

**Zeitschrift:** Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern  
**Herausgeber:** Geographische Gesellschaft Bern  
**Band:** 54 (1980)

**Artikel:** Beitrag zum Gerinneabfluss am Mount Kenya : Projektskizze und erste Ergebnisse hydrologischer Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines tropischen Hochgebirges und dessen Vorland  
**Autor:** Leibundgut, Christian  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-960346>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 03.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Beitrag zum Gerinneabfluss am Mount Kenya

Projektskizze und erste Ergebnisse hydrologischer Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines tropischen Hochgebirges und dessen Vorland

VON CHRISTIAN LEIBUNDGUT\*

## Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Problemstellung .....	215
2. Grundzüge des Untersuchungsgebietes .....	216
3. Konzept des hydrologischen Projektes .....	219
4. Vorarbeiten und Aufbereitung der langjährigen Abflussdaten .....	220
5. Die langjährigen Abflusswerte der Periode 1960–80 .....	225
6. Die Abflussspenden (Periode 1960–80) .....	229
7. Die Dauerkurven des Abflusses 1960–80 .....	233
8. Die Jahreswerte 1960–80 .....	237
9. Die Monatswerte der einzelnen Stationen im langjährigen Geschehen .....	239
10. Zusammenfassung und Ausblick .....	241

## 1. Einleitung und Problemstellung

In der globalen Wasserbilanz steht Afrika mit nur 160 mm Abfluss pro Jahr von allen Kontinenten am zweitschlechtesten da. Dazu kommt, dass das Wasserangebot und die Wasserverfügbarkeit in Afrika regional ausserordentlich ungleich sind. Neben Überflussgebieten im äquatorialen Raum liegen die extremen Mangelgebiete der Wüsten. Die sogenannte Sahelkrise hat im vergangenen Jahrzehnt die Bedeutung des Wassers überdeutlich und in tragischer Weise sichtbar gemacht. Der Naturfaktor Wasser hält in allen Trockengebieten eine Schlüsselstellung für Leben und Wirtschaft inne. Es sind aber beileibe nicht nur Probleme des Wassers, die es in diesen Gebieten zu lösen gibt. Die Bodenerosion, meist in Wechselwirkung mit dem Wasser, nimmt in vielen Gebieten Afrikas in dramatischer Weise zu, und die durch Umweltveränderungen oder politische Entscheide erzwungenen Wanderungen und Umsiedlungen grosser Völkergruppen bringen soziologische Schwierigkeiten in bisher unbekannte Ausmasse. Schliesslich wachsen auch die wirtschaftlichen Probleme in diesen Gebieten stetig an.

Auf diesem Hintergrund sind die Bemühungen des Geographischen Instituts zu verstehen, im nordwestlichen Mount Kenya-Gebiet mit Forschungsarbeiten Grundlagen zu Fragen des naturräumlichen Potentials und der kulturräumlichen

\* Dr. Ch. LEIBUNDGUT, Geographisches Institut der Universität Bern, Abt. Physikalische Geographie-Gewässerkunde, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern

Eigenheiten des Raumes zu behandeln. Es besteht die Absicht, diese wissenschaftlichen Beiträge zu einer Synthese aufzuarbeiten, damit sie für praktische Entwicklungsprojekte nutzbar gemacht werden könnten. Dabei wurden geomorphologische (B. MESSERLI und M. WINIGER [1980], U. WIESMANN [1979]), klimatologische (M. WINIGER [1979] und [1981]), pedologische (E. FREI, [1978], H. SPECK [1982]) sowie sozioökonomische (T. KOHLER [1977], P. PESTALOZZI [1979]) Untersuchungen durchgeführt. Mit drei Dissertationen zu den Themen Boden, Wasser und Sozioökonomie sollen die wichtigsten Teilaspekte grundlegend erarbeitet werden. Stipendien der Direktion für Entwicklungszusammenarbeit und humanitäre Hilfe (DEH) ermöglichen drei Doktoranden mehrjährige Feldaufenthalte in Kenia.

Die Ursache der zu lösenden Probleme liegt in einer epochalen Nutzungsänderung im Untersuchungsgebiet. Das alte Weideland der Savannen, Nahrungsgrundlage afrikanischer Wildtiere und der Viehherden der Nomaden, später derjenigen der weissen Siedler, soll zu Ackerland umgebrochen werden. Das Naturpotential der Hochland-Grassteppen ist jedoch nur ausreichend für ein «ranching».

Der grosse Bevölkerungsdruck in Kenia zwingt jedoch zu einer intensiveren Nutzung des verfügbaren Bodens im Nordwesten des Mount Kenya. Die neu eingewanderten Kleinbauern sind auf Selbstversorgung angewiesen. Gartenbau und «small scale farming» kann aber in der nötigen Intensität nur in den bergnahen, regenreichen Arealen des Mount Kenya erfolgreich betrieben werden. Im trockeneren Savannenvorland treten vor allem aus hygrischen Gründen Schwierigkeiten auf. Die Vergrösserung der Bevölkerungszahlen und die Nutzungsänderungen werden direkte und indirekte Auswirkungen auf die Böden, den Wasserhaushalt und die sozioökonomischen Gefüge im Untersuchungsgebiet haben.

In dieser Arbeit sollen die konzeptionellen Überlegungen zum «Teilprojekt Wasser» kurz dargelegt und als Schwerpunkt dieses Beitrages die ersten Resultate zur Hydrologie des Untersuchungsdistrikts, die Grössen und Prinzipien des Abflussverhaltens vorgelegt werden.

## 2. Grundzüge des Untersuchungsgebietes

Das Untersuchungsgebiet liegt nw des Mount Kenya und somit in Zentral-Kenia (Abb. 1). Der Mount Kenya ist Quellgebiet der bedeutendsten Flüsse dieses Landes. Während der im Südosten des Berges entspringende Tana-River über das ostafrikanische Plateau bis zum Indischen Ozean durchzufließen vermag, kann der Uaso Nyiro nur in Hochwasserphasen selten bis zur Küste vorstossen. Von einem perennierenden Gerinne kann nur bis in den Bereich der «Lorian Swamps» gesprochen werden, nachher ist der Uaso Nyiro nur noch den episodischen Flüssen zuzurechnen.

In diesem ungleichen Abflussverhalten spiegeln sich die Grundzüge der hydrologischen Verhältnisse im Gebiet des Mount Kenya und dessen weiterer Umgebung. Die rund 5200 m ü.M. hinausragende Erhebung des tertiären Vulkanstocks im ostafrikanischen Hochlandplateau ist die Ursache für den relativen Wasserreichtum des bergnahen Mount Kenya-Gebietes (Abb. 2). Die vom Indik herangeführten Passat-Luftmassen werden am Mount Kenya zum Aufstieg gezwungen, kondensie-

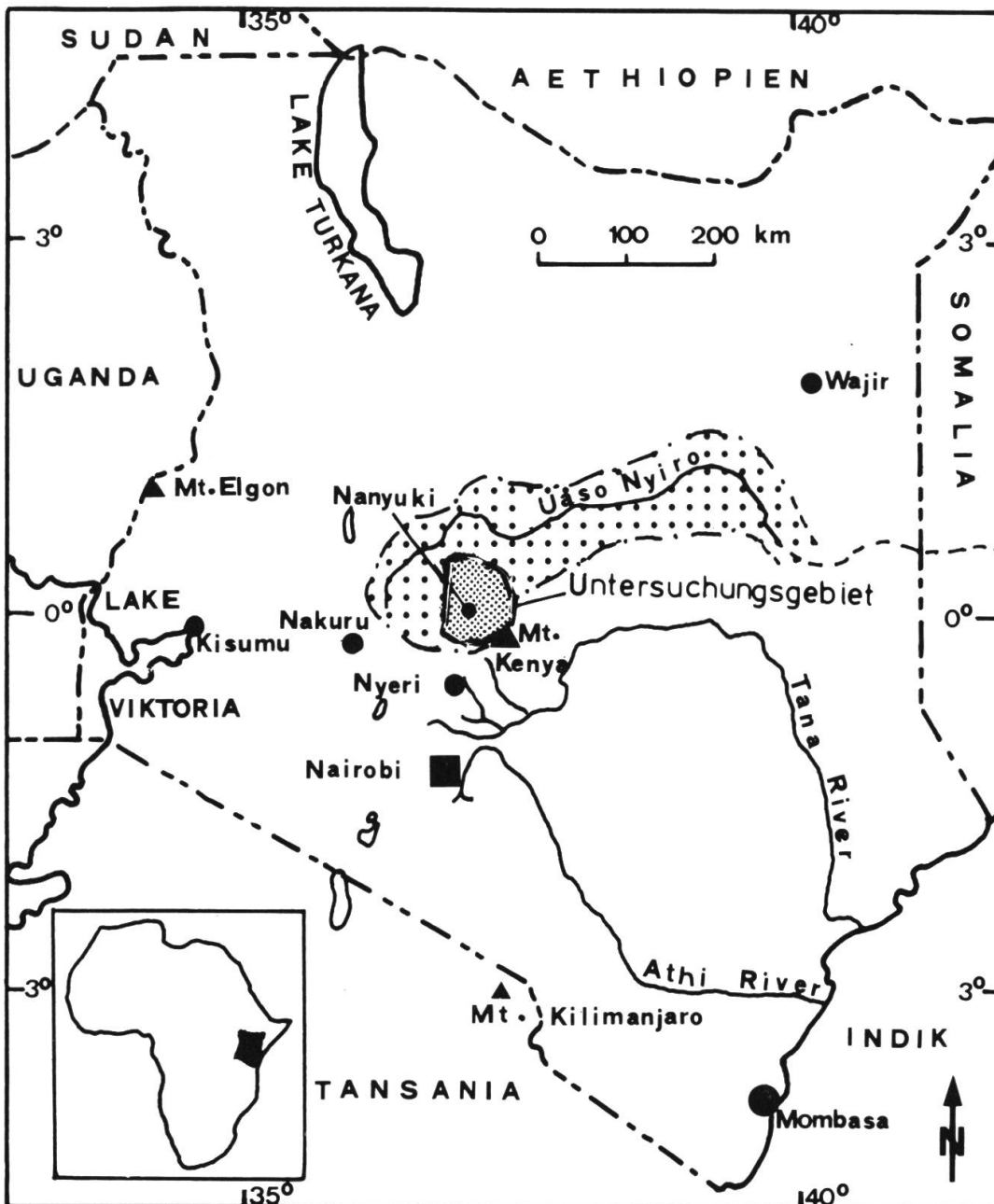


Abbildung 1: Übersichtskarte.

Lage des Untersuchungsgebietes in Kenya. Das Einzugsgebiet des Uaso Nyiro-Rivers ist punktgerastert. Unten links die Lage Kenyas im afrikanischen Kontinent.

ren und regnen sich aus. Inmitten der ostafrikanischen Trockengebiete kommt es in Verbindung mit der äquatorialen Lage des Mount Kenya zu fast regelmässigen täglichen Niederschlägen, wie sie für die feuchten Tropen typisch sind.

Diese Sonderstellung führte zur Ausbildung verschiedener Zonen in vertikaler Abfolge. Der glazialen Stufe in der Gipfelregion folgen die Lobelien-Senecien-Stufe und die hochalpinen Matten (z. T. Moorland). In etwa 3300 m beginnt der Nebelwald, der anschliessend in Regenwald übergeht. Eine Bergfusszone geht bei etwa 1800 m in das Savannenvorland über. Die Flüsse führen das lebenswichtige Wasser bis weit in die Trockenräume hinaus. Der in Luvlage entspringende Tana-River ist

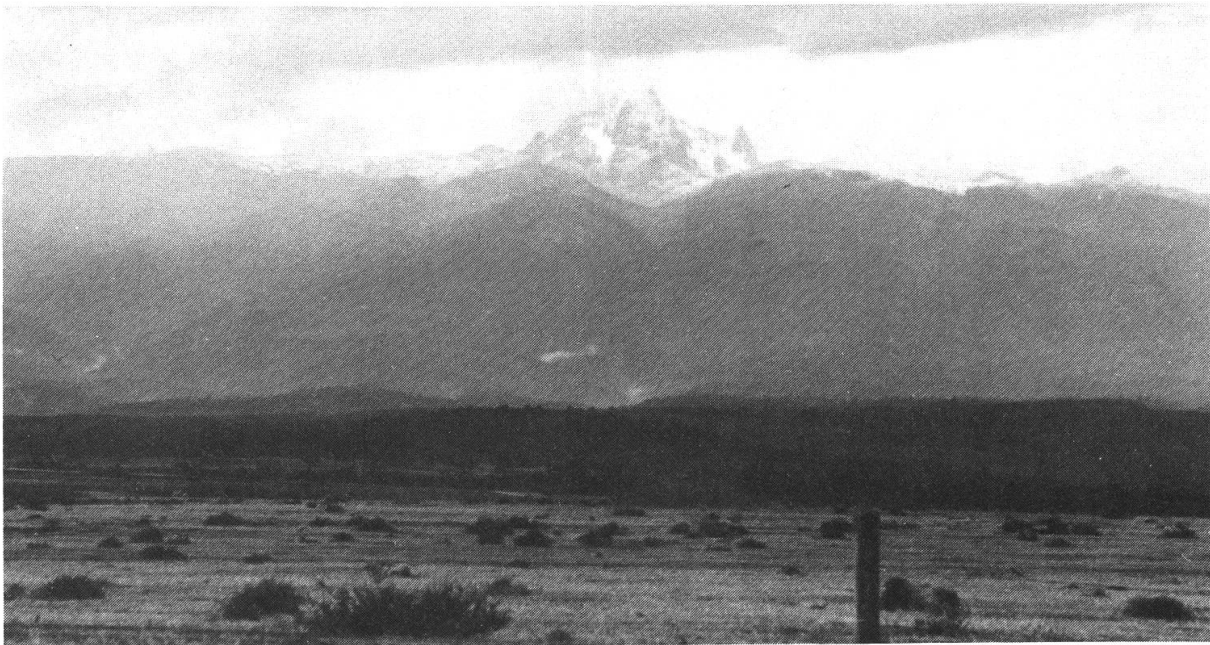


Abbildung 2: Mount Kenya 5200 m ü.M.

In der Bildmitte ist die Nebel-Regenwaldstufe zu erkennen, nach unten folgt die Hangfusszone (Waldwirtschaft, Ackerbau) als Übergang zur Hochland-Savanne. Aufnahme März 1981 zu Beginn der Regenzeit.

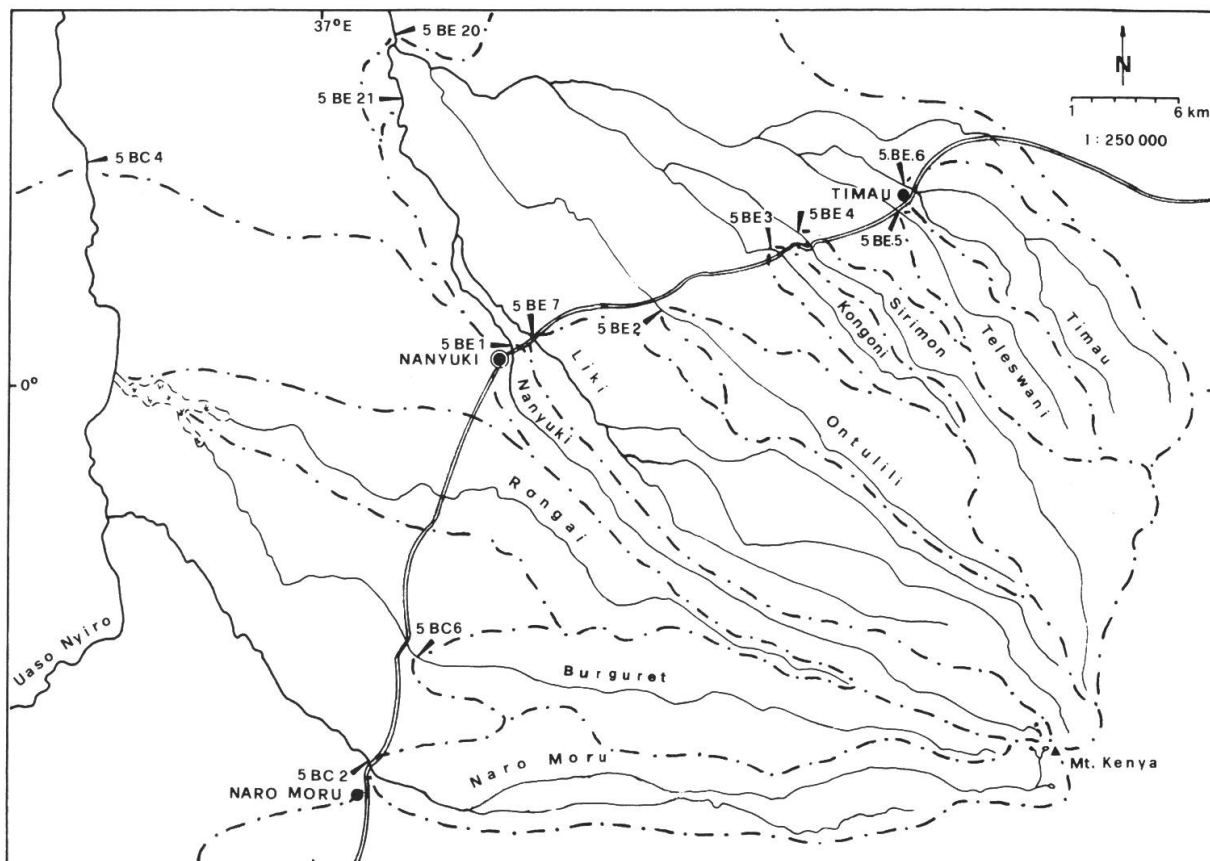


Abbildung 3: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes.

Dieses wird westlich begrenzt durch den Uaso Nyiro, nördlich ungefähr durch den Timau-River, südlich und östlich durch die Einzugsgebietsgrenzen.

Die Einzugsgebiete sind nach den Flussnamen benannt. 5 BC 2 usw. sind die offiziellen Bezeichnungen für die Abflussmessstationen. Nanyuki ist Hauptort des Laikipia-Distrikts.

dabei naturgemäss wesentlich wasserreicher als der aus den leeseitigen Einzugsgebieten kommende Uaso Nyiro.

Das Untersuchungsgebiet liegt im oberen Einzugsgebiet des Uaso Nyiro (Abb. 3). Hydrologisch können zwei Teilgebiete unterschieden werden: der wasserreiche Teil an den Hängen des Mount Kenya bis zum Bergfuss (Strasse) und die wasserärmeren Savannenvorländer. Das Wasser fliesst in zehn Hauptgerinnen radial aus der Gipfelregion in schmalen langgezogenen Einzugsgebieten ab. Allerdings reichen nicht alle Quellgebiete bis in die Gipfelregion hinauf. Die Einzugsgebietsgrenzen weisen gewisse Unsicherheiten auf, da das Gelände (Beispiel Urwald) eine Begehung nicht überall gestattet und die Auswertung von Luftbildaufnahmen auch nicht überall Klärung bringt.

Neben den drei Ortschaften sind die permanenten Abflusstationen, deren Daten nachstehend ausgewertet werden, in die Abbildung 3 eingezeichnet. Es werden dafür die offiziellen Bezeichnungen des «Ministry of Water Development» (5BC2 usw.) verwendet. Für alle Angaben bezüglich Abflussmessnetz verweisen wir auf Kapitel 4 und auf die Arbeit von T. MÖRI [1982].

### 3. Konzept des hydrologischen Projektes

Grundgedanke des hydrologischen Konzeptes ist die von der Natur gegebene Ganzheitlichkeit des Hydrosystems: jede Nutzung von Wasser hat sich nach den aus der Kenntnis des Gesamtwasserhaushaltes ergebenden Möglichkeiten zu richten. Wir folgen damit einem ökologisch begründeten Ansatz [Ch. LEIBUNDGUT 1976, 1980, 1982]. Das Wasser tritt im Gebiet nordwestlich des Mount Kenya als limitierender Faktor für die ökonomische Tätigkeit im allgemeinen und die Landnutzung im speziellen auf. Für eine Entwicklungsplanung müssen daher die Grössen des verfügbaren Wassers und dessen Eignung für die Bewässerung sowie als Trink- und Brauchwasser bekannt sein (Wasserpotential).

Die Wasserhaushaltsuntersuchungen im Testgebiet fassen auf den von kenianischer (1958–61 von englischer) Seite durchgeführten langjährigen Messungen der Wasserhaushaltsglieder Niederschlag, Verdunstung, oberirdischer Abfluss und Grundwasser. In einem ersten Schritt sollen diese vorhandenen hydrologischen Daten und Ergebnisse aufgearbeitet und überprüft werden. Weiter soll durch gezielte Untersuchungen in bezug auf die Fragestellung die Datengrundlage erweitert und verbessert werden. Dazu musste ein neues Messnetz aufgebaut werden. Dieses Messnetz dient gleichzeitig zur Datenaufnahme in den einzelnen Teilräumen.

Es wird nach der Methode der homogenen Teilräume in Wasserhaushaltszonen gearbeitet. Die Auswahl erfolgte entsprechend der vertikalen zonalen Abfolge von Teilräumen mit unterschiedlichem hydrologischem Verhalten und aus der abnehmenden Feuchtigkeit mit zunehmender Distanz zum Mount Kenya. Es sind fünf solcher Wasserhaushaltszonen zu untersuchen:

- |   |                 |
|---|-----------------|
| 1. Glazialstufe (Gipfelregion)                  | 4. Bergfusszone |
| 2. Alpine Mattenstufe (Lobelienstufe, Moorland) | 5. Savannenzone |
| 3. Waldstufe                                    |                 |

Als Zielaussage wird die Bezifferung des hydrologischen Potentials, der Varianz und der Persistenz in den einzelnen Wasserhaushaltszonen anvisiert.

Da mit repräsentativen Testgebieten gearbeitet wird, ergeben die Wasserhaushaltsmodelle der einzelnen Testgebiete den Wasserhaushalt des Gesamtgebietes in räumlicher und zeitlicher Differenzierung. Ergänzt durch Spezialuntersuchungen (physikalische und chemische Parameter) kann dann das Gesamtgebiet gemäss der Fragestellung beurteilt werden.

Die hydrologischen Untersuchungen im Testgebiet Mount Kenya visieren somit drei Ziele an. Erstens die wissenschaftlich interessante Frage der Hydrologie tropischer Hochgebirge, zweitens die Erarbeitung des Gesamtwasserhaushaltes des Untersuchungsgebietes und nicht zuletzt drittens die Aufarbeitung dieser Kenntnisse zur Anwendung praktischer wasserwirtschaftlicher Planung.

Zur Ermittlung der zonalen Wasserhaushalte tropischer Hochgebirge können wir uns für Niederschlag und Verdunstung auf bestehende kenianische Messnetze stützen. Zur Erfassung des Gerinneabflusses wurde ein Stationenprofil entlang des Naro Moru-Rivers errichtet. Die Stationen stehen jeweils an der unteren Grenze der einzelnen Zonen. Mit der kontinuierlichen Aufnahme der Abflüsse über mindestens zwei Jahre besteht die bisher wahrscheinlich einmalige Gelegenheit, detaillierte Angaben zu Abflussgeschehen und Wasserhaushalt tropischer Hochgebirgszonen machen zu können.

#### **4. Vorarbeiten und Aufbereitung der langjährigen Abflussdaten**

Die konzeptionellen Überlegungen wurden in zwei Feldbegehungen, 1979 in der Trockenzeit, 1981 in der Regenzeit, überprüft und vervollständigt. Die Auseinandersetzung mit den natur- und kulturräumlichen Eigenheiten des Raumes und Übersichts-Messkampagnen erlaubten es, ein längerfristiges Untersuchungsprogramm zu entwerfen, das einerseits realistisch, andererseits interessant, verlockend und erfolgversprechend genug war, um sich zu engagieren.

Kurz und summarisch zusammengefasst sind die Resultate der Begehungen die folgenden:

Ein wichtiges hydrologisches Merkmal ist das Versiegen des Wassers mit zunehmender Entfernung vom Mount Kenya und von SW nach NE im Untersuchungsgebiet. Bergseitig der am Fuss des Mount Kenya entlangführenden Strasse Naro Moru–Nanyuki–Timau steht reichlich Wasser in Form von Niederschlag, Gerinneabfluss und Quellen zur Verfügung. Innerhalb einer nur schmalen Übergangszone entlang dieser Linie wechseln Landschaftsbild und hydrologische Verhältnisse überaus stark. Steile Hänge gehen in sanfte Hochland-Ebenen über, grüne Wälder in braungelbe Grassteppen und rauschende Gebirgsbäche in träge Flachlandflüsse, die in Niedrigwasserperioden zu Rinnsalen schrumpfen können. Und doch sind die Bach- und Flussläufe die Lebensadern der bergfernen Savannen und halbariden Gebiete (Abb. 4). Ohne das «Wasser vom Berg» wäre Nutzung und Bewohnbarkeit dieser weiten Gebiete noch mehr eingeschränkt.



Abbildung 4: Der Uaso Nyiro als Lebensader im halbariden Norden des Mt. Kenya (Samburu). Entlang des Flusses zieht sich als grünes Band der Galeriewald, der einen reichen Wildbestand beherbergt.

Beispiele von «small scale irrigation» in Missionsstationen, Genossenschaften und bei einzelnen Kleinbauern zeigen, wie natürlicherweise karge Weideböden bei geeigneter Bewirtschaftung in Gartenbau-Nutzung genommen werden können (Abb. 5).

Schon die Begehungen zeigten aber auch, dass niemals genügend Wasser vorhanden sein wird, um die beabsichtigte Nutzungsintensivierung über grössere Teile des Untersuchungsgebietes durchführen zu können. Eine Nutzungsintensivierung wird oft mit Bewässerung verbunden sein müssen und Bewässerung verlangt viel Wasser. Als Richtwert wird mit rund 1 l/s/ha gerechnet. Der geschätzte Gesamtabfluss in der Trockenzeit im August 1979 lag bei 1 m<sup>3</sup>/s. Damit könnten also nur etwa 1000 ha des gesamthaft 600 000 ha grossen Untersuchungsgebietes bewässert werden. Hier stellt sich eine der entscheidenden Grundfragen dieser ganzen Arbeit: wie soll das Wasser verteilt werden? Wir erachten es deshalb als unsere Aufgabe, die ökologischen Grössen und Schwellenwerte des Naturfaktors Wasser herauszuarbeiten, um so den Entscheidungsinstanzen der kenianischen Behörden und des DEH Entscheidungsgrundlagen unterbreiten zu können.

Die angeführte Mengenbeurteilung beinhaltet auch nur die Bewässerung. Die Versorgung mit Trink- und Tränkwasser ist aber das noch dringendere Erfordernis. Wasserangebot und Wasserbedarf scheinen also unter den Entwicklungszielen des Raumes weit auseinanderzuklaffen.

Wesentlich günstiger sieht allgemein die Qualität des verfügbaren Wassers in den Gerinnen aus. Von der chemischen Seite her ist die Eignung als Bewässerungs- und Versorgungswasser gegeben. Der Versalzungsgrad ist überall gering (40–160 µS), die



*Abbildung 5:* Gartenbau mit Sprinkler-Beregnung in der Hangfusszone. Die Bewässerung ist Voraussetzung für reiche Ernteerträge.

Natriumgefährdung (SAR-Wert) überall niedrig. Wesentlich höhere Salzgehalte kann das Grundwasser aufweisen. Solches Wasser eignet sich als Tränkwasser vorzüglich, ist als Trinkwasser ebenfalls verwendbar, darf aber zur Bewässerung nicht gebraucht werden. Nach der Ionenverteilung handelt es sich, gemäss den Übersichtsbeprobungen vom August 1979, vorwiegend um Ca- Na-  $\text{HCO}_3$ -Wasser mit einem Alkalianteil von 25–40%. Weniger stark sind Wasser der Na- $\text{HCO}_3$ -Klasse mit einem Alkalianteil von  $> 50\%$  (davon 75–95% Na) vertreten. Ausnahmsweise finden sich auch K- Na-  $\text{HCO}_3$ -Grundwasser.

Die Feldbegehungen zeigten auch die Schwierigkeiten auf, die es organisatorisch-technisch zu bewältigen gilt, wenn eine hydrologische Datenaufnahme über mehrere Jahre in diesem Gelände erfolgen soll. Als Beispiel sei nur die oberste Abflussstation im Naro Moru-Profil erwähnt. Sie wurde auf 4150 m ü.M. in der Gipfelregion aufgestellt und muss nun gewartet werden. Um diese Station unterhalb des Lewis-Gletschers zu erreichen, muss Regen- und Nebelwald und die alpine Moorlandstufe jedesmal durchquert werden.

Zwischen 1958 und 1961 wurde das Einzugsgebiet des Uaso Nyiro von den Engländern hydrologisch untersucht. Die damals gewonnenen Erkenntnisse bilden eine Grundlage zur Projektplanung. Ein Vergleich der damaligen Resultate mit den seither gewonnenen Daten und den seit 1981 laufenden eigenen Erhebungen wird jedoch in dieser Arbeit nicht vorgenommen.



*Abbildung 6:* Die Messstelle Naro Moru-River 5 BC 2 gehört zum permanenten Abflussmessnetz. Sie ist ausgebaut als Rechteck-Wehrüberfall mit Lattenpegel, der täglich 2 mal abgelesen wird. Aufnahme Trockenzeit August 1979.

Als wichtigster Teil der Basisarbeiten wurde die Aufarbeitung der Abflussdaten aus dem permanenten Messnetz (Abb. 6) an die Hand genommen. T. MÖRI [1982] hat in einem mehrwöchigen Aufenthalt in Kenia die Grunddaten im «Ministry of Water Development» zusammengestellt und anschliessend am Geographischen Institut in Bern mit Hilfe der EDV-Anlage aufgearbeitet. Er befasste sich eingehend mit den Problemen der Verlässlichkeit der Resultate. Fehlende Daten wurden mit verschiedenen Methoden, wie beispielsweise der «Multiplen linearen Regression», berechnet und ergänzt.

In diesem Beitrag wird nun diese Sammlung statistischer Werte in einem ersten Schritt ausgewertet. Als Ziel wird die Herausarbeitung der Grundzüge des Abflusses anvisiert.

Im Zeitalter der mathematischen Hydrologie bestehen gewisse Hemmungen, solche Arbeiten (nur) mit klassischen Verfahren durchzuführen. Der einfachen Zielsetzung gemäss und der Datenlage entsprechend ist dieses Vorgehen aber richtig. Spezielle Fragen, wie zonale Wasserhaushalte, Niederschlag-Abflussprozesse oder Komponentenseparation, konnten bis heute noch nicht angegangen werden. Sie sind Bestandteil der laufenden Dissertation und weiterer Einzelarbeiten zu diesem Thema. Sowohl zeitlich wie räumlich müssen die jetzigen Resultate aufgelöst werden. Diese Arbeiten laufen ebenfalls seit August 1981. S. DECURTINS [1982] hat die geplanten Messnetze errichtet, die Messungen und Beprobungen aufgenommen.

Parallel zu dieser Hauptarbeit kartierte R. BRUNNER [1982] im Rahmen einer Diplomarbeit das gesamte Untersuchungsgebiet bezüglich der hydrographisch-

Tabelle 1: Abflussgrößen der Periode 1960–80. MQ = mittlerer Abfluss in der Periode. HQ = maximaler mittlerer Jahresabfluss. NQ = minimaler mittlerer Jahresabfluss. Mq, Hq, Nq = entsprechende Werte für die Abflusspenden.

Station	Nr.	Einzugs- gebiet	MQ	Mq	HQ	Jahr	Hq	NQ	Jahr	Nq	Schwankungs- koeff.
Bezeichnung		[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]		[l/s·km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]		[l/s·km <sup>2</sup> ]	$\frac{HQ}{NQ}$
Naro Moru R.	5BC 2	83	1.15	13.90	2.13	1968	25.69	0.493	1980	5.94	4.3
Burguret R. (ohne 1974–77)	5BC 6	98	0.939	9.58	1.78	1968	18.14	0.289	1980	2.95	6.2
Nanyuki R.	5BE 1	68	0.679	9.99	1.44	1961	21.22	0.238	1980	3.50	6.1
Liki R.	5BE 7	184	1.57	8.52	2.90	1961	15.75	0.59	1980	3.20	4.9
Ontulili R.	5BE 2	61	0.615	10.08	1.40	1961	23.00	0.135	1980	2.22	10.4
Kongoni R.	5BE 3	14.4	0.064	4.45	0.175	1961	12.15	0.006	1980	0.44	29.2
Sirimon R.	5BE 4	62	0.595	9.60	1.41	1961	22.69	0.260	1969	4.19	5.4
Teleswani R.	5BE 5	36	0.322	8.93	0.621	1968	17.25	0.154	1980	4.28	4.0
Timau R.	5BE 6	64	0.253	3.96	0.480	1961	7.50	0.138	1973	2.16	3.5
Nanyuki R. (ab 1965)	5BE21	329	2.37	7.21	4.22	1977	12.82	0.846	1980	2.57	5.0
Nanyuki R.	5BE20	860	4.54	5.28	11.87	1961	13.80	1.17	1980	1.37	10.1
Uaso Nyiro R.	5BC 4	1865	4.13	2.22	12.15	1961	6.51	1.30	1980	0.70	9.3
Teileinzugsgebiet Nanyuki R.	(5BE21)– (5BE1+7)	77	0.125	1.62	–	–	–	0.02	–	0.26	–
Teileinzugsgebiet Nanyuki R.	(5BE20)– (5BE2→6+21)	294	0.324	1.10	–	–	–	(–0.37)	–	(–1.24)	–
Teileinzugsgebiet Uaso Nyiro	(5BC4)– (5BC2+6)	1684	2.04	1.21	–	–	–	0.52	–	0.31	–

hydrogeographisch wichtigen Elemente. Die hydrogeographische Karte im Massstab 1:50 000 wird überaus wertvolle Informationen für die weiteren wissenschaftlichen und praktischen Arbeiten in diesem Gebiet zur Verfügung stellen.

## 5. Die langjährigen Abflusswerte der Periode 1960–80

Die in der Tabelle 1 zusammengestellten Mittel-, Maximal- und Minimalwerte vermitteln einen ersten Überblick über die Grössenordnungen der Abflussmengen im nw Mount Kenya-Gebiet. Entsprechend den unterschiedlichen Grössen und der unterschiedlichen Lage der Einzugsgebiete streuen die absoluten Abflussgrössen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) an den einzelnen Stationen auch in den Mittelwerten ( $\text{MQ}_{21}$ ) sehr stark.

Die Werte ( $\text{HQ}_y$ ) und ( $\text{NQ}_y$ ) geben die maximalen, bzw. die minimalen mittleren Jahresabflüsse der Periode 1960–80 wieder. Die Maximalwerte liegen um den Faktor 1,8 bis 2,9 höher, die kleinsten Jahresabflüsse erreichen Werte um 0,22 bis 0,55 des Periodenmittels. Der Jahreswert 1980 des Kongoni-Rivers muss als Ausreisser gewertet werden (0,006).

Die Schwankungsziffer (Tab. 1) ist der Quotient  $\frac{\text{HQ}}{\text{NQ}}$ . Die mit angegebenen Jahrzahlen zeigen, dass die höchsten jährlichen Abflussmengen mit wenigen Ausnahmen 1961 abgeflossen sind und die niedrigsten fast ausnahmslos im Jahre 1980 zu verzeichnen waren. Abgesehen vom Kongoni-River-5BE3 (29x) fliesst in den wasserreichen Jahren 3 bis 10 mal mehr ab als in den wasserarmen Jahren.

Die spezifischen Abflusswerte ( $\text{Mq}$ ) geben die gleichen Zahlen bezogen auf die Einzugsgebietsflächen wieder. Diese Abflussspenden werden noch speziell diskutiert.

In der Abbildung 7 sind die Periodenwerte des Abflusses als Säulendiagramme halbschematisch nach ihrer Lage im Gelände aufgezeichnet. Diese Übersicht vermittelt einen ersten Überblick über die regionalen Verhältnisse des Abflussgeschehens im Untersuchungsgebiet. Die eingezeichneten Werte gelten selbstverständlich nicht streng über die ganze Länge des Laufabschnittes. Bedeutende Zu- oder Abflüsse sind aber innerhalb der bewerteten Laufstrecken nicht zu verzeichnen. Hingegen können bei Niedrigwasser-Abfluss durch grössere künstliche Entnahmen streckenweise andere Verhältnisse eintreten.

Bei Burguret-BC6 erfolgte der effektiv höchste Jahresabfluss 1968 ( $1,78 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und bei den Stationen Sirimon-BE4 und Timau-BE6 der effektiv niedrigste mittlere Jahresabfluss 1969 ( $0,26 \text{ m}^3/\text{s}$ ), bzw. 1970 ( $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Die in Abbildung 7 gewählte Darstellung erfordert aber die Darstellung der gleichen Jahre, da sonst die Summen der unteren Laufstrecken nicht berechnet werden können. Die Darstellung vermittelt somit gleichzeitig auch ein Bild über die Abflussmengen in nassen und trockenen Jahren und deren Verhältnisse zueinander.

Eine enge Beziehung ( $r = 0,96$ ) besteht zwischen dem mittleren Periodenabfluss und der Einzugsgebietgrösse. In der Rechnung nicht berücksichtigt sind dabei die am weitesten vom Quellgebiet entfernten Stationen mit den grössten Einzugsgebieten Nanyuki-River-BE20 und Uaso Nyiro-BC4. Hier steigen die Einzugsgebietsflächen gegenüber dem mittleren Abfluss überproportional an.

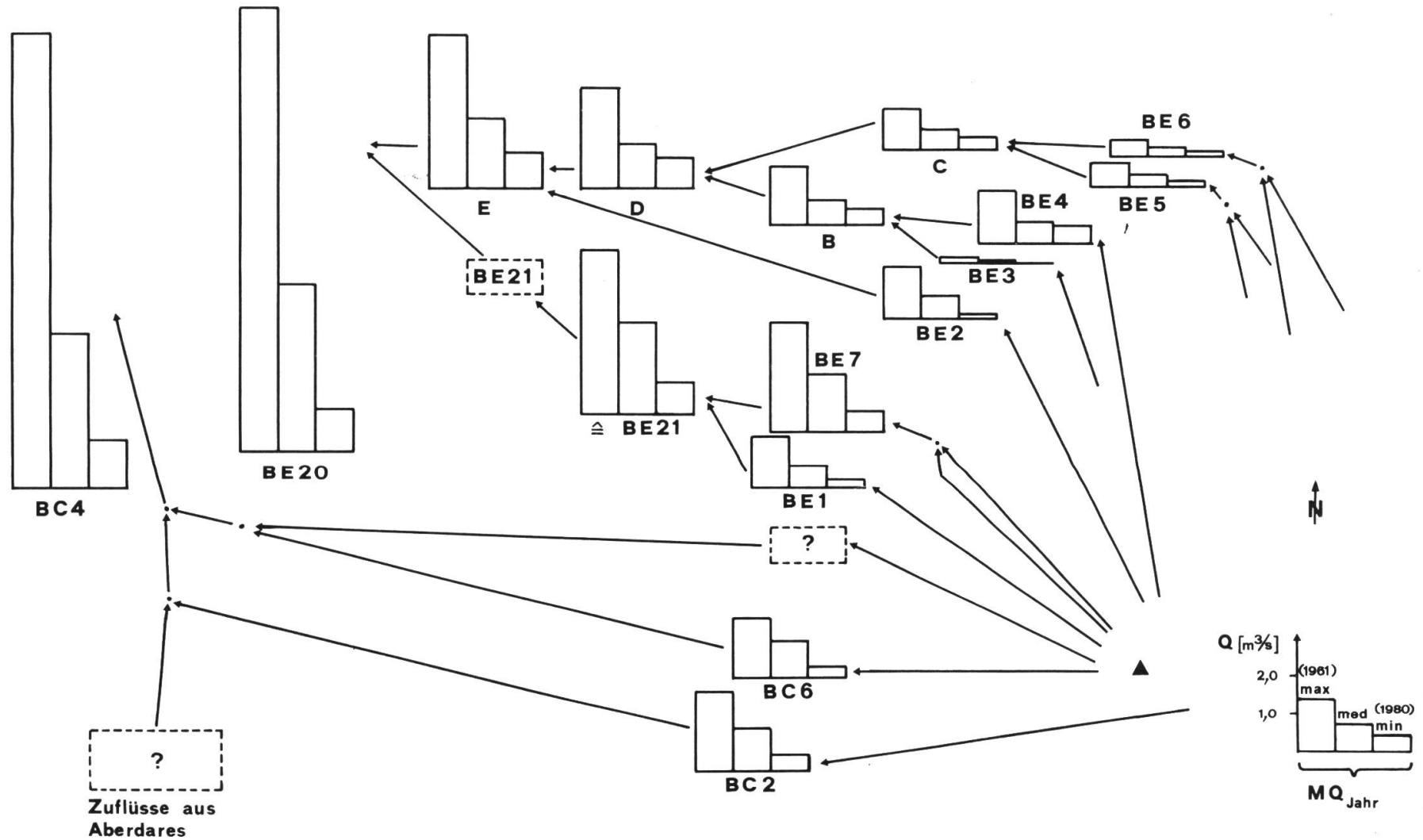


Abbildung 7: Periodenwerte des Abflusses und ihre Lage im Gelände (halbschematisch).

BC 2 usw. = Bezeichnungen der Abflussmessstationen. B, C, D, E: Laufabschnitte zwischen Zusammenflüssen ohne eigene Messstellen (berechnete Abflussmengen).

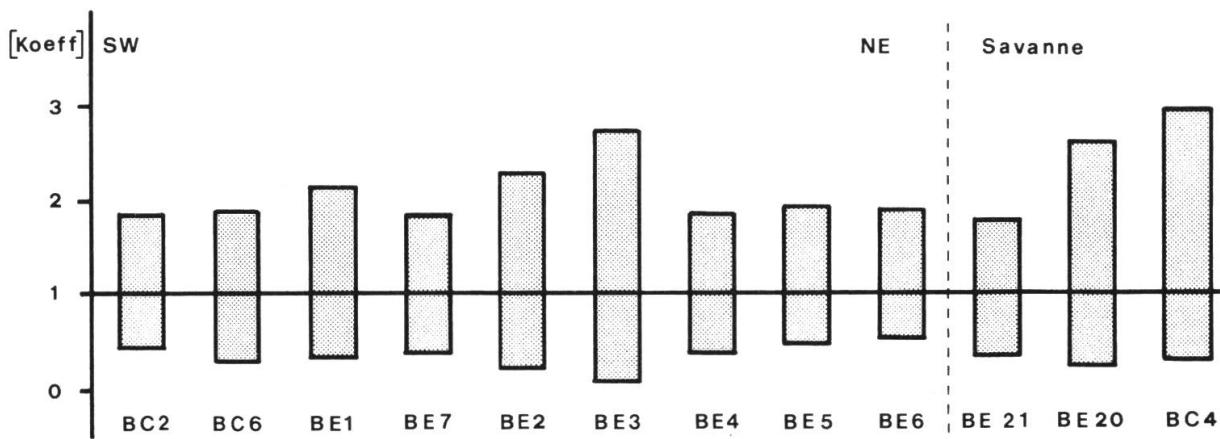


Abbildung 8: Schwankung der extremen Jahresmittel um das Periodenmittel des Abflusses. Die Stationen BC 2 bis BE 6 liegen von SW nach NE auf dem Profil entlang der Strasse Naro Moru–Timau (vgl. Abb. 3).

Gesamthaft besteht keine Beziehung zwischen der Einzugsgebietsgrösse und den Schwankungen der langjährigen Abflüsse. Immerhin weisen aber doch die Bergfussstationen mit den kleineren Einzugsgebieten ein ausgeglicheneres Abflussverhalten auf als die «Savannenstationen». Diese auf den ersten Blick erstaunliche Tatsache erklärt sich mit den besonderen Verhältnissen der regelmässigeren Niederschlägen in den Quellgebieten am Mount Kenya als im Savannenvorland. Die gleiche Erklärung gilt für die wiederum erstaunliche Tatsache der positiv proportionalen Abhängigkeit der Abflussschwankungen zur mittleren Wasserführung und somit zur Lauflänge (Ausnahmen: Ontulili-BE2 und Kongoni-BE3). Während wir aus humiden Gebieten gewöhnt sind, dass die Flüsse mit zunehmender Lauflänge eine zunehmend ausgeglichene Wasserführung aufweisen, finden wir hier das Gegenteil.

Die Schwankungen der extremen Jahresmittel um die Periodenmittel (Abb. 8) lässt einen Schluss auf eine regionale Differenzierung der Abflüsse zu. Vom Naro Moru-River-BC2 im Südwesten bis zum Kongoni-River-BE3 im Nordosten nehmen die Abflussschwankungen generell zu. Eine Ausnahme bildet der Liki-River-BE7. Die Abflüsse vom Sirimon-River-BE4 bis Timau-River-BE6 verhalten sich sehr ausgeglichen. Die grössten Schwankungen weisen die Gesamtabflüsse am Nanyuki-River-BE20 und am Uaso Nyiro-BC4 auf. Die Ursachen, wohl Ursachengefüge, sind noch nicht geklärt.

Neben den bisher verwendeten Mittelwerten geben auch die Hauptzahlen des Abflusses einen guten Überblick der einzelnen Gerinneabflüsse (Tab. 2). Das HHQ ist definiert als der höchste gemessene Tagesabfluss an der betreffenden Station in der Messperiode. Er wird auf der Grundlage der jährlichen Höchstwasserwerte (HQ) definiert (Abb. 9). Die Qualität dieser HQ-Daten ist relativ schlecht, da nicht alle auf die gleiche Weise zustandekommen. Bei der Station Ontulili-BE2 wird der Tageswert durch 1 Pegelablesung pro Tag bestimmt, bei den Stationen Nanyuki-BE20 und 21 durch 1 Ablesung alle 2 Tage und bei der Station Uaso Nyiro-BC4 durch das aus der Recorder-Aufzeichnung berechnete Tagesmittel. Die übrigen Pegel werden zweimal pro Tag abgelesen. Die HQ-Werte entsprechen somit kaum je den jeweils effektiv abgeflossenen Spitzenwerten. Da die HQ-Werte über die gesamte Messperiode berücksichtigt werden, entspricht der grösste gemessene Abfluss hier



Abbildung 9: Der Uaso Nyiro bei Hochwasserabfluss im März 1979.

gleichzeitig dem Höchst-Hochwasser (HHQ). Die MHQ-Werte sind definiert als das arithmetische Mittel der 21 HQ-Jahres-Höchstwerte in der Messperiode.

Tabelle 2: Hauptzahlen des Abflusses in ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Definitionen und Interpretationen siehe Fliesstext.

	BC2	BC4	BC6*	BE1	BE2	BE3	BE4	BE5	BE6	BE7	BE20	BE21**
HQ $\triangleq$ HHQ	27.9	141	25.7	23.6	14.3	2.11	29.7	6.58	3.98	298	193	217
MHQ	14.1	40.9	9.75	10.3	6.23	0.554	11.3	0.976	1.05	26.4	45.6	51.3
MQ	1.15	4.13	0.939	0.679	0.615	0.064	0.595	0.322	0.253	1.57	4.54	2.37
MNQ	0.233	0.463	0.170	0.083	0.100	0.006	0.102	0.182	0.162	0.271	0.698	0.325
NQ=NNQ	0.107	0.118	0.024	0.008	0.013	0.001	0.054	0.089	0.079	0.008	0.279	0.126

\* ohne Werte 1974–77

\*\* ohne Werte 1960–64

Die Niedrigwasser-Werte (NNQ, NQ, MNQ) sind gleich definiert wie die Hochwasserwerte, sinngemäss bezogen auf das Niedrigwasser. Die Qualität der NQ-Werte ist wesentlich besser als diejenigen der HQ-Werte, weil sich bei den viel ausgeglicheneren Tagesganglinien des Niedrigwassers die unterschiedlichen Bestimmungsarten bedeutend schwächer auswirken. T. MÖRI [1982] rechnet mit maximal 5% Fehler gegenüber max. 30% bei den HQ-Werten.

Die mittleren Hochwassermengen (MHQ) liegen  $9\text{--}22\times$  höher als die Periodenmittel an den einzelnen Stationen. Ein eigenes Verhalten zeigen dabei die Abflüsse Teleswani-BE5, Timau-BE6 und Nanyuki-BE20 mit den Faktoren 3–4. Bei den mittleren Niedrigwasserabflüssen ergibt sich das gleiche Bild: die Flüsse Teleswani-BE5 und Timau-BE6 liegen mit 57–64% mittlerem Niedrigwasserabfluss weit ab von der Streuung aller übrigen, die zwischen 6–20% des Mittelwassers liegt. Die Extremwerte (HHQ, NNQ) schwanken naturgemäss sehr stark.

## 6. Die Abflussspenden (Periode 1960–80)

Die Abflussspenden ( $\text{l/s}\cdot\text{km}^2$ ) erlauben einen Überblick über die in den Einzugsgebieten zur Verfügung stehenden Wassermengen. Der Maximalwert des Naro Moru-River-Einzugsgebietes liegt mit knapp  $14 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  über dem des (tropischen) Wertes des Kongo, die Minimalwerte der Savannengebiete,  $1\text{--}2 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ , liegen bereits in der Grössenordnung derjenigen der Trockengebiete (Beispiel Nil). Auf kurze Distanz vom Mount Kenya-Hang ins Vorland der Savanne hinaus ist demnach eine drastische Abnahme des Wasserangebotes zu verzeichnen.

Der spezifische Abfluss ist in der Abbildung 10 in 7 Klassen von  $< 2$  bis  $> 12 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  gruppiert. Generell ist eine Abnahme von SW nach NE im Untersuchungsgebiet zu verzeichnen, wobei jedoch relativ grosse Unregelmässigkeiten vorkommen. Der Naro Moru-River liegt noch im Bereich der regenbringenden Winde aus SE. Die drei nachfolgenden Einzugsgebiete Burguret-, Nanyuki- und Liki-River liegen mit  $8\text{--}10 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  bereits stärker im Regenschatten des Mount Kenya. Im anschliessenden Einzugsgebiet des Ontulili-Rivers stehen pro  $\text{km}^2$  wieder  $10\text{--}12 \text{ l/s}$  zur Verfügung. Eine relative Trockeninsel bildet das Gebiet des Kongoni-Rivers ( $4\text{--}6 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ ), während die nw anschliessenden Sirimon- und Teleswani-River mit  $8\text{--}10 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  sich wieder als wasserreicher entpuppen. Eine geringe Spende von nur knapp  $4 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$  bringt der Timau-River im äussersten NW des Untersuchungsgebietes. Die Savannengebiete bringen pro  $\text{km}^2$  durchwegs nur noch Spenden  $< 2 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$ .

Vor der Interpretation dieser Werte werfen wir einen Blick auf die Verteilung und Grössen der Abflussspenden im abflussärmsten Jahr der Periode 1960–80. Mit zwei Ausnahmen (Sirimon und Timau) wurden die niedrigsten Jahresabflüsse in allen Einzugsgebieten im Jahre 1980 verzeichnet. In extremen Trockenjahren steht nur rund 10–15% an Wasser des langjährigen Mittels zur Verfügung.

Die Spenden der niedrigsten mittleren Jahresabflüsse der Periode 1960–80 in den Einzugsgebieten sind ebenfalls in 7 Klassen von  $< 0$  bis  $> 5$  eingeteilt (Abb. 11). Generell ergibt sich kein wesentlich anderes Bild als bei den mittleren Periodenabflüssen. Die drei nordwestlichsten Einzugsgebiete weisen aber im Niedrigwasserbereich relativ höhere Abflüsse auf. Wasserwirtschaftlich bedeutet dies eine günstige Voraussetzung für die Nutzung.

Im Savannenvorland (Abb. 12) stehen in Trockenzeiten in den einzelnen Einzugsgebieten unterschiedlichere Wassermengen zur Verfügung als im langjährigen Mittel.

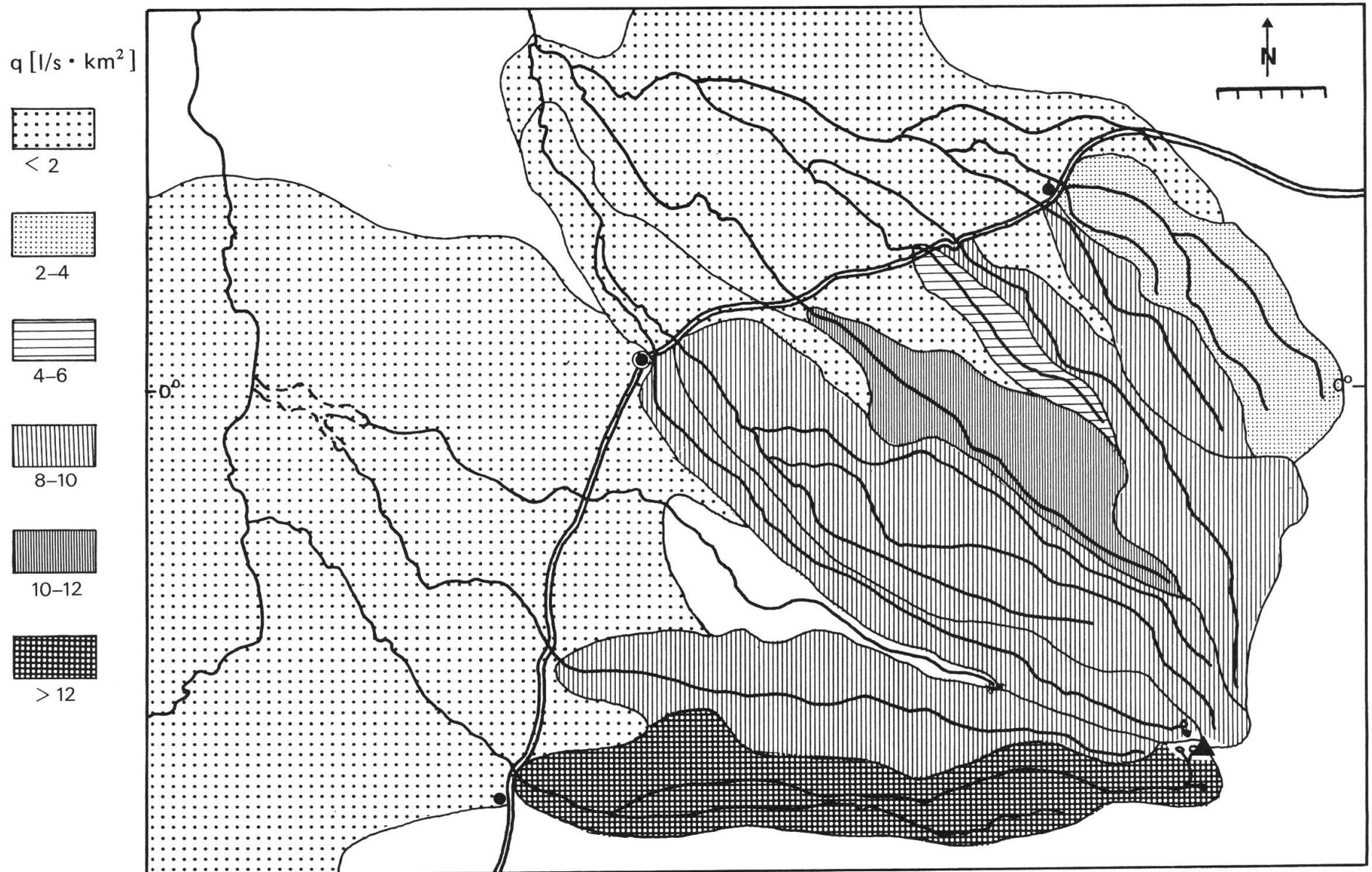


Abbildung 10: Abflussspenden des mittleren Abflusses der Periode 1960–1980.  
Die Spenden sind als Mittelwert über das gesamte jeweilige Einzugsgebiet angegeben. Die Klasse 6–8 l/s.km<sup>2</sup> fehlt. Flussbezeichnungen s. Abb. 3.

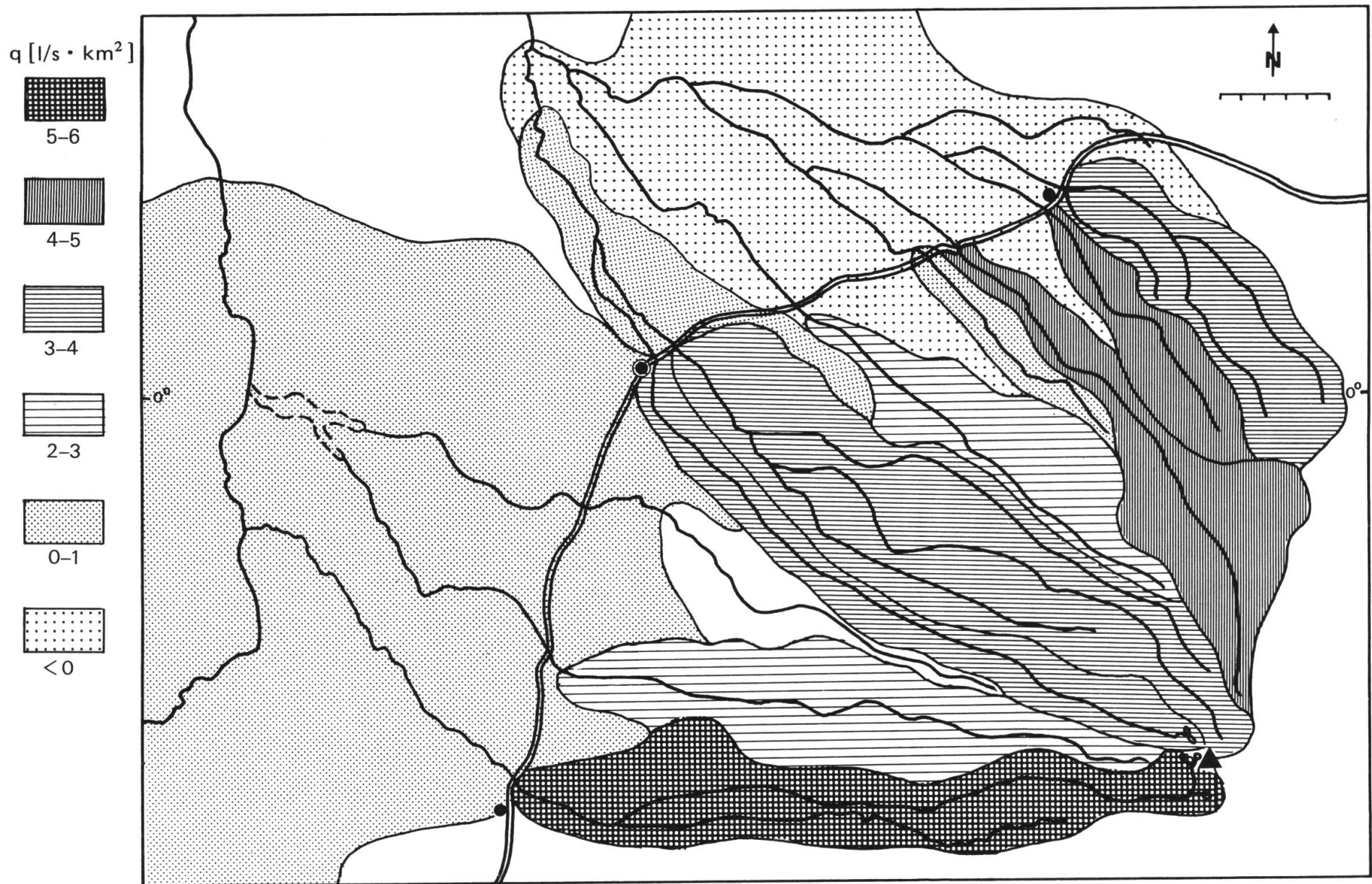


Abbildung 11: Abflussspenden der minimalen mittleren Jahresabflüsse aus der Messperiode 1960–1980.

Die Klasse < 0 l/s.km<sup>2</sup> bedeutet, dass in diesem Teileinzugsgebiet mehr Wasser durch Verdunstung, Versickerung und Entnahmen verbraucht wird als in diesem Gebiet in Trockenzeiten durch Niederschlag eingetragen wird. Die Klasse 1–2 l/s.km<sup>2</sup> ist nicht vertreten. Flussbezeichnungen s. Abb. 3.



*Abbildung 12:* Blick aus dem Bereich der oberen Waldgrenze auf das Savannen-Vorland (helle Flächen). Die dunklen Bänder darin markieren die Galeriewald-Vegetation entlang der vom Mt. Kenya abfließenden Flüsse.

Der Naro Moru-River vermag seine Stellung als wasserreichstes Einzugsgebiet mit knapp  $6 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ , entsprechend 43 % des Periodenmittels, auch in trockenen Jahren zu halten. Der Burguret-River fällt mit  $2\text{--}3 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  bereits in die Mittelklasse. Nanyuki- und Liki-River bringen mit  $3\text{--}4 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  etwas mehr. Das Ontulili-Einzugsgebiet ist gegenüber den mittleren Abflüssen auch relativ trockener geworden, und der anschliessende Kongoni-River bringt nur noch minimale Spenden von  $0\text{--}1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ . Erstaunlich hohe minimale Spenden weisen die Gebiete des Sirimon- und des Teleswani-Rivers ( $4\text{--}5 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ ) auf. Auch der Timau-River liegt mit  $3\text{--}4 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  hoch.

In Teileinzugsgebiet des Nanyuki-Rivers-BE21 herrschen mit  $0\text{--}1 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$  ebenso wie im Teileinzugsgebiet des Uaso Nyiro-BC4 noch einigermaßen günstige Niedrigwasserspendsen in Trockenzeiten. Hingegen erscheint nun das Teileinzugsgebiet des Nanyuki-Rivers-BE20 als «Zehrgebiet». Während im Mittel noch Überschusswasser aus den am Mount Kenya gelegenen Einzugsgebieten vorhanden ist, wird dieser Überschuss in trockenen Jahren in der Savanne «aufgebraucht». Rechnerisch resultiert pro Flächeneinheit ein negativer spezifischer Abfluss. Der «Verbrauch» an Wasser übersteigt also die im Teileinzugsgebiet (autochthon) gebildeten Wassermengen.

Mit den bis jetzt vorliegenden Resultaten und Kenntnissen ist es noch zu früh, die Ursachen des Abflussverhaltens mit einiger Sicherheit darlegen zu wollen. Insbesondere müssen zuerst noch die hydrometeorologischen Steuerfaktoren Niederschlag und Verdunstung analysiert und die stabilen Einzugsgebietsfaktoren näher

bekannt sein. Eine wichtige Rolle scheint dabei auch der Höhenlage der Quellwurzeln der Flüsse am Mount Kenya zuzukommen (vgl. Abb. 2). Diese entscheidet über den Anteil an Wasser aus der Gipfelregion des Mount Kenya.

Neben diesen natürlichen Ursachen ist auf Grund der Resultatlage auch die künstliche Ursache systematischer Messfehler bei den Wasserstandsmessungen nicht ganz von der Hand zu weisen. Allerdings sind die Fehler im Niedrigwasserbereich nach T. MÖRI [1982], der sich bei der Datenaufarbeitung mit dieser Frage eingehend auseinandergesetzt hat, mit 5 bis 0% gering.

## **7. Die Dauerkurven des Abflusses 1960–80**

Die Dauerkurven sind besonders für die Beurteilung der wasserwirtschaftlichen Aspekte des Gerinneabflusses von Bedeutung. Die hier präsentierten Dauerkurven der Periodenmittel und des Trockenjahres 1980 sind dann auch in erster Linie als Datendokumentation gedacht (Abb. 13 und 14). Sie ermöglichen den direkten Zugriff zu wasserwirtschaftlich entscheidenden Grössen bei der Planung von Wasserversorgungs- oder Bewässerungsprojekten. Von der Veröffentlichung der Dauerkurve des bisher abflussreichsten Jahres 1961 wurde abgesehen, weil einerseits Hochwasserschutz-Projekte nicht in nächster Zukunft im Vordergrund stehen und andererseits die Extremabfluss-Daten im Hochwasserbereich einige Unsicherheiten aufweisen.

Die Dauerkurven enthalten sämtliche Tageswerte und geben so eine detaillierte Information. Obgleich ein direkter Vergleich der Kurven infolge der unterschiedlichen Ordinatenmassstäbe nicht möglich ist, können doch aufgrund des abweichenden Verlaufes der Dauerkurven die Abflüsse des Kongoni, Teleswani und Timau als verschieden von den übrigen eingestuft werden. Die drei Flösschen weisen einen ausgeprägt ausgeglichenen Abfluss auf. Es weist dies auf einen sehr gut ausgebildeten und ausgedehnten Wasserspeicher in den Einzugsgebieten hin.

Im allgemeinen sind die Abflüsse im langjährigen Mittel doch relativ ausgeglichen. Die Dauerkurven zeigen, dass nur an etwa 60 Tagen pro Jahr die einzelnen Tagesabflüsse stark ansteigen. Im Niedrigwasserbereich ab etwa 180 bis 365 Tagen konvergieren die Dauerkurven sehr stark. Bei unterdurchschnittlichen Abflüssen stehen somit in den einzelnen Gerinnen ähnliche Grössenordnungen an Wasser zur Verfügung.

Interessant ist auch die Tatsache, dass die Niedrigwasserabflüsse im Mittel während rund 160 Tagen der Periode oft ähnliche Wassermengen aufweisen wie diejenigen des Trockenjahres 1980. Ein Sonderfall stellt hier der Abfluss Sirimon BE4 dar. An rund 180 Tagen liegt der Periodenwert der mittleren und geringen Abflüsse sogar unter demjenigen des Trockenjahres 1981. Eine Erklärung dafür kann im jetzigen Zeitpunkt nicht gegeben werden.

Deutlich bis sehr deutlich abgehoben von den Werten 1980 sind die Periodenwerte bei den Stationen Teleswani-BE5 und Timau-BE6. Die beiden Dauerkurven zeigen, dass in trockeneren Zeiten in diesen Flussgebieten gesamthaft doch wesentlich weniger Wasser zur Verfügung steht als im langjährigen Mittel. Dies bei grosser Konstanz in Zeiten von Trockenheit. Im Trockenjahr 1980 blieb der Abfluss während 330–340 Tagen praktisch stabil.

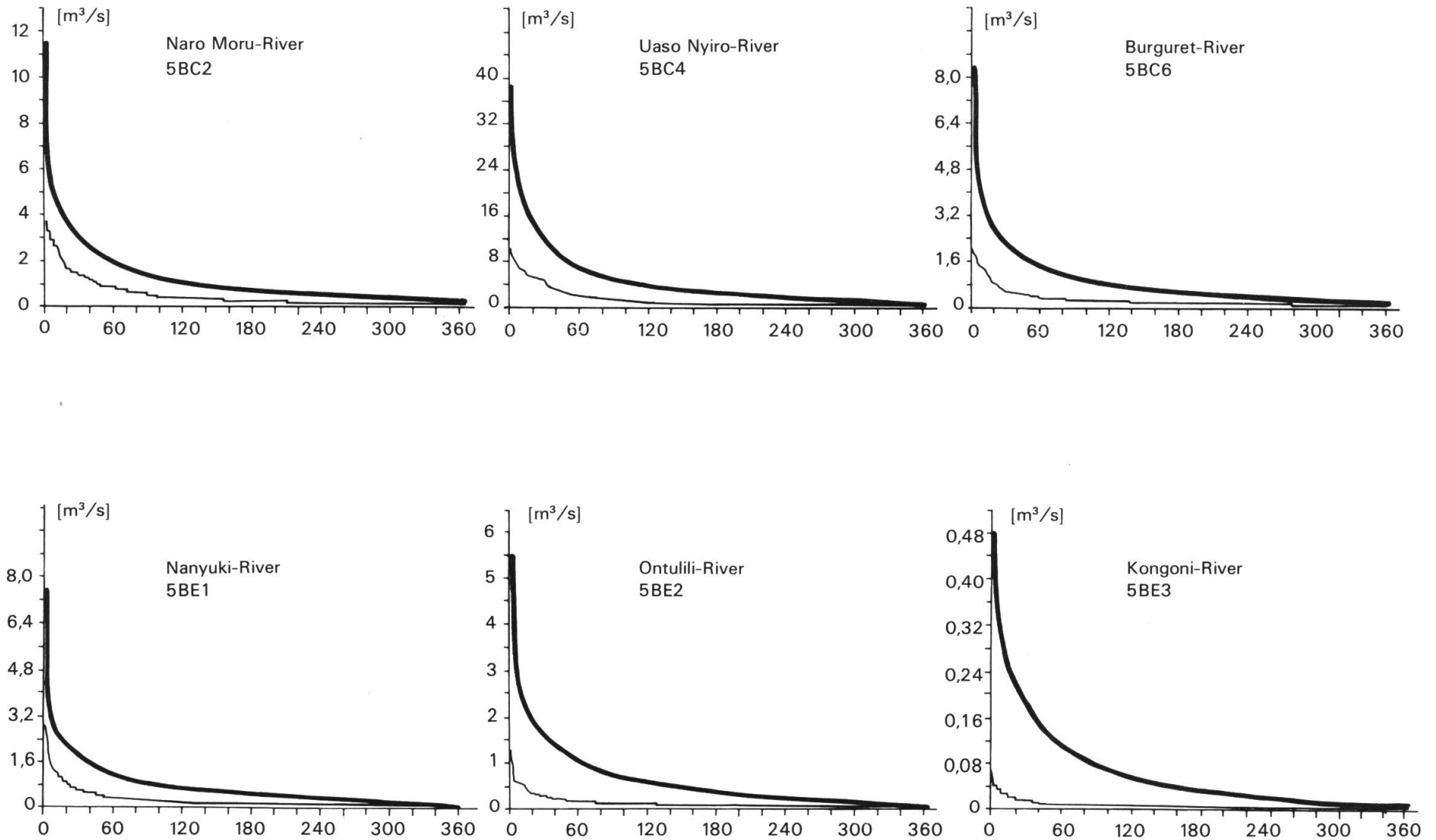


Abbildung 13: Dauerkurven des Abflusses. ——— Periode 1960–1980. ——— Trockenjahr 1980.  
 Aus der Dauerkurve kann herausgelesen werden an wievielen Tagen im Jahr ein bestimmter Abflusswert erreicht oder überschritten wird.

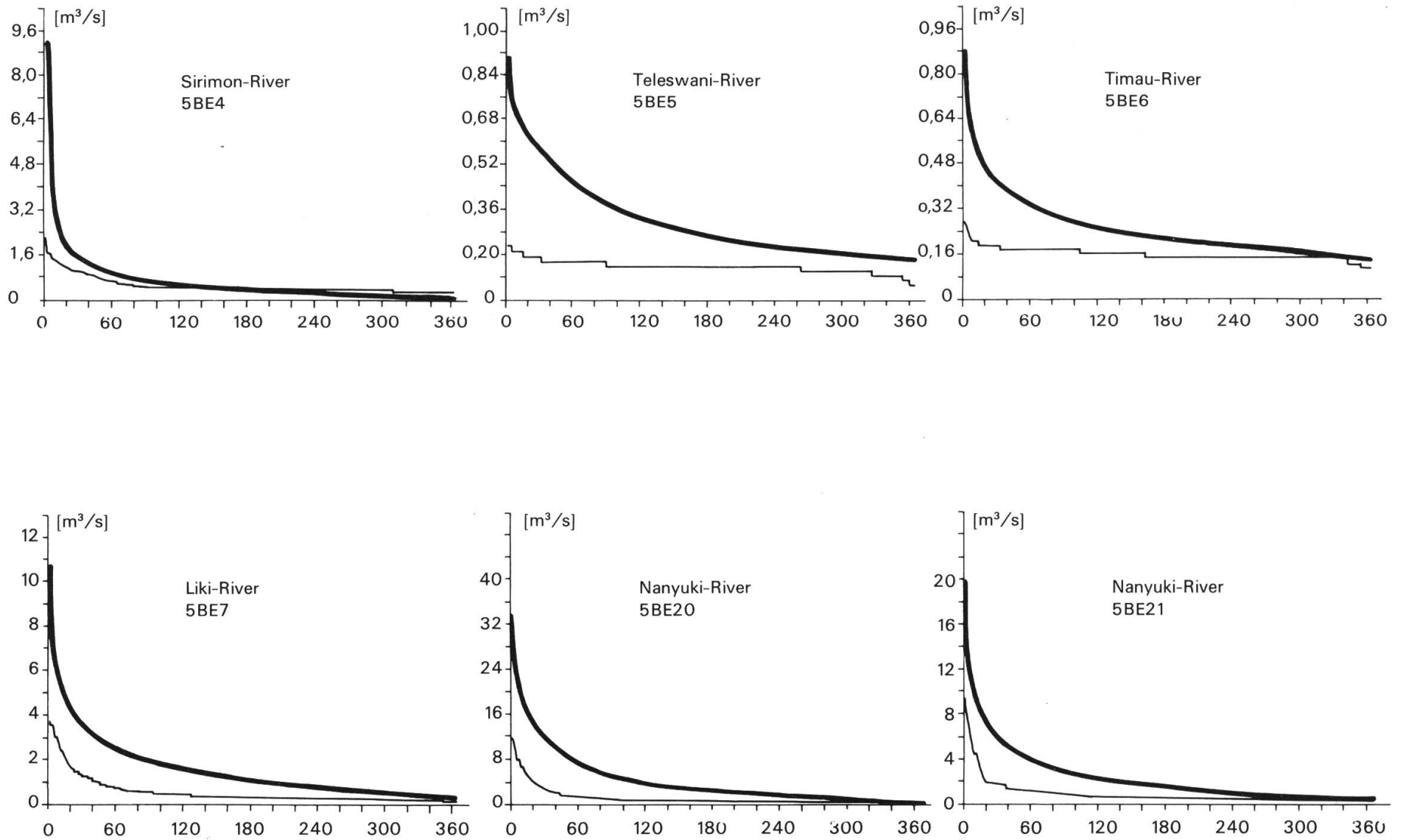


Abbildung 14: Dauerkurven des Abflusses ——— Periode 1960–1980, ——— Trockenjahr 1980.

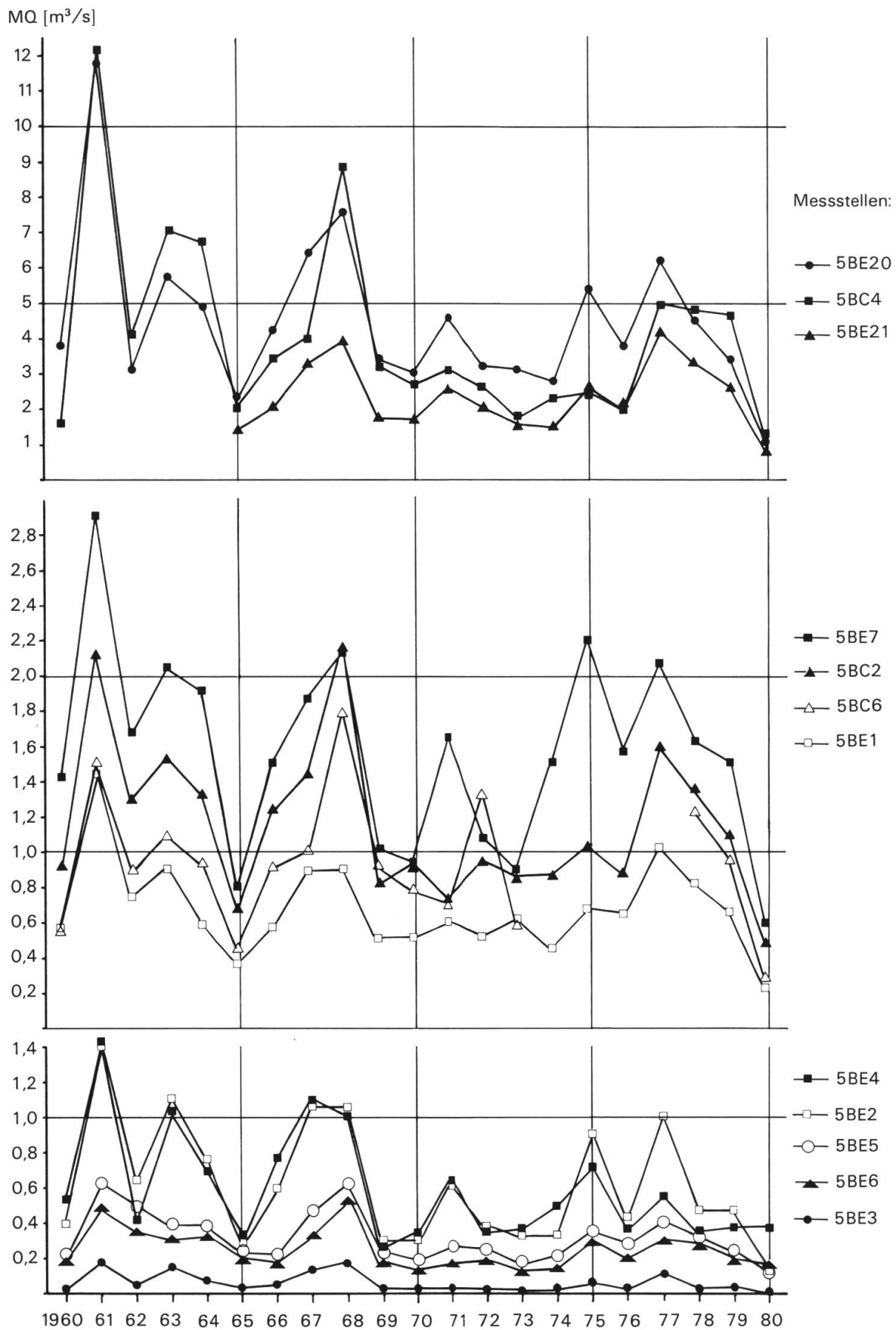


Abbildung 15: Die Ganglinien der mittleren Jahresabflüsse in der Periode 1960–1980.

## 8. Die Jahreswerte 1960–80

Bei der Betrachtung der mittleren Jahresabflüsse über die Untersuchungsperiode fallen zwei Eigenschaften auf. Einmal eine gewisse Gleichartigkeit des Verlaufes mit einer Abfolge von Perioden höheren und niedrigeren Abflusses, zum anderen eine gesamthaft fallende Tendenz der Abflüsse (Abb. 15).

In den Anfang der Messperioden fällt der maximale mittlere Jahresabfluss bei allen Stationen im Jahre 1961. Aus Kenia sind aus diesem Jahre verheerende Hochwasser bekannt. Einheitliche Spitzenwerte an allen Stationen, wenn auch im Ausmass geringer, treten weiter in den Jahren 1968, 1975 und 1977 auf. Nicht ganz an allen Stationen werden in den ebenfalls wasserreichen Jahren 1963 und 1971 Spitzenwerte erreicht. Ein wesentlich uneinheitlicheres Bild ergibt sich in den trockenen Jahren. Die einzelnen Flussgebiete reagieren verschiedenartiger. Immerhin liegt das Jahr des minimalen mittleren Jahresabflusses nur bei zwei Flüssen (Timau und Sirimon) nicht im Jahre 1980.

Gesamthaft stehen 84 «Nassjahre» 125 «Trockenjahre» gegenüber. Die datenmässig unvollständigen Stationen Burguret-BC6 und Nanyuki-BE21 sind nicht mitgezählt. Nass- und Trockenjahre sind definiert als Über- und Unterschreitung des Periodenmittels durch den mittleren Jahresabfluss der betreffenden Stationen. Die ungleiche Verteilung zeigt, dass die nassen, niederschlagsreichen Jahre übergeordnet viel zum Abfluss beitragen.

Die Ganglinien der Jahreswerte weisen in der Untersuchungsperiode allgemein eine fallende Tendenz auf.

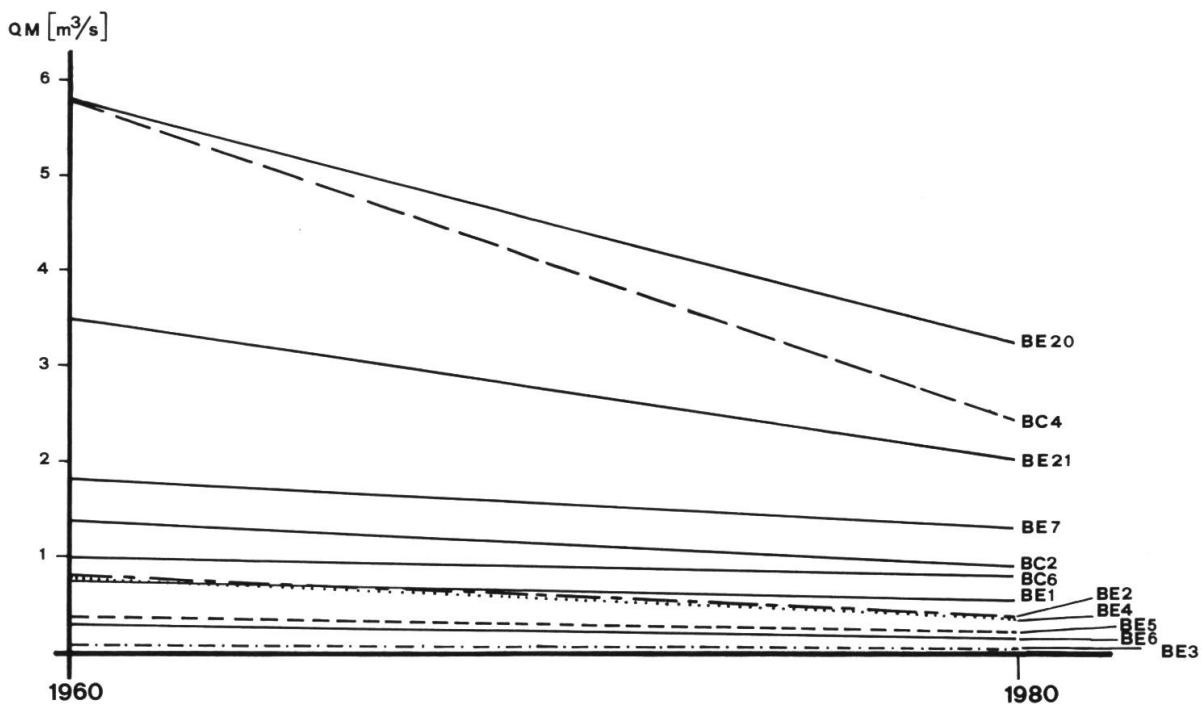


Abbildung 16: Regressionsgeraden der jährlichen Mittelwasserabflüsse ( $QM_y$ ) in der Periode 1960–1980. Gesamthaft ist eine fallende Tendenz der Abflussmengen in der Messperiode vorhanden.

Über die lineare Regression wurden für die einzelnen Stationen die Ausgleichsgeraden ermittelt und für die Randjahre der Periode die linearen Schätzwerte berechnet (Tab. 3). Die Schätzwerte für das Jahr 1960 liegen durchwegs höher als jene für 1980. Der Regressionskoeffizient [m] als Mass für die Steigung der Ausgleichsgeraden ist deshalb negativ. Er gibt die mittlere jährliche Änderung des Abflusses, in diesem Fall die Abnahme, an. Die graphische Darstellung dieser Sachverhalte in Abbildung 16 zeigt, dass drei Flüsse einen ausgeprägten Rückgang des Abflusses aufweisen, während die übrigen relativ konstant bleiben. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass auch bei m-Werten von nur 0,01 die Abflussabnahme in 20 Jahren bei 200 l/s liegt. Und dies ist eine Wassermenge, die in den trockenen Gebieten Ostafrikas einen ungleich grösseren Wert besitzt als in humiden Gebieten.

Die starken Regressionen liegen bezeichnenderweise im Savannenvorland, während an den bergnahen Stationen die Unterschiede generell um eine Zehnerpotenz geringer sind.

Unabhängig vom Steigungsmass [m] liegen die Korrelationskoeffizienten [r] mit einer Ausnahme in der gleichen Grössenordnung. Nur die 6 höchsten Werte ( $r \geq 0,37$ ) liegen über dem statistischen Signifikanzniveau von 10%.

Die statistische Unsicherheit darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Abflüsse im Untersuchungsgebiet zwischen 1960 und 1980 abgenommen haben, wie dies die Abbildung 16 zeigt. Die grosse Trockenperiode, die zur Sahelkrise geführt hat, ist auch in den hier untersuchten Abflüssen zu erkennen. Auf einen Trend über die Untersuchungsperiode hinaus in die nähere oder weitere Zukunft hinein darf aus diesen Daten nicht geschlossen werden.

*Tabelle 3:* Über lineare Regressionen berechnete «Trends» der mittleren Jahresabflüsse in der Periode 1960–80. Die Steigung der Regressionsgeraden entspricht der mittleren jährlichen Änderung des Abflusses in [m<sup>3</sup>/s]. r = Korrelationskoeffizient.

	Schätzwert 1960 [m <sup>3</sup> /s] 1980		Steigung der Regressions- geraden [m]	[r]
5BC2	1.40	0.91	−0.02	−0.35
5BC4	5.80	2.47	−0.17	−0.39
5BC6	1.02	0.83	−0.01	−0.16
5BE1	0.79	0.57	−0.01	−0.27
5BE2	0.82	0.41	−0.02	−0.37
5BE3	0.10	0.03	−0.003	−0.38
5BE4	0.83	0.37	−0.02	−0.46
5BE5	0.41	0.24	−0.01	−0.39
5BE6	0.31	0.19	−0.01	−0.37
5BE7	1.83	1.31	−0.03	−0.29
5BE20	5.84	3.25	−0.13	−0.35
5BE21	3.28	2.05	−0.06	−0.30

Die interessante, wasserwirtschaftlich auch bedenkliche Abnahme der mittleren Jahresabflussmengen zwischen 1960 und 1980 wurde für das Niedrigwasser in gleicher Weise wie für das Mittelwasser untersucht. Dies, weil für die Nutzung die minimalen Wassermengen von besonderer Bedeutung sind. Als Messbezugsgrösse wurde das NQ<sup>95</sup> herangezogen. Dieser Wert ist in der Dauerkurve bestimmt als die

Abflussmenge, die in 95% der Fälle (347 Tage/Jahr) erreicht oder überschritten wird. Damit werden extreme kurzfristige Niedrigwasserabflüsse ausgeklammert.

Bei geringer oder fehlender Korrelation unter der Signifikanzschwelle für linearen Zusammenhang kann nicht von einer Tendenz der Zu- oder Abnahme der Niedrigwasserabflüsse gesprochen werden. Das Resultat deutet darauf hin, dass im langjährigen Geschehen der Niedrigwasserabfluss zeitunabhängig ist. Die Niedrigwasserabflüsse scheinen somit gegenüber dem Mittelwasserabfluss wesentlich stabiler zu sein.

Zieht man den Variationskoeffizienten (Tab. 4) als Beurteilungskriterium für die Streuung der NQ<sup>95</sup>-Werte heran, zeigt sich eine Verteilung zwischen 22–57%, mit einer Ausnahme (108%). Die Niedrigwasserabflüsse erfolgen sehr gleichmässig. Die Beurteilung und Planung wasserwirtschaftlicher Fragen wird damit erleichtert. Die einheitliche Reaktion deutet an, dass die Speichereigenschaften des Grundwasserträgers in den Einzugsgebieten südöstlich der Hauptstrasse ähnlich sind.

Tabelle 4: Variationskoeffizienten der jährlichen NQ<sup>95</sup>-Werte der Periode 1960–80.  $V_y (\%) = \frac{s}{x} \cdot 100$

V <sub>y</sub> [%]	Messstation
20–30	BC2, BE5, 6
30–40	BC6
40–50	BE4, BE7
50–60	BC4, BE1, 2, 21
> 60	BE3

## 9. Die Monatswerte der einzelnen Stationen im langjährigen Geschehen

Die Abflussregime der Mount Kenya-Region zeigen einen zweigipfligen Verlauf (Abb. 17). Sie gehören damit nach R. KELLER [1961] zu den komplexen Regimes I. Grades. Sie sind vom Typ des äquatorialen Abflussregimes mit zwei Regenzeiten und zwei Trockenzeiten im Jahresverlauf. Das Regime folgt somit dem Niederschlagsgeschehen dieser Zone als der Hauptsteuergrösse.

Eigentlich haben wir es mit einem einfachen Regime in symmetrischer Anordnung zu tun, da nur eine Ursache, eben der Niederschlag, den Abflussgang steuert. Die Maxima des Abflusses liegen exakt 6 Monate auseinander und folgen damit streng dem Sonnenstand in diesem unter dem Äquator gelegenen Untersuchungsgebiet.

G. BRENKEN [1959] reiht zwar die ostafrikanischen Gebiete östlich des Viktoriassees in seiner globalen Klassifikation in die «subtropische Klimazone des Wasserhaushaltes» mit nur einer Abflussspitze, gleich jenen aus Trockengebieten und Randtropen, ein. Die Klassierung gilt mindestens für die hier untersuchten Abflüsse aus dem Mount Kenya nicht. Vielmehr gleicht das Abflussregime demjenigen des tropischen Kongogebietes.

Sowohl der Regime-Verlauf wie auch die Regime-Koeffizienten zeigen Gruppen von Abflüssen mit verschiedenen aber in sich einheitlichem Regime. Einen ähnlichen Verlauf bei Koeffizienten im Maximalbereich zeigen in der Periode 1960–80 die Abflüsse des Liki-, Ontulili-, Kongoni-, Sirimon- und des Nanyuki-Rivers.

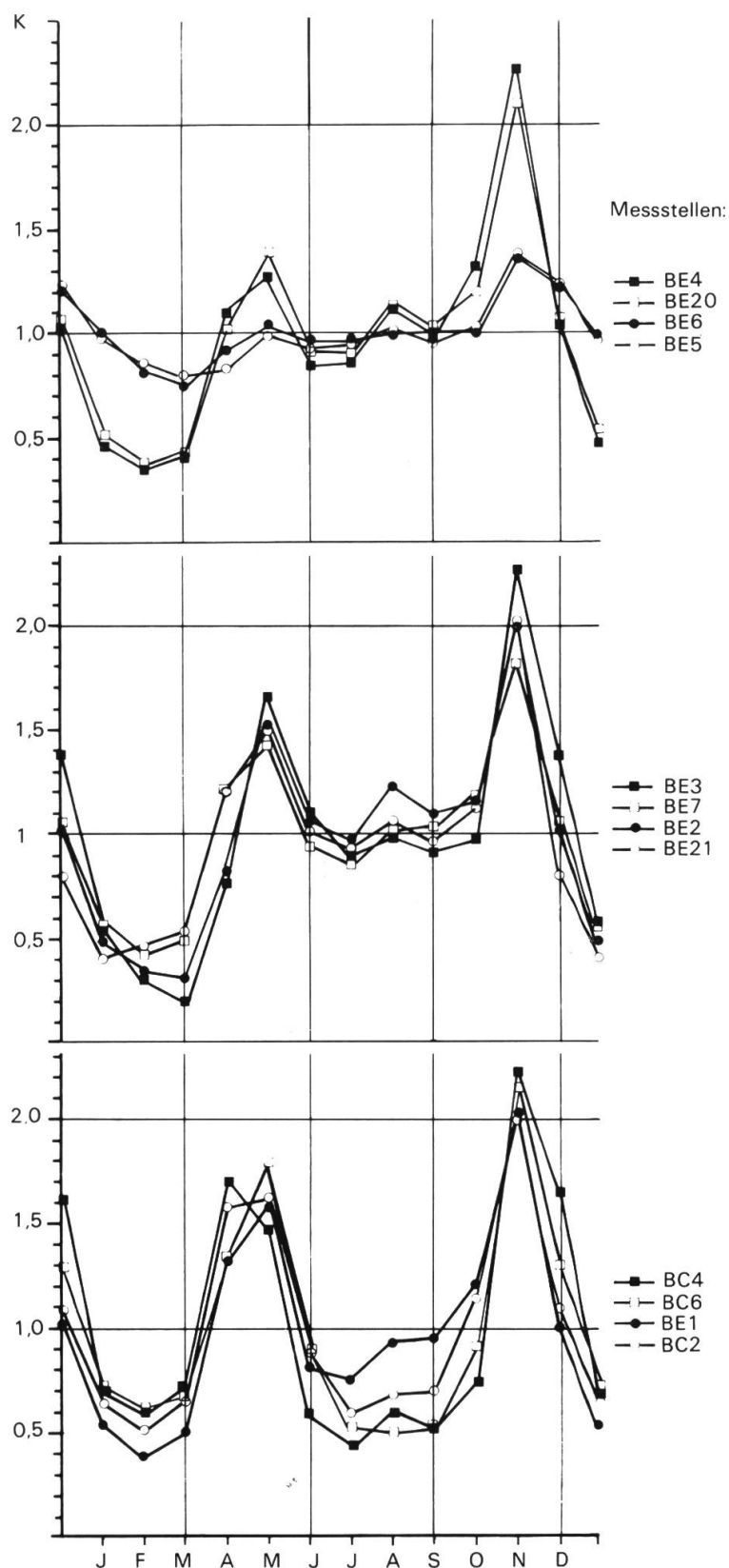


Abbildung 17: Die Abflussregime im Jahresverlauf der Messperiode 1960–1980.

$K = \text{Abflussregime-Koeffizient} \frac{\text{mittlerer Monatsabfluss}}{\text{mittlerer Jahresabfluss}}$  der Periode.

Die maximalen Koeffizientenwerte im Mai und November markieren die beiden Regenzeiten in diesem Gebiet.

Ebenfalls hohe Koeffizienten (0,38–2,27), jedoch mit einer ausgeprägten zweiten «Trockenperiode» vom Juni bis September (Koeff.  $< 1$ ), weisen Naro Moru-, Burguret- und der Uaso Nyiro-River auf. An dieser Station tritt das Frühlingsmaximum bereits im April, nicht wie bei allen übrigen im Mai, auf.

Ein stark abweichendes Verhalten bezüglich der Schwankungen mit Koeffizienten von 0,76–1,38 zeigen die nordöstlichen Abflüsse aus dem Teleswani- und Timau-Gebiet.

## **10. Zusammenfassung und Ausblick**

Das vorliegende Datenmaterial aus dem tropischen Raum des Mount Kenya stellt nicht nur regionalhydrologisch, sondern auch wissenschaftlich ein überaus wertvolles Datenmaterial dar. Von 12 Abflussmessstationen wurde die 21jährige Reihe 1960–80 bearbeitet und bezüglich langjährigen Mittel- und Extremwerten, Abflussspenden, Dauerlinienwerten, Trends und Regimes ausgewertet. Eine erste Regionalisierung der Abflüsse im Untersuchungsgebiet kann anhand dieser Kriterien vorgenommen werden. Gesamthaft zeigt sich, dass die untersuchten Abflüsse bezüglich ihrem Regime innerhalb der tropischen Zone eine Sonderstellung einnehmen. Die hier vorgenommenen ersten Interpretationen entstammen dem heutigen Wissen und werden eventuell in Zukunft noch teilweise revidiert werden müssen. Allerdings erscheinen die Grundzüge der Abflusshydrologie im Untersuchungsgebiet bereits recht deutlich. Die hydrologische Bearbeitung der Daten wird weitergeführt, sobald aus den Feldarbeiten und eigenen Messungen genügend Sicherheit zur weitergehenden Beurteilung gewonnen worden ist.

## **Dank**

Wir danken den kenianischen Behörden für die Unterstützung der Arbeit und die Überlassung der Daten, insbesondere dem «Ministry of Water Development» in Nairobi und Nanyuki, dem «Ministry of Environment and Natural Resources» und Prof. Ojani, University of Nairobi, Department of Geography. Der «Direktion für Entwicklungszusammenarbeit und humanitäre Hilfe» (DEH) danken wir für die Ausrichtung des Doktorandenstipendiums. S. Decurtins, R. Brunner und T. Möri möchte ich persönlich danken für die Einsatzfreude und Sorgfalt, mit der sie ihre Arbeiten in diesem hydrologischen Projekt ausgeführt haben und ausführen. Kollege M. Winiger danke ich ganz besonders für die Einführung im Gelände.

## **Literatur**

- BRENKEN, G. (1959): Versuch einer Klassifikation der Flüsse und Ströme der Erde nach wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten. Diss. TH Karlsruhe.
- BRUNNER, R. (1982): Hydrogeographische Kartierung nordwestlich des Mount Kenya. Diplomarbeit Uni Bern, in Vorbereitung.

- DECURTINS, S. (1982): Intermediate report concerning «The hydrogeographical basics and water resources for landuse N and W Mount Kenya»; No. 1 und 2 unveröffentlicht, Nanyuki (Kenya).
- FREI, E. (1978): Andepts in some high mountains in East Africa. *Geoderma* 21: 119–131.
- KELLER, R. (1961): *Gewässer und Wasserhaushalt des Festlandes*. Berlin.
- KOHLER, T. (1977): *Wald und Waldnutzung in Kenya – Das Beispiel des Mount Kenya*. Hausarbeit Uni Bern.
- LEIBUNDGUT, Ch. (1976): Zum Wasserhaushalt des Oberaargaus und zur hydrologischen Bedeutung des landwirtschaftlichen Wiesenbewässerungssystems im Langetental. *Beiträge zur Geologie der Schweiz-Hydrologie*, Nr. 23, Bern.
- LEIBUNDGUT, Ch. (1980): Wässermatten und Grundwasserspeisung – Hydrologische Folgen einer Nutzungsänderung. Separatdruck Jahrbuch des Oberaargaus, Herzogenbuchsee.
- LEIBUNDGUT, CH., (1982): Zur Hydrogeoökologie des Raumes Grindelwald. *Tagungsbericht 18. Deutscher Schulgeographentag*, Basel.
- MESSERLI, B. und WINIGER, M. (1980): The Saharian and East African uplands during the late Quaternary. In: Williams and Faure (Hrsg.): *The Sahara and the Nile*. Balkema, Rotterdam.
- MÖRI, T. (1982): Die täglichen Abflussmengen ausgewählter Flüsse am Mount Kenya von 1960 bis 1980. Hausarbeit Uni Bern.
- PESTALOZZI, P. (1979): *Der Agrarraum Mount Kenya – Naturräumliche und historisch bedingte Differenzierung*. Hausarbeit Uni Bern.
- SPECK, H. (1982): Soils of the Mount Kenya area, their formation, ecological, and agricultural significance (with soil map, scale 1:125 000). *Mountain Research and Development*, Vol. 2, No. 2: 201–221, Boulder (Colorado).
- WIESMANN, U. (1979): *Afroalpine und periglaziale Höhenstufen des Mount Kenya*. Hausarbeit Uni Bern.
- WINIGER, M. (1979): Bodentemperatur und Niederschlag als Indikatoren einer klimatisch-ökologischen Gliederung tropischer Hochgebirge (Beispiel Mount Kenya). *Geomethodica* 4, Basel.
- WINIGER, M. (1981): Zur thermischen Gliederung des Mount Kenya. *Erdkunde*, Bd. 35: 248–263, Bonn.