with the majority (38 755) living in Lambaréné, the capital of the province [24]. The main economic activities include subsistence farming, fishing, hunting, and work on palm oil plantations.

Community survey

Sample size calculation

Based on a pilot study conducted in 2021, we assumed an annual incidence of at least 100 snakebites per 100 000 inhabitants [21]. To estimate this incidence with 95% confidence interval (CI), a precision of ± 75 cases per 100 000 person-years, and a design effect of 1.5 to adjust for clustered sampling of individuals within households, the estimated required sample was 10 165 respondents. We calculated this sample size using OpenEpi, version 3.01 [25]. Based on an average household size of 3.5 people (estimated from the Health and Demographic Surveillance System) implemented in 2016 by the *Centre de Recherches Médicales de Lambaréné* (CERMEL) [26], and a potential non-response rate of 10% (approx. 300 households), we aimed to survey 3200 households.

Household and participant selection

We divided the department into three sectors based on accessibility, geography, and administrative structures. The urban sector encompassed the town of Lambaréné; the rural sector consisted of villages along the main road that runs through the department from north to south; and the remote sector consisted of camps and villages on unpaved roads in the forest and around the lakes and riversides which are only accessible by four-wheel-drive vehicles or boat (Figure 1).

Due to the lack of a sampling frame in the rural and remote sectors, we decided to conduct a complete surveying of the rural and remote population by interviewing all households within each community. The remaining households required to reach the target sample size were randomly selected from the urban sector in Research Randomizer, version 4 [27] using the list of households within the Health and Demographic Surveillance System as the sampling frame. We scheduled surveys in the early morning or late afternoon to increase survey participation. We excluded households if they were uninhabited, inhabited by people who do not permanently reside in the household (e.g. vacation houses), or if residents were not encountered after two visits by the study team.

Patient and public involvement

We considered patient and public involvement from the start of the cross-sectional survey, whereby we adapted the questions within the survey after it was piloted in the communities of Gabon to ensure that questions were relevant, acceptable, and easy to understand.

Data collection

We used a structured questionnaire for the conduction of the survey (Online Supplementary Document). We collected the age and sex of all household members and information on domestic animals owned by the household. If a snakebite was reported, we collected additional information. If an individual reported multiple snakebites, we collected information for each incident separately. Information on snakebites that resulted in death was collected from someone who was with the bitten individual during or after the incident. In several instances, individuals who did not permanently reside in one of the surveyed households approached the study team to report snakebites. We included them as supplementary respondents and collected data on their age, sex,

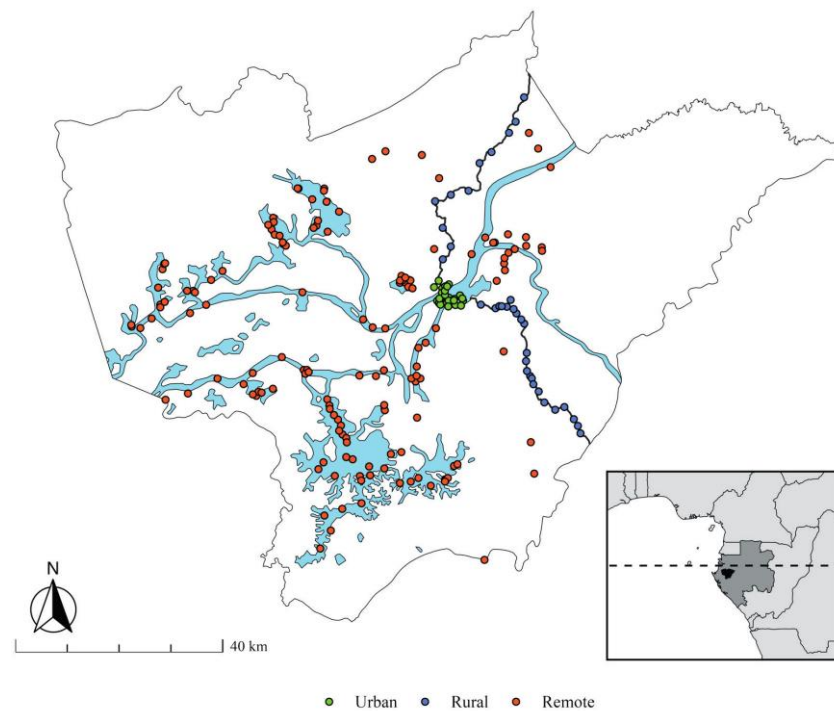


Figure 1. Communities included in the cross-sectional survey in the department of Ogooué et des Lacs, Gabon. Each point represents a surveyed community in the urban (green), rural (dark blue), and remote (red) sectors. The blue areas represent the lakes and the Ogooué River, and the grey line represents the main road. The inset map shows the locations of Ogooué et des Lacs (black), Gabon (dark grey), and other countries in the region, with the Equator shown as a dashed line.

and the reported bite. If a household owned animals in the previous 12 months, we recorded any information on snakebites to the animals. Data were collected and managed Research Electronic Data Capture (REDCap) tools, including the mobile application and the web platform [28,29].

Health facility survey

Health facility selection

We identified and surveyed 28 formal health facilities, including two regional hospitals and 26 primary health facilities (21 dispensaries, four medical centres, and one outpatient clinic). We also included one pharmacy to assess antivenom supplies.

Data collection

We retrieved data on snakebite patients treated between October 2017 and June 2023 from patient records at the health facilities. These included the patient's age and sex, details on when and where the bite occurred, symptoms following the snakebite, treatment received, diagnostic tests, health facility admission, and clinical outcome. We additionally recorded the number and type of antivenom vials available at these facilities. These data were collected and managed using REDCap electronic data capture tools [28,29].

Data management

We excluded snakebites where the bite was deemed implausible or if a sufficient description could not be provided to assess the plausibility using clarifying questions in the community survey. We retrospectively classified the severity and syndromes of envenoming using criteria consistent with the WHO guidelines and current literature (Table S1 in the [Online Supplementary Document](#)) [14,30]. If the snake was seen after biting a human or domestic animal, we retrospectively assigned a possible species using a combination of the reported colour and name in line with the species common in the study area [18,31,32]. Snakebites to domestic animals were excluded if the snake was not seen. We cleaned and analysed the data in R, version 4.3.1 (R Core Team, Vienna, Austria) [33].

Statistical analysis

Incidence calculations

We included only cases reported by the surveyed household residents in the previous 12 months in the incidence calculation. We then calculated the incidence of snakebites for the three sectors separately as the number of snakebites over person-time exposed, and person-time exposed as the total number of household members surveyed in each sector who provided information on whether they were bitten by a snake in the previous 12 months. We calculated the standardised incidence rate to provide a single incidence estimate for the department, while considering the different sampling procedures between the sectors. To do this, we determined a weighting factor for each sector by dividing their total estimated population by their sampled population. Then, we multiplied each snakebite case by the weighting factor of their corresponding sector, and obtained the standardised incidence per 100 000 persons per year as the sum of these weighted case numbers over the total estimated population in the department.

We calculated the incidence of snakebites from health facility data as the total number of department residents presenting to a health facility following a snakebite in the previous 12 months over person-time exposed, where person-time exposed was the estimated population in the department.

To calculate the weighted incidence and health facility incidence, the estimated population was taken from the last census for the urban sector ($n=38\,755$) and was collected during the survey for the rural ($n=5672$) and remote ($n=4749$) sectors. The 95% CIs for all incidence calculations were computed as Wald-type intervals using the 'srvyr::survey_mean' package in R [33,34].

Description of snakebites to humans

We used descriptive statistics (means and ranges, medians (MDs) and interquartile ranges (IQR), and frequencies and percentages) to describe snakebites reported in the community survey. To reduce the effect of recall bias on the summary statistics, we described only cases in the previous five years. We recorded the reported cost of treatment in the local currency (XAF) and converted it to USD using the average exchange rate in the year of the bite [35].

We described snakebite cases extracted from health facility records using MDs (IQRs) or frequencies and percentages. Snakebites reported in the community survey and patient records with missing data for certain variables were included in the analysis, but excluded from calculations for those variables, resulting in different denominators.

Snakebites to domestic animals

We summarised the number of herds owned by the surveyed households and the frequencies and percentages of herds bitten by a snake in the previous year using descriptive statistics. We defined a herd as a group of animals of defined species owned by a household (*e.g.* two chicken herd bites = at least one chicken bitten among the herds of chickens owned in two households) [30].

We calculated the incidence of animal bites for each species separately as the number of herd bites over the number of households owning a herd of that animal, and the mortality rate as the number of herd bites resulting in at least one death over the number of herds bitten of that animal.

RESULTS

Community survey study population

We approached 3215 households during the cross-sectional survey. Of these, 133 (4.1%) were uninhabited and 87 (2.7%) were vacant at the time of visit. Of the remaining 2995 households, 75 (2.5%) refused to participate, and 11 (0.4%) were excluded because no information on the household or household members was collected. Therefore, we included 2909 households and 12 480 household members in the survey (Figure S1 in the [Online Supplementary Document](#)), of which 1281 were in the rural sector (5477 individuals), 1196 were in the remote sector (4530 individuals), and 432 were in the urban sector (2473 individuals).

Incidence of snakebites in the last 12 months

Forty-six snakebites were reported by the surveyed household members in the 12 months prior to the survey, corresponding to a standardised incidence rate of 246 snakebites per 100 000 person-years (95% CI = 138–438). By sector, the incidence rate was highest among the rural population, but this did not differ significantly from the incidence in the remote or urban populations, as shown by the overlapping 95% CIs (Table 1).

Table 1. Community-based snakebite incidence in the previous 12 mo by sector

	Not bitten, n (%)	Bitten, n (%)	Incidence per 100 000 person-years (95% CI)
Urban	2468 (99.8)	5 (0.2)	202.2 (84.1–485.1)
Rural	5453 (99.6)	24 (0.4)	438.2 (293.8–653.0)
Remote	4513 (99.6)	17 (0.4)	375.3 (233.4–602.9)
Overall*	12 434 (99.6)	46 (0.4)	246.1 (138.1–438.1)

CI – confidence interval

*Overall incidence is calculated as the standardised incidence rate across sectors.

Circumstances of snakebites

In the five years prior to the survey (Table 2), 176 snakebite incidents were reported, 150 by household members and 22 by supplementary respondents. These bites occurred in 172 individuals, with two being bitten twice and one three times. Males accounted for 59.7% (n/N = 105/176) of snakebite cases, and the median age at the time of the bite was 42.5 years (IQR = 26–54). Exactly half (n/N = 88/176) of all reported snakebites occurred during daytime, 15.9% (n/N = 28/176) at dusk and 34.1% (n/N = 60/176) at night. The majority of snakebites occurred in a forest or plantation (n/N = 79/176, 44.9%), inside (n/N = 16/176, 9.1%) or around (n/N = 34/176, 19.3%), the house, or at the riverside (n/N = 26/176, 14.8%). Bites mainly occurred while people were walking (n/N = 75/175, 42.9%), doing manual agricultural work (n/N = 36/175, 20.6%), or hunting (n/N = 28/175, 16.0%), and were mostly to the lower limbs (n/N = 132/175, 75.4%).

The snake responsible for the bite was seen in 84.1% (n/N = 148/176) of cases, and a possible snake species could be assigned in 13.1% (n/N = 23/176) of all cases. Of these, *N. melanoleuca* was assigned in nine cases, *P. sebae* in eight cases, and *B. gabonica* in six cases (Table S2 in the [Online Supplementary Document](#)).

Symptoms and classification of snakebite severity

According to our classification criteria, dry bites and mild envenomations were the most common (n/N = 143/175, 81.7%), followed by moderate (n/N = 18/175, 10.3%) and severe envenomations

Table 2. Characteristics of snakebites and clinical consequences

	n (%)
Total snakebites	176*
Location	
Forest/plantation	79 (44.9)
Yard/garden	34 (19.3)
Riverside	26 (14.8)
Footpath or road	18 (10.2)
House (inside)	16 (9.1)
Village (public place)	3 (1.7)
Activity†	
Walking	75 (42.9)
Manual agricultural work	36 (20.6)
Hunting	28 (16.0)
Fishing	10 (5.7)
Bathing	8 (4.6)
Other	18 (10.3)
Body part bitten‡	
Lower limb	132 (75.4)
Upper limb	40 (22.9)
Trunk/head/neck	3 (1.7)
Classification of snakebite severity†‡	
Dry/mild	143 (81.7)
Moderate	18 (10.3)
Severe	14 (8.0)
Syndromes of severe envenomation	
Cytotoxic	7 (4.0)
Neurotoxic	5 (2.9)
Neurotoxic and cytotoxic	1 (0.6)
Unclear	1 (0.6)
Clinical outcome	
Physical recovery	165 (93.8)
Physical impairment	6 (3.4)
Death	5 (2.8)

*In the previous five years, three individuals were bitten multiple times (two individuals twice, one individual three times), resulting in 176 snakebite cases in 172 individuals.

†Information missing for one case, resulting in a denominator of 175.

‡Classification was determined retrospectively based on the criteria detailed in Table S1 in the Online Supplementary Document.

(n/N=14/175, 8.0%). Snakebites classified as severe exhibited signs of cytotoxicity (n/N=7/175, 4.0%), neurotoxicity (n/N=5/175, 2.9%), or cytotoxicity and neurotoxicity (n/N=1/175, 0.6%). One individual (n/N=1/175, 0.6%) with an unclassified syndrome died following the snakebite (Table 2; Table S3 in the Online Supplementary Document).

Treatment-seeking behaviour and treatment received

After a snakebite, most surveyed individuals first visited a health facility (hospital: n/N=63/175, 36.0%; primary health facility: n/N=33/175, 18.9%), and 22.3% (n/N=39/175) first visited a traditional healer. Overall, 22.9% (n/N=40/175) did not seek treatment from a health care provider, primarily those living in the rural (n/N=19/89, 21.3%) and remote (n/N=18/60, 30.0%) sector. Of those who did not seek treatment from a health care provider, 65% (n/N=26/40) self-administered traditional remedies (Table S4 in the Online Supplementary Document).

Of the 33 individuals who first visited a primary health facility, 12 (36.4%) were subsequently transferred to a hospital. In comparison, only five of the 39 (12.8%) patients who first visited a traditional healer were subsequently seen in a primary health facility, and only four (10.3%) were subsequently transferred to a hospital (Figure 2). Out of 63 patients that first presented to a hospital, four (6.3%) subsequently went to a traditional healer and one out of 63 (1.6%) to a primary health facility. One patient visited four different health care providers, first a hospital, then a primary health facility, followed by a hospital, and finally a traditional healer.

Of the 105 individuals who visited a health facility after being bitten, 84 (80.0%) reported receiving antivenom. By severity, antivenom was administered to 80.3% (n/N=61/76) of cases classified as dry/mild, 87.5% (n/N=14/16) classified as moderate, and 69.2% (n/N=9/13) classified as severe. Six of the 105 individuals (5.7%) reported that a device called 'Aspivenin' [36] or 'Venimex' [37] was used in an attempt to extract snake venom from the wound. Traditional treatment (including bark, leaves, or herbs) was administered in 62.3% (n/N=109/175) of cases and was applied topically (n/N=97/109, 89.0%), and/or taken orally (n/N=53/109, 48.6%). The application of a tourniquet was reported by 50.9% (n/N=89/175) of bitten individuals.

Clinical outcomes following snakebites

Five (2.8%) out of 176 individuals died following a snakebite. All were female and over the age of 50. Three exhibited signs of neurotoxic envenomation, one exhibited signs of cytotoxic envenomation, and one could not be classified. One self-administered traditional medicine and died at home; one visited a traditional healer, followed by a primary health facility, before arriving at a hospital and receiving antivenom; one visited a primary health facility before arriving at a hospital and receiving antivenom; and two went directly to a hospital, where one died on arrival, and the other reportedly received antivenom before dying.

A total of 165 patients (93.8%) fully recovered, while six (3.4%) reported ongoing physical symptoms. These included fatigue (n/N=1/6, 16.7%), cramps (n/N=2/6, 33.4%), pain (n/N=2/6, 33.4%), swelling (n/N=1/6, 16.7%), and difficulty walking (n/N=2/6, 33.3%).

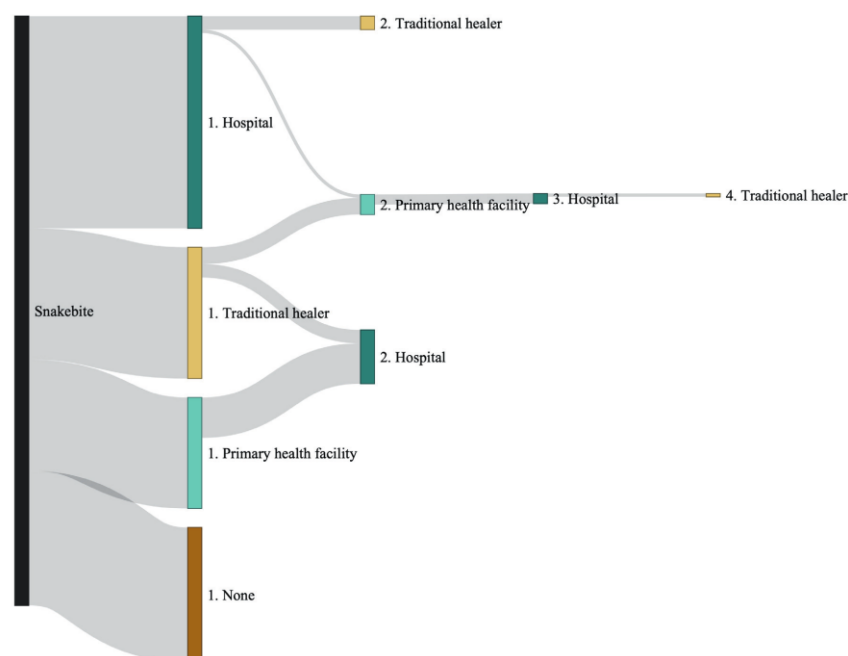


Figure 2. Treatment-seeking behaviour following a snakebite. Details on snakebite treatment were collected retrospectively for cases between October 2017 and June 2023 in Ogooué et des Lacs. This figure shows data collected from 175 snakebite cases (information was missing for one case).

The economic impact of snakebites

The cost of treatment was provided in 51.1% ($n/N=69/135$) of snakebite cases where treatment was sought. From these estimates, the median out-of-pocket cost of snakebite treatment was USD 132 (IQR=32.1–165.0) or XAF 80 000 (IQR=20 000–100 000). By treatment provider, the reported median out-of-pocket cost was higher for individuals who exclusively sought treatment at a health facility, at USD 139.1 (IQR=64.1–165.0) or XAF 80 000 (IQR=40 000–100 000), when compared with those who exclusively sought treatment at a traditional healer, where the median cost was USD 8.7 (IQR=2.0–8.7) or XAF 5000 (IQR=1250–5000).

Snakebites to domestic animals

Of the 2899 households that provided information on animal ownership, 1403 (48.4%) owned at least one herd in the 12 months prior to the survey, the majority of which owned chickens ($n/N=1174/1403$, 83.7%). Approximately one-third of households with animals ($n/N=450/1392$, 32.3%) reported a snakebite to at least one herd in the previous 12 months, with 96.2% ($n/N=431/448$) of the herd bites resulting in at least one death. While bites were less common among goats/sheep and dogs/cats, almost all bites to these herds also resulted in at least one death (Table 3).

A possible snake species could be assigned in 30.0% ($n/N=135/450$) of bites to animals, of which 69.6% ($n/N=94/135$) were *N. melanoleuca*, 29.6% ($n/N=40/135$) were *P. sebae* and 0.7% ($n/N=1/135$) were *B. gabonica* (Table S2 in the [Online Supplementary Document](#)).

Table 3. Herd ownership and snakebite cases among domestic animals owned in the previous 12 mo by the surveyed households

Herd	Number of households with a herd*	Number of herd bites†	Herd bite incidence per 100 herds (95% CI)	Number of herd bites resulting in at least one death	Mortality rate per 100 herds (95% CI)
Chicken	1174	418	35.6 (32.9–38.4)	403‡	96.9 (94.7–98.2)
Goat/sheep	112	15	13.4 (8.3–20.9)	15	100.0 (79.6–100.0)
Dog/cat	584	43	7.4 (5.5–9.8)	37	86.0 (72.7–93.4)
Other§	58	2	3.4 (1.0–11.7)	2	100.0 (34.2–100.0)

*A herd represents a group of animals of the same species owned by a household.

†Multiple herd bites were reported by 28 households. The number of snakebites to animals was missing for 11 households which do not contribute to the incidence or mortality calculations.

‡Information on death following the snakebite was missing for two households which do not contribute to the mortality calculations.

§Other animals included ducks, monkeys, cows, and pigs.

Evaluation of health facility data from snakebite patients and antivenom availability

In the 12 months prior to the survey, 29 snakebite patients were registered in health facility data, 23 of whom were Ogooué et des Lacs residents. Based on an assumed total population of 49 176 in the department, this corresponds to an incidence of 46.8 snakebites per 100 000 person-years (95% CI=31.1–70.4) based on health facility data alone.

In the five years prior to the survey, 130 snakebite cases were recorded in the patient records at the visited hospitals (n/N=119/130, 91.5%) and health facilities (n/N=11/130, 8.5%). Of the 128 snakebite patients with available information on their place of residence, 79.7% (n/N=102/128) were residents of the department.

Symptoms were recorded for 61.5% (n/N=80/130) of snakebite patients, with the most common being pain (n/N=32/80, 40.0%), swelling (n/N=26/80, 32.5%), and vomiting (n/N=11/80, 13.8%). Antivenom was administered to 80.7% (n/N=96/119) of patients with data on treatment. In 1.6% (n/N=1/64) of cases with available documentation, an allergic/toxic shock was reported. For the patients where the antivenom dose was recorded, 90.4% (n/N=47/52) received one vial, and 9.6% (n/N=5/52) received two vials. Other treatments included tetanus vaccination (n/N=73/119, 61.3%), analgesics (n/N=68/119, 57.1%; mainly paracetamol (n/N=52/68, 76.5%)), corticosteroids (n/N=61/119, 51.3%), antibiotics (n/N=49/119, 41.2%) and local antiseptic wound treatment (n/N=32/119, 26.9%). In addition, two patients developed a severe wound infection and necrosis requiring surgical debridement.

Of the 114 cases with admission details recorded, 72.3% (n=83) were treated as inpatients. Length of stay was available for 66 inpatients, with a median length of one day (IQR=1–2 days) and a maximum stay of 11 days for one patient. Details on clinical outcome was recorded for 66.3% (n/N=55/83) of inpatients. Two inpatients were referred to hospitals in the capital of Gabon, Libreville. Three deaths were recorded among the inpatients in health facility data. All cases that resulted in death were also captured in the community survey.

Five of the 29 health facilities visited to assess antivenom availability were supplied with the polyvalent antivenom Inoserp PAN-AFRICA (Inosan Biopharma, Mexico/Spain), composed of equine-derived immunoglobulin fragments F(ab')₂ [38]. These health facilities included the two hospitals, the pharmacy in Lambaréné, and two remote sector medical centres, but no dispensaries. At the time of the visit, one medical centre had five vials, while the other health facilities stocked a maximum of three.

DISCUSSION

This study provides the first robust estimate of the snakebite burden for Gabon with an estimated annual standardised incidence rate of 246 snakebites per 100 000 person-years. This estimate exceeds previous estimates for sub-Saharan Africa from a meta-analysis (204.6 cases per

100 000 people [6]), but is lower than those reported in rural populations for Cameroon (up to 665 per 100 000 [8]) and Kenya (up to 440 per 100 000 [39]). However, our estimates for the rural (438 cases per 100 000 person-years) and remote (375 cases per 100 000 person-years) sectors align with these estimates.

With an estimated mortality of 3% and assuming a similar distribution of snakebites around the country, this would extrapolate to 5994 cases and 180 deaths due to snakebite annually among Gabon's 2.44 million inhabitants [40]. Assuming the population of Libreville, the capital [41], is not at risk for snakebites, this still results in 3820 cases and 115 deaths yearly. By comparison, rabies accounts for only 1–2 deaths annually [42]. These findings emphasise the significance of snakebite envenoming in Gabon, prompting its inclusion in the 2024–28 National Health Development Plan [43].

The higher-than-expected incidence in the urban sector reflects the environment of the town of Lambaréné, which has densely vegetated areas and water bodies throughout the city, providing natural habitats for snakes. Human activities may even increase the attractiveness of habitats for some snake species by attracting rodents and other prey and by facilitating the availability of food in and around houses (e.g. chicken) [33,34]. Further, the urban population is often engaged in agricultural activities and fishing, which increases the exposure to snakes and snakebites. Similar circumstances are common in many African urban areas, highlighting the need to include urban populations in snakebite surveys for accurate burden assessments.

The community survey revealed an incidence almost five-fold higher than the health facility data (47 cases per 100 000 person-years). This aligns with previous studies showing an underestimation of snakebite incidence in health facility data [7,8,12,39,44], as many victims do not seek treatment at formal health facilities. Further, incomplete records in the health facilities are common and case registers were available for the complete five-year observation period in both hospitals, but only in 5 out of 26 primary health facilities. The imminent implementation of the District Health Information System – 2 will include snakebite as a notifiable neglected tropical disease, potentially improving data completeness in the health facilities.

Another contributing factor could be an over-reporting of health facility attendance in the community survey due to a social desirability bias [45] because of anticipated negative attitudes toward traditional medicine among the study team. A meta-analysis on the use of traditional medicine in sub-Saharan Africa demonstrated that more than 50% of users do not disclose this to health care providers [46].

Over the past five years, 45% of reported snakebites in Ogooué et des Lacs occurred in a forest or plantation. This highlights the occupational risks of working in these environments, as observed in many other settings [3,7,8,13,47]. In addition, three-quarters of snakebites were to a lower limb, and approximately 20% of bites occurred in or around the home, predominantly during dusk or at night. These findings highlight the importance of prevention measures, such as clearing the area around houses, carrying a light when walking at night, and wearing protective footwear. Subsidising protective gear, particularly lamps, and establishing strict occupational health and safety standards for industrial plantations [48] could mitigate these risks. Community engagement campaigns to improve local knowledge of snakebite prevention have also been highly effective in several settings [49,50] and should be adapted and implemented in Gabon. Such initiatives must also address effective vs. harmful first-aid practices, such as the use of tourniquets [13,14,51,52], and appropriate treatment-seeking behaviours.

While the majority of individuals reportedly attended a health facility, similar to findings from Ghana and Kenya [39,53], approximately one-third of cases, primarily those living in the rural and remote sectors, sought traditional treatment only. It was uncommon for snakebite victims to seek treatment from both a traditional healer and a health facility. While there is no evidence to support the use of traditional treatment, as it may result in delayed antivenom administration and an increased risk of wound infection following the application of unsterile remedies to the

bite site [54,55], sociocultural factors, accessibility, and lower costs, contribute to the continued reliance on traditional healers for the management of snakebite, especially in rural communities [11]. Therefore, training on effective first-aid and identification of moderate and severe envenomation that requires urgent referral to a health facility should be offered to traditional healers. Establishing collaborations between traditional healers and formal health facilities could ensure timely and effective treatment, improve outcomes and build trust between rural communities and the formal health system. Such a collaboration for Buruli Ulcer in Cameroon improved case detection and referrals through trust and collaboration between traditional healers and health staff [11,56].

Approximately 20% of patients exhibited moderate to severe envenomation, consistent with WHO estimates [10], but lower than the 60% reported from Cameroon [8]. Differences in severity reflect snake species diversity and varying classification criteria, limiting the comparability between studies. Recently, a universal set of core outcome measures and syndrome-specific categories for clinical studies was proposed through a global consensus among stakeholders and expert groups, including statisticians, policy makers, and snakebite patients [57]. A similar consensus-based approach could be extended to community-based surveys, where standardised criteria for classifying severity and syndromes should be established. Existing classification frameworks from previous studies [8,14,30,48,57], as well as the diversity of snake species and their associated syndromes, could guide this work. Such standardisation would improve the comparability of studies and contribute to more accurate assessments of the burden of snakebite.

All snakebite fatalities in this study were female, similar to findings in Nepal [30] and India [58], where deaths were more frequent in females, and Ghana, where an elevated risk of disability was attributed to socio-economic factors [53]. Further, biological factors, such a higher venom-to-body mass ratio, may play a role in this finding [59,60]. However, in Cameroon, mortality was similar between the genders [48] and in Sri Lanka men showed signs of envenomation more frequently [61]. Further research is required to gain a deeper understanding of gender-specific risk factors.

Polyvalent antivenom (Inoserp PAN-AFRICA, Inosan Biopharma, Mexico/Spain) was administered to a high proportion of cases, including those with mild signs of envenomation, where antivenom is generally not required. This raises concerns about inappropriate use, increasing the risk of allergic reactions and imposing unnecessary costs on patients [13,14]. While only one severe allergic reaction was recorded, this may be an underestimation due to incomplete documentation. Additionally, the majority of cases received less than the recommended starting dose of two vials [38], further highlighting inappropriate use of a scarce resource. While Inoserp PAN-AFRICA is reported to be effective against the five medically relevant snake species in Gabon, with at least one study from Cameroon showing its usefulness [62], a risk-benefit assessment of this antivenom by the WHO is ongoing [63].

The use of 'venom extractors', common administration of corticosteroids, non-steroidal anti-inflammatory drugs, and antibiotics, with low rates of tetanus vaccinations further demonstrate a lack of snakebite treatment knowledge among health care workers [13,14]. At the time of the study, no national treatment guidelines were available. The development of such guidelines including strict indications for antivenom administration, along with the training of health care workers, are urgently needed to improve the management of snakebites [7,64] and the public's trust in the health care provided at these facilities.

The estimated median out-of-pocket cost of treatment was 15 times higher in health facilities compared to traditional healers. This disparity is likely due to the high cost of antivenom, which at the time of the survey was USD 132.0 per vial for those with national health insurance and USD 169.4 for those without. Further, transportation costs and poor infrastructure may be barriers to seeking care in formal health facilities, particularly for low-income rural households. Increasing antivenom subsidies, promoting national insurance enrolment, and improving infrastructure could lead more people to seek treatment at health facilities. Initiatives such as motor-

bike ambulances in Kenya and Nepal have had a positive impact on care-seeking and snakebite mortality [65,66] and could serve as models for Gabon.

Besides direct treatment costs, disabilities and productivity losses or ongoing health care expenses [17,67,68] and the considerable impact on domestic animal populations add to the significant livelihood losses for affected households. In Rwanda, the combined direct treatment costs and indirect productivity losses reach USD 117 per snakebite [68]. In Nepal, snakebite-related mortality among domestic animals resulted in median household losses of USD 90.4, exceeding the losses from health care costs and productivity for snakebites in humans (USD 67.7) [17]. To reduce the burden of snakebites on both animals and humans, preventive measures, such as keeping animals in tightly netted sheds, controlling rodent populations, removing garbage and food to prevent snakes from entering houses and yards should be implemented [16,48].

However, it is also important to recognise the ecological and potential economic role of snakes as predators of rodent populations, which are a major cause of crop damage among smallholder farmers in Africa [69]. A modelling study in southern Australia estimated the financial benefits of the eastern brown snake predation on rodents to be over USD 500 million annually, with additional environmental benefits such as reduced pesticide use and a reduction in rodent-borne zoonotic diseases [70]. The significant financial implications of snakebite envenoming on the one side and ecological and economic importance of snakes on the other warrant further in-depth analysis that goes beyond the scope of this study.

While our study is the first stringently designed epidemiological survey on snakebite burden in Gabon and provides robust data for the department of Ogooué et des Lacs, it is not without limitations.

First, households in the rural and remote sectors were sampled differently from the population in the urban sector. Specifically, we conducted a complete survey of all households in the rural and remote sectors, ensuring comprehensive coverage despite the absence of an official sampling frame, but performed random sampling in the urban sector. To account for the incomplete sampling in the urban sector, we calculated the standardised incidence rate, which considers the differences in the proportion of the population sampled in each sector, which we believe provides a reliable estimate of snakebite incidence in the department.

Second, our results may not be generalisable to other areas of Gabon where the differences in population density, economic activity, landscape, snake fauna, and climate may result in differences in snakebite burden. However, this study provides the first estimate of the snakebite burden in Gabon, which was higher than expected and indicates the need for further research in other areas of Gabon and other countries in Central Africa.

Third, supplementary respondents may have been more likely to approach the study team to report severe cases than mild cases, leading to a possible overreporting of severe envenomations. However, the estimated proportion of cases classified as severe aligns with WHO estimates and does not exceed what has been reported elsewhere [8,10,71].

Finally, the ability to assign a snake species based on descriptions was limited, as described previously [72]. Developing visual aids with photographs of local species could help snakebite victims in identifying snake species, facilitating the identification of commonly involved snake species and informing educational materials for health care workers and community members. Recently, automated identification technology supported by artificial intelligence has been successfully demonstrated for snakes [73] and could be implemented in mobile apps to improve species identification by community members and health care professionals.

Despite these limitations, many of which are inherent to all cross-sectional studies on snakebites, we provide a comprehensive assessment of the burden of snakebite in Ogooué et des Lacs, highlighting the importance of snakebite envenoming in Gabon and the need for further epidemiological studies across Africa to close the data gap and improve our understanding of the burden of this deadly neglected tropical disease on the African continent [74,75].

CONCLUSIONS

This comprehensive epidemiologic study highlights the considerable impact of snakebites in Gabon and has contributed to snakebite envenomation being included in Gabon's National Health Development Plan for 2024 to 2028 [43]. To effectively reduce the burden of snakebite envenoming in Gabon, the planning and implementation of specific interventions and strategies are essential. Priority interventions should include community engagement programmes to promote prevention strategies and encourage effective first-aid methods and appropriate treatment-seeking behaviour; training of health care workers in the management of snakebites and the development of treatment guidelines; the provision and subsidy of effective antivenom; and the development of collaboration strategies with traditional healers.

Acknowledgements: We are grateful to all study participants for their participation and trust and to the local authorities for their support and permission. We would like to thank our colleagues and the study team at the CERMEL, in particular, Aimé Léonce Ibouanga for his contribution to the organisation and conduct of the fieldwork, data collection and dedication, and Laetitia Otchague for her valuable work and support. We would also like to thank the hospitals and health facilities for their cooperation in collecting patient data. We would also like to acknowledge Dr Ralf Krumkamp at the BNITM for his advice on statistical analysis. We would like to acknowledge Dr Annick Mondjo at the Ministry of Health in Gabon for her contribution to the contextual background.

Ethics statement: Written informed consent was obtained from the head of the household or, if unavailable, from a household resident at least 18 years of age. Verbal consent was additionally obtained from each snakebite victim. Written informed consent was obtained from all supplementary respondents. Data from health facility case records were collected retrospectively without personal identifiers. The study was evaluated and approved by the Institutional Ethics Committee of the CERMEL (CEI-010/2022) in Gabon and the Medical Association in Hamburg (Ärztchamber Hamburg) in Germany (2023-300326-WF).

Data availability: The data analysed for this study are available to the corresponding author upon reasonable request.

Funding: The Jürgen Manchot Foundation provided a stipend to RA to support this study. The funders had no role in the study design, data collection and analysis, manuscript preparation or decision to publish.

Authorship contributions: JB and BK conceptualised and designed the study with inputs from GM-N. RA, JB, BK and GM-N wrote the study protocol. RA, FH, JB, GM-N, AHZ, RZM, DGO, BL, and BK developed the survey methodology. BK, GM-N and JB supervised the study. BK and RA acquired funding. RA led and conducted the field investigation, co-supervised by FH, GM-N and BK. PGK, FH and WNN provided support in conducting the survey. RA, JR, and FH contributed to the processing of the data. RA and JR conducted the statistical analysis and wrote the draft manuscript. RA, JR, FH, MBA, GM-N, MR, JB, and BK contributed to the writing, review and editing of the final manuscript. All authors reviewed and approved the final version for submission.

Disclosure of interest: The authors completed the ICMJE Disclosure of Interest Form (available upon request from the corresponding author) and disclose no relevant interests.

Additional material

Online Supplementary Document

REFERENCES

- Williams DJ, Faiz MA, Abela-Ridder B, Ainsworth S, Bulfone TC, Nickerson AD, et al. Strategy for a globally coordinated response to a priority neglected tropical disease: snakebite envenoming. *PLoS Negl Trop Dis*. 2019;13:e0007059. [Medline:30789906](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0007059](#)
- GBD 2019 Snakebite Envenomation Collaborators. Global mortality of snakebite envenoming between 1990 and 2019. *Nat Commun*. 2022;13:6160. [Medline:36284094](#) [doi:10.1038/s41467-022-33627-9](#)
- Harrison RA, Hargreaves A, Wagstaff SC, Faragher B, Lalloo DG. Snake envenoming: a disease of poverty. *PLoS Negl Trop Dis*. 2009;3:e569. [Medline:20027216](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0000569](#)
- Longbottom J, Shearer FM, Devine M, Alcoba G, Chappuis F, Weiss DJ, et al. Vulnerability to snakebite envenoming: a global mapping of hotspots. *Lancet*. 2018;392:673–84. [Medline:30017551](#) [doi:10.1016/S0140-6736\(18\)31224-8](#)
- Kasturiratne A, Wickremasinghe AR, de Silva N, Gunawardena NK, Pathmeswaran A, Premaratna R, et al. The global burden of snakebite: a literature analysis and modelling based on regional estimates of envenoming and deaths. *PLoS Med*. 2008;5:e218. [Medline:18986210](#) [doi:10.1371/journal.pmed.0050218](#)

- 6 Chippaux JP. Estimate of the burden of snakebites in sub-Saharan Africa: a meta-analytic approach. *Toxicon*. 2011;57:586–99. *Medline*:21223975 doi:10.1016/j.toxicon.2010.12.022
- 7 Vongphoumy I, Phongmany P, Sydala S, Prasith N, Reintjes R, Blessmann J. Snakebites in two rural districts in Lao PDR: community-based surveys disclose high incidence of an invisible public health problem. *PLoS Negl Trop Dis*. 2015;9:e0003887. *Medline*:26115035 doi:10.1371/journal.pntd.0003887
- 8 Alcoba G, Chabloz M, Eyong J, Wanda F, Ochoa C, Comte E, et al. Snakebite epidemiology and health-seeking behavior in Akonolinga health district, Cameroon: cross-sectional study. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14:e0008334. *Medline*:32584806 doi:10.1371/journal.pntd.0008334
- 9 Potet J, Beran D, Ray N, Alcoba G, Habib AG, Iliyasu G, et al. Access to antivenoms in the developing world: a multidisciplinary analysis. *Toxicon X*. 2021;12:100086. *Medline*:34786555 doi:10.1016/j.toxcx.2021.100086
- 10 World Health Organization. Snakebite envenoming. 12 September 2023. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/snakebite-envenoming>. Accessed: 24 March 2024.
- 11 Steinhorst J, Tianyi FL, Habib AG, Oluoch GO, Laloo DG, Stienstra Y. Uniting behind a common goal: collaboration between traditional healers and allopathic health care workers to improve rural snakebite care. *Toxicon X*. 2022;16:100140. *Medline*:36353448 doi:10.1016/j.toxcx.2022.100140
- 12 Schioldann E, Mahmood MA, Kyaw MM, Halliday D, Thwin KT, Chit NN, et al. Why snakebite patients in Myanmar seek traditional healers despite availability of biomedical care at hospitals? community perspectives on reasons. *PLoS Negl Trop Dis*. 2018;12:e0006299. *Medline*:29489824 doi:10.1371/journal.pntd.0006299
- 13 Gutiérrez JM, Calvete JJ, Habib AG, Harrison RA, Williams DJ, Warrell DA. Snakebite envenoming. *Nat Rev Dis Primers*. 2017;3:17063. *Medline*:28905944 doi:10.1038/nrdp.2017.63
- 14 World Health Organization, Regional Office for Africa. Guidelines for the prevention and clinical management of snakebite in Africa. Brazzaville, Republic of the Congo: World Health Organization Regional Office for Africa; 2010. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789290231684>. Accessed: 5 March 2025.
- 15 Bolon I, Finat M, Herrera M, Nickerson A, Grace D, Schutte S, et al. Snakebite in domestic animals: first global scoping review. *Prev Vet Med*. 2019;170:104729. *Medline*:31421490 doi:10.1016/j.prevetmed.2019.104729
- 16 Bolon I, Babo Martins S, Ochoa C, Alcoba G, Herrera M, Bofia Boyogueno HM, et al. What is the impact of snakebite envenoming on domestic animals? a nation-wide community-based study in Nepal and Cameroon. *Toxicon X*. 2021;9–10:100068. *Medline*:34179766 doi:10.1016/j.toxcx.2021.100068
- 17 Babo Martins S, Bolon I, Alcoba G, Ochoa C, Torgerson P, Sharma SK, et al. Assessment of the effect of snakebite on health and socioeconomic factors using a One Health perspective in the Terai region of Nepal: a cross-sectional study. *Lancet Glob Health*. 2022;10:e409–15. *Medline*:35180422 doi:10.1016/S2214-109X(21)00549-0
- 18 Pauwels OSG, Vande weghe JP. Animaux dangereux et reputes dangereux du Gabon. Libreville, Shell Gabon: Lanoo Printers; 2013.
- 19 World Health Organization. Guidelines for the production, control and regulation of snake antivenom immunoglobulins. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2017. Available: <https://www.who.int/publications/m/item/snake-antivenom-immunoglobulins-annex-5-trs-no-1004>. Accessed: 5 March 2025.
- 20 Tchoua R, Raouf AO, Ogandaga A, Mouloungui C, Loussou JB, Kombila M, et al. Analysis of snake bite envenomations in Gabon. *Bull Soc Pathol Exot*. 2002;95:188–90. *Medline*:12404868
- 21 Davi SD, Lumeka A, Hildebrandt TR, Endamne LR, Otchague C, Okwu DG, et al. Assessing the incidence of snakebites in rural Gabon- a community-based, cross-sectional pilot survey. *Trop Med Infect Dis*. 2024;9:68. *Medline*:38668529 doi:10.3390/tropicalmed9040068
- 22 Global Forest Watch. Tree cover in Ogooué et des Lacs, Moyen-Ogooué, Gabon. 2024. Available: <https://gfw.global/3S10Hdn>. Accessed: 13 March 2024.
- 23 World Weather Online. Lambarene Annual Weather Averages. 2024. Available: <https://www.worldweatheronline.com/lambarene-weather-averages/moyen-ogooe/ga.aspx>. Accessed: 17 April 2024.
- 24 Direction Générale de la Statistique. Résultats globaux du Recensement Général de la Population et des Logements de 2013 du Gabon (RGPL2013). Libreville, Gabon: Direction Générale de la Statistique; 2015. Available: <https://gabon.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Resultats%20Globaux%20RGPL%281%29.pdf>. Accessed: 10 March 2025.
- 25 Dean AG, Sullivan KM, Soe MM. OpenEpi: Open Source Epidemiologic Statistics for Public Health, Version 3.01. 2013. Available: www.OpenEpi.com. Accessed: 20 May 2024.
- 26 Ramharter M, Agnandji ST, Adeginka AA, Lell B, Mombo-Ngoma G, Grobusch MP, et al. Development of sustainable research excellence with a global perspective on infectious diseases: Centre de Recherches Médicales de Lambaréné (CERMEL), Gabon. *Wien Klin Wochenschr*. 2021;133:500–8. *Medline*:33398458 doi:10.1007/s00508-020-01794-8

- 27 Urbaniak GC, Plous S. Research Randomizer (Version 4.0). 2013. Available: <http://www.randomizer.org>. Accessed: 15 January 2023.
- 28 Harris PA, Taylor R, Thielke R, Payne J, Gonzalez N, Conde JG. Research electronic data capture (REDCap)-a metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *J Biomed Inform.* 2009;42:377–81. *Medline:*18929686 *doi:*10.1016/j.jbi.2008.08.010
- 29 Harris PA, Taylor R, Minor BL, Elliott V, Fernandez M, O'Neal L, et al; The REDCap consortium. building an international community of software platform partners. *J Biomed Inform.* 2019;95:103208. *Medline:*31078660 *doi:*10.1016/j.jbi.2019.103208
- 30 Alcoba G, Sharma SK, Bolon I, Ochoa C, Babo Martins S, Subedi M, et al. Snakebite epidemiology in humans and domestic animals across the Terai region in Nepal: a multicenter random survey. *Lancet Glob Health.* 2022;10:e398–408. *Medline:*35180421 *doi:*10.1016/S2214-109X(22)00028-6
- 31 Pauwels OSG. Les reptiles. In: Vande weghe JP, Stévant T, editors. *Le Delta de l'Ogooué*. Libreville, Gabon: Agence Nationale des Parcs Nationaux; 2017. p. 256–65.
- 32 Pauwels OSG. Slippery customers. Royal Belgian Institute of Natural Sciences; Brussels, Belgium: 2009.
- 33 R Core Team. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2023. Available: <https://www.R-project.org/>. Accessed: 10 August 2024.
- 34 Freedman Ellis G, Lumley T, Žóttak T, Schneider B, Krivitsky PN. *srvyr: dplyr'-Like Syntax for Summary Statistics of Survey Data*. R. package version 1.2.0 ed. 2023. Available: <https://cran.r-project.org/web/packages/srvyr/index.html>. Accessed: 19 March 2025
- 35 Exchange Rates UK. Central African CFA franc (XAF) to US Dollar (USD) exchange rate history. 2023. Available: <https://www.exchangerates.org.uk/XAF-USD-exchange-rate-history.html>. Accessed: 18 December 2023.
- 36 Sollitt Trading Company. Aspivenin biteandstingextractor. 2017. Available: <https://www.aspivenin.net/?v=061f79368e79>. Accessed: 8 April 2025
- 37 Cooper. Venimex. 2025. Available: <https://www.cooper.fr/venimex> Accessed: 8 April 2025
- 38 Biopharm I. INOSERP PAN-AFRICA. 2023. Available: <http://inosanbiopharma.com/panafrica.html>. Accessed: 23 December 2024.
- 39 Tianyi FL, Oluoch GO, Otundo D, Ofwete R, Ngari C, Trelfa A, et al. Snakebite prevalence and risk factors in a nomadic population in Samburu County, Kenya: A community-based survey. *PLoS Negl Trop Dis.* 2024;18:e0011678. *Medline:*38165835 *doi:*10.1371/journal.pntd.0011678
- 40 World Bank Group. Population, total - Gabon. 2024. Available: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=GA>. Accessed: 30 October 2024.
- 41 World Population Review. Libreville, Gabon Population. 2024. Available: <https://worldpopulationreview.com/cities/gabon/libreville>. Accessed: 30 October 2024.
- 42 Global Alliance for Rabies Control. Rabies Elimination Progress: Gabon 2022. 2024. Available: <https://rabiesalliance.org/country/gabon>. Accessed: 30 October 2024.
- 43 Ministère de la santé Gabon. Plan Nationale de Développement Sanitaire du Gabon 2024-2028. Libreville, Gabon: Ministère de la santé Gabon; 2024. Available: https://p4h.world/app/uploads/2024/10/P4H-PNDS-2024-2028_Gabon.x23411.pdf. Accessed: 5 March 2025.
- 44 Tchoffo D, Kamgno J, Kekeunou S, Yadufashije C, Nana Djeunga HC, Nkwescheu AS. High snakebite under-reporting rate in the Centre Region of Cameroon: an observational study. *BMC Public Health.* 2019;19:1040. *Medline:*31376829 *doi:*10.1186/s12889-019-7363-3
- 45 Thorne-Lyman AL, Lama TP, Heidkamp RA, Munos MK, Manandhar P, Khatri SK, et al. How does social desirability bias influence survey-based estimates of the use of antenatal care in rural Nepal? a validation study. *BMJ Open.* 2023;13:e071511. *Medline:*37495390 *doi:*10.1136/bmjopen-2022-071511
- 46 James PB, Wardle J, Steel A, Adams J. Traditional, complementary and alternative medicine use in Sub-Saharan Africa: a systematic review. *BMJ Glob Health.* 2018;3:e000895. *Medline:*30483405 *doi:*10.1136/bmjgh-2018-000895
- 47 Farooq H, Bero C, Guilengue Y, Elias C, Massingue Y, Mucopote I, et al. Snakebite incidence in rural sub-Saharan Africa might be severely underestimated. *Toxicon.* 2022;219:106932. *Medline:*36181779 *doi:*10.1016/j.toxicon.2022.106932
- 48 Alcoba G, Nkwescheu A, Wanda F, Ochoa C, Bolon I, Babo Martins S, et al. Snakebite epidemiology in humans and domestic animals in rural Cameroon: a nationwide random multi-cluster community survey [preprint]. 2024. Available: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4867534. Accessed: 10 March 2025.
- 49 Vaiyapuri S, Kadam P, Chandrasekharuni G, Oliveira IS, Senthilkumaran S, Salim A, et al. Multifaceted community health education programs as powerful tools to mitigate snakebite-induced deaths, disabilities, and socioeconomic burden. *Toxicon X.* 2022;17:100147. *Medline:*36632238 *doi:*10.1016/j.toxcx.2022.100147

- 50 Samuel SP, Chinnaraju S, Williams HF, Pichamuthu E, Subharao M, Vaiyapuri M, et al. Venomous snake-bites: rapid action saves lives- a multifaceted community education programme increases awareness about snakes and snakebites among the rural population of Tamil Nadu, India. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14:e0008911. [Medline:33382715](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0008911](#)
- 51 Bhaumik S, Beri D, Lassi ZS, Jagnoor J. Interventions for the management of snakebite envenoming: an overview of systematic reviews. *PLoS Negl Trop Dis*. 2020;14:e0008727. [Medline:33048936](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0008727](#)
- 52 World Health Organization, Regional Office for South-East Asia. Guidelines for the management of snakebites. 2nd ed. New Delhi, India: WHO Regional Office for South-East Asia; 2016. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789290225300>. Accessed: 5 March 2025.
- 53 Aglanu LM, Amuasi JH, Schut BA, Steinhorst J, Beyuo A, Dari CD, et al. What the snake leaves in its wake: Functional limitations and disabilities among snakebite victims in Ghanaian communities. *PLoS Negl Trop Dis*. 2022;16:e0010322. [Medline:35604939](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0010322](#)
- 54 Chippaux JP, Ramos-Cerrillo B, Stock RP. Study of the efficacy of the black stone on envenomation by snake bite in the murine model. *Toxicon*. 2007;49:717–20. [Medline:17174999](#) [doi:10.1016/j.toxicon.2006.11.002](#)
- 55 Singaravelu KP, Pandit VR, Chinnakali P, Bammigatti C. Pre-hospital care and its association with clinical outcome of snakebite victims presenting at a tertiary care referral hospital in South India. *Trop Doct*. 2021;51:77–80. [Medline:33106110](#) [doi:10.1177/0049475520966958](#)
- 56 Awah PK, Boock AU, Mou F, Koin JT, Anye EM, Noumen D, et al. Developing a Buruli ulcer community of practice in Bankim, Cameroon: a model for Buruli ulcer outreach in Africa. *PLoS Negl Trop Dis*. 2018;12:e0006238. [Medline:29584724](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0006238](#)
- 57 Abouyannis M, Esmail H, Hamaluba M, Ngama M, Mwangudzah H, Mumba N, et al. A global core outcome measurement set for snakebite clinical trials. *Lancet Glob Health*. 2023;11:e296–300. [Medline:36669810](#) [doi:10.1016/S2214-109X\(22\)00479-X](#)
- 58 Dandona R, Kumar GA, Kharyal A, George S, Akbar M, Dandona L. Mortality due to snakebite and other venomous animals in the Indian state of Bihar: findings from a representative mortality study. *PLoS One*. 2018;13:e0198900. [Medline:29879197](#) [doi:10.1371/journal.pone.0198900](#)
- 59 Iliyasu G, Dayyab FM, Michael GC, Hamza M, Habib MA, Gutiérrez JM, et al. Case fatality rate and burden of snakebite envenoming in children – A systematic review and meta-analysis. *Toxicon*. 2023;234:107299. [doi:10.1016/j.toxicon.2023.107299](#). [Medline:37739273](#)
- 60 Sankar J, Nabeel R, Sankar MJ, Priyambada L, Mahadevan S. Factors affecting outcome in children with snake envenomation: a prospective observational study. *Arch Dis Child*. 2013;98:596–601. [Medline:23716133](#) [doi:10.1136/archdischild-2012-303025](#)
- 61 Ediriweera DS, Kasturiratne A, Pathmeswaran A, Gunawardena NK, Wijayawickrama BA, Jayamanne SF, et al. Mapping the risk of snakebite in Sri Lanka: a national survey with geospatial analysis. *PLoS Negl Trop Dis*. 2016;10:e0004813. [Medline:27391023](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0004813](#)
- 62 Chippaux JP, Ntone R, Benhammou D, Madec Y, Noël G, Perilhou A, et al. Real life condition evaluation of Inoserp PAN-AFRICA antivenom effectiveness in Cameroon. *PLoS Negl Trop Dis*. 2023;17:e0011707. [Medline:37939111](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0011707](#)
- 63 World Health Organization. List of product assessment outcomes. 2024. Available: <https://extranet.who.int/prequal/vaccines/list-product-assessment-outcomes>. Accessed: 12 August 2024.
- 64 Visser LE, Kyei-Faried S, Belcher DW. Protocol and monitoring to improve snake bite outcomes in rural Ghana. *Trans R Soc Trop Med Hyg*. 2004;98:278–83. [Medline:15109550](#) [doi:10.1016/S0035-9203\(03\)00065-8](#)
- 65 Sharma SK, Bovier P, Jha N, Alirol E, Loutan L, Chappuis F. Effectiveness of rapid transport of victims and community health education on snake bite fatalities in rural Nepal. *Am J Trop Med Hyg*. 2013;89:145–50. [Medline:23568287](#) [doi:10.4269/ajtmh.12-0750](#)
- 66 Barnes K, Ngari C, Parkurito S, Wood L, Otundo D, Harrison R, et al. Delays, fears and training needs: perspectives of health workers on clinical management of snakebite revealed by a qualitative study in Kitui County, Kenya. *Toxicon*. 2021;11:100078. [Medline:34401745](#) [doi:10.1016/j.toxcx.2021.100078](#)
- 67 Kasturiratne A, Pathmeswaran A, Wickremasinghe AR, Jayamanne SF, Dawson A, Isbister GK, et al. The socio-economic burden of snakebite in Sri Lanka. *PLoS Negl Trop Dis*. 2017;11:e0005647. [Medline:28683119](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0005647](#)
- 68 Schurer JM, Admasu MT, Bonaventure M, Hakizimana D, Murara E, MacDonald LE, et al. “I sold my towel and shoes to pay the traditional healer”: care-seeking costs and productivity losses among snakebite victims in Eastern Province, Rwanda. *PLoS Negl Trop Dis*. 2023;17:e0011768. [Medline:37983274](#) [doi:10.1371/journal.pntd.0011768](#)

REFERENCES

- 69 Pratt C, Constantine K, Murphy S. Economic impacts of invasive alien species on African smallholder livelihoods. *Glob Food Secur.* 2017;14:31–7. doi:10.1016/j.gfs.2017.01.011
- 70 Shine R, Dunstan N, Abraham J, Mirtschin P. Why Australian farmers should not kill venomous snakes. *Anim Conserv.* 2024;27:415–25. doi:10.1111/acv.12925
- 71 Afroz A, Siddiquea BN, Chowdhury HA, Jackson TN, Watt AD. Snakebite envenoming: a systematic review and meta-analysis of global morbidity and mortality. *PLoS Negl Trop Dis.* 2024;18:e0012080. Medline:38574167 doi:10.1371/journal.pntd.0012080
- 72 Bolon I, Durso AM, Botero Mesa S, Ray N, Alcoba G, Chappuis F, et al. Identifying the snake: first scoping review on practices of communities and healthcare providers confronted with snakebite across the world. *PLoS One.* 2020;15:e0229989. Medline:32134964 doi:10.1371/journal.pone.0229989
- 73 Bolon I, Picek L, Durso AM, Alcoba G, Chappuis F, Ruiz de Castañeda R. An artificial intelligence model to identify snakes from across the world: opportunities and challenges for global health and herpetology. *PLoS Negl Trop Dis.* 2022;16:e0010647. Medline:35969634 doi:10.1371/journal.pntd.0010647
- 74 Pintor AFV, Ray N, Longbottom J, Bravo-Vega CA, Yousefi M, Murray KA, et al. Addressing the global snakebite crisis with geo-spatial analyses- recent advances and future direction. *Toxicon X.* 2021;11:100076. Medline:34401744 doi:10.1016/j.toxcx.2021.100076
- 75 World Health Organization. Better snakebite data needed to save lives and limbs. 1 September 2024. Available: <https://www.who.int/news/item/01-09-2024-better-snakebite-data-needed-to-save-lives-and-limbs>. Accessed: 27 October 2024.

PAPERS

3 Zusammenfassung/ Summary

3.1 Zusammenfassung

Schlangenbissvergiftungen sind weltweit ein bedeutendes, aber vernachlässigtes Gesundheitsproblem. In Gabun, dem Lebensraum zahlreicher Giftschlangen, war das Ausmaß der Krankheitslast bislang weitgehend unbekannt. Um diese Lücke zu schließen wurde im Departement Ogooué et des Lacs in Zentralgabun 1) eine gemeindebasierte Querschnittstudie zu Schlangenbissen in 2.899 Haushalten und 2) Gesundheitseinrichtungen besucht, um Patient:innen Daten retrospektiv zu analysieren und die aktuellen Bestände an Antiveninen zu erheben.

Die jährliche Zahl der Schlangenbisse im Departement lag bei 246 Schlangenbissen pro 100.000 Personen. Von den 176 dokumentierten Fällen von Schlangenbissen, die sich innerhalb der letzten fünf Jahre ereigneten, wiesen 18 % Symptome einer Vergiftung auf und rund drei Prozent verstarben. 55 % der Fälle suchten zunächst eine offizielle Gesundheitseinrichtung auf, 22 % traditionelle Heiler:innen und 23 % behandelten sich selbst oder gar nicht. Von den Personen, die in einer Gesundheitseinrichtung behandelt wurden, erhielten 81 % ein Gegengift, häufig unabhängig von der Schwere der Symptome. Die wirtschaftliche Belastung durch Schlangenbisse war mit Behandlungskosten von im Median 132 USD erheblich.

Die Ergebnisse zeigen den dringenden Bedarf an Informations- und Aufklärungskampagnen zur Förderung von effizienter Prävention und richtigem Verhalten nach einem Schlangenbiss, klarer Behandlungsrichtlinien, Schulung des medizinischen Personals und einer Versorgung mit bezahlbaren und wirksamen Antiveninen.

3.2 Summary

Snakebite envenoming is a significant but often neglected health problem worldwide. In Gabon, a country with a high diversity of venomous snakes, its burden has been largely unknown. To address this gap, 1) a community-based cross-sectional survey on snakebites was conducted in 2,899 households, and 2) health facilities were visited to retrospectively analyze patient data and assess current antivenom supplies in the department of Ogooué et des Lacs, centrally located in Gabon.

The estimated annual number of snakebites in the department was 246 per 100,000 persons. Of the 176 snakebite cases reported in the previous five years 18% of reported signs of envenomation, and 3% died. Treatment was first sought at a formal health facility in 55% of cases, from traditional healers in 22% of cases, and 23% did not seek treatment or self-treated themselves. Of those attending a health facility, 81% received antivenom, often irrespective of the symptom severity. The economic burden of snakebites was substantial, with a median out-of-pocket cost of 132 USD for snakebite treatment.

The findings underscore the necessity for community engagement to promote effective prevention and treatment seeking behavior after bites, clear treatment guidelines, training for medical personnel, and a supply of affordable and effective antivenoms.

4 Literaturverzeichnis

- Afroz A, Siddiquea BN, Chowdhury HA, Jackson TN und Watt AD (2024) Snakebite envenoming: A systematic review and meta-analysis of global morbidity and mortality. *PLoS Negl Trop Dis.* 18 (4):e0012080.
- Aglanu LM, Amuasi JH, Schut BA, Steinhurst J, Beyuo A, Dari CD, Agbogbatey MK, Blankson ES, Punguyire D, Lalloo DG, Blessmann J, Abass KM, Harrison RA und Stienstra Y (2022) What the snake leaves in its wake: Functional limitations and disabilities among snakebite victims in ghanaian communities. *PLoS Negl Trop Dis.* 16 (5):e0010322.
- Alcoba G, Chabloz M, Eyong J, Wanda F, Ochoa C, Comte E, Nkwescheu A und Chappuis F (2020) Snakebite epidemiology and health-seeking behavior in akonolinga health district, cameroon: Cross-sectional study. *PLoS Negl Trop Dis.* 14 (6):e0008334.
- Alcoba G, Nkwescheu A, Wanda F, Ochoa C, Bolon I, Babo Martins S, Gignoux E, Ruiz De Castañeda R, Comte E, Nko'Ayissi G, Ray N und Chappuis F (2024) Snakebite epidemiology in humans and domestic animals in rural cameroon: A nationwide random multi-cluster community survey [Vorveröffentlichung]. [Online im Internet] URL: <https://ssrn.com/abstract=4867534> [Stand: 22.09.2025, 19:45].
- Alcoba G, Sharma SK, Bolon I, Ochoa C, Babo Martins S, Subedi M, Shah B, Ghimire A, Gignoux E, Luquero F, Ruiz de Castañeda R, Ray N und Chappuis F (2022) Snakebite epidemiology in humans and domestic animals across the terai region in nepal: A multicenter random survey. *Lancet Glob Health.* 10 (3):e398-e408.
- Aron MB, Kachimanga C, Kreuels B, Mailosi B, Sambani C, Matanje BL, Blessmann J, Chunga M, Momba G, Ndarama E, Kambalame DM, Connolly E, Rosenthal A und Munyaneza F (2022) Health care workers' knowledge on identification, management and treatment of snakebite cases in rural malawi: A descriptive study. *PLoS Negl Trop Dis.* 16 (11):e0010841.
- Artus R, Rae J, Hunstig F, Mombo-Ngoma G, Zinsou AH, Okwu DG, Ndoumba WN, Manego RZ, Ramharter M, Lell B, Kremsner PG, Aron MB, Blessmann J und Kreuels B (2025) The epidemiology of snakebites, treatment-seeking behaviour, and snakebite management in the department of ogooué et des lacs, gabon, central africa: A cross-sectional community and health facility-based survey. *J Glob Health.* 15:04062.
- Awah PK, Boock AU, Mou F, Koin JT, Anye EM, Noumen D und Nichter M (2018) Developing a buruli ulcer community of practice in bankim, cameroon: A model for buruli ulcer outreach in africa. *PLoS Negl Trop Dis.* 12 (3):e0006238.
- Babo Martins S, Bolon I, Alcoba G, Ochoa C, Torgerson P, Sharma SK, Ray N, Chappuis F und Ruiz de Castañeda R (2022) Assessment of the effect of snakebite on health and socioeconomic factors using a one health perspective in the terai region of nepal: A cross-sectional study. *Lancet Glob Health.* 10 (3):e409-e415.
- Barnes K, Ngari C, Parkurito S, Wood L, Otundo D, Harrison R, Oluoch GO, Trelfa A und Baker C (2021) Delays, fears and training needs: Perspectives of health workers on clinical management of snakebite revealed by a qualitative study in kitui county, kenya. *Toxicon X.* 11:100078.
- Bolon I, Babo Martins S, Ochoa C, Alcoba G, Herrera M, Bofia Boyogueno HM, Sharma BK, Subedi M, Shah B, Wanda F, Sharma SK, Nkwescheu AS, Ray N, Chappuis F und Ruiz de Castañeda R (2021) What is the impact of snakebite envenoming on domestic animals? A nation-wide community-based study in nepal and cameroon. *Toxicon X.* 9-10:100068.
- Bolon I, Finat M, Herrera M, Nickerson A, Grace D, Schütte S, Babo Martins S und Ruiz de Castañeda R (2019) Snakebite in domestic animals: First global scoping review. *Prev Vet Med.* 170:104729.
- Chippaux JP (2011) Estimate of the burden of snakebites in sub-saharan africa: A meta-analytic approach. *Toxicon.* 57 (4):586-99.
- Chippaux JP, Ntone R, Benhammou D, Madec Y, Noël G, Perilhou A, Karl F, Amta P, Sanchez M, Matchim L, Clauteaux P, Eteki L, Ndifon M, Boum Y, Nkwescheu AS und Taieb F (2023) Real life condition evaluation of inoserp pan-africa antivenom effectiveness in cameroon. *PLoS Negl Trop Dis.* 17 (11):e0011707.

- Chippaux JP, Rage-Andrieux V, Le Mener-Delore V, Charrondière M, Sagot P und Lang J (2002) Epidemiology of snake envenomations in northern cameroon. *Bull Soc Pathol Exot.* 95 (3):184-7.
- Chippaux JP, Ramos-Cerrillo B und Stock RP (2007) Study of the efficacy of the black stone on envenomation by snake bite in the murine model. *Toxicon.* 49 (5):717-20.
- Cooper (2025) Venimex. [Online im Internet] URL: <https://www.cooper.fr/venimex> [Stand: 22.09.2025, 19:48].
- Dandona R, Kumar GA, Kharyal A, George S, Akbar M und Dandona L (2018) Mortality due to snakebite and other venomous animals in the indian state of bihar: Findings from a representative mortality study. *PLoS One.* 13 (6):e0198900.
- Davi SD, Lumeka A, Hildebrandt TR, Endamne LR, Otchague C, Okwu DG, Artus R, Hunstig F, Manego RZ, Blessmann J, Kreamsner PG, Lell B, Mombo-Ngoma G, Agnandji ST, Ramharther M und Kreuels B (2024) Assessing the incidence of snakebites in rural gabon-a community-based, cross-sectional pilot survey. *Trop Med Infect Dis.* 9 (4).
- Dean AG, Sullivan KM und Soe MM (2013) Openepi: Open source epidemiologic statistics for public health, version 3.01. [Online im Internet] URL: www.OpenEpi.com [Stand: 22.09.2025, 19:52].
- Direction Générale de la Statistique (2015) Résultats globaux du recensement général de la population et des logements de 2013 du gabon (rgpl2013). Libreville, 61 Seiten+ annexes. [Online im Internet] URL: <https://gabon.unfpa.org/sites/default/files/pub-pdf/Resultats%20Globaux%20RGPL%281%29.pdf> [Stand: 22.09.2025, 19:54].
- Ediriweera DS, Kasturiratne A, Pathmeswaran A, Gunawardena NK, Wijayawickrama BA, Jayamanne SF, Isbister GK, Dawson A, Giorgi E, Diggle PJ, Lalloo DG und de Silva HJ (2016) Mapping the risk of snakebite in sri lanka - a national survey with geospatial analysis. *PLoS Negl Trop Dis.* 10 (7):e0004813.
- Exchange Rates UK (2023) Central african cfa franc (xaf) to us dollar (usd) exchange rate history. [Online im Internet] URL: <https://www.exchangerates.org.uk/XAF-USD-exchange-rate-history.html> [Stand: 22.09.2025, 19:56].
- Farooq H, Bero C, Guilengue Y, Elias C, Massingue Y, Mucopote I, Nanvonamuquitxo C, Marais J, Faurby S und Antonelli A (2022) Snakebite incidence in rural sub-saharan africa might be severely underestimated. *Toxicon.* 219:106932.
- Freedman Ellis G, Lumley T, Żółtak T, Schneider B und Krivitsky PN (2023) _srvyr: 'Dplyr'-like syntax for summary statistics of survey data_. R. [Online im Internet] URL: <https://github.com/gergness/srvyr/> [Stand: 22.09.2025, 20:00].
- GBD 2019 Snakebite Envenomation Collaborators (2022) Global mortality of snakebite envenoming between 1990 and 2019. *Nat Commun.* 13 (1):6160.
- Global Alliance for Rabies Control (2024) Rabies elimination progress: Gabon. [Online im Internet] URL: <https://rabiesalliance.org/country/gabon> [Stand: 22.09.2025, 20:02].
- Gutiérrez JM, Calvete JJ, Habib AG, Harrison RA, Williams DJ und Warrell DA (2017) Snakebite envenoming. *Nat Rev Dis Primers.* 3:17063.
- Habib ZG, Salihu AS, Hamza M, Yakasai AM, Iliyasu G, Yola IM, Gudaji MI, Abubakar SB und Habib AG (2021) Posttraumatic stress disorder and psycho-social impairment following snakebite in northeastern nigeria. *Int J Psychiatry Med.* 56 (2):97-115.
- Harris PA, Taylor R, Minor BL, Elliott V, Fernandez M, O'Neal L, McLeod L, Delacqua G, Delacqua F, Kirby J und Duda SN (2019) The redcap consortium: Building an international community of software platform partners. *J Biomed Inform.* 95:103208.
- Harris PA, Taylor R, Thielke R, Payne J, Gonzalez N und Conde JG (2009) Research electronic data capture (redcap)--a metadata-driven methodology and workflow process for providing translational research informatics support. *J Biomed Inform.* 42 (2):377-81.
- Harrison RA, Hargreaves A, Wagstaff SC, Faragher B und Lalloo DG (2009) Snake envenoming: A disease of poverty. *PLoS Negl Trop Dis.* 3 (12):e569.

- Iliyasu G, Dayyab FM, Michael GC, Hamza M, Habib MA, Gutiérrez JM und Habib AG (2023) Case fatality rate and burden of snakebite envenoming in children - a systematic review and meta-analysis. *Toxicon*. 234:107299.
- Inosan Biopharm (2023) Inoserp pan-africa. [Online im Internet] URL: <http://inosanbiopharma.com/panafrica.html> [Stand: 22.09.2025, 20:06].
- Kasturiratne A, Wickremasinghe AR, de Silva N, Gunawardena NK, Pathmeswaran A, Premaratna R, Savioli L, Lalloo DG und de Silva HJ (2008) The global burden of snakebite: A literature analysis and modelling based on regional estimates of envenoming and deaths. *PLoS Med*. 5 (11):e218.
- Michael GC, Bala AA und Mohammed M (2022) Snakebite knowledge assessment and training of healthcare professionals in asia, africa, and the middle east: A review. *Toxicon X*. 16:100142.
- Ministère de la santé Gabon (2021) Plan nationale de développement sanitaire du gabon 2017-2021. Libreville [Online im Internet] URL: https://extranet.who.int/countryplanningcycles/sites/default/files/planning_cycle_repository/gabon/pnds_2017-2021.pdf [Stand: 22.09.2025, 20:10].
- Ministère de la santé Gabon (2024) Plan nationale de développement sanitaire du gabon 2024-2028. Libreville [Online im Internet] URL: https://p4h.world/app/uploads/2024/10/P4H-PNDS-2024-2028_Gabon.x80726.pdf [Stand: 22.09.2025, 20:12].
- Ooms GI, van Oirschot J, Waldmann B, von Bernus S, van den Ham HA, Mantel-Teeuwisse AK und Reed T (2020) The current state of snakebite care in kenya, uganda, and zambia: Healthcare workers' perspectives and knowledge, and health facilities' treatment capacity. *Am J Trop Med Hyg*. 104 (2):774-782.
- Pauwels OSG (2009) Slippery customers. [Online im Internet] URL: https://www.pauwelsolivier.com/docs/GABON16.Snakes.ENGLISH.pp00-00v1_.pdf [Stand: 22.09.2025, 20:15].
- Pauwels OSG und Vande weghe J (2013) Animaux dangereux et réputés dangereux du gabon. Shell Gabon, Lannoo Printers, Libreville, Belgium, 120 Seiten.
- Pintor AFV, Ray N, Longbottom J, Bravo-Vega CA, Yousefi M, Murray KA, Ediriweera DS und Diggle PJ (2021) Addressing the global snakebite crisis with geo-spatial analyses - recent advances and future direction. *Toxicon X*. 11:100076.
- R Core Team (2023) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Wien, Österreich URL: <https://www.R-project.org/> [Stand: 22.09.2025, 20:18].
- Ramharter M, Agnandji ST, Adegnika AA, Lell B, Mombo-Ngoma G, Grobusch MP, McCall M, Muranaka R, Kreidenweiss A, Velavan TP, Esen M, Schaumburg F, Alabi A, Druml C, Mordmüller B, Köhler C und Kremsner PG (2021) Development of sustainable research excellence with a global perspective on infectious diseases: Centre de recherches médicales de lambaréné (cermel), gabon. *Wien Klin Wochenschr*. 133 (9-10):500-508.
- Samuel SP, Chinnaraju S, Williams HF, Pichamuthu E, Subharao M, Vaiyapuri M, Arumugam S, Vaiyapuri R, Baksh MF, Patel K, Trim SA, Duncombe TE und Vaiyapuri S (2020) Venomous snakebites: Rapid action saves lives-a multifaceted community education programme increases awareness about snakes and snakebites among the rural population of tamil nadu, india. *PLoS Negl Trop Dis*. 14 (12):e0008911.
- Sankar J, Nabeel R, Sankar MJ, Priyambada L und Mahadevan S (2013) Factors affecting outcome in children with snake envenomation: A prospective observational study. *Arch Dis Child*. 98 (8):596-601.
- Schioldann E, Mahmood MA, Kyaw MM, Halliday D, Thwin KT, Chit NN, Cumming R, Bacon D, Alfred S, White J, Warrell D und Peh CA (2018) Why snakebite patients in myanmar seek traditional healers despite availability of biomedical care at hospitals? Community perspectives on reasons. *PLoS Negl Trop Dis*. 12 (2):e0006299.
- Schurer JM, Admasu MT, Bonaventure M, Hakizimana D, Murara E, MacDonald LE und Rafferty E (2023) "I sold my towel and shoes to pay the traditional healer": Care-seeking costs and

- productivity losses among snakebite victims in eastern province, rwanda. *PLoS Negl Trop Dis.* 17 (11):e0011768.
- Sharma SK, Bovier P, Jha N, Alirol E, Loutan L und Chappuis F (2013) Effectiveness of rapid transport of victims and community health education on snake bite fatalities in rural nepal. *Am J Trop Med Hyg.* 89 (1):145-50.
- Singaravelu KP, Pandit VR, Chinnakali P und Bammigatti C (2021) Pre-hospital care and its association with clinical outcome of snakebite victims presenting at a tertiary care referral hospital in south india. *Trop Doct.* 51 (1):77-80.
- Sollitt Trading Company (2017) Apivenin biteandstingextractor. [Online im Internet] URL: <https://www.aspivenin.net/?v=aaa8229d6fea> [Stand: 22.09.2025, 21:02].
- Sreekumar A, Abraham SV, Rajeev PC, Chanchal ABV, Suseel A, Mathew D, George CR und Palatty BU (2025) Educating healthcare workers in snakebite management: A study to determine the effectiveness of the snake bite life support workshop. *Toxicon.* 255:108235.
- Steinhorst J, Tianyi FL, Habib AG, Oluoch GO, Lalloo DG und Stienstra Y (2022) Uniting behind a common goal: Collaboration between traditional healers and allopathic health care workers to improve rural snakebite care. *Toxicon X.* 16:100140.
- Taieb F, Dub T, Madec Y, Tondeur L, Chippaux JP, Lebreton M, Medang R, Foute FNN, Tchoffo D, Potet J, Alcoba G, Comte E, Einterz EM und Nkwescheu AS (2018) Knowledge, attitude and practices of snakebite management amongst health workers in cameroon: Need for continuous training and capacity building. *PLoS Negl Trop Dis.* 12 (10):e0006716.
- Tchoffo D, Kamgno J, Kekeunou S, Yadufashije C, Nana Djeunga HC und Nkwescheu AS (2019) High snakebite underreporting rate in the centre region of cameroon: An observational study. *BMC Public Health.* 19 (1):1040.
- Tchoua R, Raouf AO, Ogandaga A, Mouloungui C, Loussou JB, Kombila M und Nsifu DN (2002) Analysis of snake bite envenomations in gabon. *Bull Soc Pathol Exot.* 95 (3):188-90.
- Thang VV, Bao TQQ, Tuyen HD, Krumkamp R, Hai LH, Dang NH, Chu CM und Blessmann J (2020) Incidence of snakebites in can tho municipality, mekong delta, south vietnam-evaluation of the responsible snake species and treatment of snakebite envenoming. *PLoS Negl Trop Dis.* 14 (6):e0008430.
- Thorne-Lyman AL, Lama TP, Heidkamp RA, Munos MK, Manandhar P, Khatry SK, Bryce E, LeClerq SC und Katz J (2023) How does social desirability bias influence survey-based estimates of the use of antenatal care in rural nepal? A validation study. *BMJ Open.* 13 (7):e071511.
- Tianyi FL, Oluoch GO, Otundo D, Ofwete R, Ngari C, Trelfa A, Ahmed S, Wang D, Smith M, Meta V, Casewell NR, Lalloo DG, Harrison RA und Stienstra Y (2024) Snakebite prevalence and risk factors in a nomadic population in samburu county, kenya: A community-based survey. *PLoS Negl Trop Dis.* 18 (1):e0011678.
- Urbaniak GC und Plous S (2013) Research randomizer (version 4.0). [Online im Internet] URL: <http://www.randomizer.org> [Stand: 22.09.2025, 21:06].
- Vaiyapuri S, Kadam P, Chandrasekharuni G, Oliveira IS, Senthilkumaran S, Salim A, Patel K, de Almeida Gonçalves Sachett J und Pucca MB (2023) Multifaceted community health education programs as powerful tools to mitigate snakebite-induced deaths, disabilities, and socioeconomic burden. *Toxicon X.* 17:100147.
- Visser LE, Kyei-Faried S und Belcher DW (2004) Protocol and monitoring to improve snake bite outcomes in rural ghana. *Trans R Soc Trop Med Hyg.* 98 (5):278-83.
- Vongphoumy I, Phongmany P, Sydala S, Prasith N, Reintjes R und Blessmann J (2015) Snakebites in two rural districts in lao pdr: Community-based surveys disclose high incidence of an invisible public health problem. *PLoS Negl Trop Dis.* 9 (6):e0003887.
- Williams DJ, Faiz MA, Abela-Ridder B, Ainsworth S, Bulfone TC, Nickerson AD, Habib AG, Junghanss T, Fan HW, Turner M, Harrison RA und Warrell DA (2019) Strategy for a globally coordinated response to a priority neglected tropical disease: Snakebite envenoming. *PLoS Negl Trop Dis.* 13 (2):e0007059.

- Williams SS, Wijesinghe CA, Jayamanne SF, Buckley NA, Dawson AH, Lalloo DG und de Silva HJ (2011) Delayed psychological morbidity associated with snakebite envenoming. *PLoS Negl Trop Dis*. 5 (8):e1255.
- World Bank Group (2023) Population, total - gabon. [Online im Internet] URL: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?locations=GA> [Stand: 22.09.2025, 21:12].
- World Health Organisation. Regional Office for Africa (2010) Guidelines for the prevention and clinical management of snakebite in africa. Brazzaville [Online im Internet] URL: <https://iris.who.int/handle/10665/204458> [Stand: 22.09.2025, 21:17].
- World Health Organization (2017) Guidelines for the production, control and regulation of snake antivenom immunoglobulins. Genf [Online im Internet] URL: <https://www.who.int/publications/m/item/snake-antivenom-immunoglobulins-annex-5-trs-no-1004> [Stand: 22.09.2025, 21:20].
- World Health Organization (2023a) Interim report on snakebite incidence and case fatality rates in sub-saharan africa. *Weekly Epidemiological Record*. 98 (18):185-194.
- World Health Organization (2023b) List of product assessment outcomes. [Online im Internet] URL: <https://extranet.who.int/prequal/vaccines/list-product-assessment-outcomes> [Stand: 22.09.2025, 21:24].
- World Health Organization (2023c) Snakebite envenoming [Online im Internet] URL: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/snakebite-envenoming> [Stand: 22.09.2025, 21:30].
- World Health Organization (2024) Better snakebite data needed to save lives and limbs. [Online im Internet] URL: <https://www.who.int/news/item/01-09-2024-better-snakebite-data-needed-to-save-lives-and-limbs> [Stand: 22.09.2025, 21:33].
- World Population Review (2024) Gabon, libreville population. [Online im Internet] URL: <https://worldpopulationreview.com/cities/gabon/libreville> [Stand: 22.09.2025, 21:38].

5 Abkürzungsverzeichnis

WHO	Weltgesundheitsorganisation
PNDS	Plan Nationale de Développement Sanitaire du Gabon
CERMEL	Centre des Recherches Médicales de Lambaréné
HDSS	Health and Demographic Surveillance System
REDCap	Research Electronic Data Capture
KI	Konfidenzintervall
IQR	Interquartilabstand
XAF	Währungscode der Internationalen Organisation für Normung für den Franc de la Coopération Financière en Afrique Centrale
USD	Währungscode der Internationalen Organisation für Normung für den US-Dollar

6 Erklärung des Eigenanteils

Ich, Rica Artus, bin die alleinige Erstautorin der vorliegenden Publikation und habe die darauf basierende Dissertation eigenständig verfasst.

Die Studie wurde von mir gemeinsam mit Dr. Kreuels (Betreuer der Dissertation und Studienleiter) und Dr. Blessmann konzipiert. Grundlage waren Erkenntnisse und methodische Ansätze früherer epidemiologischer Studien zu Schlangenbissen in Laos und Vietnam, die unter Mitwirkung von Prof. Mombo-Ngoma (Studienleiter) an die lokalen Gegebenheiten in Gabun angepasst wurden. Das Studienprotokoll erarbeitete ich zusammen mit Dr. Kreuels, welches anschließend von Dr. Blessmann und Prof. Mombo-Ngoma überarbeitet und ergänzt wurde. Unter Anleitung von Dr. Kreuels und Prof. Mombo-Ngoma war ich maßgeblich an der Entwicklung sämtlicher studienbezogener Dokumente beteiligt, darunter Fragebögen, Informationsblätter und Einverständniserklärungen. Zudem war ich verantwortlich für das Anlegen der REDCap-Datenbank und die Entwicklung der digitalen Fragebögen zur Nutzung der REDCap-App während der Feldforschung. Ebenso war ich an der Einholung des Ethikvotums der institutionellen Ethikkommission des CERMEL beteiligt.

Für die Durchführung der Studie absolvierte ich einen einjährigen Forschungsaufenthalt am CERMEL in Gabun. Die Vorbereitungen im Studiengebiet begannen mit Befragungen von Gemeindevorsteher:innen und Sensibilisierungsmaßnahmen. In einer Pilotphase testeten wir verschiedene Stichprobenstrategien. Die Entwicklung der finalen Stichprobenstrategie, der Einschlusskriterien sowie Klärungsfragen zur Bewertung berichteter Schlangenbisse erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Mombo-Ngoma, Dr. Kreuels, Dr. Hunstig, Dr. Houmenou Zenosu, Dr. Zoleko Manego, Dr. Ndzebe Ndoumba und Dr. Okwu. Für die Erhebung von Geodaten bei der Feldforschung entwickelte ich ein Projekt auf Basis von Mergin Maps und der Geoinformationssoftware QGIS. Während der gesamten Studie war ich zudem in enger Abstimmung mit Frau Otchague (Projektkoordinatorin) für das Projektmanagement, die offizielle Kommunikation und die Erhebungslogistik mitverantwortlich. Die Datenerhebung in den Gemeinden des Studiengebiets erfolgte unter meiner Leitung und in enger Rücksprache mit Prof. Mombo-Ngoma. Sie wurde von mir selbst sowie von Fieldworkern, insbesondere Herrn Ibounaga, durchgeführt. Patient:innendaten aus Akten und Registern der lokalen Gesundheitseinrichtungen habe ich eigenständig erhoben.

Die kontinuierliche Überprüfung der Daten auf Vollständigkeit und Qualität lag in meiner Verantwortung. Zusätzlich wurden die Daten während der gesamten Studiendauer regelmäßig durch Dr. Hunstig kontrolliert. Die statistische Auswertung führte ich mit der Software R unter wissenschaftlicher Aufsicht von Dr. Kreuels durch. Von Dr. Rae erhielt ich statistische Beratung und Unterstützung bei der Erstellung grafischer Darstellungen. Die Interpretation der Ergebnisse erfolgte gemeinsam mit Dr. Rae, Dr. Hunstig, Dr. Blessmann, Herrn Aron und Dr. Kreuels. Den ersten

Entwurf des Manuskripts zur Veröffentlichung verfasste ich selbst, wobei Dr. Rae Anpassungen hinsichtlich Umfangs und Klarheit vornahm. Anschließend wurde das Manuskript von Dr. Kreuels, Prof. Mombo-Ngoma, Prof. Ramharter (Betreuer) und Dr. Blessmann überarbeitet. Alle Co-Autor:innen haben das finale Manuskript gelesen und genehmigt. Die Einreichung beim Journal of Global Health führte ich durch, ebenso das Peer-Review-Verfahren, wobei ich von Dr. Rae und Dr. Kreuels unterstützt wurde.

7 Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe, insbesondere ohne entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten, verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe. Das gilt insbesondere auch für alle Informationen aus Internetquellen.

Soweit beim Verfassen der Dissertation KI-basierte Tools („Chatbots“) verwendet wurden, versichere ich ausdrücklich, den daraus generierten Anteil deutlich kenntlich gemacht zu haben. Die „Stellungnahme des Präsidiums der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zum Einfluss generativer Modelle für die Text- und Bilderstellung auf die Wissenschaften und das Förderhandeln der DFG“ aus September 2023 wurde dabei beachtet.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich damit einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Datum

Unterschrift

8 Danksagung

Zu Beginn möchte ich allen Studienteilnehmer:innen für ihre Teilnahme und ihr Vertrauen sowie den lokalen Behörden und Gemeindevorsteher:innen für ihre Unterstützung und Genehmigung danken. Außerdem bin ich den Mitarbeitenden der Krankenhäuser und Gesundheitseinrichtungen sehr dankbar für die Hilfe bei der Erhebung der Patient:innendaten. Dr. Annick Mondjo vom Gesundheitsministerium in Gabun danke ich für ihre Beiträge zum kontextuellen Hintergrund.

Ein besonderer Dank gilt dem Studienteam am CERMEL, insbesondere den Fieldworkern Paturel Mendome, Anatole Ndong und Aimé Leonce Ibouanga. Aimé danke ich besonders für seinen wertvollen Beitrag zur Organisation und Durchführung der Feldarbeit sowie für die Unterstützung in der sprachlichen Kommunikation. Auch Laetitia Otchague möchte ich für ihre hervorragende Arbeit als Projektkoordinatorin danken. Meinem Betreuer und Mentor Prof. Michael Ramharter danke ich für seine Motivation, die Herstellung des Kontakts zum CERMEL und zu Dr. Benno Kreuels und für sein großes Interesse am Fortschritt der Studie. Prof. Ghyslain Mombo-Ngoma danke ich für sein Vertrauen in meine Selbstständigkeit und dafür, dass ich in ihm jederzeit in Lambaréné einen fachlichen und persönlichen Ansprechpartner hatte. Dr. Dearie Okwu Glory danke ich für ihre stetige Bereitschaft, meine Fragen zu beantworten. Für die technische Unterstützung der Studie sowie die Hilfe beim Einstieg in die Arbeit mit Geoinformationssystemen und Kartografie danke ich Olivier Nkoghe. Saidou Mahmoudou möchte ich für seine Beratung zur statistischen Analyse danken.

Ich möchte meinen Kolleg:innen in der Arbeitsgruppe Vernachlässigte Erkrankungen und Vergiftungen am BNITM danken. Dr. Kreuels gilt dabei mein großer Dank, für seine wissenschaftliche Betreuung, ständige Erreichbarkeit, Beratung. Er hat mich immer motiviert und mir ermöglicht, an nationalen und internationalen Kongressen erfolgreich teilzunehmen. Ein besonderer Dank geht an Dr. Friederike Hunstig für ihre kontinuierliche Unterstützung. Weiter möchte ich Dr. Jörg Blessmann danken für das Teilen seiner vielfältigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Schlangenbissforschung und für seine Literaturempfehlungen. Ich danke Jade Rae, die mich mit ihrer Geduld und ihren exzellenten Forschungs- und Schreibfähigkeiten begleitet hat.

Von ganzem Herzen möchte ich mich bei meinen Eltern für ihre Unterstützung bedanken. Meine Mutter hat mich nicht nur in Gabun besucht, sondern mir auch immer Rückhalt gegeben. Cécilia von Wedel, Anna Doralt, Max Augé-Stock, Jonas Lauschke und Cheyenne Krack haben mir neue Perspektiven auf die Arbeit eröffnet und waren als Freund:innen immer für mich da. Ein großes Dankeschön an Christiane Artus für das Korrekturlesen meiner Dissertation. Lisa Rieckhoff danke ich für Ihre ständige Unterstützung und die vielen Gespräche, die mein Projekt und meine Sorgen betrafen, sie hat an mich geglaubt und war immer für mich da.