

Teilprojekt B2**Wasserverfügbarkeit und Bodendegradation**

Antragsteller	Fach
Prof. Dr. B. Diekkrüger (Koordinator) Geographisches Institut, Universität Bonn	Hydrologie
Prof. Dr. B. Reichert / Prof. Dr. J. Thein Geologisches Institut, Universität Bonn	Hydrogeologie, Sedimentgeologie, Hydrogeochemie
Prof. Dr. A. Skowronek Institut für Bodenkunde, Universität Bonn	Bodenkunde
Prof. Dr. M. Winiger, Geographisches Institut, Universität Bonn	Geographie: Klimatologie

Zusammenfassung

Das Teilprojekt B2 hat innerhalb des IMPETUS-Projektes die Aufgabe, die klimatologischen, hydrologischen, geologischen und pedologischen Prozesse zu beschreiben und zu analysieren. Ziel ist es, mittelfristig den gesamten untersuchten Raum zu charakterisieren, um die hydrologische und meteorologische Modellierung durch Beschaffung von Daten hinsichtlich Parametern und Randbedingungen und zur Validierung des Modellsystems zu ermöglichen. Dazu notwendig ist die detaillierte Analyse der Prozesse und Eigenschaften auf verschiedenen Raum- und Zeitskalen. Basierend auf den Untersuchungen entlang eines Höhen- und Ariditätsgradienten werden an verschiedenen Testflächen (siehe gesonderten Bericht) die Klimatelemente permanent erfasst. Weiterhin werden die geologischen, pedologischen und hydrologischen Eigenschaften räumlich differenziert aufgenommen, um die Prozesse an den kleinen Einzugsgebieten bzw. den kleinen Flächen zu erfassen. Diese Untersuchungen stehen in enger Verbindung mit den Arbeiten des Teilprojektes B3, mit denen gemeinsam die Testflächen ausgewählt und installiert wurden bzw. werden. Während eine der Testflächen bereits im Herbst 2000 instrumentiert werden konnte, werden die verbleibenden Testflächen in der im Augenblick stattfindenden Geländekampagne eingerichtet.

Auf größeren Skalen arbeiten die Workpackages B2-2 (Schneespeicher) und B2-5 (Grundwasser). In B2-2 wird die Verbreitung der Schneedecke und insbesondere das darin gespeicherte Wasseräquivalent erfasst. Allerdings sind auch in diesem Winter extrem geringe Mengen an Schnee im Untersuchungsgebiet gefallen, so dass bislang nur wenige Untersuchungen vorgenommen werden konnten. B2-5 untersucht auf der regionalen Skala die Wasserqualität durch eine Beprobung von Brunnen und Quellen. Eine erste Analyse zeigt einen engen Zusammenhang zwischen der geologischen Situation und den Wasserinhaltsstoffen.

Für die Beschreibung der Prozesse an den Testflächen wurde ein Modellkonzept entwickelt, welches in den nächsten Monaten realisiert wird. Dieses Modellsystem integriert Arbeiten der Teilprojekte B2 und B3 und unterstützt die meteorologischen Modellierungen auf den verschiedenen Skalen.

Im Teilprojekt B2 wurden eine Nachwuchswissenschaftler- (post-doc) und vier Doktorandenstellen beantragt. Bislang konnte die Nachwuchswissenschaftlerstelle nicht vollständig besetzt werden, da der Kandidat derzeit seine Promotion abschließt. Allerdings ist er bereits jetzt halbtags in IMPETUS tätig, so daß die Koordination und die wissenschaftliche Abstimmung innerhalb des Teilprojektes auf der Ebene der Mitarbeiter gewährleistet ist. Die Doktoranden sind, z.T. verspätet, mittlerweile eingestellt. Die Geräte sind weitgehend beschafft, obwohl auch hier auf die Zustimmung zu der Beschaffung der umgewidmeten Geräte gewartet wird.

Die im Herbst durchgeführte erste Begehung des Geländes mit den Mitarbeitern war für die Auswahl der Testflächen und die Erstellung eines kohärenten Meßkonzepts wichtig. Während der derzeit laufenden Geländekampagne werden neben der Installation der Geräte auch erste Untersuchungen zu Boden, Hydrologie und Geologie vorgenommen. Obwohl die Datenlage verglichen mit Benin relativ schlecht ist (viele Daten nur analog vorhanden, relativ schlechtes Kartenmaterial) hat sich das Konzept für das sehr heterogene Einzugsgebiet des Drâa als tragfähig erwiesen.

Die im folgenden vorgestellten ersten Ergebnisse der Workpackages verdeutlichen den aktuellen Bearbeitungsstand. Sie zeigen, daß viele einzelne Arbeiten begonnen wurden, Geräte entwickelt bzw. installiert wurden und somit die Grundlage für eine erfolgreiche Projektbearbeitung in Zukunft gelegt wurde.

Workpackage B2-1: Analyse der klimatisch-ökologischen Gradienten vom mittleren Drâatal zum Hochgebirge

und

Workpackage B2-2: Analyse des Schneespeichers im Hohen Atlas mit Hilfe von NOAA-Daten, terrestrischen Messungen und dem Snowmelt-Runoff-Modell

Aufbau der IMPETUS-Klimastationen

Der erste Feldaufenthalt im Oktober/November 2000 diente der Festlegung der Untersuchungsflächen im Transekt. Von Seiten der Bearbeiter in B2-1 und B2-2 wurde bei der Standortwahl für die Klimastationen darauf geachtet, daß die zu erwartenden Klimadaten nicht nur für die Untersuchungsflächen, sondern auch für größere räumliche Einheiten repräsentativ sind und Ansätze für regionalklimatische Aussagen liefern. Die Abstimmung mit den anderen Teilprojekten (bes. Vegetation, Agrikultur und Boden) verlief sehr kooperativ. Die Auswahl der Standorte orientiert sich an den geologischen Einheiten, Vegetationsformationen und den unterschiedlichen Höhenstufen des Untersuchungsgebietes. Um Fragen zur Höhenabhängigkeit der Klimaelemente, hier insbesondere des Niederschlags/Schnees, zu beantworten, wurde darauf geachtet, daß möglichst

alle im Untersuchungsgebiet vorhandenen Höhenstufen durch mindestens eine Untersuchungsfläche (Testsite) vertreten sind. Abb. B2-1 zeigt eine Profilskizze der Lage der Klimastationen.

Zur weiteren Erläuterung bei der Wahl der Untersuchungsflächen und Standorte für die Klimastationen siehe Kapitel „Beschreibung der Transektidee“.

Erste Ergebnisse der Klimastation El Miyit

Im November 2000 konnte eine Bilanz-Klimastation 30 km östlich von Zagora (El Miyit) aufgestellt werden, die seit dem 16. November halbstündlich, stündlich und täglich gemittelte Daten sowie Maxima und Minima einzelner Klimatelemente speichert. Dazu gehören Lufttemperatur, Luftfeuchte, Globalstrahlung, Reflexstrahlung, Strahlungsbilanz und Windgeschwindigkeit in 2 Meßhöhen, sowie Bodentemperaturen und Bodenfeuchte in 3 Meßtiefen; weiterhin Bodenwärmefluß in 2 Meßtiefen, Windrichtung und Niederschlag.

Die Meßdaten weisen zwischen dem 16. November und dem 7. März einen Tag mit Niederschlag aus (1,6 mm), der hier exemplarisch analysiert werden soll. Am 22. Dezember 2000 handelte es sich um drei Einzelereignisse. Die Reaktion einzelner Sensoren auf das Ereignis zeigt Abb. B2-2. Alle Werte sind Stundenmittel (100 bzw. 1300 entsprechen 1 Uhr bzw. 13 Uhr). Der von der Station des marokkanischen Wetterdienstes in Ouarzazate (Flughafen) registrierte Niederschlag am 22.12. (6 mm) ist auch in El Miyit (1,6 mm) das einzige meßbare Niederschlagsereignis bis Ende Februar.



Abb. B2-1: Transekt des Untersuchungsgebietes in Marokko mit Klimastationen

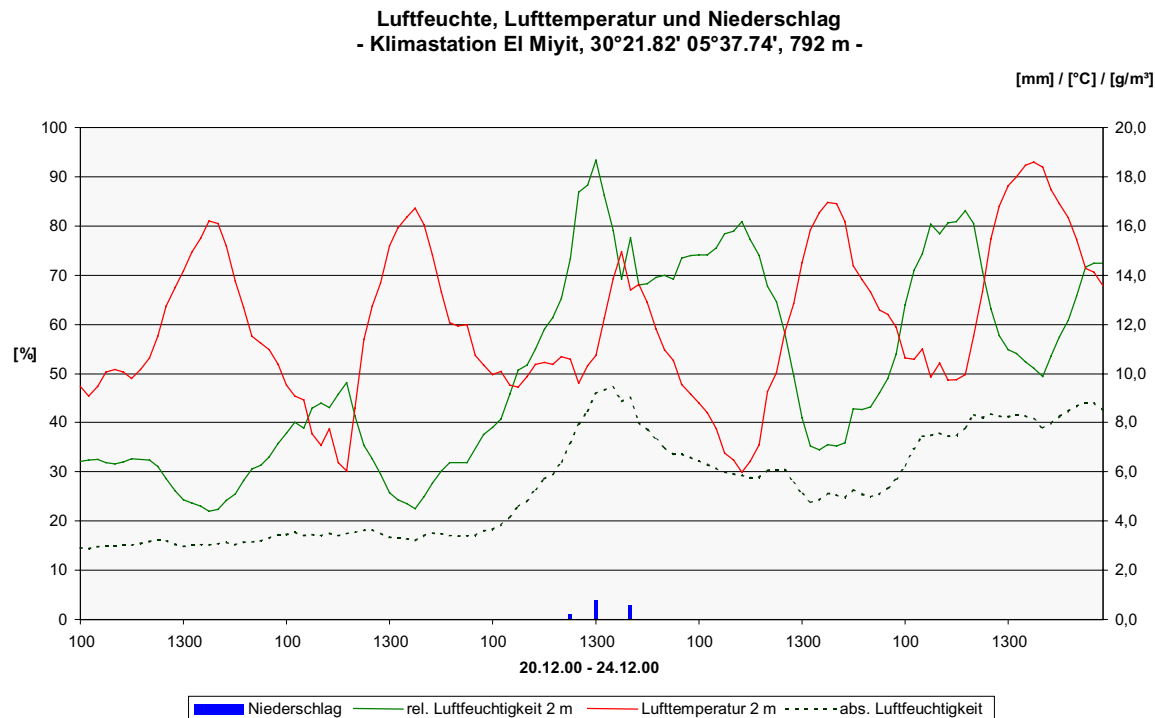


Abb. B2-2: Mittlere Luftfeuchtigkeit, Lufttemperatur und Niederschlag in El Miyit vom 20.12.00–24.12.00.

Im März hat es in Ouarzazate zweimal kurz „geregnet“, am 11.3. reichte die Menge aus, um von der Regenwaage, die zum Testen auf dem Dach des Projekthauses in Ouarzazate installiert ist, mit 0,2mm registriert zu werden.

Die absolute Luftfeuchtigkeit stieg vom 21.12. auf den 22.12. von ca. 3,4 g/m³ auf über 9 g/m³ an. Schon hier zeigt sich, daß feuchte Luftmassen eingeströmt sind, die zu dem Niederschlagsereignis geführt haben.

Die Auswertung der Winddaten in El Miyit zeigt eine im Tagesverlauf des 22. Dezember von Südost- langsam auf Südwest drehende Anströmung mit hohen Windgeschwindigkeiten (Abb. B2-3). Der Wind aus süd- bis südwestlicher Richtung wird von der lokalen Bevölkerung Saheli genannt. Das Maximum wurde mit 10,7 m/s in 3m Höhe kurz nach 9 Uhr erreicht. Der Hauptniederschlag des Tages (0,8 mm) kam zur Mittagszeit bei mäßigen Windgeschwindigkeiten aus Süd. Die Standardabweichung der Windrichtung ist als positiver und negativer Fehlerindikator zur Windrichtung eingetragen. Hohe Werte zeigen einen relativ häufigen Wechsel der Windrichtung im Stundenmittel an. Niedrige Werte zeigen sehr konstante Windrichtungen im Stundenmittel. Zum Zeitpunkt des Niederschlagsereignisses dreht der Wind ohne starke Turbulenz von östlicher in westliche Richtung. Daß es sich hierbei vermutlich nicht um ein tagesperiodisches Phänomen handelt, geht aus der prozentualen Verteilung der zwischen November und März gemessenen Windrichtungen an der Station hervor. Hier sind die Hauptwindrichtungen

Nordost bis Süd. Die westlichen Windrichtungen treten eindeutig in den Hintergrund (s. Abb. B2-4).

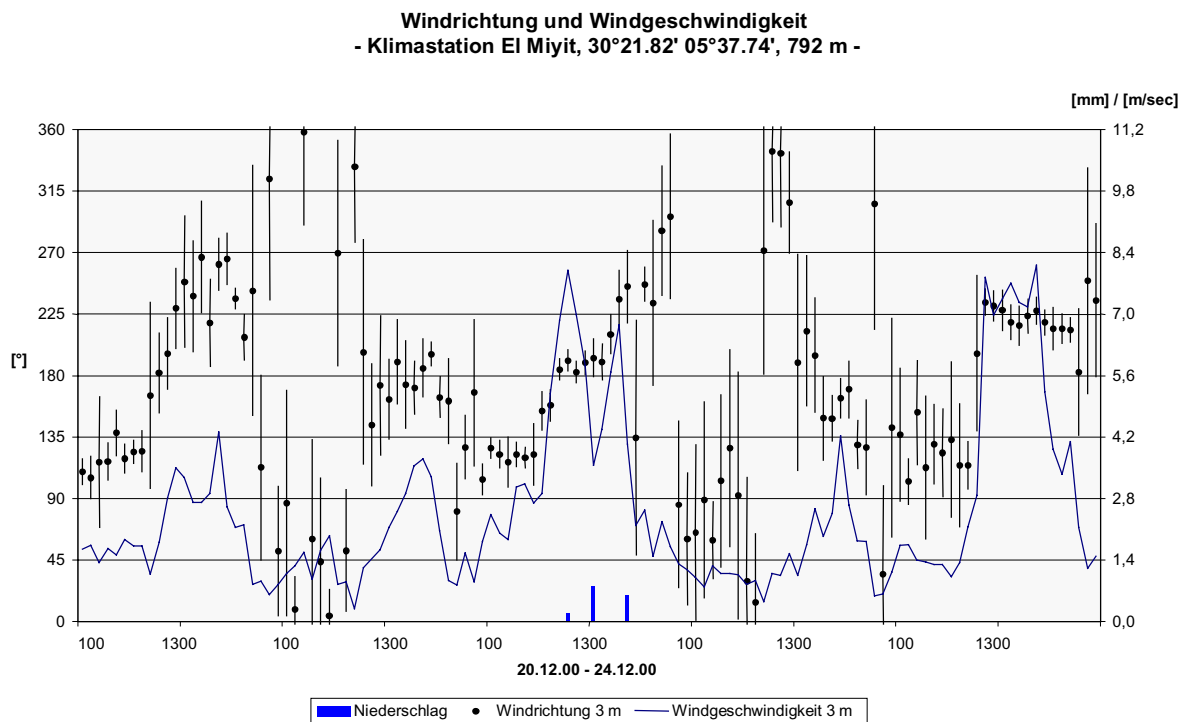


Abb. B2-3: Mittlere Windrichtung und Windgeschwindigkeit in El Miyit vom 20.12.00 – 24.12.00.

Prozentuale Häufigkeit der Windrichtung (30 min Daten, N=5338)
- Klimastation El Miyit, 30°21.82' 05°37.74', 792 m -

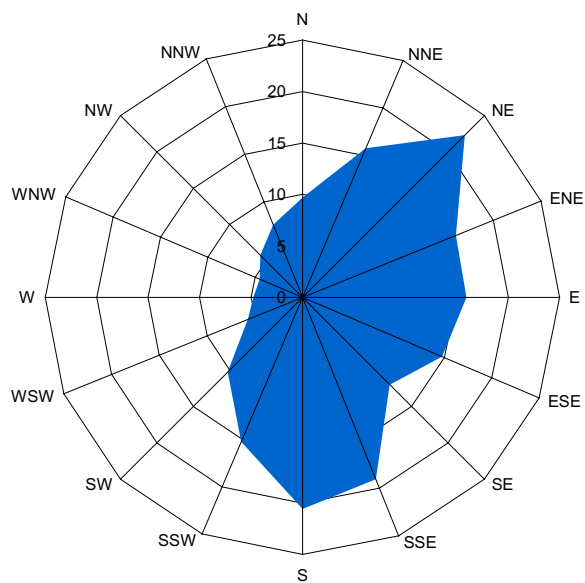


Abb. B2- 4: Prozentuale Häufigkeit der Windrichtungen in El Miyit vom 16.11.00 – 7.3.01

Aus den Abbildungen kann abgeleitet werden, daß kurz vor Weihnachten feuchte Luftmassen einhergehend mit südwestlichen bis westlichen konstanten Strömungen über das Testgebiet verfrachtet wurden. Mit Erreichen der Wasserdampfsättigung kam es am 22.12.00 zum Niederschlagsereignis. Dies wurde begleitet von einer Luftdruckerniedrigung um ca. 14 hPa unter den mittleren Luftdruck an der Station von 933 hPa. Trotz des an den folgenden beiden Tagen weiterhin relativ hohen Wasserdampfgehaltes hielt der Niederschlag nicht an, da gleichzeitig die Lufttemperatur zunahm und somit mehr Wasserdampf aufgenommen werden konnte.

Die Globalstrahlung erreichte ihr Maximum am 22.12. um kurz nach 13 Uhr (Abb. B2-5). Der im Vergleich zu den Tagen zuvor und danach niedrige Energieinput läßt auf ganztägige Bewölkung schließen, was sich auch in der z.T. sogar negativen Strahlungsbilanz tagsüber widerspiegelt. Insgesamt war die Strahlungsbilanz an diesem Tag mit -18 W/m^2 leicht negativ. Für die Albedo wurde seit Meßbeginn Mitte November ein mittlerer Wert von ca. 22% berechnet. Aufgrund der Durchnässung des Bodens und der damit verbundenen Veränderung der thermischen Eigenschaften des Bodens verringerte sich die Albedo am Regentag um 8% auf einen Tageswert von 14%. Der Bodenwärmefluß in 5 cm Tiefe zeigt das verzögerte Aufnehmen der Energie in den Boden bzw. die Abgabe der Energie anhand der negativen Werte. Die Sensoren für den Bodenwärmefluß registrierten nur für die Mittagszeit positive Werte und für das Tagesmittel ein Defizit von 55 W/m^2 . Die Bodentempersensoren in unterschiedlichen Tiefen zeigen den typischen verzögerten Verlauf der Wärmewelle im Boden an. Kurz vor Sonnenaufgang herrschen die höchsten Gradienten. Das Niederschlagsereignis dämpft durch die Veränderung der Wärmeleitfähigkeit des feuchten Bodens diese Gradienten.

Diese Ergebnisse zeigen exemplarisch die Energiebilanzierungsmöglichkeiten der Station.

Aufbau weiterer Klimastationen im Projektgebiet

Die Zusammenarbeit mit der GTZ sowie der Einbezug der örtlichen Verwaltung und Bevölkerung bei der Einzäunung und Bewachung der Klimastation und des Weideausschlußgebiets in El Miyit haben sich bewährt und dienten auch als Vorlage für die Einrichtung der zweiten und dritten Untersuchungsfläche Bou Ihrhem bei Agdz bzw. Jebel Hssain ou Brahim bei Tagounite während des zweiten Geländeaufenthalts von Februar bis April 2001. Seit dem 11. bzw. 23. März messen dort zwei weitere IMPETUS-Klimastationen. Es handelt sich um Standardstationen. Gemessen werden die Klimaelemente wie bei der ersten Station in El Miyit, mit dem Unterschied, daß es nur eine Meßhöhe gibt und keine Bodenfeuchte- und Bodenwärmefluß-Sensoren installiert sind.

Die administrativen Vorbereitungen zum Aufbau weiterer Klimastationen sind weitgehend abgeschlossen. Sowohl regionale als auch örtliche Verwaltungen sind informiert und haben ihre Zustimmung zur Einrichtung weiterer Untersuchungsflächen gegeben (Stand Ende März 2001).

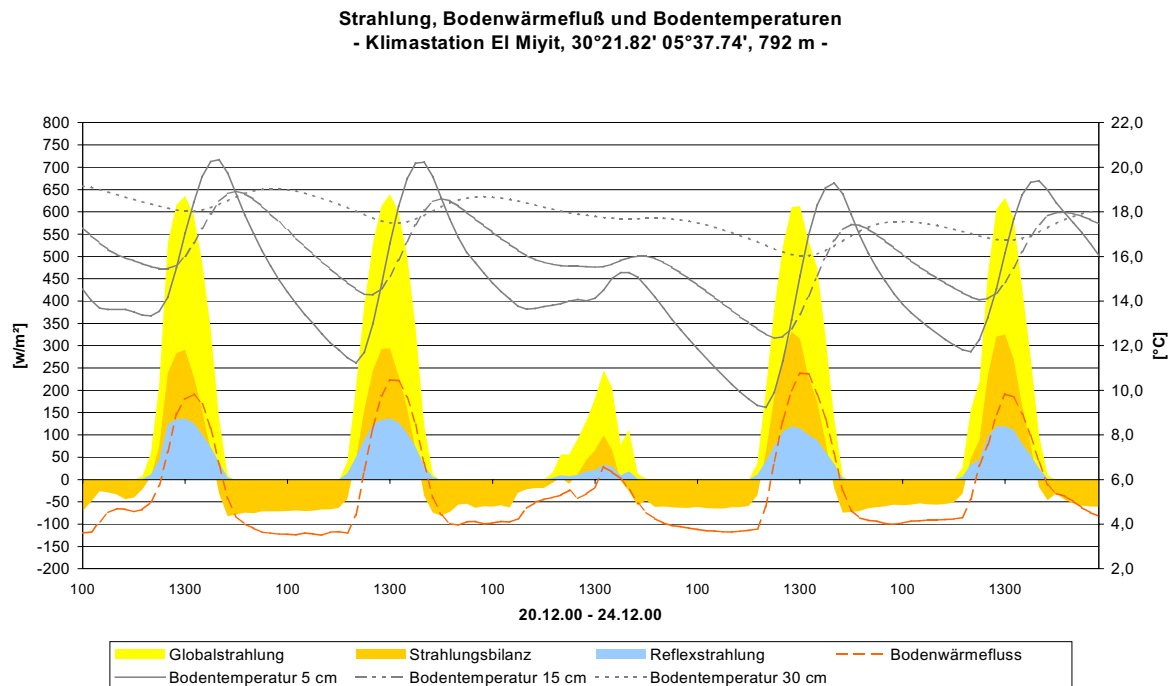


Abb. B2-5: Strahlung, Bodenwärmefluß und Bodentemperaturen Station El Miyit vom 20.12.00 – 24.12.00

Die Standortwahl für die hochgelegenen Klimastationen im Hohen Atlas (Südflanke der M'Goun-Bergkette (4000 m) sowie weiterer Stationen oberhalb von 1900 m erfolgte besonders im Hinblick auf den Einsatz der automatischen Schneepegel. Durch mehrere Aufenthalte von Projektmitarbeitern in den Tälern von Ameskar und Ait Toumert (z.T. mit örtlichen Bergführern) ist inzwischen ein guter Kontakt zur Bevölkerung gegeben. Die Organisation vor Ort wird mit Hilfe der angesehenen Eigentümer der Tourismushütten (Gites d'etape) erfolgen.

Beschaffung von Klimadaten

Durch Kontaktaufnahme mit dem Haupt-Kooperationspartner des Teilprojekts B2, ORMVAO, sowie mit weiteren staatlichen Organisationen und deren örtlichen Vertretungen (Sérvice Hydrologique, Forstbetriebe, Straßenbehörde) konnten Einblicke in dort vorhandene Datenarchive genommen werden. Eine Zusammenarbeit wird von den örtlichen Vertretungen gewünscht, muß aber noch von oberster Stelle (Rabat) genehmigt werden.

Zu den Daten des Sérvice Hydrologique gehören 30jährige Reihen der 16 Hauptklimastationen im Einzugsgebiet des Drâa sowie Abflußmessungen der Hauptzuflüsse. Diese Daten liegen in täglicher Auflösung analog auf Karteikarten vor. Einer Nutzung durch IMPETUS geht daher erst eine aufwendige Datenaufbereitung und Digitalisierung voraus.

Die Forstbetriebe im Hohen Atlas unterhalten ebenfalls Klimastationen. Hauptaugenmerk wird hier, wie auch bei der Straßenbehörde, welche die Paßstraße nach Marrakech unterhält, auf Daten

zur Schneehöhe und Dauer der Schneebedeckung liegen. Der Kontakt wurde bei der Projektvorbereitung hergestellt und muß jetzt konkretisiert werden. Das ist bis Mitte April 2001 geplant.

Erste Analysen zur Schneehydrologie im Hohen Atlas

Das Ausbleiben größerer Niederschläge und Schneefälle auf der Südseite des Hohen Atlas im Winter 2000/2001 im zweiten Jahr in Folge führt zu gravierenden Einschnitten in der Wasserversorgung der Bevölkerung. Die Schneerücklage 2001 war schon Anfang Februar bis auf wenige Schneeflecken und Rinnenfüllungen in Nord- bis Ostexposition oberhalb 2500 m abgebaut. Von Anfang Februar bis Mitte März hat es nur 2 Schneefallereignisse auf der Südseite des Hohen Atlas gegeben, deren Spuren nach 2 Tagen verschwunden waren. Bergpfade, die nach Auskunft der einheimischen Bergführer normalerweise bis in den März hinein unpassierbar sind, konnten während einiger Aufenthalte zwischen dem 11. Februar und dem 1. März benutzt werden.

An den Restschneeflecken wurde die vom Schweizer Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (Davos) erworbene Schneesonde (Schneeausstechrohr, Schneewaage) getestet. Mit einem genormten Metallzylinder (50cm hoch, 10cm Durchmesser) wird ein Schneepaket ausgestochen und dieses mit einer Federwaage gewogen. Die Abstimmung zwischen Metallzylinder und Federwaage erlaubt die direkte Ablesung in mm-Wasseräquivalent oder kg. Die Werte können mit Kenntnis der Schneehöhe in Dichte [kg/m^3] umgerechnet werden. Parallel dazu wurde ein Temperaturprofil des Schnees mit einem Temperaturfühler aufgenommen.

Zwischen dem 11.2. und 1.3.2001 wurden in drei Gebieten mit der Schneesonde Messungen an der Schneedecke vorgenommen (jeweils eine Messung pro Meßstandort, siehe. B2-6):

- Tichka-Paß, Hauptpaß über den Hohen Atlas zwischen Ouarzazate und Marrakech; Nordexposition, Punkte 1-3.
- Jebel Siroua, westlicher Rand des Drâa-Einzugsgebiets; Nordexposition, Punkt 4.
- M'Goun-Kette, Hauptkette des Hohen Atlas; verschiedene Expositionen, Punkte 5-11.

An allen besuchten Lokalitäten lag der Schnee in verhärtetem, verfilztem Zustand vor und hatte bis auf wenige Ausnahmen eine vereiste Basis. Oberhalb 2800 m waren Penitentes (Büßerschnee) ausgebildet, deren Formen Größen zwischen 10 und 70 cm erreichten. An einigen Standorten „standen“ nur noch die Penitentes ohne eine verbindende Schneebasis. Die unterste Schneesicht war zumeist vereist, der Boden überwiegend sehr feucht bis naß. Daraus kann analog zu den Ergebnissen von BECHT (1997) geschlossen werden, daß die Schneeablation sowohl zu einem großen Teil durch Sublimation, in großen Höhen aber immer noch auch durch Schneeschmelze erfolgt.

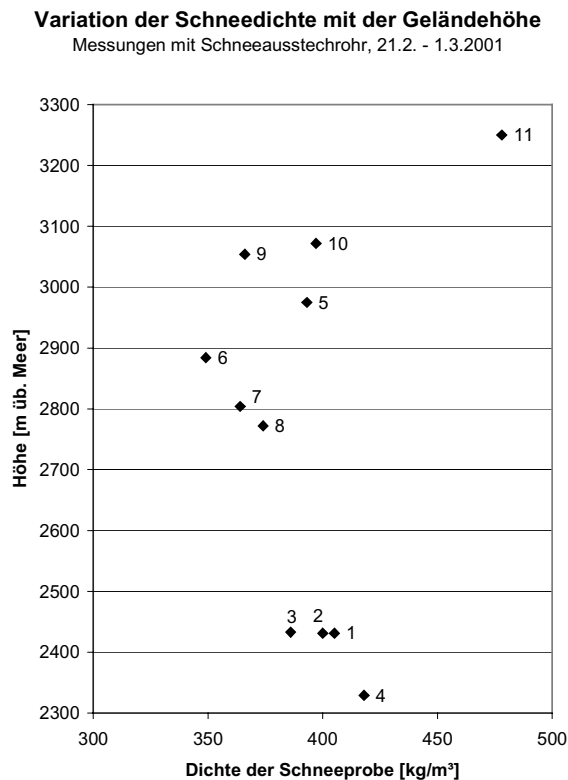


Abb. B2-6: Variation der Schneedichte mit der Geländehöhe. Meßpunkte 1-3 Tichka-Paß, 4 Jbel Siroua, 5-11 M’Goun-Kette. Punkte 1-10 in Nord- bis Nordost-Exposition, 11 in Südost-Exposition.

Die Schneedichte lag zwischen 350 und 480 kg/m³. Die Werte lagen im Bereich der von BECHT (1997) im Mittleren und Hohen Atlas gemessenen mittleren bis hohen Dichten zum Ende der Ablationsphase einer Schneedecke. Die für den Pico de Teide (Teneriffa) von BECHT (1991) angegebenen sehr hohen Dichten zwischen 500 und 800 kg/m³ wurden allerdings auch bei den stark vereisten Penitentes nicht erreicht.

Für die M’Goun-Hauptkette (Punkte 5-11) deutet sich eine mit der Höhe zunehmende Dichte an (siehe Abb. B2-6). Das widerspricht BECHT (1991 und 1997), der eine Abnahme der Dichte mit der Höhe festgestellt hat. Die Werte für den Tichka-Paß und den Jebel Siroua fügen sich ebenfalls nicht in dieses Bild ein.

Bei der geringen Anzahl an Meßpunkten und einer vorangehenden mehrwöchigen „unüberwachten“ Schneeablation wird nicht der Anspruch erhoben, die hier gemessenen Werte seien repräsentativ. Dazu sind mehrwöchige Kampagnen nötig. Wohl aber werden durch diesen ersten Test technische Hinweise gegeben, worauf bei der nächsten Feldkampagne im Winter 2001/2002 (neben einer früheren Anreise) zu achten ist.

Die schneehydrologischen Analysen sollen Anfangsdaten für wichtige Parameter des Schneeschmelz-Abfluß-Modells SRM liefern, das auf Basis des Grad-Tag-Verfahrens Wasseräquivalente der Schneedecke über eine Ablationsphase modelliert.

Paßpunkte zur Referenzierung von Satellitendaten

Neben der Erhebung von schneehydrologischen Daten bei Feldkampagnen steht die Auswertung von Satellitendaten zur Schneeeverbreitung im Vordergrund. Eine Verknüpfung dieser unterschiedlichen räumlichen Skalen ist nur durch genaue Geocodierung der Meßpunkte und durch die Aufnahme einer Anzahl von Paßpunkten zur Georeferenzierung der Satellitenszenen möglich. Während der Feldkampagnen im Oktober/November 2000 und Februar bis April 2001 wurden im Hohen Atlas und dessen Vorland bisher ca. 350 Paßpunkte mit einem GPS-Gerät aufgenommen (Höhenwerte wurden mit einem barometrischen Höhenmesser abgeglichen).

Die Vorverarbeitung der im Rahmen des IMPETUS-Projekts erworbenen NOAA-AVHRR-Satellitendaten durch die Fernerkundungsgruppe im Teilprojekt B3 stellt die Basis für anschließende Schnee/Wolken-Klassifikationen und die Kartierung der Schneeeverbreitung im Hohen Atlas zu verschiedenen Zeitpunkten einer Ablationsphase dar. Diese Arbeiten werden nach Abschluß der jetzigen Feldkampagne beginnen und weitere Werte für die Modellparameter des SRM liefern.

Bericht über die laufenden Arbeiten an den topographischen Karten aus dem Projektgebiet

1. **Erstellung des Übersicht-DGM:** An Hand GTOPO30 wurden DGM in drei verschiedenen Ausdehnungen erstellt. Nach dem Erstellung des „depression less“ DEM“ wurden die hydrologischen Geländemodelle „flow“ und „accumulation flow“ sowie „flow link“ und „flow net“ für Einzugsgebiete größer als 500 km² berechnet. Anschließend wurde das DGM von den Grenzen der Haupt- und Subeinzugsgebiete abmaskiert um die hypsometrische Verteilung des Einzugsgebiets abzuleiten. Die vorgesehenen Meßstationen wurden ins DGM eingetragen und eine Profillinie an Hand der hypsometrischen Kurve durch GIS (Arc-Info) berechnet (s. Abb. B2-1).
2. **Bestandsaufnahme von Kartenmaterial:** Die topographische Karten 50.000er (TK50) und 100.000er (TK100) sowie die geologischen Karten, die für IMPETUS im Umlauf bzw. im geologischen Institut vorhanden sind, wurden gesammelt und in eine GIS-Kartei aufgenommen. Alle vorhandenen Karten wurden mit einem Trommel – Scanner in 300 dpi gescannt und archiviert. Anschließend wurden alle gescannten TK100 in „geographic projection“ georeferenziert drei davon auch noch in ihrer originalen Lambert Projektion, so daß die für Digitalisierung eingestellten Hilfskräfte mit ihrer Arbeit beginnen konnten.
3. **Digitalisierung von TK100:** Für die Erstellung des DGM aus der TK100 wurden aus den vorhandenen TK100 nach Absprachen mit Prof. Dr. B. Diekkkrüger drei Karten für

die „on screen“ Digitalisierung gewählt. Inzwischen sind die Blätter SKOURA (NH-29-XXIV-1) zu 90%, QALAA'T MGOUNA (NH-29-XXIV-2) zu 50% und AGDZ (NH-29-XVIII-4) zu 30% digitalisiert. Zur Zeit ruht die Digitalisierungsarbeit, da keine Hilfskraft zur Verfügung steht.

4. **Georeferenzierung der geologischen Karten:** Da diese Karten auf einer speziellen französischen Projektion basieren, wurden zuerst die Projektionsangaben recherchiert (kartographischen Institut in Bonn sowie „IGN“ in Paris). Danach wurde eine der geologischen Karten im Maßstab 250.000 (GK250) georeferenziert. Die Projektion stellte leider kein zufriedenstellendes Ergebnis dar. Herr Michel Gastreich (Geologie) wurde gebeten nähere Angaben über die Projektion bei der geologischen Anstalt in Rabat zu erfragen.
5. **Bestellung der fehlenden Kartenmaterial:** Nach der Erstellung einer Kartenübersicht über die eingesehenen TK100 und TK50 in Division de la Cartographie in Rabat wurden die drei fehlenden TK100 sowie die gewünschten TK50 bestellt und inzwischen beschafft.

Fazit und Ausblick

Die Einrichtung der Untersuchungsflächen und der Aufbau der Klimastationen gehen nach anfänglichen Verzögerungen zügig voran, so daß voraussichtlich bis April 2001 acht Klimastationen über den ganzen Transekt verteilt in Betrieb sein werden (zwei Stationen für Mikroklimamessungen und mobilen Einsatz aus dem Teilprojekt B3 werden bis zur Genehmigung zweier weiterer Stationen im Rahmen des Umwidmungsantrags auf den festgelegten Untersuchungsflächen eingesetzt, um bis zum Herbst vorhandene Lücken zu füllen). Die Daten werden Auskunft geben über die extremen Bedingungen, die während des Sommers im Einzugsgebiet des Drâa herrschen, graduell verschieden nach dem zu erforschenden Klimagradienten vom Hochgebirge zum Rand der Sahara. Die Daten sind eine wichtige Grundlage sowohl für die Modellierung des Klimas (B1) und zur ersten Quantifizierung des Wasserhaushalts (B2), als auch zur Abschätzung der ökologischen Bedingungen bezüglich der Vegetation (B3) und der Anpassungszwänge der Bevölkerung (Feld- und Viehwirtschaft, landwirtschaftliche Betriebe, Nomadismus, B4).

Im Herbst werden weitere Klimastationen aufgebaut, um das Meßnetz fertigzustellen und zu verdichten.

Die ersten Feldarbeiten zur Schneeverteilung und den Schneeeigenschaften im Hohen Atlas waren gekennzeichnet durch Gerätetests und erste Messungen, die in Folge der Witterung an wenigen Restflecken der Schneefälle zur Jahreswende vorgenommen wurden. Die dabei gemachten Beobachtungen bzgl. Ablationsverhalten werden z.T. durch die Literatur unterstützt, widersprechen ihr aber auch. Insgesamt bieten diese Tests, die Kenntnis des Geländes und gute Kontakte zur ansässigen Bevölkerung gute Voraussetzungen, um in der nächsten Feldkampagne diese nur

auf wenigen Messungen beruhenden Annahmen mit Unterstützung durch Satellitenbilddauswertungen zu überprüfen.

Das Ausbleiben größerer Schneefälle und damit Wegfallen eines wichtigen Wasserspeichers beschränkt die Wasserversorgung der Bevölkerung auf ein Minimum. Katastrophale Folgen hätte eine Wiederholung dieser Bedingungen auch im nächsten Winter.

Workpackage B2-3: Untersuchungen zum Bodenwasserhaushalt entlang eines Höhen- und Ariditätsgradienten

Zielsetzung des Workpackages

Ziel des Workpackage B2-3 ist es, den Bodenwasserhaushalt arider bis semiarider Einzugsgebiete zu erfassen, zu quantifizieren und mit einem dynamischen Simulationsmodell zu beschreiben. Hierbei sind neben der Bodenwasserdynamik besonders die Prozesse der Abflußbildung von hoher Bedeutung, da aufgrund der großen kleinräumigen Variabilität der Bodeneigenschaften das Wasserspeichervermögen gering ist. Die Untersuchungen werden in enger Abstimmung mit den anderen Workpackages aus B2 und B3 entlang des Höhen- und Ariditätsgradienten an den ausgewählten Testflächen durchgeführt. Sie dienen zur Entwicklung, Parametrisierung und Validierung eines Simulationsmodells zur Beschreibung des Wasserkreislaufs unter Berücksichtigung der Vegetationsdynamik. Ziel ist es, dieses Modell in der zweiten Antragsphase auf das gesamte Einzugsgebiet anzuwenden und somit die Wasserflüsse in dem betrachteten Raum zu beschreiben.

Experimentelle Arbeiten

Wie bei der Beschreibung der Testflächen dargestellt, ist die Bodenmächtigkeit an den Testflächen sehr gering und räumlich äußerst variabel. Weiterhin sind die Testflächen durch einen hohen Skelettanteil mit einer hohen Steinbedeckung auf der Bodenoberfläche gekennzeichnet. Die für die Charakterisierung hydrologischer Prozesse humider Gebiete verwendeten Meßinstrumente (Neutronensonde, Guelph-Permeameter, Doppelringinfiltrimeter, ...) sind in diesen Gebieten nicht bzw. nur eingeschränkt einsetzbar. Weiterhin ist die Entnahme ungestörter Bodenproben zur Durchführung bodenhydrologischer Laboruntersuchungen (pF- und ku-Kurven) überwiegend nicht möglich.

Daher wurden ein neues Messkonzept entwickelt. Dieses sieht vor, einerseits gestörte Bodenproben zu entnehmen und anhand dieser die Bodenzusammensetzung (Textur) und die Wasserhaltekapazität zu erfassen und andererseits auf ungestörten Kleinstflächen vor Ort das Infiltrations- und Abflußverhalten zu untersuchen.

Dem Problem der hohen räumlichen Variabilität der oberflächennahen Bodeneigenschaften wird durch die Ausweisung repräsentativer Landschaftseinheiten Rechnung getragen. Die Testflächen werden hierzu in Einheiten unterteilt, an denen die geplanten Untersuchungen durchgeführt werden. Hierbei ist die Untersuchung der Abhängigkeit von Relief (Transekte zur Erfassung der Bodenmächtigkeiten und der Wasserhaltekapazitäten) und Vegetation (kleinsträumige Variabilität der Bodenmächtigkeiten und -textur) zur Beschreibung der Rückkopplung von Relief, Boden und Hydrologie notwendig. Die Beschränkung auf repräsentative Landschaftseinheiten ist einer-

seits hinsichtlich der Reduzierung des Aufwandes notwendig, andererseits für die geplante Regionalisierung des gesamten Einzugsgebietes unerlässlich.

Infiltrationsverhalten

Zur Charakterisierung der bodenhydrologischen Eigenschaften wurde eine Miniberegnungsanlage konstruiert, kalibriert und angewendet. Im Verbund mit Infiltrationsmessungen können die räumlich sehr variablen Wasserbilanzgrößen somit auf verschiedenen Skalen betrachtet werden. Dadurch können Niederschlag und Abfluss unter künstlichen, aber steuerbaren und somit vergleichbaren Bedingungen „generiert“ werden. In methodischer Anlehnung an die Arbeiten von BORK & BORK (1981) wurde zur Bestimmung von Infiltrabilität und Abflusscharakteristik eine Miniberegnungsanlage konstruiert (Abb. B2-7).

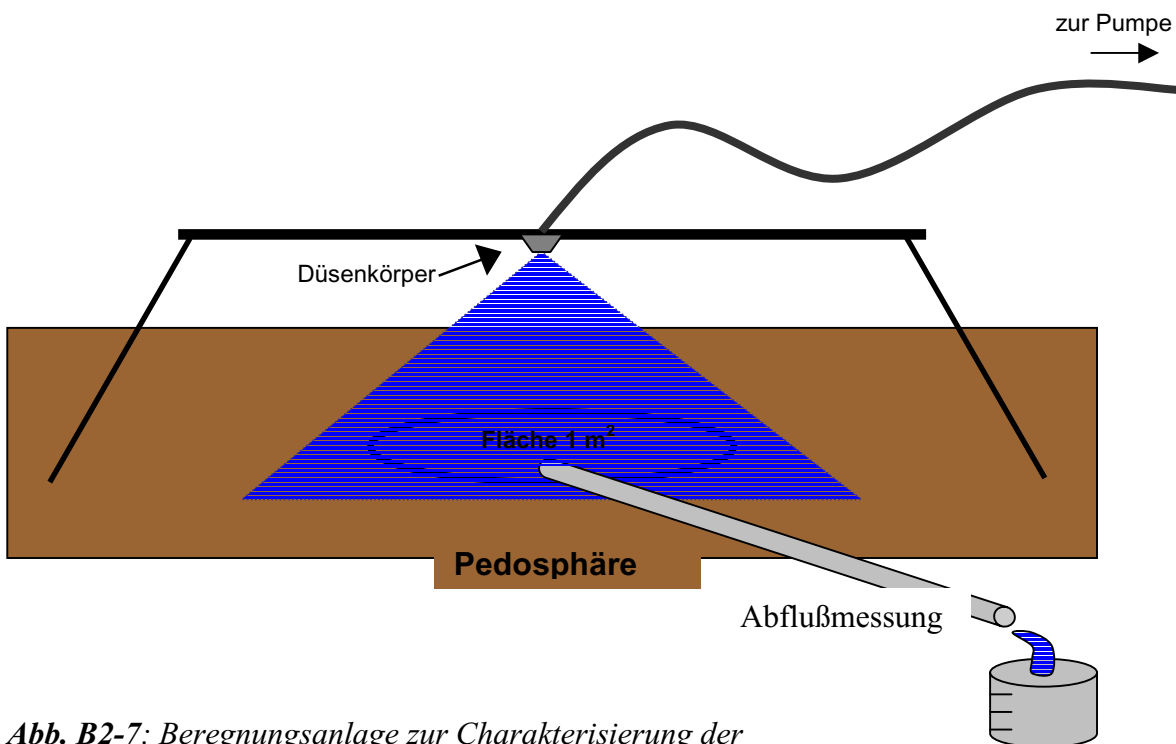


Abb. B2-7: Beregnungsanlage zur Charakterisierung der Abflussbildung auf ungestörten Kleinstflächen von 1 m² Größe.

Mittels einer Pumpe wird eine festgelegte Wassermenge (hier 1,5 l/min) unter definierten Druckbedingungen (1,2 bar) angesaugt und gelangt über ein Schlauchsystem in einen Düsenkörper, der 60 cm über der zu beregneten Bodenoberfläche angebracht wurde. In der Düse (Typ Veejet der Firma Spraying Systems Co.) wird ein Vollkegel erzeugt, der die Bodenoberfläche im Winkel von 120° beregnet. Da ein Begrenzungsblech an den zu untersuchenden Standorten nicht eingeschlagen werden kann, wird eine Abgrenzung der Beregnungsfläche durch einen aus Gips modellierten Ring vorgenommen. Ein Windschutz gewährleistet eine unbeeinträchtigte Durchführung der Versuche. Der nach Sättigung des Bodens einsetzende Oberflächenabfluss wird schließlich in einem Messbehälter aufgefangen und gewogen.

Die in Abb. B2-8 dargestellte Abflußganglinie wurde auf der Testfläche Bou Skour ermittelt (Steinbedeckung > 80 %). Hier ergab sich bei einer Düsenleistung von 1,5 l / min eine partielle Sättigung (sichtbar im Auftreten von ersten Wasserflächen) schon nach ca. 2 min. Den geringen Anfangsverlusten durch Infiltration entsprechend setzt der erste Oberflächenabfluß schon sehr früh ein und konsolidiert sich nach ca. 15 min bei ca. 0,9 l / min.

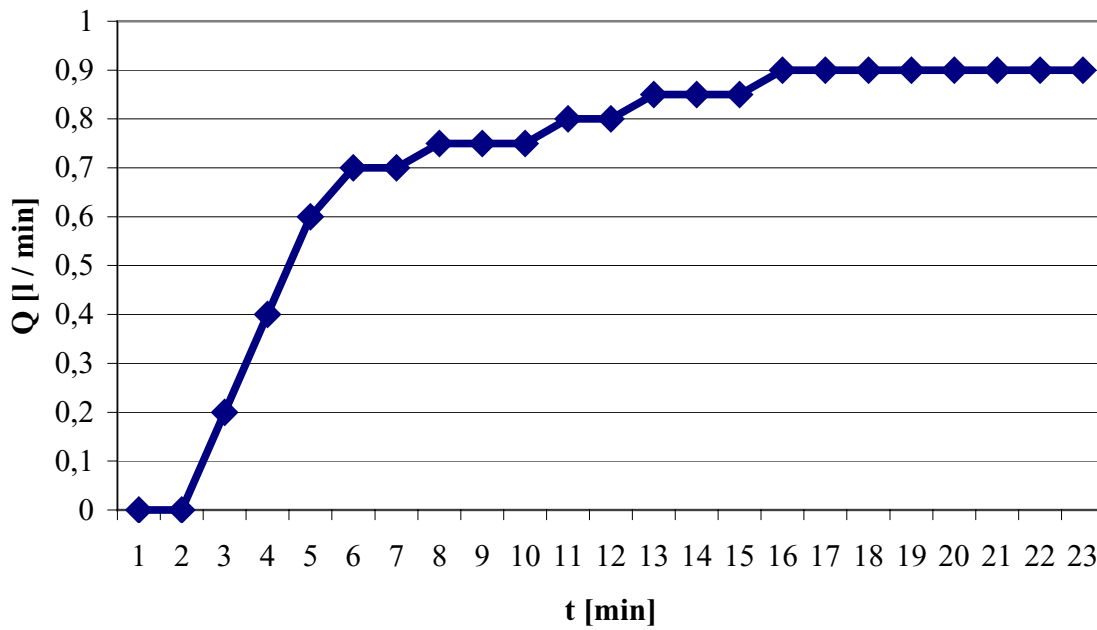


Abb. B2-8: Gemessene Abflußganglinie an der Testfläche Bou Skour.

Mit der Niederschlagssimulation einher geht eine qualitative Beschreibung der jeweiligen Standortbedingung, wie z.B. Textur, Vegetation, Anfangs- und Endwassergehalt, Steinbedeckung, Zeitpunkt des Auftretens der ersten Wasserflächen bzw. des ersten Abflusses, Mächtigkeit der Versickerungstiefe, etc.

Neben der Beregnungsanlage werden, der Heterogenität der Bodeneigenschaften Rechnung tragend, drei verschiedene Infiltrationsmessgeräte im Feldversuch (Haubeninfiltrrometer, Tensioninfiltrrometer, Doppelringinfiltrrometer) eingesetzt. Die Verwendung der Infiltrationsmessgeräte ermöglicht es, dass das Porensystem des Bodens auf der Messfläche vollkommen ungestört bleibt. Während bei den skelettreichen Böden das Doppelringinfiltrrometer nicht eingesetzt werden kann, ist das Tensioninfiltrrometer bei einer hohen Stein- bzw. Vegetationsbedeckung nicht verwendbar. Ein guter Kompromiss stellt das Haubeninfiltrrometer dar (Messfläche ca. 400 cm²), welches die Bestimmung der ungesättigten Wasserleitfähigkeit ungestörter Bodenoberflächen (inkl. Steinbedeckung und Vegetation) bis zum Luft Eintrittspunkt ermöglicht.

Ziel der Infiltrationsmessungen ist die Ermittlung der Versickerungsintensität bzw. der hydraulischen Leitfähigkeit der vorhandenen Böden, die für eine Abschätzung der Wasseraufnahmefä-

higkeit und –geschwindigkeit sowie der Ermittlung von Sickerverlusten erforderlich ist. Am Beispiel der Messung Bou Skour (Abb. B2-9) verringert sich die Infiltrationsrate von anfangs 1 cm/min auf 0,4 cm/min; die finale Infiltrationsrate wird 8 Minuten nach Versuchsstart erreicht.

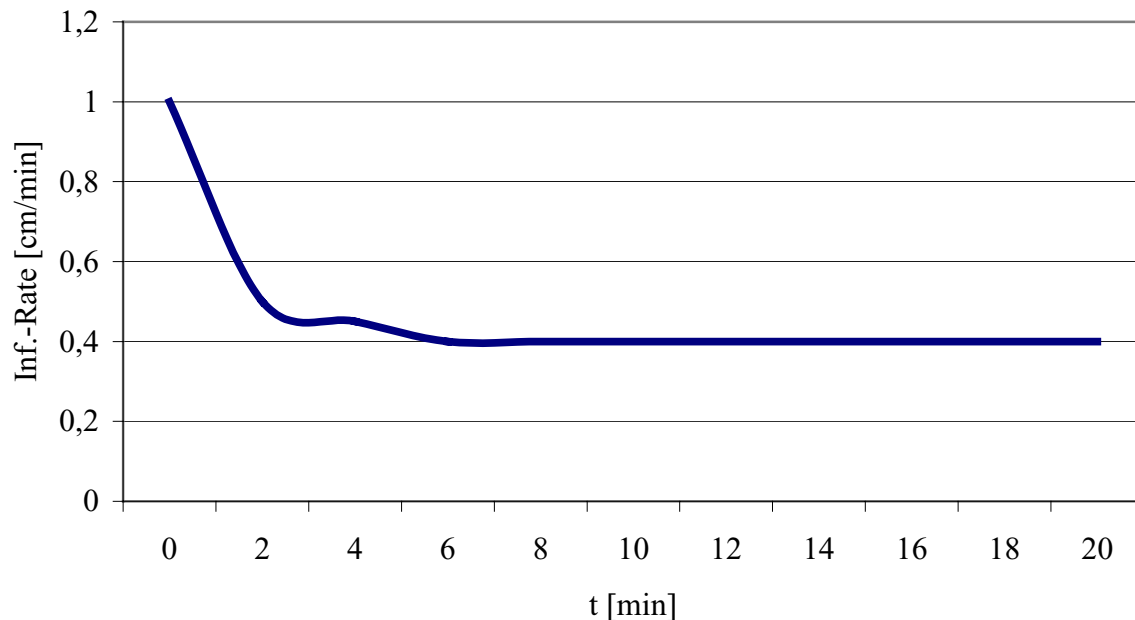


Abb. B2-9: Mit dem Haubeninfiltrrometer ermittelte stationäre Infiltrationsrate vom 0,4 cm/min (Matrixpotential -10 hPa).

Neben den Experimenten zur Beschreibung des Infiltrations- und Abflussverhaltens ist an einigen der Testflächen eine dauerhaft Installation von TDR-Sonden geplant. Für die Bestimmung des Abflusses aus den Testflächen mit einem abgeschlossenen Einzugsgebiet werden Abflussmessstellen eingerichtet. Zusätzlich wird bereits z.Z. versucht, mittels der Erfassung max. Wasserstände eine Aussage über das Abflussverhalten der Einzugsgebiete zu bekommen. Allerdings sind bislang keine abflusswirksamen Niederschlagsereignisse aufgetreten.

Simulationsmodell

Die Ergebnisse der Messungen stellen die Eingangsgrößen für die Anwendung und Validierung eines dynamischen Simulationsmodells der Bodenwasserflüsse dar. Eine Marktanalyse ergab, dass z.Z. kein Modellsystem verfügbar ist, welches die in diesem Projekt gestellten Anforderungen erfüllt. Das Modell von LANGE (1999) beschreibt das Niederschlags-Abflussverhalten arider Einzugsgebiete, wobei allerdings nur einzelne Ereignisse betrachtet werden. Die räumliche Diskretisierung basiert auf Teileinzugsgebieten unterschiedlicher Größe, so dass die Übertragung lokal erhobener Eigenschaften auf gesamte Teileinzugsgebiet schwierig erscheint. Interessant ist

diese Arbeit hinsichtlich der Ausweisung repräsentativer Landschaftseinheiten und dem prinzipiellen Modellkonzept. Ein Modellsystem zur Beschreibung der Degradation trockener Räume wurde von BOER (1999) vorgestellt. In diesem Modellsystem wird die Rückkopplung von Boden, Vegetation und hydrologischen Prozessen explizit berücksichtigt. Basierend auf Fernerkundungsdaten hat der Autor ein rasterbasiertes Modellsystem entwickelt und auf ein Einzugsgebiet in Spanien angewendet. Allerdings werden die Prozesse in diesem Modell in einer zeitlichen Auflösung von einem Monat berechnet, wobei die räumliche Auflösung der Auflösung der Fernerkundungsdaten entspricht. Für Fragen der Grundwasserneubildung und der Vegetationsdynamik ist diese zeitliche Auflösung sicherlich nicht ausreichend. Daher wird z.Z. ein Modell entwickelt, welches beide Ansätze kombiniert: zeitlich hochauflösende Niederschlags-Abflussmodellierung mit räumlich hochgelöster Simulation der Bodenwasserdynamik in Verbindung mit der Berechnung der Vegetationsdynamik (Abb. B2-10). Das Modell wird so programmiert, dass es die räumlich verteilten Eingangsdaten direkt aus einem GIS (ArcView bzw. IDRISI) verarbeiten kann und die Ergebnisse in dem selben System visualisiert werden können.

Zusammenfassung und derzeitige Arbeiten

In den vergangenen Monaten wurden Mess- und Modellkonzepte für die Erfassung, Analyse und Simulation der hydrologischen Prozesse in Trockenräumen entwickelt. Anhand der Messkonzepte werden z.Z. erste Untersuchungen auf den gemeinsamen Testflächen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen dienen zur Anwendung und Validierung eines dynamischen Simulationsmodells, welches in den nächsten Monaten programmiert wird. Eine Validierung des gesamten Modellsystems kann mittels gemessener Niederschläge und Abflüsse erfolgen. Die derzeitige permanente Erfassung der Bodenwassersituation (Gipsblockelektroden an einigen Klimamessstellen) muss jedoch durch TDR-Sonden ergänzt werden. Die für den Sommer geplanten Laboruntersuchungen zur Evaporation von Böden mit hohem Steingehalt und einer hohen Steinbedeckung dienen zur Entwicklung des Modellsystems, da unter den vorhandenen Bedingungen die Verdunstungsverluste (Evaporation, Transpiration) in Verbindung mit kleinräumiger Abflussbildung und Versickerung für die eventuelle Grundwasserneubildung entscheidend ist.

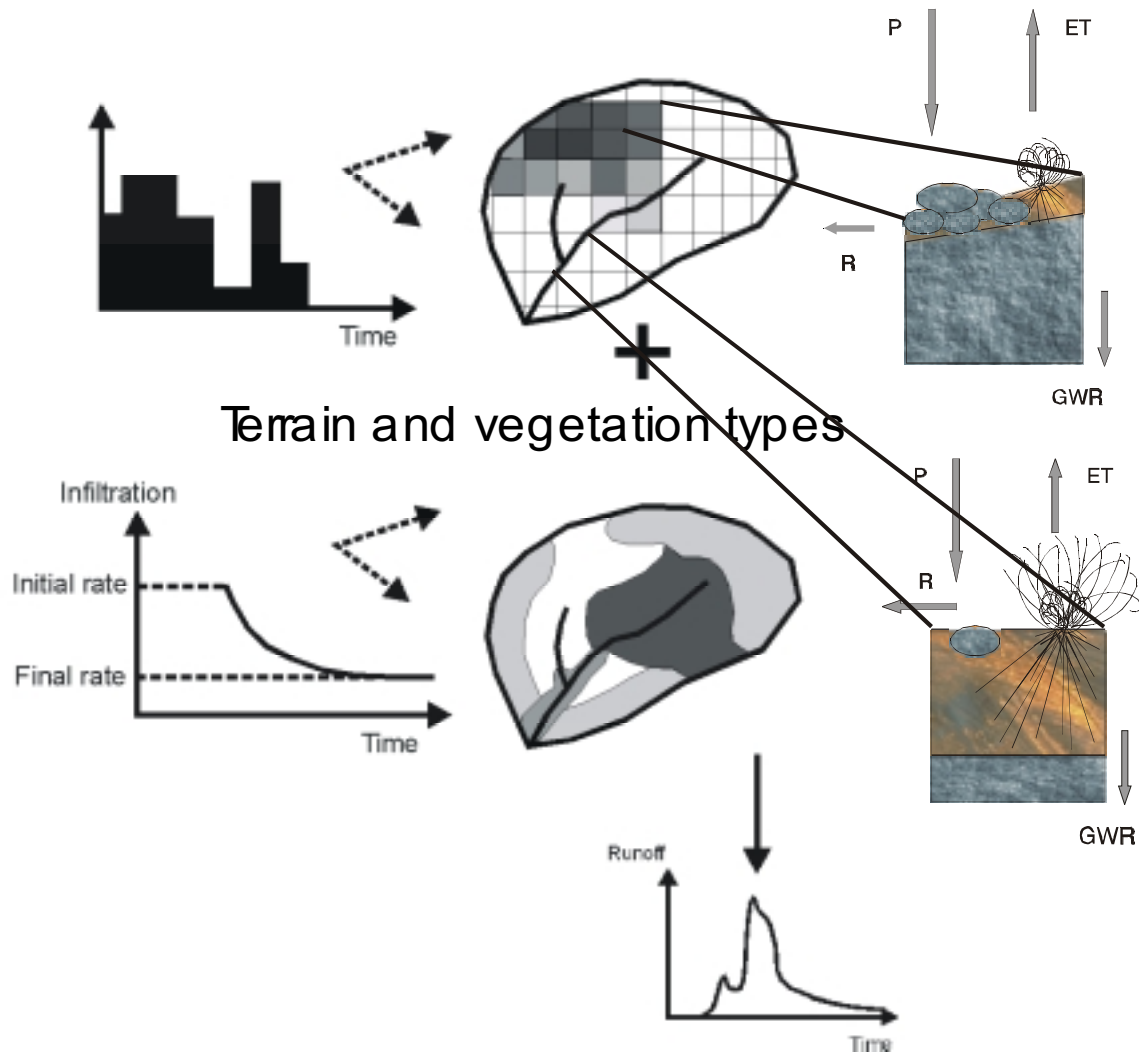


Abb. B2-10: Modellkonzept zur dynamischen Simulation der Prozesse arider Räume (mod. nach LANGE, 1999).

Workpackage B2-4: Anthropogene Bodendegradierung durch Wassererosion im oberen und mittleren Drâa-Einzugsgebiet - Bodenabtrag in einem Gebirgsrelief mit semiarid- bis arid-subtropischem Winterregenklima

Exkursion nach Marokko (10.10.2000 bis 2.01.2001)

Ziel dieser Reise war das Kennenlernen des Untersuchungsraumes und seiner Böden mit ihrem aktuellen Formenschatz und dem Ausmaß der Erosion durch Wasser im Überblick.

Repräsentative Testflächen wurden gemeinsam ausgesucht, auf denen detaillierte Boden- und Erosionsschadenskartierungen erhoben werden sollen. Erste Bodenansprachen mit Probeentnahmen wurden durchgeführt und zusätzliche Erosionsmesseinrichtungen als Test installiert. Weiterhin wurde, soweit möglich, Kontakt zu örtlichen Institutionen zwecks Literaturrecherche und Datenbeschaffung aufgenommen.

Da es nach jetzigem Kenntnisstand außer zu den bewirtschafteten Flächen keine klassischen Bodenuntersuchungen oder Bodenkarten im Einzugsgebiet des Drâa gibt, wurde die eigene Recherche durch Erkundungsfahrten gewählt:

- Vier Transsekte in den Hohen Atlas (östlich der Paßstraße nach Marrakech, nördlich Skoura, Keela M'Gouna, nördlich von Boumalme), sowie das Becken von Ouarzazate, den Jebel Sirua und Jebel Sahrho und in das obere und mittlere Drâa-Tal bis etwas südlich der Testsite 1, Jebel Bani (JHB).
- Das Gebiet des westlichen mittleren Drâa-Tales (mit Ausnahme der TS3, Agdz) und der Süden im Bereich Lake Iriki sind noch nicht erkundet.

An den Testsites 1 und 2, Jebel Bani (JHB) und El Miyit (EMY), wurden zusätzliche Erosionsmesseinrichtungen in einem Bachbett aufgebaut:

- Erosionsnadeln zur Kennzeichnung der aktuellen Geländehöhe,
- Bleche als halbquantitativer Erosionsversuch,
- Sedimentfalle zum Auffang des abgeschwemmten Sedimentes > 2mm,
- sowie Steinmarkierungen verschiedener Gewichte zwecks Verlagerungsbeobachtung.

Eine Kontaktaufnahme erfolgte zu folgenden örtlichen Institutionen:

- AMSOL (Rabat), *Association Marocaine de la Science du Sol*
- GTZ (Zagora), *Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit*
- Service Géologie et Mines (Ouarzazate)
- PEE (Ouarzazate)

Erster Gesamteindruck zu den Böden und zum Ausmaß der Erosion

Der Leitbodentyp weiter Gebirgsflächen des Einzugsgebietes wie auch der Testsites (TS1 Jebel Bani (JHB); TS2 El Miyit (EMY); TS3 Agdz (BIH); TS4 Bou Skour (BSK) und TS7 Imeskar

(IMS) wird von einem flach entwickelten, skelettreichen humusarmen Gesteinsrohboden, häufig mit Sand- oder Tonstein als Ausgangsmaterial, gebildet. Für endgültige taxonomische Zuordnungen fehlen die letzten Analyseergebnisse der Bodenproben aus dem Labor des Bodenkundlichen Instituts in Bonn, die kurz vor ihrem Abschluß stehen. Ausgewählte Parameter sind der Tabelle B2-1 zu entnehmen.

Die Böden sind in der Regel mäßig bis stark alkalisch, z.T. stark salzhaltig und ihre Kalkgehalte erreichen in einzelnen Horizonten bis zu 60 % Kalk (sog. Caliche). Gips tritt örtlich in geringeren Mengen auf.

Die Testsite 5 nördlich von Skoura (TS 5 - TRL) ist geprägt von den typisch groben Terrassenschottern alter Fluss-Systeme, die in Skoura sehr stark verfestigt sind. Auf der Hochebene auf 1900 m ü.NN von Ait Toumert (TS6 - TAO) wird auf mächtigen Ablagerungen aus schluffigem Material Getreide angebaut. Die Felder werden rückwärtig durch einen Gully angeschnitten.

Im gesamten Untersuchungsraum tritt ein breitgefächerter Formenschatz durch sowohl flächenhafte als auch lineare Erosion durch Wasser auf. Besonders der Hohe Atlas und die Mergellandschaften im Becken von Ouarzazate im Bereich von Skoura sind durch intensive Erosion durch Wasser bis hin zur Degradation zu reinen Erosionslandschaften (Badlands) gekennzeichnet. Häufig anzutreffende tief freigelegte Wurzelstöcke belegen im gesamten Einzugsgebiet den intensiven flächenhaften Abtrag. Steinpflaster und Bodenkrusten, die als natürlicher Erosionsschutz wirken, sind vielfach gestört.

Feldkampagne Frühjahr 2001

Der nächste Feldaufenthalt ist für den 3.4. – 3.6.2001 geplant, bei dem schwerpunktmäßig die Untersuchungsflächen des Hohen Atlas bearbeitet werden sollen. Die Böden werden nach der World Reference Base (FAO 1998) taxonomisch angesprochen und für notwendige Folgelaboruntersuchung beprobt. Die aktuelle Erosion wird durch eine Schadenskartierung (DVWK) qualitativ und quantitativ erfaßt.

Die potentielle Erodierbarkeit der Böden soll durch Aufnahme der notwendigen Parameter für die entsprechenden Faktoren der Universal Soil Loss Equation (USLE) ermittelt werden.

Tab.B2-1: Ausgewählte chemische Parameter der Bodenproben

Probenpunkt	GPS, N-Angabe	GPS, W-Angabe	Höhe [m ü.NN]	Lagebezeichnung	Beprobungstiefe [cm]	N [%]	C [%]	C / N	org. C [%]	pH (H ₂ O)	Salze [%]	Kalk [%]	Gips
1	30°58.767'	6°42.824'	1156	Nähe Stausee OZZ	. + 2	0	1,81	-	1,04	9,22	31,24	6	++
					. + 1	0,02	3,20	142	0,48	8,87	5,99	23	++
					0 - 5	0,02	3,67	204	0,41	9,14	0,05	27	++
2.1	31°10.26'	6°34.71'	1383	TS Skoura	0 - 5	0,03	0,93	30	0,16	8,74	0,03	6	+
					0 - 35	0,03	0,92	31	0,20	8,62	0,04	6	+
					35 - 95	0,03	0,76	28	0,25	8,82	0,04	4	+
					95 - 147	0,05	1,29	25	0,62	8,51	0,08	6	++
					> 147	0,02	1,07	47	0,40	8,97	0,03	6	0
2.2					0 - 5	0,09	1,29	14	0,73	8,32	0,12	5	+
3	31°00.384'	6°37.803'	1132	Badlands westlich Skoura	0 - 5	0,02	1,10	56	0,29	9,05	0,04	7	0
					150 - 350	0,03	1,49	44	0,24	9,22	0,04	10	+
					150 - 350	0,02	0,75	35	0,15	8,67	0,13	5	+
					350 - 500	0,03	3,05	115	0,42	9,63	0,56	22	++
4	30°58.524'	6°43.452'	1155	Salzausblühungen nahe Golfplatz	. + 1	0,02	3,91	211	0,00	8,37	23,75	33	++
					0 - 2	0	4,95	-	0,21	10,17	1,48	40	++
					2 - 5	0	8,95	-	0,59	10,02	0,81	70	+
5	30°57.800'	6°50.789'	1114	Oued Skoura Richtg. OZZ (Pistenschild 20 km nach Quassamat)	5 / Oued	0,10	1,73	18	0,73	8,30	0,73	8	++
6.1	30°56.609'	6°59.475'	1198	Straße Agadir Richtg. OZZ	0 - 10	0	2,33	-	0,28	8,60	0,06	17	+
					10 - 11	0,03	2,67	88	0,52	8,56	0,21	18	++
					11 - 28	0,02	2,42	115	0,57	8,32	0,08	15	++
					28 - 36	0,02	2,59	140	0,46	8,32	0,16	18	++
					36 - 60	0,07	2,14	32	0,41	7,85	0,32	14	++
					60 - 80	0,02	2,31	116	0,46	8,16	0,34	15	++
					80 - 100	0,02	2,20	142	0,20	8,08	3,85	17	++
6.2					0 - 5	0,02	1,49	83	0,15	8,15	0,04	11	n.b.
					30 - 40	0	2,35	-	0,15	9,03	0,22	18	+
6.3					0 - 5	0,03	2,27	76	0,65	8,60	1,46	14	++
7	30°59.146'	7°08.892'	1275	Bewässerungsfeldbau Oued ...	0 - 5	0,04	1,87	49	0,41	8,23	0,18	12	++
					5 - 10	0,08	2,55	30	1,07	7,99	0,30	12	++
8	n.b.	n.b.	n.b.	Felszeichnung, Totenschädel...	0 - 5	0,03	2,05	62	0,40	8,61	0,05	14	+
					1200	0,02	1,29	56	0,27	9,00	0,09	9	+
9	30°58.134'	7°04.520'	1320	Straße im Gebirge Agadir Richtg. OZZ	0 - 5	0,04	0,84	22	0,37	8,63	0,04	4	+
					0 - 15	0,02	1,41	59	0,26	8,80	0,04	10	0
					15 - 40	0,03	2,63	88	0,36	8,83	0,06	19	+
10	30°53.451'	6°56.415'	1195	Piste OZZ Richtg. Oase Fint, 32 Meter weiter	10 / Kalkoued	0	7,54	-	0,35	8,70	0,07	60	+
11	30°54.890'	6°57.165'	1179	Eukalyptuswald OZZ	0 - 5	0,04	1,41	32	0,63	8,28	0,09	7	0
					.5 - 10	0,03	1,46	44	0,65	8,64	0,08	7	0
12	30°39.778'	6°19.314'	991	Testsite Agdz, unten	0 - 56	0,00	2,01	804	0,11	8,38	0,15	16	++
					56 - 160	0,05	1,84	41	0,24	8,13	0,38	13	++
					0 - 5	0,04	0,64	17	0,24	8,80	0,03	3	+
13	n.b.	n.b.	n.b.	Erz	14 / Erz	0,04	1,71	43	0,25	8,08	3,07	12	++

Workpackage B2-5: Grundwasserressourcen im Einzugsgebiet des Wadi Drâa

Zielsetzung

Ziel des Workpackage B2-5 ist es, die für die Gesamtwasserbilanz wichtige Ressource Grundwasser quantitativ und qualitativ, hier insbesondere eine mögliche anthropogene Überprägung sowie die Hydrodynamik zu erfassen, um mit dem daraus resultierenden konzeptionellen hydrogeologischen Modells des Drâa-Einzugsgebietes ein Instrumentarium für ein nachhaltiges Management der Ressource Grundwasser zu besitzen.

Projektorganisation

Als wissenschaftlicher Mitarbeiter für das Teilprojekt wurde zum 01.08.2000 Diplomgeologe Michel Gastreich und als studentische Hilfskraft Cand. Geol. Harald Hofmann eingestellt. Bis zum Beginn des ersten Feldaufenthaltes wurde für das Teilprojekt relevante Literatur unter anderem per Internet recherchiert, Geräte für die Feldarbeiten (siehe Antrag) angeschafft und der Geräteversand nach Marokko organisiert.

Ein erster wissenschaftlicher Geländeaufenthalt fand im Zeitraum 20.10. – 6.12.2000 statt. Während dieses Aufenthaltes wurden neben den eigentlichen Feldarbeiten (Geologische Kartierung von ausgewählten Testflächen, Erkundung von Grundwasseraufschlüssen, Vorortmessung von Wasserstand, Brunnentiefe, elektrische Leitfähigkeit, Temperatur, Probennahme von ausgewählten Meßstellen mit nachfolgender Analyse im Labor des geologischen Instituts) andere, für die erfolgreiche Durchführung des Gesamtprojekts wichtige Aufgaben erledigt. Es wurden erste Kontakte zu marokkanischen Behörden, z.B. Service Hydrogéologique, Ouarzazate und Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Energie et des Mines, Rabat geknüpft, die auch für die Arbeiten im Rahmen des Workpackage B2-5 essentielle Informationen lieferten. Die bereits vorhandene Literatur und fachspezifischen Karten konnten durch einzelne, nur in Marokko erhältliche Arbeiten (MICHARD 1976, SERVICE GÉOLOGIQUE 1977) sowie geologische und topographische Karten in den Maßstäben 1 : 100.000 und 1 : 200.000 ergänzt werden. Darüber hinaus wurde eine Vereinbarung über einen Datenaustausch getroffen, der im März 2001 durch die Proff. Thein und Diekkrüger (B 2-3) mit einem offiziellen Antrag an die zuständige Stelle in Rabat manifestiert wurde, die Bewilligung steht zur Zeit noch aus. Die im Service Hydrogéologique verfügbaren Daten über den Abfluß der größeren Oberflächengewässer im Drâa-Tal (langjährige, kontinuierliche Meßreihen), über das Klima sowie über die Hydrogeologie und Geologie zahlreichen Brunnen im Becken von Ouarzazate, aber auch das umfangreiche Literaturarchiv stellen eine wesentliche Grundlage für die erfolgreiche Projektarbeit dar, auf die alle Projektpartner nach Erhalt einer offiziellen Erlaubnis zurückgreifen können. Das Workpackage B2-5 bietet als Gegenleistung alle hydrochemischen und hydrogeologischen Daten, die im Rahmen des Teilprojektes erhoben werden an. Zusätzlich wurde mit Prof. Agoussine (Hydrogeologe), Universität

Marrakech, Faculté de la science et technique erste Verhandlungen über eine direkte intensive Zusammenarbeit geführt. Unter anderem ist daran gedacht, daß die bei den Feldkampagnen anfallenden hydrochemische Analysen im Labor der Universität Marrakech durchgeführt werden.

Lage und Abgrenzung des Arbeitsgebiets

Das Arbeitsgebiet (AG) umfaßt das Einzugsgebiet des Oberen und Mittleren Drâa. Die nördliche Grenze des Arbeitsgebietes läuft entlang der M'Goun-Kette im Hohen Atlas bis zum Tichi-n-Tichka-Pass. Die Südliche Grenze liegt bei ca. 29,5° N auf der Linie Mhamid – Mrimina. Im Westen bildet das Jbel Sirouha-Massiv die Grenze zum Souss-Becken (ca. 8° W), die Ost-Grenze liegt zwischen 5 und 6° West.

Geologischer Überblick

Das Einzugsgebiet des Drâa kann in drei geologische Großeinheiten untergliedert werden:

- Orogen des Hohen Atlas,
- Becken von Ouarzazate, Teil der südatlassischen Furche (Sillon sudatlassique) und
- Anti-Atlas

Der Hohe Atlas (Zentral-Atlas oder auch Kalk-Atlas) besteht aus einem varizischen Grundgebirgssockel, dem ein mesozoisches, Karbonat-dominiertes Deckgebirge auflagert. Der varizische Sockel wird vornehmlich aus Sandsteinen, Schiefern, Quarziten und Kalksteinen paläozoischen Alters gebildet, die nur im Nordwesten des AG in Form von kambro-ordovizischen Quarzite und Schiefer ausbeißten. Im westlichen Teil des Zentralen Atlas herrschen Gesteine kontinental-lagunärer Fazies vor (rote Sand-, Ton- und Siltsteine, Gipse, Salze), daneben treten triadische Basalten, liassisch bis kretazische Kalksteine und kontinentale bis marine Tertiärablagerungen (Kalke, Mergel, Rot-Sedimente) auf. Nach Osten hin werden die Gesteine durch mächtige Lias-Kalke abgelöst, die auf Rot-Sedimenten und Basalten der Trias liegen. Bedeckt werden können diese vereinzelt durch kalkige Ablagerungen der Kreide. Der Hohe Atlas wird als ein altes Rift-System gedeutet, das sich durch Umkehr der Plattenbewegungsrichtung in ein Orogen umwandelte (STETS & WURSTER 1981, BEAUCHAMP et al. 1999). Die dadurch initiierten Bewegungen führten zu einem z.T. sehr komplexen tektonische Bau (z.B. FROITZHEIM et al. 1988).

Das Becken von Ouarzazate stellt die Nahtstelle zwischen dem Hohen Atlas und dem Anti-Atlas dar und ist eines der drei känozoischen Becken, die sich südlich des Hohen Atlas-Gebirges entlang ziehen. Nach BEAUCHAMP et al. (1999) besteht das Becken aus einer kretazisch-tertiären Füllung, die diskordant auf paläozoischen Gesteinen mit präkambrischen Basement liegen. Die Mächtigkeit der phanerozoischen Ablagerungen (Kalk- Sand-, Silt- und Tonsteinen, z.T. mit Gipseinschaltungen) beträgt bis zu 3000 m (SERVICE GÉOLOGIQUE 1977, GÖRLER et al. 1988, EL HARFI 2000).

Vornehmlich kristalline, untergeordnet aber auch sedimentäre Gesteine, präkambrischen bis paläozoischen Alters stellen den Gesteinsbestand des Anti-Atlas dar. Neben Magmatiten wie Rhyolithen, verschiedenen Graniten, Doleriten und Gabbros sind dies auch Metamorphite wie z.B. Serpentine, Amphibolite und Migmatite. Als Teil des Afrikanischen Kratons finden sich im Anti-Atlas Spuren dreier präkambrischer Orogenesen (MICHARD 1976).

Hydrogeologische Situation

Aufbauend auf einer Literaturrecherche, die durch die erst jetzt zur Verfügung stehende umfangreiche marokkanische Literatur (Diréction Hydraulique, Rabat) wesentlich erweitert werden wird, und an Hand der bereits durchgeführten geologischen und hydrogeologischen Kartierungen und Aufnahmen, die sich jetzt zu Beginn des Projektes auf den nördlichen Teil des Einzugsgebietes (Hoher Atlas, Becken von Ouarzazate) beschränken, kann die hydrogeologische Situation im Arbeitsgebiet wie folgt charakterisiert werden.

Verkarstete Kalke, im wesentlichen liassischen, kretazischen und eozänen Alters sind die ergiebigsten Grundwasserleiter im Bereich des Hohen Atlas. In ihrer Ergiebigkeit von untergeordneter Bedeutung sind die kontinental-lagunären Ablagerungen der Permo-Trias, wobei die z.T. stark geklüfteten triassischen Basalte der Trias lokal einen wichtiger Grundwasserleiter darstellen (z.B. Testfläche *Imeskar*).

Im Gegensatz zu den Festgesteinsaquiferen des Hohen Atlas spielen im Becken von Ouarzazate die Lockersedimente der Wadis für die oberflächennahen Grundwässer die entscheidende Rolle. Potentielle Aquifere für tiefe Grundwässer können liassische Kalksteine, Sandsteine der Unterkreide, Kalksteine und Sandsteine der Oberkreide und des Alt- und Jungtertiärs sein. Die Nutzungsmöglichkeiten tiefer Grundwässer wird von Prof. Agoussine (s.o.) untersucht. Detaillierte Unterlagen über den Schichtaufbau, Schichtmächtigkeit oder strukturelle Überprägung der Beckensedimente liegen zur Zeit jedoch nicht vor. Insbesondere ist die hydraulische Wirkungsweise der verschiedenen Störungen des in Graben- und Horststrukturen gegliederten Beckens (Service Géologique 1977) unbekannt. Nach Agoussine (pers. Mit.) sind zur Trinkwassergewinnung niergebrachte Bohrungen (bis zu 700 m) überwiegend trocken, haben versalzene Wasser oder eine zu geringe Förderleistung.

Erste eigene Ergebnisse und Auswertungen

Die Arbeiten der ersten Feldkampagne konzentrierten sich, wie bereits erwähnt, auf den nördlichen Teil des Drâa-Einzugsgebietes und hatten zwei Schwerpunkte: zum einen eine Übersichtsbeprobung der Grundwässer (Quellen und Brunnen) und zum anderen die geologische Kartierung und hydrogeologische Bewertung der Testfläche *Imeskar*.

Die bisher analysierten Grundwässer zeigen in ihrer chemischen Zusammensetzung eine vergleichsweise große Spannbreite und wie nicht anders zu erwarten eine deutliche Abhängigkeit von der Lithologie ihres jeweiligen Einzugsgebietes (Abb. B2-11).

Die Grundwässer zeichnen sich im allgemeinen durch eine Ca/Mg-Vormacht bei den Kationen aus. Der relative Anteil einzelner Anionen schwankt beträchtlich, so kommen im untersuchten Gebiet sowohl Hydrogenkarbonat-Wässer als auch Sulfat-Chlorid-Wässer vor. Die stark geogen bedingte Prägung der Wässer kann an Hand einzugsgebietspezifischer Darstellungen (Piper-Diagramme in Abb. B2-14, B2-15) deutlicher aufgezeigt werden.

Die beprobten Grundwasseraufschlüsse in der Umgebung der Testfläche *Taoujgalt* rekrutieren sich fast ausschließlich aus Brunnen, die westlich und z.T. mehrere Kilometer entfernt der eigentlichen Testfläche liegen. Die Probenzahl ist zu gering und nicht über das Einzugsgebiet verteilt, so daß eine sinnvolle Interpretation der Ergebnisse noch nicht möglich ist. Zur Zeit wird die geologische Kartierung dieser Testfläche vorgenommen, wobei auch weitere Grundwasseraufschlüsse erkundet werden.

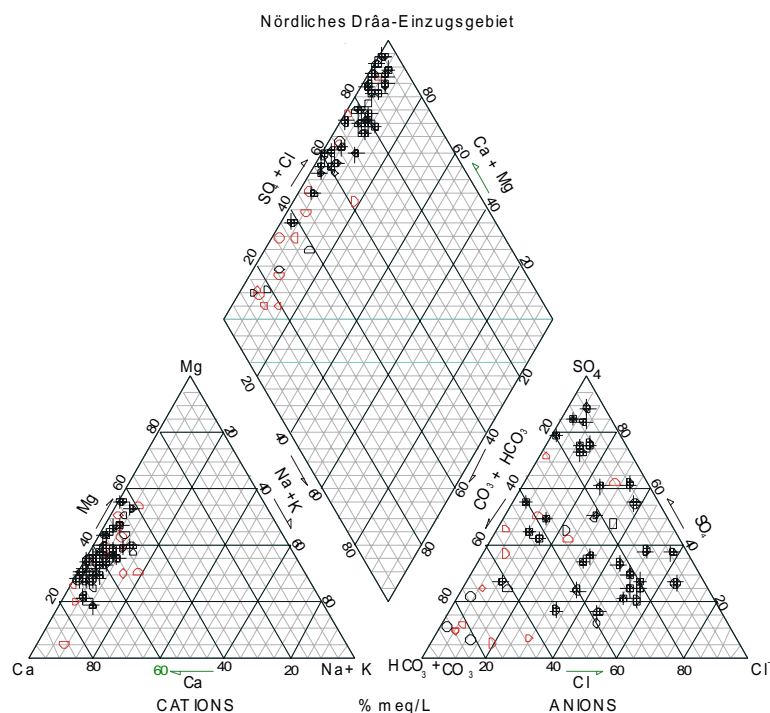


Abb. B2-11: Piper-Diagramm aller Analysen der ersten Feldkampagne. Ringe bedeuten Quellwässer, rote Farbe Wässer der Testsite Imeskar. Rechteck Oberflächenwasser, Punkte = Brunnen.

Die bis jetzt durchgeführten Isotopenuntersuchungen weisen nur Stichprobencharakter auf, die erst bei einer größeren Datenbasis interpretiert werden können.

Testflächen Imeskar und Trab Labied

In der ersten Feldkampagne wurde mit der geologischen Detailkartierung der Testfläche Imeskar begonnen (Diplomkartierungen H. Hofmann, V. Osterholt) sowie alle Grundwasseraufschlüsse in der Umgebung der Testflächen *Imeskar*, *Taoujgalt* und *Trab Labied* beprobt. Für die Testfläche *Imeskar* liegt ein erstes, noch etwas schematisches geologisches Profil (Abb. B2-12) sowie eine Normalprofil der anstehenden Gesteine (Abb. B2-13) vor.

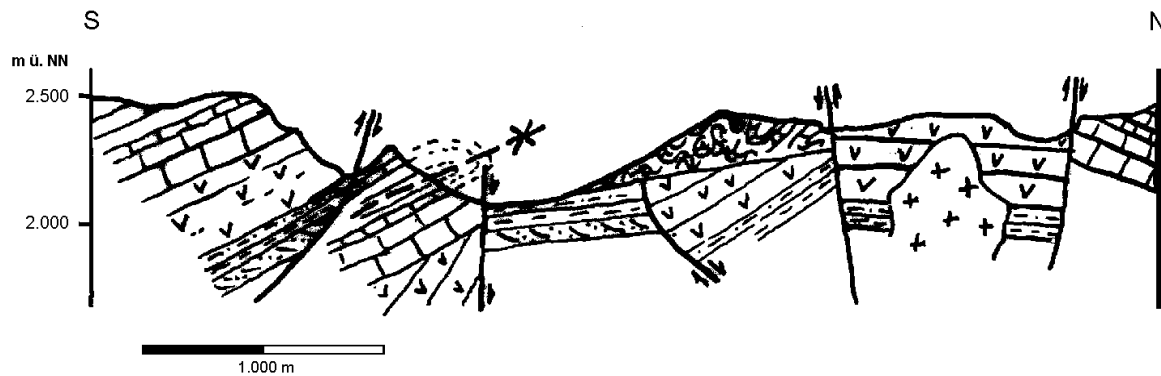


Abb. B2-12: Schematisches Profil durch das Arbeitsgebiet „Imeskar“ (Skizze: H. Hofmann & V. Osterholt).

Die ältesten Gesteine, die sich im Gebiet der Testfläche befinden, stammen aus der Trias und sind in Red-Bed-Fazies ausgebildet (rote Sand-, Silt- und Tonsteine). Darauf folgen stellenweise stark geklüftete Basalte, überlagert von liassischen Kalkserien (Abb. B2-13). An einer Stelle werden beide Einheiten von einer Syenit-Intrusion durchschlagen. Insgesamt ist das gesamte Gebiet ist durch intensive Bruchtektonik und zahlreiche Überschiebungen geprägt.

Die Quellaustritte lagen während des Beobachtungszeitraums (Abflußminimum nach sommerlicher Trockenperiode) an der Grenze kontinentale Trias/Basalt, so daß der Basalt einen regional bedeutenden Aquifer darstellt. Die Trias stellt die Aquitarde dar. Im Vergleich zu den liassischen Kalkserien, die durch zahlreiche Karstformen wie z.B. Karren, Dolinen, Poljen gekennzeichnet und als typischer Karstaquifer anzusprechen sind, weist der geklüftete Basalt eine reduzierte Durchlässigkeit auf. Bei höheren Wasserständen und insbesondere beim Abflußmaximum wird eine Verschiebung der Quellaustritte in höhere Niveaus erwartet, so daß der Basalt als temporärer Stauer für den Karstaquifer fungiert. Aufgrund der im Winter 2000/2001 ausgebliebenen Niederschläge konnte dieser Effekt bei der zweiten Kampagne nicht beobachtet werden.

Hydrochemisch zeichnen sich die Quellen im Bereich der Testfläche *Imeskar* sich durch eine große Heterogenität aus (Abb. B2-14), die im wesentlichen auf die ausgeprägten Unterschiede in der Lithologie der Klein-Einzugsgebiete zurückzuführen sind. Im Rahmen der laufenden Meßkampagne wird dies detaillierter untersucht werden.

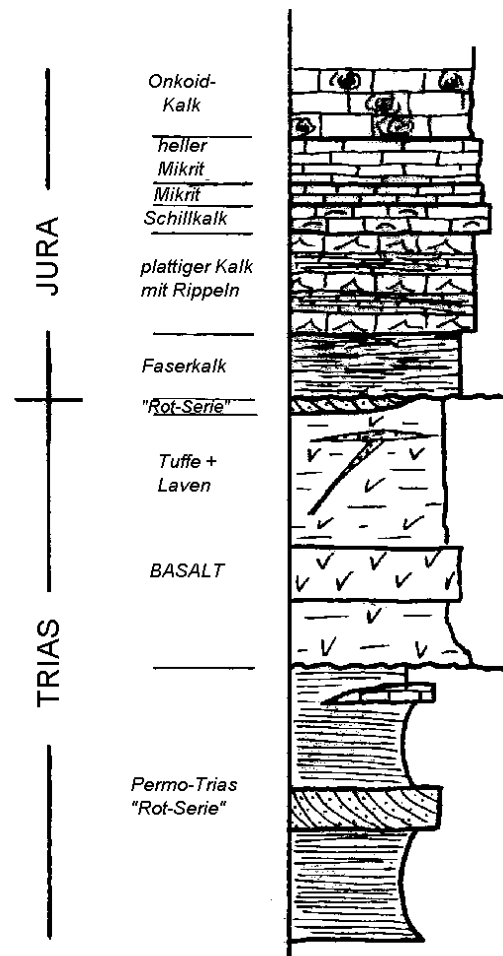


Abb. B2-13: Schematisches Normalprofil durch das Arbeitsgebiet „Imeskar“ (H. Hofmann & V. Osterholt).

Die Testfläche *Trab Labied* ist Teil des Beckens von Ouarzazate, wenige Kilometer südlich des Hohen Atlas. Das oberflächliche Einzugsgebiet des anstehende Porengrundwasserleiter wird einerseits aus den quartären Schotter des Beckens von Ouarzazate selbst und andererseits aus triasischen und jurrassischen Einheiten des Hohen Atlas gebildet. Die genaue Abgrenzung des Einzugsgebietes und insbesondere die Möglichkeit einer unterirdischen Speisung des Reservoirs über den Zutritt tieferer Grundwässer zu dem oberflächennahen Grundwasser ist zur Zeit noch nicht möglich.

Bei den beprobten Brunnen und Quellen handelt es sich um Chlorid-Sulfat-Wässer mit einer geringen Varianz in der Ca-Mg-Zusammensetzung (Abb. B2-15). Der hohe Sulfat- und Chloridgehalt ist eindeutig geogener Natur (Salzabbau bei Toundoute).

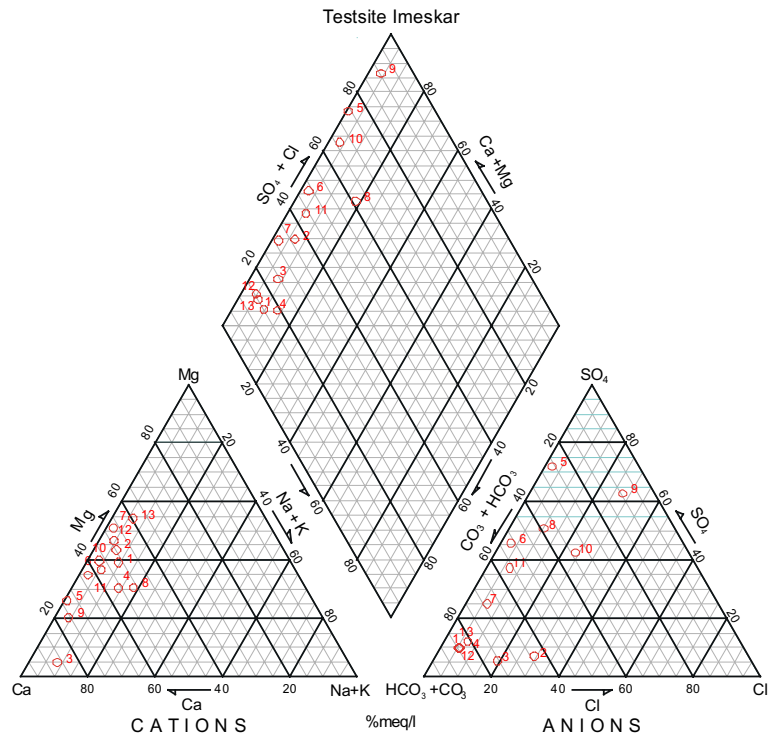


Abb. B2-14: Piper-Diagramm der Quellwässer im Einzugsgebiet der Testfläche Imeskar.

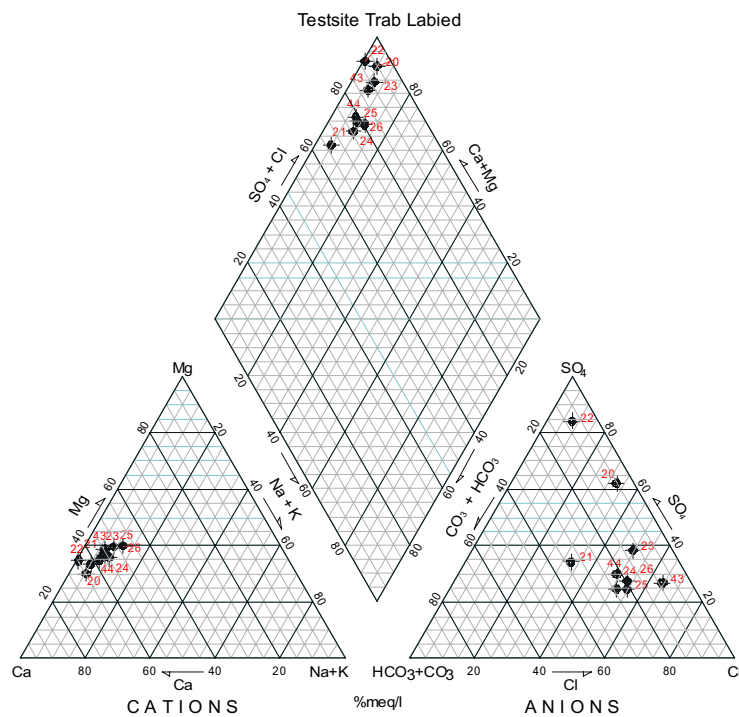


Abb. B2-15: Grundwässer (mit Probennummer) im Bereich der Testfläche Trab Labied.

Fazit und Ausblick

In dem ersten Jahr nach Bewilligung des Projektes wurde neben den generellen Vorarbeiten, im wesentlichen eine intensive Literaturrecherche, mit den ersten Feldbegehungen, Probenahmen sowie Auswertungen begonnen. Nach Vorliegen der Forschungsgenehmigung wird der bereits bestehende Kontakt zu den verschiedenen marokkanischen Stellen (Service Hydrogéologique in Ouarzazate, Division de la Carte Géologique des Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Energie et des Mines in Rabat, Service Hydraulique in Agadir bzw. Rabat) intensiviert bzw. direkt aufgenommen. Die Beschaffung von weiterführender Literatur und insbesondere von bereits auf marokkanischer Seite vorliegenden hydrogeologischen, hydrochemischen und hydraulischen Daten ist nun erfolgsversprechend und wird weiter betrieben werden.

Einzelne chemische Analysen weisen nur bedingt akzeptable Fehler in der Ionenbilanz auf. Als mögliche Ursache ist der vergleichbare lange Zeitraum zwischen Probennahme im Feld, bei der leider keine Kühlung möglich war, und Analyse anzusehen. Aus diesem Grunde wurden für die zweiten Feldkampagne die Vorortbestimmungen um Nitrat-, Ammonium- und Phosphat-Analysen erweitert. Geplant ist es in den nächsten Kampagnen Analysen in einem adäquaten marokkanischen Labor durchzuführen.

In der nächsten Feldkampagne (Oktober 2001) soll die chemische und isotopische Charakterisierung der Grundwasserbeschaffenheit fortgeführt und intensiviert werden. Die Durchführung erster Pumptestes soll eine genauere Charakterisierung der Aquifereigenschaften bringen. Die detaillierte geologische und hydrogeologische Charakterisierung der einzelnen Testflächen (vgl. geologische Übersicht der einzelnen Testflächen) wird fortlaufend weitergeführt.

Vernetzung von B2

Eine Vernetzung innerhalb des Teilprojektes B2 ergibt sich durch die Konzentration der Arbeiten auf die Testflächen entlang des Höhen- und Ariditätsgradienten. Die klimatologischen Untersuchungen (B2-1) sind ebenso wie die hydrologischen (B2-3) und pedologischen (B2-4) Arbeiten direkt an den Testflächen orientiert. Die enge Verbindung ermöglicht einerseits eine gegenseitige Unterstützung und gewährleistet andererseits, dass kohärente Datensätze für die Analyse und die Modellierung erstellt werden. Diese Untersuchungen werden durch die geologischen Kartierungen (B2-5) ergänzt. Die bereits jetzt regional arbeitenden Geologen (B2-5) sind auf die Bereitstellung von Informationen zur Grundwasserneubildung angewiesen. Hierbei ist eine enge Kooperation mit der Hydrologie (B2-3) gegeben, die versucht, aus der kleinräumig stark variierenden Bodenwasserdynamik auf die Grundwasserneubildung zu schließen. Eine enge Kooperation zwischen den Bodenkundlern (B2-4) und den Hydrologen (B2-3) ergibt sich aus dem gemeinsamen Untersuchungsgegenstand Boden. Die durch Wasser hervorgerufenen erosiven Umlagerungs- und Transportprozesse werden von B2-4 untersucht, wobei sie durch die Analyse der abflussbildenden Prozesse (B2-3) unterstützt werden.

Neben der internen existiert eine intensive externe Vernetzung mit den anderen Teilprojekten. Das Teilprojekt B1 (Niederschlagsvariabilität) ist an den Daten aus dem aufgebauten Messnetz interessiert, um die vorhandene Datenbasis zu erweitern. Für die Modellierung der meteorologischen Prozesse auf den verschiedenen Raum- und Zeitskalen benötigt das Teilprojekt B1 neben Wetterdaten insbesondere Informationen zu Boden und Abfluss. Diese Daten können aus dem Teilprojekt B2 für die Testflächen und in der zweiten Antragsphase für das gesamte Einzugsgebiet bereitgestellt werden. Eine enge Kooperation ergibt sich hinsichtlich der Analyse des Schneespeichers. Die hier erhobenen Daten werden benötigt für die Entwicklung, Anwendung und Validierung eines Schneeablationsmodells, welches in Zusammenarbeit zwischen beiden Teilprojekten entwickelt wird.

Mit dem Teilprojekt B3 existiert eine enge Verknüpfung hinsichtlich des Messkonzepts (Höhen- und Ariditätsgradient). Die Testflächen wurden gemeinsam ausgewählt und instrumentiert, die Versuchsanordnung und die durchzuführenden Versuche wurden detailliert abgesprochen. Die für die Berechnung der Transpiration benötigten Informationen können aus den Untersuchungen des Teilprojektes B3 gewonnen werden, wodurch die Qualität der hydrologischen Modellierung signifikant verbessert wird. Für die Regionalisierung ist die Zusammenarbeit mit der Fernerkundung unerlässlich, da nur mittels Satellitenbilddauswertung das gesamte Einzugsgebiet hinsichtlich Boden und Vegetation charakterisiert werden kann. Eine enge Kooperation ergibt sich auch hinsichtlich der Auswertung der NOAA-AVHRR Daten zur Bestimmung der Schneeflächen.

Das Teilprojekt B4 beschäftigt sich mit Fragen der Wasserverteilung, -rechte und -konflikte. Für die aktuellen Arbeiten an den Testflächen sind somit z.Z. nur wenig Berührungspunkte vorhanden. Eine Kooperation ergibt sich aber bei den regionalen Arbeiten. So ist die zeitliche Entwicklung des Grundwasserkörpers durch die anthropogene Nutzung stark beeinflusst. Weiterhin werden für eine regionale Modellierung Informationen über Wassernutzung und insbesondere Landnutzung (mobile Tierhaltung) dringend benötigt. Hierbei ist B2 auf die Arbeiten von B4 angewiesen.

Insgesamt sind die Arbeiten innerhalb von B2 mit den Arbeiten der anderen Teilprojekte eng vernetzt und aufeinander abgestimmt. Die Durchführung gemeinsamer Geländekampagnen bietet die Möglichkeit, die Untersuchungen zu koordinieren und sich gegenseitig zu helfen.

Literatur

- Beauchamp, W., Allmendinger, R. W., Barazangi, M., Demnati, A., El Alji, M. & Dahmani, M. (1999): INVERSION TECTONICS AND THE EVOLUTION OF THE HIGH ATLAS MOUNTAINS, MOROCCO, BASED ON A GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL TRANSECT. TECTONICS VOL. 18 (2), P. 163-184.
- BECHT, M. (1991): Schneehydrologische Untersuchungen am Pico de Teide (Teneriffa). In: Erdkunde Bd. 45, S. 264-276.
- BECHT, M. (1997): Zum Einfluß des Waldes auf die Schneeablation im Atlasgebirge Marokkos. In: Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie Bd. 33, H. 2, S. 149-168.
- BOER, M.M. (1999) Assessment of dryland degradation – linking theory and practice through site water balance modelling. Nederlandse Geografische Studies 251. 291 S.
- BORK, H.R. & H. BORK (1981): Oberflächenabfluß und Infiltration – Ergebnisse von 100 Starkregensimulationen im Einzugsgebiet der Rambla del Campo Sante (SE-Spanien). Landschaftsgenese und Landschaftsökologie 8, 76 S.
- El Harfi, A., Lang, J., Salomon, J. & Chellai, E.H. (2000): CENOZOIC SEDIMENTARY DYNAMICS OF THE OUARZAZATE FORELAND BASIN (CENTRAL HIGH ATLAS MOUNTAINS, MOROCCO. INTERNATIONAL JOURNAL OF EARTH SCIENCE, PUBLISHED ONLINE 6. SEPTEMBER 2000, SPRINGER.
- Froitzheim, N., Stets, J. & Wurster, P. (1988): ASPECTS OF WESTERN HIGH ATLAS TECTONICS. IN: JAKOBSHAGEN (1988), p. 219-245.
- Görler, K., Helmdach, F.-F., Gaemers, P., Heissig, K., Hinsch, W., Mädler, K. Schwarzhans, W. & Zucht, M. (1988): THE UPLIFT OF THE CENTRAL HIGH ATLAS AS DEDUCED FROM NEOGENE CONTINENTAL SEDIMENTS OF THE OUARZAZATE PROVINCE, MOROCCO. IN: JAKOBSHAGEN (1988), p. 361-405.
- Jakobshagen, V. H. (Ed.) (1988): THE ATLAS SYSTEM OF MOROCCO. LECTURE NOTES IN EARTH SCIENCES, VOL. 15.
- Lange, J. (1999): A NON-CALIBRATED RAINFALL-RUNOFF MODEL FOR LARGE ARID CATCHMENTS, NAHAL ZIN, ISRAEL. FREIBURGER SCHRIFTEN ZUR HYDROLOGIE 9, 139 S.
- Michard, A. (1976): ELEMENTS DE LA GEOLOGIE MAROCAINE. NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUE NO. 252. EDITIONS DU SERVICE GEOLOGIQUE DU MAROC, RABAT.
- Service de la Carte Géologique (1959): GEOLOGISCHE KARTE VON MAROKKO, 1 : 500 000, FEUILLE OUARZAZATE. MINISTERE DE L'ECONOMIE NATIONALE
- Service Géologique du Maroc (1977): RESSOURCES EN EAU DU MAROC - TOME 3 (DOMAINES ATLASIQUE ET SUD-ATLASIQUE). NOTES ET MEMOIRES DU SERVICE GEOLOGIQUE NO. 231., EDITIONS DU SERVICE GEOLOGIQUE DU MAROC, RABAT.
- Stets & Wurster (1982): ZUR STRUKTURGESCHICHTE DES HOHEN ATLAS. GEOLOGISCHE RUNDSCHAU.

