

Vektorassoziierte Krankheiten im Klimawandel: Risiken in einem ehemals endemischen Malariagebiet Nordwest-Deutschlands?

Zusammenfassung

Der Ausbruch vektorassoziiierter Krankheiten wird durch verschiedene Faktoren bedingt. Einer davon sind geeignete klimatische Verhältnisse, die sowohl die Entwicklung des Überträgers als auch des Erregers selbst zulassen. Auch wenn die Küstenregionen Niedersachsens bis in die 1950er Jahre endemische Malariagebiete waren, sind aktuelle Daten über das Vorkommen von Vektoren und Erregern in Deutschland derzeit kaum vorhanden. Deshalb sollte geklärt werden, ob eine neue autochthone Übertragung des Malariaerregers *Plasmodium vivax* unter den gegebenen Lufttemperaturen in Niedersachsen möglich ist und wie sich die potenzielle Übertragungsdauer bei einer angenommenen Klimaerwärmung nach den IPCC-Szenarien für die Jahre 2020, 2060 und 2100 ändern würde. Das Übertragungspotential einer *Plasmodium vivax*-Ausbreitung in Bezug zur monatlichen Durchschnittstemperatur wurde durch Anwendung einer Formel für die Basic Reproduction Rate (R_0) in einem GIS ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass im Zusammenhang mit den steigenden Monatsmittelwerten der Temperatur auch das Risiko einer Malaria-Übertragung wächst. Daher besteht für Niedersachsen die Gefahr eines erneuten Ausbruchs der Malaria tertiana, sofern weitere Risikofaktoren für eine Einschleppung und Übertragung der Krankheit ausgeblendet werden.

Abstract

The outbreak of vector-associated diseases is determined by different factors. Amongst them are appropriate climatic conditions which allow for the development of vectors as well as of pathogenes. Nowadays, accurate data on the occurrence of both vectors and pathogenes are hardly available in Germany even if the coastal zones of Lower Saxony (Germany) are former malaria regions. Thus, the question arised, whether a new autochthon transmission could take place due to the monthly mean temperatures of the recent years and in respect to the predicted increase of the air temperatures according to the IPCC scenarios. To model areas at risk, the transmission potential for a new vivax malaria spread in respect to temperature was computed in a GIS environment using the Basic Reproduction Rate (R_0) formula. It could be corroborated that the risk of a vivax malaria transmission will increase as temperature is the determining variable of the mathematical model. Therefore Lower Saxony would be at risk of a new outbreak of vivax malaria assuming no other risk factors are of relevance.

AUTOREN

Winfried Schroeder, Gunther Schmidt

1 Hintergrund und Ziel

Für den Ausbruch der von Vektoren (Zwischenwirt oder Transportwirt, z.B. Stechmücken, Ratten, oder Kakerlaken) übertragenen Krankheiten müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein: Der Vektor muss in ausreichender Dichte vorkommen. Infektionsquellen müssen vorhanden sein. Die klimatischen Bedingungen müssen eine ausreichende Lebensspanne des Vektors zulassen und für die Entwicklung des Erregers im Vektor geeignet sein. Es bedarf geeigneter Lebensräume (Habitate) sowie Blutwirte.

Infektionen können auf zweierlei Weise aus Endemiegebieten ins Land gelangen: durch Vektoren und durch Reservoirwirte, im Falle der Blauzungkrankheit (BTD) durch Verschleppung infizierter Gnitzen und durch den Import virämischer Wiederkäuer. Gnitzen können z.B. mit Windunterstützung verdriftet oder über den Warentransport / Personenverkehr (z.B. in Schiffen, LKW, Flugzeugen) eingeschleppt werden. Das Phänomen des Transports von Vektoren per Flugzeug ist insbesondere von der sogenannten Airport-Malaria her bekannt. Dabei werden infizierte Anopheles-Mücken über große Entfernungen aus Endemiegebieten in nicht-endemische Gebiete verschleppt und verursachen dort, meist in Flughafennähe, unerklärliche und häufig zu spät diagnostizierte Malariafälle (Kampen et al. 2007).

Der Anstieg der Lufttemperaturen birgt auch in Deutschland für alle Vektor-

- asoziierten Krankheiten das Risiko der
- Einschleppung bzw. Ausbreitung und Etablierung tropischer vektorkompetenter Arthropoden,
- Entwicklung der Krankheitserreger in einheimischen Arthropoden, deren Vektorkompetenz aufgrund der für die Erregerentwicklung zu niedrigen Temperaturen bisher nicht in Erscheinung getreten war,
- zunehmenden Dichte möglicher einheimischer vektorkompetenter Arthropoden.

Maier et al. (2003) wiesen darauf hin, dass in Deutschland kaum aktuelle Daten über das Vorkommen und die Verbreitung potenzieller Krankheitsüberträger sowie möglicher, von ihnen übertragener Erreger existieren und keinerlei organisiertes Monitoring stattfindet. So muss damit gerechnet werden, dass auch in Zukunft von Vektoren übertragene Infektionskrankheiten unerwartet kommen werden und dass keine Notfallpläne bereit liegen oder in kurzer Zeit entworfen werden können. Nur Daten aus einem Vektor-Monitoring können im Fall einer

Epidemie Auskunft darüber geben, nach welchen Insekten zu suchen ist, wo gesucht werden muss und welche Bekämpfungsstrategien angezeigt sind. Veränderungen der Umwelt, des Klimas und der menschlichen Verhaltensweisen werden zukünftig zweifellos zu häufigerer und intensiverer Konfrontation mit Krankheitsüberträgern und Vektor-assoziierten Erregern führen. Abbildung 1 zeigt eine Karte zur regionalen Verbreitung verschiedener *Anopheles*-Spezies. Demnach dominiert in Mittel- und Westeuropa *Anopheles atroparvus*, die Malaria vivax überträgt. An der Malaria tropicana, die durch den Erreger *Plasmodium falciparum* verursacht wird, erkranken nach WHO jedes Jahr 300-500 Mio. Menschen (90 % davon in Afrika), 1,5 bis 2 Mio. Menschen fallen jedes Jahr dieser Krankheit zum Opfer.

Die WHO (2004) empfiehlt die systematische Sammlung epidemiologisch relevanter Daten und die Durchführung von Studien zu Schädlingen und Vektoren mit folgenden Kernfragen: Welche potenziellen Überträgerspezies kommen

vor? Wie ist ihr räumliches und zeitliches Auftreten? Welche Erreger zirkulieren? Wo sind Hochrisikogebiete für Krankheitsausbrüche? Welche Maßnahmen können präventiv und bei Krankheitsausbrüchen ergriffen werden? Solche Datensammlungen können nur in Verbindung mit wissenschaftlichen Studien sowie einem systematischen, langfristig angelegten Monitoring durchgeführt werden. Unter ökologischem Blickwinkel sind folgende Aspekte von herausragender Relevanz für eine gezielte Vektorkontrolle: Vorkommen und geografische Verbreitung der Vektoren, Populationsdynamik und Phänologie, Wirtpräferenzen, Identifizierung von Vektoren, Entwicklung von Methoden zur sicheren Artbestimmung, Charakterisierung der Brutstätten und der Habitatbindung der jeweiligen Art, GIS-basierte Risikoabschätzung zur Ver- und Ausbreitung von Vektoren sowie Ermittlung von Hotspots.

Von besonderer Bedeutung sind räumlich differenzierende Prognosen auf mehreren Raum- und Zeitskalen. Zur prädiktiven Risiko-Kartierung bieten ▶

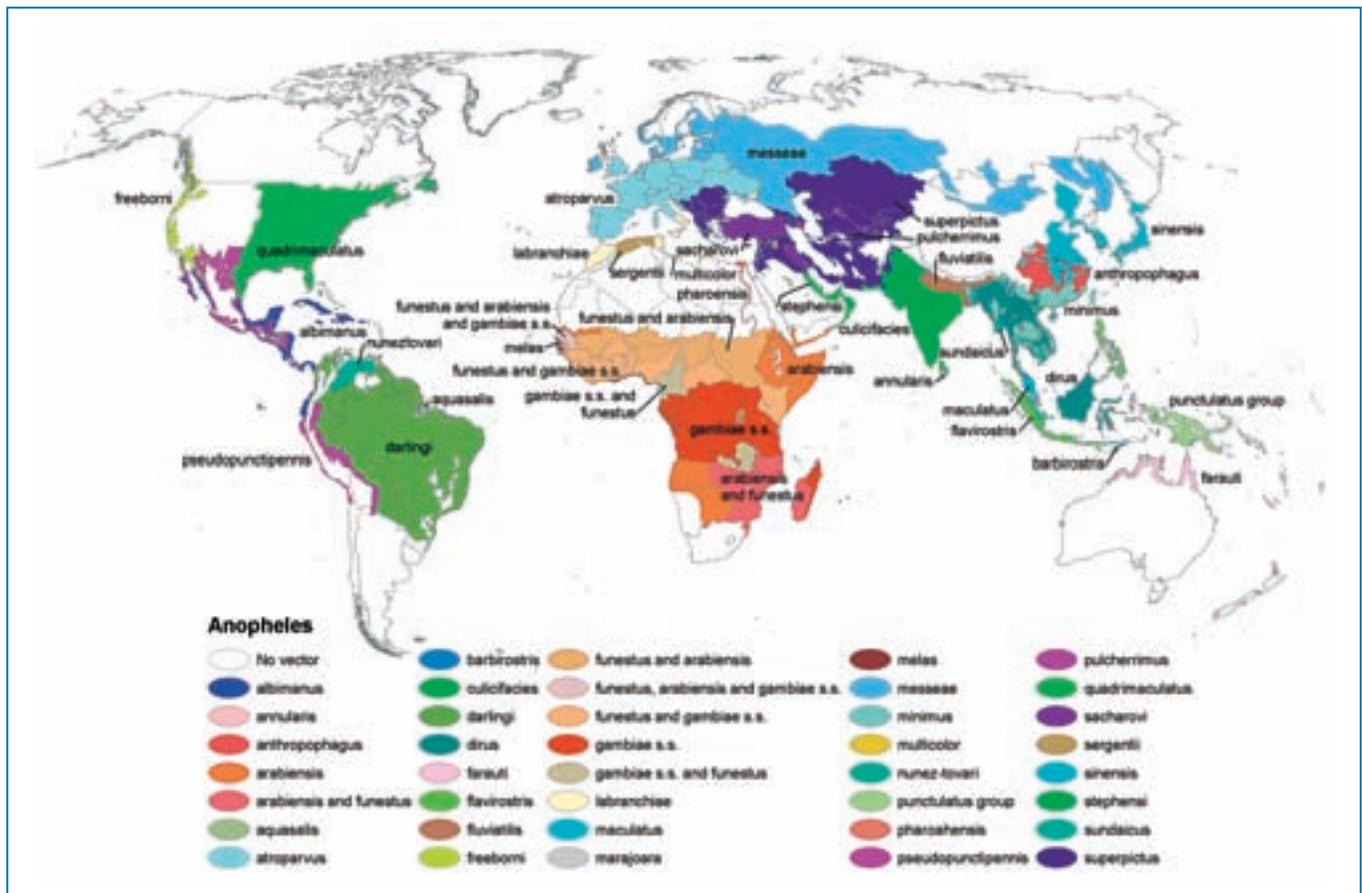


Abbildung 1: Verbreitung verschiedener Malariaerreger (nach Kiszewski et al. 2004)



Abbildung 2: Anopheles-Mücke bei der Blutmahlzeit.

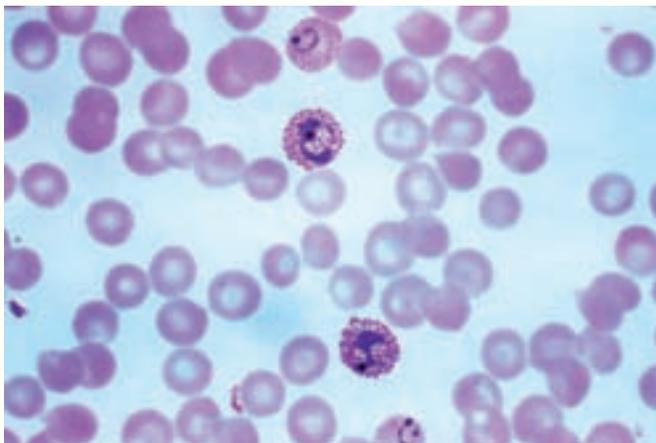


Abbildung 3: Blutabstrich mit *Plasmodium vivax*, der sowohl unreife, ringförmige (oben) als auch reife (Mitte, unten) Trophozyten mit amöboidem Zytoplasma enthält.

sich Verfahren der multivariaten Statistik und der Geostatistik sowie GIS-Techniken an (Gemperli et al. 2006; Gimnig et al. 2005; Hendrickx et al. 2004; Kleinschmidt et al. 2000; Martens and Thomas 2005; WHO 2004).

Malaria war in Norddeutschland bis in die frühen 1950er Jahre endemisch (Weyer 1956). DDT-Applikation, die Trockenlegung von Feuchtgebieten sowie verbesserte Hygiene und Gesundheitsversorgung konnten die Malaria ausmerzen (Dobson 1994; Maier 2004). Vektoren der Krankheit sind Anopheles-Spezies, die weiterhin in Niedersachsen vorkommen. Die Wiedervernässung ehemaliger Feuchtgebiete und der Anstieg der Niederschläge und der Lufttemperatur erhöhen das Malaria-Risiko durch die Verlängerung der potenziellen Übertragungszeit (Maier et al. 2003). Denn neben der Endemizität suszeptibler Anopheles-Spezies sind unter den ökologischen

Randbedingungen vor allem die klimatischen entscheidend für die epidemische Ausbreitung der Malaria (Faulde 2006). Ziel der hier vorgestellten Untersuchung war es daher, für das Bundesland Niedersachsen die theoretisch mögliche Übertragung des Malariaerregers *Plasmodium vivax* durch den Vektor *Anopheles atroparvus* auf der Grundlage gemessener Lufttemperaturen der Jahre 1947 bis 1960, 1961 bis 1990 und 1985 bis 2004 untereinander und mit den vom IPCC (2001) prognostizierten Lufttemperaturen der Jahre 2020, 2060 und 2100 zu vergleichen.

2 Material und Methoden

2.1 Basisinformationen zur Gattung *Anopheles*

Die Modellierung und Kartierung der theoretisch möglichen temperaturabhängigen Malari-ausbreitung setzt quantitative Informationen zur Ontologie und Ökologie der relevanten Anopheles-Arten voraus. Diese wurden in der einschlägigen wissenschaftlichen Literatur recherchiert. Demnach sind Anopheles (Diptera, Culicidae)

eine von 41 Moskito-Gattungen (Abbildung 2).

Die Weibchen von 30 bis 40 der 430 Anopheles-Arten übertragen die Malaria-Erreger, die Plasmodien, auf Menschen. Von den 18 in Europa nachgewiesenen Anopheles-Arten kommen sechs in Deutschland vor (Ramsdale und Snow 2000), drei davon waren bis in die Nachkriegszeit für die Übertragung der Malaria in Deutschland verantwortlich (*An. atroparvus*, *An. maculipennis*, *An. messeae*). Ihr Lebenszyklus umfasst folgende vier Stadien: Ei (1 bis 2 Tage), Larve (10 bis 12 Tage), Puppe (1 bis 2 Tage), adulte Stufe (männliche Individuen ca. 1 Woche, weibliche ca. 1 Monat). Die ersten drei Stadien sind aquatisch. Ihre Entwicklung ist positiv mit der Umgebungstemperatur korreliert. So verkürzt sich die Entwicklungszeit vom Ei zur Puppe bei einem Temperaturanstieg von 20 auf 25 °C um etwa 7 Tage (Jet-

ten und Takken 1994). Die Weibchen ernähren sich wie die Männchen von Zucker, doch im Gegensatz zu diesen ist Blut die Hauptnahrung. Nach ihrer Aufnahme erfolgen die Verdauung und die Eientwicklung. Dies dauert je nach Umgebungstemperatur etwa 2 (27 °C) bis 5 Tage (16 °C).

Die Wirtsuche und der beschriebene Zyklus beginnen nach der Eiablage auf Wasseroberflächen erneut. *Anopheles atroparvus* überträgt *Plasmodium vivax* (Jetten und Takken 1994) und ist mit der Krankheit eng korreliert (Martini 1920 b; Hackett and Missiroli 1935; Weyer 1940). Die im Lebergewebe herangereiften Merozoiten infizieren die roten Blutkörperchen und vermehren sich dort (Abbildung 3). Reststoffe des Hämoglobins, das Hämозoin, löst dann je nach Erreger unterschiedlich schwere Fieberanfälle aus, die bei Malaria tropica mit weiteren Komplikationen wie Organschäden und Anämien verbunden sein können. *Anopheles atroparvus* lebt vornehmlich in Küstenregionen und kommt dort in Salz-, Brack- und Süßwasser vor (Swellengrebel et al. 1935). Die zur Modellierung benötigten Temperaturschwellenwerte für die aquatischen Stadien von *Anopheles atroparvus* wurden von Jetten und Takken (1994) übernommen. Im Klima der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wuchsen in Norddeutschland zwei bis drei Anopheles-Generationen pro Jahr heran (Heinz 1950; Martini 1946). In außergewöhnlich warmen Sommern wie 1947 traten bis zu fünf Anopheles-Generationen auf (Heinz 1950).

Die Malaria wird bei Menschen durch Infektionen mit *Plasmodium falciparum*, *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale* und *Plasmodium malariae* verursacht. Die Lebenszyklen dieser Parasiten sind ähnlich und werden hauptsächlich durch die Temperatur bestimmt. *Plasmodium vivax* verursacht Malaria tertiana, die im Englischen auch als Vivax Malaria bezeichnet wird und in den Küstenregionen Norddeutschlands als „Marschenfieber“ bekannt war. Diese war in Nordwestdeutschland vorherrschend (Mühlens 1930). Die Moskitos benötigen 105 Tage mit Temperaturen $\geq 14,5$ °C um infektiös zu werden (Jetten und Takken 1994). Die Risiko-Modellierung der vorliegenden Untersuchung

bezieht sich auf *Plasmodium vivax*, da es die größte Bedeutung für Nord-Westdeutschland hat (Hackett and Missirotti 1935; Jetten and Takken 1994; Martini 1920 b; Weyer 1940).

2.2 Gemessene und prognostizierte Lufttemperaturdaten

Für die Modellierungen standen neben den physiologischen Schwellenwerten Angaben über historische Anopheles-Funde aus der Literatur zur Verfügung (Kühlhorn 1954; Martini 1920a, b; Mühlens 1908; Weyer 1933, 1937, 1938, 1940, 1951, 1956). Hinzu kamen ab 1985 Funddaten aus der Datenbank „Biologisches Archiv der Oberflächengewässer Niedersachsens“ (BOG-Archiv). Das BOG-Archiv enthält Angaben über Funde von Anopheles-Larven, die aber nicht bis auf Spezies-Niveau bestimmt sind. Diese Informationen wurden ergänzt durch tägliche Minimum- / Maximum-Messdaten der Lufttemperatur in den für eine Entwicklung der Plasmodien ausreichend warmen Monaten Juni bis August der Jahre 1947 bis 2004 von 54 georeferenzierten Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Es wurden Monatsmittel der Lufttemperatur für die Zeiträume 1947-1960, 1961-1990 und 1985-2004 berechnet. Die dritte Periode wurde nicht mit dem Jahr 1991, sondern entsprechend der Datenlage im BOG-Archiv mit 1985 begonnen. Somit kann man über ein längeres Zeitintervall die Korrelationen zwischen Lufttemperatur und Anopheles-Funden in Niedersachsen

betrachten. Für die Berechnung der Lufttemperaturen der Jahre 2020, 2060 und 2100 gemäß den Szenarien des IPCC (2001) wurden die Messdaten der zuvor genannten Monate um diejenigen des Mai, September und Oktober ergänzt.

2.3 Geostatistische Flächenschätzungen von Temperaturdaten

Die Anopheles-Fundorte entsprechen nicht den Messorten der Lufttemperatur. Zur räumlichen Verknüpfung der Messdaten der Lufttemperatur und der Funddaten, wurden die Messdaten geostatistisch ausgewertet. Hierzu wurde die räumliche Autokorrelationsstruktur der Temperaturdaten ermittelt und modelliert (Variographie). Aus den Variogramm-Modellen wurden Kennwerte für die Kriging-Flächenschätzung abgeleitet. Die Qualität der so aus lokalen Messungen abgeleiteten Flächenschätzungen wurde durch Kreuzvalidierungen überprüft. Für Variographie und Kriging-Flächenschätzungen wurde FUZZEKS (Bartels 1997; Piotrowski et al. 1996) verwendet.

2.4 Berechnung der potenziellen Verbreitung von Plasmodium vivax durch Anopheles atroparvus

Die geostatistisch geschätzten Flächendaten der Lufttemperatur gingen in die Berechnung der potenziellen temperaturabhängigen Verbreitung des Malaria-Erregers *Plasmodium vivax* durch *Anopheles atroparvus* nach folgendem Modell (Smith and McKenzie 2004; Snow et al. 1999) ein:

$$R_0 = \frac{m \cdot a^2 \cdot b \cdot p \cdot n}{-\ln(p) \cdot r} \quad (1)$$

- m* Relative Häufigkeit weiblicher *Anopheles atroparvus*
- a* Anzahl der Blutmahlzeiten je Mensch und Tag
- b* Anteil weiblicher *Anopheles atroparvus*, in denen sich Parasiten nach Aufnahme infizierten Blutes entwickeln (in Ermangelung entsprechender Angaben für *Anopheles atroparvus* in der einschlägigen Literatur, wurde ein für England und die Niederlande gültiger Durchschnittswert von 0,14 verwendet)
- p* Tägliche Überlebenswahrscheinlichkeit eines weiblichen *Anopheles atroparvus* ($p = 0,97 / \text{Tag}$ gemäß Jetten and Takken 1994)
- n* Zeitdauer [d] der Parasitenentwicklung in adulten *Anopheles atroparvus*-Weibchen
 $n = f2 / (T - g2)$
- f2* Thermische Summe in Gradtagen (105 bei dem physiologisch kritischen Grenzwert $g2$)
- T* Durchschnittliche Umgebungstemperatur
- g2* Minimumtemperatur für Parasitenentwicklung (14,5 °C gemäß Jetten and Takken 1994, S. 46)
- r* Erholungsrate Malaria-infizierter Menschen ($1/r = 0,0167/\text{Tag}$ gemäß Lindsay and Thomas 2001)

Die Berechnung von R_0 ergibt die durchschnittliche Anzahl von Zweitinfektionen, die durch ein einziges infiziertes *Anopheles*-Individuum verursacht werden, wenn dieses auf eine potenzielle Wirtspopulation trifft, in der jedes Mitglied für den Erreger empfänglich ist. Wenn $R_0 \geq 1$, dann breitet sich die Malaria aus. Wenn aber $R_0 < 1$, dann ist eine Malaria-Ausbreitung nicht zu befürchten (Martens et al. 1999). Die Bestimmung der R_0 für alle 12.000 Rasterelemente (2 km x 2 km) der geostatistisch berechneten Temperaturkarten im GIS ermöglicht die Kartierung potenzieller Malaria-Gebiete in Niedersachsen. Die Berechnungen erfolgten für die Monate Juni, Juli und August der Jahresintervalle 1947 bis 1960, 1961 bis 1990 und 1985 bis 2004. Für diese Perioden wurden auch die Anzahl der Monate, in denen eine Übertragung des Malaria-Pathogens thermisch möglich ist, ermittelt. Dies erfolgte ►

Tabelle 1

Prozentuale Flächenanteile der potenziellen temperaturabhängigen Übertragungszeit von *Malaria vivax* in Niedersachsen (b.c. = best case; w.c. = worst case)

Anzahl an Monaten	0	1	2	3	4	5	6
Zeitraum (prognost. Temperaturanstieg)							
1947-1960	0,9%	1,3%	81,7%	16,1%	0,0%	0,0%	0,0%
1961-1990	2,3%	1,0%	74,9%	21,8%	0,0%	0,0%	0,0%
1985-2004	0,4%	0,1%	74,5%	25,0%	0,0%	0,0%	0,0%
2020 (b.c. +0,3 °C)	0,1%	0,1%	50,1%	49,7%	0,0%	0,0%	0,0%
2020 (w.c. +0,9 °C)	0,0%	0,0%	6,0%	93,9%	0,1%	0,0%	0,0%
2060 (b.c. +0,9 °C)	0,0%	0,0%	6,0%	93,9%	0,1%	0,0%	0,0%
2060 (w.c. +3,3 °C)	0,0%	0,0%	0,0%	1,2%	4,5%	94,3%	0,0%
2100 (b.c. +1,4 °C)	0,0%	0,0%	2,0%	76,6%	21,5%	0,0%	0,0%
2100 (w.c. +5,8 °C)	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	44,2%	55,8%

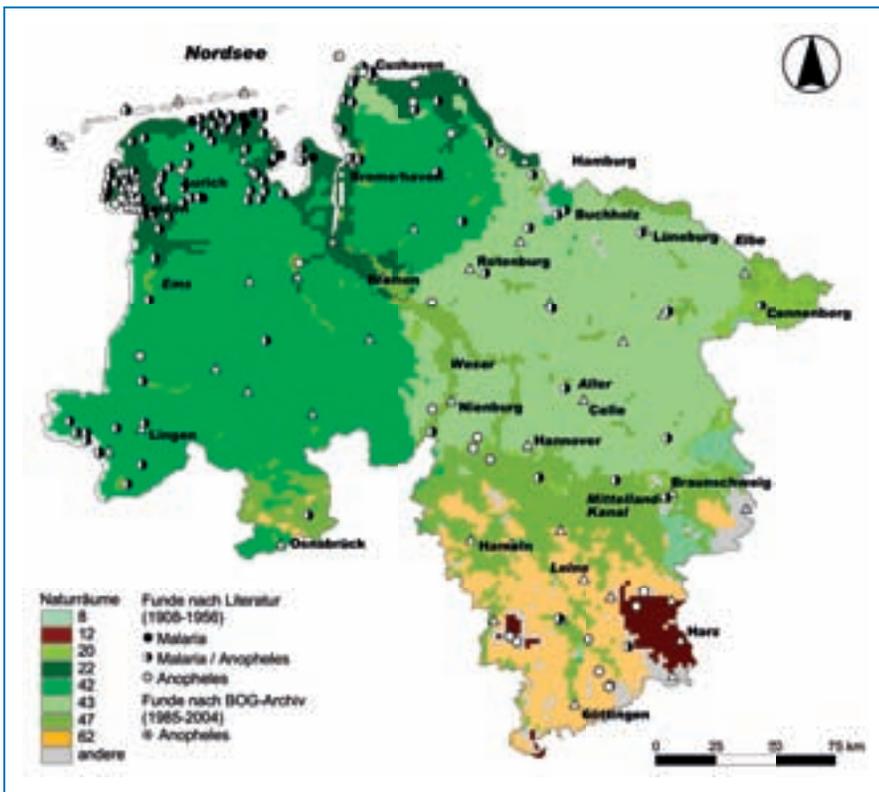


Abb. 4: Naturraumklassen nach Schröder et al. (2006) in Niedersachsen sowie Lage der Temperatur-Messstationen und der Literaturfunde von Malaria / Anopheles

auch für die Jahre 2020, 2060 und 2100 auf der Basis jeweils einer optimistischen und einer pessimistischen Vorhersage zukünftiger Temperaturentwicklung (IPCC 2001). Die Ergebnisse wurden mit einer ökologischen Raumgliederung Deutschlands (Schröder et al. 2006) verknüpft, so dass eine landschaftsökologische Differenzierung der Modellierungsergebnisse möglich wurde.

3 Ergebnisse

Die Berechnungen münden u.a. in Karten oder Tabellen der räumlichen Differenzierung der Reproduktionsrate R_0 in Form von potenziellen Zweitinfektionen durch *Anopheles atroparvus* als Überträger des Malaria-Erregers *Plasmodium vivax* sowie der Zeitspannen dieser Reproduktion. Anzahl, Vorkommensdauer und flächenhafte Verbreitung der Erreger sind wesentliche Merkmale des epidemiologischen Risikos.

Tabelle 1 liefert einen Überblick zu den Flächenanteilen der errechneten potenziellen Übertragungsdauern der Malaria vivax in Niedersachsen. Über die drei durch Messwerte abgebildeten Perioden (1947-1960, 1961-1990,

1985-2004) sinkt der Flächenanteil eines zweimonatigen Übertragungsrisikos von 81,7 % auf 74,5 %, während die mit drei Monaten maximale Übertragungsdauer von 16,1 % auf 25,0 % anwächst. Bei einem nach IPCC (2001) möglichen Temperaturanstieg um + 0,3° C (2020 b.c.) kann damit gerechnet werden, dass die Landesfläche Niedersachsens jeweils hälftig eine zwei- und eine dreimonatige Übertragungsmöglichkeit aufweist. Sollte sich die Temperatur um + 0,9° C erhöhen, dann dürften die thermischen Bedingungen landesweit (rund 94 %) für eine dreimonatige Malariaverbreitung gegeben sein. Bei + 1.4° C (2100, b.c.) könnten auf 21,5 % der Fläche Niedersachsens thermische Bedingungen für eine viermonatige Malariaübertragung gegeben sein. Im Falle eines Temperaturanstiegs um + 3,3° C (2060 w.c.) sind fast 95 % der Landesfläche thermisch so ausgestattet, dass – blendet man alle anderen Einflüsse aus – sekundäre Malariainfektionen während fünf Monaten möglich sind, bei + 5,8° C ist von rund 56 % Landesfläche mit einer sechsmönatigen Periode potenzieller Infektionen auszugehen.

Der landesweite Überblick der Tabelle 1 wird in Tabelle 2 naturräumlich differenziert. Jede der Naturraumklassen wird von Schröder et al. (2006) anhand der Ausprägung folgender Merkmale statistisch beschrieben: potenziell natürliche Vegetation, Bodentextur, Höhenlage über NN und Klima (Niederschläge, Temperatur, Verdunstung in den Monaten Januar bis Dezember und Globalstrahlung in den Monaten März bis November 1961 bis 1990) (Abb. 4). Dieser grundlegenden ökologischen Raumbeschreibung können Informationen über zeitlich variablere Eigenschaften wie Landnutzung hinzugefügt werden.

In der untersten Zeile der Tabelle 2 („gesamt“) ist der Flächenanteil der jeweiligen landschaftsökologischen Raumklasse am gesamten Bundesland angegeben. Beispielsweise bedeckt die Raumklasse „Niedersächsische Geest“ rund 35 % der Landesfläche. In der rechten Spalte der Tabelle 2 („gesamt“) wird der landesweite Flächenanteil derjenigen potenziellen Übertragungszeit genannt, die links in der Tabelle aufgeführt wird („Monate“). Demnach dominiert in der Periode 1947 bis 1960 eine zweimonatige Übertragungsmöglichkeit auf 81,7 % der Landesfläche (Tab. 2). Die inneren Zellen von Tabelle 2 enthalten die Flächenanteile der jeweiligen Übertragungszeiten in den ökologischen Raumklassen. Beispielsweise nimmt 1947 bis 1960 die zweimonatige Übertragungszeit 41,9 % der Niedersächsischen Geest ein.

Die flächenhafte Darstellung der potenziellen Übertragungsdauer von Malaria vivax im Zeitraum 1961-1990 bzw. 1985-2004 zeigt Abbildung 5.

Während unter aktuellen Temperaturverhältnissen der potenzielle Übertragungszeitraum bei zwei Monaten liegt (Tab. 2), muss im ungünstigsten Fall bis 2100 mit einer potenziellen Übertragungsdauer zwischen fünf und sechs Monaten gerechnet werden (Abb. 6).

4 Diskussion

Die vorgestellte Risikoprognose wird wesentlich bestimmt von dem Modell, das die Reproduktion des Malaria-Erregers und somit seine Auftretenshäufigkeit als eine Risikokomponente mathematisch schätzt (Schröder et al. 2007). Wie jedes Modell bildet auch dieses die Realität und somit auch die Vielzahl

Abbildungen: Abbildung 1: <http://en.wikipedia.org> (public domain), Abbildung 2: http://phil.edc.gov/phil_images/20021230/12/PHIL_2720_lores.jpg (public domain)

der Einflüsse auf die Reproduktion von *Plasmodium vivax* nicht vollständig ab. Das Modell stellt Durchschnittstemperaturen in den Mittelpunkt der Berechnungen. Andere Einflüsse werden nicht berücksichtigt, obwohl sie existieren. Das Modell ist nicht nur unvollständig in Bezug auf bekannte Einflussgrößen. Vielmehr ist zusätzlich davon auszugehen, dass die Epidemiologie der Malaria bislang nur unvollständig begriffen wird. Hinzu kommt das auch in anderen Fällen bekannte Problem der unzureichend dokumentierten Datenqualität. Schließlich sind die Wechselbeziehungen zwischen Wirt, Vektor, Parasit, Ökosystemmerkmalen (z.B. Niederschlag, Boden- und Luftfeuchtigkeit, Vorhandensein von

Brutplätzen) sowie Hygienestatus und medizinische Versorgung nur unzureichend quantifiziert (Leemans 2005; Martens et al. 1999). Dennoch werden solche Modellierungen verstanden als eine mögliche Annäherung an die Realität, die helfen kann, Risikogebiete zu lokalisieren und Vorbeugung zu initiieren (Smith and McKenzie 2004).

Mehrere Untersuchungen befassen sich mit der Frage, inwiefern der Klimawandel die Verbreitung vektorassoziierter Krankheiten erhöhen könnte (Hoshen and Morse 2004; Kuhn et al. 2003; Martens et al. 1999; Omumbo et al. 2004). Während der Anstieg der Lufttemperatur messtechnisch sicher und statistisch signifikant nachgewiesen ist, gibt es zu den

epidemiologischen Folgen keine einheitliche Sicht der Dinge. Reiter (2000) sowie Small et al. (2003) schätzen die Relevanz der Lufttemperatur als nicht dominierend ein. Aber ebenso wenig wird ein Einfluss der Temperaturentwicklung auf die Malaria-Ausbreitung in Europa bestritten. Klar ist, dass Niedersachsen ein Risikogebiet ist. Unter Ausblendung weiterer epidemiologisch relevanter Einflüsse als denjenigen der Lufttemperatur kann man zuspitzen: Mit der Rückkehr und der dauerhaften, autochthonen Etablierung von *Plasmodium vivax* besteht die Möglichkeit der Rückkehr der Malaria (Krüger et al. 2001). Zwischen 1999 und 2003 traten in Deutschland 150 importierte Malaria-Fälle auf, das sind 24,3 % solcher in Europa registrierter Ereignisse (Mühlberger et al. 2004), eine Gefährdung durch eine weitere Verbreitung eingeschleppter Erreger ist demnach möglich.

5 Empfehlungen und Ausblick

Anders als Deutschland haben andere europäische Staaten aus der Risikolage Konsequenzen für die Forschung gezogen und Untersuchungen initiiert. Ergebnisse daraus bekräftigen die epidemiologische Relevanz der Erwärmung für die Malaria-Ausbreitung (Lindsay and Thomas 2001; Romi et al. 1997). Auch Deutschland sollte sich dieser Situation stellen und seine Forschungsaktivitäten entsprechend intensivieren. Epidemiologische Forschungen unter Einschluss landschaftsökologischer Forschungsansätze und moderner GIS-Technologie können einen Beitrag dazu leisten, etwaige Risiken sachgerecht einzustufen und Vorsorgemaßnahmen zu treffen. Insbesondere in Niedersachsen geht es dabei neben der menschlichen Gesundheit auch um die in großer räumlicher Dichte vorhandenen Nutztiere. Für eine differenziertere räumliche Analyse des Risikopotenzials sollten weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden, z.B. durch Verschneidung mit Karten zur Verteilung natürlicher und künstlicher Wasserflächen, zu Niederschlag und Luftfeuchte sowie zur Bevölkerungs- und Viehdichte. Sozialwissenschaftliche Untersuchungen zur Alterstruktur, zu Freizeit- und Erholungsaktivitäten oder zur Nutztierhaltung könnten diese Angaben zu potenziellen Wirtspopulationen weiter inhaltlich ►

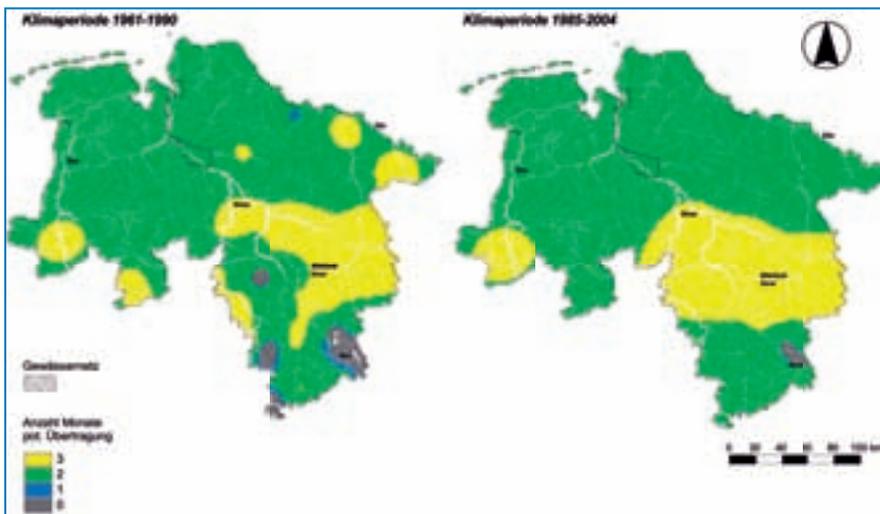


Abb. 5: Potenzielle Übertragungsdauer von *Malaria vivax* für die Zeiträume 1961-1990 und 1985-2004

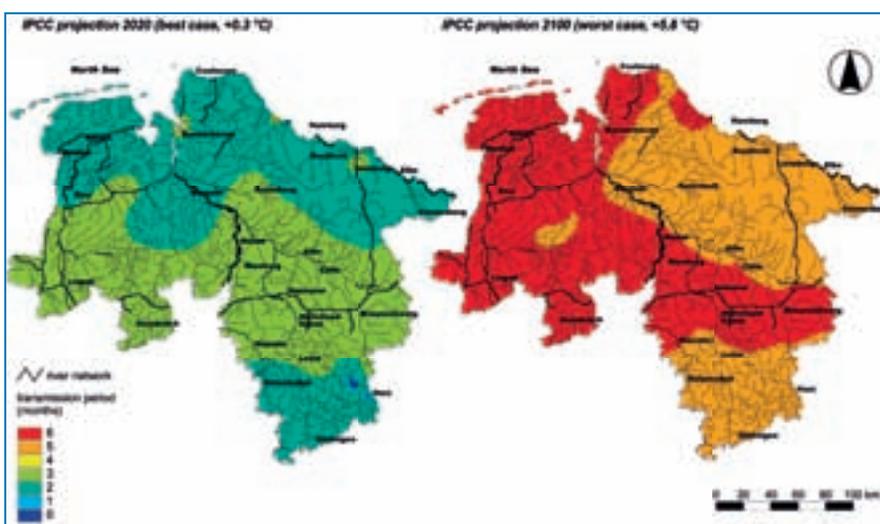


Abb. 6: Potenzielle Übertragungsdauer von *Malaria vivax* für die das IPCC-Szenario 2020 (best case) und 2100 (worst case)

und räumlich spezifizieren. Sensitivitätsanalysen helfen bei der Einschätzung der Bedeutung verschiedener gesetzter Faktoren zur Berechnung der Reproduktionsrate, z.B. der Anzahl der Blutmahlzeiten oder der Lebensspanne von *Anopheles*. In weiteren Untersuchungen sollen die Ergebnisse der regionalisierten Klima-

prognosemodelle REMO (UBA und MPI 2006) und WETTREG (UBA 2007) auf das in Abschnitt 2.4 beschriebene Modell der Malaria-Sekundärinfektionen angewendet werden.

Unabdingbar für die Vektorkontrolle und -bekämpfung ist das Vektor-Monitoring, das Daten zum Vorkommen und zur

Verbreitung potenzieller Krankheitsüberträger liefert. Dieses Vektor-Monitoring muss mit den Umweltbeobachtungen nach § 12 Bundesnaturschutzgesetz verknüpft werden. Aus den laufenden Monitoring-Programmen könnten viele Daten, die für das Vektor-Monitoring wichtig sind, verwendet werden: Daten über Klima, Pflanzenphänologie, landschaftsstrukturelle Entwicklungen und andere mehr. Über ein WebGIS-Informationportal, das räumliche und schlagwortbezogene Abfragen ermöglicht, lassen sich vorhandene Informationen aus den Umweltbeobachtungen und Daten aus dem Vektor-Monitoring verknüpfen. Entsprechende Systeme wurden für die Umweltbeobachtung als Desktop-Lösungen mit kommerzieller Software (Schröder und Schmidt 2003, 2005, Schröder et al. 2002, 2005) und als WebGIS-Anwendungen auf Open Source-Basis (Kleppin et al. 2007) entwickelt. Letztere erfüllen internationale Standards zur Geodatenhaltung (z.B. ISO 19115, ISO/TC 211/WG 4/PT 19136) und -verschlagnung (UDK) sowie zum Aufbau von Geodaten-Infrastrukturen in Form von Web Map Services und Web Feature Services (ISO/DIS 19119, OGC) und gestatten auf dieser Grundlage eine nationale und internationale Vernetzung dezentraler Datenbestände. Volle Kompatibilität und Interoperabilität mit dem Portal-U und dem GeoPortal.Bund ist daher gewährleistet. ■

Tabelle 2

Prozentuale Flächenanteile* der potenziellen temperaturabhängigen Malaria-Übertragungszeit in den Naturräumen Niedersachsens (b.c. = best case; w.c. = worst case)

	Harz	Wendland	Marchen	Nieders. Geest	Lüneburger Heide	Nieders. Börden	Harzvorland	Mittellbe-Auen	ges.
1947-1960									
0	81,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,60	0,00	0,90
1	46,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	26,30	0,00	1,30
2	0,20	1,30	8,40	41,90	24,60	11,80	8,40	0,90	81,70
3	0,00	6,20	0,90	5,80	39,40	32,60	7,10	3,20	16,10
1961-1990									
0	50,50	0,00	0,00	0,00	0,00	7,30	21,80	0,00	2,30
1	14,00	0,00	0,00	7,90	3,50	7,90	38,60	0,00	1,00
2	0,20	0,90	9,30	43,90	22,40	12,20	8,00	0,40	74,90
3	0,00	6,40	0,00	10,10	44,30	25,30	6,90	4,40	21,80
1985-2004									
0	98,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40
1	92,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
2	1,30	1,80	9,40	42,80	24,50	8,20	8,60	0,20	74,50
3	0,00	2,80	0,00	13,00	32,90	35,30	7,70	4,70	25,00
2020 b.c.									
0	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
1	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
2	2,50	2,60	13,40	36,40	23,90	6,40	10,40	0,20	50,10
3	0,00	1,60	0,50	34,10	29,20	23,60	6,30	2,40	49,70
2020 w.c. /2060 b.c.									
2	24,00	0,00	6,60	12,90	14,30	3,80	24,20	0,00	6,00
3	0,10	2,20	7,00	36,60	27,20	15,60	7,40	1,40	93,90
2060 w.c.									
3	82,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,40	0,00	1,20
4	7,30	0,00	17,70	8,20	0,00	4,70	41,90	0,00	4,50
5	0,10	2,20	6,60	36,90	28,10	15,60	6,80	1,40	94,30
2100 b.c.									
2	65,50	0,00	0,00	2,20	1,70	0,00	9,90	0,00	2,00
3	0,30	2,20	6,50	36,70	31,40	10,90	9,10	0,70	76,60
4	0,00	1,80	9,40	32,70	10,90	30,50	5,60	3,50	21,40
2100 w.c.									
5	3,40	3,30	2,00	13,70	46,00	11,20	15,10	1,20	44,20
6	0,00	1,10	10,90	52,10	10,90	17,80	3,00	1,40	55,80
gesamt	1,50	2,10	7,00	35,20	26,40	14,90	8,40	1,30	100,00

*Flächenanteil mindestens 1 % von Niedersachsen

AUTOREN

Prof. Dr. rer. nat. habil. Winfried Schroeder, M. A.

Universitätsprofessor
Lehrstuhl für Landschaftsökologie
Hochschule Vechta

Postfach 15 53

D-49364 Vechta

<http://www.uni-vechta.de/landschaftsoekologie>

E-mail: wshroeder@iuw.uni-vechta.de

Dr. Gunther Schmidt

Lehrstuhlassistent

Lehrstuhl für Landschaftsökologie

Hochschule Vechta

Postfach 15 53

D-49364 Vechta

<http://www.uni-vechta.de/landschaftsoekologie>

E-mail: gschmidt@iuw.uni-vechta.de

Literatur:

- Bartels, F. (1997): Ein Fuzzy-Auswertungs- und Krigingsystem für raumbezogene Daten. Kiel (Diplomarbeit, Universität Kiel)
- Dobson, M.J. (1994): Malaria in England: A geographical and historical perspective. *Parassitologia* 36, 35-60.
- Faulde, M. (2006): Zunahme vektorassoziierter Infektionserkrankungen in Krisengebieten. *Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Allgemeine und Angewandte Entomologie* 15, 327-336
- Gemperli, A., P. Vounatsou, N. Sogoba & T. Smith (2006): Malaria mapping using transmission models. Application to survey data from Mali. *American Journal of Epidemiology* 163, 289-297
- Gimnig, J.E., A.W. Hightower & W.A. Hawley (2005): Application of geographic information systems to the study of ecology of mosquitoes and mosquito-borne diseases. In: Takken, W., P. Martens & R.J. Bogers (eds.): *Environmental change and malaria risk. Global and local implications*. Springer, Dordrecht, 27- 39
- Hackett, L.W. & A. Missiroli (1935): The varieties of *Anopheles maculipennis* and their relation to the distribution of malaria in Europe. *Rivista di Malariologia*, XIV (1): 1
- Heinz, H.-J. (1950): Neuere Untersuchungen über die Verbreitung von *Anopheles maculipennis* in Hamburg. *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 31 (2), 304-333
- Hendrickx, G., J. Biesemans & R. de Deken (2004): The use of GIS in veterinary parasitology. In: Durr, P.A. & A.C. Gatrell (eds.): *GIS and spatial analysis in veterinary science*. CABI Publishing, Wallingford, UK
- Hoshen, M.B. & A.P. Morse (2004): A weather-driven model of malaria transmission. *Malaria Journal* 3:32
- IPCC (Intergovernmental Panel of Climate Change) (2001): *Climate change. The scientific basis*. Cambridge University Press, Cambridge
- Jetten, T.H. & W. Takken (1994): Anophelism without malaria. *Wageningen Agricultural Univ. Papers* 94 (5)
- Kampen, H., E. Kiel & W. Schröder (2007): Blauzungenkrankheit in Deutschland 2006. Epizootiologischer Hintergrund, entomologische Analyse und notwendige Konsequenzen. In: *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung. Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie* 19 (1), 37-46
- Kiszewski, A., Mellinger, A., Spielman, A., Malaney, P., Sachs, S.E. & J. Sachs (2004): A global index representing the stability of malaria transmission. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 70, 486-498
- Kleinschmidt, I., M. Bagayoko, G.P.Y. Clarke, M. Craig & D. Le Sueur (2000) : A spatial statistical approach to malaria mapping. In: *International Journal of Epidemiology* 29, 355-361
- Kleppin, L., C. Aden, R. Pesch, G. Schmidt & W. Schröder (2007): Erarbeitung und Erprobung einer Metadaten- und WebGIS-Applikation für das bundesweite UNECE Moos-Monitoring. In: Strobl, J., T. Blaschke & G. Griesebener (Hrsg.): *Angewandte Geoinformatik 2007. Beiträge zum 19. Agit-Symposium*, S. 344-353
- Krüger, A., A. Rech, X.-Z. Su & E. Tannich (2001): Two cases of autochthonous *Plasmodium falciparum* malaria in Germany with evidence for local transmission by indigenous *Anopheles plumbeus*. *Tropical Medicine and International Health* 6 (12), 983-985
- Kühlhorn, F. (1954): Beitrag zur Verbreitung, Ökologie und Biologie der Fiebermücken in Süd-Niedersachsen. *Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens* 7, 12-21.
- Kuhn, K.G., D.H. Campbell-Lendrum, B. Armstrong & C.R. Davies (2003): Malaria in Britain: Past, present, and future. *PNAS* 100 (17)
- Leemans, R. (2005): Global environmental change and health. Integrating knowledge from natural, socioeconomic and medical sciences. In: Takken, W., P. Martens & R.J. Bogers (eds.): *Environmental change and malaria risk. Global and local implications*. Springer, Dordrecht, 15-26
- Lindsay, S.W. & C.J. Thomas (2001): Global warming and risk of vivax malaria in Great Britain. *Global Change & Human Health* 2 (1), 80-84
- Maier, W.A. (2004): Das Verschwinden des Sumpffiebers in Europa: Zufall oder Notwendigkeit? *Denisia* 13, 515-527.
- Maier, W.A., J. Grunewald, B. Habedank, K. Hartelt, H. Kampen, P. Kimmig, T. Nauke, R. Oehme, A. Vollmer, A. Schöler & C. Schmitt (2003): Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderung auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. *Climate Change* 05/03, Berlin.
- Martens, P., R.S. Kovats, S. Nijhof, P. de Vries, M.T.J. Livermore, D.J. Bradley, J. Cox, & A.J. McMichael (1999): Climate change and future population at risk of malaria. *Global Environmental Change* 9, 89-107
- Martens, P. & C. Thomas (2005): Climate change and malari risk. Complexity and scaling. In: Takken, W., P. Martens & R.J. Bogers (eds.): *Environmental change and malaria risk. Global and local implications*. Springer, Dordrecht, 3-14
- Martini, E. (1920a): *Anopheles* in der näheren und weiteren Umgebung von Hamburg und ihre voraussichtliche Bedeutung für die Volksgesundheit. *Abhandlungen aus dem Gebiet der Naturwissenschaften* XXI (2)
- Martini, E. (1920b): *Anopheles* in Niedersachsen und die Malariagefahr. *Hygienische Rundschau* 22, 673-677
- Martini, E. (1921): Zur Bionomie unserer Stechmücken. *Archiv für Schiffs- und Tropen-Hygiene* 25, 341-347
- Martini, E. (1946): *Lehrbuch der medizinischen Entomologie*. Gustav Fischer, Jena
- Mühlberger, N. et al. (2004): Epidemiology and clinical features of vivax malaria imported to Europe: Sentinel surveillance data from TropNetEurop. *Malaria Journal* 3:5
- Mühlens, P. (1908): Über einheimische Malaria-Erkrankungen in der Umgebung von Wilhelmshaven und ihre Bekämpfung. *Archiv für Schiffs- und Tropenhygiene* 12, 57-70.

Literatur (Fortsetzung):

- Mühlens, P. (1930): Malaria. Neue Deutsche Klinik VII (31), 122-149
- Omumbo, J.A., S.I. Hay, C.A. Guerra & R.W. Snow (2004): The relationship between the *Plasmodium falciparum* parasite ratio in childhood and climate estimates of malaria transmission in Kenya. *Malaria Journal* 3:17
- Piotrowski, J.A., F. Bartels, A. Salski & G. Schmidt (1996): Geostatistical regionalization of glacial aquitard thickness in northwestern Germany, based on fuzzy kriging. *Mathematical Geology* 28(4), 437-452
- Ramsdale, C. & K. Snow (2000): Distribution of the genus *Anopheles* in Europe. *European Mosquito Bulletin* 7, 1-26
- Reiter, P. (2000): Malaria and global warming in perspective? *Emerging Infectious Diseases* 6, 438-439
- Romi, R., G. Pierdominici, C. Severini, A. Tamburro, M. Cocchi, D. Menichetti, E. Pili & A. Marchi (1997): Status of malaria vectors in Italy. *Journal of Medical Entomology* 34, 263-271
- Schuberg, A. (1927): Das gegenwärtige und frühere Vorkommen der Malaria und die Verbreitung der *Anopheles*-mücken im Gebiete des Deutschen Reiches. *Arbeitsaus dem Reichsgesundheitsamt* 59, 1-424.
- Schröder, W. & G. Schmidt (2005): Metadatenbanken und GIS als technische Unterstützung der stofflichen Expositions- und Wirkungsanalyse in der Umweltbeobachtung. In: Fränzle, S. B. Markert & S. Wünschmann (Hrsg.): *Lehrbuch der Technischen Umweltchemie*. – Landsberg (ecomod), Kap. 4.11, S. 211-227
- Schröder, W. & G. Schmidt (2003): Medienübergreifende Umweltbeobachtung in Baden-Württemberg. Ergebnisse eines Modellprojekts. In: *Medienübergreifende Umweltbeobachtung. Stand und Perspektiven*. – Karlsruhe (Landesanstalt für Umweltschutz, Hrsg.), S. 39-60
- Schröder, W., G. Schmidt, H. Bast, R. Pesch & E. Kiel (2007): Pilot-study on GIS-based risk modelling of a climate warming induced tertian malaria outbreak in Lower Saxony (Germany). *Environmental Monitoring and Assessment* (in press)
- Schröder, W., G. Schmidt & I. Hornsmann (2006): Landschaftsökologische Raumgliederung Deutschlands. In: Fränzle, O., F. Müller & W. Schröder (Eds.), *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*, ecomed, Landsberg am Lech, München, Zürich, Kap. V-1.9, 17. Erg.Lfg., 1-100
- Schröder, W., G. Schmidt & R. Pesch (2005): Lücken in der Umweltbeobachtung? Analyse der Messprogramme und Übertragung von Daten zur Immission, Deposition und Metallakkumulation in Moosen aus Messnetzen Bayerns, Hessens und Thüringens in das Biosphärenreservat Rhön. *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung* Jg. 15/16, H. 1, S. 53-77
- Schröder, W., G. Schmidt, R. Pesch & T. Eckstein (2002): Harmonisierung der Umweltbeobachtung. Instrumentenzur Prüfung methodischer Vergleichbarkeit und räumlicher Repräsentanz. In: Fränzle, O., F. Müller & W. Schröder (Hrsg.): *Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung*. – Landsberg am Lech, Kap. V-1.3 (8. Erg. Lfg., 22 S.)
- Small, J., S.J. Goetz & S.I. Hay (2003): Climatic suitability for malaria transmission in Africa. *PNAS* 100 (26)
- Smith, D.L. & F.E. McKenzie (2004): Statics and dynamics of malaria infection in *Anopheles* mosquitoes. *Malaria Journal* 3:13
- Snow, R.W., A. Ikoku, J. Omumbo & J. Ouma (1999): The epidemiology, politics and control of malaria epidemics in Kenya: 1900-1998. *Roll Back Malaria, Resource Network on Epidemics*, World Health Organisation
- Swellengrebel, N.H., A. de Buck, M.H. Kraan & G. van der Torren (1935): Occurrence in fresh and brackish water on the larvae of *Anopheles maculipennis atroparvus* and *messeae* in some coastal provinces of the Netherlands. *Quarterly Bulletin of the Health Organisation of the League of Nations* V (3), 280-294
- UBA (Umweltbundesamt) und MPI (Max-Planck-Institut für Meteorologie) (2006): *Künftige Klimaänderungen in Deutschland. – Regionale Projektionen für das 21. Jahrhundert. Hintergrundpapier April 2006, aktualisiert September 2006*. Berlin, Hamburg
- UBA (2007): *Neue Ergebnisse zur regionalen Klimaänderungen. Das statistische Regionalisierungsmodell WETTREG*. Dessau
- Weyer, F. (1933): Untersuchungen zur Rassenfrage bei *Anopheles maculipennis* in Norddeutschland. *Zentralblatt für Bakteriologie, Parasitenkunde und Infektionskrankheiten* 127, 397-417
- Weyer, F. (1937): Das Verhalten von *Anopheles maculipennis* im Winter. *Verhandlungen der Deutschen Zoologischen Gesellschaft*, 99-106
- Weyer, F. (1938): Die geographische Verbreitung der Rassen von *Anopheles maculipennis* in Deutschland. *Zeitschrift für Parasitenkunde* 10, 437-463.
- Weyer, F. (1940): Malaria und Malariaübertragung in Ostfriesland. *Deutsche Tropenmedizinische Wochenschrift* 44 (1-2)
- Weyer, F. (1951): Neuere Beobachtungen über *Anopheles* in Deutschland. *Zeitschrift für Tropenmedizin und Parasitologie* 2 (3), 367-401
- Weyer, F. (1956): Bemerkungen zum Erlöschen der ostfriesischen Malaria und zur *Anopheles*-Lage in Deutschland. *Zeitschrift für Tropenmedizin und Parasitologie* 7 (2), 219-228
- WHO (World Health Organisation) (2004): *Using climate to predict infectious disease outbreaks. A review*. Geneva