

Rezente und historische Erosionsprozesse
und ihre anthropogenen Beeinflussungen
im Einzugsgebiet des Río Yavi,
Argentinische Puna

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Doktorgrades

der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Universität zu Köln

vorgelegt von

Heidrun Kiegel

aus Köln

Köln 2001

Berichtersteller:

Prof. Dr. Ulrich Radtke
Priv.-Doz. Dr. Reinhard Zeese
Priv.-Doz. Dr. Frank Schäbitz

Tag der mündlichen Prüfung:

14. Mai 2001

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Verzeichnis der Abbildungen	IV
Verzeichnis der Tabellen	V
Vorwort	VI
1 Einleitung	1
2 Das Untersuchungsgebiet	6
3 Ursachen der Erosion im Untersuchungsgebiet – Bewertung der verschiedenen Faktoren	14
3.1 Physiogeographische Faktoren und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet	14
3.1.1 Erosivität der Klimaelemente	14
3.1.1.1 Niederschläge	15
3.1.1.2 Temperaturverhältnisse	18
3.1.1.3 Wind	19
3.1.2 Relief und Erosion	21
3.1.3 Erodierbarkeit des Bodens	22
3.1.4 Vegetation und ihr Verhältnis zu Erosionsprozessen	25
3.1.5 Wechselwirkungen der physiogeographischen Faktoren des Untersuchungsgebietes mit Erosionsprozessen	31
3.2 Anthropogene Faktoren und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet	34
3.2.1 Besiedlungsgeschichte und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse	34
3.2.1.1 Prähispanische Besiedlung	35
3.2.1.2 Konquista und spanische Kolonialherrschaft	39
3.2.1.3 Unabhängigkeit und 19. Jahrhundert	42
3.2.1.4 20. Jahrhundert	44
3.2.2 Aktuelle anthropogene Aktivitäten und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse	47
3.2.2.1 Viehwirtschaft	48
3.2.2.2 Ackerbau	51
3.2.2.3 Sammeln von Brennholz und Wildpflanzen	53
3.2.2.4 Andere anthropogene Aktivitäten	54
3.2.3 Zusammenfassung: Historische und rezente anthropogene Aktivitäten und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse	56
4 Erosionsprozesse und ihre korrelierten Erosions- und Akkumulationsformen im Untersuchungsgebiet	58
4.1 Erosion durch fließendes Wasser	58
4.1.1 Das Flusssystem des Río Yavi und seine Erosionsformen	58
4.1.1.1 Río Casti und Río Yavi	60
4.1.1.2 Río Cajas	65
4.1.1.3 Río Lecho	66
4.1.1.4 Trockentäler: Beispiel Quebrada de Piscuno	69
4.1.2 Formen linearer Erosion außerhalb der Flusstäler	72
4.1.3 Flächenspülung auf den Flächen zwischen den Flusstälern	73
4.2 Formung durch Wind	74
4.2.1 Auswehungsgebiete	74

	Seite	
4.2.2	Akkumulationsgebiete	75
4.2.3	Exkurs: Trombe in Catamarca	78
4.3	Erosionsformen unter starken anthropogenen Beeinflussungen: Hang zwischen der Hochfläche und dem Bolson von Yavi	80
4.4	Zusammenfassung: Prozesse und Formen der Erosion im Unter- suchungsgebiet	83
5	Untersuchungen zu Erosionsprozessen am Fundort Yavi Chico	86
5.1	Lage des Fundortes Yavi Chico	86
5.2	Die Kultur Yavi und der Fundort Yavi Chico	89
5.3	Rezente Erosionsprozesse am Fundort Yavi Chico	91
5.3.1	Lineare Erosion	91
5.3.2	Flächenhafte Abtragung durch Flächenspülung	93
5.3.3	Vegetation und rezente Erosionsprozesse	96
5.4	Rezente Erosions- und Akkumulationsformen in der Erosions- schlucht D und ihre korrelierten Erosionsprozesse	98
5.5	Stratigraphische Untersuchungen in den Hängen der Erosions- schlucht D und Rückschlüsse auf historische Erosionsprozesse	101
5.5.1	Profile YCH1a und YCH1b in Erosionsschlucht D	101
5.5.1.1	Gebäude R1 und Lage der Profile YCH1a und YCH1b	102
5.5.1.2	Beschreibung der Profile YCH1a und YCH1b	106
5.5.1.3	Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich der Profile YCH1a und YCH1b	111
5.5.2	Profil YCH2 in Erosionsschlucht D	113
5.5.2.1	Archäologische Funde im Bereich des Profils YCH2	113
5.5.2.2	Beschreibung des Profils YCH2	116
5.5.2.3	Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich des Profils YCH2	120
5.5.3	Profil YCH3 in Erosionsschlucht D	123
5.5.4	Weitere Beobachtungen in Erosionsschlucht D	124
5.6	Aufschluss YCH4 in Erosionsschlucht B2	124
5.7	Aufschluss YCH6 in Erosionsschlucht B3	126
5.8	Aufschluss YCH5 in Erosionsschlucht H	126
5.9	Zusammenfassung: Erosions- und Akkumulationsprozesse auf dem Hang von Yavi Chico in ihrem Zusammenhang mit anthropo- genen Aktivitäten	128
6	Der Wirkungskomplex anthropogener Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet	134
7	Ausblick: Vorschläge zur Bekämpfung der Desertifikation in der Argen- tinischen Puna	142
	Zusammenfassung	148
	Abstract	149
	Resumen	150
	Literaturverzeichnis	151
	Anhang (Tabellen und Fotos)	163

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes	7
Abb. 2: Einzugsgebiet des Flusses Río Yavi – Relief, Flusssystem und Lage der Siedlungen	10
Abb. 3: Bolson von Yavi und Umgebung	11
Abb. 4: Klimadiagramm Station La Quiaca (22° 06´ s. B., 65°36´ w. L.), Daten 1903 - 1980	15
Abb. 5: Niederschlagsvariabilität Station La Quiaca, 1903 – 1994	16
Abb. 6: Mittlere Windgeschwindigkeiten nach Windrichtungen, Station La Quiaca, 1903 – 1980	20
Abb. 7: Wechselwirkungen der physiogeographischen Faktoren des Untersuchungsgebietes mit Erosionsprozessen	32
Abb. 8: Dominierende Erosionsprozesse im Einzugsgebiet des Río Yavi	59
Abb. 9: Querschnitt durch Teilgerinne des Flusses Río Casti, südlich von Burreria	61
Abb. 10: Übersicht über Quebrada de Piscuno	70
Abb. 11: Lage und Größe von Deflationswannen auf der Pampa de Yavi	75
Abb. 12: Ausmaße einer Düne im Dünenfeld auf der Hochfläche nordöstlich von Portillos	76
Abb. 13: Fundort Yavi Chico und Umgebung	87
Abb. 14: Hang von Yavi Chico, mit Bezeichnungen der Erosionsschluchten	89
Abb. 15: Lage von zerstörtem Gebäude und zerstörter Weidefläche, Hang von Yavi Chico	93
Abb. 16: Lage der Aufnahmeflächen von Vegetation und archäologischen Funden, Fundort Yavi Chico	94
Abb. 17: Vegetation und archäologische Funde am Fundort Yavi Chico	95
Abb. 18: Vegetationsaufnahme am Fundort Yavi Chico, Lage der Aufnahmeflächen	96
Abb. 19: Erosionsschlucht D und Lage der Profile YCH1, YCH2 und YCH3, Hang von Yavi Chico	100
Abb. 20: Freigelegte Mauern des Gebäudes R1 und Lage der Profile YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico	103
Abb. 21: Freigelegtes Gebäude R1 mit den Profilen YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico	104
Abb. 22: Profile YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico	107
Abb. 23: Übersicht über Mauern im Bereich des Profils YCH2, Fundort Yavi Chico	114
Abb. 24: Profil YCH2, Fundort Yavi Chico	115
Abb. 25: Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich des Profils YCH2, Fundort Yavi Chico	122
Abb. 26: Lage der Aufschlüsse YCH4, YCH5 und YCH6, Fundort Yavi Chico	125
Abb. 27: Querschnitt durch den Hang von Yavi Chico mit Lage der aktuellen und historischen Geländeoberfläche	133
Abb. 28: Maßnahmenkomplex zur Bekämpfung der Desertifikation in der Argentinischen Puna	147

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: Anzahl der Tage mit Regen und mit Gewitter, Station La Quiaca, 1951 – 1980	16
Tab. 2: Niederschlagswerte und Potentielle Verdunstung nach Penman, Station La Quiaca, 1961 bis 1980	17
Tab. 3: Durchschnittliche Anzahl der Frosttage und Niederschlagsmenge, Station La Quiaca, 1903 bis 1980	18
Tab. 4: Einfluss des Klimas auf Vegetationsentwicklung sowie morphologische und anatomische Anpassungsstrategien der Vegetation in der Argentinischen Puna	26
Tab. 5: Charakterisierung der verschiedenen Besiedlungsphasen in der Argentinischen Puna	35
Tab. 6: Viehbestand auf der Hacienda von Yavi während der Kolonialzeit	40
Tab. 7: Viehbestand im 20. Jahrhundert auf der Finca de Yavi bzw. im Departamento Yavi	45
Tab. 8: Aussaat- und Erntemonate in Yavi	52
Tab. 9: Profil RC1, Prallhang im mittleren Flussabschnitt des Río Casti	61
Tab. 10: Profil RC2 in Prospektionsschneise am Río Casti	62
Tab. 11: Vegetationsaufnahme Yavi Chico: Deckungsgrade, Artenzahlen und Individuenzahlen	97
Tab. 12: Physiogeographische Faktoren des Untersuchungsgebietes und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse	134/135
Tab. 13: Besiedlungsphasen in der Argentinischen Puna und ihre jeweiligen neuen Einflüsse auf den Naturhaushalt und die Stärke von Erosionsprozessen	136/137
Tab. 14: Charakterisierung der Schichten der Profile YCH1a und 1b	163
Tab. 15: Charakterisierung der Schichten des Profils YCH2	166

Vorwort

Als ich während einer meiner Geländeaufenthalte in der Argentinischen Puna in der Nähe des Dorfes Yavi nach Zeichen fluvialer oder äolischer Erosion suchte, näherte sich mir ein alter Mann. Er fragte, was ich da auf dem Boden machen würde. Ich antwortete, dass ich darüber arbeiten würde, wie das Wasser und der Wind die Erde abtransportiert und ich mich auch für die Pflanzen und Steine interessieren würde. Er fragte mich, ob ich denn auch die guten von den bösen Steinen unterscheiden könnte. Als ich diese Frage verneinte, meinte er, dass es wenig nützen würde, über Steine zu arbeiten, wenn man noch nicht einmal die guten Steine von den bösen Steinen unterscheiden könnte, und zog kopfschüttelnd weiter. Solche Erlebnisse sind mir während meines insgesamt 3,5-jährigen Aufenthaltes in Argentinien öfters widerfahren und haben mir verdeutlicht, dass es nicht nur wissenschaftliche Betrachtungsweisen der Dinge gibt. Das Arbeiten in einem anderen Kulturkreis birgt gewisse Schwierigkeiten und organisatorische Grenzen. Dennoch möchte ich die Zeit nicht missen und bin für die persönlichen Bereicherungen sehr dankbar.

Die vorliegende Arbeit wurde von Prof. Dr. Ulrich Radtke (Geographisches Institut der Universität zu Köln) betreut, dem ich hiermit meinen Dank ausspreche. Die Geländearbeiten wurden durch ein Stipendium des Deutschen Akademischen Austauschdienstes finanziert. Die Arbeiten vor Ort konnten nur durch Unterstützung der „Grupo Yavi de Investigaciones Científicas“ durchgeführt werden, deren Mitgliedern hiermit herzlich gedankt sei. Mein besonderer Dank gilt dabei Dr. Jorge Kulemeyer, der die Arbeit vor Ort betreut hat und durch dessen Anregungen die vorliegende Arbeit überhaupt zustande kam. Ebenso danke ich Julio Kulemeyer und Dr. Liana Lupo für die zahlreichen fachlichen Ratschläge und Johanna Meyer für die Unterstützung bei den Geländearbeiten und der grafischen Umsetzung der Ergebnisse. Margarita González Loyarte und dem Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (IADIZA) sei für die Unterstützung bei der Beschaffung und Auswertung der Luftbilder gedankt. Ebenso danke ich der Gendarmeria Nacional, die mich personell und logistisch bei den Geländearbeiten unterstützt hat. Mein besonderer Dank gilt Sergio Morcos für sein persönliches Engagement und die jahrelange Unterstützung bei der Anfertigung der vorliegenden Arbeit.

1 Einleitung

Seit Beginn der Besiedlung durch den Menschen unterliegt die Erde weit reichenden anthropogen bedingten Modifikationen. Im Gegensatz zum mitteleuropäischen Raum war Südamerika bislang selten Objekt eingehender Studien solcher Umweltmodifikationen in prähistorischer und historischer Zeit (u.a. BRUNOTTE et al. 1988, PRIETO & JORBA 1991, PRIETO & HERRERA 1992, PRIETO & ABRAHAM 1998). In der Neuen Welt wird zudem oftmals die negative massive anthropogene Beeinflussung seit der Konquista einer "ökologisch angepassten Landnutzung ohne Desertifikation in indianischer bzw. prähispanischer Zeit" (BRUNOTTE et al. 1988, 307) gegenübergestellt. Diese ist teilweise zurückzuführen auf die im 19. Jahrhundert aufgekommene romantische Sichtweise der Neuen Welt und ihrer voreuropäischen Bevölkerung (vgl. DENEVAN 1992).

In der Argentinischen Puna belegen archäologische Untersuchungen eine im Vergleich zu heute größere flächenmäßige Ausbreitung prähispanischer Ackerterrassen und damit eine ehemals höhere Bevölkerungszahl. Der Bevölkerungsrückgang und die Aufgabe dieser Terrassenanlagen wurden durch BOMAN 1908 und nach ihm durch zahlreiche weitere Autoren mit einem Klimawechsel und abnehmenden Niederschlagswerten erklärt. Erst in den letzten Jahren wurden bei der Bewertung des Landschaftswandels auch anthropogene Aspekte berücksichtigt (BOLSI 1982, RUTHSATZ 1983). BOLSI erklärt den Bevölkerungsrückgang als einen komplizierten politischen, sozialen, militärischen, ökonomischen und kulturellen Prozess. Der Bevölkerungsrückgang und die damit verknüpfte Reduzierung der Siedlungs- und Kulturfleichen könnten ihre Ursachen jedoch auch in anthropogen bedingten Modifikationen des Naturhaushaltes finden. Insbesondere Erosionsprozesse sind in starkem Maße an anthropogene Aktivitäten geknüpft. In ariden bzw. semiariden Gebieten wie der Argentinischen Puna genügt oftmals ein leichter Eingriff in Vegetation oder Boden, um eine latente Erosionsgefahr in eine akute zu verwandeln (GANSSSEN 1968, 144). Dieses zu beleuchten, ist Ziel vorliegender Arbeit. Sie beschäftigt sich mit den rezenten und historischen Erosionsprozessen im Einzugsgebiet des Río Yavi in der Argentinischen Puna. Als historische Erosionsprozesse werden dabei all jene angesehen, die zur Zeit der menschlichen Besiedlung stattfanden, wobei der Schwerpunkt auf solchen liegt, die anthropogenen Beeinflussungen unterlagen. Zu

dem ausgewählten Untersuchungsgebiet liegen umfangreiche archäologische, historische, anthropologische und in jüngster Zeit paläoklimatische Untersuchungen vor (vgl. Kap. 2), deren Ergebnisse sich mit denen der vorliegenden Arbeit in Bezug setzen lassen.

Als Arbeitshypothesen wurden folgende Aussagen formuliert:

Erosionsprozesse wurden/werden durch menschliche Aktivitäten verstärkt.

Erosionsprozesse führten/führen zur Aufgabe menschlicher Siedlungen.

Im deutschen Sprachraum beschränkt sich der Begriff Erosion oftmals auf linienhafte (lineare) fluviale Abtragung. Dem wird der Begriff Denudation als flächenhafte Abtragung gegenübergestellt, dem u.a. Flächenspülung, spontane Massenversetzungen, Solifluktion und Deflation zugerechnet werden (WILHELMY et al. 1990, 45). Im englisch- und spanischsprachigen Raum ist der Begriff Erosion dagegen weiter gefasst und bedeutet allgemein Abtragung (LOUIS & FISCHER 1979, 101).

In vorliegender Arbeit wird auf die von LOUIS & FISCHER benutzte Definition zurückgegriffen (LOUIS & FISCHER 1979, 99ff). Demnach bezieht sich Erosion allgemein auf Massentransporte mittels fließender Medien und beinhaltet sowohl den Transportvorgang selber als auch die mit diesem verbundene Abnutzung des Untergrundes (LOUIS & FISCHER 1979, 101). Im Einzelnen unterscheiden LOUIS & FISCHER zwischen Erosion durch fließendes Wasser, durch Wind und durch Gletschereis. Die Erosion durch fließendes Wasser kann sowohl linear als auch flächenhaft wirken, die Erosion durch Wind wirkt dagegen allgemein flächenhaft (LOUIS & FISCHER 1979, 100ff). Als Denudation wird ausschließlich die flächenhafte Abtragung mittels unmittelbarer, also direkter Massenschwerebewegungen bezeichnet. Sie vollzieht sich in Form von „großer bzw. auffälliger Augenblicksleistung als Stürzen, Rutschen, Gleiten oder in weniger auffälliger Weise als Abschalen, Abbröckeln, Abgrusen, Absanden oder als Wandern, Kriechen, Versatz von Lockermassen“ (LOUIS & FISCHER 1979, 100).

Die Wahl der von LOUIS & FISCHER benutzten Nomenklatur erscheint insofern sinnvoll, als dass durch fließendes Wasser wirkende Erosionsprozesse linearer und

flächenhafter Art im Untersuchungsgebiet eng verflochten sind bzw. ineinander übergehen. Daneben treten durch Wind wirkende Erosionsprozesse auf. Gletschereis dürfte als Agens der Erosion lediglich im obersten Einzugsgebiet zur Zeit der ersten paläo-indianischen Besiedlung im Früh-Holozän in Erscheinung getreten sein (vgl. SCHÄBITZ 2000, ZIPPRICH et al. 2000). Da diese Erosionsprozesse jedoch keinen oder nur minimalen direkten anthropogenen Beeinflussungen unterlegen haben dürften, wird dieser Aspekt hier nicht weiter beachtet. Auf Denudation wird in dieser Arbeit im Zusammenhang mit flächenhafter Abtragung an Hängen und Wänden im Sinne von unmittelbaren Massenschwerebewegungen eingegangen. Schwerpunkt der Arbeit bilden jedoch die verschiedenen Formen von Erosionsprozessen und die sie beeinflussenden Faktoren.

Lineare Erosion durch fließendes Wasser spielt sich überwiegend in Flusstälern ab und wird in diesem Zusammenhang als fluviale Erosion bezeichnet. Ihre zur Wirkung kommenden Prozesse sind die Tiefen- bzw. Vertikalerosion, die Seiten- bzw. Lateralerosion sowie die rückschreitende Erosion. Den als Folge linearer Erosion entstandenen Hohlformen außerhalb der Flusstäler kommen regional verschiedenartige Bezeichnungen zu, die von Runsen, Racheln und Klingen über Calanches, Barrancos und Arroyos bis zu Gullies und Badlands reichen (vgl. WILHELMY et al. 1990, 84). In Nordwestargentinien werden tief eingeschnittene Erosionsformen als *Cárcavas* bezeichnet. In vorliegender Arbeit werden in Abhängigkeit vor der Dimension der jeweiligen Form allgemeine morphographische Begriffe wie Erosionsrillen, -rinnen oder -schluchten sowie bei einer engen Scharung mehrerer Erosionsschluchten der Begriff Badland verwendet.

Flächenhafte Erosion durch fließendes Wasser wird als Flächenspülung wirksam. Sie wird hier in Anlehnung an LOUIS & FISCHER ebenfalls den Erosionsprozessen und nicht den Denudationsprozessen zugerechnet (LOUIS & FISCHER 1979, 102). Dieses erscheint insofern sinnvoll, als dass sich im Mikrobereich Prozesse der Rinnen- und Rillenerosion abspielen, die erst in der Summe eine flächenhafte Abtragung ergeben (vgl. BESLER 1992, 74). Erosion durch Wind wird als äolische Erosion bezeichnet und als Deflation wirksam. Auch die Deflation wird aufgrund oben erwähnter Definition des mittelbaren Massentransportes nicht der Denudation, sondern der Erosion zugerechnet (vgl. LOUIS & FISCHER 1979, 101).

Als Bodenerosion wird ein beschleunigter Bodenabtrag durch Wasser oder Wind bezeichnet, der den Landschaftshaushalt über ein natürliches Maß hinaus verändert und durch den Menschen begünstigt oder ausgelöst wird (vgl. RICHTER 1976, 77). Da sich diese Definition ausschließlich auf den Boden bezieht und die Abtragung anderer Materialien ausschließt, wird in dieser Arbeit die Bodenerosion dem allgemeinen Begriff der Erosion untergeordnet.

Erosion ist die Folge des Zusammenspiels mehrerer physiogeographischer Faktoren. Unter anthropogenen Beeinflussungen werden die Erosionsprozesse und die aus ihnen resultierenden Formen quasinatürlich i. S. von Mortensen (MORTENSEN 1954/55). Eine Differenzierung in rein natürliche und quasinatürliche Prozesse und Formen ist selbst in abgeschiedenen Gebieten wie der Puna problematisch – auch hier dürfte es keine Bereiche geben, die nicht von extensiver Weidewirtschaft beeinflusst worden sind. Der anthropogene Einfluss spiegelt sich, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, in allen heutigen bzw. historischen Formungsprozessen wider. Eine Differenzierung in anthropogen und klimatisch initiierte Prozesse ist ebenfalls problematisch. Eine Abschätzung des anthropogenen Einflusses muss vielmehr über eine Analyse der Landnutzung im Spiegel der geschichtlichen Entwicklung erfolgen. Wie stark das Gebiet heute Erosionsprozessen unterliegt, zeigt eine Untersuchung der Universidad de Jujuy: In der Provinz Jujuy waren Anfang der 90er Jahre von 1.188.750 ha untersuchten Bodens der Puna und des Längstales der Quebrada de Humahuaca 87,13 % überwiegend durch fluviale Erosion und 12,87 % überwiegend durch äolische Erosion geschädigt (UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY 1994).

In vorliegender Arbeit wurden zwei Schwerpunkte gesetzt: Im ersten Teil (Kap. 3) werden verschiedene, das Untersuchungsgebiet prägende Faktoren vorgestellt und hinsichtlich ihrer Bedeutung für Erosionsprozesse bewertet. Zu diesen Faktoren zählen zum einen erosionssteuernde physiogeographische Faktoren wie Klima, Relief, Boden und Vegetation (Kap. 3.1). Zum anderen spielen historische und aktuelle anthropogene Nutzungen und ihre jeweiligen Erosionswirksamkeiten wichtige Rollen bei der Initialisierung bzw. Beschleunigung von Erosionsprozessen (Kap. 3.2). Der zweite Teil der Arbeit (Kap. 4 und 5) beinhaltet die Ergebnisse von Geländearbeiten: Aus der Analyse von im Untersuchungsgebiet auftretenden Erosions- und Akkumula-

tionsformen werden verschiedene durch fließendes Wasser und durch Wind gesteuerte Erosionsprozesse abgeleitet (Kap. 4). Kapitel 5 präsentiert die Ergebnisse detaillierter Untersuchungen zu Erosionsprozessen am archäologischen Fundort Yavi Chico. Diese Untersuchungen beinhalten zum einen Kartierungen und Analysen rezenter Erosionsprozesse und –formen, zum anderen Profilaufnahmen im prähispanischen Siedlungsbereich. Die Profilaufnahmen umfassen Schichtmächtigkeiten, Substratcharakterisierung, Textur, Farbe, Kalkgehalt sowie das Vorkommen archäologischer Funde. Somit werden sowohl historisch-morphologische als auch rezent-morphodynamische Prozesse untersucht. Die gewonnenen Geländeergebnisse werden in Kapitel 6 unter Berücksichtigung der erosionssteuernden physiogeographischen und anthropogenen Faktoren in einen zeitlichen und analytischen Zusammenhang gestellt und die komplexen Verflechtungen anthropogener Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet beleuchtet.

Erosionsprozesse in ariden und semiariden Gebieten tragen in starkem Maße zur Desertifikation bei. Diese zu bekämpfen sollte am Anfang des 21. Jahrhundert eine vordringliche Aufgabe sein – 1/6 der Weltbevölkerung lebt heute in potentiell von Desertifikation gefährdeten Gebieten. In Kapitel 7 werden diesbezüglich Vorschläge für die Argentinische Puna formuliert.

2 Das Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wurde das Einzugsgebiet des Río Yavi ($22^{\circ}5'$ bis $22^{\circ}21'$ s. B. und $65^{\circ}14'$ bis $65^{\circ}29'$ w. L., 3.340 bis 5.050 m ü. M.) sowie dessen nähere Umgebung ausgewählt. Es liegt im Nordosten der argentinischen Provinz Jujuy unmittelbar an der Grenze zu Bolivien (vgl. Abb. 1).

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in der Übergangszone zwischen der Argentinischen Puna und der Ostkordillere. Die nordwestargentinischen Anden weisen als Resultat einer von Auf- und Überschiebungen geprägten Bruchschollentektonik mehrere N-S-verlaufende, bis über 5.000 m ü. M. hohe Gebirgsketten auf. Dazwischen sind tektonische, mit mächtigen Sedimenten aufgeschüttete Senken geschaltet. Die meisten der langgestreckten Beckensysteme sind endorhëisch und weisen in ihrem Zentrum temporäre Seen oder Salare auf. Nur wenige Becken entwässern zum Atlantik. Die Puna ist die Fortsetzung des südlichen Altiplanos und bildet eine bis zu 230 km breite Hochlandzone zwischen der Hauptkordillere im Westen und der Ostkordillere. In ihrer Orogenese hat die Puna vier Phasen durchlaufen: Die erste Phase fiel ins Eozän und Oligozän und führte zur Absenkung des heutigen Punagebietes. In der zweiten, miozänen Phase faltete sich die Ostkordillere auf. Diese Faltung setzte sich in der dritten, pliozänen Phase weiter fort. In der letzten, quartären Phase kam es zu weiteren Aufschiebungen in der Ostkordillere und zu einem Anheben der Puna in ihre heutige Lage. Abhandlungen über die geologischen Verhältnisse im Bereich des Untersuchungsgebietes finden sich bei MACHATSCHEK 1957, TURNER 1964 u. 1970 u.a., SCHWAB 1970, ACEÑOLAZA & TOSELLI 1981, IGARZABAL 1984, KULEMEYER & KULEMEYER 1989a, CLADOUHOS et al. 1994.

Die naturräumliche Ausstattung der nördlichen Argentinischen Puna wurde seit Anfang des 20. Jahrhunderts in mehreren Veröffentlichungen ausführlich abgehandelt und soll hier nur schematisch behandelt werden. Detaillierte Angaben finden sich auch in Kapitel 3.

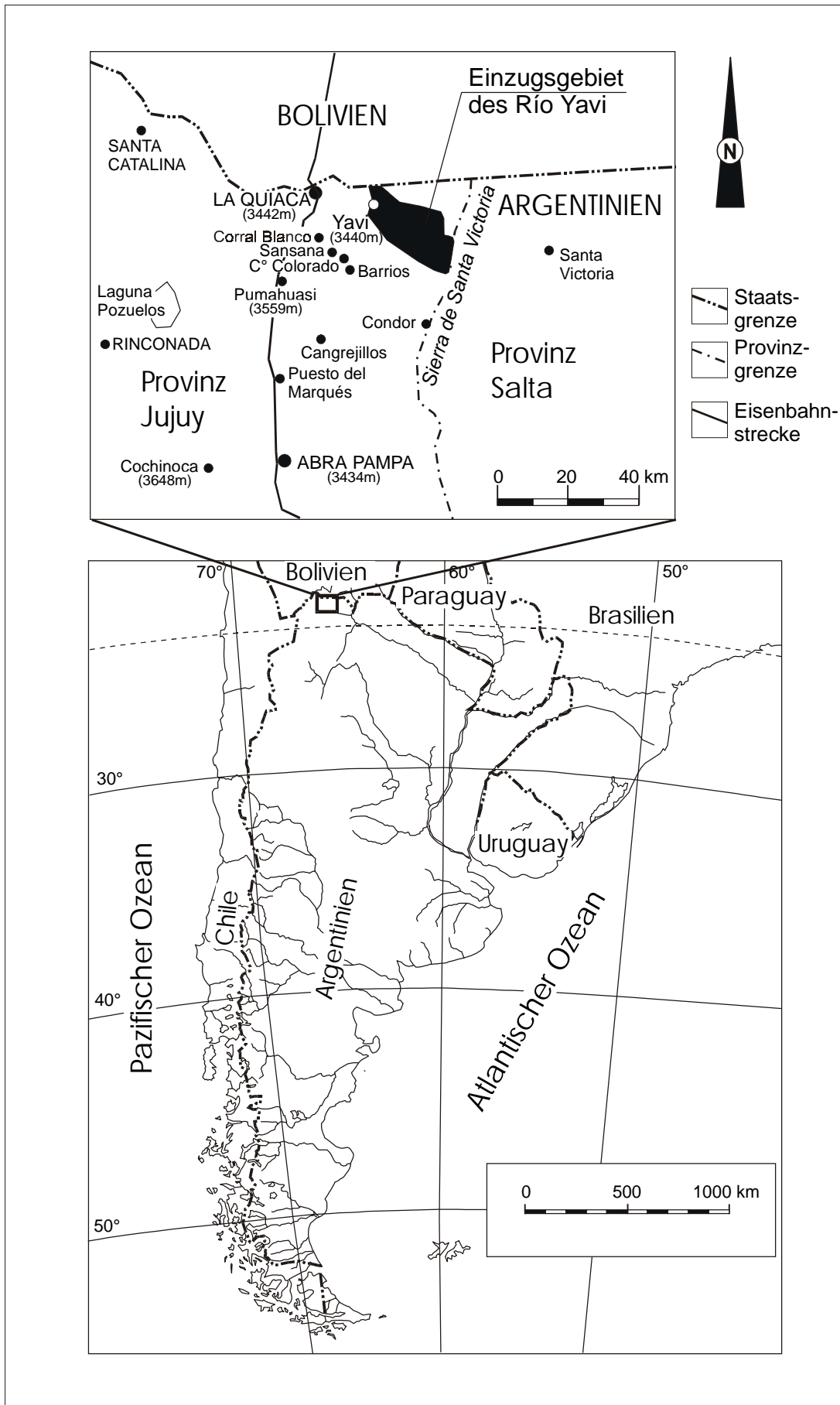


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes

Die Puna liegt innerhalb der „Ariden Diagonalen“ Südamerikas und wird von einem semiariden bis ariden Hochlandklima eingenommen. Die Aridität nimmt von W nach E und von N nach S zu. Die Niederschläge konzentrieren sich auf die Sommermonate und erreichen in La Quiaca im langjährigen Mittel einen Wert von 326 mm. Charakteristisch sind starke Schwankungen der jährlichen Niederschlagswerte. Aufgrund der Höhenlage und der hohen Ein- und Ausstrahlung herrscht in der Puna ein ausgesprochenes Tageszeitenklima (vgl. auch Kap. 3.1.1). Weitere Ausführungen über die klimatischen Verhältnisse NW-Argentiniens bzw. SE-Bolivians finden sich bei SCHWERDTFEGGER 1951, PROHASKA 1953/1955 u. 1961, ERIKSEN 1978 u. 1983, GEROLD 1987, WEISCHET 1988, 1991 u. 1996 sowie BIANCHI & YAÑEZ 1992.

Die Böden der Puna sind flachgründig und von geringer Reife. Es dominieren sandige, z.T. auch steinige Böden mit geringen Humus- und Stickstoffanteilen (vgl. auch Kap. 3.1.3). Untersuchungen über die Bodenverhältnisse in der Puna liegen u.a. vor von DOMINGUEZ 1954, WERNER 1971, PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 1984 und KRISL 1999. Angaben zur Bodenerosion in der Puna finden sich bei ROMAN & SANTOS 1988, NADIR & CHAFATINOS 1990, SANTOS 1994 sowie UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY 1994.

Der nordwestargentinische Teil der Puna (Quechua: „puna“ = Wüste) fällt nach der horizontalen Gliederung von TROLL in die Dorn-Sukkulenten/Salzpuna und ist in einzelnen Bereichen mit Elementen der Trockenpuna durchsetzt (TROLL 1959, RUTHSATZ 1977, 85). In ihrer vertikalen Gliederung wird die Puna-Stufe (3.200 bis 4.100 m ü. M.) pflanzensoziologisch von einer floristisch einheitlichen offenen, Laub abwerfenden, sukkulenten *Fabiana-densa*-Zwergstrauch-Gebirgshalbwüste eingenommen, die im nördlichen und feuchteren Abschnitt der Argentinischen Puna zunehmend mit *Baccharis boliviensis* durchsetzt wird (RUTHSATZ 1977, 91). Die Bestandshöhen reichen bis zu 50 cm, die Deckungsgrade liegen selten bei über 30 % (Foto 2, vgl. auch Kap. 3.1.4). Darstellungen zur Vegetation der Puna finden sich in FRIES 1905, CABRERA 1947, 1957, 1968, 1976 und 1977, TROLL 1959, WERNER 1974 und 1978, RUTHSATZ & MOVIA 1975 sowie RUTHSATZ 1977. Untersuchungen zur Vegetation der Puna unter bestimmten Fragestellungen zeigen u.a. RUTHSATZ 1974 (Holzgewächse), RUTHSATZ 1978 (Polsterpflanzen), RUTHSATZ &

HOFMANN 1984 (Verbreitung von C4-Pflanzen), GEYGER 1985 (Wasserhaushalt der Vegetation), BRAUN WILKE 1991 (Nutzen der Vegetation für Viehwirtschaft) und LUPO & ECHENIQUE 1995 (ethnobotanische Aspekte). Der Einfluss des Menschen auf die Vegetation der Puna ist bereits mehrfach als Problem erkannt worden (vgl. u. a. HUECK 1950/51, CABRERA 1968, RUTHSATZ 1974 und 1983).

Das Einzugsgebiet des Río Yavi bietet aufgrund seiner seit prähispanischer Zeit durchgehenden Besiedlungsgeschichte sowie seiner naturräumlichen Ausstattung besondere Vorzüge bei der Untersuchung von Erosionsprozessen und deren anthropogenen Beeinflussungen (Foto 1). Der Río Yavi verfügt als einer der wenigen Flüsse der Argentinischen Puna über ein offenes, über den Pilcomayo zum Atlantik gerichtetes Entwässerungssystem. Sein 433 km² großes Einzugsgebiet wird durch seine Quellflüsse Río Casti, Río Lecho und Río Cajas entwässert (vgl. Abb. 2). Seinen Namen erhält der Fluss nördlich des Bolson von Yavi bei der Mündung des Río Lecho in den Río Casti (vgl. Abb. 3). Das obere Einzugsgebiet liegt in kambrischen und ordovizischen Gesteinen der Sierra de Santa Victoria (4.000 bis 5.000 m ü. M.). Oberhalb von 4.250 m ü. M. finden sich Moränenreste. Das mittlere Einzugsgebiet wird von einer aus pliozänen und pleistozänen Sedimenten aufgebauten, flach geneigten Hochfläche eingenommen (4.000 bis 3.500 m ü. M.), die sich aus Pedimentresten in drei verschiedenen Höhengniveaus zusammensetzt. Die Hochfläche wird im mittleren Bereich durch die Sierra de Quirquinchos und westlich des Dorfes Yavi von der Sierra de Siete Hermanos unterbrochen (vgl. Foto 13). Bei letzterer handelt es sich um eine kretazische Antiklinale, die bis zu 100 m über das Niveau der Hochfläche reichende Schichtkämme bildet und deren Sattel vom Río Lecho eingenommen wird. Der untere Abschnitt des Einzugsgebietes (3.500 bis 3.250 m ü. M.) wird durch starke Einschneidung innerhalb der pleistozänen und pliozänen Sedimente sowie durch holozäne Talfüllungen aus Torf, Schotter und Sand charakterisiert (KULEMEYER & LUPO 1998, 266).

Paläoklimatische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Río Yavi belegen für das Früh-Holozän eine relativ feuchte und kalte Periode und für das Mittel-Holozän eine im Vergleich zu den heutigen Verhältnissen sehr aride Periode (8.000 – 6.100 BP), der eine etwas feuchtere Periode folgte (6.100 – 4.000/3.500 BP) (KULEMEYER et al. 1999). Die aride Periode des Mittel-Holozän ging mit der Akkumulation mächtiger

äolischer und fluvialer Sedimente einher. Zwischen 4.000 und 3.500 BP vollzog sich ein Wechsel zu humideren Konditionen (vgl. auch MARKGRAF 1985, SCHÄBITZ 2000, ZIPPRICH et al. 2000).

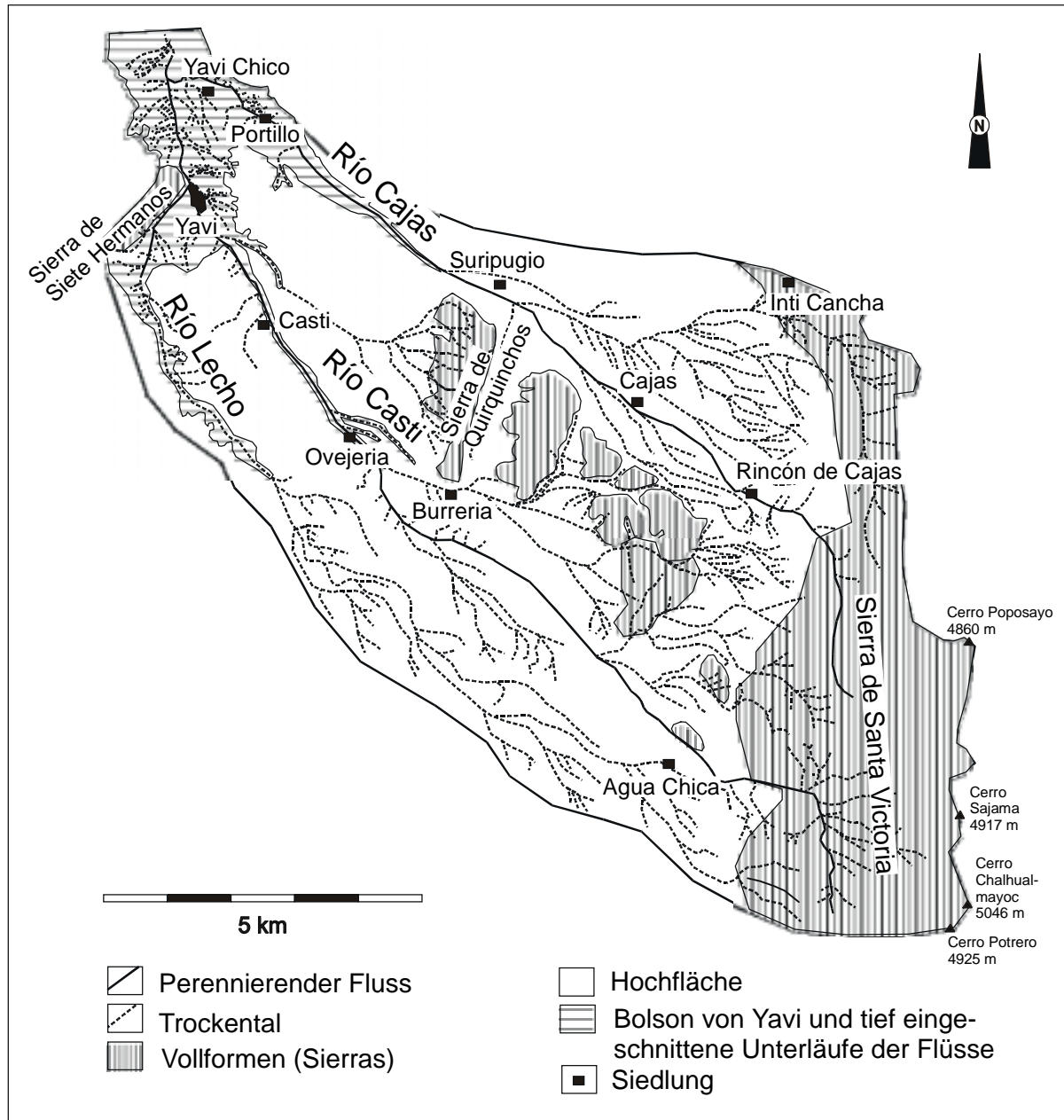
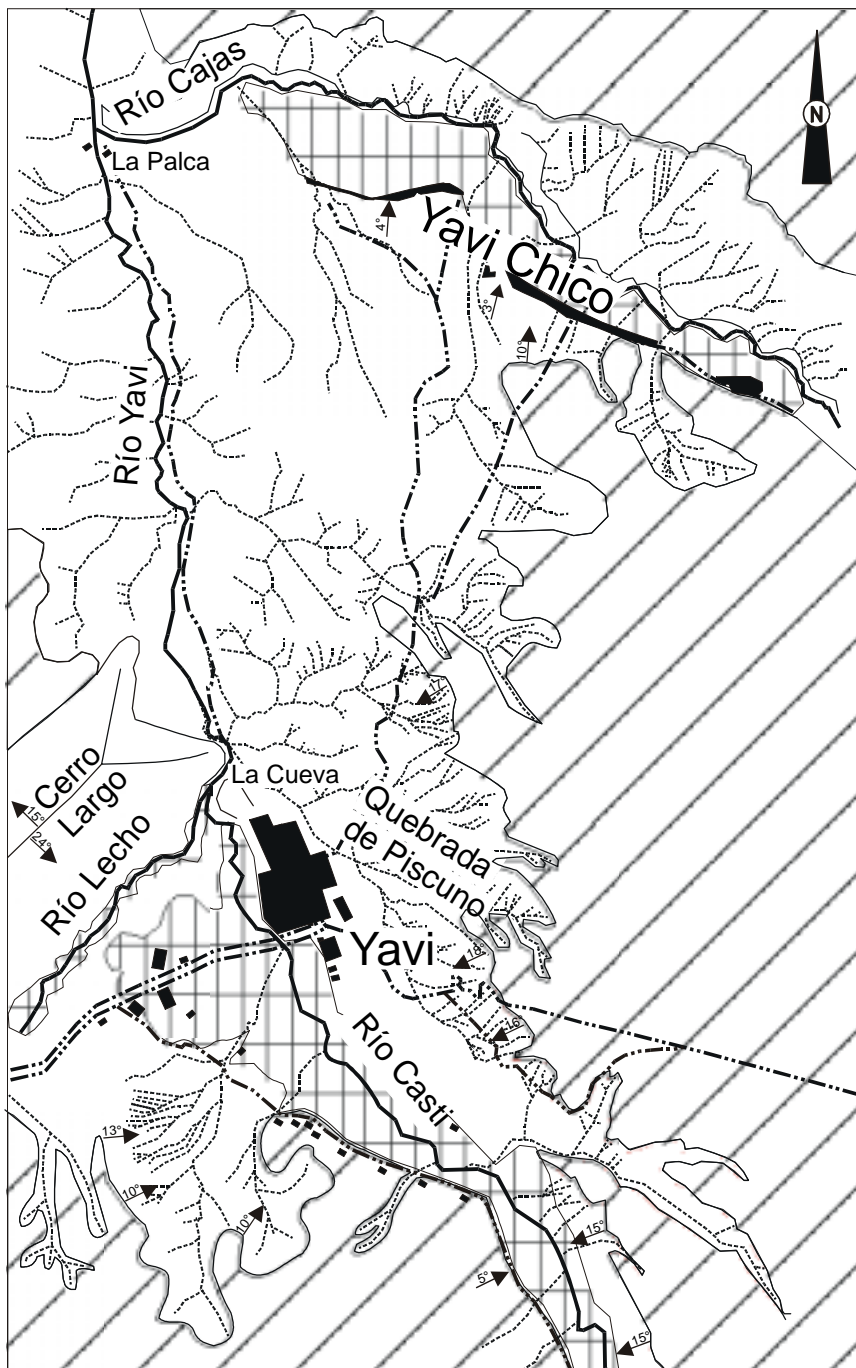


Abb. 2: Einzugsgebiet des Río Yavi – Relief, Flusssystem und Lage der Siedlungen
 Quelle: Entwurf H. Kiegel n. Luftbildern des Instituto Geográfico Militar, Ejército Argentino:
 3A-101-149-86-671 bis 3A-101-154-86-671, 3A-102-206-86-671 bis 3A-102-212-86-671, 3A-
 103-224-86-671 bis 3A-103-229-86-671, 3A-104-023-86-672 bis 3A-104-026-86-672



2 km

- | | | | |
|--|----------------------------|--|---|
| | Perennierender Fluss | | Böschungswinkel |
| | Abflussrinne in Trockental | | Weg |
| | Geländekante | | Asphaltierte Straße |
| | Flusstal und Bolson | | Gebäude und Siedlung |
| | Hochfläche | | Landwirtschaftliche Nutzfläche an Flüssen |

Abb. 3: Bolson von Yavi und Umgebung (vgl. auch Foto 1)

Quelle: Entwurf H. Kiegel n. Luftbildern des Instituto Geográfico Militar, Ejército Argentino: 3A-101-149-86-671; 3A-101-150-86-671; 3A-102-211-86-671; 3A-102-212-86-671

Untersuchungen zur jung-holozänen Landschaftsentwicklung des Einzugsgebietes des Río Yavi belegen drei verschiedene Phasen (KULEMEYER und LUPO 1998): Stabiler Auenbereich von 4.500 bis 4.000 BP, Zunahme der Sedimentation und Akzentuierung des Jahresganges der Niederschlagsverteilung von 4.000 bis 1.000 BP sowie verstärkte Zunahme fluvialer Sedimentation im Mittellauf, verstärkte Einschneidung im Unterlauf und Remobilisierung äolischer Ablagerungen seit 300 BP. In diese letzte Phase fällt die Zeit der hispano-indigenen Landnahme des 17. bis 19. Jahrhunderts (KULEMEYER & LUPO 1998). In jüngster Zeit wurden mehrere Untersuchungen zur quartären Landschaftsentwicklung und zum Paläoklima Nordwestargentinens durchgeführt (u. a. FERNANDEZ et al. 1991, GARLEFF et al. 1991, BAIED & WHEELER 1993, IRIONDO 1993, GROSJEAN et al. 1997, ARGOLLO & MOURGOIART 1998, GARLEFF & STINGL 1998, LUPO 1998, PRIETO et al. 1998, VEIT 1998, KULEMEYER et al. 1999, SCHÄBITZ & LIEBRICHT 1999, SCHÄBITZ 2000, KULEMEYER, J. J. im Druck).

Während der fast 10.000 Jahre umfassenden Besiedlungsgeschichte des Untersuchungsgebietes (vgl. Kap. 3.2.1) sind in prähispanischer Zeit insbesondere paläo-indianische Jäger und Sammler sowie Ackerbaukulturen von Bedeutung. In der Kolonialzeit fiel dem zentralen Ort Yavi (22°08' s. Br., 64°28' w. L., 3.440 m ü. M., Foto 1) aufgrund seiner Lage auf dem Handelsweg nach Potosí eine besondere Stellung zu. Seit Anfang des 20. Jahrhunderts hat das Gebiet wesentlich an Bedeutung eingebüßt. Archäologische Untersuchungen wurden insbesondere von KRAPOVICKAS und Mitgliedern der Forschergruppe „Grupo Yavi de Investigaciones Científicas“ durchgeführt (u.a. KRAPOVICKAS 1961a, 1961b, 1965, 1968, 1973, 1975, 1977, KRAPOVICKAS & ALEKSANDROWICZ 1986/87, KULEMEYER J. A. et al. 1989, KULEMEYER J. A. & KULEMEYER J. J. 1989a u. 1989b, KULEMEYER, J. A. 1995 u. 1998, LAGUNA 1995, KULEMEYER J. A. et al. 1999). Weitere Angaben zur Archäologie finden sich bei CIGLIANO 1968, OTTONELLO DE GARCIA REINOSO 1973, OTTONELLO DE GARCIA REINOSO & KRAPOVICKAS 1973, FERNANDEZ DISTEL 1980 u. 1986, YACOBACCIO 1983-1985 sowie OTTONELLO DE GARCIA REINOSO & LORDANI 1987. Einen ausführlichen Abriss über die historische Entwicklung von Yavi gibt ECHENIQUE 1995. MADRAZO analysiert 1982 ausgiebig den kolonialspanischen Abschnitt der Besiedlung. Weitere Aufschlüsse über die historischen Nutzungen des Untersuchungsgebietes geben Reisebeschreibungen (u.a.

BRACKEBUSCH 1883, HOLMBERG 1900, NORDENSKJÖLD 1903, BOMAN 1908 (1992 ins Spanische übersetzt), CASTELLANOS 1928 und VON ROSEN 1957).

Die Bevölkerung der Puna konzentriert sich auch heute noch auf kleine Flussoasen, Einzelgehöfte, Bergwerkssiedlungen sowie Siedlungen an den Bahn- und Handelswegen. Im Departamento Yavi lag die Bevölkerungsdichte 1996 bei 5,6 E./km² (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS 1997). Dominierende Landnutzungsform ist heute die extensive Weidewirtschaft, überwiegend mit Schafen. Sie wird an klimatisch begünstigten Abschnitten wie dem Flusstal des Río Casti durch Ackerbau ergänzt (vgl. Kap. 3.2.2.2). Zentraler Ort im Untersuchungsgebiet ist Yavi, wo 1992 zusammen mit den benachbarten Weilern Agua de Castilla und San José 378 Einwohner in 87 Haushalten lebten (Foto 1). Im Gegensatz zu den Dörfern des Hinterlandes verfügt Yavi über Strom, fließendes Trinkwasser und verschiedene zentrale Einrichtungen wie Geschäfte und Schulen. Im Inneren des Untersuchungsgebietes gibt es kleinere Haufen- und Streusiedlungen sowie einzelne verstreute Gehöfte, die teils permanent, teils temporär bewohnt sind. Das Untersuchungsgebiet zählte Ende des 20. Jahrhunderts zu den ärmsten Gebieten Argentinien. Eine 1980 durchgeführte Untersuchung zur Armut in Argentinien ergab für den gesamten Staat bei 22 % der Haushalte eine ungenügende Befriedigung der Grundbedürfnisse, in der Provinz Jujuy waren es 45,1 % und im Departamento Yavi 67,1 % (INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS 1985).

3 Ursachen der Erosion im Untersuchungsgebiet – Bewertung der verschiedenen Faktoren

Erosion ist die Folge des Zusammenspiels verschiedener physiogeographischer Faktoren, die ihrerseits anthropogen bedingten Modifikationen unterliegen. Dabei spielen die Erodierbarkeit und Erosivität bzw. Erosionswirksamkeit entscheidende Rollen. Die Erodierbarkeit bezieht sich auf die beharrenden Eigenschaften: Die Erodierbarkeit eines Bodens ist abhängig von seinen spezifischen Bodeneigenschaften und den Kräften, die diese der Ablösung der Einzelkörner durch fluviale oder äolische Kräfte entgegensetzen. Zu diesen Eigenschaften zählen u.a. Körnung, Aggregation, Kohäsion und Wasserstabilität der Aggregate. Auch Faktoren wie Gefälle, Art und Größe des Einzugsgebietes, Kleinrelief und Vegetation beeinflussen die Erodierbarkeit eines Bodens (HARTGE & HORN 1989, 225 ff). Ausgelöst wird Erosion jedoch durch die Agenzien Wasser, Luft und Schwerkraft. Deren Wirkungsgrad wird durch die Erosivität definiert. Da dabei Niederschlägen und Winden eine besondere Bedeutung zukommt, spricht man von der Erosivität der Klimaelemente. Während sich die Erodierbarkeit auf beharrende Kräfte bezieht, kommen bei der Erosivität verlagernde Kräfte zum Tragen. Menschliche Aktivitäten können zu Modifikationen der natürlichen Rahmenbedingungen führen und direkt oder indirekt eine Intensivierung sowohl der Erodierbarkeit als auch der Erosivität auslösen.

Im Folgenden werden im Untersuchungsgebiet auftretende physiogeographische Faktoren vorgestellt und hinsichtlich ihrer Erodierbarkeit bzw. Erosivität diskutiert. Dem schließt sich eine Analyse der Besiedlungsgeschichte bezüglich ihrer Bedeutung für Erosionsprozesse an.

3.1 Physiogeographische Faktoren und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet

3.1.1 Erosivität der Klimaelemente

Grundlage für die Beurteilung der Erosivität klimatischer Elemente liefern hier die Werte der Klimastation in La Quiaca (vgl. Abb. 4). Die seit 1903 betriebene Klimastation befindet sich 17 km westlich von Yavi und ist die einzige in der nördlichen Puna mit langjährigen Klimamessungen. Einige Daten wie Gewitter- und Nieder-

schlagstage sind erst ab dem Jahr 1951 aufgezeichnet (SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1958, 1975, 1981, 1986 sowie unveröffentlichte Daten der Klimastation La Quiaca).

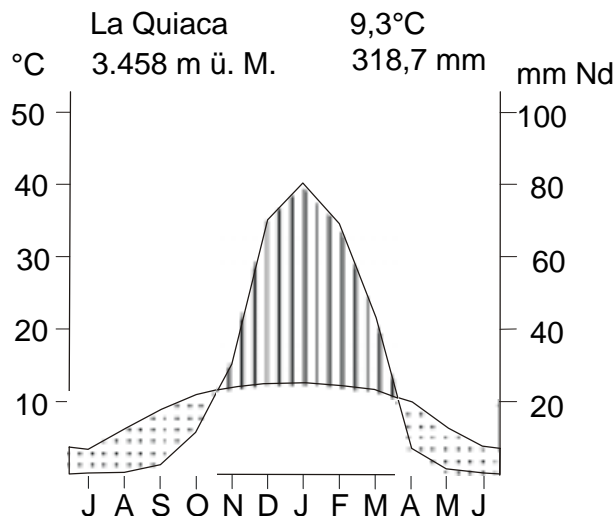


Abb. 4: Klimadiagramm Station La Quiaca (22° 06' s. B., 65°36' w. L.),
 Daten 1903 - 1980
 Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1958, 1975, 1981, 1986

3.1.1.1 Niederschläge

Charakteristisch für die Niederschläge der Puna sind geringe Jahressummen und hohe jährliche Schwankungen. Der durchschnittliche Jahresniederschlag von La Quiaca betrug zwischen 1903 und 1994 326 mm, das Minimum lag 1983 bei 169,6 mm und das Maximum 1903 bei 563,4 mm (vgl. Abb. 5).

Die Niederschlagswerte zeigen eine deutliche Gliederung in eine sommerliche Regen- und eine winterliche Trockenzeit. Nahezu 97 % der Niederschlagsmenge fällt in den Monaten Oktober bis März, allein die drei niederschlagsreichsten Monate Dezember bis Februar weisen 68,8 % des Jahresniederschlages auf.

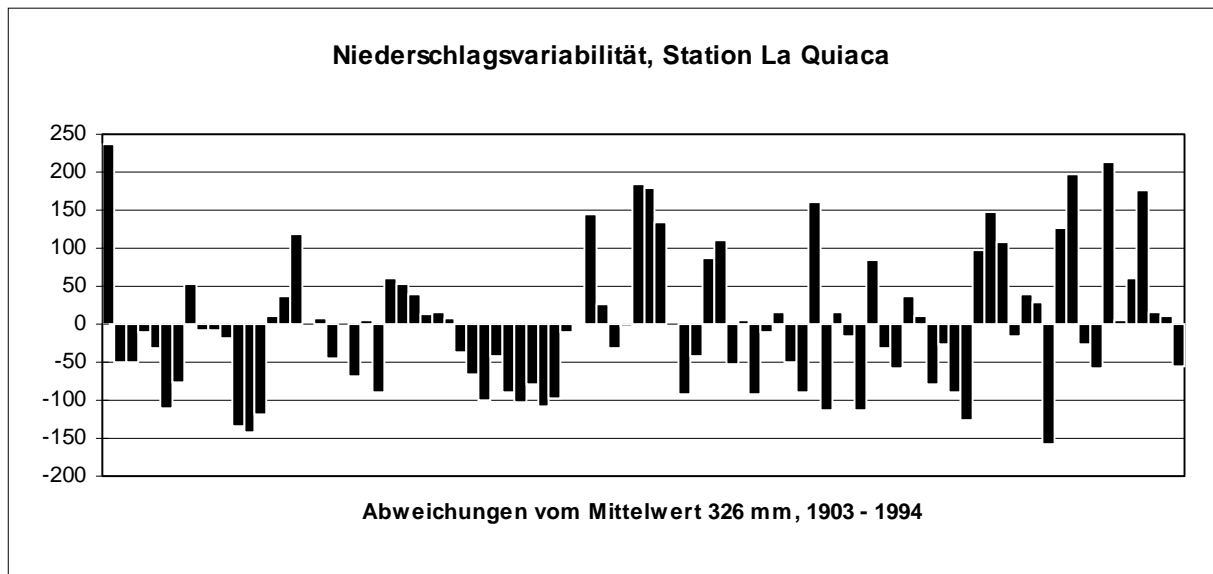


Abb. 5: Niederschlagsvariabilität Station La Quiaca, 1903 – 1994
 Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1958, 1975, 1981, 1986 sowie unveröffentlichte Daten

Tabelle 1 zeigt die Verteilung von Tagen mit Niederschlägen und Gewittertagen. 48,8 Regentagen stehen 42,5 Gewittertage gegenüber. Vorausgesetzt, dass der überwiegende Teil der Gewitter auch Regen mit sich führt, ist ein großer Teil der Niederschläge in La Quiaca mit Gewittern verbunden.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Regentage	10,8	9,8	7,3	1,5	0,3	0,2	0,1	0,3	0,6	2,3	5,3	10,3	48,8
Gewittertage	8,0	6,3	6,8	1,8	0,2	0,0	0,1	0,3	0,7	3,0	6,3	9,0	42,5

Tab. 1: Anzahl der Tage mit Regen und mit Gewitter, Station La Quiaca, 1951 – 1980
 Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1975, 1981, 1986

In La Quiaca übersteigt die potentielle Verdunstung den tatsächlichen Niederschlag ganzjährig um ein Vielfaches – für den Zeitraum 1961 bis 1980 stehen 317,5 mm Jahresniederschlag einer potentiellen Verdunstung von 1.222,7 mm/Jahr gegenüber (vgl. Tab. 2). Das Verdunstungsdefizit erreicht zu Beginn der Regenzeit im Oktober sein Maximum mit 115,5 mm/Monat.

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Nd. in mm	76	68,5	41,5	8,5	1	0	0	0,5	3	15	27,5	76	317,5
Pot. Ver. in mm	125,9	105,7	110,6	92,0	69,6	59,0	65,9	89,6	110,9	130,5	134,6	128,7	1222,7

Tab. 2: Niederschlagswerte und Potentielle Verdunstung nach Penman, Station La Quiaca, 1961 bis 1980
 Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1981 u. 1986, eigene Berechnungen

Bewertung der Niederschläge im Hinblick auf Erosionsprozesse

Ein Großteil der Niederschläge in der Puna fällt in Form sommerlicher Gewitter. Diese werden meistens von Starkniederschlägen oder Hagelschauern begleitet, die ihrerseits über eine hohe Erosivität verfügen. Dies äußert sich in kräftigen Prall- und Planschwirkungen. Der Pralleffekt niedergehender Regentropfen fördert die Verschlammung und bewirkt einen rasch einsetzenden Oberflächenabfluss. Interzeption und Wasserspeicherung sind schon bei Beginn eines Starkregens massiv herabgesetzt, der Zeitabschnitt zwischen dem Einsetzen des Niederschlages und dem des Abflusses wird mit steigender Niederschlagsintensität immer kürzer (vgl. RICHTER 1965, 130). Durch die Planschwirkung des Niederschlages wird weiteres feinkörniges Bodenmaterial freigesetzt und im Oberflächenabfluss abtransportiert. Dieser suspensionsreiche Oberflächenabfluss führt zur Porenverschlammung auch auf Geländeabschnitten, die keiner direkten Prallwirkung von Regentropfen ausgesetzt sind.

Das Verdunstungsdefizit erreicht im Untersuchungsgebiet zu Beginn der Regenzeit im Oktober sein Maximum. Zu diesem Zeitpunkt ist der Boden ausgetrocknet, und die Auswirkungen der auf den Boden auftreffenden Regentropfen sind wesentlich stärker als in anderen Monaten.

In Abhängigkeit von der Erosivität jedes einzelnen Niederschlages steht die Art der anschließenden Erosionsprozesse. Diese reichen vonerspülungen mit nur geringer Verfrachtung oberflächennahen Materials über Rillen- und Rinnenspülung bis hin zu Graben- bzw. Schluchtreißen. Der Grad der Abspülung hängt auch von einer Vielzahl anderer Faktoren ab, auslösendes Medium ist jedoch immer das durch den Niederschlag eingebrachte Wasser.

3.1.1.2 Temperaturverhältnisse

Die Station La Quiaca weist aufgrund ihrer Höhenlage von 3.458 m ü. M. trotz ihrer niedrigen Breitenlage (22° 06´ s. B.) sehr tiefe Temperaturwerte auf. Die Jahresdurchschnittstemperatur beträgt 9,3 °C, der wärmste Monat ist der Januar mit einer Durchschnittstemperatur von 12,5 °C und der kälteste Monat der Juli mit einer Durchschnittstemperatur von 3,8 °C, die Jahresamplitude beträgt 8,7 °C. Demgegenüber liegt die mittlere Tagesamplitude im Januar bei 13,7 °C, im Juli bei 22,2 °C. Die Unterschiede in den absoluten Maximaltemperaturen (30,7 °C im März und 24 °C im Juni) sind wesentlich geringer als die der absoluten Minimaltemperaturen (-1,2 °C im Februar und -18 °C im Juli). Die intensive tägliche Einstrahlung ist für die ganzjährig hohen Maximaltemperaturen verantwortlich, die absoluten Minimaltemperaturen sind dagegen von der nächtlichen Ausstrahlung abhängig, die im Winter aufgrund der längeren Nächte wesentlich höher ist als im Sommer (PROHASKA 1961, 27).

Die durchschnittliche winterliche Tagesamplitude beträgt bei fast ständig wolkenlosem Himmel 23 °C – der Juli weist lediglich 0,78 Tage mit bedecktem Himmel auf. Die absolut frostfreie Zeit ist auf Ende November bis Anfang Januar beschränkt (KULEMEYER & KULEMEYER 1989b, 72). Im Gebiet von Aguilar werden auf einer dem oberen Einzugsgebiet des Río Yavi vergleichbaren Höhenlage Frostmusterböden beschrieben (RUTHSATZ 1977, S. 6). In den Winternächten gefrieren gegen 3 Uhr morgens auch die Fließgewässer, der Auftauprozess zieht sich je nach Exposition bis zum Mittag hin (KULEMEYER & KULEMEYER 1989b, 71).

	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr
Zahl der Frosttage	0,1	0,1	0,4	11,0	28,0	29,4	29,4	28,9	21,4	9,7	2,0	0,1	160,5
Nd in mm	80,4	69	44,3	7,3	1,1	0,8	0,4	0,5	2,8	11,6	30,5	70,1	319

Tab. 3: Durchschnittliche Anzahl der Frosttage und Niederschlagsmenge, Station La Quiaca, 1903 – 1980
Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1958, 1975, 1981, 1986

Durch seine Höhenlage unterliegt das Untersuchungsgebiet einem geringen Luftdruck (ca. 672,2 mb), einer verminderten Trübung der Atmosphäre sowie einem niedrigen Wasserdampfgehalt. Daraus resultiert eine hohe direkte Sonnenstrahlung,

die zu starken Kontrasten der Temperaturverhältnisse in Sonnen- und Schattenlagen führt.

Bewertung der Temperaturverhältnisse im Hinblick auf Erosionsprozesse

Die physikalische Belastung des anstehenden Gesteins ist bei der hohen winterlichen Tagesamplitude (23 °C, s.o.) enorm. In Bereichen mit direkter Sonneneinstrahlung sind die täglichen Temperaturamplituden im Winter noch höher als die in der Klimastatistik angegebenen Werte. Kernsprünge, Desquamation und Exfoliation an ausstreichenden Felspartien sowie Vergrusung von Sedimentgesteinen stellen erodierbares Material zu Verfügung (vgl. BESLER 1992, 47ff). Im Herbst und Frühling liefern die Niederschläge genügend Feuchtigkeit für eine effektive Frostsprengung (vgl. Tab. 3), und weiteres erodierbares Material wird bereitgestellt. Das Gefrieren der Fließgewässer beeinflusst auch das Abflussverhalten der Flüsse. Je mehr Wasser gefroren ist, desto geringer ist die fluvial-erosive Kraft des Flusses.

3.1.1.3 Wind

„Im Winter gibt es sehr viel Wind; es regnet nicht, aber es ist, als ob es Staub regnen würde“.

Humberto Oscar Vera, Einwohner von Yavi

Die Daten der Klimastation La Quiaca zeigen für die Monate Oktober bis April ein Häufigkeitsmaximum für NE-Winde, gefolgt von N-Winden und E-Winden. In den Monaten Juni bis September dominieren dagegen NW-Winde. In dieser Zeit werden auch die höchsten Windgeschwindigkeiten erreicht (Abb. 6). Dieses betrifft sowohl NW-Winde (Maximum im Juni und Juli mit 18,7 km/h) als auch W-Winde (Maximum im August und September mit 18,3 km/h). In den Sommermonaten erreichen die NE- und N-Winde dagegen lediglich Windgeschwindigkeiten von 14 bzw. 15 km/h. Die Häufigkeit der Winde ist im Winter geringer als im Sommer.

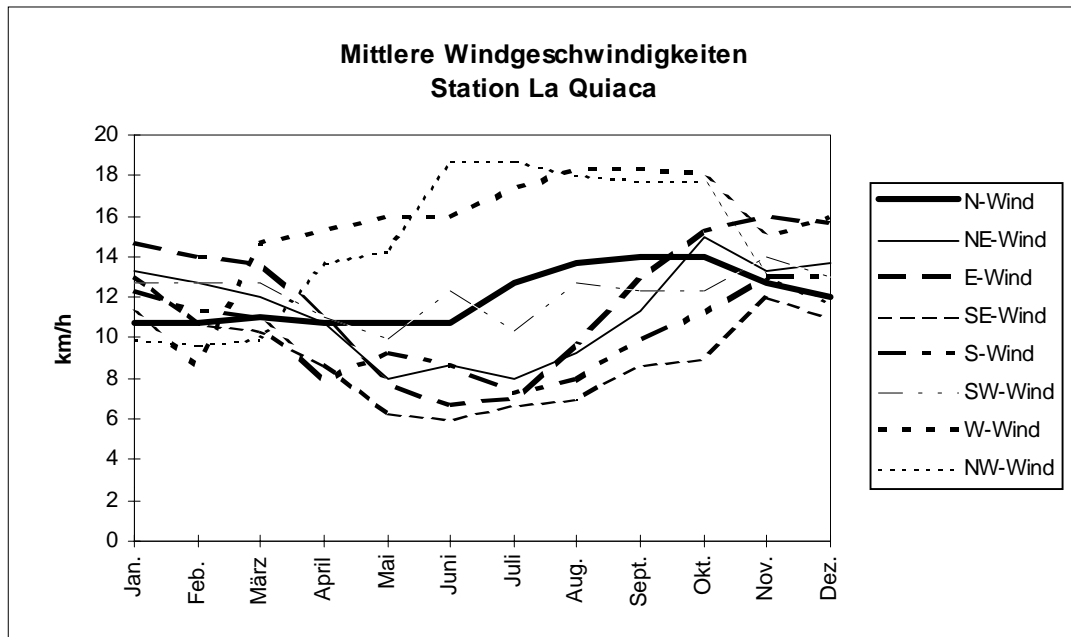


Abb. 6: Mittlere Windgeschwindigkeiten nach Windrichtungen, Station La Quiaca, 1903 - 1980
 Quellen: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL 1958, 1975, 1981, 1986

Neben regionalen Winden kommt es kleinräumig zu lokalen Windsystemen. Insbesondere im wolkenarmen Winter bewirkt die intensive Einstrahlung ein Aufheizen der Hochfläche. Der damit verbundene Aufstieg erwärmter Luft ist Ursache für einen tagsüber agierenden starken Talwind (BIANCHI & YAÑEZ 1992, 39f). Umgekehrt führt die starke nächtliche Ausstrahlung der Hochfläche zu einem nächtlichen Bergwind. Diese lokalen Tal-Bergwindssysteme treten in allen Tälern der Puna auf.

Bewertung des Windes im Hinblick auf Erosionsprozesse

Obwohl die Häufigkeit der Winde im Winter geringer als im Sommer ist, ist ihre Erosivität aufgrund der höheren Windstärken in Kombination mit der winterlichen Trockenheit und einer Luftfeuchtigkeit von 30 % wesentlich größer als die der sommerlichen Winde. Das lokale Tal-/Bergwindssystem fördert die Ablagerung von äolischem Material in den Tälern, so dass es dort zur Bildung von Nebkas und Dünen kommt.

3.1.2 Relief und Erosion

Im Untersuchungsgebiet treten drei verschiedene Reliefeinheiten auf: Die flach geneigte Hochfläche der Puna, die Vollformen der Sierra de Siete Hermanos, Sierra de Quirquinchos und des Westabfalls der Sierra de Santa Victoria sowie die Hohlformen der Täler und Trockentäler (vgl. Abb. 2).

Die Flusstäler gliedern sich in drei Abschnitte (vgl. Kap. 4.1.1). Die oberen Abschnitte liegen innerhalb der Sierra de Santa Victoria, und die Talhänge verfügen über hohe Böschungswinkel. In ihren mittleren Abschnitten weisen die Flüsse breite, flache Täler mit geringgeneigten Talhängen auf. Erst im unteren Abschnitt nimmt die Neigung wieder zu. Dabei kommt es zur Ausbildung einer Talasymmetrie mit steilen, ca. 15° geneigten NE-Hängen und flachen, ca. 5° geneigten SW-Hängen, welche oftmals einen flachen Übergang von der Hochfläche zum Talboden bilden.

Bewertung des Reliefs im Hinblick auf Erosionsprozesse

Das Relief spielt naturgemäß eine wichtige Rolle bei Erosionsprozessen. Je stärker die Neigung, desto größer ist die Reliefenergie und damit die Ablöse- und Transportkapazität des Abflusses (AUERSWALD 1998, 41). Im Bereich der Hochfläche laufen infolge der geringen Neigung nur schwache fluviale Erosionsprozesse ab. Da diese jedoch großflächig agieren, kommt es in der Summe zur Mobilisierung beträchtlicher Mengen erodierten Materials. Daneben bietet die weite, flache Hochfläche äolischen Erosionsprozessen ein günstiges Angriffsfeld.

Auf den Hängen der Täler und Bolsone und an den Gebirgsflanken werden höhere Neigungen erreicht und somit eine stärkere fluviale Erosion ermöglicht. Dort finden auch gravitative Massenbewegungen statt. Sie variieren in ihrer Stärke mit der jeweiligen Hangneigung. Die Talasymmetrie liegt u. a. in Solifluktionvorgängen begründet, die auf den stärker der Sonnenbestrahlung ausgesetzten N-exponierten Hängen durch periglazialen Bodenfluss zu einer stärkeren Abflachung als auf den S-exponierten Schattenhängen geführt haben. Auf letzteren bewirken noch heute Frostsprengungsprozesse das Abbrechen und Abrutschen von Sedimentpaketen und tragen so zu einer weiteren Versteilung der Hänge bei. Diese Vorgänge resultieren aus den extremen Temperaturunterschieden zwischen den Schatten- und Sonnen-

hängen. Gleichzeitig führt seitliche Erosion von am Hangfuß befindlichen Gerinnen zur Unterschneidung der Talhänge und damit zur weiteren Hangversteilung.

3.1.3 Erodierbarkeit des Bodens

Die heutigen klimatischen Verhältnisse der Puna schränken die Bodenbildung stark ein. Trockenheit und Kälte bedingen eine Dominanz physikalischer gegenüber chemischer Verwitterungsvorgänge. Es finden kaum Stoffverlagerungen statt, und Primärminerale dominieren. Organisches Material steht in nur geringen Mengen zur Verfügung, und seine Zersetzung erfolgt sehr langsam (RUTHSATZ 1977, 7). Es dominieren schwach entwickelte Braunerden, die oftmals Kalkanreicherungen aufweisen (vgl. WERNER 1974, KRISL 1999). Dabei handelt es sich um Paläoböden, die sich unter feuchteren klimatischen Verhältnissen entwickelt haben. Böden ähnlicher Genese wurden in Nordchile auf das Spätglazial bzw. das Früh-Holozän datiert (VEIT 1996 und 1998). Auch der Bereich des Untersuchungsgebietes unterlag in diesem Zeitraum feuchteren Klimaverhältnissen, unter denen eine Bodenbildung erfolgen konnte (vgl. SCHÄBITZ 2000, ZIPPRICH et. al 2000).

Die Universidad Nacional de Jujuy hat in Zusammenarbeit mit der Organisation Amerikanischer Staaten einen Projektbericht über die Bodenverhältnisse der Puna von Jujuy ausgearbeitet (PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 1984). In ihm werden in Abhängigkeit vom jeweiligen Ausgangsgestein, dem Relief und den klimatischen Verhältnissen verschiedene Bodeneinheiten differenziert, die überwiegend den Aridisols (US-Soil Taxonomy) zugehörig sind. Dominierende Bodeneinheit im Untersuchungsgebiet ist demnach ein Argid („Typic Paleargid“) mit der Bezeichnung „Serie Yavi“. Es handelt sich um einen Paläoboden, der sich unter feuchteren klimatischen Verhältnissen entwickelt hat. Er tritt überwiegend auf der flach geneigten Hochfläche (maximale Neigung 2 %) auf. Der bis zu 20 cm mächtige A-Horizont besteht aus Schluff bis schluffigem Sand, weist ein Kohärentgefüge auf und wird stellenweise mit bis zu 60 % Steinen durchsetzt. Ihm folgt ein bis zu 35 cm mächtiger Bt-Horizont aus Ton bis schluffigem Ton, der in seinem oberen Abschnitt über ein Polyedergefüge, in seinem unteren Abschnitt über ein Subpolyedergefüge verfügt. Der C-Horizont beginnt in 50 bis 60 cm Tiefe und weist einen hohen Calcium-Gehalt

auf. In ihm tritt oftmals ein Kalkanreicherungshorizont auf (vgl. KRISL 1999). Die Wasserdurchlässigkeit des Bodens ist im A-Horizont am größten und nimmt nach unten hin stark ab, so dass die Böden gemäßigt bis schlecht entwässert werden (PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 1984, 58-61).

Auf etwas stärker geneigten Flächen (2 - 4 % Neigung) hat sich ein weiterer „Typic Paleargid“ – ebenfalls ein Paläoboden - mit der Bezeichnung „Serie Barrios“ ausgebildet. Im Vergleich zu den Böden der „Serie Yavi“ sind die Horizonte markanter differenziert und durchgehend mit Steinen durchsetzt. Auch hier gliedert sich der ca. 30 cm mächtige Bt-Horizont in zwei Abschnitte mit unterschiedlichen Polyedergefügen (PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 1984, 61 – 65). Die Wasserdurchlässigkeit in den oberen Horizonten ist aufgrund des höheren Steinanteils und des dadurch bedingten höheren Grobporenanteils größer als in der Serie Yavi. Die Verteilung der Böden der „Serie Barrios“ beschränkt sich im Untersuchungsgebiet auf einen Streifen beidseitig des Mittel- und Oberlaufes des Río Lecho.

Auf Schuttfächern und -kegeln mit Neigungen bis zu 20 % treten Entisols („Typic Torriorthents“) mit der Bezeichnung „Serie Cóndor“ auf. Die Böden zeigen eine nur geringe Entwicklung – ein geringmächtiger A-Horizont aus Sand und sandigem Schluff liegt dem C-Horizont direkt auf. Der gesamte Boden ist bis zu 50 Vol.-% mit Steinen durchsetzt (PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 1984, 65 - 68). Im Untersuchungsgebiet treten diese Böden in den oberen Einzugsgebieten der Flüsse auf.

Des Weiteren benennt der Projektbericht Auenböden sowie Böden im Hangbereich der Flusstäler. Letztere finden sich auf Talhängen mit über 40 % Neigung und treten im Untersuchungsgebiet beidseitig der Unterläufe aller drei perennierenden Flüsse sowie am Oberlauf des Río Cajas auf.

Bewertung des Bodens im Hinblick auf Erosionsprozesse

Serie Yavi und Serie Barrios (Paleargid):

Der A-Horizont setzt aufgrund seiner Korngrößenzusammensetzung (Schluff bzw. schluffiger Sand) sowohl der Abspülung als auch der Auswehung einen nur geringen Widerstand entgegen (vgl. AUERSWALD 1998 und HASSENPFUG 1998). Die

klimatisch bedingte gehemmte Aggregatbildung macht den Boden zusätzlich erosionsanfällig. Erosionshemmend ist der stellenweise hohe Steinanteil (bis zu 60 Vol.-%), der zu einer starken Oberflächenrauigkeit führt und die Gefahr der Verschlämmung durch die Prall- und Planschwirkung von Regentropfen reduziert. Bei starker äolischer Erosion bedingt der hohe Skelettanteil eine relative Anreicherung an Steinen bis hin zur Ausbildung eines Steinpflasters. Im Untersuchungsgebiet ist dies auf vielen Abschnitten der Hochfläche zu beobachten. Der Boden ist mit kantigem Schutt bedeckt, das Feinmaterial wurde fast vollständig ausgeblasen. Einzig an den unteren Abschnitten der Sträucher treten bis zu 8 cm hohe Akkumulationen von Feinmaterial auf – die Sträucher dienen hier als Feinmaterialfalle.

Der tonreiche B-Horizont stellt aufgrund seiner Wasserundurchlässigkeit ein Hindernis im Wasserkreislauf des Bodens dar. Absteigendes Wasser staut sich an seiner Oberkante und führt zu Verschlämmung im A-Horizont. In der Trockenzeit behindert der Tonhorizont eine aufsteigende Wasserzirkulation und verstärkt damit den Mangel an kapillarem Wasser im A-Horizont. An vielen Stellen im Gelände steht der Bt-Horizont durch erosionsbedingte Profilköpfung direkt an der Oberfläche an. Bei Trockenheit neigt dieser Horizont zur Bildung fester Aggregate, die sowohl der Abspülung als auch der Auswehung einen gewissen Widerstand entgegensetzen. Bodenbefeuchtung kann zum Quellen der Feinbestandteile und zu einem Auseinanderbrechen der Aggregate führen – die Feinbestandteile werden dann in Suspension überführt (vgl. RICHTER 1965, 82). Im kalkhaltigen C-Horizont tritt oftmals ein Kalkanreicherungs-horizont auf, der ebenfalls ein Hindernis für die Wasserzirkulation darstellt. Heute steht dieser Horizont häufig an der Oberfläche an.

Serie Condor (Entisol):

Die klimatisch- und reliefbedingte geringe Entwicklung dieser Böden impliziert eine hohe Erodierbarkeit. Die Abspülung nimmt mit steigender Neigung zu. Das Fehlen eines Tonhorizontes fördert die Entwässerung der Böden und verhindert Verschlammungsprozesse, jedoch auch die schützende Fixierung durch kapillares Wasser. Insbesondere in der Trockenzeit unterliegen diese Böden starken Auswehungsprozessen.

Bei den eigenen Geländearbeiten konnten die oben beschriebenen idealtypischen Bodenabfolgen nur selten beobachtet werden. Vielmehr stand oftmals der C-Horizont

– und hierbei insbesondere der Kalkanreicherungshorizont – direkt an der Oberfläche an. Diese Tatsache belegt eine besonders starke erosive Aktivität im Untersuchungsgebiet.

Die Erodierbarkeit von Böden hängt nicht nur von den jeweiligen statischen Bodeneigenschaften ab, sondern auch von der jahreszeitlich differenzierten Bodenfeuchte. Diese steht in Abhängigkeit von der potentiellen Verdunstung, die zu Beginn der Regenzeit mit 115,5 mm ihr Maximum erreicht (vgl. Kap. 3.1.1.1). Die Auswirkungen von Starkniederschlägen auf den ausgetrockneten Boden sind wesentlich stärker als in anderen Monaten. Bodenverdichtungen durch Viehtritt führen zu einer weiteren Herabsetzung der Infiltrationsrate und damit zur Erhöhung der Erodierbarkeit des Bodens.

3.1.4 Vegetation und ihr Verhältnis zu Erosionsprozessen

Die Vegetationsentwicklung wird in der Puna durch verschiedene Ungunstoffaktoren gehemmt (nach CABRERA 1968, 108):

- Wassermangel während des Großteils des Jahres
- starke Niederschlagsschwankungen
- geringe Luftfeuchtigkeit
- hohe Sonneneinstrahlung
- fast ganzjährig Nachtfröste
- große tägliche Temperaturschwankungen
- sehr lockere Böden
- Salzanreicherungen
- Auftreten herbivorer Tierarten

Entscheidender und limitierender Faktor ist der Wasserhaushalt. Faktoren wie Sonneneinstrahlung, Fröste und Bodenlockerheit beeinflussen ebenfalls den Bodenwasserhaushalt (WERNER 1974, 525). Die Vegetation der Puna zeigt verschiedene morphologische und anatomische Anpassungsstrategien an die klimatische Ungunstoffaktoren (vgl. Tab. 4). Die meisten dieser Strategien zielen auf die Verbesserung der Wasseraufnahme und -speicherung, die Verringerung von Transpirationsverlusten sowie den Schutz vor niedrigen Temperaturen.

Klima-faktor	Einfluss auf Vegetation	Anpassungsformen der Vegetation
Geringe Niederschlags-summen, hohe Variabi-lität der Nieder-schläge	<ul style="list-style-type: none"> - geringer Bodenwassergehalt → Wasser-stress → Erhöhung des osmotischen Dru-ckes im Zellsaft → starke Verdunstungsan-spannung → Wasserdefizit durch Transpi-ration nicht ausgeglichen - Vorteil: Niederschläge in warmer Jahreszeit 	<p>Verbesserung der Wasseraufnahme:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pfahlwurzel → Wasseraufnahme aus unteren Bodenschichten - Oberflächliches Wurzelsystem → Nutzung des oberflächennahen Wassers <p>Wasserspeicherung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Speicherung in Organen und Geweben (fleischige Wurzeln, Rhizome, Knollen, Zwiebeln) - Blatt-, Stamm- und Wurzelsukkulenz <p>Verringerung der Transpiration:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blattreduktion: kleine Blätter, nadel- oder schuppenförmige Blätter, Dornen u.a. - Blattabwurf in trockener Jahreszeit - Xeromorphe Blattmorphologie (dicke Kuticula, Harz oder Wachs auf Epidermis, wollige oder seidenartige Haare, besondere Stomataformen, mehrlagiges Palisadengewebe, kompaktes Schwammgewebe u.a.) - Blätter dicht an Sprossachse → Kammer zur Feuchtigkeits-speicherung - endständiges Wachstum der Zweige / Polsterform → Speichern der Feuchtigkeit unter der Pflanze - Verkürzung zwischen den Internodien → bodennahe Rosetten → Aufnahme des Niederschlagswassers am Boden - Ergänzung bzw. Übernahme der Photosynthesefunktion in Sprossachse als Ausgleich für reduzierte / fehlende Blätter - Anpassung der Lebensform: Dominanz von Hemikryptophyten, auch viele Therophyten
Niedrige Temperatu-ren	<ul style="list-style-type: none"> - Gefahr des Absterbens der Erneuerungs-knospen - Erhöhung des osmotischen Drucks im Zellsaft - besonderer Stress durch Frostwechsel, plötzlichem Anstieg / Abfall der Temperatur - Vorteil: Herabsetzung nächtlicher Atmungs-verluste 	<p>Gleiche Anpassungsstrategien wie bei Wasserdefizit:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Blattreduktion - Blattabwurf in trockener Jahreszeit - Ersetzen der Photosynthesefunktion durch Sprossachse - Absterben des oberirdischen Teils in Kältezeit (Hemikryptophy-ten) - Absterben der gesamten Pflanze in Kältezeit (Therophyten) - Reduzierung der Wuchshöhe - Unterirdische Speicherorgane
Wind	<ul style="list-style-type: none"> - Förderung der Verdunstung durch raschen Luftmassenaustausch - Mechanische Verletzung durch direkte Beugung sowie durch Sand-/ Hagelkörner - Freilegung von Wurzelteilen → Belastung des Wasserhaushaltes → kümmerliches Wachstum - Vorteil: Ansammlung von Sand an Sträu-chern → Verbesserung des Mikroklimas und der Feuchte- und Nährstoffbedingun-gen - Vorteil: Abschwächung der Extremtempe-raturen; Milderung der Strahlungsfröste in kalten Nächten 	<ul style="list-style-type: none"> - Spaltenschluss bei windbedingter verstärkter Verdunstung - Kutikuläre Bildungen - Gestaltanpassung: geringere Angriffsfläche durch Polsterwuchs - Bodennahes Wachstum, da dort geringe Windgeschwindigkeiten
Geringe Luftfechtig-keit	<ul style="list-style-type: none"> - Hohe Saugkräfte der Pflanzen bei erschwerter Wassernachlieferung aus Boden → angespannter Wasserhaushalt 	<ul style="list-style-type: none"> - Xeromorphie (s.o.)

Tab. 4: Einfluss des Klimas auf Vegetationsentwicklung sowie morphologische und anatomische Anpassungsstrategien der Vegetation in der Argentinischen Puna

Quellen: CABRERA 1968, RUTHSATZ & MOVIA 1975, RUTHSATZ 1977

Die offene, Laub abwerfende, sukkulente *Fabiana-densa*-Zwergstrauch-Gebirgs-halbwüste der nordwestargentinischen Puna wird im Bereich des Untersuchungs-gebietes als Folge höherer Niederschlagswerte durch verstärktes Auftreten von *Bac-*

charis boliviensis modifiziert (RUTHSATZ & MOVIA 1975)(Foto 2). Die weite Hochfläche außerhalb der Flusstäler des unteren Untersuchungsgebietes wird durch diese *Baccharis-boliviensis*-Strauchsteppe mit Sträuchern der Arten *Baccharis boliviensis*, *Fabiana densa*, *Tertraglochin cristatum* und *Ephedra* ssp. sowie einer begleitenden Krautschicht aus perennierenden Arten der Gattungen *Portulaca*, *Wahlenbergia*, *Alternanthera* u.a. eingenommen (LUPO 1998, 11). Der Deckungsgrad liegt bei 30%, die Wuchshöhe bei maximal 50 cm.

Auf felsigen Ausstrichen wie auf dem Cerro Largo und auf den Steilhängen am Río Yavi zwischen dem Dorf Yavi und der Mündung des Río Lecho (vgl. Abb. 3) findet sich auf gering entwickelten, sehr steinigen Böden innerhalb von Felsspalten eine vielseitig zusammengesetzte Pioniergesellschaft (vgl. LUPO 1998, 12).

In unmittelbarer Nähe des Dorfes Yavi dominiert eine *Pennisetum-chilense*-Grassteppe („esporal“). *Pennisetum chilense* ist eine bis zu 0,5 m hohe Grasart mit sehr dichten Büscheln, die als besondere Anpassung an die Trockenheit Rhizome ausbildet (RUTHSATZ & MOVIA 1975, 20). Daneben finden sich Elemente der benachbarten Strauchsteppe (u.a. *Tetraglochin cristatum* und *Adesmia* spec.) sowie zahlreiche perennierende und annuelle krautige Pflanzen und Gräser. Die Gesellschaft tritt in der Puna bevorzugt im zentralen Bereich der Ebenen auf sandigen und feuchten Böden auf (CABRERA 1976, 63).

Das Flussbett des Río Lecho wird von einer „Vega“-Vegetation eingenommen. Als Vega wird die Hartpolster-Vegetation der Feuchtwiesen in perennierenden Tälern und an Grundwasseraustritten bezeichnet. Zwischen den einzelnen Polstern hat sich ein lockerer Rasen aus kriechenden und annuellen Pflanzen ausgebildet. Typische Arten sind u.a. *Werneria pygmaea*, *Plantago tubulosa*, *Hypochoeris stenocephala* und Gräser wie *Festuca* spp., *Distichis humilis* u.a. (LUPO 1998, 15). Der Boden wird durch eine bis zu 50 cm mächtige Torfschicht aufgebaut.

In den anderen Flusstälern dominieren vegetationsfreie Geröll- und Sandflächen. An geschützten Stellen beherrscht das bis zu 2 m hohe Hartgras *Cortaderia speciosa* das Bild. Die meist trockenen Talsohlen nicht perennierender Flusstäler werden von *Parastrephia lepidophylla* („tola“) eingenommen. Als „tola“ werden in der Puna ganz

allgemein die Zusammenschlüsse mehrerer Kompositenarten mit kleinen, ledrigen, immergrünen und oft harzigen Blättern bezeichnet (RUTHSATZ 1977, 84). Auf sandigen Abschnitten zwischen den Geröllen tritt auch der Erosionszeiger *Chuquiraga acanthophylla* auf. Nur in den breiten Unterläufen der Flusstäler bildet sich eine dichtere Vegetationsdecke mit zahlreichen Elementen der benachbarten *Baccharis-boliviensis*-Strauchsteppe aus.

Auf Dünen verschiebt sich die Vegetationszusammensetzung zugunsten verschiedener an diese Standorte angepassten Pflanzen. Dominierende Art ist die strauchförmige *Lampaya castellani* mit immergrünen skleromorphen Blättern und Wuchshöhen von bis zu 2 m (RUTHSATZ 1977, 122). Auch die Grasart *Sporobolus* spec. fungiert durch ihre Ausläufer bildenden Rhizomen als ausgesprochener Dünenfestiger (WERNER 1972, 79).

RUTHSATZ hat für die gesamte nordwestargentinische Puna-Provinz 61 Straucharten nachgewiesen, von denen ein Viertel als Futterpflanze genutzt wird, einige Arten auch als Brennholz oder als Heilpflanzen (RUTHSATZ 1974). Die dominierenden Straucharten *Baccharis boliviensis* und *Fabiana densa* werden stellenweise durch die Sträucher *Tetraglochin cristatum*, *Adesmia horridiscula* und *Ephdera rupestris* verdrängt (RUTHSATZ 1977, 118). Nur zwei Baumarten treten in der Puna bzw. der altoandinen Stufe auf: *Prosopis ferox* („Churqui“) und *Polylepis tomentella* („Queñoa“). *Prosopis ferox* findet sich bevorzugt in Flussauen und auf Schwemmfächern, wo ihm seine über 10 m lange Pfahlwurzel die Nutzung von Wasser aus tiefer liegenden Schichten erlaubt (RUTHSATZ 1977, 88). Heute ist sein Bestand aufgrund der Nutzung als Brennholz stark dezimiert. *Polylepis tomentella* wurde im näheren Untersuchungsgebiet nicht angetroffen. Aufgrund der bevorzugten Nutzung als Brennholz wurde auch sein Bestand durch den Menschen massiv dezimiert. Selbst die Wurzeln der Bäume werden als Brennholz genutzt (RUTHSATZ 1974, 44).

Viele der in der Zwergstrauch-Gebirgshalbwüste auftretenden Pflanzenarten unterliegen einem starken Weidedruck. Bevorzugte Weidepflanzen sind in ihrer Verbreitung teilweise stark dezimiert (vgl. Kap. 3.2.2.1). Während der winterlichen Trockenzeit werden nahezu alle Pflanzen beweidet, wobei Sträucher aufgrund ihrer ganzjährigen Wasserzufuhr besonders bevorzugt werden. Morphologische Anpassungsfor-

men an klimatische Verhältnisse wie Blattreduktion und Dornenbildung bieten auch Schutz vor Verbiss (vgl. Tab. 4). Durch die Beweidung wird die Vegetationszusammensetzung modifiziert, was sich im verstärkten Auftreten bestimmter Erosionszeiger wie *Chuquiraga acanthophylla*, *Astragalus garbancillo* und *Krameria spec.* (mündl. Mitteilung von Dr. Liliana LUPO) zeigt. Die Auflockerung der Pflanzendecke durch Überweidung und Erosion fördert die Verbreitung Licht liebender, wärmebedürftiger und dürreresistenterer C4-Arten (RUTHSATZ & HOFMANN 1984, 238).

Bewertung der Vegetation im Hinblick auf Erosionsprozesse

Durch ihren niedrigen Deckungsgrad (30 %) bietet die *Baccharis-boliviensis*-Strauchsteppe einen nur eingeschränkten Erosionsschutz. Zwischen den Sträuchern ist der Boden der direkten Sonneneinstrahlung und damit der Gefahr der Austrocknung ausgesetzt. Bei Niederschlägen kommen die Prall- und Planschwirkungen der Regentropfen uneingeschränkt zur Wirkung. Die geringmächtige Streuauflage kann nur zu einer geringen Verbesserung der Nährstoffversorgung des Bodens beitragen, Kohäsionskräfte treten kaum auf und können folglich keinen Schutz vor Erosion bieten. Die bis zu 50 cm hohen Sträucher bremsen einerseits den oberflächennahen Wind und kämmen mittransportiertes Feinmaterial aus, andererseits stellen in Bodennähe verzweigte Sträucher wie *Baccharis boliviensis* Hindernisse für den Oberflächenabfluss dar. Die eingeschränkte Vegetationsentwicklung geht mit einer nur geringen Bodenauflockerung einher. Dadurch kommt es zu einer Einschränkung der Infiltration von Niederschlagswasser sowie zu einer Verstärkung des Oberflächenabflusses.

In unmittelbarer Nähe zum Rand des Bolson von Yavi unterliegt die Hochfläche einer besonders starken Beweidung. Die Vegetation ist hier deutlich degradiert, was sich neben der Reduzierung des Deckungsgrades (15 – 20 %) und der Wuchshöhen (maximale Höhen ca. 30 cm) auch in einem verstärkten Auftreten von Erosionszeigern wie *Chuquiraga acanthophylla* („espina amarilla“) widerspiegelt. Der Boden ist mit kantigem Schutt bedeckt, das Feinmaterial wurde ausgeblasen. Nur an den unteren Abschnitten der Sträucher treten bis zu 8 cm hohe Feinmaterialakkumulationen auf. Bei starken Winden, wie sie am Tag der Beobachtung (14.2.96) auftraten, kommt es auf der Fläche zu kleinen Windhosen, durch die Feinmaterial transportiert und an Sträuchern abgelagert wird. In anderen Abschnitten des Untersuchungsgebietes türmt sich das Feinmaterial an Sträuchern nebkaartig zu kleinen Dünen auf,

auf denen sich die Pflanzen ausbreiten. Dadurch wird ein günstigeres Mikroklima geschaffen, die Nährstoffbedingungen im Wurzelraum verbessert und die Feuchtigkeit erhöht (vgl. RUTHSATZ 1977, 27).

Auch in den anderen oben beschriebenen Vegetationseinheiten begünstigen der niedrige Deckungsgrad und die geringe Vegetationsentwicklung Erosionsprozesse. Auf felsigen Ausstrichen wie auf dem Cerro Largo können aufgrund des nicht vorhandenen oder nur geringmächtig ausgebildeten Bodens Erosionsprozesse kaum greifen. Die in der Nähe des Dorfes Yavi auftretende *Pennisetum-chilense*-Grassteppe („esporal“) festigt durch ihre Wurzeln den Boden und mindert so die Erosionsgefahr. Auch Dünen werden durch dichtes Wurzelwerk gefestigt und vor Auswehung geschützt. In den Bereichen mit Vega-Vegetation dominiert fluviale Erosion, Auswehungsprozesse finden kaum statt. Die Vegetation der Flusstäler trägt nur in geringem Maße zum Erosionsschutz bei; auf Flussterrassen und auf den Talhängen kann sie durch ihr Wurzelwerk den Boden vor Auswehung und –spülung schützen. Ein im Trockental Quebrada de Piscuno näher untersuchtes Exemplar des Erosionszeigers *Chuquiraga acanthophylla* bildete bei nur 10 cm Höhe und einem Durchmesser von 20 cm eine Pfahlwurzel mit über 40 cm Länge aus, die im oberen Abschnitt über 1 cm dick war.

Holzgewächse spielen im Zusammenhang mit Erosion eine besondere Rolle, da sie einerseits aufgrund ihrer Wuchshöhe den Wind abbremsen, andererseits durch ihr ausgeprägtes Wurzelwerk die Bodeneigenschaften positiv beeinflussen. Da ihr Bestand heute sehr dezimiert ist, ist ihre erosionsmindernde Leistung im Untersuchungsgebiet eingeschränkt. Beweidung bewirkt eine Abnahme des Deckungsgrades und eine Schädigung der Vegetation und führt damit zu einer weiteren Verstärkung der Erosionsanfälligkeit. Die morphologischen und anatomischen Anpassungsstrategien der Vegetation an klimatische Ungunstfaktoren (vgl. Tab. 4) tragen indirekt durch die bessere Vegetationsentwicklung zu einem lokalen Erosionsschutz bei.

Die Erosionsprozesse selber haben eine weitere Zerstörung der Vegetation bzw. eine weitere Herabsetzung des Deckungsgrades zur Folge. Freistehende Pflanzen unterliegen durch die ungehinderte Einwirkung trockener Luft auf ihre Oberflächen der Gefahr einer Austrocknung und damit eines besonderen Wasserstresses. Fluvi-

ale und äolische Erosion können daneben zur Freilegung von Wurzelhälsen führen und setzen die Pflanzen einer zusätzlichen hohen Belastung im Wasserhaushalt aus, der sich in einem kümmerlichen Wachstum äußert (RUTHSATZ 1977, 29). Die reduzierte Wuchshöhe macht die Pflanzen einerseits für weitere Schädigungen anfälliger, andererseits können sie nur noch einen geringen Beitrag zur Minderung der Windgeschwindigkeit bzw. des Oberflächenabflusses leisten. Auch mechanische Verletzungen können Folge starker Erosion sein, bei äolischer Erosion ist insbesondere die Gefahr der Verletzung durch Korrasion gegeben. Ebenso können Pflanzenteile direkt umgebogen und so das Pflanzenwachstum behindert werden. Das Verhältnis zwischen Vegetationsentwicklung und Erosion ist demnach wechselseitig gekoppelt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass aufgrund der allgemein niedrigen Deckungsgrade im Untersuchungsgebiet die Vegetation nur in eingeschränkter Weise als Erosionsschutz dient und gleichzeitig Erosionsprozesse zu einer weiteren Herabsetzung der Deckungsgrade bzw. einer Vegetationsdegradierung führen können.

3.1.5 Wechselwirkungen der physiogeographischen Faktoren des Untersuchungsgebietes mit Erosionsprozessen

Die Ausprägungen der physiogeographischen Faktoren im Untersuchungsgebiet und ihre jeweilige Beziehung zu Erosionsprozessen hängen in entscheidender Weise von dem Faktor Klima ab (vgl. Abb. 7). Die Niederschläge mit ihren niedrigen, stark schwankenden Jahressummen und ihren hohen Intensitäten verfügen über eine enorme Erosivität. Niedrige Temperaturen, Fröste und hohe Strahlung fördern die physikalische Zersetzung von anstehendem Gestein und die Bereitstellung erodierbaren Materials. Auch der Wind spielt eine wichtige Rolle bei Erosionsprozessen, insbesondere als direktes Agens der äolischen Erosion. Alle drei Klimaelemente beeinflussen sowohl die Bodeneigenschaften als auch die Vegetationsentwicklung. Die Bodenentwicklung ist aufgrund der Trockenheit und der niedrigen Temperaturen eingeschränkt – es dominieren humus- und stickstoffarme, z.T. auch steinige Böden. Oftmals sind Kalkanreicherungshorizonte ausgebildet. Die Vegetationsentwicklung wird ebenfalls durch die klimatischen Verhältnisse gehemmt. Entscheidender und

limitierender Faktor ist dabei der Wasserhaushalt. Weite Teile des Untersuchungsgebietes werden von einer Zwergstrauch-Gebirgshalbwüste eingenommen.

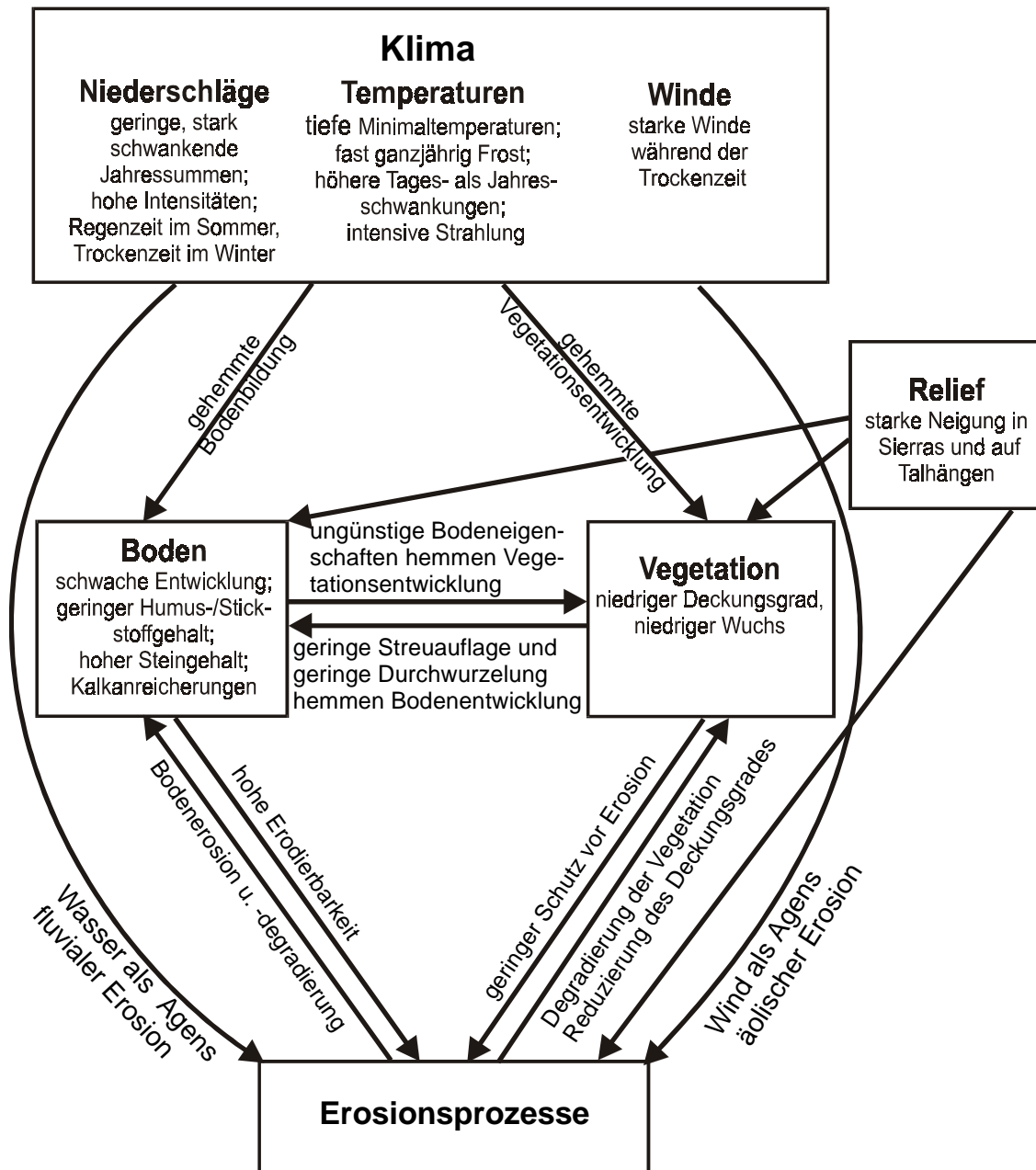


Abb. 7: Wechselwirkungen der physiogeographischen Faktoren des Untersuchungsgebietes mit Erosionsprozessen
Quelle: Entwurf H. Kiegel

Es existieren verschiedene Wechselwirkungen zwischen dem Boden und der Vegetation. Einerseits begünstigt die Bodenentwicklung die Vegetationsentwicklung, andererseits kann die Vegetation durch ihre Schattenwirkung die Evaporation des Bodens verringern und durch ihre Streu und durch Bodenauflockerung zur Verbesserung der Bodeneigenschaften beitragen. Da im Untersuchungsgebiet sowohl die Boden- als auch die Vegetationsentwicklung gehemmt sind, sind diese Wechselbeziehungen nur schwach ausgeprägt. Die vorliegenden, klimabeeinflussten Ausprägungen des Bodens und der Vegetation können Erosionsprozessen nur bedingt Einhalt gebieten. Gleichzeitig beeinflussen diese Erosionsprozesse direkt den Boden und die Vegetation. Der Boden wird abgetragen bzw. mit erodierten und transportierten Material bedeckt. Die Vegetation wird durch Abspülungs- und Auswehungsprozesse geschädigt, der Deckungsgrad und die Wuchshöhen sind reduziert. Dadurch kann die Vegetation Erosionsprozessen noch geringeren Widerstand entgegenbringen, wodurch diese weiter intensiviert werden. Auch das Relief bzw. die Neigung können Erosionsprozesse beschleunigen. In bereits entstandenen Erosionsrinnen läuft Erosion schneller ab als auf intaktem Gelände. Einmal initialisierte Erosionsprozesse führen also durch eine Faktorenkette zu einer fortschreitenden Intensivierung der Prozesse. Greift der Mensch in dieses von Natur aus fragile System ein, kommt es zu einer weiteren Beschleunigung der Prozesse.

3.2 Anthropogene Faktoren und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet

3.2.1 Besiedlungsgeschichte und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse

Eine Bewertung anthropogen bedingter Modifikationen im Naturhaushalt darf sich nicht auf die aktuelle Landnutzung beschränken; vielmehr muss die historische Entwicklung miteinbezogen werden. Im Laufe der Besiedlungsgeschichte existierten in der Argentinischen Puna unterschiedliche Landnutzungstypen (vgl. Tab. 5). Im Folgenden werden diese hinsichtlich ihrer Konsequenzen für den Naturhaushalt und ihrer Erosionswirksamkeiten diskutiert.

Besiedlungsphase	Paläoindianische Zeit	Prähispanische Ackerbaukulturen	Kolonialzeit	Unabhängigkeitsphase	Europäische Immigrationswelle	Heute
Zeitliche Einteilung	12.000 – 8.000 BP	10.-15. Jh.	16.-18. Jh.	19. Jh.	Anfang 20. Jh.	Ende 20. Jh.
Siedlungsart	Keine festen Siedlungen	Haufensiedlungen; Verteidigungsanlagen	Zentrale Hacienda; kleine Siedlungen der einheimischen Bevölkerung; Einzelgehöfte	Latifundien; kleine Siedlungen der einheimischen Bevölkerung; Einzelgehöfte	Latifundien; kleine Siedlungen der einheimischen Bevölkerung; Einzelgehöfte	Haufendörfer; Streusiedlungen; Einzelgehöfte
Wirtschaftsart	Subsistenzwirtschaft	Subsistenzwirtschaft; Tauschhandel	Exportorientierte Viehwirtschaft; Encomienda-System mit Tributzahlung der Einheimischen; Subsistenzwirtschaft; Tauschhandel	Exportorientierte Viehwirtschaft; Pachtsystem; Subsistenzwirtschaft; Tauschhandel	Temporäres Arbeiten auf Zuckerrohrplantagen am Chacorand; Bergbau; Pachtsystem; komplementäre Landwirtschaft; Tauschhandel	Temporäres Arbeiten auf Zuckerrohrplantagen am Chacorand; Handel, Verwaltung; komplementäre Landwirtschaft; Tauschhandel
Landwirtschaft	Jagd und Sammeln	Viehzucht; Ackerbau; Jagd und Sammeln	Exportorientierte Viehwirtschaft; subsistente Viehwirtschaft und Ackerbau; Sammeln	Exportorientierte Viehwirtschaft; subsistente Viehwirtschaft und Ackerbau; Sammeln	Subsistenzorientierte Viehwirtschaft und Ackerbau; Sammeln	Subsistenzorientierte Viehwirtschaft und Ackerbau; Sammeln
Kulturpflanzen	keine	Kartoffeln, Mais, Quinoa, Bohnen, Ají	Siehe links; neu: Gerste, Hafer, Weizen, Roggen, Gemüse	siehe links	siehe links; neu: Knoblauch und Zwiebeln	siehe links; neu: Blattgemüse (Mangold, Kopfsalat); europäische Futterpflanzen

Techniken im Ackerbau	keine	Grabstock; Terrassen; künstliche Bewässerung; Anlage von Silos	Holzpflug, Zug durch Ochsen; Auenflächen; künstliche Bewässerung	Holzpflug, Zug durch Ochsen; Auenflächen; künstliche Bewässerung	Holzpflug; Zug durch Maultiere; Auenflächen; künstliche Bewässerung	Metallpflug; Auenflächen; künstliche Bewässerung; Gewächshäuser u.a.
Dominierende Vieharten	keine	Lamas	Rinder, Esel; auch: Maultiere, Schafe, Ziegen, Pferde, Schweine, Lamas	Schafe, Ziegen, Lamas, Geflügel; auch: Rinder, Maultiere	Schafe, Ziegen, Lamas, Geflügel; auch: Rinder, Maultiere	Schafe, Ziegen, Lamas, Geflügel; auch: Rinder, Maultiere
Dominierende Viehwirtschaftsart	keine	Extensive Weidewirtschaft mit Lamas	Extensive, transhumante Weidewirtschaft mit Rindern und Eseln	Extensive Weidewirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen	Extensive Weidewirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen	Extensive Weidewirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen
Sonstige Aktivitäten	Steinbearbeitung	Steinbearbeitung; Keramik- und Metallherstellung; Felsmalerei	Bergbau	Bergbau; Beschäftigung in Industrie und Handel	Bergbau; Beschäftigung in Industrie und Handel	Bergbau; Beschäftigung in Industrie, Handel und Verwaltung
Eigentumsverhältnisse	keine	Gemeinschaftsbesitz	Haciendas; Encomienda-System	Latifundien und Minifundien	Latifundien und Minifundien	Latifundien, Kleinbauern, Staatliche Ländereien
Handelsbeziehungen	Innerhalb der Puna; z.T. zum Tiefland	Tauschhandel zu Nachbarkern; Inkas	Export nach Hochperu; Import aus Spanien; Tauschhandel	Handel innerhalb Argentiniens; Tauschhandel	Handel innerhalb Argentiniens; Grenzhandel mit Bolivien; Tauschhandel	Handel innerhalb Argentiniens; Grenzhandel mit Bolivien; Tauschhandel

Tab. 5: Charakterisierung der verschiedenen Besiedlungsphasen in der Argentinischen Puna

Quellen: Entwurf H. Kiegel nach ECHENIQUE 1995, KRAPOVICKAS 1973, KULEMEYER 1998, MADRAZO 1982 u.a. sowie eigenen Beobachtungen

3.2.1.1 Prähispanische Besiedlung

Älteste Nachweise einer Besiedlung der Argentinischen Puna wurden auf 12.000 BP datiert (KULEMEYER 1995, 8). Die Nutzung von „La Cueva de Yavi“, einer 300 m flussabwärts des Dorfes Yavi am gleichnamigen Fluss gelegene offenen Felshöhle, fällt in diese paläo-indianische Zeit (KRAPOVICKAS 1980 u. 1981, KULEMEYER et al. 1989, KULEMEYER 1995 u. 1998, LAGUNA 1995, KULEMEYER et al. 1999) Knochenreste von Tieren geben Hinweise auf eine breite Spannweite der Jagdbeute. In anderen Höhlen der Puna wurden Reste von Wildpflanzen gefunden, die sowohl

der Ernährung als auch rituellen Zwecken dienten (FERNANDEZ DISTEL 1986, 378-379). Das Verbreitungsmuster archäologischer Funde aus der paläo-indianischen Zeit lässt darauf schließen, dass bereits zu dieser Zeit weite Bereiche der Puna besiedelt waren und eine hohe Mobilität zu Gebieten innerhalb und außerhalb der Puna bestand (FERNANDEZ DISTEL 1980 u. 1986; YACOBACCIO 1983-1985).

Die nächsten Hinweise auf prähispanische Besiedlung im Untersuchungsgebiet fallen in die Zeit der prähispanischen Ackerbaukulturen. Diese lassen sich im Nordwesten Argentiniens in vier Phasen unterteilen (vgl. OTTONELLO & LORDANI 1987, 67 – 95). Für die erste, frühe Phase („Período Temprano“, 600 v. Chr. bis 650 n. Chr.) – charakterisiert durch erste feste Siedlungen, rudimentären Ackerbau auf fruchtbaren Abschnitten der Flusstäler, Jagd, Sammeln und einer beginnende Viehwirtschaft mit Lamas – wurde im Untersuchungsgebiet keine direkten Nachweise gefunden. Die zweite Phase („Período Medio“, 650 bis 1000 n. Chr.) fällt in die Zeit der im südlichen Nordwesten Argentiniens weit verbreiteten La Aguada-Kultur mit weiter entwickelter Landwirtschaft, starker Bevölkerungszunahme und Fortschritten in der Metallverarbeitung. Die 16 km südöstlich von La Quiaca in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet gelegene Fundstelle Cerro Colorado II wird dieser Phase zugeordnet („Fase Cerro Colorado“ nach KRAPOVICKAS 1977, 143).

Die meisten der im Untersuchungsgebiet auftretenden Fundorte lassen sich der dritten Phase der prähispanischen Ackerbaukulturen („Período Tardío“, ca. 1000 bis 1480 n. Chr.) zuordnen (OTTONELLO & LORANDI 1987, 82-93). Diese Phase charakterisiert sich durch größere Haufensiedlungen und weitere Fortschritte im Ackerbau. Mit der Anlage von bewässerten Kulturterrassen und Erosionsschutzmauern wurden erste Maßnahmen zur Eindämmung von Erosionsschäden durchgeführt. Daneben kam der Viehwirtschaft mit Lamas zunehmend Bedeutung zu. Lamas zählen zur Familie der Kameliden und haben als Schwielensohler unter dem vorletzten Glied eine dicke, federnde Schwiele ausgebildet (HANSEN 1994, 5). Die Viehtrittschäden sind gering, die Grasnarbe wird geschont. In der östlichen Puna von Jujuy haben sich in der Período Tardío zwei große Kulturen entwickelt. Die Yavi-Kultur im Becken von Yavi und La Quiaca und die Casabindo-Kultur (auch Agua Caliente-Kultur genannt) in den südlich davon gelegenen Becken von Miraflores – Abra Pampa

sowie Guayatayoc – Salinas Grandes (OTTONELLO DE GARCIA REINOSO & KRAPOVICKAS 1973, 5).

Das nähere Untersuchungsgebiet wurde von der Yavi-Kultur – auch „Yavi Chico-Kultur“ oder „Phase Yavi Chico“ genannt – eingenommen (KRAPOVICKAS 1977, 144). Siedlungen dieser Kultur wurden in Yavi Chico, Sansana (Fundort Cerro Colorado I) und bei La Quiaca (La Quiaca Pueblo Viejo) gefunden (vgl. Abb. 1). Die drei Fundorte weisen untereinander Entfernungen von 15 km auf. Während Yavi Chico und La Quiaca Pueblo Viejo reine Siedlungs- und landwirtschaftliche Funktionen aufwiesen, war Cerro Colorado I eine befestigte Anlage, von der aus weite Bereiche sowohl innerhalb als auch außerhalb des Beckens von Yavi und La Quiaca kontrolliert werden konnten (KRAPOVICKAS 1977, 145). Die Kultur Yavi basierte auf einem intensiven Ackerbau mit ergänzender Viehwirtschaft. Unzählige Keramikfunde weisen auf eine ausgeprägte Töpferei hin, die Metallverarbeitung spielte eine untergeordnete Rolle. Zahlreiche Pfeilspitzen belegen zusätzliche Aktivitäten in der Jagd. Im Gegensatz zur Casabindo-Kultur fehlen der Yavi-Kultur eindeutige Indizien für einen Fortbestand in der inkaischen Phase und in der ersten Zeit der spanischen Konquista (KRAPOVICKAS 1968, 260). Untersuchungen am Fundort Yavi Chico bilden einen Schwerpunkt vorliegender Arbeit (vgl. Kap. 5).

Die letzte Phase der prähispanischen Ackerbaukulturen im Nordwesten Argentiniens liegt in der Zeit der inkaischen Besetzung („Período Incaico“, 1480 bis 1530 n. Chr.). Die Eingliederung des Nordwesten Argentiniens in das Inkareich brachte technische Innovationen in der Landwirtschaft und dem Kunsthandwerk. Der Ackerbau wurde intensiviert, eine Vielzahl von Terrassen angelegt und die Bewässerungstechniken verbessert. In der Puna fanden sich bei archäologischen Ausgrabungen bisher nur vereinzelt Hinweise auf inkaische Einflüsse. In der Namensgebung verschiedener Dörfer und in religiös-rituellen Traditionen spiegeln sich jedoch bis heute die inkaische Überprägung der Kultur wider.

Die flächenmäßige Ausbreitung der Ackerflächen und insbesondere der Bewässerungsterrassen war zur Zeit der prähispanischen Ackerbaukulturen um ein Vielfaches größer als heute und lässt auf hohe Bevölkerungszahlen schließen (BUMAN 1989, 24f). Innovationen in der Landwirtschaft führten zu Produktionssteigerungen.

Bewertung der prähispanischen Besiedlung im Hinblick auf Erosionsprozesse

Die anthropogenen Beeinflussungen des Naturhaushaltes während der paläo-indianischen Zeit dürften gering gewesen sein. Die Jagd, das Sammeln von Wildpflanzen sowie die Nutzung von Holzpflanzen zur Herstellung von Waffen und zur Anlage von Feuer dürften nur geringfügige Modifikationen verursacht haben. Lediglich absichtlich oder unabsichtlich gelegte Feuer könnten größeren Einfluss auf die Vegetation und indirekt auch auf Erosionsprozesse gehabt haben (vgl. DENEVAN 1992). Mit Beginn der prähispanischen Ackerbaukulturen ergaben sich stärkere Modifikationen des Naturhaushaltes und als Folge auch der Erosionsprozesse. Der Ackerbau führte zu ersten intensiven Beeinflussungen der natürlichen Vegetation. Die Anlage von Kulturrassen schuf ein künstliches Relief, welches einerseits der Erosion entgegenwirkte, andererseits den natürlichen Abfluss unterband. Der Bewässerungsfeldbau barg die Gefahr von Verschlammung und Versalzung. Der steigende Bevölkerungsdruck und die Anlage fester Siedlungen forcierte die Dezimierung von Holzgewächsen durch die Entnahme von Brenn- und Bauholz. Das Abbrennen der ursprünglichen Strauchsteppen zur Verbesserung der Weidequalität (vgl. RUTHSATZ 1983, 566) führte zur Vegetationszerstörung und zur Freilegung des Bodens. Die Folge war eine Beschleunigung von Erosionsprozessen.

Das traditionell weitergegebene Wissen über die Nutzung der natürlichen Ressourcen sowie die besondere Verehrung der Pachamama (Mutter Erde) als Quelle alles Fruchtbaren waren Voraussetzungen für nachhaltige Bewirtschaftungen. Dennoch waren Beeinflussungen des Naturhaushaltes unvermeidbar.

RUTHSATZ geht davon aus, dass das bolivianische Hochland bereits zu inkaischen Zeiten starken Störungen in seinem ökologischen Gleichgewicht ausgesetzt war und es in Siedlungsnähe zu Überweidung und Bodenerosion kam (RUTHSATZ 1983, 567). Pollenanalytische Untersuchungen in Nordwesten Argentiniens haben bereits für die prähispanische Besiedlungsphase Zeigerpflanzen für anthropogene Störungen nachgewiesen (MARKGRAF 1985, LUPO 1998). Im Einzugsgebiet des Río Yavi sind dieses insbesondere *Urtica* und *Oxiphapus*. Sie treten seit 2.500 BP auf und erreichen um 2.000 BP ein Maximum (LUPO 1998, 58 u. 67).

3.2.1.2 Konquista und spanische Kolonialherrschaft

Die spanische Landnahme setzte 1536 unter Diego de Almagro von Peru aus ein. Der heutige Nordwesten Argentiniens unterstand ab 1563 als „Gobernación del Tucumán“ dem Vizekönigreich Peru und wurde 1776 in das neu gegründete Vizekönigreich Río de la Plata eingegliedert. Die Einführung des Encomienda-Systems, die Verbreitung des christlichen Glaubens, die Ausweitung des Handels und der Kommunikation, die Intensivierung des Bergbaus sowie die Einführung städtischer Organisationsformen lösten die alten sozialen und kulturellen, auf Gemeinschaftsarbeit basierenden Traditionen ab (BOLSI 1982, 50). Die indigene Bevölkerung wurde stark dezimiert und zu großen Teilen in neu entstandene Bergwerkssiedlungen umgesiedelt. Die indigene Landwirtschaft verlor an Bedeutung, Felder lagen brach, Dörfer wurden aufgegeben. Die veränderten sozialen und wirtschaftlichen Bedingungen machte aus ehemals sesshaften Bauern halbnomadische Viehzüchter (RUTHSATZ & MOVIA 1975, 36). Europäische Nutztierarten (Schafe, Ziegen, Rinder, Pferde, Esel, Maultiere, Schweine, Geflügel) drängten die Lamas auf unproduktivere Standorte ab. Die Behauptung der Kirche, das Fleisch der Lamas – in der indianischen Kosmologie Tiere göttlichen Ursprungs – übertrage Krankheiten wie Krätze und Syphilis, verstärkte den Bedeutungsverlust der Kameliden (HANSEN 1994, 49). Die europäischen Kulturpflanzen Gerste, Hafer, Pferdebohnen sowie Weizen, Roggen und Gemüse bildeten fortan Bestandteile der Landwirtschaft (RUTHSATZ 1983, 567). Der von Ochsen gezogene Hakenpflug erleichterte den Ackerbau und ermöglichte die Expansion auf bisher nicht genutzte Standorte (RUTHSATZ 1983, 567).

Der Bedeutungsaufstieg Potosí in der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts gab dem Kulturlandschaftswandel einen wichtigen Impuls. Weite Gebiete des heutigen Argentiniens dienten der Aufzucht von Rindern und Maultieren zur Versorgung der Silberstadt (ASSADOURIAN 1983). Tausende dieser Tiere wurden auf einer durch die Puna nach Norden verlaufenden Handelsroute getrieben. Auch in der Puna selber kam es zu einer Intensivierung der exportorientierten Viehwirtschaft, insbesondere auf der Hacienda von Pablo Bernardez de Ovando. Diesem in Yavi ansässigen Großgrundbesitzer war 1654 vom Gouverneur von Tucumán die Encomienda von Cochino und Casabindo übergeben worden. Das Encomienda-System war eine im kolonialspanischen Amerika gängige Praxis, bei der die einheimische Bevölkerung

als Vasallen des Königs von Kastilien diesem eine Tributleistung erbringen musste. Der Tribut wurde in Form von Ernteprodukten oder als Arbeitsleistung (Mita) für den jeweiligen Encomendero abgeleistet, dem seinerseits der Schutz und die Christianisierung der Bevölkerung oblagen (BERNAL 1984, 11). In Yavi wurde in den meisten Fällen der Tribut durch Viehhüten abgeleistet und nebenbei ein Ackerbau zur Selbstversorgung betrieben. Einem Erben Ovandos wurde 1708 von der Spanischen Krone der Titel des Marquis „Marqués del Valle de Tojo“ verliehen (MADRAZO 1982, 43). Die Bewirtschaftung durch die Marquis-Familie setzte sich über mehrere Generationen bis zum Beginn des Unabhängigkeitskrieges 1810 fort. Die Hacienda von Yavi bildete den Mittelpunkt einer großflächigen Landnutzung mit Schwerpunkt in der Viehwirtschaft (vgl. Tab. 6).

	1676 (Ovando)	1718 (Marquis Campero)	1721 (Marquis Martiarena)	1802 (Marquis F. Campero)
Rinder	14.183	740	718	k.A.
Esel	800	8.929	7.260	k.A.
Maultiere	227	6	116	k.A.
Pferde	163	432	1.516	k.A.
SUMME Großvieh	15.373	10.107	9.610	12.945 (Rinder, Pferde, Esel)
Schafe	4.640	6.824	9.225	37.522
Ziegen	1.213	531	429	20.859 (einschl. Schafe)
SUMME Kleinvieh	5.853	7.355	9.654	58.381

Tab. 6: Viehbestand auf der Hacienda von Yavi während der Kolonialzeit
Quellen: ECHENIQUE 1995, 37 und MADRAZO 1982, 86

Der hohe Bestand an Rindern 1676 korreliert mit der Blütezeit Potosís. Im Vergleich dazu wurden in der gesamten Puna von Jujuy 1974 lediglich 7.869 Rinder gehalten (MADRAZO 1982, 87). Im 18. Jahrhundert führten politische und wirtschaftliche Veränderungen zur Einschränkung des Handels mit Potosí. Die Handelsbeziehungen konzentrierten sich jetzt auf die Versorgung der indigenen Bevölkerung der Bergbaugebiete in den südlichen Bereichen Hochperus (Lipez) mit Eseln als Lasttieren (MADRAZO 1982, 87 u. 126). Maultiere wurden im lokalen Bergbau eingesetzt, eine Maultierzucht war in der Puna aufgrund der klimatischen Bedingungen nicht möglich. Pferde dienten dem Eigenbedarf des Marquis sowie der Landwirtschaft. Die niedrigen Bestandszahlen von Schafen und Ziegen lassen eine kommerzielle Nut-

zung dieser Tiere ausschließen. Lamas sind in der offiziellen Statistik der Hacienda nicht vertreten, sie wurden jedoch weiterhin von der indigenen Bevölkerung gehalten.

Die Weidewirtschaft basierte auf extensiven Formen. Rinder unterlagen jahreszeitlichen Wanderungen – sie überwinterten in den klimatisch begünstigten Gebieten der tiefer gelegenen, feuchten Täler Santa Victorias. Hinweise auf die Eigennutzung des Viehs finden sich in unmittelbarer Nähe des Wohnsitzes des Marquis. Eine bis zu 1,5 m mächtige Schicht aus Knochen von Tieren europäischer Herkunft belegt möglicherweise eine Deponie für tierische Abfälle (mündl. Mitteilung Dipl.-Geol. Julio Kulemeyer).

Bewertung der Konquista und der spanischen Kolonialzeit im Hinblick auf Erosionsprozesse

Der Viehhandel mit Potosí ging mit einer starken Degradierung der Vegetation und des Bodens der am Handelsweg liegenden Gebiete einher. Die Weidewirtschaft in der Puna selber verursachte weitere Belastungen im Naturhaushalt. Die europäischen Huftiere verursachten im Vergleich zu den autochthonen Lamas (Schwielensohler) massive Viehtrittschäden. Besonders Rinder schädigten durch ihr Eigengewicht die Bodenoberfläche. Eine Abschätzung der durch Beweidung hervorgerufenen Schäden muss neben der Größe des Viehbestandes auch die je nach Viehart variierende Menge an konsumiertem Pflanzenmaterial berücksichtigen. Die für 1676 angegebenen 14.183 Rinder entsprechen in ihrem Futterbedarf 60.000 bis 80.000 Schafen oder 85.000 Ziegen (BRAUN WILKE 1991, 14). 1958 wurden im gesamten Departamento Yavi 63.421 Schafe gehalten (vgl. Tab. 7), der Viehbestand erreichte demnach 1676 bezüglich der Futtermenge ähnliche Werte wie Mitte des 20. Jahrhunderts. Dieses hatte schon frühzeitig Modifikationen in der Vegetationszusammensetzung zur Folge. Besonders die von Rindern bevorzugten hohen Gräser dürften in dieser Zeit in ihrer Ausbreitung stark dezimiert worden sein. Schäden ergaben sich auch durch Trittbelastung beim Überschreiten der Sierra de Santa Victoria. Mit der Verlagerung des Schwerpunktes der Viehwirtschaft von Rindern auf Esel dürfte es im 18. Jahrhundert zu einer Verschiebung der Vegetationszusammensetzung gekommen sein. Esel äsen neben Gras und krautigen Pflanzen auch Holzgewächse, die somit ebenfalls dezimiert wurden. Die starke Degradation der Vegetation äußert sich in diesem Zeitabschnitt durch einen hohen Anteil an Pflanzen mit

Zeigerfunktionen für anthropogene Störungen (KULEMEYER & LUPO 1998, 271). Die Auswirkungen des der Selbstversorgung dienenden Ackerbaus dürften im Vergleich zu denen der exportorientierten Viehwirtschaft nur gering gewesen sein. Die Einführung europäischer Kulturarten barg jedoch die Gefahr der Verwilderung und des Zurückdrängens der natürlichen Vegetation. Traditionelle Landnutzungen wie die Weidewirtschaft mit Lamas sowie das Sammeln von Wildpflanzen und Brennholz fanden weiterhin statt, ihre Beeinflussungen auf den Naturhaushalt dürften jedoch vergleichsweise gering gewesen sein.

3.2.1.3 Unabhängigkeit und 19. Jahrhundert

Während des Unabhängigkeitskampfes zwischen 1810 und 1825 diente die durch die Puna verlaufende Handelsroute als Transport- und Fluchtweg. Die Rekrutierung großer Teile der männlichen Bevölkerung und die Kriegswirren führten zur Vernachlässigung und Zerstörung von Ackerflächen und Weiden. Der Viehhandel mit Hochperu wurde unterbrochen, die exportorientierte Viehwirtschaft aufgegeben.

Die Unabhängigkeit Argentiniens im Jahre 1810 bedeutete für die Puna das Abdrängen in die Peripherie. Der Handel mit dem Nachbarstaat Bolivien konnte aufgrund politischer Restriktionen nicht fortgeführt werden. Davon war auch die indigene Bevölkerung mit ihrem traditionellen Tauschhandel mit den Nachbarvölkern betroffen. Traditionelle Nutzungen natürlicher Ressourcen wie die des Salzes – jahrhundertlang Produkt des Tauschhandels – wurden 1840 durch die Einführung von Steuern erschwert (BERNAL 1984, 19). Dieses zwang die indigene Bevölkerung zu einer Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion, um eine Selbstversorgung zu erreichen.

Die Unabhängigkeit brachte weit reichende Veränderungen in die Organisationsstrukturen der Haciendas. 1811 wurde das Encomienda-System in ein Pachtsystem umgewandelt. Der in Argentinien liegende Teil der Besitztümer der Familie Campero wurde an 1.850 Pächter verpachtet, von denen 399 auf der Hacienda von Yavi ansässig waren (MADRAZO 1982, 160). Die Pacht wurde in Kapitalform und in einer zeitlich begrenzten Bereitstellung der Arbeitskraft erhoben. Dominierende Wirt-

schaftsform war weiterhin die Viehwirtschaft, jedoch vollzog sich ein Wandel von der exportorientierten Viehwirtschaft mit Rindern und Eseln zu einer subsistenzorientierten Viehwirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen. Weiterhin erfolgte ein Ackerbau zur Selbstversorgung. 1877 wurden die Ländereien der ehemaligen Encomienda Casabindo und Cochino ca verstaatlicht (BERNAL 1984, 41ff). Bei einer öffentlichen Versteigerung 1891 gelangten sie größtenteils in die Hände weniger Großgrundbesitzer und Spekulanten (PAZ 1989, 130).

Mitte des 19. Jahrhunderts entstanden dank einer zweiten Blütezeit des bolivianischen Bergbaus neue Handelsbeziehungen zu diesem Nachbarstaat. Neu entstandene Silberbergwerke im Südwesten Boliviens wurden vom Nordwesten Argentiniens mit Maultieren, Eseln, Rindern und Schafen versorgt (CONTI 1989, 109). Auch in der Puna erfolgte eine Spezialisierung auf Lasttiere und Großvieh für den Export. Der aufblühende Handel gab den an der Handelsroute liegenden Orten einen zusätzlichen Entwicklungsschub.

Der Strukturwandel der Puna wurde von Bevölkerungsbewegungen begleitet. Der Ort Yavi zog zahlreiche Immigranten an, die überwiegend im tertiären Sektor tätig wurden. Yavis hoher Stellenwert im Handel verschaffte dem Dorf 1859 den Titel einer „Villa“ (ASCENCIO et al. 1964, 35, zit. in ECHENIQUE 1995, 46). Mit dem Aufstieg der Zuckerrohrindustrien in Jujuy, Salta und Tucumán kam es Mitte des 19. Jahrhunderts zu starken Abwanderungsbewegungen. Auch die Salpeterbergwerke Chiles zogen Arbeitskräfte an.

Bewertung der Unabhängigkeitsphase und des 19. Jahrhunderts im Hinblick auf Erosionsprozesse

Mit den politischen und wirtschaftlichen Veränderungen des 19. Jahrhunderts kam es zu Schwankungen in der Intensität und Art der Landnutzung und damit der Stärke der Erosionsprozesse. So dürfte die Einschränkung der landwirtschaftlichen Nutzung während des Unabhängigkeitskampfes zeitweise eine Abnahme der Erosionsgefahr zur Folge gehabt haben. Mit der Einführung des Pachtsystems und dem Wechsel von der exportorientierten Viehwirtschaft mit Rindern und Eseln zu einer subsistenzorientierten Viehwirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen dürften sich aufgrund der unterschiedlichen Art der Nahrungsaufnahme und der beweideten Pflanzen Ver-

schiebung in der Vegetationszusammensetzung und indirekt in der Stärke der Erosionsprozessen ergeben haben. Migrationbewegungen hatten wiederum eine Reduzierung der subsistenzorientierten Landwirtschaft und damit der Erosion zur Folge. Der mit der zweiten Blütezeit des bolivianischen Bergbaus einhergehende Anstieg des Viehbestandes führte dagegen zu einer Intensivierung der Erosionsprozesse. Insgesamt war das erosionsfördernde Potential im 19. Jahrhundert im Vergleich zur Kolonialzeit gering.

3.2.1.4 20. Jahrhundert

Der Aufschwung Yavis als Handelszentrum endete Anfang des 20. Jahrhunderts mit dem Bau der Eisenbahnstrecke von Jujuy nach La Paz, die 17 km westlich von Yavi durch La Quiaca führte. Im Norden Argentiniens wurden ganze Bestände des sich durch seine besondere Härte auszeichnenden Chaco-Baumes *Quebracho colorado* zu Eisenbahnschwellen verarbeitet. Weitere Holzbestände fielen der Feuerung der Lokomotiven zum Opfer. In der Puna kam es zur massiven Abholzung der *Polylepis*- und Tolar-Bestände der Fluss- und Seeterrassen (RUTHSATZ 1983, 569). Für weite Teile der Puna ermöglichte die neue Bahnstrecke die Intensivierung der Handelsverflechtungen mit Bolivien und anderen amerikanischen und europäischen Ländern. Entlang der Bahnstrecke entwickelten sich neue Siedlungen wie Abra Pampa, Puesto de Marqués, La Intermedia und Pumahuasi, die u.a. als Umschlagplätze für Vieh dienten.

Mit dem Eisenbahnbau ging der Aufschwung des Bergbaus der Puna einher. Zwischen 1900 und 1989 wurden 49 Bergwerke in Betrieb genommenen, in den überwiegend Blei, teilweise auch Zink, Silber und Gold abgebaut wurde (DIRECCIÓN DE MINERÍA DE LA PROVINCIA DE JUJUY 1922 - 1992). Die Blütezeit des Bergbaus lag zwischen 1900 und 1940. Wichtigste Mine ist auch heute noch das 1925 gegründete Blei- und Zinkbergwerk El Aguilar in der südlichen Puna, das 1960 das größte seiner Art in Südamerika war (SARAVIA 1960) und zur starken Dezimierung von Holzbeständen führte. Heute bezieht es sein Holz aus dem Chaco-Tiefland (RUTHSATZ 1983, 559).

Das Gebiet von Yavi gehörte Anfang des 20. Jahrhunderts weiterhin zum Besitz der Marquis-Familie. Die hohen Bestandszahlen von Schafen und Lamas auf der Finca de Yavi deuten auf eine Selbstversorgung hin (vgl. Tab. 7). Die 100 Pächter von Yavi und die 123 Pächter von Yavi Chico nutzten ihre an den Flusstälern liegenden, 2 bis 5 ha großen Pachtflächen ausschließlich für den Bewässerungsfeldbau (SALMORAL 1925, 17f). Alle Pächter betrieben auch Viehwirtschaft. Die noch heute gültige räumliche Aufteilung in Ackerbau in Flussnähe, Viehwirtschaft in der Umgebung des Dorfes sowie Brennholzsammeln in entfernteren Gebieten bildete schon Anfang des 20. Jahrhunderts die Wirtschaftsgrundlage der Einwohner von Yavi. Im Laufe des 20. Jahrhunderts stieg der Bestand an Schafen und Ziegen bedeutend an, der der Lamas und Esel war dagegen rückläufig (vgl. Tab. 7).

	1925 Finca Yavi (225.000 ha)	1958 Departamento Yavi (294.200 ha)	1988 Departamento Yavi (294.200 ha)
Schafe	67.279	63.421	110.000
Lamas	6.220	2.802	869
Esel	4.634	4.486	2.588
Ziegen	k. A.	1.942	5.113
Pferde	einige hundert	185	k. A.
Maultiere	einige hundert	102	k. A.
Rinder	k. A.	820	k. A.
Schweine	k. A.	33	k. A.

Tab. 7: Viehbestand im 20. Jahrhundert auf der Finca de Yavi bzw. im Departamento Yavi

Quellen: SALMORAL 1925, 16; SAVARIA 1960, 99 und HANSEN 1994, 65

1930 wurde die gesamte Finca von Yavi einschließlich ihrer Kleinpächter an den Eigentümer der Zuckerfabrik San Martín del Tabacal verpachtet. Dieser erhob seine Pacht in Form von 6-monatigen Arbeitsleistungen auf den Zuckerrohrplantagen (RUTLEDGE 1987, 244). Die Lohnauszahlung ermöglichte eine ergänzende Versorgung mit Nahrungsmitteln auch außerhalb der eigenen landwirtschaftlichen Produktion, wodurch die Intensität der Landwirtschaft zurückging. Unter der Regierung von Juan Domingo Perón wurde in den 50er Jahren der Arbeitszwang aufgehoben. In der Puna von Jujuy wurden 58 Großgrundbesitze mit einer Fläche von insgesamt 2.000.000 ha verstaatlicht und an 4.500 ansässige Familien mit einem lebenslangen Nutznießungsrecht übertragen (ECHENIQUE 1995, 78). Weitere Landverteilungen scheiterten an den veränderten politischen Verhältnissen nach dem Militärputsch

gegen Perón 1955. Seither wurde die Übertragung von Ländereien in mehreren Anläufen versucht, durch politische und administrative Probleme aber immer wieder behindert.

Im 20. Jahrhundert brachten Einwanderer technische Innovationen in die Landwirtschaft ein. Bis Anfang des 20. Jahrhunderts wurden ausschließlich Ochsen zum Pflügen eingesetzt, da der Einsatz anderer Tiere angeblich eine schlechte Ernte bringen sollte. Ebenso wurden die Ackerfurchen unabhängig vom jeweiligen Relief immer zur Sonne hin ausgerichtet (ECHENIQUE 1995). Neue Kulturpflanzen wie Knoblauch und Zwiebeln wurden von spanischen Einwanderern eingeführt.

Bewertung des 20. Jahrhunderts im Hinblick auf Erosionsprozesse

Auch das 20. Jahrhundert wurde durch politische und ökonomische Wechsel geprägt, die unterschiedliche Intensitäten in der landwirtschaftlichen Nutzung und den sich daraus ergebenden Erosionsprozessen zur Folge hatten. So führten die massiven Abholzungen im Zusammenhang mit dem Bahnbau zu einer Intensivierung von Erosionsprozessen. Die Umgebung der neuen Siedlungen an der Bahnstrecke unterlag einem besonders starken Weidedruck, die Bau- und Brennholzbeschaffung führte zur Dezimierung von Holzbeständen. Als Folge der Vegetations- und Bodenschädigung wurde weiteres erodierbares Feinmaterial freigesetzt. Es kam zur weitflächigen Bildung von Nebkas, Flugsanddecken und kleinen Dünenfeldern. In dieser Zeit setzte wahrscheinlich auch die Aktivierung der Altdünen bei Abra Pampa ein (vgl. Kap. 4.2.2).

Auch im Umfeld der zahlreichen kleinen Bergwerke kam es aufgrund starker Degradierungen von Holzgewächsbeständen zu einer Verstärkung von Erosionsprozessen. In der Viehwirtschaft ging der Anstieg des Bestandes an Schafen und Ziegen mit Modifikationen der Vegetation und Steigerungen erosionsauslösender Prozesse einher. Sie betrafen nicht nur die eigentlichen Weideflächen, sondern auch die während der winterlichen Brache beweideten Ackerflächen. Der durch neue Einwanderer vollzogene Bruch mit traditionellen Landnutzungstechniken wie die Ausrichtung der Ackerfurchen in Richtung Sonne führte zu einer Steigerung der Produktivität und einer Verringerung der Erodierbarkeit des Bodens. Die neu eingeführten Kulturpflanzen bargen die Gefahr des Konkurrenzkampfes mit der natürlichen Vegetation.

3.2.2 Aktuelle anthropogene Aktivitäten und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse

Dominierende landwirtschaftliche Wirtschaftsformen sind auch heute extensive Weidewirtschaft und Bewässerungsfeldbau. Das 255 Einwohner zählende Dorf Yavi (Einwohnerzahl laut Krankenstation Yavi für 1992; mit Nachbarsiedlungen Agua de Castilla und San José zählt Yavi 378 Einwohner, vgl. ECHENIQUE 1995, 112) verfügt über 87 Haushalte, von denen 60 im landwirtschaftlichen Sektor tätig sind. Fast alle diese Haushalte haben ergänzende Einnahmen aus Saisonarbeit auf den Plantagen des Tieflandes, Beschäftigung in der öffentlichen Verwaltung oder als Tagelöhner sowie aus Renten- und Pensionszahlungen (ECHENIQUE 1995). Immer noch arbeitet ein Großteil der jüngeren Einwohner Yavis von Juni bis Dezember auf den Plantagen, in Yavi Chico sind es 40 bis 50 % (BOLSI 1982, 52).

3.2.2.1 Viehwirtschaft

Die Hälfte der 60 in Yavi befindlichen landwirtschaftlichen Haushalte betreibt eine Weidewirtschaft mit Schafen. Ergänzend wird oftmals Geflügel gehalten, vereinzelt auch Ziegen, Lamas, Rinder, Schweine, Esel und Pferde. Die durchschnittliche Herdengröße beträgt 70 bis 80 Tiere (ECHENIQUE 1995). Auch in Yavi Chico sind Schafe die dominierende Viehmart. Die Tiere weiden täglich zwischen 11 und 19 Uhr, nachts werden sie in den Häusern angeschlossenen Pferchen gehalten. Als Sommerweide werden die mit *Pennisetum chilense*-Gesellschaften („esporal“) bedeckten steinig-flachgründigen Hänge in Dorfnähe bevorzugt. Auch die *Baccharis boliviensis*- und *Fabiana densa*-Strauchsteppen der Hochfläche werden als Weide genutzt. Im Winter werden auch Ackerflächen beweidet. Erntereste und Luzerne dienen als Winterfutter, das durch Mais und im Sommer gesammelte „tolas“ (*Parastrephia lepidophylla*) ergänzt wird (ECHENIQUE 1995). Große Herden werden im trockenen Winter in die Sierra de Santa Victoria getrieben, wo sie feuchte Hochmoore beweideten. Andere Herden überwintern in den oberen Abschnitten der Hochfläche. Einzelne Familienmitglieder begleiten die Herden und wohnen temporär auf hoch gelegenen Einzelgehöften. Diese Art der Wanderweidewirtschaft wird in vielen Bereichen der Hochanden praktiziert (vgl. RUTHSATZ 1983). Fröste können zur Gefahr für das Weidevieh werden. Bei einem extremen Frost im Winter 1991 sind von einer 50-

köpfigen Schafherde 22 Stück Jungvieh verwendet (ECHENIQUE 1995, 101). Das gesamte Weideland liegt in öffentlicher Hand und wird gemeinschaftlich genutzt.

Jede Viehart bevorzugt bei der Beweidung unterschiedliche Pflanzenarten. Dies hängt sowohl mit der Art der Nahrungsaufnahme als auch mit der Schmackhaftigkeit der Pflanzen zusammen (vgl. BRAUN WILKE 1991). Autochthone Lamas zeichnen sich durch die Vielfalt der von ihnen genutzten Pflanzenarten (Gräser, krautige Pflanzen und Holzpflanzen) aus und sind auch an unproduktive Standorte angepasst. Schafe fressen sowohl Gras als auch krautige Pflanzen, Holzpflanzen dagegen nur bei einem unzureichenden Nahrungsangebot. Im Untersuchungsgebiet äsen sie bevorzugt *Plantago lanceolata*, *Bidens andicola* sowie das Gras *Festuca chrysophylla*. *Adesmia spec.* wird von Schafen und Eseln gleichermaßen gerne geäst. Neben Gras und krautigen Pflanzen fressen Esel auch die weit verbreiteten Sträucher der Art *Baccharis boliviensis*. Ziegen beweidern bevorzugt Sträucher und niedrige Bäume, aber auch Sukkulenten und Epiphyten. Damit haben Ziegen das breiteste Nahrungsspektrum aller Weidetiere. Rinder bevorzugen hohe Gräser wie *Cortaderia speciosa*, Holzpflanzen beweidern sie nur selten. Bei Suripugio wird auf dem SW-Hang des Río Cajas auf einigen sehr großen Flächen *Eragrostis curvula* („Pasto Llorón“) angebaut, eine an extreme Klimabedingungen angepasste eingeführte Grasart, die die winterliche Futterknappheit überbrücken kann. Die Pflanze wird jedoch aufgrund ihrer geringen Schmackhaftigkeit von Schafen gemieden. Anfang der 90er Jahre wurden in der Puna bereits 19.000 ha mit dieser Spezies bepflanzt (HANSEN 1994, 29). Der Nährwert von europäischen Grasarten wie *Deyeuxia spec.* und *Melica spec.* ist bei den Bewohnern der Puna kaum bekannt (LUPO & ECHENIQUE 1995, 135).

Im Gebiet von Cónдор stießen die Versuche zur Einführung von *Eragrostis curvula* ebenfalls auf geringe Akzeptanz. Cónдор ist ein auf 3.835 m ü. M. am Fuß der Sierra de Santa Victoria gelegenes 80-Einwohner-Dorf, das südlich des eigentlichen Untersuchungsgebietes liegt (vgl. Abb. 1). Selbst hier, in über 60 km Entfernung von La Quiaca, ist die reine Subsistenzwirtschaft kaum noch verbreitet. Rinder werden oftmals auf dem Markt in La Quiaca verkauft, aus dem Verkaufserlös werden andere Güter erworben.

Auch im unteren Untersuchungsgebiet führt die selektive Beweidung zu Modifikationen innerhalb des Vegetationsspektrums. In der Konkurrenz zwischen Gräsern und Sträuchern verschiebt sich der Schwerpunkt zugunsten der mehr oder weniger gemiedenen Sträucher. RUTHSATZ spricht in diesem Zusammenhang von Sträuchern als einer Art „Weideunkraut“ (RUTHSATZ 1983, 559). Der Anteil von Weidepflanzen an der Vegetation ist stark rückgängig. Nichtfressbare Arten und bestimmte Degradations- und Erosionsanzeiger wie *Chuquiraga acanthophylla* gewinnen dagegen an Bedeutung.

Berechnungen zum optimalen Bestockungssatz von Schafen in der Puna ergaben für trockene Gebiete eine Weidefläche von 3 bis 4 ha pro Schaf, in feuchten Flusstälern und Hochmooren von 0,5 ha (BRAUN WILKE 1991, 20). Bei Herden mit 70 bis 80 Tieren entspricht dies einer Weidefläche von über 200 ha in trockenen und über 35 ha in feuchten Abschnitten. Bei den 30 in Yavi gehaltenen Schafherden käme dies einer Fläche von 6.000 ha trockenem bzw. 1.000 ha feuchtem Weideland gleich. Diese Flächengrößen sind selbst in der weitläufigen Puna nicht erreichbar, die meisten Herden werden vielmehr in der Nähe der Dörfer und Gehöfte geweidet, wodurch diese Bereiche einem besonders starken Weidedruck ausgesetzt sind. Größte Gefahren birgt die Trockenzeit im Winter und im beginnenden Frühling. Aufgrund des Futtermangels werden bis auf wenige Ausnahmen wie den giftigen *Astragalus*-Arten alle Pflanzen beweidet. Die sonst gemiedenen Holzgewächse stellen im Winter oftmals die letzte nutzbare Futterquelle dar. Sträucher können die durch Verbiss entstandenen Schäden leicht regenerieren. Nur in Extremfällen führt Beweidung zu irreparablen Schäden und damit zum Absterben der Pflanzen (RUTHSATZ 1974, 44).

Mehrere Anpassungsmechanismen der Vegetation an die klimatischen Verhältnisse dienen auch als Schutz vor Beweidung und Viehtritt (vgl. Tab. 4). Reduktion der Blattoberfläche, Umwandlung der Blätter zu Dornen, Blattabwurf in der trockenen Jahreszeit sowie Zwerg- und Polsterwuchs erschweren die Beweidung. Xeromorphe Blätter und feste Gewebe geben der Pflanze zusätzlichen Schutz vor Verbiss. Dass jedoch nicht einmal Dornen immer vor Verbiss schützen, zeigt eine von Eseln angewandte Technik. Sie treten solange auf den polsterwüchsigen Kaktus *Tephrocactus glomeratus*, bis dessen lange und harte Dornen zerstört sind und die Pflanze ohne Verletzungsgefahr gefressen werden kann (RUTHSATZ 1978, 533).

Eine oftmals angewandte Praxis zur Verbesserung der Weidequalität ist das Abbrennen der Vegetation (LUPO 1998, 15). Dadurch wird die trockene, wirtschaftlich geringwertige Krautvegetation zerstört und durch das Freisetzen von Nährstoffen die Bildung frischer, nährstoffreicher Pflanzengewebe stimuliert (TIVY 1993, 189). Häufiges Abbrennen führt des Weiteren zu einer relativen Anreicherung feuerresistenter Arten, die sich in einer Dominanz krautiger Pflanzen gegenüber Holzgewächsen ausdrückt. Werden die abgebrannten Flächen zu früh beweidet und junge Sprossen abgefressen, geht die Regenerationskraft der Vegetation schnell zurück.

Die Nutztiere dienen in erster Linie der Fleischversorgung der Bevölkerung. Dem Lama-Fleisch haftet immer noch der (unbegründete) Verdacht der Krankheitsübertragung an, daher spielt es in der Ernährung eine nur untergeordnete Rolle. Schafs- und Lamawolle wird überwiegend für den Eigenbedarf verwebt. Auch die Felle der Tiere werden genutzt. Der Dung von Schafen dient als organischer Dünger, der von Lamas als Brennmaterial. Ein Teil der Viehherde dient als Kapital für wirtschaftliche Notzeiten.

Mit zunehmender Bedeutung anderer Einkommensmöglichkeiten kommt es zu einem Rückgang der Landwirtschaft und dabei insbesondere der Viehwirtschaft. In einigen Gebieten der Puna führte der abnehmende Weidedruck bereits zu einem Wandel in der Vegetation. Die durch Beweidung künstlich geschaffene und instand gehaltene „Ersatzgesellschaft“ befindet sich im Wandel, fressbare Pflanzen gewinnen im Verhältnis zu nichtfressbaren erneut an Bedeutung, der Anteil an Weideunkräutern geht zurück.

Bewertung der Viehwirtschaft im Hinblick auf Erosionsprozesse

Besonders die Beweidung mit Huftieren wie Schafen, Ziegen und Rindern birgt die Gefahr der Grasnarbenzerstörung und der Bodenverdichtung. Das Steinpflaster des Bodens wird durch Viehtritt bewegt und verliert seine Schutzfunktion vor Erosionsprozessen. Auf Hängen treten starke Viehtrittschäden auf. Oftmals haben sich Viehgangeln ausgebildet, manche Hänge sind nahezu vegetationslos. Die größte durch Beweidung verursachte Erosionsanfälligkeit besteht jedoch in der Nähe von Siedlungen. Dort führt die massive Beweidung zu verstärkter Vegetationsdegradierung und

-zerstörung sowie zu Störungen im Bodenwasserkreislauf. Auch der Umkreis von Deflationswannen unterliegt aufgrund des hohen Feuchtigkeitsgehaltes einem besonders hohen Weidedruck (vgl. Kapitel 4.2.1; Foto 13).

Die Vegetationsschädigung steht in Abhängigkeit von der Art des Weideviehs und dessen Nahrungsaufnahme bzw. dessen bevorzugten Weidepflanzen. Während Schafe die Pflanzen abbeißen, reißen Ziegen kleinere Pflanzen oftmals samt Wurzel aus dem Boden und unterbinden somit die Regeneration der Pflanze. Auch Rinder ziehen bzw. reißen die Nahrung aus dem Boden. Der Deckungsgrad nimmt ab, und die Erosionsgefahr erhöht sich.

In der winterlichen Trockenzeit und dem beginnenden Frühling ist die Beweidung besonders folgenreich: Die Vegetation leidet unter Wassermangel, der Boden ist ebenfalls ausgetrocknet und in erhöhtem Maße erosionsanfällig. Das Abbrennen von Vegetation zur Verbesserung der Weidequalität birgt während der temporären Vegetationslosigkeit der Flächen eine besondere Erosionsgefährdung.

Die landwirtschaftliche Nutzung unmittelbar am Fuß der Sierra de Santa Victoria wie im Gebiet von Condor (3.835 m ü. M.) stellt für den Naturhaushalt eine besondere Belastung dar. Die extremen Temperaturverhältnisse schränken das Pflanzenwachstum ein, die geringe Vegetationsentwicklung führt zur Beweidung fast sämtlicher Pflanzenarten und damit zur Degradierung der Vegetation. Die Erosionsgefahr ist hier besonders hoch.

3.2.2.2 Ackerbau

Drei Viertel der in der Landwirtschaft tätigen Haushalte Yavis betreiben neben der Viehwirtschaft auch Ackerbau, der überwiegend der Selbstversorgung dient. Angebaut werden Mais, Kartoffeln, Bohnen, Kopfsalat, Mangold, Zwiebeln, Erbsen, Möhren und Knoblauch sowie in Brachzeiten Luzerne. Im Dorf Yavi beträgt die Ackerflächengröße pro Familie 0,5 bis 1 ha. Die Parzellen liegen an Flüssen und werden auf Basis von Bewässerungsfeldbau genutzt (Fotos 1 und 3). Die Bewässerung verläuft nach einem traditionellen System, bei dem jedem Feld in einem Rhythmus von 15 bis

20 Tagen 24 Stunden lang Wasser zugeführt wird. Die Speisung der Bewässerungskanäle erfolgt in höher gelegenen Flussabschnitten.

Tabelle 8 zeigt die Aussaat- und Erntezeiten der in Yavi angebauten Produkte. Die Aussaat erstreckt sich über die Monate August bis Oktober, Pferde oder Ochsen ziehen die Holz- und Metallpflüge. Die Ernte erfolgt zwischen Februar und Mai. Nach der letzten Ernte dienen die Ackerparzellen als Viehweiden. Einen Winterfeldbau lassen die klimatischen Verhältnisse nicht zu. Das wichtigste Anbauprodukt in Yavi ist Mais. Der Maisanbau befindet sich hier an der Obergrenze des ertragreichen Anbaus. Im benachbarten Bolivien liegt diese Grenze bei 3.400 bis 3.500 m ü. M. (RUTHSATZ 1983, 545). Seit mehreren Jahren gibt es in Yavi und Yavi Chico Gewächshäuser, in denen überwiegend Tomaten, Kürbisse und andere Wärme liebende Kulturpflanzen angebaut werden. Im mittleren Untersuchungsgebiet erfolgt der Ackerbau auf großen, von Steinmauern umgebenen Flächen. Die Ackerparzellen werden auch hier durch Kanäle bewässert, die aus höheren Flussabschnitten gespeist werden.

Kulturart	Aussaat-monat	Erntemonat
Mais	September	April
Kartoffeln	Oktober	Mai
Bohnen	August	März
Weizen	September	April
Erbsen	August	März
Mangold	Oktober	März
Kopfsalat	Oktober	April
Zwiebeln	Oktober	Mai
Möhren	September	März
Rote Beete	Oktober	April
Weißkohl	Oktober	März
Petersilie	September	April
Radieschen	August	April
Knoblauch	August	Februar
Tomate	Oktober	Mai

Tab. 8: Aussaat- und Erntemonate in Yavi
Quelle: Landwirtschaftsschule Yavi

Bewertung des Ackerbaus im Hinblick auf Erosionsprozesse

Die durch Ackerbau verursachten Modifikationen im Naturhaushalt sind aufgrund der geringen Ausbreitung der Ackerflächen nur schwach. Viele Kulturpflanzen wurden

aus Europa eingeführt. Bei Verwilderung dieser Pflanzen kann es zu einer Degradierung der natürlichen Vegetation und als Folge zu einer Verstärkung von Erosionsprozessen kommen. Die künstliche Anlage von Terrassen bedingt eine Änderung im Relief, durch das verringerte Gefälle wird die Erosionsgefahr eingedämmt. Bewässerungsfeldbau birgt jedoch immer das Risiko von Versalzung, Verschlammung und erhöhtem Oberflächenabfluss; die richtige Regulierung der Wasserzufuhr und der Dränage sind deswegen entscheidend zur Vermeidung langfristiger Schäden. Durch die Entnahme von für die Bewässerung genutztem Wasser aus den Flüssen verringert sich deren fluviale Erosion. Die Ackerflächen umgebenden Lehm- und Steinmauern geben Schutz vor äolischer Erosion. Die Bestellung der Äcker am Ende der winterlichen Trockenzeit birgt aufgrund der im Winter herrschenden starken Winde die Gefahr der Auswehung.

3.2.2.3 Sammeln von Brennholz und Wildpflanzen

Weit reichende Folgen hat die Beschaffung von Brennholz, das in der Puna zum Heizen, Kochen und zur Brennerei von Töpferwaren genutzt wird. Alternativen zum Brennholz finden aus ökonomischen Gründen kaum Verwendung. Selbst in der 10.000 Einwohner umfassenden Stadt Abra Pampa wird nur 10 % des Energiebedarfes durch Gas gedeckt. In Yavi werden neun Pflanzenarten der Strauchsteppe als Brennholz verwendet (LUPO & ECHENIQUE 1995). Besonders gut eignen sich die Arten *Chuquiragua acantophilla* und *Baccharis boliviensis*. Das Holz von *Prosopis ferox* („churqui“) wird aufgrund seiner Härte zur Holzkohlenherstellung verwendet. Offiziell ist das Sammeln von Brennholz nicht gestattet. Diese Regulierung wird sowohl von privater als auch von öffentlicher Seite weitgehend missachtet. Ganze Lastwagenladungen an Brennholz werden den Strauchebenen entnommen. In vielen Schulen müssen die Schüler täglich ein Stück Brennholz zum Heizen der Klassenräume mitbringen. Auch für öffentliche Feiern werden große Mengen an Brennholz benötigt: Bei den am Vorabend des Karfreitags durchgeführten „Luminares“ werden auf den Dorfplätzen große Feuer angefacht.

Eine Gesellschaft, die in einem so engen Kontakt zur Natur steht wie die der Puna, kennt die Heilkräfte der Natur und nutzt verschiedene Pflanzen zu medizinischen und

rituellen Zwecken. In Yavi wurden 18 Heilpflanzen für die Behandlung von 23 Arten von Krankheiten und Schmerzen bestimmt (vgl. LUPO & ECHENIQUE 1995). Einige Wildpflanzen bilden Bestandteile der menschlichen Ernährung. Die Nutzung der Vegetation ist teilweise Folge der herrschenden Armut. Aufgrund fehlenden Kapitals greift die Bevölkerung der Puna zu Heiz- und Ernährungszwecken auf die natürlichen Ressourcen zurück.

Bewertung des Sammelns von Brennholz und Wildpflanzen im Hinblick auf Erosionsprozesse

Die Brennholzentnahme hat zu erheblichen Bestandsrückgängen mancher Arten geführt und eine pflanzensoziologische Verarmung zur Folge. Sträucher können aufgrund ihrer Wuchshöhe und ihres Wurzelwerkes erheblich zur Eindämmung von Erosion beitragen, durch die Dezimierung ihrer Bestände ist dieses nicht mehr möglich. Der durch das Sammeln von Wildpflanzen entstehende Schaden für die Vegetation ist dagegen geringfügig, zumal die Entnahme punktuell erfolgt und meistens nur Teile der Pflanzen entnommen werden.

3.2.2.4 Andere anthropogene Aktivitäten

In der Puna werden überwiegend natürliche Baustoffe genutzt. Das typische Haus der Puna besteht aus mehreren Räumen, die sich um einen zentralen Innenhof („patio“) gruppieren. An die Häuser sind Viehpferche („corrales“) für die nächtliche Viehhaltung angeschlossen. Die Grundmauern der Gebäude weisen vereinzelt kleine Fenster auf und bestehen im unteren Teil aus mit Mörteln verkitteten Steinen, denen mehrere Schichten von oftmals mit Lehm verputzten Lehmziegeln („adobe“) aufliegen. Im Talboden des Río Lecho werden solche Adobeziegel ausgestochen. Die Dächer bestehen aus Schilfrohr, dem eine Mischung aus Lehm und gehäckseltem Gras aufliegt („tortas“). Nur wenige Dächer bestehen aus Zinkblech.

Typisches Element der Kulturlandschaft der Puna sind seit prähispanischer Zeit Mauern aus aufgestapelten Steinen („pircas“), die teils mit, teils ohne Mörtel gefestigt sind. Die Steine stammen aus den Steinpflastern der Hochfläche, den Schotterbetten der Flüsse oder aus Kalksteinausstrichen wie die der Sierra de Siete Hermanos. Ne-

ben Steinmauern gibt es auch Lehmziegelmauern. Die Mauern werden zur Abgrenzung von Ackerflächen benutzt und dienen dem Schutz vor Beweidung. In der Viehwirtschaft werden Mauern zur Begrenzung von Pferchen genutzt. Im gesamten Untersuchungsgebiet treten mit Mauern umsäumte Flächen unterschiedlicher Formen und Größen auf. Meistens dienen die rechteckigen dem Ackerbau und die runden als Pferche.

Mit Ausnahme der 17 km langen Straße von La Quiaca nach Yavi sind alle Wege der nördlichen Puna nichtasphaltierte Pisten, die mit Schotter oder Sand bedeckt sind und sich nur durch ihre Vegetationslosigkeit von der Umgebung abheben. Im Bereich des Bolson von Yavi wurden im April 1995 für den Straßenbau in La Quiaca Schotter aus dem Flussbett des Río Casti entnommen.

Innerhalb des Untersuchungsgebietes befinden sich, ungeachtet des jeweiligen Reliefs, mehrere gradlinige breite Schneisen der Erdölprospektion (vgl. Foto 11). Meistens verlaufen die Schneisen exakt in N-S-, E-W-, SW-NE- oder SE-NW-Richtung. Diese Art der Erdölprospektion ist im argentinischen Vorandenland weit verbreitet (vgl. KIEGEL 1992).

Bewertung anderer anthropogener Aktivitäten im Hinblick auf Erosionsprozesse

Die zur Abgrenzung und zum Schutz von Ackerflächen angelegten Stein- und Lehmziegelmauern gewähren ebenfalls einen gewissen Wind- und damit Erosionsschutz. Die Materialentnahme beim Haus- und Mauerbau stellt nur einen geringen Eingriff in den Naturhaushalt dar. Die Entnahme von Steinen aus Steinpflastern kann zu einer erhöhten Anfälligkeit für fluviale und äolische Prozesse führen. Die Entnahme von Schottern aus den Flusstälern verändert lokal das Abflussverhalten der Flüsse und damit auch die Erosionsprozesse. Die Herstellung von Lehmziegeln innerhalb der torfartigen Flussbetten führt ebenfalls nur zu lokalen Modifikationen.

Die Schotterpisten bilden oftmals Ausgangslinien für lineare Erosionsprozesse und bieten auch der äolischen Erosion ein günstiges Angriffsfeld. Auch die Prospektions-schneisen werden aufgrund ihrer Vegetationslosigkeit oftmals als Sammellinien des Abflusses benutzt und fördern lineare Erosionsprozesse (vgl. Kap. 4.1.2).

3.2.3 Zusammenfassung: Historische und rezente anthropogene Aktivitäten und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse

Seit der ersten Besiedlung durch den Menschen wurde der Naturhaushalt der Puna durch anthropogene Aktivitäten beeinflusst. Die verschiedenen Besiedlungsphasen werden in Tab. 5 charakterisiert. Der Einfluss der Jäger und Sammler war relativ gering, die prähispanischen Ackerbaukulturen übten dagegen starken Einfluss aus: Die Vegetation wurde durch Ackerbau modifiziert, Weidewirtschaft mit domestizierten Lamas führte zu ersten Bodenschäden, das Relief und damit das Abflussverhalten wurde durch die Anlage von Ackerterrassen verändert. Massive Eingriffe ergaben sich nach der Ankunft der Spanier. Die kolonialzeitliche, exportorientierte Weidewirtschaft mit europäischen Nutztierarten führte zu starken Beeinflussungen der Vegetation und des Bodens sowie zur Verstärkung von Erosionsprozessen. Die Einführung neuer Kulturpflanzen barg Gefahren für den Naturhaushalt und hatte Verschiebungen der Vegetationszusammensetzung zur Folge. Die Nutzung des Hakenfluges verstärkte durch Bodenauflockerung die Gefahr der Auswehung. Die gewinnorientierte Wirtschaftsweise der fast drei Jahrhunderte währenden Kolonialzeit basierte auf einem Encomienda-System, das durch eine kleinbäuerliche Selbstversorgung ergänzt wurde.

Die politischen und wirtschaftlichen Umwälzungen des 19. Jahrhunderts und die mit ihnen verzahnten Veränderungen der wirtschaftlichen Nutzung der Puna gingen mit Modifikationen im Naturhaushalt und damit der Erosionsprozesse einher. Die kolonialzeitliche exportorientierte Weidewirtschaft wurde von einer subsistenzorientierten Viehwirtschaft mit Schafen, Lamas und Ziegen abgelöst. Der Aufstieg des Handels brachte neue Einkommensquellen und damit eine Verringerung der landwirtschaftlichen Nutzung und deren Erosionswirksamkeiten. Auch im 20. Jahrhundert unterlag die Landnutzung politisch und wirtschaftlich bedingten Veränderungen. Die Eisenbahn und der Bergbau führten durch ihren hohen Holzbedarf zu einer starken Dezimierung der Holzgewächsbestände, was zu einer Erhöhung der Erodierbarkeit des Bodens beitrug. Das Pachtsystem und die teilweise Übertragung der Eigentumsrechte hatten dagegen eine nachhaltigere Pflege der Nutzflächen und damit eine Reduzierung der Erosionsgefahr zur Folge. Saisonale Beschäftigung außerhalb der Landwirtschaft brachte zusätzliches Kapital in die Haushalte. Auch heute basiert die Wirtschaftsstruktur der Puna auf Bewässerungsfeldbau und extensiver Weidewirt-

schaft. Es dominieren große Herden mit Schafen, die täglich in Siedlungsnähe zur Weide gebracht werden. Entsprechend ist die Vegetation in diesen Bereichen stark degradiert und der Boden weitgehend abgetragen. Weidetiere sind ein wichtiges Kapital der Bewohner der Puna und werden als Investition für wirtschaftliche Notzeiten angesehen. Fast sämtliche Haushalte haben ergänzende Einnahmen aus Saisonarbeiten auf Zuckerrohr- und Obstplantagen des Tieflandes, aus anderen Beschäftigungen oder aus Renten- und Pensionszahlungen. Eine reine Subsistenzwirtschaft existiert heute nicht einmal in den peripheren Bereichen am Fuß der Sierra de Santa Victoria. Armut und Arbeitslosigkeit machen in jüngster Zeit eine Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion zur Selbstversorgung notwendig. Auch die Nutzung der Vegetation zu Heiz- und Ernährungszwecken sind Folgen der Armut. Die Armut führt so indirekt zu weiteren Belastungen des Naturhaushaltes und einer Beschleunigung von Erosionsprozessen.

4 Erosionsprozesse und ihre korrelierten Erosions- und Akkumulationsformen im Untersuchungsgebiet

Jeder Erosionsprozess verursacht Modifikationen im Relief. Dabei ist zu unterscheiden zwischen durch Erosion geschaffenen Hohlformen (Erosionsformen) und durch Akkumulation des erodierten Materials geschaffenen Vollformen (Akkumulationsformen). Erosionsprozesse und ihre korrelierten Formen unterscheiden sich in Abhängigkeit des jeweiligen Agens (fließendes Wasser, Wind und Gletschereis) in ihren Ausprägungen. Die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Voraussetzungen für Erosionsprozesse wurden bereits in Kapitel 3 diskutiert. Im Folgenden werden verschiedene Erosions- bzw. Akkumulationsformen und ihre entsprechenden Erosionsprozesse vorgestellt (vgl. Abb. 8). Dabei liegen die Schwerpunkte auf den Agenzien Wasser und Wind. Erosionsprozesse durch Gletschereis fanden möglicherweise während der frühen paläo-indianischen Besiedlungsphase statt – die ersten Indizien für Besiedlung datieren auf 12.000 BP (KULEMEYER 1995, 8) – sollen hier aber nicht weiter beachtet werden (vgl. SCHÄBITZ 2000, ZIPPRICH et al. 2000). Auch auf Denudationsprozesse wird nur am Rande eingegangen. Verschiedene Rahmenbedingungen wie Vegetationsbedeckung und anthropogene Nutzungen fließen dagegen teilweise in die Betrachtungen mit ein.

4.1 Erosion durch fließendes Wasser

4.1.1 Das Flusssystem des Río Yavi und seine Erosionsformen

Das Einzugsgebiet des Río Yavi setzt sich aus mehreren Teilarmen zusammen. Von diesen verfügen nur drei über eine perennierende Wasserführung: Río Casti, Río Cajas und Río Lecho. Der Río Yavi erhält seinen Namen beim Zusammenfluss des Río Casti mit dem Río Lecho. Die Flüsse Río Casti und Río Cajas entspringen in der Sierra de Santa Victoria. Der Río Lecho wird dagegen aus kleinen Quellen im Inneren des Untersuchungsgebietes gespeist. Das Einzugsgebiet des Río Yavi umfasst auch zahlreiche Trockentäler, die nach Niederschlagsereignissen periodisch bis episodisch genutzt werden.

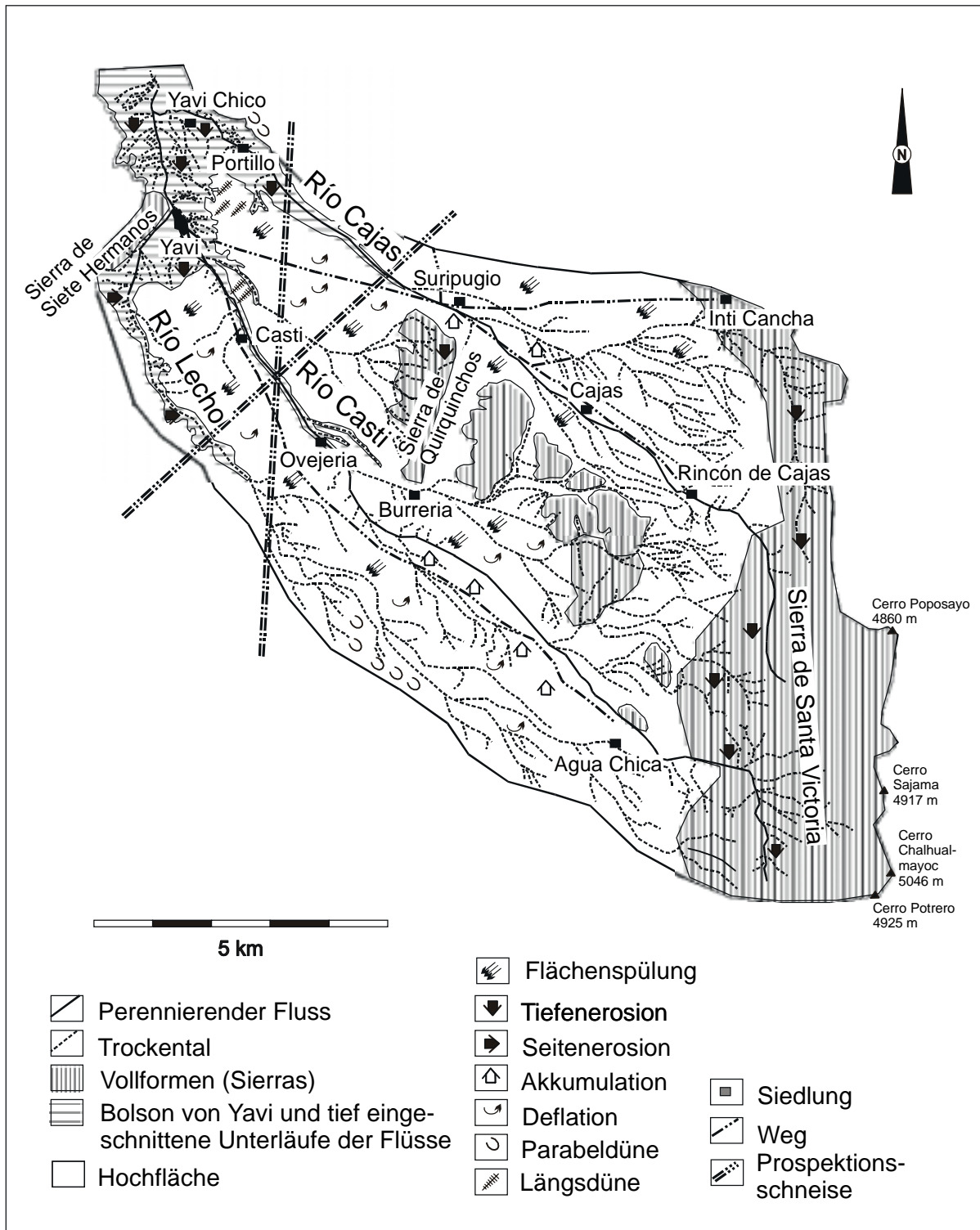


Abb. 8: Dominierende Erosionsprozesse im Einzugsgebiet des Río Yavi

Quelle: Entwurf H. Kiegel n. Luftbildern des Instituto Geográfico Militar, Ejército Argentino: 3A-101-149-86-671 bis 3A-101-154-86-671, 3A-102-206-86-671 bis 3A-102-212-86-671, 3A-103-224-86-671 bis 3A-103-229-86-671, 3A-104-023-86-672 bis 3A-104-026-86-672

4.1.1.1 Río Casti und Río Yavi

Der Río Casti (auch Río Chalhualmayoc genannt) entspringt in der Sierra de Santa Victoria (vgl. Abb. 2). In seinem SE-NW-Verlauf legt er eine Strecke von ca. 17 km zurück. Zahlreiche, z.T. weit verzweigte Trockentäler münden in ihn. An seinem Unterlauf liegen die Dörfer Casti und Yavi. Oberhalb dieser Orte wird dem Fluss Wasser zur Bewässerung dorfnahe Ackerflächen entnommen.

Der Fluss lässt sich ebenso wie der Río Cajas in drei Abschnitte gliedern. In seinem oberen, ca. 3 km langen Abschnitt innerhalb der Sierra de Santa Victoria dominieren Prozesse der Tiefenerosion. Sie liegen in der hohen Reliefenergie in diesem Abschnitt begründet. Nach dem Austritt aus der Sierra de Santa Victoria wird das Tal auf einer Länge von ca. 7 km von einem 1 km breiten Schotterbett eingenommen. Es besteht aus einem Geflecht mehrerer Gerinnebetten, zwischen denen mit Strauchvegetation bestandene höher gelegene Abschnitte liegen (Foto 4). Die im Vergleich zum oberen Flussabschnitt geringe Tiefenerosion erklärt sich durch die niedrige Reliefenergie in diesem Abschnitt. Innerhalb der größeren Gerinnebetten wechseln sich im Winter überwiegend trockenliegende kleine Gerinnebetten mit flachen Inseln ab, die teilweise ebenfalls mit einer Strauchvegetation bestanden sind. Teilweise sind die Schotterbetten und die angrenzenden höher gelegenen Bereiche mit äolischem Material bedeckt. Im unteren Teil dieses Flussabschnittes ergibt sich auf 3.650 m ü. M. an einem trockenliegenden Gerinnebett folgende Situation (Abb. 9): Das ca. 9,50 m breite Gerinnebett wird von Schotter eingenommen, stellenweise liegt ihm Sand auf. Der NE-Hang ist als 1,20 m hoher Prallhang ausgebildet, der gegenüberliegende SW-Hang als sanft ansteigender Gleithang. Der Prallhang ist vollständig aus Schottern in sandiger Matrix aufgebaut, wobei in den unteren 80 cm grober Schotter, in den folgenden 20 cm feiner Schotter dominiert. Nur die obersten 10 cm bestehen aus reinem Sand. Während die unteren Schichten fluvialer Genese sind, ist die obere Sandauflage äolischen Ursprungs. In einem anderen Profil zeigen sich innerhalb fluvial abgelagerter Sedimenten ebenfalls Einlagerungen von Sand, die möglicherweise äolischer Genese sind (vgl. Tab. 9, Foto 5). Fluviale und äolische Prozesse sind hier also zeitlich und räumlich eng verzahnt. Im 7 km langen unteren Abschnitt des Flusses dominieren erneut Prozesse der Tiefenerosion. Der Fluss schneidet sich bis zu 120 m in die Hochfläche ein, die Talhänge versteilen sich sukzessiv. Auch hier

ist die im Vergleich zum mittleren Flussabschnitt höhere Reliefenergie – durch die Höhenlage des Bolson von Yavi sowie durch den Zusammenfluss der drei Quellflüsse des Río Yavi bedingt – für die Zunahme der Tiefenerosion verantwortlich. Die lineare Einschneidetendenz im unteren Einzugsgebiet des Río Yavi hat sich in den letzten 300 Jahren durch rückschreitende Erosion intensiviert (KULEMEYER & LUPO 1998, 272).

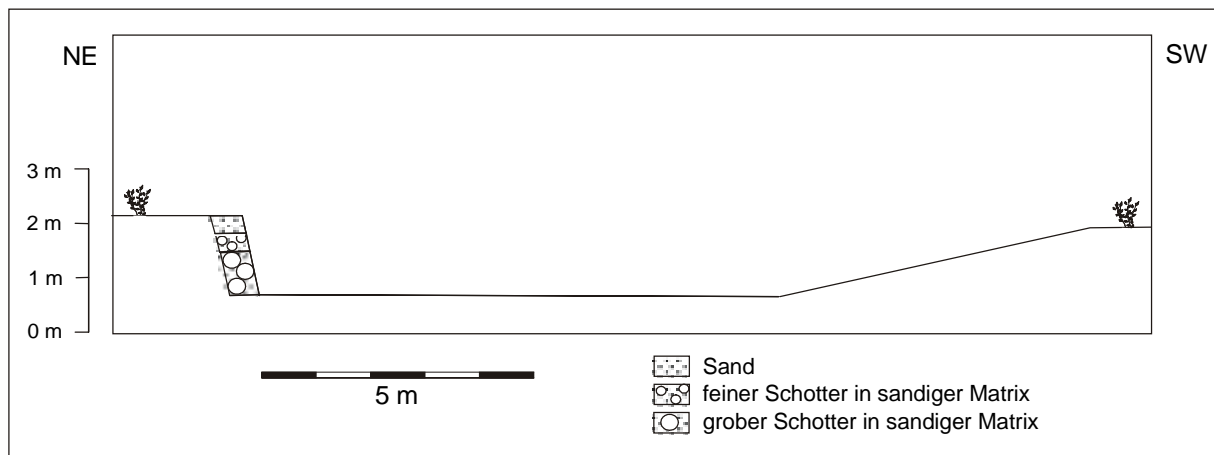


Abb. 9: Querschnitt durch Teilgerinne des Río Casti, südlich von Burreria
Quelle: Entwurf H. Kiegel

Tiefe unterhalb Oberkante	Material	Genese
bis 70 cm	Feiner Schotter in sandiger Matrix, mit Wurzeln durchzogen	Fluvial
70 bis 90 cm	Grober Schotter	Fluvial
90 bis 120 cm	Sandlinse, keilt zu beiden Seiten aus, unsortiert	evtl. Äolisch
120 bis 150 cm	Grober Schotter	Fluvial
150 bis 200 cm	Fein geschichteter Sand, horizontal, rötlich mit dunkleren Einschlüssen	Fluvial

Tab. 9: Profil RC1, Prallhang im mittleren Flussabschnitt des Río Casti (vgl. Foto 5)
Quelle: Erhebung H. Kiegel

Der Río Casti zeigt in seinem Unterlauf die in der Puna häufig auftretende Talasymmetrie mit steilen NE- und flachen SW-Hängen (vgl. Foto 1). Die verschiedenartigen Böschungswinkel bedingen Unterschiede in den jeweiligen Erosionsprozessen und -formen, was ein Talquerschnitt 1,5 km südöstlich von Casti veranschaulicht: Der 5° geneigte SW-Hang wird durch mehrere Erosionsrinnen zerschnitten, denen in ihrem oberen Bereich zahlreiche kleinere Erosionsrinnen zulaufen. Im unteren Abschnitt des Hanges nimmt der Böschungswinkel am Übergang zum Talboden ab. Durch die

nachlassende Transportkraft kommt es zur Ablagerung des transportierten Materials. Dabei erfolgt eine Materialsortierung: Im oberen Abschnitt werden größere Gerölle abgelagert, das Feinmaterial wird weiter transportiert und erst am direkten Übergang zum Talboden in Schwemmfächern abgelagert. Sandakkumulationen im unteren Hangabschnitt könnten auch äolischer Genese sein. An einer breiten Erosionsrinne, die als Folge der Erdölprospektion entstanden ist (vgl. Kap. 4.1.2), wurde im oberen Abschnitt des SW-Hanges ein Boden vom Typ der Serie Yavi aufgeschlossen (Tab. 10). Der mächtige Tonhorizont zeigt an, dass es sich um einen Paläoboden handelt, der sich unter den rezenten Klimaverhältnissen nicht hätte entwickeln können (vgl. Kap. 3.1.3). Der Aufschluss ist insgesamt 100 cm mächtig und zeigt folgende Horizonte:

Horizont	Tiefe in cm	Beschreibung
A	0 – 10	Ton-Schluff Kohärentgefüge, 60 Vol.-% kantige und gerundete Steine bis 50 mm Durchmesser Farbe: 5YR 4/4 Kalkgehalt: ./. durchwurzelt
Bt	10 – 20	Ton Aggregatgefüge, steinlos Farbe: 5YR 4/4 Kalkgehalt: 0,6 % durchwurzelt
Übergangshorizont zwischen Bt und C	20 – 30	Vermischung verschiedener Korngrößen Farbe: 7,5 YR 8/2 Kalkgehalt: 16,0 % vereinzelt Wurzeln
C	30 – 100	Ausgangsgestein Kalkstein Farbe: 7,5 YR 8/2 Kalkgehalt: 26,2 %

Tab. 10: Profil RC2 in Prospektionsschneise am Río Casti

Quelle: Erhebung H. Kiegel

Der humose A-Horizont ist als Folge starken Oberflächenabflusses bis auf wenige Zentimeter abgetragen. Stattdessen dominieren an der Oberfläche kleine Schotter in toniger Matrix, die aus der Hochfläche in die oberen Hangabschnitte eingespült wurden. Zur Zeit der Beobachtung (Juli 1996) waren Teile des Flussbettes längere Zeit nicht genutzt worden, wie dem NE-Hang vorgelagertes und nicht abtransportiertes Material aus einer Rutschung zeigt. Im südwestlichen Abschnitt des Talbodens befindet sich in unmittelbarer Nähe zum Talhang eine mit *Fabiana-densa*-Sträuchern

bestandene, 1,40 m hohe Terrasse. Die Vegetationsbestockung zeigt an, dass die Oberfläche dieser Terrasse bereits seit längerer Zeit nicht mehr starken fluvialen Erosionsprozessen ausgesetzt war. Auf einer im NE des Talbodens liegenden, aus Schottern aufgebauten, 50 cm hohen Terrasse zeugen dagegen eine Vielzahl kleiner, trockenliegender Gerinnebetten von jüngeren fluvialen Erosionsprozessen. In der Mitte des Talbodens finden sich zwei temporäre Inseln, zwischen denen sich ein Geflecht aus ebenfalls temporären, mit Schotter bedeckten Gerinnebetten erstreckt. Die Erosionsrinnen auf dem 15° geneigten NE-Hang sind im Gegensatz zu denen auf dem flacheren SW-Hang überwiegend ohne Verzweigungen ausgebildet und verlaufen dem Hanggefälle folgend geradlinig auf den Talboden zu.

Oberhalb des Dorfes Casti führen kleine Quellen innerhalb des Talbodens dem Fluss weiteres Wasser zu. Der Talboden wird ab hier von einer Vega-Vegetation eingenommen. In unmittelbarer Nähe des Dorfes Casti gab es Ende der 80er Jahre am Flussufer einen mächtigen Aufschluss mit reichhaltigem archäologischem Material (mündl. Mitteilung Dipl.-Geol. Julio Kulemeyer). 1995 existierte dieser Aufschluss nicht mehr. Er war vollständig der Flusserosion zum Opfer gefallen, was die Leistung der Seitenerosion auf diesem Flussabschnitt belegt.

Im Bereich des Zusammenflusses mit dem Río Lecho weitet sich das Tal des Río Casti zu einem ovalen, ca. 1,2 km langen und an seiner weitesten Stelle ca. 900 m breiten offenen Bolson aus. Dort befindet sich das Dorf Yavi (Foto 1). Der Bolson weitet sich durch rückschreitende Erosion zur Hochfläche hin aus (vgl. Kap. 4.3). Beim Zusammenfluss mit dem Río Lecho ändert der Río Casti seinen Namen in Río Yavi (vgl. Abb. 3) und quert in einem engen Tal die Sierra de Siete Hermanos. An den Ufern finden sich schmale Ackerterrassen. Sie sind an ihrem unteren Rand durch Steinmauern gegen Flusserosion abgesichert, an ihrem oberen Rand dienen die Steinmauern dem Schutz vor Überschüttung. Mehrere Trockentäler münden in den Río Yavi. Im weiteren Verlauf engt sich das Flusstal weiter ein, die Tiefenerosion ist hier besonders stark. Der Fluss wird von steilen Felsen flankiert, innerhalb des Flussbettes liegen große Felsblöcke. An seiner schmalsten Stelle ist das Flussbett nur 1,5 m breit. Der Fluss speist mehrere Bewässerungskanäle, die zu Ackerflächen im Mündungsbereich des Río Cajas in den Río Yavi führen. Dort hat sich eine große Talung gebildet, die mehrere mächtige Torfpakete aufschließt, die als Resultat eines

klimatisch bedingten andersartigen Sedimentationsverhaltens interpretiert werden (vgl. KULEMEYER & LUPO 1998).

Am 9. Februar 1996 zeigte eine Begehung des Tales des Río Yavi die Auswirkungen eines Hochwassers auf das Kleinrelief des Talbodens. Am 5. Februar 1996 waren innerhalb von 20 Stunden 17 mm Niederschlag gefallen (Daten der Dirección Hidráulica de Jujuy). Der aktuelle Flussverlauf im Talboden hatte sich im Vergleich zu Beobachtungen am 22. Januar an mehreren Stellen vollkommen verändert. In Höhe von La Cueva (300 m nördlich von Yavi) war das Flussbett nach rechts verlagert worden. Dort, wo zwischen dem Flussbett und dem Talhang ein Weg verlaufen war, wurden jetzt anstehende Torfschichten direkt angeschnitten. Die Seitenerosion des Hochwassers hatte zur Verbreiterung des Talbettes geführt, Unterscheidungen hatten Rutschungen einzelner, mit Pflanzen bestockter Hangpartien ausgelöst. Durch die starke Strömung waren sämtliche auf den Hängen wachsende Pflanzen in Strömungsrichtung umgeknickt worden. Dadurch ließ sich die Wasserstandshöhe des Hochwassers mit ca. 1,80 m oberhalb der Talsohle ablesen, die Wasserstandshöhe zur Zeit der Beobachtung betrug dagegen maximal 0,20 m. Auf dem Talboden war es zu einer Verlagerung temporärer Inseln gekommen, neue Inseln ragten bis zu 20 cm über den aktuellen Wasserstand hinaus. In Höhe von La Cueva war der Fluss in zwei große Arme aufgespalten worden, die von einer ca. 50 cm hohen temporären Insel getrennt wurden. Diese Insel wurde stellenweise aus großen Blöcken aufgebaut, die während des Hochwassers transportiert worden waren. Um das Flusstal weiterhin als Weg nutzen zu können, war über einen dieser Flussarme eine Reihe großer Steine gelegt worden, die den Fluss passierbar machten. Die Wirkung der Flusserosion vorheriger Hochwasser zeigte sich in Höhe von La Cueva an zwei Bäumen (Weiden), die seitlich unterspült wurden.

Am Nachmittag des 10. Februar 1996 gingen über der Sierra de Santa Victoria, die das obere Einzugsgebiet des Río Yavi bildet, heftige Gewitter nieder, und in der darauf folgenden Nacht kam es über Yavi ebenfalls zu lokalen Gewittern mit Starkregen und Hagelschauern. Am nächsten Mittag präsentierte sich der Río Yavi mit einem erhöhten Wasserstand, der allerdings bei weitem nicht den des letzten Hochwassers erreichte. Noch feuchte Stellen im Uferbereich zeigten einen maximalen Wasserstand von ca. 50 cm oberhalb des normalen Wasserstandes an. Der Fluss hatte eine

bräunlich-schlammige Farbe, die auf eine hohe Suspensionsfracht zurückging (Foto 6). In Höhe von La Cueva waren die meisten der zwei Tage zuvor über die Wasseroberfläche ragenden temporären Inseln mit Wasser bedeckt, lediglich die hohe, den Fluss in zwei Arme spaltende Insel unmittelbar vor La Cueva war nicht vom Wasser bedeckt. Der Fluss war nicht mehr passierbar, und die zum Überqueren eines der beiden Flussarme künstlich angelegte Steinreihe war vom Fluss abtransportiert worden.

Jedes Jahr gehen im Río Yavi Hochwasser ab. Die hier beschriebenen waren laut einer Einheimischen im Verhältnis zu anderen Jahren sehr schwach. 1993 war hingegen ein sehr starkes Hochwasser abgegangen. Der Fluss und das Flussbett waren anschließend längere Zeit nicht mehr passierbar gewesen.

4.1.1.2 Río Cajas

Der Río Cajas (auch Río Yavi Chico genannt) entspringt ebenfalls in der Sierra de Santa Victoria und verläuft in SE-NW-Richtung (vgl. Abb. 2). Unterhalb des Dorfes Yavi Chico mündet er bei La Palca (Quechua: Zusammenfluss zweier Flüsse) in den Río Yavi. Auf seinem ca. 17 km langen Verlauf zeigt er die gleiche Einteilung wie der Río Casti: In seinem Oberlauf dominiert Tiefenerosion, im Mittellauf Seitenerosion und Akkumulation und im Unterlauf erneut Tiefenerosion. Am Unterlauf versteilen sich die Talhänge zunehmend. Der nördliche Talhang geht – tektonisch bedingt – in den Steilhang von Yavi Chico über, so dass der Fluss in seinem Unterlauf eine ausgesprochene Talasymmetrie aufweist (Foto 7). An den Ufern des Río Cajas liegen mehrere Dörfer: Rincón de Cajas, Cajas, Suripugio, Portillo und Yavi Chico (vgl. Abb. 8). Der Fluss wird an vielen Stellen von Bewässerungskanälen begleitet, die aus höher gelegenen Flussabschnitten gespeist werden. Bei Yavi Chico beginnt ein Bewässerungskanal auf dem nordöstlichen Talhang (vgl. Foto 3). Das Wasser für diesen Kanal wird mittels eines ca. 20 cm hohen, quer durch das Flussbett verlaufenden künstlichen Erdwalls gestaut. Das Flusswasser wird so zu großen Teilen dem Kanal zugeleitet, ohne dass es zu einem Rückstau kommt. Der Bewässerungskanal beginnt im Höhengniveau des Flussbettes. Neigungsmessungen ergaben, dass er in exakt horizontaler Lage verläuft, während sich das Flussbett flussabwärts mit einer

Neigung von ca. 1° einschneidet. In seinem Verlauf quert der Kanal die Mündungen mehrerer Erosionsschluchten auf deren vorgelagerten Schotterfächern. Jedes stärkere Abflussereignis in den Erosionsschluchten oder im Flussbett zerstört den Kanal bzw. unterbindet seine Wasserzufuhr. Die Instandhaltung des Kanals erfordert folglich einen hohen Arbeitsaufwand. Auf dem südlichen Talhang befindet sich ein weiterer Kanal, der zur Bewässerung der Ackerparzellen des Dorfes Yavi Chico genutzt wird.

Auch auf dem Talboden des Río Cajas konnten Veränderungen im Kleinrelief nach dem Abgang von Hochwasser beobachtet werden. Nach den bereits erwähnten Niederschlagsereignissen vom 5. und 10./11. Februar 1996 kam es zu Modifikationen im Kleinrelief des Flussbettes. Die Lage der verschiedenen Gerinnebetten hatte sich verändert, und der zur Speisung des Bewässerungskanals angelegte Erdwall war zerstört worden.

4.1.1.3 Río Lecho

Im Gegensatz zu den Flüssen Río Casti und Cajas entspringt der Río Lecho nicht in der Sierra de Santa Victoria, sondern auf der Hochfläche. Das spanische Wort „lecho“ bedeutet Talboden und deutet auf das muldenförmige Querprofil des Flusses hin. Das 15 km lange Tal beginnt im SE von Yavi und verläuft in SE-NW-Richtung. 3 km vor der Mündung ändert es seine Richtung und verläuft in SW-NE-Richtung (Foto 8). Im NW des Dorfes Yavi mündet der Río Lecho in den Río Casti, der sich ab dieser Stelle Río Yavi nennt (vgl. Abb. 3).

In seinem oberen Abschnitt ist der Talboden fast vegetationslos und wird von Flugsanddecken eingenommen (Foto 9). Das Tal ist muldenförmig in die Hochfläche eingetieft. Es dient periodisch bis episodisch als Sammellinie des Abflusses des auf der Hochfläche abfließenden Niederschlagswassers. Im oberen Einzugsgebiet des Flusses sowie südlich davon zeigen zahlreiche Sicheldünen starke Sandakkumulationen an, denen der trockene Talboden des Río Lecho als Liefergebiet dient. 3 km vor der Mündung erfolgt ein abrupter Wandel in der Physiognomie des Flusses. Es treten vermehrt Hartgrasbüschel auf, der Deckungsgrad vergrößert sich sukzessiv fluss-

abwärts (Foto 10). Auf Schotter- und Schwemmkegeln, die den Talhängen an Mündungen von Erosionsrinnen vorgelagert sind, hat sich aufgrund des höheren Wasserangebotes eine andersartige, feuchtigkeitsliebende Vegetation entwickelt. Diese Schotter- und Schwemmkegel werden bevorzugt als Weide genutzt. Auf diesem Flussabschnitt liegen mehrere Einzelhöfe beidseitig auf den unteren Hangabschnitten.

Das verstärkte Auftreten der Vegetation im unteren Flussabschnitt ist im Zusammenhang mit der Existenz kleiner Quellen („Ojos de Agua“ = Wasseraugen) zu sehen, die hier im Talboden auftreten. Mehrere solcher „Ojos de Agua“ treten im Bereich eines Kalksteinausstriches auf, der den Talboden um einige Meter überragt und parallel zur Streichrichtung der Sierra de Siete Hermanos verläuft. Innerhalb dieses – insgesamt wasserdurchlässigen – Kalksteinausstriches scheint eine wasserstauende Schicht zu liegen, durch die die Ojos de Agua gespeist werden. An dem Kalksteinausstrich befindet sich ein 33 m langer, 8,5 m breiter und ca. 1 m tiefer See, auf dessen Boden zahlreiche „Ojos de Agua“ ständig Wasser bereitstellen. Die Quellen werden von Sandwällen von bis zu 20 cm Durchmesser umgeben und variieren in der Stärke ihrer Aktivität und den zeitlichen Abständen zwischen den einzelnen aufquellenden Blasen. Oftmals treten mehrere Quellen eng nebeneinander auf. Nördlich des Kalksteinausstriches knickt das Tal des Río Lecho in SW-NE-Richtung ab und verläuft anschließend parallel zu der Sierra de Siete Hermanos.

„Ojos de Agua“ speisen auch kleine Gerinne im weiteren Verlauf des Tales. Sie bilden die Voraussetzung für die Ausbildung einer Vega-Vegetation aus Hartgräsern mit Bestandshöhen bis zu 50 cm, die den Unterlauf des Flusses fast vollständig einnimmt. Den Untergrund der Vega bildet eine mächtige Schicht aus dem Wurzelort der Hartgräser. Das Tal wird von einem Hauptarm und mehreren Nebenarmen durchflossen. Im Hauptarm wechseln sich Seiten- und Tiefenerosion ab, streckenweise ist er bei einer Breite von bis zu 30 cm 1 m in den Torf eingetieft, in anderen Bereichen schneidet er sich in einem bis zu 1 m breiten Flussbett nur wenige Dezimeter tief ein. Ein Teil des Wassers dieses Hauptarmes wird einige hundert Meter nördlich des Sees einem ca. 50 cm breiten Bewässerungskanal zugeführt.

In seinen unteren 1,5 km nimmt der Talboden eine Breite von ca. 100 m ein. Das torfartige Wurzelpaket der Vega ist im Mündungsbereich mehrere Meter mächtig. Die lineare Einschneidung in den Unterläufen der perennierenden Flüsse hat sich in den letzten 300 Jahren anthropogen bedingt intensiviert (vgl. KULEMEYER & LUPO 1998, 272). Aufgrund des größeren Einzugsgebietes und der höheren Reliefenergie ist diese Einschneidung beim Río Casti größer als beim Río Lecho. Folglich hat sich der Río Casti im Mündungsbereich des Río Lechos fast 5 m tief in das Torfpaket eingeschneiden. Beide Talhänge des Río Lecho sind im unteren Flussabschnitt durch zahlreiche parallele, den Hang herabkommende Erosionsrinnen zerschnitten, eine Badlandbildung tritt hier nicht ein. Der SE-Hang baut sich aus einem Sporn aus Kalksteinfelsen auf, der die Flüsse Río Lecho und Río Casti trennt und der vom Río Lecho in der „Garganta del Diablo“ (Teufelsrachen) durchbrochen wird. Der gegenüberliegende Hang ist dagegen Teil der Ostabdachung des langgestreckten Cerro Largo, der mit 3.660 m ü. M. die Hochfläche um 100 m überragt (vgl. Abb. 3). Entsprechend der allgemeinen Streichrichtung der Antiklinalen der Sierra de Siete Hermanos verläuft der Cerro Largo in SW-NE-Richtung. Auf seiner NW-Flanke dacht er sich mit einer Neigung von 15°, auf der den Río Lecho flankierenden SE-Seite mit 24° ab.

Im unteren Flussabschnitt treten große rechteckige, mit Lehmziegel-Mauern begrenzte Flächen auf. Laut Information von Einheimischen dienen diese der kontrollierten und selektiven Beweidung der Vega. Einige der ehemals durch Mauern begrenzten Weideflächen sind aufgegeben worden und ihre Mauern zerstört. Auch gibt es aufgelassene Ackerflächen und verlassene Gehöfte. Dennoch wird der gesamte untere Flussabschnitt mit Schafherden beweidet, der Weidedruck ist hier stärker als in den oberen Flussabschnitten. Besonders die sumpfigen Bereiche der „Ojos de Agua“ unterliegen einem hohen Weidedruck. Neben starker Vegetationsdegradierung hat dies auch Bodenverdichtung und damit erhöhte Erosionsanfälligkeit zur Folge.

Zur Zeit der Beobachtung (Juni 1996) trockenliegende, künstlich angelegte und nur wenige Zentimeter tiefe und breite Kanäle auf dem Talboden dienen der Wasserzufuhr bei der Lehmziegel-(Adobe-)produktion. Die Ziegel werden innerhalb des torfartigen Talbodens ausgestochen und in der Sonne getrocknet. Sämtliche Begren-

zungsmauern innerhalb des Tales und z.T. auch Gebäudemauern sind aus diesem Material aufgebaut.

Die Erosionskraft des Río Lecho ist ungleich schwächer als die der Flüsse Río Casti und Río Cajas. Dies liegt zum einen in der geringen Reliefenergie begründet, zum anderen liegt das Tal in seinem oberen Bereichen fast ganzjährig trocken, so dass fluviale Erosion nur zeitlich begrenzt auftreten kann. Der obere Flussabschnitt unterliegt jedoch aufgrund seiner Sandbedeckung Auswehungsprozessen. Hier finden auch Akkumulationsprozesse wie die Bildung von Schotter- und Schwemmkegeln vor in das Tal mündenden Erosionsrinnen statt. Diese bleiben bis zum nächsten Abflussereignis erhalten. Im unteren Flussabschnitt deutet die Ausbildung einer ausgeprägten Vega-Vegetation mit mächtigen Wurzeltorfpaketen die nur geringe Stärke fluvial-linearer Erosionsprozesse an.

4.1.1.4 Trockentäler: Beispiel Quebrada de Piscuno

Die Quebrada de Piscuno ist ein typisches Beispiel für ein Trockental, das nur periodisch bis episodisch nach sommerlichen Starkniederschlägen als Sammellinie des Abflusses benutzt wird. In seinem Haupttal ist der Fluss ca. 2 km lang, verläuft in SE-NW-Richtung und mündet nördlich von La Cueva in den Río Yavi (vgl. Abb. 10). Trotz seines kleinen Einzugsgebietes und der Kürze ist das Tal stellenweise bis zu 4 m tief eingeschnitten. Der Talanfang liegt ca. 1 km östlich von Yavi im Hang zwischen der Hochfläche und dem Bolson von Yavi in geringresistenten, horizontal gelagerten quartären Sedimenten. Bei den Niederschlägen folgenden Abflüssen kommt es zu einer schnellen und tiefen Einschneidung und einem hohen Materialtransport. Der Hauptarm entspringt auf der Hochfläche in einer dellenförmigen Hohlform, in die mehrere kleinere Spülrillen und -rinnen münden. Sich in dieser Hohlform sammelndes Niederschlagswasser fließt in einer Erosionsrinne ab, die sich rasch und tief einschneidet und in eine tiefe Erosionsschlucht umwandelt. Andere, untergeordnete Zuflüsse des Trockentales finden ihre oberen Einzugsgebiete auf dem Hang selber, wo sich auf kleinen nischenartigen Verflachungen Niederschlagswasser sammelt und in sich rasch einschneidende Erosionsrinnen bzw. Erosionsschluchten abfließt. Mehrere solcher Erosionsschluchten führen auf dem Hang zu

tiefen Zerrachelungen bis hin zur Badlandbildung. Beim Übergang der Erosionsrinnen in das Haupttal des Trockentales bilden sich oftmals Schotter- und Schwemmkegel, die ihrerseits bei Abflussereignissen angeschnitten bzw. mit weiteren Akkumulationen bedeckt werden. Neue Abgänge in den Erosionsrinnen führen zur Bildung neuer Abflusslinien auf diesen Schotter- und Schwemmkegeln.

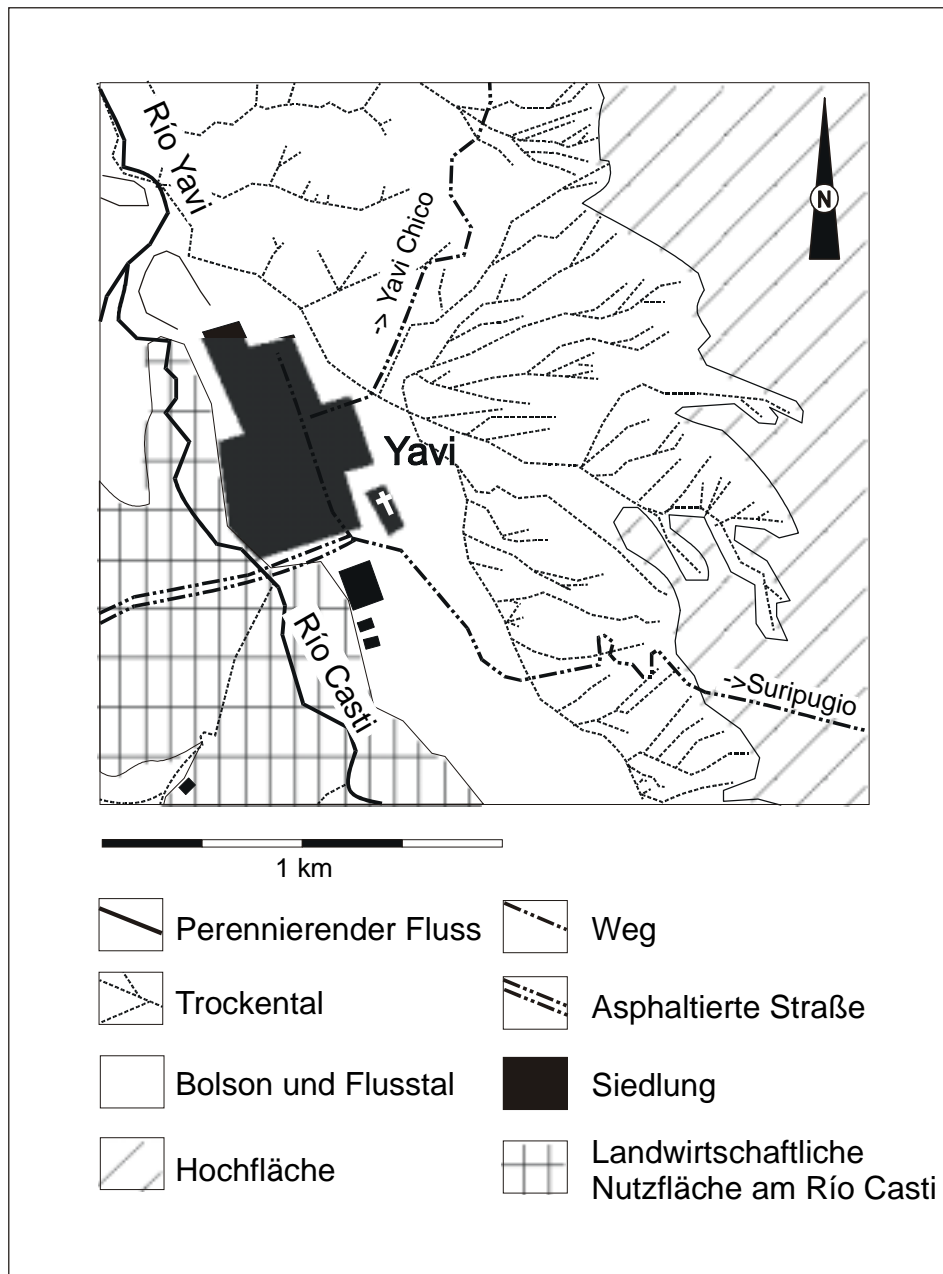


Abb. 10: Übersicht über Quebrada de Piscuno

Quelle: Entwurf H. Kiegel n. Luftbildern des Instituto Geográfico Militar, Ejército Argentino: 3A-101-149-86-671; 3A-101-150-86-671; 3A-102-211-86-671; 3A-102-212-86-671

Im mittleren Abschnitt des Trockentales wechseln sich temporäre Inseln von bis zu 30 cm Höhe mit verzweigten kleinen Gerinnebetten ab. Der Talboden weist anasto-

mosierende Formen auf und ändert bei jedem Abflussereignis sein Kleinrelief. Unterspülungen führen zum Abrutschen von Material, welches den temporären Inseln vorgelagert wird. Aufgeschlossene Flusssedimente am Ufer zeigen feine und grobklastische Sedimente in Wechsellage, was dem heutigen Bild eines verwilderten Flusses entspricht. Auf sandigen Bereichen tritt zwischen dem Schotter der Erosionszeiger *Chuquiraga acanthophylla* („espina amarilla“) auf.

Im weiteren Verlauf führt das Trockental unterhalb des Weges von Yavi nach Yavi Chico durch eine 3 m breite und 14 m lange tunnelartige Unterführung. Das Flussbett des Trockenflusses hat vor der Unterführung eine Breite von 13,40 m sowie Talhanghöhen von 1,00 m und 0,20 m. Hinter der Unterführung weist es dagegen eine Breite von 8,70 m auf, wenige Meter hinter der Unterführung verschmälert es sich auf 7 m. Durch die anthropogen bedingte Verengung wird die Tiefenerosion verstärkt, so dass die Talhänge hinter der Unterführung Höhen von 3,50 m bzw. 2,50 m erreichen.

Im weiteren Verlauf befindet sich unterhalb des linken Talhanges eine 15 m hohe Pappel, aus deren Wurzelbereich sämtliches Bodenmaterial fluvial abtransportiert worden ist. Ihre senkrechten Wurzeln stehen frei in der Luft, seitliche Wurzeln geben zusätzlichen Halt. In der aktuellen Lage des Trockentales wäre die Keimung und das Wachstum eines Baumes an dieser Stelle nicht möglich gewesen. Während des Jungstadiums dieses schnellwüchsigen Baumes lag das Tal folglich in einer anderen Position und hat sich durch Seitenerosion erst in den letzten Jahren verlagert.

Im Bereich der Mündung in den Río Yavi weist das Trockental bis zu 4 m hohe Talhänge aus Kolluvien mit Resten von Paläoböden auf. Auf dem Talboden treten Terrassen unterschiedlicher Höhe und Genese auf. Wenige Meter vor der Mündung befindet sich eine ca. 100 m lange, bis zu 9 m breite und 1 m hohe, aus Feinmaterial bestehende und mit Schotter bedeckte Terrasse. Die ihr aufliegenden Schotter wurden bei einem älteren starken Abflussereignis transportiert und abgelagert. Die Breite des zuletzt benutzten Flussbettes variiert zwischen 2,50 m und 5,30 m. Es besteht aus einem Geflecht kleiner, nur wenige Zentimeter tiefer und maximal 50 cm breiter Gerinnebetten. Zwischen ihnen liegt eine nur wenige Zentimeter hohe, ca. 5 m lange und bis zu 4,60 m breite temporäre Sandinsel. Temporäre Akkumulationen können aus Schotter oder Feinmaterial aufgebaut sein und zeigen unterschiedlich starke Abflüsse und Transportkräfte an.

Beobachtungen in der Quebrada de Piscuno nach einem lang andauernden Niederschlagsereignis (5. Februar 1996, 17 mm in 20 Stunden) zeigten aktuelle Veränderungen im Kleinrelief des Talbodens. Das Wasser war in einem bis zu 50 cm breiten und bis zu 10 cm tiefen Gerinnebett abgeflossen. Frische Akkumulationen im Mündungsbereich ließen auf einen überwiegenden Transport von Feinmaterial und eine geringe Transportkraft dieses Abflusses schließen. Ca. 100 m oberhalb der Mündung hatte eine Rutschung einen Materialabgang von ca. 1 m³ bewirkt. Nach einem weiteren Abflussereignis am 10. Februar ist dieses Material fast vollständig abtransportiert worden.

Ein weiteres Trockental, das wenige Meter unterhalb der Quebrada de Piscuno in den Río Yavi mündet, wird im Mündungsbereich von Ackerterrassen flankiert, die am Übergang zum Tal mit einem Drahtzaun umgeben sind. Junge Seitenerosion, Unterspülungen und Rutschungen haben dort zur Freilegung der Zaunpfähle geführt – sie werden nur noch durch den Draht gehalten.

4.1.2 Formen linearer Erosion außerhalb der Flusstäler

Lineare Erosionsprozesse agieren nicht nur fluvial innerhalb der großen Flusstäler, sondern sind auch die Ursache für die Bildung von Erosionsschluchten und Badlands (vgl. Kap. 4.3 und 5.3.1).

Direkte menschliche Eingriffe in den Naturhaushalt können lineare Erosionsprozesse auslösen bzw. beschleunigen. In der Puna häufig angelegte, reliefunabhängig verlaufende Schneisen der Erdölprospektion (vgl. Abb. 8) sind aufgrund ihrer Vegetationslosigkeit prädestiniert für die Beschleunigung linearer Erosionsprozesse. 1,5 km südöstlich des Dorfes Casti kreuzt eine solche N-S-verlaufende Schneise das Tal des Río Casti (Foto 11). Der NE-Hang hat einen Böschungswinkel von ca. 15° und wird von tiefen Erosionsrinnen durchschnitten. Der SW-Hang weist bei einem Böschungswinkel von 5° nur geringe Zerschneidungen auf. Er wird von einer *Fabiana-Densa*-Strauchsteppe mit einem Deckungsgrad von ca. 20 % eingenommen, auf der 5 m breiten Schneise treten dagegen bis auf wenige, junge Exemplare keine Sträu-

cher auf. Es hat sich lediglich eine lockere Grasdecke mit 30 % Deckungsgrad ausgebildet. Auf Luftbildern von 1980 ist diese Schneise bereits erkennbar, die zerstörende Wirkung dieser Art der Prospektion zeigt sich also auch noch nach vielen Jahren – die Beobachtung fand im Juli 1996 statt. Der strauchlose Streifen weist im Vergleich zu den benachbarten Abschnitten eine geringere Resistenz gegenüber erosiven Prozessen auf. Innerhalb der Schneise entstand eine tiefe Erosionsrinne mit einer maximalen Breite von 2,00 m und einer maximalen Tiefe von 1,80 m. Sie verläuft hangabwärts zunächst der N-S-Richtung der Prospektionsschneise folgend, knickt auf der Mitte des Talhanges in Richtung der Neigung des Hanges (SE) ab und mündet in den Talboden des Río Casti. Die anthropogen bedingte Vegetationszerstörung und Bodenverdichtung verursachen folglich die Beschleunigung erosiver Prozesse und führen im Hangbereich zur Bildung tiefer Erosionsrinnen.

Ein weiteres Beispiel für die anthropogen bedingte Initialisierung bzw. Ausweitung von Erosionsrinnen sind Wege. Auch sie sind aufgrund von Vegetationslosigkeit und Bodenverdichtung prädestiniert für erosive Prozesse. Insbesondere in Hanglage dienen sie als Abflusslinien und werden von Erosionsrinnen eingenommen. Die von den Talböden zur Hochfläche führenden Wege überwinden teilweise 120 m Höhenunterschied und unterliegen aufgrund ihres Gefälles besonders starken Erosionsprozessen (vgl. Kap. 4.3).

4.1.3 Flächenspülung auf den Flächen zwischen den Flusstälern

Die zwischen den Flusstälern befindlichen unzerschnittenen Bereiche der Hochfläche unterliegen sowohl Deflation (vgl. Kap. 4.2.1) als auch Flächenspülungsprozessen. Letztere basieren auf durch Niederschläge zugeführtem Wasser, das sich als Oberflächenabfluss in flachen, sich verlagernden Spürrillen und -rinnen über die Fläche bewegt. Die Stärke des Oberflächenabflusses wird durch Faktoren wie die Prall- und Planschwirkung der Regentropfen, Bodeneigenschaften und Deckungsgrad der Vegetation, aber auch durch anthropogene Nutzungen beeinflusst (vgl. Kap. 3). Auf der Hochfläche bildet sich ein temporäres Kleinrelief aus sich verlagernden Spürrillen und -rinnen, die von nur wenigen Zentimeter höher ragenden unzerschnittenen Bereichen umgeben sind. Innerhalb der Spürrillen und -rinnen zeigen feine Linien aus

Sand und Kies die Transportleistung bei der Flächenspülung an. Der Effekt der Flächenspülung lässt sich auch an freigespülten Wurzelhälsen von Sträuchern ablesen (Foto 12). In der Nähe von tieferen Erosionsrinnen führen die Spürrillen und -rinnen in deren Richtung, der Abfluss kanalisiert sich mit zunehmendem Gefälle. Kleinere Erosionsrinnen fließen größeren zu, die ihrerseits in Trockentäler oder perennierende Flüsse münden. In den Randzonen der Hochfläche vollzieht sich ein Wechsel von Flächenspülung zu linearer Erosion. Die Hochfläche wird so von ihren Rändern her sukzessiv aufgezehrt. Die Abflussrichtung bei der Flächenspülung kann sich auch an Depressionen innerhalb der Hochfläche orientieren. So dienen Deflationswannen als lokale Auffangbecken des Oberflächenabflusses (vgl. Kap. 4.2.1).

4.2 Formung durch Wind

4.2.1 Auswehungsgebiete

Äolische Erosions- und Akkumulationsprozesse sind in der Puna räumlich eng verzahnt. Das äolische Material stammt oftmals aus Trockentälern. Auch auf der Hochfläche findet Deflation statt. Störungen auf der Oberfläche durch die Prall- und Planschwirkung von Regentropfen führen zur Bereitstellung neuen auswehbaren Materials (vgl. BESLER 1992, 79). Deflation findet überwiegend in der winterlichen Trockenzeit statt, in der Winde mit den höchsten Windgeschwindigkeiten vorherrschen und der ausgetrocknete Boden ein ideales Angriffsfeld bietet. Vom 15. bis 17. Juni 1996 setzten nachmittags sehr starke W-Winde ein, die laut eines Einwohners Yavis selbst für diese Jahreszeit außergewöhnlich stark waren. Am 16. Juni konnte vom Cerro Largo aus eine sehr eingeschränkte Visibilität über La Quiaca beobachtet werden. In und um die Stadt herum bewegten sich eine Vielzahl kleiner Windhosen, Staub und Sand wurden in einzelnen Böen hochgeschleudert, transportiert und wieder abgelagert. Auch auf der Hochfläche westlich des Cerro Largo, der Pampa de Yavi, gab es zahlreiche kleinere Windhosen. Die direkte Umgebung des Dorfes Yavi war dagegen durch seine Lage im Lee der Sierra de Siete Hermanos weitgehend vor den W-Winden geschützt.

Große, fast kreisrunde flache Wannen auf der Hochfläche gehen in ihrer Genese ebenfalls auf Deflation zurück (Foto 13). Im Westen des Cerro Largo finden sich drei

solcher Wannen (Abb. 11). Die größte hat einen Durchmesser von ca. 260 m und im Zentrum eine Tiefe von ca. 1,30 m. Eingeschwemmtes Tonmaterial führt im Sommer zur Plombierung des Bodens und zur Aufstauung des oberflächlich zugeführten Wassers. Im Winter ist der Boden mit Trockenpolygonen mit Durchmessern von 10 cm und Spaltentiefen von 3 cm durchzogen. Die Wannen werden von einer Grasdecke eingenommen, deren Deckungsgrad sukzessiv von Wannenrand (100 %) zum Zentrum (5 %) abnimmt. Der trockene Zustand des Bodens in der winterlichen Trockenzeit und der geringe Deckungsgrad im Zentrum machen die Wannen auch für rezente Auswehungsprozesse anfällig.

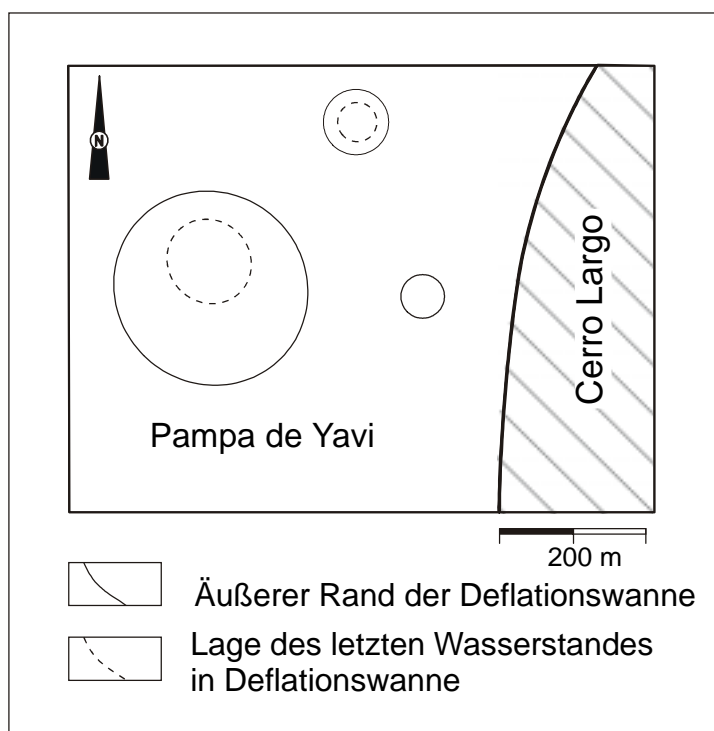


Abb. 11: Lage und Größe von Deflationswannen auf der Pampa de Yavi
Quelle: Entwurf H. Kiegel

4.2.2 Akkumulationsgebiete

Äolisch transportiertes Material lagert sich an Hindernissen und bei abnehmender Windgeschwindigkeit auch auf ebenen Abschnitten der Hochfläche ab. Die Akkumulationsformen reichen von geringmächtigen Flugsanddecken, kleinen Rippeln und längeren Sandfahnen an Hindernissen bis zu Nebkas und großen Dünenfeldern.

Große Akkumulationsgebiete äolischen Materials treten beidseitig des trockenen Oberlaufes des Río Lecho und eines südlich davon gelegenen, ebenfalls trockenen Flusstales auf (Abb. 8). Es handelt sich um Parabeldünen, die entsprechend der in der Trockenzeit in Häufigkeit und Stärke dominierenden NW-Winde nach NW geöffnet sind.

Ein weiteres Dünenfeld findet sich auf der Hochfläche gegenüber dem Dorf Portillos am Unterlauf des Río Cajas (Abb. 8, Foto 14). Steinabschläge deuten auf eine prä-historische Nutzung des Standortes hin. Das Dünenfeld besteht aus mehreren kleinen Dünen und Nebkas, die von einer Flugsanddecke umgeben sind. Alle Dünen und Nebkas sind mit der Dünenpflanze *Lampaya castellani* bewachsen und dadurch befestigt. Die Sande sind rot-braun (5YR 4/6) und weisen Karbonatgehalte von unter 0,05 % auf. Es handelt sich auch hier um Parabeldünen, die an ihren Bogenenden durch Vegetation fixiert sind. Ihre Öffnungen befinden sich ebenfalls in NW-Richtung. Ein großes Exemplar misst von der Öffnung bis zum Scheitel 59 m (Abb. 12, Foto 15). Am Scheitel ist die Düne 28 m breit und ca. 4 m hoch. Die beiden Hörner verschmälern sich zur Öffnung hin und weisen an ihren Enden eine Breite von 9 m auf. Die Öffnung ist ca. 21 m breit.

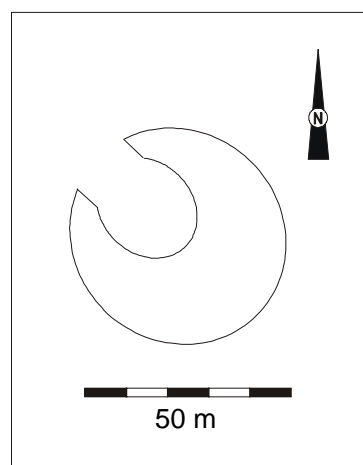


Abb. 12: Ausmaße einer Düne im Dünenfeld auf der Hochfläche nordöstlich von Portillos
Quelle: Entwurf H. Kiegel

Östlich des Dorfes Casti befindet sich auf der Hochfläche ein weiteres Dünenfeld mit zahlreichen Nebkas und NW-SE-verlaufenden Längsdünen (Foto 16). Die Achsen der Längsdünen liegen parallel zur während der Trockenzeit dominierenden NW-Windrichtung. Die größte Düne besitzt eine Länge von fast 80 m, eine Breite von

30 m und eine maximale Höhe von 1,70 m. Alle Dünen sind mit der Dünenpflanze *Lampaya castellani* bewachsen.

Auch in den Tälern treten Nebkas und Dünen auf. Ca. 1,5 km oberhalb des Dorfes Casti finden sich auf dem südwestlichen Abschnitt des Talbodens des Río Casti mehrere Nebkas. Sie sind mit *Fabiana densa* bewachsen. Ein aus mehreren Nebkas zusammengesetztes, hangparallel verlaufendes Gebilde weist eine Länge von 26,5 m, eine Breite von 14 m und eine Höhe von maximal 1,80 m auf. Bis auf wenige Ausnahmen beschränkt sich das Auftreten von Dünen und Nebkas auf die südwestlichen, den flacheren Talhängen vorgelagerten Talbodenabschnitte. Der geringe Böschungswinkel und die Dominanz der NW-Winde sind die Ursachen dafür.

Vor der NW-Flanke der Sierra de Siete Hermanos kommt es in Luvlage zu verstärkten Sandakkumulationen. Eine mehrere Zentimeter mächtige Flugsanddecke hat sich am untersten Hangabschnitt abgelagert. Auch beidseitig der Straße von La Quiaca nach Yavi haben sich in Höhe der Sierra de Siete Hermanos mächtige Sandakkumulationen in Form von Flugsanddecken, Nebkas und Dünen gebildet.

Paläoklimatische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Río Yavi haben ergeben, dass während einer im Vergleich zu heute arideren Periode im Mittel-Holozän äolische Sedimente mit großen Mächtigkeiten abgelagert wurden (KULEMEYER et al. 1999, 250). In den letzten 300 Jahren vollzog sich eine anthropogen bedingte Remobilisierung äolischen Materials (KULEMEYER & LUPO 1998, 264). Die Vegetationsarmut einiger Dünen zeugt von deren rezenter Aktivität. Ein Beispiel dafür gibt eine Wanderdüne auf der Straße von La Quiaca nach Abra Pampa (Foto 17).

Bei Abra Pampa zeigt sich auch ein besonders ausgeprägtes Beispiel für Sandakkumulationen. Äolisches Material hat sich an der Ostflanke der Sierras de Cochinoca (ca. 70 km südlich des Untersuchungsgebietes) in Aufsanden abgelagert, wie sie auch im Bolson von Fiambalá beschrieben werden (BRUNOTTE et al. 1988). Ebenso treten zahlreiche große Altdünen auf. Sie werden als Relikte eines trockeneren Zeitabschnittes interpretiert (RUTHSATZ 1977, 6). Im gesamten Bereich der Puna gibt es zahlreiche, heute bewachsene Flugsandfelder (sog. „arenales“), die als Hinweise für starke Deflation in vergangenen Perioden gelten (RUTHSATZ 1977, 6). Auch de-

ren Genese könnte mit der in jüngster Zeit von mehreren Autoren postulierten extrem ariden Periode des Mittel-Holozäns korrelieren (vgl. KULEMEYER et al. 1999, SCHÄBITZ 2000).

4.2.3 Exkurs: Trombe in Catamarca

Einem eindrucksvollen Beispiel äolischer Erosionsprozesse konnte die Verfasserin in der Provinz Catamarca beiwohnen. Catamarca liegt ca. 800 km südlich des Untersuchungsgebietes, doch gibt das Beispiel eine Vorstellung von den Auswirkungen starker Winde in einem semiariden Gebiet mit geringem Vegetationsdeckungsgrad. Am 23. Februar 1996 befuhr die Verfasserin die Ruta Nacional Nr. 38 von Catamarca nach La Rioja. Die Straße verläuft dort geradlinig von NE nach SW durch ein Gebiet mit Halbstrauchvegetation mit geringem Deckungsgrad. Vereinzelt treten Dünen auf. Die Straße wurde im Zuge von Verbreiterungsarbeiten auf beiden Seiten von 4 m breiten vegetationslosen Sandstreifen flankiert. Im gesamten Nordwesten Argentiniens war es an diesem Tag sehr heiß und schwül. Die maximale Temperatur betrug am Nachmittag in La Rioja 33 °C, und Cumulonimbus-Wolken kündigten ein Wärmegewitter an. Gegen 15.40 h türmte sich plötzlich auf der Straße eine Staubwolke auf, und beim Hineinfahren nahm die Sichtweite schlagartig bis auf wenige Meter ab. Ein anderes Fahrzeug, das wenige Meter vor uns mit eingeschaltetem Licht in die Staubwolke gefahren war, verschwand plötzlich hinter einem dichten Vorhang aus Sand. Die eingeschränkte Sichtweite machte ein weiteres Fahren unmöglich, und wir hielten auf dem Seitenstreifen an. Dort stand bereits das andere Auto. Die Windgeschwindigkeit hatte sehr stark zugenommen, Sand wurde meterhoch aufgewirbelt. Unser Auto – ein Dodge Coronado – das neben drei Erwachsenen mit schwerem Gepäck beladen war, wurde vom Wind hin und her geschüttelt. Bei ausgeschaltetem Motor mussten wir die Handbremse anziehen, da das Auto nach hinten gedrückt wurde. Der Wind wirbelte in einzelnen Böen den Sand vor sich her und auch zwischen den einzelnen Böen erreichte die Sichtweite nur wenige Meter (Foto 18). Das fünf Meter hinter uns parkende Auto tauchte nur manchmal aus dem dichten Sandmantel auf. Trotz geschlossener Fenster rieselte der Sand durch die Fensterritzen und hinterließ unterhalb der Scheiben kleine Sandhaufen. Auf dem Heckfenster lief

der vom Dach nach hinten geschleuderte Sand wie eine Flüssigkeit die Scheibe herunter. Der Wind nahm ständig zu, das Auto wurde unaufhörlich geschüttelt, und einzelne Böen trugen soviel Sand, dass das Sonnenlicht verdeckt wurde und nur noch ein fahles, braunes Licht das Innere des Autos beleuchtete. In den wenigen Momenten, in denen ein Blick nach außen möglich war, sahen wir, dass der Wind den Sand in einzelnen, senkrechten Fahnen transportierte. An der Basis dieser Fahnen kam es auf dem Boden zu Rippelbildung. Die ca. 3 m neben uns einsetzende Strauchvegetation wurde durch den Wind umgeknickt und einzelne, abgebrochene Äste abtransportiert.

Nach 20 Minuten in diesem Sandsturm entschieden wir uns, langsam weiter zu fahren. Busse, die trotz der geringen Sichtweite mit hoher Geschwindigkeit auf der Straße fuhren, waren erst bei ca. zwei Metern Abstand an ihren Fernlichtern zu erkennen. Wir versuchten im ersten Gang über die Straße weiterzufahren, aber da wir immer wieder auf die Gegenfahrbahn abtrieben, zogen wir es vor, auf dem Sandstreifen neben der Straße zu fahren. Ein plötzlich vor uns erscheinender Strauch mahnte zur Vorsicht und veranlasste einen der Mitfahrer auszusteigen und sich den Weg anzusehen. Es stellte sich heraus, dass 20 cm vor unserem Vorderreifen der Talhang eines steilen Trockentales ansetzte – die 1,5 m entfernt liegende Straße wurde an dieser Stelle über eine kleine Brücke geleitet. Wir tasteten uns also langsam über die Straße weiter. Um 16.20 h, nach insgesamt 40 Minuten in der Trombe, nahm die Sichtweite allmählich wieder zu. Regen setzte ein, und der Sand auf der Windschutzscheibe verwandelte sich in Schlamm. Plötzlich waren wir aus dem Sandsturm heraus, der Regen nahm an Stärke zu, Hagel kam hinzu. Auf beiden Seiten der Straße kanalisierte sich Wasser und führte zu Überflutungen. Später erfuhren wir, dass an diesem Tag sowohl La Rioja als auch Catamarca von einem Sturm heimgesucht worden waren. In Catamarca erreichte er Windgeschwindigkeiten von 120 km/h und führte zu zahlreichen Gebäudeschäden. Auch in La Rioja wurde uns von einem starken Sturm und einer plötzlichen Abkühlung der feucht-heißen Luftmassen um mehrere Grade berichtet.

Die Trombe hatte sich aufgrund der labilen Luftschichtung als Folge starker Bodenaufheizung mit Cumulonimbus-Bildung ausgebildet. Die dadurch verursachten äolischen Erosionsprozesse waren an beschriebener Stelle durch die beidseitig der

Straße befindlichen, ca. 4 m breiten vegetationslosen Sandstreifen besonders stark ausgeprägt. Der aufkommende Wind verursachte in diesen Sandstreifen kleine Wirbel, die sich durch Selbstverstärkungseffekte vergrößerten und sich zu einer großen Trombe vereinigten. Immer neues Material aus den Sandstreifen aufnehmend, verstärkte sich die Trombe und nahm gleichzeitig an Geschwindigkeit zu. Sand wurde in Fahnen hochgewirbelt, abgebrochene Äste transportiert. Auf dem Boden entstand ein Rippelfeld. Erst durch den einsetzenden Regen lies die Kraft der Trombe nach.

Die beschriebenen Prozesse laufen in ähnlicher Weise auch in der Puna ab. In zahlreichen kleinen Windhosen, die sich insbesondere im Winter auf der Hochfläche bilden, wird Material hochgewirbelt und verlagert.

4.3 Erosionsformen unter starken anthropogenen Beeinflussungen: Hang zwischen der Hochfläche und dem Bolson von Yavi

Südöstlich des Zusammenflusses der Flüsse Río Casti und Río Lecho befindet sich ein offener Bolson, auf dessen Boden das Dorf Yavi liegt (vgl. Abb. 3, Foto 1). Während dem Bolson im Norden und Westen durch die Sierra de Siete Hermanos eine natürliche Begrenzung gesetzt ist, weitet er sich nach Osten und Süden in die Hochfläche hinein sukzessiv aus. Die Hochfläche wird hier von einer *Baccharis boliviensis*-Gesellschaft mit einem Deckungsgrad von 30 % eingenommen. Die Vegetation ist deutlich degradiert und erreicht maximale Bestandshöhen von 30 cm. An den Sträuchern treten bis zu 8 cm hohe Feinmaterialakkumulationen auf. Der Boden ist mit kantigem Schutt bedeckt. Bei starken Winden, wie sie am Tag der Beobachtung (14. Februar 1996) auftraten, bilden sich auf der Fläche zahlreiche kleine Windhosen, durch die Feinmaterial verlagert wird.

Der Übergang zwischen der Hochfläche und dem Bolson von Yavi wurde im Abschnitt südöstlich des Friedhofes von Yavi näher beobachtet (vgl. Foto 1). Die Höhendifferenz beträgt hier 120 m (Hochfläche: 3.560 m ü. M., Dorf Yavi: 3.440 m ü. M.). Am oberen Bolsonrand beträgt der Böschungswinkel 15°, im mittleren Abschnitt 11°. Im unteren Drittel verflacht er sich unterhalb einer markanten Linie zu einem Pediment mit einer Neigung von ca. 7°. Der gesamte Hang unterliegt starken anthropogenen Nutzungen in Form von Beweidung und Holzentnahme.

Im oberen Abschnitt wird der Hang von einigen sehr tiefen Erosionsrinnen zerschnitten. Stellenweise kommt es zur Ausbildung von Badlands, die zu einer rückwärtigen Aufzehrung des Hanges und damit der Hochfläche führen. Meist liegen die Badlandareale wenige Meter unterhalb der Kante zur Hochfläche. Es treten mehrere Stadien der Badlandbildung auf: Im Initialstadium zerschneiden einzelne Erosionsrinnen den Hang und führen zum Abtransport dort anstehender geringresistenter Sedimente. Gespeist werden diese Erosionsrinnen durch den Hang abfließendes Wasser, das sich nach Niederschlägen als Oberflächenabfluss auf der Hochfläche und dem Hang sammelt. Das abfließende Wasser verursacht in den Erosionsrinnen sowohl Tiefen- als auch Seitenerosion. Mehrere solcher Erosionsrinnen vereinigen sich durch Seitenerosion zu einer großen, breiten Erosionsfront, die sukzessiv zur weiteren Ausräumung von Hangsedimenten führt. Dadurch werden in bis zu 50 m hohen, fast senkrechten Wänden horizontal geschichtete Sedimente aufgeschlossen. Die Wände sind in zahlreiche Runsen aufgelöst. Vor ihnen befinden sich einzelne Riedel, die auf beiden Seiten von tiefen Erosionsrinnen flankiert werden. Die Riedel stellen die Reste der ehemaligen Oberfläche des Hanges dar. Seitlich zugeführtes Wasser führt zusätzlich zu Unterspülungen in der Wand. Vor den Badlands sammelt sich abfließendes Wasser in einigen tief eingeschnittenen, hangabwärts gerichteten Erosionsschluchten. Alle Erosionsrinnen und -schluchten eines Badlandareals münden unterhalb der Badlands in jeweils eine große Erosionsschlucht, die als Sammellinie des Abflusses fungiert und dem Tal der Quebrada de Piscuno zuläuft.

Die Ausbildung der Badlands auf den Hängen des Bolson von Yavi beruht auf verschiedenen Faktoren. Zu den natürlichen Faktoren zählt neben der starken Hangneigung insbesondere die geringe Resistenz der anstehenden Sedimente. Es treten überwiegend feinkörnige Sedimente in horizontaler Schichtung auf, die der Erosion nur geringen Widerstand entgegensetzen. Starkniederschläge bewirken das Losreißen und den Abtransport von Bodenpartikeln. Begünstigend wirkt auch der geringe Vegetationsdeckungsgrad. Anthropogene Faktoren beschleunigen die Ausbildung der Badlands. Sowohl die Hänge als auch die Hochfläche unterliegen einer starken Beweidung. Folgen sind Vegetationsdegradierung und Bodenverdichtung, die eine Verstärkung des Oberflächenabflusses bedingen. Ein den Hang querender, den Bolson von Yavi mit der Hochfläche verbindender nicht asphaltierter Weg beschleunigt

nigt ebenfalls die Erosionsprozesse. Oberhalb verlaufende Erosionsrinnen enden an diesem Weg. Die Fahrbahn wird hangabwärts von Schutzwällen flankiert. Durch die Erosionsrinnen zugeführtes Wasser sammelt sich an diesen Wällen und fließt hangabwärts. Beim Überschreiten einer bestimmten Wassermenge und -abflussschwindigkeit brechen die „Schutzwälle“ durch, und es bilden sich tiefe Erosionsrinnen, die von dem Weg in Richtung des Hanggefälles abknicken.

Der mittlere, 11° geneigte Hangabschnitt ist ebenfalls durch tiefe Erosionsrinnen zerschnitten, doch kommt es aufgrund des geringeren Gefälles nicht zur Badlandbildung. Der untere Abschnitt der Bolsonumrahmung wird aus einem Pediment mit 7° Neigung gebildet. Die Tiefenerosion tritt in diesem Bereich hinter der Seitenerosion zurück. Das Pediment ist durch ein weit verzweigtes Netz aus Erosionsrillen und -rinnen geringer Tiefe und Breite zerschnitten. Einige der Erosionsrinnen beginnen in den oberen Hangabschnitten, die meisten entspringen dagegen in kleinen, flachen Hohlformen auf dem Pediment selber. Einige Erosionsrinnen erreichen maximale Tiefen von 1 bis 1,5 m und enden blind auf dem Pediment, andere vereinigen sich zu größeren Erosionsrinnen. Es haben sich vier komplexe, stark verzweigte Geflechte aus Erosionsrinnen entwickelt. Innerhalb dieser Erosionsrinnen finden auch Rutschungen und Unterspülungen der Hänge statt. Im unteren Abschnitt des Pedimentes münden sämtliche Erosionsrinnen in eine große Sammellinie des Abflusses. Diese erreicht eine Breite von 3,50 m und eine Tiefe von 5 m. Das Pediment ist mit einer geringmächtigen Schuttdecke bedeckt, die stellenweise von Feinmaterial überlagert wird. Linienhaft in kleinen Steinreihen angeordneter Schutt markiert die Lage von Gerinnebetten. Das Pediment wird oberflächlich von lithischem Material bedeckt. In Aufschlüssen innerhalb des Pedimentes tritt dagegen kein lithisches Material auf, es wurde folglich aus höher gelegenen Bereichen oberflächlich eingeschwemmt.

Auch auf diesem unteren Abschnitt der Bolsonumrahmung wird die Abtragung durch ein komplexes Faktorengeflecht gesteuert. Durch die geringere Hangneigung kommt der Flächenspülung eine höhere Bedeutung zu als der linearen Erosion. Die geringe Neigung ermöglicht auch eine leichtere Beweidung, was zu einer verstärkten Bodenverdichtung und einer Reduzierung des Deckungsgrades auf unter 15 %, stellenweise auf 5 % führt. Die Vegetation zeigt sich in einem deutlichen Degradierungssta-

dium. Vorherrschend sind Erosionszeiger wie *Chuquiraga acanthophylla*. Auch treten einige Polsterpflanzen und Kakteen sowie einzelne, niedrigwüchsige Exemplare von *Prosopis ferox* auf. Viele Pflanzen zeigen durch freigelegte Wurzeln die Wirksamkeit der Flächenspülung.

4.4 Zusammenfassung: Prozesse und Formen der Erosion im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet laufen durch fließendes Wasser und durch Wind wirkende Erosionsprozesse nebeneinander ab. Beide Arten von Erosionsprozessen sind sowohl in den Flusstälern als auch auf der Hochfläche wirksam.

In den Flusstälern herrschen fluvial-lineare Erosionsprozesse vor. Das Einzugsgebiet des Río Yavi umfasst drei perennierende Flüsse: Río Casti, Río Lecho und Río Cajas. Alle anderen Täler stellen Trockentäler dar, die nur periodisch bis episodisch nach Niederschlägen als Sammellinien des Abflusses genutzt werden. Die Flüsse Río Casti und Río Cajas gliedern sich reliefbedingt in drei Abschnitte: Die Oberläufe liegen innerhalb der Sierra de Santa Victoria und zeichnen sich durch intensive Tiefenerosion aus. Beim Austritt aus dem Gebirge verringert sich das Flussgefälle, und die Tiefenerosion verliert gegenüber der Seitenerosion und Akkumulationsprozessen an Bedeutung. Die Flüsse anastomosieren auf einem breiten Schotterbett. Erst im Unterlauf schneiden sie sich wieder in ein enges Flusstal ein, die Tiefenerosion dominiert. Den beiden Flüssen werden zahlreiche Trockentäler zugeführt, in die ihrerseits zahlreiche Trockentäler niedrigerer Ordnung bzw. Erosionsrinnen münden. Das Netz der Trockentäler ist besonders engmaschig in den obersten und untersten Abschnitten der perennierenden Flüsse. Im Gegensatz zu den Flüssen Río Casti und Río Cajas entspringt der Río Lecho nicht in der Sierra de Santa Victoria, sondern auf der Hochfläche. Sein Ober- und Mittellauf wird aus einem Trockental gebildet, erst in seinem Unterlauf wandelt er sich mittels im Talboden liegender Quellen zu einem perennierenden Fluss.

Sowohl in den perennierenden als auch in den Trockentälern laufen vielfältige fluviale Erosionsprozesse ab, die in ihrer Art und ihrer Intensität variieren. In den perennierenden Flüssen Río Casti und Río Cajas führt eine konstante Tiefenerosion zu

einer stetigen Tieferlegung der Talsohle. Seitenerosion bewirkt zusätzlich die seitliche Ausweitung der Täler, auch bilden sich Prall- und Gleithänge aus. Durch Uferunterschneidungen brechen Hangpartien ab, die direkt abtransportiert werden. Die Flüsse weisen jahreszeitliche Schwankungen in der Wasserführung auf. Das Maximum liegt in der sommerlichen Regenzeit. Bei den starken, teilweise als Hochwasser abgehenden sommerlichen Abflüssen sind die Erosionsprozesse und der Materialtransport besonders intensiv. Werden bei normaler Wasserführung nur Feinmaterial und Suspensionsfracht transportiert, so unterliegen bei den stärkeren sommerlichen Abflüssen auch Kiese und Steine Transportprozessen. Die fluviale Erosion im Tal des Río Lecho ist weniger intensiv. Dieses liegt darin begründet, dass der Fluss im Gegensatz zu den Flüssen Río Casti und Río Cajas nicht in der Sierra de Santa Victoria entspringt und somit eine geringere Reliefenergie aufweist. Zudem wird der Abfluss im Río Lecho durch die dichte Vega-Vegetation abgebremst – auf den Schotterbetten der anderen beiden Flüsse sind fluviale Erosionsprozesse wirksamer.

Die Trockentäler unterliegen lediglich während periodischer bis episodischer Abflüsse fluvial-erosiven Prozessen. Sie dienen als Sammellinien des Abflusses nach lokalen Niederschlagsereignissen. Abgehendes Niederschlagswasser sammelt sich in flachen Hohlformen auf der Hochfläche oder auf Talhängen und wird über ein System von Spül- bzw. Erosionsrinnen den Trockentälern zugeführt. Die Abflüsse zeichnen sich durch eine besonders starke erosive Wirkung und einen hohen Materialtransport aus. Gerinnebetten und temporäre Inseln innerhalb der sonst trockenen Talsohlen verlagern sich oftmals vollständig. Erosions- und Akkumulationsprozesse laufen kleinräumig nebeneinander ab. Auch sind Prozesse der Seiten- und Tiefenerosion eng verflochten. Die Breite der jeweils genutzten Gerinnebetten steht in Abhängigkeit von der Stärke der abgehenden Abflüsse. Seitenerosion führt an den Talhängen zu Unterspülungen, die das Abrutschen einzelner Hangpartien zur Folge haben. Diese werden ebenso wie Schotter- und Schwemmkegel, die seitlich einmündenden Erosionsrinnen vorlagern, bei späteren Abflüssen abtransportiert. In ihren Talanfängen weisen die Trockentäler oftmals badlandartige Formen auf, durch die die Talränder am Übergang zu der Hochfläche sukzessiv nach hinten verlagert werden.

Auf der flach geneigten Hochfläche dominieren Prozesse der Flächenspülung. Es bilden sich Spülrillen und -rinnen mit geringer Transportkraft. Der Materialtransport auf der Hochfläche wird durch die Prall- und Planschwirkung des Niederschlags gestärkt und umfasst überwiegend kleine Korngrößen (bis einschließlich Sand, nur teilweise Kies). Am Übergang zu den Tälern haben sich an den Talrändern zahlreiche Erosionsrinnen unterschiedlicher Größe und Länge ausgebildet, die von den Spülrillen und -rinnen gespeist werden und in das Flussnetz münden.

Äolische Erosion wird sowohl in den Trockentälern als auch auf der Hochfläche wirksam. Auf der Hochfläche fungieren insbesondere die vegetationsarme Umgebung von Siedlungen und Bereiche mit flachen, mit Feinmaterial plombierten Wannen als Auswehungsgebiete. Als korrelierte Ablagerungen der Deflation treten Flugsanddecken, Rippeln und Sandfahnen an Hindernissen sowie Nebkas und große Dünenfelder auf. Letztere werden aus Parabeldünen zusammengesetzt, deren Öffnungen entsprechend der vorherrschenden Windrichtung nach NW zeigen.

Anthropogene Nutzungen im Untersuchungsgebiet beschleunigen Erosionsprozesse. Größte Auswirkungen haben Beweidung und Holzeinschlag. Sie führen durch Vegetationszerstörung und Bodenverdichtung zu einer Verstärkung sowohl der durch fließendes Wasser als auch der durch Wind wirkenden Erosionsprozesse.

5 Untersuchungen zu Erosionsprozessen am Fundort Yavi Chico

5.1 Lage des Fundortes Yavi Chico

Der Fundort Yavi Chico befindet sich am Unterlauf des Río Cajas. Das Flusstal verbreitert sich 2,5 km vor seiner Mündung und weist dort eine ausgesprochene Talasymmetrie auf (vgl. Abb. 13; Foto 7). Der 4° geneigte SW-Hang wird aktuell von Siedlungs- und landwirtschaftlichen Nutzflächen eingenommen. Auf seinem unteren Abschnitt befinden sich bewässerte Ackerflächen, die von Stein- und Lehmziegelmauern begrenzt werden. Oberhalb dieser Flächen liegt die aktuelle Siedlung Yavi Chico, in der 1996 234 Einwohner wohnten (mündl. Mitteilung Dulfredo Riviera, Krankenpfleger in Yavi Chico). Das Dorf erstreckt sich als Straßendorf parallel zum Fluss. Der sich oberhalb des Dorfes flach bis zur Hochfläche hochziehende Hangabschnitt wird von einer stark degradierten *Baccharis boliviensis*-Gesellschaft mit einem hohen Anteil an *Prosopis ferox* eingenommen. Er wird von wenigen, sich rasch eintiefenden Erosionsrinnen durchschnitten. Oberhalb des Dorfes befinden sich verschiedene Erosionsschutzanlagen aus aufgestapelten Zweigen von *Prosopis ferox*.

Auf der NE-Seite des Río Cajas erstreckt sich gegenüber dem Dorf Yavi Chico der ca. 8° geneigte Hang vom Yavi Chico. Er befindet sich zwischen einem rückwärtigen, zur Hochfläche führenden, bis zu 65 m hohen Steilhang und einem unteren, zum aktuellen Talboden des Río Cajas führenden und bis zu 30 m hohen Steilhang (vgl. Abb. 13; Foto 19). Der rückwärtige Steilhang wird aus horizontal geschichteten Sedimenten aufgebaut und geht in seinem oberen Abschnitt in eine nahezu senkrechte Wand über. Der liegende Abschnitt besteht aus hellbraunen, grobkörnigen Sedimenten des Pliozäns. Das Hangende wird aus pleistozänen, geringresistenten Sedimenten mit hohem Tonanteil und heller Farbe aufgebaut (mündl. Mitteilung Dipl.-Geol. Julio Kulemeyer). Der Steilhang ist in zahlreiche Rachen aufgelöst, die ihn sukzessiv zurückverlegen. Am Fuß dieses Steilhanges befinden sich mehrere mächtige Schuttfächer, in die torfartige Sedimente limnischer Genese zwischengelagert sind. Durch seitliches Übergreifen sind die Schuttfächer miteinander verzahnt und bilden zusammen den sich in Richtung des Río Cajas abdachenden Hang von Yavi Chico (mündl. Mitteilung Dipl.-Geol. Julio Kulemeyer).

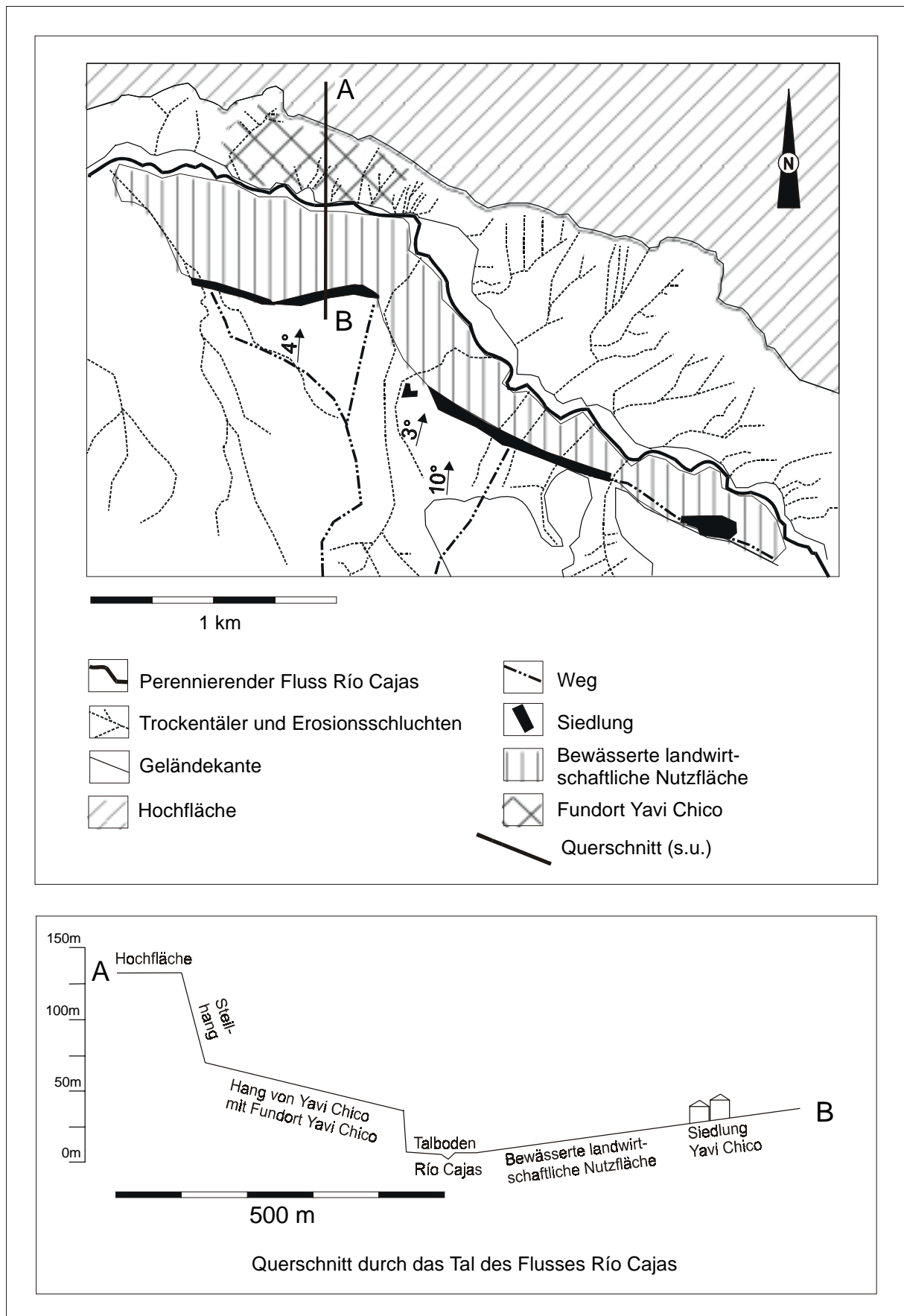


Abb. 13: Fundort Yavi Chico und Umgebung

Quelle: Entwurf H. Kiegel n. Luftbildern des Instituto Geográfico Militar, Ejército Argentino: 3A-101-149-86-671; 3A-101-150-86-671; 3A-102-211-86-671; 3A-102-212-86-671

In seinem unteren Abschnitt wird dieser Hang vom Talboden des Río Cajas durch einen zweiten, stellenweise in Runsen aufgelösten Steilhang getrennt (Foto 20). Dieser erhebt sich im Westen nur wenige Meter oberhalb des Talbodens, im mittleren Abschnitt reicht er über 30 m hoch, und im Osten fällt er auf ca. 20 m ab.

Dem Hang von Yavi Chico sind am Übergang zum rückwärtigen Steilhang bis zu 20 m hohe Schuttkegel jüngerer Datums aufgesetzt. Die Schuttkegel werden nur vereinzelt von Sträuchern und Gras bedeckt. Der Hang wird von einer degradierten *Baccharis-boliviensis*-Gesellschaft mit einem Deckungsgrad von 30 % eingenommen. Einziges Zeichen aktueller permanenter Nutzung ist ein auf dem westlichen Abschnitt des Hanges befindliches Gebäude mit einer eingezäunten Weidefläche. Der gesamte Hang von Yavi Chico wird von mehreren, bis zu 25 m tiefen Erosionsschluchten durchschnitten (Fotos 19 bis 22). Diese beginnen auf dem Hang selber oder an den Flanken der aufgesetzten Schuttkegel, wo sie sich rückschreitend in den Steilhang einschneiden. Durch Unterschneiden des Steilhanges brechen Sedimentpakete ab. Auf dem westlichen Abschnitt des Hanges wurden Reste eines Bodens gefunden, der aus einem B- und einem Ah-Horizont jeweils geringer Mächtigkeit aufgebaut wird. Die Bodenbildung erfolgte auf einem kompakten Sedimentpaket, das aus dem rückwärtigen Steilhang herausgebrochen und auf dem Hang ungestört zur Ablagerung gekommen war. Die Bodenentwicklung belegt, dass das Abbrechen dieses Sedimentpaketes zeitlich weit zurückliegt. Rückschreitende Erosion und das Unterschneiden des Steilhanges sind demnach schon lange andauernde Prozesse und haben bereits vor der prähispanischen Besiedlungsphase eingesetzt.

Der Fundort Yavi Chico befindet sich auf diesem Hang auf ca. 3.400 m ü. M., 500 m oberhalb der Einmündung des Río Cajas in den Río Yavi. Abbildung 14 zeigt den im Bereich des Fundortes Yavi Chico befindlichen Abschnitt dieses Hanges und die dort auftretenden Erosionsschluchten.

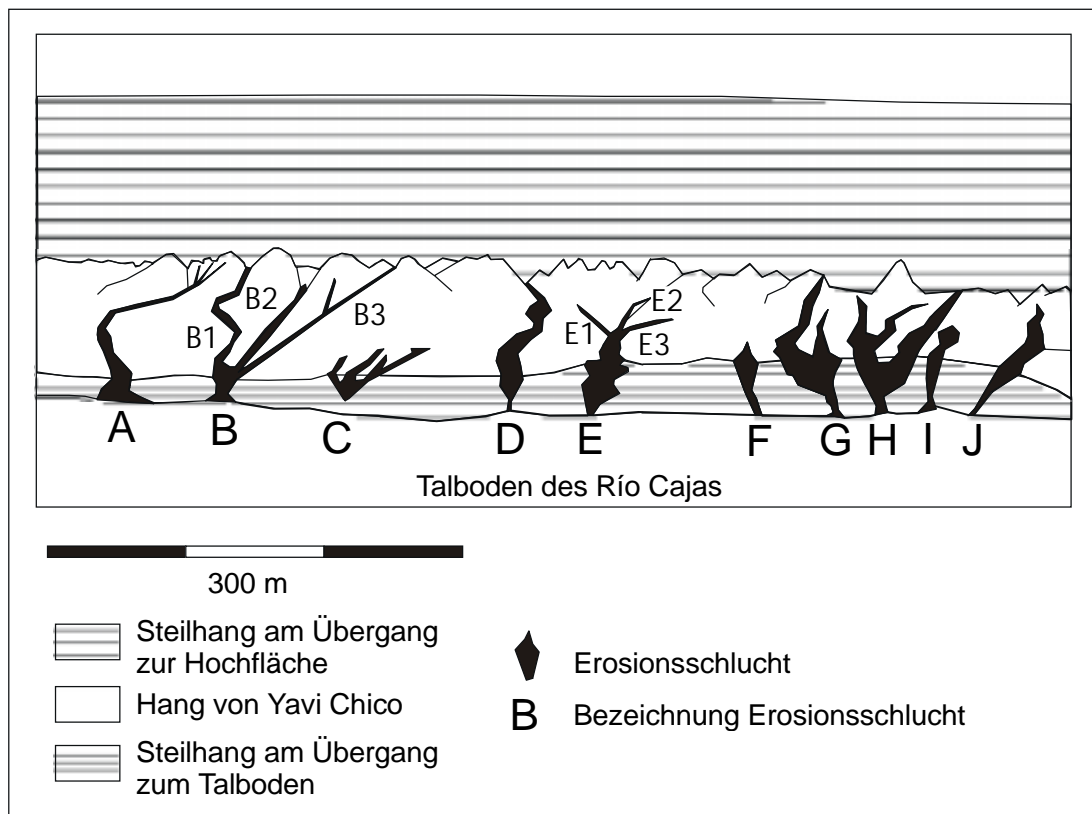


Abb. 14: Hang von Yavi Chico, mit Bezeichnungen der Erosionsschluchten (vgl. Foto 19)
Quelle: Entwurf H. Kiegel

5.2 Die Kultur Yavi und der Fundort Yavi Chico

Der Fundort Yavi Chico ist der Kultur Yavi zuzuordnen, die in die späte Phase prä-hispanischer Ackerbaukulturen („Período Tardío“) in der östlichen Puna von Jujuy fiel (vgl. Kap. 3.2.1.1). Als Landnutzung dominierte der Bewässerungsfeldbau auf künstlich angelegten Terrassen. Er wurde durch Viehwirtschaft mit Lamas und durch Jagd ergänzt. Die Töpferei war ausgeprägt, die Metallverarbeitung spielte dagegen eine nur untergeordnete Rolle. Der Fundort Yavi Chico wurde insbesondere von KRAPOVICKAS untersucht (KRAPOVICKAS 1965; 1968; 1973; 1975; KRAPOVICKAS & ALEKSANDROWICZ 1986/87). Darauf aufbauend führte die „Grupo Yavi de Investigaciones Científicas“ in den Monaten Juni und Juli 1996 parallel zu den Geländearbeiten der Verfasserin weitere Ausgrabungen durch. C14-Altersdatierungen ergaben einen Besiedlungszeitraum von mindestens 1.020 +/- 30 BP (KRAPOVICKAS & ALEKSADRWOWICZ 1986/87, 87) bis 528 +/- 24 BP (mündl. Mitteilung Dr. Jorge Kulemeyer, Ergebnis der Geländearbeiten 1996).

Der Fundort Yavi Chico nimmt den Hang von Yavi Chico auf einer Breite von ca. 1 km vollständig ein. Er bedeckt eine Fläche von ca. 18 ha. Die ursprünglich genutzte Fläche war größer, wurde aber durch Seitenerosion des Río Cajas verkleinert. Der Fundort umfasst eine Siedlung und landwirtschaftliche Nutzflächen. Er ist durch mehrere Terrassen künstlich nivelliert worden. Auf den oberen Terrassen finden sich Gebäudereste, die Terrassen auf dem etwas flacher geneigten unteren Abschnitt dienten dem Ackerbau. Auf den dem rückwärtigen Steilhang vorgelagerten Schuttkegeln finden sich Mauern mit reiner Schutzfunktion – sie sind heute mit weiterem Schutt bedeckt (KRAPOVICKAS 1973, 16).

Die Gebäude auf dem oberen Abschnitt haben rechteckige Grundrisse und setzen sich oftmals aus mehreren Räumen unterschiedlicher Größe zusammen. Die Gebäudemauern bestehen überwiegend aus kleinen, mit Mörtel zusammengefügt Stein, denen mehrere Reihen Lehmziegel aufgesetzt sind. Diese Zweiteilung von Mauern findet man nicht nur in zahlreichen archäologischen Fundorten, sondern auch in vielen heutigen Gebäuden der Puna wieder.

Die Ackerbauterrassen des unteren Abschnittes werden durch Steinwälle begrenzt, die sich zum Teil über die gesamte Breite des Fundortes hinziehen. Die Terrassenwälle weisen Abstände von bis zu 16 m voneinander auf. Sie dienten der Stabilisierung der Terrassenflächen und als Schutz vor Sedimentbedeckung. Oftmals finden sich unterhalb der Terrassenwälle künstlich angelegte Abfalldeponien mit hohen Ascheanteilen. An vielen Stellen des Fundortes wird ein geringmächtiges Holzkohlenband aufgeschlossen. Es wird als das Resultat eines absichtlich gelegten großflächigen Brandes interpretiert. Auch heute noch werden in der Puna Brände zur Verbesserung der Weidequalität gelegt.

Eine militärische Schutzfunktion hatte die Siedlung nicht inne. Ein von dem Fundort über den Steilhang führender Weg ermöglichte den Zugang zur Hochfläche, wo sich ein Beobachtungs- und Schutzposten befand (KRAPOVICKAS 1973, 14). Die vorliegenden C14-Datierungen lassen darauf schließen, dass die Siedlung bei Ankunft der Spanier sehr wahrscheinlich bereits aufgegeben worden war.

5.3 Rezente Erosionsprozesse am Fundort Yavi Chico

Auf dem Hang von Yavi Chico laufen rezente Erosionsprozesse flächenhafter und linienhafter Art parallel nebeneinander ab. Die geringe Neigung des Hanges begünstigt flächenhafte Abtragung durch Flächenspülung. Gleichzeitig kommen starke lineare Erosionsprozesse zum Tragen, als deren Folge sich mehrere tiefe Erosionsschluchten ausgebildet haben, die den Hang seitlich aufzehren.

5.3.1 Lineare Erosion

Der Hang von Yavi Chico wird durch zahlreiche tiefe Erosionsschluchten durchschnitten (Abb. 19, Fotos 19 bis 22). Diese setzen sich in ihren oberen Abschnitten aus mehreren Erosionsrinnen geringer Breite zusammen, die sich rasch tief einschneiden. Nach Niederschlagsereignissen finden in den Schluchten starke Erosionsprozesse statt. Ein Großteil des auf dem Hang abfließenden Oberflächenwassers sammelt sich in den Erosionsschluchten und legt diese sukzessiv tiefer. Das die Hänge herabfließende Wasser bildet einzelne Runsen und verursacht Rutschungen. In den Erosionsschluchten bilden sich Schwemm- und Schotterkegeln sowie Terrassen. Im Bereich dieser Vollformen kommt es durch die Einengung der Gerinnebetten zu einer Verstärkung linearer Erosion und damit zu einer Tieferlegung der Gerinnebetten. Lineare Erosion führt auch zum lateralen Unterschneiden der Hänge. In Kap. 5.4 wird am Beispiel der Erosionsschlucht D ausführlich auf die Physiognomie und die morphodynamischen Prozesse in einer dieser Erosionsschluchten eingegangen.

In den oberen Abschnitten weiten sich die Erosionsschluchten durch rückschreitende Erosion weiter aus. An einigen Stellen – so an einer der Erosionsschlucht E3 zulaufenden Erosionsrinne – wird dieser rückschreitenden Erosion durch künstlich angelegte Terrassenwälle Einhalt geboten. Archäologische Strukturen können demnach zur Modifikation von Erosionsprozessen beitragen.

Die Zerschneidung des Hanges durch Erosionsschluchten ist im östlichen Abschnitt des Fundortes wesentlich stärker als im Westen. Ein Geflecht mehrerer sich verzweigender Erosionsschluchten (Erosionsschluchten G bis J, vgl. Abb. 14) hat in diesem Abschnitt nur wenige unzerschnittene Flächenreste erhalten. Der Hang nimmt

hier eine geringere Länge als weiter westlich ein – der Steilhang am Übergang zum Talboden des Río Cajas ist jedoch wesentlich höher als im Westen. Die archäologischen Mauerstrukturen sind weit reichend zerstört, und zahlreiche archäologische Funde treten in diesem Abschnitt an der Oberfläche auf. Im mittleren und westlichen Abschnitt des Fundortes ist die Zerstörung dagegen geringer ausgeprägt, zwischen den Erosionsschluchten sind größere Flächenreste erhalten geblieben. Der Hang ist länger als weiter östlich und zieht sich tiefer zum Talboden des Río Cajas herab.

Die westlichste Erosionsschlucht A ist in ihrem Mündungsbereich im Vergleich zu den östlichen Erosionsschluchten breiter und wird aufgrund ihres einfachen Aufstieges auch als Weg auf die Hochfläche benutzt. Sie ist bei ihrer Mündung in den Río Cajas mit ca. 5,50 m verhältnismäßig breit, ihre Hänge erreichen im Mündungsbereich Höhen von lediglich 1,20 m. Vor der Mündung hat sich auf dem Talboden des Río Cajas ein breiter Schotterfächer mit bis zu 1,60 m Mächtigkeit abgelagert. Während in den meisten Erosionsschluchten im unteren Abschnitt lineare Tiefenerosion dominiert, überwiegt in Erosionsschlucht A die Seitenerosion. Ursache dafür ist die geringe Höhendifferenz zwischen dem Hang und dem aktuellen Talboden des Río Cajas und die daraus resultierende geringe Reliefenergie.

Die Erosionsschluchten zerschneiden den zwischen dem Hang von Yavi Chico und dem Talboden liegenden Steilhang oftmals bis auf das Niveau des aktuellen Talbodens des Flusses (vgl. Foto 19, Abb. 14). Einige Erosionsschluchten enden hängentalartig wenige Meter oberhalb des Talbodens (Erosionsschlucht C). Das Ausmaß rezenter Erosionsprozesse an diesem Steilhang deutet ein verschüttetes Gebäude westlich der Erosionsschlucht A an. Es befindet sich unmittelbar oberhalb des Steilhanges (vgl. Abb. 15). Die Gebäudemauern sind bis zu einer Höhe von über 60 cm freigelegt. Quer zum Hanggefälle befindet sich mit einer Länge von 9 m die obere Mauer des Gebäudes, von der die beiden auf 1,40 m bzw. 1,80 m Länge erhaltenen Seitenmauern rechtwinklig abgehen. Die vierte, untere Mauer lag auf einem Abschnitt des Hanges, der heute durch die Zurücklegung des Steilhanges vollständig abgetragen worden ist. Die unmittelbare Nähe der Gebäudereste zu dem Steilhang lässt darauf schließen, dass dieser zur Zeit der Anlage des Gebäudes in einer anderen Position lag und erst in jüngerer Zeit seine heutige Lage eingenommen hat.

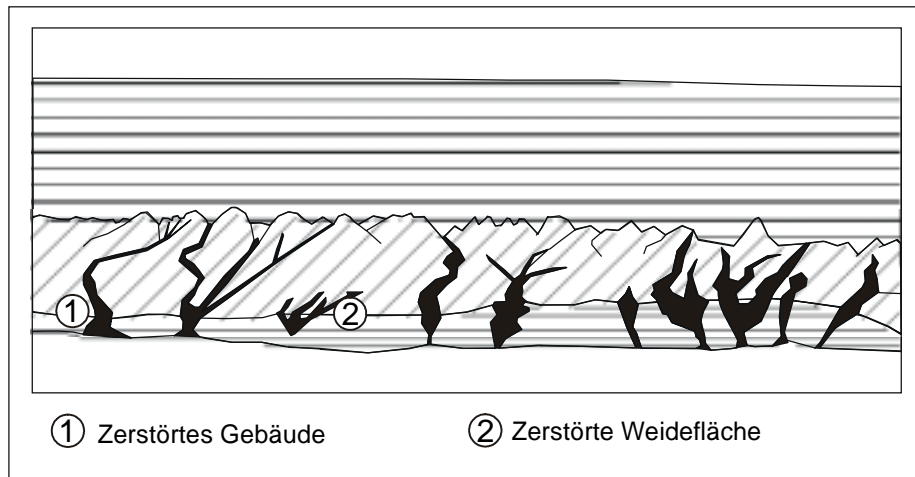


Abb. 15: Lage von zerstörtem Gebäude und zerstörter Weidefläche, Hang von Yavi Chico
 Quelle: Entwurf H. Kiegel

Ein weiterer Beleg für die junge Rückverlegung des Steilhanges findet sich zwischen den Erosionsschluchten C und D (vgl. Abb. 15). Unmittelbar oberhalb des Steilhanges liegt auf dem Hang eine bis zu 30 cm mächtige gräulich-weißliche Schicht, die aus Tier-Exkrementen aufgebaut ist. Die Fläche wird von Mauerresten flankiert, ist 20 m breit und reicht heute 33 m weit den Hang hinauf. Es handelt sich um eine während längerer Zeit genutzte große Weidefläche, wie sie oftmals in der Puna auftritt. Sie wurde erst vor kurzem aufgegeben, wie die Lage der Exkrementenschicht an der unmittelbaren Geländeoberfläche belegen. Die untere Mauer ist nicht mehr vorhanden, sie wurde durch die Rückverlegung des Steilhanges zerstört. Diese Verlegung des Steilhanges in seine heutige Position erfolgte somit erst nach Aufgabe der Weidefläche und ist jüngeren Datums.

5.3.2 Flächenhafte Abtragung durch Flächenspülung

Auf den flach geneigten Abschnitten zwischen den Erosionsschluchten fließt nach Niederschlägen Oberflächenwasser in flachen Spülrinnen und -rillen ab. Feine Linien aus Sand und Kies zeigen die Transportleistung in diesen Spülrinnen und -rillen an. Seitliche Verlagerungen der Spülrinnen und -rillen führen in der Summe zu einer flächenhaften Abtragung. Die Hauptrichtung der Flächenspülung orientiert sich an der Neigung des Hanges in Richtung des Talbodens des Río Cajas. In der Nähe von Erosionsschluchten ist die Flächenspülung jedoch in deren Richtung wirksam, und es

erfolgt ein Übergang zu linearer Erosion. Im Bereich des Fundortes Yavi Chico wird der flächenhafte Oberflächenabfluss durch Terrassenwälle und Mauern gestört und geht auch dort in lineare Erosion über. Die fortschreitende lineare Zerschneidung des Hanges führt zur Verkleinerung der flachgeneigten, Flächenspülungsprozessen ausgesetzten Abschnitten auf dem Hang.

Abbildung 17 gibt die Vegetationsverteilung und das Auftreten archäologischer Funde auf einem solchen, weitgehend unzerschnittenen Abschnitt wieder. Die erfasste Fläche liegt zwischen den Erosionsschluchten B2 und B3 (vgl. Abb. 16) innerhalb des durch Ackerbauterrassen eingenommenen Bereiches (Foto 23).

Es dominieren Sträucher von *Baccharis boliviensis* mit Wuchshöhen von bis zu 50 cm. Stellenweise treten Gräser und Kakteen auf. Die Sträucher stehen überwiegend in Gruppen zusammen. Zwischen den Sträuchergruppen erstreckt sich ein Geflecht aus Spülrinnen und -rillen geringer Tiefe. In diesen in Linien abgelagerte kleine Schotter zeigen die teilweise hohe Transportkraft der Gerinne an. In den Gerinnebetten sind auch Keramikscherben abgelagert. Auf der Aufnahme­fläche finden sich Reste verschiedener Mauern und Terrassenwällen. Obwohl vor den Terrassenwällen akkumuliertes Material die ursprüngliche Terrassenstufe verflacht hat, beträgt der Höhenunterschied heute oftmals noch über einen Meter (Foto 24).

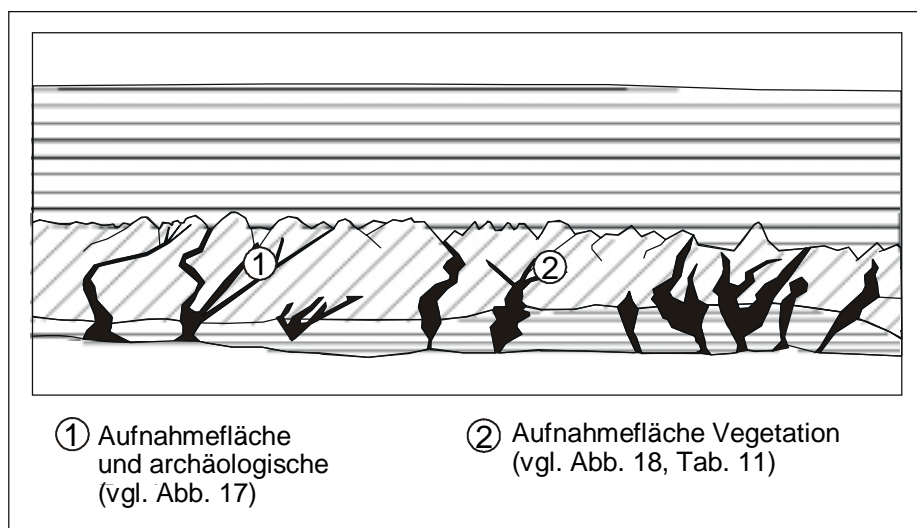


Abb. 16: Lage der Aufnahme­flächen von Vegetation und archäologischen Funden, Fundort Yavi Chico
Quelle: Entwurf H. Kiegel

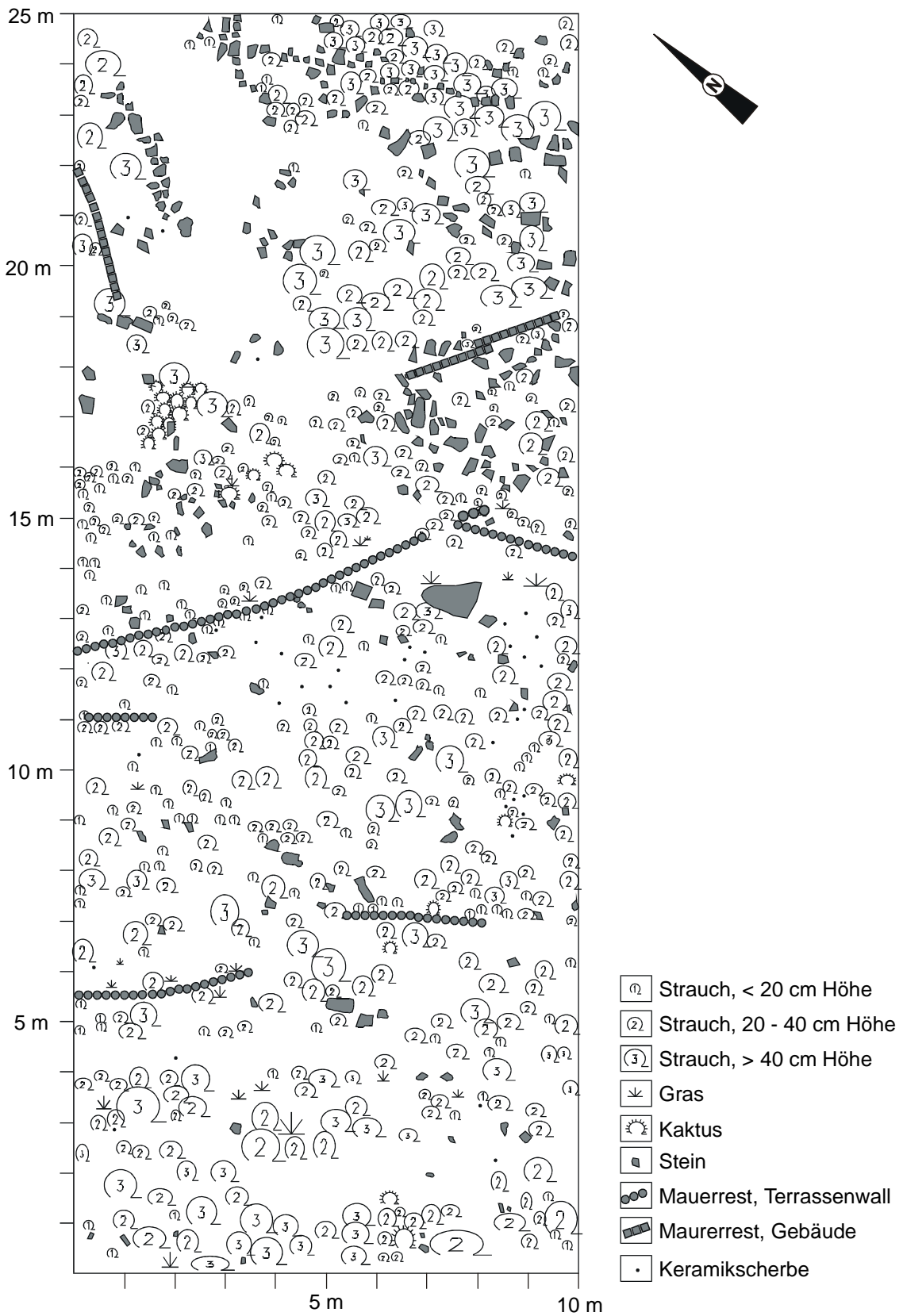


Abb. 17: Vegetation und archäologische Funde am Fundort Yavi Chico
 Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel

5.3.3 Vegetation und rezente Erosionsprozesse

Wichtiger Faktor für die Stärke von Erosionsprozessen in einem Geländeabschnitt ist der jeweilige Deckungsgrad der Vegetation. Gleichzeitig reduzieren erosive Prozesse diesen Deckungsgrad. Die kleinräumigen, erosionsbedingten Schwankungen des Deckungsgrades wurden in einer den Hang von W nach E querenden Aufnahme­fläche kartiert (vgl. Abb. 16 u. 18, Tab. 11, Foto 25). Der Hang ist hier 8° geneigt. Die Aufnahme­fläche ist 28 m lang, 4 m breit und in 7 Flächen von jeweils 4 m x 4 m unterteilt. In ihrem mittleren Abschnitt schneidet sie eine kleine Erosionsschlucht am Zusammenfluss der Erosionsschluchten E2 und E3.

Die Deckungsgrade nehmen von den äußeren, auf unzerschnittenen Abschnitten liegenden Aufnahme­flächen zu den innerhalb der Erosionsschlucht liegenden Aufnahme­flächen von 35 % auf 15 % ab. Neben der dominierenden Art *Baccharis boliviensis* treten vereinzelt krautige Pflanzen, Gräser und Kakteen mit niedrigen Deckungsgraden auf. In den äußeren Abschnitten finden sich bis 1,5 m hohe Exemplare des Baumes *Prosopis ferox*.

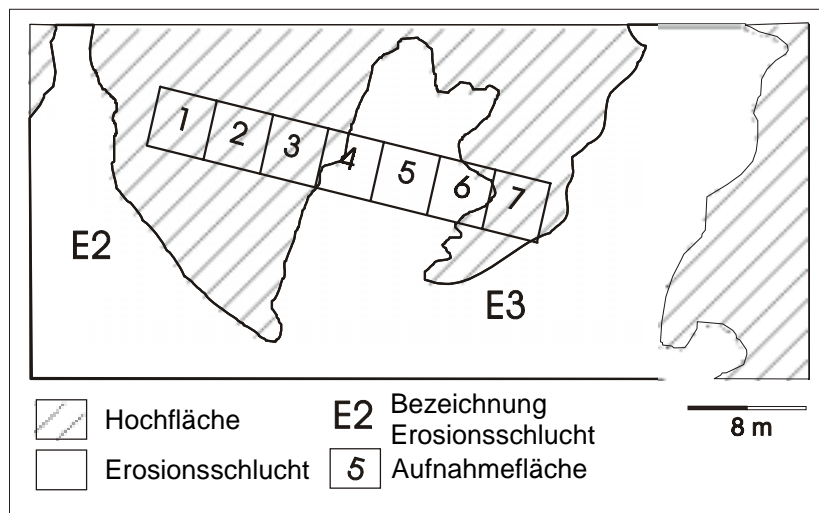


Abb. 18: Vegetationsaufnahme am Fundort Yavi Chico, Lage der Aufnahme­flächen
Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel

Flächen-Nummer	1	2	3	4	5	6	7
Deckungsgrad insgesamt	35 %	30 %	20 %	15 %	15 %	20 %	35 %
Artenzahl insgesamt	4	7	4	8	5	6	5
<i>Baccharis boliviensis</i>							
- Deckungsgrad	30 %	30 %	20 %	10 %	15 %	20 %	30 %
- Individuenzahl	46	48	23	9	10	12	25
<i>Prosopis ferox</i>							
- Deckungsgrad	15 %	< 5 %	/	< 5 %	/	/	15 %
- Individuenzahl	1	2	/	1	/	/	1
Sträucher (außer <i>Baccharis boliviensis</i>)							
- Deckungsgrad	/	/	< 5 %	5 – 10 %	/	/	/
- Individuenzahl	/	/	1	1	/	/	/
- Artenzahl	/	/	1	1	/	/	/
Krautige Pflanzen							
- Deckungsgrad	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %	< 5 %	5 %
- Individuenzahl	11	4	1	7	1	2	1
- Artenzahl	2	3	1	3	1	2	1
Gräser							
- Deckungsgrad	/	< 5 %	/	< 5 %	< 5 %	5 – 10 %	< 5 %
- Individuenzahl	/	10	/	9	12	22	1
- Artenzahl	/	1	/	2	3	2	1
Kakteen							
- Deckungsgrad	/	< 5 %	< 5 %	/	/	< 5 %	5 %
- Individuenzahl	/	1	1	/	/	1	1
- Artenzahl	/	1	1	/	/	1	1

(Aufnahmedatum: 12. Februar 1996)

(/ = nicht vorhanden)

Tab. 11: Vegetationsaufnahme Yavi Chico: Deckungsgrade, Artenzahlen und Individuenzahlen (Aufnahmeflächen jeweils 4 x 4 m)

Quelle: Erhebung H. Kiegel

Die in Relation zum Deckungsgrad auffallend hohen Individuenzahlen von *Baccharis boliviensis* in den Aufnahmeflächen 1 und 2 erklären sich aus einer großen Anzahl kleinerer Exemplare. Die Aufnahmeflächen 3 und 7 grenzen unmittelbar an die Erosionsschlucht – abgehendes Niederschlagswasser wird über diese Bereiche der Erosionsschlucht zugeführt und damit ein Aufkommen junger Pflanzen unterbunden. Mit zunehmender Entfernung von der Erosionsschlucht nimmt der Anteil krautiger, also niedrig wachsender und fluvialer Erosion gegenüber gering resistenten Pflanzen zu. Der Anteil an Gräsern ist dagegen innerhalb der Erosionsschlucht höher.

Auf Abschnitten mit starken Erosionsprozessen können sich demnach niedrigwüchsige und junge Pflanzen weniger gut behaupten als auf solchen, die schwächeren Erosionsprozessen unterliegen. Dieses hat sowohl Einfluss auf die Vegetationszusammensetzung als auch auf ihren Fortbestand. Innerhalb der Erosionsschluchten

kann sich nur auf Terrassen eine höherwüchsige Vegetation entwickeln – dort haben sich Sträucher mit tiefen Pfahlwurzeln angesiedelt.

5.4 Rezente Erosions- und Akkumulationsformen in der Erosionsschlucht D und ihre korrelierten Erosionsprozesse

Die Erosionsschlucht D quert den gesamten Hang von Yavi Chico vom rückwärtigen Steilhang bis zum Steilhang am Übergang zum Talboden des Río Cajas (Abb. 19, Fotos 20 u. 22). Sie setzt sich in ihrem oberen Abschnitt aus zwei Erosionsrinnen zusammen, die einen dem Steilhang vorgelagerten Schuttkegel umschließen und sich in den Steilhang rückschreitend einschneiden. Diese Erosionsrinnen haben fast senkrechte Hänge und erreichen maximale Breiten von 3 m. Unterhalb des ca. 40 m breiten und ca. 20 m hohen Schuttkegels vereinigen sich die beiden Erosionsrinnen zu dem 4,5 m breiten Tal der Erosionsschlucht. In ihrem weiteren Verlauf hat die Erosionsschlucht eine mäanderartige Ausprägung, in der sich steile und flachen Partien gegenüberliegen. Den Prallhängen sind oftmals als Folge von Unterschneidungen und Rutschungen Sedimentpakete vorgelagert. Seitlich zufließendes Oberflächenwasser bildet kleine Runsen auf den Hängen der Erosionsschlucht. Kanalisiert sich das Oberflächenwasser bereits außerhalb der Erosionsschlucht, wird es in flachen Erosionsrinnen der Erosionsschlucht zugeführt. Innerhalb der Erosionsschlucht liegt das eigentliche Gerinnebett, d.h. der Bereich, der beim letzten Abflussereignis genutzt wurde. Durch Vollformen auf dem Boden variiert die Breite dieses Gerinnebettes erheblich. So verschmälert es sich an einem durch eine Rutschung abgelagerten Sedimentpaket in Höhe des Profils YCH1 von 3 m auf 1,40 m. Vor einmündenden Erosionsrinnen bilden sich kleine Schotter- bzw. Schwemmkegel aus. Im mittleren Abschnitt der Erosionsschlucht finden sich mehrere solcher Schotter- und Schwemmkegel mit bis zu 3 m Breite und 5 m Länge. Sie setzen stellenweise auf Terrassen auf und führen zu einer weiteren Relieferhöhung innerhalb der Erosionsschlucht. Die Erosionsschlucht nimmt in diesem mittleren Abschnitt eine Breite von 8,50 m ein. Die aktuelle Abflusslinie der Erosionsschlucht wird auf einer Länge von 15 m von einer 1,20 m hohen und 6 m breiten Terrasse begleitet. Die Erosionsschlucht macht an dieser Stelle eine kleine Windung, die Terrasse liegt auf dem Gleithang. Sie entstand im Zusammenhang mit besonders starken Abflüssen in der Erosionsschlucht, die eine verstärkte Tiefenerosion und eine starke Seitenerosion

auf der Prallhangseite zur Folge hatten. Auf der gegenüberliegenden Gleithangseite kamen dagegen nur schwache Erosionsprozesse zur Wirkung, so dass sich eine Erosionsterrasse ausbilden konnte. Der Terrasse aufgesetzt ist ein Schwemmkegel mit einem Durchmesser von fast 4 m. Das Einengen des Gerinnebettes durch Vollformen auf dem Boden der Erosionsschlucht hat eine Verstärkung der Tiefenerosion zur Folge. Die Vollformen unterliegen durch Seitenerosion ebenfalls Abtragungsprozessen. Diese reichen von seitlichem Anschneiden bis zu vollständigem Materialabtransport.

Die Erosionsschlucht verbreitert und vertieft sich in ihrem Verlauf zunehmend. Das eigentliche Gerinnebett erreicht dabei selten Breiten von über 3 m. Der Mündungsbereich in den Talboden des Río Cajas nimmt eine Breite von 14 m ein und wird durch mehrere hohe Riedel innerhalb der Erosionsschlucht gegliedert (Foto 20). Das eigentliche Gerinnebett hat dagegen eine Breite von 50 cm. Der Mündung ist ein 12 m breiter und 36 m langer Schotterfächer vorgelagert, in dessen Zentrum sich in einem 50 cm breiten und bis zu 1 m tiefen kastenförmigen Tälchen das aktuelle Gerinnebett eingeschnitten hat. An seiner 2,40 m hohen Stirn wird der Schotterfächer von dem Río Cajas angeschnitten. An der Mündung des den Schotterfächer schneidenden aktuellen Gerinnebettes befand sich während der Geländearbeiten (August 1996) ein nur wenige Dezimeter hoher temporärer Schwemmfächer mit ca. 1 m Breite, der beim nächsten stärkeren Abflussereignis des Río Cajas abtransportiert worden sein dürfte.

Die Hänge der Erosionsschlucht D schließen mächtige Sedimente anthropogener und natürlicher Genese auf. Die den archäologischen Funden aufliegenden Akkumulationen nehmen hangabwärts an Mächtigkeit zu. Dort verwischt sich zunehmend die künstliche Terrassierung des Hanges, so dass oftmals nur noch flachwellige Hangverflachungen erkennbar sind. Im oberen Abschnitt ist die Sedimentbedeckung auf den archäologischen Funden dagegen geringmächtiger. Die Verzahnung von Erosions- und Akkumulationsprozessen wurden an einigen Profilen näher untersucht. Die Erosionsschlucht D erschien zu diesem Zweck besonders geeignet, da sie einerseits durch einen Bereich vielfältiger archäologischer Funde verläuft, andererseits aufgrund ihrer Dimensionen weite Teile des Hanges in die Tiefe aufschließt.

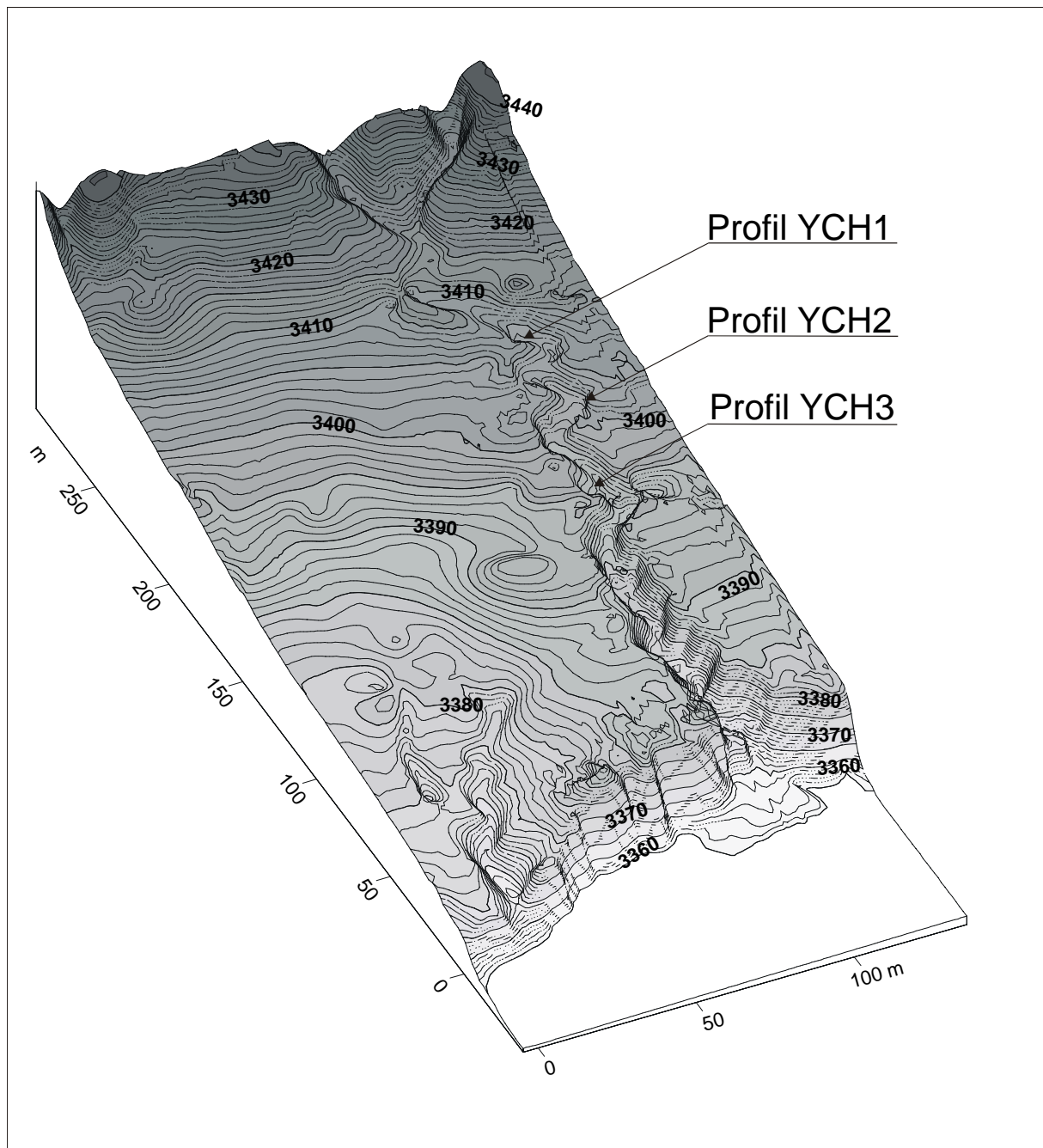


Abb. 19: Erosionsschlucht D und Lage der Profile YCH1, YCH2 und YCH3, Hang von Yavi Chico
 Quelle: Geodätische Erhebung H. Kiegel und J. Meyer

5.5 Stratigraphische Untersuchungen in den Hängen der Erosionsschlucht D und Rückschlüsse auf historische Erosionsprozesse

Im Folgenden werden mehrere Profile in den Hängen der Erosionsschlucht D vorgestellt und darauf aufbauend Rückschlüsse auf die korrelierten Erosionsprozesse und ihre anthropogenen Beeinflussungen gezogen. Dabei spielt die Existenz von in situ abgelagerten sowie transportierten archäologischen Resten eine wichtige Rolle. Zu diesen zählen zum einen Hausmauer- und Terrassenwallreste, zum anderen Keramikscherben, Pfeilspitzen und Abschlüge sowie Knochenreste autochthoner Tierarten (insbesondere Lama). Im Bereich des Fundortes Yavi Chico finden sich auch viele Holzkohlereste, deren Genese auf das Abbrennen von Holz zum Kochen oder zur Keramikherstellung zurückgeht. Auch beim absichtlichen Abbrennen der Strauchsteppe entstand Holzkohle (vgl. Kap. 3.2.1.1 und 3.2.2.1). Ebenso fiel beim Abbrennen von mit Ästen abgestützten Dächern Holzkohle an. Holzkohlestücke können aber auch durch natürliche Feuer entstanden sein. Die am Fundort Yavi Chico gefundenen Holzkohlestücke werden – unter Außerachtlassung möglicher rein natürlicher Ursachen wie das Abbrennen der Strauchsteppe nach Blitzeinschlag – als Zeugen menschlicher Aktivitäten angesehen und in diesem Zusammenhang auch zur Altersdatierung herangezogen.

5.5.1 Profile YCH1a und YCH1b in Erosionsschlucht D

Die beiden Profile YCH1a und YCH1b befinden sich im mittleren Abschnitt der Erosionsschlucht D auf deren NW-Hang (Foto 22). Die Erosionsschlucht weicht in Höhe der Profile von ihrem NE-SW-Verlauf ab und biegt in SE-Richtung ab. Dadurch werden an dieser Stelle Sedimente sowohl parallel als auch quer zur Hangneigungsrichtung aufgeschlossen. Die Profile YCH1a und YCH1b befinden sich in 3.410 m ü. M., die allgemeine Hangneigung beträgt hier 11°, und der Deckungsgrad der Vegetation liegt bei 30 %. Der Bereich unterliegt heute einer extensiven Beweidung, in prähispanischer Zeit lag er innerhalb der Siedlungsfläche. Die Profile stehen im Zusammenhang mit den Resten eines Gebäudes (Gebäude R1) aus prähispanischer Zeit. Profil YCH1a wurde in Sedimenten innerhalb des Gebäudes angelegt, YCH1b außerhalb. Dadurch kann ein Vergleich von Sedimenten gezogen werden, deren Ablagerung direkt durch Hindernisse wie Mauern beeinflusst wurde, und solchen, bei

denen dieser Einfluss nicht gegeben war. In den oberhalb der Mauern befindlichen Abschnitten der beiden Profile fand dagegen eine gleichartige Sedimentation statt. Nach Abschluss der sedimentologischen Untersuchungen wurde das Gebäude R1 von der „Grupo Yavi de Investigaciones Científicas“ archäologisch untersucht.

5.5.1.1 Gebäude R1 und Lage der Profile YCH1a und YCH1b

Das Gebäudereste befinden sich auf einer künstlich angelegten Terrasse innerhalb des Siedlungsbereiches des Fundortes von Yavi Chico. Der Grundriss ist rechteckig, die komplett erhaltene untere Mauer (Mauer A´) verläuft in NW-SE-Richtung und weist innen eine Breite von 2,40 m auf (vgl. Abb. 20). An ihrer NW-Ecke setzt im rechten Winkel Mauer B´ an. Im Zuge der archäologischen Aufnahmen wurde sie an ihrer Basis auf einer Breite von 3,00 m freigelegt, im oberen Abschnitt ist sie auf einer Breite von 2,50 m erhalten (vgl. Abb. 21). Die ihr gegenüberliegende Mauer D´ ist nur an der SE-Ecke von Mauer A´ auf einer Länge von 35 cm erhalten. Von Mauer C´ wurden keine Reste gefunden, ihre vermutete Position liegt innerhalb des aktuellen Verlaufs der Erosionsschlucht D. Die Zerstörung von Mauer C´ erfolgte erst nach vollständiger Sedimentation innerhalb des Gebäudes, da anderenfalls der Sedimentationscharakter von YCH1a und YCH1b nicht so unterschiedlich wäre. Bei einer Länge von mindestens 3,00 m und einer Breite von 2,40 m handelt es sich um ein in Richtung des Hanggefälles gestrecktes Gebäude.

Die Mauern sind 180 cm hoch und werden im unteren, ca. 65 cm hohen Abschnitt aus Steinen, im oberen aus Lehmziegeln (Adobe) aufgebaut. Die kantengerundeten, teilweise bearbeiteten Steine des unteren Abschnittes sind in zwei nebeneinander liegenden Reihen aufeinander gestapelt und mit Füllmaterial verbunden. Der untere Mauerabschnitt war von innen verputzt. Die Oberkante dieses Abschnittes besteht aus einer Linie länglicher, bis zu 18 cm langer und 4 cm dicker, größtenteils bearbeiteter Steine. Sie bilden die horizontale Basis für die ihr aufliegenden Lehmziegeln, die in 10 Reihen den ca. 115 cm hohen oberen Abschnitt der Mauern bilden.

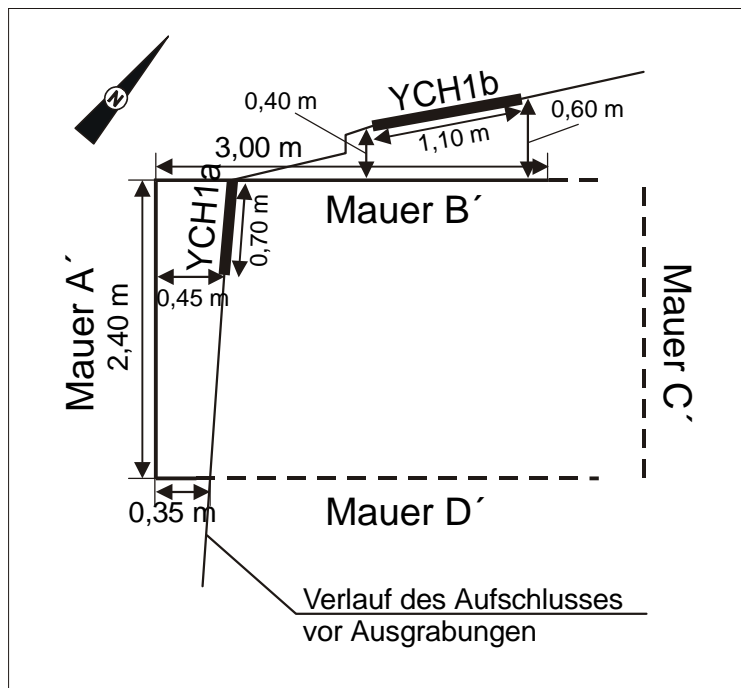


Abb. 20: Freigelegte Mauern des Gebäudes R1 und Lage der Profile YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico
 Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel und J. Meyer

Der obersten Lehmziegelreihe der Mauer A' liegen längliche, 5 bis 6 cm breite Steine auf, die mit ihrer Längsachse bis zu 20 cm in das Gebäude hereinragen. Diese Steine dienten als Stützen für das dem Gebäude ursprünglich aufliegende Dach. Verkohlte Reste dieses Daches wurden im Gebäudeinneren gefunden. Es handelt sich um Holzstämmen und Ästen mit bis zu 7 cm Durchmesser sowie kompakte Gras- bzw. Strohbindeln. Ähnlich wie bei vielen heutigen Häusern in der Puna wurde das Dach aus einem Geflecht aus Ästen und Stroh aufgebaut.

Weder in Mauer A' noch in den freigelegten Teilen von Mauer B' wurde eine Türöffnung gefunden. Diese lag wahrscheinlich in Mauer D'. In dem von der „Grupo Yavi de Investigaciones Científicas“ ebenfalls am Fundort Yavi Chico freigelegten Gebäude R4 befindet sich die Öffnung in Richtung SE (LAGUNA 1996). Die Anlage einer Türöffnung in der oberen Mauer C' ist unwahrscheinlich, da bereits zum Zeitpunkt der Besiedlung hangabwärts gerichtete Abflussereignisse auf dem Hang von Yavi Chico stattfanden.

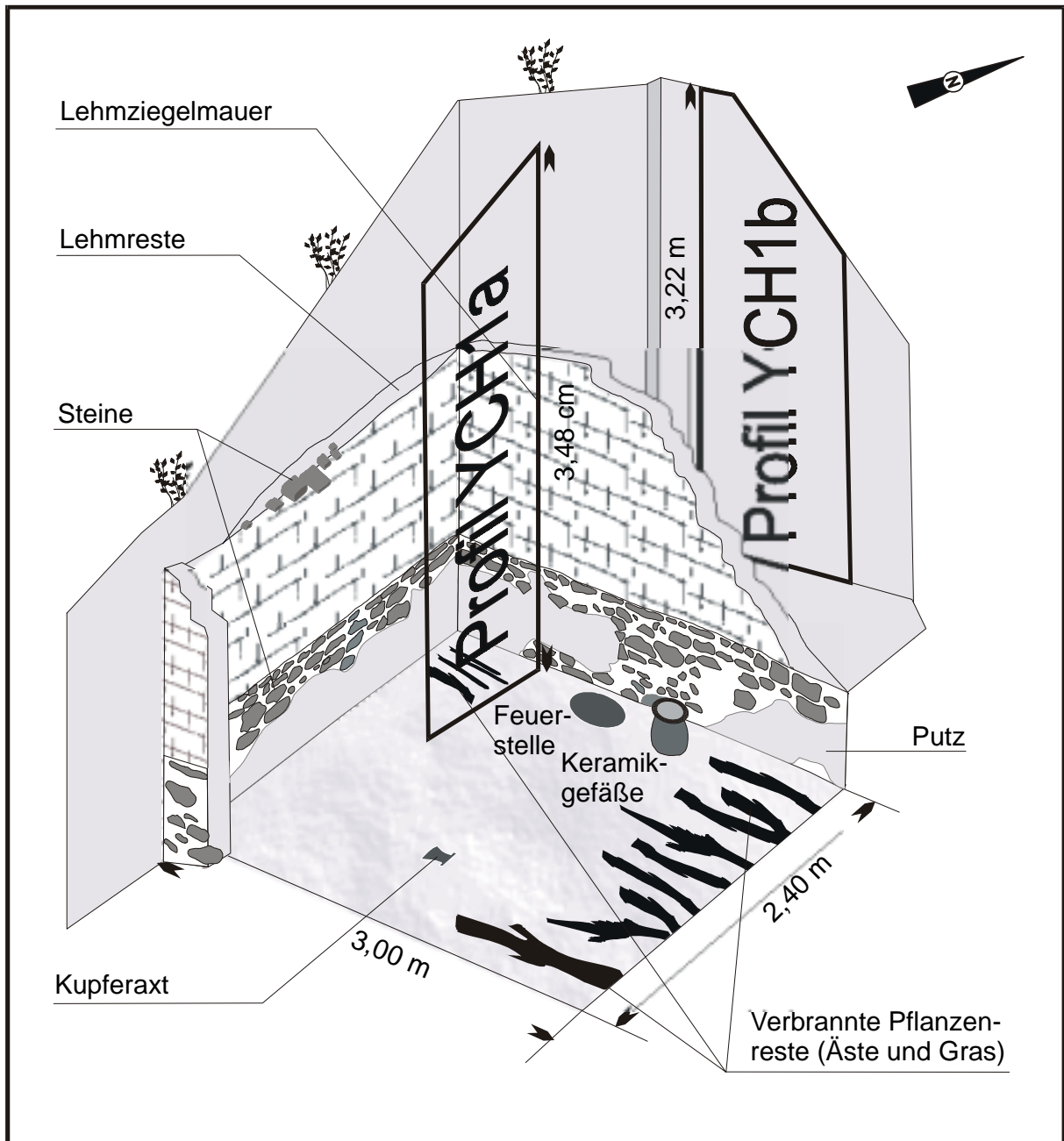


Abb. 21: Freigelegtes Gebäude R1 mit den Profilen YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico
 Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel

Eine 50 cm tiefe in den Fußboden des Gebäudes durchgeführte Sondierung zeigte als Folge der verstärkten Trittbelastung eine starke Kompaktierung in den obersten 5 cm. Im unteren Abschnitt der Sondierung wurden Holzkohlestücke, Keramikscherben und Tonklumpen mit bis zu 20 cm Durchmesser gefunden. Tonklumpen dienten als Primärmaterial für die Keramikherstellung und weisen auf die anthropogene Nutzung dieses Abschnittes bereits vor der Anlage des Gebäudes hin. Die nach Abschluss der sedimentologischen Untersuchungen durchgeführte archäologische Ausgrabung innerhalb des Gebäudes brachte eine Vielzahl archäologischer Funde zum Vorschein, u.a. große Keramikscherben, Pfeilspitzen, eine Feuerstelle sowie Holzkohlestücke. Einen besonderen Fund der Verfasserin stellt eine Kupferaxt dar, die Hinweise auf eine Beeinflussung durch die Inka-Kultur geben könnte und zurzeit von Archäologen weiter untersucht wird. Das Gebäude diente Wohnzwecken. Die verkohlten Reste des Daches liegen direkt neben Resten von Keramikgefäßen, was darauf schließen lässt, dass das Dach nicht absichtlich abgebrannt wurde. Eine im geochronologischen Labor des „Instituto de Química Física Rocasolano“ in Madrid durchgeführte C14-Analyse (CSIC-1188) ergab für Holzkohle aus dem abgebrannten Dach ein Alter von 887 +/- 25 BP. Dieses Alter gibt somit den Zeitpunkt der Anlage des Gebäudes wieder.

Das Profil YCH1a befindet sich in seinem unteren Abschnitt innerhalb des Gebäudes R1 und liegt der Mauer A´ mit 45 cm Abstand parallel vor (vgl. Abb. 20 und 21; Foto 26). Es verläuft in SE-NW-Richtung und damit quer zur Hangneigungsrichtung. Es hat eine Breite von 70 cm, eine Höhe von 348 cm und besteht aus 23 Schichten. Das Profil YCH1b befindet sich im Gegensatz zu Profil YCH1a vollständig außerhalb des Gebäudes R1, nordwestlich von Mauer B´, und bildet einen Winkel von 15° zu dieser. Der Abstand zu Mauer B´ beträgt zwischen 40 und 60 cm (vgl. Abb. 20). Das Profil erstreckt sich annähernd parallel zum Hanggefälle in NNW-SSE-Richtung. Es hat eine Breite von 110 cm und eine Höhe von max. 322 cm und verfügt über 24 Schichten.

Die in den beiden Profilen aufgeschlossenen Sedimente wurden bei Materialumlagerungen aus dem rückwärtigen Steilhang und dem oberen Abschnitt des Hanges transportiert und abgelagert. Die im Folgenden beschriebenen Schichten sind nicht immer Resultat eines einzelnen, einphasigen Abflussereignisses und der damit ver-

bundenen Erosions- und Akkumulationsprozesse. Vielmehr wurden gleichartige, geringmächtige Schichten bzw. sich wiederholende Wechsellagen gleichartiger Sedimente zu einer Schicht zusammengefasst. Sie stellen dann das Ergebnis gleichförmiger, sich wiederholender, also mehrphasiger Abflussereignisse dar.

5.5.1.2 Beschreibung der Profile YCH1a und YCH1b

Profil YCH1b – unterer Abschnitt

Das außerhalb des Gebäudes befindliche Profil YCH1b setzt in Höhe der Lehmziegel von Mauer B´ an, d.h. 65 cm oberhalb der Gebäudebasis. Das Gebäude war zum Zeitpunkt der Sedimentation bereits aufgegeben worden. Das Profil YCH1b wird aus 23 Schichten aufgebaut (vgl. Abb. 22; Tab. 14 im Anhang; Foto 26).

Der untere Abschnitt (Schichten 1 bis 11) besteht aus geringmächtigen, überwiegend feinkörnigen Sedimenten, die verschiedene Abflussereignisse geringer Transportkräfte belegen. Die jeweilige Stärke der Abflussereignisse zeigt sich in der jeweiligen abgelagerten Korngröße der Sedimente. In einigen Schichten geben Holzkohlestücke Hinweise auf anthropogene Aktivitäten im Einzugsgebiet der Abflüsse. Diese anthropogenen Aktivitäten fanden vermutlich zeitparallel zur Ablagerung statt. Flache Spülrillen haben unter Materialaufnahme den besiedelten Bereich gequert. Eindeutige Hinweise auf anthropogene Einflüsse gibt Schicht 5: Sie setzt sich aus einer kompakten Mischung verschiedener Materialien mit hohem Karbonatgehalt zusammen. Diese Schicht ist anthropogener Genese und wurde künstlich neben dem Gebäude aufgeschüttet. Dieses erklärt auch die unnatürliche Zunahme der Schichtmächtigkeit hangabwärts; hangaufwärts keilt sie dagegen aus.

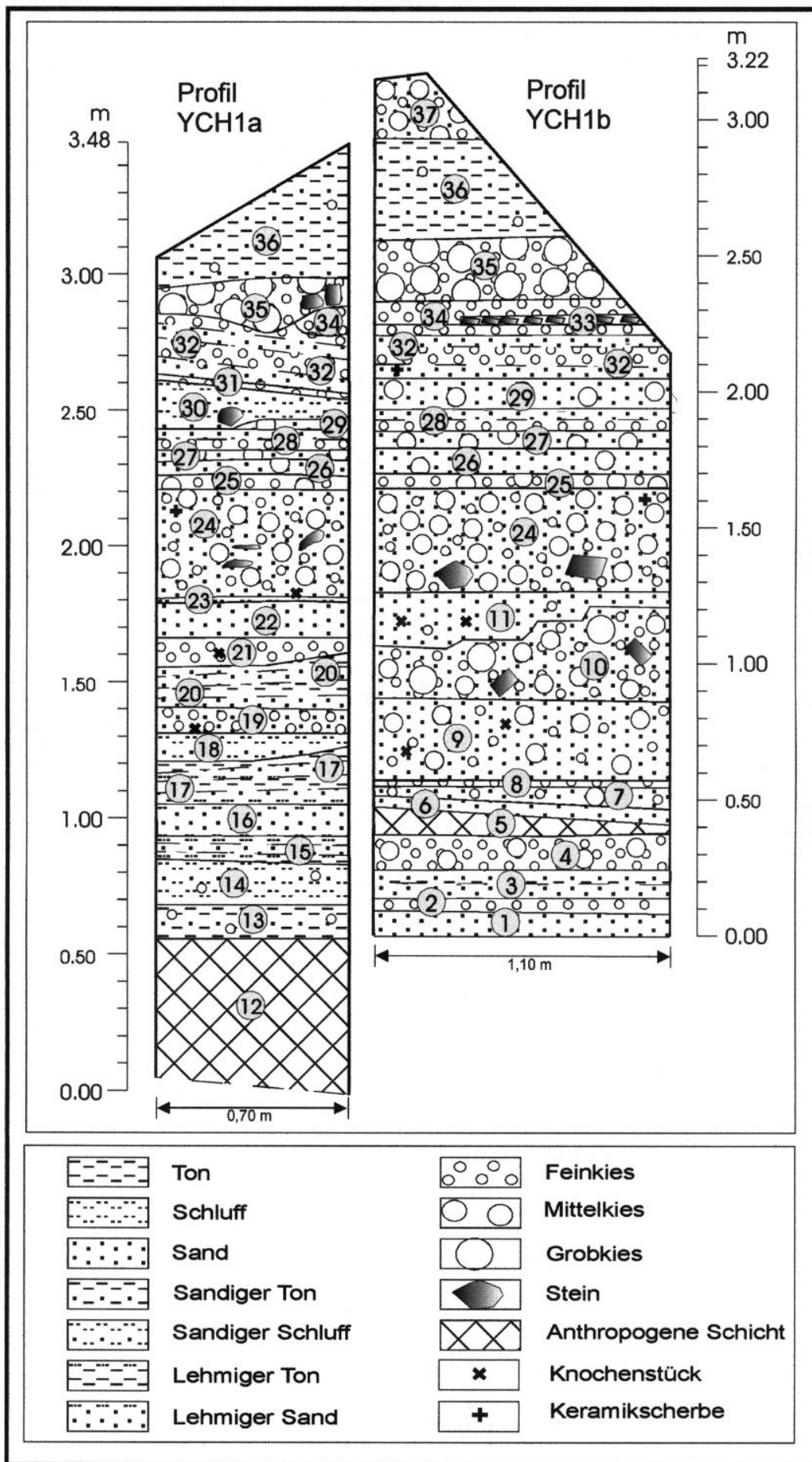


Abb. 22: Profile YCH1a und YCH1b, Fundort Yavi Chico (Aufnahmedaten in Tab. 14 im Anhang)

Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel

Die geringen Mächtigkeiten der Schichten 1 bis 8 zeigt die Schwäche der ihrer Ablagerung vorausgegangenen Erosionsprozesse an. Schichten 9 und 10 sind dagegen Zeugen von Abflüssen mit stärkeren Erosionsprozessen und weisen höhere Anteile an Fein- und Mittelkies auf. Das Auftreten einzelner archäologischer Reste belegt, dass auch hier die der Ablagerung vorausgehenden Abflüsse in ihren Einzugsgebieten zur Zerstörung zeitparallel genutzter Siedlungsflächen bzw. zur Aufdeckung bereits begrabener Kulturschichten geführt haben.

Zwischen den Schichten 10 und 11 liegt ein diskordanter, treppenförmiger Übergang, der durch eine quer zum heutigen Profil verlaufende, sich terrassenförmig einschneidende, tiefe Spülrinne verursacht wurde. Schicht 11 füllt die so entstandene Hohlform mit fluvial transportiertem Sand auf. Aufgrund der geringen Fließgeschwindigkeit überwogen erneut Akkumulationsprozesse, und die bestehenden Reliefunregelmäßigkeiten wurden ausgeglichen. Mit der Oberkante von Schicht 11 endet der Abschnitt des Profils YCH1b, der sich neben der Mauer B´ des Gebäudes R1 befindet.

Die bisher beschriebenen Sedimente zeugen überwiegend von Akkumulationsprozessen. Erosionsprozesse konnten nur zwischen den Schichten 10 und 11 nachgewiesen werden. Innerhalb des unteren Abschnittes des Profils YCH1b ist eine Zunahme der Korngrößen und Schichtmächtigkeiten nach oben zu beobachten. Diese Zunahme der Korngrößen und Schichtmächtigkeiten ist auch in anderen Aufschlüssen im Bereich des Fundortes Yavi Chico zu beobachten. Die Stärke der Erosionskraft der diesen Ablagerungen vorausgehenden Abflussereignissen hat folglich mit der Zeit zugenommen.

Profil YCH1a – unterer Abschnitt

Das Profil YCH1a wurde in seinem unteren Abschnitt in innerhalb des Gebäudes R1 abgelagerten Sedimenten angelegt und liegt der Mauer A´ mit 40 cm Abstand parallel vor (vgl. Abb. 20). Das Profil besteht aus 24 Schichten, von denen die oberen 12 mit denen der oberen Schichten von Profil YCH1b in Bezug stehen (vgl. Abb. 22; Tab. 14 im Anhang). Die unteren 12 Schichten (Schicht 12 bis 23) unterscheiden sich dagegen von denen des Profils YCH1b, sie sind feinkörniger. Die Ablagerung der Schichten erfolgte nicht mit dem Hanggefälle, sondern beim Eindringen einzelner

Spülrippen bzw. -rinnen durch die Mauer D1 in das Gebäude. Dieses geschah entweder durch einen dort befindlichen Eingang, oder aber Teile dieser Mauer waren bereits zu Beginn der Sedimentationsprozesse zerstört worden. Die obere Mauer C' blieb während des Sedimentationsprozesses intakt, wie der unterschiedliche Charakter der innen und außen abgelagerten Sedimente belegt.

Die unterste Schicht 12 ist eine anthropogene Schicht aus vielfältigen archäologischen Materialien wie Keramikscherben, Knochenresten etc. sowie Holzkohle und verbranntem Gras. Es handelt sich um Reste der während der Nutzung des Gebäudes dort angesammelten Artefakte sowie Teile des abgebrannten und eingestürzten Daches. Das bei anschließenden archäologischen Arbeiten innerhalb des Gebäudes gefundene umfangreiche archäologische Material ist dieser Schicht zuzuordnen.

Die folgenden Schichten setzen sich aus Feinmaterial mit unterschiedlichen Korngrößenanteilen zusammen. Der Transport erfolgte in Spülrippen, die in das Gebäude eindringen. Teilweise bestehen die Schichten aus geringmächtigen Wechsellagen aus Ton und Sand und zeugen von mehreren Abflussereignissen geringen Ausmaßes. Auch hier geben vereinzelt eingearbeitete archäologische Reste Hinweise auf zeitgleich oder vorher stattfindende anthropogene Nutzung im Einzugsgebiet.

Die Schichten 17 und 20 nehmen beim Kontakt mit Mauer B' an Mächtigkeit zu. Die Abflüsse wurden an dieser Mauer gebremst und lagerten beim Aufprall ihre Fracht ab, während das Wasser im Boden versickerte oder durch die Mauer filtriert wurde. Dieses Sedimentationsverhalten belegt das Eindringen von Spülrippen von der der Wand B' gegenüberliegenden Seite aus.

Die Verfüllung des Gebäudes mit Sedimenten unterschiedlicher Korngrößen und Mächtigkeiten ist das Ergebnis mehrerer Abflussereignisse verschiedener Stärke. Die geschützte Lage im Gebäudeinneren macht zeitparallel zu den Ablagerungsprozessen ablaufende Erosionsprozesse innerhalb des Gebäudes unwahrscheinlich.

Profile YCH1a und YCH1b, obere Abschnitte

Die oberen Abschnitte der Profile YCH1a und YCH1b (Schichten 24 bis 36) gehen auf gleichartige Erosions- und Akkumulationsprozesse zurück. Die Schichten sind in Profil YCH1a quer zum Hanggefälle, in Profil YCH1b längs zum Hanggefälle aufgeschlossen.

Die Korngrößen sind größer als bei den unteren Schichten, es dominieren Fein- und Mittelkiese. Zur Ablagerung dieser Schichten bedurfte es starker Abflussereignisse mit hohen Transportenergien. Es treten nur vereinzelt archäologische Funde auf, im Einzugsgebiet dieser Abflüsse fand offensichtlich keine zeitparallele anthropogene Nutzung statt.

Die Schichten 30 und 31 treten nur in Profil YCH1a auf und sind ebenfalls Ergebnisse von Abflüssen in lokal begrenzten Spülrinnen. Schicht 33 tritt nur im rechten Abschnitt des Profils YCH1b auf. Sie besteht aus einer einreihigen Lage eingeregelter Steine mit Längen von bis zu 10 cm und ist das Ergebnis eines sehr starken Abflussereignisses. Auch die Schichten 29 und 34 resultieren aus lokal begrenzten Abflussrinnen, die den Bereich des heutigen Profils YCH1a nur streiften, während sie den Abschnitt des heutigen Profils YCH1b auf voller Breite durchquerten.

Schicht 35 ist das Resultat eines größeren Abflussereignisses mit hoher Erosions- und Transportkraft, wie an dem 80 Vol.-%igen Grobkiesanteil erkennbar ist. Es setzt sich aus mehreren Gerinnebetten zusammen, von denen eines in YCH1a deutlich zu erkennen ist. Der relativ hohe Karbonatgehalt lässt sich durch die Nähe zur Oberkante des Profils und der dadurch bedingten starken Durchwurzelung erklären. Die Schichten 36 und 37 sind durchwurzelte Deckschichten und das Ergebnis rezenter Flächenspülungsprozesse. In Profil YCH1a fehlt Schicht 37 – sie wurde aufgrund ihrer Nähe zur Erosionsschlucht D durch den dieser zufließenden Oberflächenabfluss abgetragen.

Die oberen Abschnitte der Profile YCH1a und YCH1b liegen den Gebäudemauern auf und konnten entsprechend ungehindert sedimentiert werden. Sie bestehen aus Schichten unterschiedlicher Korngrößen und spiegeln verschiedene Erosions- und Transportstärken wider. Die Schichten wurden nach Abflüssen in teilweise lokal be-

grenzten Spülrinnen sedimentiert. In beiden Profilen weisen die oberen Abschnitte deutlich größere Korngrößen auf als die unteren Abschnitte. Dieses setzt starke Erosionsprozesse und eine höhere Transportkraft bei den Abflussereignissen voraus. Der Erosionswiderstand auf dem Hang war im Vergleich zu der Zeit der Sedimentation der unteren Abschnitte geringer, so dass Erosion wirksamer agieren konnte. Dieser Wechsel von feinkörnigen zu grobkörnigen Sedimenten ist in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes zu beobachten.

5.5.1.3 Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich der Profile YCH1a und YCH1b

Die Profile YCH1a und YCH1b stehen im Zusammenhang mit dem Wohngebäude R1, dessen Anlage auf ein Alter von 887 +/- 25 BP datiert wurde. Schon während der Nutzung des Gebäudes kam es zu Sedimentation an seinen Außenmauern. Verschiedene Schichten liefern Indizien für zeitparallel zur Besiedlung stattfindende Erosions- und Akkumulationsprozesse. Holzkohlestücke wurden direkt aus höher gelegenen Siedlungsbereichen abtransportiert und kamen in den unteren Schichten des Profils YCH1b zur Ablagerung. Schicht 5 in YCH1b ist eine künstliche Aufschüttung anthropogener Genese. Der Siedlungsstandort wurde schließlich aufgegeben, die Mächtigkeit und die Korngrößen der abgelagerten Akkumulationen (in Profil YCH1b ab Schicht 9) deuten auf starke Abflussereignisse hin. Durch sie zur Ablagerung gekommene Keramikscherben und Knochenreste zeugen von Zerstörungen im oberen Abschnitt des Hanges. Die Außenwände des Gebäudes R1 wurden weiterhin zusedimentiert. Neben Akkumulationsprozessen fanden außerhalb des Gebäudes auch Erosionsprozesse statt. Ein direkter Beleg dafür ist die treppenförmige Schichtgrenze zwischen den Schichten 10 und 11, die durch eine das heutige Profil YCH1b frontal querende Spülrinne geschaffen wurde. Vermutlich fanden auch andere erosive Abflussereignisse in Höhe des heutigen Profils YCH1b statt, lassen sich aber nicht belegen. Mit Aufgabe des Gebäudes wurde auch das Gebäudeinnere zusedimentiert. Im Gegensatz zur freien Sedimentation außerhalb des Gebäudes erfolgte die Sedimentation langsamer und umfasste kleinere Korngrößen. Die Gebäudemauern blieben erhalten; einzelne Gerinne drangen durch eine Öffnung innerhalb der Mauer D´ in das Gebäude ein und luden dort ihre Sedimentfracht ab. Einige Gerinne

wiesen dabei so starke Transportenergie auf, dass sich die Ablagerungen beim Auftreffen auf die Mauer B´ aufstapelten (Schichten 17 und 20).

Nach der vollständigen Verfüllung des Gebäudes unterlagen die Bereiche der Profile YCH1a und YCH1b denselben Akkumulationsprozessen. Zwischen der Anlage des Gebäudes R1 (887 +/- 25 BP) und der Ankunft der Spanier im heutigen Argentinien vergingen über 450 Jahre, bis zur spanischen Besiedlung und Landnutzung noch längere Zeit. Die Sedimentation des Gebäudeinneren war bis dahin abgeschlossen. Auch wenn der direkte Bereich des Fundortes Yavi Chico unter den Spaniern nicht als Siedlung genutzt wurde, so kamen die Auswirkungen der neuen Landnutzungsarten auch in diesem Bereich zum Ausdruck. Abgehendes Oberflächenwasser fand einen geringeren Erosionswiderstand, seine erodierende und akkumulierende Wirkung wurde verstärkt. Der untere Abschnitt des Hanges von Yavi Chico wurde mit Sedimenten größerer Korngröße einschließlich Steinen mit bis zu 11 cm Durchmesser bedeckt. Ein Geflecht aus Spül- bis Erosionsrinnen unterschiedlicher Dimensionen durchzog den Hang. Im Profil YCH1a ist an der Schichtgrenze zwischen den Schichten 32 und 35 deutlich das Bett einer solchen Erosionsrinne zu erkennen. Die kleinräumliche Differenzierung des Gerinnengeflechtes lässt sich auch an Schichten erkennen, die nur in einem Profil auftreten (Schichten 30, 31 und 33) bzw. in Profil YCH1b in voller Breite ausstreichen, in Profil YCH1a dagegen nur lokal an dessen rechten Rand (Schichten 39 und 34).

Im Anschluss an die in den Profilen zum Ausdruck kommenden flächenhaften Erosions- und Akkumulationsprozesse bildeten sich größere lokale Sammellinien des Abflusses aus, die sich teilweise bis zu Erosionsschluchten ausgeweitet haben. Am Gebäude R1 hat eine solche Erosionsschlucht zur Zerstörung der gesamten Mauer C´ und von Teilen der Mauer D´ sowie zur Ausräumung von Sedimenten aus dem ehemaligen Gebäudeinneren geführt. Die junge Genese der Erosionsschluchten zeigt sich in der Art, wie diese die Reste der prähispanischen Siedlung durchschneiden. Sie durchqueren und zerstören Terrassenwälle und Mauern. Eine Siedlungsanlage wäre bei der Existenz von Erosionsschluchten nicht möglich gewesen. Die aufgeschlossenen Deckschichten belegen ebenfalls eine ungestörte Ablagerung ohne den Einfluss von Erosionsschluchten. Heute laufen dagegen starke lineare Erosionspro-

zesse in den Erosionsschluchten und Flächenspülung auf den zwischen den Erosionsschluchten gelegenen flachen Bereichen parallel nebeneinander ab.

5.5.2 Profil YCH2 in Erosionsschlucht D

Das Profil YCH2 befindet sich ca. 25 m hangabwärts des Profils YCH1 im E-Hang der Erosionsschlucht D, die hier annähernd einen N-S-Verlauf einnimmt (Foto 22, Abb. 19). Durch die gefälleparallele Lage der Erosionsschlucht werden die Sedimente in ihrer Ablagerungsrichtung aufgeschlossen. Die Umgebung weist mit einer Hangneigung von 11° und einem Deckungsgrad der *Baccharis-boliviensis*-Steppe von 30 % die gleichen Bedingungen wie die des Profils YCH1 auf.

5.5.2.1 Archäologische Funde im Bereich des Profils YCH2

Im Bereich des Profils YCH2 treten verschiedene prähispanische Mauerreste auf. Unter Einbezug der Mauerreste außerhalb des Profils lassen sich zwei Phasen unterscheiden (vgl. Abb. 23; Foto 27). Zur ersten, älteren Phase zählen die Mauern B“ und C“, zur zweiten Phase die Mauern A“, D“ und E“. Die Mauern B“ und C“ bzw. D“ und E“ gehören jeweils einem Gebäude (R2a und R2b) an. Beide Gebäude sind ca. 3 m breit und haben an ihrer Basis eine verfestigte Schicht – den Fußboden. Die Mauern bestehen jeweils aus einer Doppelreihe Steine, wie sie auch in anderen Gebäuden des Fundortes Yavi Chico zu finden sind. Lehmziegel sind hier nicht erhalten, waren aber wahrscheinlich wie im Gebäude R1 den Steinreihen aufgesetzt.

Die Mauer A“ befindet sich hangaufwärts des Profils YCH2. Sie ist im Gegensatz zu den anderen Mauern einreihig und wird aus kleineren Steinen aufgebaut. Vergleiche mit anderen Mauern am Fundort Yavi Chico lassen darauf schließen, dass es sich hierbei um einen Terrassenwall handelt, der zeitlich mit dem Gebäude R2b korreliert. Innerhalb des eigentlichen Profils liegen die beiden Mauern C“ und D“. Mauer C“ ist heute bis zu einer Höhe von 150 cm erhalten, Mauer D“ bis zu 80 cm. Die beiden Mauern befinden sich in einem horizontalen Abstand von 1 m und weisen an ihrer

Basis eine Höhendifferenz von 85 cm auf. Archäologische Untersuchungen fanden an diesem Profil nicht statt.

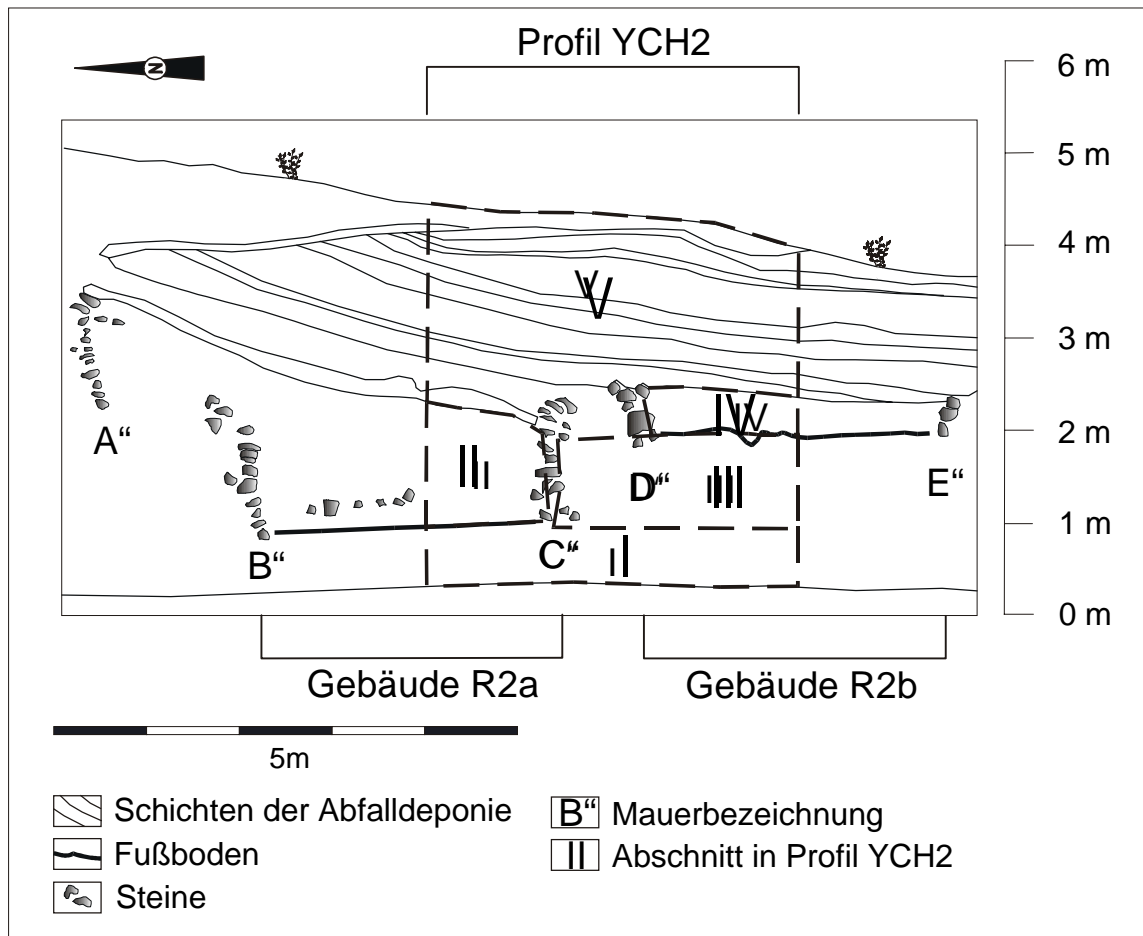


Abb. 23: Übersicht über Mauern im Bereich des Profils YCH2, Fundort Yavi Chico
Quelle: Entwurf H. Kiegel

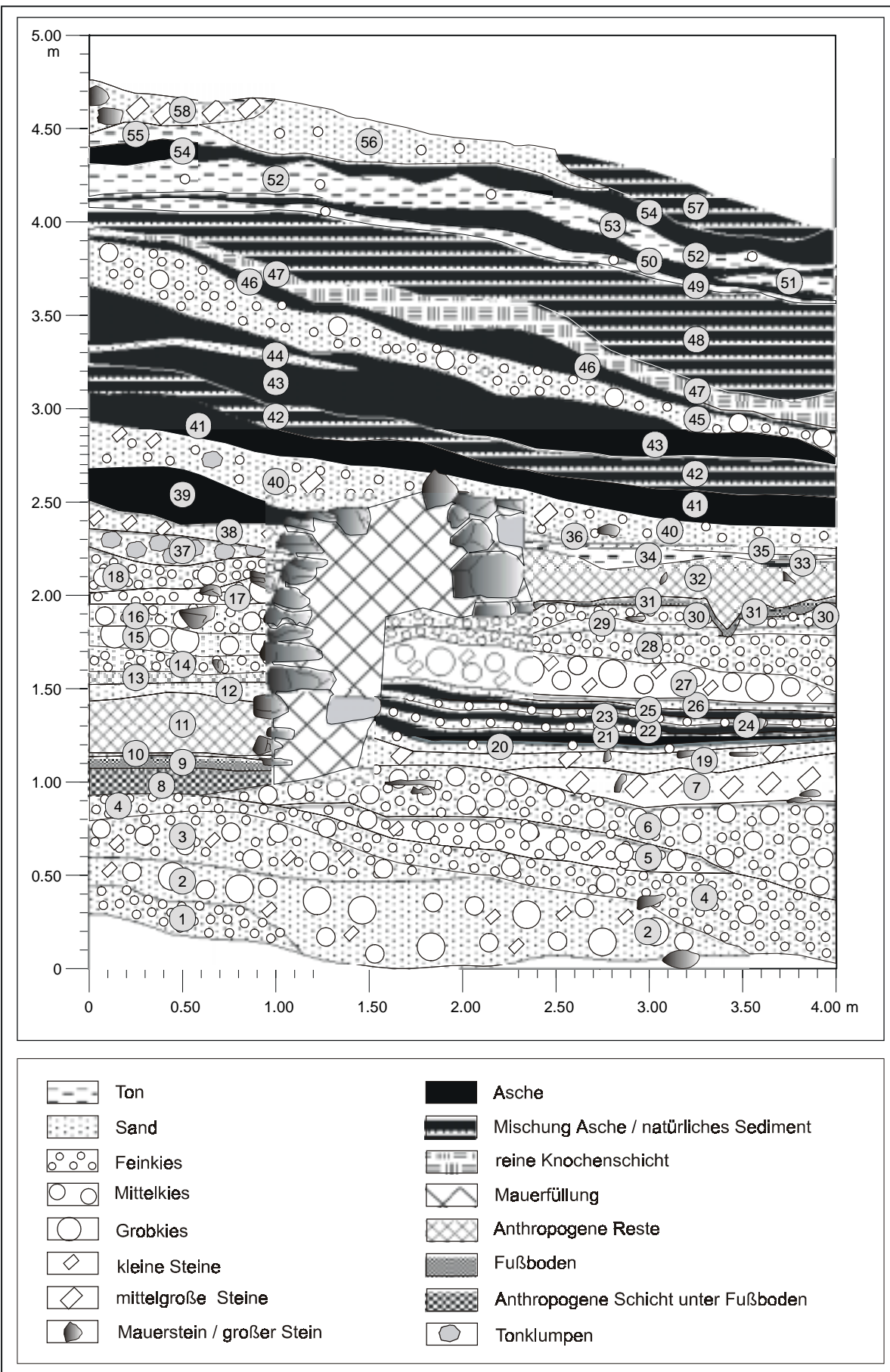


Abb. 24: Profil YCH2, Fundort Yavi Chico (Aufnahmedaten in Tab. 15 im Anhang)
Quelle: Erhebung und Entwurf H. Kiegel

5.5.2.2 Beschreibung des Profils YCH2

Das Profil YCH2 hat eine Breite von 4 m, eine Höhe von maximal 4,75 m und wird aus 58 Schichten aufgebaut. Durch die im mittleren Abschnitt befindlichen Mauern C“ und D“ wurden die Ablagerungsverhältnisse modifiziert. Es lassen sich fünf verschiedene Schichtkomplexe unterscheiden (vgl. Abb. 23 und 24; Tab. 15 im Anhang; Foto 27).

Abschnitt I (Schichten 1 bis 7, Ablagerung unterhalb der Mauern)

Die Schichten 1 bis 7 bilden den unteren Abschnitt des Profils YCH2. Sie weisen eine Dominanz im Fein- und Mittelkiesbereich auf. Einige der Schichten nehmen hangabwärts an Mächtigkeit zu, andere keilen innerhalb des Profils aus. Es werden maximale Mächtigkeiten von 50 cm erreicht. Alle Schichten dieses Abschnittes sind sehr karbonatarm (max. Wert in Schicht 1 mit 0,29 %). Die Ablagerungen werden als das Resultat differenzierter, durch fließendes Wasser verursachter Erosions- und Akkumulationsprozesse vor Einsetzen der menschlichen Besiedlung auf diesem Abschnitt des Hanges interpretiert.

Abschnitt II (Schichten 8 bis 18, Ablagerung hangaufwärts von Mauer C“)

Diese Schichten stehen im Zusammenhang mit dem aus Mauer C“ und der außerhalb des Profils liegenden Mauer B“ gebildeten Gebäude R2a. Hangaufwärts von Mauer B“, also an der Außenmauer des Gebäudes, wurden als Folge von auf dem Hang ablaufenden Erosionsprozessen mehrere Schichten mit unterschiedlicher Korngröße abgelagert. Hangabwärts von Mauer B“ sind die Ablagerungsverhältnisse aufgrund der Schutzwirkung der Mauer andersartig. Die meisten Schichten weisen dort Mächtigkeiten von unter 15 cm auf. Es dominieren horizontale Ablagerungen. Die unterste Schicht 8 besteht aus unsortiertem, verfestigtem Feinmaterial und diente als Untergrund für das Gebäude R2a. Den eigentlichen Fußboden stellt die verfestigte Schicht 9 dar, ihr Karbonatgehalt ist mit 0,55 % deutlich höher als der der benachbarten Schichten. Schicht 11 wird aus einer Mischung archäologischer Funde wie Keramik und Knochen sowie Holzkohle aufgebaut und stellt eine Ansammlung archäologischer Reste am Ort der Nutzung im Gebäudeinneren dar. Auch Schicht 13 besteht ausschließlich aus archäologischen Resten (Keramik- und Knochenreste, Steingeräte und Abschlüge sowie Holzkohlestücke). Möglicherweise handelt es sich

um einen weiteren künstlichen Fußboden, der zwischenzeitlich genutzt wurde (mündl. Mitteilung Diplom-Anthropologe Luis Laguna).

Nach Aufgabe des Gebäudes haben sich bei einem besonders starken Abflussereignis die obersten Steine von Mauer B“ gelöst und sind in das Gebäude gestürzt. Reste dieser Steine sind hangaufwärts des Profils – aber noch innerhalb des Gebäudes – erkennbar. Der hangaufwärts von Mauer B“ liegende Abschnitt war bereits vollkommen mit Sedimenten bedeckt, und nachfolgende Abflussereignisse konnten direkt innerhalb des ehemaligen Gebäudes agieren, was sich in den folgenden Akkumulationen widerspiegelt. Die Schichten 14 bis 18 bestehen aus Kies unterschiedlicher Größenordnung und Mischungsverhältnisse ohne Einschluss archäologischer Reste.

Die Schichten 8 bis 18 spiegeln somit die Ablagerungsverhältnisse im Inneren des Gebäudes R2a wider: Zunächst wurde aufgrund der Schutzwirkung der Außenmauern ausschließlich archäologisches Material anthropogen abgelagert. Erst nach vollständiger Bedeckung der Außenmauer B“ bzw. der partiellen Zerstörung dieser Mauer wurde durch fließendes Wasser transportiertes Material abgelagert. Es erfolgt eine fast kontinuierliche Abnahme des Karbonatgehaltes von Schicht 9 (0,55 %) bis zur karbonatlosen Schicht 18, was mit dem abnehmenden Gehalt an archäologischen Resten korreliert.

Abschnitt III (Schichten 19 bis 30, Ablagerung hangabwärts von Mauer C“)

Dieser Abschnitt unterlag zwar durch seine Lage hangabwärts des Gebäudes R2a einem gewissen Schutz vor Erosions- und Akkumulationsprozessen, doch konnten um das Gebäude herum verlaufende Spülrinnen auch hier erosionswirksam werden bzw. zur Ablagerung von Akkumulationen führen. Es dominieren feinkörnige, überwiegend sandige Sedimente mit Mächtigkeiten von unter 10 cm. In den meisten Schichten treten kleinste archäologische Reste auf. Die Schichten 20 bis 26 sind geringmächtige, max. 6 cm umfassende Schichten aus Sand bis Feinkies. Sie sind fluvial abgelagert worden und weisen Einschlüsse archäologischen Materials auf. Sie verfügen über einen besonders hohen Anteil an verbrannter Erde und differenzieren sich voneinander durch unterschiedliche graue und braue Farbtöne. Der Karbonatgehalt liegt bei 0,02 bis 0,18 %. Die folgenden Schichten sind Ablagerungen von

Spülrinnen nach Abflussereignissen unterschiedlicher Transportkraft, die seitlich unterhalb des Gebäudes R2a verliefen. Sie weisen einen geringen Karbonatgehalt (max. 0,04 %) und nur wenige oder keine archäologischen Reste auf. Die Einzugsgebiete der diese Schichten bildenden Gerinne lagen offensichtlich zeitlich und räumlich außerhalb von besiedelten Bereichen.

Die hangabwärts von Mauer C“ abgelagerten Schichten spiegeln in den feinkörnigen Sedimenten des unteren Abschnitt die Schutzwirkung von Mauer C“ wider. Im oberen Abschnitt dominieren dagegen Kiesschichten, die in seitlich herangeführten Spülrinnen abgelagert wurden.

Abschnitt IV (Schichten 31 – 36, Ablagerung hangabwärts von Mauer D“)

Nach der Verfüllung des durch die Mauern B“ und C“ begrenzten Gebäudes R2a sowie der Ablagerung von Sedimenten auch hangabwärts von Mauer C“ wurde der Bereich des heutigen Profils YCH2 durch den Menschen eingeebnet und mit dem Terrassenwall A“ eine neue Terrassenstufe angelegt. Es wurde ein weiteres Gebäude (R2b) errichtet, das durch die Mauern D“ und E“ begrenzt wird. Der Bereich zwischen der neuen Mauer D“ und der bereits bestehenden Mauer C“ wurde künstlich verfüllt. Während bzw. nach der Nutzung des Gebäudes R2b akkumulierten zwischen dem Terrassenwall A“ und der Mauer D“ Sedimente, die einen Reliefausgleich der künstlichen Terrassierung des Hanges bewirkten. Auch innerhalb des Gebäudes R2b kam es zu Ablagerungen: Schicht 31 bildet den verfestigten Fußboden. Diese Schicht weist zwei taschenförmige Ausbuchtungen auf, von denen eine bis zu 15 cm tief in die unter ihr liegenden Schichten 29 und 30 eingreift. Dort treten besonders hohe Anteile an Holzkohle und verbrannter Erde auf. Es handelt sich um künstlich in den Fußboden eingelassene Feuerstellen (mündl. Mitteilung Diplom-Anthropologe Luis Laguna). Dem Fußboden liegt mit Schicht 32 eine bis zu 38 cm mächtige unsortierte Mischung aus Holzkohlestücken, Keramikscherben und anderen archäologischen Resten auf, die in situ abgelagert und mit von außen eingetragendem Material vermischt worden sind. Eine dieser Schicht aufliegende Aschelise (Schicht 33) zeugt von einer weiteren anthropogenen Nutzung. Die geringmächtigen Schichten 34 bis 36 bestehen aus Feinsedimenten.

Der Charakter der hangabwärts von Mauer D“ abgelagerten Schichten wird durch deren Lage innerhalb des durch die Mauern D“ und E“ gebildeten Gebäudes R2b bestimmt. Dem Fußboden liegt eine in situ abgelagerte Schicht archäologischen Materials auf. Dieser folgen geringmächtige Schichten aus Feinmaterial fluvialer Genese.

Abschnitt V (Schichten 37 – 58, Ablagerung oberhalb der Mauern)

Der oberste Abschnitt des Profils liegt den bisher beschriebenen Schichten diskordant auf. Die Schichten 37 bis 54 bilden eine anthropogene Aufschüttung aus Abfallmaterialien (Holzkohle, Knochen, Keramik), in die natürlich abgelagerte Sedimente zwischengeschaltet sind. Die Abfalldeponie hat eine linsenförmige Gestalt mit einer maximalen Mächtigkeit von 2 m und nimmt über das Profil hinaus eine Breite von ca. 12,5 m ein.

Die unterste Schicht der Abfalldeponie (Schicht 37) tieft sich muldenförmig mit einem Winkel von 20° in die unterhalb liegende Schicht 18 ein – sie wurde dort künstlich angelegt. Die Schicht wird zu 80 % aus für die Keramikherstellung verwendeten Tonklumpen aufgebaut, weist keinerlei Sortierung auf und wird von zahlreichen Holzkohle-, Knochen- und Keramikresten durchsetzt. Ihr Auftreten ist ebenso wie das der ihr aufliegenden Schichten 38 und 39 auf den Bereich hangaufwärts von Mauer C“ beschränkt. Schicht 39 setzt sich aus einer unsortierten Mischung aus Steinen, Aschen, Holzkohle, Knochen und Keramik zusammen und weist einen hohen Kohlenstoffgehalt auf (1,91 %). Vor Ablagerung der folgenden Schichten wurden die Mauern C“ und D“ durch ein oder mehrere starke Abflussereignisse gekappt. Das Fehlen von Steinen aus diesen Mauern im Profil belegt die Stärke des Abflussereignisses – die Mauersteine wurden fluvial abtransportiert. Solche starken Abflussereignisse waren bis zu diesem Zeitpunkt im Bereich des Profils YCH2 nicht aufgetreten und zeigen eine Zunahme der Stärke der Erosionsprozesse während der Besiedlung an. Auf die neu geschaffene Geländeoberfläche wurde anschließend hangabwärts des Terrassenwalls A“ Abfallmaterial aufgeschüttet.

In den Schichten 40 bis 54 wechseln sich Schichten mit hohen Ascheanteilen und archäologischen Resten unterschiedlich hoher Mischungsverhältnisse mit natürlich abgelagerten Sedimenten ab. Sechs Schichten sind rein anthropogen (Schichten 41, 43, 46, 47, 50 und 54), und fünf Schichten sind Mischformen aus archäologischen

Resten und natürlichen Sedimenten (Schichten 40, 42, 48, 49 und 52). Schicht 45 weist keinerlei archäologische Reste auf und zeugt von einem besonders starken Abflussereignis, dessen Einzugsgebiet in einem unbesiedelten Abschnitt des Hanges lag. Alle im Profil gefundenen Knochenreste stammen von autochthonen Tieren, die bereits vor der spanischen Konquista genutzt wurden (mündl. Mitteilung Diplom-Anthropologe Luis Laguna). Eine besonders starke Anhäufung von Tierknochen findet sich in Schicht 47. Entsprechend des Gehaltes an archäologischen Materialien variiert der Karbonatgehalt der Schichten dieses Abschnittes zwischen 0,12 % (Schicht 45) und 3,83 % (Schicht 51). Die Schichten 55 bis 58 sind durchwuzelte Deckschichten, die in ihrer Genese teils auf Abflussereignisse auf dem Hang, teils auf anthropogene Verfüllungen zurückgehen. Es ist nicht auszuschließen, dass hier auch Erosionsprozesse wirksam wurden, die ältere Schichten abgetragen haben.

Der oberste Abschnitt des Profils YCH2 ist das Ergebnis differenzierter Ablagerungsvorgänge, die teilweise aus anthropogenen Aufschüttungen, teilweise aus natürlichen Erosions- und Akkumulationsprozessen resultieren. Nach einem starken erosiven Ereignis, das zur Zerstörung der oberen Teile der Mauern C“ und D“ geführt hatte, wurde auf der neu geformten Geländeoberfläche eine Abfalldeponie angelegt. Zwischengeschaltete Schichten natürlicher Genese belegen, dass während dieser späten Besiedlungsphase auf dem oberen Abschnitt des Hanges von Yavi Chico weiterhin differenzierte Erosionsprozesse stattfanden.

5.5.2.3 Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich des Profils YCH2

Vor der Besiedlung liefen im Bereich des heutigen Profils YCH2 natürliche Erosions- und Akkumulationsprozesse ab. In einer ersten Besiedlungsphase wurde ein durch die Mauern B“ und C“ begrenztes, 3 m breites Gebäude (R2a) errichtet (Abb. 25/1). Die Nutzung dieses Gebäudes führte zur Verfestigung seines Bodens. Schon während der Besiedlung akkumulierten an der hangaufwärts gerichteten Seite der Mauer B“ Sedimente. Nach Aufgabe des Gebäudes R2a setzte sich diese Sedimentation fort (Abb. 25/2). In das Gebäudeinnere wurde zunächst nicht sedimentiert – es wurde lediglich durch in situ abgelagertes archäologisches Material eingenommen. Nachdem die Akkumulationen an Mauer B“ fast 2 m Höhe erreicht hatten, zerstörte

ein besonders starkes Abflussereignis Teile der Mauer, und einige Steine fielen in das Gebäude hinein (Abb. 25/3). Im Anschluss wurde auch innerhalb des Gebäudes Material abgelagert (Abb. 25/4). Auch hangabwärts des Gebäudes R2a erfolgten Akkumulationen. Aufgrund der Schutzwirkung der Mauer C“ wurden dort nur feinkörnige Sedimente aus quer verlaufenden Spülrinnen abgelagert. In einer zweiten Besiedlungsphase wurde der Terrassenwall A“ angelegt und der Bereich des heutigen Profils erneut terrassiert. Auf der so entstandenen Terrasse wurde hangabwärts von Mauer C“ ein weiteres, ebenfalls 3 m breites Gebäude (R2b) errichtet, das durch die Mauern D“ und E“ begrenzt wurde (Abb. 25/5). Der Zwischenraum zwischen den Mauern C“ und D“ wurde dazu künstlich verfüllt. Nach Aufgabe des Gebäudes R2b fanden auch hier Akkumulationsprozesse außerhalb und innerhalb des Gebäudes statt. Gleichzeitig bewirkten Akkumulationen am Fuß des Terrassenwalls A“ einen Reliefausgleich (Abb. 25/6). Starke Abflussereignisse führten zur Kappung der Mauer C“ auf eine Höhe von 150 cm und von Mauer D“ auf eine Höhe 80 cm (Abb. 25/7). Auf die neu geschaffene Oberfläche erfolgte anschließend eine anthropogene Aufschüttung von Abfall (Abb. 25/8). Neben Asche wurden große Mengen von Holzkohle-, Knochen- und Keramikstücken abgelagert. Der unterste Teil dieser Abfalldeponie wurde in einer hangaufwärts von Mauer C“ geschaffenen künstlichen Vertiefung angelegt. Der größte Teil der Abfalldeponie erstreckt sich jedoch mit einer Länge von 12,5 m von Terrassenwall A“ über die Mauern B“ bis E“ hinweg. Zeitgleich mit der Anlage der Abfalldeponie fanden Abflussereignisse mit hoher Erosions- und Transportkraft statt, die zur Zwischenschaltung geringmächtiger Sedimente natürlicher Genese führten. Ausdruck jüngerer erosiver Abflussereignisse sind Deckschichten, die den oberen Abschluss des Profils bilden.

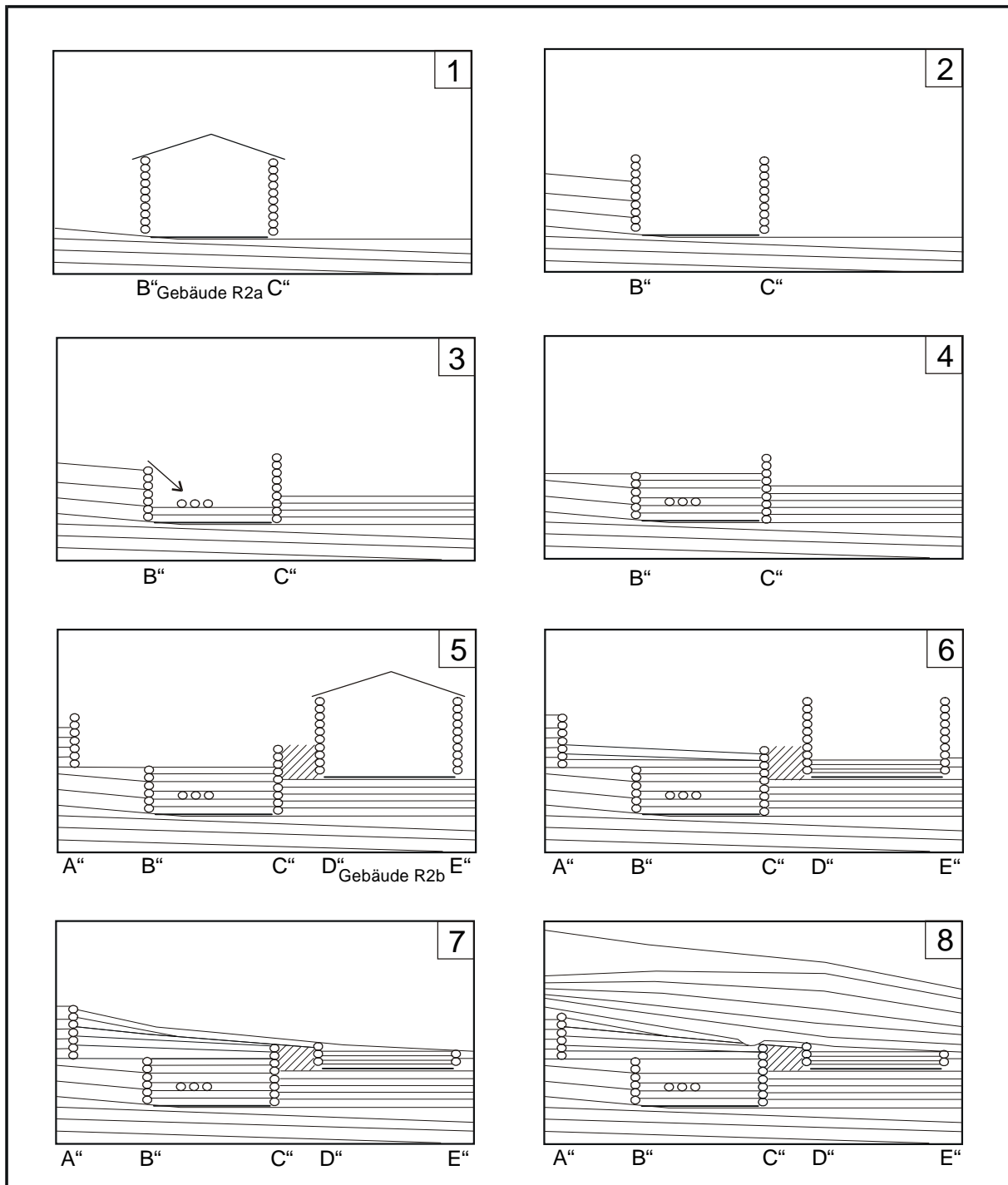


Abb. 25: Zeitlicher Ablauf der Erosions- und Akkumulationsprozesse im Bereich des Profils YCH2, Fundort Yavi Chico
 Quelle: Entwurf H. Kiegel

5.5.3 Profil YCH3 in Erosionsschlucht D

Das Profil YCH3 befindet sich ca. 30 m hangabwärts von Profil YCH2 im W-Hang der Erosionsschlucht D (Fotos 22 und 28, Abb. 19). Auch hier hat die Erosionsschlucht annähernd einen N-S-Verlauf. Das Profil schließt die gefälleparallelen Ablagerungen im Bereich zweier doppelter Steinmauern auf. Die Mauern werden quer zu ihrem Verlauf angeschnitten. Sie setzen auf gleichem Höhenniveau an und haben einen Abstand von 2,5 m. Die Mauern bilden die Grundmauern eines Gebäudes – ein eindeutig identifizierbarer verdichteter Fußboden wie bei Profil YCH2 ist jedoch nicht aufgeschlossen. Unterhalb der beiden Mauern befinden sich Sedimente mit variablen Kiesgehalten. Zwischen den Mauern dominieren dagegen feinkörnige Sedimente. Ihre leichte Graufärbung belegt einen hohen Anteil an feinkörnigen Holzkohleresten und damit eine anthropogene Nutzung. Innerhalb dieser Schichten befinden sich zwei Linsen mit besonders hohen Anteilen an Holzkohle und archäologischen Resten. Den beiden Steinmauern waren ab einer Höhe von 60 cm Lehmziegel aufgesetzt, die heute nur noch in einzelnen Resten erhalten sind. Auch oberhalb der Mauern setzt sich der feinkörnige Charakter der Ablagerungen fort. Erst ab einer Höhe von 150 cm ändert sich das Sedimentationsverhalten. Dort treten unterschiedlich mächtige, aus Kies aufgebaute Schichten auf. Sie zeigen das Abgehen von Abflüssen mit unterschiedlichen Transportstärken an. Im Profil lassen sich nur jene Abflussereignisse belegen, in denen in diesem Abschnitt die Akkumulation überwog. Abflussereignisse mit dominierender erosiver Tätigkeit lassen sich nur an der Kappung der Lehmziegel nachweisen.

Das Profil YCH3 gibt ein weiteres Beispiel für die differenzierten Sedimentationsverhältnisse an Mauern und Gebäuden am Fundort Yavi Chico. Die Ablagerung feinkörniger Sedimente innerhalb des Gebäudes entspricht den Verhältnissen in den Profilen YCH1 und YCH2 – aufgrund der Schutzwirkung der quer zum Hanggefälle verlaufenden Mauern wurden außerhalb des Gebäudes grobkörnige Sedimente, innerhalb des Gebäudes nur feinkörnige Sedimente abgelagert. Gleichermäßen belegt die Kappung der oberen Mauerabschnitte mindestens ein starkes erosives Abflussereignis nach Verfüllung des Gebäudes. Andere Abflussereignisse führten bei nachlassender Transportkraft zur Sedimentation kiesreicher Schichten oberhalb der verfüllten Gebäudereste.

5.5.4 Weitere Beobachtungen in Erosionsschlucht D

Auch in anderen Abschnitten der Erosionsschlucht D werden Mauern aufgeschlossen. Es handelt sich dabei sowohl um Gebäudereste als auch um Terrassenwälle. Im E-Hang der Erosionsschlucht befindet sich wenige Meter hangabwärts des Profils YCH3 unterhalb einer Mauer ein Keramikgefäß mit einem Durchmesser von ca. 40 cm. Die Lage unterhalb der Mauer deutet auf eine in der Puna gängige Bestattungsmethode hin. Das Gefäß wurde zur Hälfte zerstört und ein etwaiger Inhalt fluvial abtransportiert. Die Mauerreste oberhalb des Gefäßes erreichen eine Höhe von 50 cm. Ihnen sind hangaufwärts feinkörnige Sedimente vorgelagert, die die Korrelate von Erosionsprozessen geringer Stärke sind. Die Mauer dürfte ursprünglich höher gewesen sein und wurde auf die aktuelle Höhe gekappt. Die Kappung vollzog sich bei einem stärkeren Abflussereignis. Eine aufliegende kieshaltige Sedimentschicht mit einer Mächtigkeit von 80 cm zeugt hingegen von erneuten Akkumulationsprozessen.

5.6 Aufschluss YCH4 in Erosionsschlucht B2

In der Erosionsschlucht B2 ist im E-Hang die Längsseite eines weiteren Gebäudes aufgeschlossen (vgl. Abb. 26, Foto 29). Der Aufschluss zeigt eine 2,3 m lange Mauer in ihrem Längsverlauf. Sie ist bis zu einer Höhe von 1,40 m erhalten. Die unteren 60 cm der Mauer bestehen aus fünf Steinreihen. Darüber liegen mehrere Lehmziegelreihen – an der mächtigsten Stelle sind neun Reihen erhalten. Das Gebäude entspricht in seiner Art dem in Profil YCH1 beschriebenen – auch hier handelt es sich offensichtlich um ein Wohngebäude. Archäologische Untersuchungen wurden an diesem Aufschluss nicht durchgeführt. Das Gebäude befindet sich direkt neben der Basis eines Terrassenwalls, der eine Stufe mit einer Sprunghöhe von 1,80 m markiert. Der Zwischenraum zwischen dem Terrassenwall und der Mauer wurde künstlich aufgefüllt. Hangabwärts des Gebäudes zeigt sich die Basis der Terrasse in einer verdichteten, dunkleren – da aschereichen – Schicht. Ca. 10 m hangabwärts des Terrassenwalls befindet sich ein weiterer Terrassenwall, der die ehemals genutzte Geländeoberfläche um weitere 2 m tiefer legte.

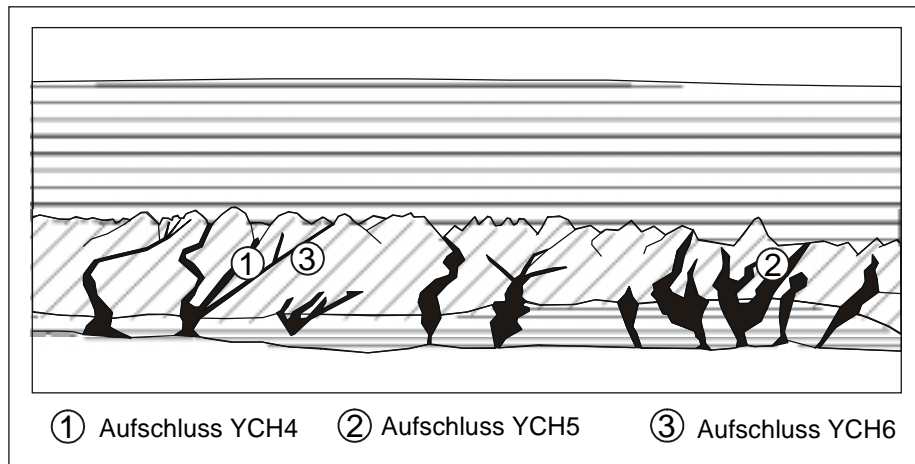


Abb. 26: Lage der Aufschlüsse YCH4, YCH5 und YCH6, Fundort Yavi Chico
 Quelle: Entwurf H. Kiegel

Heute sind das Gebäude und die Terrassen vollständig unter Deckschichten begraben. Im direkt hangabwärts des Gebäudes liegenden Bereich dominieren feinschichtige Sedimente. In diese sind mehrere geringmächtige, dunkle Schichten eingeschlossen. Sie weisen durch ihre hohen Holzkohlegehalte auf anthropogene Nutzungen im Einzugsgebiet der diese Sedimente transportierenden Abflüsse hin. Der oberste Abschnitt der Lehmziegel und das Dach des Gebäudes wurden erosiv gekappt und abgetragen. Dem Gebäude aufliegende Sedimente sind grobkörniger und das Korrelat starker erosiver Prozesse im oberhalb gelegenen Abschnitt des Hanges.

Der Aufschluss belegt folgenden zeitlichen Ablauf: Zunächst wurden zwei Terrassen angelegt, die jeweils durch Terrassenwälle begrenzt wurden. Auf der terrassierten Oberfläche wurde unmittelbar unterhalb des oberen Terrassenwalls ein Gebäude errichtet, dessen unterer Abschnitt aus Steinen besteht. Diesen aufgelegt waren mehrere Reihen aus Lehmziegeln. Der Bereich unterlag starken Erosions- und Akkumulationsprozessen, die während oder nach der Nutzung des Gebäudes einsetzen. Aufgrund der Schutzwirkung der Mauern wurden hangabwärts des Gebäudes zunächst nur feinkörnige Sedimente abgelagert. Die Einzugsgebiete der Abflüsse, die diese Sedimente herangeführt haben, lagen teilweise in anthropogen genutzten Bereichen des Hanges von Yavi Chico, wie einzelne holzkohlehaltige Schichten belegen. Die Transportkraft der abgehenden Abflüsse verstärkte sich im Laufe der Zeit

– zunehmende Grobkörnigkeit der korrelierten Ablagerungen war die Folge. Durch ein besonders starkes Abflussereignis wurden das Dach und die obersten Lehmziegel des Gebäudes gekappt. Anschließend erfolgte auch oberhalb der Gebäudemauern Sedimentation. Neben Akkumulationsprozessen liefen und laufen auch heute noch Erosionsprozesse ab, die jedoch mit Ausnahme der Kappung der obersten Gebäudeteile nicht direkt im Aufschluss belegbar sind.

5.7 Aufschluss YCH6 in Erosionsschlucht B3

Die Erosionsschlucht B3 setzt sich aus mehreren kleinen Seitenarmen zusammen. Im W-Hang des östlichsten dieser Seitenarme ist eine weitere Steinmauer aufgeschlossen (vgl. Abb. 26, Foto 30). Die Erosionsschlucht ist an dieser Stelle ca. 130 cm tief und ebenso breit. Es handelt sich auch hier um die Mauer eines Gebäudes. Unterhalb der Mauer befindet sich Feinmaterial fluvialer Genese, in das archäologische Reste (Knochenfragmente, Keramikscherben und Holzkohlestücke) eingelagert sind. Das Gebäude wurde also erbaut, nachdem bereits Erosions- und Akkumulationsprozesse auf dem besiedelten Hang von Yavi Chico eingesetzt hatten. Die Mauer weist eine Höhe von ca. 65 cm auf. Lehmziegel sind nicht erhalten. Der Mauer aufgelegt sind Deckschichten mit einer gesamten Mächtigkeit von bis zu 50 cm. Sie wurden bei mehreren Abflüssen abgelagert, die während oder nach der Besiedlung abgingen.

5.8 Aufschluss YCH5 in Erosionsschlucht H

Der in Erosionsschlucht H befindliche Aufschluss YCH5 weicht in seinen Deckschichten von den bisher beschriebenen Aufschlüssen ab (vgl. Abb. 26, Foto 31). Er zeigt einen künstlichen Terrassenwall und dessen hangabwärts anschließende Terrasse, die durch einen verfestigten Boden erkennbar ist. Auf dem unteren Terrassenabschnitt – ca. 7 m hangabwärts des Terrassenwalls – sind Mauerreste aufgeschlossen. Es sind vier horizontale Steinreihen erhalten, denen eine Lehmziegelreihe aufliegt. Diese Bauweise weicht von der der Gebäude in den Profilen YCH1 und YCH2 ab, wahrscheinlich handelt es sich um ein Silo. Der Terrassenwall, die Terrasse und

die Mauerreste sind unter Deckschichten begraben. Im Bereich der Mauerreste haben diese eine Mächtigkeit von max. 50 cm, unmittelbar unterhalb des Terrassenwalls dagegen von ca. 3,60 m.

Bei allen bisher beschriebenen Aufschlüssen stammen die die archäologischen Strukturen bedeckenden Sedimente unmittelbar aus dem holozänen Hang von Yavi Chico selber oder sind aus dem unteren, pliozänen Abschnitt des rückwärtigen Steilhanges herausgelöst und über den Hang transportiert worden. Entsprechend der Korngröße und der Farbe des unteren Abschnittes des Steilhanges sind die meisten Decksedimente auf dem Hang von Yavi Chico aus dunklen, grobkörnigen Sedimenten aufgebaut. Im Aufschluss YCH5 weichen die Verhältnisse ab: Die rückschreitende Erosion in Erosionsschlucht H ist so stark, dass durch Unterschneidung auch Sedimentpakete des oberen, pleistozänen Abschnittes des Steilhanges herausgebrochen bzw. herausgespült wurden. Im Aufschluss YCH5 treten Sedimente dieser Genese als Deckschichten auf. Die dem Steilhang bei den Erosionsschluchten G und H vorgelagerten Schuttkegel werden ebenfalls von diesem Material bedeckt. Die archäologischen Reste am Aufschluss YCH5 wurden zunächst mit Sedimenten aus dem unteren Abschnitt des Steilhanges bzw. aus dem Hang selber bedeckt. Anschließend griff die rückschreitende Erosion durch Unterschneidung auch auf den oberen Abschnitt des Steilhanges über. Zahlreiche Erosionsrinnen, die den Erosionsschluchten G und H zulaufen, greifen tief in den rückwärtigen Steilhang ein. Sie bewirken auch eine starke Zerschneidung des Hanges in diesem Bereich, er ist dort nahezu unpassierbar. Die im Vergleich zu den weiter westlich gelegenen Erosionsschluchten stärkeren Erosionsprozesse hängen mit der geringen Längserstreckung des Hanges in seinem östlichen Abschnitt zusammen. Sie bewirken auch eine mächtigere Sedimentbedeckung in diesem Bereich des Fundortes Yavi Chico.

5.9 Zusammenfassung: Erosions- und Akkumulationsprozesse auf dem Hang von Yavi Chico in ihrem Zusammenhang mit anthropogenen Aktivitäten

Vor der Besiedlung

Der Hang von Yavi Chico war bereits vor der prähispanischen Besiedlung Erosionsprozessen ausgesetzt. Er wurde durch ein Geflecht von Spülrillen und –rinnen unterschiedlichen Ausmaßes durchzogen. Am rückwärtigen Steilhang fanden Rutschungen statt, ausgelöst durch Befeuchtung durch von der Hochfläche herabkommende Abflüsse und lokale Niederschläge. Die in Folge von Rutschungen abgelagerten Sedimentpakete wurden nicht immer abtransportiert, vielmehr konnte sich auf ihnen in geschützten Lagen ein Boden bilden. Ein Beispiel dafür liefert ein auf einem dieser Sedimentpakete zwischen den Erosionsschluchten A und B befindlicher und aus einem B- und Ah-Horizont jeweils geringer Mächtigkeit aufgebauter Boden.

Prähispanische Besiedlung

Die prähispanische Besiedlung auf dem Hang von Yavi Chico setzte vor mindestens 1.020 +/- 30 BP ein (KRAPOVICKAS & ALEKSANDROWICZ 1986/87, 87). Schon zu diesem Zeitpunkt waren die Erosionsprozesse so stark, dass im oberen Abschnitt Erosionsschutzwälle angelegt wurden (KRAPOVICKAS 1973, 16). Durch die Anlage von Terrassen wurde das Gelände künstlich eingeebnet. Dadurch wurde zum einen die Oberfläche für eine Nutzung als Siedlungs- und landwirtschaftliche Nutzfläche vorbereitet, zum anderen wurden Erosionsprozesse eingedämmt. Aufschlüsse in den heutigen Erosionsschluchten verdeutlichen, wie sich die horizontal angelegten Terrassenflächen in die geneigten Schichten des Untergrundes einschneiden. Direkte anthropogene Eingriffe und weidewirtschaftliche Nutzungen führten zur Reduzierung des Deckungsgrades der Vegetation und zur Verfestigung des Bodens. Als Folge verringerte sich der Erosionswiderstand auf dem Hang, der Oberflächenabfluss und damit die Erosionsprozesse verstärkten sich. Es erfolgte eine Differenzierung zwischen Erosion auf dem oberen Abschnitt und Akkumulation auf dem unteren Abschnitt des Hanges. Im unteren Abschnitt drückt sich dieses sowohl in der Zunahme der Schichtmächtigkeiten als auch in der Verschiebung des Korngrößenspektrums zugunsten des Kies- und Steinanteils aus.

Schon während der prähispanischen Besiedlung wurden Gebäude und Mauern verschüttet und zerstört. Im Bereich des Profils YCH2 werden zwei unterschiedlich alte

Generationen von Gebäudemauern und Terrassenwällen aufgeschlossen. Die Mauern der zweiten Generation wurden erst nach Zerstörung der oberen Teile der Mauern und Verfüllung der Gebäude der ersten Generation errichtet. Der Untergrund wurde für die zweite Bauphase künstlich eingeebnet. Auch nach Aufgabe und teilweiser Zerstörung bzw. Verschüttung der Mauern der zweiten Generation war Yavi Chico noch besiedelt: Oberhalb der Mauerreste wurde eine künstliche Abfalldeponie angelegt. Mehrere zwischengeschaltete Schichten natürlicher Genese liefern einen weiteren Beweis für zeitparallel zur Besiedlung stattfindende Akkumulations- und damit Erosionsprozesse.

Auch der Aufschluss YCH6 belegt zeitparallel zur Besiedlung stattfindende Akkumulations- bzw. Erosionsprozesse. Er zeigt die Reste einer mit 80 cm mächtigen Sedimenten bedeckten Mauer, die auf Sedimenten mit archäologischen Resten angelegt worden ist. Diese wurden nach einer teilweisen erosiver Zerstörung eines weiter oben gelegenen besiedelten Abschnittes des Hanges abgelagert. Die Mauer wurde erst nach diesen Erosionsprozessen errichtet.

Die Verschüttung des Gebäudes R1 (an Profilen YCH1a und YCH1b) begann bereits zur Zeit der Besiedlung. In den unteren Schichten des außerhalb des Gebäudes liegenden Profils YCH1b sind Holzkohlestücke aus höher gelegenen Bereichen des Hanges eingeschwemmt worden. Eine innerhalb dieses Profils liegende künstlich aufgeschüttete Schicht ca. 1 m oberhalb der Gebäudebasis belegt die zeitparallel zu den Akkumulationsprozessen stattfindende Nutzung des Standortes. Das Gebäude R1 wurde aufgrund eines Feuers, das zum Abbrennen und Einstürzen des Daches geführt hatte, bereits vor der Aufgabe der Siedlung nicht mehr genutzt. Anschließend abgelagerte grobkörnige Sedimente stellen die Korrelate starker Erosionsprozesse auf dem oberen Abschnitt des Hanges von Yavi Chico dar.

Starke Erosionsprozesse auf dem oberen Abschnitt und die daraus resultierenden Akkumulationen auf dem unteren Abschnitt des Hanges stellten Probleme bei der Besiedlung dar. Schon bei der Anlage der Siedlung waren Terrassen angelegt und Erosionsschutzwälle errichtet worden. Während der Besiedlung wurden neue Terrassen angelegt, wie aus Profil YCH2 ersichtlich wurde. Dennoch nahmen die Erosionsprozesse weiterhin an Stärke zu. Sie sind einer der Gründe für die Aufgabe der

Siedlung. Die Siedlung war bei Ankunft der Spanier bereits aufgegeben worden. Siedlungen zeitparalleler Kulturen wie die der Casabindo-Kultur bestanden dagegen zu diesem Zeitpunkt noch.

Nach Aufgabe der prähispanischen Siedlung

Nach Siedlungsaufgabe setzten sich die Erosions- und Akkumulationsprozesse auf dem Hang fort. Dabei kam es an Mauerstrukturen kleinräumig zu differenziertem Sedimentationsverhalten. Oberhalb von Mauern lagerten sich grobe Sedimente ab. Hangabwärts von Mauern und innerhalb von Gebäuden kamen dagegen aufgrund deren Schutzwirkung feinkörnige Sedimente zur Ablagerung. Besonders deutlich ist dieses in Profil YCH1 zu erkennen. Das außerhalb des Gebäudes R1 befindliche Profil YCH1b wird von grobkörnigen Sedimenten aufgebaut, im YCH1a kam es dagegen durch die geschützte Lage innerhalb des Gebäudes zur Ablagerung feinkörniger Sedimente. Erst oberhalb der Mauern kamen in den Profilen YCH1a und YCH1b gleichartige Schichten zur Ablagerung. Auch in den Aufschlüssen YCH3 und YCH4 lassen sich differenzierte Sedimentationsverhältnisse im Zusammenhang mit Mauern beobachten.

Die Sedimentation auf Terrassen und an Mauern erfolgte zunächst parallel zur künstlich geschaffenen horizontalen Geländeoberfläche. Erst allmählich setzte sich ein Sedimentationsverhalten parallel zum natürlichen Gefälle des Hanges durch. Der Übergang von horizontaler Sedimentation zu einer parallel zum Gefälle verlaufenden Sedimentation ist besonders im Aufschluss YCH4 zu beobachten. Durch fortlaufende Erosions- und Akkumulationsprozesse kam es zur weiteren Tieferlegung des oberen Abschnittes des Hanges und einer gleichzeitigen Höherlegung des unteren Abschnittes. Archäologische Reste wurden somit auf dem unteren Abschnitt sukzessiv begraben, während sie im oberen Abschnitt freigelegt bzw. ausgeräumt wurden. Mauern und Terrassenwälle stellten Hindernisse für der Hangneigung folgende Abflüsse dar. Oftmals kanalisiert sie sich an Mauern und flossen am Rand der Mauer bzw. in einer Lücke innerhalb der Terrassenwälle mit erhöhter Erosionskraft der Hangneigung folgend ab.

Europäische Besiedlung

Mit Beginn der europäischen Besiedlung kam es durch verstärkte anthropogene Nutzungen zu weiteren Modifikationen der erosionsbeeinflussenden Faktoren. Der Hang von Yavi Chico selber wurde nicht neu besiedelt, doch führten Vegetationszerstörung und -degradierung durch Beweidung mit europäischen Huftieren und andere anthropogene Nutzungen zu einer Zunahme der Erodierbarkeit auf dem Hang und auf der Hochfläche. Verstärkte Erosions- und Akkumulationsprozesse waren die Folgen. Die Korngröße der auf dem unteren Abschnitt des Hanges von Yavi Chico abgelagerten Sedimente nahm zu. Durch die Stärke des Oberflächenabflusses bündelten sich an Unregelmäßigkeiten im Kleinrelief Spülrillen und -rinnen zu größeren Erosionsrinnen, die sich schnell und tief in den Untergrund einschnitten. Beim Zusammenschluss mehrerer Erosionsrinnen kam es zur Ausbildung tiefer Erosionsschluchten, die sich sukzessiv in Tiefe und Breite vergrößerten. Durch das in ihrer Umgebung entstandene Gefälle wurden diesen weitere kleine Erosionsrinnen zugeführt. Die Bildung der Erosionsschluchten ist eindeutig jünger als die prähispanische Besiedlung. Sie durchqueren Terrassenwälle und Gebäude und zerstören diese – die Anlage solcher Bauten wäre bei bereits existierenden Erosionsschluchten nicht möglich gewesen. Die ehemals dominierende Flächenspülung wurde mit Beginn der europäischen Besiedlung durch starke linear-erosive Prozesse ergänzt. Fortan liefen flächenhafte und lineare Erosionsprozesse zeitlich und räumlich parallel nebeneinander ab.

Durch die Ausbildung von Erosionsschluchten wurde auch die Flächenspülung auf dem oberen Abschnitt des Hanges modifiziert. Die Abflussrichtung der Spülrinnen und -rillen orientierte sich jetzt nicht nur an der allgemeinen Hangneigung in Richtung des Talbodens des Río Cajas. Vielmehr übernahmen in der Nähe der Erosionsschluchten diese die Funktion lokaler Sammellinien des Abflusses. Die Flächenspülung bewirkte somit eine Einebnung sowohl hangabwärts als auch in Richtung der Erosionsschluchten.

Die Verstärkung der Erosionsprozesse auf dem Hang von Yavi Chico führte zu einer Zunahme der rückschreitenden Erosion in den rückwärtigen Steilhang. Dort kam es zu weiteren Unterschneidungen und Rutschungen, der Steilhang wurde in zahlreiche Racheln aufgelöst.

Rezente Prozesse

Fortlaufende Vegetations- und Bodendegradierungen auf dem Hang von Yavi Chico selber und auf der gesamten Hochfläche führen auch heute zur Verstärkung erosiver Prozesse. Die Erosionsschluchten weiten sich sukzessiv aus. Die rückschreitende Erosion betrifft überwiegend den unteren, pliozänen Abschnitt des rückwärtigen Steilhanges. Nur im östlichsten Bereich des Hanges von Yavi Chico greifen einige Erosionsschluchten so weit in den rückwärtigen Steilhang hinein, dass auch Teile des oberen, pleistozänen Abschnittes unterschritten werden und abrutschen. Das Material wird anschließend über den Hang transportiert und abgelagert. Im Aufschluss YCH5 wurde solches Material auf über 3 m mächtigen, aus dem pliozänen Abschnitt der Steilwand stammenden Sedimenten abgelagert, die ihrerseits archäologische Reste bedecken. Die rückschreitende Erosion der Erosionsschluchten in der Stärke, wie sie sich uns heute zeigt, ist demnach ein relativ junger Prozess.

Ebenfalls junge Erosionsprozesse sind an dem Steilhang zwischen dem Hang von Yavi Chico und dem Talboden des Río Cajas zu beobachten. Dieser Hang wird sukzessiv zurückverlegt, was einerseits auf die seitliche Ausweitung der Mündungen der Erosionsschluchten zurückzuführen ist, andererseits durch das Unterschneiden von Hangpartien durch Seitenerosion des Río Cajas bedingt ist. Die Rückverlagerung des Steilhanges führt zur Zerstörung sowohl archäologischer als auch aktueller Siedlungsreste. Neben den Resten eines jüngeren Gebäudes an der Erosionsschlucht A wurde auch ein in jüngerer Zeit als Weidefläche genutztes Areal zwischen den Erosionsschluchten C und D in seinem unteren Abschnitt durch die Verlagerung des Steilhanges zerstört.

Die meisten archäologischen Reste lassen sich zu einem mehr oder weniger gut ausgeprägten Horizont verbinden, der die Geländeoberfläche zum Zeitpunkt der Besiedlung anzeigt. Die seit Aufgabe der Siedlung stattgefundenen Erosions- und Akkumulationsprozesse bewirkten im oberen Abschnitt des Hanges eine negative Hangverflachung, im unteren Abschnitt eine positive Hangverflachung. Die aktuelle Geländeroberfläche schneidet dabei den Horizont der archäologischen Reste (vgl. Abb. 27). Im unteren Abschnitt werden nur in den Hängen der Erosionsschluchten archäologische Reste freigelegt. Heute laufen auf dem Hang von Yavi Chico flächenhafte Erosionsprozesse mit Abtragung im oberen Bereich und Akkumulation in

unteren Bereich sowie starke lineare Einschneidung zeitlich und räumlich parallel nebeneinander ab.

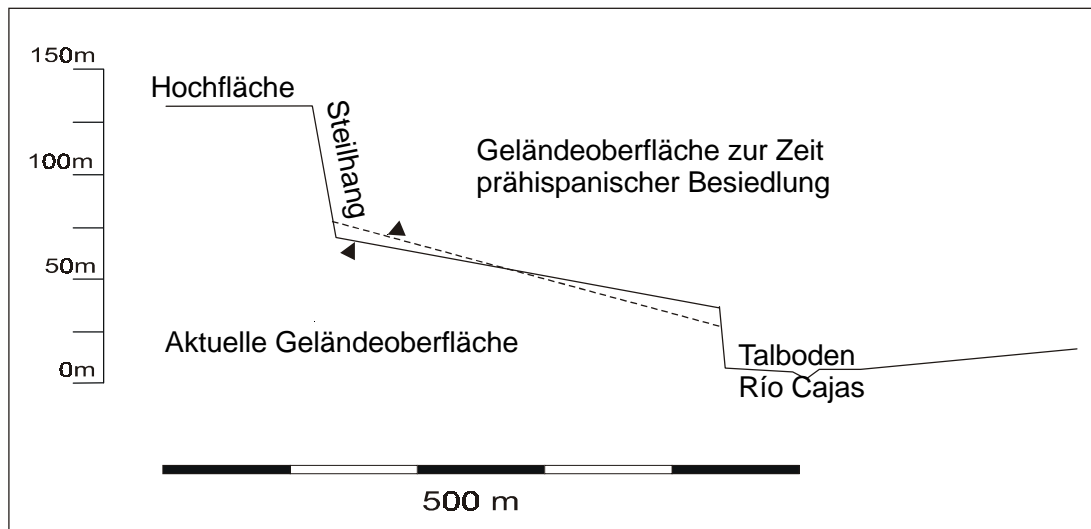


Abb. 27: Querschnitt durch den Hang von Yavi Chico mit Lage der aktuellen und historischen Geländeoberfläche
Quelle: Entwurf H. Kiegel

6 Der Wirkungskomplex anthropogener Einflüsse auf Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet

Die Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet werden von einem komplexen System physio- und anthropogeographischer Faktoren gesteuert. Die Ausprägungen der physiogeographischen Faktoren beinhalten auch ohne anthropogene Beeinflussungen ein hohes Erosionspotential (vgl. Tab. 12). Hohe Niederschlagsintensitäten, niedrige Temperaturen, hohe Strahlung und die Windverhältnisse verfügen direkt und indirekt über hohe Erosionswirksamkeiten. Die gering entwickelten Böden des Untersuchungsgebietes unterliegen einer hohen Erosionsgefahr. Die offene, Laub abwerfende Zwergstrauchsteppe kann aufgrund ihrer niedrigen Deckungsgrade von unter 30 % Erosionsprozessen nur geringen Widerstand leisten.

Physiogeographischer Faktor	Ausprägung	Konsequenzen für Erosionsprozesse	Bewertung für Erosionsprozesse (*)
KLIMA Niederschlag	niedrige Jahressummen	geringe fluviale Erosion; Gefahr Deflation	+/-
	hohe Jahresschwankungen	in feuchten Jahren erhöhte Gefahr fluvialer Erosion; in trockenen Jahren erhöhte Gefahr von Deflation	+
	hohe Niederschlagsintensitäten	hohe Plansch- u. Prallwirkung → Bereitstellung erodierbaren Materials	+
	Gliederung sommerliche Regenzeit, winterliche Trockenzeit	starker Effekt von Niederschlag auf ausgetrockneten Böden	+
	potentielle Verdunstung höher als Niederschlag	starker Effekt von Niederschlag auf ausgetrockneten Böden	+
KLIMA Temperatur	niedrige Temperaturen / fast ganzjährig Frost	Frostsprennung → Bereitstellung erodierbaren Materials	+
	Gefrieren der Fließgewässer	Abnahme der fluvialen Erosion, Zunahme Frostsprennung	-/+
	hohe direkte Sonnenstrahlung	hohe physikalische Belastung des Gesteins (Kernsprung, Desquamation, Exfoliation) → Bereitstellung erodierbaren Materials	+
	Tageszeitschwankungen höher als Jahresschwankungen	hohe physikalische Belastung des Gesteins → Bereitstellung erodierbaren Materials	
	Wärme (Sommer) bei Regenzeit	Salzsprennungen, Bildung von Krustenböden → Verminderung der Infiltration → Verstärkung Oberflächenabfluss und damit der fluvialen Erosion	+
	KLIMA Wind	Sommer: NE-, N- und E-Winde, geringe Geschwindigkeiten	feuchter Wind auf feuchten Böden → geringe Deflation
Winter: NW-Winde, hohe Geschwindigkeiten		trockener starker Wind auf ausgetrockneten Böden → Deflation	+
lokal: tagsüber Talwind, nachts Bergwind		lokale Deflation, Bildung von Nebkas in Tälern	+
RELIEF	Flachformen der Hochfläche	kaum Neigung, lange Strecken → Begünstigung der flächenhaften Abspülung sowie Deflation	+
	Vollformen der Sierras	starke Neigung → Begünstigung lineare fluvialer Erosion	+
	Hohlformen der Täler	starke Neigung → Begünstigung der linearen fluvialer Erosion; Sedimentfalle für äolisches Material	+
	Hangexposition in Tälern	Begünstigung Solifluktion auf Sonnenhängen; Frostsprennung auf Schattenhängen → Bereitstellung erodierbaren Materials	+

BÖDEN	eingeschränkte Bodenbildung	starke Erodierbarkeit wegen geringer Aggregatbildung	+
	physikalische Verwitterung höher als chemische Verwitterung	Bereitstellung erodierbaren Materials	+
	Kalkhorizonte	eingeschränkte Infiltration, Erhöhung des Oberflächenabflusses und damit der fluvialen Erosion	+
	geköpfte Profile, Anstehen des Bt- bzw. C-Horizontes	Erhöhung des Oberflächenabflusses und damit der fluvialen Erosion	+
BÖDEN: Paleargid auf Hochfläche	A-Horizont: Schluff / schluffiger Sand	Korngröße mit geringem Widerstand gegen fluviale und äolische Erosion	+
	B-Horizont: Tonhorizont	Hindernis in Wasserkreislauf des Bodens → bei Niederschlag: Verschlammung im A-Horizont / hoher Oberflächenabfluss → bei Trockenheit: Verhinderung aufsteigender Wasserzirkulation / Austrocknung des A-Horizontes → Gefahr Deflation	+
	Kalkanreicherungshorizont in C-Horizont	Hindernis in Wasserzirkulation (s.o.)	+
	hoher Steingehalt	hohe Oberflächenrauigkeit; Reduzierung Prall-/Planschwirkung	-
	mäßige bis schlechte Entwässerung	Gefahr Verschlammung im Oberboden, verminderter Oberflächenabfluss	-
	gehemmte Aggregatbildung	Gefahr fluvialer und äolischer Erosion	+
BÖDEN: Entisole auf Schuttfächern und Kegeln	geringe Entwicklung	allgemein hohe Erodierbarkeit	+
	Fehlen des B-Horizontes	Förderung der Entwässerung und damit Verringerung Oberflächenabfluss; aber: Gefahr von Deflation wegen mangelnder Fixierung kapillaren Wassers	-/+
	hoher Steingehalt	hohe Oberflächenrauigkeit, Reduzierung Prall-/Planschwirkung	-
VEGETATION	Hemmung der Vegetationsentwicklung durch verschiedene Ungunstfaktoren, insbesondere im Wasserhaushalt	geringer Schutz vor Erosion	+
	niedriger Deckungsgrad	wenig Schatten → hohe Bodenverdunstung, Austrocknung → Gefahr der Deflation	+
	niedriger Deckungsgrad und Vegetationsentwicklung	geringe Durchwurzelung → geringe Bodenauflockerung → geringe Infiltration → erhöhter Oberflächenabfluss und damit fluviale Erosion	+
	niedriger Deckungsgrad und Vegetationsentwicklung	wenig Streu → schlechte Nährstoffversorgung → geringe Kohäsionskräfte → hohe Erodierbarkeit	+
	niedriger Deckungsgrad und Vegetationsentwicklung	kaum Schutz vor auftreffenden Niederschlag → Prall- und Planschwirkung → Bereitstellung erodierbaren Materials	+
	morphologische und anatomische Anpassungsstrategien an Ungunstfaktoren	Schutz vor Erosion durch verbesserte Vegetationsentwicklung	-

* + = Zunahme der Erosionsprozesse; - = Abnahme der Erosionsprozesse

Tab. 12: Physiogeographische Faktoren des Untersuchungsgebietes und ihre Einflüsse auf Erosionsprozesse

Quelle: Entwurf H. Kiegel

Im Laufe der Besiedlungsgeschichte wurden die physiogeographischen Faktoren im Untersuchungsgebiet durch verschiedenartige anthropogene Aktivitäten modifiziert und dadurch die jeweilige Stärke der Erosionsprozesse variiert (vgl. Tab. 13).

Besiedlungsphase	Anthropogene Aktivität	Einfluss auf Naturhaushalt	Stärke der Erosionsprozesse (*)
Jäger und Sammler (12 000 – 8 000 BP)	Jagd und Sammeln	Sehr geringe Einflüsse	+/-
Prähispanische Ackerbaukulturen (10. – 15. Jh.)	Ackerbau	Pflanzensoziologische Modifikation durch verwilderte Kulturpflanzen	+
	Bewässerungsfeldbau	Verschlämmung und Versalzung	+
	Entnahme von Flusswasser für Bewässerungsfeldbau	Verringerung der Flusserosion	-
	Anlagen von Terrassen und Erosionsschutzmauern	Künstliches Relief; Unterbindung des natürlichen Abflusses	-
	Beginnende Viehwirtschaft	Erste Degradierung der Vegetation	+
	Viehwirtschaft	Abdrängen von Wildtierherden	+/-
	Viehwirtschaft mit Lamas (Schwielensohler)	Geringe Trittbelastung	+/-
	Abbrennen von Strauchsteppe zur Weideverbesserung	Verschiebung der Vegetationszusammensetzung: Dominanz krautiger, feuerresistenter Pflanzen gegenüber Holzgewächsen	+
	Entnahme von Brennholz für Töpferei und Metallverarbeitung	Dezimierung von Holzgewächsen	+
	Entnahme von Holz für Bauzwecke	Dezimierung von Holzgewächsen	+
	Entnahme von Wildpflanzen für medizinische und rituelle Zwecke	Pflanzensoziologische Verarmung	+
	Entnahme von Steinen aus Flusstälern und Hochfläche für Mauerbau	Veränderung des Abflussverhaltens in Flusstälern und auf der Hochfläche	+
	Große Ausbreitung der Ackerbauflächen	Höhere Gefahr der Verwildering von Kulturpflanzen	+
	Steigender Bevölkerungsdruck	Allgemeine Zunahme der Belastung des Naturhaushaltes	+
Aufgabe von Siedlungen	Rückkehr zu natürlichen Prozessen	-	
Kolonialzeit (16. – 18. Jh.)	Wandel sesshafter Bauern zu halb-nomadischen Viehzüchtern	Starker Einfluss auf Weidevegetation	+
	Einführung europäischer Nutztierarten	Grasnarbenzerstörung und Bodenverdichtung durch Huftiere	+
	Abdrängen von Lamas auf unproduktive Standorte	Schädigung der Vegetation auf empfindlichen Standorten	+
	Dominanz von Rindern: hohes Gewicht	Starke Bodenverdichtung	+
	Einführung europäischer Nutzpflanzen	Verwildering, Zurückdrängen der natürlichen Vegetation	+
	Pflügen mit von Ochsen gezogenem Hakenpflug	Stärkere Bodenauflockerung	+
	Handelsweg nach Potosí	Starke Degradierung der Vegetation und des Bodens am Wegrand	+
	Hoher Weidedruck durch großen Viehbestand für Export	Vegetationsdegradierung; Verschiebung des Vegetationsspektrums zugunsten nicht beweideter Pflanzen; Herabsetzung des Deckungsgrades; Bodenverdichtung	+
	Wanderung durch Sierra de Santa Victoria für winterliche Beweidung	Trittbelastung an Hängen der Sierra	+
	Verlagerung Schwerpunkt Viehwirtschaft von Rindern zu Eseln	Verschiebung der Vegetationszusammensetzung	+
Unabhängigkeit und 19. Jh.	Aufgabe von Landwirtschaft wegen Krieg	Verringerung der Belastung	-
	Intensivierung des Ackerbaus durch eingeschränkten Tauschhandel	Erhöhte Gefahr der Verwildering von Kulturpflanzen	+
	Wandel exportorientierter Viehwirtschaft mit Rindern und Eseln zu subsistenzorientierter Viehwirtschaft mit Schafen, Lamas, Ziegen	Verschiebung der Weidepflanzen und damit der Vegetationszusammensetzung	+/-
	Zunahme des Bestandes an Ziegen: breites Nahrungsspektrum und Ausreißen der Pflanzen	Besonders starke Degradierung der Vegetation	+
	Viehexport durch neuen Bergbau in Bolivien	Beeinträchtigung der Vegetation und des Bodens	+

	Rückgang der Landwirtschaft durch ergänzende Einnahmen aus Arbeiten auf Zuckerrohrplantagen	Geringere Belastung der Vegetation und des Bodens	-
	Permanente Abwanderungen	Verwilderung von Ackerflächen; Zerstörung von Terrassen	+/-
20. Jh. bis Heute	Eisenbahnbau: Bahnschwellen und Feuerung der Lokomotiven	Zerstörung von Holzbeständen	+
	Neue Siedlungen an Bahnstrecke als Umschlagplätze für Vieh	Degradierung der Vegetation und des Bodens in Siedlungsnähe	+
	Intensivierung der Nutzungen durch Anschluss der Puna an Weltwirtschaft durch Eisenbahnbau	Degradierung der Vegetation und des Bodens; Bildung von Nebkas, Flugsanddecken, Dünenfeldern; Aktivierung von Altdünen	+
	Aufschwung Bergbau in Puna	Degradierung von Holzgewächsen durch Brennholznutzung	+
	Ackerfurchen nicht mehr reliefunabhängig zur Sonne ausgerichtet	Verringerung der Erosionsgefahr	-
	Einführung neuer Kulturpflanzen	Gefahr der Verwilderung und Konkurrenz	+
	Anstieg Bestand an Schafen und Ziegen; Rückgang Bestand an Lamas und Esel	Verstärkung der Modifikationen von Vegetation und Boden	+
	Winterliche Beweidung brachliegender Ackerflächen	Trittschäden auf vegetationslosen Feldern	+
	Verstärkte Beschaffung von Brenn- und Bauholz; Sammeln von Wildpflanzen	Dezimierung von Sträuchern; pflanzensoziologische Verarmung	+
	Rückgang der subsistenten Landwirtschaft durch ergänzende Einnahmen durch Arbeiten auf Plantagen und anderen Beschäftigungen	Geringere Belastung der Vegetation und des Bodens; Verwilderung von Ackerflächen, Zerstörung von Terrassen; Veränderung der künstlich geschaffenen „Ersatzgesellschaft“ zugunsten fressbarer Arten	+/-
	Übergabe der Ländereien an ansässige Bevölkerung	Geringere Belastung durch nachhaltigere Nutzung	-
	Anlage von vegetationslosen Wegen, Prospektionsschneisen	Bodenverdichtung; Kanalisation des Oberflächenabflusses; Ausgangslinien für lineare Erosion, Gefahr der Auswehung	+
	Anlage von Gewächshäusern	Kein direkter Einflüsse, da eingegrenzt und überdacht	+/-
	Armut und mangelndes Kapital	Starke Nutzung natürlicher Ressourcen (Brenn- und Bauholz), Überweidung	+

(*) - Abnahme, +/- Konstant, + Anstieg

Tab. 13 Besiedlungsphasen in der Argentinischen Puna und ihre jeweiligen neuen Einflüsse auf den Naturhaushalt und die Stärke von Erosionsprozessen
Quelle: Entwurf H. Kiegel

Die anthropogenen Eingriffe in den Naturhaushalt führen in den meisten Fällen zur Degradierung der Vegetation und des Bodens. Als Folge kommt es zu einer Verstärkung der Erosionsprozesse. Die anthropogen bedingte Intensivierung bzw. Beschleunigung der Erosionsprozesse führen zu quasinatürlichen Prozessen und Formen im Sinne von Mortensen. Sie laufen nach natürlichen Gesetzmäßigkeiten ab, sind aber durch den Menschen ausgelöst und werden durch dessen weiteres Handeln in Gang gehalten (MORTENSEN 1954/55). Selbstverstärkungs- und Rückkopplungseffekte führen zur weiteren Verstärkung der Erosionsprozesse.

Starke lineare Erosionsprozesse, wie sie sich heute in der Ausbildung von Erosionsschluchten niederschlagen, gab es zur Zeit der prähispanischen Besiedlung noch nicht. Auf dem Hang von Yavi Chico dominierten vielmehr Prozesse der flächenhaften Abtragung. Der eigentliche Verfall der prähispanischen Siedlung auf dem Hang von Yavi Chico in Form von Sedimentbedeckung und Zerschneidung durch rückschreitende Erosion setzte laut KRAPOVICKAS erst nach der Siedlungsaufgabe ein (KRAPOVICKAS 1973, 13). In Yavi Chico zeigen jedoch zahlreiche prähispanische Gebäude und Mauern eine Verschüttung bzw. Zerstörung bereits während der Besiedlung an. Zeitparallel dazu wurden neue Gebäude errichtet. Diese Tatsache deutet auf bereits zur Zeit der prähispanischen Besiedlung stattfindende starke Erosionsprozesse hin, die letztendlich zur Aufgabe der Siedlung beigetragen haben. Die im oberen Abschnitt von Yavi Chico angelegten Erosionsschutzanlagen unterstützen diese Aussage.

In der Kolonialzeit wurden die Erosionsprozesse durch weitere anthropogene Eingriffe verstärkt. Selbstverstärkungseffekte führten zu einer zunehmenden Landschaftsdegradierung und damit zu einer weiteren Beschleunigung der Erosionsprozesse. Eine Abschätzung der historischen Entwicklung ergibt, dass die stärksten anthropogen bedingten Beeinflussungen des Naturhaushaltes während der Kolonialzeit stattfanden. Dies liegt insbesondere in der Einfuhr europäischer Huftierarten sowie in der exportorientierten Bewirtschaftung begründet. Die kolonialzeitlichen Nutzungen haben in der Landschaft der Puna irreversible Schäden verursacht, die sich durch Selbstverstärkungseffekte weiter intensivierten. Die ständige Weiternutzung der bereits degradierten Vegetation machte eine Regenerierung unmöglich, zumal deren Entwicklung schon aufgrund der klimatischen Verhältnisse eingeschränkt war. Als unmittelbare Folge unterlag der Boden verstärkten Erosionsprozessen. Auch direkte anthropogene Eingriffe auf den Boden verstärkten diese Erosionsgefahr. Die Bodenerosion führte auf den Hochflächen zu einem Abtransport der feinkörnigen oberen Horizonte der in ihrer Entwicklung ohnehin gehemmten Böden. Die Korrelate des Bodenabtrages finden sich heute als Kolluvien sowohl an den Ufern der Flüsse als auch in anderen tiefer gelegenen Abschnitten des Untersuchungsgebietes. Als Folge des Bodenabtrages standen bald flächenhaft Kalkanreicherungshorizonte und C-Horizonte oberflächlich an. Auf diesen Horizonten war eine

flächenhafte Abspülung nicht mehr möglich. Der Abfluss kanalisiert sich vielmehr an kleinen Unebenheiten und tendierte zunehmend zu linearen Einschneidungen. KULEMEYER und LUPO datieren das Einsetzen der verstärkten linearen Einschneidungstendenz im unteren Einzugsgebiet des Río Yavi auf 300 BP (KULEMEYER & LUPO 1998, 272). Eine klimatische oder tektonische Beeinflussung bei der Verstärkung der linearen Einschneidung ist nicht auszuschließen, dürfte jedoch nur gering sein (KULEMEYER & LUPO 1998, 275).

Das Einsetzen starker linearer Erosionsprozesse führte auf dem Hang von Yavi Chico zur Initialisierung von Erosionsschluchten. Das relativ junge Alter der Erosionsschluchten wird durch die Art belegt, wie sie den Fundort zerschneiden. Eine Einschneidung dieser Art wäre zur Zeit der prähispanischen Besiedlung nicht möglich gewesen, sie setzte vielmehr lange Zeit nach der Aufgabe und der Verschüttung der Gebäude ein.

Auch heute zeigen zahlreiche Beispiele im Untersuchungsgebiet die Selbstverstärkungseffekte von Erosionsprozessen. So verursachen die Erosionsschluchten auf dem Hang von Yavi Chico als Leitlinien des Abflusses ein Mikrogefälle, dem zahlreiche tributäre Erosionsrinnen auf dem Hang folgen. Durch die Zufuhr dieser Erosionsrinnen und der in ihnen abgehenden Abflüsse weiten sich die Erosionsschluchten weiter aus, das Gefälle wird verstärkt, und weitere Erosionsrinnen werden zugeführt. Vollformen auf den Talböden von Erosionsschluchten – Schotter- bzw. Schwemmkegel an den Einmündungen von Erosionsrinnen sowie Terrassen – kanalisieren den Abfluss und verstärken die Tiefenerosion und damit das Gefälle in den Erosionsschluchten, wodurch diesen weitere Erosionsrinnen zugeführt werden. Ähnliche Prozesse laufen an den Badlands am Rand des Bolson von Yavi ab.

Auch in den Flusstälern ist eine rezente Zunahme der Einschneidungstendenz zu beobachten. Archäologische Aufschlüsse, die am Ufer des Río Casti in Höhe des gleichnamigen Dorfes vor wenigen Jahren von der Grupo Yavi de Investigaciones Científicas untersucht worden waren, waren 1995 der Flusserosion zum Opfer gefallen (mündl. Mitteilung Diplom-Geologe Julio Kulemeyer). Das Flussbett des Río Yavi wurde zwischen 1988 und 1993 um mindestens 70 cm eingeschnitten. Messungen an anderen Flussabschnitten weisen auf eine geschätzte Einschneidungstiefe

von ca. 2 bis 3 cm/Jahr hin (KULEMEYER & LUPO 1998, 270). Starke fluviale Erosion bedingt am Uferbereich Unterschneidungen und das Abbrechen von Sedimentpaketen. Der Boden unterhalb einer Trauerweide am Ufer des Trockentales Quebrada de Piscuno wurde durch Flusserosion vollständig abtransportiert, die Wurzeln des Baumes liegen frei in der Luft. In einem anderen Trockental wurde ein parallel zum Fluss verlaufender Drahtzaun unterspült – die heute freistehenden Pfosten werden nur noch durch den Draht gehalten. Starke lineare Erosionsprozesse führen oftmals zur Zerstörung von Siedlungs- oder Nutzflächen. Dies zeigt sich am Beispiel des Steilhanges zwischen dem Hang von Yavi Chico und dem Talboden des Río Cajas, wo sowohl Teile eines jungen Gebäudes als auch einer Weidefläche der erosionsbedingten Rückverlegung des Steilhanges zum Opfer fielen.

Das sich heute zeigende Landschaftsbild des Untersuchungsgebietes spiegelt die Folgen anthropogener Eingriffe und der dadurch verstärkten Erosions- und Akkumulationsprozesse wider. Schroffe Formen wie die der Erosionsschluchten in Yavi Chico und der Badlands am Rand des Bolson von Yavi zeigen eine fortschreitende lineare Erosion an. Gleichzeitig laufen Flächenspülungsprozesse ab, die wie auf dem Hang von Yavi Chico zu positiven und negativen Hangverflachungen führen. Während der obere Abschnitt durch flächenhafte Abspülung tiefer gelegt wird, führen die korrelativen Ablagerungen auf dem unteren Abschnitt des Hanges zu einer Erhöhung der Oberfläche. Der niedrige Deckungsgrad der Vegetation und Störungen im Bodenwasserkreislauf begünstigen daneben äolische Erosion. Diese zeigt sich in einer verstärkten Mobilisierung äolischen Materials in den letzten 300 Jahren (vgl. KULEMEYER & LUPO 1998, 264).

Auch wenn die anthropogenen Eingriffen in den Naturhaushalt heute im Vergleich zu denen der Kolonialzeit gering sind, so sind ihre Auswirkungen in der bereits vorgeschädigten Landschaft gravierend. Oftmals genügt ein kleiner anthropogener Eingriff, um durch eine Kettenreaktion schwere Schäden zu verursachen. Die noch heute starke Einschneidungstendenz der Erosionsprozesse muss demnach als Summe der vorherigen Nutzungen betrachtet werden.

Die Folgen anthropogener Eingriffe in den Naturhaushalt zeigen sich heute in allen Bereichen des Untersuchungsgebietes. Es wird davon ausgegangen, dass es im

Untersuchungsgebiet keine Gebiete ohne historische oder rezente direkte anthropogene Einflüsse gibt, da auch abgelegene Bereiche durch den Menschen erschlossen sind und der Weidewirtschaft oder der Holzbeschaffung unterliegen. Zu unterscheiden sind jedoch Gebiete, die überwiegend durch eine extensive Weidewirtschaft genutzt werden, und solche, die als Siedlungs- und Ackerbaubereiche einem besonders starken anthropogenen Druck ausgesetzt sind. Dort können die Erosionsprozesse bis zur Bildung von Badlands und Erosionsschluchten führen.

Die Erosionsprozesse im Untersuchungsgebiet sind demnach Folge des Zusammenspiels verschiedener physiogeographischer Faktoren und ihrer anthropogen bedingten Modifikationen. Im Laufe der Besiedlungsgeschichte erfolgte aufgrund wechselnder Nutzungsarten sowie durch Selbstverstärkungseffekte eine Intensivierung der Modifikationen und den daraus resultierenden Stärken der Erosionsprozesse. Die anfangs dominierende flächenhafte Abtragung wurde zunehmend von linearen Erosionsprozessen begleitet. Der Mensch mit seinen Aktivitäten diente dabei zunächst als Auslöser, später als Verstärker quasinatürlich ablaufender Erosionsprozesse. Bereits während der prähispanischen Besiedlung kam es zu erosionsbedingten Zerstörungen und der Aufgabe von Siedlungen und landwirtschaftlichen Nutzflächen. Auch heute zerstören Erosionsprozesse Gebäude und Nutzflächen.

7 Ausblick: Vorschläge zur Bekämpfung der Desertifikation in der Argentinischen Puna

Auf der Konferenz über Umwelt und Entwicklung (UNCED) in Rio de Janeiro 1992 wurde Desertifikation als „Degradierung von Landressourcen in ariden, semiariden und trockenen subhumiden Zonen“ definiert, „die von verschiedenen Faktoren ausgelöst wird, zu denen insbesondere Klimaschwankungen und menschliche Einwirkungen zählen“. Dabei spielen Erosionsprozesse eine wichtige Rolle. Desertifikation impliziert weit reichende Folgen sowohl für den Naturhaushalt als auch für die ansässige Bevölkerung (vgl. MENSCHING 1990). Die Bekämpfung der Desertifikation hat insbesondere seit der 1994 verabschiedeten Internationalen Konvention zur Desertifikationsbekämpfung (CCD) zunehmend an Bedeutung gewonnen (vgl. KIEGEL 2000). Die von Desertifikation betroffenen Länder wurden aufgefordert, basisorientierte nationale Aktionspläne vorzulegen. Argentinien begann 1995 mit der Ausarbeitung und Koordination des Nationalen Aktionsplanes (Programa de Acción Nacional de Lucha Contra la Desertificación (PAN), vgl. REPUBLICA ARGENTINA 1996). Im ersten Halbjahr 1996 wurden mehrere regionale Workshops durchgeführt, so vom 13. bis 15. Juni 1996 in La Quiaca, an dem die Verfasserin teilnehmen konnte. Von den 47 geladenen Teilnehmern kam ein Großteil von den Universitäten von Jujuy, Salta und Córdoba sowie von öffentlichen Institutionen wie dem Programa Social Agropecuario und dem Instituto Nacional de Tecnología Agropecuario (INTA). Ebenso war der Grenzschutz (Gendarmería Nacional) vertreten. Trotz des öffentlichen Aufrufes über die Medien nahmen nur wenige Kleinbauern, d. h. direkt Betroffene, an der Veranstaltung teil. Verschiedene fachspezifische Arbeitsgruppen bereiteten das Thema Desertifikation unter unterschiedlichen Blickwinkeln (physiogeographische Aspekte, sozioökonomische Charakterisierung, Landnutzung etc.) auf. Schwerpunkte waren die Ursachenerfassung und die Feststellung des aktuellen Zustandes (vgl. auch BRAUN WILKE 1995). Vorschläge zur Bekämpfung der Desertifikation wurden dagegen kaum unterbreitet. Im Folgenden sollen einige Strategien zur langfristigen Bekämpfung der Desertifikation in der Argentinischen Puna vorgeschlagen werden.

Voraussetzung für die Durchführung weiterer Maßnahmen ist die systematische Erfassung der Entstehungs- und Bedingungsfaktoren. Die Ergebnisse der Programme und Projekte der verschiedenen Forschungseinrichtungen, Institutionen und Nichtre-

gierungsorganisationen sollten in koordinierter Form zusammengetragen werden. Bei der Datenerhebung sollten auch die einheimische Bevölkerung und Organe wie die Gendarmería Nacional verstärkt einbezogen werden. Sämtliche Daten könnten in ein Geographisches Informationssystem einfließen, aus dem sich neben den Entstehungsbedingungen auch das Fortschreiten der Desertifikation bzw. die Erfolge der Bekämpfungsmaßnahmen verfolgen ließen.

Bei der direkten Bekämpfung der Desertifikation sollten sowohl Maßnahmen zur Eindämmung bestehender Schäden als auch Präventivmaßnahmen durchgeführt werden. Dazu stehen drei Maßnahmenbündel zur Verfügung: Technische Erosionsschutzmaßnahmen, biologische Ressourcenschutzaktivitäten sowie landwirtschaftliche Maßnahmen (vgl. GTZ o. J).

Im Rahmen technischer Erosionsschutzmaßnahmen könnte der verstärkte Einsatz kleiner Steinmauern (pircas) zur Minderung des erosiven Oberflächenabflusses und zum Abbremsen des Windes beitragen. Künstliche Terrassen dienen ebenfalls der Verringerung des Oberflächenabflusses. Die Verbauung oberer Abschnitte von Erosionsschluchten mit Steinmauern dämmt rückschreitende Erosion ein. Derartigen Baumaßnahmen sollte aufgrund ihres hohen Arbeitsaufwandes eine eingehende Nutzenanalyse vorausgehen. Vorbeugende Erosionsschutzmaßnahmen in flachen, muldenartigen Einzugsgebieten sind wegen ihrer höheren Effektivität denen in bereits stark erodierten Gebieten vorzuziehen.

Im Rahmen biologischer Ressourcenschutzaktivitäten sind in der Puna jene zum Schutz der Vegetation, insbesondere der Holzgewächse, zu verstärken. Bislang obliegt dem argentinischen Grenzschutz per Gesetz die Vorbeugung und Verfolgung ökologischer Straftaten sowie der Schutz von Flora und Fauna. Sogenannte ökologische Patrouillen sollen den gesetzwidrigen und unkontrollierten Holzeinschlag unterbinden. Vielen Kleinbauern stellt sich jedoch oftmals keine Alternative zum Holzeinschlag – Konflikte sind vorprogrammiert. Die Ausweisung spezieller Schutzzonen könnte der Regenerierung degradierter Vegetationsflächen dienen. Dabei sollte die Kontrolle aufgrund des Akzeptanzmangels in der Hand von Dorfbewohnern liegen. Zum Schutz der Holzgewächse sollten die Bemühungen im Bereich alternativer Energiequellen intensiviert werden. Die Nutzung von Solarenergie könnte verstärkt

proklamiert und finanziell und organisatorisch unterstützt werden. Die Bereitstellung von Brennmaterialien aus anderen Regionen wie dem Chaco sollte logistisch und finanziell gefördert werden. Zusätzlich sollten alternative Baumaterialien wie Wellblechdächer subventioniert werden. Eine gezielte Aufforstung potentiell erosionsgefährdeter Standorte könnte der Erosion Einhalt bieten. Dabei sollten Interessenkonflikte, wie sie bei der Aufforstung des archäologischen Fundortes Yavi Chico im Rahmen eines in Salta angesiedelten GTZ-Projektes entstanden, minimiert werden. Holzpflanzen könnten in dorfeigenen Baumschulen mit Unterstützung der Bevölkerung aufgezogen werden.

Im Rahmen landwirtschaftlicher Maßnahmen unterstützen angepasste Bewirtschaftungsformen langfristig die Existenzsicherung der einheimischen Bevölkerung. In der Viehwirtschaft könnte eine Analyse der angewandten Wirtschaftsformen und Nutztierarten unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit erfolgen, wobei insbesondere die Tragfähigkeit des Geländes zu beachten wäre. Aufschlüsse könnte auch eine eingehende Analyse der prähispanischen Landnutzungsarten geben. Die Anlage von Gewächshäusern – in Yavi durch ein GTZ-Projekt sowie in der landwirtschaftlichen Schule proklamiert – könnte weiter gefördert werden. Die gesamte Landnutzung könnte im Rahmen eines dörflichen Ressourcenmanagements mit gemeinsamer Problemanalyse, Ausarbeitung von Lösungsansätzen und Interessenabsprache sämtlicher Dorfbewohner koordiniert werden (vgl. GTZ o. J.). Dabei sollten traditionellen Landnutzungssystemen und einheimischen Pflanzen- und Tierarten besondere Bedeutung zukommen. So könnte neben der Nutzung von Lamas auch der Anbau einheimischer Nahrungs- und Medizinalpflanzen gefördert werden.

Eine wichtige Rolle bei der Bekämpfung der Desertifikation spielt der Bereich Bildung, Fortbildung und Bewusstseinsbildung. Ein Verständnis für ablaufende Prozesse und die Folgen bestimmten Handelns könnte die weitere Landdegradierung erheblich eindämmen. Insbesondere sollten die Bemühungen verstärkt werden, Kindern als zukünftigen Nutzern der natürlichen Ressourcen den Ursachen- und Folgenkomplex der Desertifikation verständlich zu machen. Auch in der Erwachsenenbildung könnten Veranstaltungen zur Desertifikationsbekämpfung und der Stärkung des Umweltbewusstseins durchgeführt werden. Workshops, Vorträge, Beratungsgespräche, Geländeexkursionen sowie Kurse könnten Informationen über angepasste

Ressourcennutzung und Bewirtschaftungsmethoden vermitteln. Sämtliche Aktionen sollten auf das jeweilige Bildungsniveau der Zielgruppe abgestimmt und vor Ort realisiert werden. Die Wissensvermittlung setzt eine entsprechende Schulung des Lehrpersonals und anderer Multiplikatoren voraus. Neben der direkt betroffenen Bevölkerung sollte auch die breite Öffentlichkeit weiter für die Problematik der Desertifikation und Landdegradierung sensibilisiert werden, da die Auseinandersetzung mit dem Thema die Voraussetzung für die Akzeptanz finanzieller und organisatorischer Investitionen auf diesem Gebiet schafft.

Die Schaffung alternativer Beschäftigungs- und Einkommensmöglichkeiten vermindert die Gefahr der Übernutzung natürlicher Ressourcen und stellt einen indirekten Beitrag zur Desertifikationsbekämpfung dar. Gleichzeitig wird der Migrationsprozess eingedämmt. Als alternative Beschäftigungen bieten sich insbesondere solche im Kunsthandwerk an. Dieses Ziel verfolgt auch die Kooperative PUNHA, die sich neben der Erhaltung der andinen Kultur für die Unterstützung des Kunsthandwerkes einsetzt. Die Grupo Yavi de Investigaciones Científicas hat die Einrichtung einer kleinen Verkaufsstelle im Haus des Marquis in Yavi angeregt. Weitere organisatorische und finanzielle Unterstützung bei der Herstellung und Vermarktung der Produkte könnten auch dem Schutz vor der bolivianischen Konkurrenz dienen. Die Forcierung alternativer Anbaumethoden und -produkte wie die des Gemüseanbaus in Gewächshäusern bietet ebenfalls neue Beschäftigungs- und Einkommensquellen. Eine weitere Möglichkeit verspricht der Ausbau des Tourismus. Geschulte Dorfbewohner könnten interessierten Besuchern sowohl kulturelle (Archäologie, Geschichte, Brauchtum) als auch physiogeographische Aspekte (Vegetation, Geologie, evtl. auch Erosions- und Desertifikationsprozesse) erläutern und dabei die Bewusstseinsbildung der Besucher fördern. Bei sämtlichen Aktivitäten sollte insbesondere die Rolle der Frau gestärkt werden. Frauen bilden aufgrund ihrer Funktionen in der landwirtschaftliche Produktion, im Haushalt und der Familie sowie im außerlandwirtschaftlichen Bereich (Verarbeitung und Verkauf) eine Schlüsselrolle bei der Nutzung und Bewirtschaftung der natürlichen Ressourcen (vgl. GTZ o. J.).

Die Verbesserung der politischen und rechtlichen Rahmenbedingungen ist ein wichtiger Aspekt bei der erfolgreichen Umsetzung sämtlicher Aktivitäten der Desertifikationsbekämpfung. Dezentralisierungs- und Umstrukturierungsmaßnahmen im Sinne

einer Verantwortungszunahme der Betroffenen könnten dazu einen Beitrag leisten. Der Gedankenaustausch zwischen den Betroffenen und den beteiligten Institutionen, Behörden und Verwaltungsorganen sollte gefördert werden. Im Rahmen politischer Maßnahmen fallen auch jene der integrierten regionalen Entwicklungsplanung. Weiterhin sollte der rechtliche Rahmen für eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen überdacht werden. Ebenso wäre eine endgültige Klärung der Eigentumsverhältnisse notwendig.

Die aufgeführten Punkte stehen untereinander in engem Zusammenhang (vgl. Abb. 28). Die Vielschichtigkeit der Maßnahmen macht eine Koordination sämtlicher Aktivitäten unabdingbar. Informationsaustausch, Interessenausgleich und die Zusammenarbeit bzw. Vernetzung aller beteiligter Interessengruppen bilden Grundlagen einer effektiven Bekämpfung der Desertifikation. Die gezielte Koordination aller Maßnahmen vermindert eine Überschneidung und Behinderung der verschiedenen Aktivitäten. Auch die Erfahrungen in anderen Regionen, wie z.B. die des GTZ-Projektes zur Desertifikationsbekämpfung in Patagonien oder verschiedene durch das Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Aridas in Mendoza durchgeführte Maßnahmen, sollten berücksichtigt werden. Ebenso können Aktivitäten aus anderen Staaten aufschlussreiche Informationen liefern (z.B. LIBERMANN CRUZ et al. 1994). Nur eine Koordination aller Aktivitäten, wie sie auch die UN-Konvention zur Desertifikationsbekämpfung festlegt, verspricht langfristige Lösungen.

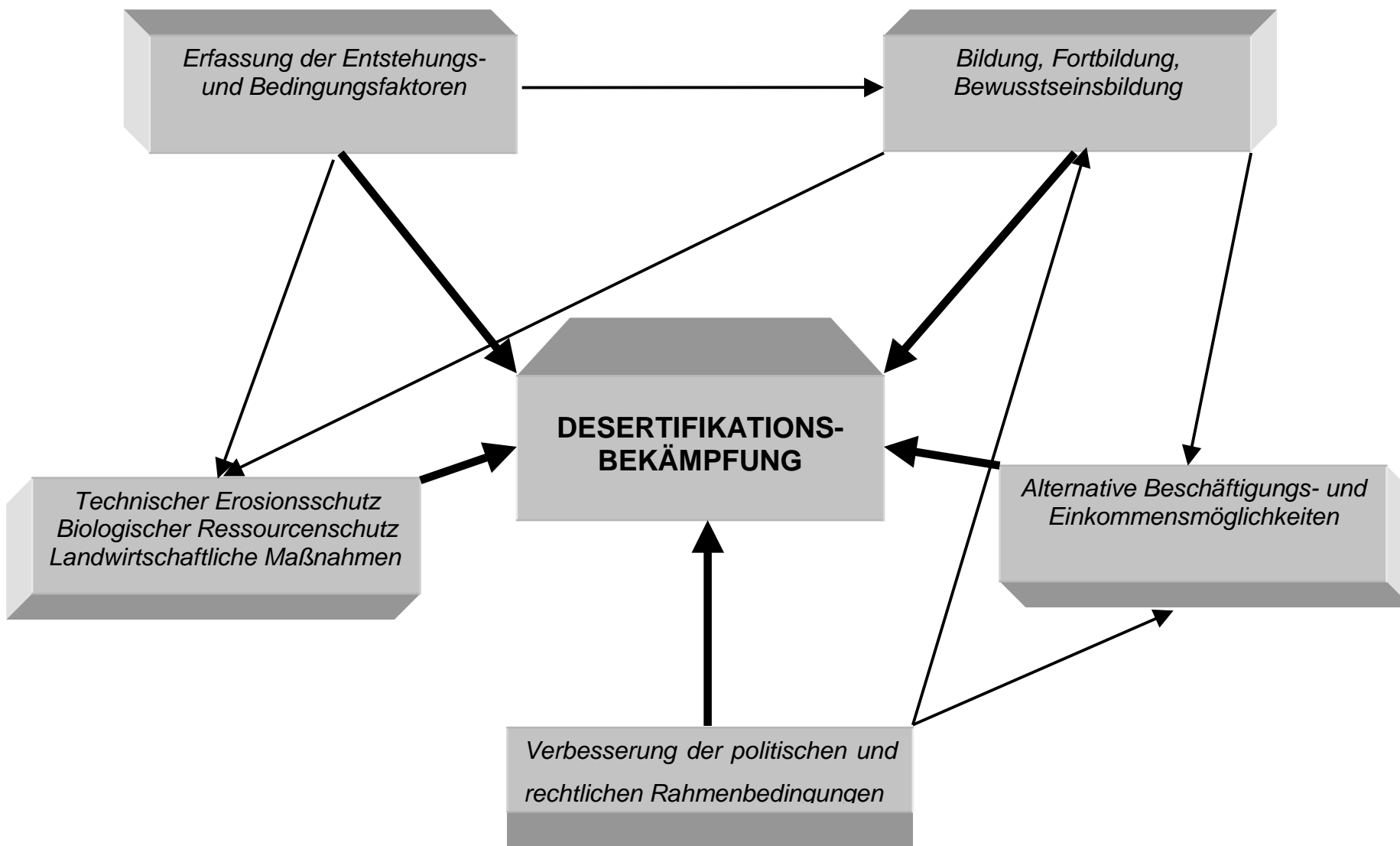


Abb. 28: Maßnahmenkomplex zur Bekämpfung der Desertifikation in der Argentinischen Puna
 Quelle: Entwurf H. Kiegel

Zusammenfassung

Rezente und historische Erosionsprozesse und ihre anthropogenen Beeinflussungen im Einzugsgebiet des Río Yavi, Argentinische Puna

Es werden Untersuchungen zu historischen und rezenten Erosionsprozessen in der Argentinischen Puna vorgestellt. Die klimatischen Rahmenbedingungen des Untersuchungsgebietes - hohe Niederschlagsintensitäten, niedrige Temperaturen, hohe Strahlung - verfügen direkt und indirekt über hohe Erosivitäten. Die – klimatisch bedingte – geringe Bodenentwicklung birgt eine hohe Erodierbarkeit; die Zwergstrauchvegetation mit ihren Deckungsgraden von maximal 30 % kann der Erosion nur geringen Widerstand leisten.

Im Laufe der Besiedlungsgeschichte unterlagen die physiogeographischen Faktoren anthropogenen Modifikationen, was eine Intensivierung der Erosionsprozesse zur Folge hatte. Sedimentologische Untersuchungen an der prähispanischen Fundstelle Yavi Chico belegen die Existenz starker Erosions- und Akkumulationsprozesse bereits während der prähispanischen Ackerbaukulturen. Verschüttung und Aufgabe von Siedlungs- und Nutzflächen waren die Folgen. In der Kolonialzeit führte eine exportorientierte extensive Weidewirtschaft mit europäischen Huftierarten zur massiven Schädigung des Bodens und der Vegetation. Folgen waren die Beschleunigung von Erosionsprozessen und eine verstärkte Einschneidetendenz. Sie gingen mit einer Abnahme von flächenhaften Erosionsprozessen sowie einer Zunahme der sedimentierten Korngrößen einher. Gleichzeitig setzte eine Remobilisierung äolischen Materials ein. Selbstverstärkungs- und Rückkopplungseffekte führten im Laufe der Besiedlungsgeschichte zur weiteren Verstärkung der Erosionsprozesse.

Die heutige Landnutzung erfolgt in einer bereits stark degradierten Landschaft. In vielen Bereichen des Untersuchungsgebietes zeigen junge Erosionsschluchten und Badlands die fortschreitende Einschneidetendenz, die durch rückschreitende Erosion auch zur Aufzehrung von Flächenresten führt.

Abstract

Recent and historical processes of erosion and their anthropological influencing within the Río Yavi Basin, Argentine Puna

This thesis concentrates upon detailed research on historical and also recent processes of erosion in the area of the Argentine Puna. The general climatic conditions in the investigation area, i.e. high precipitation, low temperature level, high radiation, do provide directly and indirectly a high amount of erosivity. Low soil development caused by climatic conditions leads to high erodibility. Dwarf scrubs vegetation covering not more than 30% cannot prevent further erosion.

During the history of settlement, human impact has modified physio-geographic aspects and processes of erosion have been severely intensified. Sedimentological investigation of the pre-Hispanic area of Yavi Chico has proved a high intensity of processes of erosion and sedimentation already during the period of pre-Hispanic agriculture. As a consequence, productive areas as well as settlement areas were buried and given up. During the period of colonization, severe damage of soil and vegetation were caused by extensive pastoral economy with European hoofed animals. In consequence already existing processes of erosion and cutting were intensified. Sheet flood erosion was reduced and the grain size of sediments increased. At the same time, the reactivation of eolian deposits had begun. Processes of self-intensification and feedback during the history of settlement caused further and even more severe processes of erosion.

Toady's land use is practised within a severely degraded landscape. A high amount of recent gullies and badlands in the area demonstrate the proceeding cutting tendency, whereas retrograding erosion exhausts the remaining sheets of the plateau.

Resumen

Procesos de erosión recientes e históricos y sus influencias antropogénicas en la cuenca del Río Yavi, Puna Argentina

Se presentan estudios sobre procesos de erosión recientes e históricos en la Puna Argentina. Las condiciones climáticas en la zona de estudio - lluvias fuertes, temperaturas bajas, radiación solar intensa - implican directamente e indirectamente un alto nivel de erosividad. El bajo desarrollo edafológico - causado por las condiciones climáticas - condiciona un alto nivel de erodibilidad. La estepa arbustiva con una cobertura máxima del 30 % no puede ofrecer mucha resistencia a la erosión.

A partir de los primeros asentamientos humanos los factores fisiogeográficos fueron modificados, lo cual causó la intensificación de los procesos de erosión. Estudios sedimentológicos en el yacimiento prehispánico de Yavi Chico documentan la existencia de intensos procesos de erosión y sedimentación ya en los tiempos de la ocupación prehispánica agroalfarera. En consecuencia, las tierras de urbanización y de cultivo quedaron sepultadas y fueron abandonadas. En la época colonial, una economía extensiva orientada a la exportación y basada en la pasticultura con ungulados europeos causó daños masivos en el suelo y la vegetación. Estos procesos fueron acompañados por una reducción de los procesos de erosión mantiforme y un aumento en la granulación de los sedimentos depositados. Simultáneamente comenzó una removilización de los depósitos eólicos. Durante el proceso de poblamiento los efectos de autoamplificación y retroalimentación intensificaron los procesos de erosión.

Hoy día el uso de la tierra tiene lugar en un paisaje ya muy degradado. En grandes áreas de la zona de estudio, cárcavas y badlands indican una tendencia progresiva de incisión. Procesos de erosión retrocedente consumen los restos de la planicie.

Literaturverzeichnis

ACEÑOLAZA, Florencio G. & TOSELLI, Alejandro J. (1981): Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Tucumán. 212 S.; Tucumán.

ARGOLLO, J. & MOURGOIART, P (1998): Escenarios paleohidrológicos y paleoclimáticos de los últimos 25.000 años en los Andes Bolivianos. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.]: Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 1-16; Bamberg.

ASCENCIO, M., IGLESIAS, R. & SCHENONE, H. (1964): Pueblos de encomienda en la Puna Argentina. In: Revista Nuestra Arquitectura, Nr. 417, August, 33-38; Buenos Aires.

ASSADOURIAN, C. S. (1983): El sistema de la economía colonial. El mercado interior, regiones y espacio económico. Editorial Nueva Imagen; Mexico.

AUERSWALD, Karl (1998): Bodenerosion durch Wasser. In: RICHTER, Gerold [Hrsg.]: Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. 33-42; Darmstadt.

BAIED, Carlos A. & WHEELER, Jane C. (1993): Evolution of High Andean Puna Ecosystems: Environment, Climate, and Culture Change over the last 12,000 years in the Central Andes. In: Mountain Research and Development, 13, 145-156; Berkeley.

BERNAL, Irma (1984): Rebeliones indígenas en la Puna. Aspectos de la lucha por la recuperación de la tierra. 69 S.; Buenos Aires.

BESLER, Helga (1992): Geomorphologie der ariden Gebiete. Erträge der Forschung, 280. 203 S.; Darmstadt.

BIANCHI, Alberto R. & YAÑEZ, Carlos E. (1992): Las Precipitaciones en el Noroeste Argentino. 2. Auflage. 383 S.; Salta.

BOLSI, Alfredo S. C. (1982): El hombre y el medio en la puna argentina. In: Revista Geográfica, Nr. 95, enero-junio 1982, 46-54; Mexico.

BOMAN, Eric (1908): Antigüedades de la región andina de la República Argentina y del desierto de Atacama. 2 Bände. 914 S. (Übersetzung ins Spanische 1992), Universidad Nacional de Jujuy; Jujuy.

BRACKEBUSCH, L. (1883): Estudios de la Formación Petrolífera de Jujuy. Academia Nacional de Ciencias de Córdoba, V, 137-252; Córdoba.

BRAUN WILKE, Rolando (1991): Plantas de interés ganadero de Jujuy y Salta. 309 S.; Buenos Aires.

BRAUN WILKE, Rolando (1995): Desertificación en la provincia de Jujuy. Universidad Nacional de Jujuy. Serie Divulgación Científica. 17 S.; Jujuy.

BRUNOTTE, Ernst, GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut (1988): Anthropogene Beeinflussung der Morphodynamik im Bolsón de Fiambalá, Nordwestargentinien. In: Abhandlungen der Akademie der Wissenschaften Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse, 3. Folge, Nr. 41, 307-327; Göttingen.

BUMAN, Roberto Alejandro (1989): La agricultura pre-hispánica en la cuenca del río Calchaquí. Consideraciones para evaluar su magnitud. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Nr. 1, 5-17; Jujuy.

CABRERA, Angel L. (1947): Notas sobre la vegetación de la Puna Argentina. In: Anales de la Academia Nacional de C.E.F. y N. de Buenos Aires, XII, 15-38; Buenos Aires.

CABRERA, Angel L. (1957): La vegetación de la Puna Argentina. In: Revista de Investigaciones Agrícolas, XI, Nr. 4, 317-412.

CABRERA, Angel L. (1968): Ecología vegetal de la Puna. In: TROLL, Carl [Hrsg.]: Geo-Ecology of the mountainous Regions of the tropical Americas. Colloquium Geographicum, 9, 91-116; Bonn.

CABRERA, Angel L. (1976): Regiones fitogeográficas argentinas. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería, II, Fascículo 1. 2. Auflage, 85 S.; Buenos Aires.

CABRERA, Angel L. [Hrsg.](1977): Flora de la Provincia de Jujuy. República Argentina. 10 Bände; Buenos Aires.

CASTELLANOS, A. (1928): Por un rincón de la Puna de Atacama. 66 S.; Buenos Aires. (Neuaufgabe durch die Asociación Cultural de Conferencias de Rosario, Publ. Nr. 6).

CIGLIANO, Eduard Mario (1968): Panorama general de las industrias precerámicas en el Noroeste Argentino. In: Actas y Memorias, XXXVII Congreso Internacional de Americanistas, Mar del Plata, Bd. 3, 339-344; Buenos Aires.

CLADOUHOS, T. T., ALLMENDINGER, R. W., COIRA, B. & FARRAR, E. (1994): Late Cenozoic deformation in the Central Andes: fault kinematics from the northern Puna, northwestern Argentina and southwestern Bolivia. In: Journal of South American Earth Sciences, 7, Nr. 2, 209-228.

CONTI, Viviana (1989): Las ferias como articuladores regionales en el siglo XIX. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Nr. 1, 106-118; Jujuy.

DENEVAN, William M. (1992): The Pristine Myth: The Landscape of the Americas in 1492. In: BUTZER, Karl W. [Hrsg.]: The Americans before and after 1492: Current Geographical Research. Annals of the Association of American Geographers, 82, Nr. 3. 369-385.

DIRECCIÓN DE MINERÍA DE LA PROVINCIA DE JUJUY (1922 – 1992): Padrones de Minería. Unveröffentlichte Daten; Jujuy.

DOMINGUEZ, Oscar (1954): Geoedafología en el Departamento de Yavi (Jujuy). In: Revista del Museo Municipal de Ciencias Naturales y Tradicional de Mar del Plata, I, Entrega 2, 56-111; Mar del Plata.

ECHENIQUE, Mónica Rosa (1995): Desarrollo histórico y social de Yavi. Persistencia y adaptación ante los procesos modernizantes en la Puna de Jujuy. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales. Unveröffentlichte Diplomarbeit; Jujuy.

ERIKSEN, Wolfgang (1978): Zur klimatischen Differenzierung vergleichbarer Höhenlagen in der argentinischen Zentralkordillere und Puna. In: TROLL, Carl & LAUER, Wilhelm [Hrsg.]: Geoökologische Beziehungen zwischen der temperierten Zone der Südhalbkugel und den Tropengebirgen (= Erdwissenschaftliche Forschung, XI), 318-328; Wiesbaden.

ERIKSEN, Wolfgang (1983): Aridität und Trockengrenzen in Argentinien. Ein Beitrag zur Klimageographie der Trockendiagonale Südamerikas. In: Studia Geographica. Festschrift Wilhelm Lauer zum 60. Geburtstag (= Colloquium Geographicum, 16), 43-68; Bonn.

FERNANDEZ, Jorge C., MARKGRAF, Vera, PANARELLO, Héctor O., ALBERTO, Miguel, ANGIOLINI, Fernando E., VALENCIO, Susana & ARRIAGA, Mira (1991): Late Pleistocene/Early Holocene Environments and Climates, Fauna, and Human Occupation in the Argentine Antiplano. In: Ge archaeology: An International Journal, 6, Nr. 3, 251-272.

FERNANDEZ DISTEL, Alicia Ana (1980): Elementos indicadores de pautas de vida migratorias en etnias del Borde de la Puna Jujeña (Argentina). In: Actas del V Congreso de Arqueología Argentina (1978), 99-101; San Juan.

FERNANDEZ DISTEL, Alicia Ana (1986): Las cuevas de Huachichocana, su posición dentro del precerámico con agricultura incipiente del Noroeste Argentino. In: Beiträge zur allgemeinen und vergleichenden Archäologie, 8, 353-430; Mainz.

FRIES, Robert Elias (1905): Zur Kenntnis der alpinen Flora im nördlichen Argentinien. In: Nova Acta Regiae Societatis Scientiarum Upsaliensis, Ser IV, Bd. 1, Nr. 1; Uppsala.

GANSSEN, Robert (1968): Trockengebiete. Böden, Bodennutzung, Bodenkultivierung, Bodengefährdung; Mannheim-Zürich.

GARLEFF, Karsten, SCHÄBITZ, Frank, STINGL, Helmut & VEIT, Heinz (1991): Jungquartäre Landschaftsentwicklung und Klimageschichte beiderseits der Ariden Diagonale Südamerikas. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.]: Südamerika. Geomorphologie und Paläoökologie im jüngeren Quartär (= Bamberger Geographische Schriften, 11), 359-394; Bamberg.

GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.](1998): Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 401 S.; Bamberg.

GEROLD, Gerhard (1987): Untersuchungen zur Klima-, Vegetations-Höhenstufung und Bodensequenz in SE-Bolivien. (Ein randtropisches Andenprofil vom Chaco bis zur Puna). In: Beiträge zur Landeskunde Boliviens (= Aachener Geographische Arbeiten, 19), 1–70; Aachen.

GEYGER, Erika (1985): Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Vegetation im nordwestargentinischen Andenhochland. Dissertationes Botanicae 88. 216 S.; Berlin, Stuttgart.

GESELLSCHAFT FÜR TECHNISCHE ZUSAMMENARBEIT (GTZ) (Hrsg.)(o.J.): Desertifikationsbekämpfung in den Trockengebieten der Dritten Welt: Eine Herausforderung für die Entwicklungszusammenarbeit. 46 S.; Eschborn.

GROSJEAN, M., NUÑEZ, L.A., CARTAJENA, I. & MESSERLI, B. (1997): Mid-Holocene Climate and Culture Change in the Atacama Dessert, Northern Chile. In: Quaternary Research, 48, 239-246.

HANSEN, Eduardo William (1994): Los camélidos sudamericanos y la Puna Jujeña. Aclimatación en ambientes extraandinos. Universidad Nacional de Jujuy, INTA. 96 S.; Jujuy.

HARTGE, Karl Heinrich & HORN, Rainer (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden, 2. Auflage; Stuttgart.

HASSENPFUG, Wolfgang (1998): Bodenerosion durch Wind. In: RICHTER, Gerold [Hrsg.]: Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. 69–82; Darmstadt.

HOLMBERG, Eduardo A. (1900): Viaje por la Gobernación de los Andes (Puna de Atacama). Dirección de Agricultura y Ganadería. Ministerio de Agricultura de la República Argentina; Buenos Aires. (Neudruck 1988 durch Universidad Nacional de Jujuy; Jujuy.)

HUECK, Kurt (1950/51): Vegetationskarten aus Argentinien. In: Die Erde, 2, 145-154; Berlin.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS, REPUBLICA ARGENTINA (1997): Anuario Estadístico 1997. <http://www.indec.mecon.ar/anuario/infoprov.htm>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADISTICA Y CENSOS, REPUBLICA ARGENTINA (1985): La pobreza en la Argentina. Indicadores de necesidades básicas insatisfechas a partir de los datos del censo nacional de población y vivienda 1980, 2. Auflage, 509 S.; Buenos Aires.

IGARZABAL, Antonio. P. (1984): Origen y evolución morfológica de las cuencas evaporíticas cuaternarias de la Puna Argentina. In: Actas. IX Congreso Geológico Argentino. Bd. 3, 595-607. Bariloche.

IRIONDO, Martín H. (1993): Cambios climáticos en el Noroeste durante los últimos 15.000 años. In: IRIONDO, Martín H. [Hrsg.]: El Holoceno en la Argentina. CADINQUA, 2, 35-44.

KIEGEL, Heidrun (1992): Relief und Vegetationsbedeckung im anthropogen überprägten Piedmont der Präkordillere bei Mendoza/Argentinien. Geographisches Institut der Universität zu Köln, Unveröffentlichte Diplomarbeit. 168 S; Köln.

KIEGEL, Heidrun (2000): Vereint gegen die Wüste. Desertifikationsbekämpfung – eine Aufgabe für die Vereinten Nationen und die deutsche Entwicklungshilfe. Praxis Geographie, 30, H. 12, 58-59. Braunschweig.

KRAPOVICKAS, Pedro (1961a): El arte rupestre del noroeste argentino y sus paralelismos en el Nuevo y Viejo Mundo. In: Nordeste. Revista de la Facultad de Humanidades, Universidad Nacional del Nordeste, Nr. 3; Resistencia.

KRAPOVICKAS, Pedro (1961b): Noticia sobre el arte rupestre de Yavi, Provincia de Jujuy, República Argentina. In: Anales de Arqueología y Etnología, Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras, XVI, 135-167; Mendoza.

KRAPOVICKAS, Pedro (1965): La cultura de Yavi, una nueva entidad cultural puneña. In: ETNIA, Nr. 2, 9-10; Olavarría.

KRAPOVICKAS, Pedro (1968): Subárea de la Puna Argentina. In: XXXVII Congreso Internacional de Americanistas, Actas y Memorias, Bd. II, 235-271; Buenos Aires.

KRAPOVICKAS, Pedro (1973): Arqueología de Yavi Chico (Provincia de Jujuy, República Argentina). In: Revista del Instituto de Arqueología, IV, 5-22; Buenos Aires.

KRAPOVICKAS, Pedro (1975): Algunos tipos cerámicos de Yavi Chico. In: Actas y Trabajos del Primer Congreso de Arqueología Argentina, Rosario 1970, 293-300; Buenos Aires.

KRAPOVICKAS, Pedro (1977): Arqueología del Cerro Colorado (Departamento Yavi, Provincia de Jujuy, República Argentina). In: Obra del Centenario del Museo de La Plata, Bd. II, 123-148; La Plata.

KRAPOVICKAS, Pedro (1980): Informe correspondiente a los subsidios Nr. 275 k/78 y 275 l/79, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Unveröffentlicht.

KRAPOVICKAS, Pedro (1981): Informe correspondiente al subsidio Nr. 275 m/80. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. Unveröffentlicht.

KRAPOVICKAS, Pedro & ALEKSANDROWICZ, Sergio (1986/87): Breve visión de la cultura Yavi. In: Anales de Arqueología y Etnología. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Filosofía y Letras, 41/42, 83-127; Mendoza.

KRISL, Peter (1999): Beobachtungen zur Frage pedologischer Kalkanreicherungen in NW-Argentinien. In: SCHÄBITZ, Frank & LIEBRICHT, Helga [Hrsg.]: Beiträge zur quartären Landschaftsentwicklung Südamerikas. Festschrift zum 65. Geburtstag von Professor Dr. Karsten Garleff (= Bamberger Geographische Schriften, 19), 35-47; Bamberg.

KULEMEYER, Jorge A. (1995): Presencia humana de hace más de 12.000 años en Yavi, Jujuy. In: Revista. Secretaria de Extensión Universitaria, Universidad Nacional de Jujuy, Nr. 7, 8-9; Jujuy.

KULEMEYER, Jorge A. (1998): El uso de los recursos naturales entre los cazadores-recolectores tempranos del borde oriental de la Puna jujeña. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.]: Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 243-262; Bamberg.

KULEMEYER, Jorge A. & KULEMEYER, Julio J. (1989a): Algunas consideraciones acerca de la geología y la arqueología del sistema del río Yavi. (Departamento de Yavi, Provincia de Jujuy). In: Comunicaciones Científicas. Dirección Provincial de Antropología e Historia. 1, Nr. 1, 27-36; Jujuy.

KULEMEYER, Jorge A. & KULEMEYER, Julio J. (1989b): Yavi, el clima actual e inferencias para la Arqueología. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias, Nr. 1, 68-80; Jujuy.

KULEMEYER, Jorge A., LAGUNA, Luis L. & VIANA, Antonio G. (1989): Arqueología del Sitio "La Cueva" de Yavi y zonas aledañas (Departamento de Yavi, Provincia de Jujuy). Breve reseña. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Nr. 1, 81-91; Jujuy.

KULEMEYER, Jorge A., LUPO, Liliana C., KULEMEYER, Julio J. & LAGUNA, Luis R. (1999): Desarrollo paleoecológico durante las ocupaciones humanas del precerámico del norte de la Puna Argentina. In: SCHÄBITZ, Frank & LIEBRICHT, Helga [Hrsg.]: Beiträge zur quartären Landschaftsentwicklung Südamerikas. Festschrift zum 65. Geburtstag von Professor Dr. Karsten Garleff (= Bamberger Geographische Schriften, 19), 233-255; Bamberg.

KULEMEYER, Julio J. (im Druck): Untersuchungen zur Klima- und Reliefgeschichte des Río Yavi während des Holozän (Nordwestargentinien). Dissertation; Bayreuth.

KULEMEYER, Julio J. & LUPO, Liliana (1998): Evolución del paisaje bajo influencia antrópica durante el Holoceno Superior en la cuenca del río Yavi, Borde oriental de la Puna. Jujuy, Argentina. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.]: Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 263-276; Bamberg.

LAGUNA, Luis L. (1995): Arqueología del sector Sureste de La Cueva de Yavi, Puna de Jujuy. Universidad Nacional de Jujuy. Unveröffentlichte Diplomarbeit; Jujuy.

LAGUNA, Luis L. (1996): Informe de la campaña 1996, al sitio denominado „Antigal de Yavi Chico“ en el Departamento de Yavi, Provincia de Jujuy. Unveröffentlichter Geländebericht; Jujuy.

LIBERMANN CRUZ, Máximo, QAYUM, Seemin, SALAS, Edgar, ARGOLLO, Jaime & RODRIGO G., Luis Alberto (1994): Seminario Latinoamericano de Desertificación. La Desertificación en Bolivia. Liga de Defensa del Medio Ambiente; La Paz.

LOUIS, Herbert & FISCHER, Klaus (1979): Allgemeine Geomorphologie. 814 S.; Berlin, New York.

LUPO, Liliana (1998): Estudio sobre la lluvia polínica actual y la evolución del paisaje a través de la vegetación durante el Holoceno en la cuenca del Río Yavi. Borde Oriental de la Puna, Noroeste argentino. Dissertation. 87 S.; Bamberg.

LUPO, Liliana & ECHENIQUE, Monica (1995): Avances de un estudio etnobotánico en la comunidad puñena de Yavi, Jujuy, Argentina. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Nr. 5, 127-150; Jujuy.

MACHATSCHEK, Fritz (1957): Altformen und junge Krustenbewegungen in den Anden Südamerikas. In: Festschrift Hundertjahrfeier Geographische Gesellschaft zu Wien 1856-1956, 299-310; Wien.

MADRAZO, Guillermo B. (1982): Hacienda y Encomienda en los Andes. La Puna Argentina bajo el Marquesado de Tojo. Siglos XVII a XIX. 211 S.; Buenos Aires.

MARKGRAF, Vera (1985): Paleoenvironmental history of the last 10.000 years in Northwestern Argentina. In: Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil 1, H. 11/12, 1739-1748; Stuttgart.

MENSCHING, Horst G. (1990): Desertifikation, ein weltweites Problem der ökologischen Verwüstung in den Trockengebieten der Erde. 170 S.; Darmstadt.

MORTENSEN, Hans (1954/55): Die "quasinatürliche" Oberflächenformung als Forschungsproblem. In: Wissenschaftliche Zeitung der Ernst Moritz Arndt-Universität Greifswald, IV, 625-628.

NADIR, A. & CHAFATINOS, T. (1990): Los Suelos del NOA (Salta y Jujuy). 2 Bände; Salta.

NORDENSKJÖLD, Erland (1903): Travels on the boundaries of Bolivia and Argentina. In: The Geographical Journal, XXI, May, 510-525; London.

OTTONELLO DE GARCÍA REINOSO, Marta (1973): Instalación, economía y cambio cultural en el sitio tardío de Agua Caliente de Rachaite. In: Publicaciones. Dirección de Antropología e Historia, Gobierno de la Provincia de Jujuy, Nr. 1, 23-68; Jujuy.

OTTONELLO DE GARCÍA REINOSO, Marta & KRAPOVICKAS, Pedro (1973): Ecología y arqueología de cuencas en el sector oriental de la Puna, República Argentina. In: Publicaciones. Gobierno de la Provincia de Jujuy, Dirección de Antropología

e Historia, Nr. 1, 3-21; Jujuy.

OTTONELLO, Marta & LORANDI, Ana María (1987): Introducción a la arqueología y etnología. Diez mil años de historia argentina; Buenos Aires.

PAZ, Gustavo L. (1989): Tendencia de Tierras y Sociedad en la Puna de Jujuy a fines del Siglo XIX. In: Cuadernos. Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales, Nr. 1, 119-133; Jujuy.

PRIETO, Maria del Rosario & ABRAHAM, Elena M. (1998): Historia ambiental del sur de Mendoza (Siglos XVI al XIX). Los Factores críticos de un Proceso de Desertificación. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.]: Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 277-297; Bamberg.

PRIETO, Maria del Rosario & HERRERA, Roberto (1992): Las perturbaciones climáticas de fines del siglo XVIII en el área andina. In: Proyecto NOA. El Noroeste Argentino como región histórica. Integración y desintegración regional. Estudio del país interior, Nr. 1, 7-35; Sevilla.

PRIETO, Maria del Rosario & JORBA, Rodolfo A. Richard (1991): Las anomalías climáticas en la cuenca del Plata y el NOA y sus consecuencias socioeconómicas. Siglos XVI-XVII y XVIII. In: Leguas. Revista Argentina de Geografía, Universidad Nacional de Cuyo, Nr. 1, 41-103; Mendoza.

PRIETO, Maria del Rosario, HERRERA, Roberto & DUSSEL, Patricia (1998): Clima y disponibilidad hídrica en el Sur de Bolivia y noroeste de Argentina entre 1560 y 1710. Los documentos españoles como fuente de datos ambientales. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.](1998): Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär (= Bamberger Geographische Schriften, 15), 36-57; Bamberg.

PROHASKA, Federico J. (1961): Algunos aspectos del clima de la alta cordillera y de la puna argentina. In: Boletín de Estudios Geográficos. Universidad Nacional de Cuyo, VIII, Nr. 30, 21-30; Mendoza.

PROHASKA, Fritz (1953/55): Über die meteorologischen Stationen der Hohen Cordillere Argentinien. In: 51.- 53. Jahresbericht des Sonnblick-Vereins für die Jahre 1953-1955, 45-55; Wien.

PROYECTO ESPECIAL MULTINACIONAL OEA/065 (1984): Estudios de suelos de la Puna Jujeña (Segunda parte). Universidad Nacional de Jujuy, Facultad de Ciencias Agrarias. Unveröffentlicht.

REPUBLICA ARGENTINA (1996): Documento Nacional, Primera Conferencia Regional para América Latina y el Caribe sobre la Convención Internacional de Lucha contra la Desertificación, Buenos Aires 24 - 26. Januar 1996; Buenos Aires.

RICHTER, Gerold (1965): Bodenerosion. Schäden und gefährdete Gebiete in der Bundesrepublik Deutschland. Bundesanstalt für Landeskunde und Raumforschung, Forschungen zur Deutschen Landeskunde, 152; Bad Godesberg.

RICHTER, Gerold (1976): Was ist Bodenerosion? In: RICHTER, Gerold [Hrsg.]: Bodenerosion in Mitteleuropa (= Wege der Forschung, 430), 75-105; Darmstadt.

RICHTER, Gerold [Hrsg.](1998): Bodenerosion. Analyse und Bilanz eines Umweltproblems. 264 S.; Darmstadt.

ROMAN, Rafael F. & SANTOS, Eduardo E. (1988): Provincia de Jujuy. In: CENTRO PARA LA PROMOCION DE LA CONSERVACION DEL SUELO Y DEL AGUA (PROSA)[Hrsg.](1988): El deterioro del ambiente en la Argentina (Suelo - Agua - Vegetación - Fauna), 103-108; Buenos Aires.

ROSEN, Eric von (1957): Un mundo que se va. Exploraciones y aventuras entre las altas cumbres de la Cordillera de los Andes. Fundación Miguel Lillo. Universidad Nacional de Tucumán, Instituto Miguel Lillo. Opera Lilloana, Nr. 1; San Miguel de Tucumán. (Neudruck 1990 durch Universidad Nacional de Jujuy; Jujuy.)

RUTHSATZ, Barbara (1974): Los arbustos de las estepas andinas del Noroeste Argentino y su uso actual. In: Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica, XVI, Nr. 1-2, 27-45.

RUTHSATZ, Barbara (1977): Pflanzengesellschaften und ihre Lebensbedingungen in den Andinen Halbwüsten Nordwest-Argentiniens. Dissertationes Botanicæ, 39, 168 S.; Vaduz.

RUTHSATZ, Barbara (1978): Las plantas en cojín de los semi-desiertos andinos del Noroeste Argentino. In: Darwiniana, 21, Nr. 2-4, 491-539; San Isidro, Buenos Aires.

RUTHSATZ, Barbara (1983): Der Einfluß des Menschen auf die Vegetation semiarider bis arider tropischer Hochgebirge am Beispiel der Hochanden. In: Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, 96, 535-576.

RUTHSATZ, Barbara & HOFMANN, U. (1984): Die Verbreitung von C4-Pflanzen in den semiariden Anden NW-Argentiniens. Mit einem Beitrag zur Blattanatomie ausgewählter Beispiele. In: Phytocoenologia, 12, H. 2/3, 219-249; Stuttgart-Braunschweig.

RUTHSATZ, Barbara & MOVIA, Clara Pia (1975): Revelamiento de las estepas andinas del noreste de la provincia de Jujuy (República Argentina). 127 S.; Buenos Aires.

RUTLEDGE, Ian (1987): La Integración del campesinado de tierras altas en la economía azucarera del Norte de Argentina, 1930-43. In: DANCON, Kenneth & RUTLEDGE, Ian [Hrsg.]: La tierra y la mano de obra en América Latina. Ensayos sobre el desarrollo del capitalismo agrario en los siglos XIX y XX.

SALMORAL, Dámaso (1925): Los latifundios de la Puna: Informe de la comisión encargada de estudiar dicho problema. Ley N° 588. Imprenta del Estado; Jujuy.

SANTOS, Eduardo E. (1994): Cartografía de Suelos del Departamentos Yavi. Universidad Nacional de Jujuy, Unveröffentlichtes Manuskript; Jujuy.

SARAVIA, Teodore S. (1960): Geografía de la Provincia de Jujuy; Buenos Aires.

SCHÄBITZ, Frank & LIEBRICHT, Helga [Hrsg.](1999): Beiträge zur quartären Landschaftsentwicklung Südamerikas. Festschrift zum 65. Geburtstag von Professor Dr. Karsten Garleff (= Bamberger Geographische Schriften, 19), 225 S.; Bamberg.

SCHÄBITZ, Frank (2000): Vegetation and climate history on the eastern flank of the Sierra de Santa Victoria, Jujuy Province, NW-Argentina (first results). In: Zentrallblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, 1999/7-8, 969-984; Stuttgart.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (1989): Lehrbuch der Bodenkunde. 12. Auflage; Stuttgart.

SCHWAB, Klaus (1970): Ein Beitrag zur jungen Bruchtektonik der argentinischen Puna und ihr Verhältnis zu den angrenzenden Andenabschnitten. In: Geologische Rundschau, 59, H. 3, 1064-1087; Stuttgart.

SCHWERDTFEGGER, Werner (1951): Das thermische Tief im Nordwesten Argentiniens. In: Meteorologische Rundschau, 4, H. 3/4, 49-52; Heidelberg, Hamburg.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1958): Estadísticas Climatológicas 1901-1950. Ministerio de Aeronáutica, Publicaciones B1, Nr. 1; Buenos Aires.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1975): Estadísticas Climatológicas 1951-1960. Comando de Regiones Aéreas, Fuerzas Aérea Argentina, Serie B, Nr. 6, 5. Auflage; Buenos Aires.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1981): Estadísticas Climatológicas 1961-1970. Comando de Regiones Aéreas, Fuerzas Aérea Argentina. Serie B, Nr. 35; Buenos Aires.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL (1986): Estadísticas Climatológicas 1971-1980. Comando de Regiones Aéreas, Fuerzas Aérea Argentina, Estadística Nr. 36; Buenos Aires.

TIVY, Joy (1993): Landwirtschaft und Umwelt. Agrarökosysteme in der Biosphäre. 344 S.; Heidelberg.

TROLL, Carl (1959): Die tropischen Gebirge. Ihre dreidimensionale klimatische und pflanzengeographische Zonierung. 93 S.; Bonn.

TURNER, Juan Carlos M. (1964): Descripción Geológica de la Hoja 2c Santa Victoria (Provincias de Salta y Jujuy). Instituto Nacional de Geología y Minería, Ministerio de Economía de la Nación, Boletín Nr. 104; Buenos Aires.

TURNER, Juan Carlos M. (1970): The Andes of Northwestern Argentina. In: Geologische Rundschau, 59, H. 3, 1028-1063.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JUJUY, PROYECTO SECTER A 11.1 (1994): Erosión de los Suelos de la Provincia de Jujuy. Informe académico de avance. Unveröffentlicht; Jujuy.

VEIT, Heinz (1996): Southern Westerlies during the Holocene deduced from geomorphological and pedological studies in the Norte Chico, Northern Chile (27-33°S). In: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 123, 107-119.

VEIT, Heinz (1998): Holocene climatic changes and atmospheric paleocirculation in the northwestern part of the „Arid Diagonal“ of South America. In: GARLEFF, Karsten & STINGL, Helmut [Hrsg.](1998): *Landschaftsentwicklung, Paläoökologie und Klimageschichte der Ariden Diagonale Südamerikas im Jungquartär* (= *Bamberger Geographische Schriften*, 15), 355-369; Bamberg.

WEISCHET, Wolfgang (1988): Die Niederschlagsbedingungen in Nordwestargentinien, speziell das Problem ihres vertikalen Wandels. In: BUCHHOLZ, Hanns-J. & GEROLD, Gerhard [Hrsg.]: *Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Hannover. Lateinamerikaforschung. Beiträge zum Gedächtniskolloquium Wolfgang Eriksen*, 47-64; Hannover.

WEISCHET, Wolfgang (1991): Die naturgeographisch-ökologische Rahmenbedingungen südamerikanischer Lebensräume. In: KOHLHEPP, G. [Hrsg.]: *Lateinamerika - Umwelt und Gesellschaft zwischen Krise und Hoffnung* (= *Tübinger Geographische Studien*, 107), 27-52; Tübingen.

WEISCHET, Wolfgang (1996): *Regionale Klimatologie. Teil 1. Die Neue Welt. Amerika, Neuseeland, Australien*. 468 S.; Stuttgart.

WERNER, Dietrich J. (1971): Böden mit Kalkanreicherungs-horizonten in NW-Argentinien. *Göttinger Bodenkundliche Berichte*, 19, 167-181.

WERNER, Dietrich J. (1972): Campo Arenal (NW-Argentinien). Eine landschafts-ökologische Detailstudie. In: *Ökologie der Biosphäre. Vorträge einer Arbeitssitzung des 28. Deutschen Geographentages, Erlangen - Nürnberg 1971*. *Biogeographica*, 1, 75-86; Den Haag.

WERNER, Dietrich J. (1974): Landschaftsökologische Untersuchungen in der argentinischen Puna. In: *Deutscher Geographentag Kassel 1973. Tagungsberichte und wissenschaftliche Abhandlungen*, 508-529.

WERNER, Dietrich J. (1978): Höhenstufen als Gesellschaftskomplexe, ihre pflanzensoziologische Abgrenzung und Kartierung am Ostrand der argentinischen Puna. In: *Assoziationskomplexe (Sigmanten) und ihre praktische Anwendung. Berichte der Internationalen Symposien der Internationalen Vereinigung für Vegetationskunde*, 223-239; Vaduz.

WILHELMY, Herbert, BAUER, Berthold & FISCHER, Hans (1990): *Geomorphologie in Stichworten. II. Exogene Morphodynamik. Abtragung – Verwitterung – Tal- und Flächenbildung*. 5. Auflage. 192 S.; Unterägeri.

YACOBACCIO, H. (1983-85): *Explotación complementaria de recursos en sociedades cazadoras-recolectoras surandinas*. In: *Cuadernos del Instituto Nacional de Antropología*, 10, 493-514; Buenos Aires.

ZIPPRICH, M., REIZNER, B., ZECH, W., STINGL, H. & VEIT, H. (2000): Upper Quaternary landscape and climate evolution in the Sierra de Santa Victoria (north-western Argentina) deduced from geomorphological and pedogenic evidence. In: Zentrallblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I, 1999/7-8, 997-1011; Stuttgart.

Luftbilder:

Ejercito Argentino, Instituto Geográfico Militar, División Aerofotografía:

3A-101-149-86-671 bis 3A-101-154-86-671

3A-102-206-86-671 bis 3A-102-212-86-671

3A-103-224-86-671 bis 3A-103-229-86-671

3A-104-023-86-672 bis 3A-104-026-86-672

Anhang

Tab. 14: Charakterisierung der Schichten der Profile YCH1a und YCH1b

Nr.	Substratbeschreibung	Mächtigkeit 1)	Textur	Farbe	Karbonatklasse 2)	Archäologische Funde 3)
1	Wechsel geringmächtiger Schichten aus Mittel- und Grobsand	YCH1b: 7 / 7	Mittel- und Grobsand	10 YR 5/6	0	/
2	Feinkies	YCH1b: 4 / 4	Feinkies	10 YR 5/6	0	/
3	Wechsellage aus Sand und Ton	YCH1b: 11 / 11	sandiger Ton und Sand	10 YR 6/4	Ton: 2, Sand: 0	Hk
4	Mittelkies in Feinkiesmatrix	YCH1b: 11 / 13	20 Vol.-% gerundeter Kies bis 4 cm, Max. in Mittelkies; in Feinkiesmatrix	10 YR 5/6; Ton: 10 YR 7/4	0	/
5	unsortierte, anthropogene kompakte Mischung verschiedener Materialien	YCH1b: 8 / 3	mehrere Komponenten	10 YR 5/4	3,2	Hk
6	Grobsand	YCH1b: 6 / 6	Grobsand	10 YR 6/4	0	/
7	Mittelkies in Sandmatrix	YCH1b: 2 / 8	15 Vol.-% Kies bis 4 cm, Max. in Mittelkies; Sand-Matrix	10 YR 6/4	0	/
8	Feinkies	YCH1b: 1 / 2	Feinkies bis 0,5 cm	10 YR 6/4	0	/
9	Fein- und Mittelkies in sandiger Matrix	YCH1b: 31 / 28	25 Vol.-% Kies bis 4 cm, Max. in Fein- und Mittelkies; sandige Matrix	10 YR 5/6	0	2Kn
10	Mittel- und Grobkies und große Steine in Grobsand-/Feinkiesmatrix	YCH1b: 20 / 36	60 Vol.-% Mittel- und Grobkies bis 3 cm; 10 Vol.-% große Steine bis 10 cm; Grobsand-/Feinkiesmatrix	10 YR 7/4	0	Ke
11	Sand, etwas Feinkies	YCH1b: 19 / 4	Sand; 5 Vol.-% Feinkies	10 YR 6/4	0	2Kn
12	unsortierte anthropogene Mischung, mit hohem Ascheanteil	YCH1a: Unten offen	anthropogene Mischung in schluffiger Matrix	10 YR 3/3	/	Alles
13	sandiger Ton und Kies	YCH1a: 13 / 13	sandiger Ton; 10 Vol.-% Fein- und Mittelkies	10 YR 6/3	0	/
14	sandiger Schluff mit Feinkies	YCH1a: 16 / 14	sandiger Schluff; 5 Vol.-% Feinkies	10 YR 7/4	0	/
15	Wechsellage lehmiger Ton und Sand, Ton 1–2 cm, Sand 0,5 cm mächtig	YCH1a: 8 / 10	lehmiger Ton und Sand	Sand: 10 YR 7/4; Ton: 10 YR 8/3	Ton: 1, Sand: 0	/
16	schluffiger Sand	YCH1a: 10 / 10	schluffiger Sand; ohne Kies	10 YR 7/4	0	/
17	Wechsellage Ton und lehmiger Sand, Ton 1-3 cm, Sand 0,5 cm mächtig mit Holzkohlestücken	YCH1a: 17 / 21	Ton und lehmiger Sand	Sand: 10 YR 6/3; Ton: 10 YR 8/3	0	Hk
18	sandiger Schluff	YCH1a: 10 / 6	sandiger Schluff	10 YR 7/4	0	

Nr.	Substratbeschreibung	Mächtigkeit 1)	Textur	Farbe	Karbo- natklas- se 2)	Archäolo- gische Funde 3)
19	Gemisch aus Sand und Feinkies	YCH1a: 10 / 9	reiner Sand und Feinkies	Kies: 10 YR 7/6; Sand: 10 YR 6/4	0	Kn
20	Wechsellage sandiger Ton und Sand, je 0,5 bis 1,0 cm mächtig; mit Holzkohlestücken	YCH1a: 17 / 22	sandiger Ton und Sand; < 5 Vol.-% Mittel- und Grobkies	10 YR 7/5	0	Hk
21	Feinkies und Sandsteinklumpen	YCH1a: 12 / 7	Feinkies; 10 Vol.-% Sandsteinklumpen	10 YR 7/4	2	Kn
22	Sand	YCH1a: 11 / 11	Sand; < 5 Vol.-% Sandsteinklumpen	10 YR 7/4	0	/
23	gräulicher sandiger Schluff	YCH1a: 2 / 2	sandiger Schluff; ohne Steine	10 YR 5/3	0	Kn
24	Fein- und Mittelkies sowie Steine in Grobsand-Matrix	YCH1a: 35 / 35 YCH1b: 40 / 40	80 Vol.-% Fein- und Mittelkies bis 2 cm; 10 Vol.-% Steine bis 10 cm; Grobsand-Matrix	10 YR 7/4	0 – 1	Ke
25	Fein- und Mittelkies, ohne größere Steine	YCH1a: 6 / 6 YCH1b: 10 / 10	Fein- und Mittelkies; ohne größere Steine	10 YR 7/3	0	/
26	Sand mit Kies	YCH1a: 4 / 4 YCH1b: 10 / 10	5 Vol.-% Mittelkies; Sand	10 YR 6/4	0- 3,1	/
27	Mittelkies in sandiger Matrix	YCH1a: 5 / 6 YCH1b: 5 / 5	20 Vol.-% Mittelkies; sandige Matrix	10 YR 6/4	0 – 3,1	/
28	Wechsellage aus Feinkies und Sand, max. 0,5 cm	YCH1a: 7 / 6 YCH1b: 10 / 10	Feinkies und Sand	10 YR 7/4	Kies: 0, Sand: 3,1	/
29	Mittelkies in sandiger Matrix	YCH1a: - / 5 YCH1b: 10 / 10	20 Vol.-% Mittelkies bis 2 cm; sandige Matrix	10 YR 7/4	1- 2	/
30	sandiger Schluff ohne Kies	YCH1a: 14 / 5 YCH1b: -	sandiger Schluff	10 YR 7/4	3,2	/
31	dunkler Feinkies	YCH1a: 2 / 2 YCH1b: -	Feinkies	10 YR 5/3	1	/
32	Wechsellage aus Feinkies und Sand, je 0,5 bis 2,0 cm mächtig	YCH1a: 25 / 17 /20 YCH1b: 25 / 25	Feinkies und Sand	10 YR 7/4	Kies: 0, Sand: 3,1 – 2	Ke
33	einreihige Schicht aus eingeregeltten Steinen	YCH1a: - YCH1b: - / 5	Steine bis 10 cm	10 YR 7/4	0	/

Nr.	Substratbeschreibung	Mächtigkeit 1)	Textur	Farbe	Karbonatklasse 2)	Archäologische Funde 3)
34	Feinkies	YCH1a: - / 13 YCH1b: 6 / 4	Feinkies; ohne größere Steine	10 YR 7/4	0 - 3,2	/
35	Grobkies in Matrix aus Sand bis Feinkies	YCH1a: 10 / 20 / 10 YCH1b: 23 / 23	80 Vol.-% Grobkies; kantengerundete Steine < 11 cm	10 YR 7/4	2 - 3,3	/
36	durchwurzelttes Feinmaterial, kaum Kies	YCH1a: 10 / 40 YCH1b: 36 / 36	sandiger Ton, < 5 Vol.-% Kies bis 2 cm	10 YR 7/4	3,1 – 3,2	/
37	Fein- und Mittelkies in Sandmatrix	YCH1a: - YCH1b: 22 / 22	60 Vol.-% Fein- und Mittelkies; Sandmatrix	10 YR 6/4	0	/

(Aufnahmen: 13.,14. und 16.08.1996)

- 1) Schichtmächtigkeit in cm, links / rechts
2) Karbonatgehalt durch HCl-Probe im Gelände:
0 = keine Reaktion
1 = sehr schwache, nur hörbare Reaktion
2 = schwache, kaum sichtbare Reaktion
3 = nicht anhaltendes Brausen
3.1 = schwaches Aufschäumen
3.2 = deutliches Aufschäumen
3.3 = starkes Aufschäumen
4 = stark anhaltendes Schäumen
3) Archäologische Funde:
Hk = Holzkohle
Ke = Keramikscherbe
Kn = Knochenstück

Quelle: Erhebung H. Kiegel

Tab. 15: Charakterisierung der Schichten des Profils YCH 2

Nr.	Substratbeschreibung	Schichtmächtigkeit in cm	Textur	Farbe	Karbonat in %	Archäologische Funde
1	Feinkies	max. 19	Kies bis 0,5 cm; Sand-Matrix	10 YR 5/4	0,29	/
2	Mittel- bis Grobkies	max. 48	20 Vol.-% Kies bis 4 cm, 10 Vol.-% Steine bis 9 cm; Sand	10 YR 4/4	0,13	/
3	Fein- und Mittelkies	max. 15	50 Vol.-% Feinkies; 40 Vol.-% Kies bis 2 cm; 10 Vol.-% Steine bis 5 bzw. 8 cm; Grobsand	10 YR 4/6	0,03	/
4	Feinkies	8 – 42	80 Vol.-% Kies bis 1 cm, 10 Vol.-% Kies bis 3 cm; Sand	10 YR 5/4	0,02	/
5	Grobkies und Steine	max. 20, 250 breit	30 Vol.-% Kies 2 bis 4 cm, 10 Vol.-% Kies bis 10 cm; Feinkiesmatrix	10 YR 5/4	0,18	/
6	Fein- und Mittelkies	8 – 30	90 Vol.-% Kies bis 1 cm; Grobsand	10 YR 4/4	0,02	/
7	viele große Steine, hellbraun, unsortiert	max. 24	große Steine in wenig Sand	10 YR 6/4	0,16	/
8	verfestigtes Feinmaterial (wie Fußboden)	14 – 19	Feinmaterial	10 YR 4/4	0,04	Holzkohle, Abschläge (beides wenig)
9	verfestigtes Feinmaterial (Fußboden)	7	Feinmaterial	10 YR 5/4	0,55	Holzkohle (vereinzelt)
10	dünne Sandschicht	2	Sand	10 YR 5/3	0,36	/
11	unsortierte anthropogene Mischung	30 – 33	Mischung; wenige Steine bis 2 cm	10 YR 4/4	0,32	Knochen, Holzkohle, Keramik
12	sandiges Feinmaterial	6 – 9	sandiges Feinmaterial	10 YR 5/4	0,29	Keramik, Holzkohle
13	anthropogene Reste	4 – 7	Feinmaterialmatrix	10 YR 4/4	0,16	Keramik, Holzkohle, Abschläge
14	Feinkies	10 – 13	Feinkies bis 1 cm, Max. bei < 0,5 cm; Sandmatrix	10 YR 5/4	0,23	/
15	Mittelkies und Grobkies	11 – 15	Kies bis 5 cm; in Grobsand	10 YR 4/4	0,01	/
16	Fein- bis Mittelkies	11 – 18	Kies bis 1,5 cm; Sandmatrix	10 YR 5/4	0,02	/
17	Feinkies	5 – 15	80 Vol.-% Kies bis 0,5 cm; 10 Vol.-% Kies bis 4 cm	10 YR 5/3	0,00	Knochen, (vereinzelt)
18	Feinkies und Grobsand	11 – 24	80 Vol.-% Feinkies, 10 Vol.-% Kies bis 1 cm; Sand	10 YR 5/4	0,00	/
19	grau, mit großen Steinen	4 – 13	graue, sandige Matrix; 10 Vol.-% Steine bis 11 cm	10 YR 4/4 bis 10 YR 4/2	0,06	Holzkohle

Nr.	Substratbeschreibung	Schichtmächtigkeit in cm	Textur	Farbe	Karbonat in %	Archäologische Funde
20	sehr kompaktes hellbraunes Feinsediment	3 – 8	Sand; 10 Vol.-% Feinkies bis 0,5 cm; tonige Einschlüsse	10 YR 5/4	0,06	Holzkohle, Knochen
21	graues Feinsediment: Asche oder verbrannte Erde (wie 23)	2 – 6	Sand; nach rechts Ton	10 YR 4/3 oder 10 YR 4/2	0,18	Holzkohle
22	Feinkies, nach rechts sandiger	2 – 6	Feinkies bis 0,5 cm; sandige Matrix	10 YR 4/4	0,05	Knochen
23	graues Feinsediment: Asche oder verbrannte Erde (wie 21)	4 – 6	Sand	10 YR 3/4 bis 10 YR 4/2	0,15	Holzkohle, Knochen
24	Feinkies, nach rechts sandiger	1 – 6	Feinkies bis 1 cm	10 YR 4/4	0,02	Knochen
25	graues Feinsediment, verbrannte Erde	2 – 6	Sand; Feinkies bis 0,5 cm	10 YR 4/3 bis 10 YR 5/2	0,13	Knochen, Holzkohle
26	hellbraunes Feinsediment, rechts Tonschicht aufliegend	2 – 6	Sand, rechts Ton	10 YR 5/4 bis 10 YR 5/6	0,07	Knochen
27	mittelgroße Steine	9 – 18	15 Vol.-% Steine bis 8 cm; 30 Vol.-% Mittel- bis Grobkies bis 4 cm	10 YR 5/3	0,00	Knochen (Lama)
28	Feinkies	4 – 19	90 Vol.-% Feinkies bis 0,5 cm; Grobsandmatrix	10 YR 4/4	0,01	/
29	Feinmaterial	4 – 5	Feinmaterial ohne Kies	10 YR 4/4	0,04	/
30	Feinkies	5 – 13	90 Vol.-% Feinkies bis 1 cm; Grobsandmatrix	10 YR 5/4	0,00	/
31	Fußboden: verbrannte Erde und Feuerstellen	2 – 12	Feinmaterial	10 YR 3/4	0,03	verbrannte Erde
32	gräuliche Mischung Steine und Tonklumpen (gelb), anthropogen	19 – 38	10 Vol.-% Feinkies; 20 Vol.-% Tonklumpen; 10 Vol.-% Steine; Schluffmatrix	10 YR 4/4 oder 10 YR 5/2	0,03	Keramik (wenig), Holzkohle
33	Asche / verbrannte Erde	max. 2, 30 breit	Ton bis Schluff	10 YR 2/3	0,32	verbrannte Erde/ Asche
34	weißliches Feinsediment	2 – 12	Ton	10 YR 8/3	0,27	Holzkohle
35	orangefarbenes Feinsediment	2 – 5	Grobsand	10 YR 6/4	0,02	/
36	graues Feinsediment, verbrannte Erde	1 – 5	Sand	10 YR 5/2	0,19	Holzkohle
37	unsortierte Mischung aus Tonklumpen	3 – 15	80 Vol.-% Tonklumpen; sandige Matrix	10 YR 5/3	0,03	Holzkohle, Knochen, Keramik
38	unsortierte Mischung aus Steinen	6 – 17	25 Vol.-% kantige Steine bis 10 cm; sandige Matrix	10 YR 4/4	0,06	Knochen (wenig), Keramik
39	Asche mit Holzkohle, Knochen und Keramik, unsortiert	8 – 31	Asche (lehmgiger Sand)	10 YR 3/2	1,91	Keramik, Holzkohle, Knochen
40	Mischung Steine, Keramik, Kies	18 – 26	30 Vol.-% Feinkies; 10 Vol.-% Steine bis 15 cm; schluffiger Sand	10 YR 5/3	0,01	Keramik, Holzkohle, Knochen
41	Asche, mit viel Holzkohle	10 – 21	Asche (lehmgiger Schluff)	10 YR 4/2	1,75	Knochen, Keramik, Holzkohle

Nr.	Substratbeschreibung	Schichtmächtigkeit in cm	Textur	Farbe	Karbonat in %	Archäologische Funde
42	Mischung Asche und Sand	8 – 18	Asche und Sand; 10 Vol.-% Kies bis 2 cm	10 YR 4/2	0,89	Holzkohle (groß, wenig), Keramik, Knochen
43	Asche, kleine Holzkohlestücke	6 – 33	Asche (lehmgiger Schluff); 10 Vol.-% Kies bis 2 cm	10 YR 3/2	1,92	Holzkohle (klein), Knochen, Keramik
44	Sediment, innerhalb von 43	max. 5	schluffiger Sand	10 YR 5/3	0,51	/
45	Sand mit Kies	10 – 22	30 Vol.-% Feinkies bis 1 cm, 15 Vol.-% Kies bis 4 cm; Sand	10 YR 5/4	0,12	einige wenige Knochen und Keramik
46	Asche mit Holzstückchen	3 – 18	Asche (lehmgiger Schluff)	10 YR 4/2	3,72	Holzkohle, Knochen (kleine Stücke)
47	Knochenschicht in Asche	5 – 15	Asche (lehmgiger Schluff)	10 YR 4/2	3,39	sehr viel Holzkohle, Knochen
48	Mischung Asche und Sediment, mit Holzkohle, archäologischen Resten und Kies, unsortiert	10 – 56	Asche (lehmgiger Schluff), tonige Sedimente; Kies bis 2 cm	10 YR 4/2	1,43	Holzkohle (wenig), Keramik, Knochen
49	Sediment mit Ton, auch Asche und Holzkohle	2 – 8	Ton; 10 Vol.-% Feinkies bis 1 cm	10 YR 5/4	0,44	Holzkohle (wenig)
50	Asche mit viel Holzkohle und Keramik	3 – 16	Asche (lehmgiger Schluff)	10 YR 5/2	2,60	Holzkohle, Keramik, Knochen
51	Sediment innerhalb von 50	max. 9	Ton	10 YR 5/3	3,83	/
52	Sediment mit Ton, auch Asche und Holzkohle	4 – 18	Ton; 10 Vol.-% Feinkies bis 1 cm	10 YR 5/3	0,43	Holzkohle (wenig)
53	kleine Linse mit Holzkohle, innerhalb von 52	2, ca. 22 breit	Asche, gemischt mit Sedimenten aus 52	10 YR 4/3	0,82	Holzkohle
54	Asche mit Holzkohle und archäologischen Resten, dazwischen Tonschichten (max. 1 cm mächtig)	3 – 13	Asche (lehmgiger Schluff)	10 YR 4/2	1,63	Holzkohle (wenig), Keramik, Knochen
55	Ton	7 – 11	reiner Ton, ohne Steine	10YR 6/4	0,12	Holzkohle (wenig)
56	Sediment ohne Steine	max. 29, 220 breit	Feinmaterial; 10 Vol.-% Kies bis 1 cm	10 YR 5/3	0,08	Knochen, Keramik
57	Mischung Holzkohle, Steine, Asche, Sedimente, unsortiert	max. 22, 150 breit	Mischung	10 YR 4/2	0,38	Holzkohle, Knochen, Keramik
58	Steine in toniger Matrix	max. 30	toniger Sand; 60 Vol.-% kantige Steine bis 15 cm	10 YR 5/3	0,33	Keramik, aus Oberfläche eingetragen

Quelle: Erhebung H. Kiegel

(Aufnahme: 27.08.1996)

Fotos



Foto 1
Bolson von Yavi am Unterlauf des Rio Casti: links Dorf Yavi, rechts am Flussufer Bewässerungsfeldbau; hinter dem Dorf stark zerschnittener Bolsonrand und Übergang zur Hochfläche; im Hintergrund Sierra de Santa Victoria; Blick vom Cerro Largo (Sierra de Siete Hermanos) Richtung Osten

Foto 2
Baccharis boliviensis -
Fabiana densa-Zwerg-
strauch-Gebirgshalbwüste
auf der Hochfläche;
im Hintergrund Sierra de
Santa Victoria



Foto 3
Bewässerungskanal am
Rio Cajas bei Yavi Chico



Foto 4
Teilgerinne des Río Casti,
südlich von Burreria;
im Hintergrund Sierra de
Santa Victoria mit Karen





Foto 5
Profil RC1, mittlerer
Flussabschnitt des Río
Casti

Foto 6
Hochwasser im Río Yavi,
südlich der Einmündung
der Quebrada de Piscuno:
bräunlich-schlammige
Farbe zeigt Suspensions-
fracht an; feuchte Stellen
am Ufer zeigen Höchst-
stand des Hochwassers
während der vorherigen
Nacht an (11.02.1996)



Foto 7
Río Cajas, östlich des
Dorfes Yavi Chico:
Talboden mit Geflecht
sich verlagernder
Gerinne-betten; rechts
Steilhang am Übergang
zum Hang von Yavi
Chico

Foto 8
Unterlauf des Río Lecho:
breites Muldental mit
Vega-Vegetation; durch
Lehmziegelmauern be-
grenzte Abschnitte dienen
kontrollierter Beweidung;
rechter Bildrand: Abknicken
des Flusses von SW-NE
nach SE-NW, oberhalb lie-
gende Flussabschnitte sind
zunehmend trocken; Blick
von Cerro Largo Richtung
Süden

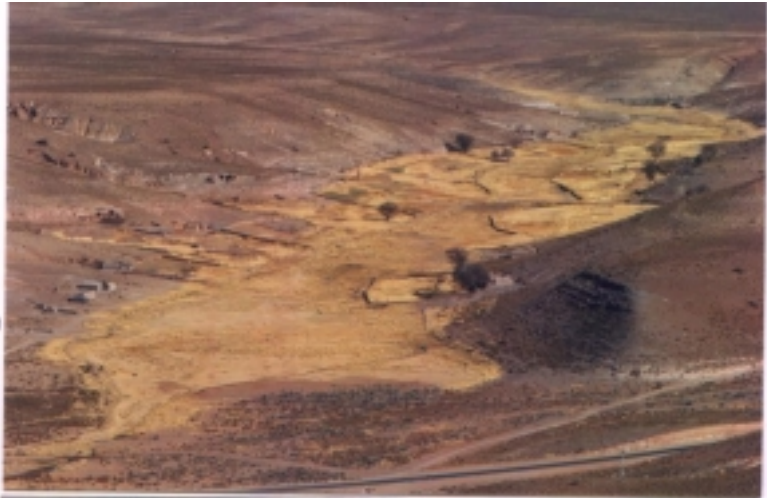


Foto 9
Oberlauf des Río Lecho:
der Talboden wird von
einer Flugsanddecke
eingenommen



Foto 10
Vega-Vegetation am Unter-
lauf des Río Lecho





Foto 11
Erosionsrinne in Prospektionsschneise;
1,5 km südöstlich von
Casti am Río Casti

Foto 12
Degradiertes Exemplar
von *Baccharis boliviensis*,
auf Hochfläche im Süd-
osten von Yavi; Sträucher
schützen Boden unter
den Pflanzen vor Erosion



Foto 13
Hochfläche mit Defla-
tionswanne, im Hinter-
grund Sierra de Siete
Hermanos; Blick von
Cerro Colorado (südlich
des Untersuchungs-
gebietes) nach Norden

Foto 14
Sandakkumulationen auf
Hochfläche nördlich von
Portillos



Foto 15
Parabeldüne auf Hoch-
fläche nördlich von
Portillos



Foto 16
mit *Lampaya castellani*
bewachse Düne bei
Suripugio



Foto 17
Wanderdüne auf Straße
von Abra Pampa nach
La Quiaca



Foto 18
Sandsturm bei Cata-
marca: stark einge-
schränkte Visibilität



Foto 19
Hang von Yavi Chico mit
rückwärtigem Steilhang;
hier mit Erosionsschluch-
ten B bis F; Blick vom
Dorf Yavi Chico nach
Norden





Foto 20
Hang von Yavi Chico: Mündung der Erosionsschlucht D in Talboden des Río Cajas: Höhe des vorderen Steilhanges: 30 m

Foto 21
Erosionsschluchten im Hang von Yavi Chico: links Erosionsschlucht B mit drei Teilarmen, rechts Erosionsschlucht A; dazwischen archäologische Ausgrabungsstätte mit Gebäude R4; Hanglänge: ca. 250 m, Abstand zwischen Mündungen Erosionsschluchten A und B: ca. 100 m; Blick vom rückwärtigen Steilhang



Foto 22
Hang von Yavi Chico: Erosionsschlucht D mit Lage der Profile YCH1 und YCH2; Hanglänge und von Erosionsschlucht D: ca. 250 m; Blick vom rückwärtigen Steilhang

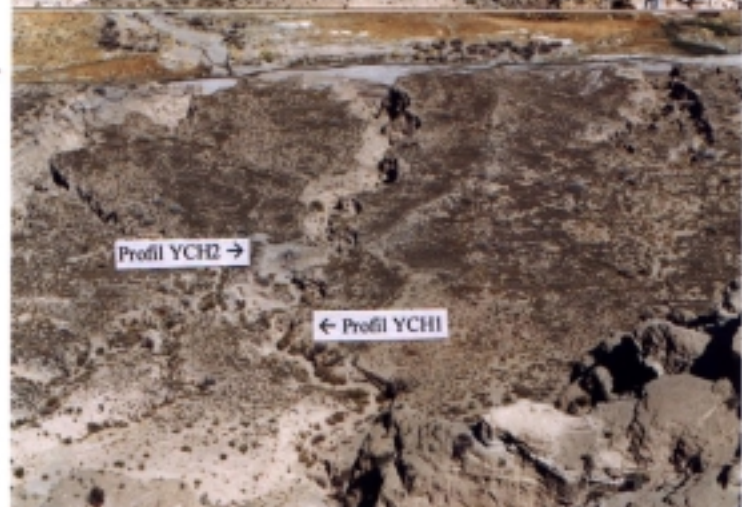


Foto 23
Aufnahmefläche zur Vegetation und archäologischen Funden auf dem Hang von Yavi Chico, östliche Ecke der Aufnahmefläche



Foto 24
Geländesprung an Resten von Terrassenwall, auf Hang von Yavi Chico, Stocklänge beträgt 1 m

Foto 25
Vegetationsaufnahme auf dem Hang von Yavi Chico: Aufnahmefläche 6 und Erosionsschlucht E3





Foto 26
Profil YCH1a und
YCH1b in
Erosionsschlucht D,
Fundort
Yavi Chico



Foto 27
Profil YCH2 in Erosions-
schlucht D, Fundort Yavi
Chico



Foto 28
Profil YCH3 in Erosions-
schlucht D, Fundort Yavi
Chico

Foto 29
Aufschluss YCH4 in der
Erosionsschlucht B2,
Stocklänge 1 m
Fundort Yavi Chico



Foto 30
Aufschluss YCH6 in
Erosionsschlucht B3,
Stocklänge 1,40 m,
Fundort Yavi Chico



Foto 31
Aufschluss YCH5 in
Erosionsschlucht H,
Fundort Yavi
Chico

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Heidrun Kiegel
Adresse: Ahornstr. 1, 50765 Köln
Email: Heidrun_Kiegel@yahoo.de
Geburtsdatum: 22. August 1966
Geburtsort: Köln
Staatsangehörigkeit: deutsch

Schulbildung

1972 - 1973 Gemeinschaftsgrundschule Köln - Niehl
1973 - 1976 Konrad-Adenauer-Grundschule, Köln - Esch
1976 - 1985 Städtisches Gymnasium Schulstraße, Köln - Pesch
Mai 1985 Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Studium

WS 1985 bis SS 1993 Studium der Geographie, Universität zu Köln,
Nebenfächer: Geologie und Botanik
April 1993 Diplom-Hauptprüfung Geographie,
Universität zu Köln
seit WS 1994/1995 Promotionsstudium Geographie,
Universität zu Köln
Nov. 1995 bis Okt. 1996 Graduiertenstipendium des Deutschen
Akademischen Austauschdienstes (DAAD)

Köln, den 2. Juli 2001

Heidrun Kiegel

Erklärung

Ich versichere, dass ich die von mir vorgelegte Dissertation selbständig angefertigt, die benutzten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben und die Stellen der Arbeit – einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem Einzelfall als Entlehnung kenntlich gemacht habe; dass diese Dissertation noch keiner anderen Fakultät oder Universität zur Prüfung vorgelegen hat; dass sie – abgesehen von unten angegebenen Teilpublikationen – noch nicht veröffentlicht worden ist sowie, dass ich eine solche Veröffentlichung vor Abschluss des Promotionsverfahrens nicht vornehmen werde. Die Bestimmungen dieser Promotionsordnung sind mir bekannt. Die von mir vorgelegte Dissertation ist von Prof. Dr. Ulrich Radtke betreut worden.

Teilpublikationen: keine

Köln, den 2. Juli 2001

Heidem Kiezel