

1. Einleitung

Wasser ist für das Leben auf der Erde von fundamentaler Bedeutung und für alle Organismen essenziell und existenziell, damit unentbehrlich! Ist die Wasserver- und Wasserentsorgung in Industriestaaten, insbesondere denen mit ausgeglichenen Wasserressourcenbilanzen, Gegenstand eines etablierten Geschäftswesens, so ist in Trockenregionen der Erde verfügbares Wasser lebensentscheidend. Eine Wasserversorgung als Trink- und Brauchwasser sowie als Bewässerungsgrundlage in klimabenechtigten Wassermangelgebieten ist quantitativ und qualitativ außerordentlich labil. Das hängt von einer Vielzahl Faktoren ab. Wasserüberfluss in Form von Starkniederschlägen und nachfolgenden Überschwemmungen wechseln mit oft mehrjährigen Trockenperioden und entsprechenden Ernteausfällen und Hungersnöten. Oft betrifft dies Länder und Regionen, in denen ein geringes Bruttosozialprodukt erwirtschaftet wird. Um dieses Desaster zu unterbrechen oder zumindest abzuschwächen ist es erforderlich, genauere und tiefgehende Untersuchungen der hydrologisch-hydrogeologischen Verhältnisse durchzuführen, um längerfristig ein nachhaltiges Wasserressourcenmanagement realisieren zu können.

Eines der Länder, für die die zuletzt beschriebene Situation zutrifft, ist Burkina Faso. Das im weiteren Sinne in der Sahel-Zone liegende Land leidet chronisch an Wassermangel. Wurden in jüngerer Vergangenheit mit technischer und finanzieller Unterstützung Frankreichs Wasserinsbes. Trinkwasserversorgungseinrichtungen (speziell Stauseen) für Ballungszentren wie Ouagadougou geschaffen, nutzt die Landbevölkerung, die auf mehr als 95% der Fläche des Landes leben, trotz einiger internationaler Hilfsprojekte (insbes. auch der GTZ der Bundesrepublik Deutschland), immer noch dominierend traditionelle Brunnen und periodisch Wasser führende Kleinspeicher.

Um dem Ziel, ein regionales, nachhaltiges Wassermanagement schaffen zu können, näher zu kommen, wurden im Rahmen eines vom Deutschen Akademischen Austauschdienst (DAAD) und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) gefördertes und unterstütztes Qualifikationsvorhaben in einer Modellregion Burkina Fasos ermöglicht. Neben der Erarbeitung von belastbaren Daten natürlicher Sachverhalte und einem Nutzungsmodell sollte insbesondere berücksichtigt werden, wie sich Auswirkungen der globalen Erwärmung - Ereignisse, die in den vergangenen drei Millionen Jahren für die Lebensbedingungen in Afrika schon immer eine Bedeutung hatten - auf die Lebensbedingungen im Lande zeigen und welche Problemlösungen denkbar wären bzw. gefunden werden können.

2. Grundlagen

2.1 Kriterien der Standortwahl

Burkina Faso ist ein Binnenland in der Sahel-Zone (ohne Küste) und leidet seit mehreren Jahrzehnten unter dem kontinuierlichen Rückgang der Niederschläge mit der Folge zunehmender Dürre. Das betrifft nicht nur Burkina Faso, sondern die gesamte Sahel-Zone. Daher ist es wichtig, alle Wasserressourcen zu erschließen und ordnungsgemäß zu managen und zu verwalten. ASADI et al. (2007) beschreiben, dass Menschen über die Zeit versuchen, Süßwasser zu lokalisieren und zu nutzen, denn Wasser ist die Grundlage jeglichen Lebens. In einigen Ländern wird Grundwasser hauptsächlich zur *Bewässerung* genutzt (YOUNGER 2007). Das trifft für Burkina Faso nicht zu. Grundwasser ist die einzige *Trinkwasserquelle* für die Bevölkerung der ländlichen Gebiete und hat damit eine entscheidende sozio-ökonomische Funktion. Da Burkina Faso dominierend von kristallinen Gesteinen eines präkambrischen Fundamentes geprägt wird und nur regional in geringem Umfang mit mächtigen Lockergesteinsaquiferen (Grundwasserspeicher) ausgestattet ist, muss eine präzise Aufklärung der wenigen, zur Verfügung stehenden Reserven erfolgen. Die durchgeführten Untersuchungsarbeiten dienen deshalb als ein Charakterisierungsmodell, um die quantitative Situation in potentiellen Grundwassergebieten zu ermitteln und ein besseres Verständnis für die Beschaffenheit der Ressourcen zu ermöglichen.

Das Arbeitsgebiet wurde so gewählt, dass eine typische Region mit möglichst vielen Einflussfaktoren (Siedlung, Agrarraum, Bergbau) untersucht, interpretiert und ausgewertet werden musste. Folgende Kriterien wurden berücksichtigt:

Es sollte eine ländliche Region sein, in denen Brunnen unterschiedlichen Typs von der Bevölkerung als Trinkwassergewinnungsstellen genutzt werden. Die Brunnen fördern ausschließlich Wasser aus dem oberen Grundwasserleiter der typischen drei Aquifere im Kristallin (SAVADOGO 1984), des am meisten verbreiteten Untergrundes im Lande. Dieser ist gegen organische und anorganische Kontaminationen der menschlichen Aktivitäten relativ stark ungeschützt. Da die Güte des Wassers entscheidend für die Lebensqualität der Bevölkerung ist (FETTER 1998), sind neben der quantitativen Fragestellung auch qualitative Untersuchungen erforderlich. Da gelöste oder partikuläre Schadstoffe die Gesundheit von Menschen und Tieren gefährden können, muss auch die hydrochemische Situation geklärt werden (APELLO & POSTMA 2005, MAYS & TODD 2005).

Kleinspeicher für Oberflächenwasser haben eine außerordentlich große soziale aber auch ökonomische Funktion. Besonders für Gemüseanbau aber auch für Mais und Hirse, elementaren Grundnahrungsmitteln, ist eine Bewässerung notwendig, für die eine Grundwassernutzung Wasserverschwendung wäre. In manchen Regionen wurde aber die Anlage Oberflächenwasser stauender Kleinspeicher politisch entschieden, ohne dass eine ausreichende geologisch - geotechnische Voruntersuchung stattgefunden hatte. Auch elementare Bauausführungsfehler können in kritischen Situationen, z.B. spontanen Starkregenfällen, zu katastrophalen Folgen für die betrof-

fene Landbevölkerung führen. Diese Beispiele verfehlen ihr Ziel und es muss nach Wegen gesucht werden, dass eine nachhaltige Funktionsfähigkeit der Speicher gewährleistet werden kann.

Das dritte Auswahlkriterium für den Untersuchungsstandort ist der geologische Untergrund. Da das Territorium von Burkina Faso sowohl aus hoch aufragendem, oberflächennah anstehenden kristallinen Gesteinen als auch Sedimenten (CASTAING et al. 2003a und 2003b, EGAL et al. 2003a und 2003b) geprägt wird, sind die Untersuchungen auf die Verhältnisse zu konzentrieren, die am weitesten verbreitet sind. Und das trifft für den metamorphen und kristallinen riphäische Kraton zu.

Diese Kriterien sind im Gebiet von Tikaré, ca. 140 km nordnordwestlich von der Hauptstadt Ouagadougou erfüllt. In diesem Gebiet sollten Grundwasserpotentiale hinsichtlich ihrer Quantität und Qualität untersucht und beschrieben werden. Dazu erfolgten die Auswertungen von Fernerkundungsdaten und die Ermittlung von Geländebefunden. Ferner ist ein Kleinspeicher Gegenstand von Untersuchungen, da er das während der Regenzeit aufgestaute Oberflächenwasser kurzfristig verliert. Und mit Hilfe hydrochemischer und isotochemischer Untersuchungen wurde der Versuch unternommen, den Wasserhaushalt besser verstehen zu können.

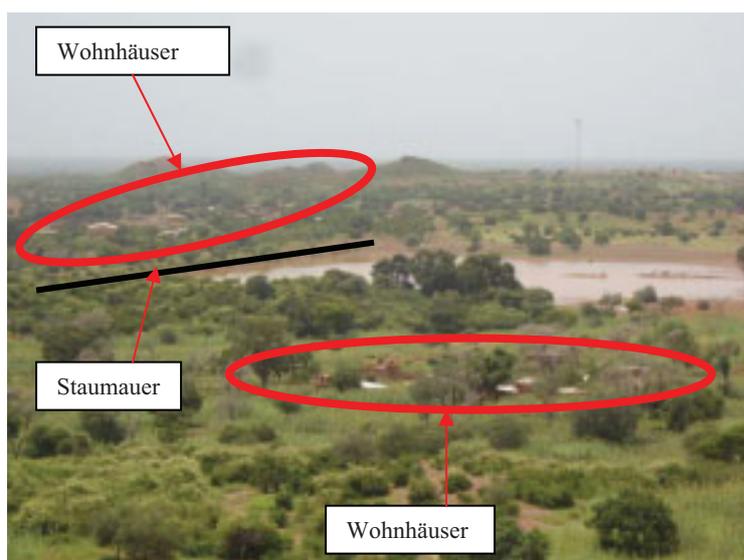


Abb. 1: Ansicht des Stausees von Tikaré am Ende der Regenzeit (September 2007)

2.2 Regionale Einordnung des Untersuchungsgebietes

2.2.1 Geographische Lage und Bevölkerung

Burkina Faso ist ein Binnenstaat und liegt in Westafrika 6° westlicher und 2° östlicher Länge sowie ca. 9° und 15° nördlicher Breite. Seine Fläche umfasst ca. 274.200 km². An das Land (Abbn. 2 und 3) grenzen im Südwesten *Elfenbeinküste*, im Westen und Norden *Mali*, im Osten *Niger*, im Südosten *Togo* und *Benin* und im Süden *Ghana*. Die nächste Küste (Atlantik) liegt ca. 800 km südlich der Südgrenze des Landes. Die wichtigsten Seehäfen für Burkina Faso sind Abidjan (Elfenbeinküste), Téma und Accra (Ghana), Lomé (Togo) und Cotonou (Benin). Laut der letzten Volkszählung im Jahre 2006 leben 13.730.258 Einwohner im Land. Die Ge-

samtbevölkerung entwickelt sich progressiv mit einer Wachstumsrate von ca. 3%. Burkina Faso ist ein Lebensraum von rd. 60 Völkern bzw. Stämmen, von denen die Mossi (ca. 40%), Bwa (Bobo) und Fulbe (Peul) die deutliche Mehrheit besitzen. Ca. 51% der Bevölkerung hat Zugang zum sauberen Trinkwasser.



Abb. 2: Google - Weltübersichtskarte mit Afrika und der Lagemarkierung von Burkina Faso

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet befindet sich im nördlichen Zentralteil von Burkina Faso (Abbn. 3 und 4). Die Koordinaten sind $1^{\circ}35'$ und $1^{\circ}52'$ W und $13^{\circ}08'$ und $13^{\circ}25'$ N. Im Gebiet liegen rund 30 Dörfer. Hauptausgangspunkt für die Untersuchungsarbeiten war Tikaré, einem Ort mit einer Missionsstation an der Straße Ouagadougou – Kongoussi – Ouahigouya (und weiter nach Mali) (Abb. 3). Die Fernerkundungsanalyse erfasste etwa ein Gebiet von 900 km², um Fernerkundungssignale auch über das engere hydrogeologisch-hydrochemische Untersuchungsgebiet einordnen und interpretieren zu können.

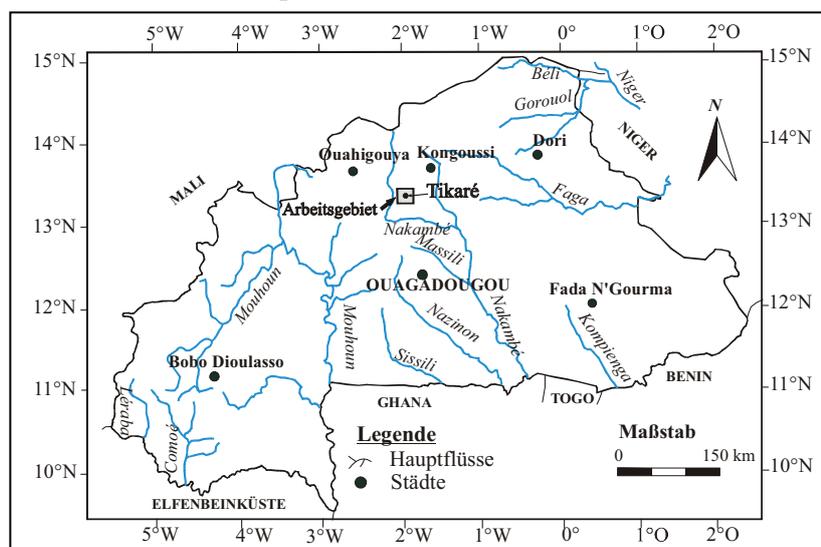


Abb. 3: Einordnung des Untersuchungsgebietes

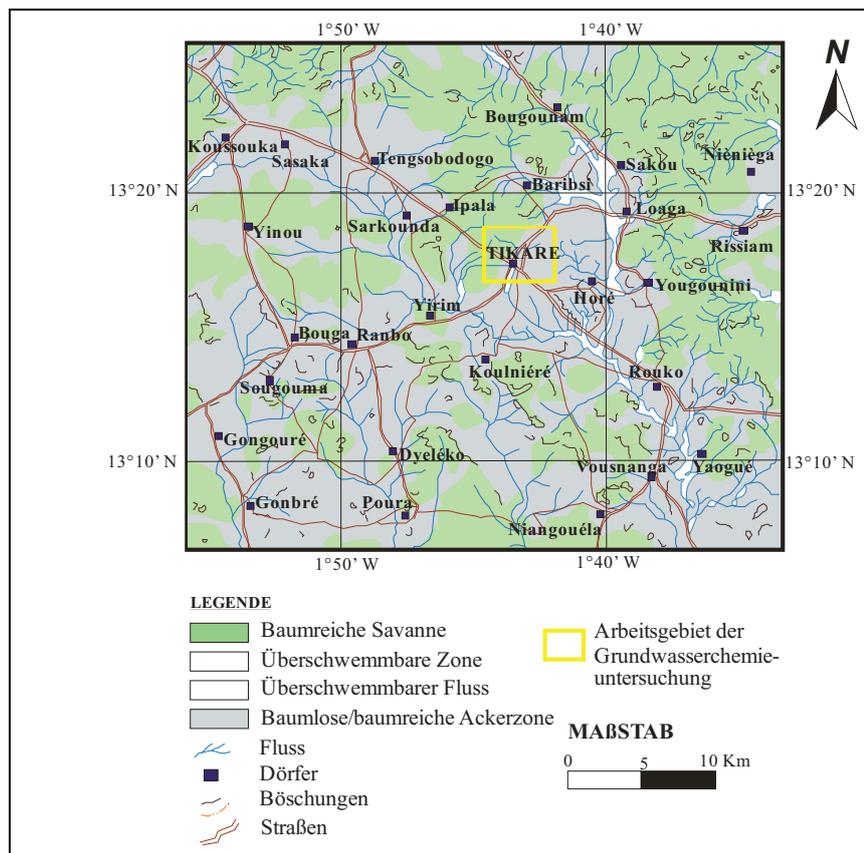


Abb. 4: Geographische Verhältnisse des Arbeitsgebietes und Landnutzung (Quelle: Topographischer Blatt von Kaya, IGB)

2.2.2 Hydrographische Übersicht von Burkina Faso

Burkina Faso wird hydrographisch sehr außergewöhnlich geprägt. Das ist auf die Erdgeschichte der Lithosphäre zurückzuführen, die bereits präkambrisch und altpaläozoisch konsolidiert und in jüngerer Zeit durch Blockhebungen und –senkungen verändert wurde. Dadurch befinden sich im Land prinzipiell drei Einzugsgebiete, die im südlich liegenden Atlantik münden aber im Lande mehrfach die Abflussrichtungen wechseln. Es sind die Einzugsgebiete des Nigers, des Nakambés (ehem. Weißer Volta), des Mouhouns (ehem. Schwarzer Volta) und des Comoés. Detailliertere Beschreibungen zur Hydrologie folgen im Kapitel 2.4.2.

2.2.3 Klima und Wetter

Diese Übersicht bezieht sich auf die folgenden wichtigsten Klimaparameter: Klima-Winde, Niederschlag, Temperatur und Verdunstung.

2.2.3.1 Windverhältnisse

Die klimatisch bedingten Windverhältnisse in Burkina Faso sind hauptsächlich von zwei Einflüssen abhängig: die des Harmattans und des Monsuns.

Harmattan ist ein trockener und staubiger Wind aus den Hochdruckgebieten der Sahara, der aus Nord-Ost in Richtung Süd-Westen (Golf von Guinea) zwischen November und März weht. Wäh-

rend des Tages ist der Harmattan warm, nachts dagegen kühl. Der *Monsun* ist ein feuchter Wind, der aus der entgegengesetzten Richtung wie das Harmattan weht. Er entspringt den Hochdruckgebieten der Ozeane der südlichen Hemisphäre. Der Fluss entsteht aus der Antizyklone von Sainte-Hélène im südlichen Atlantik, erreicht Burkina Faso im April und erstreckt sich über das gesamte Land ab Juni (PERON et al. 1975). Die Wolken der Regenzeit ergeben sich aus dem Monsun. Der Bereich zwischen den Wendekreisen, der die beiden Luftströme trennt, liegt zwischen dem Golf von Guinea (Januar) und dem 25° Breitenkreis (August) (Abb. 5).

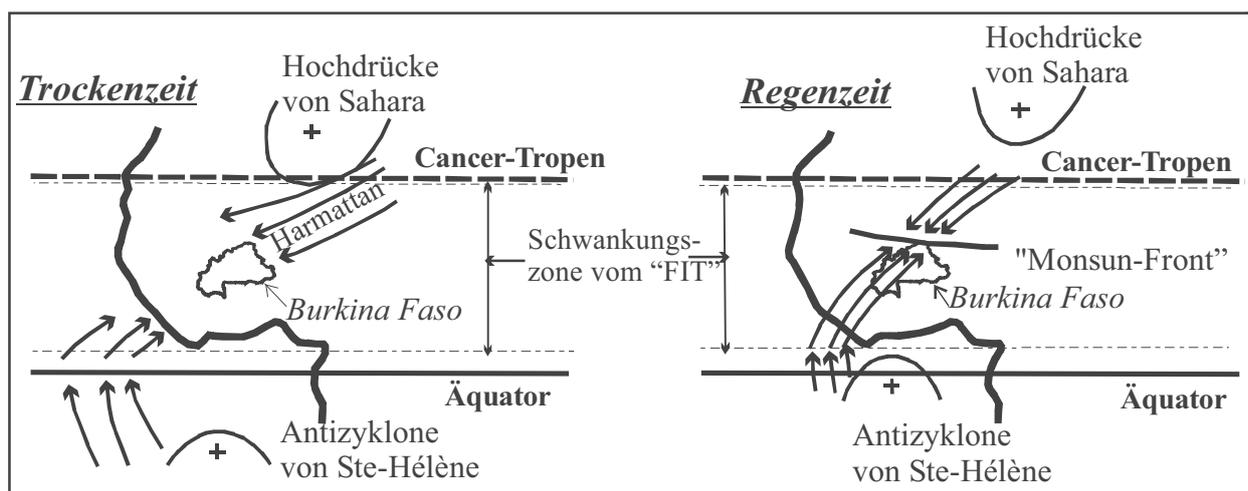


Abb. 5: Regenwinde

2.2.3.2 Zeitliche und räumliche Verteilung des Niederschlags

Die Niederschläge spielen für Burkina Faso eine bedeutende Rolle. Die zeitlichen und räumlichen Verteilungen sind sehr unterschiedlich über das Land verteilt. Es ist durch den Typ *Soudano-Sahel* gekennzeichnet, der in zwei Jahreszeiten (eine Regenzeit und eine Trockenzeit) strukturiert ist. Gewöhnlich dauert die Regenzeit im Durchschnitt von Juni bis September und die Trockenzeit von Oktober bis Mai. Aber in der Realität sind die Dauer der Jahreszeiten von Gebiet zu Gebiet verschieden. Die Regenzeit ist in Richtung Norden kürzer und in Richtung Süden länger.

Neben dieser zeitlichen Verteilung der Regenzeit ist das Land auch durch eine räumliche variable Verteilung der Niederschläge gekennzeichnet. Die Niederschlagsmenge fällt im Verlauf der Regenzeit von Süden nach Norden. Entsprechend dieser räumlichen Verteilung des Niederschlags sind in Burkina Faso drei Niederschlagszonen identifiziert: Die Sahel-Zone im Norden, die Soudan-Sahel-Zone und die Soudan-Zone im Süden des Landes (Abb. 6). Die letzte genannte Klimazone bekommt die höchsten Niederschläge (im Durchschnitt 900 mm pro Jahr), während die Sahel-Zone die trockenste ist (mit einer durchschnittlichen jährlichen Niederschlagsmenge von ca. 450 mm und einer Regenzeitdauer von etwa zwei Monate. Das Arbeitsgebiet liegt in der Sahel-Zone. Niederschlagsdaten von Tikaré von 1990 bis 2007 wurden vom Staatlichen Meteoro-

rologischen Dienst zur Verfügung gestellt. Die Aufzeichnungen von einigen Jahren sind unvollständig oder fehlen sogar. Aus diesem Grund wurden nur die Werte der Jahre 1990-1995, 1998 und 2003-2007 für die Evaluierung der Entwicklung der jährlichen Niederschlagsmenge benutzt (Abb. 7). Daraus geht hervor, dass die Niederschlagsmengen der Jahre 1990, 1993 und 1995 am niedrigsten waren und reflektieren die Niederschläge der Sahel-Zone (Jahresdurchschnitt etwa 450 mm). Dagegen ist die Niederschlagsmenge des Jahres 1994 außergewöhnlich hoch (986 mm) und entspricht mehr der Soudan-Zone im Westen und Südwesten des Landes. Insgesamt gibt es in diesem Beobachtungszeitraum keine klare Entwicklungstendenz des Niederschlages von Tikaré.

Zu den Histogrammen der monatlichen Niederschlagsmengen kann man feststellen, dass die Monate mit den stärksten Regenfällen Juli ($\bar{\varnothing}$ 173 mm) und August ($\bar{\varnothing}$ 192 mm) sind (Abb. 8).

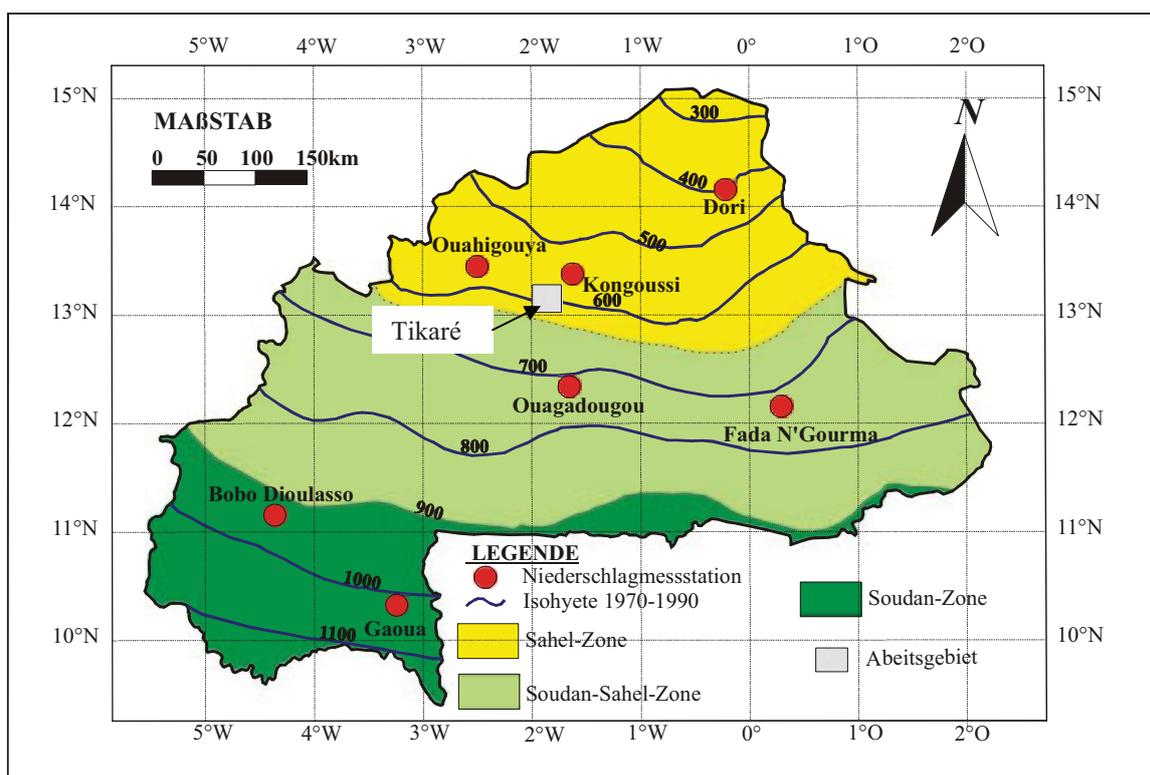


Abb. 6: Klimazonen von Burkina Faso (Quelle: DGIRH)