

INAUGURAL-DISSERTATION  
zur  
Erlangung der Doktorwürde  
der  
Naturwissenschaftlich - Mathematischen  
Gesamtfakultät  
der Ruprecht - Karls - Universität  
Heidelberg

vorgelegt von  
Dipl.-Geol. Ingmar Unkel  
Heidelberg

Tag der mündl. Prüfung:  
28. Februar 2006

AMS-<sup>14</sup>C-Analysen zur Rekonstruktion der  
Landschafts- und Kulturgeschichte in der Region Palpa  
(S-Peru)



Gutachter: Prof. Dr. Günther A. Wagner  
Prof. Dr. Bernhard Eitel

***“Health warning!***

*Proper calibration is not easy for the non-mathematician,  
but doing it incorrectly, wrongly  
interpreting the result, or even not understanding  
the potential of calibration may seriously  
damage your archaeology. Take advice from the  
experts - know what calendrical band-width is  
necessary for correct interpretation and discuss  
this with the dating laboratory, preferably before  
taking and certainly before submitting samples.  
Think first, not after you get the radiocarbon  
date.“*

*(Pearson, G. W., 1987: How to cope with calibration. Antiquity 61, 98-103.)*



## Zusammenfassung

Der Projektverbund „Nasca: Entwicklung und Adaption archäometrischer Techniken zur Erforschung der Kulturgeschichte der Region Palpa / S-Peru“ umfasst ein Teilprojekt zur Anwendung der Radiokohlenstoff-Datierung auf die archäologischen Fundkomplexe dieser Region. Die Chronologie der Nasca-Kultur (etwa 200 vor bis 650 nach Chr.) und der vorangegangenen Paracas-Kultur (etwa 800 bis 200 vor Chr.), die in der Wüste zwischen den peruanischen Anden und dem Pazifik die weltberühmten Scharrbilder (Geoglyphen) angelegt haben, basierte bisher fast ausschließlich auf einer Keramik-Klassifikation ohne eine umfassende chronometrische Altersbestimmung. Im Rahmen der hier vorgestellten Arbeit wurde auf der Grundlage von über 100  $^{14}\text{C}$ -Datierungen an organischem Material aus Siedlungsresten und Grabfunden sowie Material im direkten Fundzusammenhang mit den Geoglyphen der Region Palpa eine erste numerische Chronologie der Paracas- und Nasca-Kultur erstellt. Das Hauptaugenmerk lag dabei auf den nahe Palpa gelegenen Siedlungszentren der Nasca, Los Molinos und La Muña, sowie auf den Paracas-zeitlichen Fundplätzen Pernil Alto und Jauranga.

Im Zuge des Projektes wurde am Heidelberger Radiokohlenstoff-Labor eine Aufbereitungsanlage zur Herstellung von Graphit-Targets für AMS-Messungen (AMS = Beschleuniger-Massen-Spektrometer) aufgebaut. Die Anlage arbeitet semi-automatisch und wird mit dem eigens dafür entwickelten Steuerprogramm HAMSTER überwacht. Mit der AMS-Technik können  $^{14}\text{C}$ -Proben im Milli- oder Mikrogrammbereich datiert werden, was die Altersbestimmung von archäologischen Funden mit nur wenig organischem Material ermöglicht. So konnten erstmals die in Peru als Baumaterial weit verbreiteten Lehmziegel (Adobes) zur Datierung herangezogen werden.

In Zusammenarbeit mit dem geomorphologischen Teil des Projektverbundes wurde an der Paläoklimarekonstruktion für die Region Palpa gearbeitet. Als Klimaarchive standen dabei die Flussterrassen des Rio St. Cruz, Rio Grande und Rio Palpa, ein Schlammstrom bei La Muña sowie Löss-Schnecken zur Verfügung, die mitunter nur mittels AMS- $^{14}\text{C}$ -Technik datiert werden konnten. Neben der zeitlichen Rekonstruktion des Beginns der Wüstenrandlössbildung gelang der Nachweis einer Feuchtphase in der Region zwischen 1390 und 1714 cal AD, einer Zeit, die aufgrund globaler Gletschervorstöße als „Kleine Eiszeit“ bezeichnet wird.

## Abstract

The parent project: "Nasca: development and adaptation of archaeometric techniques for the investigation of the cultural history of the Palpa region, S-Peru" includes the application of radiocarbon dating on the archaeological complexes of that region. The Nasca culture and the preceding Paracas culture created the world famous geoglyphs (giant diagrams etched into the desert ground) in the plain between the Peruvian Andes and the Pacific Ocean. The chronology of these two cultures, spanning from approximately 800 BC to 650 AD, was based almost exclusively on a ceramic classification without any extensive chronometric dating. Here I present a first numerical chronology of these cultures based on  $^{14}\text{C}$ -dating of more than 100 organic samples from settlement and tomb relics, as well as on material derived from geoglyph sites in the Nasca/Palpa region. The main focus has been on the Nasca-period settlement centres near Palpa, Los Molinos und La Muña, and the Paracas-locations of Pernil Alto and Jauranga.

Within the project a preparation line to produce graphite targets for AMS-measurements (AMS = Accelerator Mass Spectrometer) has been established at the Heidelberg Radiocarbon laboratory. The line works semi-automated and is controlled with the software HAMSTER that has been programmed especially for this line. With the AMS-technique  $^{14}\text{C}$ -samples at milli- or microgram size can be dated which allows the age determination of archaeological samples containing only little organic material. So for the first time clay bricks (adobes), which are quite a common building material in Peru, could be used for  $^{14}\text{C}$ -dating.

In co-operation with the geomorphological investigations within the parent project, the palaeoclimate of the Palpa region has been investigated. River terraces at the Rio St. Cruz, Rio Grande and Rio Palpa, a debris flow at La Muña and loess-snails have been used as climate archives and palaeoclimate proxies. Most of the material from these archives could only be dated with the AMS-technique. The onset of the formation of the desert margin loess could be reconstructed. Furthermore, a wet phase in the region between 1390 and 1714 cal AD was revealed, in a period, which is widely known as „Little Ice Age“ due to global glacier advances.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>I</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>II</b>
<b>1. Allgemeine Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Überblick über die Kultur- und Landschaftsgeschichte Süd-Perus .....	3
1.1.1 Archäologischer Kontext .....	3
1.1.2 Geowissenschaftlicher Kontext .....	7
1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit .....	13
1.2.1 Problemstellung .....	13
1.2.2 Zielsetzung.....	14
<b>Teil A: Grundlagen zur <sup>14</sup>C-Analytik und Methodik.....</b>	<b>15</b>
<b>1. Einführung.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Allgemeines zur <sup>14</sup>C-Analytik.....</b>	<b>17</b>
2.1 Konventionelles <sup>14</sup> C-Alter .....	20
2.1.1 Substandard „1/3-Wilhelm“ .....	21
2.1.2 Isotopenfraktionierung und δ <sup>13</sup> C.....	22
2.1.3 Kalibration von <sup>14</sup> C-Altern .....	23
2.2 Chemische Vorbehandlung.....	24
2.3 Verbrennung.....	26
2.4 CO <sub>2</sub> -Extraktion aus Wasser- und Karbonatproben .....	28
<b>3. Target-Aufbereitung.....</b>	<b>31</b>
3.1 Graphitisierung .....	31
3.1.1 Vorbereitung der Apparatur.....	33
3.1.2 Wasserstoffzugabe – Überschuss und Kühlungskorrektur.....	36
3.2 Reaktionskinetik .....	38
3.2.1 Katalysatoren .....	40
3.2.2 Temperatur.....	41
3.2.3 Reaktionsverlauf.....	42
3.2.4 Vergleich mit Eisen .....	45
3.3 Zusammenfassung Graphitisierung .....	45
3.4 Steuerung mit LabView® .....	47
3.5 Dokumentation der Probenverarbeitung .....	51
<b>4. Grundlagen der Beschleunigermassenspektrometrie .....</b>	<b>54</b>
4.1 Aufbau und Funktion des Beschleunigermassenspektrometers.....	54
4.2 Untergrund und Quellen möglicher Kontamination .....	58
4.3 Datenerhebung – AMS-Messung .....	59
<b>Teil B: Archäologie und Chronologie.....</b>	<b>60</b>
<b>1. Vorspanische Siedlungen im Raum Palpa .....</b>	<b>60</b>
1.1 Pernil Alto (Initialzeit).....	60
1.2 Jauranga (Paracas) .....	66
1.3 Estaqueria (Initial-Nasca).....	72
1.4 Los Molinos (Früh-Nasca).....	75
1.5 La Muña (Spät-Nasca).....	77
1.5.1 Datierung von Lehmziegeln (Adobe) .....	80
1.6 Chillo (Späte Zwischenperiode) .....	82
<b>2. Geoglyphen .....</b>	<b>88</b>
2.1 Die Geoglyphen bei Yunama .....	90
2.2 Die Geoglyphen von San Ignacio .....	94
2.3 Die Geoglyphen bei Llipata.....	97
2.3.1 Vergleich der drei Geoglyphenstätten und Vergleich mit OSL .....	100

<b>3. Chronologie der Region Palpa .....</b>	<b>101</b>
3.1 Keramikchronologie der Paracas- und Nasca-Zeit .....	101
3.2 Numerische <sup>14</sup> C-Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit.....	105
<b>Teil C: Geologie, Geomorphologie, Paläoklima .....</b>	<b>112</b>
<b>1. Die holozäne Entwicklung der Region Palpa.....</b>	<b>112</b>
1.1 Klimafaktoren.....	112
1.2 Wüstenrand-Löss.....	115
1.2.1 Die <sup>14</sup> C-Datierung von Löss.....	116
1.3 Flussterrassen in der Umgebung von Palpa.....	117
1.4 Die Forschungsschürfe in Jauranga.....	120
<b>2. Die Region Palpa zur Zeit der „Kleinen Eiszeit“ .....</b>	<b>126</b>
2.1 Flusssedimente .....	128
2.2 Der La-Muña-Schlammstrom.....	131
2.3 Löss-Schnecken.....	133
2.4 Diskussion und überregionaler Vergleich.....	134
<b>Allgemeine Schlussbetrachtung .....</b>	<b>136</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>138</b>
<b>Danksagungen .....</b>	<b>147</b>



## Verzeichnis der Abbildungen

Fig. 1: Das Arbeitsgebiet an der Südküste Perus .....	1
Fig. 2: Die Flusssysteme Perus und die Siedlungszentren der vorspanischen Kulturen in Peru .....	4
Fig. 3: Segmentierung des modernen Kontinentalrandbogens der zentralen Anden.....	8
Fig. 4: Die Cañete Formation bildet die Pedimentflächen rund um Palpa .....	10
Fig. 5: Geologische Karte des Arbeitsgebietes, zusammengestellt aus den geologischen Kartenblättern 30-m, 29-m2/3.....	12
Fig. 6: Legende zur geologischen Karte.....	12
Fig. 7: Der globale Kohlenstoffdioxid-Kreislauf .....	15
Fig. 8: Weg des Radiokohlenstoffs von der Produktion in der Atmosphäre bis zum Zerfall in organischen Verbindungen in Pflanzen oder Tieren.....	16
Fig. 9: Die Änderungen des $\Delta^{14}\text{C}$ auf Basis der Baumringdaten (Quelle: IntCal04).....	17
Fig. 10: Die Kalibrationskurve IntCal04.....	18
Fig. 11: Die Probe Nr. 55 (HD-23212) aus La Muña als Beispiel für die Kalibration eines konventionellen $^{14}\text{C}$ -Alters mit Hilfe des Programmes OxCal 3.8 (unter Verwendung von IntCal 98).....	23
Fig. 12: (a) Die einzelnen Schritte der chemischen AAA-Vorbehandlung. Nach jedem Schritt wird die Probe zentrifugiert und der Überstand abpipettiert. (b) Die Proben bei der Vorbehandlung in 15 ml PP Falcon-Röhrchen mit Schraubverschluss.....	25
Fig. 13: Abschmelzen der Quarzglasampulle mit Probe, CuO und Silberwolle.....	27
Fig. 14: Die Quarzglasampullen vor der Verbrennung (links), im Muffelofen (mitte) und nach der Verbrennung (rechts).....	28
Fig. 15: Schematischer Aufbau der $\text{CO}_2$ -Extraktionsanlage in Abwandlung der Anlagen von Dörr & Münnich (1980) und Glatzel-Mattheier (1994). Der Gesamtaufbau umfasst 4 parallele Linien.....	30
Fig. 16: Glasschiffchen zur Aufnahme des Katalysators im Heizfinger.....	32
Fig. 17: Schematische Zeichnung des Prototyps der Target-Apparatur.....	33
Fig. 18: Frontansicht der Target-Aufbereitungsanlage.....	34
Fig. 19: Konstruktionszeichnung der 6-fach parallelen Target-Aufbereitungsanlage.....	35
Fig. 20: (links) Das Diagramm zeigt das Druckverhalten von $\text{H}_2$ in der Reaktionskammer im Laufe eines Kühltests. (rechts) Im Diagramm ist $p_1(\text{H}_2)$ bei Zimmertemperatur ( $21^\circ\text{C}$ ) gegen den gekühlten Druck $p_2(\text{H}_2)$ bei 6 cm Eintauchtiefe des Frierfingers in $\text{LN}_2$ dargestellt.....	37
Fig. 21: REM-Aufnahmen der Kobalt-Katalysatoren, a+b: Kobalt 1 (-325 mesh) / c+d: Kobalt 2 (1,6 micron). 41	
Fig. 22: Aufgrund des sehr langsamen Reaktionsverlaufs wurde 03:13 h nach Beginn die Temperatur von $625^\circ\text{C}$ auf $650^\circ\text{C}$ erhöht.....	42
Fig. 23: Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Kobalt 1 Katalysator bei $625^\circ\text{C}$ .....	43
Fig. 24: Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Kobalt 2 Katalysator bei $625^\circ\text{C}$ .....	44
Fig. 25: Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Eisen Katalysator bei $600^\circ\text{C}$ .....	46
Fig. 26: Aufbau eines LabView-VIs am Beispiel der Druckanzeige für den Prototypen der Target-Aufbereitungsanlage.....	47
Fig. 27: Die Benutzeroberfläche des Steuerprogramms HAMSTER in der Version 1.2 während des Betriebes. ...	48
Fig. 28: Fertiger Graphit im Transportglas.....	52
Fig. 29: Beispielseite aus der Datenbank der AMS- $^{14}\text{C}$ -Proben des Heidelberger Radiokohlenstofflabors.....	53
Fig. 30: Schemazeichnung des 6 MV-Tandem-Beschleunigers in Zürich (Grafik: PSI/ETH, Zürich).....	55
Fig. 31: Schemazeichnung des 500 kV -Tandem-Beschleunigers in Zürich (Grafik: PSI/ETH, Zürich).....	55
Fig. 32: Konstruktionszeichnung der Heidelberger Targetpresse nach Züricher Vorlage (Grafik: H. Sommer, IUP Heidelberg, Modifikation: I.Unkel). Die Zeichnung im A4-Format befindet sich im Anhang.....	56
Fig. 33: Der $^{14}\text{C}$ -Untergrund im Rahmen der Messungen von 5 Probenrädern.....	59
Fig. 34: (links) Die Ausgrabungstelle von Pernil Alto im September 2004 (Foto: Reindel). (rechts) Lage des Siedlungsplatzes Pernil Alto im mittleren Rio Grande Tal, etwa 6 km NW' von Palpa.....	60
Fig. 35: Grabungsskizze von Pernil Alto mit den Befunden der Nutzungsphase 4 (Grafik aus Reindel et al., 2004, Modifikation: A. Wetter).....	64
Fig. 36: Die kalibrierten $^{14}\text{C}$ -Daten der Proben aus Pernil Alto (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).....	65
Fig. 37: (links) Die Ausgrabungen in Einheit 1 auf dem Gelände des Fundo Jauranga im September 2003 (Foto: Reindel). (rechts) Lage von Jauranga am Rio Palpa, etwa 3 km WSW von Palpa.....	66

Fig. 38: Die <sup>14</sup> C-Kalibrationskurve IntCal98 (Stuiver et al., 1998) im Zeitfenster zwischen 1000 BC und 0 BC/AD (erstellt mit OxCal 3.8).....	70
Fig. 39: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten der Proben aus Jauranga (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).....	71
Fig. 40: (links) Der Siedlungsplatz von Estaquería im September 2004 mit Blick nach Osten in das Rio Grande Tal. (rechts) Lage von Estaquería zwischen Rio Grande und Rio Palpa, etwa 5 km WSW von Palpa. ....	72
Fig. 41: Grabungsskizzen von Estaquería mit den Befunden der Schichten D und I (Grafik aus Reindel 1998, Modifikation: A. Wetter).....	74
Fig. 42: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten der Proben aus Estaquería (Reservoirkorrektur bereits einbezogen). ....	75
Fig. 43: (links) Der von Grabräubern verwüstete Siedlungsplatz von Los Molinos im Rio Grande Tal im September 2003. (rechts) Lage von Los Molinos am Rio Grande, etwa 5 km W von Palpa.....	75
Fig. 44: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu Los Molinos von Görtsdorf und Reindel (2002). ....	76
Fig. 45: (links) Der ebenfalls von Grabräubern verwüstete Siedlungsplatz von La Muña im September 2004. Links im Bild die Felder in der Flussoase des Rio Grande Tals. (rechts) Lage von La Muña am Rio Grande, etwa 5 km W von Palpa. ....	77
Fig. 46: Vertikaler Schnitt durch das Grab 3 in La Muña. Die Beprobungsstelle aus der Dachkonstruktion der Grabkammer ist eingezeichnet. Die Probe aus einem Stützbalken von Grab 6 stammt von einem vergleichbaren Pfosten wie hier im oberen Bereich des Grabes zu sehen.....	79
Fig. 47: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu den Holzproben von den Gräbern 3 und 6 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen). ....	80
Fig. 48 : (a) Etwa 2 m hohe Mauer aus Lehmziegeln im oberen Talbereich von La Muña, aus der <sup>14</sup> C-Proben entnommen wurden. (b) Ein Strohrest in einem zerbrochenen Ziegel. (c) Mikroskopaufnahme von geschlammten Resten aus einem Lehmziegel. Zu erkennen sind Kohle- und Strohstücke sowie umgelagerte Mikrofossilien aus dem umgebenden Sediment.....	81
Fig. 49: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu den Lehmziegelproben aus Los Molinos und La Muña (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).....	82
Fig. 50: (links) Die Ausgrabungen in der Unidad 1 des Siedlungsplatzes Chillo im September 2003. Höhe des freigelegten Profils etwa 6 m. (rechts) Lage Chillo am W-Rand des Rio Grande Tales, kurz nach dem Zusammenfluss mit dem Rio Palpa, etwa 6 km SW von Palpa.....	82
Fig. 51: Archäologische Profilskizze der Grabung in Einheit 1, Sektor E, Chillo. Die Entnahmestellen der <sup>14</sup> C-Proben und die zugehörigen Inventarnummern sind rot eingezeichnet (Zeichnung: Otten 200, in prep.). .	84
Fig. 52: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten der Proben aus Chillo (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).....	87
Fig. 53: Die Zeichnung links illustriert den Bau der Geoglyphen durch Beseitigen des dunklen Wüstenpflasters und Freilegung des Schluffs.....	89
Fig. 54: Übersichtskarte über die Geoglyphenlokalitäten, an denen <sup>14</sup> C-Proben genommen wurden.....	89
Fig. 55: Geoglyphenlokalität PV67A-15 (Südteil) und -16 (Nordteil) auf Yunama / Cresta de Sacramento. Die datierten <sup>14</sup> C-Proben sind markiert (Karte: K. Lambers).....	91
Fig. 56: Grabungskontext der Proben 109,112,116 an einem Gebäuderest am Süden des Trapezes 52; Schnitt (Grafik aus Reindel, 2002; Modifizierung: A. Wetter).....	92
Fig. 57: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu den Proben von PAP-64A / PV67A-15 sowie zu einer Probe (Nr. 90) von einer Steinplattform bei PAP-64B / PV67A-16 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen). ....	93
Fig. 58: Die zwei Steinstrukturen am Kreuzungspunkt mehrerer Geoglyphen auf der Pampa de San Ignacio (PP01-49) im September 2003. ....	94
Fig. 59: Grabungskontext der Proben 133,134,136 im direkten Umfeld von Steinstruktur 1 (links) an der Lokalität PP01-49 (PAP-365); Draufsicht (Grafik: Reindel; Modifikation: A. Wetter).....	95
Fig. 60: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu den Proben von PAP-365 / PP01-49 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen). ....	96
Fig. 61: (links) Überflugfoto des Geoglyphenkomplexes von PAP-379 / PP01-36 mit Blick nach Osten. (rechts) Vektorisierte Darstellung der Geoglyphenstätte. (Kartengrundlage: K. Lambers, IPG/ETH-Zürich, Modifikation: I. Unkel). ....	98
Fig. 62: Grabungskontext der Proben 139,246,247,249 im direkten Umfeld der Steinstrukturen am schmalen Ende des Trapezes von PP01-36 (PAP-379), Draufsicht (Grafik: Reindel, 2002).....	99
Fig. 63: Die kalibrierten <sup>14</sup> C-Daten zu den Proben von PAP-379 / PP01-36 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen). ....	99
Fig. 64: Typische Keramik der Mittleren Nascazeit aus La Muña (Fotos: Reindel).....	104
Fig. 65: Ein generalisierter Schnitt vom Pazifik bis ins andine Hochland entlang des Rio St. Cruz Tals (~14°30' S). Man beachte den Löss-Gürtel in der östlichen Atacama-Wüste. (Grafik: Eitel et al., 2005).....	113
Fig. 66: Lage des Untersuchungsgebietes, Windrichtungen und durchschnittliche Position der ITCZ über Südamerika während des Südsommers. (Grafik: B. Mächtle, aus Mächtle et al., 2005, submitted, modifiziert nach Maslin & Burns, 2000).....	114

Fig. 67: (Links) Lössreste auf einer Pedimentfläche im Rio Palpa Tal. (Rechts) Ein alter Bewässerungskanal von etwa 1 m Breite führt durch eine geschlossene Lössdecke im oberen Rio St. Cruz. Tal bei Jaime.....	115
Fig. 68: Gehäuse von <i>Scutalus sp.</i> , Rasterweite 1 cm.....	116
Fig. 69: Untersuchungsgebiet, (ephemere) Flussläufe und Probenahmepunkte für die geomorphologischen Untersuchungen im Raum Palpa. ....	118
Fig. 70: Ein generalisierter Querschnitt durch die Rio-Palpa-Terrassen nördlich Jauranga. Die Schwemmler wurden während der saisonalen Überflutung der Flussoase abgelagert. (Grafik: nach Eitel et al., 2005, stark modifiziert).....	119
Fig. 71: Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-210 im Rio Palpa Tal südwestlich von Jauranga. Die Höhe der Terrasse beträgt ca. 2,5 m. Die Proben wurden ca. 1-1,5 m unter GOK und aus einer kohlereichen, grubenähnlichen Struktur genommen (rechtes Bild).....	120
Fig. 72: Luftbild der Lokalität Jauranga SW' Palpa. Im der Bildmitte deutlich zu erkennen der Fundo.....	121
Fig. 73: Gemeinsames Profil der beiden Geländeschnitte Pe-306 und Pe-311. Gesamttiefe 2 m (Pe-311) bzw. 2,5 m (Pe-306). Die Altersangaben zu den einzelnen Horizonten sind als unkalibrierte <sup>14</sup> C-Alter zu verstehen. (Grafik: V. Schniepp, Geogr. Institut, Uni Heidelberg, modifiziert).....	122
Fig. 74: Chemische Analyse der Sedimentproben von Pe-306. (links) Diagramm zum Vergleich der Kationen Na-K-Ca. (rechts) Diagramm zum Vergleich der Anionen Cl-NO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub> .....	123
Fig. 75: Korngrößenverteilung der Sedimentproben aus dem Schurf Pe-306.....	124
Fig. 76: Karte von Peru mit der Lage von Palpa und des Quelccaya-Gletschers im Vergleich.....	127
Fig. 77: Die Eisakkumulationskurve des Quelccaya-Gletschers von 500 AD bis 1980 AD (Thompson et al., 1985). Der schraffierte Bereich markiert die Zeit von 1390 bis 1714 cal AD, in der aufgrund der Klimaarchive zumindest semi-aride Bedingungen in der Region Palpa geherrscht haben dürften.....	128
Fig. 78: Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-307 im Rio St. Cruz Tal unmittelbar westlich von Ciudad Perdida. Die Höhe des schuttfreien Profils beträgt ca. 2,5-3 m. Die Probe wurde ca. 1-1,5 m unter GOK aus dem obersten Horizont der stratifizierten Abfolge genommen (rechtes Bild).....	129
Fig. 79: Der alte Talboden an der Lokalität Pe-305 an der Mündung des Rio St. Cruz Tals in das Rio Grande Tal. Im Hintergrund eine der teilweise bewachsenen Sanddünen des Ergs, die über dem Talboden liegen.....	130
Fig. 80: Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-303 im Rio Grande Tal etwa 10 km N' Palpa. Die Höhe des Profils beträgt ca. 1,5 m. Einem ca. 1 m unter GOK in den Hochflutlehm eingebetteten Baumstamm (rechts, roter Kreis) wurde eine <sup>14</sup> C-Probe entnommen, die die Terrasse in das 15. Jhd. datiert.....	130
Fig. 81: Überblick über das Seitental von La Muña. Links im Bild die grünen Talauen des Rio Grande. Mit einer orangen Umrisslinie ist die ungefähre Ausdehnung des Schlammstromes nachgezeichnet. Teile der Siedlung wurden davon zerstört, der Bereich in der unteren Bildhälfte blieb verschont.....	131
Fig. 82: Profil durch den Schlammstrom von La Muña an der Stelle des Schurfes (Grafik: A. Kadereit, Heidelberger Akademie der Wissenschaften, modifiziert).....	132
Fig. 83: Löss-Landschaft im oberen St.Cruz-Tal.....	133
Fig. 84: Die Gesteinsschutt-Konzentration im Bohrkern 106KL als Maß für die El-Niño-Intensität über die letzten 2.500 Jahre. Die horizontale Linie zeigt das Mittel über den dargestellten Zeitraum an (Daten: Rein et al., 2004, 2005).....	135

## Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Übersicht über die zur AMS- <sup>14</sup> C-Datierung notwendigen Probenmengen.....	28
Tab. 2: Kühl-Test zur Bestimmung des Kühlfaktors F für den Prototypen der Targetapparatur.....	37
Tab. 3: Zusammenfassung der Arbeitsschritte.....	46
Tab. 4: Durchschnittswerte der Probenaufbereitung, Berechnung basierend auf 150 Graphitisierungen.....	52
Tab. 5: Schematische Übersicht über die Stratigraphie der Einheiten 1 und 4 von Jauranga und der daraus datierten <sup>14</sup> C-Proben.....	68
Tab. 6: Schematische Übersicht über die Stratigraphie der Einheit 2 von Jauranga und der daraus datierten <sup>14</sup> C-Proben.....	69
Tab. 7: Schema dreier relativen Chronologiegerüste des Frühen Horizonts an der Südküste Perus.....	103
Tab. 8: Vergleichende Zusammenfassung der Nasca Keramikstile und die Zuordnung zu den jeweiligen Phasen (nach Silverman & Proulx, 2002). ....	104
Tab. 9: Vergleich der erwarteten mit den berechneten Zeiträumen der einzelnen Paracas- und Nasca-Phasen.....	109
Tab. 10: Chronologie der Nasca- und Paracas-Zeit an der Südküste Perus, basierend auf mehr als 100 <sup>14</sup> C-Datierungen von Proben aus keramikführenden Grabungskontexten im Raum Palpa.....	111
Tab. 11: Übersicht über die Probenahmepunkte an Flussterrassen im Raum Palpa.....	119
Tab. 12: Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel als Ergebnis der CNS-Analyse sowie der Karbonatgehalt nach Scheibler aus den Sedimentproben der einzelnen Horizonte im Profil von Pe-306.....	123

## Abkürzungen

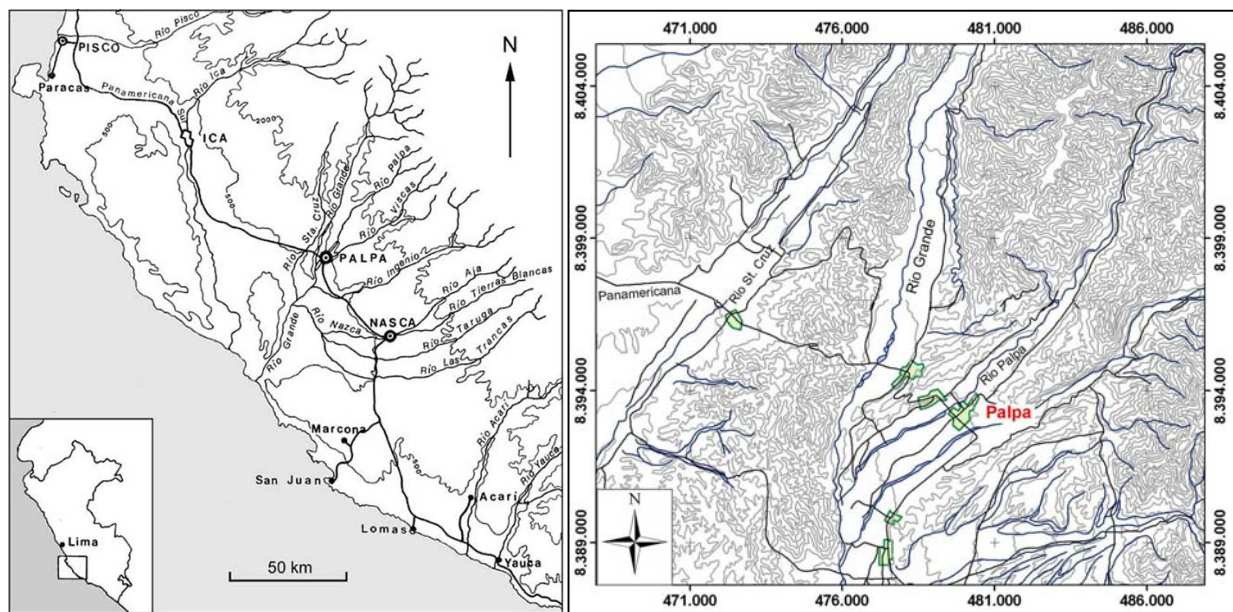
AD	= Anno Domini, nach Christus
AMS	= Accelerator Mass Spectrometry, Beschleuniger-Massenspektrometrie
BC	= before Christ, vor Christus
BMBF	= Bundesministerium für Bildung und Forschung
BP	= before present, <sup>14</sup> C-Alter vor Bezugsjahr 1950 nach Christus
cal BC/AD	= kalibriertes <sup>14</sup> C-Alter BC oder AD (Kalenderalter)
ENSO	= El-Niño-Southern-Oszillation
INAH	= Instituto Nacional de Antropología e Historia (Peru)
ITCZ	= Innertropische Konvergenz Zone
Jhd.	= Jahrhundert
ka	= kilo Jahre, 1.000 Jahre
KAAK	= Kommission für Archäologie Außereuropäischer Kulturen
LIA	= Little Ice Age (kleine Eiszeit)
LN <sub>2</sub>	= flüssiger Stickstoff
Ma	= Mega Jahre, 1 Million Jahre
m.ü.M.	= Meter über dem Meer (nicht exakt identisch mit Meter Normal Null, mNN)
NTG	= Neue Technologien in den Geisteswissenschaften
OSL	= Optisch Stimulierte Lumineszenz
pmC	= percent modern Carbon, Prozent an modernem Kohlenstoff 100% pmC = 1950 AD = 0 BP
SLSA	= Schweizerisch-Lichtensteinische Stiftung für Archäologische Forschungen im Ausland
<sup>14</sup> C-yrs	= <sup>14</sup> C-Jahre, aus der <sup>14</sup> C-Messung berechnetes Alter

## Quellennachweis zu den verwendeten Karten:

Die für diese Arbeit mit ArcGIS 8.3. erzeugten Kartenausschnitte des Untersuchungsgebietes basieren neben eigenen Geländedaten auf der digitalen geologischen Karte von Peru, Blätter 30-m, 29-m2 und 29-m3 (käuflich zu erwerben beim Instituto Geológico Minero y Metalúrgico, INGEMMET, in Lima). GIS-Datensätze zu den Geoglyphen sowie für eine genauere Topographie wurden freundlicherweise im Rahmen des BMBF-Projektverbundes von Karsten Lambers und Armin Grün, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der ETH Zürich, zur Verfügung gestellt.

## 1. Allgemeine Einleitung

Die Geoglyphen von Nasca, oft auch vereinfacht „Nasca-Linien“ genannt, gehören zu den rätselhaftesten kulturellen Zeugnissen der Menschheit. 1994 wurden daher die riesigen Zeichnungen im Wüstenboden an der Südküste Perus in den Stand des UNESCO-Weltkulturerbes erhoben. Auf rund 450 km<sup>2</sup> zwischen Palpa im Norden und Nasca im Süden bedecken tausende von geometrischen und biomorphen Figuren die Pampa de Nasca, eine tektonische Grabenstruktur zwischen der Cordillera de la Costa im Westen und der Cordillera Occidental im Osten (Fig. 1).



**Fig. 1:** Das Arbeitsgebiet an der Südküste Perus, im Zusammenfluss von Rio Grande, Rio Palpa und Rio Viscas. (Quelle: links: KAAK, Bonn; rechts: Kartenbasis: Digitale geologische Karte Peru, Modifikation: Unkel)

The research area at the south coast of Peru, at the confluence of Rio Grande, Rio Palpa and Rio Viscas. (Source: left: KAAK, Bonn; right: map basis: digital geological map of Peru, modification: Unkel)

Erst 1926 nahm die westliche Welt Notiz von den Geoglyphen (Kroeber & Collier, 1998; Mejia Xesspe, 1942). Seit dieser Zeit existieren unzählige Hypothesen und Spekulationen über die Bedeutung der „Nasca-Linien“, darunter auch ihre mögliche Funktion als astronomischer Kalender (Reiche, 1969) oder als Zeremonialwege (Reinhard, 1996). Der Mangel an gut dokumentierten Untersuchungen machte es bisher jedoch schwierig, die gängigen Hypothesen mit archäologischen Daten abzugleichen und zu überprüfen (Lambers, 2004).

40 km nördlich der Stadt Nasca entlang der Panamericana liegt der Ort Palpa (Fig. 1). In dessen Umgebung finden sich ähnlich viele Geoglyphen wie um Nasca selbst. Zudem liegen hier zahlreiche Reste von Siedlungen der Erbauer der Geoglyphen, der vorspanischen Paracas- und Nasca-Kulturen (Paracas: ca. 800 BC bis 200 BC; Nasca: ca. 200 BC bis 650 AD). Nachdem sich die archäologischen Forschungen im Raum Palpa lange Zeit fast aus-

schließlich auf Prospektionen beschränkten, begann 1996 erstmals die Erforschung der Paracas-/Nasca-Kultur in Palpa im Rahmen ausgedehnter Flächengrabungen, maßgeblich unter der Förderung von Stiftungen wie der Schweizerisch-Liechtensteinischen Stiftung für archäologische Forschungen im Ausland (SLSA) (Reindel & Isla Cuadrado, 2000).

Das Tal des Rio Palpa im nördlichen Bereich des Einzugsgebietes des Rio Grande de Nasca gilt als das Kerngebiet der Nasca-Kultur. Dieses kleine Tal wurde als Forschungsgebiet ausgewählt, weil sich dort eine besonders große Anzahl von Geoglyphen fand, die in unmittelbarer Nähe einer ebenso großen Anzahl von alten, vorspanischen Siedlungen lagen. Durch die räumliche Nähe von Geoglyphen und Siedlungen konnte ein unmittelbarer Zusammenhang zwischen beiden angenommen werden.

Die Frage nach der kulturellen Bedeutung der Geoglyphen ist in direkter Weise verbunden mit der Frage nach ihrem Alter. Neben stratigraphischen Analysen sich überlagernder Geoglyphen-Typen (Lambers, 2004) dienten vor allem vergesellschaftete Funde der berühmten polychromen Keramik der Nasca-Kultur auf den Bodenzeichnungen als Datierungshilfen. Bis auf wenige Ausnahmen (Görsdorf & Reindel, 2002) basieren bisher sämtliche Erkenntnisse über die zeitliche Entwicklung der Paracas- und Nasca-Kulturen auf relativen Keramik-Chronologien, die anhand der Untersuchung von Stilmerkmalen erstellt wurden. Daher wurde 2003 im Rahmen des Forschungsvorhabens „Nasca : Entwicklung und Adaption archäometrischer Techniken zur Erforschung der Kulturgeschichte“ damit begonnen, eine Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit basierend auf AMS-<sup>14</sup>C-Datierungen zu erstellen. Das Projekt wird durch den Themenschwerpunkt „Neue Technologien in den Geisteswissenschaften“ (NTG) des Deutschen Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Die Ergebnisse hierzu werden im Teil B dieser Arbeit vorgestellt.

Die Pampa de Nasca gehört zum Gebiet der Atacama-Wüste, die sich entlang der Pazifikküste zwischen Nord-Chile und Süd-Peru erstreckt. Die Atacama zählt zu den trockensten Wüsten der Erde, oft bleiben die geringen Niederschläge für Jahre aus. Einzig günstiger Nebeneffekt dieser Niederschlagsarmut ist, dass die Nasca-Linien nahezu unverändert die Jahrhunderte überstehen konnten und nicht durch Wassererosion zerstört wurden. Die Flusssysteme des Rio St. Cruz, Rio Grande, Rio Palpa und Rio Viscas im Arbeitsgebiet werden aus monsonalen Niederschlägen gespeist, die über ihrem Quellgebiet im Hochland der Cordillera Occidental niedergehen. Der Wüstenrand liegt heute etwa 80 km von der Pazifikküste entfernt (Eitel et al., 2005). Im Verlauf des Holozäns gab es jedoch immer wieder Phasen, in denen es dort feuchter wurde und sich der Wüstenrand nach Westen verlagerte. Die Klimageschichte und ihr möglicher Einfluss auf das Vordringen und den Rückzug der Kulturen in diesem Raum spiegelt sich in den äolischen Sedimenten an den Hängen der Cordillera Occidental und den fluviatilen Sedimenten der Täler wider. Die Ergebnisse der paläoklimatischen Untersuchungen im Rahmen des NTG-Projektes sind zum einen in der Dissertation von Mächtle (2006, in prep.) dargestellt, zum anderen im Teil C dieser Arbeit mit einem Fokus auf der möglicherweise letzten Feuchtphase in der Region während der „kleinen Eiszeit“ im 17. Jhd..

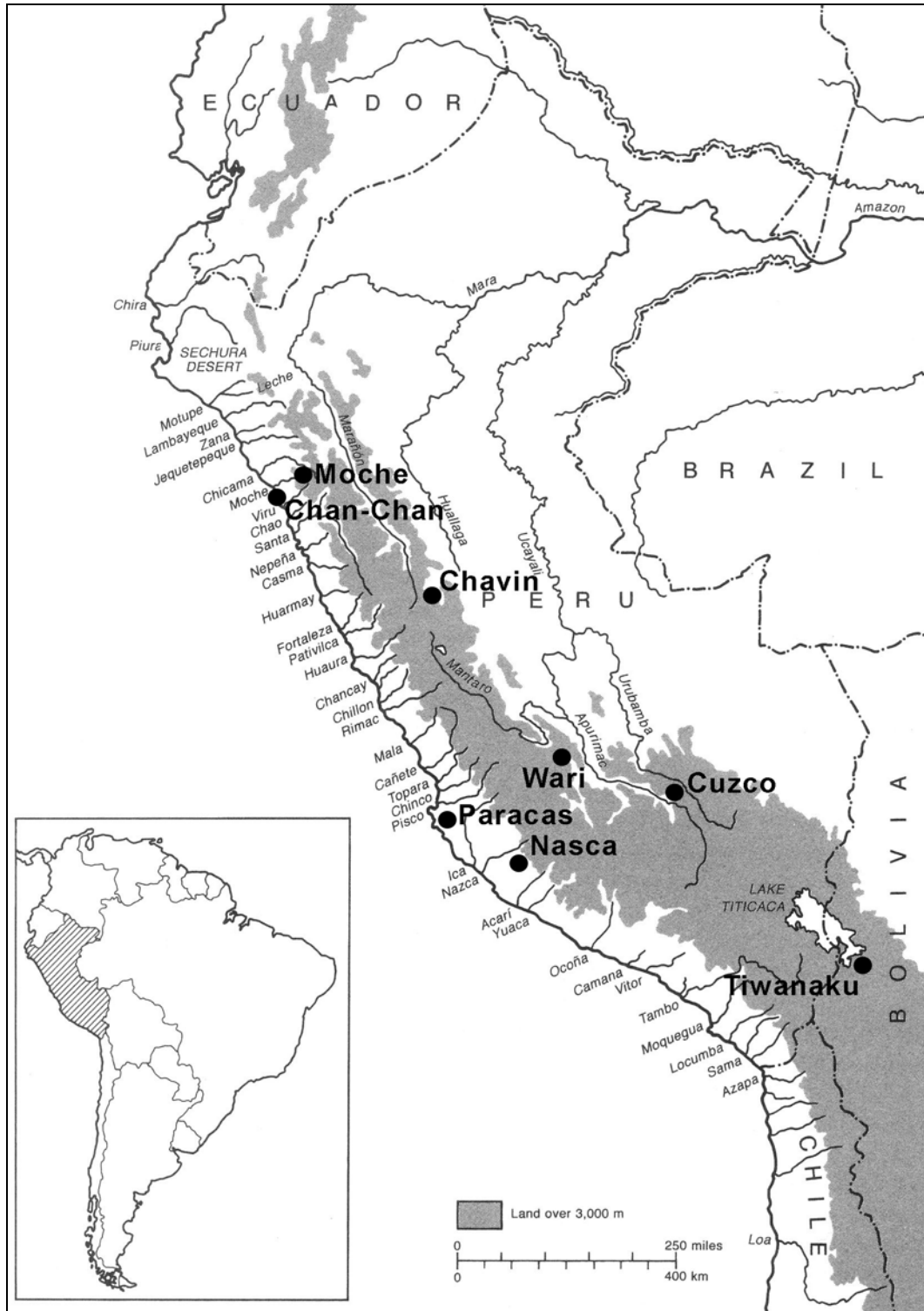
## 1.1 Überblick über die Kultur- und Landschaftsgeschichte Süd-Perus

### 1.1.1 Archäologischer Kontext

Mit dem Vordringen der Spanier nach Südamerika und der Eroberung des Inkareiches im Jahr 1532 endete eine lange Reihe altandiner Zivilisationen, die über fast 3000 Jahre hinweg den Andenraum prägten und Kulturleistungen erbrachten. Diese setzen uns heute noch in Erstaunen und geben Rätsel auf, wie zum Beispiel die Nasca-Kultur mit ihren Geoglyphen. Aber auch vor, nach und mit den Nasca existierten andere Kulturen in Peru, in deren Kontext die Erzeuger der weltbekannten Keramikgefäße und Textilien gesehen werden müssen.

Von den Kulturen des vorspanischen Perus gibt es keine schriftlichen Überlieferungen. Selbst im Inkareich des 15. und 16. nachchristlichen Jahrhunderts kannte man noch keine Schrift, weshalb viel an Wissen von ihnen und über sie verloren gegangen ist. Erst in der Kolonialzeit begannen spanische Chronisten nach und nach, Aufzeichnungen über das Leben und die Gedankenwelt der zeitgenössischen andinen Kulturen anzufertigen, jedoch nicht über die früheren Kulturen. Der Deutsche Archäologe Max Uhle begann Anfang des 20. Jhds. als Erster, eine Epochengliederung der andinen Kulturgeschichte zu erstellen. Er entwickelte eine erste Stilchronologie, auf die schließlich das klassische Horizontschema von John H. Rowe aus den 1960er Jahren in Teilen aufbaut. Dieses Schema umfasst Horizonte, in denen sich allgemeine kulturelle Tendenzen über größere Kulturräume verfolgen lassen (z. B. der Späte Horizont mit dem Inkareich), und Zwischenperioden, in denen eine verstärkte kulturelle Diversifizierung feststellbar ist (z. B. die frühe Zwischenperiode mit der Nasca-Kultur) (Rowe, 1962; Wiczorek & Tellenbach, 2002).

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über einige wichtige vorspanischen Kulturen an der Südküste Perus gegeben werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf der Beziehung zur Nasca-Epoche und speziell auf der Region Nasca/Palpa. Eine Übersicht über die Kulturgeschichte ganz Perus liefern Moseley (2001) sowie Wiczorek und Tellenbach (2002). Silverman und Proulx (2002) sowie Reindel et al. (1999) bieten einen Einblick in die Entwicklung Südperus. Die folgenden Ausführungen stammen, soweit nicht anders vermerkt, aus diesen Publikationen. Die Kulturräume Perus gliedern sich in Nordküste, Südküste und nördliches bzw. südliches Hochland. Dabei ist die Kulturentwicklung an der peruanischen Pazifikküste geprägt durch die eng begrenzten Siedlungsräume in den Flussoasen, die die lebensfeindliche Küstenrandwüste durchschneiden (Fig. 2). Bezüglich des Einflusses von Klima und Umwelt auf die Entwicklung der Kulturen in Peru sei auf die Arbeit von Mächtle (2006, in prep.) sowie auf Teil C vorliegender Arbeit verwiesen.



**Fig. 2:** Die Flusssysteme Perus und die Siedlungszentren der vorspanischen Kulturen in Peru (aus Moseley, 2001 - modifiziert).

The river systems of Peru and the settlement centres of the pre-columbian cultures in Peru (from Moseley, 2001 - modified).



**Initialzeit:**

Die Bezeichnung für diese erste Phase in der peruanischen Geschichte weist bereits darauf hin, dass hier die zentralen kulturellen Merkmale, die für die nachfolgenden Kulturen prägend waren, ihren Ausgang nahmen. Der Beginn der Initialzeit ist gekennzeichnet durch das Auftreten von Keramik sowie durch erste Belege für Ackerbau und wird in die Zeit von etwa 1800 BC gelegt (Reindel et al., 1999; Moseley, 2001).

Der Beginn der Siedlungstätigkeit in *Pernil Alto* (vgl. Teil B – Kap. 1.1) nahe Palpa fällt ebenfalls in die Initialzeit und ist somit einer der frühesten Belege von kultureller Aktivität im gesamten Raum Nasca und Palpa.

**Früher Horizont: Paracas**

Der Frühe Horizont ist eng assoziiert mit *Chavín de Huantar*, einem Zeremonialzentrum im nördlichen Hochland aus der Zeit zwischen 800 BC und 200 BC (Moseley, 2001; Wiczorek & Tellenbach, 2002). Die Anlage war der Kristallisationspunkt der Chavin-Kultur, die sich über die nördlichen und mittleren Zentralanden ausbreitete.

Die Paracas-Kultur an der Südküste Perus erhielt ihren Namen von einem Fundort auf der Paracas-Halbinsel (Fig. 1). Dort hatte Julio C. Tello im Jahr 1925 in einer Nekropole mehr als 400 Mumienbündel der Paracas-Kultur gefunden (Tello, 1959; Tello & Mejia Xesspe, 1979). Zwar lässt sich ein gewisser Einfluss des Chavin-Stils bis auf die 1200 km von Chavín de Huantar entfernt gelegene Paracas-Halbinsel nachweisen (Menzel, 1971), doch haben neuere Untersuchungen gezeigt, dass die Kulturentwicklung an der Südküste über eine größere Eigenständigkeit verfügte als bisher angenommen (deLeonardis, 1997; Wetter, 2005). Paracas-Befunde in der Region um Palpa stammen aus *Pernil Alto* (Teil B – Kap. 1.1) und *Jauranga* (Teil B – Kap. 1.2) sowie aus dem unmittelbar nördlich von Palpa gelegenen *Mollake Chico* (Reindel & Isla Cuadrado, 2003). Ausser den bei Tello beschriebenen Grabfunden auf der Paracas-Halbinsel sind sonst nur von zwei Orten an der Südküste Perus archäologische Befunde bekannt, die sich mit denen von Jauranga vergleichen lassen: *Cerrillos* und *Callango*, beide im Ica-Tal gelegen (Wallace, 1962; deLeonardis, 1997). An beiden Fundplätzen wurden allerdings nur wenige Sondagen gegraben, die einen sehr begrenzten Einblick in die Stratigraphie und das Fundmaterial des jeweiligen Fundortes liefern.

Im Raum Palpa wurde bislang nur eine Siedlung aus der Übergangszeit zwischen Paracas- und Nasca-Zeit, der sogenannten Proto- oder Initial-Nasca-Zeit, anhand von Testschnitten archäologisch untersucht (siehe Teil B – Kap. 1.3 über *Estaquería*).

**Frühe Zwischenperiode: Nasca**

An der Südküste zwischen Rio Ica und Rio Acarí entfaltete sich etwa zwischen 200 BC und 650 AD die Nasca-Kultur im unmittelbaren Anschluß an die Paracas-Zeit. Mehr noch als die Paracas-Kultur beeindruckt die Nasca-Kultur durch herausragende Keramikerzeugnisse, die die Grundlage für eine achtphasige relative Chronologie dieser Epoche an der Südküste Perus

bildet (Teil B – Kap. 3). Neben dem zeremoniellen Zentrum der Nasca in *Cahuachi* nahe der Stadt Nasca befinden sich in der direkten Umgebung von Palpa zwei Siedlungszentren dieser Zeit, *Los Molinos* (Teil B – Kap. 1.4) und *La Muña* (Teil B – Kap. 1.5) im mittleren Rio Grande Tal.

Zeitgleich zur Nasca-Kultur im Süden erblühte in den Taloasen der peruanischen Nordküste und insbesondere im Tal des Rio Moche die danach benannte Moche-Kultur. Sie errichtete in diesem Tal die größte Lehmziegelpyramide des vorspanischen Amerikas. Das Auftreten von Moche-Motiven in der Ikonographie der Nasca-Keramik zum Ende der Nasca-Zeit legen einen zumindest kulturellen Einfluß der Moche in Südperu nahe (Silverman & Proulx, 2002).

### **Mittlerer Horizont: Wari**

Die Phase des Mittleren Horizontes an der Südküste ist geprägt durch den Einfluss der Wari-Kultur, deren Zentrum *Wari* im Hochland mehrere 100 km nördlich von Nasca lag. Die archäologischen Befunde aus dieser Kultur unterscheiden sich in der Siedlungsart, der keramischen Formenwelt und vielen anderen Aspekten grundlegend von den vorangegangenen Kulturen, wenn auch ein Einfluss des späten Nasca-Stils deutlich in der Wari-Keramik nachzuvollziehen ist. Mit einer überregional einheitlichen Grundstruktur spezialisierter Siedlungen, einem weitentwickelten Straßensystem, das von den Moche begonnen und von den Inka zur vollen Blüte gebracht wurde, und einer allgemeinen Urbanisierungstendenz gelten die Wari als ein Vorläuferstaat des Inkareiches in den Zentralanden. Im Gebiet von Palpa sind bisher nur wenige Spuren dieser Epoche entdeckt worden, u.a. in *Los Molinos*.

### **Späte Zwischenperiode: Ica**

Mit dem Zusammenbruch des Wari-Reiches entwickeln sich Nord- und Südküste bis zur Eroberung durch die bereits aufblühende Inka-Kultur erneut getrennt. Im Süden knüpft die Ica-Kultur an die lange Tradition von feinen Textilien und auffälliger Keramik an, wobei in der Ikonographie ein starker Einfluss der Wari noch spürbar ist. Die Ica-Keramik findet Verbreitung bis hin nach Ayacucho im Hochland.

Der Beginn der Späten Zwischenperiode wird von Archäologen in die Zeit um 1000 AD gelegt. Gegenüber den früheren vorspanischen Epochen nimmt diese Periode eine gewisse Sonderstellung ein, denn es finden sich erstmals schriftliche Aufzeichnungen bei den spanischen Eroberern über die Erinnerungen der lokalen Bevölkerung an diese Zeit. Aufgrund der Notizen der Chronisten nimmt man an, dass das Ende der Späten Zwischenperiode mit der Eroberung des Ica-Tals durch die Inkas in das Jahr 1476 AD zu legen ist (Moseley, 2001).

Die Zeit nach 1000 AD ist geprägt durch signifikante Klimaveränderungen, was einen starken Einfluss auf die Entwicklung der Kulturen gehabt haben dürfte. Je nach Autor gibt es jedoch unterschiedliche Ansichten über die Art und die Stärke dieses Wandels (vgl. Teil C vorliegender Arbeit).

Die nahe Palpa gelegene Siedlung *Chillo* (Teil B – Kap. 1.6) stammt aus der Blütezeit der Ica-Kultur. Die Siedlungen *Ciudad Perdida* im Tal des Rio St. Cruz sowie *Pinchango Alto* nahe Palpa werden ebenfalls in diese Zeit gestellt.

### 1.1.2 Geowissenschaftlicher Kontext

Die heutige geomorphologische Situation Perus am Westrand des südamerikanischen Kontinents und die damit verbundene klimatologische und naturräumliche Gliederung der gesamten Region ist ein Produkt Jahrmillionen andauernder geologischer Prozesse. Zum besseren Verständnis und zur Interpretation der Zusammenhänge zwischen Untergrund, Topographie und Klima soll nachfolgend eine grobe Einführung in die Tektonik und die Sedimentationsgeschichte des Arbeitsgebietes gegeben werden.

### Regionalgeologischer Überblick und Tektonik

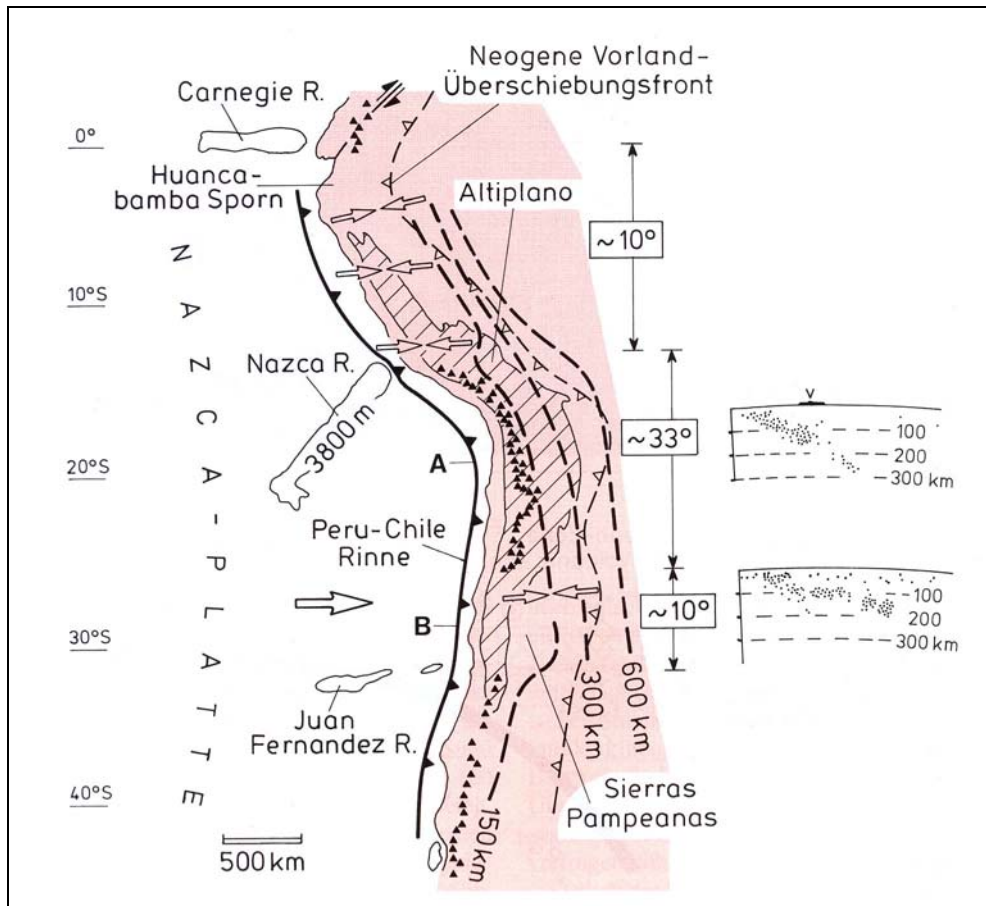
Die Anden sind Teil des gewaltigsten aktiven Kontinentalrands der Erde, der von Alaska im Norden über die Rocky Mountains Nordamerikas bis nach Patagonien an der Südspitze Südamerikas reicht. Die flache Subduktion der Nazca-Platte, einer der größten ozeanischen Lithosphärenplatten des Pazifik, unter den Westrand von Südamerika bewirkt dort eine extrem starke Erdbebenaktivität bzw. intensive thermisch-magmatische Wechselwirkung im Grenzbereich zwischen der unteren und der oberen Platte. Aufgrund ihrer prätertiären Vorgeschichte unterscheidet man drei große Teilsegmente der Anden: Die nördlichen Anden (kolumbianisches Segment), die zentralen Anden (peruanisches Segment) und die südlichen Anden (chilenisches Segment). (Eisbacher, 1996)

In den zentralen Anden (Fig. 3) entstand bereits im mittleren Mesozoikum eine nach Osten einfallende Subduktionszone, über der sich ein 1600 km langer und rund 60 km breiter magmatischer Gürtel entwickelte, der heute als Küstenbatholith aufgeschlossen ist. Hinter dem magmatischen Bogen existierte allerdings noch bis ins Paläogen ein komplex strukturiertes Randbecken. Eine zunehmend flachere Subduktion verursachte eine fortschreitende Verlagerung des magmatischen Bogens nach Osten und eine Einengung der bis zu 10 km mächtigen Sedimentserien in den Randbecken, die von Intrusionen durchsetzt und auf den südamerikanischen Kontinent überschoben wurden. In den tektonisch angehobenen Wurzeln des magmatischen Bogens beobachtet man batholithische Tonalit- und Granodioritintrusiva, deren Abkühlung etwa zwischen 130 und 30 Ma erfolgte. Heute steigt die feste Erdoberfläche von der 7 km tiefen Peru-Chile-Rinne innerhalb einer horizontalen Distanz von 300 bis 400 km auf die bis zu 6 km hohen Gipfel der Anden an, was einen Reliefunterschied von rund 13 km erzeugt. (Eisbacher, 1996)

Nach Zeil (1986) lassen sich in den Zentralanden von West nach Ost drei Gebirgsketten unterscheiden, die unterschiedlichen Gebirgsbildungsphasen zugeordnet werden können:

- *Küstenkordillere* (Cordillera de la Costa), bestehend aus vorwiegend prä-kambrischen Gesteinen

- *Westkordillere* (Cordillera Occidental), die einem mesozoisch-tertiären Falteingürtel angehört
- *Ostkordillere* (Cordillera Oriental) mit Gesteinen paläozoischen Alters.



**Fig. 3:** Segmentierung des modernen Kontinentalrandbogens der zentralen Anden. Die gestrichelten Linien geben die variable Neigung und Tiefenlage der Wadati-Benioff-Zone (= seismisch aktiver Bereich der subduzierten, unteren Platte) an. Die Profile rechts zeigen die Wadati-Benioff-Zone im magmatischen (oben) und amagmatischen (unten) Teil des Systems. (Eisbacher, 1996)

Segmentation of the modern continental arc of the central Andes. The dashed lines show the variable inclination and depth of the Wadati-Benioff-zone (= seismic active sector of the subducted, lower plate). The profiles to the right show the Wadati-Benioff-zone in the magmatic (top) and amagmatic (bottom) part of the system. (Eisbacher, 1996)

### Geologische Stratigraphie

Eine Beschreibung und Gliederung der in der Region Palpa vorkommenden sedimentären, magmatischen und metamorphen Gesteine gestaltet sich nicht ganz einfach. Zwar gibt es zahlreiche Autoren, die sich im Laufe der letzten Jahrzehnte mit der Geologie Südperus beschäftigt haben (z.B. Audebaud et al., 1976; Cobbing, 1976; Mégard, 1987; Ruegg, 1956; Shackleton et al., 1979), doch variieren die jeweiligen Beschreibungen der stratigraphischen Einheiten räumlich, zeitlich und mitunter auch faziell recht stark. Auch Trappe (1998), auf dessen

Arbeit sich ein Teil der stratigraphischen Erläuterungen in vorliegender Arbeit stützt, führt diese Schwierigkeiten bei der Definition und Korrelation verschiedener Formationen an.

Die 2001 vom Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) in Lima herausgegebenen GIS-Datensätze zu den digitalen geologischen Kartenblättern 30-m (Palpa) und 29-m<sup>2/3</sup> (Cordova), die während der Geländeaufenthalte für diese Arbeit genutzt wurden, weisen je nach Kartenblatt unterschiedliche Bezeichnungen für den gleichen Gesteinskomplex auf und die Fortführung einer Gesteinseinheit auf dem angrenzenden nächsten Kartenblatt ist nicht immer gegeben. Die Situation ist derzeit im Begriff sich zu bessern, wie neuere, offensichtlich nachbearbeitete Karten zeigen (INGEMMET, online); die geologische Karte der Pampa de Nasca sowie die zugehörige Legende der Stratigraphie sind dieser Quelle entlehnt (Fig. 5,6).

Eine wichtige Basis zum Verständnis der Geologie der Region um Palpa und Nasca stellt neben Trappe (1998) auch das Begleitheft zu den erwähnten geologischen Kartenblättern von Montoya et al. (1994) dar, unter Einschränkung der zuvor genannten Diskontinuitäten an den Kartenrändern.

Nachfolgend werden kurz die Sedimente des Pliozäns und Pleistozäns in der Region vorgestellt, die in einem gewissen Zusammenhang mit den geomorphologischen und paläoklimatologischen Untersuchungen vorliegender Arbeit stehen. Eine Kurzbeschreibung der älteren Sedimente und Magmatite basierend auf den oben genannten Publikationen ist im Anhang zu finden.

#### CHANGUILLO FORMATION – (PLIOZÄN)

Weite Teile der Ica-Nasca-Depression im Gebiet von Palpa werden von der Changuillo Formation eingenommen (Fig. 5). Sie bildet den Übergang zu den bis ins Holozän andauernden, zumeist ariden Ablagerungsbedingungen im Küstenbereich westlich der Anden. An ihrer Typlokalität sind Wechselfolgen von grauen bis beigen, leicht kompaktierten Ton- und Siltsteinen aufgeschlossen, die bisweilen Trockenrisse auf den Schichtflächen zeigen (Montoya et al., 1994). Dazwischen finden sich Einschaltungen von marin-lagunären Diatomiten und Sandsteinen. Im oberen Bereich der Formation treten Konglomeratlinsen mit bis zu 3 m Mächtigkeit auf mit Geröllen bis 10 cm Durchmesser und einer sandig-tonigen Matrix.

Die 80 bis 100 m mächtigen Vorkommen der Changuillo Formation an den Unterläufen des Rio St. Cruz und des Rio Nasca bestehen im unteren Teil aus kaum verfestigten Sandsteinen, Einschaltungen von Tonsteinen und Konglomeratlinsen. Im oberen Teil treten vermehrt grau-grüne Sandsteinlagen mit Schalentieren und umgelagertem klastischen Material der prätertiären Ablagerungen auf.

Im Gesamtüberblick umfasst die Changuillo Formation eine typisch kontinentale Fazies am Andenfuß und eine durch marine Transgressionen geprägte Küstenrandfazies. Die rein kontinentalen Bereiche sind geprägt durch Akkumulationen von fluvialen Konglomeraten, die Anzeichen von torrentiellem Abfluß tragen, die feinklastischen Ablagerungen werden als Überschwemmungssedimente gedeutet (Montoya et al, 1994). Die marinen Einschaltungen in

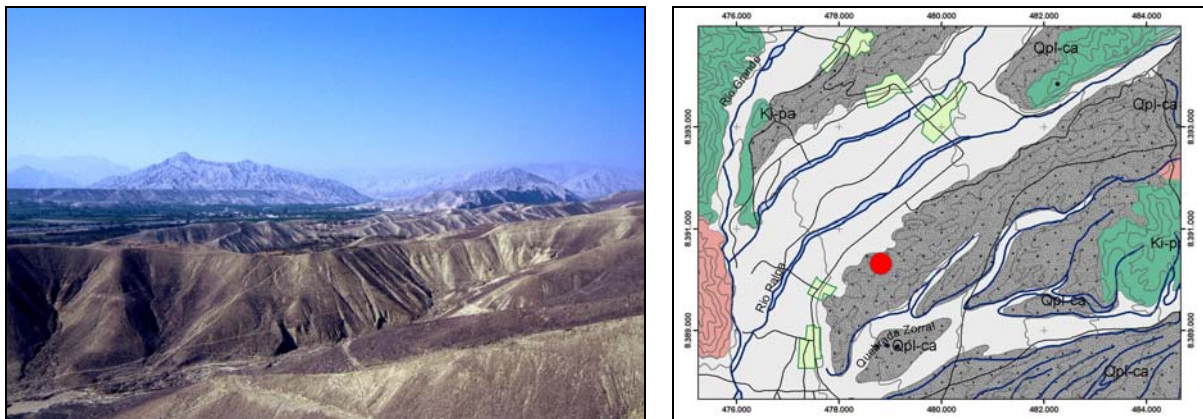
den küstennahen Bereichen spiegeln Transgressionen während Meeresspiegelhochständen wider. Aufgrund des Fossilgehalts wird die Formation dem oberen Pliozän zugeordnet (Montoya et al., 1994).

#### CAÑETE FORMATION – (PLEISTOZÄN)

Keiner der vorgenannten Autoren geht näher auf quartäre Sedimente ein, nur bei Montoya et al. (1994) findet sich eine kurze Erwähnung der Cañete Formation im Rahmen der fluvialen und alluvialen pleistozänen Sedimente. In der Legende der geologischen Karte von Palpa (INGEMMET, online; Fig. 6) wird die Formation als Konglomeratfazies beschrieben, die alle präquartären Gesteine im Einzugsgebiet der aus den Anden heraustretenden Flüsse als Gerölle in einer schluffig-sandigen Matrix aufarbeitet.

Die Cañete Formation dominiert mit großen, weitreichenden Pedimentflächen den Übergangsbereich zwischen der Ica-Nasca-Depression und der Westkordillere (*Cordillera Occidental*) (Eitel et al., 2005). Auf den ebenen Pedimentoberflächen wurden die Geoglyphen angelegt, indem das dunkle, ungestörte Wüstenpflaster an der Oberfläche beiseiteräumt wurde und das darunterliegende gelblich-braune Sediment, Fanglomerate mit schluffig-sandiger Matrix, freigelegt wurden (vgl. Teil B – Kap. 2). In der direkten Umgebung von Palpa sind die Pedimentflächen von jüngeren Flusstälern tief zerschnitten, während sich in der Pampa de Nasca zwischen Rio Ingenio und Rio Nasca große, relativ ungestörte Flächen erhalten haben, auf denen die bekanntesten Geoglyphen angelegt wurden.

Einen ersten Anhaltspunkt für das Alter der Cañete Formation liefert eine OSL-Probe, die im Rahmen des BMBF-Projektverbundes entnommen und von Greilich et al. (2005) veröffentlicht wurde. Die Probe mit einem Alter von  $56.700 \pm 4.200$  a stammt aus dem obersten Bereich des mindestens 200 m mächtigen Pediments Cerro Llipata knapp südlich von Palpa und bietet somit ein Mindestalter (*Terminus ante quem*) für diese Ablagerungen.

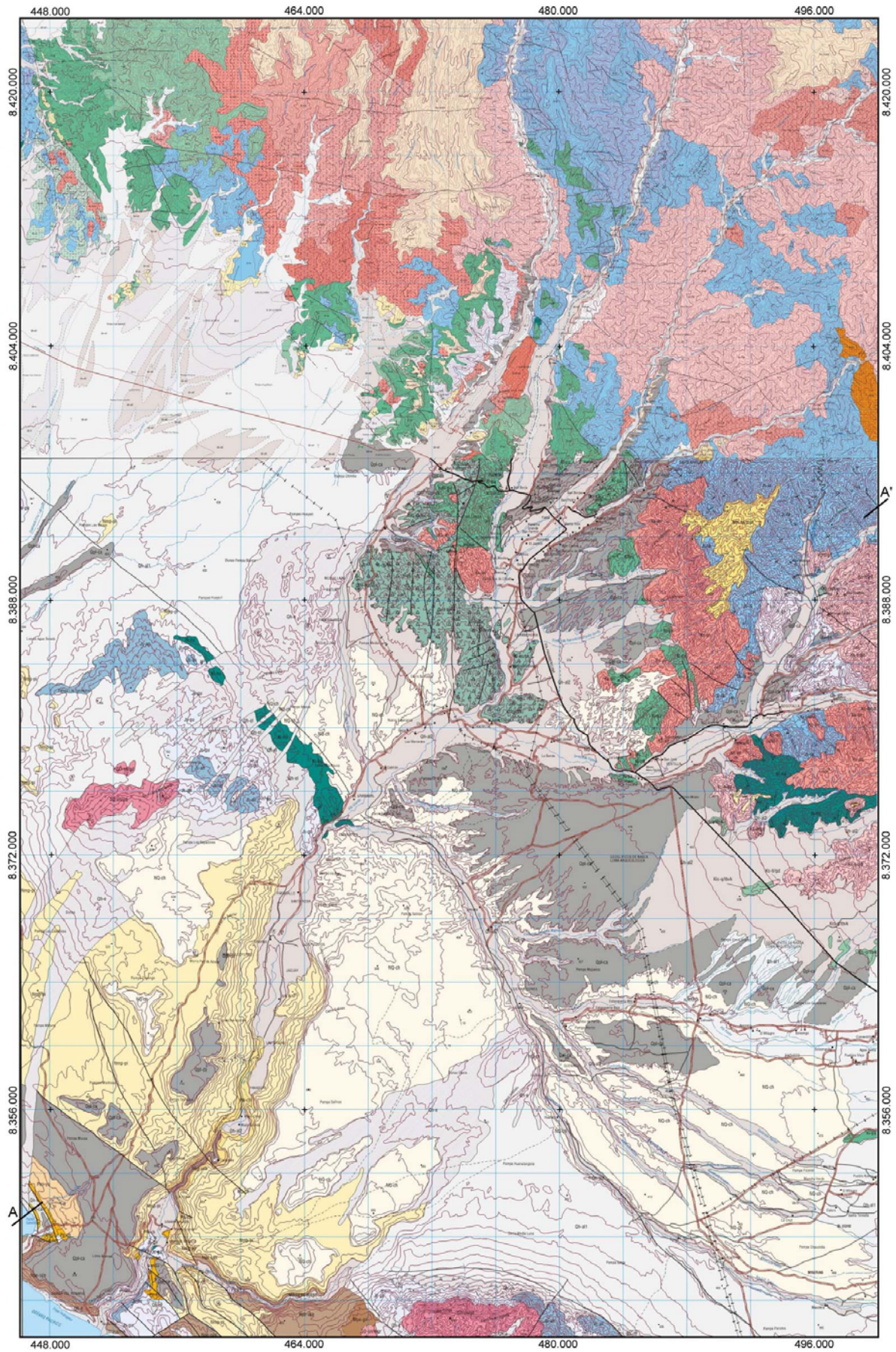


**Fig. 4:** Die Cañete Formation bildet die Pedimentflächen rund um Palpa, zwischen Rio Grande, Rio Palpa und Rio Viscas. Die Flüsse haben teilweise bis zu 200 m tief die Konglomerate der Formation erodiert. Blick von Cerro Llipata nach NE Richtung Palpa.

The Cañete Formation builds up the pediments around Palpa, intersected by Rio Grande, Rio Palpa and Rio Viscas. The rivers eroded the conglomerates of the formation partly up to 200 m deep. View from Cerro Llipata towards Palpa in the NE.

GEOLOGICAL MAP OF THE PAMPA DE NASCA  
datum: WGS 84, UTM 18S

based on the digital geological maps of Peru - sheets 30-m (Palpa), 29-m2 and 29-m3 (Cordova), distributed through INGEMMET, Lima.



ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	SUBVOLCANICO	
CENOZOICA	CUATERNARIO	Holocena	Depositos Eluviales  Qhef Materiales residuales, no consolidados que cubren grandes superficies, grandes pampas y penillanuras.			
			Depositos Eolicos  Qhe Arenas cuarzosas de grano fino a medio, bien seleccionadas con moderado contenido de ferromagnesianos.			
			Depositos Coluvial  Qhco Gravas sub angulosas a sub redondeadas en una matriz limocarcillosa.			
			Depositos Aluviales  Qhca Materiales fluviales, aluviales o la combinacion de estos, compuestos por cantos y bloques en una matriz arena limosa.			
	NEOGENO	Pliocena	Formación Cañete  NQch Conglomerados polimicticos con cantos de rocas igneas metamorficas y volcanicas, areniscas y cuarcitas envueltas en matriz limo arenosa.			
			Formación Changullo  Nm-pi Limolitas, lodolitas y conglomerados polimicticos con cantos de rocas igneas, metamorficas y volcanicas envuelto en matriz limo arenosa.			
	PALEOGENO	Miocena	Formación Pisco  PN-ch Limolitas diatomicas blanco amarillentas, dolomitas areniscas de grano fino con nodulos arenosos, conglomerados areniscas fosfatadas y niveles esporadicos de lumaquelas.			
			Grupo Nazca  Peo-yu Tobas de cristales soldados blanquecinas.			
	MESOZOICA	CRETACEO	Superior	Formación Chilcatay  Peo-yu Areniscas liticas y feldespaticas de grano grueso a medio intercaladas con lodolitas arenosas.		
				Formación Yumaque  Pe-ch Lodolitas biogénicas de color beige, y delgadas intercalaciones de arenisca de grano fino.		
JURASSICO		Superior	Formación Choros  Pe-ca Areniscas Ocre amarillentas, areniscas bioclasticas y capas delgadas de limolitas arenosas.			
			Formación Caballas  Ks-tlgr Conglomerados con fragmentos de cuarcitas filitas, gneiss y volcanitas, areniscas liticas y feldespaticas con limolitas de coloraci3n rojizas. Areniscas brechoides y areniscas de grano fino ocre amarillento.			
PALEOZOICA		DEVONIANO	Superior	Discordancia Angular		
				Formación Quilmana  Ks-tlgr Tobas y brechas cristalinas de tono gris claro.	Batolito de la Costa Super Unidad Tiabaya  Ks-an Granodiorita	Andesita
	SILURIANO	Inferior	Calizasfacies Pariatambo  Ki-pa Calizas gris a gris oscuras bituminosas, que se intercalan con tobas liticas, chertitas y areniscas calcáreas.			
			Formación Copara  Ki-co Brechas volcanicas masivas con intercalaciones de tobas liticas y areniscas volcanicas.			
NEOPROTEROZOICA	Complejo Basal de la Costa		Formación Hualhuani  Js-la Areniscas cuarzosas blancas en estratos subtabulares hacia la base lodolitas grises con delgados mantos de carb3n.			
			Formación Labra  Jm-gu Areniscas cuarzosas grises en estratos tabulares intercaladas con limocarcillas y limolitas grises.			
MESOPROTEROZOICA			Formación Guaneros  SD-snvg Tobas de cristales y brechas intercaladas con tobas liticas areniscas tobacaas y calizas gris oscuras, en forma muy restringidas.			
			Discordancia Angular			
NEOPROTEROZOICA			Discordancia Angular			
			Formación San Juan (Facies de esquistos)  SD-snvm Esquistos biotiticos y cloriticos, con niveles restringidos de marmoles dolomíticos.	Granodiorita		
MESOPROTEROZOICA			Discordancia Angular			
			Facies gneis  Mpe-gn Paragneis granítico rosado a grises con segregaci3n de minerales maficos, metasedimentos y anfibolitas.	Monzogranito		

Fig. 5: (vorherige Seite) Geologische Karte des Arbeitsgebietes, zusammengestellt aus den geologischen Kartenblättern 30-m, 29-m2/3 (Quelle: INGEMMET, online; modifiziert).

(previous page) Geological map of the research area, based on the geological map sheets 30-m, 29-m2/3 (source: INGEMMET, online; modified).

Fig. 6: Legende zur geologischen Karte (Quelle: INGEMMET, online; modifiziert).

Legend for the geological map (source: INGEMMET, online; modified).



## 1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

### 1.2.1 Problemstellung

Den 1996 begonnenen archäologischen Arbeiten in der Region Palpa lag der Gedanke zugrunde, dass die geschichtliche Entwicklung der Nasca-Kultur und ihrer Geoglyphen nur in dem komplexen Zusammenhang zwischen Mensch und Umwelt erforscht werden kann (Reindel et al., 1999). Seitdem wurde bei den archäologischen Forschungen in dieser Region darauf geachtet, die Bodenzeichnungen in Verbindung mit den vorspanischen Siedlungen, insbesondere aus der Paracas- und Nasca-Zeit, und dem ökologischen, klimatologischen Umfeld zu untersuchen. Auf dieser Basis wurde der BMBF-Projektverbund ins Leben gerufen, in dem naturwissenschaftliche Methoden die Archäologie unterstützen, diese Zusammenhänge zu ergründen.

In einem so extrem trockenen Lebensraum wie der nördlichen Atacama-Wüste spielt die Versorgung mit Wasser für alle Kulturen, die in dieser Region leben und lebten, eine zentrale Rolle. Es stellt sich dabei angesichts der zahlreichen Siedlungsspuren vorspanischer Kulturen die Frage nach Phasen, in denen es dort feuchter war als heute. Diesem Problem widmet sich der geomorphologische Teil im BMBF-Projektverbund.

Die grundlegende Frage sowohl in der Archäologie als auch in der Geomorphologie betrifft die Zeitstellung der Befunde. Wann haben diese Kulturen in der Region gelebt? Wann wurden die Geoglyphen angelegt? Wann wurde es feuchter und wann war nur noch so wenig Wasser verfügbar, dass den Kulturen möglicherweise die Lebensgrundlage entzogen wurde?

Eine erste Annäherung an die Zeitfrage wurde mit den relativen Keramikchronologien der Paracas- und Nasca-Kultur gegeben, die in den 1960er Jahren erstellt wurden. Doch neben neuen Erkenntnissen haben die archäologischen Forschungen der vergangenen Jahrzehnte auch die Probleme dieser relativen Chronologien zu Tage gefördert und eine ganze Reihe von damit verbundenen, neuen Fragestellungen aufgeworfen (Wetter, 2005). Stimmt die zeitliche Abfolge der Keramikphasen, die die Chronologien aufbauen? Wie lange dauerten die einzelnen Stilphasen? Existieren möglicherweise Stilelemente gleichzeitig, die aber die Grundlage für aufeinanderfolgende Stilphasen bilden? Gab es möglicherweise eine zeitliche Überschneidung der Paracas- und der Nasca-Kultur? Liegen die Paracas- und die Nasca-Kultur überhaupt in dem bisher angenommenen Zeitraum und waren die Epochen länger oder kürzer als angenommen?

Silverman und Proulx (2002) bringen die gesamte Zeitproblematik auf den Punkt, wenn sie schreiben: „Die Nasca-Archäologie benötigt dringend eine konsistente, Phase für Phase aufgebaute Radiokohlenstoff-Chronologie. Dies wird nur mit weiteren Ausgrabungen möglich sein, idealerweise an Siedlungsplätzen“.

### 1.2.2 Zielsetzung

Für eine solide numerische  $^{14}\text{C}$ -Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit, wie von Silverman und Proulx (2002) gefordert, wird eine große Menge an organischem, datierbarem Probenmaterial benötigt. Zudem müssen für eine fundierte Vorstellung von der Klimageschichte der Region zahlreiche Paläoklimaarchive beprobt und datiert werden. In vielen Fällen steht jedoch nur wenig Material zur Verfügung, sei es weil es sich um wertvolle archäologische Funde wie Textilien der Paracas-Zeit handelt, oder weil das zu datierende Objekt nur wenig organische Komponenten enthält wie beispielsweise Lehmziegel oder Bodenproben.

Die AMS-Technik bietet gegenüber der konventionellen Zählrohrtechnik in der  $^{14}\text{C}$ -Analytik den Vorteil, dass damit Proben im Milli- oder Mikrogrammbereich datiert werden können. Ein weiterer Vorteil der AMS- $^{14}\text{C}$ -Technik ist die geringe Messdauer für jede Probe von nur wenigen Sekunden gegenüber mehreren Tagen bei der Verwendung der konventionellen Technik.

Für eine AMS-Messung muss das organische Probenmaterial in Graphit überführt werden und zu einem sogenannten Target gepresst werden. Die Erzeugung solcher Targets stellt den größten Teil der Arbeit auf dem Weg zur fertigen  $^{14}\text{C}$ -Datierung dar. Eine gängige Methode zur Target-Herstellung wurde bereits in den 1980ern beschrieben (Vogel et al., 1984) und seither immer wieder modifiziert.

Hauptziel vorliegender Arbeit ist es, eine an die Möglichkeiten des Heidelberger  $^{14}\text{C}$ -Labors angepasste Anlage zur Herstellung von Targets aufzubauen und den Ablauf der Graphitisierung zu optimieren. Das Hauptaugenmerk liegt dabei (1) auf einem hohen Probandurchsatz, der durch mehrere, parallel angeordnete Reaktionskammern in der Anlage verwirklicht werden soll; (2) auf einer Automatisierung des Anlagenbetriebes soweit möglich und sinnvoll, so dass die Überwachung der Graphitisierung mehr oder minder selbständig durch ein Steuerprogramm erfolgt; (3) auf einer gleichbleibenden Qualität der Targets und einem niedrigen  $^{14}\text{C}$ -Untergrund, das heißt einer geringen Kontamination durch modernen Kohlenstoff.

Auf der Grundlage der mit diesen AMS- $^{14}\text{C}$ -Proben gewonnenen Datenmenge soll dann eine Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit erstellt werden, die erstmalig auf kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Altern und einem fundierten statistischen Modell basiert. Durch die Anwendung des Bayesianischen Paradigmas (Bayes, 1763) auf das Chronologie-Modell soll es möglich sein, zukünftige Datierungen problemlos in das in dieser Arbeit erstellte Chronologiegerüst einzubauen. Dies stellt einen bisher nicht verfolgten Ansatz in der Erforschung der Paracas- und Nasca-Kultur dar.

In gleicher Weise sollen die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zur Klimageschichte chronologisch verknüpft werden, um der Beantwortung der Frage nach Feuchtphasen in dieser Wüstenregion ein Stück näher zu kommen.

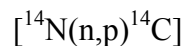
## Teil A: Grundlagen zur $^{14}\text{C}$ -Analytik und Methodik

### 1. Einführung

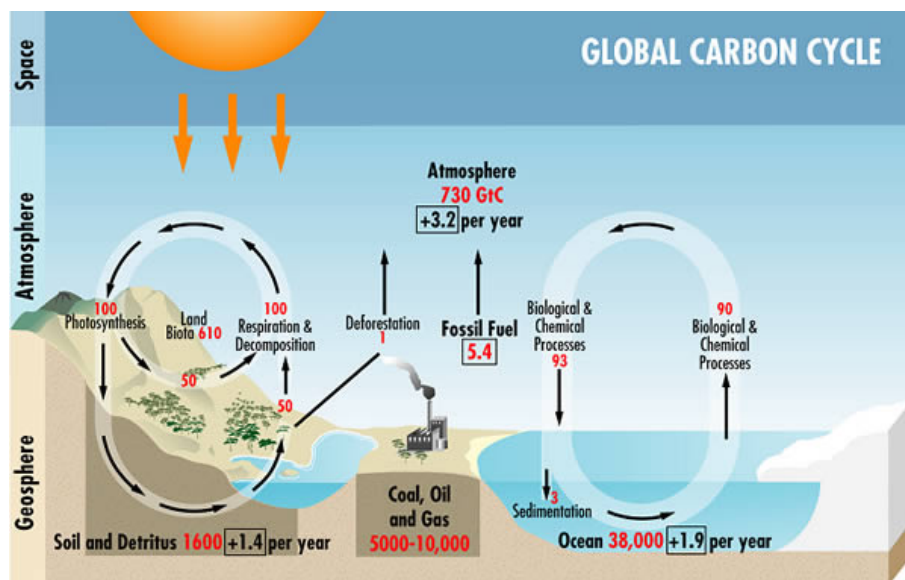
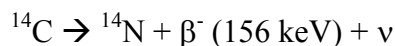
Kohlenstoff ist der Grundbestandteil aller Lebewesen und kommt in verschiedenen organischen und anorganischen Verbindungen in Atmosphäre, Meeren und im Boden vor. Über den natürlichen Kohlendioxidkreislauf (Fig. 7) werden die Kohlenstoffisotope  $^{12}\text{C}$ ,  $^{13}\text{C}$  und  $^{14}\text{C}$  in die verschiedenen Reservoirs verteilt. Die stabilen Isotope  $^{12}\text{C}$  und  $^{13}\text{C}$  kommen mit einem Anteil von 98,8% bzw. 1,2% am gesamten Kohlenstoff am häufigsten vor, während das Verhältnis der Anzahl der  $^{14}\text{C}$ -Atome zur Anzahl der  $^{12}\text{C}$ -Atome

$$^{14}\text{R} = ^{14}\text{C}/^{12}\text{C} \approx 1,2 \cdot 10^{-12}$$

beträgt. Dieser Gehalt ergibt sich aus dem Gleichgewicht zwischen Bildung und Zerfall von  $^{14}\text{C}$ . Radiokohlenstoff ( $^{14}\text{C}$ ) wird in der Stratosphäre durch die Reaktion von  $^{14}\text{N}$  mit thermischen Neutronen, die als Sekundärneutronen der Höhenstrahlung entstammen, gebildet.



Das so entstandene  $^{14}\text{C}$  wird größtenteils kurz nach seiner Bildung zunächst zu CO und anschließend zu  $\text{CO}_2$  oxidiert. Der Zerfall von  $^{14}\text{C}$  erfolgt durch  $\beta$ -Emission mit einer Halbwertszeit von  $5730 \pm 40$  Jahren.



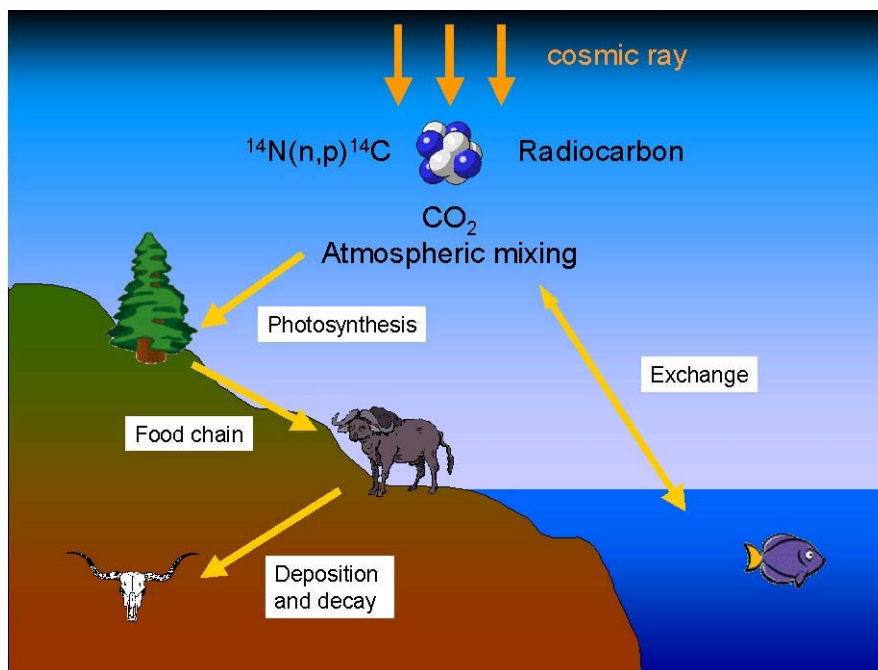
**Fig. 7:** Der globale Kohlenstoffdioxid-Kreislauf. Das Schema zeigt die globalen Kohlenstoff-Reservoirs in Gigatonnen Kohlenstoff (1GtC =  $10^{12}$  kg) sowie die jährlichen Flüsse und Akkumulationsraten in Gt/a, berechnet über den Zeitraum von 1990 bis 1999. (Quelle: [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))

The global carbon cycle. This schematic representation shows the global carbon reservoirs in Giga tons of carbon (1GtC =  $10^{12}$  kg) and the annual fluxes and accumulation rates in GtC/year, calculated over the period 1990 to 1999. (Source: [www.bom.gov.au](http://www.bom.gov.au))

Das Radioisotop  $^{14}\text{C}$  als Mittel zur Altersbestimmung zu verwenden, wurde von Libby (1946) eingeführt, 1960 erhielt er dafür den Nobelpreis. Der in der Atmosphäre produzierte Radiokohlenstoff gelangt als  $^{14}\text{CO}_2$  über die Photosynthese in die Pflanzen und von dort in die Nahrungskette (Fig. 8). Mit dem Ende der Kohlenstoffaufnahme, d.h. dem Absterben eines Lebewesens, wird der Anfangszeitpunkt für die  $^{14}\text{C}$ -Datierung definiert. Zu diesem Zeitpunkt hat das Lebewesen einen bestimmten  $^{14}\text{C}$ -Anfangsgehalt, der durch die atmosphärische  $^{14}\text{C}$  – Konzentration bestimmt und eventuell durch Isotopenfraktionierungsprozesse modifiziert wird (ohne Reservoirkorrektur). Mit Hilfe des radioaktiven Zerfallsgesetzes (Gl. 1) erhält man über die isotopische Zusammensetzung einer Probe ( $^{14}R_{\text{Probe}}$ ) bei bekanntem Anfangsverhältnis  $^{14}R_0$  ein Maß für das Alter bzw. für die Zeit  $t$  seit dem letzten  $\text{CO}_2$ -Austausch mit der Atmosphäre.

$$^{14}R_{\text{Probe}} = ^{14}R_0 \cdot e^{-t/\tau} \Rightarrow t = \ln \frac{^{14}R_0}{^{14}R_{\text{Probe}}} \cdot \tau \quad (\text{Gl. 1.})$$

Mit den gegenwärtigen Messmethoden lassen sich organische Überreste je nach Material bis zu einem Alter von etwa 40.000 - 55.000 Jahren (40-55 ka) datieren.

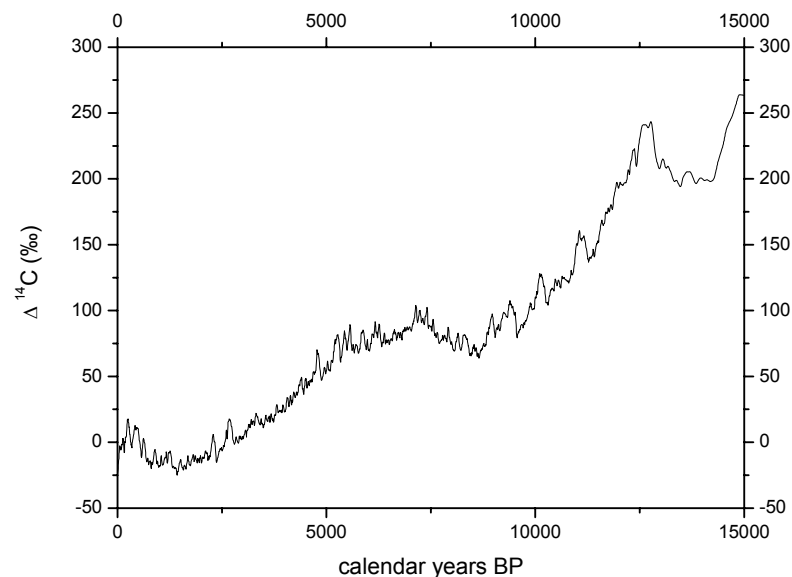


**Fig. 8:** Weg des Radiokohlenstoffs von der Produktion in der Atmosphäre bis zum Zerfall in organischen Verbindungen in Pflanzen oder Tieren.

The way of radiocarbon from the production in the atmosphere to the decay within organic compounds in plants or animals.

## 2. Allgemeines zur $^{14}\text{C}$ -Analytik

$^{14}\text{C}$ -Messungen an dendrochronologisch datierten Baumringen zeigen, dass die atmosphärische  $^{14}\text{C}$ -Konzentration mit der Zeit variiert (de Vries, 1958). Die Abweichung vom rezenten Wert, definiert als die Aktivität von Holz, das im Jahr 1890 AD gewachsen ist, wird als  $\Delta^{14}\text{C}$ -Wert angegeben (Fig. 9). Diese Variationen werden entweder verursacht durch Änderungen in der Produktionsrate  $Q$ , was wiederum bedingt ist durch Variationen des Flusses an kosmischer Strahlung, der Stärke des Geomagnetfeldes und/oder der Sonnenaktivität (**de Vries-Effekt**) oder durch Variationen in der Verteilung des  $^{14}\text{C}$  in den weltweiten Kohlenstoffreservoirs.



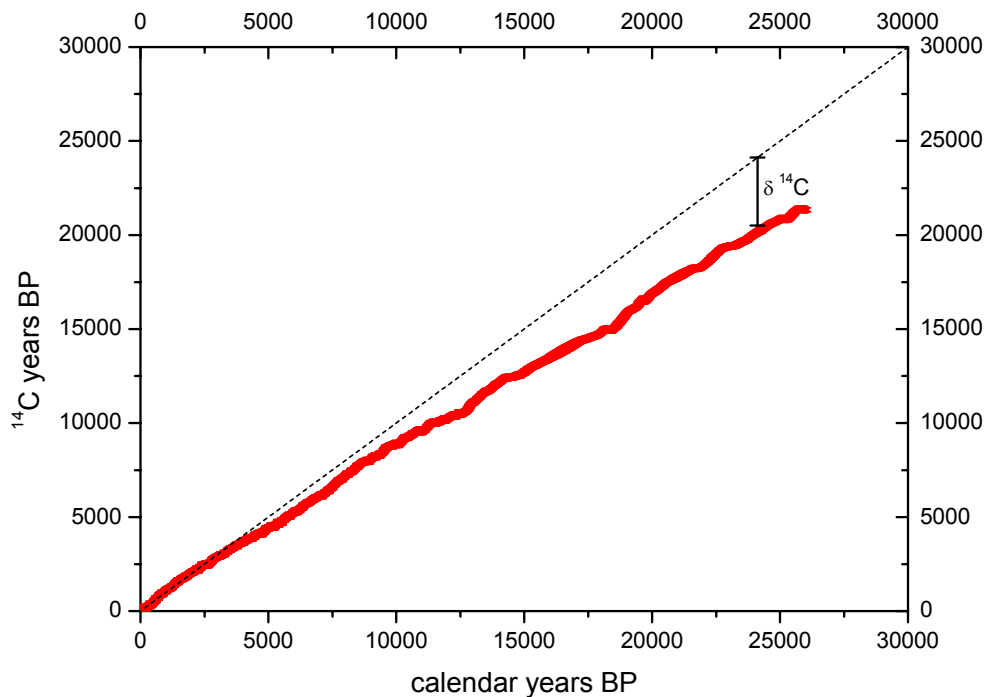
**Fig. 9:** Die Änderungen des  $\Delta^{14}\text{C}$  auf Basis der Baumringdaten (Quelle: IntCal04).

Changes of  $\Delta^{14}\text{C}$  on the basis of tree ring data (Source: IntCal04).

Der mittlere Fluss an kosmischer Strahlung ist im Laufe der letzten 10 Ma nahezu konstant geblieben ( $\pm 20\%$ ). Jedoch gibt es kurzzeitige Fluktuationen, hervorgerufen z.B. durch Supernovae, die die Produktionsrate kosmogener Nuklide wie  $^{14}\text{C}$  verändern. Archäomagnetische Daten (McElhinny & Senanayake, 1982) und Daten aus marinen Sedimenten (Tric et al., 1992), die zur Rekonstruktion der Intensität des Geomagnetfeldes über die letzten 80 ka herangezogen wurden, zeigen eine Verringerung der Intensität um den Faktor 2 bis 3 gegenüber dem heutigen Wert. Diese Änderungen modulieren den Fluss an kosmischer Strahlung und somit auch die Produktionsrate aller kosmogener Isotope. Datensätze über  $^{10}\text{Be}$  aus Eiskernen liefern Informationen über die Geschichte der Produktionsrate von  $^{14}\text{C}$ , um die verschiedenen Ursachen der  $\Delta^{14}\text{C}$  Schwankungen zu trennen.  $^{10}\text{Be}$  wird analog zu  $^{14}\text{C}$  produziert,

haftet aber bald an Aerosolen an und wird nach einer mittleren Verweildauer von 1-2 Jahren aus der Atmosphäre entfernt (McHargue & Damon, 1991).  $^{10}\text{Be}$ -Daten bieten daher ein direktes Signal für die Änderung der Produktionsrate kosmogener Radionuklide.

Da sich die Schwankungen des  $^{14}\text{C}$ -Gehalts in der Atmosphäre nicht gesetzmäßig verhalten erfordert die  $^{14}\text{C}$ -Datierung eine Kalibrationskurve, wie bereits Suess (1965) erkannte. Zu Beginn vorliegender Arbeit wurden  $^{14}\text{C}$ -Daten anhand der internationalen anerkannten Kurve IntCal98 (Stuiver et al., 1998) kalibriert, die einen Bereich von 0-12 cal ka BP umfasste. 2004 wurde die neue Kalibrationskurve IntCal04 herausgegeben (Reimer et al., 2004), die den Bereich von 0-12 cal ka BP geringfügig verbessert und die Kurve bis 26 cal ka BP erweitert (Fig. 10).



**Fig. 10:** Die Kalibrationskurve IntCal04. Deutlich zu sehen ist die zunehmende Abweichung zwischen den konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Jahren (y-Achse) und den Kalender- bzw. Dendro-jahren (x-Achse). Dabei sind die  $^{14}\text{C}$ -Alter meistens zu niedrig. Diese Differenz ist auf eine langfristige Änderung des  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Anfangsverhältnisses zurückzuführen.

The calibration curve IntCal04. Clearly visible is the increasing difference between the conventional  $^{14}\text{C}$ -years (y-axis) and the calendar or dendro years (x-axis). The  $^{14}\text{C}$  ages appear mainly too low. This difference is caused by a long-term change of the initial  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratio.

### Reservoireffekte:

Bei Proben, die gegenüber der Atmosphäre eine erniedrigte Anfangskonzentration an  $^{14}\text{C}$  besitzen, spricht man von einem **Reservoir-Effekt**. Dieser führt zu einem überhöhten, scheinbaren  $^{14}\text{C}$ -Alter (Olsson, 1979).

Während die Meeresoberfläche ständig Kohlendioxid mit der Atmosphäre austauscht und so mit dieser im Gleichgewicht steht, verläuft die Tiefenzirkulation der Ozeane nur langsam. Nur etwa alle 2 ka wird die ozeanische Wassersäule umgewälzt und durchmischt. Das so vom atmosphärischen Austausch abgeschnittene Tiefenwasser besitzt daher ein <sup>14</sup>C-Alter von bis zu 1,7 ka. Steigen solche Wässer wieder auf, vermischen sie sich mit „jungem“ Oberflächenwasser und ergeben so ein scheinbares <sup>14</sup>C-Alter (**mariner Reservoir-Effekt**), das im Schnitt bei ca. 400 a liegt (Wagner, 1995). Da die Durchmischung von lokalen Verhältnissen wie Küstenverlauf, Strömungen und Windverhältnissen abhängt, sind die scheinbaren <sup>14</sup>C-Alter des Meerwassers räumlich und zeitlich variabel (Stuiver and Braziunas, 1993). Marine Organismen, wie z.B. Muscheln, übernehmen diese Kohlenstoffisotopie beim Aufbau ihrer Körper und Kalkschalen. Für das vor der Küste Perus als Humboldt-Strom aufsteigende Tiefenwasser haben Taylor und Berger (1967) anhand mariner Muscheln der Art *Oliva peruviana* ein Reservoir-Alter von  $1127 \pm 44$  <sup>14</sup>C-ysrs BP bestimmt. Dieser Wert ist für die während der Nasca-Zeit häufig zu symbolischen und zeremoniellen Zwecken verwendeten *Spondylus*-Muscheln zu berücksichtigen, jedoch wurden in vorliegender Arbeit keine *Spondylus*-Schalen datiert.

Ein anderer Reservoir-Effekt wird zwischen den Atmosphären der nördlichen und südlichen Hemisphäre beobachtet. Er wird auf die größere Wasserfläche der Süd-Hemisphäre zurückgeführt, wodurch das „rezente“ atmosphärische CO<sub>2</sub> stärker durch „älteres“ marines CO<sub>2</sub> verdünnt wird. Der rasche inner-atmosphärische Austausch wird im äquatorialen Bereich durch die Innertropische Konvergenz Zone (ITCZ) behindert. Erste <sup>14</sup>C-Datierungen an gleich alten Baumringen von Lerman et al. (1970) ergaben, dass die <sup>14</sup>C-Alter der Südhemisphäre systematisch um etwa 30 Jahre höher liegen. McCormac et al. gingen 2002 weiter und erstellten eine auf dendrochronologischen Daten der letzten 1000 Jahre basierende Chronologie aus Baumringen von beiden Hemisphären, die eine durchschnittliche **Südhemisphären-Korrektur** von  $-41 \pm 14$  Jahren liefert. 2004 wurde von McCormac et al. schließlich zusammen mit dem Erscheinen der neuen Kalibrationskurve IntCal04 eine erweiterte Kalibrationskurve SHCal04 für die Südhemisphäre vorgestellt. SHCal04 fordert eine Korrektur von <sup>14</sup>C-Daten der Südhemisphäre um 55 bis 58 a bei einem statistischen Fehler von  $\pm 7,9$  a (im Bereich von 1000 a BP) bis  $\pm 25$  a (im Bereich von 11.000 a BP). McCormac et al. (2004) definieren die Südhemisphäre als den Bereich südlich des thermischen Äquators bzw. südlich der ITCZ. Da Peru innerhalb des Einflussbereichs der ITCZ liegt, jedoch auch hier ein Offset gegenüber der Nordhemisphäre zu erwarten ist, wurde für die Kalibrierung aller <sup>14</sup>C-Daten im Rahmen vorliegender Arbeit ein Wert von  $-41 \pm 14$  a gemäß McCormac et al. (2002) angenommen.

In kalkhaltigen Grund- und Oberflächengewässern werden Variationen des <sup>14</sup>C-Verhältnisses beobachtet, die als **Hartwassereffekt** bezeichnet werden (Deevey et al., 1954). Durch den Austausch von Karbonat-Ionen zwischen der im Wasser gelösten Kohlensäure und dem durchflossenen kalkhaltigen Boden oder Gestein nimmt das Wasser geologisch „alten“ Kohlenstoff auf und das <sup>14</sup>C-Alter des Wassers wird scheinbar erhöht. Limnische Sedimente, Torfe, Süßwassermollusken und –pflanzen sowie Faulschlämme können daher bis zu mehrere

hundert Jahre überhöhte  $^{14}\text{C}$ -Alter aufweisen. Auch terrestrische Mollusken (Klasse *Gastropoda*) tendieren zu einer  $^{14}\text{C}$ -Anreicherung durch Einbau von geologischem Karbonat in ihre Schalengehäuse.

Weinbergschnecken (*Helix sp.*) können beispielsweise bei Bedarf direkt aus dem Boden Kalk aufnehmen. Dazu verharren sie an einer kalkreichen Stelle und lösen Kalk aus dem Boden, indem sie ihren Schleim mit Kohlendioxid ansäuern, das sie über die Fußsohle abgeben (Nordsieck, 2005). Die  $^{14}\text{C}$ -Altersanomalie bei Gastropoden kann je nach Taxon bis zu 3000 Jahre erreichen (Pigati et al., 2004). Ein Teil der Paläoklimarekonstruktion in Teil C dieser Arbeit stützt sich auf die Datierung von terrestrischen Schnecken aus der Familie der *Bulimulidae*, Angehörige oder Verwandte der Art *Scutalus sp.*, auf deren Reservoireigenschaften und Eignung zur Datierung im betreffenden Kapitel eingegangen wird.

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden mit der zunehmenden Industrialisierung große Mengen an  $^{14}\text{C}$ -freiem  $\text{CO}_2$  durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe freigesetzt. Die damit verbundene Verdünnung des  $^{14}\text{C}$ -Verhältnisses in der Atmosphäre bezeichnet man als **Suess-Effekt**. Von 1850 bis 1950 betrug die  $^{14}\text{C}$ -Verarmung der Atmosphäre 3%, d.h. für einen 1950 gewachsenen Baumring ergibt sich eine  $^{14}\text{C}$ -Altersüberhöhung von 240 Jahren (Wagner, 1995). Daher ist eine Datierung nach 1850 nicht oder nur eingeschränkt (z.B. über Wiggles-Matching von Baumringen) möglich. Einige Proben aus dem Arbeitsgebiet um Palpa, die als mögliche Klimaindikatoren in der jüngsten Vergangenheit dienen könnten, beispielsweise aus Ablagerungen von Starkniederschlagsereignissen, entziehen sich somit einer genauen Datierung.

Zusätzlich zur natürlichen Produktion von  $^{14}\text{C}$  in der Atmosphäre wurden in den 1950er und 60er Jahren durch die oberirdischen Kernwaffentests große Mengen von sogenanntem Bomben- $^{14}\text{C}$  freigesetzt. Vorübergehend wurde dadurch der  $^{14}\text{C}$ -Gehalt der Atmosphäre nahezu verdoppelt (**Kernwaffeneffekt**) und war Mitte der 1990er noch immer um etwa 20% erhöht. Abgesehen von einer verstärkten Kontaminationsgefahr für  $^{14}\text{C}$ -Datierungen kann dieser **Bomben-Peak** auch als künstliches Markierungssignal für meteorologische und hydrologische Abläufe genutzt werden (Levin et al., 1992).

## 2.1 Konventionelles $^{14}\text{C}$ -Alter

Für die Berechnung des konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Alters gelten eine Reihe von Überlegungen und Übereinkünften, die im Folgenden kurz dargelegt werden.

### **Bezugsjahr 1950 AD:**

Um Verwirrung zwischen Datierungen, die beispielsweise 1980 und 2005 von ein und dem selben Probenkontext gemacht wurden, zu vermeiden, wurde als gemeinsames Bezugsjahr für alle  $^{14}\text{C}$ -Datierungen das Jahr 1950 nach Christus eingeführt, was durch das Akronym BP (=before present) hinter allen  $^{14}\text{C}$ -Alterswerten angezeigt wird. Ein Alter von 1400  $^{14}\text{C}$ -yrs BP besagt also, die Probe besitzt ein Alter von 1400 Jahren vor 1950.



**Libby-Halbwertszeit:**

Die Berechnung des konventionellen Alters erfolgt mit der Libby-Halbwertszeit von 5568 a (Libby, 1946), obwohl diese um 3% zu klein ist. Jedoch wird durch diese Wahl die Vergleichbarkeit mit früheren Messdaten gewährleistet (Stuiver & Pollach, 1977). Es ist:

$$t_{\text{Libby}} = -8033 \ln \frac{A}{A_0} \quad (\text{Gl. 2.})$$

wobei  $A$  = Aktivität zur Zeit der Datierung  
 $A_0$  = Anfangsaktivität zur Zeit  $t_0$

$$\frac{t_{1/2}}{\ln 2} = 8033a \quad t_{\text{Libby}} = \frac{t_{5730}}{1,03}$$

**<sup>14</sup>C-Anfangsaktivität:**

Das <sup>14</sup>C-Anfangsverhältnis wird als zeitlich konstant angesehen (tatsächliche Schwankungen der <sup>14</sup>C-Produktion in der Atmosphäre werden ebenso wie die um 3% zu kleine Halbwertszeit durch die Kalibration ausgeglichen). Es ist mit der 0,95-fachen Aktivität des NBS-Oxalsäure-Standards (Primärstandard) festgesetzt. Das Standardverhältnis <sup>14</sup>R<sub>Standard</sub> ist ähnlich Gl. 1 definiert als:

$${}^{14}R_{\text{Standard}} = 0,95 \cdot {}^{14}R_{\text{Oxalsäure}} \cdot e^{\frac{(t-1950) \ln 2}{5730a}} \quad (\text{Gl. 3.})$$

wobei  $t$  = Zeitpunkt/Jahr der Messung

**2.1.1 Substandard „1/3-Wilhelm“**

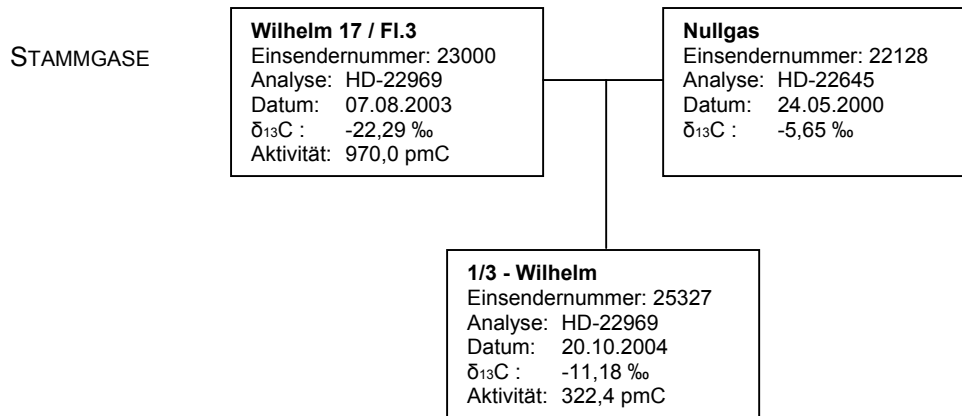
Neben dem NBS-Oxalsäure-Standard gibt es eine Reihe von Substandards, die meist aus Materialien des 19. Jahrhunderts gewonnen werden und somit noch nicht von den anthropogenen Suess- und Kernwaffeneffekten beeinflusst werden.

Im Heidelberger Radiokohlenstofflabor ist ein als „Wilhelm“ bezeichneter Substandard in Verwendung. Seine Aktivität beträgt:

$$A_{\text{Wilhelm}} = (9,700/0,95) \cdot \text{Oxa}$$

„Oxa“ ist dabei ein Oxalsäure-Standard, der beispielsweise auch an der AMS-Anlage der ETH/PSI-Zürich verwendet wird. „Wilhelm“ weist für AMS-Messungen eine zu hohe Aktivität auf, weshalb der Standard mit 2/3 inertem CO<sub>2</sub> („Nullgas“) verdünnt werden muss.

Die Herstellung des im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Substandards „1/3-Wilhelm“ wird im Anhang beschrieben.



### 2.1.2 Isotopenfraktionierung und $\delta^{13}\text{C}$

Bei der Untersuchung von Kohlenstoffisotopen spielt die Messung des  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnisses eine wichtige Rolle. Als stabiles Isotop ist das  $^{13}\text{C}$  ein Spurenstoff, mit dem Fraktionierungsprozesse in der Natur sowie bei chemischen Reaktionen im Labor untersucht werden können. Bei der Photosynthese beispielsweise reichert sich das leichtere  $^{12}\text{C}$  gegenüber dem schwereren  $^{13}\text{C}$  an, welches wiederum gegenüber dem  $^{14}\text{C}$  bevorzugt eingebaut wird. Somit ist der Kohlenstoff in der Pflanze isotopisch leichter als in der Atmosphäre. Man geht davon aus, dass sich alle Fraktionierungseffekte zwischen  $^{13}\text{C}$  und  $^{12}\text{C}$  aufgrund der doppelten Massendifferenz beim  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis doppelt so stark auswirken.

Die Isotopenfraktionierung einer Probe wird in  $\delta^{13}\text{C}$ -Werten [‰] als Abweichung gegenüber dem PDB-Standard angegeben, der definitionsgemäß ein  $\delta^{13}\text{C}$  von 0 ‰ hat. Es gilt:

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{Probe}} = \frac{{}^{13}R_{\text{Probe}} - {}^{13}R_{\text{Standard}}}{{}^{13}R_{\text{Standard}}} \cdot 1000\text{‰} \quad (\text{Gl. 4.})$$

Die Fraktionierungsprozesse führen dazu, dass Proben eigentlich gleichen Alters unterschiedliche  $^{14}\text{C}$ -Alter zeigen. Nimmt man den  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert als Maß für die Fraktionierung, so ergibt sich ein Altersunterschied von 16 a pro ‰- $\delta^{13}\text{C}$ , wobei sich die  $^{14}\text{C}$ -Alter mit steigendem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert scheinbar verjüngen. Daraus folgt, dass das  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ -Verhältnis mit dem  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert gemäß der Lamont-Normalisierung (Stuiver & Pollach, 1977) (Gl. 5) korrigiert werden muss:

$${}^{14}R_{\text{Probe}}^{\text{korr}} = {}^{14}R_{\text{Probe}} \cdot \left(1 - 2 \cdot \frac{\delta^{13}\text{C}_{\text{Probe}} - 25\text{‰}}{1000\text{‰}}\right) \quad (\text{Gl. 5.})$$

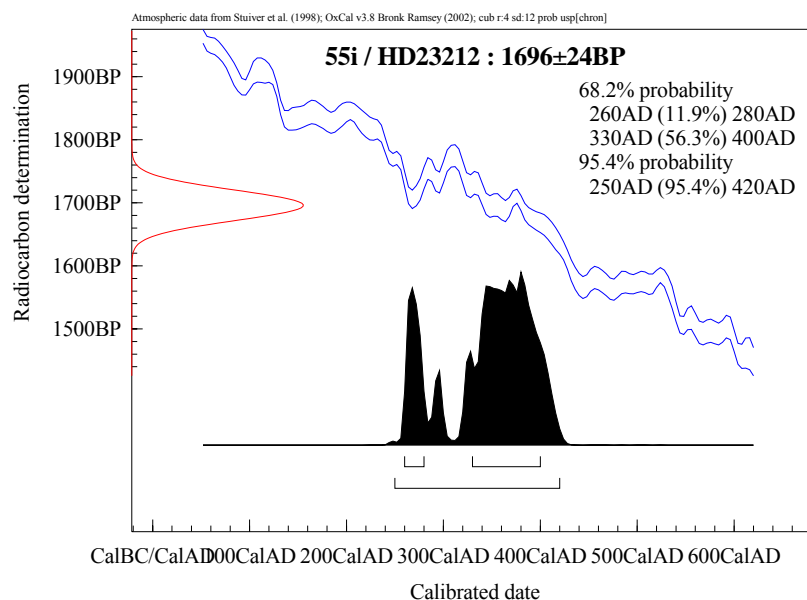
Gemäß internationaler Übereinkunft werden die konventionellen  $^{14}\text{C}$ -Alter auf den  $\delta^{13}\text{C}$ -Wert von Holz (-25‰) bezogen. Die gemessene Differenz zu diesen -25‰ enthält folglich die Summe aller Fraktionierungseffekte in der Natur und bei der Probenpräparation, die eine Verfälschung des  $^{14}\text{C}$ -Alters bewirken.

Die meisten Landpflanzen (C3) haben ein ähnliches  $\delta^{13}\text{C}$  wie Holz. Die sogenannten C4-Pflanzen jedoch fraktionieren gegenüber dem Standard weniger stark und erreichen  $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von etwa -9 bis -12‰. Zu den C4-Pflanzen werden Pflanzen gezählt, bei denen sich im Vergleich zu den C3-Pflanzen ein anderer Weg zur  $\text{CO}_2$ -Fixierung entwickelt hat. Die

Bezeichnung kommt von einem Zwischenprodukt der Photosynthese, dessen Basis aus 4 C-Atomen besteht, dem Oxalacetat. C<sub>4</sub>-Pflanzen können besser als C<sub>3</sub>-Pflanzen mit Trockenstress umgehen, außerdem beträgt ihre optimale Wachstumstemperatur 30-45°C. Zu den C<sub>4</sub>-Pflanzen gehören beispielsweise Hirse, Mais, Zuckerrohr und Chinaschilf. Insbesondere Reste von Maispflanzen sind häufig im Probenmaterial aus dem Untersuchungsgebiet um Palpa zu finden.

Auch bei der Targetherstellung (siehe Kap. 3) kann es zur Isotopenfraktionierung kommen. Diese kann verursacht sein durch unvollständige CO<sub>2</sub>-Reduktion (CO-Rest, Methanbildung) oder durch unvollständige Überfriervorgänge. Zusammen mit Fraktionierungen durch Ionenstromschwankungen in der AMS-Anlage aufgrund mangelhafter Targetqualität lassen sich hierbei Fraktionierungseffekte bis zu +/- 5 ‰ annehmen (Glatzel-Mattheier, 1994).

### 2.1.3 Kalibration von <sup>14</sup>C-Altern



**Fig. 11:** Die Probe Nr. 55 (HD-23212) aus La Muña als Beispiel für die Kalibration eines konventionellen <sup>14</sup>C-Alters mit Hilfe des Programmes OxCal 3.8 (unter Verwendung von IntCal 98). Der 1 $\sigma$ -Bereich des konventionellen Alters (y-Achse) wird durch die Kalibration in zwei 1 $\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereiche für das Kalenderalter (x-Achse) untergliedert.

Sample No. 55 (HD-23212) from La Muña as an example for the calibration of a conventional <sup>14</sup>C age using the programme OxCal 3.8 (with respect to IntCal98). The 1 $\sigma$ -range of the conventional age (y-axis) is transformed into two 1 $\sigma$ -age-ranges for the calendar ages (x-axis) by the calibration.

Zur Umwandlung der konventionellen <sup>14</sup>C-Alter in Kalenderjahre (gekennzeichnet durch die Bezeichnung cal BC, cal AD oder cal BP) wird die bereits erwähnte Kalibrationskurve IntCal verwendet (Fig. 10). Zahlreiche frei erhältliche Softwareprogramme führen diese Umformung auf Basis der Kalibrationskurve durch und stellen die Ergebnisse in Form von Kalibrierungsdiagrammen dar (Fig. 11). Darin sind auf der x-Achse die dendrochronologisch bekannten

Kalenderdaten aufgetragen, auf der y-Achse das konventionelle <sup>14</sup>C-Alter  $t$  der Messung inklusive Standardabweichung  $\sigma$  und gegebenenfalls mit Reservoirkorrektur. Die Kalibration erfolgt, indem man für den gesamten Bereich des konventionellen <sup>14</sup>C-Alters von  $t+\sigma$  bis  $t-\sigma$  über den Schnittpunkt mit der zentralen Kalibrationskurve den zugehörige kalibrierten Altersbereich auf der x-Achse sucht (Pearson, 1987). Dabei wird die Wahrscheinlichkeitsverteilung  $\pm \sigma$  des gemessenen <sup>14</sup>C-Alters nicht direkt in eine solche des kalibrierten Datums umgesetzt. Stattdessen erhält man einen Altersbereich, der stark vom Verlauf der Kalibrationskurve beeinflusst ist. So kann sich in Bereichen der Kurve mit sehr flacher Steigung, sogenannten **Plateaus**, bei der Kalibrierung der <sup>14</sup>C-Alter ein stark aufgeweiteter Wahrscheinlichkeitsbereich für das Kalenderalter ergeben. Ein solcher Bereich liegt beispielsweise zwischen 800 und 400 BC und wirkt sich somit auf Proben der Paracas-Zeit aus. In einem anderen Fall können starke Schwankungen der Kurve, sogenannte **Wiggles**, dazu führen, dass der Wahrscheinlichkeitsbereich für das Kalenderalter in mehrere Unterbereiche aufgespalten wird (Fig. 11). Für einen detaillierten Einblick in die Kalibration von <sup>14</sup>C-Altern sei auf die Publikationen von Pearson (1987) und Wagner (1995) verwiesen.

## 2.2 Chemische Vorbehandlung

Organisches Material, das zur <sup>14</sup>C-Datierung verwendet werden kann, ist ab dem Zeitpunkt seiner Ablagerung möglicher Kontamination ausgesetzt. Zirkulierende Wässer im Boden bringen beispielsweise jüngere Huminsäuren oder gelöstes geologisches Karbonat mit sich, die sich am abgelagerten organischen Material anlagern oder mit ihm Kohlenstoffverbindungen austauschen können. Zur Beseitigung der Kontamination oder auch der Probenkomponenten, die am leichtesten Kohlenstoff austauschen, ist eine chemische Vorbehandlung (*pre-treatment*) nötig.

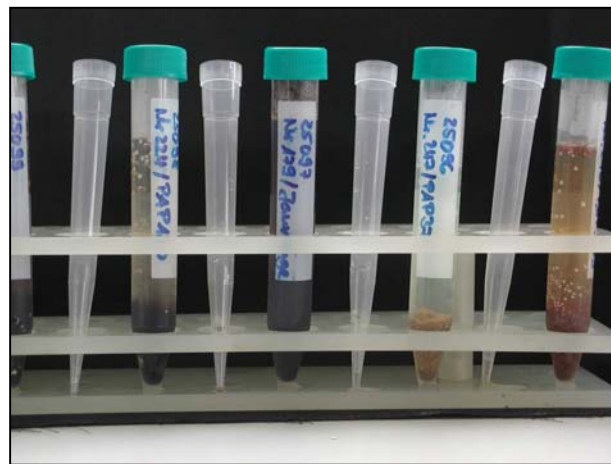
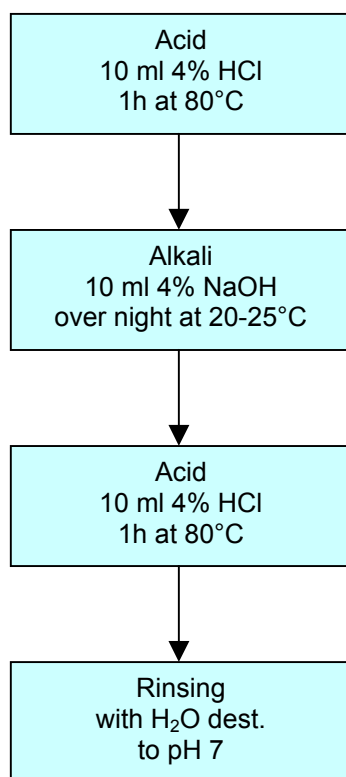
Zuvor ist immer, soweit möglich, eine mechanische/manuelle Reinigung und Auslese des Probenmaterials empfehlenswert. Aus Bodenproben sollten Wurzelreste, die offensichtlich als rezent identifiziert werden können, ausgelesen werden. Für manche Proben, beispielsweise Schnecken-schalen, empfiehlt sich eine Reinigung im Ultraschallbad, um Verkrustungen zu lösen.

### Holz, Holzkohle, Bodenproben

Für diese Probenmaterialien wird klassisch die sogenannte AAA-Methode zur Vorbehandlung verwendet, die von de Vries und Barendsen (1954) eingeführt wurde. Der Name geht auf die 3 Reinigungsschritte mit Säure (*acid*), Base (*alkali*) und wieder Säure (*acid*) zurück. Die Art und Stärke der Säure/Base sowie die Dauer der jeweiligen Anwendung variiert je nach Labor und behandeltem Probenmaterial (z.B. Goslar & Czernik, 2000; Hatté et al., 2001a). Gängigerweise wird als Säure HCl und als Base NaOH verwendet. Der erste Säureschritt dient zum Entfernen von Karbonat, der Basenschritt soll im Wesentlichen Huminsäuren beseitigen. Hatté et al. (2001b) beschreiben eine mögliche Aufnahme von rezentem CO<sub>2</sub> aus

der Luft während des Basenschritts und eine damit verbundene Verjüngung der Testproben um  $2,0 \pm 0,4$  pmC (percent modern Carbon). Sie schlagen als zweiten Säureschritt  $H_2SO_4$  vor, das eine höhere Ionenaffinität besitzt als das sonst verwendete  $HCl$ , um den von der Probe aufgenommenen modernen Kohlenstoff wieder zu entfernen. Für Bodenproben ersetzen sie den letzten Säureschritt durch einen Oxidationsschritt mit  $K_2Cr_4O_7$  wie von Bird et al. (1999) vorgeschlagen, um mögliche Eisenkarbonate zu zersetzen. Jedoch geben sie an, dass noch weitere Untersuchungen nötig sind, um endgültige Ergebnisse zu den geänderten Verfahrensschritten vorlegen zu können.

Die für vorliegende Arbeit verwendete AAA-Vorbehandlung orientiert sich weitestgehend an der von Olsson (1986) beschriebenen Methode und ist im folgenden Flussdiagramm dargestellt (Fig. 12a).



**Fig. 12:** (a) Die einzelnen Schritte der chemischen AAA-Vorbehandlung. Nach jedem Schritt wird die Probe zentrifugiert und der Überstand abpipettiert. (b) Die Proben bei der Vorbehandlung in 15 ml PP Falcon-Röhrchen mit Schraubverschluss.

(a) The single steps of the chemical AAA-pre-treatment. After each step the sample is centrifuged and the excess pipetted. (b) Samples during pre-treatment in 15 ml PP Falcon vessels.

### Karbonat – Schneckenschalen

Da besonders die Außenseiten von Schnecken- oder Muschelschalen leicht durch chemische Austauschreaktionen mit Karbonat aus dem Grundwasser oder durch Anlagerung von  $CO_2$  aus der Bodenluft kontaminiert werden, werden solche Karbonatproben gewöhnlich zunächst mit Säure abgeätzt. Als Faustregel gilt, dass mehr als 20%, nach Möglichkeit sogar bis zu 50% der Probe von der Oberfläche her entfernt werden. Für die Schneckenproben aus dem Untersuchungsgebiet wurde hierzu 4%  $HCl$  verwendet. In der Regel bedarf es für eine derartige Kontamination der Schneckenschalen einer humiden Umgebung. Da jedoch im Raum Palpa während des Holozäns eher aride bis semi-aride Bedingungen vorherrschten (siehe Teil

C dieser Arbeit), ist nur von äußerst geringen Austauschprozessen an den untersuchten Schneckenschalen auszugehen.

### **Knochen**

Der anorganische Teil (Karbonat-Hydroxylapatit) der Knochen sollte vermieden werden, da die daraus gewonnenen Daten, wohl bedingt durch Austauschprozesse (vgl. vorheriger Abschnitt), unzuverlässig sind (Olsson, 1986). Normalerweise wird das Collagen (= Strukturprotein des Bindegewebes, d.h. der extrazellulären Matrix der Knochen) zur Datierung verwendet, da es darin bisher keine Hinweise auf Kohlenstoffaustausch gibt. Jedoch wird das Collagen allmählich über das Enzym Collagenase mittels katalytischer Hydrolyse abgebaut (z.B. durch Bodenbakterien). Alle Versuche, aus Knochen von den Grabungen in Palpa genügend Collagen für eine Datierung zu gewinnen, schlugen bisher fehl. Dies ist zurückzuführen auf die tropischen, ariden Bedingungen im Untersuchungsgebiet, die den Abbauprozess beschleunigen (Piotrowska & Goslar, 2002). Eine weitere Möglichkeit der Collagengewinnung zu Datierungszwecken wäre aus den Haaren von Mumien, die aus der Paracas- und Nasca-Zeit reichhaltig erhalten sind, jedoch lag bis zum Ende dieser Arbeit kein entsprechendes Probenmaterial vor.

Die am weitesten verbreitete Art der Collagenextraktion ist die Longin-Methode (Longin, 1971). Hierbei wird nach dem Zerkleinern (und ggf. Mahlen) der Knochenprobe das Karbonat mittels 0,5 M HCl weggelöst. Der Prozess ist langwierig und die Säure muss über mehrere Tage hinweg mehrfach gewechselt werden, bis sich keine Gasblasen mehr bilden und sich der pH-Wert auf einem niedrigen Niveau eingependelt hat. Der anschließende Gelatinisierungsschritt nutzt die Löslichkeit von Collagen in heißem Wasser bei einem pH von 3 (HCl). Die Probe wird darin 12 h im Wasserbad bei 80°C gekocht, anschließend die unlöslichen Bestandteile abfiltriert und das Collagen ausgelieren und trocknen gelassen.

Einige Labors verwenden nach dem ersten Säure-Demineralisierungsschritt eine Ninhydrin-Säure-Ninhydrin Behandlung (Piotrowska & Goslar, 2002; Tisnérat-Laborde et al., 2003). Dabei werden zunächst freie Aminosäuren aus degradiertem Collagen mit Ninhydrin zerlegt und das freiwerdende CO<sub>2</sub> entfernt. Das gereinigte Collagen wird dann über Nacht mit 6M HCl bei 100 °C hydrolysiert und danach die entstandenen freien Amminosäuren mit Ninhydrin aufgespalten und das entstehende CO<sub>2</sub> für die Graphitisierung aufgefangen.

## **2.3 Verbrennung**

Auf dem Weg vom organischen Probenmaterial, das neben Kohlenstoff auch in unterschiedlichen Mengen Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor enthält, zum reinen Graphit-Target für die AMS-Messung muss die Probe zunächst verbrannt werden und der Kohlenstoff zu CO<sub>2</sub> oxidiert werden. Dazu wird die Probe nach der Vorbehandlung zunächst bei 50°C im Trockenschrank getrocknet.

Die anschließende Verbrennung (*combustion*) erfolgt in den meisten AMS-<sup>14</sup>C-Labors nach einem ähnlichen Schema mit nur geringen Abweichungen bei den verwendeten Mengen, der Temperatur und Reaktionsdauer. Einige wenige Labors (z.B. Lund/Schweden und Gif-sur-Yvette/Frankreich) haben den Verbrennungsschritt in ihre Target-Aufbereitungsanlage (siehe Kapitel 3.1) mit integriert (Hatté et al., 2003).

Das Probenmaterial wird zusammen mit 200 mg Kupferoxid (CuO) und 100 mg Silberwolle in ein Quarzglasröhrchen von 200 mm Länge und 7 mm Außendurchmesser eingebracht. Das CuO dient als Sauerstoffquelle während der Verbrennung, die Silberwolle soll Schwefel- und Chlor-Komponenten (Chlor als möglicher Rest aus der Vorbehandlung mit HCl) aus der Gasphase entfernen, die sich später schädlich auf die katalytische Reaktion zu Graphit (Kapitel 3) auswirken könnten (Hajdas, 1993). Die verwendeten Mengen der Reagenzien orientieren sich an den Angaben der Labore in Gliwice, Kiel und Gif-sur-Yvette wie von Goslar und Czernik (2000) beschrieben. Vor der eigentlichen Verbrennung der Probe werden das CuO und die Silberwolle bereits in das Quarzglasröhrchen eingebracht, das Röhrchen in den Bereich von  $10^{-2}$  mbar evakuiert, abgeschmolzen und bei 900°C für 3 h im Muffelofen ausgeglüht. Dieser Vorbereitungsschritt wurde von Czernik und Goslar (2001) vorgeschlagen, da sie damit eine Verringerung des <sup>14</sup>C-Untergrundes (Kapitel 3.3 und 3.4) feststellten. Die Kontamination ginge dabei von den Wänden des Glasrohres und dem CuO aus. Vandeputte et al. (1998) schränken jedoch ein, dass ein Einfluss von Kohlenstoff aus dem CuO erst bei Proben >38 ka zu berücksichtigen wäre.

Kurz vor dem Befüllen der vorbereiteten Quarzglasröhrchen mit dem Probenmaterial werden die Röhrchen entlang einer Sollbruchstelle (mit Ampullenritzmesser erzeugt) unter O<sub>2</sub>-Schutzatmosphäre geknackt. Dadurch soll die Adsorption von rezentem Luft-CO<sub>2</sub> an den Glaswänden, der Silberwolle und dem CuO auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Die Probenmenge, die verbrannt wird, richtet sich nach dem jeweiligen Material (vgl. Tab. 1). Ziel ist es, aus dem CO<sub>2</sub> der Probe etwa 1 mg Graphit zu erzeugen. Die Quarzglasröhrchen mit der Probe werden schließlich erneut evakuiert ( $\sim 10^{-2}$  mbar), abgeschmolzen (Fig. 13) und im Muffelofen bei 900°C über 3 h verbrannt (Fig. 14).

**Fig. 13:** Abschmelzen der Quarzglasampulle mit Probe, CuO und Silberwolle.

Sealing the quartz tube with sample, CuO and silver-wool.





**Fig. 14:** Die Quarzglasampullen vor der Verbrennung (links), im Muffelofen (mitte) und nach der Verbrennung (rechts). Nach der Verbrennung ist das Kupferoxid größtenteils zu rotem Kupfer reduziert worden. Der zur Beschriftung der Ampullen verwendete Stift ändert bei der Verbrennung seine Farbe von Gold zu Silber und ist neben seiner Hitzebeständigkeit somit auch ein guter Indikator für die Erhitzung der Ampullen.

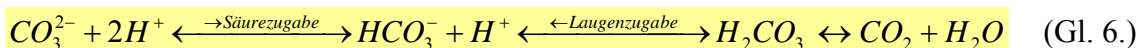
The quartz tubes before the combustion (left), in the oven (middle) and after combustion (right). After the combustion the copper oxide has been largely reduced to red copper. The pen used for marking the tubes changes its colour from golden to silver during combustion. Besides its heat resistance it is therefore a good indicator for the heating of the tubes.

Probenmaterial	Vor der Vorbehandlung		Zur Verbrennung
	Minimal	Optimal	
Holz	10 mg	50 mg	3-6 mg
Holzkohle	10 mg	50 mg	3-4 mg
Braunkohle (Zero)	10 mg	50 mg	2-3 mg
Knochen/Haare	1000 mg	5000 mg	100 mg
Boden/Lehmziegel	100 mg	500 mg	10-60 mg

**Tab. 1:** Übersicht über die zur AMS-<sup>14</sup>C-Datierung notwendigen Probenmengen.

## 2.4 CO<sub>2</sub>-Extraktion aus Wasser- und Karbonatproben

Die Wechselbeziehung zwischen Kohlenstoffdioxid, Wasser und Karbonat wird durch das Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht beschrieben (Gl. 6):



Das Gleichgewicht ist pH-abhängig, somit kann gelöstes Kohlenstoffdioxid durch Zugabe einer stärkeren Säure als der Kohlensäure aus dem Wasser ausgetrieben werden, festes oder gelöstes Karbonat kann mit Hilfe von Säure in Kohlenstoffdioxid überführt werden.

Die meisten in dieser Arbeit beschriebenen Karbonat-Proben (Gehäuse von Löss-Schnecken) lagen in ausreichender Menge vor, um eine konventionelle Datierung durchzuführen. Die CO<sub>2</sub>-Darstellung erfolgte in diesen Fällen an bereits bestehenden Apparaten des Heidelberger Radiokohlenstofflabors. Für kleinere Karbonatproben sowie zur Extraktion von CO<sub>2</sub> aus Wasser zu Datierungszwecken wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe „Aquatische Systeme“ am Institut für Umweltp Physik der Universität Heidelberg eine Extraktionsapparatur

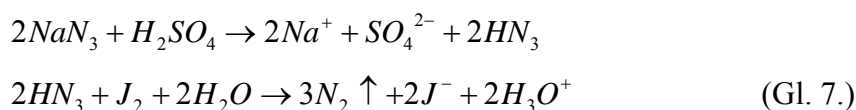


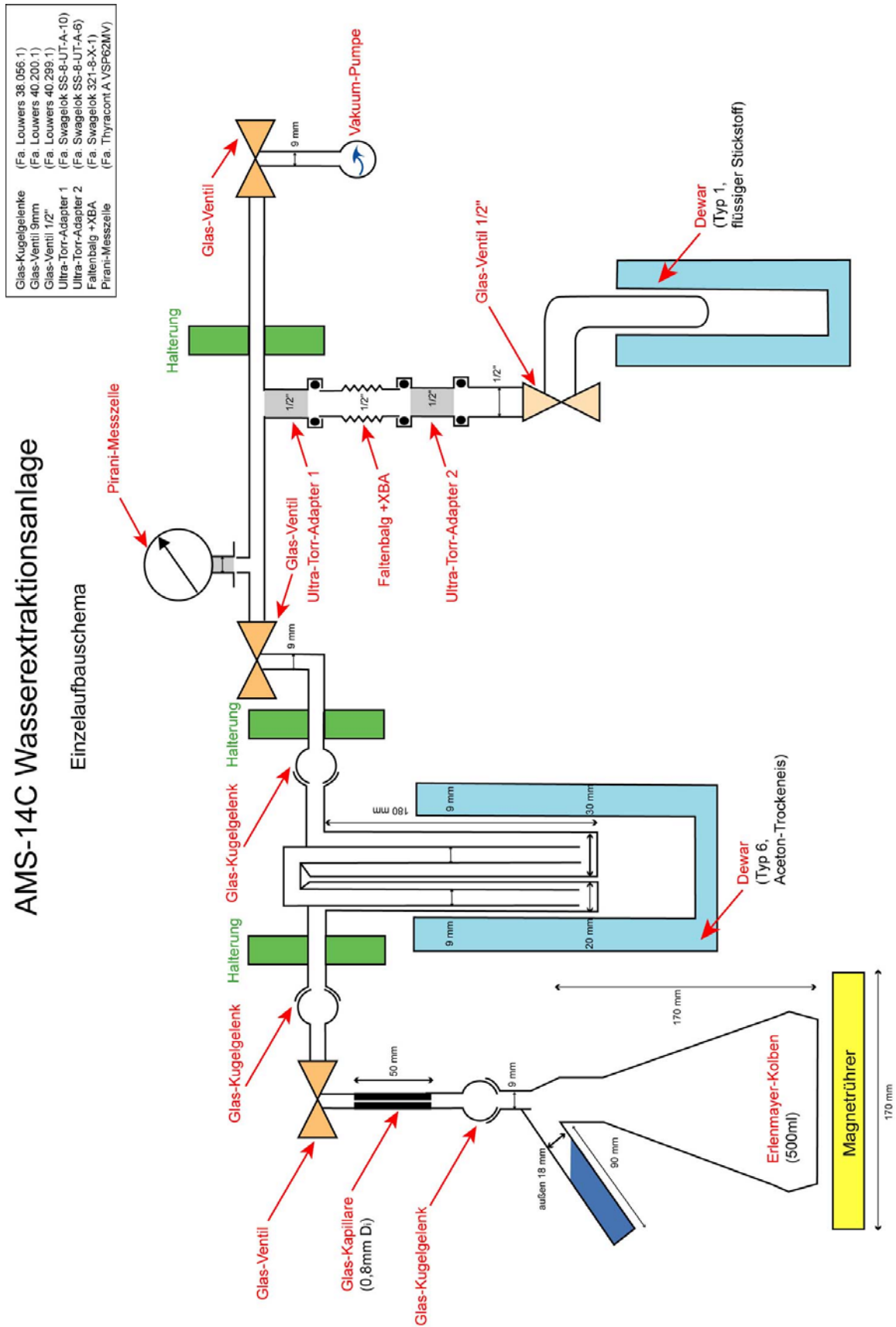
in Anlehnung an die Arbeit von Dörr und Münnich (1980) aufgebaut (Fig. 15). Eine ähnliche Apparatur wurde auch von Glatzel-Mattheier (1994) zur CO<sub>2</sub>-Extraktion aus Meerwasserproben verwendet.

Die Anlage besteht zunächst aus einem Erlenmeyerkolben (200-500 ml) zur Aufnahme von Wasserproben mit einem seitlich schräg angebrachten Glasfinger als Reservoir für etwa 10 ml Säure. Für Karbonatproben wird der Kolben durch einen zweiten Glasfinger mit etwa 50 ml Fassungsvermögen ersetzt. Solche 2-Finger-Gefäße werden üblicherweise zur Karbonatextraktion verwendet (Adkins et al., 2002; Paterne et al., 2004). An den Kolben/Finger schließt sich eine Kapillare an (50 mm lang, 0,8 mm Innendurchmesser), die der Flussbegrenzung des Wasserdampfstroms gemäß dem Gesetz von Hagen-Poiseuille dient. Der Wasserdampf fungiert zunächst als Trägergas bei der Extraktion und wird nach der Kapillare in einer Kühlfalle mit einem Aceton-Trockeneis-Gemisch (-78°C) ausgefroren. Nach der Kühlfalle folgt ein durch Ventile begrenzter Bereich mit einer Pirani-Druckmesszelle und einem Frierfinger, in dem das extrahierte CO<sub>2</sub> mit flüssigem Stickstoff (LN<sub>2</sub> / ~ 190°C) ausgefroren wird. Das ganze System ist 4-fach parallel aufgebaut und zur Evakuierung auf einen Druck im Bereich von 10<sup>-3</sup> mbar an eine Vakuumpumpe angeschlossen.

Nach dem Einbringen der Probe (Wasser oder Karbonat) und der Säure wird das System geschlossen und evakuiert. Auch die Permanentgase, d.h. physikalisch im Wasser und in der Säure gelöste Gase, werden so lange abgepumpt, bis keine Blasenbildung in den Flüssigkeiten mehr stattfindet. Bei den Wasserproben im Erlenmeyerkolben befindet sich ein Rührfisch und die Kolben stehen auf einem Magnetrührer (Fig. 15). So können sie schon während des Abpumpens gerührt werden. Für die Extraktion werden zumeist 2-5 ml 85%ige Phosphorsäure (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) verwendet (Glatzel-Mattheier, 1994; Adkins et al., 2002; Paterne et al., 2004). Dörr und Münnich (1980) verwenden 5 ml 5N Schwefelsäure (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), während bei vorliegender Arbeit auch 10 ml 3N Salzsäure (HCl) erfolgreich verwendet wurden.

Bei den bisherigen Testproben zur CO<sub>2</sub>-Extraktion aus Wasser der Arbeitsgruppe „Aquatische Systeme“ stellte sich das Problem, dass die Proben mit Natriumazid (NaN<sub>3</sub>) vergiftet waren, um eine biologische Kontamination während des Transports und der Lagerung zu verhindern. NaN<sub>3</sub> bildet unter Zugabe von starken Säuren, insbesondere von H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Stickstoffwasserstoffsäure (HN<sub>3</sub>), die hochexplosiv ist und in geringsten Dosen lethal wirkt (Wikipedia.de, 2005a). Eine Möglichkeit, die Bildung von HN<sub>3</sub> abzupuffern, ist durch die Zugabe von Jod (J<sub>2</sub>). Da die den Testproben zugesetzte Menge von NaN<sub>3</sub> sehr gering war, erschien eine Zugabe von 5-10 ml J<sub>2(aq)</sub> als ausreichend (Merck Titrisol<sup>®</sup>, 0,1 Äquivalent). Die beschriebenen chemischen Zusammenhänge sind in Gl. 7 zusammengefasst:





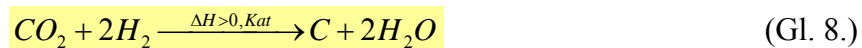
**Fig. 15:** Schematischer Aufbau der CO<sub>2</sub>-Extraktionsanlage in Abwandlung der Anlagen von Dörr & Münnich (1980) und Glatzel-Mattheier (1994). Der Gesamtaufbau umfasst 4 parallele Linien.

Schematic drawing of the modified CO<sub>2</sub>-extraction line similar to the lines of Dörr & Münnich (1980) and Glatzel-Mattheier (1994). The complete system includes 4 parallel lines.

### 3. Target-Aufbereitung

#### 3.1 Graphitisierung

Die Aufarbeitung der zu CO<sub>2</sub> verbrannten Proben zu AMS-Targets beruht auf einer katalytischen Graphitisierung in einer Apparatur nach Vogel et al. (1984). Die zugrunde liegende Reaktion ist die katalytische Reduktion des Kohlenstoffdioxids mittels Wasserstoff zu Graphit und Wasser (Gl. 8).



Seit der ersten Beschreibung der Apparatur vor gut zwei Jahrzehnten hat sich diese Art der Target-Aufbereitung in zahlreichen Labors etabliert. Dabei wurden der Aufbau der Apparatur sowie die Reaktionsparameter (Druck, Temperatur, Katalysator) im Laufe der Zeit vielfach verbessert und gemäß den herrschenden Laborbedingungen und Beschleunigereigenschaften modifiziert.

Allen Apparaturen gemeinsam ist das Ziel, ein festes Graphit-Target zu produzieren, aus dem ein langlebiger, intensiver, stabiler und nicht fraktionierender Strahl an negativen Kohlenstoff-Ionen erzeugt werden kann (Vogel et al. 1984). Zudem muss das Material thermisch leitend, an der Luft nicht reaktiv und isotopisch gut durchmischt sein.

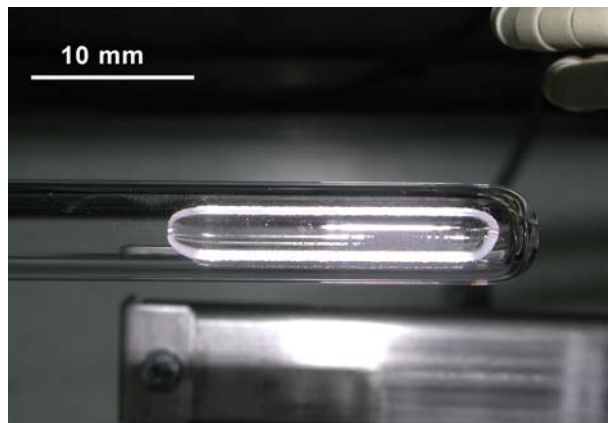
Der Aufbau der im Rahmen dieser Arbeit konstruierten Apparatur orientiert sich zunächst an den Ausführungen von Pfeleiderer (1987), Hajdas (1993), Glatzel-Mattheier (1994) und Goslar & Czernik (2000) und wurde schließlich modifiziert.

Die eigentliche Reaktionskammer setzt sich zusammen aus einem Heizfinger, über den ein Heizelement geschoben wird, und einem Frierfinger (Fig. 17). Eine darin angebrachte Druckmesssonde überwacht diesen Abschnitt der Apparatur. Bei Pfeleiderer (1987) und der derzeit am PSI in Zürich verwendeten Apparatur zeigt der Heizfinger nach oben und der Katalysator wird auf einem Kupferplättchen aufgebracht, das im inneren des Glasröhrchens auf dem Thermofühler balanciert wird. Bei der im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Apparatur ist der Heizfinger hingegen horizontal ausgerichtet (vgl. auch Goslar & Czernik, 2000; Hajdas, 1993). Um Verluste an der Glasinnenwand des Heizfingers beim Einfüllen zu minimieren, wurde eigens für diese Apparatur ein Glasschiffchen von etwa 20 mm Länge und 4 mm Breite hergestellt, um den Katalysator und später das Graphit darin aufzunehmen (Fig. 16).

Da beide zur Verwendung kommenden Katalysatormaterialien, Eisen und Kobalt (siehe Kap. 3.2), ferromagnetisch sind, lässt sich das Pulver relativ einfach mit einem Magneten an einem Punkt im Glas sammeln. Dies hat zudem den günstigen Effekt, dass das Katalysatorpulver

**Technik – Druckmesssonde:**  
Piezoresistiver Drucktransmitter,  
Druck 0-1500 mbar,  
Ausgangssignal 0-10 V  
(Firma Keller, Modell PAA-23S)  
ausgelesen über USB VModul  
A/D analog-digital-Wandler nach  
LabView

durch seine strahlenförmige Ausrichtung entlang der Feldlinien seine freie Oberfläche vergrößert und so besser den Graphitniederschlag aufnehmen kann (Goslar, pers. Mitt.).



**Fig. 16:** Glasschiffchen zur Aufnahme des Katalysators im Heizfinger.

Small sliding shuttle to introduce the catalyst to the reactor.

Der Thermofühler ist direkt außerhalb des Quarzglas im Inneren des Keramikfaser-Heizelementes angebracht, was den Vorteil hat, dass sich keine Materialien im Reaktionsraum befinden, die nicht direkt zur Reaktion beitragen.

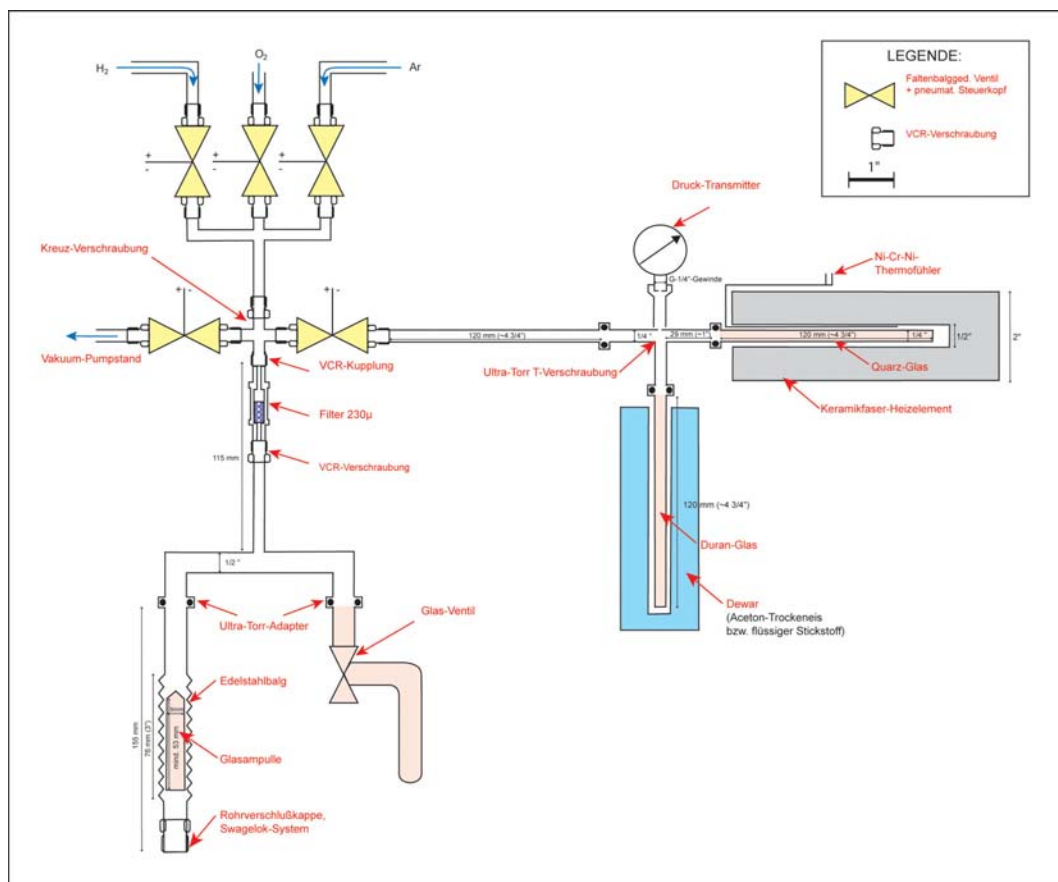
Der Frierfinger zeigt wie in den meisten Anlagen, mit Ausnahme der Apparatur von Glatzel-Mattheier (1994), nach unten, weshalb zur Kühlung handelsübliche Dewar-Gefäße eingesetzt werden können. Um das Gleichgewicht der Reaktion auf die Seite der Produkte ( $C+H_2O$ ) zu verschieben, wird der Frierfinger mit einem Aceton-Trockeneis-Gemisch auf  $-78^\circ C$  heruntergekühlt und das entstehende Wasser sofort ausgefroren.

In einer ersten Testphase von November 2003 bis Oktober 2004 wurde die Apparatur als ein Prototyp mit nur einer einzigen Reaktionskammer aufgebaut. Nach einer Reihe von Testläufen zur Optimierung der Reaktionsparameter (siehe nachfolgende Kapitel) und einigen AMS-Messungen zur Feststellung des  $^{14}C$ -Untergrundes wurde die Apparatur mit sechs parallelen Reaktionskammern aufgebaut (Fig. 19). Alle sechs Kammern verfügen über einen gemeinsamen Anschluss zu Vakuumpumpe und eine gemeinsame Versorgung mit den Reaktionsgasen Wasserstoff, Sauerstoff und Argon.

Aus Kostengründen besitzt die Anlage nur eine Vorrichtung zum Einbringen der Proben sowie einen Glasfinger mit Ventil zum möglichen Rückfrieren einer Probe. Zur Vermeidung gegenseitiger Kontamination und längerer, zusätzlicher Pumpzeit zwischen dem Einbringen von zwei Proben wäre es jedoch sinnvoll, mindestens zwei, im Idealfall sogar eine Vorrichtung pro Reaktionskammer zu installieren. Eine Konstruktionszeichnung für eine modifizierte Anlage mit 2 Probeneingängen befindet sich im Anhang zu dieser Arbeit.

Zum Brechen der Glasampullen mit dem Proben- $CO_2$  gibt es verschiedene Lösungen (Coleman, 1981; Kennedy & Kennedy, 1994; Norton, 2005). Die für diese Apparatur verwendete Möglichkeit mit einem Edelstahl-Faltenbalg, der mit einer stabilisierenden Ringhülse in eine Klemmring-Verschraubung (Ultra-Torr Cajon<sup>®</sup>) eingebracht wird, orientiert sich in den Grundzügen an den Ausführungen von DesMarais & Hayes (1976). Die Proben-Ampulle wird dabei ca. 3 cm unterhalb eines Endes durch Anritzen mit einer Sollbruchstelle versehen. Das

Ausbreiten von Glassplittern und nicht verbrannten Probenrückständen in die Apparatur soll durch einen 230  $\mu\text{m}$  Filter oberhalb der Brecheinheit verhindert werden.



**Fig. 17:** Schematische Zeichnung des Prototyps der Target-Apparatur. In der rechten Bildhälfte die Reaktionskammer mit Heizelement (grau) und Frierfinger (hellblau). Links die Ventile zur Versorgung mit den benötigten Gasen (oben) und der Brechbalg zum Einbringen der Probe (unten).

Schematic drawing of the prototype of the target line. To the right the reaction chamber with furnace (grey) and dewar for cooling (light blue). To the left the valves for the gas supply (above) and the cracking unit for inserting the sample tube (below).

### 3.1.1 Vorbereitung der Apparatur

Zur Verringerung der Kontamination der Proben mit Kohlendioxid aus der Luft oder Kohlenstoffresten wird die gesamte Apparatur vor jedem Graphitisierungszyklus evakuiert sowie die demontierbaren Bestandteile der Reaktorkammern ausgeglüht. Die Heizfinger sowie die Glasschiffchen für den Katalysator bestehen aus Quarzglas und werden bei 900°C 3h im Muffelofen ausgeglüht. Das Duranglas des Frierfingers hat einen deutlich niedrigeren Schmelzpunkt und wird daher nur bei 600°C ebenfalls für 3 h ausgeheizt. Alle Glaskomponenten werden zuvor mit destilliertem Wasser ausgespült, um Verunreinigungen wie z.B. Katalysatorreste, die beim Ausglühen nicht verbrennen, zu entfernen. Die so gereinigten Gläser werden bis zu Ihrer Verwendung in Aluminiumfolie eingeschlagen in einem Trockenkabinett aufbewahrt.

Nach Einbringen des Katalysators (siehe Kap. 3.2.1) in die Reaktionskammern und einer ersten Probenampulle in die Brechvorrichtung (Fig. 17) wird die gesamte Apparatur evakuiert. Hierzu werden nach Anlaufen der Turbomolekularpumpe nach und nach alle Ventile zu den Reaktionskammern und der Brechvorrichtung über die Lab-view-Steuerung (siehe Kap. 3.6) geöffnet. Nach 1 h Pumpen liegt der Druck in der Apparatur in der für diese Arbeit beschriebenen Konfiguration bei etwa  $3\text{-}4\cdot 10^{-6}$  mbar. Anschließend werden die Keramikfaser-Heizelemente mit  $625^{\circ}\text{C}$  über die Heizfinger geschoben und 3 h gepumpt und geheizt. Der Druck in der Apparatur nach diesem Reinigungsabschnitt beträgt etwa  $1,0\text{-}1,6\cdot 10^{-6}$  mbar. In anderen europäischen Labors (Gif-sur-Yvette, Kiel, Gliwice) beträgt die Pump- und Heizphase zumeist 5 h oder mehr (Goslar & Czernik, 2000). Mit dem Prototyp für vorliegende Arbeit wurden ebenfalls Pumpphasen von 5 h bzw. über Nacht getestet. Es konnten jedoch weder eine deutliche Reduzierung des Gesamtdrucks in der Anlage noch des  $^{14}\text{C}$ -Untergrundes bei der Messung von Braunkohle-Nullproben festgestellt werden, so dass die Pump- und Heizphase bei 3 h belassen wurde.

**Technik – Turbomolekularpumpe:**  
 Pumpstand inkl.  
 Full-Range Pirani-Druckaufnehmer  
 Druckmessbereich  $5\cdot 10^{-9}\text{-}1000$  mbar  
 max. Enddruck  $< 10^{-8}$  mbar  
 Saugvermögen 33-38 l/s  
 (Firma Pfeiffer, Modell TSH 071 E)  
 eigenes digitales Anzeige- und Steuermodul

Im Anschluss an das Pumpen werden die Reaktorkammern mit 700 mbar  $\text{H}_2$  gefüllt und danach der Katalysator für 30 min bei  $400^{\circ}\text{C}$  reduziert. Die Labors in Kiel und Gliwice schalten vor den  $\text{H}_2$ -Schritt noch einen  $\text{O}_2$ -Schritt, bei dem der Katalysator, in beiden Fällen Eisen, für 15 min bei  $400^{\circ}\text{C}$  unter 700 mbar  $\text{O}_2$  oxidiert wird (Goslar & Czernik, 2000). Dies sollte einen beschleunigenden Effekt auf die spätere Graphitisierung haben. Im Rahmen vorliegender Arbeit konnte das jedoch für den verwendeten Katalysator Kobalt –325 mesh (vgl. Kapitel 3.2.1) nicht bestätigt werden, vielmehr wurde die Reaktionsgeschwindigkeit sogar herabgesetzt, so dass dieser Schritt nicht übernommen wurde. Eine genaue Beschreibung der Reaktionskinetik bei der Katalyse an Kobalt oder Eisen unter dem Einfluss von  $\text{O}_2$  und  $\text{H}_2$  konnte in der Literatur bislang nicht gefunden werden.

Nach dem  $\text{H}_2$ -Schritt wird die komplette Apparatur erneut gepumpt. Bestenfalls wurde nach etwa 1 h Pumpzeit noch ein Druck von  $7,4\cdot 10^{-7}$  mbar erreicht. Da die Graphitisierung aufgrund des Arbeitsablaufes im Labor zumeist am nächsten Tag durchgeführt wurde, wurde die Apparatur unmittelbar vor Reaktionsbeginn nochmals für etwa 30 min gepumpt. Die Messungen des  $^{14}\text{C}$ -Untergrundes (siehe Kap. 3.4) zeigen, dass eine Vakuum von etwa  $3,0\cdot 10^{-6}$  mbar in der Anlage ausreichend ist, um bei der Messung keinen signifikanten Unterschied zum Untergrund des Beschleunigers mehr zu erhalten.



**Fig. 18:** Frontansicht der Target-Aufbereitungsanlage.

Frontal view of the target preparation line.

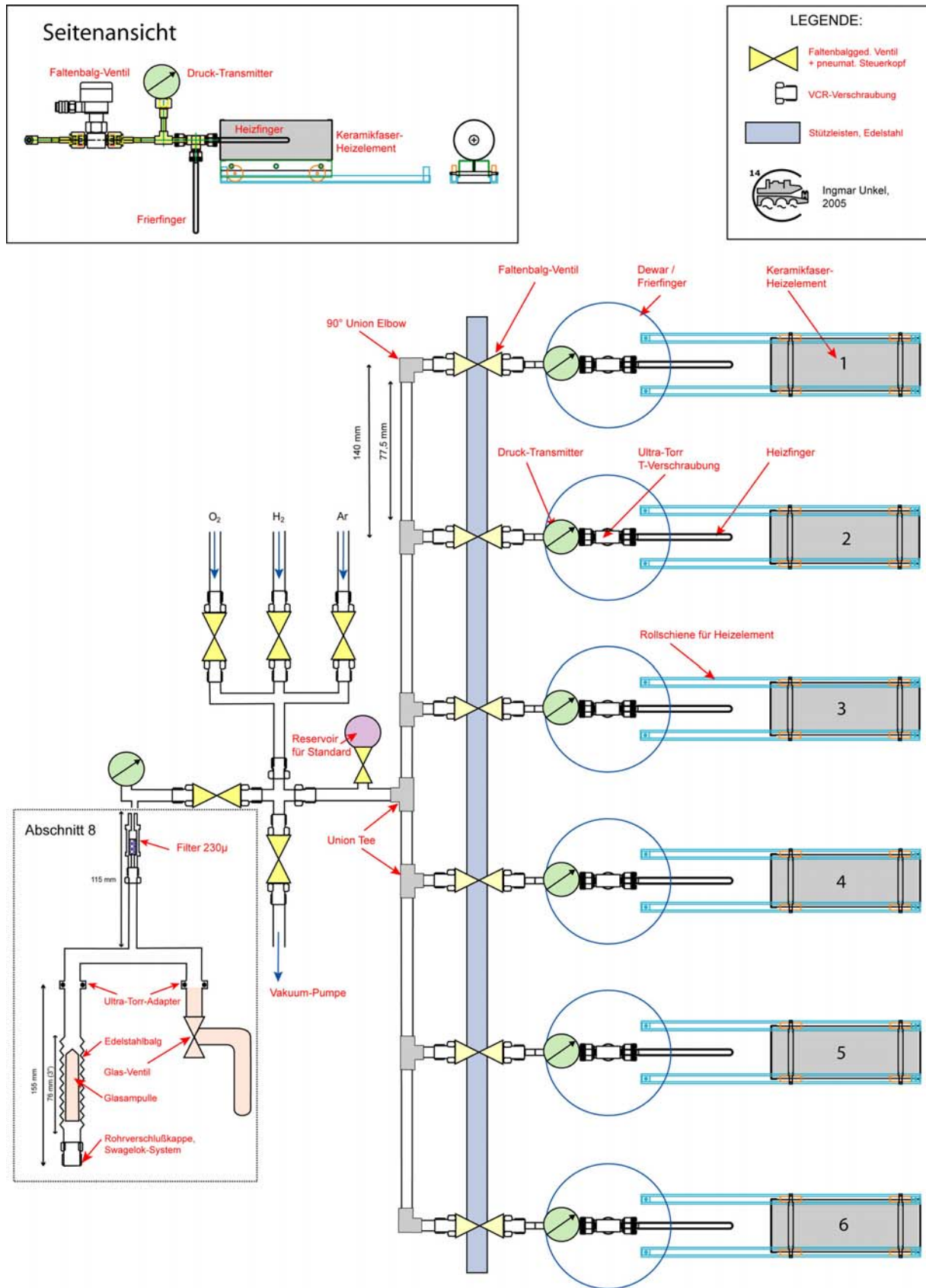


Fig. 19: Konstruktionszeichnung der 6-fach parallelen Target-Aufbereitungsanlage.

Construction drawing for the 6-fold parallel target preparation line.

### 3.1.2 Wasserstoffzugabe – Überschuss und Kühlungskorrektur

Die eigentliche Graphitisierungsprozedur beginnt mit dem Brechen der Glasampulle, die das Proben-CO<sub>2</sub> enthält. Das Probengas expandiert in den nachfolgend „Abschnitt 8“ benannten Bereich der Apparatur (Fig. 19), bestehend aus Faltenbalg, Rückfrierfinger und Druckaufnehmer bis zu Ventil 8 (V8). Bei der Verbrennung entstandener Wasserdampf kann im Rückfrierfinger mittels eines kleinen Dewars mit Trockeneis-Aceton-Gemisch ausgefroren werden. Aufgrund des Volumens einer Reaktorkammer von 7,56 ml beträgt der äquivalente Druck  $p(\text{CO}_2)$  für die Produktion von 1 mg Graphit 250 mbar (Tab. 3). Abschnitt 8 besitzt etwa das 6-fache Volumen eines Reaktorraumes, weshalb dort der Soll-Druck nach dem Brechen der Ampulle etwa 35-50 mbar betragen sollte. Das CO<sub>2</sub> der Probe wird zunächst mit flüssigem Stickstoff (LN<sub>2</sub>) in den Frierfinger des Reaktorraumes überfroren und nach dem Schließen des zugehörigen Ventils (V1-6, Fig. 19) in das gesamte Reaktorvolumen expandiert.

Die stöchiometrisch zur Reaktion benötigte Menge Wasserstoff wird im Überschuss von 10% hinzugefügt (Goslar & Czernik 2000). Hajdas et al. (2004) berichten von einem Memory-Effekt von Lithium in der Apparatur in Abhängigkeit vom Wasserstoff-Überschuss. Sie beobachteten eine deutliche Verringerung des Li-Untergrundes in der Messung bei einer Reduktion der H<sub>2</sub>-Zugabe von dem 2,5-fachen auf das 2,05-fache der CO<sub>2</sub>-Menge. Dieses Problem tritt nur bei AMS-Messungen mit geradzahigen Ladungszuständen (respektive 4<sup>+</sup>) auf. In vorliegender Arbeit betrug das durchschnittliche Verhältnis H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub> als Mittel über alle bisherigen Proben  $2,296 \pm 0,101$ . Aufgrund der Reaktionszeit der Ventilsteuerung wurde das angestrebte Verhältnis von 2,20 bei den ersten Proben meist überschritten. Da die Mehrzahl der Proben auf einem 500kV-Beschleuniger gemessen wurde, der mit einfach positiv geladenen Ionen arbeitet (vgl. Kap. 4), bestand keine Behinderung der Messung durch einen Li-Untergrund. 9 Vergleichsmessungen auf einem 6MV-Beschleuniger wiesen jedoch ein so starkes Li-Vorkommen auf, dass das <sup>14</sup>C-Signal nahezu überdeckt wurde. Die primäre Ursache hierfür könnte auf einen erhöhten Anteil an Lithium in den magmatischen Gesteinen aus der Umgebung der Probenahmepunkte zurückzuführen sein. Eine genauere mineralogische Untersuchung hierzu ist derzeit in Arbeit (Glasmacher, pers. Mitt.).

Für die Einleitung des Wasserstoffs in die Reaktorkammer muss das CO<sub>2</sub> in den Frierfinger zurückgefroren werden. Bei Zimmertemperatur im gesamten Reaktorraum entspräche die zuzuführende Wasserstoffmenge dem Druck

$$p(\text{H}_2) = p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 9.})$$

der resultierende Gesamtdruck im Reaktorraum wäre demnach

$$\begin{aligned} p_{\text{tot}} &= p(\text{H}_2) + p(\text{CO}_2) = p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 + p(\text{CO}_2) \\ &= p(\text{CO}_2) \cdot (2,2+1) \\ &= 3,2 \cdot p(\text{CO}_2) \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 10.}) \end{aligned}$$

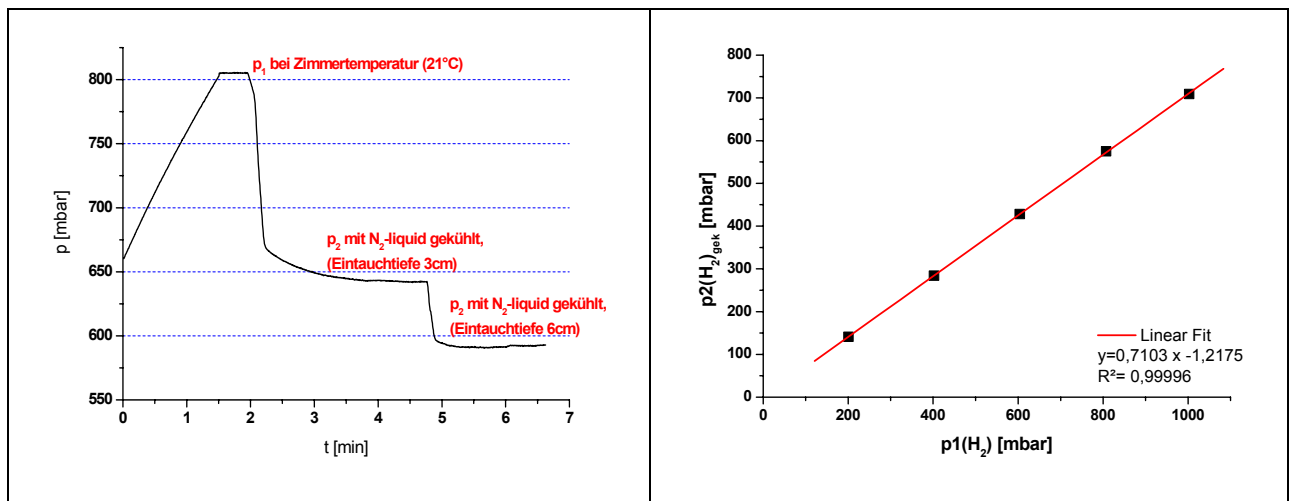


Jedoch liegt das CO<sub>2</sub> in gefrorener Form vor und der Partialdruck des Wasserstoffs p(H<sub>2</sub>) verringert sich in nicht unerheblichem Maße beim Einbringen des Frierfingers in LN<sub>2</sub> um den Kühlfaktor F.

Daraus resultiert der korrigierte Druck p<sub>kor</sub> mit gekühltem Frierfinger:

$$p_{\text{kor}}(\text{H}_2) = p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 \cdot F \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 11.})$$

Zur Bestimmung der relativen Druckabnahme wurden vor Inbetriebnahme der Targetanlage mehrere Kühltests bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>-Partialdrücken durchgeführt (200, 400, 600, 800, 1000 mbar / Fig. 20). Der Druck wurde mit den in den Reaktorkammern installierten Druckmesssonden aufgenommen, mit der Steuerungssoftware LabView<sup>®</sup> (siehe Kap. 3.6) ausgelesen und die Werte in einer .txt-Datei abgelegt.



**Fig. 20:** (links) Das Diagramm zeigt das Druckverhalten von H<sub>2</sub> in der Reaktionskammer im Laufe eines Kühltests. Linearer Druckanstieg beim Einlassen des H<sub>2</sub> bis etwa 800 mbar. Der Maximaldruck p<sub>1</sub> wird bei Zimmertemperatur etwa 30 sec konstant gehalten, bevor der Frierfinger 3 cm tief in LN<sub>2</sub> getaucht wird. Der Druck p<sub>2</sub> bleibt bei etwa 650 mbar konstant. Bei einer Eintauchtiefe von 6 cm in LN<sub>2</sub> verringert sich der Druck p<sub>2</sub> weiter auf etwa 600 mbar. (rechts) Im Diagramm ist p<sub>1</sub>(H<sub>2</sub>) bei Zimmertemperatur (21°C) gegen den gekühlten Druck p<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>) bei 6 cm Eintauchtiefe des Frierfingers in LN<sub>2</sub> dargestellt. Die Steigung der Ausgleichsgerade entspricht dem Kühlfaktor F.

(left) The diagram shows the pressure development of H<sub>2</sub> in the reactor chamber during a cooling test. Linear pressure increase during ingesting H<sub>2</sub> until approx. 800 mbar. The maximum pressure p<sub>1</sub> at room temperature is kept constant for 30 sec before immersing the cooling finger 3cm deep into LN<sub>2</sub>. Pressure p<sub>2</sub> remains constant at approx. 650 mbar. At an immersion depth of 6 cm into LN<sub>2</sub> pressure p<sub>2</sub> is decreased to approx. 600 mbar. (right) p<sub>1</sub>(H<sub>2</sub>) at room temperature (21°C) is plotted against the cooled pressure p<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>) at 6 cm immersion depth into LN<sub>2</sub>. The gradient of the fit curve is equivalent to the cooling factor F.

	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3
H <sub>2</sub> -Druck p <sub>1</sub> vor Kühlung [mbar]	402	603	804
H <sub>2</sub> -Druck p <sub>2</sub> nach Kühlung [mbar]	298	447	591
Faktor F	0,742	0,741	0,735

**Tab. 2:** Kühl-Test zur Bestimmung des Kühlfaktors F für den Prototypen der Targetanlage mit einem Reaktorvolumen von 6,88 ml. Für diesen ersten Test wurden nur 3 Druckstufen (400, 600, 800 mbar) bei einer Eintauchtiefe von 6 cm ausgewertet.

Der Faktor F berechnet sich nach

$$F = p_2 / p_1 \quad [ ] \quad (\text{Gl. 12.})$$

und ergibt sich somit aus der Steigung im Diagramm  $p_1$  gegen  $p_2$  (Fig. 20, rechts). Die Zusammenfassung der drei Teststufen für den Prototypen der Targetanlage (Reaktorvolumen 6,88 ml) ergibt im Mittel  $F = 0,739$  (Tab. 1). Für die geringfügig größeren Reaktorkammern (7,56 ml) der 6-fach Apparatur ergibt sich aus der Steigung im Diagramm  $F = 0,710$ .

Setzt man diesen Wert für F in Gleichung 11 ein so erhält man:

$$\begin{aligned} p_{\text{kor}}(\text{H}_2) &= p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 \cdot F &= p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 \cdot F & \quad [\text{mbar}] & \quad (\text{Gl. 11.1}) \\ & &= p(\text{CO}_2) \cdot 2,2 \cdot 0,710 \\ & &= p(\text{CO}_2) \cdot 1,562 \end{aligned}$$

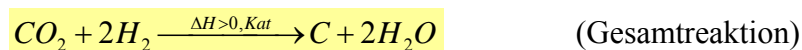
Die Berechnung des Faktors F bezieht sich auf eine angenommene Eintauchtiefe E von 6 cm. Bei unterschiedlichen Eintauchtiefen E ändert sich der daraus abzuleitende Kühlfaktor F, wie der Versuch bei einem Ausgangsdruck  $p(\text{H}_2)$  von etwa 800 mbar mit den Eintauchtiefen E von 3 cm und 6 cm zeigt (Fig. 20, links). Aufgrund der Konstruktion der Dewar-Halterungen an der Targetapparatur hat sich eine Eintauchtiefe von 6 cm als am praktikabelsten erwiesen.

### 3.2 Reaktionskinetik

Über den Ablauf der Graphitisierungsreaktion wurden bereits vor einiger Zeit im Heidelberger Radiokohlenstofflabor zwei Diplomarbeiten angefertigt, die die Schwerpunkte auf der Reaktionsgeschwindigkeit  $v$  (Pfleiderer 1987) und den entstehenden Kohlenstoffverbindungen (Glatzel-Mattheier, 1994) in Abhängigkeit von Druck  $p$ , Temperatur  $T$  und Katalysatoroberfläche legten. Die Beschreibungen in diesen Arbeiten sind sehr ausführlich und dienen als Grundlage für die Reaktionsparameter in vorliegender Arbeit. Im Folgenden soll nun ein kurzer, quantitativer Überblick gegeben werden, welche Überlegungen und Beobachtungen der Wahl der Reaktionsparameter und –komponenten zu Grunde liegen.

Ferner beschreiben weder Pfleiderer noch Glatzel-Mattheier den Reaktionsverlauf als Funktion des abnehmenden Gesamtdrucks  $p_{\text{ges}}$  über die Zeit  $t$  bei gleichbleibender Temperatur, was im Folgenden skizzenhaft geschehen soll. Ziel dabei ist, die Graphitisierungsreaktion anlagenspezifisch zu beschreiben.

Ausgangspunkt für die Überlegungen zur Kinetik der Reaktion ist zunächst wieder Gl. 8:



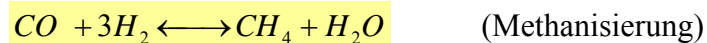
Diese CO<sub>2</sub>-Graphitisierung läuft in zwei Stufen ab. Der erste Schritt ist eine Reduktion des an der Katalysatoroberfläche chemisorbierten CO<sub>2</sub> zu CO, das wiederum zurück in die Gasphase gelangt.



Erst im zweiten Schritt wird das Kohlenstoffmonoxid an der Katalysatoroberfläche chemisorbiert und entweder zu Graphit



oder konkurrierend zu Methan reduziert.



Für die Gesamtreaktion ist ein Katalysator notwendig. Gemäß Definition sind Katalysatoren Substanzen, die die Geschwindigkeit erhöhen, mit der ein chemisches System das Gleichgewicht erreicht, ohne sich selbst dabei zu verändern (Falbe, 1978). Die Wirkung eines Katalysators beruht dabei auf einer Reduktion der Aktivierungsenergie durch die Bildung von Zwischenprodukten (Komplexe, Adsorbate, u.ä.). Die Reaktionsraten von Hin- und Rückreaktion werden durch den Katalysator gleichermaßen beschleunigt, so dass er die Lage des chemischen Gleichgewichts nicht beeinflusst (Falbe, 1978).

Bei der Graphitisierung von Kohlendioxid mit Wasserstoff handelt es sich um eine heterogen katalysierte Reaktion, das heißt, hierbei liegt der Katalysator als Feststoff vor, der mit gasförmigen oder flüssigen Reaktionsteilnehmern in Kontakt gebracht wird. Die Reaktionsbeschleunigung kann nur an der Oberfläche des Katalysators ablaufen. Dabei lässt sich die Bruttoreaktion in folgende physikalische und chemische Einzelschritte unterteilen (Glatzel-Mattheier, 1994):

- *Transport* der Reaktanden zur Katalysatoroberfläche
- *Chemisorption*, d.h. Bildung von Zwischenverbindungen zwischen Katalysator und Reaktanden (*Gleichgewicht Adsorption-Desorption*)
- *Reaktion* der Zwischenverbindungen zu den Endprodukten
- *Desorption*, d.h. Trennung von Endprodukten und Katalysator
- *Abtransport* der Endprodukte von der Katalysatoroberfläche

Als Modellvorstellung für die katalytische Reaktion von Kohlendioxid über einem Feststoffkatalysator kann der *Eley-Rideal-Mechanismus* herangezogen werden, der beschreibt, dass eine Reaktion auch dann ablaufen kann, wenn nur einer der Reaktanden (A) chemisorbiert wird, während der zweite (B) direkt aus der Gasphase hinzutritt. Das Endprodukt (P) wird schließlich desorbiert (Falbe, 1978).



Die Reaktionsgeschwindigkeit ist proportional zum Partialdruck  $p_B$  von B und der Katalysatorbedeckung von A, da aber nur eine Molekülsorte adsorbiert wird, ist der Bedeckungsgrad proportional zu  $p_A$ .

### 3.2.1 Katalysatoren

Alle Reaktionen von Kohlenstoffoxiden mit Wasserstoff werden von den Metallen der VIII. Nebengruppe des Periodensystems katalysiert. Eisen und Kobalt erweisen sich für die hier gewünschte Graphitisierung als günstiger, da sie die Graphitbildung stärker fördern als Nickel, das beispielsweise bei der Methanisierung oder der Fischer-Tropsch-Synthese eingesetzt wird (Falbe, 1978). Am weitesten verbreitet bei der Target-Herstellung nach Vogel et al. (1984) ist Eisenpulver. Da die Haftung des Graphits auf den Targets für den 6MV-Tandem-Beschleuniger der ETH Zürich mit Kobalt als Katalysator besser ist als mit Eisen, wird dort Kobalt bevorzugt genutzt. Um Messungen auch an diesem Beschleuniger durchführen zu können, wurde für vorliegende Arbeit Kobalt verwendet.

Die Untersuchungen von Pfeleiderer (1987) legten nahe, zunächst das Reaktionsverhalten über zwei verschiedenen Kobalt-Katalysatoren zu testen, bevor Targets aus den Projekt-Proben hergestellt wurden. Hierbei kamen zur Anwendung:

1. Cobalt powder      Alfa Aesar Produktnummer 10456, Reinheit: 99,5%  
Korngröße -325 mesh, Lot No. X26643: 4,3  $\mu\text{m}$
2. Cobalt powder      Alfa Aesar Produktnummer 10455, Reinheit: 99,8%  
Korngröße 1.6 micron, Lot No. F11M06: 1,6  $\mu\text{m}$

Unter der Annahme einer gleichmäßigen, kugelförmigen, nicht porösen Oberfläche der Kobaltpartikel hätte

Kobalt 1 (-325 mesh) eine Oberfläche von 1,57  $\text{cm}^2/\text{mg}$ ,

Kobalt 2 (1.6 micron) eine Oberfläche von 4,22  $\text{cm}^2/\text{mg}$ .

Diese Werte geben nur ein Mindestmaß der für die katalytische Reaktion zur Verfügung stehenden Oberfläche an, dürften aber auch unter Berücksichtigung von Korn-Korn-Kontaktflächen und zerfurchter Oberfläche nahe an der tatsächlichen Größe liegen (Fig. 20).

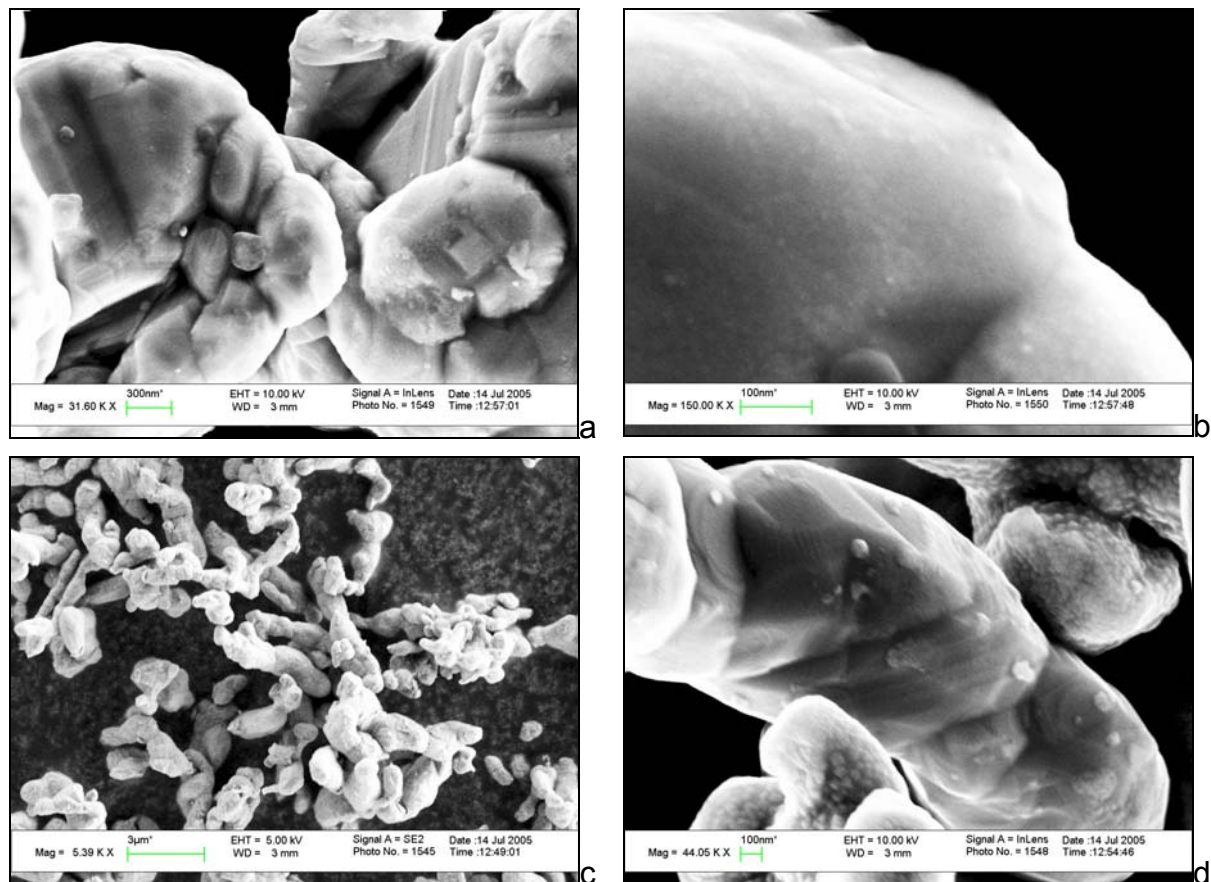
Die in vorliegender Arbeit verwendete Menge an Katalysator beträgt 5 mg, somit ergäben sich folgende bei der Reaktion zur Verfügung stehende Katalysatoroberflächen:

5 mg Kobalt 1  $\rightarrow$  etwa 7,9  $\text{cm}^2$

5 mg Kobalt 2  $\rightarrow$  etwa 21  $\text{cm}^2$

Laut Pfeleiderer (1987) sei die freie Oberfläche entscheidender für die Reaktionsgeschwindigkeit als die eigentliche Menge der allgemein verwendeten Katalysatoren, vorausgesetzt, dass das Oberfläche/Masse-Verhältnis bei höheren Reaktionstemperaturen nicht durch Sinterung des Katalysators verringert wird. Goslar & Czernik (2000) reduzierten die Menge an Eisen-Katalysator von etwa 5 auf 2 mg zur Anpassung an die Prozessbedingungen ihres kooperierenden Beschleuniger-Labors, berichten jedoch von keiner deutlichen Erhöhung der Reaktionsdauer. Es darf somit tatsächlich von einem nur geringen Einfluss der Katalysatormenge auf die Reaktionsgeschwindigkeit ausgegangen werden.

Die angestrebte Graphitmenge aus einer Probe zur Erzeugung eines Targets liegt bei etwa 1 mg, daraus resultiert ein Mengenverhältnis von Katalysator zu Graphit von 5:1.



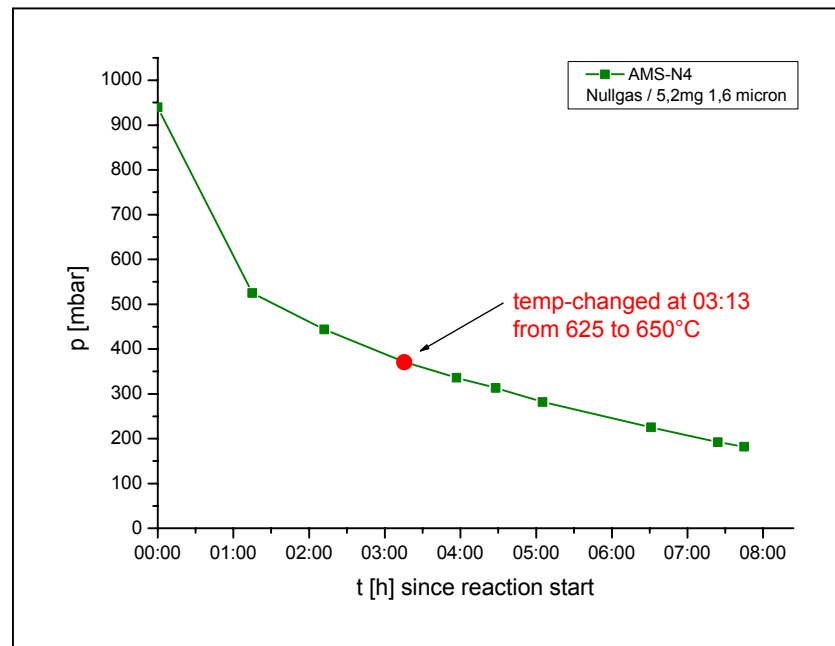
**Fig. 21:** REM-Aufnahmen der Kobalt-Katalysatoren, a+b: Kobalt 1 (-325 mesh) / c+d: Kobalt 2 (1,6 micron). Klar zu erkennen ist die wurmförmige Struktur der Katalysatorpartikel. Die Oberfläche ist glatt und nicht porös. Die rauere Textur zweier Körner in Bild d dürfte auf Oxidationserscheinungen zurückzuführen sein. Das Kobalt wurde vor den Aufnahmen weder vorbehandelt noch graphitisiert. (Fotos: Th. Lohmüller, PCI Uni Heidelberg)

SEM-picture of the cobalt catalysts, a+b: Cobalt 1 (-325 mesh) / c+d: Cobalt 2 (1.6 micron). Clearly visible is the worm-shaped structure of the catalyst particles. The surface is smooth and not porous. The rougher texture of two grains in picture d may be caused from oxidation. The cobalt has neither been pre-treated nor graphitised before taking the pictures. (Photos: Th. Lohmüller, PCI Uni Heidelberg)

### 3.2.2 Temperatur

Glatzel-Mattheier (1994) untersuchte in seiner Diplomarbeit unter anderem die Temperaturabhängigkeit der CO<sub>2</sub>-Reduktion über Eisen. Seine Ergebnisse sprachen dafür, die Reaktion bei 600°C ablaufen zu lassen. Eine Erhöhung der Reaktionstemperatur auf 625°C oder darüber führte zu einer unvollständigen Umsetzung des Kohlenstoffs aufgrund der Sinterung des Fe-Katalysators. Der erste Testlauf der im Rahmen vorliegender Arbeit aufgebauten Anlage zeigte jedoch, dass die Reaktion über Kobalt nicht bei 600°C sondern erst bei 625°C und darüber in Gang kommt. Offenbar benötigt die Reaktion mit Kobalt als Katalysator eine höhere Aktivierungsenergie. Eine Erhöhung der Temperatur auf 650°C oder gar 675°C brachte

schließlich keine Veränderung der Reaktionsgeschwindigkeit (Fig. 22), weshalb die Temperatur für nachfolgende Reaktionen bei 625°C belassen wurde.



**Fig. 22:** Aufgrund des sehr langsamen Reaktionsverlaufs wurde 03:13 h nach Beginn die Temperatur von 625°C auf 650°C erhöht. Es konnte jedoch keine signifikante Veränderung der Druckabnahme beobachtet werden.

Due to the very slow reaction progress the temperature was increased from 625°C to 650°C at 03:13 h after the reaction started. However, no significant change of the pressure decrease was observed.

Alle Temperaturangaben beziehen sich auf die angezeigten Werte des Heizelement-Reglers. Eine Messung mit einem separaten Thermofühler hat ergeben, dass im Heizelement des Prototypen die tatsächliche Temperatur um etwa 16°C höher lag. Die angezeigten Regler-Werte der 6-fach-parallel-Anlage stimmten jedoch mit der separaten Messung überein.

### 3.2.3 Reaktionsverlauf

Das Volumen des Reaktorraums ( $V_R$ ) der Aufbereitungsanlage beträgt 7,56 ml. Das für die Gewinnung von 1 mg Graphit (C) benötigte Volumen an Kohlenstoffdioxid bei Normaldruck (1013 mbar) und Normaltemperatur (20°C) umfasst 1,87 ml. Infolgedessen berechnet sich der zur Gewinnung von mindestens 1 mg Graphit (C) benötigte Minimaldruck an Kohlenstoffdioxid  $p(\text{CO}_2)$  im Reaktorraum gemäß Gl. 14 auf 250 mbar.

Gramm – Mol – Liter :	
1 mg C	= $\frac{1}{12}$ mmol C
1 mol $\text{CO}_2$	= 22,4 l
$\rightarrow \frac{1}{12}$ mmol $\text{CO}_2$	= 1,87 ml/mg C

$$\begin{aligned}
 C &= p(\text{CO}_2) \cdot \frac{V_R}{1,87 \cdot p_N} \\
 &= p(\text{CO}_2) \cdot K_R \\
 &= p(\text{CO}_2) \cdot 3,99 \cdot 10^{-3} \quad [\text{mg}] \quad (\text{Gl. 14.})
 \end{aligned}$$

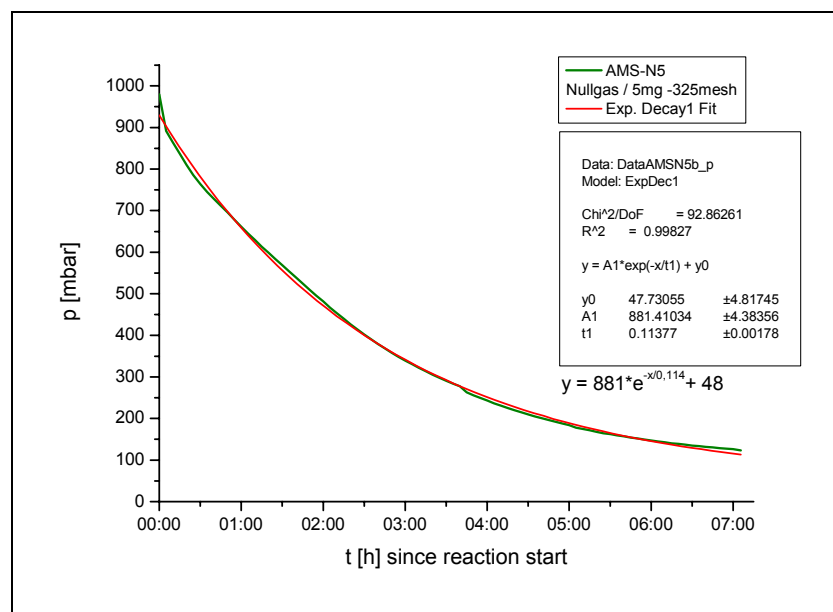
$$\begin{aligned} \text{wobei } V_R &= 7,56 \text{ ml} \\ p_N &= 1013 \text{ mbar} \\ K_R &= \text{Reaktorkonstante [mg/mbar]} \end{aligned}$$

Es ergibt sich somit nach Zuführung des nötigen Wasserstoffs nach Gl. 4 im Reaktorraum ein minimaler Anfangsdruck  $p_{\text{ges}} = p(\text{CO}_2) + p(\text{H}_2)$  zu Beginn der Reaktion von mindestens 800 mbar. Dieser Gesamtdruck liegt über dem von Glatzel-Mattheier (1994) vorgeschlagenen Mindestdruck von 660 mbar für eine höhere Reaktionsgeschwindigkeit, jedoch unterhalb des bei Pfeleiderer (1987) angewandten Drucks von 1000 mbar.

Die Reaktionsdauer beträgt bei den Katalysatoren Kobalt 1 und Kobalt 2 jeweils rund 7 Stunden und ist damit deutlich länger als bei Pfeleiderer (1987) und Glatzel-Mattheier (1994) beschrieben. Goslar & Czernik (2000) erwähnen eine ähnlich lange Reaktionszeit im Labor von Gif-sur-Yvette.

Der Verlauf des Gesamtdruckes  $p$  während der Reaktion über Kobalt 1 (-325 mesh) ist in Fig. 23 dargestellt und lässt sich durch eine exponentielle Zerfallskurve erster Ordnung (Gl. 15) beschreiben.

$$p = A \cdot e^{-t/\tau} + c \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 15.})$$



**Fig. 23:** Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Grün die alle 5 sec. mit LabView aufgezeichneten Messdaten, rot eine dem Verlauf angepasste exponentielle Zerfallskurve. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Kobalt 1 Katalysator bei 625°C.

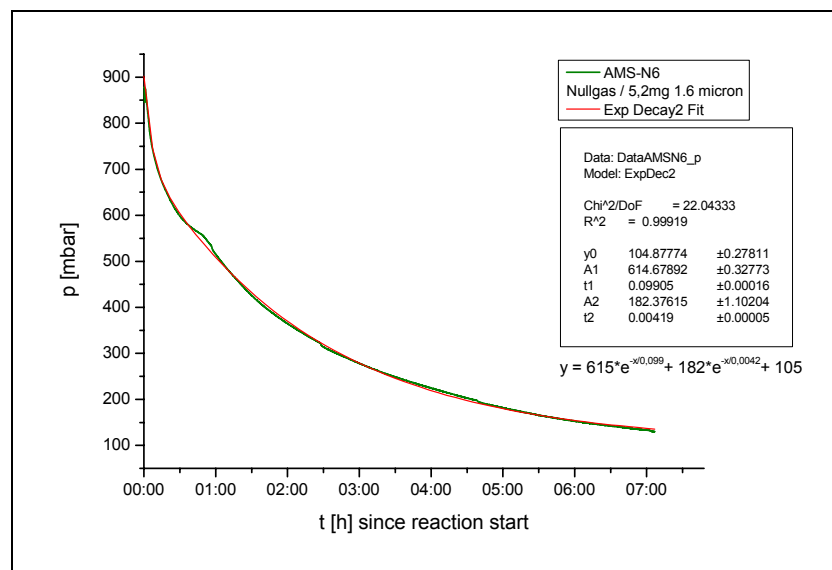
p-t-graph of a graphitisation. Green line: the pressure run as recorded by LabView in 5 sec intervals; red: an exponential fit curve. The reaction is a test run of zero-gas over 5 mg Cobalt 1 catalyst at 625°C.

Der „Amplitudenfaktor“  $A$  ist abhängig vom Druck zu Beginn der jeweiligen Reaktion. Der y-Achsen-Abschnitt (offset)  $c$  beschreibt den Restdruck im Reaktorraum zum Ende der Reaktion und wird weitestgehend durch den  $H_2$ -Überschuß bestimmt.  $\tau$  ist ein Reaktionsparameter, der den Verlauf der Reaktion beschreibt und abhängig ist von Katalysator und Reaktor-geometrie.

Im Vergleich dazu beginnt die Reaktion mit Kobalt 2 (1.6 micron) zunächst mit einem stärkeren Druckabfall, jedoch verlangsamt sich die Reaktion schon binnen einer Stunde und bleibt schließlich hinter der Geschwindigkeit von Kobalt 1 zurück. Der Reaktionsverlauf ist in Fig. 24 dargestellt und lässt sich durch die Kombination zweier exponentieller Zerfallskurven (zweiter Ordnung) (Gl. 16) annähernd beschreiben.

$$p = A_1 \cdot e^{-t/\tau_1} + A_2 \cdot e^{-t/\tau_2} + c \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 16.})$$

Dass die Reaktion mit zwei unterschiedlichen Geschwindigkeiten abläuft, liegt offenbar an der Struktur des Katalysators, denn Katalysatormenge und -material ( $\sim 5$  mg Kobalt), Temperatur ( $625^\circ\text{C}$ ), Anfangsdruck ( $\sim 900$  mbar) und Reaktorgeometrie waren für Kobalt 1 und Kobalt 2 identisch.



**Fig. 24:** Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Grün die alle 5 sec. mit LabView aufgezeichneten Messdaten, rot eine dem Verlauf angepasste exponentielle Zerfallskurve. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Kobalt 2 Katalysator bei  $625^\circ\text{C}$ .

p-t-graph of a graphitisation. Green line: the pressure run as recorded by LabView in 5 sec intervals; red: an exponential fit curve. The reaction is a test run of zero-gas over 5 mg Cobalt 2 catalyst at  $625^\circ\text{C}$ .



### 3.2.4 Vergleich mit Eisen

Im Laufe der Untersuchung der langen Reaktionszeit der Kobalt-Katalysatoren wurde auch ein Test mit Eisen-Katalysator im Prototyp der Aufbereitungsanlage durchgeführt.

Zur Anwendung kam:

Eisen                    Merck-Artikelnr. 3819, Reinheit: 99,5%, Korngröße: 10µm  
                                   Chargen-Nr. 110 K14995419

Ebenfalls unter der Annahme einer gleichmäßigen, kugelförmigen, nicht porösen Oberfläche der Partikel hätte das Eisen eine Mindestoberfläche von 0,76 cm<sup>2</sup>/mg, was ziemlich genau der Hälfte der spezifischen Oberfläche von Kobalt 1 (1,57 cm<sup>2</sup>/mg) entspricht. Demnach ergäben 5 mg Eisen-Katalysator eine Oberfläche von etwa 3,8 cm<sup>2</sup>.

Trotz dieser deutlich geringeren Oberfläche lag die Reaktionszeit über Eisen bei rund 3,5 Stunden und dauerte damit genau halb so lange wie die Reaktionen über Kobalt 1 und 2. Der Reaktionsverlauf ist in Fig. 25 dargestellt. Es fällt auf, dass der Druckabfall während der ersten 2 Stunden der Reaktion annähernd linearen Charakter besitzt und erst danach den zu erwartenden exponentiellen Verlauf nimmt. Ursache hierfür sind vermutlich Konkurrenzreaktionen zwischen den verschiedenen beteiligten Kohlenstoffverbindungen (CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>) sowie die Struktur des Katalysators. Der Druckverlauf lässt sich somit in Grundzügen wie folgt beschreiben:

$$p_1 = p_0 - \frac{dp}{dt} t \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 17.1})$$

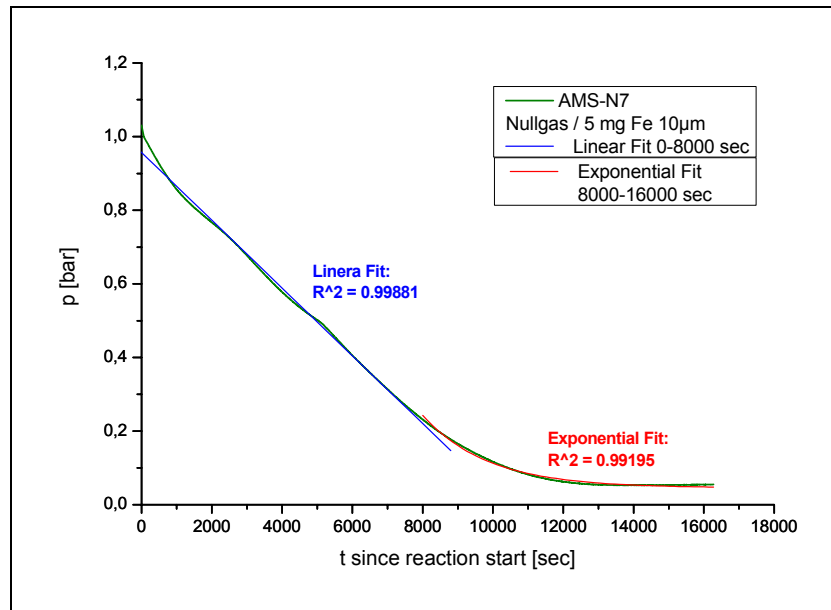
$$p_2 = A \cdot e^{-t/\tau} + c \quad [\text{mbar}] \quad (\text{Gl. 17.2})$$

wobei

- $p_0$  = Anfangsdruck
- $dp/dt$  = konstant
- $A$  = „Amplitudenfaktor“
- $c$  = Restdruck

### 3.3 Zusammenfassung Graphitisierung

Die vergleichenden Testläufe mit verschiedenen Katalysatoren, insbesondere mit Eisen, haben gezeigt, dass die lange Reaktionszeit über Kobalt nicht durch langsamere Diffusionsprozesse aufgrund der Reaktorgeometrie, sondern durch die Eigenschaften des Katalysatormaterials bestimmt ist. Ferner wurde festgestellt, dass für die Reaktion über Kobalt die Reaktionstemperatur idealerweise bei 625°C liegt und damit über der von Glatzel-Mattheier (1994) vorgeschlagenen Temperatur für Eisen. Eine Erhöhung der Temperatur über 625°C brachte keine Beschleunigung des Reaktionsablaufs. Die Reaktionsparameter sind in Tab.3 zusammenfassend dargestellt.



**Fig. 25:** Darstellung des Reaktionsverlauf einer Graphitisierung anhand eines p-t-Diagramms. Grün die alle 5 sec. mittels LabView aufgezeichneten Messdaten, blau die lineare Kurvenanpassung im ersten Teil der Reaktion (ca. 2h), rot eine dem Druckverlauf im zweiten Teil angepasste exponentielle Zerfallskurve. Es handelt sich hierbei um eine Testreaktion von Nullgas über 5mg Eisen-Katalysator bei 600°C.

p-t-Graph of a graphitisation. Green line: the pressure run as recorded by LabView in 5 sec intervals; blue: a linear fit curve for the first part of the reaction (ca. 2h); red: an exponential fit curve for the second part. The reaction is a test run of zero-gas over 5 mg iron catalyst at 600°C.

Schritt	Parameter	Motivation
<i>Reaktorreinigung</i>	1 h Pumpen ohne Heizen 3 h Heizen bei 625°C und zeitgleiches Pumpen	(Goslar & Czernik, 2000), eigene Erfahrungswerte
<i>Katalysator</i> -Art -Menge -Reduktion	Kobalt (-325mesh) 4,3µm Ø 5 mg → Co/C ≈ 5/1 30 min 700 mbar H <sub>2</sub> bei 400°C	Beschleuniger, ETH Zürich (Goslar & Czernik 2000)
<i>Kohlenstoff</i> -Mindestmenge -mindest CO <sub>2</sub> -Druck (Start)	1 mg (≈ <sup>1</sup> / <sub>12</sub> mmol) 250 mbar	
<i>Wasserstoff</i> -Soll-Verhältnis -Gesamtdruck	H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> = 2,2/1 bzw. 2,05/1 > 800 mbar (max. 1500 mbar)	(Goslar & Czernik, 2000) bzw. (Hajdas et al., 2004)
<i>Reaktion</i> -Temperatur -Dauer	625°C ~ 7 h	Kobalt

**Tab. 3:** Zusammenfassung der Arbeitsschritte

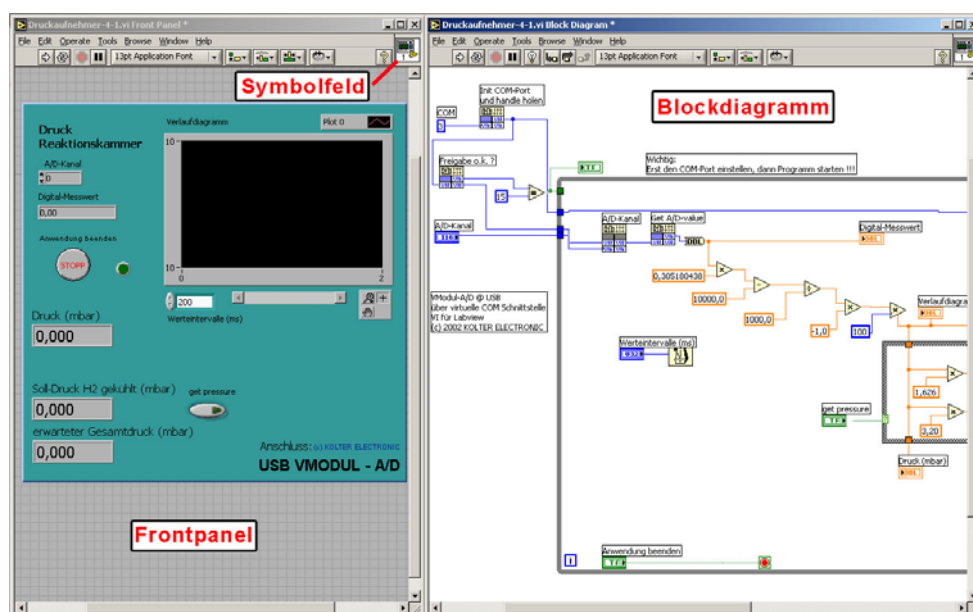
### 3.4 Steuerung mit LabView®

LabView ist eine grafische Programmiersprache des Softwareherstellers National Instruments. Sie ist grafikbasiert, das heißt sie verwendet Symbole anstelle von Text, um Applikationen bzw. den „Quelltext“ zu erstellen. Im Gegensatz zu textbasierten Programmiersprachen, bei denen Anweisungen die Programmausführung bestimmen, wird in LabView die Datenflussprogrammierung verwendet, in der Daten die Programmausführung steuern (National Instruments, 2001). LabView ist speziell für die Kommunikation mit Hardware wie beispielsweise der RS-232 sowie mit externen oder internen Datenerfassungsgeräten konzipiert.

Die LabView-Programme werden als „Virtuelle Instrumente“ oder kurz VIs bezeichnet, da mit dem Erscheinungsbild auf dem Bildschirm und den damit verbundenen Funktionen physische Instrumente wie beispielsweise Oszilloskope oder Multimeter nachgebildet werden. Jedes VI arbeitet mit Funktionen, durch die Eingaben von der Benutzeroberfläche oder aus anderen Quellen verarbeitet werden. Diese Informationen werden dann angezeigt oder in andere Dateien verschoben.

Ein VI enthält die folgenden drei Komponenten (Fig. 26):

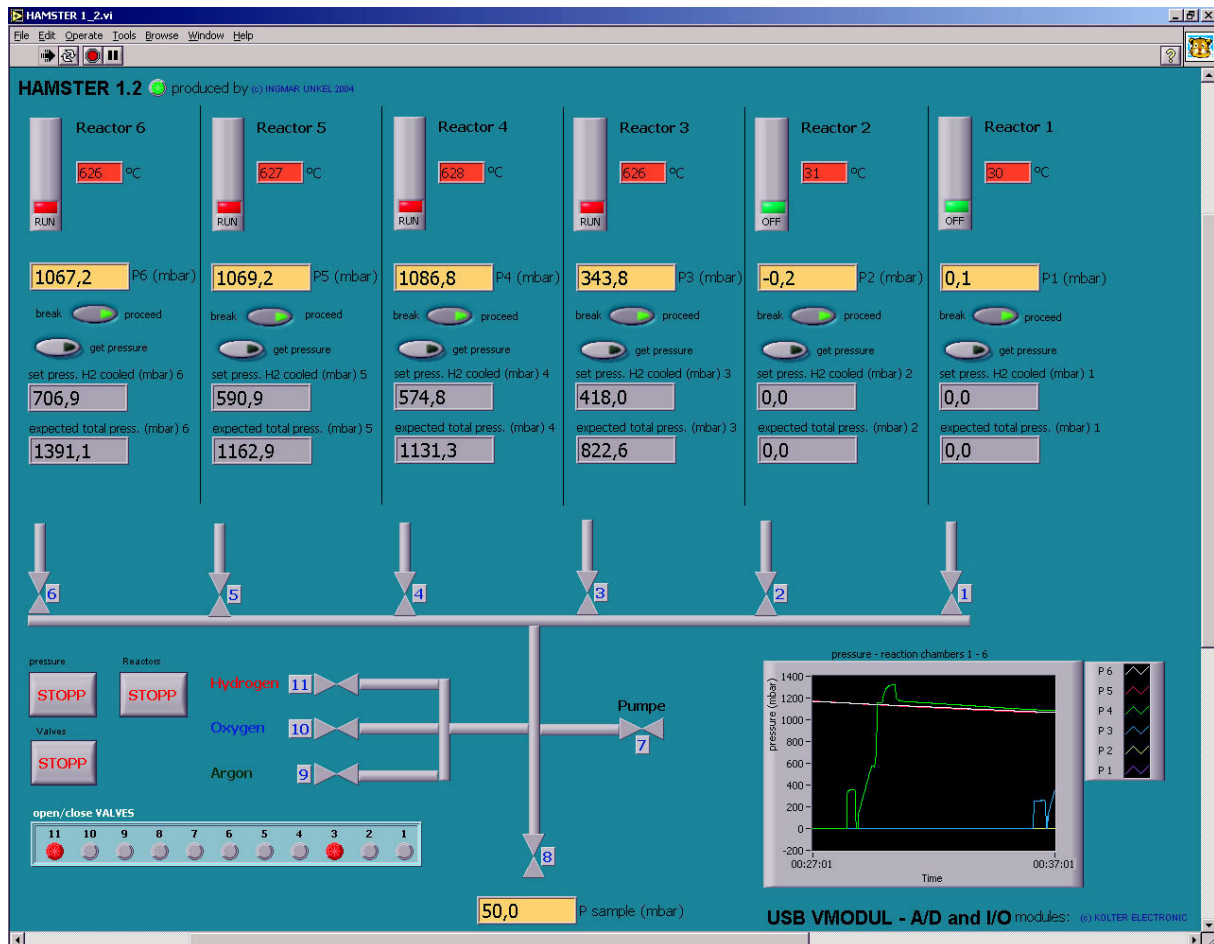
- *Frontpanel* – dient als Benutzeroberfläche
- *Blockdiagramm* – enthält den grafischen Quellcode des VIs, mit dem die Funktionalität festgelegt wird.
- *Symbol- und Anschlussfeld* – identifiziert das VI, so dass es in einem anderen VI verwendet werden kann. Ein VI, das einem anderen VI untergeordnet ist, wird als Sub-VI bezeichnet. Ein Sub-VI entspricht den Subroutinen in textbasierten Programmiersprachen.



**Fig. 26:** Aufbau eines LabView-VIs am Beispiel der Druckanzeige für den Prototypen der Target-Aufbereitungsanlage.

Structure of a LabView VI shown on the example of the pressure control for the prototype of the target line.

In LabView wird die Benutzeroberfläche, das „Frontpanel“, mit Hilfe einer Sammlung von Werkzeugen und vorgefertigten Objekten erstellt. Man fügt Code hinzu, indem man grafische Darstellungen von Funktionen zum Steuern der Frontpanel-Objekte verwendet, die dann im „Blockdiagramm“ als Anschlüsse dargestellt werden. Über Verbindungsstücke, ähnlich virtuellen Kabeln, werden die Anschlüsse miteinander verknüpft. Der ideale, ordnungsgemäße Aufbau eines solchen Blockdiagramms ähnelt einem Flussdiagramm.



**Fig. 27:** Die Benutzeroberfläche des Steuerprogramms HAMSTER in der Version 1.2 während des Betriebes. Zur leichteren Orientierung wurde die grafische Erscheinung dem mechanischen Aufbau der Anlage nachempfunden.

The front panel of the controlling software HAMSTER, version 1.2, during a run. For an easier orientation the appearance of the panel was adapted to the mechanical construction of the line.

Ziel der Anwendung von LabView für die teilweise Automatisierung der Targetaufbereitung mit vorangehend beschriebener Arbeit sind drei Kernpunkte:

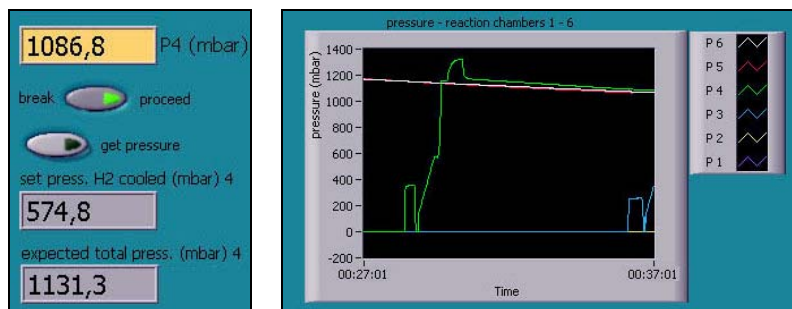
- Steuerung der Ventile und der Gaszufuhr
- Überwachung und Aufzeichnung der Reaktion über den Druckverlauf
- Steuerung der Reaktionstemperatur.

Der mögliche Grad der Automatisierung ist abhängig von der technischen Ausführung der jeweiligen Anlage. So verfügt das AMS-<sup>14</sup>C-Labor in Gif-sur-Yvette beispielsweise über

motorisierte Öfen und ein pneumatisch gesteuertes Kühlsystem (Hatté et al., 2003), womit die Anlage für vorliegende Arbeit nicht ausgestattet ist. Einige Labors integrieren die Verbrennung der Proben bereits in die Target-Apparatur (Gif-sur-Yvette – Hatté et al., 2003; Lund – Skog, pers. Mitt.) bzw. nutzen umgebaute pneumatische Ventile zum gesteuerten Knacken der Probenampullen (IUP Heidelberg, pers. Mitt.).

Für den Betrieb und die Steuerung der in Kapitel 3.1. beschriebenen Anlage zur Herstellung von Graphittargets wurde mit LabView Version 7.1 (2004) das Programm HAMSTER 1 (Heidelberg AMS Target generation system, Fig. 27) entwickelt, dessen Aufbau und Funktionsweise im folgenden erläutert werden soll. Das Programm selbst befindet sich auf einer der Originalversion dieser Arbeit beigelegten Daten-CD, die einzelnen grafischen Bausteine des Quelltextes sind im Anhang abgebildet.

## Druck



Der Druck in jeder Reaktor-kammer wird von einem Druckaufnehmer eingelesen und als analoges Spannungssignal zwischen 0 und 10 V (entspricht 0 bis 1500 mbar) über einen A/D-Wandler

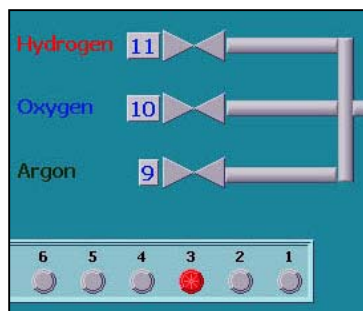
digital an das Steuerprogramm übermittelt. Das verwendete A/D-Modul besaß bereits Treiber für LabView, was die Integration in das Programm vereinfachte. Der Druck jeder Reaktor-kammer wird sowohl einzeln als Zahl angezeigt als auch in einem gemeinsamen Diagramm als Kurve, anhand derer man die Druckentwicklung während der Reaktion verfolgen kann. Das gewählte Zeitfenster des Druckverlaufs beträgt 10 min, ist jedoch im Quellcode beliebig modifizierbar.

Wie in Kapitel 3.1.2 ausgeführt, wird die für die Reaktion benötigte H<sub>2</sub>-Menge in den Reaktorraum zugegeben, während das Proben-CO<sub>2</sub> im Frierfinger durch LN<sub>2</sub> fixiert wird. Dadurch reduziert sich der H<sub>2</sub>-Druck im Reaktorraum um einen Kühlfaktor F. HAMSTER berechnet den zuzuführenden korrigierten H<sub>2</sub>-Druck auf Tastendruck und errechnet simultan den erwarteten Gesamtdruck im System nach dem Auftauen des CO<sub>2</sub>. So soll einem Überdruck und einer damit verbundenen Beschädigung der Ventile und Gläser vorgebeugt werden.

Der Druckverlauf in den einzelnen Reaktorräumen wird während der gesamten Laufzeit von HAMSTER aufgezeichnet und in eine .txt-Datei geschrieben. Beim Beenden des Programms kann der Datensatz dann individuell benannt und gespeichert oder verworfen werden.

PROGRAMM-STRUKTUR „DRUCK“:

- while*-Schleife - wiederholt Prozedur bis true/false-Indikator („Stop-Taste“), false’
- sequence*-Struktur - serielles Abfragen der Druckaufnehmer 1-8, Zeitintervall: 500 ms
- case*-Struktur - wenn true/false-Indikator („Break-Taste“) ,false’ ist, wird der Druckaufnehmer dieser Sequenz nicht ausgelesen („angehalten“)
- case*-Struktur - wenn true/false-Indikator („get-pressure-Taste“) ,true’ ist, wird der H<sub>2</sub>-Druck berechnet.

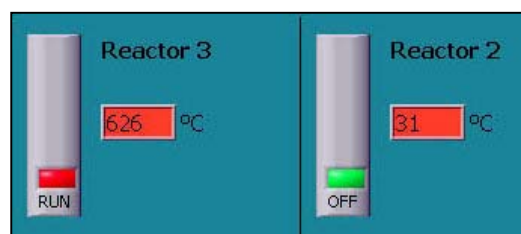
**Ventile und Gaszufuhr**

Bei den verwendeten Ventilen handelt es sich um Faltenbalg-Ventile mit einem pneumatischen Steuerkopf. Sie lassen sich aufgrund ihrer Konstruktion nicht dosieren sondern nur mittels Druckluftänderung im Steuerkopf öffnen und schließen. Die Druckluftzufuhr wird wiederum über Magnetventile geregelt, die elektronisch geöffnet und geschlossen werden. Die Steuerung der Magnetventile erfolgt aus HAMSTER heraus. Das Programm ist über ein I/O-Modul mit den Magnetventilen verbunden, zu dem ebenfalls vom Hersteller ein Treiber für LabView mitgeliefert wurde. Die zusammen mit diesem Treiber vorgeschlagene Konsole an Steuerknöpfen für das LabView Frontpanel zur Schaltung der Relais des I/O-Moduls wurde in HAMSTER integriert. Die Knöpfe und somit die Ventile werden per Mausklick geschaltet.

Bei den verwendeten Ventilen handelt es sich um Faltenbalg-Ventile mit einem pneumatischen Steuerkopf. Sie lassen sich aufgrund ihrer Konstruktion nicht dosieren sondern nur mittels Druckluftänderung im Steuerkopf öffnen und schließen. Die Druckluftzufuhr wird wiederum über Magnetventile geregelt, die elektronisch geöffnet und geschlossen werden. Die Steuerung der Magnetventile erfolgt aus HAMSTER heraus. Das Programm ist über ein I/O-Modul mit den Magnetventilen verbunden, zu dem ebenfalls vom Hersteller ein Treiber für LabView mitgeliefert wurde. Die zusammen mit diesem Treiber vorgeschlagene Konsole an Steuerknöpfen für das LabView Frontpanel zur Schaltung der Relais des I/O-Moduls wurde in HAMSTER integriert. Die Knöpfe und somit die Ventile werden per Mausklick geschaltet.

PROGRAMM-STRUKTUR „VENTILE“:

- while*-Schleife - wiederholt Prozedur bis true/false-Indikator („Stop-Taste“), false’
- set\_relais-library* - Treiber-Bibliothek mit der .dll-Datei zum Ansteuern des Moduls

**Temperatur**

Der Heizfinger des jeweiligen Reaktorraumes wird über ein zylindrisches Keramikfaserheizelement erhitzt, das mit einem Ni-Cr-Ni-Thermofühler ausgestattet ist. Die Messspitze des Thermofühlers ist so in der zentralen Bohrung des Heizelementes

installiert, dass sie unmittelbar außerhalb des Probenschiffchens (Fig. 16) zu liegen kommt. Die Öfen werden über PID-Regler angesteuert, die außerhalb des Steuerrechners der Targetanlage angebracht sind und aus Sicherheitsgründen auch unabhängig davon operieren. PID-Regler sind stetige Regler, die kontinuierlich über einen Sensor (in diesem Fall die Thermofühler) einen Istwert messen und diesen mit einem Sollwert vergleichen. Aus dem Unterschied der beiden Größen, der Regeldifferenz, wird eine Stellgröße abgeleitet und an die

Steuerung weitergegeben. Die Stellgröße wird bei dieser Art Regler aus einem proportionalen (P), einem integralen (I) und einem differentiellen (D) Teil abgeleitet. Der P-Teil ist linear und reagiert sofort auf die Veränderung der Regelgröße, der I-Teil gleicht ein „Überschwingen“ über den Sollwert aus und der D-Teil dämpft zu große Schwingungen.

Die Kommunikation zwischen dem Steuerrechner mit HAMSTER (LabView) und dem Ofensteuermodul (PID-Regler) erfolgt über eine serielle RS-232 Schnittstelle. Aufgrund von einer noch nicht geklärten verzögerten Kommunikation zwischen LabView und der Ofensteuerung konnte die Temperaturwahl in HAMSTER noch nicht vollständig integriert werden und wird daher sicherheitshalber über ein separates, einfaches Com-Modul durchgeführt. Die Ist-Temperatur wird in 1-Sekunden-Intervallen in HAMSTER ausgelesen und angezeigt. Zur Verminderung der Unfallgefahr durch Verbrennungen wurde die Temperaturanzeige mit einer „Leuchtdiode“ auf der Benutzeroberfläche gekoppelt, die bei Temperaturen über 50°C auf rot mit der Beschriftung „run“ umschaltet.

**PID-Regler / Heizelemente:**  
 Sollwert (optimal) = 625°C  
 P = 165; I = 100; D = 50

#### PROGRAMM-STRUKTUR „TEMPERATUR“:

<i>while</i> -Schleife	- wiederholt Prozedur bis true/false-Indikator („Stop-Taste“), false <sup>7</sup>
<i>sequence</i> -Struktur	- serielles Abfragen („write“) der Reaktoren, Zeitintervall: 1000 ms im Wechsel mit dem seriellen Auslesen („read“) der jeweiligen Temperaturwerte, Zeitintervall: 1000 ms

### 3.5 Dokumentation der Probenverarbeitung

Wie im vorangehenden Kapitel erwähnt, kann der Druckverlauf der jeweiligen Reaktion aufgezeichnet und nach Bedarf analysiert werden. Der Weg jeder Probe durch das Labor wird von der Ankunft bis zum fertigen Graphittarget dokumentiert. Dazu steht zunächst das labor-eigene Datenbankprogramm C14TOOL zur Verfügung, in dem die Proben mit Einsendernummer, Foto, Gewicht, Material und möglichen Begleitinformationen archiviert werden. Da die Datenbankmaske für konventionelle <sup>14</sup>C-Analysen konzipiert ist, wird sie den Anforderungen der Datendokumentation der AMS-<sup>14</sup>C-Analysen nicht vollständig gerecht. Aus diesem Grunde wurde im Rahmen vorliegender Arbeit eine Datenbank auf der Basis von MS-Access<sup>®</sup> entwickelt, die die Daten zu Vorbehandlung, Verbrennung und Graphitisierung jeder einzelnen Probe speichert. Fig. 23 zeigt das Beispiel eines Probendatenblattes, die gesamte Datei mit allen Probendaten befindet sich auf der CD in der Beilage zur Originalausgabe dieser Arbeit.

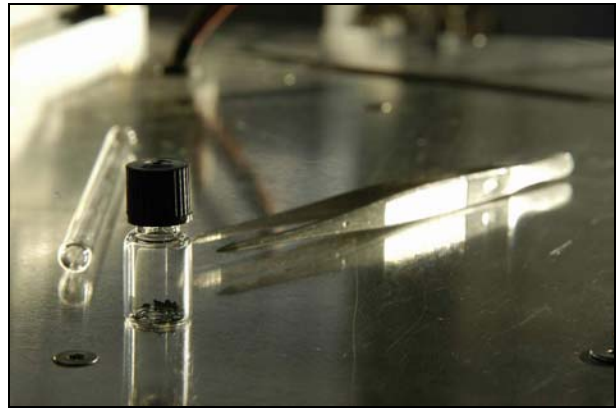
Die umfassende Aufzeichnung in der Datenbank ermöglichte zudem die statistische Auswertung und Kontrolle der Probendaten hinsichtlich der verwendeten Probenmengen, CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>-Verhältnis, Katalysatormenge und Graphitausbeute. Einige Beispielwerte sind in Tab. 4 zusammengefasst; unter „Ausbeute“ (*yield*) ist das Verhältnis von der tatsächlich im Transportgefäß gewogenen Menge an Katalysator und Graphit zu der aus CO<sub>2</sub>-Druck und Katalysatoreinwaage berechneten Maximalmenge zu verstehen. Der größte Anteil an der Minderung

der Ausbeute (~20%) wird durch Verluste von Katalysator an den Reaktorwänden beim Umfüllen und durch Pumpen der Anlage verursacht.

In Zukunft ist auch eine Verknüpfung der AMS-Datenbank mit dem C14TOOL und dem Steuerprogramm HAMSTER denkbar.

Durchschnittswerte $\pm$ Streuung	
Probengewicht	6,89 mg
CO <sub>2</sub> -Menge	321,55 mbar
CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> -Verhältnis	2,30 $\pm$ 0,10
Katalysatormenge	5,016 $\pm$ 0,075 mg
Kat+Graphitmenge	6,267 $\pm$ 0,276 mg
„Ausbeute“	78,70 $\pm$ 9,69 %

**Tab. 4:** Durchschnittswerte der Probenaufbereitung, Berechnung basierend auf 150 Graphitisierungen.



**Fig. 28:** Fertiger Graphit im Transportglas / Processed graphite in transport vessel (Foto: Oestergaard).



14		Radiokohlenstoff Labor		Heidelberger Akademie der Wissenschafte		AMS-Target-Aufbereitung		ID	93
Bildnr	\\C14tech2	Einsender:		Einsendernr	25582				
Datum	25.09.2004	Eitel		Analysennr	24202				
Probenart	Kohle	Probenkennung	PE 311 / H6/2						
				Gewicht gesamt	0	mg			
				vorbehandelt	657	mg			
				unvorbehandelt	0	mg			
<b>Vorbehandlung</b>									
Datum	08.02.2005	gewaschen	<input type="checkbox"/>	zerkleinert	<input type="checkbox"/>	gemahlen	<input type="checkbox"/>	getrocknet	<input type="checkbox"/>
		extrahiert	<input type="checkbox"/>	eingeweicht	<input type="checkbox"/>	in 0,5 n HCl			
		sauer gekocht	<input checked="" type="checkbox"/>						
Datum	08.02.2005	kalt eingeweicht	<input checked="" type="checkbox"/>	4% NaOH, 20°C ca	17	Stunden			
		heiß eingeweicht	<input type="checkbox"/>	4% NaOH, 80°C ca	0	Stunden			
		sauer1	<input checked="" type="checkbox"/>	alkal	<input type="checkbox"/>	sauer2	<input type="checkbox"/>	gekocht	
Datum	10.02.2005	Trockenschrank							
<b>Verbrennung</b>									
Datum	18.02.2005	4,925	mg der Probe in Quarzampulle Nr.			98			
		269	mg vorbehandelter Rest						
<b>Reinigung Target-Anlage</b>									
Datum	08.03.2005	Pumpe ein		Zeit 1	11:00				
		Reaktor ein	625 °C	Zeit 2	12:00	p1	1,9	*10 <sup>-6</sup> mbar	
		Pumpe / Reaktor aus		Zeit 3	15:00	p2	0,86	*10 <sup>-6</sup> mbar	
		Pumpe / Reaktor 400°C ei		Zeit 4	15:15	p(H2)	702	mbar	
		Reaktor aus		Zeit 5	15:55				
		Pumpe aus		Zeit 6	16:32	p3	1	*10 <sup>-6</sup> mbar	
<b>Graphitisierung</b>									
Datum	09.03.2005	Pumpe ein		Zeit 7	08:35				
		Pumpe aus		Zeit 8	09:05	p4	1,9	*10 <sup>-6</sup> mbar	
		Reaktor ein	625 °C	Start	09:55	p(CO2)	379	mbar	
						p(H2) gek.	594	mbar	
						p (ges)	1224	mbar	
		Reaktor aus		Ende	17:12	Restdruck	14	mbar	
Katalysator	5,065	<input type="checkbox"/> Eisen <input checked="" type="checkbox"/> Cobalt							
Kat+C-Meng	5,49								

Fig. 29: Beispielseite aus der Datenbank der AMS-<sup>14</sup>C-Proben des Heidelberger Radiokohlenstofflabors.

Example page from the data base for the AMS-<sup>14</sup>C-samples of the Heidelberg radiocarbon laboratory.

## 4. Grundlagen der Beschleunigermassenspektrometrie

Das Prinzip der Massenspektrometrie beruht auf der Tatsache, dass Ionen mit gleicher Energie in einem magnetischen Feld entsprechend ihrer Masse abgelenkt werden. Somit können Ionen unterschiedlicher Masse getrennt und quantitativ analysiert werden. Allerdings ist die Empfindlichkeit konventioneller Massenspektrometer (MS) nicht hoch genug, um beispielsweise die geringen Konzentrationen natürlicher Radioisotope wie dem  $^{14}\text{C}$  bestimmen zu können. Ein limitierender Faktor ist dabei das Auftreten von Molekülen oder Isobaren gleicher oder äußerst ähnlicher Masse, z.B. bei  $^{14}\text{C}$  von  $^{12}\text{CH}_2^-$  und  $^{14}\text{N}$ , die mit einem normalen MS nur schwer abgetrennt werden können.

Durch die Verbindung eines Teilchenbeschleunigers mit einem Massenspektrometer konnten diese und andere Probleme behoben werden. Bei der Beschleunigung (*Acceleration*) der zu untersuchenden Isotope können die störenden Moleküle und Isobaren abgetrennt werden.

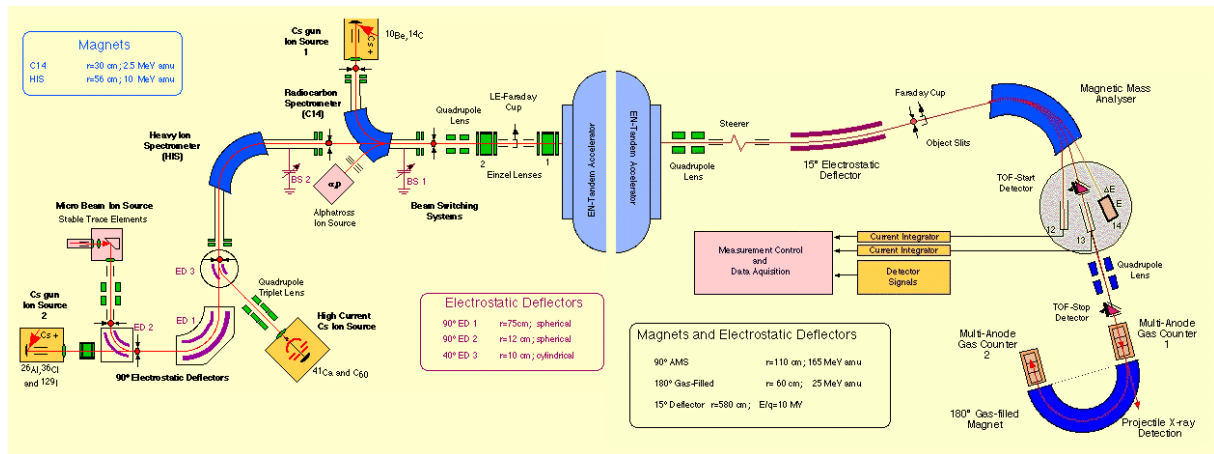
Die ersten Experimente zur Isotopenanalyse mit Hilfe eines Beschleunigers wurde 1939 durchgeführt (Alvarez & Cornog, 1939). Muller (1977) führte schließlich die Idee ein, mit Beschleunigermassenspektrometrie (AMS)  $^{14}\text{C}$ -Datierungen durchzuführen. Nur wenig später folgten ersten Ergebnisse dazu (Bennet et al., 1977; Nelson et al., 1977). All diese frühen AMS-Untersuchungen wurden mit Zyklotron-Beschleunigern durchgeführt. Heute werden die meisten AMS-Arbeiten an Tandem-Beschleunigern durchgeführt. Im nachfolgenden Kapitel 4.1 soll die Funktionsweise einer solchen AMS-Einrichtung am Beispiel der 6 MV- und 500 kV-Beschleuniger des Paul-Scherrer-Instituts an der ETH-Zürich, an denen auch die  $^{14}\text{C}$ -Messungen für diese Arbeit durchgeführt wurden, kurz erläutert werden. Die Ausführungen beziehen sich dabei, soweit nicht anders angegeben, auf Finkel und Suter (1993).

### 4.1 Aufbau und Funktion des Beschleunigermassenspektrometers

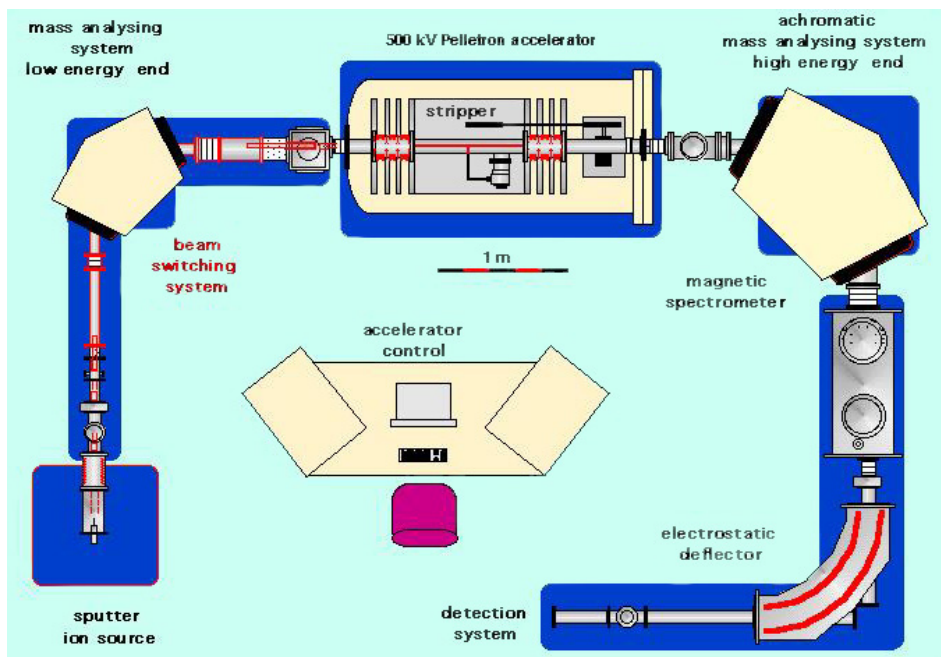
Das Prinzip eines Tandem-AMS lässt sich vielleicht am besten als eine Hintereinanderschaltung von 5 „Filtern“ verstehen (Fig. 30,31):

1. Das graphitisierte Probenmaterial wird in die Ionenquelle geladen und mit Cäsium-Ionen beschossen, um einen negativen Ionenstrahl zu erzeugen. Da manche interferierende Elemente keine stabilen, negativen Ionen bilden, dient dies als erster „Filter“.
2. Als nächstes werden die Massen, die von Interesse sind, in einem ersten magnetischen Massenspektrometer vorselektiert.
3. Die Ionen werden daraufhin im Hochspannungsbereich des Tandem-Beschleunigers beschleunigt. Sie passieren dabei einen sogenannten Stripper, eine extrem dünne Kohlefolie oder einen Gasbereich geringer Dichte, in dem Elektronen aus der Atomhülle abgestreift werden und die Ionen dadurch positiv geladen werden. Die meisten Moleküle werden bei diesem Umladeprozess zerstört, was der Wirkung eines dritten „Filters“ entspricht.

4. Die nun positiven Ionen werden weiter beschleunigt und passieren ein Hochenergie-Massenspektrometer, in dem eine erste Analyse stattfinden kann.
5. Die Identifizierung der Ionen erfolgt schließlich in einem Detektorsystem.



**Fig. 30:** Schemazeichnung des 6 MV-Tandem-Beschleunigers in Zürich (Grafik: PSI/ETH, Zürich).  
 Schematic drawing of the 6 MV-Tandem-Accelerator in Zurich (graphic: PSI/ETH, Zurich).

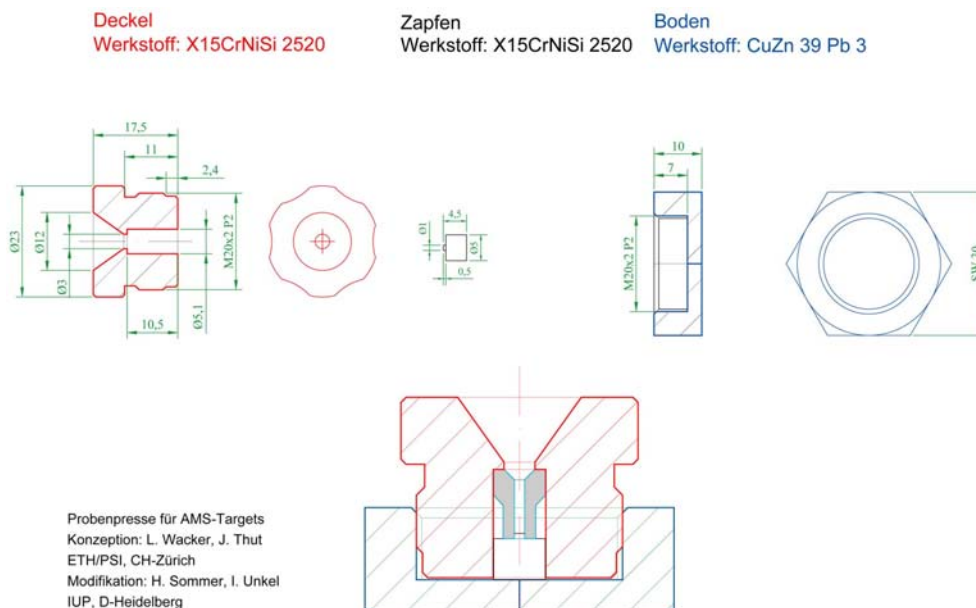


**Fig. 31:** Schemazeichnung des 500 kV-Tandem-Beschleunigers in Zürich (Grafik: PSI/ETH, Zürich).  
 Schematic drawing of the 500 kV-Tandem-Accelerator in Zurich (graphic: PSI/ETH, Zurich).

## Ionenquelle

Hier wird durch Beschuss mit einem positiv geladenen Cs-Ionenstrahl ein negativer Ionenstrahl aus dem Targetmaterial erzeugt, was als „Sputtern“ bezeichnet wird (engl. *to sputter* – zerstäuben, aufspritzen). Wichtig ist dabei, einen Ionenstrahl mit hoher Ausbeute, hohem Strom und starker Fokussierung zu erzeugen. Dazu müssen die Proben Targets während des Sputterns unter Hochspannung liegen, was eine erhöhte Anforderung an die Probenhalterungen stellt, denn ein hoher Probendurchsatz erfordert das automatische Probenwechseln unter Hochvakuum und Hochspannung. Während bei dem 6 MV-Beschleuniger 25 münzförmige Proben Targets in ein spezielles Magazin gesteckt werden, befinden sich bei dem 500 kV-Beschleuniger 40 zylindrische Targets in einem Probenrad.

Das Probengraphit muss in eine kleine Öffnung in der Mitte des Targets gepresst werden. Für die Targets der 500 kV-Beschleuniger, die an verschiedenen anderen Labors ebenfalls in Betrieb sind, existieren viele unterschiedliche Systeme für „Targetpressen“ (z.B. Goslar & Czernik, 2000). Das an der ETH in Zürich verwendete System, das für vorliegende Arbeit nahezu ausschließlich genutzt wurde, erschien in Handhabung und Möglichkeiten der Reinigung und somit Vermeidung der Querkontamination als eines der sinnvollsten. Da der Pressvorgang sehr zeitraubend ist und sich auch Verbesserungsmöglichkeiten an der Targetpresse aus Zürich zeigten, wurde das System in Abstimmung mit den Kollegen der ETH in Heidelberg nachgebaut (Fig. 32) und durch einige kleine Modifikationen in der Handhabung und im Material verbessert, was auch die Kosten deutlich senkte. Zur Kostensenkung beigetragen hat insbesondere der Wechsel des ohne Oberflächenalterationen bei Temperaturen über 500 °C ausglühbaren Werkstoffs für den Trichterdeckel von Inconel<sup>®</sup> zu Ferrotherm<sup>®</sup>.



**Fig. 32:** Konstruktionszeichnung der Heidelberger Targetpresse nach Züricher Vorlage (Grafik: H. Sommer, IUP Heidelberg, Modifikation: I.Unkel). Die Zeichnung im A4-Format befindet sich im Anhang.

Construction drawing of the Heidelberg target press after plans from Zurich (grafic: H. Sommer, IUP Heidelberg, modification: I. Unkel). The drawing in A4 format can be found in the attachment.

### **Injektor / Niederenergie-MS**

Die Kinematik des Sputterprozesses führt zu einer Aufweitung des Energiebereichs der Target-Ionen in Richtung höherer Energien (engl.: *tailing*; Litherland, 1984). Dies liegt zum Teil am Energietransfer von Cs-Ionen auf die Target-Ionen oder am Aufbrechen von Molekülen. Mit Hilfe eines ersten Massenspektrometers können die Ionen mit dem korrekten Energie/Ladung-Verhältnis ( $E/q$ ) selektiert werden.

### **Tandem-Beschleuniger**

Die selektierten negativen Ionen werden in den Beschleuniger eingeschossen und auf die positiv geladene Hochspannung hin beschleunigt. Dort werden beim Passieren eines „Stripers“ (dünnes Gas oder Folie) einige Hüllenelektronen entfernt und die Kohlenstoffionen 3-/4-fach positiv (6 MV) oder 1-fach positiv (500 kV) geladen. Somit können die Ionen die Hochspannung ein zweites Mal nutzen und werden nun durch die Abstoßung weiter beschleunigt (daher der Name Tandem für diesen Beschleunigertypus).

### **Hochenergie-Massenanalyse**

Nach dem Beschleuniger besteht der Ionenstrahl aus verschiedenen Ionensorten in unterschiedlichen Ladungszuständen mit demnach unterschiedlichen Energien. Neben dem zu analysierenden Hauptisotop ( $^{14}\text{C}$ ) kommen molekulare Fragmente (z.B.  $^{13}\text{CH}^-$ ) und ein geringer Untergrund von Ionen vor, die durch Störprozesse ihren Weg durch den Beschleuniger gefunden haben. Um eine genügende Isotopenselektion zu gewährleisten, sind im Folgenden neben einem magnetischen MS weitere elektrostatische Ablenkeinheiten (Deflektoren) eingebaut (Glatzel-Mattheier, 1994).

### **Detektoren**

Die eigentliche Identifikation des Radioisotops erfolgt in der Regel in einem Gasionisationsdetektor, wo die hochenergetischen Ionen in einem Gasvolumen gestoppt werden und die beim Abbremsen entstehende Ionisation längs des Bremsweges gemessen wird ( $dE/dx$ ). Diese energiebasierte Detektion kann unter Umständen zur weiteren Reduzierung des Untergrunds beitragen, da sie zur Beseitigung von Masse/Ladung-Zweideutigkeiten ( $M/q$ ) beiträgt. Dies ist beispielsweise beim 6 MV-Beschleuniger wichtig, bei dem es zu einer Störung des  $^{14}\text{C}^{4+}$ -Signals durch  $^7\text{Li}^{2+}$  kommen kann (vgl. Kapitel 3.1.2). Der Untergrund an  $^7\text{Li}^{2+}$  darf jedoch nicht zu hoch sein, da der Detektor sonst überladen wird.

Die Verteilung der Bremsionisation ist für eine bestimmte Ionensorte charakteristisch und ermöglicht die eindeutige Identifikation der Isotope ( $\Delta E/E$ ).

### **Normierungsprozedur**

$^{14}\text{C}$  muss, wie jedes andere Radioisotop auch, zur Bestimmung des Isotopenverhältnisses  $R$  (Kapitel 1) auf das stabile Isotop, in diesem Falle  $^{12}\text{C}$ , normiert werden. Hierzu werden in

einem zusätzlichen Messvorgang  $^{12}\text{C}$ -Ionen in den Beschleuniger eingeschossen und am Ende des Hochenergie-MS als Ionenstrom nachgewiesen. Das Gleiche geschieht auch mit dem zweiten stabilen Kohlenstoffisotop  $^{13}\text{C}$ . Das Umschalten zwischen den verschiedenen Isotopen geschieht mittels eines schnellen Pulsiersystems, das elektrische Felder derart schaltet, dass die stabilen Isotope das Niederenergie-MS in derselben Weise passieren können wie das Radioisotop. Erst im Hochenergie-MS findet eine Aufspaltung zwischen den jeweiligen Isotopen statt. Die Pulse für die Messung der stabilen Isotope haben eine Länge von 20-200  $\mu\text{s}$  und werden mit einer Frequenz von 5-20 Hz wiederholt, so dass 99% der Messzeit für  $^{14}\text{C}$  zur Verfügung stehen.

## 4.2 Untergrund und Quellen möglicher Kontamination

Der Untergrund, der in den Detektoren des AMS gemessen wird, bestimmt die niedrigsten messbaren Isotopenverhältnisse. Er bildet außerdem die Grenze für die geringste Anzahl an detektierbaren Atomen. Man kann den Untergrund in zwei Kategorien einteilen (Finkel & Suter, 1993):

1. *Kontamination*: Kohlenstoffionen, die nicht vom ursprünglichen Probenmaterial stammen.
2. *Instrumentenuntergrund*: andere Partikel, die den Detektor erreichen und dort ein falsches Signal erzeugen. (siehe Li-Untergrund, Kap. 3.1.2)

Das Untergrundlevel wird durch die Messung von *Blank*-Proben (*Nulleffekten*) bestimmt, die in der gleichen Weise vorbehandelt und graphitisiert werden wie die normalen Proben. Für vorliegende Arbeit wurde Braunkohle mit einem bekannten Alter weit über dem  $^{14}\text{C}$ -Messbereich verwendet (HD-Einsendernummer 22668).

Kontamination kann während der Probennahme, der Vorbehandlung oder bei der Targetherstellung eingebracht werden. Insbesondere bei der Targetapparatur können die Ursachen der Kontamination in der Verschmutzung der Glaswände mit Graphitstaub oder in adsorbiertem  $\text{CO}_2$  liegen. Daher werden die austauschbaren Bestandteile der Target-Anlage nach jeder Graphitisierung gereinigt und ausgeglüht (siehe Kap. 3.1.1). Eine Verunreinigung mit rezentem Luft- $\text{CO}_2$  durch Leckagen in der Anlage ist in der Regel auszuschließen, da hierfür wegen des geringen  $\text{CO}_2$ -Anteils in der Luft eine Leckagegröße nötig wäre, die den Druckverlauf während des Betriebs der Anlage sichtbar verändern würde (Glatzel-Mattheier, 1994).

Der Untergrund durch Kontamination beschränkt bis jetzt die  $^{14}\text{C}$ -Detektion auf einen Bereich oberhalb 0,1 bis 0,7 pmC, was einem Maximalalter von 55 bis 40 ka entspricht (Finkel & Suter, 1993). Die in der Vergangenheit im Heidelberger Radiokohlenstofflabor betriebenen Target-Anlagen erreichten ein Untergrundlevel von 0,7 bis 0,85 pmC (entsprechend 40 bis 38,3 ka) (Pfleiderer, 1987; Glatzel-Mattheier, 1994). Mit der voranstehend beschriebenen

Anlage und Methodik konnte ein durchschnittlicher Untergrund von 0,50 pmC (42,5 ka) und ein Minimalwert von 0,40 pmC (44,4 ka) erreicht werden (Fig. 33).

Einer gesonderten Erläuterung bedürfen die erhöhten Untergrundwerte des dritten Probenrades mit den Analysennummern ET355 bis ET389 (Fig. 33). Während der laufenden Messung dieser Proben kam es zu einem Stromausfall an der ETH-Zürich, der das gesamte AMS lahm legte. Das Probenrad wurde zwar in einem speziellen, luftdicht verschlossenen Behälter zwischengelagert und die äußersten Bereiche des Targets vor Wiederaufnahme der Messung durch zusätzliches *Sputtern* gereinigt, jedoch konnte eine Erhöhung des Untergrunds nicht ganz verhindert werden (Wacker, pers. Mitt.).

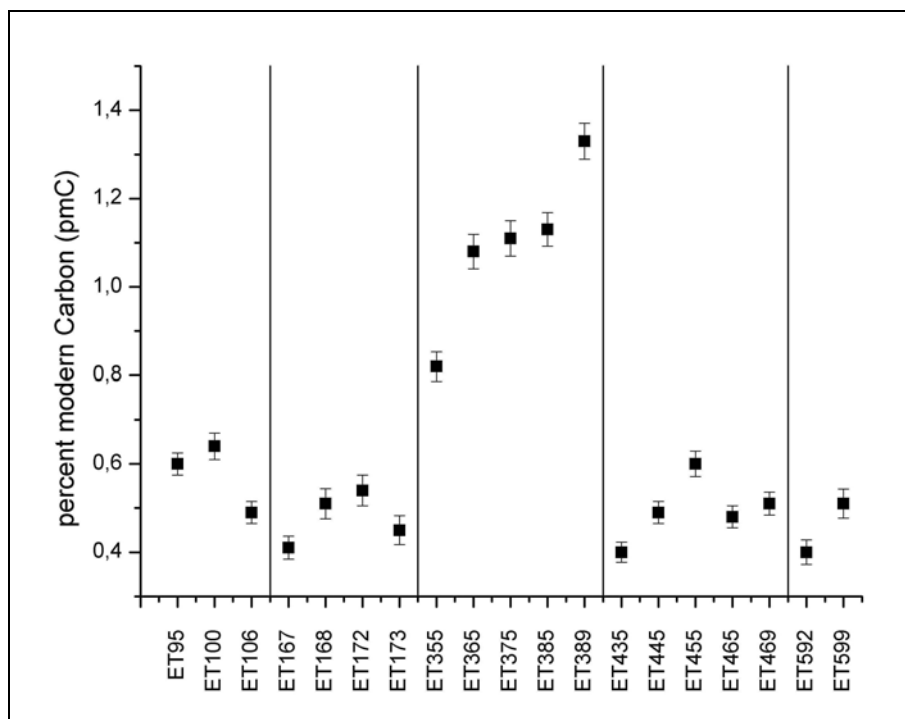


Fig. 33: Der  $^{14}\text{C}$ -Untergrund im Rahmen der Messungen von 5 Probenrädern.

The  $^{14}\text{C}$ -background in the course of the measurement of 5 sample wheels.

### 4.3 Datenerhebung – AMS-Messung

Das 500 kV AMS-Gerät wird je Probenrad mit 40 Targets bestückt, die automatisch gewechselt werden (vgl. Kapitel 4.1). Ein Targetsatz besteht aus 29 Proben, 5 Standards, 5 Untergrundproben (graphitisierte Braunkohle) und einem Maschinenblank (geologischer Graphit zur Kontrolle des Mess-Untergrundes). Um den statistischen Fehler der  $^{14}\text{C}$ -Messung einer Einzelprobe auf weniger als 4 ‰ zu senken, muss jede Probe bei einem nahezu konstanten Ionenstrom etwa eine halbe Stunde gemessen werden (Glatzel-Matthier, 1994). Dies geschieht in etwa 10 kurzen Sequenzen, um Nichtlinearitäten (Stromschwankungen) im Beschleuniger ausgleichen zu können. Die Proben mit unbekanntem, zu bestimmendem  $^{14}\text{C}$ -Gehalt werden relativ zu den Standards mit bekanntem  $^{14}\text{C}$ -Gehalt gemessen (vgl. Kapitel 2.1).

## Teil B: Archäologie und Chronologie

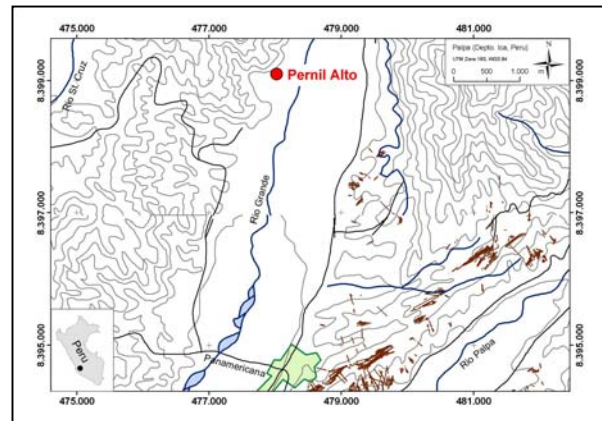
### 1. Vorspanische Siedlungen im Raum Palpa

Vor Ankunft der Spanier im Gebiet zwischen dem Rio St. Cruz im Norden und dem Rio Ingenio im Süden war die Region bereits über mehrere Jahrhunderte kontinuierlich besiedelt worden (vgl. Einleitungskapitel 1.1 sowie Moseley, 2001; Reindel et al., 1999; Silverman & Proulx, 2002). Im Rahmen des archäologischen Teils des BMBF-Projektverbundes wurden in jüngster Zeit unter der Leitung von Markus Reindel und Johny Isla Cuadrado zahlreiche Siedlungen rund um Palpa systematisch ausgegraben und dokumentiert. Das dort zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung geborgene Probenmaterial bildet die Grundlage für die in Kap. 3.2 vorgestellte  $^{14}\text{C}$ -Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit. Der archäologische Kontext dieser Proben bildet die Basis dieser numerischen Chronologie. Zum besseren Verständnis werden daher im Folgenden die einzelnen beprobten Siedlungsplätze kurz vorgestellt und der Probenkontext erläutert.

#### 1.1 Pernil Alto (Initialzeit)

PAP-266 / PV66-132

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Siedlungsortes bezieht sich im Wesentlichen auf Reindel et al. (2004).



**Fig. 34:** (links) Die Ausgrabungstelle von Pernil Alto im September 2004 (Foto: Reindel). (rechts) Lage des Siedlungsplatzes Pernil Alto im mittleren Rio Grande Tal, etwa 6 km NW von Palpa.

(left) The excavation site of Pernil Alto in September 2004 (photo: Reindel). (right): Location of the settlement in the middle of the Rio Grande valley, about 6 km NW of Palpa.

Der Fundort Pernil Alto liegt am rechten Talhang des mittleren Rio Grande Tals, in der Nähe eines Trockentals und am Fuß einer felsigen Anhöhe, die sich unmittelbar an die landwirtschaftlichen Nutzflächen der benachbarten Hänge anschließt. Die Siedlungsfläche liegt mit



390 m ü.M. leicht über dem Niveau des Talbodens und ist kaum merklich geneigt. Sie umfasst etwa 800 m<sup>2</sup> (UTM: 478.220 E und 8.399.430 N, Sektor 18 S).

Erste Testgrabungen im Jahr 2001 hatten eine stratigraphische Abfolge von Siedlungsbefunden (Mauern, Böden und Verfüllungen) erbracht, die bis in eine Tiefe von 2 m reichte. Die Befunde charakterisieren den Fundort als initialzeitliche Siedlung (Initialzeit siehe Tab. 10). Trotz einiger durch Raubgräber verursachter Störungen war die Mehrheit der Befunde intakt. Damit konnte erstmals eine Siedlung dieser frühen Zeitstellung für die Region Palpa dokumentiert werden.

Die Grabungsarbeiten des Jahres 2003 konzentrierten sich auf den zentralen Bereich der Siedlung, wo bereits die Testschnitte des Jahres 2001 angelegt worden waren. Dabei wurden acht Grabungseinheiten von jeweils 10 m x 5 m ergraben. Im Laufe der Grabung wurden zusätzlich eine Reihe von Architektureinheiten (UA = Unidades Arquitectónicas) definiert, die durch Mauern begrenzt waren.

Die Siedlungsbefunde konnten vier aufeinanderfolgenden Nutzungsphasen der Siedlung zugeordnet werden. Einige Pfostenlöcher, die unmittelbar nach Abtrag der rezenten Oberfläche zu Tage traten, gehören zu einer weiteren, letzten, wahrscheinlich temporären Nutzung der Siedlung, in der nur noch einfache Bauten aus Pfosten und Flechtwänden errichtet wurden. Die Lehmziegelbauten der vorhergehenden Nutzungsphasen waren zu diesem Zeitpunkt bereits verfallen. Die Pfostenlöcher datieren damit den letzten Moment der Siedlungstätigkeit sowie den Zeitpunkt der Auflassung von Pernil Alto.

### **Nutzungsphase 1:**

In der ersten Nutzungsphase der Siedlung schuf man zunächst zwei künstliche, ebene Bodenniveaus, auf denen mehrere große, rechteckige Bauten aus Lehm errichtet wurden, die von NE nach SW bzw. von NW nach SE ausgerichtet waren. In Verbindung mit den Mauern der Architektureinheiten fanden sich mehrere Böden aus Stampflehm.

**Diccionario Español-Alemán /  
Wörterbuch Spanisch-Deutsch:**

<i>Muestra</i>	- Probe
<i>Capa</i>	- Schicht
<i>Piso</i>	- Boden
<i>Rasgo</i>	- Befund
<i>Postes</i>	- Pfosten

### PROBENMATERIAL:

Probe #382 (Kontext: UA 7, Schicht G, Boden 6, Befund 3038).

### **Kontext der Probe aus Nutzungsphase 1:**

Aus der Architektureinheit UA 7 der Nutzungsphase 1 wurden eine <sup>14</sup>C-Probe entnommen. UA 7 wird gebildet von den Mauern M 6, M 12 und M 37, wobei die Grenzen auf Grund der teils nur unvollständig erhaltenen Mauern nicht exakt definiert werden konnten (Skizze siehe Anhang). Es handelt sich um eine rechteckige Struktur von ca. 4,4 m x 4,6 m, die durch einen Durchgang in der NE-Ecke mit UA 17B verbunden war. In Zusammenhang mit der ersten Nutzungsphase dieses Gebäudes war ein Stampflehm Boden (Boden 6, Befund 3038) belegt,

auf dessen Oberfläche sich zahlreiche Reste organischen Materials fanden, darunter Kürbiskerne und die Scheren von Krestieren (Probe #382).

### **Nutzungsphase 2:**

In der zweiten Nutzungsphase von Pernil Alto wurden einige Umbauten an den Gebäuden der Siedlung vorgenommen. Einzelne Gebäudeteile und Mauern wurden zugeschüttet, um ein einheitliches Niveau für die neueren Bauten zu schaffen, andere Mauern wurden erhöht und in die neuen Gebäude einbezogen. Die Mauern dieser Phase sind dabei gröber und unregelmäßiger als zuvor. Insgesamt dehnte sich die Siedlung nach Nordosten aus.

#### PROBENMATERIAL:

Probe #381 (Kontext: UA 6A, Schicht E, Boden 4, Befund 3036).

### **Kontext der Probe aus Nutzungsphase 2:**

Aus der Architektureinheit UA 6A, Schicht E wurde eine <sup>14</sup>C-Probe entnommen (Probe #381). Es handelt sich um einen rechteckigen Raum aus Lehmziegelmauern, dessen Begrenzung nicht nach allen Seiten hin klar definiert werden konnte. In seinem Inneren fanden sich mehrere Böden aus Stampflehm mit einem gröberen Unterbau aus Adobebrocken, Steinen und organischem Material. Der Boden 4 steht in Zusammenhang mit Mauer M 11 und befand sich etwa 25-30 cm über dem Fundament der Mauern M 7 und M 37. Aus dem Material dieses Bodens wurde Probe #381 aus organischem Material, Asche und verziegelter Erde entnommen. (Skizze siehe Anhang).

### **Nutzungsphase 3:**

Auch die dritte Nutzungsphase von Pernil Alto ist durch zahlreiche Um- und Neubauten sowie die partielle Weiternutzung einzelner Mauern und Gebäude gekennzeichnet.

#### PROBENMATERIAL:

Probe #380 (Kontext: UA 1B, Schicht D, Boden 3, Befund 3035).

### **Kontext der Probe aus Nutzungsphase 3:**

Aus der Architektureinheit UA 1B, Schicht D wurde eine <sup>14</sup>C-Probe entnommen (Probe #380). Der rechteckige Raum wurde aus den Mauern M 2, M 3, M 9 und M 10 gebildet und maß etwa 3 m x 5 m. Er besaß an je zwei gegenüberliegenden Seiten einen Durchgang zu den benachbarten Räumen. Zur ersten Nutzungsphase dieses Raumes gehört Boden 3, der aus einer dünnen Schicht von ca. 2,5 cm beigefärbten Stampflehm auf einem Unterbau aus gröberem Material bestand. Auf seiner Oberfläche fanden sich zahlreiche Pflanzenreste; der Unterbau enthielt Keramik, Tierknochen, Schalen von Süßwasserschnecken und Holzkohle. Aus dieser unteren Schicht wurde Probe #380 entnommen. (Skizze siehe Anhang).

**Nutzungsphase 4:**

In der Nutzungsphase 4 (Fig. 35) von Pernil Alto wurden nur noch wenige Umbauten vorgenommen. Die seit Phase 2 bestehenden und in Phase 3 erweiterten Grundrisse wurden weitgehend beibehalten. Einzelne Böden und Mauern wurden erneuert und kleinere Veränderungen durchgeführt.

PROBENMATERIAL:

Probe #379 (Kontext: UA 1A, Schicht B, Boden 1, Befund 3033).

**Kontext der Proben aus Nutzungsphase 4:**

Probe #379 stammt aus der Architektureinheit UA 1A, einem rechteckigen Raum, der von den Mauern M 3, M 4 und M 5 begrenzt wird; seine östliche Begrenzung konnte auf Grund einer Störung durch Raubgräberei nicht klar definiert werden. Innerhalb des Raumes wurden zwei Stampflehmböden angelegt. Der Boden 1, Schicht B, bildete bereits den zweiten Boden in diesem Raum. Er bestand aus einer regelmäßigen und kompakten Schicht aus Stampflehm von 5 cm Dicke und war auf einem dünnen Unterbau aus loser Erde und Resten organischen Materials von ca. 10 cm Dicke errichtet worden. Von der Oberfläche dieses Bodens stammt die Holzkohleprobe #379.

**Letzte, temporäre Nutzungsphase der Siedlung:**

Nachdem die Lehmziegelbauten der Phasen 1-4 bereits nicht mehr genutzt wurden, entstand eine dicke Schicht aus herabgefallenen Adobeziegeln und Erde, die die Mauerreste bedeckte. In diese Schicht wurden mehrere Holzpfosten eingetieft, die zu einfachen Gebäuden aus Pfosten mit Flechtwerkwänden der letzten, temporären Nutzungsphase der Siedlung gehörten. Aus diesen Pfosten, die das Ende der Siedlung datieren, wurden bereits im Jahr 2001 mehrere <sup>14</sup>C-Proben entnommen.

PROBENMATERIAL (alle Proben bereits 2001 genommen):

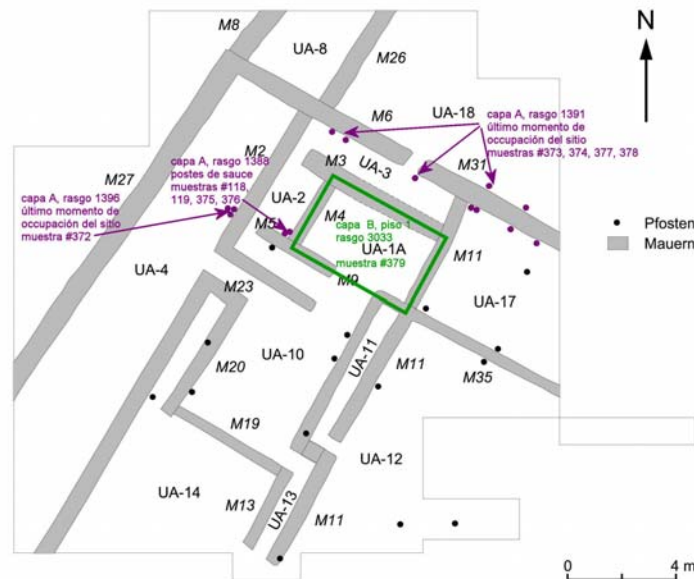
Proben #118, 375, 376 (Kontext: UA 2, Schicht A, Pfosten, Befund 1388).

Proben #373, 374, 377, 378 (Kontext: UA 3, Schicht A, Pfosten, Befund 1391).

Probe #372 (Kontext: UA 4, Schicht A, Pfosten, Befund 1396).

**Kontext der Proben aus der letzten Nutzungsphase:**

Alle Proben stammen von den oben beschriebenen Pfosten der Gebäude, die zur letzten Nutzungsphase der Siedlung gehörten (Schicht A). Sie gehören zwar vom Kontext her nicht zu den oben angegebenen Architektureinheiten der Nutzungsphase 4, jedoch werden die Architektureinheiten dennoch angegeben, um die Pfosten lokalisieren zu können.



**Fig. 35:** Grabungsskizze von Pernil Alto mit den Befunden der Nutzungsphase 4 (Grafik aus Reindel et al., 2004, Modifikation: A. Wetter).

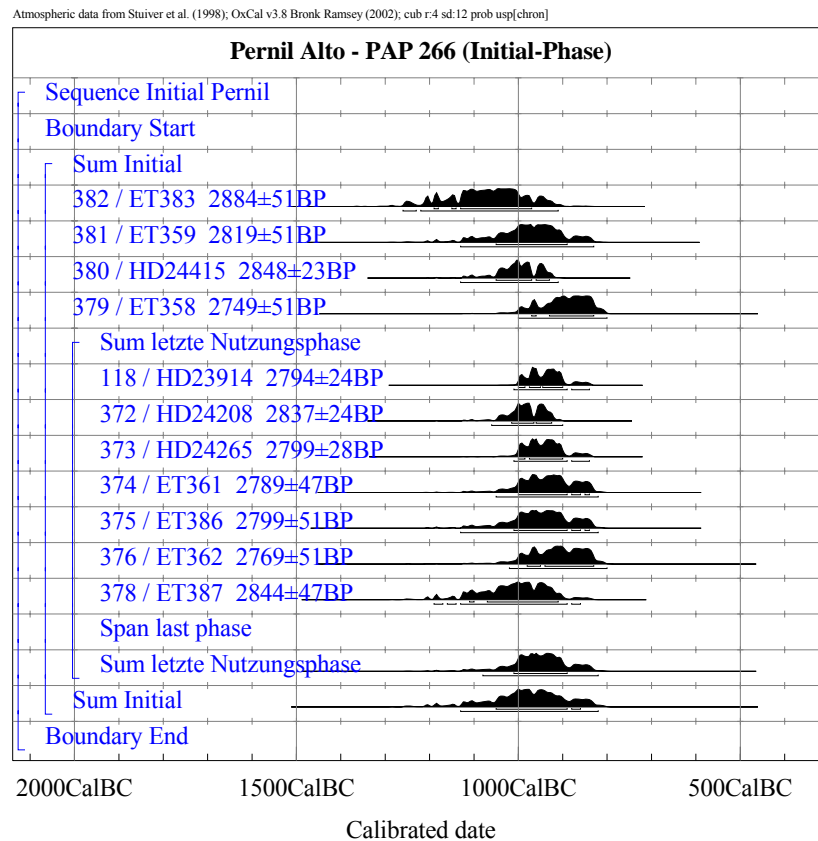
Excavation sketch of Pernil Alto with the findings from phase of use 4 (Graphic from Reindel et al., 2004, modification: A. Wetter).

### Zeitstellung von Pernil Alto auf Basis der $^{14}\text{C}$ -Daten:

Insgesamt wurden zur Datierung von Pernil Alto 11  $^{14}\text{C}$ -Proben aus den verschiedenen Nutzungsphasen herangezogen. In der Summe bestätigen alle Proben ohne Ausnahme das initialzeitliche Alter der Siedlung und ergeben im Rahmen der  $1\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereiche eine kalibrierte Zeitspanne für die Besiedlung von 1050 bis 860 cal BC (Fig. 36). Die einzelnen Nutzungsphasen konnten im Rahmen der  $1\sigma$ -Grenzen der Einzeldatierungen in sehr geringem Maße zeitlich differenziert werden. Die älteste der 11 datierten Proben, Nr. 382 (ET-383), stammt aus Nutzungsphase 1, die jüngste der Proben, Nr. 379 (ET-358), aus Nutzungsphase 4. Auf den ersten Blick gibt es zwar keine Überlappung dieser beiden Proben innerhalb der  $1\sigma$ -Grenzen der unkalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Alter (sie liegen dann mindestens 33 Jahre auseinander), jedoch berühren sich die beiden  $1\sigma$ -Bereiche der Kalenderalter bei 970 cal BC. Eine Bestätigung der archäologischen Befunde ist somit in den Grundzügen zwar möglich, dennoch ist eine beinahe Gleichzeitigkeit der Nutzungsphasen 1 und 4 nicht völlig auszuschließen. Die Proben Nr. 382, 381 und 380 aus den Nutzungsphasen 1 bis 3 haben aus Sicht der  $^{14}\text{C}$ -Datierung im  $1\sigma$ -Bereich ein identisches Alter.

Die Proben der letzten, vom archäologischen Kontext her unterscheidbaren Nutzungsphase sind untereinander aufgrund der Datierungen innerhalb der  $1\sigma$ -Grenzen zeitlich nicht zu differenzieren. Zudem fallen sie insgesamt in den gleichen Zeitraum wie die Proben der Nutzungsphasen 1 bis 4. Ein Grund dafür könnte ein „Altholzeffekt“ sein. Während es sich bei Probe Nr. 382 um den Kern einer einjährigen Pflanze (Kürbisart) handelt und die Proben Nr. 381-379 aus Holzkohleresten auf Böden bestanden, kamen die Proben aus der letzten Nutzungs-

phase durchweg von Holzpfosten. Anders als bei der Datierung von Resten einjähriger Pflanzen, wo in der Regel zwischen Wachstum, Nutzung und Ablagerung in (anthropogenen) Sedimenten nur eine relativ kurze Zeit verstreicht, kann es gerade bei der Datierung von Holz wegen des längeren Wachstums und einer möglicherweise längeren Nutzung bis zur Ablagerung zu einer Überschätzung des archäologischen Alters kommen.



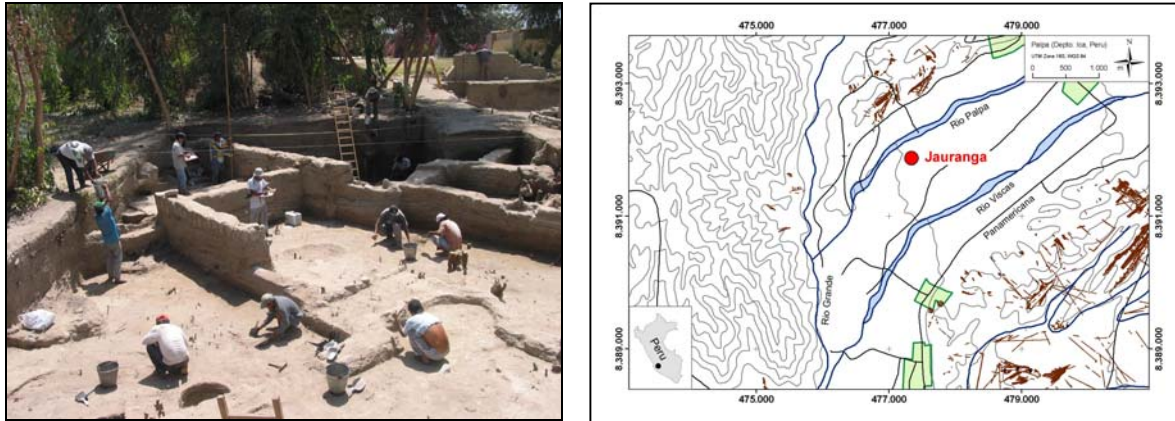
**Fig. 36:** Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Daten der Proben aus Pernil Alto (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated <sup>14</sup>C data of the samples from Pernil Alto (reservoir correction already included).

## 1.2 Jauranga (Paracas)

PAP-150 / PV67A-11

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Grabungsplatzes bezieht sich im Wesentlichen auf Reindel et al. (2004).



**Fig. 37:** (links) Die Ausgrabungen in Einheit 1 auf dem Gelände des Fundo Jauranga im September 2003 (Foto: Reindel). (rechts) Lage von Jauranga am Rio Palpa, etwa 3 km WSW von Palpa.

(left) The excavations in unit 1 at the Fundo Jauranga in September 2003 (photo: Reindel). (right) Location of Jauranga at the Rio Palpa, about 3 km WSW of Palpa.

Der Fundplatz Jauranga liegt in der Talaue des Rio Palpa, 200 m vom heutigen Flussbett und etwa 3 km vom Ort Palpa entfernt (Fig. 37). Im Gegensatz zu den meisten bekannten archäologischen Fundstellen im Nasca-Gebiet haben in Jauranga keine Raubgrabungen stattgefunden. Bereits im Jahr 1998 waren hier Testgrabungen vorgenommen worden, die eine stratigraphische Sequenz von etwa 4 m Tiefe mit Siedlungsresten, Gräbern und Keramik erbrachten. Die Funde ließen sich den Keramikphasen Ocucaje 6 bis Ocucaje 9 (Paracas-Zeit, Tab. 10) zuordnen. In der Grabungskampagne 2003 wurde der Fundplatz schließlich systematisch und großflächig archäologisch erforscht.

Der Fundo (Gutshof) an der Lokalität Jauranga, der bis 2004 das organisatorische Zentrum der archäologischen Ausgrabungen in und um Palpa bildete, und die umgebenden landwirtschaftlich genutzten Flächen mit einer Größe von etwa 20 ha wurden vermessen und ein Koordinatensystem für die Referenzierung aller nachfolgenden Forschungsaktivitäten angelegt. Die Vermessung machte deutlich, dass sich im Bereich der heutigen Gebäude eine leichte Erhebung befindet, die in vorspanischer Zeit zur Anlage von Siedlungen in der von Hochwasser gefährdeten Talaue genutzt wurde und auch heute noch als Wohnplatz dient. Die tiefer liegenden Bereiche sind durch moderne Planierungen überformt worden und weisen ein leichtes Gefälle in Richtung Südwesten auf. Im Rahmen des BMBF-Projektverbundes wurden auf dem Gebiet von Jauranga Prospektionen mit verschiedenen geophysikalischen Methoden vorgenommen (Magnetometrie und Geoelektrik, vgl. Teil C – Kap. 1.4).

Umfangreichere Flächengrabungen fanden im zentralen Bereich von Jauranga statt, wo wahrscheinlich einmal das Zentrum der Paracas-Siedlung lag. Die Grabungseinheiten der Kam-

pagne 2003, in der die meisten Proben für die <sup>14</sup>C-Datierungen dieses Fundkomplexes geborgen wurden, erschlossen insgesamt eine Fläche von rund 350 m<sup>2</sup>.

### **Ausgrabungen in den Einheiten 1 und 4**

In der Grabungskampagne 2003 wurde zunächst die bereits in der Testgrabung erschlossene Fläche auf 10 m x 10 m erweitert (Grabungseinheit 1). Zu einem späteren Zeitpunkt wurde diese Fläche noch einmal um 10 m x 5 m nach Osten erweitert (Grabungseinheit 4). In diesen Einheiten fanden sich mehrere Gebäude aus unterschiedlichen Siedlungsschichten. Die erste nicht mehr anthropogen beeinflusste Bodenschicht lag in 3,5 m Tiefe. Sie besaß eine regelmäßige, kompakte Oberfläche. Darauf fanden sich Reste von Asche, viele Brandstellen und mehrere Herdstellen unterschiedlicher Größe. Die Keramik dieser Nutzungsschicht ließ sich den Stilphasen Ocucaje 5 bis 6 (Tab. 5) zuordnen. In einer nachfolgenden Phase wurde diese Siedlungsschicht durch eine starke Füllschicht bedeckt, wahrscheinlich um das Gelände für eine spätere Nutzung zu planieren. Die Spuren dieser späteren Nutzung sind jedoch durch die nachfolgende Bebauung zerstört worden. Die zugehörige Keramik lässt sich ebenfalls den Stilphasen Ocucaje 5 bis 6 (Tab. 5) zuordnen.

Über einer weiteren Auffüllung lag ein nächster Laufhorizont. Auf diesem fanden sich einige wenige Mauerreste, die die bisher ältesten dokumentierten Gebäudereste in Jauranga darstellen. Die vergesellschaftete Keramik gehört der Phase Ocucaje 7 an.

Nachfolgend wurde abermals eine starke Füllschicht aufgetragen, die die vorausgehende Siedlungsschicht vollständig überdeckte. Auf dem Nutzungshorizont befanden sich mehrere große Herdstellen, die offenbar nur kurzfristig genutzt wurden. Die zugehörige Keramik ist der Phase Ocucaje 8, einige Scherben jedoch noch der Phase Ocucaje 7 zuzuordnen (Tab. 5).

Es folgte eine Siedlungsschicht mit mehreren baulichen Einheiten, die mehrfach umgebaut wurden. Diese Siedlungsphase, die durch Keramik der Phase Ocucaje 8 charakterisiert ist, kann als die längste und stabilste Siedlungsphase am Fundort angesehen werden. Die Mauern der rechteckigen Gebäude wurden mehrfach umgebaut und erweitert. Die Befunde deuten auf eine häusliche Nutzung hin. Eine Gebäudeeinheit unterschied sich allerdings von den anderen durch ihren sehr sauberen Boden. Wahrscheinlich wurde dieser Raum für besondere, möglicherweise rituelle Zwecke genutzt. Eine Bestattung mit Keramik der Stilphase Ocucaje 8 ließ sich eindeutig diesem Gebäude zuordnen.

Über diese Siedlungsschicht wurde wieder eine Füllschicht aufgebracht, die alle vorangehenden Nutzungsspuren überdeckte. Darüber wurde ein Stampflehmboden angelegt, auf dem acht rechteckige Plattformen errichtet wurden. Die Erbauung dieser Plattformen datiert in die Stilphase Ocucaje 8, sie wurden jedoch in der Phase Ocucaje 9 weiter oder wieder benutzt. Leider waren die Oberflächen der Plattformen in den meisten Fällen durch die moderne landwirtschaftliche Nutzung des Geländes stark gestört. In die zugehörigen Böden waren 15 Bestattungen mit Beigaben der Phasen Ocucaje 8 und Ocucaje 9 eingetieft. Anschliessend wurde der Fundort verlassen. Erst in der Phase Nasca 5 wurde der Ort wieder als Bestattungsort genutzt. Allerdings wurde in den Einheiten 1 und 4 nur eine Nasca-Bestattung gefunden.

Proben	Kontext	Schicht	Siedlungsphase	Bauphase	Angenommene Zeitstellung
Schichten S, A (ohne Proben)					
	Grab 9	B	VI	IX	Ocucaje 8/9
#289	Feuerstelle 1	C		VIII	
#290-291	Feuerstelle 2	D (E)	V	VII	Ocucaje 8
#335	Material aus Schicht F	F	IV	VI	
#292, 293, 294	Feuerstellen 3, 4; Mauer 4	G (H)			
-	-	I-K	III	V	
	Mauer 20	L	II	IV	
#296, 336	Feuerstellen 5, 6; Gefäß; Feuerstelle 28; Schicht K	(M) N		III	Ocucaje 7/8
#338	Mauern 25, 27 Grab 18	O (P)		II	Ocucaje 6/7
#297	Material aus Schicht Q	Q	I	I	Ocucaje 5/6

**Tab. 5:** Schematische Übersicht über die Stratigraphie der Einheiten 1 und 4 von Jauranga und der daraus datierten <sup>14</sup>C-Proben (Zusammenstellung: A. Wetter; Modifizierung: I. Unkel).

## Ausgrabungen in Einheit 2

Bei den Ausgrabungen in der Einheit 2 wurde in einem Schnitt von 10 m x 10 m eine Abfolge von Siedlungsschichten mit mehreren, sich überlagernden Gebäuden festgestellt. Als erster Nutzungshorizont ließ sich unmittelbar auf dem natürlichen Boden eine Stampflehmschicht identifizieren. Diese stand in Verbindung mit niedrigen Mauern, die große, rechteckige Räume umschlossen. Mehrere Gruben waren von hier in den anstehenden Boden eingetieft. Darin fanden sich die frühesten am Ort dokumentierten Gräber. Die Keramik dieser Siedlungsschicht ist der Stilphase Ocucaje 7 zuzuordnen (Tab. 6). Möglicherweise sind auch die Phasen Ocucaje 5 bis 6 vertreten, dies muss jedoch erst durch eine noch ausstehende genauere Analyse der Keramik bestätigt werden.

Eine dicke Füllschicht bedeckte die zuvor genannten Mauern unmittelbar oberhalb der Mauerkronen. Darauf lag ein weiterer, relativ ebener Nutzungshorizont mit mehreren Gruben und Herdstellen. Die zugehörige Keramik ist der Stilphase Ocucaje 7 zuzuordnen, es treten aber auch schon einige Fragmente mit Merkmalen von Ocucaje 8 auf (Tab. 6).

Diese Nutzungsphase wurde überlagert von einer weiteren Siedlungsschicht mit drei Stampflehmböden, die an mehrfach modifizierte Lehm-mauern anzogen. Die Keramik dieser Nutzungszeit ist der Phase Ocucaje 8 zuzuordnen. Mehrere kleine Räume wurden hier offenbar über längere Zeit genutzt.

Im Westteil der Einheit fand sich eine Grabanlage mit vier Kammern. In jeder Kammer waren mehrere Individuen mit zahlreichen Grabbeigaben bestattet. Aus der großen Menge und der Einheitlichkeit des Fundmaterials ist zu schließen, dass in dieser Zeit die intensivste Nutzung des Ortes stattgefunden hat.

Die letzte Siedlungsschicht ist durch einen weiteren Nutzungshorizont charakterisiert, der in Verbindung mit den Mauern im Nordwesten der Einheit steht. Nach der Keramik zu urteilen, wurden die in der Phase Ocucaje 8 errichteten Gebäude eine kurze Zeit lang in der Phase



Ocucaje 9 weiter genutzt. Dieser Bereich wurde nicht durch spätere Gräber gestört. Ein Teil des Ortes diente also in den Phasen Ocucaje 8 und 9 als Friedhof, während andere Bereiche zu Wohnzwecken genutzt wurden. Anschließend wurde der Siedlungsplatz aufgelassen. Offenbar wurde der Ort mehrfach vom nahen Fluss überflutet, da die archäologischen Funde von einer dicken lehmigen bis feinsandigen Sedimentschicht abgedeckt werden. In diese Schicht wurden viel später Bestattungen der Phase Nasca 5 eingebracht. Dadurch wurden die darunter liegenden Kulturschichten in unterschiedlicher Tiefe gestört.

Proben	Kontext	Schicht	Bauphase	Angenommene Zeitstellung
Schichten S, A-B (ohne Proben)				
	nachträglich eingeteufte Gräber 61-62	C3	V	Ocucaje 9
#309	Material aus Schicht E	(D) E	IV	Ocucaje 8/9
#310-313	Gräber 64, 66, 67	F	III	Ocucaje 8
#314-315	Feuerstellen 9, 11	G		
#316	Feuerstelle 12	E*		
-	-	H	-	-
#317-324	Feuerstellen 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21; Gefäß	I	II	Ocucaje 7/8
	Mauer 39	-		
#325-327	Feuerstellen 22, 23, 24	J/K	I	Ocucaje 6/7
	Mauer 40	-		

**Tab. 6:** Schematische Übersicht über die Stratigraphie der Einheit 2 von Jauranga und der daraus datierten  $^{14}\text{C}$ -Proben (Zusammenstellung: A. Wetter; Modifizierung: I. Unkel) - E\* ist nicht identisch mit E, die Unterscheidung erfolgte aufgrund der getrennten Grabung in verschiedenen Architektureinheiten.

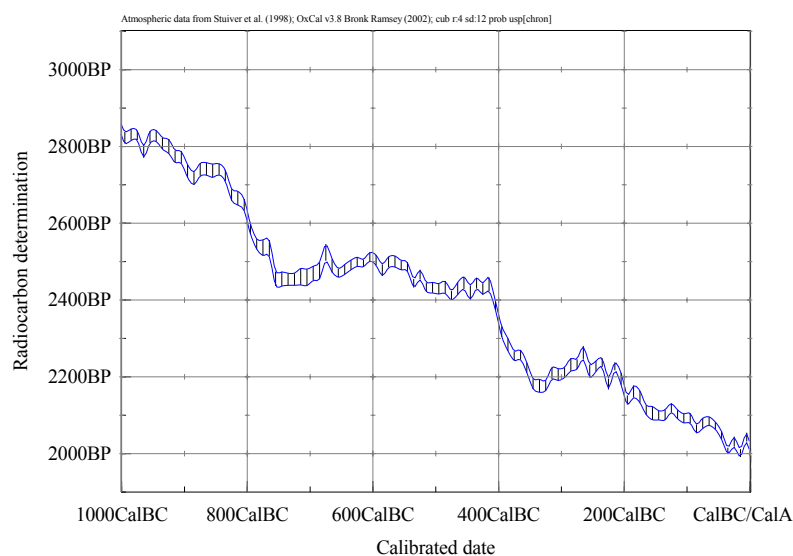
### Zeitstellung von Jauranga auf Basis der $^{14}\text{C}$ -Daten:

Die  $^{14}\text{C}$ -Datierung von Material der mittleren und späten Paracas-Zeit (Ocucaje 5-9, Tab. 10), aus der die voranstehend beschriebenen Proben stammen, gestaltet sich schwieriger als bei organischem Material aus den anderen vorspanischen Zeitphasen. Der Grund liegt in einem sogenannten Plateau der  $^{14}\text{C}$ -Kalibrationskurve (IntCal98, Stuiver et al., 1998) zwischen 800 und 400 BC (Fig. 38, zur Erläuterung siehe Teil A - Kap. 2), Ohne zusätzlich bekannte archäologische Informationen zum Kontext der einzelnen Proben, die eine zeitliche Eingrenzung ermöglichen, oder eine bekannte stratigraphische Abfolge der Proben, die möglichst noch über einen der Plateauränder reicht, ist eine Einzeldatierung genauer als in einem Zeitbereich von 400 Jahren nicht möglich. Die in Fig. 39 dargestellten Kalibrationsdiagramme der einzelnen Proben von Jauranga zeigen deutlich diese Problematik.

Hiervon zu unterscheiden ist die Berechnung der Dauer einer archäologisch Phase aus Einzeldaten, die diese Phase definieren. Aufgrund des archäologischen Kontextes werden 11  $^{14}\text{C}$ -Proben der mittleren Paracas-Zeit und 24 Proben der späten Paracas-Zeit zugeordnet. Eine Berechnung und zeitliche Eingrenzung der beiden Phasen ist im Zusammenhang mit den Proben der Initial-Zeit (Pernil Alto) und der Initial-Nasca-Zeit (Estaquería) möglich (siehe Kap. 3.2).

Die phasenweise zusammengestellten Kalibrationsdiagramme in Fig. 39 verleiten dazu, die Proben Nr. 326 und 341 pauschal der späten Paracas-Zeit zuzuweisen und umgekehrt die Proben Nr. 312, 323 und 324 der mittleren Paracas-Zeit. Dieser Eindruck entsteht durch deren „Randlage“ am Plateau der Kalibrationskurve (Fig. 38) und den daraus resultierenden  $1\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereichen der Einzelproben nach der Kalibration. Aus der mit allen Proben der Paracas- und Nasca-Zeit berechneten numerischen Chronologie (Kap. 3.2) ergibt sich ein Übergangsbereich von der mittleren in die späten Paracas-Zeit zwischen 400 und 350 cal BC. Infolge dessen wäre lediglich eine Zuordnung der Proben Nr. 323 und 326 in die jeweilige andere Phase zu erwägen aber nicht zwingend notwendig (Das Problem bei beiden Proben ist, dass sie aus einer Übergangsphase, Ocucaje 6-8, stammen – Reindel, pers. Mitt.; siehe auch Kommentar zu den Proben im Anhang). Aufgrund der Chronologieberechnung müßte auch Probe Nr. 290 eher der Phase Initial-Nasca zugeschrieben werden, obwohl dies aus Fig. 39 nicht augenscheinlich ist.

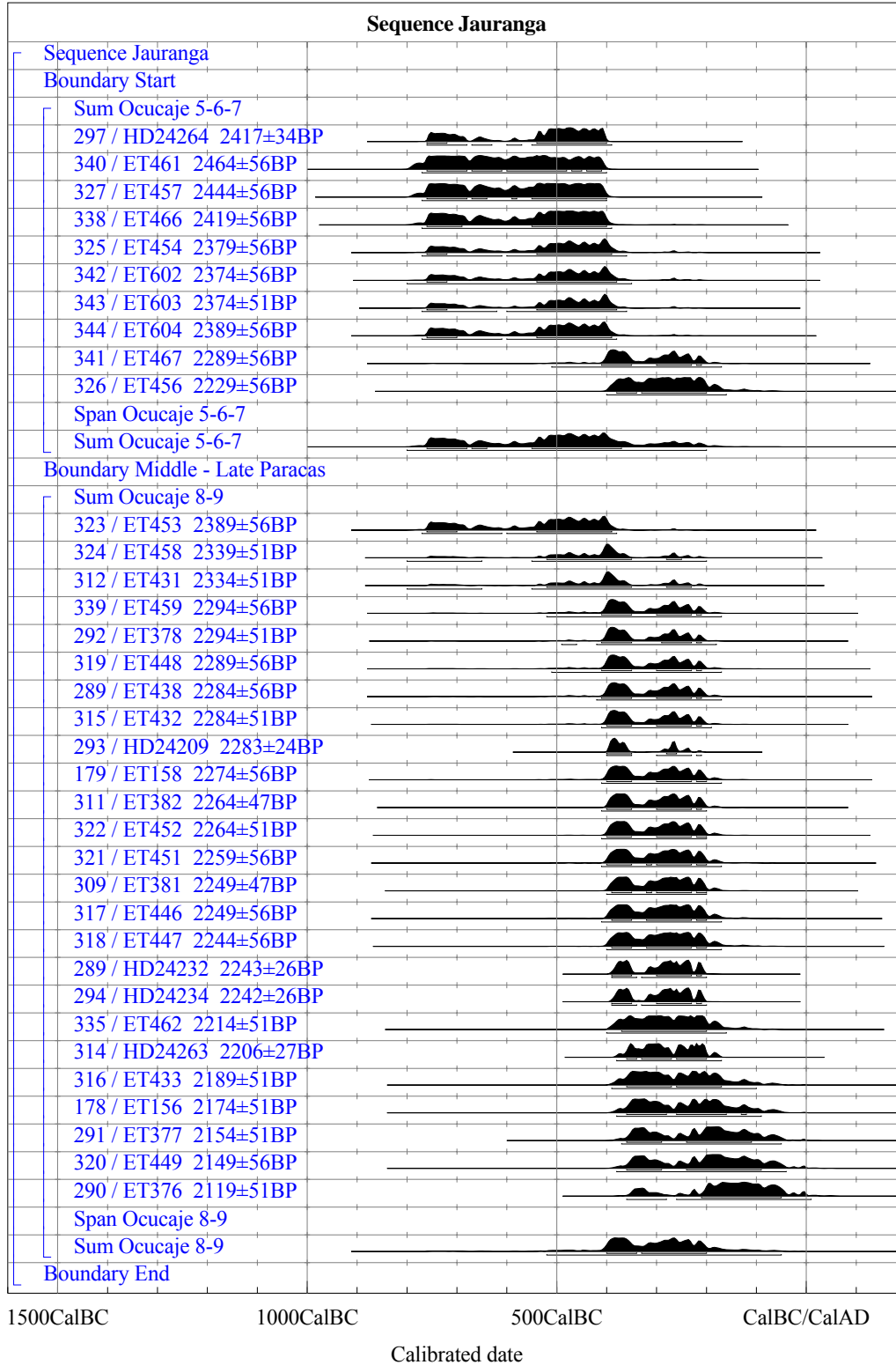
Proben von einer Phase einer anderen Phase zuzuweisen ist grundsätzlich nur in Abstimmung zwischen Archäologie und Chronometrie unter Berücksichtigung aller möglichen Einflussfaktoren (z.B. Reservoireffekte, Umlagerung, Fehler in der relativen und der numerischen Datierung) sinnvoll.



**Fig. 38:** Die  $^{14}\text{C}$ -Kalibrationskurve IntCal98 (Stuiver et al., 1998) im Zeitfenster zwischen 1000 BC und 0 BC/AD (erstellt mit OxCal 3.8).

The  $^{14}\text{C}$  calibration curve IntCal98 (Stuiver et al., 1998) in the time window between 1000 BC and 0 BC/AD (displayed with OxCal 3.8).

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



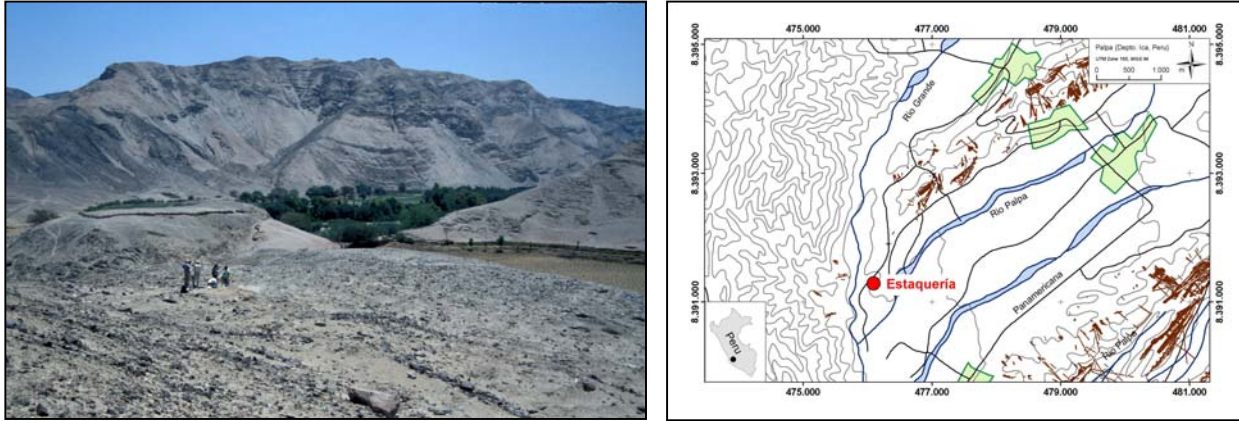
**Fig. 39:** Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Daten der Proben aus Jauranga (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated <sup>14</sup>C data of the samples from Jauranga (reservoir correction already included).

### 1.3 Estaqueria (Initial-Nasca)

PAP-73 / PV66-52

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Siedlungsortes bezieht sich im Wesentlichen auf den unveröffentlichten Bericht über die Grabungsaktivität an die INAH von Reindel (1998).



**Fig. 40:** (links) Der Siedlungsplatz von Estaqueria im September 2004 mit Blick nach NW in das Rio Grande Tal. (rechts) Lage von Estaqueria zwischen Rio Grande und Rio Palpa, etwa 5 km WSW von Palpa.

(left) The settlement of Estaqueria in September 2004, view to the NW into the Rio Grande valley. (right) Location of Estaqueria between Rio Grande and Rio Palpa, about 5 km WSW of Palpa.

Der Fundort Estaqueria liegt in der Talaue des unteren Palpa-Tals in der Nähe des Zusammenflusses von Rio Grande und Rio Palpa auf einer Anhöhe, die sich zwischen den landwirtschaftlichen Nutzflächen erhebt. Der obere Teil der Anhöhe ist durch einen scharf abfallenden Grat gekennzeichnet, wohingegen der untere Hang in leichter Neigung nach NNE ins Tal übergeht (UTM 476.217 E und 8.391.271 N, Sektor 18 S). Es handelt sich dabei wohlgerne nicht um das bei Silverman und Proulx (2002) erwähnte Estaqueria nahe Cahuachi.

Der Fundort ist relativ groß und umfasst eine Fläche von 4 ha, seine Besiedlung reicht von der späten Paracas-Zeit (Ocucaje 8) bis in die Späte Zwischenperiode. Die größte und wichtigste Siedlungsphase gehört in die Initial-Nasca-Zeit (150-0 v. Chr.). In späterer Zeit wurde der Fundort vor allen Dingen als Begräbnisplatz genutzt, was zu einer starken Zerstörung der Oberfläche durch neuzeitliche Raubgrabungen geführt hat. Der Fundort gliedert sich in fünf Sektoren (A-E). Im Sektor D, der sich in der Mitte des westlichen Bereiches befindet, ließen sich Reste mehrerer Umfassungsmauern und Plattformen von rechteckigem Grundriss identifizieren sowie eine Reihe von gestuften Terrassen.

In Sektor D wurde 1998 eine Testgrabung (Unidad 1) durchgeführt, um die Hauptbesiedlung des Fundortes zu dokumentieren und Aufschluss über eventuelle weitere Siedlungsaktivitäten zu erhalten. Die Grabung wurde an der Nordostecke einer der identifizierten Plattformen angelegt und umfasste eine Fläche von 2 m x 2 m. Dabei wurde eine kontinuierliche Abfolge

von Siedlungsbefunden erfasst, anhand derer sich eine Hauptsiedlungsaktivität in Estaquería während der Initial-Nasca-Zeit belegen lässt. Die Befunde weisen darauf hin, dass Estaquería zu den größten Siedlungen dieser Zeit gehört haben muss. Auch aufgrund seiner Lage nahe des Zusammenflusses von Rio Grande und Rio Palpa sowie der unmittelbaren Nähe zu den landwirtschaftlichen Nutzflächen des Talbereichs dürfte es von besonderer Bedeutung gewesen sein. Alle bislang ergrabenen Befunde gehören zum Wohnbereich. Ob es möglicherweise auch größere öffentliche Architektur in Estaquería gegeben hat, ist auf Grund der bisher begrenzten Grabungen vorerst nicht feststellbar. Seit 1998 wurden keine weiteren Grabungen mehr an dieser Lokalität durchgeführt.

**Diccionario Español-Alemán /  
Wörterbuch Spanisch-Deutsch:**

<i>Unidad</i>	- Einheit
<i>Quincha</i>	- Flechtwerk mit Lehmbewurf
<i>Muro</i>	- Mauer

### Die Stratigraphie der Unidad 1

Die älteste Befundschicht der Unidad 1 in Estaquería ist gekennzeichnet durch die Anlage einer Plattform, die in ihrer Nordostecke erfasst werden konnte (Mauern 1 und 2). Es handelt sich um doppelseitige Bruchsteinmauern mit Lehmörtel von 30 cm Breite und einer erhaltenen Höhe von 30-50 cm. Diese Charakteristika treffen auf die meisten Mauern in diesem Sektor zu. In Zusammenhang mit den Mauern 1 und 2 stand ein kompakter und sorgfältig angelegter Stampflehboden (Boden 3), der von einer Ablaufrinne durchzogen wurde. In dieser mit Erde und organischem Material verfüllten Ablaufrinne fanden sich Reste von drei Pfosten, die offenbar zu einer *Quincha*-Wand gehörten, die zur Abgrenzung einzelner Wohnbereiche in dieser ersten Siedlungsphase gedient haben dürfte (Fig. 41). Aus jedem der drei Pfosten wurde eine Holzprobe zur <sup>14</sup>C-Datierung genommen (Proben #383-385).

#### PROBENMATERIAL:

Probe #383 (Kontext: U 1, Schicht I, Boden 3, Pfosten 1).

Probe #384 (Kontext: U 1, Schicht I, Boden 3, Pfosten 2).

Probe #385 (Kontext: U 1, Schicht I, Boden 3, Pfosten 3).

Zu einem späteren Zeitpunkt wurden Boden 3 und die Reste der *Quincha*-Wand mit einer 10-15 cm mächtigen Füllschicht aus Sediment - vermengt mit Holzkohle, Steinen und Pflanzenresten - bedeckt (Schichten F und H), über der man eine weitere Mauer (Mauer 3) errichtete. Bei Mauer 3 handelt es sich im Gegensatz zu den übrigen Mauern des Fundortes um eine einfache Steinmauer von 20 cm Breite und einer erhaltenen Höhe von 30 cm.

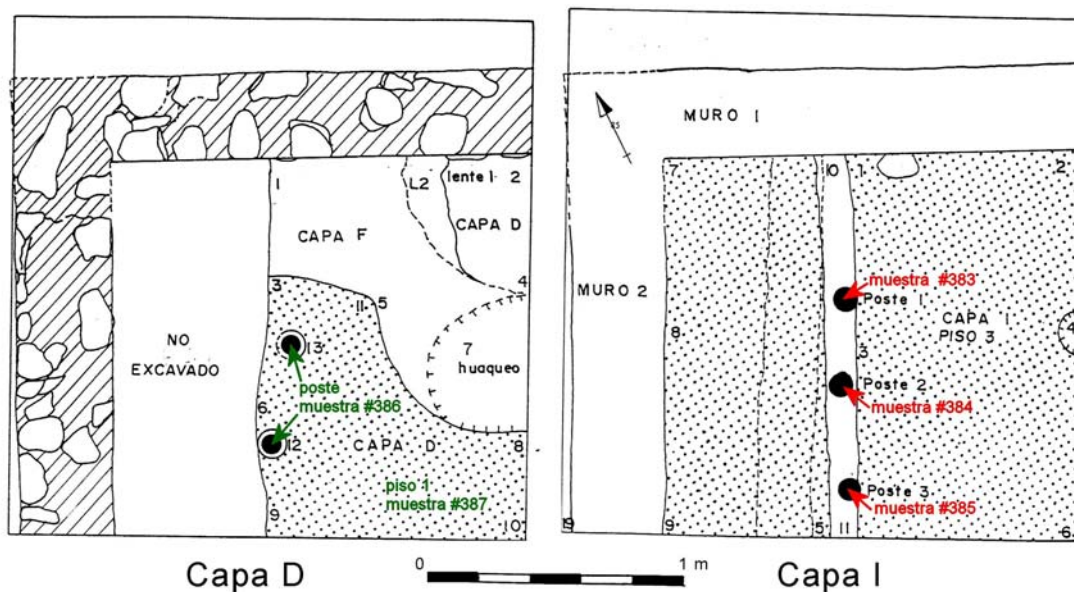
Über dieser Schicht legte man einen weiteren, sehr harten und kompakten Stampflehboden mit einem Unterbau aus Sediment vermengt mit Asche, Steinen und Pflanzenresten an (Boden 2, Schicht E). In Zusammenhang mit diesem und einem darüber angelegten dritten Boden (Boden 1, Schicht D) fanden sich zwei kleinere Pfosten, an denen eine <sup>14</sup>C-Probe (Probe #386) entnommen wurde. Zusätzlich wurde eine Holzkohleprobe aus Boden 1 genommen.

PROBENMATERIAL:

Probe #386 (Kontext: U 1, Schicht D, Boden 1, Pfosten).

Probe #387 (Kontext: U 1, Schicht D, Boden 1).

Darüber folgen nach und nach eine Schicht aus Stampflehm (Schicht C), eine Schicht aus Sediment mit feinen Pflanzenresten und Koprolithen (Schicht B) sowie eine weitere feine Schicht aus dunkelbraunem Boden, in der sich Reste einer Feuerstelle mit zahlreichen Holzkohleresten und Koprolithen fanden (Schicht A). Die Stratigraphie endet mit der rezenten Oberfläche (Schicht S).

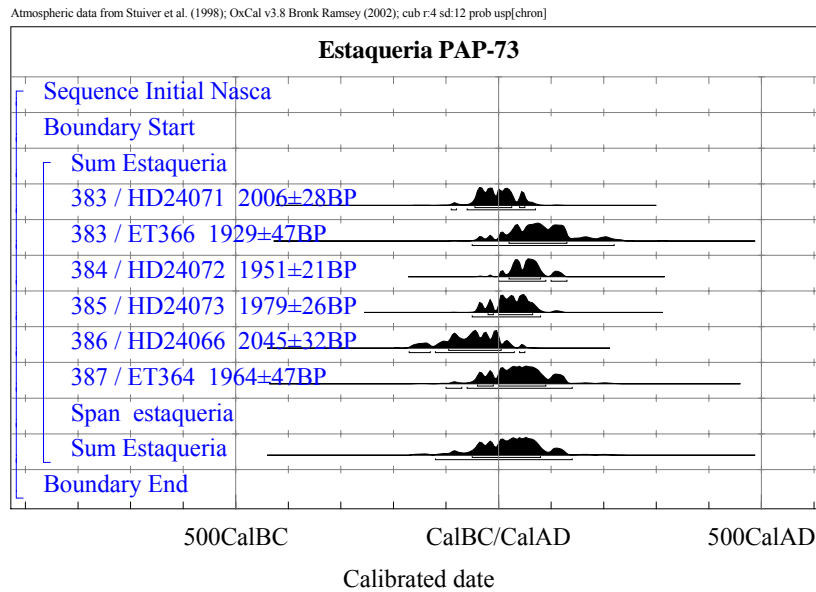


**Fig. 41:** Grabungsskizzen von Estaquería mit den Befunden der Schichten D und I (Grafik aus Reindel 1998, Modifikation: A. Wetter).

Excavation sketches of Estaquería with the findings from layers D and I (Graphic from Reindel 1998, modification: A. Wetter).

### Zeitstellung von Estaquería auf Basis der <sup>14</sup>C-Daten:

Die zur <sup>14</sup>C-Datierung verwendeten 5 Proben aus der Grabungseinheit 1 bestätigen das aufgrund der archäologischen Befunde erwartete Initial-Nasca-zeitliche Alter der Siedlung und ergeben in der Summe eine Zeitspanne für den Siedlungsbefund von 50 cal BC bis 80 cal AD (1σ) (Fig. 42). Sie stellen die bisher einzigen <sup>14</sup>C-Daten aus der Initial-Nasca-Zeit im Raum Palpa dar. Eine zeitliche Differenzierung der Proben ist im Rahmen der 1σ-Fehlergrenzen nicht möglich. Zur umfassenden Beschreibung der Siedlungsgeschichte von Estaquería und für eine breitangelegte Festlegung der Zeitstufe am Übergang zwischen Paracas- und Nasca-Kultur sind weitere Datierungen nötig und wünschenswert.



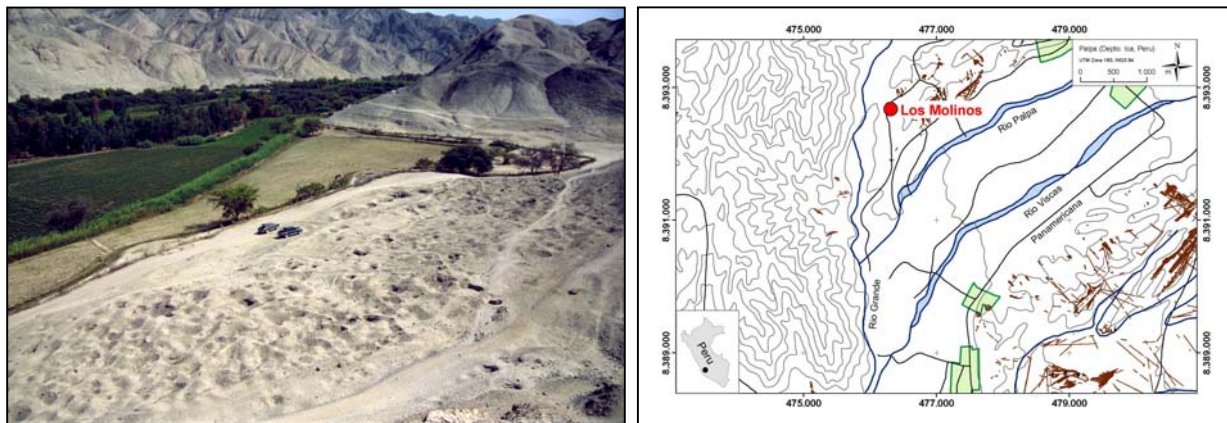
**Fig. 42:** Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Daten der Proben aus Estaqueria (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated <sup>14</sup>C data of the samples from Estaqueria (reservoir correction already included).

### 1.4 Los Molinos (Früh-Nasca)

**PAP-93 / PV66-63**

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Siedlungsortes bezieht sich, soweit nicht anders vermerkt, auf Reindel und Isla Cuadrado (2000).

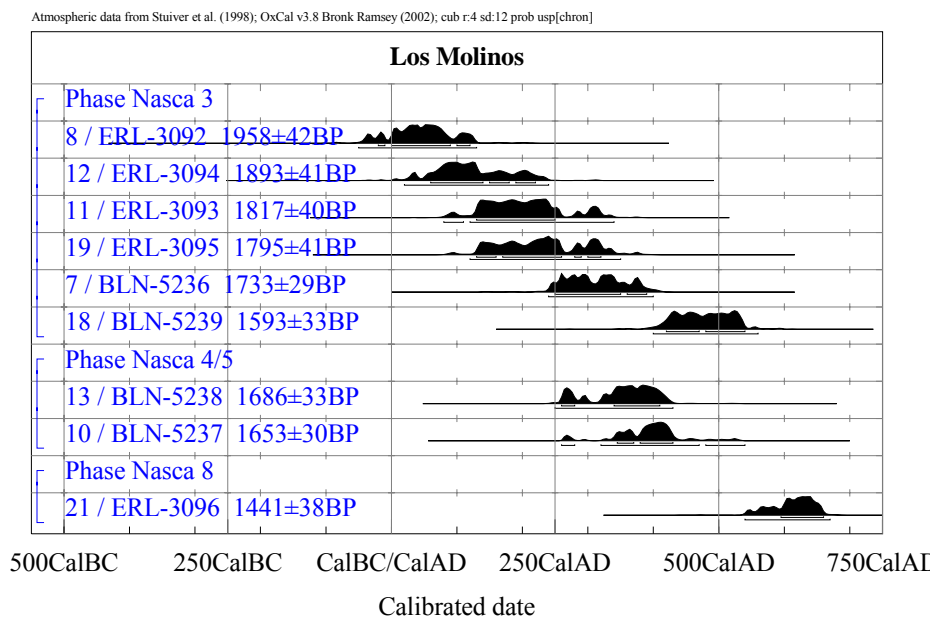


**Fig. 43:** (links) Der von Grabräubern verwüstete Siedlungsplatz von Los Molinos im Rio Grande Tal im September 2003. (rechts) Lage von Los Molinos am Rio Grande, etwa 5 km W von Palpa.

(left) The settlement place of Los Molinos in the Rio Grande valley ravaged by looters. View in September 2003. (right) Location of Los Molinos at the Rio Grande, about 5 km W of Palpa.

Der Fundort Los Molinos liegt im unteren Talbereich des Rio Grande, nördlich des Zusammenflusses mit dem Rio Palpa und dem Rio Viscas (Fig. 43). In der Feldkampagne im Jahr 1998 waren dort Ausgrabungen begonnen worden, nachdem sich während einer Siedlungs-

studie zuvor Anhaltspunkte dafür ergeben hatten, dass es sich bei Los Molinos um einen Fundort mit zentraler Bedeutung für die Palpa-Region handeln musste. In der Tat konnten während der Flächengrabungen in zwei Bereichen des Fundortes Teile einer offensichtlich geplanten Anlage mit Monumentalarchitektur freigelegt werden. Im zentralen Bereich von Los Molinos wurde ein rampenartig ansteigender Korridor ausgegraben, durch den im Norden und Süden große Höfe und Räume erschlossen wurden, die sich auf mehreren Terrassen den Hang emporzogen. Im nördlichen Bereich des Fundortes wurde ein Teil eines ähnlichen Korridors ausgegraben, der auf eine Plattform führte. Die freigelegten Räume und Höfe waren unerwartet groß. Trotz der Anlage großer Grabungsflächen konnte zunächst keiner der Räume dieses Bereiches vollständig freigelegt werden. In späteren Grabungskampagnen wurde daher die Ausgrabung im zentralen Bereich von Los Molinos sowohl nördlich als auch südlich der 1998 ergrabenen Bereiche fortgesetzt. Im nördlichen Bereich von Los Molinos wurde an der angegrabenen Plattform nach Osten hin weitergearbeitet. Dabei kam eine große Terrassenanlage zutage. Im Süden des Fundortes Los Molinos, im Bereich des heutigen Weilers gleichen Namens, befindet sich eine große Freifläche, die einmal als Gräberfeld gedient hatte. Auf zwei dort angelegten Grabungsflächen konnten zahlreiche Gräber dokumentiert werden.



**Fig. 44:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten zu Los Molinos von Görzdorf und Reindel (2002). Die Zuordnung der Proben zu den entsprechenden Stilphasen wurde von den Autoren vorgenommen. Die dargestellten  $^{14}\text{C}$ -Alter beinhalten bereits eine Südhemisphärenkorrektur von  $41 \pm 14$  Jahren gemäß McCormac et al. (2002).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data for Los Molinos according to Görzdorf and Reindel (2002). The authors performed the attribution of the samples to the style phases. The depicted  $^{14}\text{C}$ -ages already include a southern hemisphere correction of  $41 \pm 14$  years with respect to McCormac et al. (2002).



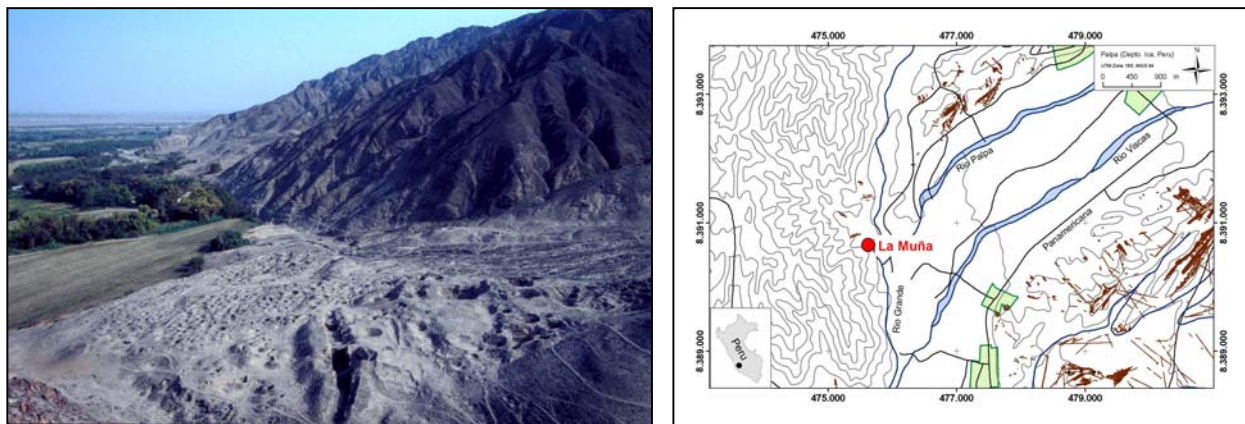
Aus den voranstehend beschriebenen Grabungen wurden neun  $^{14}\text{C}$ -Proben in den Radiokohlenstofflabors von Berlin und Erlangen datiert und von Görsdorf und Reindel (2002) publiziert. Sie nutzen diese Daten zusammen mit vier Proben aus La Muña als ersten Ansatz für eine  $^{14}\text{C}$ -basierte zeitliche Verankerung der Nasca-Stilphasen 3 und 4/5. Dabei gehen sie jedoch von einer Südhemisphären-Korrektur von  $24 \pm 3$   $^{14}\text{C}$ -Jahren aus, basierend auf Stuiver et al. (1998), und nicht von  $41 \pm 14$   $^{14}\text{C}$ -Jahren gemäß McCormac et al. (2002) wie in vorliegender Arbeit angenommen (vgl. Teil A – Kap. 2). Ferner unterscheidet sich ihr Ansatz zur statistischen Kombination der Einzelproben für die Berechnung einer gemeinsamen Stilphase geringfügig von dem in dieser Arbeit gewählten, worauf bei der Erläuterung der Chronologie in Kap. 3.2 näher eingegangen wird.

In Fig. 44 sind daher nur die Einzeldaten aus Los Molinos von Görsdorf und Reidel (2002) zusammengefasst. Die dargestellten Angaben der  $^{14}\text{C}$ -Alter der Proben verstehen sich bereits abzüglich der Südhemisphärenkorrektur von  $41 \pm 14$  Jahren wie in allen vergleichbaren Schaubildern in vorliegender Arbeit.

## 1.5 La Muña (Spät-Nasca)

PAP-79 / PV66-49

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Siedlungsortes bezieht sich, soweit nicht anders vermerkt, auf Reindel und Isla Cuadrado (2000).



**Fig. 45:** (links) Der ebenfalls von Grabräubern verwüstete Siedlungsplatz von La Muña im September 2004. Links im Bild die Felder in der Flussoase des Rio Grande Tals. (rechts) Lage von La Muña am Rio Grande, etwa 5 km W von Palpa.

(left) The settlement place of Los Molinos in the Rio Grande valley, also ravaged by looters. View in September 2004. On the left side of the photo the fields in the river oasis of the Rio Grande valley. (right) Location of La Muña at the Rio Grande, about 5 km W of Palpa.

Der Fundort La Muña liegt am rechten Talrand des Rio Grande, etwa 2 km südwestlich von Los Molinos, in unmittelbarer Nähe des Zusammenflusses mit dem Rio Palpa und dem Rio Viscas (Fig. 45, UTM 475.677 E und 8.390.751 N, Sektor 18 S). Von La Muña aus lässt sich die gesamte Talaue überblicken, welche durch den Zusammenfluss der drei Flüsse gebildet

wird und die einmal eines der größten Anbaugelände des Nasca-Gebietes in vorspanischer Zeit darstellte.

Nach den bisherigen Erkenntnissen der archäologischen Forschungen des BMBF-Projektes wurde das Verwaltungszentrum der Region Palpa zu Beginn der Mittleren Nasca-Zeit an diese Stelle verlegt. Die Gebäude von La Muña ziehen sich über mehrere hundert Meter am Talhang des Rio Grande entlang. Die Ausgrabungen haben sich jedoch bisher auf die Nekropole des Ortes konzentriert. Dort konnten interessante Großgräber mit umfangreicher Grabarchitektur dokumentiert werden. Die Nekropole erstreckt sich über den Talboden und die Hänge eines großen Trockentales, in dem auch in unmittelbarer Nähe zu den Grabanlagen Bodenzeichnungen und Terrassenanlagen zu finden sind. Im zentralen Teil der Nekropole befindet sich ein mit langen Lehmziegelmauern abgegrenzter, terrassierter Bezirk mit monumentalen Grabanlagen. In einer ersten Grabungskampagne wurden zunächst die Gebäudereste von zwei Grabanlagen freigelegt. Später wurden dann diese Gräber sowie eine weitere, noch größere Anlage vollständig ausgegraben.

Der Südteil der Nekropole wird durch einen breiten Schlammstrom durchschnitten, der offensichtlich einen Teil der Grabanlagen und anderer Gebäude zerstörte. Zur geomorphologischen und klimageschichtlichen Interpretation dieser durch größere Niederschlagsmengen verursachten Massenbewegung sei auf Kap. 2.2 im Teil C dieser Arbeit verwiesen.

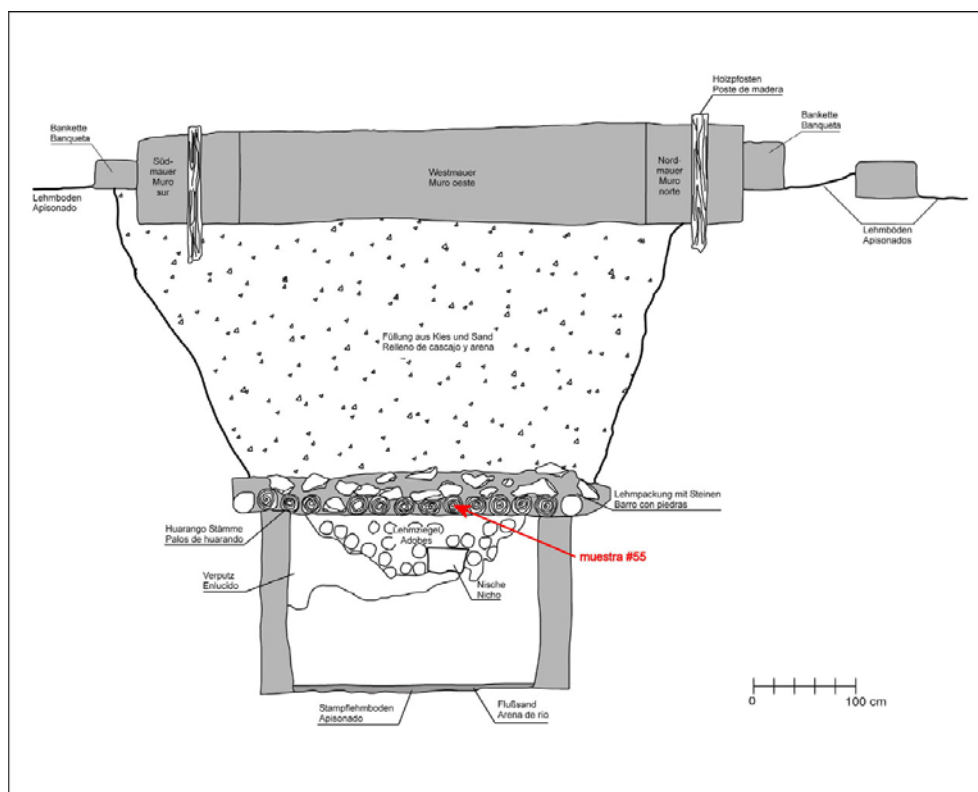
### **Ausgrabungen in der Grabplattform**

Die Ausgrabungen in einer der Grabanlagen der Nekropole (Grab 3) von La Muña umfassten eine Fläche von 150 m<sup>2</sup>. Gebäudereste fanden sich auf einer ausgedehnten Plattform nahe dem unteren Ende des terrassierten Hanges, auf dem sich die Nekropole erstreckt. Unmittelbar unter den Sand- und Geröllschichten, die heute die Geländeoberfläche bilden, erschienen die Mauerkrone von Gebäuden, die einen Grabschacht umgaben. Aufgrund der mit den Gebäuderesten assoziierten Keramikscherben werden die Gebäude der Phase Nasca 5 zugeordnet. Unter dieser Anlage fanden sich jedoch auch Schichten früherer Nutzungen und Bauphasen, die aufgrund von Scherben bis in die Phase Nasca 3 zurückverfolgt werden können.

Die Anlage besaß eine rechteckige Umfassungsmauer, die an die schon bestehende Architektur angepasst war. Der Zugang zu der Grabanlage beschränkte sich auf eine einzige Öffnung auf der Südwestseite der Umfassungsmauer. Im Inneren dieser Umfassung befand sich der 5,5 m tiefe und 4,5 m breite Grabschacht. Am Grund dieses Schachtes wurde die Grabkammer mit Lehmziegelmauern ausgekleidet, die direkt gegen das anstehende Material gesetzt wurden. So entstand ein fast quadratischer Raum von 2,10 m x 2,50 m Seitenlänge und einer Höhe von 1,80 m. Die Kammer wurde mit einem Dach aus zwölf dicken Baumstämmen des Huarango-Baumes abgedeckt, die in West-Ost Richtung nebeneinander auf die Mauerkrone der Kammer gelegt wurden (Fig. 46). Einem dieser Huarango-Stämme wurden zwei <sup>14</sup>C-Proben entnommen, die zusammen das Grab auf die Zeit zwischen 260 und 430 cal AD datieren (Fig. 47). Die Probe, die aus dem äußeren Bereich des Stammes genommen wurde (HD-23213) und somit näher am Fälldatum des Baumes liegt, schränkt den Altersbereich

etwa auf 355 bis 430 cal AD ein. Die Kammer wurde offenbar nicht verfüllt, dafür jedoch der Schachtbereich über den Stämmen, wodurch das Dach der Grabkammer schon kurz nach der Verfüllung des Schachtes einstürzte. Den oberirdischen Abschluss bildeten eine Plattform und ein kleiner Vorhof. Nach dem Bau des Grabes wurden die Gebäude sowohl außerhalb als auch innerhalb der Grabanlage weitergenutzt. Der fast saubere und wenig kompakte Sand im Inneren der Grabanlage zeigt, dass dort nur wenige Aktivitäten stattfanden und der Raum wohl nur von wenigen Personen betreten wurde. Die einzigen Nutzungsspuren sind zwei Gefäße, die auf dem Sandboden im Vorhof des Grabes lagen. Die Gefäße sind in die Phase Nasca 6 zu datieren und wurden wahrscheinlich im Zusammenhang mit einer Kulthandlung nach der Anlage des Grabes dort niedergelegt.

Grabanlagen wie diese wurden zwar bereits 1927 von Tello und Mejia Xesspe bei Puente Gentil im Tal des Rio St. Cruz untersucht, jedoch erst posthum veröffentlicht (Isla Cuadrado, 2001; Mejia Xesspe, 2002), fast zeitgleich mit ersten Ergebnissen aus La Muña (Reindel & Isla Cuadrado, 2000, 2001).



**Fig. 46:** Vertikaler Schnitt durch das Grab 3 in La Muña. Die Beprobungsstelle aus der Dachkonstruktion der Grabkammer ist eingezeichnet. Die Probe aus einem Stützbalken von Grab 6 stammt von einem vergleichbaren Pfosten, wie hier im oberen Bereich des Grabes zu sehen (Zeichnung: Reindel & Isla Cuadrado, 2000).

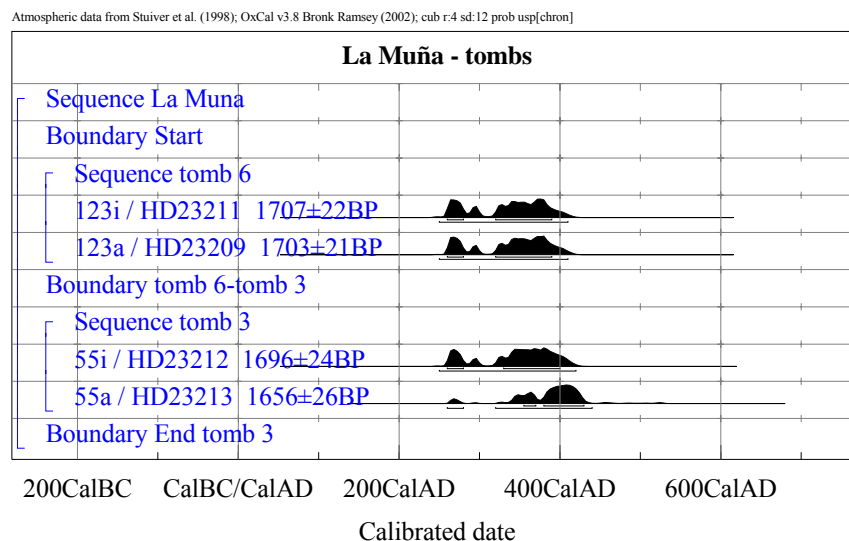
Vertical cut through tomb 3 in La Muña. The sampling point from the roof construction has been marked. The sample from the wooden beam of tomb 6 was taken from a similar post as drawn here in the upper part of the tomb (Drawing: Reindel & Isla Cuadrado, 2000).

Der Aufbau von Grab 6 glich in etwa dem des beschriebenen Grabes 3. Bei beiden Gräbern war die den Grabschacht abschließende Plattform von einer Mauer umfasst. An der Außenseite dieser Mauer befanden sich zahlreiche weitere Holzstämmen, die höchstwahrscheinlich ein Dach getragen haben. Einer dieser Stützbalken von Grab 6 wurde ebenfalls zweifach beprobt und mittels  $^{14}\text{C}$  auf ein Alter von 260 bis 390 cal AD datiert (Fig. 47). Die Proben aus dem inneren und äußeren Bereich des Stammstückes wiesen hier keine signifikante Altersdifferenz auf.

#### PROBENMATERIAL:

Probe #55 (Kontext: Grab 3, Dachpfosten Grabkammer)

Probe #123 (Kontext: Grab 6, Pfosten an Plattform)



**Fig. 47:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten zu den Holzproben von den Gräbern 3 und 6 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data for the wood samples of tombs 3 and 6 (reservoir correction already included).

#### 1.5.1 Datierung von Lehmziegeln (Adobe)

Obwohl in Peru die Lehmziegelarchitektur weit verbreitet war und ist - als monumentalste Beispiele seien nur die Pyramide Huaca del Sol im Mochetal und der riesige Komplex von Cahuachi genannt - wurden bisher offenbar keine Versuche unternommen, die darin enthaltenen Stroh- und Kohlereste zur Datierung heranzuziehen. In der Erforschung der ägyptischen Geschichte und dem damit verbundenen Aufbau von  $^{14}\text{C}$ -basierten Chronologien der verschiedenen Epochen ist hingegen die Verwendung von Lehmziegeln (Adobe) als Probenmaterial seit vielen Jahren etabliert (Bonani et al., 2001).

Die Nutzung von Lehmziegeln zur Datierung im Raum Palpa wird erst durch die AMS-Technik ermöglicht, da die Menge des verwendbaren organischen Materials in den dort herge-

stellten Ziegeln im Bereich von wenigen hundert Milligramm pro Ziegel liegt. Für eine konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Datierung müsste sonst eine unverhältnismäßig große Menge an archäologischem Material zerstört werden.

Da die Ziegel nicht gebrannt sondern nur luftgetrocknet wurden, lassen sie sich relativ leicht zerkleinern und mit Wasser schlämmen, um das organische Material in Form von Strohresten, Holz- und Kohlestückchen zu gewinnen (Fig. 48 b,c).

Das eingebettete Stroh stammt vorwiegend von einjährigen Pflanzen, die in sehr engem zeitlichen Zusammenhang mit - wenn nicht gar im selben Jahr - der Herstellung der Lehmziegel gewachsen sind. Sie stellen damit potentiell ein besseres Datierungsmittel dar als Holzbalken, die besonders in baumarmen Regionen wie Perus Südküste oft mehrfach in verschiedenen Gebäuden verwendet wurden. Zudem muss unter Umständen bei  $^{14}\text{C}$ -Datierungen von Holz ein zeitlicher Hiatus zwischen dem Zeitpunkt des Fällens und der Verwendung im archäologischen Kontext, z.B. als Stützbalken eines Gebäudes, in Betracht gezogen werden, was bei Strohresten aus Lehmziegeln weitgehend entfällt.



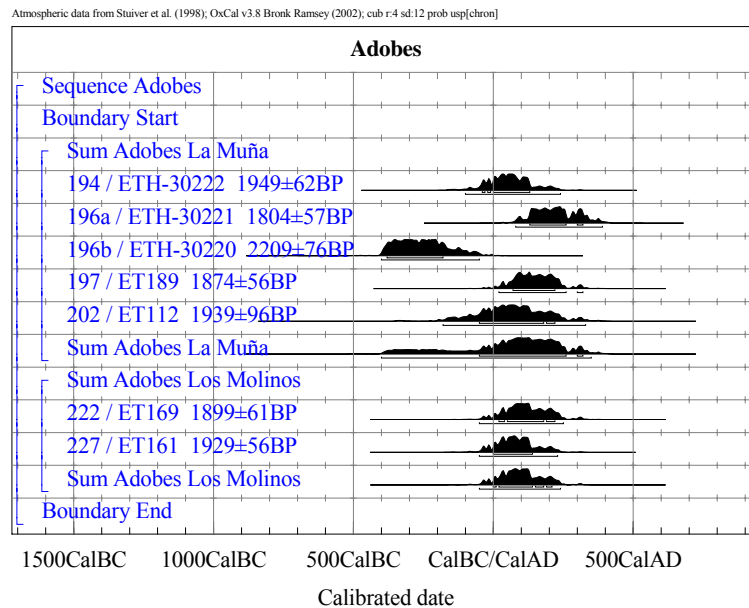
**Fig. 48 :** (a) Etwa 2 m hohe Mauer aus Lehmziegeln im oberen Talbereich von La Muña, aus der  $^{14}\text{C}$ -Proben entnommen wurden. (b) Ein Strohrest in einem zerbrochenen Ziegel. (c) Mikroskopaufnahme von geschlammten Resten aus einem Lehmziegel. Zu erkennen sind Kohle- und Strohstücke sowie umgelagerte Mikrofossilien aus dem umgebenden Sediment.

(a) Adobe wall of about 2 m height in the upper valley of La Muña, which was sampled for  $^{14}\text{C}$ . (b) Piece of straw in a broken adobe. (c) Microscopy image of washed pickings from an adobe. Coal and straw pieces and re-deposited micro fossils of the surrounding sediments are distinguishable.

Die Datierung von zwei Lehmziegelproben aus Los Molinos (PV66-63) und fünf Proben aus einer Mauer (Fig. 48 a) in La Muña (PV66-49) im Rahmen dieser Arbeit stellen einen ersten erfolgreichen Test der Verwendbarkeit des Adobe-Materials im Raum Palpa dar. Die Ergebnisse aus Los Molinos (Fig. 49) stimmen gut mit den bisherigen  $^{14}\text{C}$ -Datierungen dieser Siedlung und dem Früh-Nasca-zeitlichen Fundkontext zusammen. Die Daten aus La Muña (Fig. 49) fallen jedoch überraschenderweise in den selben Zeitraum wie jene aus Los Molinos, obwohl sich die Ziegelformen augenscheinlich unterscheiden und daher aus archäologischer Sicht ein jüngeres Alter zu erwarten gewesen wäre.

Interessant ist der Zusammenhang zwischen den Proben ETH-30220 und ETH-30221, die beide aus ein und demselben Lehmziegel stammen. Das datierte Material von ETH-30220 war Holzkohle und liefert ein etwa 400 Jahre höheres  $^{14}\text{C}$ -Alter als das Strohmaterial von ETH-30221. Eine mögliche Erklärung dafür wäre eine bereits erläuterte zeitliche Lücke zwischen

dem Wachstum und Fällen eines Baumes, der zwischenzeitlichen Lagerung oder Nutzung des Holzes und schlussendlich der Verfeuerung und Einarbeitung der Holzkohle in den Ziegeln.



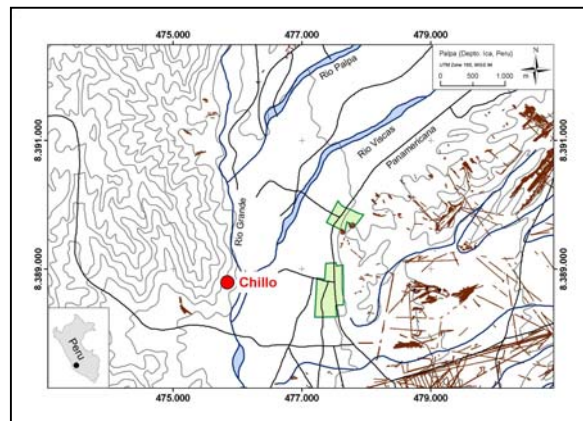
**Fig. 49:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten zu den Lehmziegelproben aus Los Molinos und La Muña (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data for the adobe samples from Los Molinos and La Muña (reservoir correction already included).

## 1.6 Chillo (Späte Zwischenperiode)

PAP-396 / PV66-44

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes dieses Siedlungsortes bezieht sich, sofern nicht anders vermerkt, auf Otten (2006, in prep.).



**Fig. 50:** (links) Die Ausgrabungen in der Unidad 1 des Siedlungsplatzes Chillo im September 2003. Höhe des freigelegten Profils etwa 6 m. (rechts) Lage Chillo am W-Rand des Rio Grande Tales, kurz nach dem Zusammenfluss mit dem Rio Palpa, etwa 6 km SW von Palpa.

(left) The excavations at unidad 1 of the settlement Chillo in September 2003. The height of the free profile is about 6 m. (right) Location of Chillo at the W-slope of the Rio Grande valley, close to the confluence with Rio Palpa, about 6 km SW of Palpa.

## **Überblick über den Fundort**

Chillo liegt am rechten (nordwestlichen) Rand des Rio Grande Tals, unmittelbar oberhalb der heutigen Uferböschung des Flusslaufes auf einer Höhe von 330 m ü.M. nahe am Zusammenfluss von Rio Grande und Rio Viscas (Fig. 50; UTM: 476.000 E und 8.388.770 N / Sektor 18 S).

Der Fundort hat eine Ausdehnung von etwa 9 ha. Die meisten sichtbaren Baureste befinden sich auf dem Hang einer Pedimentfläche, die von Rio Grande und Rio Palpa abgeschnitten wurde. Einige kleine Trockentäler ziehen sich ein kurzes Stück weit in den Hang hinein. Auf der Hochfläche und den Hängen finden sich obertägig Reste von Gebäuden, Siedlungsabfällen und stark geplünderten Gräbern. Architektur und Keramikfragmente datieren diesen Ort in die Späte Zwischenperiode.

Sektor A des Fundortes liegt im südwestlichen Bereich der Siedlung und war offensichtlich das Verwaltungszentrum der ehemaligen Siedlung. Er unterscheidet sich von den weiter nordöstlich liegenden Sektoren durch Architektur von höherer Qualität sowie durch einen zentralen Platz und eine zentrale Gasse. Die übrigen Sektoren B, C, D und E befinden sich entsprechend der alphabetischen Reihenfolge nordwestlich des Sektors A. In allen Sektoren sind rechteckige Gebäudereste aus Stein, gestufte, mit Steinen befestigte und mit Siedlungsabfall verfüllte Plattformen und auch Reste einfacher Bauten mit Pfosten und Flechtwänden vorhanden. In Sektor C wurden durch Plünderer nur wenige Gräber aufgedeckt, während sich in Sektor E zusätzlich zu den architektonischen Überresten ein ausgedehntes, neuzeitlich stark geplündertes Gräberfeld befindet.

In den kleinen Taleinschnitten lassen sich teilweise kompaktierte, deutlich stratifizierte Verfüllungen aus Siedlungsabfall (organisches Material, Keramikfragmente, Stoffreste, Sand, Kot von Kameliden und Meerschweinchen etc.) erkennen (Reindel & Isla Cuadrado, 2004).

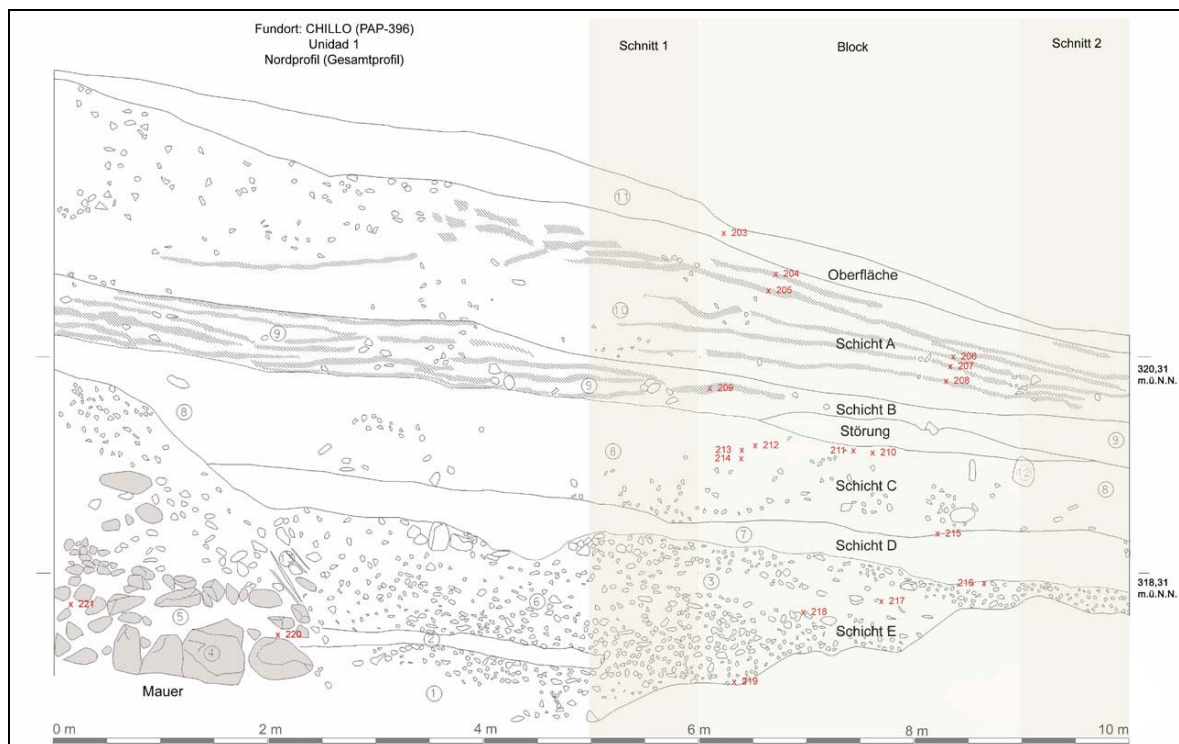
## **Beschreibung der Unidad 1**

Die mit Einheit 1 (Unidad 1) bezeichnete Grabung wurde im Jahr 2003 in einer zu Sektor E zählenden tiefen Erosionsrinne durchgeführt. Diese erstreckt sich in NW-SE-Richtung und mündet knapp unterhalb der Grabung in das Rio-Grande-Tal.

Die Trockenrinne ist im unteren Abschnitt kurz vor der Mündung hohlwegartig bis zu 12 m tief in das anstehende Festgestein eingeschnitten. Dieser etwa 20 m lange Bereich wurde während der Besiedlungszeit des Ortes mit Steinen, Sand und Abfall aus der Siedlung kompakt verfüllt. In einer späteren Phase wurden die Ablagerungen mit den archäologischen Resten über eine Höhe von etwa 6 m vermutlich durch Sturzfluten angeschnitten, so dass verschiedene Verfüllschichten offengelegt wurden. Die Erosion muss durch Niederschläge hervorgerufen worden sein, die in der unmittelbaren Umgebung des Siedlungsplatzes niedergegangen sind, da die Rinne nur ein kleines, lokales Einzugsgebiet besitzt, das nicht von den Niederschlägen im Hochland gespeist wird.

Ziel der Grabung war es, die Artefakte, insbesondere Keramikfragmente, aus diesen Schichten zu bergen, um anhand der Funde Anhaltspunkte für eine relative Keramikchronologie der Späten Zwischenperiode gewinnen zu können.

Das Profil wurde im Rahmen der Grabungsarbeiten auf einer Länge von 10 m begradigt und geputzt. Aus verschiedenen Schichten dieses Gesamtprofils wurde dann Material für  $^{14}\text{C}$ -Proben entnommen (Fig. 51). Nach der Beprobung wurde innerhalb des Gesamtprofils durch zwei 1 m breite Schnitte ein drei Meter breiter und bis zu 5 m hoher Block freigestellt, der sukzessive abgetragen wurde.



**Fig. 51:** Archäologische Profilskizze der Grabung in Einheit 1, Sektor E, Chillo. Die Entnahmestellen der  $^{14}\text{C}$ -Proben und die zugehörigen Inventarnummern sind rot eingezeichnet (Zeichnung: Otten 2006, in prep.). Die Zeichnung findet sich in ganzseitiger Größe im Anhang.

Archaeological sketch of the profile of the excavation in Unit 1, Sector E, Chillo. The  $^{14}\text{C}$ -sampling points and accompanying inventory numbers are marked red (drawing: Otten 2006, in prep.). The same drawing in page size is found in the appendix.

## Kontexte der entnommenen $^{14}\text{C}$ -Proben und vorläufige stratigraphische Interpretation

### MAUER:

In einer ersten Phase wurde eine Mauersetzung (Nr. 4, 5, Fig. 51) errichtet, die sich an der Basis des freigelegten Profils, 2 m außerhalb des eigentlichen Grabungsbereiches befindet. Diese Mauer setzt sich aus einfachen Steinreihen zusammen, die mit Lehm verbunden waren und in den untersten beiden Reihen übereinander terrassiert angeordnet sind. Die Steine sind entlang des Verlaufes des Trockentales ausgerichtet. Möglicherweise wurde zu einem



späteren Zeitpunkt auf der oberen, zweiten Steinreihe eine Mauer errichtet, die im rechten Winkel zu der unteren Reihe verlief.

Zwischen Mauer und Grabungsschnitt auf Höhe der unteren Steinreihe ist ein kompakterer Laufhorizont (Nr. 2) zu erkennen. Da die Mauer nicht vollständig ergraben wurde, ist ihr Aufbau und Zweck nicht eindeutig feststellbar, es ist jedoch anzunehmen, dass sie dazu errichtet wurde, das Gelände zu terrassieren und zu stabilisieren.

PROBENMATERIAL:

Proben #220 (Kontext: U 1, Mauer).

SCHICHT E:

Als unterste Schicht des stratigraphisch ergrabenen Blockes ist im Profil eine bis zu 70 cm hohe Lage aus losem Schutt und Geröll zu erkennen. Ein sehr geringer Anteil an organischem Material und Keramik und die vor allem im Grabungsbereich erkennbare, leicht konvexe Oberkante dieser Schicht lassen darauf schließen, dass es sich hier weniger um eine anthropogene Verfüllung, sondern eher um einen natürlichen Schuttkegel handelt, der nach der Errichtung zumindest des unteren Teils der oben genannten Mauer angelagert wurde.

PROBENMATERIAL:

Probe #219 (Kontext: U 1, Sektor E, Schicht E).

SCHICHT D:

Bei einer Höhe von 30 bis 40 cm setzt sich diese Schicht aus stark verfestigter brauner Erde und Sand sowie einem hohen Anteil an organischen und kulturellen Überresten (unter anderem feines, stark zerkleinertes Maisstroh und Schilfrohr, Maiskolben, Baumwollsamensamen, Kot von Meerschweinchen und Kameliden, Textilresten und Keramikfragmenten) zusammen. Weiterhin wurden in dieser Schicht Brandflecken und Aschereste festgestellt. Dies, sowie eine relativ horizontale Ausrichtung von Nord nach Süd, lassen auf einen dauerhaft und regelmäßig genutzten Lauf- und Nutzhorizont schließen.

SCHICHT C:

Die darüberliegende Schicht C mit einer Mächtigkeit von ca. 70 cm besteht aus feinen Schichten und Linsen mit mittelmäßig bis stark kompaktiertem Sediment unterschiedlicher Korngröße und Rundungsgrad sowie gröberen Pflanzenresten (Maisstroh). Weiterhin wurden Keramikfragmente, Tierknochen, Textilreste, Baumwollsamensamen und Meerschweinchenkot geborgen. Die Oberfläche dieser Schicht zeigt einen nicht zusammenhängenden, möglicherweise gestörten Bereich eines kompaktierten Laufhorizontes, der im nördlichen Teil eine Brandstelle von ca. 40 cm Durchmesser aufweist (Befund 2586). Der Befund deutet darauf hin, dass sich diese Schicht hauptsächlich durch eine regelmäßige Entsorgung von Siedlungs-

abfall aufgebaut hat, aber auch regelmäßig begangen und teilweise auch zu häuslichen Aktivitäten genutzt wurde. Diese Aktivitäten fanden allerdings nicht in dem Maße statt, wie dies offensichtlich bei Schicht B der Fall war.

PROBENMATERIAL:

Proben #215 (Kontext: U 1, Sektor E, Schicht C).

SCHICHT B:

Diese Schicht mit 40 - 50 cm Mächtigkeit zeichnet sich durch einen sehr hohen Anteil an groben pflanzlichen Überresten, kleinen Steinen, Kot von Meerschweinchen und Kameliden, Textilresten und einigen Keramikfragmenten aus. Das Material liegt vorwiegend lose und enthält einige Linsen kompaktierten, hellen Sediments mit festgetretenen organischen Resten.

SCHICHT A:

Diese Schicht ist mit einer Mächtigkeit von 0,8 m im östlichen bis 1,30 m im westlichen Teil der Grabung die umfangreichste der gesamten Abfolge. Sie setzt sich aus feineren Schichten und Linsen lockeren, braunen Sediments unterschiedlicher Korngröße und Rundungsgrades und einem großen Anteil organischer Reste zusammen. Ebenfalls sind Textilreste und Keramikfragmente in großer Zahl vorhanden. Es wurden kompaktierte Linsen mit festgetretenen Pflanzen- und Tierhaarresten (evtl. Kameliden) sowie Keramikfragmenten festgestellt. Im oberen Teil der Schicht ist die Stratigraphie teilweise gestört. An der Basis der Schicht befand sich ein Laufhorizont aus mehreren dünnen Schichten kompaktierten organischen Materials (Befund 2580).

PROBENMATERIAL:

Proben #205, 207 (Kontext: U 1, Sektor E, Schicht A).

OBERFLÄCHE / DECKSCHICHT:

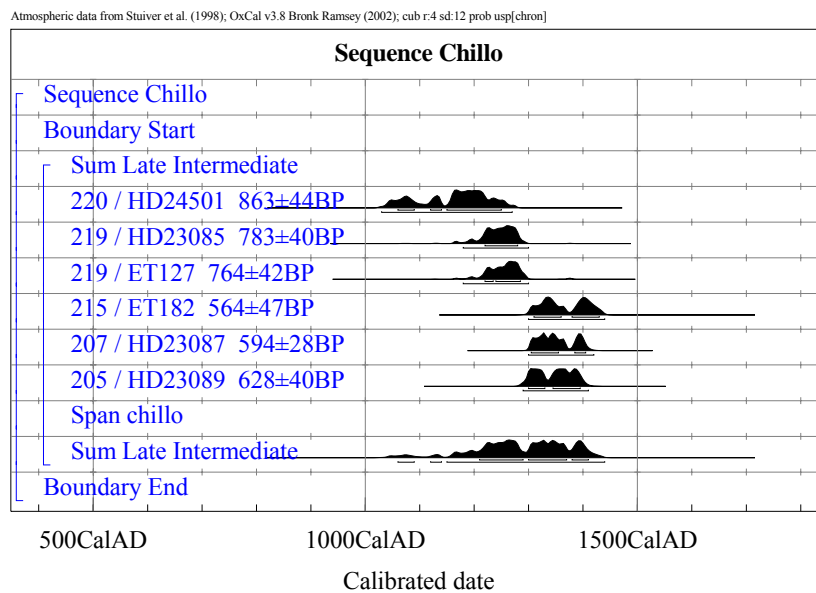
Die Oberfläche besteht aus einer losen Schicht von 25 bis 30 cm Mächtigkeit, die sich vor allem aus äolischem Feinsediment, Blockschutt und organischem Material zusammensetzt.

**Zeitstellung von Chillo auf Basis der <sup>14</sup>C-Daten:**

Die ältesten Proben aus Chillo stammen aus dem Mauerkomplex (Nr. 220) und der Schicht E (Nr. 219) an der Basis des Profils. Sie stammen aus der Zeit zwischen 1060-1250 cal AD (Nr. 220) bzw. 1220-1285 cal AD (Nr. 219). Die 1 $\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereiche der beiden Proben überlappen zwischen 1220 und 1250 cal AD, so dass eine zeitgleiche Errichtung der Mauer und Ablagerung der Schicht E während dieser 30 Jahre möglich wäre. Die anderen drei Proben aus der Basis von Schicht C (Nr. 215) sowie aus Schicht A (Nr. 205 und 207) haben im Rahmen der 1 $\sigma$ -Fehlergrenzen ein identisches Alter und stammen aus der Zeit zwischen 1300 und 1430 cal AD. Es ist somit davon auszugehen, dass der gesamte Profilbereich

zwischen den Proben in diesem Zeitraum abgelagert wurden. An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass der  $1\sigma$ -Bereich dieser drei Proben von etwas über 100 Jahren lediglich die 68,2%-ige Wahrscheinlichkeit angibt, mit der die Proben aus dieser Zeit stammen. Es ist von daher auch ohne weiteres möglich, dass die Sequenz binnen nur weniger Jahre oder Jahrzehnte innerhalb dieses  $1\sigma$ -Bereiches dort abgelagert wurde.

Infolge der  $^{14}\text{C}$ -Datierungen handelt es sich bei Chillo also um einen Siedlungsplatz, der vor allem in der zweiten Hälfte der Späten Zwischenperiode (1000- 1400 AD - Moseley, 2001) genutzt wurde.



**Fig. 52:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten der Proben aus Chillo (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data of the samples from Chillo (reservoir correction already included).

## 2. Geoglyphen

Wie eingangs bereits erwähnt, ist die Frage nach der kulturellen Bedeutung der Geoglyphen in direkter Weise verbunden mit der Frage nach ihrem Alter. Grundsätzlich gibt es vier mögliche Informationsquellen, die eine relative oder numerische Antwort über die Zeitstellung von Geoglyphen liefern können (Clarkson, 1996):

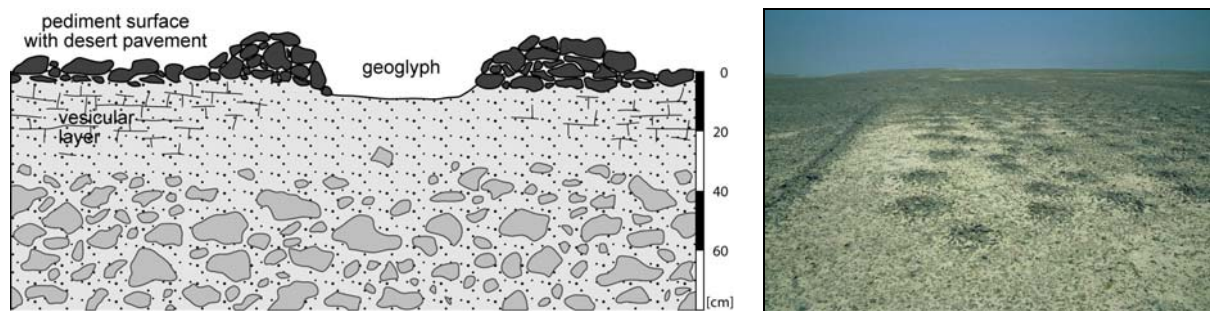
- Direkte Datierung mittels naturwissenschaftlicher Methoden ( $^{14}\text{C}$ , Lumineszenz)
- Stratigraphische Beziehungen zu anderen Geoglyphen oder Kulturresten
- Chronologische Klassifikation assoziierter Fundstücke (z.B. Keramik-Scherben)
- Ikonographische Parallelen mit anderen datierten Artefakten (z.B. Textilien, Keramik)

Für die Geoglyphen im Raum Palpa lag bisher der Schwerpunkt der Untersuchungen zur Klärung des Alters auf der chronologischen Klassifikation von auf den Geoglyphen gefundenen Keramikscherben der Nasca-Zeit sowie früherer und späterer Perioden. Stratigraphische Analysen sich überlagernder Geoglyphen bzw. Typen von Geoglyphen wurden in großem Umfang von Lambers (2004) durchgeführt (vgl. Kap. 2.1).

Derzeit mangelt es noch an verlässlichen Datierungen der Geoglyphen mit chronometrischen Methoden, jedoch ist in naher Zukunft aufgrund neuerer naturwissenschaftlicher Methoden und archäologischer Ansätze eine Verbesserung der Situation zu erwarten. Vereinzelt werden  $^{14}\text{C}$ -Datierungen von Holzpfeilen auf Geoglyphen erwähnt (Aveni, 1990; Morrison, 1987; Strong, 1957), jedoch wurde der genaue Kontext der Daten nie beschrieben und auch eine Verknüpfung mit einer bestimmten Geoglyphe wurde nie hergestellt. Versuche zur Datierung von *Puquios* (Nasca-zeitlichen Aquädukten) und Geoglyphen mit Hilfe von  $^{14}\text{C}$ -AMS an Wüstenlack wurden von Clarkson und Dorn (1991; 1995) unternommen, jedoch wurden die darin festgestellten Mittel- bis Spät-Nasca-zeitlichen Alter später kontrovers diskutiert und angezweifelt (Beck et al., 1998; Dorn, 1998 – *technical comment* in Science 280 von Beck et al. und *response* durch Dorn).

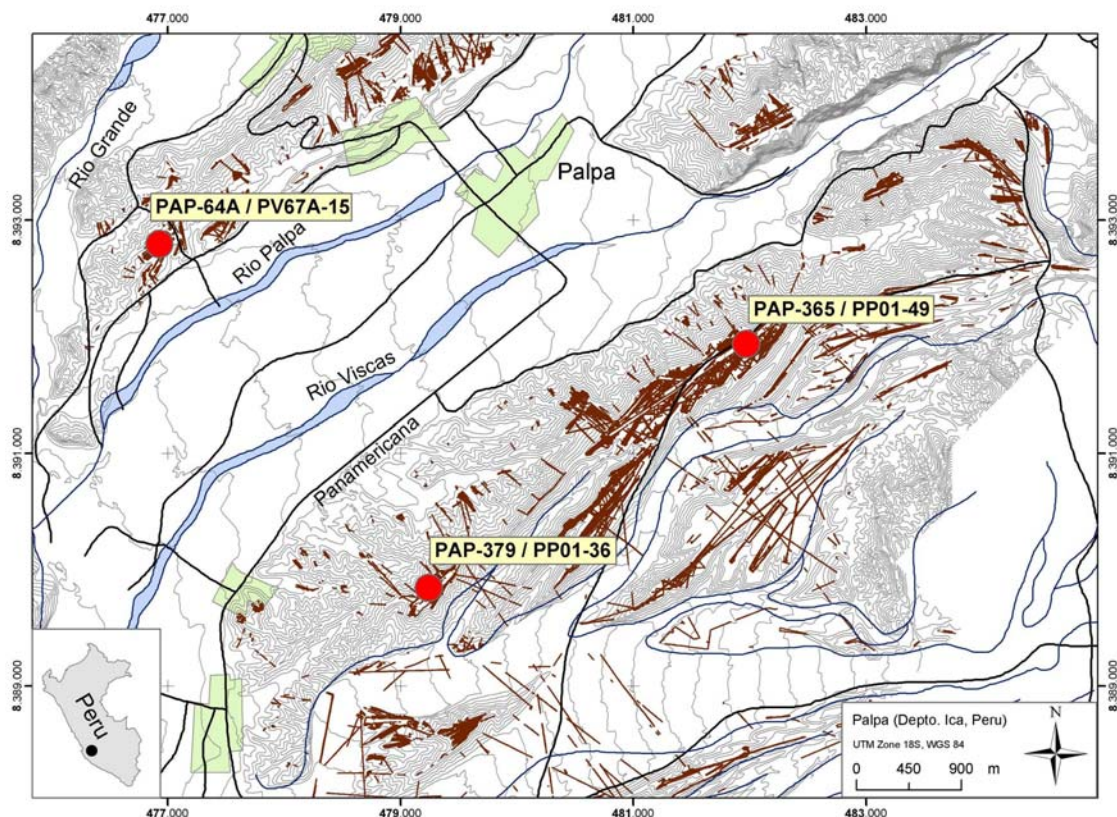
Erste chronometrische Datierungsversuche mit Hilfe von OSL (optisch stimulierter Lumineszenz) unternahm Greilich (2004) im Rahmen des BMBF-Projektverbundes. Dieselbe Technik benutzten Rink und Bartoll (2005) zur Datierung von zwei Geoglyphenkomplexen bei San Ignacio und Sacramento nahe Palpa und kamen damit auf einen Zeitbereich zwischen 400 und 600 AD. Mit OSL lässt sich der Zeitpunkt der letzten Beleuchtung eines Objektes, z.B. aus magmatischen Gesteinen oder von Sedimentschichten, bestimmen. Die Geoglyphen wurden angelegt, indem die dunklen Steine des Wüstenpflasters auf den Pedimentflächen beiseiteräumt wurden und das darunter liegende helle, schluffige Sediment freigelegt wurde (Fig. 53). Der der Datierung mit OSL zugrunde liegende Gedanke ist nun, dass die Steine beim zur Seite Räumen umgedreht wurden und die zuvor dem Licht ausgesetzte Seite des Steins danach bedeckt ist. Hierbei wird auch der Unterschied zu den Möglichkeiten der Datierung mit  $^{14}\text{C}$  deutlich. Während mit OSL direkt die Bauphasen der Geoglyphen bestimmt werden

können, sind mit  $^{14}\text{C}$  nur die menschlichen Aktivitäten um und auf der Geoglyphe bzw. deren Nutzung über die Zeit fassbar. Bau und Nutzung gingen aber oftmals parallel vorstatten.



**Fig. 53:** Die Zeichnung links illustriert den Bau der Geoglyphen durch Beseitigen des dunklen Wüstenpflasters und Freilegung des Schluffs. Soweit der Vesikular-Horizont unter dem Wüstenpflaster intakt ist, belegt das, dass die Nasca-Menschen vermieden, außerhalb der Figuren zu laufen (Grafik: Eitel et al., 2005). Rechts eine Geoglyphe in Bau. Zunächst wurden die Steine auf Haufen auf der Geoglyphenfläche gesammelt und dann auf einem seitlichen Wall aufgehäuft.

The figure on the left illustrates the formation of the geoglyphs by removal of the dark desert pavement and exposure of the silt. As far as the vesicular horizon below the desert pavement is intact, it might show that the Nasca people avoided walking outside the figures (drawing: Eitel et al. 2005). To the right a geoglyph under construction. First the stones were collected to heaps on the geoglyph surface and then removed to banks aside.



**Fig. 54:** Übersichtskarte über die Geoglyphenlokaltäten, an denen  $^{14}\text{C}$ -Proben genommen wurden. (Kartenquelle: Grundlage: Digit. Geol. Karte Peru, Blätter 30-m, 29-m2, 29-m3, Geoglyphen und Höhenlinien: K. Lambers, IPG/ETH-Zürich, Modifizierung: I. Unkel)

Overview map across the geoglyph sites where  $^{14}\text{C}$  samples were taken. (Map source: based on: Digit. Geol. map Peru, sheets 30-m, 29-m2, 29-m3, geoglyphs and elevations: K. Lambers, IPG/ETH-Zürich, modification: I. Unkel).

Eine numerische Chronologie der Nasca-Zeit basierend auf  $^{14}\text{C}$ -Datierungen, wie sie in Kap. 3.2 vorgestellt wird, gibt bereits indirekt Anhaltspunkte für die Zeitstellung der Geoglyphen, da somit für archäologische Fundstücke, die mit den Geoglyphen assoziiert sind, ein zeitlicher Rahmen geschaffen wird. In den folgenden Abschnitten werden drei Geoglyphenkomplexe in der Region Palpa vorgestellt, von denen Probenmaterial zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung zur Verfügung stand. Die Proben stammen jedoch nicht von den Geoglyphen selbst, sondern von darauf errichteten Holzpfeuern und Plattformen. Aus dem archäologischen Kontext wird klar, dass diese zumeist nach Anlage der Geoglyphen errichtet wurden. Die  $^{14}\text{C}$ -Datierung kann somit nur ein Mindestalter (*terminus ante quem*) für die Anlage der Geoglyphen liefern.

## 2.1 Die Geoglyphen bei Yunama

PAP-64A/B // PV67A-15/16

PV67A-15/16 liegt auf einer ausgedehnten Pedimentfläche am rechten, nördlichen Rand des Rio Palpa Tales. Im Nordwesten schließen sich die Hänge der *Cresta de Sacramento* an. Das Zentrum des Fundortes liegt auf einer Höhe von 350 m ü.M. (UTM 477.070 E und 8.393.000 N, Sektor 18 S).

In seinen stratigraphischen Untersuchungen zu den unterschiedlichen Bauphasen der Geoglyphen beschreibt Lambers (2004) die Entwicklung von PV67A-15/16 folgendermaßen: Neben einer Anzahl kleinerer Geoglyphen wird der Ort von einem großen Trapez dominiert (Fig. 55, Nr. 52), das eine Länge von etwa 390 m besitzt. Sein schmales Ende schneidet schräg das Ende einer früher angelegten, mäandrierenden Linie (55). Zusammen mit einer parallel dazu verlaufenden Mäanderlinie (56) wurde diese lineare Geoglyphe in ein großes, freigeräumtes Rechteck (57) umgewandelt. Ein weiterer, späterer Umbau des Ensembles war die laterale Erweiterung von Trapez (52) auf dessen NW-Seite. Am schmalen Ende dieses Trapezes wurden zwei Steinplattformen errichtet sowie ein größeres Steingebäude auf der Mittelachse nahe am breiten Ende der Geoglyphe. Alle Steingebäude wurden in den Jahren 2000/01 archäologisch ausgegraben.

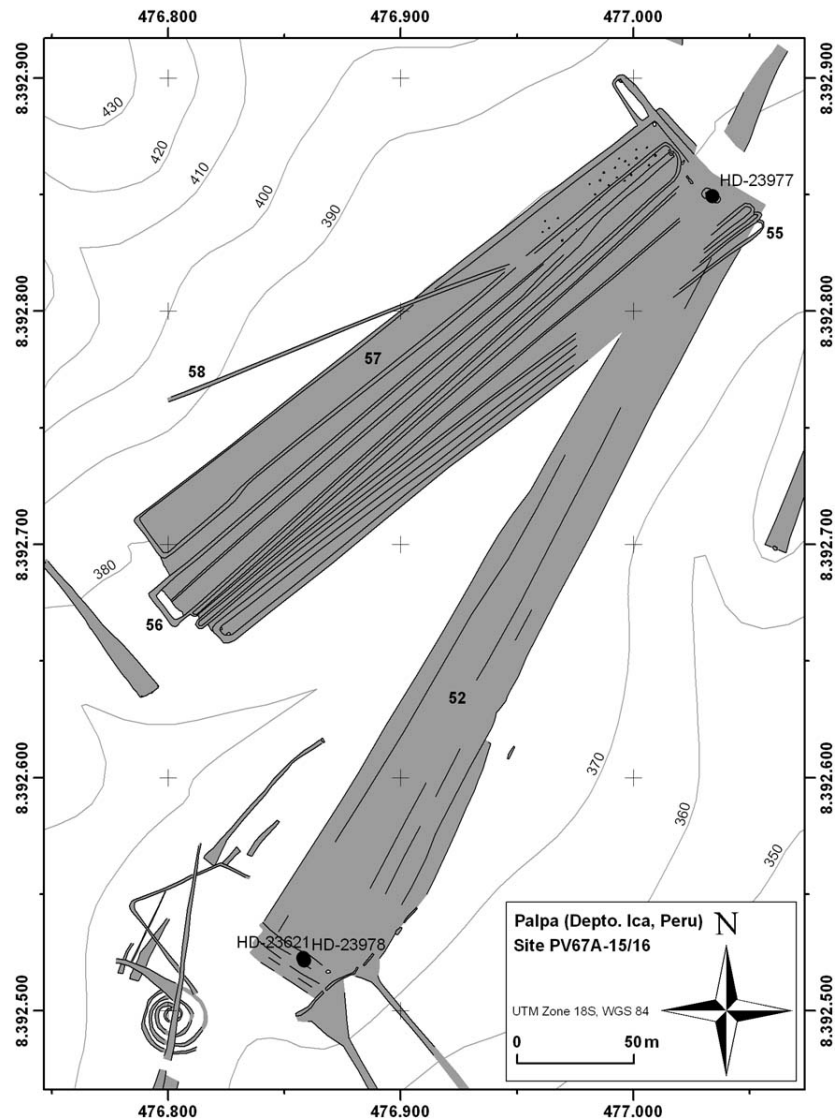
Die nachfolgende Beschreibung des Probenkontextes bezieht sich weitestgehend, soweit nicht anders gekennzeichnet, auf die Ausführungen von Reindel (2002).

### Archäologischer Kontext

Am Süden der Geoglyphe (52), PV67A-15, wurde eine plattformartige, quadratische Struktur von 2,20 m x 2,20 m ergraben, die offensichtlich in zwei aufeinanderfolgenden Bauphasen errichtet wurde.

Der Bau der ersten Phase wurde direkt auf dem zuvor eingeebneten, anstehenden Boden angelegt. In dieser frühen Phase bestand die Struktur lediglich aus einer ca. 0,4 m hohen Umfassungsmauer aus Lehmziegeln sowie einem zugehörigen Stampflehboden, der sich sowohl im Inneren als auch im Bereich außerhalb der Umfassungsmauer erhalten hat. Der Zugang zum Innenbereich des Baus befand sich wahrscheinlich an der Nordseite. In den Kontext die-

ser ersten Bauphase gehören auch die Überreste von vier Pfosten aus Pappelholz, von denen drei für die  $^{14}\text{C}$ -Analyse beprobt wurden (Fig. 56).



**Fig. 55:** Geoglyphenlokalisierung PV67A-15 (Südteil) und -16 (Nordteil) auf Yunama / Cresta de Sacramento. Die datierten  $^{14}\text{C}$ -Proben sind markiert (Karte: K. Lambers).

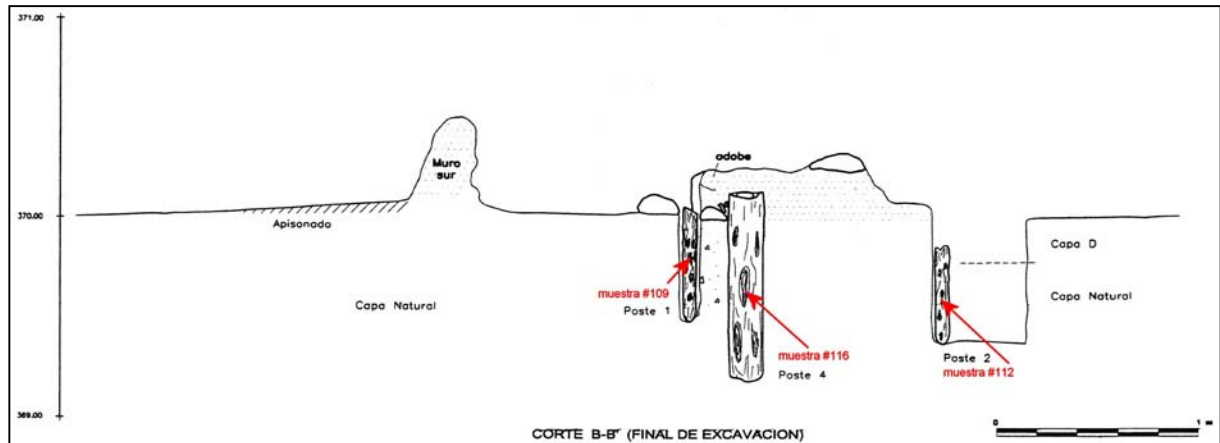
Geoglyph site PV67A-15 (south) and -16 (north) on Yunama / Cresta de Sacramento. The dated  $^{14}\text{C}$  samples are marked (map: K. Lambers).

PROBENMATERIAL: (zu Fig. 56)

Probe #109 (Kontext: UA 1, Schicht C, Pfosten 1).

Probe #112 (Kontext: UA 1, Schicht C, Pfosten 2).

Probe #116 (Kontext: UA 1, Schicht C, Pfosten 4).



**Fig. 56:** Grabungskontext der Proben 109,112,116 an einem Gebäuderest am Süden des Trapezes 52; Schnitt (Grafik aus Reindel, 2002; Modifikation: A. Wetter).

Excavation context of samples 109,112,116 with edificial remains at the southern end of trapezoid 52; section (graphics from Reindel, 2002; modification: A. Wetter).

Zu einem späteren Zeitpunkt (aufgrund der assoziierten Keramik vermutlich während der Phase Nasca 7 oder Loro) wurde die innere Mauerseite mit flachen, vertikal gesetzten Steinen abgedeckt sowie der Innenraum des Gebäudes mit kleinen Steinen und Lockersediment vermischt und mit großen Mengen organischen Materials verfüllt. Die neu geschaffene Oberfläche sowie die Außenseite des Gebäudes wurden mit Steinen und Lehm aufgestockt, wodurch eine niedrige Plattform entstand, deren Oberfläche mit einem Stampflehboden versehen wurde. In der Schuttfüllung wurden Scherben von Initial-Nasca bis Nasca 7 gefunden, was auf eine lange Nutzungsphase der Struktur hindeutet (Lambers, 2004).

Die archäologische Zeitstellung der ersten Bauphase ist somit nicht gesichert. Als mögliche Zeitstellungen werden aufgrund von Keramikfunden Nasca 4/5 (250-450 AD) oder Nasca 7 (500-650 AD) angesehen.

Die <sup>14</sup>C-Datierung der Holzproben aus den 3 Pfosten ergab, dass sie insgesamt aus einem Zeitraum zwischen 440 und 680 cal AD stammen (Fig. 57). Die Einzelalter der Proben liegen jedoch recht weit auseinander und die kalibrierten 1σ-Wahrscheinlichkeitsbereiche überlappen nicht. Die älteste Probe (Nr. 109, 435-535 cal AD) stammt von Pfosten 1. Der unmittelbar daneben stehende Pfosten 4 hat ein etwas geringeres Alter und stammt aus der Zeit zwischen 535 und 600 cal AD (Probe Nr. 116). Am jüngsten ist die Probe Nr. 112 von Pfosten 2, die aus der Zeit zwischen 603 und 644 cal AD stammt. Eine sequenzielle Beprobung der Pfosten von außen nach innen war aufgrund des extrem schlechten Erhaltungszustands der Hölzer nicht möglich. Unter der Annahme, dass alle drei Proben je ein mittleres Alter der Pfosten liefern und der Einbau unmittelbar nach dem Fällen erfolgte, liegt zwischen dem Einbau von Pfosten 1 und dem von Pfosten 2 ein Zeitraum von mindestens 68 Jahren.

Die einzige Probe aus Sektor PV67A-16 (Nr. 90) ist der Rest eines Holzpfostens aus einer Grube in der Mitte zwischen zwei Plattformen am Konvergenzpunkt mehrerer Geoglyphen

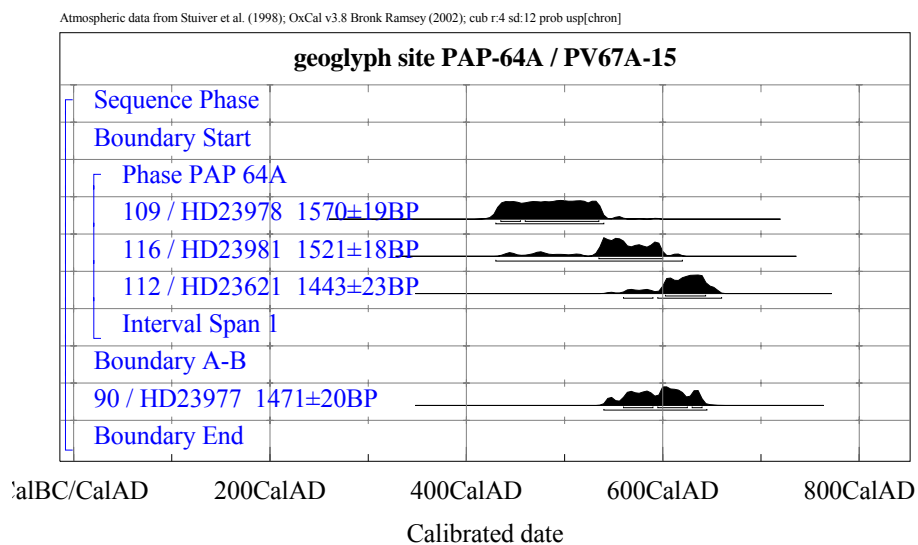


(52, 55/56, 57). Im Umfeld des Pfostens und der Plattform wurden ebenfalls Scherben aus den Phasen Initial-Nasca bis Nasca 7 gefunden. Das kalibrierte  $^{14}\text{C}$ -Alter der Probe liegt zwischen 560 und 640 cal AD. Die Gebäude wurden möglicherweise in Zusammenhang mit rituellen Aktivitäten auf den Geoglyphen genutzt. Die Kombination aus zwei Steingebäuden am schmalen Ende und einem größeren Gebäude am breiten Ende des Trapezes ist auch von anderen Geoglyphen im Gebiet um Palpa bekannt. Die Steingebäude stehen zwar in Zusammenhang mit dem Trapez (52), wurden aber in einer Zeit errichtet, als die anderen Geoglyphen der Gruppierung bereits erstellt waren (Lambers, 2004). Folglich sind die Steingebäude jünger als das Trapez (52), auf dem sie errichtet wurden.

#### PROBENMATERIAL:

Probe #90 (Kontext: UA 1, Schicht D, Grube zwischen Struktur 1 und 2).

Insgesamt ergeben die  $^{14}\text{C}$ -Daten von PV67A-15 und -16 einen Zeitbereich von etwa 440-680 cal AD und stammen somit aus der späten Nasca-Zeit (Nasca 6/7).



**Fig. 57:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten zu den Proben von PAP-64A / PV67A-15 sowie zu einer Probe (Nr. 90) von einer Steinplattform bei PAP-64B / PV67A-16 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data for samples of PAP-64A / PV67A-15 and of one sample (no. 90) taken from a stone heap at PAP-64B / PV67A-16 (reservoir correction already included).

## 2.2 Die Geoglyphen von San Ignacio

Die Beschreibung des archäologischen Kontextes der Proben bezieht sich weitestgehend auf den Bericht von Reindel et al. (2002).

Die Lokalität PP01-49 liegt auf der sogenannten Pampa de San Ignacio, einer ausgedehnten Hochfläche südöstlich von Palpa (UTM: 481.660 E und 8.391.750 N, Sektor 18 S). Dort findet sich eine der größten Konzentrationen von Geoglyphen im gesamten Nasca-Gebiet. Am Kreuzungspunkt einer großen Zahl von linearen und trapezförmigen Geoglyphen liegen zwei große Steinhaufen von etwa 6 m Durchmesser und 60 cm Höhe (Fig. 58). Zwei weitere hufeisenförmige Gebilde befinden sich nördlich und südlich der großen Steinhaufen. Letztere weisen tiefe Grabräuberlöcher in ihrem Zentrum auf.



**Fig. 58:** Die zwei Steinstrukturen am Kreuzungspunkt mehrerer Geoglyphen auf der Pampa de San Ignacio (PP01-49) im September 2003. Im Vordergrund ist eine der beiden hufeisenförmigen Strukturen zu erahnen.

The two stone heaps at the cross point of several geoglyphs on top of the Pampa de San Ignacio (PP01-49) in September 2003. In the foreground one of the two u-shaped stone structures are weakly visible .

Die Ausgrabung zeigte, dass es sich bei den beiden Steinhaufen um sorgfältig gebaute, große Plattformen handelt (Fig. 59). Gebäude 1 war rechteckig mit Seitenlängen von 4,25 m - 4,80 m. Es war von einer 50 cm breiten, zweischaligen Mauer aus Bruchsteinen eingefasst. Die Mauer hatte sich in einer Höhe von 50 cm erhalten. Ursprünglich dürfte sie eine Höhe von 80 cm besessen haben. Das Gebäude war auf einen einfachen Stampflehm Boden gesetzt. Der Innenraum war mit Schutt verfüllt, sodass eine Plattform entstand.

Gebäude 2 war ähnlich gebaut und maß 3,20 m x 4,00 m. Die Mauerfluchten stimmen mit denen von Gebäude 1 überein. Die gleiche Anlage und die identische Bauweise legen nahe,

dass die Gebäude gleichzeitig errichtet wurden. Um die Gebäude fand sich eine Reihe dünner Holzpfosten im Abstand von etwa 1 m von der Mauer, die möglicherweise einmal ein leichtes Schattendach trugen, vielleicht aber auch andere Funktionen hatten.

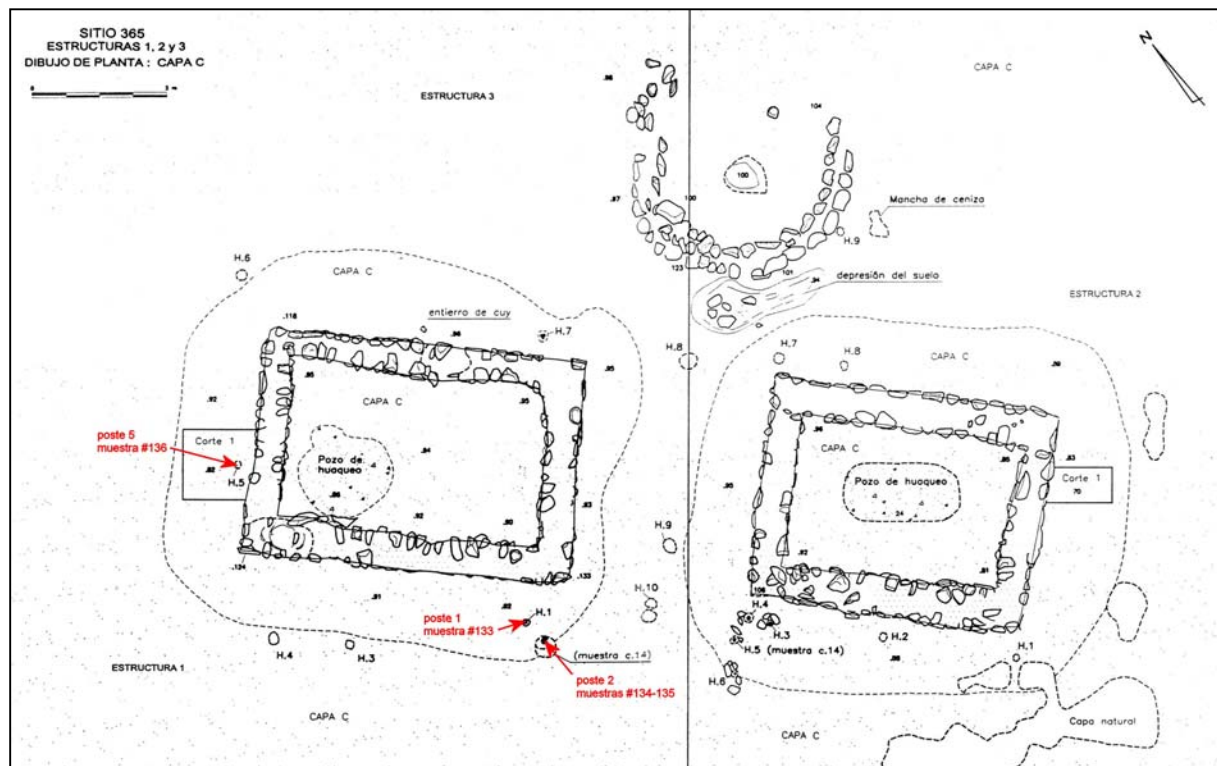
#### PROBENMATERIAL:

Probe #133 (Kontext: Struktur 1, Schicht C, Pfosten 1).

Probe #134 (Kontext: Struktur 1, Schicht C, Pfosten 2).

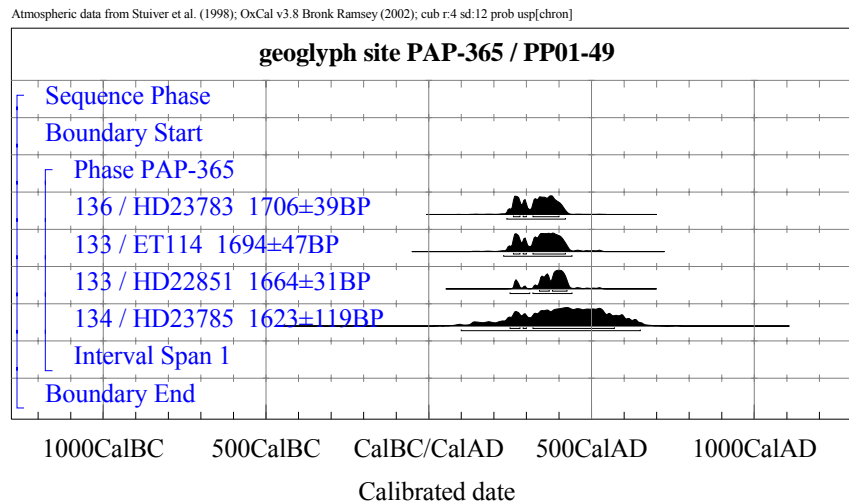
Probe #136 (Kontext: Struktur 1, Schicht C, Pfosten 5).

Die beiden hufeisenförmigen Gebäude unterscheiden sich deutlich von den Plattformen. Ihre Mauern bestehen aus einfachen Steinreihen, die direkt auf den natürlichen Untergrund aufgesetzt waren. Der Innenraum war jeweils mit Schutt angefüllt.



**Fig. 59:** Grabungskontext der Proben 133,134,136 im direkten Umfeld von Steinstruktur 1 (links) an der Lokalität PP01-49 (PAP-365); Draufsicht (Grafik: Reindel; Modifikation: A. Wetter).

Excavation context of samples 133,134,136 in the periphery of stone structure 1 (left) at site PP01-49 (PAP-365); top view (graphic: Reindel; modification: A. Wetter).



**Fig. 60:** Die kalibrierten  $^{14}\text{C}$ -Daten zu den Proben von PAP-365 / PP01-49 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).

The calibrated  $^{14}\text{C}$  data for the samples from PAP-365 / PP01-49 (reservoir correction already included).

Die beiden Gebäudetypen waren offensichtlich zu verschiedenen Zeitpunkten gebaut worden. Die großen, rechteckigen Gebäude stammen aufgrund der assoziierten Keramikfunde aus der mittleren Nasca-Zeit und konnten mit Hilfe von zwei an Holzpfeilen entnommenen  $^{14}\text{C}$ -Proben (Nr. 133 und 136) in die Zeit zwischen 260 und 420 cal AD datiert werden (Fig. 59 und 60). Sie sind somit älter als die an der Geoglyphenstätte PV67A-15/16 beprobten Gebäude (Kap. 2.1). Die Probenmenge von Pfeilen 2 (Nr. 136) war mit 2,47 g sehr gering für eine konventionelle Datierung (HD-23785). Dadurch verbreiterte sich bei gleicher Messdauer wie für größere Proben der  $1\sigma$ -Fehlerbereich der Messung (Fig. 60), weshalb die Probe nur als ungefähre Anhaltspunkt für einen Zeitbereich dienen kann. Das Alter dieses Pfeiles für eine eingehende archäologische Interpretation heranzuziehen ist wenig sinnvoll, hierfür müßte eine weitere Messung mit mehr Probenmaterial durchgeführt werden.

Die hufeisenförmigen Steinstrukturen wurden in späterer Zeit gebaut, vielleicht sogar in der Kolonialzeit (Reindel et al, 2002). In dieser Zeit führte in der Nähe ein wichtiger Verbindungsweg zwischen dem Palpa- und dem Ingenio-Tal vorbei, der von unzähligen kolonialzeitlichen Gefäßscherben gesäumt ist.

Neben zahlreichen Chrysokoll-Fragmenten fanden sich um die Gebäude Obsidianartefakte, *Spondylus*- und andere Meeresmuscheln, Flusskrebse sowie ein Meerschweinchen, das als Bauopfer nahe der Außenwand von Gebäude 1 niedergelegt worden war. Das Fundinventar entspricht also demjenigen anderer Plattformen, die offenbar im Zusammenhang mit Kult-handlungen genutzt wurden. An diesem Fundort ist der Bezug zur Wassersymbolik durch die Meerestiere besonders deutlich.

## 2.3 Die Geoglyphen bei Llipata

Auch die nachfolgende Beschreibung dieses archäologischen Kontextes der Proben bezieht sich weitgehend auf den Bericht von Reindel et al. (2002).

Der Fundort PP01-36 liegt im südlichen Bereich der Hochfläche von San Ignacio südwestlich des zuvor beschriebenen Geoglyphenkomplexes von San Ignacio (UTM: 479.500 E und 8.390.180 N, Sektor 18 S). Auf dem großen Trapez, das diese Lokalität dominiert (Fig. 61), befanden sich vier Steinhaufen: Einer in der Zentralachse an der Breitseite, die drei anderen an der Schmalseite des Trapezes. Zwischen den Standorten der Steinhaufen liegt eine Strecke von über 600 m.

Unter dem Hügel am breiten Ende des Trapezes, der teilweise durch Grabräuber zerstört war, wurde bei der Ausgrabung ein rechteckiges Steingebäude von 2 m x 3,10 m Grundfläche freigelegt. Die Mauern waren bis zu einer Höhe von 92 cm erhalten. Aufgrund der gleichen Ausrichtung und ihrer Lage auf der gleichen Achse wie die Gebäude 2 und 3 am gegenüberliegenden Fundort (s.u.) wird angenommen, dass beide Gebäude wahrscheinlich gleichzeitig gebaut und gemeinsam genutzt wurden, nachdem das ursprünglich schmalere Trapez nach SE deutlich erweitert worden war.

Am gegenüberliegenden Ende des Trapezes wurden drei Gebäude ausgegraben (Fig. 62). Alle drei wiesen Störungen durch Raubgrabungen auf. Gebäude 1 war quadratisch mit 3,50 m Seitenlänge. Eine zweischalige, 50 cm breite und außen verputzte Mauer reichte bis zu einer Höhe von 88 cm. Der Innenraum war verfüllt, sodass eine Plattform entstand. Diese enthielt wenige Funde, darunter ockerfarbene Pigmente und *Spondylus*-Schalen, beides in Baumwolltücher gehüllt. Die Keramikfunde datieren die Plattform in die späte Nasca-Zeit (Nasca 7). Eine <sup>14</sup>C-Probe von einem Holzpfeiler aus Gebäude 1 (Fig. 62, 63) stammt aus der Zeit zwischen 420 und 540 cal AD und fällt somit gemäß der <sup>14</sup>C-Chronologie (Kap. 3.2) in den Beginn der späten Nasca-Zeit.

### PROBENMATERIAL:

Probe #139 (Kontext: U 1, Gebäude 1, Schicht C, Boden).

Gebäude 2 und 3 unterschieden sich in gewissem Umfang von Gebäude 1. Gebäude 2 war rechteckig mit 1,5 m x 3 m Seitenlänge. Eine 87 cm hohe, einschalige Mauer aus Bruchsteinen und Lehmörtel war direkt auf den natürlichen Boden aufgesetzt. Außen waren Reste von Verputz erhalten, der in den umgebenden Stampflehm Boden überging. Der Innenraum war mit Schutt zu einer Plattform aufgefüllt. Die Keramik weist die Errichtung der Plattform der Phase Nasca 5 zu. Gebäude 3 war in Form, Maßen und Bauweise identisch mit Gebäude 2. Nur die Plattformoberfläche wies zusätzlich Lehmziegel auf. Auch hier wurde im Wesentlichen Keramik der Phase Nasca 5 gefunden.

Zur <sup>14</sup>C-Datierung standen aus diesen beiden Gebäuden keine Holzpfeiler zur Verfügung sondern nur Materialien, die eher im Zusammenhang mit der Nutzung der Gebäude stehen als

mit deren Bau. Es handelt sich dabei um ein Stück Baumwollgewebe (Nr. 247) und zwei Maiskolben (Nr. 246 und 249), die in den Gebäuden 2 und 3 niedergelegt wurden. Während das Baumwollgewebe (Nr. 247) aus der Zeit zwischen 420-540 cal AD stammt, liefern die datierten Maiskolben ein Spät-Nasca- (Nr. 249: 618-657 cal AD) bzw. sogar Post-Nascazeitliches Alter (Nr. 246: 660 und 780 cal AD) (Fig. 63).

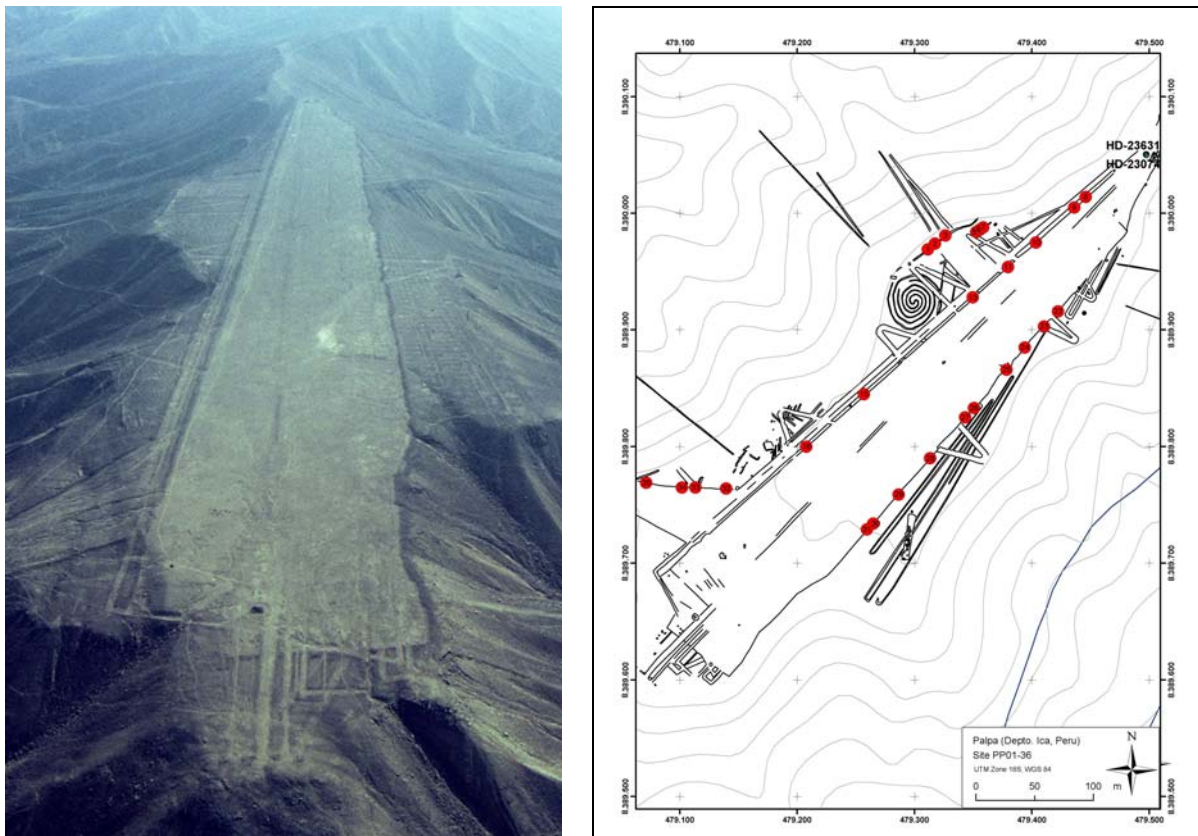
PROBENMATERIAL:

Probe #246 (Kontext: U 1, Struktur 2, Schicht B).

Probe #247 (Kontext: U 1, Struktur 2, Schicht B).

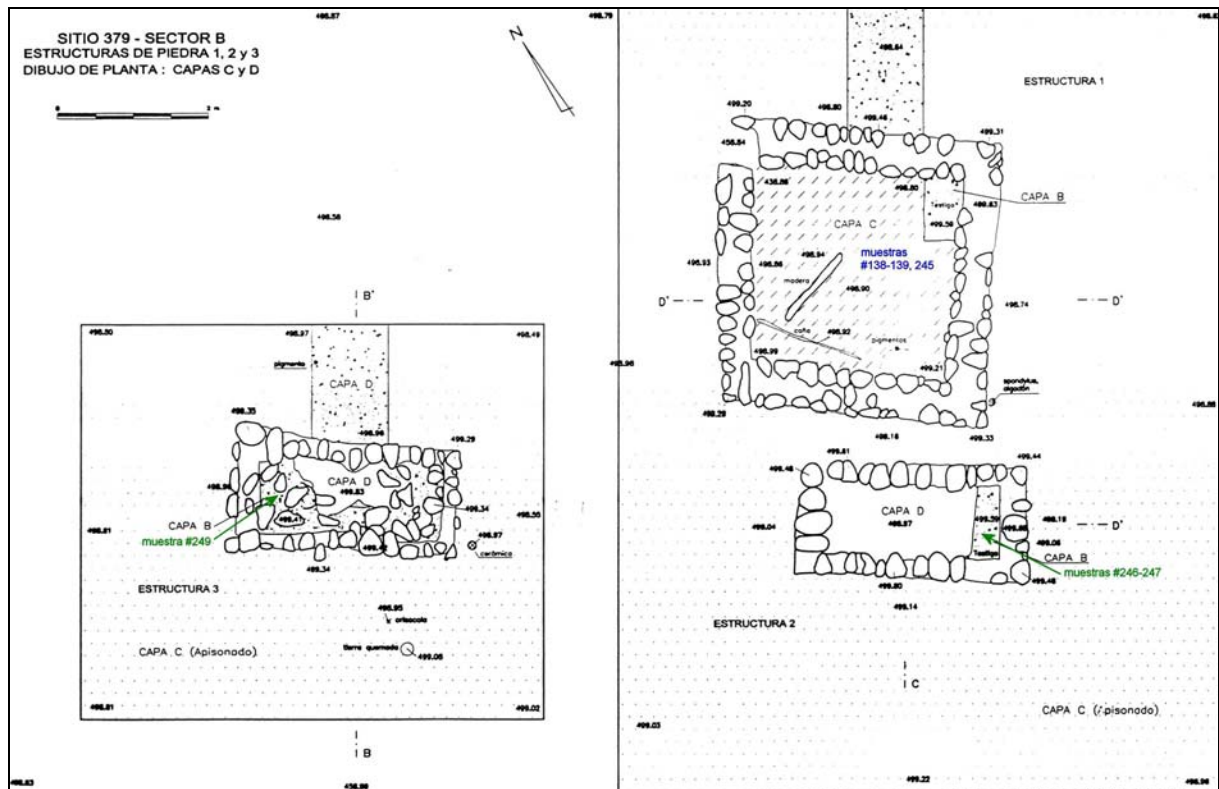
Probe #249 (Kontext: U 1, Struktur 3, Schicht B).

Die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen der Proben aus den Gebäuden der Lokalität PP01-36 zeigen somit deutlich, dass die Nutzung dieser Gebäude und möglicherweise auch deren Bau erst zu einer sehr späten Phase der Nasca-Zeit oder sogar erst danach stattgefunden hat.

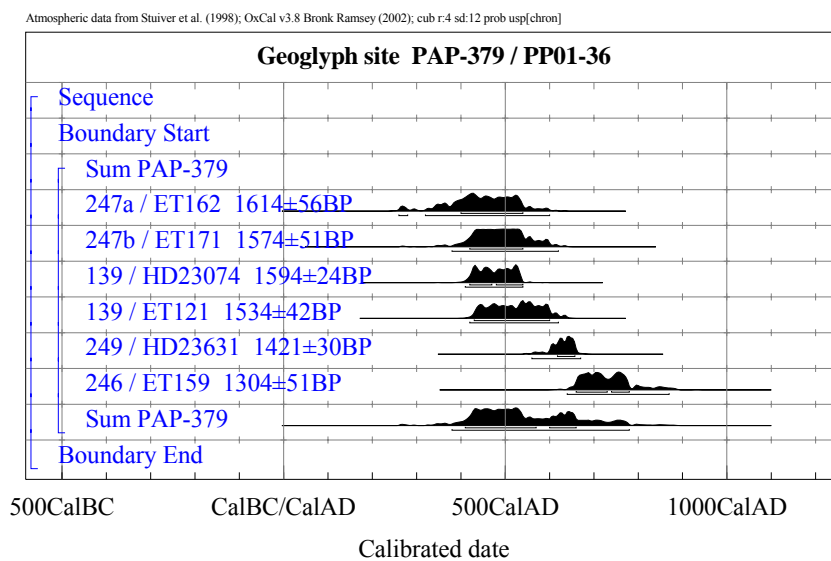


**Fig. 61:** (links) Überflugfoto des Geoglyphenkomplexes von PAP-379 / PP01-36 mit Blick nach Osten. Deutlich ist am breiten Ende des Trapezes -unten im Bild- das Steingebäude als dunkler Punkt erkennbar. (rechts) Vektorisierte Darstellung der Geoglyphenstätte. Darin eingetragen die Probennahmepunkte zur OSL-Datierung -rote Kreise mit Nummer- sowie die  $^{14}\text{C}$ -Proben an den Steinplattformen am schmalen Trapezende (Kartengrundlage: K. Lambers, IPG/ETH-Zürich, Modifikation: I. Unkel).

(left) Flight photo of the geoglyph complex of PAP-379 / PP01-36 with view to the East. Clearly visible as a dark spot at the lower part of the photo is the stone structure at the broader end of the trapezoid. (right) The geoglyph site as a vectorised graphic. The marks show the sampling points for OSL dating - red spots with numbers- and for  $^{14}\text{C}$  dating of the stone structures at the narrow end of the trapezoid (Map basis: K. Lambers, IPG/ETH-Zurich, modification: I. Unkel).



**Fig. 62:** Grabungskontext der Proben 139,246,247,249 im direkten Umfeld der Steinstrukturen am schmalen Ende des Trapezes von PP01-36 (PAP-379), Draufsicht (Grafik: Reindel, 2002; Modifikation: A. Wetter).  
 Excavation context of samples 139,246,247,249 in the interior of the stone structures at the narrow end of the trapezoid at site PP01-36 (PAP-379); top view (graphic: Reindel, 2002; modification: A. Wetter).



**Fig. 63:** Die kalibrierten <sup>14</sup>C-Daten zu den Proben von PAP-379 / PP01-36 (Reservoirkorrektur bereits einbezogen).  
 The calibrated <sup>14</sup>C data for the samples from PAP-379 / PP01-36 (reservoir correction already included).

### 2.3.1 Vergleich der drei Geoglyphenstätten und Vergleich mit OSL

Die drei beschriebenen Geoglyphenstätten zeigen, wie schwierig  $^{14}\text{C}$ -Datierungen dieser Strukturen aufgrund ihrer Komplexität hinsichtlich Bau und Nutzung zu interpretieren sind. Auch wurden, wie eingangs erwähnt, mit  $^{14}\text{C}$  nur Proben von auf den Geoglyphen errichteten Holzpfeilen und Plattformen datiert und nicht von den Scharrbildern selbst.

Die ältesten Proben im Zusammenhang mit Bau und Nutzung der Plattformen stammen von Holzpfeilen von PP01-49 (Kap. 2.2) aus der Zeit zwischen 260 und 420 cal AD. Die jüngste Probe liefert ein Maiskolben von PP01-36 (Kap. 2.3) aus der Zeit zwischen 660 und 780 cal AD. Daraus ergibt sich ein Zeitraum von mindestens 240 Jahren für Bau und Nutzung der Gebäude an diesen Geoglyphenstätten im Raum Palpa. Das Altersspektrum der Proben von PV67A-15/16 und von PP01-36 legt nahe, dass die Gebäude dieser beiden Geoglyphenstätten über den gleichen Zeitraum gebaut und genutzt wurden. Insbesondere das identische Alter der beiden Holzproben Nr. 109 und 139 weist auf eine zeitgleiche Erbauung der Plattformen hin. Für die Anlage der Geoglyphen selbst, die aufgrund des archäologischen Kontextes älter als die Gebäude sein dürften, ergibt sich infolge der  $^{14}\text{C}$ -Datierungen ein zumindest Mittel-Nasca-zeitliches Alter.

Für die OSL-Datierung der Geoglyphen wurden erste Voruntersuchungen an einem Geoglyphenkomplex der Cresta de Sacramento im Sommer 2002 durchgeführt (Greilich, 2004). Im Rahmen der Feldkampagne 2003 wurden dann an dem Komplex PP01-36 insgesamt 45 Oberflächenproben für die OSL-Analyse entnommen (Fig. 61). Eine vollständige Auswertung der Daten ist derzeit noch im Gange, jedoch wurden erste Ergebnisse bereits publiziert (Greilich et al., 2005). Demnach lieferte eine Probe von einer Steinsetzung im SW des Geoglyphenkomplexes (CL38AS1) ein Alter von  $2130 \pm 100$  Jahren ( $2075 \pm 100$  BP). Diese Steinsetzung ist somit deutlich älter als die  $^{14}\text{C}$ -Proben von den Plattformen dieses Komplexes.



### 3. Chronologie der Region Palpa

#### 3.1 Keramikchronologie der Paracas- und Nasca-Zeit

Die Gliederung der Paracas- und Nasca-Phasen beruht in den Grundlagen bislang auf Keramikchronologien. Aufgrund ihrer Eigenschaft als weitgehend unvergängliches Kulturprodukt und ihrer chronologischen Sensibilität dient Keramik als hervorragendes Mittel zur räumlichen und zeitlichen Einordnung archäologischer Kulturen (Wetter, 2005). Seit dem Aufkommen der archäologischen Keramikanalyse wurde sie nicht nur als Informationsquelle über den kulturellen Kontext ihrer Herstellung genutzt, sondern auch als Werkzeug zur relativen stratigraphischen Einordnung von Fundkomplexen. Letzteres lag nicht zuletzt an mangelnden radiometrischen Datierungsmöglichkeiten in der ersten Hälfte des 20. Jhds..

In der südamerikanischen Archäologie sind vor allem zwei Methoden der Keramikklassifikation angewandt worden: die Klassifikation nach Typen gemäß Gordon R. Willey und Philip Philips (siehe hierzu Vossen, 1970) sowie die Klassifikation nach Einzelmerkmalen gemäß James A. Ford (siehe hierzu Menzel, 1971; Rowe, 1959). Letztere Methode wurde von Rowe (1959) für die peruanische Archäologie adaptiert. Sie bildet auch die Grundlage für die Erstellung der Ocucaje-Sequenz, die bis heute das maßgebliche Bezugssystem für die relative Chronologie der Paracas-Kultur darstellt (Wetter, 2005).

Die Ocucaje-Sequenz (Tab. 7) entstand vor dem Hintergrund einer großen Menge an kontextlosem Material in Sammlungen und Museen, einer nur geringen Zahl wissenschaftlicher Grabungen und einer Vielzahl von nebeneinander existierenden relativen Chronologien (Reindel & Isla, 2003; Wetter, 2005). Menzel, Rowe und Dawson publizierten 1964 die später als „MRD-1964“ bezeichnete Keramikchronologie der Paracas-Zeit mit 10 Ocucaje-Phasen, die auf der weiter unten kurz erläuterten sogenannten „Ähnlichkeitsseriation“ (*similiary seriation*) basiert. Die letzte Phase der Paracas-Typologie, Ocucaje 10, weist ähnliche Elemente wie die erste der Nasca-Phasen, Nasca 1, auf, weshalb dieser Übergangsbereich zu einer Phase Initial-Nasca oder Proto-Nasca zusammengefasst wird (siehe Tab. 7, 8 und 10; Reindel et al., 1999; Lambers, 2004).

Ähnlich wie bei der relativen Paracas-Chronologie liegt das größte Problem der Nasca-Chronologie darin, dass eine Vielzahl der zuerst von Max Uhle zusammengetragenen Nasca-Keramiken, die die Grundlage der Klassifizierung der Nasca-Zeit bilden, aus Raubgrabungen stammt und so eines stratigraphischen Kontextes entbehren. Die Entdeckung der Nasca-Kultur geht auf Uhle zurück, der 1901 im Bereich von Ica erste Ausgrabungen an Nasca-Friedhöfen unternahm (Silverman & Proulx, 2002). Auf die Spur der Nasca kam Uhle, als ihm erstmals in den 1880er Jahren im Völkerkundemuseum in Berlin Exemplare von deren eindrucksvoller polychromer Keramik in die Hände fielen. Der Begriff „Nasca-Stil“ zur Beschreibung dieser Keramik dürfte erstmals von Joyce (1912) verwendet worden sein. Uhle

selbst publizierte seine Entdeckung des Nasca-Stils und eine erste relative Chronologie des Ica-Tals erst zwei Jahre später (Uhle, 1914).

Im Laufe des 20. Jahrhunderts beschäftigten sich zahlreiche Autoren mit der Erstellung einer systematischen Chronologie der Nasca-Zeit, basierend auf einer Analyse der Keramik hinsichtlich verwendeter Verzierungstechniken, Ikonographie und Gefäßtypen. Silverman und Proulx (2002) liefern hierzu einen guten Überblick über die bisherigen Arbeiten. Im Anhang zu vorliegender Arbeit befindet sich eine Kurzzusammenfassung der einzelnen Nasca-Stilphasen auf Basis dieses Überblicks.

Schon bald nach der Entdeckung der Nasca-Keramik wurden zwei wesentliche Stilelemente unterschieden, in denen sich bereits eine kulturelle Entwicklung abzuzeichnen schien (Uhle, 1914; Tello, 1917):

- der naturalistische, abbildende, „*monumentale*“ Stil
- der abstrakte, konventionalisierte, „*üppige*“ Stil

Tello und Uhle vertraten jedoch gegenläufige Ansichten, welcher Stil aus dem anderen hervorging. Auf Basis der von Uhle zusammengetragenen Keramik erstellten Gayton und Kroeber (1927) eine etwas weiterführende Chronologie mit den beiden stilistischen Endpunkten A und B und einer Übergangsphase X, die sich später jedoch als Mischung von Gefäßen mehrerer Phasen herausstellte. Sie führten außerdem eine weitere Phase Y ein, die sie als spätere oder „zerfallende“ Form des A-X-B-Stils interpretierten (Tab. 8).

Eine Wende im Versuch, die Nasca-Stilphasen zu erfassen und zu ordnen, bringt Rowe (1960) mit der Beschreibung der sogenannten „Ähnlichkeitsseriation“ (*similiary seriation*). Diese Methode beruht auf einer nicht typologischen und nicht quantitativen Keramikanalyse und der Annahme, dass Veränderungen in einer Kultur, die sich auch im Keramikstil ausprägen, allmählich vom Einfacheren zum Komplexeren ablaufen. Anfangs- und Endpunkt einer solchen Serie müssen dabei bekannt sein (genauere Ausführungen zu dieser Methode siehe auch Wetter, 2005). Diese „Ähnlichkeits-Technik“ wurde von Lawrence Dawson auf die Nasca-Keramik angewandt. Er entwickelte eine auf 8 (bzw. 9) Phasen basierende Stil-Chronologie, die auch heute noch Anwendung findet (Tab. 8). Dawson hat seine Untersuchungen zur Nasca-Keramik selbst nie publiziert, jedoch existieren zahlreiche Arbeiten auf diesem Gebiet (Menzel, 1977; Proulx, 1968; Rowe, 1960; Silverman, 1977; Silverman & Proulx, 2002; Strong, 1957).

Die zuvor beschriebenen relativen Keramikchronologien der Paracas- und Nasca-Zeit bergen neben mangelnden Informationen über den archäologischen Kontext der zu Grunde liegenden Keramiken eine Reihe von Unsicherheiten. Silverman und Proulx (2002) führen hierzu an, dass beispielsweise regionale Unterschiede im Keramikstil als chronologische Stufen

interpretiert werden können. Dass dies in Betracht gezogen werden muss, wird schon angesichts der geographischen Komplexität des Rio Grande de Nasca Talsystems deutlich. Des weiteren könnte auch das, was als chronologisch angesehen wird, tatsächlich eher der Ausdruck des Stils von Familien oder sozialen Gruppen sein. Schlussendlich können auch funktionelle Unterschiede, z.B. zwischen ritueller und Gebrauchskeramik, als chronologische Entwicklung fehlinterpretiert werden (Wetter, 2005).

In jüngster Zeit werden und wurden an der KAAK in Bonn Versuche zur Neubearbeitung der Paracas-Keramik (Wetter, 2005) und der Nasca-Keramik (Hecht, in Bearb.) unternommen. Ziel ist es dabei, Klassifikationen zu erstellen, die auf einer breiten Merkmalsgrundlage aufbauen, bisher vernachlässigte Aspekte wie Warenart und Form der Keramik mit einbeziehen und auf gut dokumentierten, stratigraphischen Grabungen basieren.

Diese neuen Untersuchungen liefern das relative Grundgerüst für die im nachfolgenden Kapitel vorgestellte numerische  $^{14}\text{C}$ -Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit.

	<i>MRD (1964)</i>	<i>DeLeonardis (1997)</i>	<i>Reindel et al. (1999)</i>
<b>Frühe Zwischenperiode</b>	Nasca 1		Initial-Nasca
<b>Früher Horizont</b>	Ocucaje 10		Spät-Paracas
	Ocucaje 9		
	Ocucaje 8		
	Ocucaje 7	Late Callango (Ocucaje 6-7)	Mittel-Paracas
	Ocucaje 6		
	Ocucaje 5	Middle Callango (Ocucaje 3-8)	Früh-Paracas
	Ocucaje 4		
	Ocucaje 3		
	Ocucaje 2	Early Callango (Ocucaje 1-4)	
Ocucaje 1			
<b>Initialzeit</b>			

**Tab. 7:** Schema dreier relativer Chronologiegerüste des Frühen Horizonts an der Südküste Perus (nach Wetter, 2005).

Schematic comparison of three relative chronologies of the Early Horizon at the southcoast of Peru (according to Wetter, 2005).

Stilistische Züge	<i>Dawson</i> (Rowe, 1960)	<i>Gayton &amp; Kroeber</i> (1927)	Phasen
Disjunktiver Stil	9	Y-2, Y-3	Wari
	8	Y-1	Wari (Loro)
Üppiger Stil	7	B	Spät-Nasca
	6		
Übergangsstil	5	X	Mittel-Nasca
Monumentaler Stil	4	A	
	3		
	2		Früh-Nasca
Proto-Nasca	1		Initial-Nasca

**Tab. 8:** Vergleichende Zusammenfassung der Nasca Keramikstile und die Zuordnung zu den jeweiligen Phasen (nach Silverman & Proulx, 2002).

Comparative summary of the Nasca ceramic styles and the correlation to the respective phases (according to Silverman & Proulx, 2002).



**Fig. 64:** Typische Keramik der Mittleren Nascazeit aus La Muña (Fotos: Reindel).

Typical ceramic pottery of the middle Nasca period from La Muña (photos: Reindel).

### 3.2 Numerische $^{14}\text{C}$ -Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit

Die bisherigen Ansätze einer numerischen Chronologie der Paracas-Kultur werden kontrovers diskutiert (Velarde, 1997). Der Beginn des sogenannten Frühen Horizontes wird je nach Ansatz um bis zu 900 Jahre versetzt angesiedelt (Paul, 1991). Grundlage solcher Angaben sind  $^{14}\text{C}$ -Datierungen, die zum Teil aus wenig aussagekräftigen Fundkontexten stammen, oder zu weit entfernten Fundorten wie etwa Chavin de Huantar gehören und mit der Paracas-Zeit über Stilvergleiche parallelisiert werden (Burger, 1981). Bei der numerischen Fixierung des Endes der Paracas-Zeit und dem Beginn der Nasca-Zeit, also der Zeit der sogenannten Frühen Zwischenperiode, gehen die Meinungen weniger weit auseinander. Jedoch auch hier variieren die bisherigen Ansätze um mindestens 200 Jahre (Silverman, 1991).

Wie bereits in Bezug auf die Keramikchronologien angesprochen, lagen numerische, chronometrische Daten zur Paracas- und Nasca-Kultur bisher ebenfalls nur aus nicht ausreichend dokumentierten Fundkontexten vor oder waren umstritten, sodass es schwierig war, eine genaue zeitliche Einordnung der Grabungsfunde in der Region Palpa vorzunehmen (Reindel et al., 2003). Silverman und Proulx (2002) heben den dringenden Bedarf an einer  $^{14}\text{C}$ -basier-ten konsistenten Chronologie in der Nasca-Archäologie hervor, nach ihren Angaben sind die bisher publizierten  $^{14}\text{C}$ -Daten (Disselhoff, 1969; Rowe, 1967; Ziolkowski et al., 1994) inkonsistent, unkalibriert und unzureichend dokumentiert.

#### Archäologische Grundlage der $^{14}\text{C}$ -Chronologie

Die Basis der  $^{14}\text{C}$ -Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit bilden die unter der Leitung von Reindel und Isla Cuadrado in der Region Palpa seit 1996 durchgeführten Grabungen. Die über 100  $^{14}\text{C}$ -Proben, die in die Chronologie Eingang gefunden haben, stammen aus den in Kapitel 1 und 2 beschriebenen Fundkontexten, die in den jeweils zitierten Publikationen von Reindel und Kollegen näher erläutert und dokumentiert sind.

#### Mathematische Grundlage der $^{14}\text{C}$ -Chronologie

Obwohl sie in vielen Gebieten der Archäologie bereits verbreitet ist, hat Bayesianische Statistik in der Erforschung der vorspanischen Kulturen Südperus bislang keinen Einzug gehalten. Zur Erstellung einer kohärenten  $^{14}\text{C}$ -Chronologie ist dieser spezielle statistische Ansatz jedoch unerlässlich, weshalb er in Grundzügen zum besseren Verständnis der danach vorgestellten Paracas-Nasca-Chronologie hier kurz erläutert werden soll. Für einen genaueren Einblick in Bayesianische Statistik und die Grundlagen zur Erstellung von numerischen Chronologien sei auf Buck und Millard (2004) verwiesen.

Der Satz von Bayes beschäftigt sich mit der Verbesserung oder Revision von bestehenden Annahmen im Lichte neuer Informationen, oder anders ausgedrückt mit Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen unter der Bedingung bestimmter Vorinformationen (Bayes, 1763). Dabei werden drei Elemente miteinander verknüpft (Buck & Millard, 2004):

1. Das statistische Modell, wie sich (Mess-)Daten zu unbekanntem Parametern (z.B. Kalenderalter) verhalten, was als Wahrscheinlichkeitsfunktion bezeichnet wird.
2. Die *a priori* (archäologische) Annahme über die unbekanntem Parameter vor der Kenntnis von (Mess-)Daten (*a priori* Informationen).
3. Die Schlussfolgerungen auf Basis der Wahrscheinlichkeitsfunktion, der *a priori* Informationen und der (Mess-)Daten (*a posteriori* Wahrscheinlichkeit).

Setzt man für die Wahrscheinlichkeit  $P(\text{Daten}|\text{Parameter})$  - wobei „x | y“ bedeutet „x unter der Bedingung von y“ -, für die *a priori* Informationen  $P(\text{Parameter})$  und die *a posteriori* Wahrscheinlichkeit  $P(\text{Parameter}|\text{Daten})$  so lässt sich das Bayesianische Theorem wie folgt mathematisch ausdrücken:

$$P(\text{Parameter} | \text{Daten}) = \frac{P(\text{Daten} | \text{Parameter}) \cdot P(\text{Parameter})}{P(\text{Daten})} \quad (\text{Gl. 18.1})$$

Übertragen auf die Erstellung einer Chronologie sind „Parameter|Daten“ typischerweise die unbekanntem Kalenderalter und die „Daten“ entsprechen Ergebnissen aus  $^{14}\text{C}$ -Messungen oder anderen chronometrischen Untersuchungen. Der Bruch bezeichnet die Transformation der  $^{14}\text{C}$ -Alter auf die Kalenderachse ( $^{14}\text{C}$ -Kalibration) und  $P(\text{Parameter})$  stellt die *a priori* Information dar. Ersetzt man den Bruch in Gl. 18 durch den Ausdruck „standardisierte Wahrscheinlichkeit“ so lässt sich die Gleichung in Worten ausdrücken als

$$\text{Spätere Annahmen} = \text{Standardisierte Wahrscheinlichkeit} \cdot \text{Vorherige Annahmen}$$

Setzt man nun weiter  $\theta$  für das unbekanntem Kalenderalter in Jahren BP sowie  $\kappa$  für die Messdaten aus dem Labor (im Falle von  $^{14}\text{C}$  das  $^{14}\text{C}$ -Alter) und  $\sigma$  für den dazugehörigen Messfehler, so lässt sich Gl. 18 schreiben als

$$P(\theta | \kappa, \sigma) = \frac{P(\kappa, \sigma | \theta)}{P(\kappa, \sigma)} \cdot P(\theta) \quad (\text{Gl. 18.2})$$

Die *a priori* Informationen  $P(\theta)$  können beispielsweise aus der stratigraphischen Position verschiedener Proben zueinander stammen. In einem sehr einfachen Beispiel heißt das, dass für die Kalenderalter  $\theta$  dreier unterschiedlicher Proben die *a priori* Annahme besteht:  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ . Aufgrund der nichtlinearen Form der Kalibrationskurve (vgl. Teil A – Kap. 2, besonders Kap. 2.1.3 Fig. 11) ergeben sich aus dieser *a priori* Information jedoch mathematische Probleme, die nicht algebraisch gelöst werden können. Infolge dessen verwenden Kalibrationsprogramme wie OxCal ein simulationsbasiertes statistisches Modell, das als Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC) Methode bezeichnet wird (Bronk Ramsey, 2001; Buck & Millard, 2004). Mit dieser Methode können die Wahrscheinlichkeit sowie die *a priori* Infor-

mationen aus Stratigraphie und Kalibrationskurve verknüpft werden und eine klar umgrenzte Abschätzung für  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  und  $\theta_3$  gegeben werden.

Die beschriebenen statistischen Grundlagen zur Berechnung der Alterswahrscheinlichkeit einzelner archäologischer Proben lassen sich auf die Berechnung von Phasen und Sequenzen erweitern. Meist gilt dabei das Hauptinteresse Informationen über den Start oder das Ende solcher Phasen oder Perioden. Unglücklicherweise sind jedoch Proben, anhand derer der Start- oder Endpunkt einer Phase (*boundary*) datiert werden kann, selten oder gar nicht vorhanden. In dieser Situation wird es besonders wichtig, relativ-chronologische *a priori* Informationen in den Interpretationsprozess einfließen zu lassen (im Falle der Paracas-Nasca-Chronologie wäre ein solcher Schritt die Zuordnung von  $^{14}\text{C}$ -Proben zu den jeweiligen Keramikphasen über den entsprechenden Grabungskontext). Buck und Millard (2004) ergänzen Gl. 18.2 um die Grenzparameter  $\alpha$  und  $\beta$ , über die es einige relativ-chronologische Informationen gibt, aber von denen keine direkten chronometrischen Daten vorliegen:

$$P(\theta, \alpha, \beta | \kappa, \sigma) = \frac{P(\kappa, \sigma | \theta, \alpha, \beta)}{P(\kappa | \theta, \alpha, \beta)} \cdot P(\theta, \alpha, \beta) \quad (\text{Gl. 18.3})$$

Anders ausgedrückt kommen in die Gleichung zusätzliche Parameter hinzu, über die man etwas wissen möchte, die aber von völlig anderer Natur sein können (z.B. relative Reihenfolge, Ausschluss von Überlappungen, Lücken zu ermittelnder Länge, etc.). Bei der Lösung dieses Problems findet erneut die simulationsbasierte MCMC-Methode Anwendung.

Wenn eine Chronologie mehrere Phasen  $j = 1, 2, \dots, J$  umfasst, wobei eine jede begrenzt wird durch ein Paar Grenzparameter unbekannter Kalenderalter ( $\alpha_j, \beta_j$ ) und jede Phase  $i = 1, 2, \dots, n$  datierte  $^{14}\text{C}$ -Proben enthält, so kann die Wahrscheinlichkeit der einzelnen Phasen basierend auf  $\kappa_{i,j}$  in Anlehnung an Buck und Millard (2004) ausgedrückt werden als

$$P(\theta_{i,j}, \alpha_j, \beta_j | \kappa_{i,j}) \propto \frac{1}{\alpha_j - \beta_j} \cdot \exp\left\{-\frac{(\kappa_{i,j} - \theta_{i,j})^2}{2\sigma_{i,j}^2}\right\} \quad (\text{Gl. 19.})$$

Ein erster Ansatz für die Erstellung einer Nasca-Chronologie auf Basis der zuvor beschriebenen Bayesianischen Statistik wurde von Görzdorf und Reindel (2002) mit 12 Proben aus gut dokumentierten Grabungen in Los Molinos und La Muña geschaffen. Wie in vorliegender Arbeit verwenden auch sie zur Kalibrierung der  $^{14}\text{C}$ -Alter gemäß IntCal98 (Stuiver et al., 1998) das Programm OxCal (Bronk Ramsey, 1995; 1998; 2001), welches verschiedene Mög-

**Sequenzielle Monte-Carlo-Methoden (SMC-Methoden)**

gehören zur Klasse der stochastischen Verfahren zur Zustandsschätzung in einem dynamischen Prozess, dessen Dynamik nur im statistischen Mittel bekannt ist (wesentliche Störgrößen) und der nur unvollständig beobachtet werden kann (Unterteilung in innere, verborgene und äußere, sichtbare Variable). Ziel der SMC-Methoden ist es, die gerade aktuelle, aber unbekannte Wahrscheinlichkeitsdichte auf dem Zustandsraum zu schätzen, um daraus Aussagen über den wahrscheinlichsten Systemzustand des dynamischen Systems abzuleiten. (Wikipedia, 2005b)

lichkeiten zur Verfügung stellt, um mit MCMC-Methoden aus unterschiedlichen kalibrierten Einzelproben einer Stilphase einen gemeinsamen Zeitraum zu berechnen.

Görsdorf und Reindel (2002) gingen jedoch nicht nur von einer geringeren Südhemisphären-Korrektur aus als in vorliegender Arbeit (vgl. Teil B - Kap. 1.4), sondern wählten auch einen geringfügig anderen statistischen Ansatz für die Kombination von Einzelproben zu einer gemeinsamen Phase. Sie verwenden keine statistischen Zeitgrenzen (*boundaries*), weder zur Umfassung einzelner Phasen noch zur Abgrenzung zweier archäologisch unterschiedenen Phasen. Dies wird jedoch von Bronk Ramsey (2001) empfohlen, da modellierte Zeitspannen ohne diese Grenzen dazu tendieren, sich unverhältnismäßig stark auszudehnen. Die von ihnen gewählte Summen-Funktion („*sum*“) zur Datenkombination wurde hingegen auch für vorliegende Arbeit als sinnvoll erachtet. Sie wird dazu verwendet, Wahrscheinlichkeitsverteilungen einzelner Proben zu addieren, um die beste Abschätzung für die zeitliche Verteilung der Ereignisse zu erzielen (in der Programmsyntax von OxCal ist „*sum*“ neben „*phase*“ und „*sequence*“ eine der drei Varianten der MCMC-Methoden, die das Programm zur Phasenberechnung zur Verfügung stellt; Bronk Ramsey, 2005). Dadurch wird der zu erwartende Zeitbereich eher erweitert als, wie bei einer einfachen Kombination der Daten, reduziert (Bronk Ramsey, 2005). Die resultierende Verteilung bezieht sich keinesfalls auf ein einzelnes Ereignis, was bei der Berechnung einer Stilphase aus einzelnen archäologischen Befunden auch nicht beabsichtigt ist. Ein solches Vorgehen ist also gerade dann sinnvoll, wenn man mehrere Proben aus demselben archäologischen Kontext datiert und durch die Summierung eine größere Wahrscheinlichkeit für den Zeitraum des beprobten Befundes erreicht. Ebenso sinnvoll ist dieses Verfahren auch, um die Zeitspanne einer anhand archäologischer Kriterien (Keramikstil) definierten Phase abzuschätzen. Es dürfen jedoch nicht Proben aus unterschiedlichen Kontexten summiert werden, um die Zeitstellung eines der beprobten Befunde zu datieren.

Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass der  $1\sigma$ -Bereich für eine solche Summen-Verteilung eine Abschätzung für die Zeitspanne gibt, in dem 68,2% der Ereignisse ( $^{14}\text{C}$ -Daten) liegen und nicht die Zeitspanne, in der mit 68,2%iger Sicherheit alle Ereignisse stattgefunden haben (Bronk Ramsey, 2005). Gemäß dieser Definition ist die Möglichkeit gegeben, dass einzelne Proben, die zunächst in das statistische Modell einer Phase mit einbezogen werden, schließlich außerhalb des berechneten Zeitraumes zu liegen kommen (grundlegende Überlegungen zu Ausreißern bei der Erstellung von  $^{14}\text{C}$ -Chronologien siehe in Buck & Millard, 2004).

Die Datensätze zur Berechnung der Paracas-Nasca-Chronologie befinden sich im Anhang, die Ergebnisse sind in den Tabellen 9 und 10 dargestellt. Dabei ergeben sich folgende Übereinstimmungen und Veränderungen zu den bisher vorherrschenden archäologischen Zeitrahmen für die einzelnen Phasen:



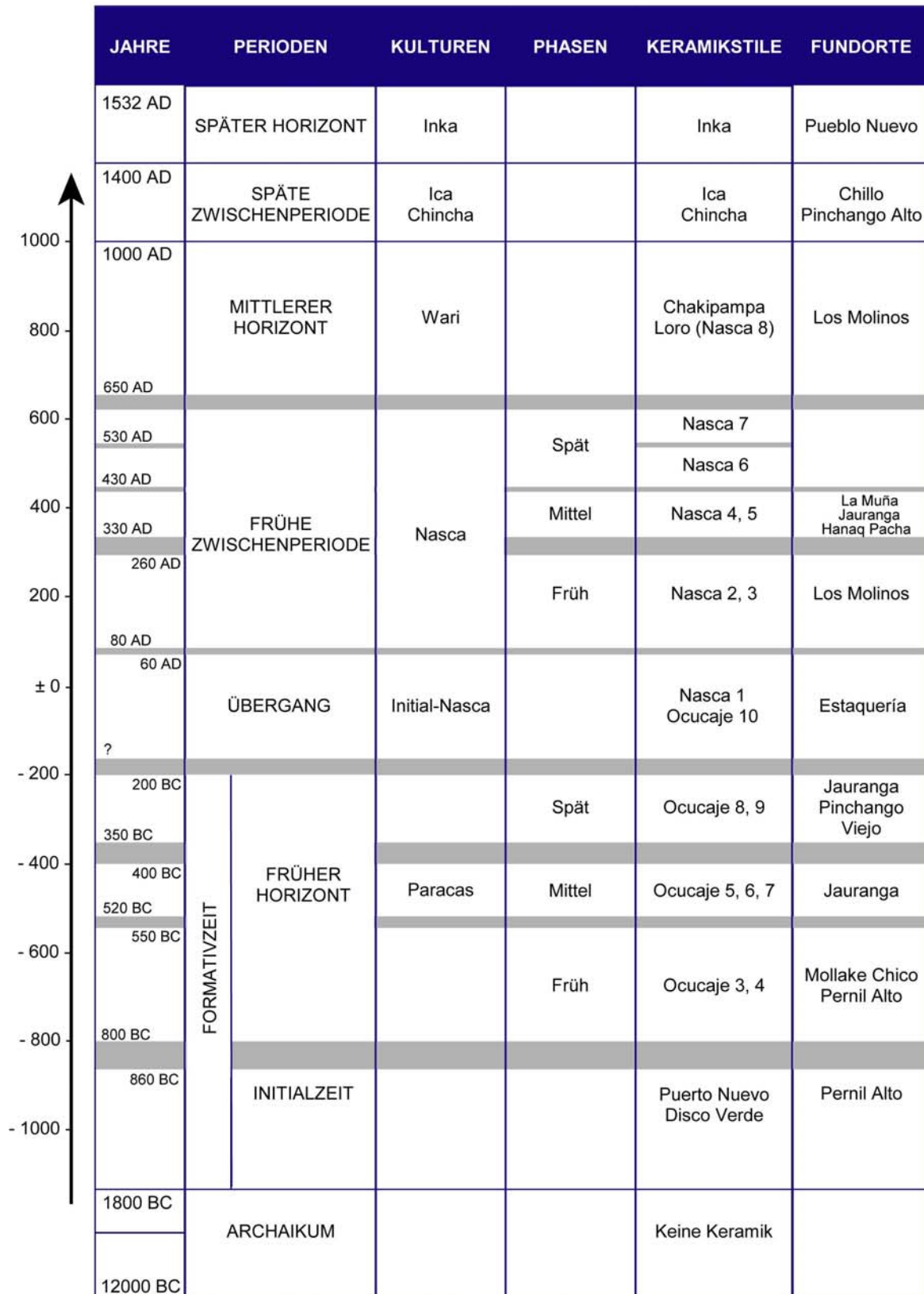
Phase	Stil	Erwartete Dauer	Berechnete Dauer
INITIAL-PHASE :		1000-800 BC	1040-860 cal BC
FRÜH-PARACAS :	Ocucaje 3-4	800-600 BC	800-520 cal BC
MITTEL-PARACAS :	Ocucaje 5-6-7	600-400 BC	550-350 cal BC
SPÄT-PARACAS :	Ocucaje 8-9	400-200 BC	400-200 cal BC
INITIAL-NASCA :		200 BC – 0 BC/AD	50 cal BC – 80 cal AD
FRÜH-NASCA :	Nasca 2-3	0 BC/AD – 250 AD	60-330 cal AD
MITTEL-NASCA :	Nasca 4-5	250-450 AD	260-430 cal AD
SPÄT-NASCA :	Nasca (6)-7	450-600 AD	530-650 cal AD (Nasca 7)

**Tab. 9:** Vergleich der erwarteten mit den berechneten Zeiträumen der einzelnen Paracas- und Nasca-Phasen.

Aus der Initial-Phase standen für diese Chronologie 11  $^{14}\text{C}$ -Proben aus Pernil Alto zur Verfügung. Sie stammen alle vom Ende dieser Epoche, so dass damit keine direkte Aussage über deren Beginn getroffen werden kann. Vielmehr dienen die Initial-zeitlichen Proben als Untergrenze (*boundary*) für die Paracas-Nasca-Chronologie. Aus der frühen Paracas-Zeit waren nur drei Proben aus Mollake Chico verfügbar. Somit existiert ein erster Anhaltspunkt für den Zeitraum dieser Phase, jedoch sind weitere Proben, insbesondere vom Übergang zwischen Initial- und Paracas-Zeit, zur genaueren Erfassung dieser Phase notwendig. Die Probengrundlage für die Phasen Mittel- und Spät-Paracas ist mit 11 bzw. 24 Proben sehr gut, jedoch stammen alle Proben aus Jauranga, so dass ein Vergleich mit Material aus anderen Paracas-zeitlichen Fundkomplexen wie beispielsweise Pernil Alto wünschenswert wäre. Für die Initial-Nasca-Zeit wurden mit 6 Proben relativ wenige Datenpunkte erzielt, zumal alle Proben aus einem einzigen, eng begrenzten Fundkomplex in Estaquería stammen. Auf Basis dieser wenigen Proben konnte der Übergang von Paracas zu Initial-Nasca noch nicht hinreichend gefasst werden, so dass eine nicht genauer definierte Zeitlücke zwischen 200 cal BC (derzeitige  $1\sigma$ -Obergrenze Paracas) und 50 cal BC (derzeitige  $1\sigma$ -Untergrenze Initial-Nasca) klafft (Tab. 9,10). Aus der frühen Nasca-Zeit liegen nur 5 Proben aus Los Molinos vor (Görsdorf & Reindel, 2002). Auch hier sind für eine genauere zeitliche Fassung der Phase weitere Datierungen nötig. Der Übergang zwischen Initial-Nasca und Früh-Nasca konnte im Rahmen der oben erläuterten  $1\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereiche der Phasen auf 20 Jahre genau bestimmt werden. So liegt die  $1\sigma$ -Obergrenze der Initial-Nasca-Zeit bei 80 cal AD, die  $1\sigma$ -Untergrenze der frühen Nasca-Zeit bei 60 cal AD. Am besten datiert ist derzeit die Phase Mittel-Nasca, hiervon liegen 17  $^{14}\text{C}$ -Proben aus verschiedenen Fundkomplexen vor, die sehr scharf einen gemeinsamen Zeitraum zwischen 260 und 430 cal AD definieren. In die Bestimmung der späten Nasca-Zeit sind 7  $^{14}\text{C}$ -Datierungen eingeflossen. Alle Proben wurden aufgrund des archäologischen Fundkontextes der Keramikphase Nasca 7 zugeschrieben. Aus der Phase Nasca 6 liegen keine  $^{14}\text{C}$ -Proben vor. Durch die  $1\sigma$ -Obergrenze der mittleren Nasca-Zeit bei 430 cal AD und der  $1\sigma$ -Untergrenze der Phase Nasca 7 bei 530 cal AD lässt sich Nasca 6 aufgrund der derzeitigen Datenbasis und des für die Chronologie verwendeten Probenmaterials als Zeitlücke von 100 Jahren definieren. Es muß allerdings von archäologischer Seite geklärt

werden, wodurch ein solcher „Hiatus“ begründet sein könnte und ob diese Phasenabgrenzung tatsächlich Sinn macht. Das Ende der Nasca-Zeit wird in vorliegender Chronologie (Tab. 10) nur durch die  $1\sigma$ -Obergrenze der Phase Nasca 7 bei 650 cal AD bestimmt. Es standen im Rahmen dieser Arbeit keine  $^{14}\text{C}$ -Proben aus dem Mittleren Horizont zur Verfügung, die eine Abgrenzung der Chronologie ähnlich wie beim Übergang zwischen Initial- und Paracas-Zeit ermöglichen würden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die in Tab. 10 vorgestellte Paracas-Nasca-Chronologie auf einer soliden Basis aus zahlreichen  $^{14}\text{C}$ -Proben von gut dokumentierten archäologischen Fundkomplexen aufbaut. Das zugrunde liegende statistische Modell ermöglicht es nun, in Zukunft die Datengrundlage problemlos zu erweitern und zu konsolidieren.



**Tab. 10:** Chronologie der Nasca- und Paracas-Zeit an der Südküste Perus, basierend auf mehr als 100 <sup>14</sup>C-Datierungen von Proben aus keramikführenden Grabungskontexten im Raum Palpa. Graue Balken stellen Übergangsbereiche mit Ober- und Untergrenze zwischen den einzelnen Phasen dar. Die Vor-Paracas- und Nach-Nasca-Perioden wurden im Rahmen dieser Arbeit nicht datiert, sie sind lediglich zur Verdeutlichung des zeitlichen und kulturellen Kontextes mit dargestellt.

## **Teil C: Geologie, Geomorphologie, Paläoklima**

### **1. Die holozäne Entwicklung der Region Palpa**

Mit dem Erreichen der heutigen Kontinent-Ozean-Konstellation und der Herausbildung der derzeit vorherrschenden ozeanischen und atmosphärischen Strömungsmuster am Ende der letzten Eiszeit formten sich auch die Klimazonen in ihrer gegenwärtigen Verteilung. Dennoch gab es im Verlauf der letzten 10 ka immer wieder mehr oder minder starke Fluktuationen im regionalen und globalen Klima. Es soll im Folgenden dabei weniger auf die vielfältigen Ursachen dieser Klimaschwankungen eingegangen werden, als auf deren Auswirkungen, im Speziellen auf die Region Palpa/Nasca, und auf die darüber in den verschiedenen Sedimenten festgehaltenen Informationen.

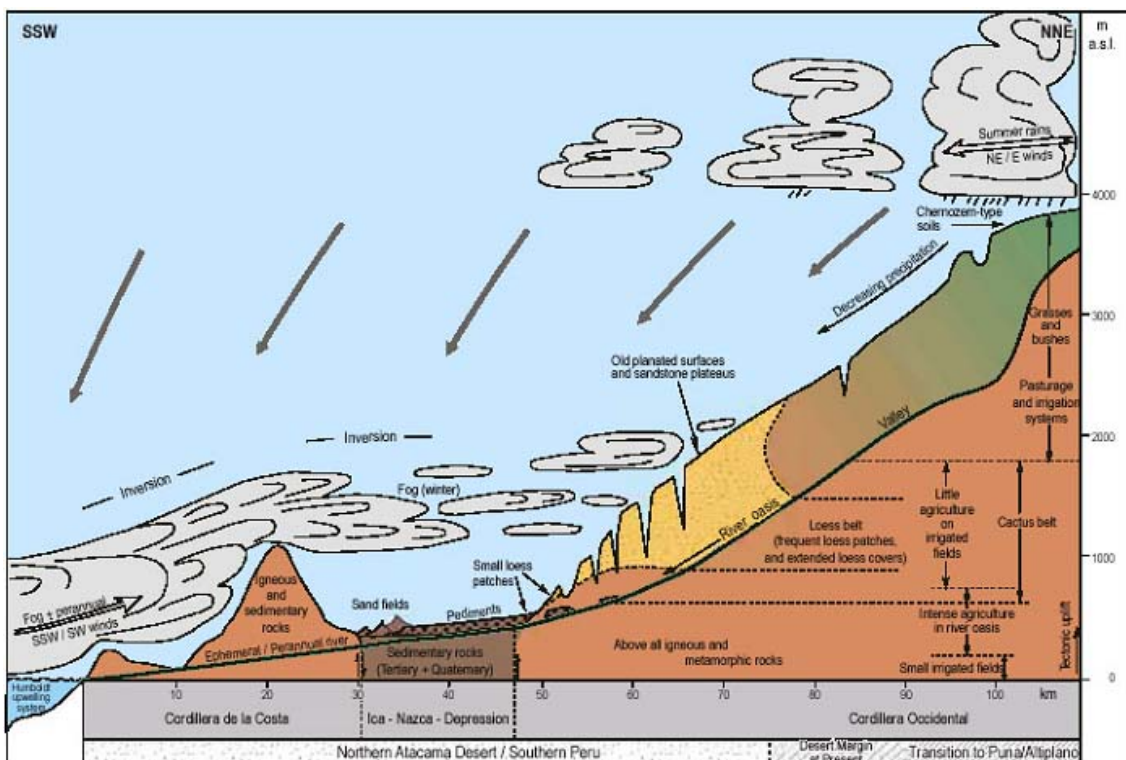
#### **1.1 Klimafaktoren**

Die Küste von Peru und Chile zwischen 4° und 45°S wird durch das als Humboldt-Strom aufsteigende ozeanische Tiefenwasser (*upwelling*) geprägt (Longhurst, 1998), was zum Teil durch die vorherrschenden südlichen Winde verursacht wird. Das kalte Ozeanwasser und der Reliefunterschied zwischen Meer und Land zwingen die Luft abzusinken. Dadurch wird die Konvektion der Luftmassen verhindert und die Aridität des peruanischen Küstenstreifens verursacht. Nur der sich über dem Meer bildende Nebel überquert im Südwinter (Juli-September) häufig die Küstenkordillere (Fig. 65), bedeckt die Ica-Nazca-Depression und erreicht die Fußzone der Anden zwischen 600 und 1200 m ü.M.. Die Trockenheit kann durch starke El-Niño-Ereignisse während des Südsommers (Januar-März) kurzzeitig unterbrochen werden (Keefer & Moseley, 2004), wenn die *upwelling*-Aktivität des Humboldt-Stroms reduziert oder gar unterbrochen wird. Es ist aber davon auszugehen, dass in der Region um Palpa die El-Niño-Niederschläge hauptsächlich die Küstenkordillere treffen und das im Lee der Bergkette gelegene hyper-aride Becken nicht erreichen (Eitel et al., 2005). Durch den Einfluss der 170 km langen und bis zu 1500 m hohen Küstenkordillere verbreitert sich die Wüstenzone an der peruanischen Südküste zwischen Ica im Norden und Nazca im Süden auf rund 90 km. Das sind gut 10-30 km mehr als zwischen Ica und Lima.

Nach Osten hin geht die Küstenrandwüste in das semi-aride Hochlandökosystem der Anden über. Während der Regenzeit (November-Mai) können monsunale Gewitter aus dem Amazonas die Westkordillere überqueren und die höchstgelegenen Einzugsgebiete der Flüsse erreichen (Fig. 65). Sie sind die einzige Wasserquelle für das westliche Andenvorland. Im Laufe des Holozäns gab es immer wieder Phasen, in denen die monsunalen Niederschläge weiter

nach Westen vorgedrungen sind als heute (Eitel et al. 2005). Dies hatte weitreichende Folgen für das Untersuchungsgebiet:

- die Klima- und Vegetationszonen verschoben sich ebenfalls nach Westen,
- in einer semi-ariden Graslandschaft konnte sich Löss ablagern (Kap. 2.2)
- die Flüsse führten mehr Wasser aufgrund des höheren Niederschlagsdargebots in ihren Einzugsgebieten
- den Siedlern in der Region stand in diesen Phasen zuverlässig mehr Wasser für Ackerbau und Viehzucht zur Verfügung, die Kultur blühte auf.

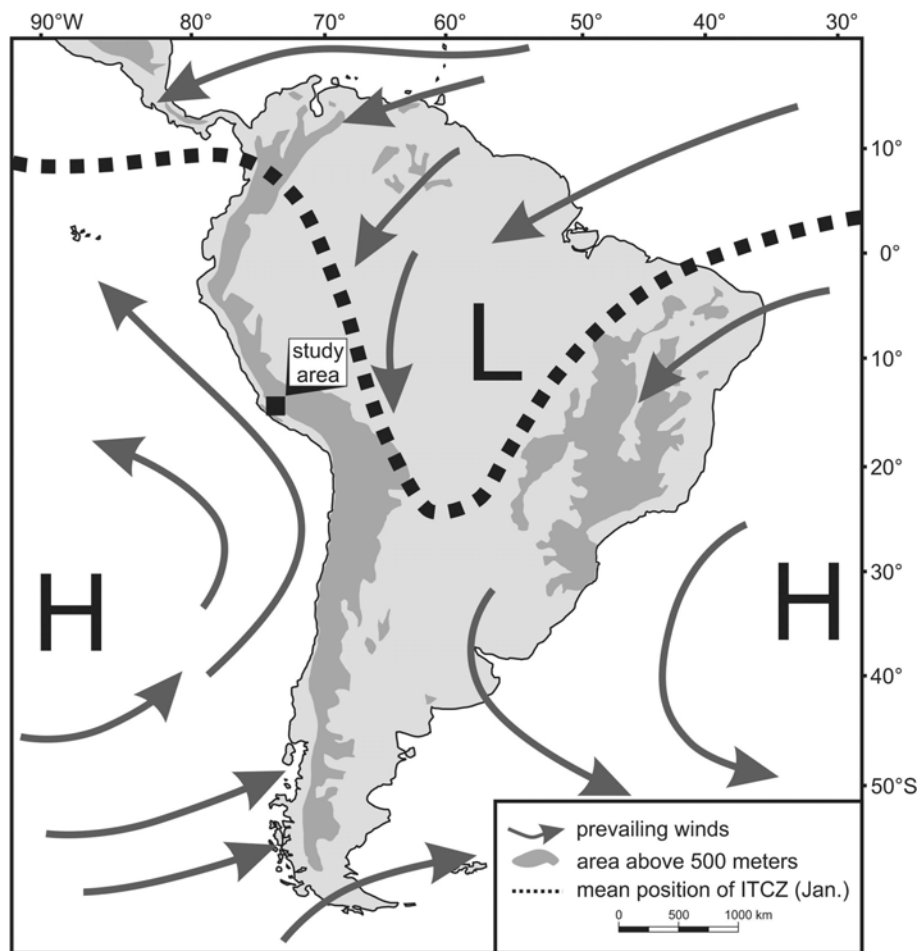


**Fig. 65:** Ein generalisierter Schnitt vom Pazifik bis ins andine Hochland entlang des Rio St. Cruz Tals (~14°30' S). Man beachte den Löss-Gürtel in der östlichen Atacama-Wüste. (Grafik: Eitel et al., 2005)

A generalized cross-section from the Pacific Ocean to the Andean highlands, following the Rio St. Cruz valley (~14°30' S). Note the loess belt in the eastern Atacama Desert. (graphics: Eitel et al., 2005)

Die treibenden Kräfte für diese Fluktuation der Niederschläge und damit verbunden des Wüstenrandes werden beim Überblick über Südamerika deutlich (Fig. 66), wenn auch die Ursachen dafür noch Gegenstand intensiver Forschung sind (z.B. Baker et al., 2001; Haug et al., 2001). Von September bis Dezember wandert die Innertropische Konvergenz Zone (ITCZ) vom Äquator Richtung Südlicher Wendekreis. Das starke Osterinsel-Hoch über dem Südpazifik wirkt dem entgegen und beult die ITCZ nach Norden aus. Gleichzeitig zieht das ausgeprägte Tief über dem Amazonasbecken die ITCZ über dem Kontinent nach Süden und leitet so feuchte Luftmassen aus dem Bereich des Atlantiks nach Südwesten Richtung Altiplano. Dadurch verläuft die üblicherweise äquatorparallele ITCZ über dem nördlichen Südamerika in etwa entlang der Anden. Abhängig von der Stärke des Osterinsel-Hochs kann

sich nun dieser andine Abschnitt der ITCZ mehr oder weniger in Ost-West-Richtung verlagern und für die Verschiebung der Klima- und Vegetationszonen am Westhang der Anden sorgen. Der Niederschlag, der über der Westkordillere abregnet und so bis ins Untersuchungsgebiet um Palpa vordringt, stammt zwar aus dem Atlantik. Dennoch wird davon ausgegangen, dass die beschriebene Klimavariabilität von den Bedingungen über dem Pazifik bestimmt wird, wahrscheinlich in Zusammenhang mit der El-Niño-Southern-Oscillation (ENSO) (Hendy et al., 2002; Knüsel et al., 2005). Besonders die Untersuchungen von Knüsel et al. (2005) legen nahe, dass eine Korrelation von Klimadaten von der peruanischen Pazifikküste mit Daten aus dem andinen Hochland in gewissem Umfang möglich ist.



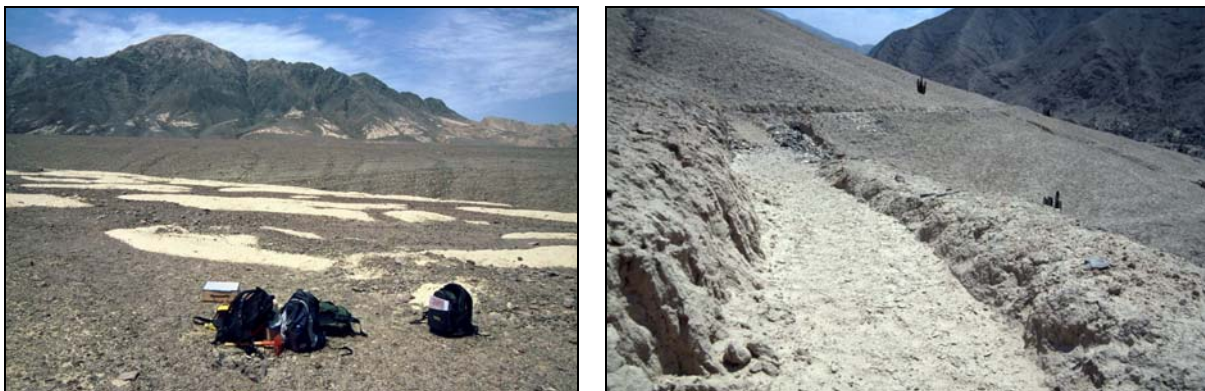
**Fig. 66:** Lage des Untersuchungsgebietes, Windrichtungen und durchschnittliche Position der ITCZ über Südamerika während des Südsommers. Der saisonale Trog über dem Amazonasbecken führt zu einem Feuchtigkeitstransport nach Südwesten zum Altiplano und verursacht so den Abfluß in den Tälern in der östlichen Atacama-Wüste. (Grafik: B. Mächtle, aus Mächtle et al., 2005, submitted, modifiziert nach Maslin & Burns, 2000)

Location of the study area, wind directions and mean position of the ITCZ over South America in the austral summer. The seasonal trough over the Amazon Basin leads to moisture transport southwestwards to the Altiplano and causes runoff in the valleys, which are orientated to the eastern Atacama desert. (Graphics: B. Mächtle, from Mächtle et al., 2005, submitted, modified according to Maslin & Burns, 2000)

## 1.2 Wüstenrand-Löss

Die zuvor geschilderten geomorphologischen und klimatologischen Bedingungen der peruanischen Südküste begünstigten in hohem Maße die Bildung von Wüstenrand-Löss. Dieses feinkörnige, äolische Sediment wurde an der Westflanke der Anden erstmals durch eine gemeinschaftliche Publikation im Rahmen des BMBF-Projektverbundes beschrieben (Eitel et al., 2005). Löss aus kalten, periglazialen Klimaten wurde bereits in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in Südwestdeutschland beschrieben (Leonhard, 1823/24; Lyell, 1834). Aber erst gegen Ende des 20. Jahrhunderts kamen Lösssedimente aus tropischen bis subtropischen Wüstenrandgebieten, vorwiegend in Afrika (z.B. Namibia: Eitel et al., 2002), hinzu.

Seine Akkumulation erfordert eine enge räumliche Verbindung zwischen vegetationsfreien Oberflächen, von denen der Wind Material ausblasen kann, und grasbedeckten Gebieten, die den Staub aus der Luft herausfiltern und somit sukzessive eine ausgedehnte Sedimentschicht ansammeln können. Daraus resultieren nahezu gegensätzliche Klimaaussagen von periglazialen und Wüstenrand-Löss. Während periglazialer Löss aus humiden mittleren Breiten durchweg eine Aridisierung und Abkühlung des Klimas anzeigt, braucht Wüstenlöss zumindest eine geringfügige Vegetationsdecke um zu akkumulieren. Somit sind die Lössablagerungen, die in heutiger Zeit in den hyper-ariden Gebieten der Atacama-Wüste in Südperu zu finden sind, ein Beleg für feuchtere Klimabedingungen zur Zeit ihrer Sedimentation.



**Fig. 67:** (Links) Lössreste auf einer Pedimentfläche im Rio Palpa Tal. (Rechts) Ein alter Bewässerungskanal von etwa 1 m Breite führt durch eine geschlossene Lössdecke im oberen Rio St. Cruz Tal bei Jaime.

(Left) Loess patches on a pediment plain in the Rio Palpa valley. (Right) An old irrigation channel of about 1 m width leading through a continuous Loess cover in the upper Rio St. Cruz valley near Jaime.

Die typischen Lössvorkommen im Untersuchungsgebiet befinden sich in einem Bereich zwischen etwa 40 und 80/90 km Entfernung zum Pazifik (Fig. 65). Sie bedecken die Abhänge der Anden und die Pedimentflächen der Cañete Formation oberhalb einer Höhe von etwa 450 m ü.M. und reichen bis in den Kakteen-Gürtel der Westkordillere, einer ökologischen Klimazone zwischen 700 und 1800 m ü.M. Ausgeweht wird der Löss aus den alluvialen Ebenen, Flussterrassen und entfernter gelegenen Teilen der Pedimentflächen in der Ica-Nasca-Depression. Dort zeugen auch ausgedehnte Dünenfelder von starker äolischer Aktivität mit vorherr-

schenden Winden aus südlichen Richtungen. In der Fußzone der Westkordillere sind nur noch Lössflecken von etwa 30-50 cm Mächtigkeit erhalten. Hingegen findet sich im Tal des Rio St. Cruz nördlich von Palpa in einer Höhe zwischen 900 und 1200 m ü.M. noch eine geschlossene Lössbedeckung auf beiden Talflanken (Fig. 67).

### 1.2.1 Die $^{14}\text{C}$ -Datierung von Löss

Typische Bewohner des Gras- und Buschlandes bzw. des Kakteen-Gürtels des Andenwesthanges sind Landschnecken der Familie *Bulimulidae*. Abgesehen davon, dass sie ein wertvoller Indikator für semi-aride Klimabedingungen sind, kann ihr Gehäuse auch zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung herangezogen werden. Zu diesem Zweck wurden im Rahmen des BMBF-Projektverbundes bei zahlreichen Lössvorkommen in den Tälern von Rio St. Cruz, Rio Palpa und Rio Viscas Schneckengehäuse aus dem Sediment extrahiert (siehe hierzu die Arbeit von Mächtle, 2006, in prep.). Als Gattung konnte *Scutalus sp.* bestimmt werden, allerdings herrscht noch Uneinigkeit, ob es sich um *Scutalus chiletensis granulatus* (Mächtle et al., 2005, submitted) oder um *Scutalus proteus* (Ramirez, pers. Mitt.) handelt (Fig. 68).

Für die  $^{14}\text{C}$ -Datierung der Karbonatgehäuse muss der Einfluß einer möglichen  $^{14}\text{C}$ -freien Karbonatfraktion in Betracht gezogen werden (Reservoir-Effekt, vgl. Teil A - Kap. 2, sowie Pigati et al., 2004). Ähnlich wie Weinbergschnecken (*Helix sp.*) kann möglicherweise auch *Scutalus sp.* bei Bedarf direkt aus dem Boden Kalk aufnehmen. So wurden Ansammlungen von *Scutalus*-Gehäusen an kalkhaltigen Abfallhaufen in archäologischen Grabungen in Peru beobachtet, die keine Anzeichen anthropogener Manipulation im archäologischen Kontext aufwiesen, sondern anscheinend von dem Kalk angezogen wurden (Moseley, pers. Mitt.). Jedoch ist bislang nur wenig über die Lebensgewohnheiten von *Scutalus sp.* bekannt und weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet sind dringend nötig.

Einen Hinweis darauf, dass bei *Scutalus sp.* mit hoher Wahrscheinlichkeit von keinem signifikanten Reservoir-Effekt ausgegangen werden kann, liefert die Probe HD-24060, die an der Lokalität Pe-211 oberflächennah im höchstgelegenen Einzugsgebiet des Rio St. Cruz geborgen wurde. Die aus mehreren Schneckengehäusen bestehende konventionelle Probe lieferte einen  $^{14}\text{C}$ -Gehalt von 104,3 pmC, was belegt, dass die Schnecken zumindest nach 1950 und möglicherweise auch heute noch in diesem Gebiet leben oder gelebt haben und dabei keine signifikante Menge an „totem“ Kohlenstoff in ihr Gehäuse eingebaut haben.



**Fig. 68:** Gehäuse von *Scutalus sp.*, Rasterweite 1 cm  
Shells of the *Scutalus sp.*, grid size 1 cm.

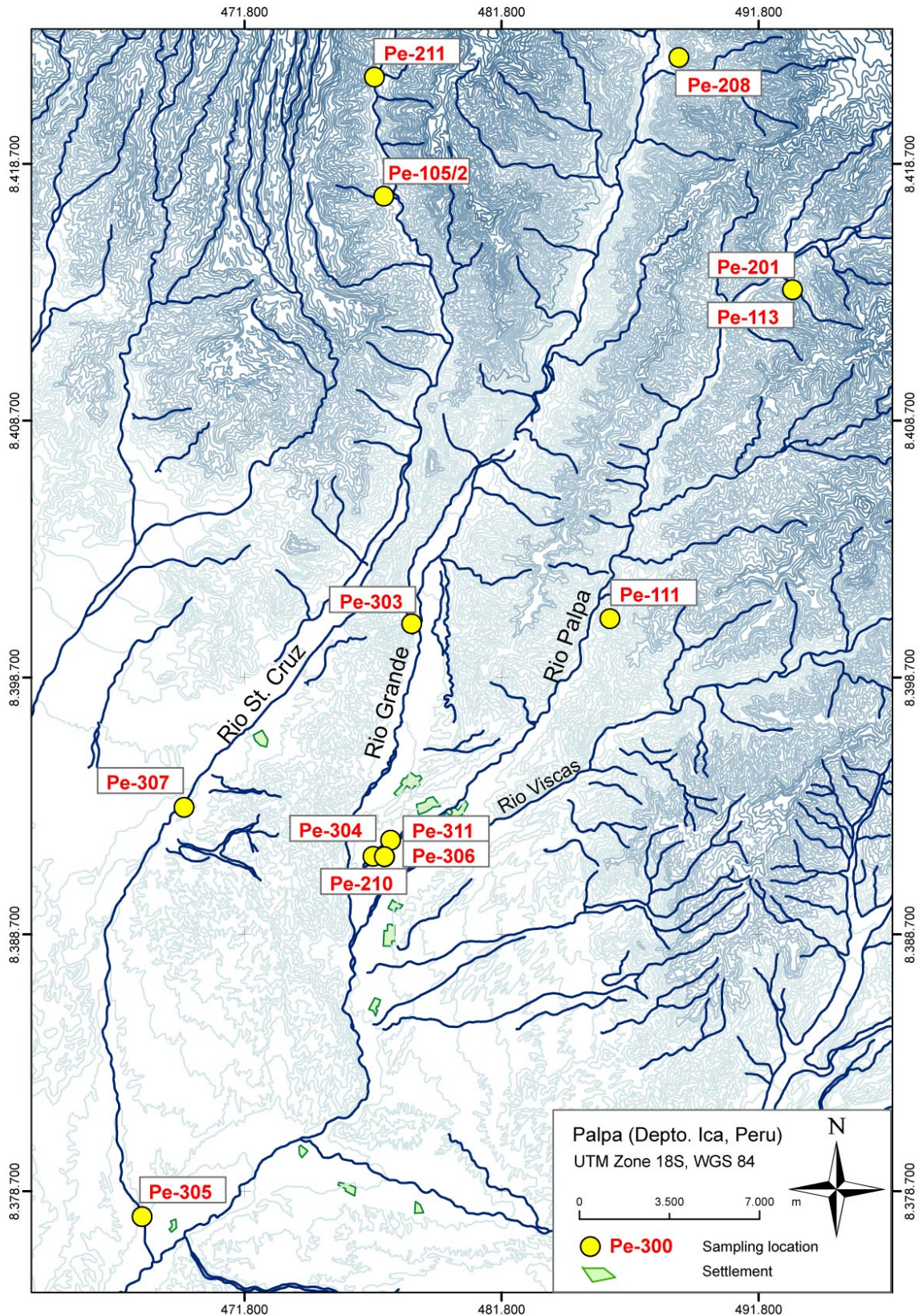


An der Lokalität Pe-111 im mittleren Rio Palpa Tal wurde an der Basis des Lösses eine Anzahl an *Scutalus*-Gehäusen gefunden, die mittels konventioneller  $^{14}\text{C}$ -Technik auf ein Alter von 11.300-11.170 cal BP bestimmt wurden (HD-23107). Eine Parallelmessung der Probe mittels AMS-Technik (ET-108) bestätigte dieses Alter, und auch im BMBF-Projektverbund durchgeführte OSL-Datierungen der Löss-Basis liegen in diesem Altersbereich (Eitel et al., 2005). Somit kann davon ausgegangen werden, dass die Löss-Sedimentation im Raum Palpa etwa mit dem Ende der Jüngerer Dryas einsetzte. Weitere OSL-Alter aus dem oberen Bereich der Löss-Ablagerungen sowie eine angenommene Akkumulationsrate von 0,05-0,1 mm/a (Frechen et al., 2003) deuten darauf hin, dass die Sedimentation zwischen 4.500 und 2.500 BP endete (Eitel et al., 2005).

### 1.3 Flussterrassen in der Umgebung von Palpa

Schluffige Sedimente treten im Untersuchungsgebiet entweder als Wüstenrand-Löss oder als umgelagerte Lösslehme in den alluvialen Ablagerungen der Talauen auf. In Zusammenhang mit den archäologischen Stätten geben diese Flussterrassen wichtige Hinweise auf die Umweltveränderungen in der Region während des Holozäns. Da die Löss-Sedimentation nur unter semi-ariden Bedingungen stattfinden kann, ist bei einer Abtragung und Umlagerung des Lösses in die Talauen von einer Aridisierung des Klimas und einem damit verbundenen Verschwinden der zur Löss-Fixierung nötigen Grasdecken auszugehen. Dennoch müssen die Klimabedingungen noch feuchter als heute gewesen sein, damit die Löss im Zuge der saisonalen Niederschläge über der Westkordillere erodiert und in den überschwemmten Talniederungen als alluviale Sedimente akkumuliert werden konnten. Allein im Gebiet von Jauranga überdecken 4-6 m mächtige Hochflutlehme und sandig-schluffige Flusssedimente die darunterliegenden Schotterterrassen (Eitel et al., 2005). Die gut laminierte Struktur der Lösslehme und das Fehlen von grobkörnigen Sedimenten deuten zum einen auf stabile Umweltbedingungen und verlässliche saisonale Überschwemmungen ohne größere katastrophale Ereignisse hin. Zum anderen weiten sich die Flusstäler bei Palpa sehr stark, die Strömungsgeschwindigkeit wird dadurch deutlich herabgesetzt, so dass sich größere Gerölle sehr schnell absetzen und nur noch das Feinmaterial in die Talweitungen transportiert wird.

Flussterrassen auf unterschiedlichen Niveaus zeugen von mehreren Phasen fluvialer Einschneidung und wiederkehrender Akkumulation, die durch wechselnde Klimabedingungen hervorgerufen wurden. Im Rahmen des BMBF-Projektverbundes und der vorliegenden Arbeit wurde versucht, eine erste Vorstellung über die Stratigraphie und den Aufbau der verschiedenen Flussterrassen zu bekommen. Dies geschah in enger Zusammenarbeit mit dem Doktoranden des geomorphologischen Teilprojektes, Bertil Mächtle (siehe hierzu die Dissertation von Mächtle, 2006, in prep.). Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag dabei auf dem Rio Palpa Tal, insbesondere in zwei Schürfen bei Jauranga (siehe Kap. 2.4). Stichprobenartige Erkundungen wurden auch in den benachbarten Tälern des Rio St. Cruz, Rio Grande und Rio Viscas durchgeführt. Die Datengrundlage ist jedoch für einen umfassenden Überblick über die geo-



**Fig. 69:** Untersuchungsgebiet, (ephemere) Flussläufe und Probenahmepunkte für die geomorphologischen Untersuchungen im Raum Palpa. (Kartengrundlage: Digit. Geol. Karte Peru, Blätter 30-m, 29-m2, 29-m3)

Study area, (ephemeral) rivers and sampling locations for the geomorphological investigations in the Palpa region (map base: Digit. Geol. Map of Peru, sheets 30-m, 29-m2, 29-m3)

morphologische und klimatologische Entwicklung der Flussoasen noch zu gering und weitere Untersuchungen sind unbedingt notwendig.

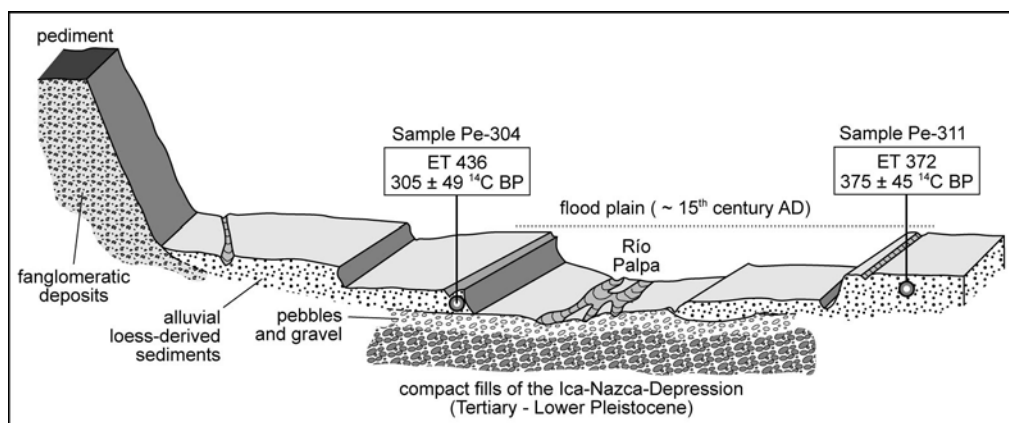
Die für vorliegende Arbeit datierten und teilweise sedimentologisch untersuchten Terrassen-sedimente sind in Tab. 11 zusammengefasst und in der Karte von Fig. 69 dargestellt.

Proben- Nummer	UTM WGS84 18 S		Fluss-Gebiet	<sup>14</sup> C-Analysen-Nummer
	E-Koordinate	N-Koordinate		
Pe-210	476.800	8.391.740	Rio Palpa	HD-23676, 23677; ET-130
Pe-303	478.557	8.401.150	Rio Grande	ETH-30227
Pe-304	477.487	8.392.372	Rio Palpa	ET-352
Pe-306	477.248	8.391.722	Rio Palpa	ET-354, 356, 357, 367, 368, 441
Pe-311	477.247	8.391.727	Rio Palpa	ET-371, 372, 373, 374
Pe-305	467.820	8.377.720	Rio St. Cruz	HD-24212; ETH-30226; ET-187, 444
Pe-307	469.454	8.393.647	Rio St. Cruz	ET-353

**Tab. 11:** Übersicht über die Probenahmepunkte an Flussterrassen im Raum Palpa.

### Rio Palpa Tal

Mit Hilfe von GIS-gestützter Kartierung der Höhen von Terrassenkanten und georeferenzierter <sup>14</sup>C-Beprobung konnten im Rio Palpa Tal Terrassen räumlich und zeitlich korreliert werden (Fig. 70; Mächtle, 2006, in prep.).



**Fig. 70:** Ein generalisierter Querschnitt durch die Rio-Palpa-Terrassen nördlich Jauranga. Die Schwemmler wurden während der saisonalen Überflutung der Flussoase abgelagert. <sup>14</sup>C-Datierungen der Terrassen, die 3 m über dem heutigen Talboden auf beiden Seiten des Rio Palpa liegen, zeigen, dass dieses Niveau erst nach dem 15. Jhd. eingeschnitten wurde. (Grafik: nach Eitel et al., 2005, stark modifiziert)

A generalized cross-section through the Rio Palpa terraces north of Jauranga. The alluvial loams formed due to seasonal flooding of the river oasis. <sup>14</sup>C-datings of the terraces on both sides of the Rio Palpa 3 m above today's flow level show that this level was dissected after the 15<sup>th</sup> century AD. (graphics: according to Eitel et al., 2005, strongly modified)

Das höchste Terrassenniveau liegt bei etwa 7 m über dem heutigen Talboden des Rio Palpa. Ein OSL-Alter von  $<1,68 \pm 0,17$  ka für diese Terrasse (HDS-1324, Eitel et al., 2005) würde für die Sedimentation in der späten Nasca-Zeit sprechen. Da jedoch Siedlungsreste aus jener Zeit - und bereits aus der Paracas-Zeit - in einer tiefer gelegenen Terrasse zu finden sind, ist eine Anlage des Terrassenkörpers in diesem Zeitraum nicht denkbar. Das Alter ist folglich potentiell zu jung. Eine mögliche Erklärung für die Unterschätzung des OSL-Alters könnten

jüngere Sedimente sein, die möglicherweise durch Trockenrisse in den datierten Sedimentkörper eingedrungen sind. Auf der Terrasse liegen Schuttfächer aus den angrenzenden Seitentälern auf, die wahrscheinlich zeitgleich mit dem La-Muña-Schlammstrom (siehe Kap. 2.2) abgelagert wurden.

Auf einem etwa 4-5 m über dem Talboden gelegenen Terrassenniveau des linken Rio-Palpa-Ufers liegt Jauranga mit paracas- und nascazeitlichen Gräbern (vgl. Teil B – Kap 1.2). Diese Sedimente müssen folglich älter sein als die Paracas-Zeit und bildeten vermutlich die damalige Landoberfläche. Etwa 3 m über dem Talboden lässt sich eine weitere Terrasse über einen langen Talabschnitt links und rechts des Rio Palpa verfolgen (GIS-Höhenmodellierung, Mächtle, 2006, in prep.). Auf beiden Seiten wurden  $^{14}\text{C}$ -Proben entnommen (Pe-210, 304, 306, 311; Fig. 70, 71), aufgrund derer die Terrassenbildung einer Feuchtphase in der Region während der „Kleinen Eiszeit“ zugeschrieben werden konnte. Genauere Ausführungen zu dieser Feuchtphase sowie zu den ebenfalls aus dieser Zeit stammenden Terrassensedimenten der benachbarten Flußtäler werden nachfolgend in Kapitel 2 gegeben.



**Fig. 71:** Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-210 im Rio Palpa Tal südwestlich von Jauranga. Die Höhe der Terrasse beträgt ca. 2,5 m. Die Proben wurden ca. 1-1,5 m unter GOK und aus einer kohlereichen, grubenähnlichen Struktur genommen (rechtes Bild).

The river terrace at location Pe-210 in the Rio Palpa valley southwest of Jauranga. The height of the terrace is about 2,5 m. The samples were taken about 1-1,5 m below surface and from a coal-rich, pit-like structure (right photo).

#### 1.4 Die Forschungsschürfe in Jauranga

Um eine erste, etwas genauere Vorstellung über den Aufbau der Flussterrassen im Raum Palpa zu bekommen, wurden während der Feldkampagne im September 2004 auf einem Feld unmittelbar südlich des Fundo Jauranga die Forschungsschürfe Pe-306 und Pe-311 angelegt (Fig. 72, 73). Die Schürfe befinden sich auf einer Flussterrasse auf der linken Seite des Rio Palpa, etwa 3 m über dem heutigen Talboden.

Die Lage der etwa 2 m voneinander entfernten Schürfe wurde aufgrund von geophysikalischen Messungen des Untergrunds ausgewählt. Sowohl bei den geomagnetischen Untersuchungen von Jörg Fassbinder (Bayerisches Landesdenkmalamt, München) als auch bei der

geoelektrischen Prospektion von Stefan Hecht (Geographisches Institut, Heidelberg) zeigten sich Anomalien, bei denen es sich um archäologische Befunde hätte handeln können. Daraufhin wurden an der Stelle, an denen sich die Messwerte von den Werten der Umgebung abhoben, zwei benachbarten Geländeschnitte von etwa 2-2,5 m Tiefe in NW-SE-Orientierung angelegt. In dem freigelegten Profil von Pe-306 wurden aus jedem Horizont Proben zur Sedi-mentanalyse, zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung, zur OSL-Datierung (Annette Kadereit, Heidelberger Akademie der Wissenschaften) und zur Phytolithenanalyse (Solveig Schiegl, Universität Tübingen) entnommen. Die OSL- und Phytolithendaten lagen bis zur Abgabe dieser Arbeit jedoch leider noch nicht vor.

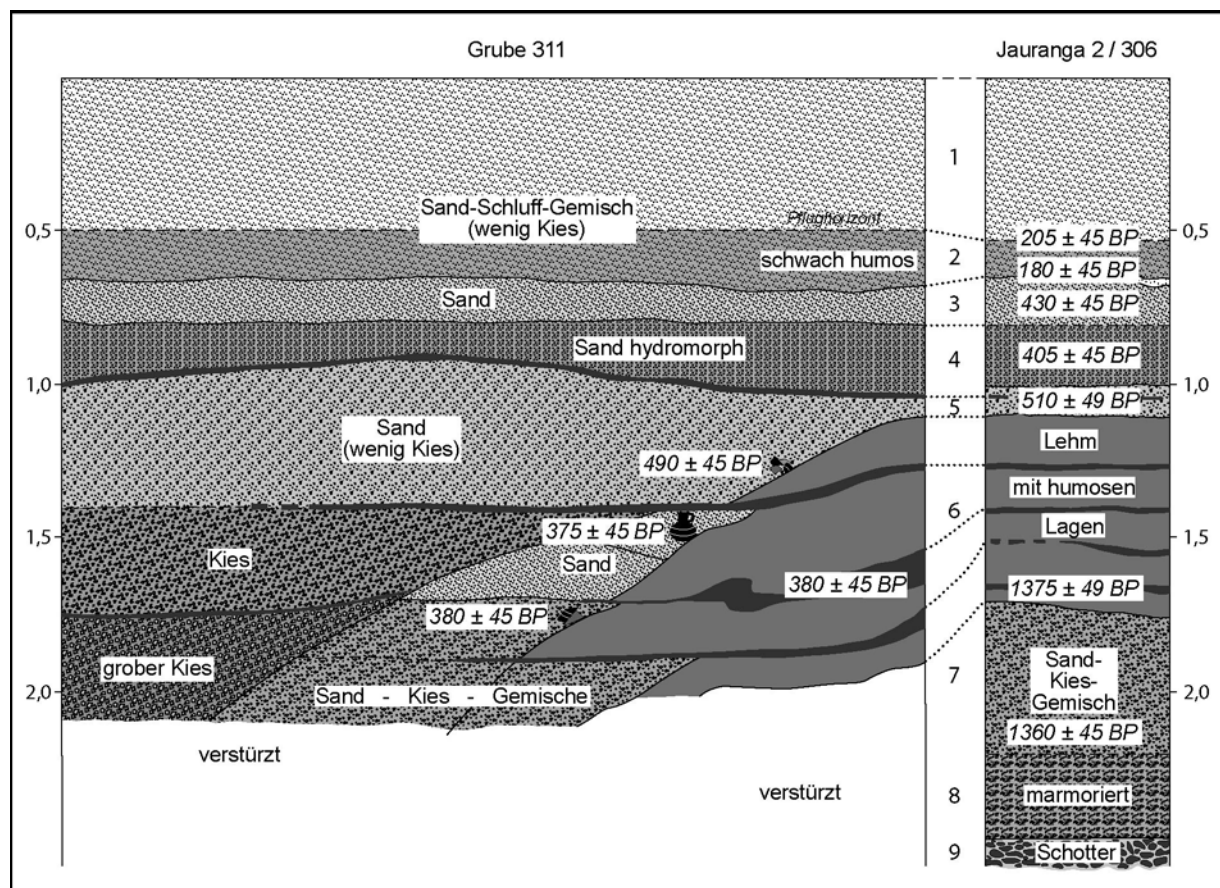


**Fig. 72:** Luftbild der Lokalität Jauranga SW' Palpa. Im der Bildmitte deutlich zu erkennen der Fundo (Gutshof). Weiß eingezeichnet die archäologischen Grabungsflächen und S' des Fundo die Lage der Forschungsschürfe Pe-306 und Pe-311. Schwarz umrandet die Felder, die mit geophysikalischer Prospektion untersucht wurden (Quelle: M. Reindel).

Aerial photo of the location Jauranga SW of Palpa. In the centre of the photo the Fundo (farm) is clearly visible. White squares mark the archaeological excavation sites and south of the Fundo the position of the research trenches Pe-306 and Pe-311. Black lines mark the fields which were investigated by geophysical prospection (Source: M. Reindel).

## Sedimentologie

Die Analyse der Korngrößenverteilung (Fig. 75) sowie der Geochemie der Sedimentproben von Pe-306 wurden im sedimentologischen Labor des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg durchgeführt. Ein Überblick über die gesamten Analysedaten in Tabellenform befinden sich im Anhang zu dieser Arbeit. Der Karbonatgehalt wurde unter Verwendung einer Scheibler-Apparatur bestimmt. Für die Untersuchung der Korngrößenverteilung wurden die einzelnen Proben mit Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und Salzsäure (HCl) behandelt und gesiebt. Die Abtrennung der Schluff- und Tonfraktion erfolgte nach der Köhn/Köttgen-Methode (Kretschmar, 1996). Um karbonatische oder sulfatische Inkrustationen - in Form von Calcit oder Gips - festzustellen, wie sie oft in Küstenrandwüsten auftreten (Eitel, 2001), sowie um humose Komponenten fassen und charakterisieren zu können, wurden der Kohlenstoff-, Stickstoff- und Schwefelgehalt mit einem CNS-Elementanalysator (Firma Elementar) bestimmt (Tab. 12).



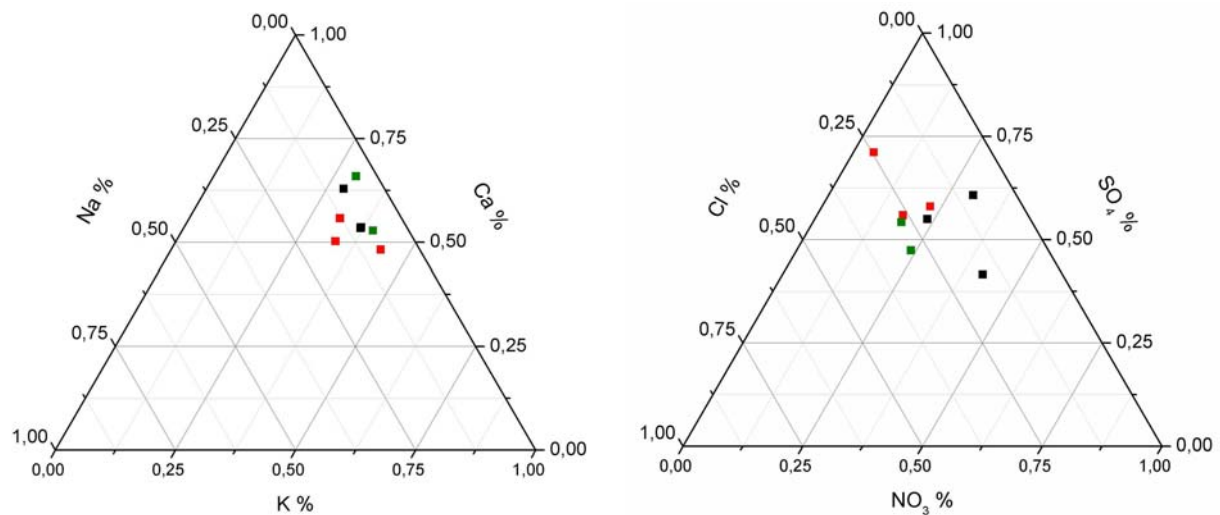
**Fig. 73:** Gemeinsames Profil der beiden Geländeschnitte Pe-306 und Pe-311. Gesamttiefe 2 m (Pe-311) bzw. 2,5 m (Pe-306). Die Altersangaben zu den einzelnen Horizonten sind als unkalibrierte  $^{14}C$ -Alter zu verstehen. (Grafik: V. Schniepp, Geogr. Institut, Uni Heidelberg, modifiziert)

Common profile of the two trenches Pe-306 and Pe-311. Total depth 2 m (Pe-311) and 2,5 m (Pe-306). The ages noted at several layers are uncalibrated  $^{14}C$ -years. (Graphics: V. Schniepp, Institute for Geography, University of Heidelberg, modified)

Horizont	C ges. %	N ges. %	S ges. %	CO <sub>3</sub> %
1	0,533	0,067	0,03	0,1
2	0,508	0,053	0	0,6
3	0,214	0,026	0,019	0,4
4	0,041	0,008	0,009	0,1
5	0,112	0,014	0,016	0,2
6/1	0,237	0,024	0,025	0,7
6/2	0,747	0,037	0,032	2,7
7	0,092	0,015	0,011	0,4

**Tab. 12:** Gehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel als Ergebnis der CNS-Analyse sowie der Karbonatgehalt nach Scheibler aus den Sedimentproben der einzelnen Horizonte im Profil von Pe-306. (Analysen: Sedimentologisches Labor des Geographischen Instituts der Universität Heidelberg)

Die CNS-Analysedaten zeigen einen sehr niedrigen Gesamtgehalt an Kohlenstoff, Stickstoff und Schwefel bei allen beprobten Horizonten. Einzig die Horizonte 1, 2 und 6 zeigen im Vergleich einen etwas erhöhten Gesamtkohlenstoffgehalt, was auf den Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung (Horizont 1 und 2) bzw. die Anreicherung von organischem Material in einzelnen dünnen Bändern (Horizont 6) zurückzuführen ist. Die Werte stimmen gut mit den von Eitel et al. (2005) publizierten CNS-Daten zweier Proben von alluvialen Sedimenten des Rio Palpa Tals überein.

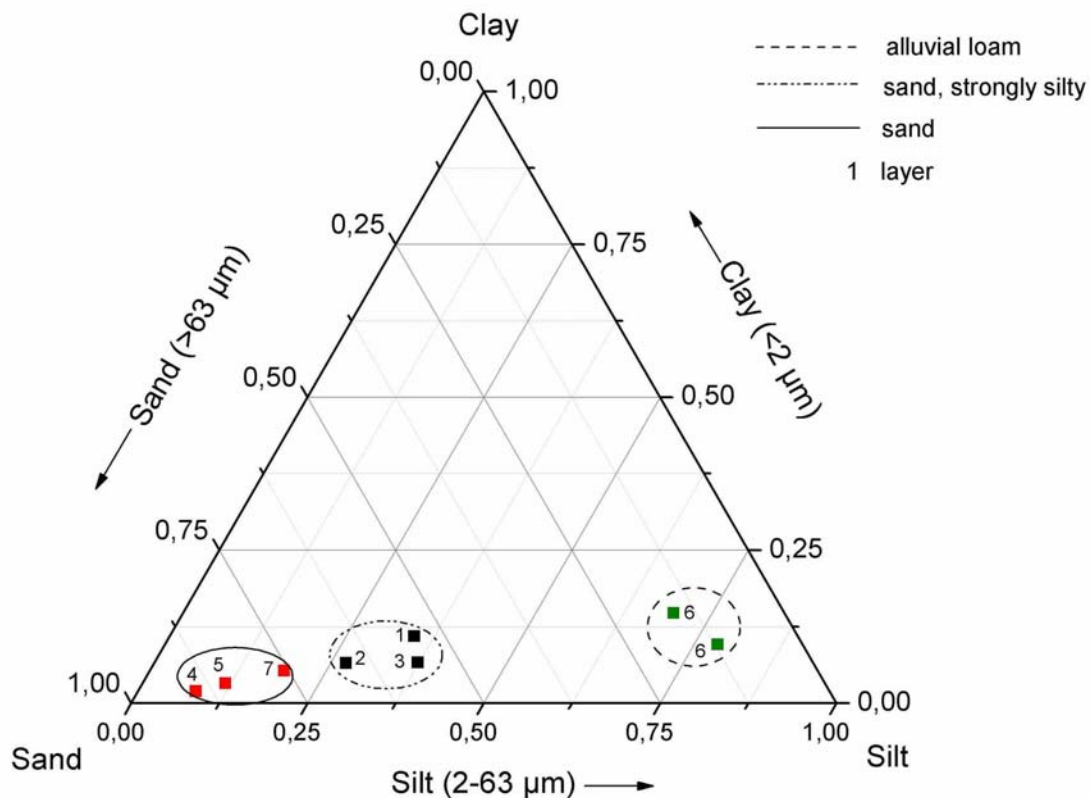


**Fig. 74:** Chemische Analyse der Sedimentproben von Pe-306. (links) Diagramm zum Vergleich der Kationen Na-K-Ca. (rechts) Diagramm zum Vergleich der Anionen Cl-NO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>.

Chemical analysis of the sediment samples taken from Pe-306. (left) Diagram to compare the kations Na-K-Ca. (right) Diagram to compare the anions Cl-NO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>.

In Fig. 74 sind die Kationen Natrium, Kalium und Calcium sowie die Anionen Chlorid, Sulfat und Nitrat vergleichend dargestellt. Auffällig ist ein besonders niedriger relativer Gehalt an Natrium und Chlor was für einen nur noch geringen marinen Eintrag sprechen dürfte. Der Kaliumgehalt im Sediment wird durch die Verwitterungsprodukte der Feldspäte aus den

Andesiten und Granodioriten im Liefergebiet des Sediments bestimmt. Insgesamt dominieren Calcium und Sulfat, insbesondere in den Horizonten 1,2 und 6, was auf einen relativ hohen Anteil an Gips im Sediment hindeutet.



**Fig. 75:** Korngrößenverteilung der Sedimentproben aus dem Schurf Pe-306.

Grain size distribution of the sediment samples taken from Pe-306.

Das Profil Pe-306 wird durch feine bis mittelkörnige Sande dominiert (Fig. 73, 75). Kiesige Komponenten spielen, wenn überhaupt, nur eine untergeordnete Rolle und auch der Tonanteil liegt in allen Horizonten unter 15%. Die obersten Horizonte 1-3, die sich mehr oder weniger horizontal über beide Profile (Pe-306 und Pe-311) erstrecken, werden aus Feinsanden mit einem stark schluffigen Anteil gebildet. Horizont 5, der zu über 60% aus Feinsand ohne nennenswerten Schluff- oder Tonanteil besteht, besitzt im Bereich von Pe-311 noch eine Mächtigkeit von etwa 50 cm und keilt in östliche Richtung, bei Pe-306, aus. Darunter folgt bei Pe-306 ein 60-70 cm mächtiger Bereich aus Schwemmlöss (Horizont 6), der von vier dunklen Bändern durchzogen wird. Ob es sich dabei um Brandspuren oder um geringmächtige Humusbildungen handelt, konnte nicht zweifelsfrei festgestellt werden. Im westlichen Aufschlussbereich, bei Pe-311, lagern sich die Sande von Horizont 5 und ein darunter folgender stark kiesiger Bereich diskordant (*onlap*-Diskordanz) an Horizont 6 an.



### **Interpretation und Zeitstellung**

Morphologisch lässt sich der sandig-kiesige Bereich in Pe-311 als eine alte Fließrinne des anastomosierenden Rio Palpa interpretieren, durch die der Schwemmlöss (Horizont 6) angeschnitten wurde. Mit dem Schurf von Pe-311 ergab sich ein Schnitt etwa senkrecht zur ehemaligen Uferböschung. In diesem Uferbereich wurden drei Keramikscherben der Paracas- bzw. Nasca-Zeit gefunden (Fig. 73). Unmittelbar damit vergesellschaftet fanden sich Holzkohlereste, die mit  $^{14}\text{C}$  auf einen gemeinsamen Zeitbereich zwischen 1440 und 1640 cal AD datiert wurden (ET-371, ET-372, ET-373). In den gleichen Zeitraum fallen auch alle übrigen in Pe-306 und Pe-311 genommenen  $^{14}\text{C}$ -Proben, mit Ausnahme einer Probe aus Horizont 7 (ET-354) und einer Probe von der Basis von Horizont 6 (ET-437), die beide aus der Zeit zwischen 650 und 770 cal AD stammen. Es ist folglich anzunehmen, dass diese Flussterrasse zwischen dem 15. und 17. Jhd. mit Feinsedimenten, insbesondere auch mit abgeschwemmtem Löss aus dem oberen Einzugsgebiet des Rio Palpa, aufgebaut und von Seitenarmen des anastomosierenden Flusses stellenweise angeschnitten wurde. Dabei wurde der Schwemmlöss erodiert und grobkörnigere Flusssedimente abgelagert. Der etwas höher als Pe-306 und Pe-311 gelegene Bereich des Fundo Jauranga mit den Paracas- und Nasca-zeitlichen Gräbern wurde von diesen fluvialen Prozessen nach der Nasca-Zeit offensichtlich verschont, während andere anthropogen beeinflusste Bereiche im Rio Palpa Tal erodiert wurden, wie die umgelagerten Scherben in Pe-311 belegen.

Die Datierungen binden die bei Pe-306 und Pe-311 untersuchten Terrassensedimente in eine Reihe von Paläoklima-Proxies ein, die Hinweise auf eine Feuchtphase in der Region Palpa zwischen dem 15. und 17. Jhd. liefern. Eine umfassende Diskussion der bisher dazu vorliegenden Daten erfolgt in Kapitel 3.

## 2. Die Region Palpa zur Zeit der „Kleinen Eiszeit“

Der Begriff „Kleine Eiszeit“ wurde als Übersetzung des englischen „*Little Ice Age*“ (LIA) erst in den 1980ern in die Terminologie der deutschen Quartärgeologie übernommen (Heine, 1983) und wird seither synonym mit dem englischen Begriff verwendet. Grob gefasst beschreibt er die Zeitspanne von einigen Jahrhunderten zwischen dem Mittelalterlichen Klimaoptimum (*Medieval Warm Period*) und der Warmphase des 20. Jahrhunderts, in dem auf der Nordhemisphäre kühlere Klimabedingungen vorherrschten und in vielen Teilen der Erde die Gletscher expandierten (Grove, 1988). Geprägt wurde der Begriff *Little Ice Age* von Matthes (1939) und bezog sich ursprünglich auf das Phänomen des Gletschervorschubs und –rückzugs während der letzten 4000 Jahre, das er an Gletschern der Sierra Nevada (Kalifornien, USA) beobachtete. Inzwischen werden die glaziologischen Merkmale, auf denen das Konzept von Matthes beruhte, als neoglaziale Periode bezeichnet (Mann, 2002; Porter and Denton, 1967). In einem kürzlich erschienenen Übersichtsartikel fassen Matthews und Briffa (2005) die Entwicklung des glaziologischen und klimatologischen Konzeptes der „Kleinen Eiszeit“ der letzten Jahrzehnte zusammen. Darin unterscheiden sie zwischen

1. der „Kleinen Eiszeit“-Vergletscherung, die zwischen dem 13. und 14. Jhd. begann und ihren Höhepunkt zwischen der Mitte des 16. und der Mitte des 19. Jhds. erreichte (Grove, 2004), und
2. dem „Kleinen Eiszeit“-Klima, das, zumindest auf der Nordhemisphäre, als kühlere Phase beschrieben wird (Lamb, 1965) und als kürzeres Zeitintervall von 330 Jahren zwischen etwa 1570 und 1900 AD definiert wird.

Beide Konzepte enthalten notwendigerweise eine erhebliche räumliche und zeitliche Variabilität. Die Frage, ob das Klimaereignis globalen Charakter hatte oder ob es nur auf die Nordhemisphäre beschränkt war, wird immer noch stark diskutiert (Matthews & Briffa, 2005). Ein Grund dafür dürfte am Mangel an hochaufgelösten Klimadaten der Südhemisphäre liegen (Tyson et al., 2000). Dennoch mehren sich seit etwa 10 Jahren die Belege zum einen dafür, dass es auch in vielen Regionen der Südhalbkugel während der „Kleinen Eiszeit“ kühler wurde (Neuseeland und Tasmanien: Cook et al., 2000, 2002; Antarktis: Kreuz et al., 1997; Südafrika: Tyson et al., 2000, 2002) und zum anderen dafür, dass in einigen Regionen südlicher Breite in dieser Zeit feuchtere Bedingungen als heute oder während der *Medieval Warm Period* vorherrschten (Peru-Quelccaya: Thompson et al., 1985; Kenia: Verschuren et al., 2000).

Feuchtphasen in der Südhemisphäre scheinen nicht selten mit kühleren Phasen in der Nordhemisphäre zu korrelieren. Eine solche Telekonnektion konnten Wang et al. (2004) in einem heute semi-ariden Gebiet von Brasilien sogar über die letzten 210 ka nachweisen. Ein anderes Beispiel ist die durch mehr Niederschlag verursachte Erhöhung der jährlichen Eisakkumulation des Quelccaya-Gletschers im peruanischen Hochland zwischen 1500 und 1700 AD

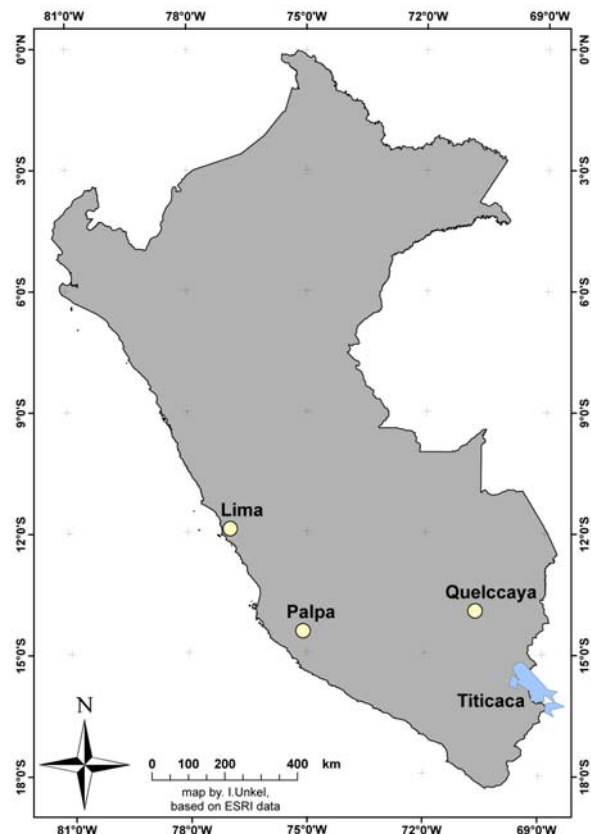
(Thompson et al., 1985), die in die Hochphase der „Kleinen Eiszeit“ auf der Nordhalbkugel fällt.

Der Quelccaya-Gletscher soll im Folgenden zunächst als Ankerpunkt für die Diskussion einer Feuchtphase zwischen 1390 cal AD und 1714 cal AD in der Region Palpa dienen. Diese fällt mit der höchsten jährlichen Eisakkumulation des Gletschers während der letzten 1000 Jahre zusammen (Fig. 77). Der Quelccaya-Gletscher liegt 480 km östlich von Palpa in der Ostkordillere (*Cordillera Oriental*) der peruanischen Anden (Fig. 76). Aufgrund des in Kapitel 1.1 erläuterten Zusammenspiels pazifischer und atlantischer Einflüsse auf die Niederschläge im peruanischen Hochland – und folglich auch im Einzugsgebiet von Rio St. Cruz, Rio Grande, Rio Palpa und Rio Viscas – sollte eine Korrelation der in der Region Palpa gewonnenen Klimadaten mit den Daten des Quelccaya-Gletschers von Thompson et al. (1985) möglich sein.

Die Annahme besagter Feuchtphase im Raum Palpa beruht auf der Zusammenstellung und Auswertung von 33  $^{14}\text{C}$ -Proben aus drei unterschiedlichen Klimaarchiven: Terrassensedimenten in den Flussoasen, einem Schlammstrom in einem Seitental des Rio Grande bei La Muña und Lössschnecken.

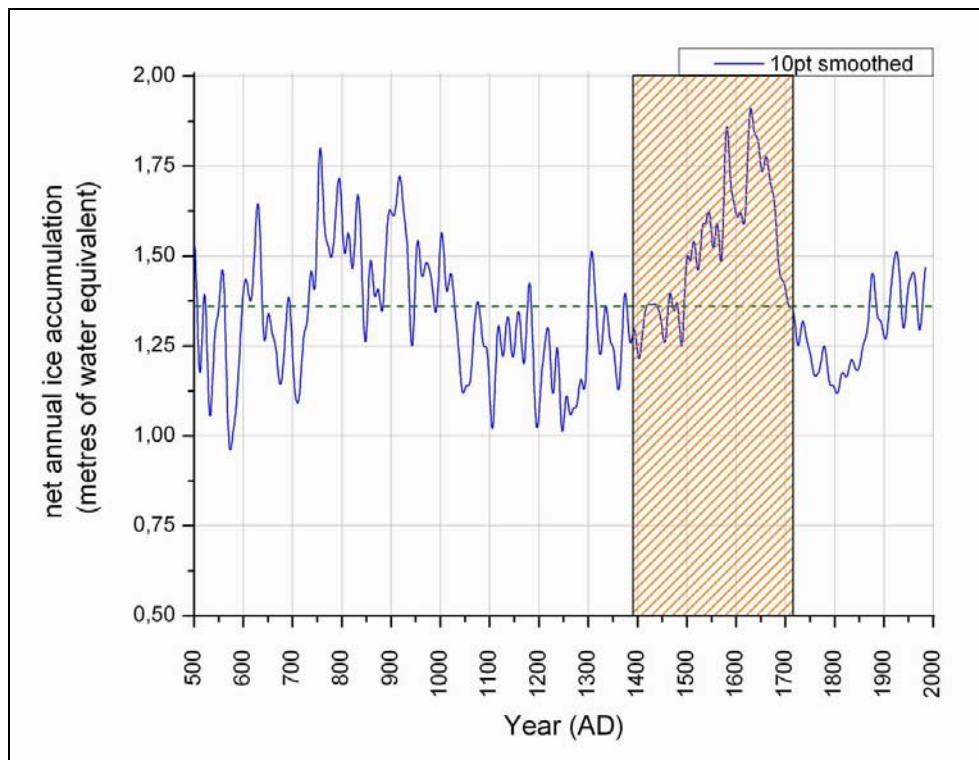
Jedes einzelne Archiv ist bereits für sich genommen ein Anzeiger für zumindest semi-aride Bedingungen in der Region (vgl. hierzu Kap. 1.2-1.4), möglicherweise ähnlich wie sie vor der „Kleinen Eiszeit“ zuletzt in der Paracas- und Nasca-Zeit dort herrschten. In diesem Zusammenhang ist es wichtig festzuhalten, dass die Niederschläge während dieser Feuchtphase nicht so weit nach Westen reichten oder aber nicht so viel Abfluß erzeugten, dass die heutigen Trockentäler (*Quebradas*) zwischen den Pedimentflächen in der Ica-Nasca-Depression auf voller Talesbreite Wasser führten. Nasca-zeitliche lineare Geoglyphen durchziehen die *Quebradas* und sind nur in schmalen Abschnitten unterbrochen. Stärkerer Abfluss in den Trockentälern hätte diese Geoglyphen vollständig zerstört.

Die Daten aus den verschiedenen Klimaarchiven werden in den nachfolgenden Unterkapiteln eingehend erläutert. Eine Übersicht über die Verteilung der Probennahmepunkte gibt die Karte in Fig. 69.



**Fig. 76:** Karte von Peru mit der Lage von Palpa und des Quelccaya-Gletschers im Vergleich.

Map of Peru with the position of Palpa and the Quelccaya glacier in comparison.



**Fig. 77:** Die Eisakkumulationskurve des Quelccaya-Gletschers von 500 AD bis 1980 AD (Thompson et al., 1985). Der schraffierte Bereich markiert die Zeit von 1390 bis 1714 cal AD, in der aufgrund der Klimaarchive zumindest semi-aride Bedingungen in der Region Palpa geherrscht haben dürften.

Ice accumulation curve of the Quelccaya glacier from 500 AD to 1980 AD (Thompson et al., 1985). The hatched field marks the time between 1390 and 1714 cal AD, when at least semi-arid conditions should have been prevailing in the Palpa region according to the climate archives.

## 2.1 Flusssedimente

An sieben verschiedenen Stellen in den Flussoasen von Rio Palpa, Rio St. Cruz und Rio Grande wurden  $^{14}\text{C}$ -Proben aus Terrassenkörpern genommen (Tab.11, Fig. 69).

### Rio Palpa Tal

Wie in den voranstehenden Kapiteln 1.3 und 1.4 beschrieben, wurden aus der Flussterrasse, deren Oberkante sich heute etwa 3 m über dem Talboden befindet, an verschiedenen Stellen  $^{14}\text{C}$ -Proben genommen (Pe-210, 304, 306, 311). Sie alle liefern Alter zwischen  $510 \pm 45$  BP und  $140 \pm 35$  BP.

### Rio St. Cruz Tal

Unmittelbar vor dem Ausgang des Seitentales des Rio St. Cruz, in dem die Siedlung Ciudad Perdida („Versunkene Stadt“) vermutlich während der späten Zwischenperiode errichtet wurde, konnte eine  $^{14}\text{C}$ -Probe im oberen Bereich einer Flussterrasse, etwa 4 m über dem heutigen Talboden entnommen werden (Pe-307, Fig. 78). Ihr Alter wurde auf  $445 \pm 45$   $^{14}\text{C}$ -yrs

BP bestimmt. Das Einzugsgebiet des Rio St. Cruz ist deutlich kleiner als beispielsweise das des Rio Grande und reicht auch weniger weit in die Westkordillere hinein. Seine höchstgelegenen Ausläufer liegen in einem Gebiet, das heute vollkommen arid ist. Es gibt außerdem keine nennenswerten Seitenzuflüsse. Folglich ist die datierte Flussterrasse ein Beleg dafür, dass zu dieser Zeit, zwischen 1430 und 1620 cal AD, der Wüstenrand nach Westen verschoben gewesen sein muss (vgl. Kap. 1.1) und die monsunalen Niederschläge das Einzugsgebiet des Rio St. Cruz erreicht haben müssen. Möglicherweise reichten die saisonalen Hochwässer in jener Zeit bis unweit vor die Stadtgrenzen von Ciudad Perdida und lagerten dabei die Terrassensedimente ab, die in den darauffolgenden Jahrhunderten um etwa 4 m eingeschnitten wurden. Bisher liegt von dieser Flussterrasse jedoch nur eine  $^{14}\text{C}$ -Datierung vor und weitere Probenahmen wären nötig, um die geschilderten Annahmen weiter zu untermauern.



**Fig. 78:** Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-307 im Rio St. Cruz Tal, unmittelbar westlich von Ciudad Perdida. Die Höhe des schuttfreien Profils beträgt ca. 2,5-3 m. Die Probe wurde ca. 1-1,5 m unter GOK aus dem obersten Horizont der stratifizierten Abfolge genommen (rechtes Bild).

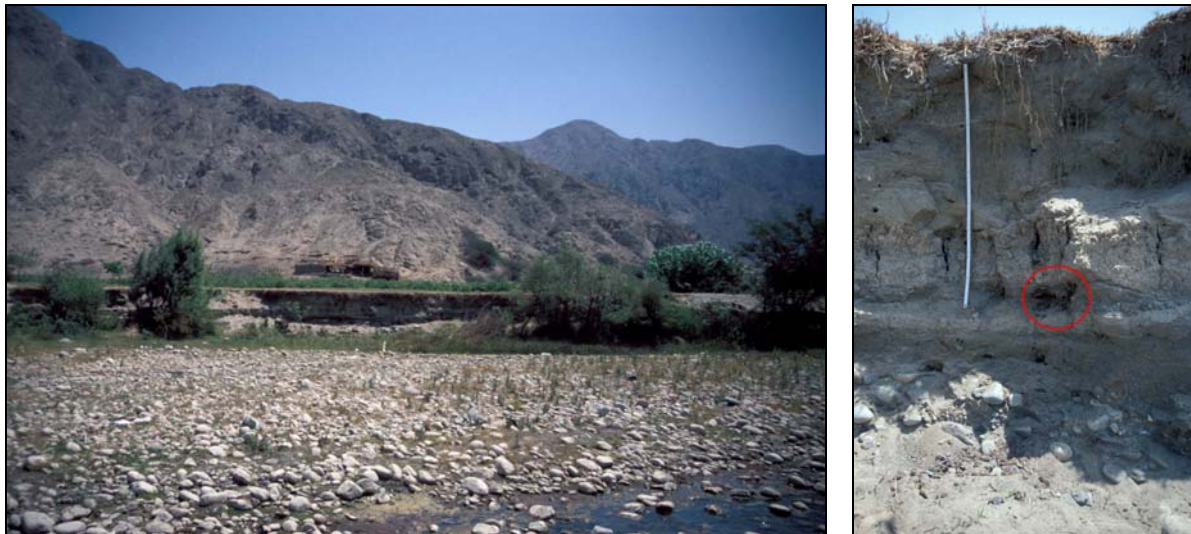
The river terrace at location Pe-307 in the Rio St. Cruz valley straight to the west of Ciudad Perdida. The height of the debris-free profile is about 2,5-3 m. The sample was taken about 1-1,5 m below surface from the top layer of the stratified sequence (right photo).

Weiter flussabwärts, im Bereich der Mündung des Rio St. Cruz in den Rio Grande (Pe-305), finden sich Belege für die Abflusstätigkeit des Rio St. Cruz zwischen 1520 und 1660 cal AD. Die zwei Holzstücke, auf denen dieses  $^{14}\text{C}$ -Alter beruht, stammen aus den stark verfestigten, ca. 30 cm mächtigen, sandig-lehmigen Sedimenten eines alten Talbodens (Fig. 79). An der Oberfläche sind noch Trockenrisse zu erkennen. Einige noch nicht verfestigte Sanddünen des Ergs westlich des Rio St. Cruz Tales sind bereits auf den Talboden gewandert. Für diese Dünen ergibt sich somit auch ein Maximalalter von etwa 400 a, denn vorher wären sie vermutlich von den saisonalen Fluten des Rio St. Cruz weggeschwemmt worden.



**Fig. 79:** Der alte Talboden an der Lokalität Pe-305 an der Mündung des Rio St. Cruz Tals in das Rio Grande Tal. Im Hintergrund eine der teilweise bewachsenen Sanddünen des Ergs, die über dem Talboden liegen. Vergrößert eine der zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung verwendeten Holzproben mit Angabe der Datierungsergebnisse als  $^{14}\text{C}$ -yrs BP.

The old valley floor at location Pe-305 at the jointing point of Rio St. Cruz and Rio Grande. In the background one of the dunes of the erg, partly covered with bushes, lying above the valley floor. Magnified one of the wood-samples used for  $^{14}\text{C}$ -dating with the dating results in  $^{14}\text{C}$ -yrs BP.



**Fig. 80:** Die Flussterrasse an der Lokalität Pe-303 im Rio Grande Tal etwa 10 km N' Palpa. Die Höhe des Profils beträgt ca. 1,5 m. Einem ca. 1 m unter GOK in den Hochflutlehm eingebetteten Baumstamm (rechts, roter Kreis) wurde eine  $^{14}\text{C}$ -Probe entnommen, die die Terrasse in das 15. Jhd. datiert.

The river terrace at location Pe-303 in the Rio Grande valley about 10 km north of Palpa. The height of the profile is about 1,5 m. A  $^{14}\text{C}$ - sample was taken from a tree trunk embedded in the alluvial loams of the terrace about 1 m below the surface (right, red circle), dating the terrace to the 15<sup>th</sup> century.

## Rio Grande Tal

Bisher wurde aus diesem Einzugsgebiet nur eine  $^{14}\text{C}$ -Probe etwa 10 km nördlich von Palpa entnommen (Pe-303). Sie stammt von einem Baumstamm, der etwa 1 m unter GOK einer Terrasse auf der rechten, westlichen Seite des Rio Grande in Hochflutlehm eingebettet war (Fig. 80). Die Datierung ergab ein Alter von  $500 \pm 50$   $^{14}\text{C}$ -yrs BP (ETH-30227), was nach Kalibration die Bildung der Terrasse ins 15. Jhd. legt. Weitere Proben von Terrassen im Einzugsgebiet des Rio Grande sind für einen genaueren Überblick notwendig, doch ergänzt diese erste Probe bereits gut die Daten aus den benachbarten Tälern des Rio St. Cruz und Rio Palpa und fällt ebenfalls in den Zeitrahmen der besagten Feuchtphase.

## 2.2 Der La-Muña-Schlammstrom

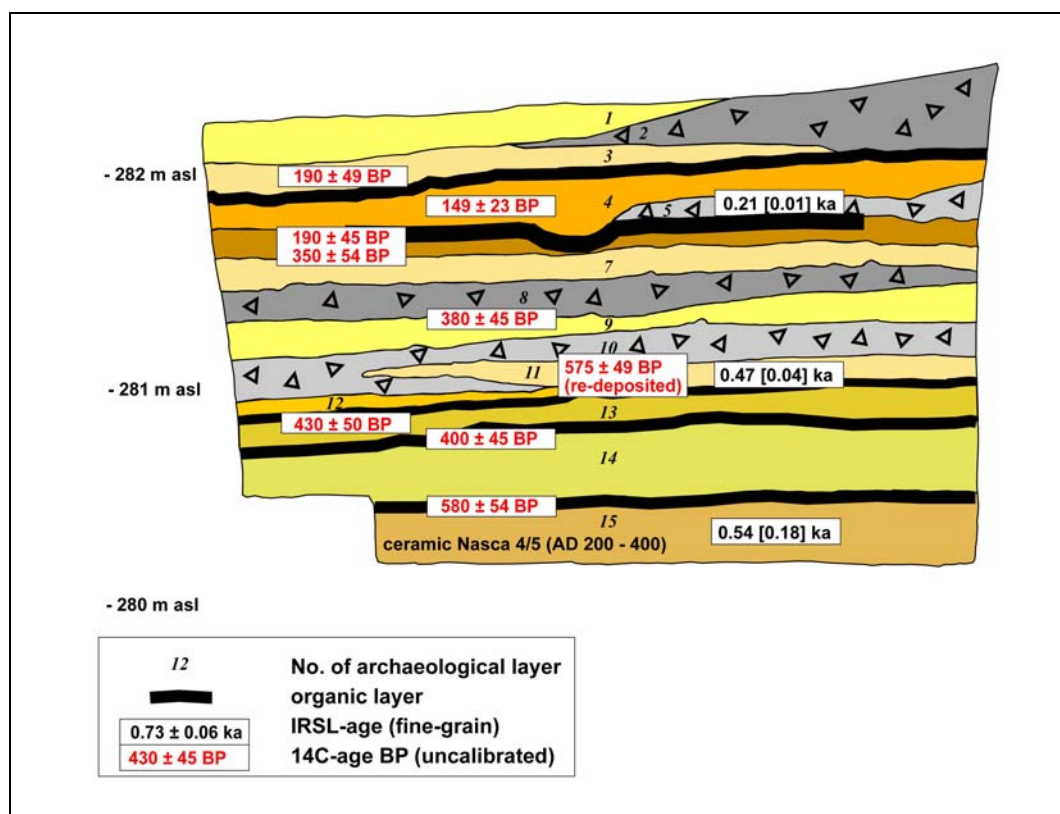
Der Nasca-zeitliche Siedlungsplatz La Muña (vgl. Teil B - Kap. 2.5) liegt am rechten Talrand des Rio Grande, etwa 2 km südwestlich von Los Molinos, in unmittelbarer Nähe des Zusammenflusses mit dem Rio Palpa und dem Rio Grande. Die Siedlung zieht sich in ein seitlich von der Flussoase abzweigendes Tal hinein, das heute vollkommen trocken liegt (Fig. 81). Die Morphologie des Trockentales und die Grabungsbefunde lassen erkennen, dass an dieser Stelle einmal ein oder mehrere Schlammströme niedergingen, die Teile der Gebäude von La Muña beschädigten oder vollständig wegrissen. Damit stellt sich zunächst die Frage, ob sich diese Massenbewegungen in der Nasca-Zeit ereigneten und ob die Bewohner von La Muña möglicherweise dadurch zur Aufgabe ihrer Siedlungen gezwungen wurden (Reindel et al., 2003).



**Fig. 81:** Überblick über das Seitental von La Muña. Links im Bild die grünen Talauen des Rio Grande. Mit einer orangen Umrisslinie ist die ungefähre Ausdehnung des Schlammstromes nachgezeichnet. Teile der Siedlung wurden davon zerstört, der Bereich in der unteren Bildhälfte blieb verschont.

View across the dry valley of La Muña. To the left there is the green river oasis of the Rio Grande. The dimensions of the debris flow are roughly drawn with the orange contour line. Parts of the settlement were destroyed, the area in the lower part of the picture remained untouched from the mass movement.

In den Feldkampagnen des archäologischen Projektteiles in den Jahren 1999 und 2000 wurde daher im Zungenbereich des Schlammstroms ein etwa 2,5 m langer und ebenso tiefer Schurf angelegt, der ein gut gegliedertes Profil der Massenbewegung offenbarte (Fig. 82). Im Rahmen dieser Freilegung wurden fünf OSL-Proben entnommen. Deren Datierung (durch A. Kadereit) legte zunächst nahe, dass die Schuttmassen in drei Phasen abgelagert wurden: vor ca. 1600-1700 Jahren (Horizont 15), vor ca. 1000 Jahren (Horizonte 11-5) und vor ca. 700 Jahren (Horizont 2) (Reindel et al., 2003). Im September 2003 wurde der Schurf nochmals geöffnet, um aus den an organischem Material reichen Lagen des Profils (schwarze Bänder in Fig. 82) Proben zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung zu entnehmen. Parallel wurden durch A. Kadereit erneut OSL-Proben genommen, um die beiden Methoden abzugleichen und möglicherweise gemeinsam Verbesserungen in der Auswertung der jeweiligen Proben zu erzielen. Dabei stellte sich heraus, dass die früheren OSL-Proben offenbar unzureichend gebleicht waren und dadurch überhöhte Alter lieferten. Drei der neueren OSL-Grobkornproben, die bisher datiert wurden, ergaben Alter zwischen  $540 \pm 180$  Jahren (Horizont 15) und  $210 \pm 10$  Jahren (Horizont 5) (Kadereit, pers. Mitt., in prep., 2005).



**Fig. 82:** Profil durch den Schlammstrom von La Muña an der Stelle des Schurfes (Grafik: A. Kadereit, Heidelberger Akademie der Wissenschaften, modifiziert).

Profile through the debris flow at the position of the research trench. (Graphics: A. Kadereit, Heidelberg Academy of Sciences, modified).

Die OSL-Daten ergänzen ausgezeichnet die 12  $^{14}\text{C}$ -Alter aus dem Profil, die alle in einem Bereich zwischen  $540 \pm 54$  und  $149 \pm 23$   $^{14}\text{C}$ -yrs BP liegen. Die Berechnung einer



gemeinsamen Phase aus den  $^{14}\text{C}$ -Daten des gesamten Profils auf Basis des zuvor erläuterten statistischen Modells (Teil B – Kap. 3.2) gestaltet sich etwas schwierig, da die jüngsten Proben bereits in den durch den Süss-Effekt beeinflussten Bereich der Kalibrationskurve fallen (vgl. Teil A - Kap. 2). Die Mehrzahl der Proben findet sich jedoch in einem Zeitraum zwischen 1320 und 1650 cal AD wieder. Eine Gliederung des Sedimentpaketes in drei größere, zeitlich stark unterschiedliche Ereignisse lässt sich anhand dieser Daten nicht mehr nachvollziehen. Dennoch sind die verschiedenen Feinkorn- und Blockschuttlagen offenbar über einen Zeitraum von ca. 300 Jahren abgelagert worden. Der untere Bereich des Profils (Horizonte 15-12) könnte möglicherweise noch Bestandteil einer Flussterrasse des Rio Grande sein, auf der die Zunge des Schlammstroms zu liegen kam. Dafür würde das feinkörnige Sediment und das Fehlen von Blockschutt sprechen, ebenso das geringfügig höhere Alter dieser Horizonte. Die Keramikfragmente in Horizont 15 aus der Zeit von Nasca 4-5, die bisher noch als unabhängige Alterskontrolle des Schlammstromabgangs herangezogen wurden (Reindel et al., 2003), sind mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenso umgelagert worden wie die Keramikreste im Schurf Pe-311 bei Jauranga (vgl. Kap. 1.4).

### 2.3 Löss-Schnecken

Auf die Bedeutung der peruanischen Löss-Schnecke *Scutalus sp.* als Anzeiger für semi-aride Klimabedingungen und als Mittel zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung der Sedimente, in denen Ihre Kalkschalen gefunden werden, wurde bereits in Kapitel 1.2.1 eingegangen. Bei den Arbeiten an den Lössen in der Region Palpa (Mächtle, 2006, in prep.) wurden Gehäuse von *Scutalus sp.* nicht nur an der Lössbasis gefunden, sondern auch oberflächennah auf dem Löss oder in Erosionsrinnen. Die erste konventionelle  $^{14}\text{C}$ -Datierung von 6,33 g Gehäuseschalen dieser oberflächennahen *Scutalus sp.* ergab ein Alter von  $569 \pm 43$   $^{14}\text{C}$ -yrs BP (HD-23110). Zunächst wurde dieses Alter als maximaler Reservoirereffekt für rezente *Scutalus sp.* in der Region Palpa interpretiert (Eitel et al., 2005), da bis zu diesem Zeitpunkt noch keine weiteren  $^{14}\text{C}$ -Daten aus diesem Zeitbereich vorlagen. Erst mit der Datierung weiterer *Scutalus*-Proben aus den höhergelegenen Einzugsgebieten des Rio St. Cruz, Rio Grande und Rio Palpa (Fig. 69, 83) und dem rezenten Alter der Probe HD-24060 (siehe Kap. 1.2.1) wurde deutlich, dass *Scutalus sp.* in dieser Region offenbar keinen oder einen nur sehr geringen Reservoirereffekt aufweist. Vielmehr deuten mittlerweile 8 konventionelle und AMS- $^{14}\text{C}$ -Messungen an diesen Schneckengehäusen darauf hin, dass es eine Blüte von *Scutalus sp.* zwischen dem 14. und 17. Jhd. gegeben



**Fig. 83:** Löss-Landschaft im oberen St.Cruz-Tal.

Loess-landscape in the upper St. Cruz valley.

haben muß. Die Schnecken lebten in einem Bereich der drei Flusstäler, in dem heute wieder aride Bedingungen vorherrschen und bisher keine lebende *Scutalus sp.* gefunden wurde.

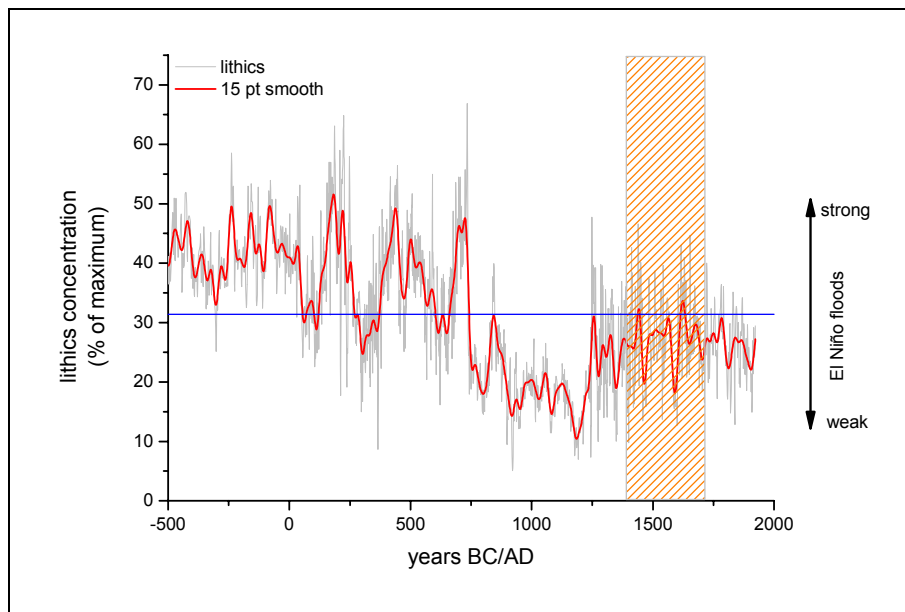
## 2.4 Diskussion und überregionaler Vergleich

Die  $^{14}\text{C}$ -Proben, die aus voranstehend beschriebenen Sediment- und Klimaarchiven stammen, wurden genutzt, um mit Hilfe des Kalibrierungsprogrammes OxCal 3.8 einen gemeinsamen Zeitraum für diese Klimaphase zu berechnen. Die angewandte Statistik beruht dabei wie bereits bei der Erstellung der Paracas- und Nasca-Chronologie auf der Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC) Methode (Bronk Ramsey, 2001). Zur Datenkombination wurde auch hier die Summen-Funktion des Programmes für sinnvoll erachtet. Dabei lag der Gedanke zu Grunde, dass die Sedimentarchive nicht in einem einzigen Starkregenereignis abgelagert wurden, sondern über einen längeren Zeitraum hinweg durch mehrere, möglicherweise saisonal stark schwankende Niederschlagsereignisse aufgebaut wurden. Eine stratigraphische Abfolge der einzelnen Proben konnte dabei bisher nicht festgelegt werden, mit Ausnahme der im stratigraphischen Kontext entnommenen Proben von Pe-306/311 und des La-Muña-Schlammstroms. Die Ergebnisse der Berechnungen befinden sich in Diagrammform im Anhang zu dieser Arbeit. Im Rahmen des  $1\sigma$ -Wahrscheinlichkeitsbereiches (vgl. Teil B – Kap. 3) ergibt sich ein Zeitraum für diese Feuchtphase von 1390 bis 1714 cal AD bei einer Gesamtdauer zwischen 272 und 320 Jahren.

Fig. 77 zeigt, wie gut die Feuchtphase mit einer erhöhten Eisakkumulation des Quelccaya-Gletschers (Thompson et al., 1985) zeitlich korreliert. Doch wie sieht der Vergleich mit Daten aus anderen Klimaarchiven aus? Zwar liegen vom **Titicaca-See** auf dem Altiplano im Grenzbereich zwischen Peru und Bolivien (Fig. 85) bisher noch keine hochaufgelösten Bohrkern-daten aus Seesedimenten vor. Jedoch gibt es multidisziplinäre Untersuchungen zu Seespiegelschwankungen, die nach einer Phase des Tiefstandes während eines Teils der Späten Zwischenperiode (Mittelalterliches Klimaoptimum der Nordhemisphäre) einen Anstieg des Wasserspiegels um 1350 AD belegen (Abbott et al., 1997; Binford et al., 1997). Diese Daten werden von Untersuchungen an Flussterrassen des **Rio Ilave**, einem Zufluß des Titicaca-Sees gestützt (Rigsby et al., 2003). Phasen der Sedimentakkumulation korrelieren dort mit erhöhten Niederschlägen im Einzugsgebiet und Seespiegelhochständen des Titicaca-Sees. Auch am **El Peinado-See** im andinen Hochland des nördlichen Argentinens ( $26^\circ\text{S}$ ) gibt es Belege für einen erhöhten Seespiegel, jedoch erst ab etwa 1650 AD (Valero-Garces et al., 2000).

Auch wenn der Niederschlag, der über der Westkordillere abregnet und so bis in die Region Palpa vordringt, aus dem Atlantik stammt, gehen dennoch einige Autoren davon aus, dass die Klimavariabilität von den Bedingungen über dem Pazifik bestimmt wird, wahrscheinlich in Zusammenhang mit der El-Niño-Southern-Oscillation (ENSO) (Hendy et al., 2002; Knüsel et al., 2005; vgl. Kap. 1.1). Im Jahr 2000 wurde 80 km westlich von Lima auf dem peruanischen Schelf eine **Offshore-Bohrung** abgetäuft und ein 20 m langer Sedimentkern (106KL) geborgen. Aus dem Kern wurden Daten über die Oberflächentemperatur des Meeres, die Biopro-

duktivität und die El-Niño-Aktivität während der letzten 20 ka in sehr hoher Auflösung gewonnen (Rein et al., 2004, 2005). El-Niño-Flutereignisse auf dem peruanischen Festland machen Rein et al. an feinkörnigen Gesteinsbruchstücken (*lithics*) im Sedimentkern fest, die von intensiven Starkregenabflüssen der lokalen Flüsse auf den Schelf transportiert wurden (Fig. 84). Ein erhöhter Anteil an *lithics* bedeuten stärkeren Abfluß und folglich stärkere Niederschläge.



**Fig. 84:** Die Gesteinsschutt-Konzentration im Bohrkern 106KL als Maß für die El-Niño-Intensität über die letzten 2.500 Jahre. Die horizontale Linie zeigt das Mittel über den dargestellten Zeitraum an (Daten: Rein et al., 2004, 2005).

The lithic concentration in the 106 KL sediment core as an indicator for the El Niño intensity over the last 2,500 years. The horizontal line marks the average of the displayed time span (Data: Rein et al., 2004, 2005).

Die Daten zeigen eine deutlich geringere El-Niño-Intensität während des Mittelalters, etwa zwischen 800 und 1250 AD (Rein et al., 2004). Erst ab etwa 1250 AD geht die Konzentration an *lithics* wieder auf den Durchschnittswert für das Holozän bzw. den der letzten 2,5 ka (Fig. 84) zurück. Auffällig ist, dass die El-Niño-Aktivität ab dieser Zeit zwar signifikant stärker ist als während des Mittelalters, jedoch offenbar nicht die Stärke und die Variabilität erreicht wie zur Nasca-Zeit. Es stellt sich allerdings die Frage, inwieweit El-Niño-Ereignisse überhaupt auf die Niederschlagsversorgung der Region Palpa Einfluss nehmen. Erhöhter Niederschlag während eines El-Niños trifft an der südamerikanischen Pazifikküste vorwiegend Equador und Nordperu (Caviedes, 2005). Nur selten kann die Trockenheit in Südperu durch starke El-Niño-Ereignisse während des Südsommers kurzzeitig unterbrochen werden (Keefer & Moseley, 2004; vgl. Kap. 2.1). Weitere intensive paläoklimatologische Untersuchungen mit hoher räumlicher Auflösung entlang der gesamten peruanischen Küstenrandwüste wären hier wünschenswert.

## Allgemeine Schlussbetrachtung

Den wesentlichen Teil der Arbeit bildet der Aufbau einer Anlage zur Herstellung von  $^{14}\text{C}$ -AMS-Targets im Heidelberger Radiokohlenstofflabor. Nachdem ein Prototyp unter Einbeziehung von Konzepten verschiedener in anderen europäischen Labors bereits existierender Target-Anlagen entwickelt worden war, konnte schließlich eine 6-fach parallele Apparatur in Betrieb genommen werden. Die Grundfunktionen des Systems, Druck- und Temperaturverlauf, Gaszufuhr und Ventilsteuerung, werden über das speziell für diese Anlage entwickelte Steuerprogramm HAMSTER überwacht. Bei Bedarf können die jeweiligen Daten aufgezeichnet und nachträglich ausgewertet werden. Dem Labor steht nun die Tür zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung mittels AMS-Messungen offen und damit die Möglichkeit, Proben im Milligramm- oder gar Mikrogrammbereich aus archäologischen, dendrochronologischen oder geomorphologischen Kontexten zu bearbeiten.

Der während dieser Arbeit entwickelte Rhythmus zur Nutzung der Targetanlage, von der Befüllung mit Katalysator über die Reinigungs- und Graphitisierungsschritte bis hin zur Entnahme des Graphits, hat ergeben, dass sich im Schnitt etwa 15 AMS- $^{14}\text{C}$ -Targets pro Woche erzeugen lassen. Bei der Verwendung von Eisen- statt Kobaltpulver als Katalysator lässt sich aufgrund der dann kürzeren Reaktionszeit ein maximaler Probendurchsatz von 30 Proben pro Woche erzielen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch die bei den Tests mit verschiedenen Katalysatormaterialien gewonnene Erkenntnis, dass die Reaktionsgeschwindigkeit zu einem großen Teil durch das Katalysatormaterial bestimmt wird und nicht, wie mitunter angenommen, durch den Innendurchmesser der Gefäße und Röhren im Reaktorraum (vgl. Teil A – Kap. 3.3). Die AMS-Messungen des  $^{14}\text{C}$ -Untergrundes haben einen durchschnittlichen Wert von 0,50 pmC, entsprechend 42,5 ka, ergeben. Damit wird deutlich, dass sich mit den angewandten Reinigungsschritten an der Target-Anlage und für die mit dem Graphit in Berührung kommenden Utensilien sehr gute Untergrundwerte erreichen lassen, die nahe am Untergrundlevel des Beschleunigers selbst liegen (vgl. Teil A – Kap. 4.2). Die eingangs formulierten Ziele im Zusammenhang mit der Herstellung von AMS- $^{14}\text{C}$ -Targets konnten folglich in hohem Maße umgesetzt werden.

Eine erste Anwendung fand die Target-Anlage in der Erstellung einer  $^{14}\text{C}$ -basierten Chronologie der vorspanischen Nasca-Kultur an der Südküste Perus. Durch eine günstige Entwicklung der archäologischen Ausgrabungen während des laufenden Projekts konnte auch für einen weiten Bereich der Paracas-Kultur, die der Nasca-Kultur voranging, eine  $^{14}\text{C}$ -Chronologie erstellt werden. Für die Gliederung eines Zeitbereichs von etwa 800 BC bis 700 AD standen insgesamt über 100  $^{14}\text{C}$ -Proben zur Verfügung. Die Verteilung der Proben über die jeweiligen Früh-, Mittel- und Spät-Phasen der Paracas- und Nasca-Zeit war jedoch nicht gleichmäßig dicht, so dass zukünftig noch weitere  $^{14}\text{C}$ -Proben nötig sind, um die Chronologie zu konsolidieren und mögliche Datierungslücken zu schließen. Der Einbau weiterer Datierungen und eine eventuelle Umstrukturierung der Chronologie aufgrund neuerer archäologischer Erkenntnisse ist zukünftig dank des Aufbaus der Chronologie nach

Bayesianischem Prinzip problemlos möglich (vgl. Teil B – Kap. 3.2). Es ist in diesem Zusammenhang hervorzuheben, dass die relativen Keramikchronologien der Paracas- und Nasca-Zeit (Reindel et al., 1999; Wetter, 2005) in ihrem grundlegenden Aufbau durch die numerische  $^{14}\text{C}$ -Chronologie bestätigt werden konnten. Auch verschieben die  $^{14}\text{C}$ -Datierungen das vorherige, archäologische Zeitgerüst für die Früh-, Mittel- und Spät-Phasen der Paracas- und Nasca-Zeit nur geringfügig.

Erstmals in der peruanischen Archäologie konnten Dank der AMS-Technik auch Lehmziegel (Adobes) erfolgreich zur Datierung herangezogen werden und so zur numerischen Chronologie beitragen. Lehmziegel sind ein sehr typisches und weit verbreitetes Baumaterial in ganz Peru, das bei den vorspanischen Kulturen nicht nur im häuslichen Bereich, sondern auch für große, repräsentative Gebäude wie in Cahuachi bei Nasca verwendet wurde. Bei dem in den Ziegeln enthaltenen organischen Material handelt es sich meist um Reste einjähriger Pflanzen, die wie bereits erläutert besonders gut zur  $^{14}\text{C}$ -Datierung geeignet sind. Unterschiede in Form und Beschaffenheit der Lehmziegel bieten Anhaltspunkte zur archäologischen Interpretation, die künftig zusammen mit den  $^{14}\text{C}$ -Datierungen direkte Informationen über den Zeitpunkt der Errichtung von Gebäuden liefern können (vgl. Teil B – Kap. 1.5.1). Mit vorliegender Arbeit konnte hoffentlich der Grundstein für weitere Lehmziegel-Datierungen in Peru gelegt werden. Die Veränderungen des Klimas und der Landschaft während des Holozäns und deren Einfluß auf die vorspanischen Kulturen, möglicherweise auf ihr Aufblühen und ihren Niedergang, war ein weiteres Ziel der Untersuchungen im BMBF-Projektverbund. Im Zuge dessen wurden über 30  $^{14}\text{C}$ -Proben von Klimaindikatoren in verschiedenen geomorphologischen Kontexten entnommen. Anhand von Löss-Schnecken konnte klar der Beginn der Löss-Sedimentation in der Region Palpa auf das Ende der letzten Eiszeit datiert werden (vgl. Teil C – Kap. 1.2.1). Keine der  $^{14}\text{C}$ -Proben aus den Klimaarchiven, insbesondere aus den Flussterrassen, lieferte jedoch bislang ein Paracas- oder Nasca-zeitliches Alter, was Aufschluß gegeben hätte über die Abflussdynamik zu dieser Zeit. Möglicherweise lässt sich der Mangel an Flusssedimenten aus diesem Abschnitt des Holozäns entweder dadurch erklären, dass die Dynamik der Flüsse zu gleichmäßig und ruhig war, um größere Sedimentmengen in der Umgebung von Palpa zu akkumulieren, oder aber, dass die Sedimente von jüngeren Terrassen überlagert wurden und somit nur selten aufgeschlossen sind.

Überraschenderweise mehrten sich bei der Auswertung der Daten hingegen die Anzeichen für eine Feuchtphase in der Region Palpa zwischen 1390 und 1714 cal AD. Zu dieser Zeit, in der auch die Spanier in Peru eintrafen, lässt sich weltweit ein Vordringen der Gletscher feststellen, weshalb die Phase als „Kleine Eiszeit“ bezeichnet wird. Die Klimadaten der Feuchtphase in der Region Palpa lassen sich gut mit einer verstärkten Eisakkumulation des Quelccaya-Gletschers im peruanischen Hochland korrelieren. Jedoch sind für einen noch genaueren Einblick in die Klimaentwicklung des Gebietes weitere intensive Untersuchungen zu dieser „Palpa-Feuchtphase“ zukünftig wünschenswert.

## Literaturverzeichnis

- Abbott, M. B., Binford, M. W., Brenner, M., and Kelts, K. R. (1997). A 3500 14C yr high-resolution record of water-level changes in Lake Titicaca, Bolivia/Peru. *Quaternary Research* **47**, 169-180.
- Adkins, J., Griffin, S., Kashgarian, M., Cheng, H., Druffel, E. R. M., Boyle, E. A., Edwards, R. L., and Shen, C.-C. (2002). Radiocarbon dating of deep-sea corals. *Radiocarbon* **44**, 567-580.
- Alvarez, L. W., and Cornog, R. (1939). 3He in helium. *Phys. Rev.* **56**, 379.
- Audebaud, E., Laubacher, G., and Marocco, R. (1976). Coupe geologique des Andes du Sud du Perou de l'Ocean Pacifique au Bouclier Bresilien. *Geol. Rdsch.* **65**, 223-264.
- Aveni, A. F. (1990). "The lines of Nazca." American Philosophical Society, Philadelphia.
- Baker, P. A., Rigsby, C. A., Seltzer, G. O., Fritz, S. C., Lowenstein, T. K., Bacher, N., P., and Veliz, C. (2001). Tropical climate changes at millennial and orbital timescales on the Bolivian Altiplano. *Nature* **409**, 698-701.
- Bayes, T. R. (1763). An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. *Philosophical Transactions of the Royal Society London* **53**, 370-418.
- Beck, W., Donahue, D. J., Jull, A. J. T., Burr, G. S., Broecker, W. S., Bonani, G., Hajdas, I., and Malotki, E. (1998). Ambiguities in Direct Dating of Rock Surfaces Using Radiocarbon Measurements. *Science* **280**, 2132-2135.
- Binford, M. W., Kolata, A. L., Brenner, M., Janusek, J. W., Seddon, M. T., Abbott, M. B., and Curtis, J. H. (1997). Climate variation and the rise and fall of an Andean civilization. *Quaternary Research* **47**, 235-248.
- Bird, M., Ayliffe, L., Fifield, L., Turney, C. S. M., Cresswell, R., Barrows, T., and David, B. (1999). Radiocarbon dating of old charcoal using a wet oxidation, stepped-combustion procedure. *Radiocarbon* **41**, 127-140.
- Bennet, C. L., Beukens, R. P., Clover, M. R., Gove, H. E., Lievert, R. B., Litherland, A. E., Purser, K. H., and Sondheim, W. E. (1977). Radiocarbon dating using accelerators: Negative ions provide the key. *Science* **198**, 508-509.
- Blagg, M. M. (1975). "The bizarre innovation in Nasca." Unpublished MA thesis, University of Texas, Austin.
- Bonani, G., Haas, H., Hawass, Z., Lehner, M., Nakhla, S., Nolan, J., Wenke, R., and Wölfli, W. (2001). Radiocarbon dates of Old and Middle Kingdom monuments in Egypt. *Radiocarbon* **43**, 1297-1320.
- Bronk Ramsey, C. (1995). Radiocarbon and Analysis of Stratigraphy: The OxCal Program. *Radiocarbon* **37**, 425-430.
- Bronk Ramsey, C. (1998). Probability and Dating. *Radiocarbon* **40**, 461-474.
- Bronk Ramsey, C. (2001). Development of the radiocarbon calibration program. *Radiocarbon* **43**, 355-363.
- Bronk Ramsey, C. (2005). The OxCal radiocarbon calibration software - <http://www.rlaha.ox.ac.uk/O/oxcal.php?group=O>. University of Oxford, Radiocarbon Laboratory; accessed: 14.09.2005.
- Buck, C. E. (2004). Statistical modelling as a tool for dating and chronology construction. In "ESF-HOLIVAR training course - lecture abstracts." Ghent, Belgium.
- Buck, C. E., and Millard, A. R. (2004). "Tools for constructing chronologies." Springer Verlag, London.
- Burger, R. L. (1981). The Radiocarbon evidence for the temporal priority of Chavin de Huantar. *American Antiquity* **46**, 592-602.

- Caldas, J. (1978). "Geología de los cuadrángulos de San Juan, Acari y Yauca / Boletín No. 30." INGEOMIN, Lima.
- Caviedes, C. N. (2005). "El Niño - Klima macht Geschichte." WBG, Darmstadt.
- Clarkson, P. (1996). Técnicas en la determinación de las edades cronológicas de geoglifos. *Chungará* **28**, 419-460.
- Clarkson, P., and Dorn, R. (1991). Nuevos datos relativos a la antigüedad de los geoglifos y pukios de Nazca, Peru. *Boletín de Lima* **78**, 33-47.
- Clarkson, P., and Dorn, R. (1995). New chronometric dates for the puquios of Nasca, Peru. *Latin American Antiquity* **6**, 56-69.
- Cobbing, E. J. (1976). The Geosynclinal Pair at the Continental Margin of Peru. *Tectonophysics* **36**, 157-165.
- Coleman, D. (1981). Tube cracker for opening samples sealed in glass tubing. *Analytical Chemistry* **53**, 1963-1965.
- Cook, E., Palmer, J. G., and D'Arrigo, R. D. (2002). Evidence for a 'Medieval Warm Period' in a 1100-year tree-ring reconstruction of past Austral summer temperatures in New Zealand. *Geophysical Research Letters* **29**, 1667.
- Cook, E. R., Buckley, B. M., D'Arrigo, R. D., and Peterson, M. J. (2000). Warm-season temperatures since 1600 BC reconstructed from Tasmanian tree rings and their relationship to large scale sea-surface temperature anomalies. *Climate Dynamics* **16**, 79-91.
- Czernik, J., and Goslar, T. (2001). Preparation of graphite targets in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for AMS <sup>14</sup>C dating. *Radiocarbon* **43**, 283-291.
- Deevey, E. S., Gross, M. S., Hutchinson, G. E., and Kraybill, H. L. (1954). The natural <sup>14</sup>C contents of materials from hard-water lakes. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **40**, 285-288.
- deLeonardis, L. (1997). "Paracas settlement in Callango, lower Ica Valley, 1st Millenium B.C., Peru." Unpublished Ph.D. thesis, Catholic University of America.
- DesMarais, D., and Hayes, J. (1976). Tube cracker for opening glass-sealed ampoules under vacuum. *Analytical Chemistry* **48**, 1651-1652.
- de Vries, H., and Barendsen, G. W. (1954). Measurement of age by the carbon-14 technique. *Nature* **174**, 1138-1141.
- de Vries, H. (1958). Variation of the concentration of radiocarbon with time and location on earth. *Kon. Ned. Akad. Wetensch. Proc. Ser. B* **61**, 267-281.
- Disselhoff, H. D. (1969). Früh-Nazca im äußersten Süden Perus, Provincia de Camaná (Dep. Arequipa). In "Verhandlungen des XXXVIII. Internationalen Amerikanisten Kongress." pp. 385-391, Stuttgart-München.
- Dörr, H., and Münnich, K. O. (1980). Carbon-14 and Carbon-13 in soil CO<sub>2</sub>. *Radiocarbon* **22**, 909-918.
- Dorn, R. (1998). Response to Beck et al. (Science 280 - 1998). *Science* **280**, 2136-2139.
- Eisbacher, G. H. (1996). "Einführung in die Tektonik." Enke-Verlag, Stuttgart.
- Eitel, B. (2001). "Bodengeographie." Westermann, Braunschweig.
- Eitel, B., Blümel, W.-D., and Hüser, K. (2002). Environmental transitions between 22 ka and 8 ka in monsoonally influenced Namibia - a preliminary chronology. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F. Suppl.-Bd.* **126**, 31-57.
- Eitel, B., Hecht, S., Mächtle, B., Schukraft, G., Kadereit, A., Wagner, G., Kromer, B., Unkel, I., and Reindel, M. (2005). Geoarchaeological evidence from desert Loess in the Nasca-Palpa Region, Southern Peru: Palaeoenvironmental changes and their impact on pre-Columbian cultures. *Archaeometry* **47**, 137-158.
- Falbe, J. (1978). "Katalysatoren, Tenside und Mineralöladditive." Georg Thieme Verlag, Stuttgart.
- Finkel, R. C., and Suter, M. (1993). AMS in the Earth Sciences: technique and applications. *Advances in Analytical Geochemistry* **1**, 1-114.

- Frechen, M., Oches, E. A., and Kohfeld, K. E. (2003). Loess in Europe - mass accumulation rates during the last glacial period. *Quat. Sci. Rev.* **22**, 1835-57.
- Gayton, A., and Kroeber, A. L. (1927). The Uhle Pottery Collections from Nazca. *Univ. Calif. Public. in American Archaeology and Ethnology* **24**, 1-46.
- Glatzel-Mattheier, H. (1994). "AMS 14C-Messung an Ozeanproben - Untersuchungen zur Optimierung des Aufbereitungsverfahrens im Routinebetrieb." Unpublished Diploma thesis, Universität Heidelberg.
- Görsdorf, J., and Reindel, M. (2002). Radiocarbon dating of the Nasca settlements Los Molinos and La Muña in Palpa, Peru. *Geochronometria* **21**, 151-156.
- Goslar, T., and Czernik, J. (2000). Sample preparation in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for the AMS 14C dating of sediments. *Geochronometria* **18**, 1-8.
- Greilich, S. (2004). "Über die Datierung von Gesteinsoberflächen mittels optisch stimulierter Lumineszenz." Unpublished PhD thesis, Universität Heidelberg - <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/4588>.
- Greilich, S., Glasmacher, U. A., and Wagner, G. A. (2005). Optical dating of granitic stone surfaces. *Archaeometry* **47**, 645-665.
- Grove, J. M. (1988). "The Little Ice Age." University Press, Cambridge.
- Grove, J. M. (2004). "Little Ice Ages: Ancient and Modern." Routledge, London.
- Hajdas, I. (1993). "Extension of the radiocarbon calibration curve by AMS dating of laminated sediments of Lake Soppensee and Lake Holzmaar." Unpublished Dissertation thesis, ETH-Zürich.
- Hajdas, I., Bonani, G., Thut, J., Leone, G., Pfenninger, R., and Maden, C. (2004). A report on sample preparation at the ETH/PSI AMS facility in Zurich. *Nuclear Instruments and Methods B* **223-224**, 267-271.
- Hatté, C., Pessenda, L. C., Lang, A., and Paterne, M. (2001a). Development of accurate and reliable 14C chronologies for Loess deposits: application to the Loess sequence of Nussloch (Rhine Valley, Germany). *Radiocarbon* **43**, 611-618.
- Hatté, C., Morvan, J., Noury, C., and Paterne, M. (2001b). Is classical Acid-Alkali-Acid treatment responsible for contamination? An alternative proposition. *Radiocarbon* **43**, 177-182.
- Hatté, C., Poupeau, J.-J., Tannau, J.-F., and Paterne, M. (2003). Development of an automated system for preparation of organic samples. *Radiocarbon* **45**, 421-430.
- Haug, G. H., Hughen, K. A., Sigman, D. M., Peterson, L. C., and Röhl, U. (2001). Southward Migration of the Intertropical Convergence Zone Through the Holocene. *Science* **293**, 1304-1308.
- Heine, K. (1983). Spät- und postglaziale Gletscherschwankungen in Mexiko: Befunde und paläoklimatische Deutung. In "Late and Postglacial Oscillations of Glaciers: Glacial and Periglacial Forms." (H. Schroeder-Lanz, Ed.), pp. 291-304. Balkema, Rotterdam.
- Hendy, E., Gagan, M. K., Alibert, C. A., McCulloch, M. T., Lough, J. M., and Isdale, P. J. (2002). Abrupt decrease in tropical Pacific sea surface salinity at end of Little Ice Age. *Science* **295**, 1511-1514.
- INGEMMET. (online). Nuevos mapas geológicos del Sur del Perú - <http://www.ingemmet.gob.pe/actividades/index.html> - accessed: 19.09.2005.
- Isla Cuadrado, J. (2001). Una tumba Nasca en Puente Gentil, valle de Santa Cruz, Perú. *Beitr. Allgem. Vergl. Archäol. (BAVA)* **21**, 207-239.
- Joyce, T. A. (1912). "South American Archaeology." G.P. Putnam's Sons, New York.
- Keefer, D., K., and Moseley, M., E. (2004). Southern Peru desert shattered by the great 2001 earthquake: Implications for paleoseismic and paleo-El Niño–Southern Oscillation records. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **101**, 10878–10883.
- Kennedy, H., and Kennedy, D. (1994). Simplified tube cracker for opening samples sealed in glass tubes while under vacuum. *Analyt. Proc. Incl. Analyt. Commun.* **31**, 299-300.



- Knüsel, S., Brütsch, S., Henderson, K. A., Palmer, A. S., and Schwikowski, M. (2005). ENSO signals of the twentieth century in an ice core from Nevado Illimani, Bolivia. *J. Geophys. Res.* **110**, 14.
- Kretschmar, R. (1996). "Kulturtechnisch-bodenkundliches Praktikum - ausgewählte Labor und Feldmethoden." Christian-Albrechts-Universität, Kiel.
- Kreutz, K. J., Mayewski, P. A., Meeker, L. D., Twickler, M. S., Whitlow, S., and Pittalwala, I. (1997). Bipolar Changes in Atmospheric Circulation during the Little Ice Age. *Science* **277**, 1294-1296.
- Kroeber, A. L., and Collier, D. (1998). "The archaeology and pottery of Nazca, Peru: Alfred L. Kroeber's 1926 expedition." Walnut Creek.
- Lamb, H. H. (1965). The early medieval warm epoch and its sequel. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **1**, 13-37.
- Lambers, K. (2004). "The geoglyphs of Palpa (Peru): documentation, analysis, and interpretation." PhD thesis, University of Zurich - <http://www.dissertationen.unizh.ch/2005/lambers/abstract.html>.
- Lerman, J. C., Mook, W. G., and Vogel, J. C. (1970). 14C in tree rings from different localities. In "Radiocarbon variations and absolute chronology." (I. U. Olsson, Ed.), pp. 275-301. Almquist & Wicksell, Uppsala.
- Leonhard, C. C. v. (1823/24). "Charakteristik der Felsarten." J. Engelmann Verlag, Heidelberg.
- Levin, I., Bössinger, R., Bonani, G., Francey, R. J., Kromer, B., Münnich, K. O., Suter, M., Trivett, N. B. A., and Wölfli, W. (1992). Radiocarbon in atmospheric carbon dioxide and methane : Global distribution and trends. In "Radiocarbon after four decades : an interdisciplinary perspective." (R. E. Taylor, A. Long, and R. S. Kra, Eds.), pp. 503-518. Springer-Verlag, New York.
- Libby, W. F. (1946). Atmospheric helium-3 and radiocarbon from cosmic radiation. *Phys. Rev.* **69**, 671-672.
- Litherland, A. E. (1984). Accelerator mass spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods* **B5**, 100-108.
- Longhurst, A. (1998). "Ecological geography of the sea." Academic Press, San Diego.
- Longin, R. (1971). New method of collagen extraction for radiocarbon dating. *Nature* **230**, 241-242.
- Lyell, C. (1834). Observations on the loamy deposit called 'loess' of the basin of the Rhine. *Edinburgh New Philosophical Journal* **17**, 110-13 and 118-20.
- Mächtle, B. (2006, in prep.). "Klima- und Landschaftsentwicklung im Umfeld präkolumbischer Kulturen im Raum Nazca/Palpa, Südperu." Unpublished PhD thesis, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.
- Mächtle, B., Eitel, B., Kadereit, A., and Unkel, I. (2005, submitted). Holocene environmental changes in the northern Atacama desert, southern Peru (14°30'S) and their impact on the rise and fall of Precolumbian cultures. *Zeitschrift für Geomorphologie*.
- Marocco, R., and Muizon, C. d. (1988). Los vertebrados del Neogeno de la costa sur del Perú: Ambiente sedimentario y condiciones de fosilización. *Bull. Inst. Fr. Et. And.* **17**, 105-117.
- Mann, M. E. (2002). Little Ice Age. In "Volume 1, The Earth System: physical and chemical dimensions of global environmental change." (M. C. MacCracken, and J. S. Perry, Eds.), pp. 504-509. Encyclopedia of Global Environmental Change. John Wiley & Sons, Chichester.
- Maslin, M. A., and Burns, S. J. (2000). Reconstruction of the Amazon Basin Effective Moisture Availability over the Past 14,000 Years. *Science* **290**, 2285-2287.
- Matthes, F. E. (1939). Report of the Committee on Glaciers, April 1939. *Transactions of the American Geophysical Union* **20**, 518-523.

- Matthews, J. A., and Briffa, K. R. (2005). The 'Little Ice Age': Re-evaluation of an evolving concept. *Geogr. Ann.* **87A**, 17-36.
- McElhinny, M. W., and Senanayake, W. E. (1982). Variations in the geomagnetic dipole I: the past 50,000 years. *J. Geomag. Geoelectr.* **34**, 39-.
- McCormac, G., Reimer, P. J., Hogg, A. G., Higham, T. F. G., Baillie, M. G. L., Palmer, J., and Stuiver, M. (2002). Calibration of the radiocarbon time scale for the southern hemisphere: AD 1850-950. *Radiocarbon* **44**, 641-651.
- McCormac, G., Hogg, A. G., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Higham, T. F. G., and Reimer, P. J. (2004). SHCal04 Southern Hemisphere Calibration, 0-11.0 cal kyr BP. *Radiocarbon* **46**, 1087-1092.
- McHargue, L. R., and Damon, P. E. (1991). The global beryllium 10 cycle. *Reviews of Geophysics* **29**, 141-158.
- Mégard, F. (1987). Cordilleran Andes and Marginal Andes: A review of Andean geology north of the Arica Ellbow (18°S). *Geol. Soc. Am. - Geodyn. Ser.* **18**, 71-95.
- Mejia Xesspe, T. (1942). Acueductos y Caminos Antiguos de la Hoya del Rio Grande de Nazca. In "Actas y trabajos científicos del XXVII Congreso Internacional de Americanistas - Lima 1939,." pp. 559-569. Librería e Imprenta Gil, Lima.
- Mejia Xesspe, T. (2002, posthum). "Arqueología de la cuenca del Río Grande de Nasca." Museo de Arqueología y Antropología, Lima.
- Menzel, D. (1971). Estudios Arqueológicos en los Valles de Ica, Pisco, Chincha y Cañete. *Arqueología y Sociedad* **6**.
- Menzel, D. (1977). "The Archaeology of Ancient Peru and the Work of Max Uhle." R.H. Lowie Museum of Anthropology - University of California, Berkeley, CA.
- Menzel, D., Rowe, J. H., and Dawson, L. E. (1964). "The Paracas Pottery of Ica: A Study in Style and Time." University of California Press, Berkeley / Los Angeles.
- Montoya, M., García, W., and Caldas, J. (1994). "Geología de los cuadrangulos de Lomitas, Palpa, Nasca y Puquio / Boletín No. 53 - Serie A: Carta Geológica Nacional." INGEMMET, Lima.
- Morrison, T. (1987). "The mystery of the Nasca lines." Nonesuch, Woodbridge.
- Moseley, M. E. (2001). "The Incas and their Ancestors." Thames & Hudson, London.
- Muizon, C. d. (1984). Les vertébrés fossiles de la formation Pisco (Pérou). Deuxième partie: les Odontocetes (Cetacea, Mammalia) du Pliocène inférieur de Sud-Sacaco. *Trav. Inst. Fr. Et. And.* **27**, 224 pp.
- Muller, R. A. (1977). Radioisotope dating with a cyclotron. *Science* **196**, 489-494.
- National-Instruments. (2001). "Erste Schritte mit LabView - Manual zur Evaluierung." Austin, Texas.
- Nelson, D. E., Korteling, R. G., and Stott, W. R. (1977). Carbon-14: Direct detection at natural concentrations. *Science* **198**, 507-508.
- Noble, D. C., Farrar, E., and Cobbing, E. J. (1979). The Nazca Group of South-Central Peru: Age, source and regional volcanic and tectonic significance. *Earth and Planet. Sci. Lett.* **45**, 80-86.
- Nordsieck, R. (2005). Die lebende Welt der Weichtiere - <http://www.weichtiere.at/Schnecken/land/weinberg/seiten/schale.html>.
- Norton, G. A. (2005). Improved tube cracker for opening vacuum-sealed glass tubes. *Radiocarbon* **47**, 177-178.
- Olsson, I. U. (1979). The radiocarbon contents of various reservoirs. In "Radiocarbon dating." (R. Berger, and H. E. Suess, Eds.), pp. 613-618. Univ. California Press, Los Angeles.
- Olsson, I. U. (1986). Radiometric dating. In "Handbook of Holocene palaeoecology and palaeohydrology." (B. E. Berglund, Ed.), pp. 273-312. John Wiley & Sons Ltd., Chichester.

- Otten, H. (2006 in prep.). "Die Keramik aus Chillo: Eine Analyse der Keramik aus der Späten Zwischenperiode der Südküste Perus." Unpublished Master thesis, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Paterne, M., Ayliffe, L., Arnold, M., Cabioch, G., Tisnerat-Laborde, N., Hatté, C., Douville, E., and Bard, E. (2004). Paired  $^{14}\text{C}$  and  $^{230}\text{Th}/\text{U}$  dating of surface corals from the Marquesas and Vanuatu (Sub-equatorial Pacific) in the 3000 to 15,000 cal year interval. *Radiocarbon* **46**, 551-566.
- Paul, A. (1991). Paracas: An ancient cultural tradition on the South coast of Peru. In "Paracas Art and Architecture: Object and Context in South Coastal Peru." (A. Paul, Ed.), pp. 1-31. University of Iowa Press, Iowa City.
- Pearson, G. W. (1987). How to cope with calibration. *Antiquity* **61**, 98-103.
- Pfleiderer, C. (1987). "Beschleunigermassenspektrometrische Kohlenstoff-14 Messungen an Meerwasserproben der Antarktis." Unpublished Diploma thesis, Universität Heidelberg.
- Pigati, J. S., Quade, J., Shahanan, T. M., and Haynes Jr., C. V. (2004). Radiocarbon dating of minute gastropods and new constraints on the timing of late Quaternary spring-discharge deposits in southern Arizona, USA. *Palaeogeographic, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **204**, 33-45.
- Piotrowska, N., and Goslar, T. (2002). Preparation of bone samples in the Gliwice Radiocarbon Laboratory for AMS radiocarbon dating. *Isotopes Environ. Health Stud.* **38**, 267-275.
- Porter, S. C., and Denton, G. H. (1967). Chronology of neoglaciation in the North American Cordillera. *American Journal of Science* **265**, 177-210.
- Proulx, D. A. (1968). Local Differences and Time Differences in Nasca Pottery. *Univ. of Calif. Public. in Anthropology* **5**.
- Proulx, D. (1994). Stylistic variation in proliferous Nasca pottery. *Andean Past* **4**, 91-107.
- Reiche, M. (1969). "Mystery on the Desert." Eigenverlag, Stuttgart.
- Reimer, P. J., Baillie, M. G. L., Bard, E., Bayliss, A., Beck, J. W., Bertrand, C. J. H., Blackwell, P. G., Buck, C. E., Burr, G. S., Cutler, K. B., Damon, P. E., Edwards, R. L., Fairbanks, R. G., Friedrich, M., Guilderson, T. P., Hogg, A. G., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Manning, S. W., Ramsey, C. B., Reimer, R. W., Remmele, S., Southon, J. R., Stuiver, M., Talamo, S., Taylor, C. B., Plicht, J. V. D., and Weyhenmeyer, C. E. (2004). IntCal04 Terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon* **46**, 1029-1058.
- Rein, B., Lückge, A., Reinhardt, L., Sirocko, F., Wolf, A., and Dullo, W.-C. (2005). El Niño variability off Peru during the last 20,000 years. *Paleoceanography* **20**, PA4003.
- Rein, B., Lückge, A., and Sirocko, F. (2004). A major Holocene ENSO anomaly during the Medieval period. *Geophys. Res. Lett.* **31**.
- Reindel, M. (1998). La excavación en el sitio Estaquería B (PAP-73) - Proyecto Arqueológico Palpa, Informe Final, Temporada Septiembre 1997 - Marzo 1998. Palpa, Peru, pp. 83-87. unpubl. report - SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M. (2002). Proyecto Arqueológico Palpa, Informe Final, Temporada 2001 - Palpa, Peru, pp. 8-35. SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M., Isla Cuadrado, J., and Koschmieder, K. (1999). Vorspanische Siedlungen und Bodenzeichnungen in Palpa, Südperu. *Beitr. Allgem. Vergl. Archäol. (BAVA)* **19**, 1-70.
- Reindel, M., and Isla Cuadrado, J. (2000). Ausgrabungen in Los Molinos und La Muña. Ergebnisse der Grabungskampagne 1999 des Archäologischen Projektes Nasca-Palpa, Süd-Peru, pp. 3-31. Jahresbericht SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M., and Isla Cuadrado, J. (2001). Los Molinos und La Muña. Zwei Siedlungszentren der Nasca-Kultur in Palpa, Südperu. *Beitr. Allgem. Vergl. Archäol. (BAVA)* **21**, 241-319.

- Reindel, M., Isla Cuadrado, J., and Lambers, K. (2002). Abschließende Untersuchungen zu Geoglyphen und Siedlungen in Palpa, Südperu. Ergebnisse der Feldkapagne 2001 des Archäologischen Projektes Nasca-Palpa, pp. 57-73. Jahresbericht SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M., and Isla Cuadrado, J. (2003). Archäologisches Projekt "Paracas in Palpa", Peru - Bericht über die Grabungskampagne 2003, pp. 137-156. Jahresbericht SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M., Isla Cuadrado, J., and Lambers, K. (2003). Die Arbeiten des Archäologischen Projektes Nasca-Palpa, Peru, im Jahr 2002, pp. 119-132. Jahresbericht SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reindel, M., and Isla Cuadrado, J. (2004). Las excavaciones en el sitio de Chillo (PAP-396) - Proyecto Arqueológico Nasca-Palpa, Informe Final, Temporada 2003, pp. Appendix II, 2-14, Lima.
- Reindel, M., Isla Cuadrado, J., and Lambers, K. (2004). Archäologisches Projekt "Paracas in Palpa", Peru - Ausgrabungen und Forschungen 2004, pp. 25-44. Jahresbericht SLSA, Zürich, Vaduz.
- Reinhard, J. (1996). "The Nazca lines: a new perspective on their origin and meaning." Editorial Los Pinos, Lima.
- Rigsby, C. A., Baker, P. A., and Aldenderfer, M. S. (2003). Fluvial history of the Rio Ilave valley, Peru. and its relationship to climate an human history. *Palaeogeographic, Palaeoclimatology, Palaeoecology* **194**, 165-185.
- Rink, W. J., and Bartoll, J. (2005). Dating the geometric Nasca lines in the Peruvian desert. *Antiquity* **79**, 390-401.
- Rowe, J. H. (1959). Archaeological Dating and Cultural Process. *Southwest. J. Anthropology* **15**, 317-324.
- Rowe, J. H. (1960). Nuevos datos relativos a la cronología del Estilo Nasca. In "Antiguo Perú: Espacio y Tiempo." (R. Matos, Ed.), pp. 29-45, Lima.
- Rowe, J. H. (1962). Stages and Periods in Archaeological Interpretation. *Southwest. J. Anthropology* **18**, 40-54.
- Rowe, J. H. (1967). An interpretation of radiocarbon measurements on archaeological samples from Peru. In "Peruvian Archaeology: Selected readings." (J. H. Rowe, and D. Menzel, Eds.), pp. 16-30. Peek Publications, Palo Alto.
- Ruegg, W. (1956). Geologie zwischen Cañete - San Juan 13°00' -15°24' Südperu. *Geol. Rdsch.* **45**.
- Ruegg, W. (1961). Hallazgo y posición estratigráfico-tectónica del Titoniano en la costa sur del Perú. *Soc. Geol. del Perú* **T 38**.
- Shackleton, R. M., Ries, A. C., Coward, M. P., and Cobbold, P. R. (1979). Structure, metamorphism and geochronology of the Arequipa Massif of coastal Perú. *J. Geol. Soc.* **136**, 195-214.
- Silverman, H. (1977). Estilo y estado: el problema de la cultura nasca. *Informaciones Arqueológicas* **1**, 49-78.
- Silverman, H. (1991). The Paracas Problem: Archaeological Perspectives. In "Paracas Arts and Architecture. Object and Context in South Coastal Peru." (A. Paul, Ed.), pp. 349-414. University of Iowa Press, Iowa City.
- Silverman, H., and Proulx, D. A. (2002). "The Nasca." Blackwell, Oxford.
- Strong, W. D. (1957). "Paracas, Nazca and Tiahuanacoid Cultural Relationship in South Coastal Peru." Memoir no. 13, Society for American Archaeology, Menasha.
- Stuiver, M., and Pollach, H. (1977). Discussion : Reporting of <sup>14</sup>C data. *Radiocarbon* **19**, 355-363.
- Stuiver, M., and Braziunas, T. F. (1993). Sun, ocean, climate and atmospheric <sup>14</sup>CO<sub>2</sub>: an evaluation of causal and spectral relationships. *The Holocene* **3**, 289-305.

- Stuiver, M., Reimer, P. J., Bard, E., Burr, G. S., Hughen, K. A., Kromer, B., McCormac, G., Plicht, J. v. d., and Spurk, M. (1998). INTCAL98 Radiocarbon Age Calibration. *Radiocarbon* **40**, 1041-1083.
- Suess, H. E. (1965). Secular variations in the cosmic-ray produced carbon-14 in the atmosphere and their interpretation. *J. Geophys. Res* **70**, 5937-5952.
- Taylor, R. E., and Berger, R. (1967). Radiocarbon content of marine shells from the Pacific coasts of Central and South America. *Science* **158**, 1180-1182.
- Tello, J. C. (1917). Los antiguos cementerios del valle de Nazca. In "Proc. 2nd Pan-American Scientific Congress." pp. 283-291, Washington.
- Tello, J. C. (1959). Paracas: Primera parte - Publicación del Proyecto 8b del programa 1941-1942. Institute of Andean Research, New York, Lima.
- Tello, J. C., and Mejia Xesspe, T. (1979). Paracas: Segunda Parte - Cavernas y Necrópolis. Institute of Andean Research, New York, Lima.
- Thompson, L. G., Mosley - Thompson, E., Bolzan, J. F., and Koci, B. R. (1985). A 1500-Year Record of Tropical Precipitation in Ice Cores from the Quelccaya Ice Cap, Peru. *Science* **229**, 971-973.
- Tisnérat-Laborde, N., Valladas, H., Kaltnecker, E., and Arnold, M. (2003). AMS Radiocarbon dating of bones at LSCE. *Radiocarbon* **45**, 409-419.
- Trappe, M. (1998). Petrographisch-geochemische Untersuchungen an jurassisch-kretazischen Vulkaniten im Gebiet Nazca-Palpa. *Münchner Geol. Hefte A* **21**, pp. 200.
- Tric, E., Valet, J.-P., Tucholka, P., Paterne, M., Labeyrie, L., Guichard, F., Tauxe, L., and Fontugne, M. (1992). Paleointensity of the geomagnetic field during the last 80,000 years. *Journal Geophysical Research* **97**, 9337-9351.
- Tyson, P. D., Karlén, W., Holmgren, K., and Heiss, G. A. (2000). The Little Ice Age and medieval warming in South Africa. *South African Journal of Science* **96**, 121-126.
- Tyson, P. D., Lee-Thorp, J. A., Holmgren, K., and Thackeray, J. F. (2002). Changing gradients of climate change in Southern Africa during the past Millennium: Implications for population movements. *Climatic Change* **52**, 129-135.
- Uhle, M. (1914). The Nasca pottery of ancient Peru. *Proc. D.A.S* **13**, 1-17.
- Valero-Garces, B. L., Delgado-Huertas, A., Ratto, N., Navas, A., and Edwards, L. (2000). Paleohydrology of Andean saline lakes from sedimentological and isotopic records, Northwestern Argentina. *Journal of Paleolimnology* **24**, 343-359.
- Vandeputte, K., Moens, L., Dams, R., and van der Plicht, H. (1998). Study of the <sup>14</sup>C-contamination potential of C-impurities in CuO and Fe. *Radiocarbon* **40**, 103-110.
- Velarde, L. (1997). La transición Paracas-Nasca en el valle de Chincha. In "L'Amérique du Sud: Des chasseurs-cueilleurs à l'Empire Inca. Actes des journées d'étude d'archéologie précolombienne, Genève, 10-11 octobre 1997." (A. Chevalier, L. Velarde, and I. Chenal-Velarde, Eds.), pp. 63-77. BAR International Series 746. Archaeopress, Oxford.
- Verschuren, D., Laird, K. R., and Cumming, B. F. (2000). Rainfall and drought in equatorial East Africa during the past 1,100 years. *Nature* **403**, 410-414.
- Vogel, J. S., Southon, J. R., Nelson, D. E., and Brown, T. A. (1984). Performance of catalytically condensed carbon for use in Accelerator Mass Spectrometry. *Nuclear Instruments and Methods* **B5**, 289-293.
- Vossen, R. (1970). Klassifikationsprobleme und Klassifikationssysteme in der Amerikanischen Archäologie. *Acta Praehistorica et Archaeologica* **1**, 29-79.
- Wagner, G. A. (1995). "Altersbestimmung von jungen Gesteine und Artefakten." Enke-Verlag, Stuttgart.
- Wallace, D. (1962). Cerrillos, an Early Paracas Site in Ica, Peru. *American Antiquity* **27**, 303-314.

- Wang, X., Auler, A. S., Edwards, R. L., Cheng, H., Cristalli, P. S., Smart, P. L., Richards, D. A., and Shen, C.-C. (2004). Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. *Nature* **432**, 740-743.
- Wegner, S. (1976). A stylistic seriation of Nasca 6 painted pottery designs (cited in Silverman, H. & Proulx, D., 2002), unpublished manuscript.
- Wetter, A. (2005). "Paracas-Keramik aus Jauranga: Grundlagen zur Klassifikation formativ-zeitlicher Keramik der Südküste Perus." Unpublished Master thesis, Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Wieczorek, A., and Tellenbach, M. (2002). "An die Mächte der Natur - Mythen der altperuanischen Nasca-Indianer (Publikationen der Reis-Engelhorn-Museen, Mannheim Bd.5)." Verlag Philipp von Zabern, Mainz.
- Wikipedia.de. (2005a). Stickstoffwasserstoffsäure - <http://de.wikipedia.org/wiki/Stickstoffwasserstoffs%C3%A4ure>., accessed: 26.07.2005
- Wikipedia.de. (2005b). Sequenzielle Monte-Carlo-Methode - [http://de.wikipedia.org/wiki/Sequentielle\\_Monte-Carlo-Methoden](http://de.wikipedia.org/wiki/Sequentielle_Monte-Carlo-Methoden) - accessed: 15.09.2005.
- Zeil, W. (1986). "Südamerika." Enke, Stuttgart.
- Ziolkowski, M., Pazdur, M., Krzanowski, A., and Michczynski, A. (1994). "Andes - Radio-carbon database for Bolivia, Ecuador and Peru." Warsaw University & Silesian Technical University, Warszawa-Gliwice.

## Danksagungen

Ein besonderer Dank gilt meinen beiden Betreuern, Dr. Bernd Kromer und Prof. Dr. Günther Wagner, für die wunderbare Unterstützung und Förderung während meiner Arbeit. Ich danke insbesondere für die Geduld, die sie am Anfang einem Neuling auf diesem Fachgebiet entgegengebracht haben, und auch für das große Vertrauen in vielerlei Hinsicht. Und ein spezieller Dank gilt Prof. Dr. Bernhard Eitel, der zur Halbzeit meiner Arbeit noch als dritter Betreuer hinzukam und mich neben seinem eigentlichen Doktoranden im Projekt, Bertil Mächtle, „adoptiert“ hat und mir Rat und Tat zur Seite stand.

Dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sowie der Heidelberger Akademie der Wissenschaften danke ich für die finanzielle Förderung dieser Arbeit. Ein spezieller Dank gilt dabei Frau Wagener vom Forschungszentrum Jülich (FZJ) für die zuvorkommende Kooperation bei meinen Anfragen.

Dem International Postgraduate Programme (IPP) "Geofluids, Gases and Aerosols in System Earth" an der Fakultät für Chemie und Geowissenschaften der Universität Heidelberg, vertreten durch Dr. Roswitha Marioth, danke ich für die zusätzliche Förderung meiner Arbeit in materieller und ideeller Hinsicht.

Dank gilt ferner dem HOLIVAR-Programm (Holocene Climate Variability) der European Science Foundation (ESF). Durch die Teilnahme am durch die ESF umfassend finanziell geförderten Workshop 2004 in Gent (Belgien) wurde mein Wissen auf dem Gebiet der Paläoklimaforschung entscheidend vorangebracht.

Ganz besonders danken möchte ich dem Team der Werkstatt des Instituts für Umweltphysik (IUP) der Universität Heidelberg, Rainer Fletterer, Ralf Pfeifer, Heribert Sommer, Heinz Zeller und Stefan Mantsch, ohne die meine Target-Anlage und das viele „Drumherum“ noch heute nicht existieren würde. Ich danke auch für die vielen kleinen und großen technischen Beratungen, mochten die Fragen auch noch so grundlegend sein.

Danken möchte ich auch dem Team am Beschleuniger des Paul-Scherrer-Instituts (PSI) an der ETH Zürich für die Kooperation bei der Messung meiner Proben, allen voran Dr. Lukas Wacker und Dr. Irka Hajdas.

Irka vom PSI möchte ich außerdem danken für die Unterstützung und Beratung hinsichtlich der Probenaufbereitung. Der gleiche Dank gilt auch Dr. Tomasz Goslar vom Poznan Radiocarbon Laboratory.

Bei meinem Dank an das Archäologenteam der KAVA (KAAK) in Bonn für die gute Zusammenarbeit möchte ich ganz besonders Angelika Wetter hervorheben, die mich neben ihrer Magisterarbeit noch mit umfangreichem Material zum Kontext der datierten Proben versorgte, dafür scannte, Grabungsberichte wälzte und mir dazu noch oft die Übersetzung aus dem Spanischen abnahm.

Allen Mitbewohnern im „Lachzimmer“ 420 am Insitut für Umweltphysik, die mich besonders beim Zusammenschreiben moralisch und mit Kuchenstücken unterstützt haben.

Meiner Mutter danke ich ganz besonders für die Liebe und die Gelassenheit, die man lernen muss, wenn man einen Geologen als Sohn hat.

Und ebenso besonders danke meiner lieben Christine, die gerade erst lernt, was es heißt, einen Geologen an der Seite ertragen zu müssen, dafür, dass sie immer für mich da ist.

GOTT dem Herrn danke ich für die gesegnete Zeit dieser Arbeit.



# Anhang



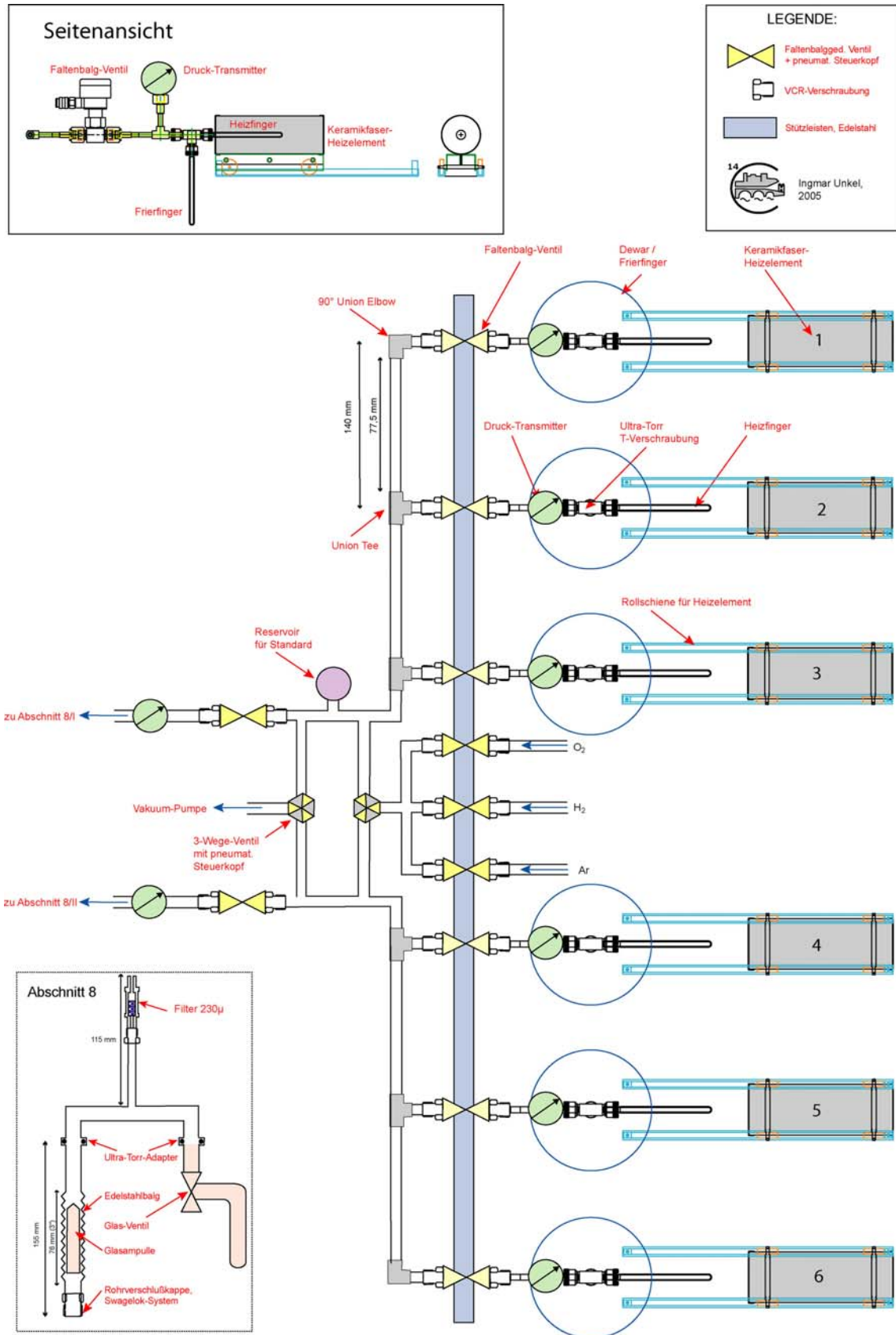
## Inhalt des Anhangs:

Ergänzende Abbildungen .....	2
zu A - 2.1.1 - Herstellungsprozess des Substandards 1/3 Wilhelm.....	11
zu B – Zusatzinformation - Keramikchronologie der Nasca-Zeit.....	12
zu B - 1.2 – Problematische <sup>14</sup> C-Proben Jauranga .....	15
zu B - 3. – Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit.....	16
zu B - 3. u. C - 3 – Tabelle der <sup>14</sup> C-Proben für Archäologie u. Paläoklima.....	36
zu C – Zusatzinformation - geologische Stratigraphie der Region Palpa .....	40
zu C - 2.4 – Geochemie der Sedimentproben zu Pe-306 .....	46
zu C - 2.4 – Kornverteilung der Sedimentproben zu Pe-306 .....	47
zu C - 3 – Modellierung der „Kleine-Eiszeit“-Phase .....	48

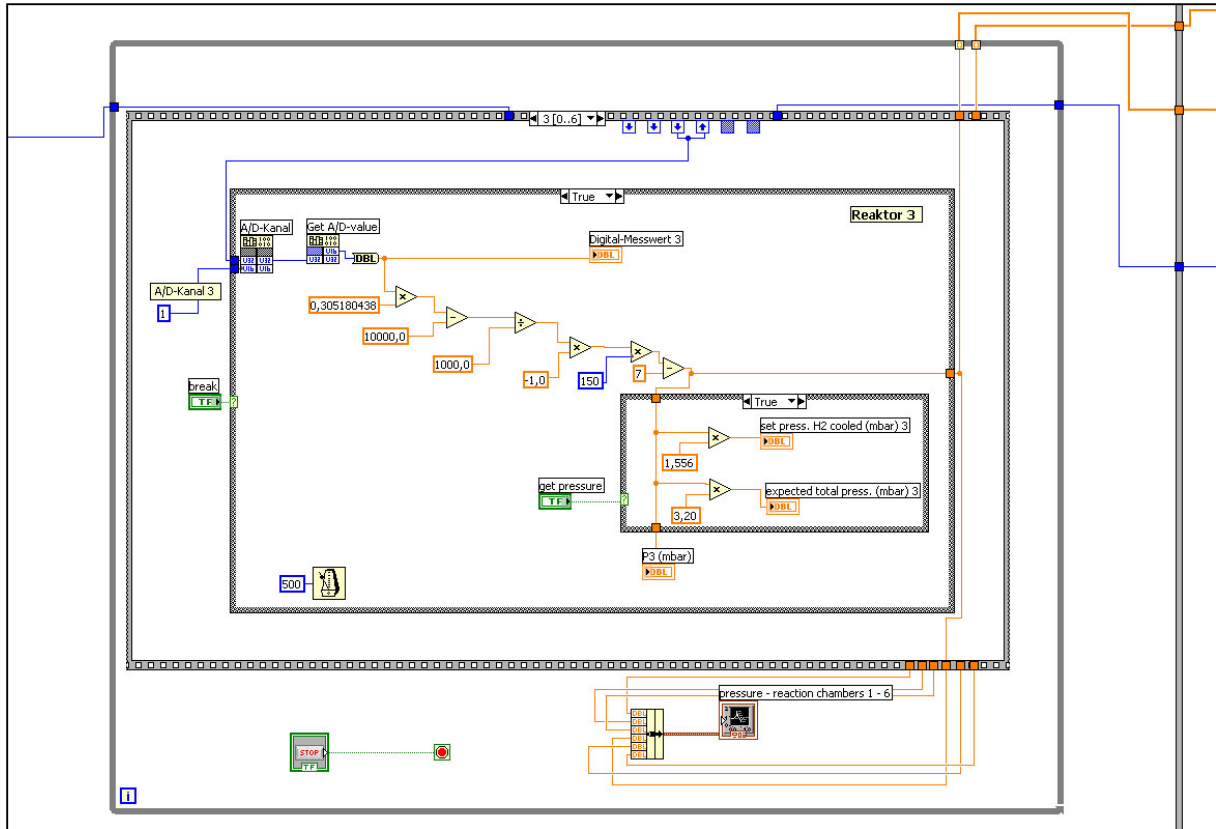
## Abbildungsverzeichnis des Anhangs:

Fig. 1: modifizierte Target-Aufbereitungsanlage mit 2 Probeneingängen.....	2
Fig. 2: grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Druckanzeige/-berechnung.....	3
Fig. 3: grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Ventilsteuerung .....	3
Fig. 4: grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Temperaturanzeige .....	4
Fig. 5: Konstruktionszeichnung der Heidelberger Targetpresse .....	5
Fig. 6: Pernil Alto Phase 1 .....	6
Fig. 7: Pernil Alto Phase 2 .....	6
Fig. 8: Pernil Alto Phase 3 .....	7
Fig. 9: Archäologische Profilskizze der Grabung in Einheit 1, Sektor E, Chillo.....	8
Fig. 10: Grabungskontext der Proben 109,112,116 an einem Gebäuderest am Südende des Trapezes 52 der Geoglyphe PAP-64A / PV67A-15.....	9
Fig. 11: Geologischer Schnitt A-A' durch das Arbeitsgebiet .....	9
Fig. 12: Die San Juan Formation im Mündungsbereich des Rio Grande. Die Hügel im Hintergrund werden von der Guaneros Formation gebildet.....	40
Fig. 13: Auf den Quarziten der Yura Gruppe (Labra Formation) im Rio Palpa Tal schufen die vorspanischen Kulturen der Region Petroglyphen (Felszeichnungen). .....	42
Fig. 14: Die Paracas Formation an einer Steilstufe nahe der Hacienda Monte Grande. Markant sind die Bänder aus ockerfarbenem bis gelbem Sandstein zu sehen.....	43
Fig. 15: Fossile Skelettreste von Walartigen ( <i>Cetaceae</i> ) aus der Pisco Formation östlich des unteren Rio Grande. Neben dem Hammer sind einige Wirbelstücke zu erkennen.....	44

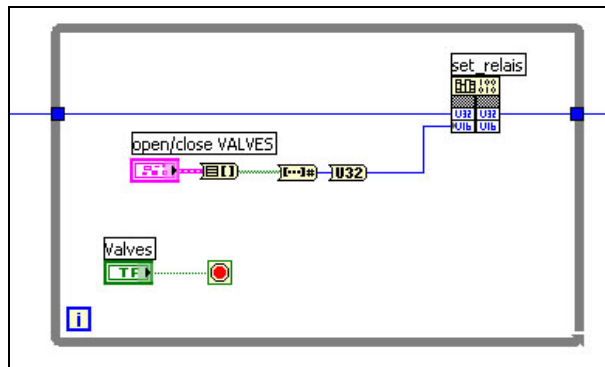
## Ergänzende Abbildungen



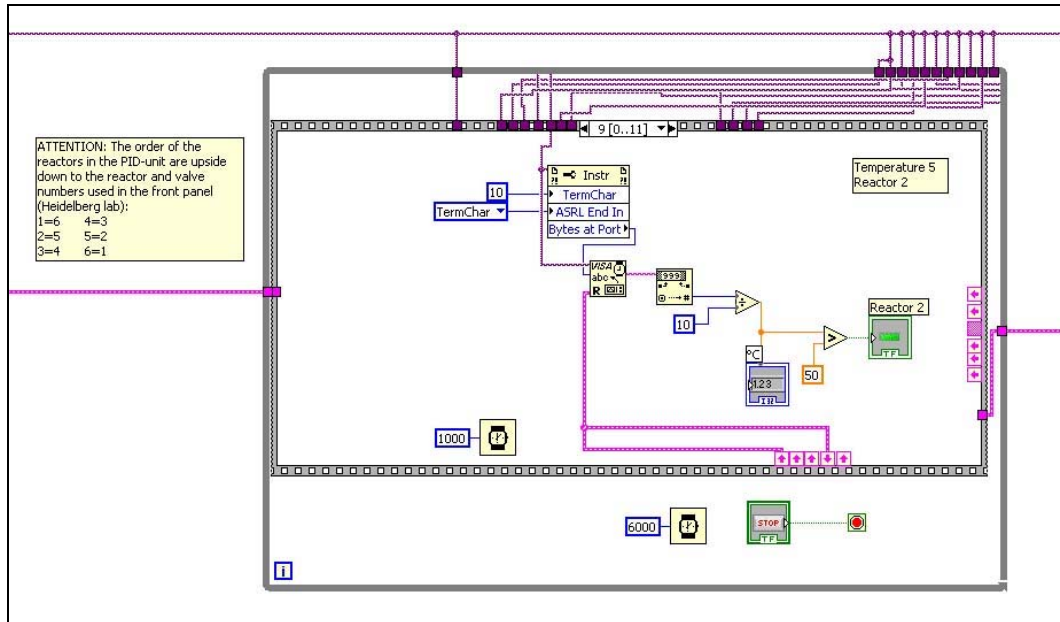
**Fig. 1:** modifizierte Target-Aufbereitungsanlage mit 2 Probeneingängen (Abschnitte 8) und 2 3-Wege-Ventilen zur Vakuum-Pumpe und den Reaktionsgasen.



**Fig. 2:** grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Druckanzeige/-berechnung. Außerhalb der *while*-Schleife gehen die Verbindungen (*blau*) ab zum Öffnen (nach links) bzw. zum Schließen (nach rechts) des Com-Ports. Die *orange* Verbindungen nach rechts oben führen zur Speicherung in einer *.txt*-Datei (*write-to-spreadsheet*)

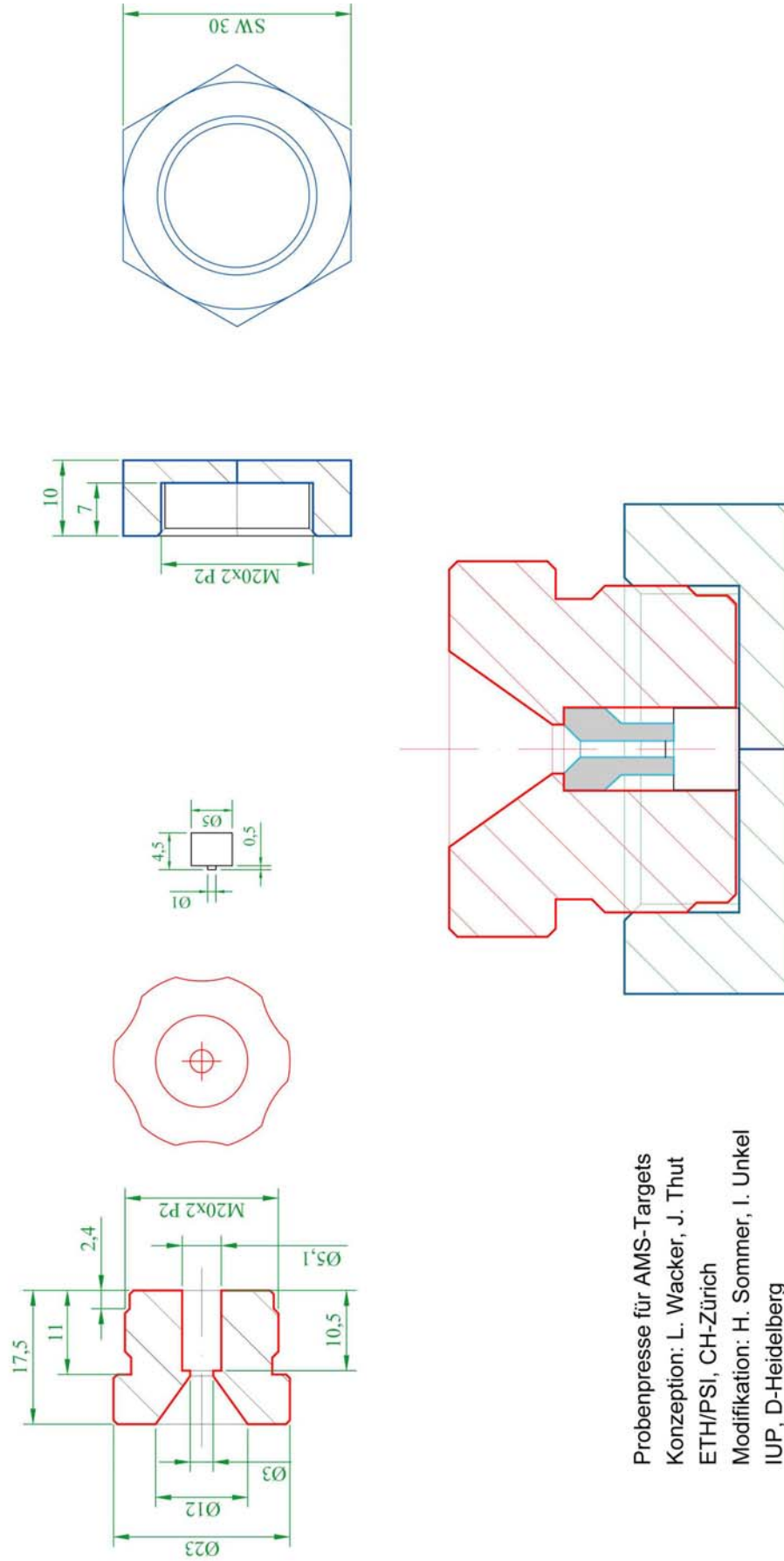


**Fig. 3:** grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Ventilsteuerung. Der größte Teil der Steuerung ist in den bei dem I/O-Modul mitgelieferten Treiber „set\_relais.dll“ mit integriert. Außerhalb der *while*-Schleife gehen die Verbindungen ab zum Öffnen (nach links) bzw. zum Schließen (nach rechts) des Com-Ports.



**Fig. 4:** grafischer Quellcode für HAMSTER 1, Abschnitt: Temperaturanzeige. Außerhalb der *while*-Schleife gehen die Verbindungen (*violett*) ab zum Öffnen (nach links) bzw. zum Schließen (nach rechts) des Com-Ports. Über die *magenta* Verbindungen wird ein *error*-Wert übergeben.

**Deckel** Werkstoff: X15CrNiSi 2520  
**Zapfen** Werkstoff: X15CrNiSi 2520  
**Boden** Werkstoff: CuZn 39 Pb 3



Probenpresse für AMS-Targets  
 Konzeption: L. Wacker, J. Thut  
 ETH/PSI, CH-Zürich  
 Modifikation: H. Sommer, I. Unkel  
 IUP, D-Heidelberg

Fig. 5: Konstruktionszeichnung der Heidelberger Targetpresse



Fig. 6: Pernil Alto Phase 1

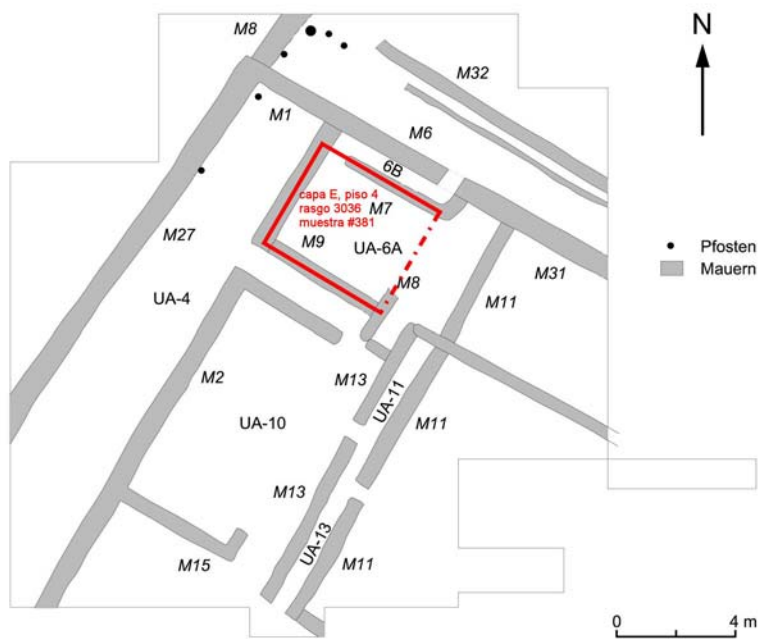


Fig. 7: Pernil Alto Phase 2

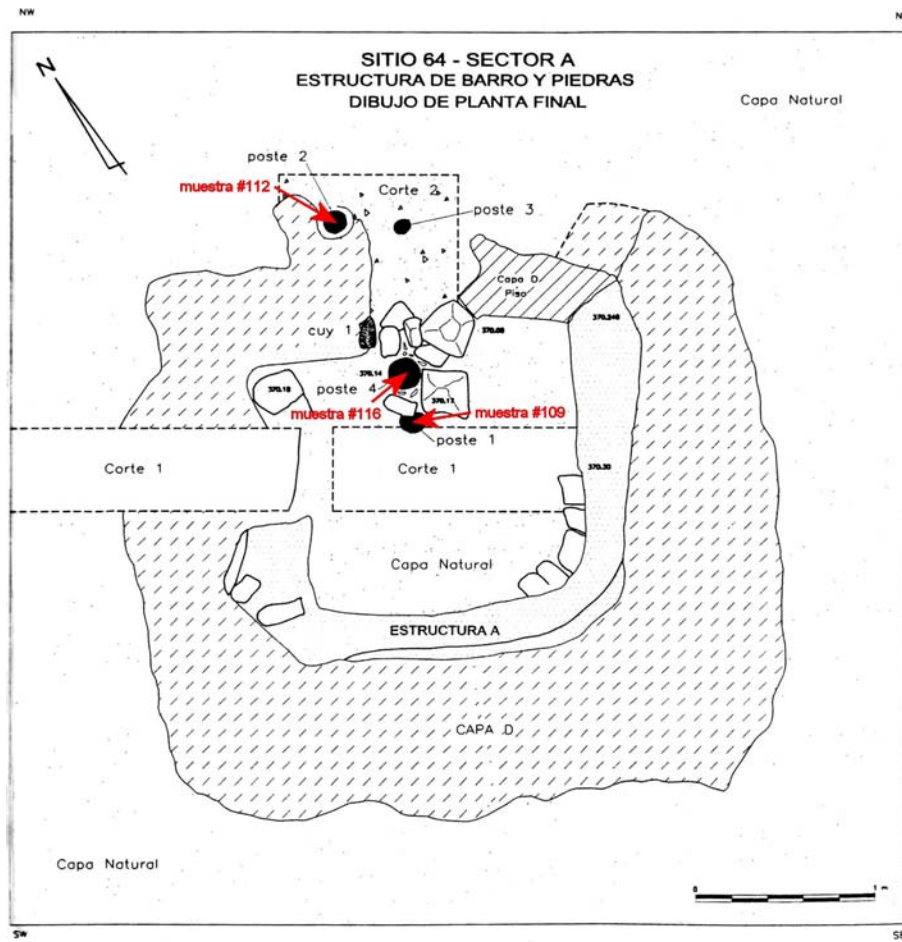


**Fig. 8:** Pernil Alto Phase 3





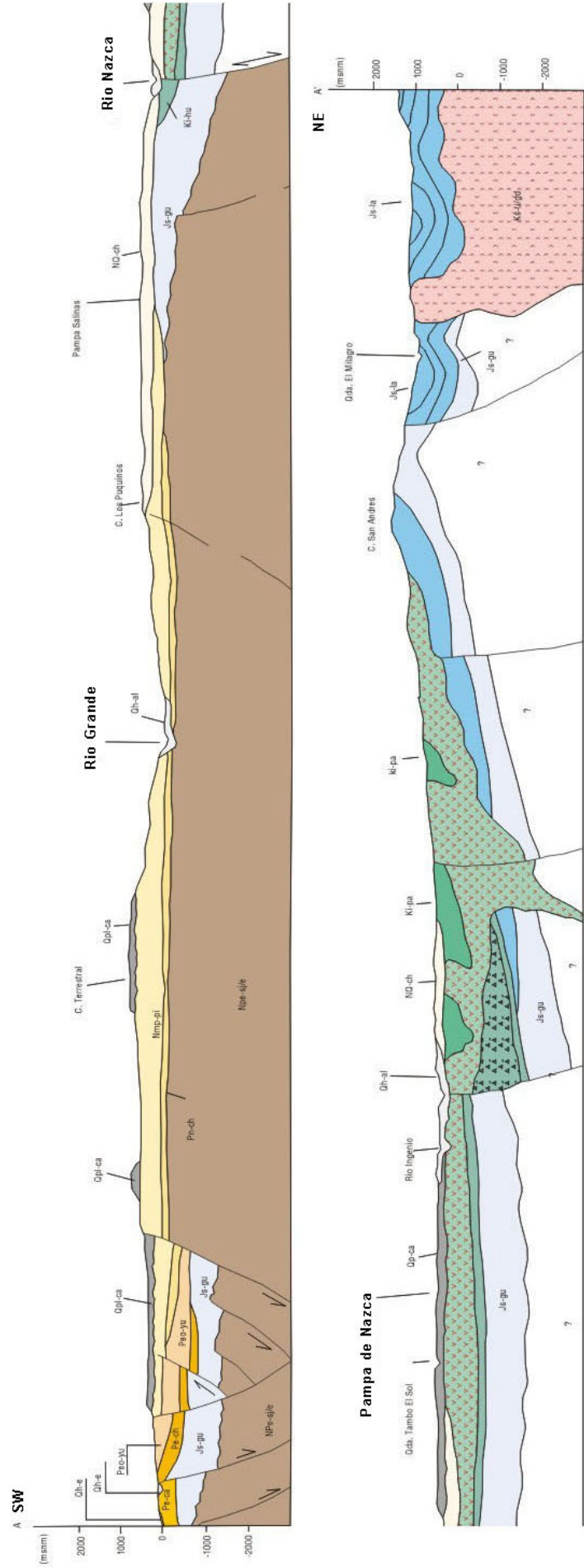
**Fig. 9:** Archäologische Profilskizze der Grabung in Einheit 1, Sektor E, Chillo. Die Entnahmestellen der <sup>14</sup>C-Proben und zugehörige Inventarnummern sind rot eingezeichnet (Zeichnung: Otten 2005).



**Fig. 10:** Grabungskontext der Proben 109,112,116 an einem Gebäuderest am Süden des Trapezes 52 der Geoglyphe PAP-64A / PV67A-15; Draufsicht (Grafik aus Reindel, 2002; modifiziert von A. Wetter, 2005).

**Fig. 11:** (nächste Seite) Geologischer Schnitt A-A' durch das Arbeitsgebiet (Quelle: INGEMMET, online; modifiziert)

(next page) Geological cross-section A-A' through the research area (source: INGEMMET, online; modified).



### zu A - 2.1.1 - Herstellungsprozess des Substandards 1/3 Wilhelm

Substandard Wilhelm HD-22969 wird in beide Rohrvolumen des zuvor evakuierten „Abmessstands“ (=Apparatur des konventionellen Heidelberger Labors mit definierten Volumina und Druckmessdosen) expandiert, danach das große Rohrvolumen durch ein Ventil abgetrennt. Das so verkleinerte Rohrsystem enthält eine Menge des Substandards Wilhelm äquivalent einem Druck  $p_w$  von 731,7 mbar bei 22,5°C.

Das CO<sub>2</sub> wird mit flüssigem Stickstoff in einem Frierfinger eingefroren, das bisherige Aufbewahrungsröhr von HD-22969 abgekoppelt und dafür die AMS-Pipette (siehe unten) angeschlossen. Das ganze System wird über dem eingefrorenen CO<sub>2</sub> abgepumpt. Frierfinger und AMS-Pipette werden mit Ventilen verschlossen, das restliche System sowie die Zuleitung mit inertem CO<sub>2</sub> („Nullgas“) kurz gespült und anschließend erneut abgepumpt. Das Standard-CO<sub>2</sub> wird sodann aufgetaut und expandiert. Durch Volumenteilung und sukzessives partielles Abpumpen wird im Rohrsystem inkl. AMS-Pipette ohne großes Rohrvolumen der Standard-CO<sub>2</sub>-Druck  $p_{w, \text{ist}}$  auf 453,4 mbar bei 22,5°C reduziert. Anschließend wird das System mit Nullgas auf  $p_{\text{ges}} = 1359,0$  mbar bei gleichbleibender Temperatur aufgefüllt.

Der Substandard „1/3-Wilhelm“ wird in einer eigens dafür hergestellten Pipette („AMS-Bombe“) aufbewahrt. Diese besteht aus einem definierten Pipetier-Volumen, das etwa 1/12 mmol CO<sub>2</sub> (1,87 ml bei Normaldruck) aufnehmen kann, und einem Vorrats-Volumen von etwa 200 ml. Das Pipetier-Volumen wird von zwei Handventilen begrenzt.

Die Pipette verfügt über einen geeigneten Schraubanschluss sowohl für die Verbindung zur Target-Aufbereitungsanlage verbunden als auch zum sogenannten „Abmessstand“ des konventionellen Heidelberger <sup>14</sup>C-Labors, um dort aufgefüllt werden zu können.

#### Protokolldaten der Standard-Herstellung:

Solldruck gesamt $p_{\text{soll}}$ :	1320 mbar	(bedingt durch Anlagenparameter)
Solldruck Wilhelm $p_{w, \text{soll}}$ :	440 mbar	(=1320/3)
Istdruck Wilhelm $p_{w, \text{ist}}$ :	453,4 mbar	
Istdruck gesamt $p_{\text{ges}}$ :	1359,0 mbar	(→ 453,4*3=1360,2)
Leergewicht (Pipette, evakuiert):	634,118 g	(Wägung am 20.10.2004)
Gewicht Pipette+Wilhelm:	634,286 g	→ Wilhelm: 0,168 g
Gewicht Pipette+Wilhelm+Nullgas:	634,624 g	→ 1/3-Wilhelm: 0,506 g

## **zu B – Zusatzinformation - Keramikchronologie der Nasca-Zeit**

für interessierte Leser findet sich nachfolgend eine Kurzbeschreibung der Nasca-Stilphasen nach Rowe (1960). Diese entspricht im Wesentlichen einer deutschen Zusammenfassung der Beschreibungen in Silverman & Proulx (2002)

### **Nasca 1**

Die Phase wurde intensiv von Strong (1957) ausgearbeitet. Die für Nasca typische Überzugsbemalung ist in dieser Phase, ebenso wie noch häufig in Nasca 2, dick und ungleichmäßig aufgetragen. Dies führt oft zu Rissen in der Farbe während des Brennens. In Nasca 1 werden nur zwei bis drei Farbtöne verwendet, rot und weiß, die bereits in der vorangehenden Ocucaje 10 Phase (Paracas-Zeit) verwendet wurden. Es finden sich häufig Spuren von unregelmäßigen, abweichenden Farben und von ungleichmäßigen Brennprozessen. Zur Abgrenzung der Farbfelder bei der Bemalung dienen teilweise noch Ritzlinien, wie in den vorangegangenen Paracas-Phasen üblich.

Als Gefäßtypen dominieren anthropomorphe Figuralgefäße und Doppelausgusskannen mit Steg.

### **Nasca 2**

Die Ausarbeitung dieser Phase wurde ebenfalls von Strong (1957) durchgeführt, Silverman (1977) überarbeitete später Strongs Material und verfeinerte die Gliederung. Die Qualität der Herstellungstechnik ändert sich gegenüber Nasca 1 noch nicht viel. Neu ist die Umrandung der Farbfelder mit schwarzen Linien, die die Ritzungen ersetzen. Die Anzahl der Darstellungen von natürlichen und übernatürlichen/mythischen Motiven nimmt gegenüber Nasca 1 stark zu. Die Ikonographie umfasst Pflanzen, Tiere und Krieger. Mehr und mehr an Bedeutung gewinnt das anthropomorphe mythische Wesen, dessen Variation über die Zeit eine wichtige Position in der keramikbasierten Nasca-Chronologie einnimmt.

Doppelausgusskannen mit Steg und Figuralankannen sind weiterhin die vorherrschenden Gefäßtypen.

### **Nasca 3**

Proulx (1968), ein Student von Rowe, unternahm die Ausarbeitung der Nasca 3 Phase. Sie ist ein Wendepunkt in der Entwicklung der Nasca-Ikonographie. Mit Erreichen dieser Phase ist die Nasca-Keramik technologisch und ästhetisch voll ausgereift. Viele neue mythische Wesen treten auf. Neben dem anthropomorphen mythischen Wesen erscheinen ein Katzendämon und ein Vogeldämon, der auch als harpyienähnlicher „schrecklicher Vogel“ bezeichnet wird. Zusätzlich finden sich eine große Anzahl Darstellungen aus dem natürlichen Umfeld der Nasca-Kultur. Die Verwendung von geometrischen Elementen wie Spiralen, Dreiecken oder

Rechtecken nimmt stark zu. Für die Bemalung wird eine Vielzahl von Farben, zumeist eine Auswahl auf Oxiden basierender Braun-, Rot- und Orangetöne, verwendet.

Das weitaus häufigste Gefäß während Nasca 3 ist weiterhin die Doppelausgusskanne. Kugelschalen nehmen an Bedeutung zu.

#### **Nasca 4**

Die ebenfalls von Proulx (1968) ausgearbeitete Phase zeichnet sich nicht durch besondere Innovationen gegenüber Nasca 3 aus. Es gibt eine Zunahme von Gefäßen mit geometrischem Dekor auf schwarzem oder dunkelrotem Grund, was eine Veränderung gegenüber dem in Nasca 3 vorherrschenden weißen Untergrund darstellt. Als neues Motiv tritt der anthropomorphe Affe auf. Die Kugelschalen sind die dominierenden Gefäße während Nasca 4 und drängen die Doppelausgusskannen in den Hintergrund.

Der von Rowe (1960) beschriebene „monumental“-Stil bzw. Uhles (1914) „abbildender, realistischer“ Stil findet sich in den Phasen Nasca 3 und 4 wieder. In etwa entsprechen diese Phasen der von Gayton und Kroeber (1927) definierten Phase A.

#### **Nasca 5**

Blagg (1975) stellte in ihrer Magisterarbeit über diese Phase eine starke ikonographische Innovation fest. Während die Herstellung und Bemalungstechnik der Keramik gleich blieb, änderten sich Darstellungen dramatisch. Die Anzahl der abgebildeten menschlichen Figuren nahm stark zu. Allen voran der „Ernteeinbringer“, der nahezu exklusiv auf Nasca 5 beschränkt ist. Der anthropomorphe Affe nimmt weiter eine wichtige Stellung ein neben dem leicht variierten anthropomorphen mythischen Wesen.

Die Art der Gefäße wurde ebenfalls deutlich verändert. Erstmals treten Kelche, Krüge und weibliche Figürchen auf und Vasen bilden die häufigste Gefäßgruppe.

#### **Nasca 6**

Die Phase wurde von Rowe (1960) und seinem Studenten Wegner (1976) ausgearbeitet, der Nasca 6 nochmals in drei Subphasen untergliederte. Wie Nasca 3 der Höhepunkt des monumentalen Stils war, so gelangte der üppige Stil in Nasca 6 zu seiner größten Entfaltung. Die Nasca-Keramik dieser Phase hat nur wenige gleichwertige Ebenbilder, was die stilistische Komplexität und die technische Finesse betrifft.

Typisch für die Phase ist die Darstellung des Zackenstabwesens, das nur in dieser Zeit vorkommt. Die Zahl der natürlichen Motive geht stark zurück und abstraktere Themen mit oft militärischer Symbolik nehmen stark zu.

Die Vielfalt der Gefäße erreicht ebenfalls einen Höhepunkt, an deren Spitze die Vasen stehen.

#### **Nasca 7**

Über diese Phase ist bisher sehr wenig publiziert worden und vieles liegt daher noch im Dunklen über diese äußerst wichtige Phase kurz vor dem Übergang zum Mittleren Horizont.

Wesentliche Beiträge zur Gliederung und Beschreibung von Nasca 7 haben Menzel (1977) und Proulx (1994) geleistet. Viele traditionelle Formen enden relativ abrupt zu Beginn der Phase (Nasca 7A). Dies ist offenbar auf äußere Einflüsse zurückzuführen, insbesondere durch die Moche, wie aus der Änderung der Ikonographie deutlich wird. So ist beispielsweise der rennende Krieger ein Motiv, das typisch für die Moche ist und zuvor bei den Nasca fremd war. Nahezu ausschließlich in dieser Phase treten Darstellungen des Affendämons auf, der sich von dem anthropomorphen Affen früherer Phasen unterscheidet.

Der mit Nasca 5 aufblühende üppige Stil reicht bis in die Phase Nasca 7 hinein und entspricht in Grundzügen der von Gayton und Kroeber (1927) beschriebenen Phase Nasca B.

### **Nasca 8 / Loro**

Die Phase wurde von Strong (1957) definiert und von Menzel (1977) überarbeitet. Strong benannte die Phase nach der Typlokalität Huacas del Loro in Las Trancas. Die Keramik dieser Phase unterscheidet sich radikal von den vorherigen Nasca-Phasen, weshalb nachfolgend nur der Begriff Loro verwendet wird. Dennoch gibt es einen erkennbaren Einfluss und eine gewisse Kontinuität des Nasca-Stils.

Grundsätzlich fehlt der Loro-Keramik eine polierte Oberfläche, sie ist dicker und schwerer und besitzt nur eine reduzierte Anzahl an Dekorfarben. Geometrische Designelemente herrschen vor, während die mystische, übernatürliche Ikonographie nahezu ganz verschwindet oder stark abstrahiert wird. Dawson nannte diesen Stil „disjunktiv“ (Proulx, 1968).

Loro entspricht mehr oder weniger der von Gayton und Kroeber (1927) definierten Phase Nasca Y.

## zu B - 1.2 – Problematische <sup>14</sup>C-Proben Jauranga

Kommentare von Markus Reindel (pers. Mitt.)

### **Probe 323 (Feuerstelle, Unidad 2):**

Probe 323 stammt aus einer Feuerstelle, die aufgrund der vergesellschafteten Keramik in die Phase Ocucaje 7/8 datiert wurde und die stratigraphisch jünger ist als die Feuerstelle, aus der Probe 326 (Ocucaje 6/7) entnommen wurde. Beide Kontexte gehören jedoch der gleichen Bauphase an und sind daher zeitlich wahrscheinlich kurz aufeinanderfolgend (s. Stratigraphieschema). Die Probe ist daher trotz der zu alt erscheinenden Datierung stratigraphisch der Phase 7/8 zuzuordnen. Allerdings ist es wiederum möglich, dass älteres Material (z. B. älteres Holz oder ältere Holzkohle) datiert wurde.

### **Probe 326 (Feuerstelle, Unidad 2):**

Probe 326 stammt aus einer Feuerstelle, die aufgrund der vergesellschafteten Keramik in die Phase Ocucaje 6/7 datiert wurde und die stratigraphisch älter ist als die Feuerstelle, aus der Probe 323 (Ocucaje 7/8) entnommen wurde. Da die Feuerstelle, aus der Probe 326 stammt, auch wenig Material der Phase Ocucaje 8 enthielt, ließe es sich rechtfertigen, die Probe mit in den Datierungshorizont der Phase Ocucaje 8 hineinzunehmen.

➔ Das Problem bei beiden Proben ist, dass sie aus einer Übergangsphase (Ocucaje 6-8) stammen.

### **Probe 341 (Hoyo 3, TP 5):**

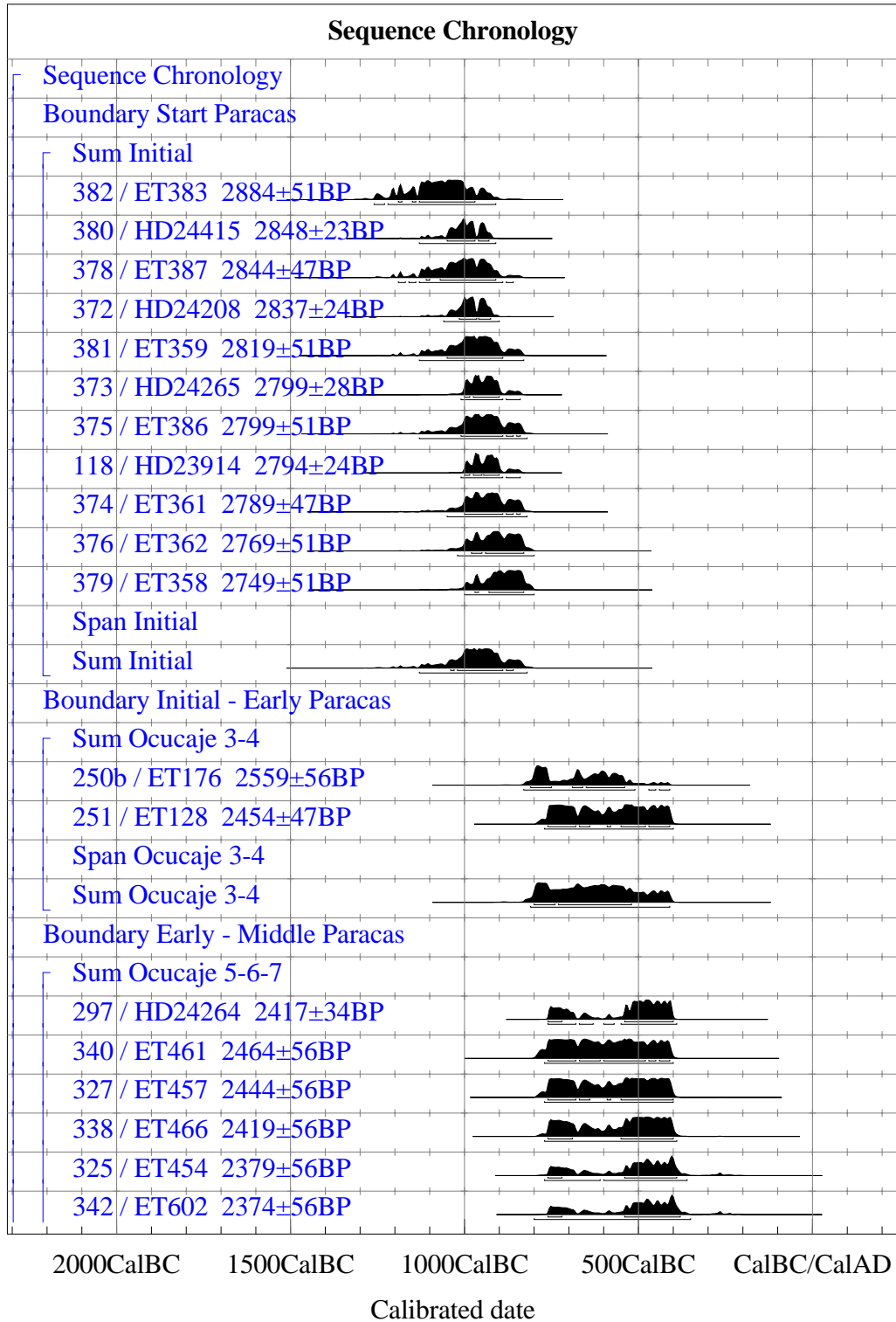
Die Probe stammt aus einer Grube der frühesten Nutzungsschicht, die im TP 5 von Jauranga belegt war. Sie gehört daher stratigraphisch gesehen sicher in die angegebene Phase Ocucaje 6/7. Die späte Datierung ist also aus dem Grabungskontext nicht erklärbar.



## zu B - 3. – Chronologie der Paracas- und Nasca-Zeit

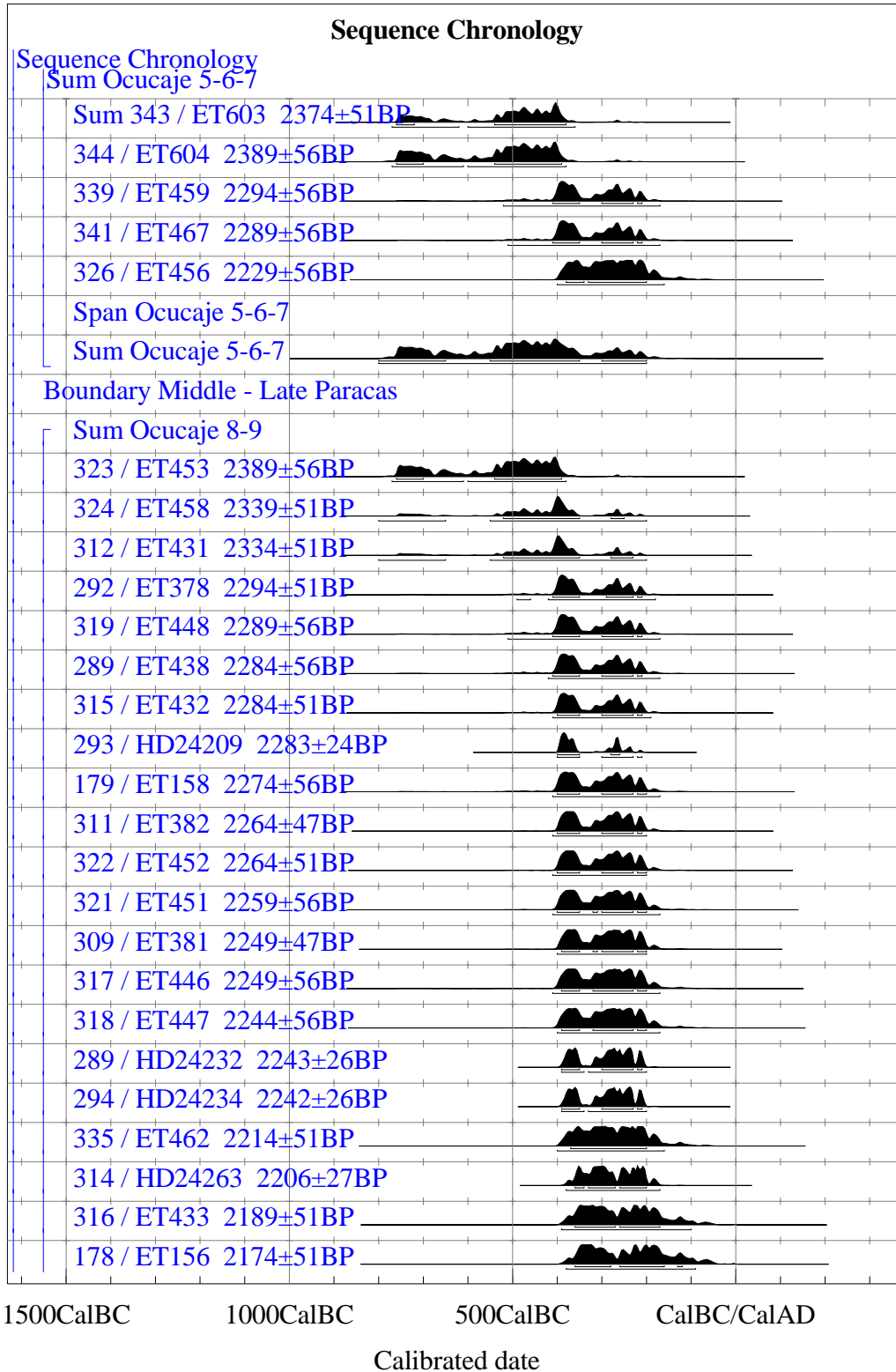
### PARACAS – TEIL 1

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



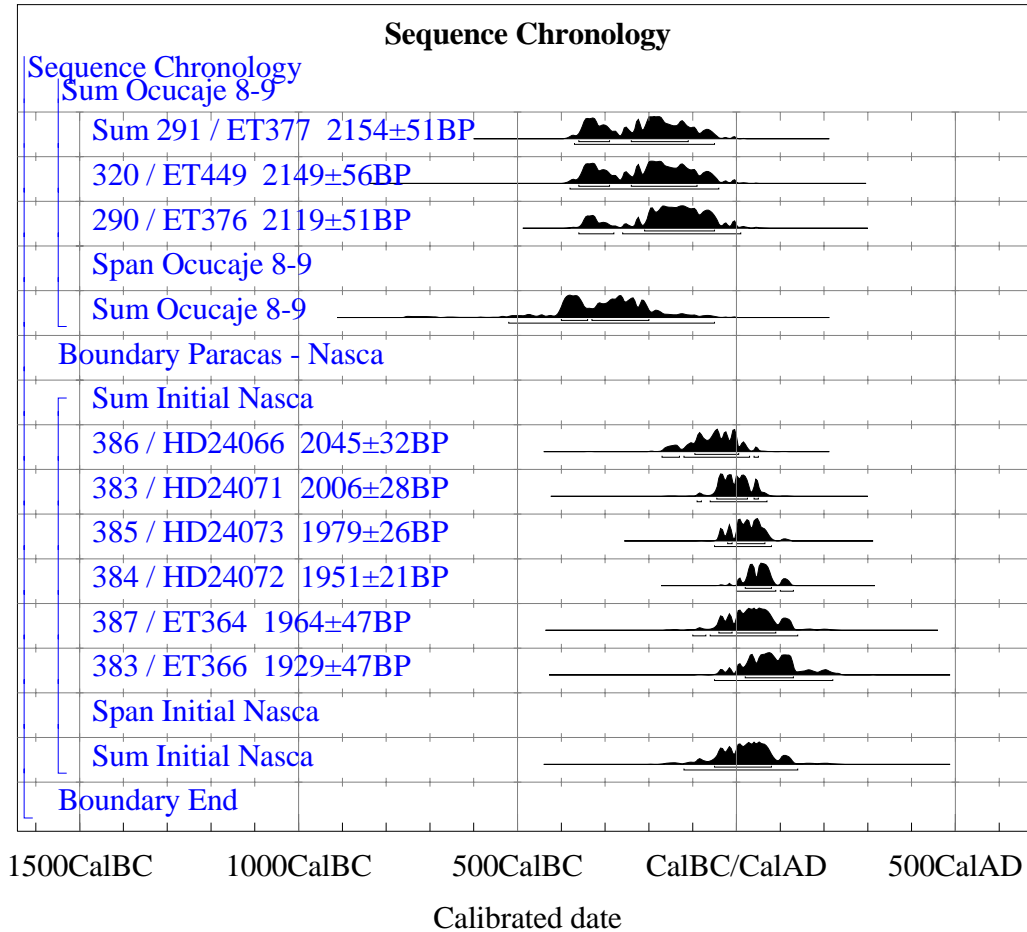
**PARACAS – TEIL 2**

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



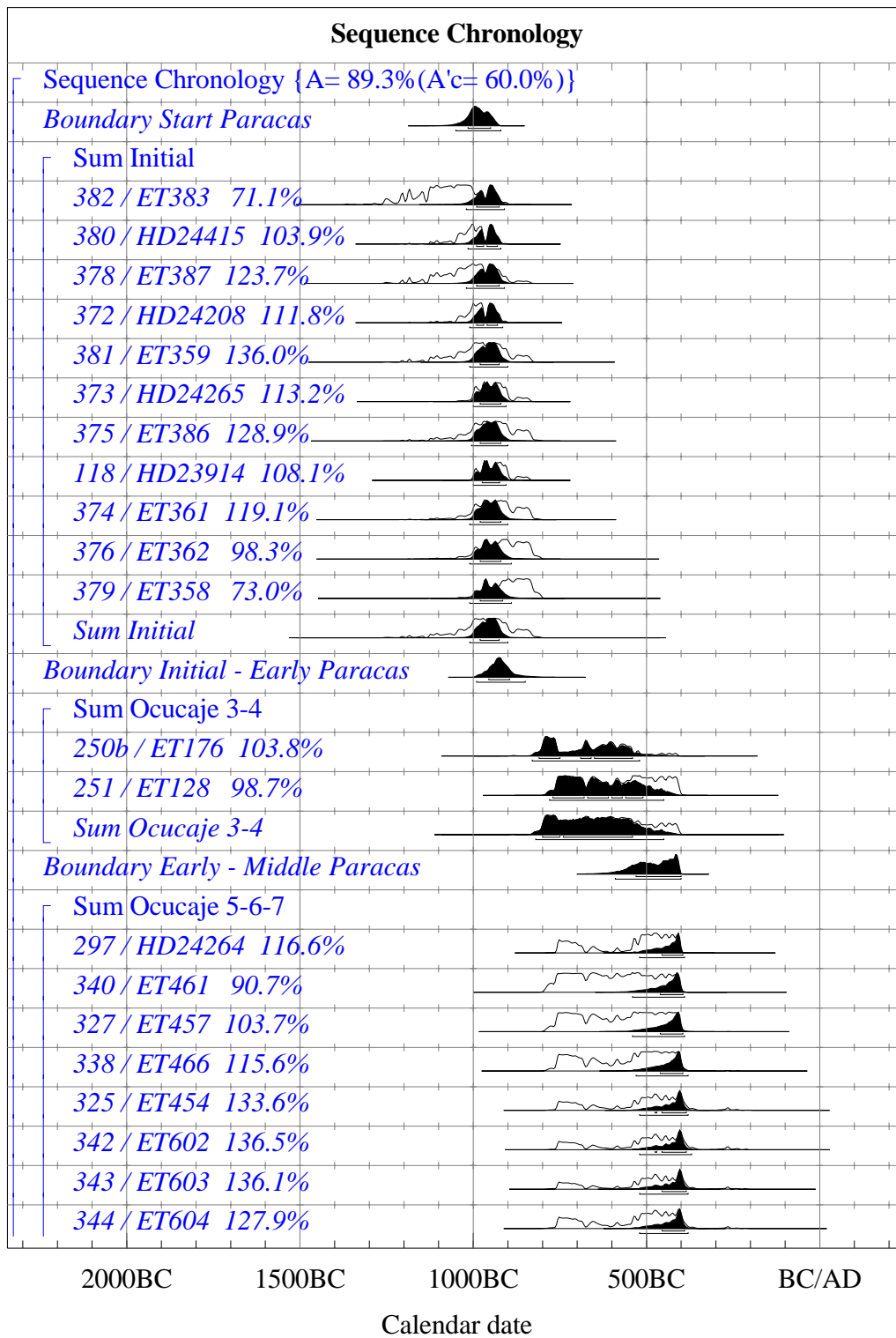
### PARACAS – TEIL 3

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



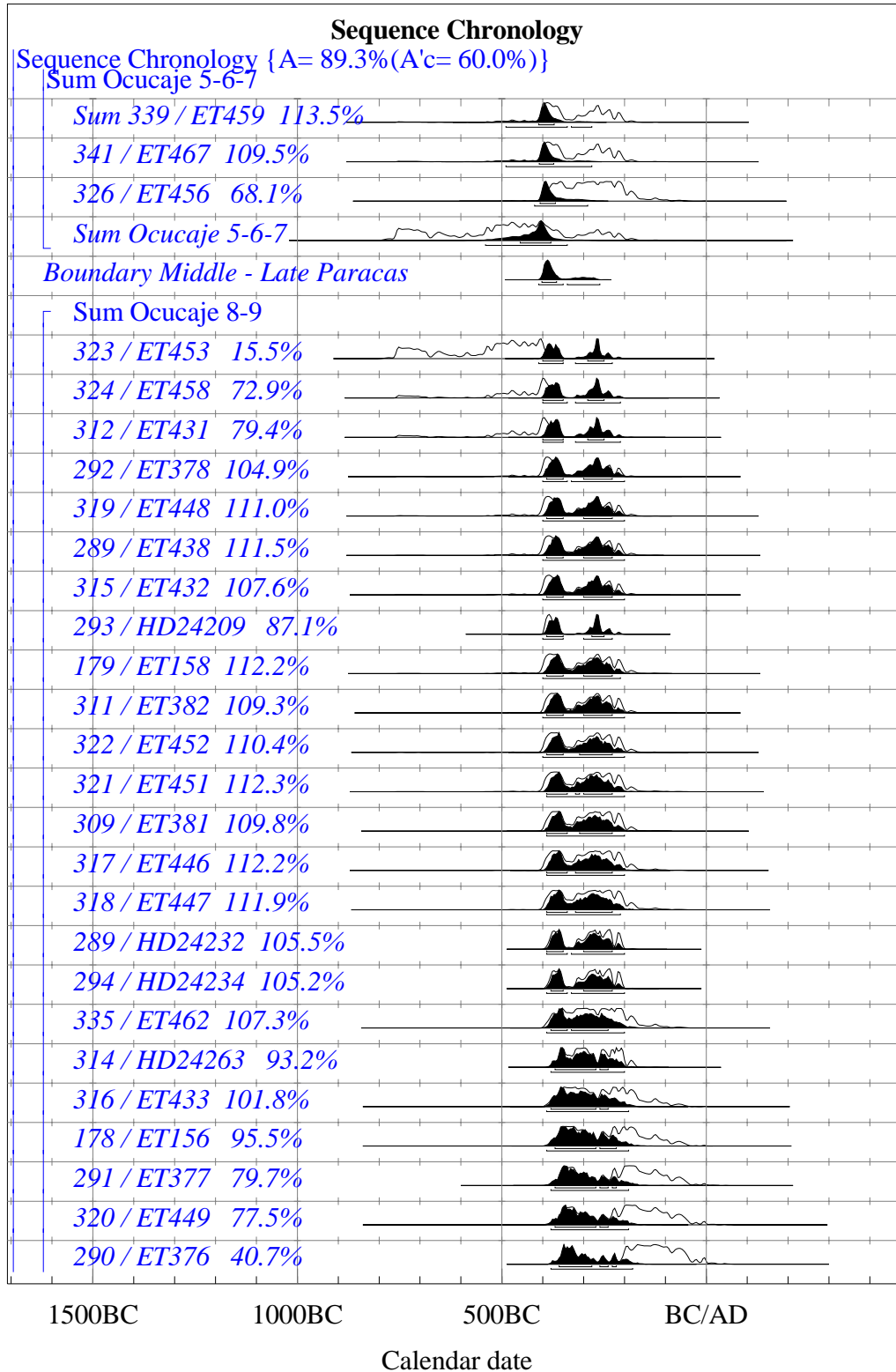
**PARACAS – TEIL 4**

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



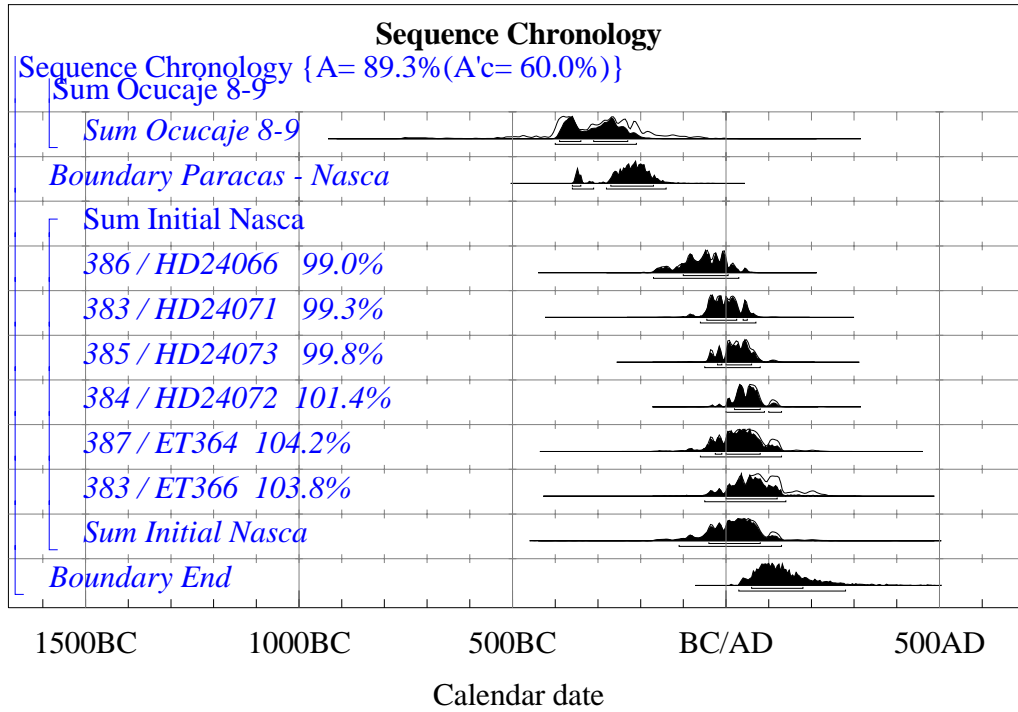
## PARACAS – TEIL 5

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



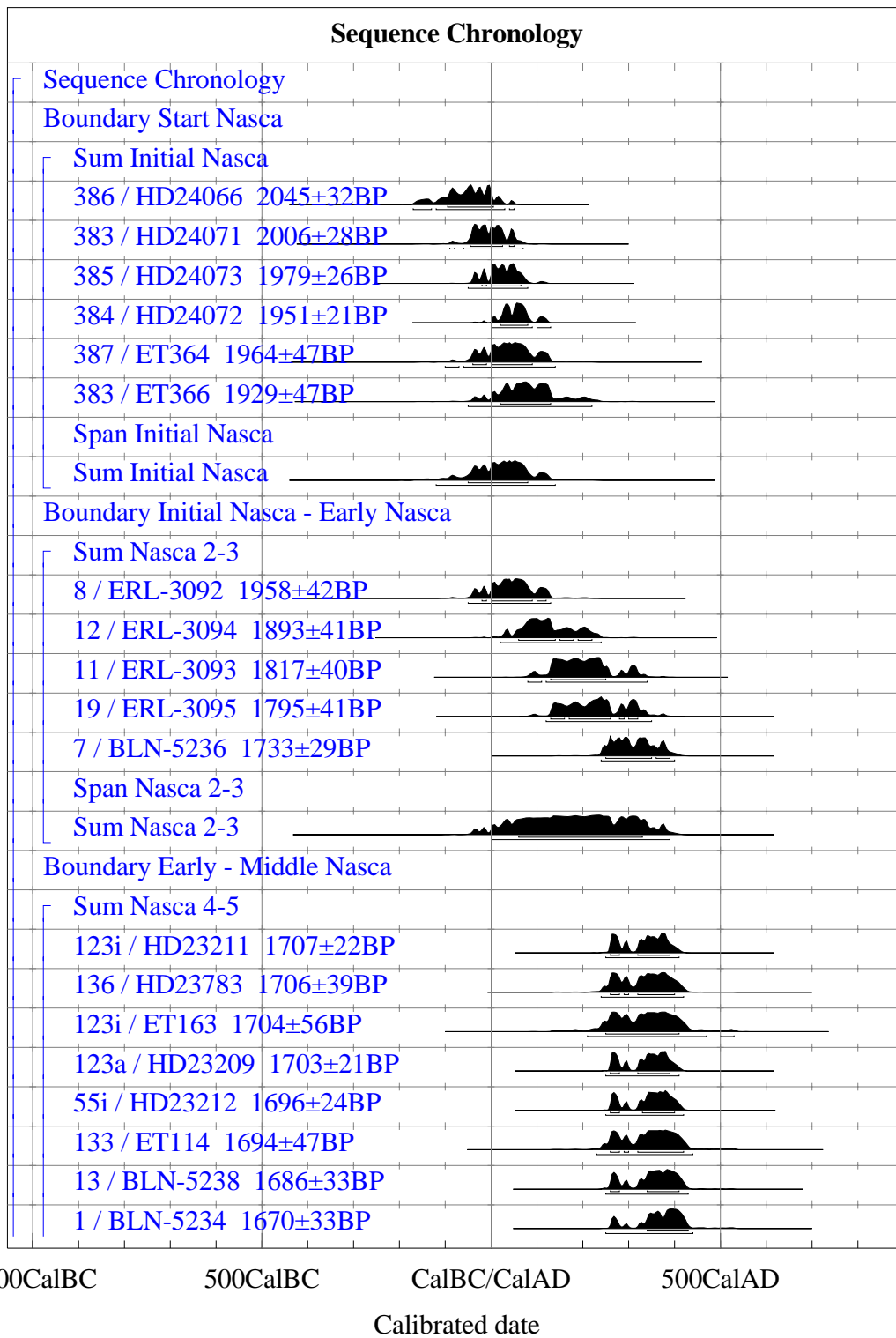
**PARACAS – TEIL 6**

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



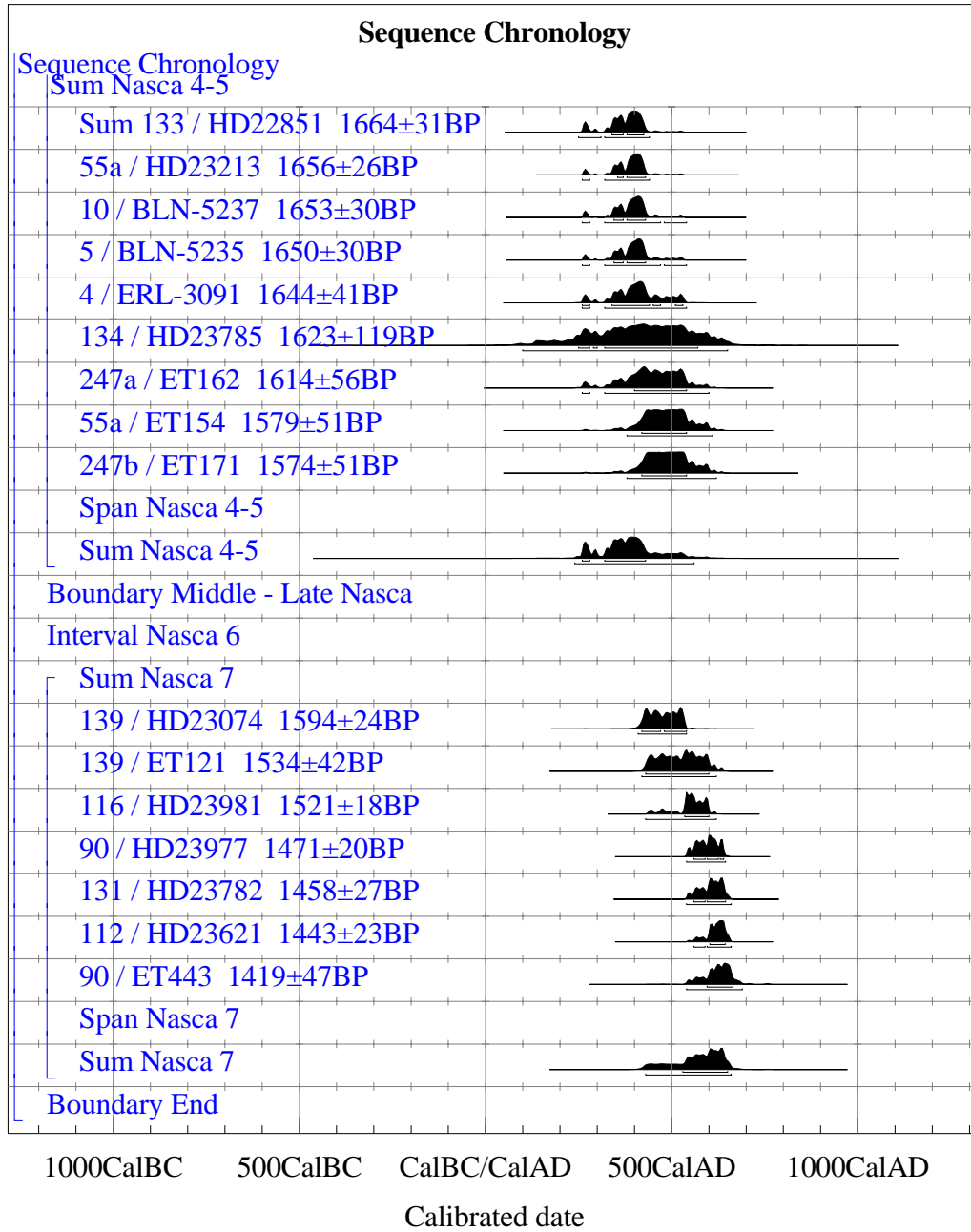
## NASCA – TEIL 1

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



NASCA – TEIL 2

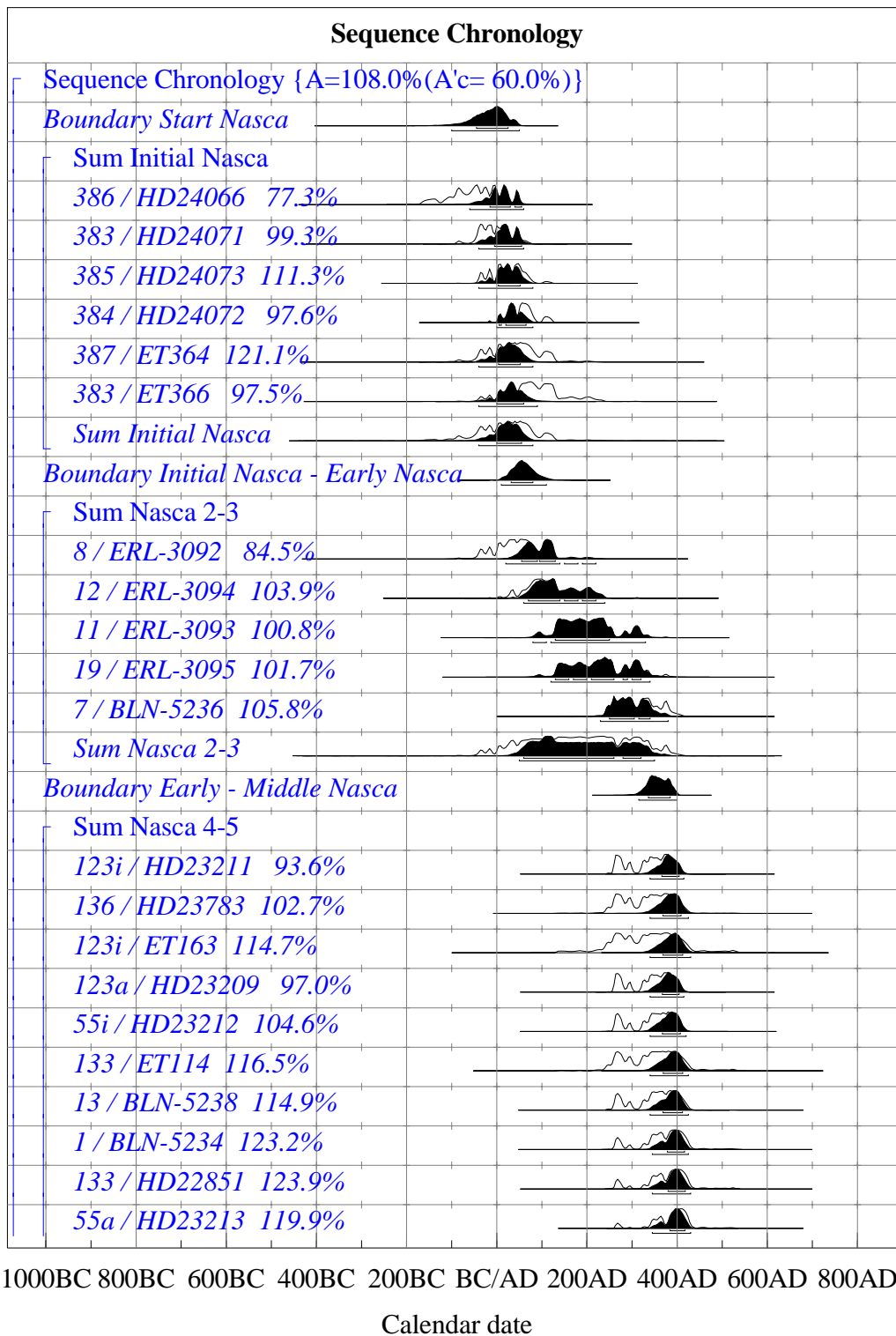
Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]





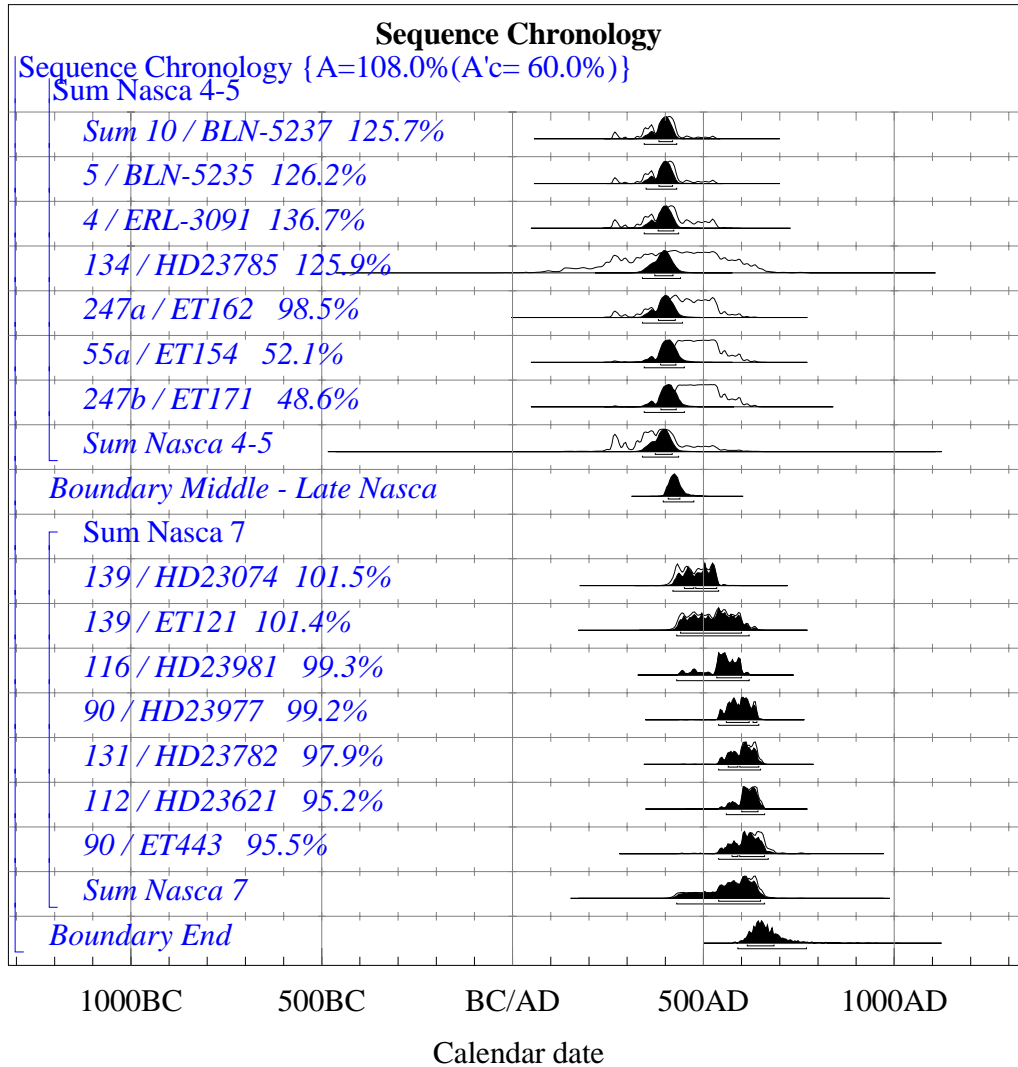
### NASCA – TEIL 3

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



NASCA – TEIL 4

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



## PARACAS – CHRONOLOGIE

( Sequence Chronology  
Boundary Start Paracas

( Sum Initial

382 / ET383 : 2884±51BP  
68.2% probability

1190BC ( 2.6%) 1180BC

1150BC ( 2.0%) 1140BC

1130BC (63.5%) 970BC

95.4% probability

1260BC ( 2.4%) 1230BC

1220BC (93.0%) 910BC

380 / HD24415 : 2848±23BP

68.2% probability

1050BC (52.8%) 970BC

960BC (15.4%) 930BC

95.4% probability

1130BC (95.4%) 910BC

378 / ET387 : 2844±47BP

68.2% probability

1110BC ( 1.9%) 1100BC

1070BC (66.3%) 910BC

95.4% probability

1190BC ( 1.5%) 1170BC

1160BC ( 1.3%) 1140BC

1130BC (91.5%) 890BC

880BC ( 1.1%) 860BC

372 / HD24208 : 2837±24BP

68.2% probability

1015BC (41.5%) 965BC

960BC (26.7%) 925BC

95.4% probability

1060BC (95.4%) 900BC

381 / ET359 : 2819±51BP

68.2% probability

1050BC (68.2%) 890BC

95.4% probability

1130BC (95.4%) 830BC

373 / HD24265 : 2799±28BP

68.2% probability

1000BC ( 7.6%) 985BC

975BC (60.6%) 900BC

95.4% probability

1010BC (88.0%) 890BC

880BC ( 7.4%) 840BC

375 / ET386 : 2799±51BP

68.2% probability

1010BC (61.4%) 890BC

880BC ( 4.9%) 860BC

850BC ( 2.0%) 840BC

95.4% probability

1130BC (95.4%) 820BC

118 / HD23914 : 2794±24BP

68.2% probability

1000BC ( 4.9%) 985BC

975BC (21.4%) 950BC

945BC (41.9%) 900BC

95.4% probability

1010BC (89.5%) 890BC

880BC ( 5.9%) 840BC

374 / ET361 : 2789±47BP

68.2% probability

1000BC (61.5%) 890BC

880BC ( 5.2%) 860BC

850BC ( 1.6%) 840BC

95.4% probability

1050BC (95.4%) 820BC

376 / ET362 : 2769±51BP

68.2% probability

980BC ( 9.2%) 950BC

940BC (59.0%) 830BC

95.4% probability

1020BC (95.4%) 800BC

379 / ET358 : 2749±51BP

68.2% probability

970BC ( 4.0%) 960BC

930BC (64.2%) 830BC

95.4% probability

1000BC (95.4%) 800BC

### Sum Initial

68.2% probability

1040BC ( 1.3%) 1030BC

1020BC (64.5%) 890BC

880BC ( 2.4%) 860BC

95.4% probability

1130BC (95.4%) 820BC

) Sum Initial

Boundary Initial - Early

Paracas

( Sum Ocucaje 3-4

250b / ET176 : 2559±56BP

68.2% probability

810BC (24.7%) 750BC

690BC ( 8.9%) 660BC

650BC (34.6%) 540BC

95.4% probability

830BC (92.8%) 510BC

470BC ( 1.1%) 450BC

440BC ( 1.5%) 410BC

251 / ET128 : 2454±47BP

68.2% probability

760BC (23.5%) 680BC

670BC ( 6.8%) 640BC

590BC ( 2.2%) 580BC

550BC (20.0%) 480BC

470BC (15.8%) 410BC

95.4% probability

770BC (95.4%) 400BC

### Sum Ocucaje 3-4

68.2% probability

800BC (14.4%) 740BC

730BC (53.8%) 520BC

95.4% probability

810BC (95.4%) 410BC

) Sum Ocucaje 3-4

Boundary Early - Middle

Paracas

( Sum Ocucaje 5-6-7

297 / HD24264 : 2417±34BP

68.2% probability

760BC ( 6.3%) 720BC

540BC (61.9%) 400BC

95.4% probability

760BC (22.5%) 680BC

670BC ( 4.1%) 630BC

600BC ( 1.5%) 570BC

550BC (67.2%) 390BC

340 / ET461 : 2464±56BP

68.2% probability

760BC (22.2%) 680BC

670BC (12.5%) 610BC

600BC (23.4%) 480BC

470BC ( 3.7%) 450BC

440BC ( 6.4%) 410BC

95.4% probability

770BC (95.4%) 400BC

327 / ET457 : 2444±56BP

68.2% probability

760BC (21.7%) 680BC

670BC ( 4.6%) 640BC

590BC ( 0.7%) 580BC

550BC (41.2%) 400BC

95.4% probability

770BC (95.4%) 400BC

338 / ET466 : 2419±56BP

68.2% probability

760BC (17.9%) 690BC

550BC (50.3%) 400BC

95.4% probability

770BC (95.4%) 390BC

325 / ET454 : 2379±56BP

68.2% probability

760BC ( 9.5%) 720BC

540BC (58.7%) 390BC

95.4% probability

770BC (25.8%) 610BC

600BC (69.6%) 360BC

342 / ET602 : 2374±56BP

68.2% probability

760BC ( 8.3%) 720BC

540BC (59.9%) 380BC

95.4% probability

800BC (95.4%) 350BC

343 / ET603 : 2374±51BP

68.2% probability

760BC ( 3.7%) 720BC

540BC (64.5%) 380BC

95.4% probability

770BC (21.8%) 620BC

600BC (73.6%) 360BC

344 / ET604 : 2389±56BP

68.2% probability

760BC (11.9%) 700BC

540BC (56.3%) 390BC

95.4% probability

770BC (28.2%) 610BC

600BC (67.2%) 380BC

339 / ET459 : 2294±56BP

68.2% probability  
 410BC (35.5%) 350BC  
 300BC (29.7%) 230BC  
 220BC ( 3.0%) 210BC  
 95.4% probability  
 520BC (95.4%) 170BC  
 341 / ET467 : 2289±56BP  
 68.2% probability  
 410BC (34.2%) 350BC  
 300BC (30.8%) 230BC  
 220BC ( 3.2%) 210BC  
 95.4% probability  
 510BC (95.4%) 170BC  
 326 / ET456 : 2229±56BP  
 68.2% probability  
 380BC (14.7%) 340BC  
 330BC (53.5%) 200BC  
 95.4% probability  
 400BC (95.4%) 160BC  
**Sum Ocucaje 5-6-7**  
 68.2% probability  
 800BC (14.1%) 650BC  
 550BC (51.2%) 350BC  
 300BC ( 2.8%) 200BC  
 95.4% probability  
 800BC (95.4%) 200BC  
 ) Sum Ocucaje 5-6-7  
 Boundary Middle - Late  
 Paracas  
 ( Sum Ocucaje 8-9  
 323 / ET453 : 2389±56BP  
 68.2% probability  
 760BC (11.9%) 700BC  
 540BC (56.3%) 390BC  
 95.4% probability  
 770BC (28.2%) 610BC  
 600BC (67.2%) 380BC  
 324 / ET458 : 2339±51BP  
 68.2% probability  
 520BC (63.5%) 350BC  
 280BC ( 4.7%) 250BC  
 95.4% probability  
 800BC ( 8.3%) 650BC  
 550BC (87.1%) 200BC  
 312 / ET431 : 2334±51BP  
 68.2% probability  
 520BC (60.2%) 350BC  
 280BC ( 8.0%) 230BC  
 95.4% probability  
 800BC ( 6.3%) 650BC  
 550BC (89.1%) 200BC  
 292 / ET378 : 2294±51BP  
 68.2% probability  
 410BC (38.4%) 350BC  
 290BC (27.9%) 230BC  
 220BC ( 1.9%) 210BC  
 95.4% probability  
 490BC ( 1.1%) 460BC  
 420BC (94.3%) 180BC  
 319 / ET448 : 2289±56BP  
 68.2% probability

<b>Sum Ocucaje 5-6-7</b>	
68.2% probability	
800BC (14.1%)	650BC
550BC (51.2%)	350BC
300BC ( 2.8%)	200BC

410BC (34.2%) 350BC  
 300BC (30.8%) 230BC  
 220BC ( 3.2%) 210BC  
 95.4% probability  
 510BC (95.4%) 170BC  
 289 / ET438 : 2284±56BP  
 68.2% probability  
 410BC (33.0%) 350BC  
 300BC (31.8%) 230BC  
 220BC ( 3.4%) 210BC  
 95.4% probability  
 420BC (95.4%) 170BC  
 315 / ET432 : 2284±51BP  
 68.2% probability  
 400BC (35.0%) 350BC  
 300BC (30.7%) 230BC  
 220BC ( 2.5%) 210BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 190BC  
 293 / HD24209 : 2283±24BP  
 68.2% probability  
 400BC (53.6%) 350BC  
 280BC (14.6%) 260BC  
 95.4% probability  
 400BC (61.4%) 350BC  
 300BC (32.9%) 230BC  
 220BC ( 1.1%) 210BC  
 179 / ET158 : 2274±56BP  
 68.2% probability  
 400BC (29.0%) 350BC  
 300BC (34.9%) 230BC  
 220BC ( 4.4%) 200BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 170BC  
 311 / ET382 : 2264±47BP  
 68.2% probability  
 400BC (28.5%) 350BC  
 300BC (35.7%) 230BC  
 220BC ( 4.0%) 210BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 200BC  
 322 / ET452 : 2264±51BP  
 68.2% probability  
 400BC (26.8%) 350BC  
 300BC (36.7%) 230BC  
 220BC ( 4.7%) 200BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 200BC  
 321 / ET451 : 2259±56BP  
 68.2% probability  
 400BC (24.6%) 350BC  
 320BC ( 0.7%) 310BC  
 300BC (37.4%) 230BC  
 220BC ( 5.4%) 200BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 170BC  
 309 / ET381 : 2249±47BP  
 68.2% probability  
 390BC (21.5%) 350BC  
 320BC ( 1.0%) 310BC  
 300BC (39.9%) 230BC  
 220BC ( 5.8%) 200BC

95.4% probability  
 400BC (95.4%) 200BC  
 317 / ET446 : 2249±56BP  
 68.2% probability  
 390BC (20.3%) 350BC  
 320BC (41.7%) 230BC  
 220BC ( 6.2%) 200BC  
 95.4% probability  
 410BC (95.4%) 170BC  
 318 / ET447 : 2244±56BP  
 68.2% probability  
 390BC (18.7%) 350BC  
 320BC (43.1%) 230BC  
 220BC ( 6.4%) 200BC  
 95.4% probability  
 400BC (95.4%) 170BC  
 289 / HD24232 : 2243±26BP  
 68.2% probability  
 390BC (21.2%) 350BC  
 300BC (42.1%) 230BC  
 220BC ( 4.9%) 210BC  
 95.4% probability  
 390BC (26.6%) 340BC  
 330BC (68.8%) 200BC  
 294 / HD24234 : 2242±26BP  
 68.2% probability  
 390BC (20.8%) 350BC  
 300BC (42.2%) 230BC  
 220BC ( 5.2%) 210BC  
 95.4% probability  
 390BC (26.1%) 340BC  
 330BC (69.3%) 200BC  
 335 / ET462 : 2214±51BP  
 68.2% probability  
 370BC (68.2%) 200BC  
 95.4% probability  
 400BC (95.4%) 160BC  
 314 / HD24263 : 2206±27BP  
 68.2% probability  
 360BC ( 8.2%) 340BC  
 330BC (29.6%) 270BC  
 260BC (30.4%) 200BC  
 95.4% probability  
 380BC (95.4%) 170BC  
 316 / ET433 : 2189±51BP  
 68.2% probability  
 360BC (37.3%) 270BC  
 260BC (30.9%) 170BC  
 95.4% probability  
 390BC (95.4%) 100BC  
 178 / ET156 : 2174±51BP  
 68.2% probability  
 360BC (32.1%) 280BC  
 260BC (35.2%) 160BC  
 130BC ( 1.0%) 120BC  
 95.4% probability  
 380BC (95.4%) 90BC  
 291 / ET377 : 2154±51BP  
 68.2% probability  
 360BC (22.8%) 290BC  
 240BC (45.4%) 110BC  
 95.4% probability

370BC (95.4%) 50BC  
 320 / ET449 : 2149±56BP  
 68.2% probability  
 360BC (19.7%) 290BC  
 240BC (48.5%) 90BC  
 95.4% probability  
 380BC (95.4%) 40BC  
 290 / ET376 : 2119±51BP  
 68.2% probability  
 210BC (68.2%) 50BC  
 95.4% probability  
 360BC (13.2%) 280BC  
 260BC (82.2%) 10AD

**Sum Ocucaje 8-9**  
 68.2% probability  
 400BC (23.9%) 340BC  
 330BC (44.3%) 200BC

95.4% probability  
 520BC (95.4%) 50BC  
 ) Sum Ocucaje 8-9  
 Boundary Paracas - Nasca  
 ( Sum Initial Nasca  
 386 / HD24066 : 2045±32BP  
 68.2% probability  
 95BC (68.2%) 5AD  
 95.4% probability  
 170BC ( 8.3%) 130BC  
 120BC (86.1%) 30AD  
 40AD ( 1.1%) 50AD  
 383 / HD24071 : 2006±28BP  
 68.2% probability  
 45BC (63.8%) 25AD  
 40AD ( 4.4%) 50AD  
 95.4% probability  
 90BC ( 1.1%) 80BC  
 60BC (94.3%) 70AD  
 385 / HD24073 : 1979±26BP  
 68.2% probability  
 20BC ( 4.3%) 10BC  
 AD (63.9%) 65AD  
 95.4% probability  
 50BC (95.4%) 80AD  
 384 / HD24072 : 1951±21BP  
 68.2% probability  
 20AD (68.2%) 80AD  
 95.4% probability  
 AD (86.0%) 90AD  
 100AD ( 9.4%) 130AD  
 387 / ET364 : 1964±47BP  
 68.2% probability  
 40BC ( 8.4%) 10BC  
 AD (59.8%) 90AD  
 95.4% probability  
 100BC ( 1.3%) 70BC  
 60BC (94.1%) 140AD  
 383 / ET366 : 1929±47BP  
 68.2% probability  
 20AD (68.2%) 130AD  
 95.4% probability  
 50BC (95.4%) 220AD

**Sum Initial Nasca**

68.2% probability  
 50BC (68.2%) 80AD

95.4% probability  
 120BC (95.4%) 140AD  
 ) Sum Initial Nasca  
 Boundary End  
 WARNING : ZERO  
 distribution  
 ) Sequence Chronology  
 ( MCMC  
 Sampled Start Paracas  
 68.2% probability  
 1015BC (68.2%) 950BC  
 95.4% probability  
 1050BC (95.4%) 920BC  
 Sampled 382 / ET383 :  
 2884±51  
 68.2% probability  
 990BC (68.2%) 925BC  
 95.4% probability  
 1020BC (95.4%) 910BC  
 Agreement 71.1%  
 Sampled 380 / HD24415 :  
 2848±23  
 68.2% probability  
 990BC (22.9%) 970BC  
 960BC (45.3%) 930BC  
 95.4% probability  
 1015BC (95.4%) 920BC  
 Agreement 103.9%  
 Sampled 378 / ET387 :  
 2844±47  
 68.2% probability  
 990BC (68.2%) 925BC  
 95.4% probability  
 1020BC (95.4%) 910BC  
 Agreement 123.7%  
 Sampled 372 / HD24208 :  
 2837±24  
 68.2% probability  
 990BC (21.9%) 970BC  
 960BC (46.3%) 930BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 915BC  
 Agreement 111.8%  
 Sampled 381 / ET359 :  
 2819±51  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 925BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 900BC  
 Agreement 136.0%  
 Sampled 373 / HD24265 :  
 2799±28  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 920BC  
 95.4% probability  
 1000BC (95.4%) 905BC  
 Agreement 113.2%  
 Sampled 375 / ET386 :  
 2799±51

68.2% probability  
 980BC (68.2%) 920BC  
 95.4% probability  
 1005BC (95.4%) 900BC  
 Agreement 128.9%  
 Sampled 118 / HD23914 :  
 2794±24  
 68.2% probability  
 974BC (68.2%) 924BC  
 95.4% probability  
 1000BC (95.4%) 905BC  
 Agreement 108.1%  
 Sampled 374 / ET361 :  
 2789±47  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 920BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 900BC  
 Agreement 119.1%  
 Sampled 376 / ET362 :  
 2769±51  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 920BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 890BC  
 Agreement 98.3%  
 Sampled 379 / ET358 :  
 2749±51  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 915BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 890BC  
 Agreement 73.0%  
 Sampled Initial  
 68.2% probability  
 0 (68.2%) 70  
 95.4% probability  
 -10 (95.4%) 130  
 Sampled Initial  
 68.2% probability  
 980BC (68.2%) 925BC  
 95.4% probability  
 1010BC (95.4%) 900BC  
 Sampled Initial - Early Paracas  
 68.2% probability  
 955BC (68.2%) 895BC  
 95.4% probability  
 990BC (95.4%) 850BC  
 Sampled 250b / ET176 :  
 2559±56  
 68.2% probability  
 810BC (26.9%) 750BC  
 690BC ( 9.5%) 660BC  
 650BC (31.8%) 540BC  
 95.4% probability  
 830BC (95.4%) 520BC  
 Agreement 103.8%  
 Sampled 251 / ET128 :  
 2454±47  
 68.2% probability  
 770BC (33.7%) 680BC  
 670BC (18.4%) 610BC

600BC ( 5.0%) 570BC 560BC (11.1%) 510BC 95.4% probability 780BC (95.4%) 450BC Agreement 98.7% Sampled Ocucaje 3-4 68.2% probability 0 (68.2%) 150 95.4% probability -10 (95.4%) 270 Sampled Ocucaje 3-4 68.2% probability 800BC (14.4%) 750BC 740BC (53.8%) 540BC 95.4% probability 820BC (95.4%) 450BC Sampled Early - Middle Paracas 68.2% probability 530BC (68.2%) 400BC 95.4% probability 590BC (95.4%) 400BC Sampled 297 / HD24264 : 2417±34 68.2% probability 455BC (68.2%) 395BC 95.4% probability 520BC (95.4%) 390BC Agreement 116.6% Sampled 340 / ET461 : 2464±56 68.2% probability 460BC (68.2%) 395BC 95.4% probability 540BC (95.4%) 390BC Agreement 90.7% Sampled 327 / ET457 : 2444±56 68.2% probability 460BC (68.2%) 395BC 95.4% probability 540BC (95.4%) 390BC Agreement 103.7% Sampled 338 / ET466 : 2419±56 68.2% probability 460BC (68.2%) 395BC 95.4% probability 530BC (95.4%) 380BC Agreement 115.6% Sampled 325 / ET454 : 2379±56 68.2% probability 475BC ( 0.8%) 470BC 455BC (67.4%) 385BC 95.4% probability 520BC (95.4%) 380BC Agreement 133.6% Sampled 342 / ET602 : 2374±56 68.2% probability 475BC ( 0.8%) 470BC	455BC (67.4%) 385BC 95.4% probability 520BC (95.4%) 370BC Agreement 136.5% Sampled 343 / ET603 : 2374±51 68.2% probability 455BC (68.2%) 385BC 95.4% probability 520BC (95.4%) 380BC Agreement 136.1% Sampled 344 / ET604 : 2389±56 68.2% probability 455BC (68.2%) 390BC 95.4% probability 520BC (95.4%) 380BC Agreement 127.9% Sampled 339 / ET459 : 2294±56 68.2% probability 410BC (68.2%) 372BC 95.4% probability 490BC (91.3%) 340BC 330BC ( 4.1%) 280BC Agreement 113.5% Sampled 341 / ET467 : 2289±56 68.2% probability 408BC (68.2%) 373BC 95.4% probability 490BC (95.4%) 280BC Agreement 109.5% Sampled 326 / ET456 : 2229±56 68.2% probability 406BC (68.2%) 369BC 95.4% probability 420BC (95.4%) 290BC Agreement 68.1% Sampled Ocucaje 5-6-7 68.2% probability 0 (68.2%) 130 95.4% probability 0 (95.4%) 230 Sampled Ocucaje 5-6-7 68.2% probability 455BC (68.2%) 380BC 95.4% probability 540BC (95.4%) 340BC Sampled Middle - Late Paracas 68.2% probability 402BC (68.2%) 366BC 95.4% probability 410BC (75.8%) 350BC 340BC (19.6%) 260BC Sampled 323 / ET453 : 2389±56 68.2% probability 400BC (44.2%) 350BC 290BC (24.0%) 250BC 95.4% probability	410BC (49.4%) 350BC 320BC (46.0%) 230BC WARNING : Poor agreement - 323 / ET453 Agreement test: A= 15.5% (<A'c= 60.0%) Poor agreement 15.5% Sampled 324 / ET458 : 2339±51 68.2% probability 400BC (39.2%) 350BC 290BC (29.0%) 250BC 95.4% probability 400BC (44.2%) 340BC 320BC (51.2%) 210BC Agreement 72.9% Sampled 312 / ET431 : 2334±51 68.2% probability 400BC (39.2%) 350BC 290BC (29.0%) 250BC 95.4% probability 400BC (44.3%) 350BC 320BC (51.1%) 210BC Agreement 79.4% Sampled 292 / ET378 : 2294±51 68.2% probability 390BC (31.3%) 350BC 300BC (36.9%) 230BC 95.4% probability 400BC (37.9%) 340BC 330BC (57.5%) 200BC Agreement 104.9% Sampled 319 / ET448 : 2289±56 68.2% probability 390BC (30.7%) 350BC 300BC (37.5%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 200BC Agreement 111.0% Sampled 289 / ET438 : 2284±56 68.2% probability 390BC (29.8%) 350BC 300BC (38.4%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 200BC Agreement 111.5% Sampled 315 / ET432 : 2284±51 68.2% probability 390BC (30.4%) 350BC 300BC (37.8%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 200BC Agreement 107.6% Sampled 293 / HD24209 : 2283±24 68.2% probability 390BC (42.3%) 350BC 280BC (25.9%) 250BC
---	---	---

95.4% probability 400BC (48.4%) 350BC 300BC (47.0%) 230BC Agreement 87.1% Sampled 179 / ET158 : 2274±56 68.2% probability 390BC (27.8%) 350BC 300BC (40.4%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 210BC Agreement 112.2% Sampled 311 / ET382 : 2264±47 68.2% probability 390BC (27.3%) 350BC 300BC (40.9%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 200BC Agreement 109.3% Sampled 322 / ET452 : 2264±51 68.2% probability 390BC (26.9%) 350BC 310BC (41.3%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 200BC Agreement 110.4% Sampled 321 / ET451 : 2259±56 68.2% probability 390BC (26.1%) 340BC 320BC ( 1.4%) 310BC 300BC (40.7%) 230BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 200BC Agreement 112.3% Sampled 309 / ET381 : 2249±47 68.2% probability 390BC (25.7%) 340BC 310BC (42.5%) 230BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 200BC Agreement 109.8% Sampled 317 / ET446 : 2249±56 68.2% probability 390BC (25.1%) 340BC 320BC (43.1%) 230BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 200BC Agreement 112.2% Sampled 318 / ET447 : 2244±56 68.2% probability 390BC (25.6%) 340BC 320BC (42.6%) 230BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 210BC Agreement 111.9%	Sampled 289 / HD24232 : 2243±26 68.2% probability 390BC (26.9%) 350BC 300BC (41.3%) 230BC 95.4% probability 390BC (31.1%) 340BC 330BC (64.3%) 200BC Agreement 105.5% Sampled 294 / HD24234 : 2242±26 68.2% probability 380BC (25.8%) 350BC 300BC (42.4%) 230BC 95.4% probability 390BC (31.8%) 340BC 330BC (63.6%) 200BC Agreement 105.2% Sampled 335 / ET462 : 2214±51 68.2% probability 380BC (22.9%) 340BC 330BC (45.3%) 240BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 200BC Agreement 107.3% Sampled 314 / HD24263 : 2206±27 68.2% probability 370BC (57.5%) 270BC 260BC (10.7%) 240BC 95.4% probability 380BC (95.4%) 200BC Agreement 93.2% Sampled 316 / ET433 : 2189±51 68.2% probability 380BC (61.4%) 270BC 260BC ( 6.8%) 240BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 190BC Agreement 101.8% Sampled 178 / ET156 : 2174±51 68.2% probability 370BC (61.0%) 270BC 260BC ( 7.2%) 220BC 95.4% probability 390BC (95.4%) 190BC Agreement 95.5% Sampled 291 / ET377 : 2154±51 68.2% probability 370BC (61.3%) 270BC 260BC ( 4.3%) 240BC 230BC ( 2.7%) 220BC 95.4% probability 380BC (95.4%) 190BC Agreement 79.7% Sampled 320 / ET449 : 2149±56 68.2% probability	370BC (63.9%) 270BC 260BC ( 4.3%) 240BC 95.4% probability 380BC (95.4%) 190BC Agreement 77.5% Sampled 290 / ET376 : 2119±51 68.2% probability 360BC (58.6%) 280BC 260BC ( 4.4%) 240BC 230BC ( 5.2%) 220BC 95.4% probability 380BC (95.4%) 180BC WARNING : Poor agreement - 290 / ET376 Agreement test: A= 40.7% (<A'c= 60.0%) Poor agreement 40.7% Sampled Ocucaje 8-9 68.2% probability 20 ( 2.4%) 50 100 (65.8%) 200 95.4% probability 10 (95.4%) 220 Sampled Ocucaje 8-9 68.2% probability 390BC (27.8%) 340BC 310BC (40.4%) 230BC 95.4% probability 400BC (95.4%) 210BC Sampled Paracas - Nasca 68.2% probability 360BC ( 3.2%) 340BC 270BC (65.0%) 170BC 95.4% probability 360BC ( 9.4%) 310BC 280BC (86.0%) 140BC Sampled 386 / HD24066 : 2045±32 68.2% probability 100BC (68.2%) 5AD 95.4% probability 170BC (95.4%) 30AD Agreement 99.0% Sampled 383 / HD24071 : 2006±28 68.2% probability 45BC (65.5%) 25AD 40AD ( 2.7%) 50AD 95.4% probability 60BC (95.4%) 70AD Agreement 99.3% Sampled 385 / HD24073 : 1979±26 68.2% probability 20BC ( 5.1%) 10BC AD (63.1%) 60AD 95.4% probability 50BC (95.4%) 80AD Agreement 99.8% Sampled 384 / HD24072 : 1951±21 68.2% probability
--	--	---

20AD (68.2%) 80AD  
 95.4% probability  
 AD (91.3%) 90AD  
 100AD ( 4.1%) 130AD  
 Agreement 101.4%  
 Sampled 387 / ET364 :  
 1964±47  
 68.2% probability  
 25BC ( 5.5%) 10BC  
 AD (62.7%) 80AD  
 95.4% probability  
 60BC (95.4%) 130AD  
 Agreement 104.2%

Sampled 383 / ET366 :  
 1929±47  
 68.2% probability  
 AD (68.2%) 120AD  
 95.4% probability  
 50BC (95.4%) 140AD  
 Agreement 103.8%  
 Sampled Initial Nasca  
 68.2% probability  
 75 (68.2%) 180  
 95.4% probability  
 40 (95.4%) 260  
 Sampled Initial Nasca

68.2% probability  
 40BC (68.2%) 80AD  
 95.4% probability  
 110BC (95.4%) 130AD  
 Sampled End  
 68.2% probability  
 60AD (68.2%) 180AD  
 95.4% probability  
 30AD (95.4%) 280AD  
 Overall agreement 89.3%  
 ) MCMC

<b>227094 iterations used</b>
-------------------------------



## NASCA- CHRONOLOGIE

( Sequence Chronology  
Boundary Start Nasca  
( Sum Initial Nasca  
386 / HD24066 : 2045±32BP  
68.2% probability  
95BC (68.2%) 5AD  
95.4% probability  
170BC ( 8.3%) 130BC  
120BC (86.1%) 30AD  
40AD ( 1.1%) 50AD  
383 / HD24071 : 2006±28BP  
68.2% probability  
45BC (63.8%) 25AD  
40AD ( 4.4%) 50AD  
95.4% probability  
90BC ( 1.1%) 80BC  
60BC (94.3%) 70AD  
385 / HD24073 : 1979±26BP  
68.2% probability  
20BC ( 4.3%) 10BC  
AD (63.9%) 65AD  
95.4% probability  
50BC (95.4%) 80AD  
384 / HD24072 : 1951±21BP  
68.2% probability  
20AD (68.2%) 80AD  
95.4% probability  
AD (86.0%) 90AD  
100AD ( 9.4%) 130AD  
387 / ET364 : 1964±47BP  
68.2% probability  
40BC ( 8.4%) 10BC  
AD (59.8%) 90AD  
95.4% probability  
100BC ( 1.3%) 70BC  
60BC (94.1%) 140AD  
383 / ET366 : 1929±47BP  
68.2% probability  
20AD (68.2%) 130AD  
95.4% probability  
50BC (95.4%) 220AD  
**Sum Initial Nasca**  
68.2% probability  
50BC (68.2%) 80AD  
95.4% probability  
120BC (95.4%) 140AD  
) Sum Initial Nasca  
Boundary Initial Nasca - Early  
Nasca  
( Sum Nasca 2-3  
8 / ERL-3092 : 1958±42BP  
68.2% probability  
20BC ( 1.7%) 10BC  
AD (63.1%) 90AD  
100AD ( 3.4%) 120AD  
95.4% probability  
50BC (95.4%) 130AD

12 / ERL-3094 : 1893±41BP  
68.2% probability  
60AD (52.2%) 140AD  
150AD ( 8.3%) 180AD  
190AD ( 7.7%) 220AD  
95.4% probability  
20AD (95.4%) 240AD  
11 / ERL-3093 : 1817±40BP  
68.2% probability  
130AD (68.2%) 250AD  
95.4% probability  
80AD ( 3.1%) 110AD  
120AD (92.3%) 340AD  
19 / ERL-3095 : 1795±41BP  
68.2% probability  
130AD (11.8%) 160AD  
170AD (42.5%) 260AD  
280AD ( 2.5%) 290AD  
300AD (11.4%) 320AD  
95.4% probability  
120AD (95.4%) 350AD  
7 / BLN-5236 : 1733±29BP  
68.2% probability  
250AD (61.1%) 350AD  
360AD ( 7.1%) 390AD  
95.4% probability  
240AD (95.4%) 400AD

### **Sum Nasca 2-3**

68.2% probability  
60AD (68.2%) 330AD  
95.4% probability  
AD (95.4%) 390AD  
) Sum Nasca 2-3  
Boundary Early - Middle  
Nasca  
( Sum Nasca 4-5  
123i / HD23211 : 1707±22BP  
68.2% probability  
260AD (16.2%) 280AD  
320AD (52.0%) 390AD  
95.4% probability  
250AD (95.4%) 410AD  
136 / HD23783 : 1706±39BP  
68.2% probability  
260AD (14.5%) 280AD  
290AD ( 3.3%) 300AD  
320AD (50.4%) 400AD  
95.4% probability  
240AD (95.4%) 420AD  
123i / ET163 : 1704±56BP  
68.2% probability  
250AD (68.2%) 410AD  
95.4% probability  
210AD (94.3%) 470AD  
500AD ( 1.1%) 530AD  
123a / HD23209 : 1703±21BP  
68.2% probability  
260AD (15.5%) 280AD  
320AD (52.7%) 390AD  
95.4% probability

250AD (95.4%) 410AD  
55i / HD23212 : 1696±24BP  
68.2% probability  
260AD (11.9%) 280AD  
330AD (56.3%) 400AD  
95.4% probability  
250AD (95.4%) 420AD  
133 / ET114 : 1694±47BP  
68.2% probability  
260AD (11.2%) 280AD  
290AD ( 1.4%) 300AD  
320AD (55.5%) 420AD  
95.4% probability  
230AD (95.4%) 440AD  
13 / BLN-5238 : 1686±33BP  
68.2% probability  
260AD ( 7.5%) 280AD  
340AD (60.7%) 410AD  
95.4% probability  
250AD (95.4%) 430AD  
1 / BLN-5234 : 1670±33BP  
68.2% probability  
340AD (68.2%) 430AD  
95.4% probability  
250AD (95.4%) 440AD  
133 / HD22851 : 1664±31BP  
68.2% probability  
340AD (22.0%) 370AD  
380AD (46.2%) 425AD  
95.4% probability  
250AD ( 9.9%) 310AD  
320AD (85.5%) 440AD  
55a / HD23213 : 1656±26BP  
68.2% probability  
355AD ( 9.3%) 370AD  
380AD (58.9%) 430AD  
95.4% probability  
260AD ( 4.7%) 280AD  
320AD (90.7%) 440AD  
10 / BLN-5237 : 1653±30BP  
68.2% probability  
345AD (15.6%) 370AD  
380AD (52.6%) 430AD  
95.4% probability  
260AD ( 5.0%) 280AD  
320AD (86.7%) 470AD  
480AD ( 3.7%) 540AD  
5 / BLN-5235 : 1650±30BP  
68.2% probability  
345AD (12.9%) 370AD  
380AD (55.3%) 430AD  
95.4% probability  
260AD ( 4.3%) 280AD  
320AD (85.8%) 470AD  
480AD ( 5.4%) 540AD  
4 / ERL-3091 : 1644±41BP  
68.2% probability  
260AD ( 1.6%) 280AD  
340AD (60.6%) 440AD  
450AD ( 3.0%) 470AD

510AD ( 3.0%) 530AD  
95.4% probability  
260AD ( 4.7%) 280AD  
320AD (90.7%) 540AD  
134 / HD23785 : 1623±119BP  
68.2% probability  
250AD ( 4.5%) 280AD  
290AD ( 1.3%) 300AD  
320AD (62.4%) 570AD  
95.4% probability  
100AD (95.4%) 650AD  
247a / ET162 : 1614±56BP  
68.2% probability  
400AD (68.2%) 540AD  
95.4% probability  
260AD ( 2.5%) 280AD  
320AD (92.9%) 600AD  
55a / ET154 : 1579±51BP  
68.2% probability  
420AD (68.2%) 540AD  
95.4% probability  
380AD (95.4%) 610AD  
247b / ET171 : 1574±51BP  
68.2% probability  
420AD (68.2%) 540AD  
95.4% probability  
380AD (95.4%) 620AD

**Sum Nasca 4-5**  
68.2% probability  
260AD ( 8.0%) 280AD  
320AD (60.2%) 430AD

95.4% probability  
240AD (95.4%) 560AD  
) Sum Nasca 4-5  
Boundary Middle - Late Nasca

**Interval Nasca 6**  
( Sum Nasca 7  
139 / HD23074 : 1594±24BP  
68.2% probability  
420AD (28.0%) 470AD  
480AD (40.2%) 540AD  
95.4% probability  
410AD (95.4%) 540AD  
139 / ET121 : 1534±42BP  
68.2% probability  
430AD (68.2%) 600AD  
95.4% probability  
420AD (95.4%) 620AD  
116 / HD23981 : 1521±18BP  
68.2% probability  
535AD (68.2%) 600AD  
95.4% probability  
430AD (95.4%) 620AD  
90 / HD23977 : 1471±20BP  
68.2% probability  
560AD (26.3%) 590AD  
595AD (33.1%) 625AD  
630AD ( 8.9%) 640AD  
95.4% probability  
540AD (95.4%) 645AD  
131 / HD23782 : 1458±27BP

68.2% probability  
560AD (10.7%) 590AD  
595AD (57.5%) 645AD  
95.4% probability  
540AD (95.4%) 660AD  
112 / HD23621 : 1443±23BP  
68.2% probability  
603AD (68.2%) 644AD  
95.4% probability  
560AD (10.7%) 590AD  
595AD (84.7%) 660AD  
90 / ET443 : 1419±47BP  
68.2% probability  
595AD (68.2%) 665AD  
95.4% probability  
540AD (95.4%) 690AD

**Sum Nasca 7**  
68.2% probability  
530AD (68.2%) 650AD

95.4% probability  
430AD (95.4%) 660AD  
) Sum Nasca 7  
Boundary End  
) Sequence Chronology  
( MCMC  
Sampled Start Nasca  
68.2% probability  
45BC (68.2%) 25AD  
95.4% probability  
100BC (95.4%) 50AD  
Sampled 386 / HD24066 :  
2045±32  
68.2% probability  
15BC (56.4%) 30AD  
40AD (11.8%) 55AD  
95.4% probability  
60BC (95.4%) 60AD  
Agreement 77.3%  
Sampled 383 / HD24071 :  
2006±28  
68.2% probability  
5BC (68.2%) 55AD  
95.4% probability  
40BC (95.4%) 60AD  
Agreement 99.3%  
Sampled 385 / HD24073 :  
1979±26  
68.2% probability  
4AD (68.2%) 52AD  
95.4% probability  
40BC (95.4%) 80AD  
Agreement 111.3%  
Sampled 384 / HD24072 :  
1951±21  
68.2% probability  
5AD ( 4.3%) 10AD  
20AD (63.9%) 65AD  
95.4% probability  
AD (95.4%) 80AD  
Agreement 97.6%

Sampled 387 / ET364 :  
1964±47  
68.2% probability  
4AD (68.2%) 52AD  
95.4% probability  
40BC (95.4%) 80AD  
Agreement 121.1%  
Sampled 383 / ET366 :  
1929±47  
68.2% probability  
AD (68.2%) 60AD  
95.4% probability  
40BC (95.4%) 90AD  
Agreement 97.5%  
Sampled Initial Nasca  
68.2% probability  
5 (68.2%) 70  
95.4% probability  
0 (95.4%) 120  
Sampled Initial Nasca  
68.2% probability  
AD (68.2%) 55AD  
95.4% probability  
40BC (95.4%) 80AD  
Sampled Initial Nasca - Early  
Nasca  
68.2% probability  
32AD (68.2%) 80AD  
95.4% probability  
10AD (95.4%) 110AD  
Sampled 8 / ERL-3092 :  
1958±42  
68.2% probability  
55AD (33.0%) 90AD  
95AD (35.2%) 130AD  
95.4% probability  
20AD (91.1%) 140AD  
150AD ( 2.2%) 180AD  
190AD ( 2.1%) 220AD  
Agreement 84.5%  
Sampled 12 / ERL-3094 :  
1893±41  
68.2% probability  
70AD (49.9%) 140AD  
150AD ( 9.5%) 180AD  
190AD ( 8.7%) 220AD  
95.4% probability  
60AD (95.4%) 240AD  
Agreement 103.9%  
Sampled 11 / ERL-3093 :  
1817±40  
68.2% probability  
130AD (68.2%) 250AD  
95.4% probability  
80AD ( 2.8%) 110AD  
120AD (92.6%) 330AD  
Agreement 100.8%  
Sampled 19 / ERL-3095 :  
1795±41  
68.2% probability  
130AD (11.6%) 160AD  
170AD (12.8%) 200AD

210AD (30.9%) 260AD	95.4% probability	372AD (68.2%) 420AD
280AD ( 2.0%) 290AD	340AD (95.4%) 420AD	95.4% probability
300AD (10.8%) 320AD	Agreement 104.6%	340AD (95.4%) 440AD
95.4% probability	Sampled 133 / ET114 :	Agreement 125.9%
120AD (95.4%) 340AD	1694±47	Sampled 247a / ET162 :
Agreement 101.7%	68.2% probability	1614±56
Sampled 7 / BLN-5236 :	369AD (68.2%) 412AD	68.2% probability
1733±29	95.4% probability	382AD (68.2%) 426AD
68.2% probability	340AD (95.4%) 425AD	95.4% probability
250AD (48.4%) 305AD	Agreement 116.5%	340AD (95.4%) 445AD
315AD (19.8%) 340AD	Sampled 13 / BLN-5238 :	Agreement 98.5%
95.4% probability	1686±33	Sampled 55a / ET154 :
230AD (95.4%) 380AD	68.2% probability	1579±51
Agreement 105.8%	369AD (68.2%) 412AD	68.2% probability
Sampled Nasca 2-3	95.4% probability	388AD (68.2%) 428AD
68.2% probability	340AD (95.4%) 425AD	95.4% probability
175 (68.2%) 265	Agreement 114.9%	345AD (95.4%) 450AD
95.4% probability	Sampled 1 / BLN-5234 :	WARNING : Poor agreement -
130 (95.4%) 310	1670±33	55a / ET154 Agreement test:
Sampled Nasca 2-3	68.2% probability	A= 52.1% (<A'c= 60.0%)
68.2% probability	378AD (68.2%) 417AD	Poor agreement 52.1%
60AD (62.7%) 260AD	95.4% probability	Sampled 247b / ET171 :
280AD ( 5.5%) 320AD	345AD (95.4%) 425AD	1574±51
95.4% probability	Agreement 123.2%	68.2% probability
50AD (95.4%) 350AD	Sampled 133 / HD22851 :	388AD (68.2%) 429AD
Sampled Early - Middle Nasca	1664±31	95.4% probability
68.2% probability	68.2% probability	345AD (95.4%) 450AD
336AD (68.2%) 385AD	380AD (68.2%) 418AD	WARNING : Poor agreement -
95.4% probability	95.4% probability	247b / ET171 Agreement test:
315AD (95.4%) 400AD	345AD (95.4%) 430AD	A= 48.6% (<A'c= 60.0%)
Sampled 123i / HD23211 :	Agreement 123.9%	Poor agreement 48.6%
1707±22	Sampled 55a / HD23213 :	Sampled Nasca 4-5
68.2% probability	1656±26	68.2% probability
366AD (68.2%) 404AD	68.2% probability	25 (68.2%) 90
95.4% probability	384AD (68.2%) 418AD	95.4% probability
340AD (95.4%) 415AD	95.4% probability	0 (95.4%) 120
Agreement 93.6%	345AD (95.4%) 430AD	Sampled Nasca 4-5
Sampled 136 / HD23783 :	Agreement 119.9%	68.2% probability
1706±39	Sampled 10 / BLN-5237 :	374AD (68.2%) 418AD
68.2% probability	1653±30	95.4% probability
368AD (68.2%) 409AD	68.2% probability	340AD (95.4%) 435AD
95.4% probability	383AD (68.2%) 419AD	Sampled Middle - Late Nasca
340AD (95.4%) 425AD	95.4% probability	68.2% probability
Agreement 102.7%	345AD (95.4%) 430AD	408AD (68.2%) 438AD
Sampled 123i / ET163 :	Agreement 125.7%	95.4% probability
1704±56	Sampled 5 / BLN-5235 :	395AD (95.4%) 475AD
68.2% probability	1650±30	Sampled Nasca 6
368AD (68.2%) 412AD	68.2% probability	68.2% probability
95.4% probability	384AD (68.2%) 419AD	0 (68.2%) 70
340AD (95.4%) 430AD	95.4% probability	95.4% probability
Agreement 114.7%	350AD (95.4%) 430AD	-10 (95.4%) 110
Sampled 123a / HD23209 :	Agreement 126.2%	Sampled 139 / HD23074 :
1703±21	Sampled 4 / ERL-3091 :	1594±24
68.2% probability	1644±41	68.2% probability
367AD (68.2%) 404AD	68.2% probability	450AD (18.9%) 475AD
95.4% probability	381AD (68.2%) 422AD	480AD (49.3%) 535AD
340AD (95.4%) 415AD	95.4% probability	95.4% probability
Agreement 97.0%	345AD (95.4%) 435AD	420AD (95.4%) 540AD
Sampled 55i / HD23212 :	Agreement 136.7%	Agreement 101.5%
1696±24	Sampled 134 / HD23785 :	Sampled 139 / ET121 :
68.2% probability	1623±119	1534±42
367AD (68.2%) 407AD	68.2% probability	68.2% probability

440AD (68.2%) 600AD 95.4% probability 430AD (95.4%) 620AD Agreement 101.4% Sampled 116 / HD23981 : 1521±18 68.2% probability 535AD (68.2%) 600AD 95.4% probability 430AD (95.4%) 620AD Agreement 99.3% Sampled 90 / HD23977 : 1471±20 68.2% probability 560AD (64.0%) 620AD 630AD ( 4.2%) 640AD 95.4% probability 540AD (95.4%) 645AD Agreement 99.2%	Sampled 131 / HD23782 : 1458±27 68.2% probability 565AD (13.8%) 590AD 595AD (54.4%) 645AD 95.4% probability 540AD (95.4%) 650AD Agreement 97.9% Sampled 112 / HD23621 : 1443±23 68.2% probability 600AD (68.2%) 643AD 95.4% probability 560AD (95.4%) 660AD Agreement 95.2% Sampled 90 / ET443 : 1419±47 68.2% probability 575AD ( 8.5%) 590AD 595AD (59.7%) 660AD 95.4% probability	540AD (95.4%) 670AD Agreement 95.5% Sampled Nasca 7 68.2% probability 125 (68.2%) 205 95.4% probability 80 (95.4%) 230 Sampled Nasca 7 68.2% probability 540AD (68.2%) 650AD 95.4% probability 430AD (95.4%) 660AD Sampled End 68.2% probability 615AD (68.2%) 685AD 95.4% probability 590AD (95.4%) 770AD Overall agreement 108.0% ) MCMC <b>227392 iterations used</b>
---	---	---

### Anmerkungen zur Chronologieberechnung sowie zur nachfolgenden Tabelle:

- Die Kalibration der  $^{14}\text{C}$  Daten ( $^{14}\text{C}$  age BP) erfolgte mit OxCal 3.8 unter Berücksichtigung von IntCal98.
- Als Südhemisphärenkorrektur wurde ein Wert von  $-41 \pm 14$  a angenommen gemäß McCormac et al. 2002. Dieser Wert wurde in die voranstehend gelisteten Probenalter zur Erstellung der Chronologie bereits mit eingerechnet. In der Datentabelle ist diese Korrektur in die kalibrierten Alter ( $^{14}\text{C}$  cal AD/BC) mit einbezogen.
- Geklammerte Alter in der Tabelle sind nur unter Vorbehalt zu verwenden.
- GP = gas proportional counter
- AMS = Accelerator Mass Spectrometer

zu B - 3. u. C - 3 – Tabelle der <sup>14</sup>C-Proben für Archäologie u. Paläoklima

No.	inventory no.	analysis No.	type	sample size (mg)	δ <sup>13</sup> C (‰)	14C age (BP)	lab standard deviation (BP)	1σ age range [cal AD/BC]*	site	sample material
1	27	ET369	AMS	91,105	-20,00	1675	49	340-540 AD	PAP-93	bone
2	55	HD-23212	GP	13800	-23,62	1737	20	260-400 AD	PAP-79	wood
3	"	HD-23213	GP	7000	-24,64	1697	22	355-430 AD	PAP-79	wood
4	"	ET154	AMS	3,31	-24,60	1620	49	420-540 AD	PAP-79	wood
5	"	ET166	AMS	5,21	-23,30	1825	54	130-340 AD	PAP-79	wood
6	83	HD-23091	GP	2790	-24,27	554	35	1404-1437 AD	PAP-61	charcoal
7	"	ET122	AMS	5,6	-20,90	365	35	(1510-1640 AD)	"	"
8	84	HD-23123	GP	5430	-27,71	3470	21	1750-1685 BC	PAP-61	charcoal
9	90	HD-23977	GP	8600	-26,91	1512	14	560-640 AD	PAP-64B	wood
10	"	ET443	AMS	3,86	-28,60	1460	45	595-665 AD	"	"
11	109	HD-23978	GP	10000	-25,21	1611	13	435-535 AD	PAP-64A	wood
12	112	HD-23621	GP	9580	-27,44	1484	18	603-644 AD	PAP-64A	wood
13	116	HD-23981	GP	10000	-26,74	1562	12	535-600 AD	PAP-64A	wood
14	118	HD-23914	GP	10500	-26,89	2835	19	1000-900 BC	PAP-266	wood
15	123	HD-23211	GP	9900	-25,52	1748	17	260-390 AD	PAP-79	wood
16	"	HD-23209	GP	10400	-26,46	1744	16	260-390 AD	PAP-79	wood
17	"	ET124	AMS	5,7	-27,20	1620	40	(430-540 AD)	"	"
18	"	ET163	AMS	4,33	-24,40	1745	54	250-410 AD	"	"
19	131	HD-23782	GP	6400	-26,37	1499	23	560-645 AD	PAP-294	wood
20	133	HD-22851	GP	6700	-23,76	1705	28	340-425 AD	PAP-365	wood
21	"	ET114	AMS	3,0	-25,70	1735	45	(260-420 AD)	"	"
22	134	HD-23785	GP	2470,0	-27,41	1664	118	250-570 AD	PAP-365	wood
23	136	HD-23783	GP	4390	-25,00	1747	36	260-400 AD	PAP-365	wood
24	139	HD-23074	GP	4910	-26,68	1635	20	420-540 AD	PAP-379B	wood
25	"	ET121	AMS	6,2	-27,80	1575	40	430-600 AD	"	"
26	178	ET156	AMS	3,93	-22,40	2215	49	360-120 BC	PAP-150	charcoal
27	179	ET158	AMS	4,235	-30,80	2315	54	400-200 BC	PAP-150	charcoal
28	180	HD-23632	GP	5100	-23,02	149	23	1690-1730 AD 1810-1890 AD 1910-1920 AD	PAP-79	branches
29	181	ET185	AMS	27,285	-28,90	190	45	1670-1950 AD Peak bei 1720-1780 AD	PAP-79	soil
30	182	ET175	AMS	11,3	-22,10	350	54	1490-1650 AD	PAP-79	soil
31	183	ET152	AMS	5,11	-11,40	500	49	1410-1480 AD	PAP-79	charcoal
32	184	ET131	AMS	3,7	-20,30	430	50	1440-1530 AD 1590-1630 AD	PAP-79	charcoal
33	185	ET180	AMS	6,625	-28,9	400	45	1470-1530 AD 1560-1640 AD	PAP-79	soil
34	186	ET153	AMS		-27,2	400	45	1470-1530 AD 1560-1640 AD	PAP-79	soil
35	187	ET179	AMS	6,77	-24,2	580	54	1320-1350 AD 1390-1440 AD	PAP-79	soil
36	189	ET174	AMS	7,55	-29,7	190	49	1670-1950 AD Peak bei 1720-1780 AD	PAP-79	wood
37	190	ET181	AMS	19,69	-23,6	380	45	1480-1530 AD 1540-1640 AD	PAP-79	soil
38	191	ET177	AMS	3,315	-23,9	575	49	1320-1350 AD 1390-1440 AD	PAP-79	charcoal

No.	inventory no.	analysis No.	type	sample size (mg)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	14C age (BP)	lab standard deviation (BP)	1 $\sigma$ age range [cal AD/BC]*	site	sample material
39	193	ET178	AMS	5,115	-23,8	410	54	1450-1530 AD 1560-1630 AD	PAP-79	charcoal
40	194	ETH-30222	AMS	5,3	-20,7	1990	60	40 BC-130 AD	PAP-79	adobe
41	196b	ETH-30220	AMS	6,0	-20,4	2250	75	380-180 BC	PAP-79	adobe, coal
42	196a	ETH-30221	AMS	5,2	-22,2	1845	55	130-320 AD	PAP-79	adobe, straw
43	197	ET189	AMS	6,37	-23,4	1915	54	70-220 AD	PAP-79-1	adobe, straw
44	202	ET112	AMS	4,3	-18,80	1980	95	50 BC-220 AD	PAP-79-1	adobe
45	205	HD-23089	GP	1780	-18,57	669	38	1300-1395 AD	PAP-396	branches
46	"	ET115	AMS	6,8	-34,60	630	40	1305-1405 AD	"	"
47	207	HD-23087	GP	3130	-16,76	635	24	1305-1405 AD	PAP-396	straw, leaves
48	"	ET118	AMS	5,4	-9,40	515	35	(1412-1448 AD)	"	"
49	215	ET182	AMS	3,21	-13,30	605	45	1310-1430 AD	PAP-396	corn, Mais
50	219	HD-23085	GP	3320	-19,21	824	38	1220-1280 AD	PAP-396	wood
51	"	ET127	AMS	6,8	-17,00	805	40	1220-1285 AD	"	"
52	220	HD-24501	GP	2690	-23,24	904	42	1060-1250 AD	"	"
53	222	ET169	AMS	5,76	-25,00	1940	59	20-220 AD	PAP-93	charcoal
54	224	ET164	AMS	4,105	-13,70	2460	68	760-410 BC	PAP-150	charcoal
55	227	ET161	AMS	13,645	-25,00	1970	54	0-140 AD	PAP-93	adobe, straw
57	246	ET159	AMS	4,415	-5,40	1345	49	660-780 AD	PAP-379	corn, Mais
58	247	ET162	AMS	3,88	-25,30	1655	54	400-540 AD	PAP-379	textile
59	"	ET171	AMS	8,01	-25,90	1615	49	420-540 AD	PAP-379	textile
60	249	HD-23631	GP	2400	-9,16	1462	26	618-657 AD	PAP-379	corn, Mais
61	250	ET125	AMS	4,6	-14,90	2910	70	1190-920 BC	Mollake	textile
62	"	ET176	AMS	13,7	-14,70	2600	54	810-540 AD	Mollake	textile
63	251	ET128	AMS	3,9	-34,50	2495	45	760-410 BC	Mollake	seed, bean
64	289	HD-24232	GP	10280	-24,84	2284	22	390-210 BC	PAP-150	charcoal
65	"	ET438	AMS	6,30	-28,2	2325	54	410-350 AD	PAP-150	charcoal
66	290	ET376	AMS	4,75	-25,6	2160	49	210-50 BC	PAP-150	charcoal
67	291	ET377	AMS	3,49	-27,0	2195	49	360-110 BC	PAP-150	charcoal
68	292	ET378	AMS	7,77	-26,3	2335	49	410-210 BC	PAP-150	soil
69	293	HD-24209	GP	9150	-26,09	2324	20	400-260 BC	PAP-150	charcoal
70	294	HD-24234	GP	28900	-25,22	2283	22	390-210 BC	PAP-150	charcoal
71	296	ET379	AMS	4,73	-24,0	2450	45	760-400 BC	PAP-150	charcoal
72	297	HD-24264	GP	12000	-22,55	2458	31	760-400 BC	PAP-150	charcoal
73	309	ET381	AMS	4,62	-24,5	2290	45	390-200 BC	PAP-150	charcoal
74	311	ET382	AMS	10,28	-22,8	2305	45	400-210 BC	PAP-150	soil
75	312	ET431	AMS	3,71	-25,1	2375	49	520-230 BC	PAP-150	soil
76	314	HD-24263	GP	8600	-24,19	2247	23	360-200 BC	PAP-150	charcoal
77	315	ET432	AMS	3,79	-24,7	2325	49	400-210 BC	PAP-150	soil
78	316	ET433	AMS	4,75	-28,7	2230	49	360-270 BC	PAP-150	soil
79	317	ET446	AMS	5,70	-31,9	2290	54	390-200 BC	PAP-150	charcoal
80	318	ET447	AMS	4,69	-30,6	2285	54	390-200 BC	PAP-150	charcoal
81	319	ET448	AMS	4,25	-26,7	2330	54	410-210 BC	PAP-150	charcoal
82	320	ET449	AMS	4,85	-26,7	2190	54	360-90 BC	PAP-150	charcoal
83	321	ET451	AMS	4,87	-24,0	2300	54	400-200 BC	PAP-150	charcoal
84	322	ET452	AMS	4,10	-21,1	2305	49	400-200 BC	PAP-150	charcoal
85	323	ET453	AMS	3,25	-25,9	2430	54	760-390 BC	PAP-150	charcoal
86	324	ET458	AMS	4,78	-21,6	2380	49	520-250 BC	PAP-150	charcoal
87	325	ET454	AMS	3,70	-24,1	2420	54	760-390 BC	PAP-150	charcoal
88	326	ET456	AMS	3,25	-26,2	2270	54	380-200 BC	PAP-150	soil
89	327	ET457	AMS	4,65	-21,1	2485	54	760-400 BC	PAP-150	charcoal
90	335	ET462	AMS	5,59	-24,4	2255	49	370-200 BC	PAP-150	charcoal
91	336	ET463	AMS	4,57	-26,8	2220	54	360-160 BC	PAP-150	charcoal

No.	inventory no.	analysis No.	type	sample size (mg)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	14C age (BP)	lab standard deviation (BP)	1 $\sigma$ age range [cal AD/BC]*	site	sample material
92	338	ET466	AMS	5,72	-22,6	2460	54	760-400 BC	PAP-150	soil
93	339	ET459	AMS	14,25	-26,4	2335	54	410-210 BC	PAP-150	soil
94	340	ET461	AMS	4,48	-23,3	2505	54	760-410 BC	PAP-150	soil
95	341	ET467	AMS	21,02	-22,3	2330	54	410-210 BC	PAP-150	soil
96	342	ET602	AMS	9,61	-22,2	2415	54	760-380 BC	PAP-150	soil
97	343	ET603	AMS	5,87	-27,1	2415	49	760-380 BC	PAP-150	charcoal
98	344	ET604	AMS	6,36	-25,5	2430	54	760-390 BC	PAP-150	charcoal
99	372	HD-24208	GP	10420	-25,44	2878	19	1015-925 BC	PAP-266	wood
100	373	HD-24265	GP	10000	-26,52	2840	24	1000-900 BC	PAP-266	wood
101	374	ET361	AMS	3,75	-26,40	2830	45	1000-840 BC	PAP-266	wood
102	375	ET386	AMS	6,74	-25,60	2840	49	1010-840 BC	PAP-266	wood
103	376	ET362	AMS	5,50	-28,50	2810	49	980-830 BC	PAP-266	wood
104	377	ET363	AMS	5,45	-25,80	1685	45	260-530 AD	PAP-266	wood
105	378	ET387	AMS	3,97	-23,70	2885	45	1110-910 BC	PAP-266	wood
106	379	ET358	AMS	3,52	-31,10	2790	49	970-830 BC	PAP-266	charcoal
107	380	HD-24415	GP	3010	-26,00	2889	18	1050-930 BC	PAP-266	charcoal
108	381	ET359	AMS	3,76	-28,50	2860	49	1050-890 BC	PAP-266	charcoal
109	382	ET383	AMS	3,96	-26,60	2925	49	1190-970 BC	PAP-266	seed, pumpkin
110	383	HD-24071	GP	6400	-26,08	2047	24	45 BC-50 AD	PAP-73D	wood
111	"	ET366	AMS	3,81	-28,50	1970	45	20-130 AD	PAP-73D	wood
112	384	HD-24072	GP	5840	-26,30	1992	16	20-80 AD	PAP-73D	wood
113	385	HD-24073	GP	5160	-25,88	2020	22	20 BC-65 AD	PAP-73D	wood
114	386	HD-24066	GP	3080	-27,60	2086	29	95 BC-05 AD	PAP-73D	wood
115	387	ET364	AMS	3,825	-29,20	2005	45	40 BC-90 AD	PAP-73D	charcoal
116	tool	ETH-30225	AMS	4,47	-20,9	700	50	1280-1390 AD	PAP-64	wood
117	tool	ET188	AMS	5,31	-21,0	760	49	1240-1390 AD	PAP-64	wood

Geomorphological Samples										
118	PA 03	ET422	AMS	4,66	-34,9	450	45	1430-1520 AD 1590-1620 AD	Pinchango	charcoal
119		HD-23107	GP	6000	-3,61	9884	62	9320-9220 BC	PE111-2	carbonate
120		ET108	AMS		-7,20	10040	55	(9610-9310 BC)	"	"
121		HD-23110	GP	6330	-3,55	569	43	1330-1350 AD 1390-1440 AD	PE113	carbonate
122		ET126	AMS		-15,40	500	90	1330-1630 AD	"	"
123		ET102	AMS	3,4	-15,40	350	40	1510-1650 AD	PE111/2	roots
124		ET109	AMS	3,0	-17,60	-940	40	(modern)	PE113	roots
125		ET97	AMS	4,2	-14,80	-610	45	(modern)	PE105/2	roots
126	P1	ETH-30227	AMS	5,2	-20,80	500	50	1410-1480 AD	PE303	wood
127	P2	ET352	AMS	15,04	-22,90	280	45	1520-1550 AD 1630-1680 AD 1760-1810 AD 1930-1950 AD	PE304	charcoal
128	P3	ET353	AMS	7,415	-26,20	445	45	1430-1520 AD 1590-1620 AD	PE307	wood
129	P4	HD-24050	GP	27410	-3,84	256	23	1650-1680 AD 1770-1800 AD 1930-1950 AD	PE201	carbonate
130	"	ET351	AMS	"	-0,7	335	45	1510-1600 AD 1620-1660 AD	PE201	carbonate

No.	inventory no.	analysis No.	type	sample size (mg)	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$^{14}\text{C}$ age (BP)	lab standard deviation (BP)	$1\sigma$ age range [cal AD/BC]*	site	sample material
131	P5	HD-24056	GP	25180	-3,70	336	24	1520-1580 AD 1620-1650 AD	PE201	carbonate
132	"	ET439	AMS	"	-2,30	355	45	1510-1580 AD 1620-1650 AD	PE201	carbonate
133	P6	HD-24065	GP	39930	-2,82	340	20	1520-1570 AD 1620-1650 AD	PE208	carbonate
134	P7	HD-24057	GP	21680	-2,54	434	28	1440-1520 AD 1600-1620 AD	PE208	carbonate
135	P8	HD-24060	GP	16720	-3,13	-340	23	(modern)	PE211	carbonate
136	P9	ET434	AMS	6,24	-28,10	215	49	1660-1700 AD 1720-1820 AD 1850-1860 AD 1910-1950 AD	Posada	grape seeds
137	P10	ET436	AMS	4,85	-25,60	305	49	1520-1590 AD 1620-1680 AD 1780-1800 AD	PE304	charcoal
138		HD-23676	GP	4950	-25,05	191	18	1670-1700 AD 1720-1780 AD 1800-1820 AD 1910-1950 AD	PE210-1	charcoal
139		HD-23677	GP	7040	-26,26	219	29	1660-1690 AD 1730-1810 AD 1920-1950 AD	PE210-2	charcoal
140		ET130	AMS	3,8	-29,80	140	35	1690-1730 AD 1810-1920 AD	PE210-3	charcoal
141	St.Cruz 1	ETH-30226	AMS	3,2	-21,40	420	60	1440-1530 AD 1570-1630 AD	PE305	wood
142	St.Cruz 2	ET187	AMS	4,5	-11,00	530	49	1330-1340 AD 1400-1460 AD	PE305	wood
143	St.Cruz 3	HD-24212	GP	10500	-26,23	326	16	1520-1560 AD 1630-1660 AD	PE305	wood
144	St.Cruz 4	ET444	AMS	4,47	-27,7	315	49	1520-1600 AD 1620-1670 AD 1780-1800 AD	PE305	wood
145	H2/1	ET357	AMS	3,74	-24,5	205	45	1660-1700 AD 1720-1820 AD 1840-1880 AD 1910-1950 AD	PE306	charcoal
146	H2/2	ET367	AMS	5,18	-25,7	180	45	1670-1710 AD 1720-1780 AD 1800-1820 AD 1830-1890 AD 1910-1950 AD	PE306	charcoal
147	H3/1	ET368	AMS	41,03	-29,1	430	45	1440-1530 AD 1590-1630 AD	PE306	soil
148	H4/1	ET356	AMS	6,62	-26,6	405	45	1460-1530 AD 1560-1630 AD	PE306	charcoal
149	H5/1	ET441	AMS	124,00	-21,1	510	49	1405-1475 AD	PE306	soil
150	H6/S1	ET371	AMS	17,39	-25,9	490	45	1415-1485 AD	PE311	soil
151	H6/S2	ET372	AMS	4,70	-28,8	375	45	1490-1640 AD	PE311	charcoal
152	H6/S3	ET373	AMS	8,84	-26,4	380	45	1480-1530 AD 1540-1640 AD	PE311	charcoal
153	H6/2	ET374	AMS	4,93	-25,2	380	45	1480-1530 AD 1540-1640 AD	PE311	charcoal
154	H6/4	ET437	AMS	5,58	-19,0	1375	49	650-770 AD	PE306	soil
155	H7/1	ET354	AMS	5,98	-23,1	1360	45	660-770 AD	PE306	charcoal



## zu C – Zusatzinformation - geologische Stratigraphie der Region Palpa

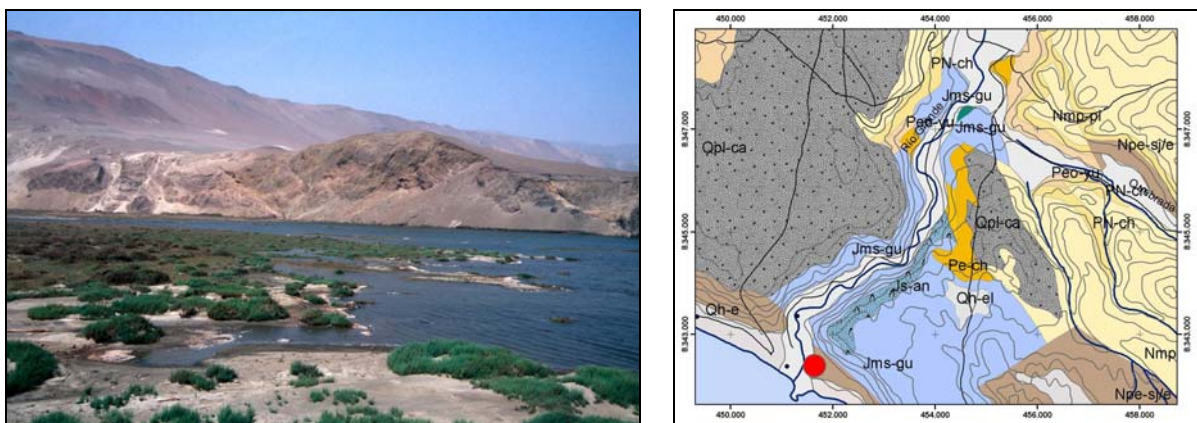
### Complejo Basal de la Costa - (Präkambium)

Der Basalkomplex zieht sich mehr oder minder kontinuierlich die ganze peruanische Südküste entlang von der Paracas-Halbinsel im Norden bis zur chilenischen Grenze im Süden. Im Gebiet um Palpa/Nasca ist er nur in der Küstenkordillere (Cordillera de la Costa) aufgeschlossen und unterlagert den Übergangsbereich zwischen Küstenkordillere und Ica-Nasca-Depression, den Montoya et al. (1994) als *Pampas Costeras* von der eigentlichen Grabenstruktur unterscheiden. An metamorphen Gesteinsfazies dominieren Grünschiefer, die teilweise serizitisch und chloritisch alteriert sind, und Paragneise, teilweise als Augengneise in einer feinkörnigen Quarz-Feldspat-Matrix.

### San Juan Formation - (Präkambrium-Kambrium)

Die Bezeichnung wurde von Caldas (1978) eingeführt für eine klastische-karbonatische Abfolge im Gebiet von San Juan, Acari und Yauca südlich von Nasca. Der repräsentativste Aufschluss der San Juan Formation findet sich im Gebiet von Punta Caballas - Boca del Río Grande, dem Mündungsbereich des Rio Grande (Fig. 12).

Den unteren Teil der Formation bilden hellgraue, mächtig gebankte, silifizizierte Kalksteine, die einige kleinere, aufgearbeitete Klaster des Basalkomplexes enthalten. Darüber folgen Pakete hellgrauen dolomitischen Marmors von mittlerer bis starker Mächtigkeit. Überlagert wird dieser untere Teil von niedermetamorphen psamitischen und pelitischen Schiefern. Die tonigeren Bereiche sind durch Phyllite und serizitische Schiefer von grauer bis gelblicher Farbe geprägt.



**Fig. 12:** Die San Juan Formation im Mündungsbereich des Rio Grande. Die Hügel im Hintergrund werden von der Guaneros Formation gebildet.

The San Juan Formation at the estuary mouth of the Rio Grande. The hills in the background are formed by the Guaneros Formation.

**San Nicolás Batholith – (Silur)**

Der San Nicolás Batholith erstreckt sich zwar nur relativ kleinräumig zwischen San-Nicolás-Bucht und Paracas Halbinsel, jedoch treten gleichartige Intrusionen zur selben Zeit auch in der Küstenkordillere zwischen Palpa und Nasca auf. Es handelt sich dabei um Granodiorite von grauer bis rosa-grauer Farbe, gleichmäßiger, mittelgroßer Körnung mit gelegentlich hypidiomorph ausgebildeten Hornblenden. Die Zusammensetzung beträgt etwa 40-50% Plagioklas, 10-20% K-Feldspäte (Orthoperthit), 15-30% Quarz und 10-20% mafische Bestandteile, vorwiegend Biotit und Hornblende. Als Sekundärminerale treten Epidot, Chlorit, Tremolit und Calcit auf, akzessorisch auch Apatit und Zirkon (Montoya et al., 1994).

**Monte / Rio Grande Formation – (Mittlerer Jura)**

Die Wechselfolge aus Sedimenten und Vulkaniten, die dieser Formation zugerechnet werden, sind am Unterlauf des Rio Grande aufgeschlossen. In der 1999 herausgegebenen Fassung der geologischen Karte Blatt 30-m (Palpa) (INGEMMET, online) taucht die Bezeichnung „Monte Grande Formation“ noch auf und nimmt einer Fläche von etwa 25 km<sup>2</sup> im Mündungsbereich des Rio Grande ein. Die neuere Version der geologischen Karte von 2001 (ebenfalls INGEMMET, online) schreibt die gleichen Gesteine jedoch der oberjurassischen Guaneros Formation zu.

Die Gesteine der Monte / Rio Grande Einheit werden allgemein als karbonatisch-klastische Sedimente (Sandsteine, kalkige Brekzien und Kalksteine) mit Einschaltungen von Vulkaniten beschrieben. Die Sedimente führen teilweise schlecht erhaltene Schalenreste von Muscheln und Crinoiden. Bei den Brekzien handelt es sich wahrscheinlich um synsedimentäre Ereignisse an den Rändern des Ablagerungsbeckens im Zusammenhang mit intramarinem Vulkanismus. Die Vulkanite selbst sind vorwiegend andesitische Pyroklastika von grauer Farbe und porphyrischer Textur.

**Guaneros Formation (Oberer Jura)**

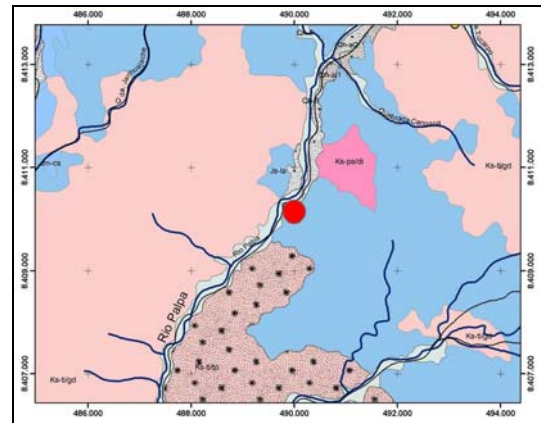
Audebaud et al. (1976) parallelisieren die untere Guaneros Formation weiter im Süden mit der Rio Grande Formation im Küstenabschnitt westlich von Nasca. Dieser Ansicht schließt sich offensichtlich die neuere geologische Karte Blatt 30-m von 2001 an (INGEMMET, online). Die obere Guaneros Formation korrelieren Audebaud et al. (1976) mit der Jaguay Formation auf älteren Karten des Gebietes um Acarí. Montoya et al. (1994) hingegen verwenden den Begriff Guaneros Formation nur für die Gesteine im oberen, jüngeren Bereich der Abfolge, die in der Ica-Nasca-Depression weit verbreitet auftreten.

Bei den Gesteinen handelt es sich um weiße, grünliche oder rötliche Mittelsandsteine, verschiedenfarbige Tonsteine und Mergel sowie mächtige graue und grünliche Pyroklastite andesitischer Zusammensetzung. Als weitere Vulkaniten können verschieden mächtige Schichten an Andesiten mit mikroporphyrischer Textur auftreten, die sich mit Tufflagen, feinkörnigen detritischen Sedimenten und Sandsteinlagen abwechseln.

### Yura Gruppe – (Oberer Jura – Untere Kreide)

Für den Begriff „Yura Gruppe“ bestehen laut Trappe (1998) Schwierigkeiten bezüglich Definition und Korrelation, lediglich die Einordnung der Gruppe als klastische Sedimentfolge ist weitgehend anerkannt. In den neueren geologischen Karten von INGEMMET (online) setzt sich die Gliederung durch, die Trappe (1998) bereits als Möglichkeit aufführt: Der ältere Teil der Yura Gruppe wird als **Labra Formation** (Oberjura) bezeichnet (Fig. 13), während der jüngere Teil unter **Hualhuani Formation** (Unterkreide, Neokom) geführt wird (vgl. hierzu Legende zu Blatt 30-m, Fig. 89).

Die gesamte Yura Gruppe wird von hellen quarzitischen Sandsteinen geprägt. Während die zuvor beschriebenen geologischen Einheiten in der Region Palpa/Nasca vorwiegend in der Küstenkordillere und der westlichen Ica-Nasca-Depression zu finden waren, treten die Gesteine der Yura Gruppe am Andenfuß zu Tage.



**Fig. 13:** Auf den Quarziten der Yura Gruppe (Labra Formation) im Rio Palpa Tal schufen die vorspanischen Kulturen der Region Petroglyphen (Felszeichnungen).

The pre-Columbian cultures of the region created petroglyphs on the quartzites of the Yura Group (Labra Formation) in the Rio Palpa valley.

### Copara Formation – (Untere Kreide)

Die Bezeichnung dieser Formation wurde von Caldas (1978) eingeführt zur Beschreibung einer vulkanoklastischen Sequenz im Hangenden der Yura Gruppe. Der repräsentativste Aufschluss befindet sich südlich von Nasca. Die Hügelgruppe im Westen von Chillo wird ebenfalls von Gesteinen dieser Formation aufgebaut und bildet zugleich das größte Vorkommen im Raum Palpa.

Der untere Teil der Copara Formation wird von grünlich-grauen Sandsteinen aus vorwiegend pyroklastischem Material sowie Quarz- und Quarzitkörnern aufgebaut. Im mittleren Bereich herrschen Konglomerate mit Quarziten und Vulkaniten in einer sandigen, gelbgrauen Matrix vor, stellenweise ist das Gestein auch als Grauwacke oder sandige Arkose ausgebildet. Den oberen Teil bilden andesitische pyroklastische Brekzien, in denen sich untergeordnet Einschaltungen von grauen Kalk- oder Hornsteinlagen finden. Die Hügel bei Chillo zeichnen sich zudem durch andesitische bis dazitische pyroklastische Schüttungen aus.

### **Portachuelo Formation / Casma Gruppe / Pariatambo-Fazies – (Untere Kreide)**

Bei der Nomenklatur dieser späten unterkretazischen Kalkformation geht die Literatur geringfügig auseinander. Während Trappe (1998) und Montoya et al. (1994) die Abfolge leicht bituminöser Kalke und bankiger Kalkschiefer (nach Ruegg, 1956) als Portachuelo Formation bezeichnen, taucht dieser Begriff in den geologischen Karten des Arbeitsgebietes von 2001 nicht mehr auf, hingegen werden die betreffenden Fazies unter der Casma Gruppe aufgeführt. Neben den reinen Kalken werden auch kalkige Sandsteine, Hornsteine und Einschaltungen von dünnen pyroklastischen Lagen beschrieben.

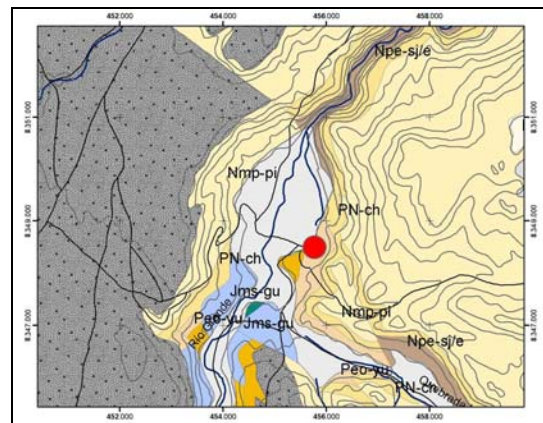
Die Portachuelo Formation tritt besonders im direkten Umfeld von Palpa zu Tage, so zum Beispiel im Rio Grande Tal bei Los Molinos kurz vor dem Zusammenfluß mit dem Rio Palpa oder im unteren Rio Viscas Tal knapp östlich von Palpa. Die Carretera Panamericana durchstößt zusammen mit dem Rio Ingenio zwischen Palpa und Nasca die Formation.

### **Küstenbatholith / Supereinheit Tiabaya – (Obere Kreide)**

Die hierzu gehörigen Intrusivgesteine sind von graodioritischer Zusammensetzung, ähnlich den zuvor am San Nicolás Batholith beschriebenen Granodioriten. Zonal gibt es Übergänge zu Tonaliten, die sich in einem Wechsel der Feldspat-Zusammensetzung äußern.

Neben den Intrusivgesteinen treten auch Subvulkanite andesitischer Ausprägung auf. Als vulkanisches Pendant des Diorits setzt sich der Andesit aus bis zu 50% Plagioklas und 35% mafischen Mineralen, insbesondere Hornblende, Clinopyroxen und Biotit, zusammen. Als Sekundärminerale treten Epidot, Serizit und Chlorit auf.

### **Paracas Formation / Gruppe – (Eozän)**



**Fig. 14:** Die Paracas Formation an einer Steilstufe nahe der Hacienda Monte Grande. Markant sind die Bänder aus ockerfarbenem bis gelbem Sandstein zu sehen. Die Hügel im Hintergrund werden von der Pisco Formation gebildet.

The Paracas Formation at a steep slope near the Hacienda Monte Grande. Slightly visible are the ochre to yellow coloured sandstone layers. The hills in the background are formed by the Pisco Formation.

Montoya et al. (1994) beschreiben die Paracas Formation als klastische Sedimente unterschiedlicher Korngröße. Dabei ist eine deutliche Gradierung der über 300 m mächtigen Schichtenfolge zu erkennen, angefangen von grobklastischen Konglomeraten in den untersten Schichten über teils mergelige Sandsteine bis hin zu Silt- und Tonsteinen im oberen Bereich der Formation.

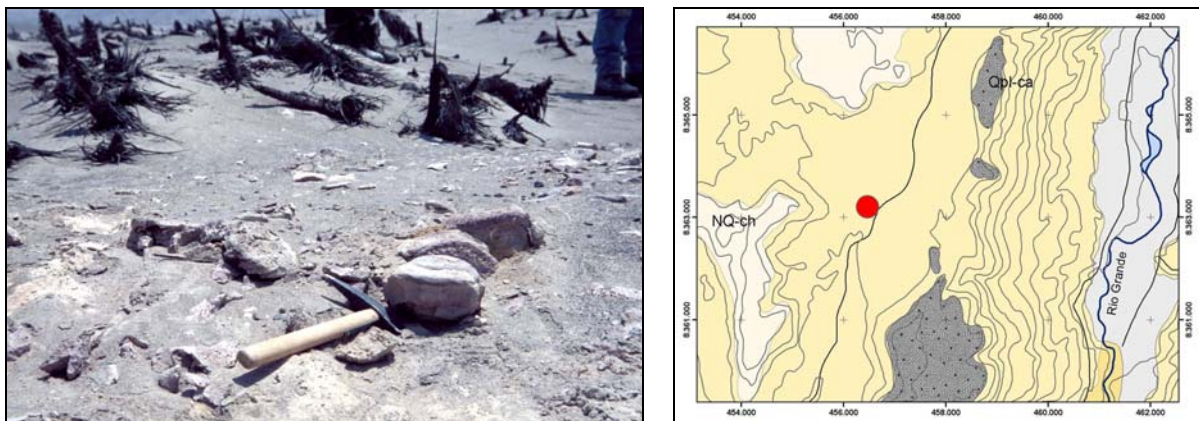
Im Bereich des Kartenblattes von Palpa tritt die Formation nur im Mündungsbereich des Rio Grande bei Punta Caballas auf, dort befinden sich jedoch mit die repräsentativsten Aufschlüsse der ganzen Formation.

### Nasca Gruppe – (Miozän)

Im Gebiet um Palpa kommt die Nasca-Gruppe nur auf einer Fläche oberhalb der Quebradas zwischen Rio Viscas und Rio Ingenio auf einer Höhe über 1200 m ü.M. vor, während die Einheit weite Teile des Blattes Nasca (30-n) einnimmt. Es handelt sich dabei um eine vulkano-sedimentäre Abfolge, die kaum oder gar nicht tektonisch deformiert wurde und diskordant, leicht geneigt auf der Yura Gruppe aufliegt. Der untere Teil der Gruppe besteht aus polymikten, grauen bis braunen Konglomeraten. Der obere Teil der Gruppe wird auch als *Nasca-Tuff* bezeichnet. Es handelt sich dabei um weiße, rosé-farbene oder braune Tuffe und Ignimbrite von rhyolithischer bis dazitischer Zusammensetzung (Trappe, 1998).

### Pisco Formation – (Mio-Pliozän)

Die feinklastischen Gesteine der Pisco Formation nehmen weite Flächen der Pampas Costeras unmittelbar östlich der Küstenkordillere links und rechts des Rio Grande ein (Fig. 88). Es handelt sich dabei vorwiegend um helle Diatomite mit vereinzelt dünnen Lagen aus tonigen Kalk- oder Sandsteinen.



**Fig. 15:** Fossile Skelettreste von Walartigen (*Cetaceae*) aus der Pisco Formation westlich des unteren Rio Grande. Neben dem Hammer sind einige Wirbelstücke zu erkennen.

Fossil skeleton pieces of whale-like mammals (*Cetaceae*) from the Pisco Formation west of the lower Rio Grande valley. Next to the hammer some vertebrae pieces are visible.

Neben den teils gesteinsbildenden Diatomeen, die eine Einordnung der Formation in das obere Miozän bis Pliozän erlauben (Montoya et al., 1994), finden sich auch zahlreiche fossile Reste von Vertebraten. Bei Muizon (Marocco and Muizon, 1988; Muizon, 1984) finden sich Beschreibungen von Robben (*Phocidae*), Pinguinen (*Spheniscidae*) und Walartigen (*Cetaceae*) aus der Pisco Formation.

Bei einer Erkundungsfahrt zur Mündung des Rio Grande im Rahmen der Feldkampagne 2004 wurden in den Ablagerungen der Pisco Formation unmittelbar nördlich des Rio Grande eine große Ansammlung an Skelettresten von Cetaceen gefunden (Fig. 15). Vermutlich handelt es sich dabei um Reste von Zahnwalartigen (*Odontoceti*), wie sie auch von Marocco and Muizon (1988) erwähnt werden, eine genauere Bestimmung fand vor Ort jedoch nicht statt.

### zu C - 2.4 – Geochemie der Sedimentproben zu Pe-306

Probe	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Br
	mg/l				
Pe 306-1	4,71	7,4	2,2	14,85	0
Pe 306-2	0	1,51	0,6	1,5	0
Pe 306-3	0,01	0,55	0,5	1,28	0
Pe 306-4	0	0,34	0,29	0,87	0
Pe 306-5	0	0,65	0,94	2,01	0
Pe 306-6/1	0	5,96	7,14	11,79	0
Pe 306-6/2	0	4,62	6,79	13,49	0
Pe 306-7	0,01	0,13	0,74	2,14	0

	K	Ca	Na	Mg	Fe
	mg/g				
Pe 306-1	4,846	7,012	1,278	6,351	29,045
Pe 306-2	4,313	9,467	1,284	5,587	22,246
Pe 306-3	4,660	6,770	1,200	5,852	29,450
Pe 306-4	4,085	7,249	1,666	4,255	24,630
Pe 306-5	4,852	7,323	2,411	5,244	22,518
Pe 306-6/1	6,992	9,272	1,314	8,021	28,469
Pe 306-6/2	6,879	15,259	1,027	9,602	29,064
Pe 306-7	5,517	6,083	1,028	6,319	26,629

	Mn	Zn	Cu	Pb	P ortho
	mg/g				
Pe 306-1	0,490	0,050	0,047	0,018	0,271
Pe 306-2	0,318	0,045	0,035	0,008	0,095
Pe 306-3	0,534	0,051	0,037	0,009	0,047
Pe 306-4	0,306	0,031	0,027	0,007	0,065
Pe 306-5	0,276	0,036	0,069	0,007	0,039
Pe 306-6/1	0,339	0,059	0,054	0,014	0,034
Pe 306-6/2	0,462	0,073	0,061	0,014	0,022
Pe 306-7	0,454	0,049	0,057	0,020	0,017

## zu C - 2.4 – Kornverteilung der Sedimentproben zu Pe-306

### Korngrößen

Probe	fG-Gehalt	gS-Gehalt	mS-Gehalt	fS-Gehalt	gU-Gehalt	mU-Gehalt	fU-Gehalt	T-Gehalt	
	%								Summe %
Pe 306-1	1,44	6,78	19,94	26,86	16,60	11,10	6,49	10,78	100
Pe 306-2	0,81	8,38	23,28	34,05	16,57	6,82	3,62	6,48	100
Pe 306-3	0,96	2,27	16,00	37,22	21,20	10,80	4,98	6,58	100
Pe 306-4	0,73	3,18	35,72	50,30	5,27	1,81	1,12	1,88	100
Pe 306-5	0,00	0,31	21,79	62,92	7,25	2,81	1,71	3,22	100
Pe 306-6/1	0,00	0,03	0,24	11,76	43,01	26,03	9,35	9,57	100
Pe 306-6/2	0,00	0,04	0,67	15,00	36,53	15,20	17,88	14,68	100
Pe 306-7	0,00	0,18	23,05	52,40	10,30	5,32	3,47	5,28	100

### Kornsummen

	T	T bis fU	T bis mU	T bis gU	T bis fS	T bis mS	T bis gS	T bis fG	
	%								Summe %
Pe 306-1	10,78	17,27	28,38	44,98	71,84	91,78	98,56	100,00	
Pe 306-2	6,48	10,09	16,91	33,49	67,53	90,82	99,19	100,00	
Pe 306-3	6,58	11,56	22,35	43,55	80,78	96,77	99,04	100,00	
Pe 306-4	1,88	3,00	4,80	10,07	60,37	96,09	99,27	100,00	
Pe 306-5	3,22	4,93	7,74	14,99	77,91	99,69	100,00	100,00	
Pe 306-6/1	9,57	18,92	44,96	87,97	99,73	99,97	100,00	100,00	
Pe 306-6/2	14,68	32,56	47,76	84,29	99,29	99,96	100,00	100,00	
Pe 306-7	5,28	8,75	14,07	24,36	76,77	99,82	100,00	100,00	

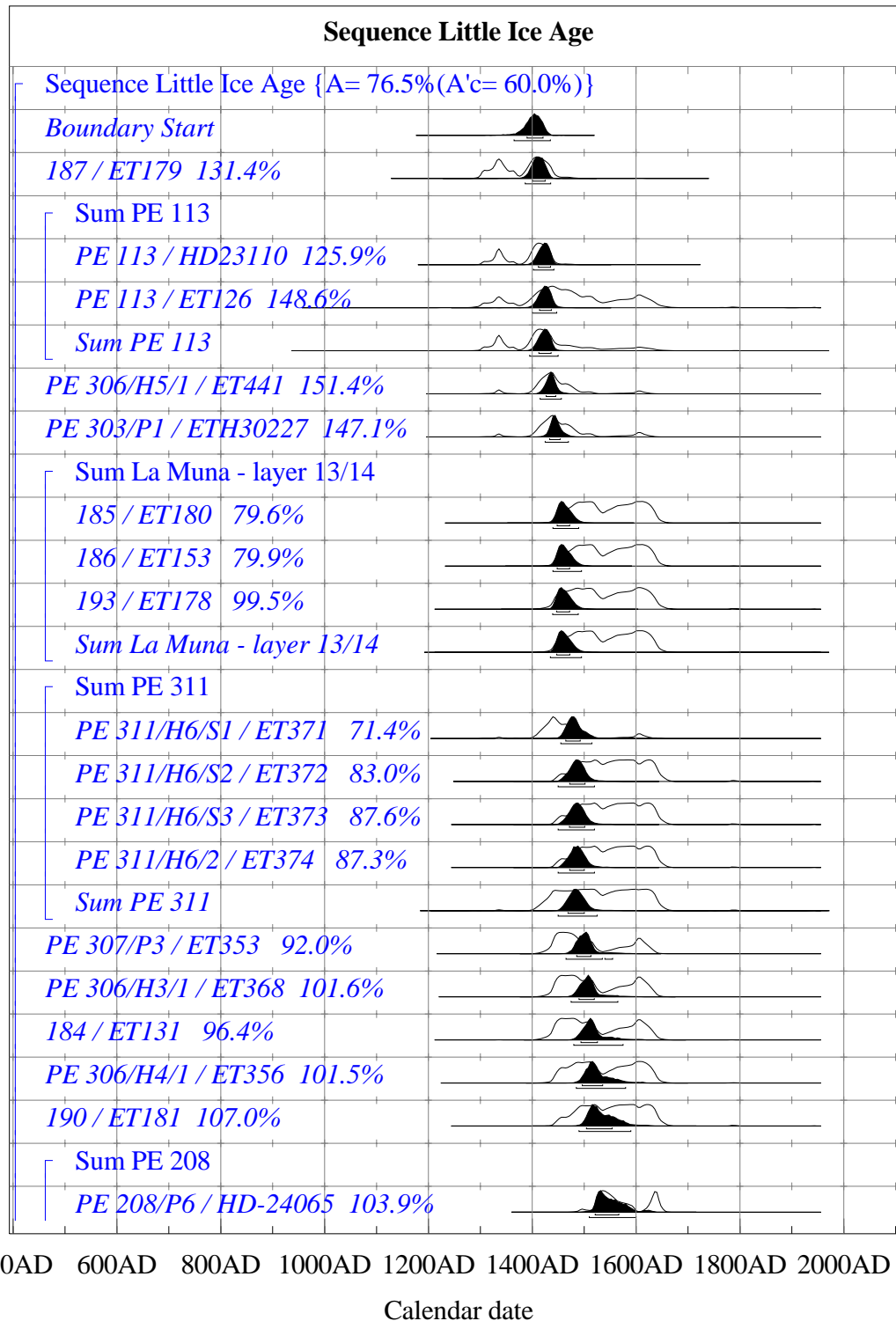
	Tges	Uges	Sges		Bodenart
	%			Summe %	(KA4)
Pe 306-1	10,78	34,20	53,58	98,56	SI3
Pe 306-2	6,48	27,01	65,71	99,19	Su3
Pe 306-3	6,58	36,98	55,49	99,04	Su3
Pe 306-4	1,88	8,20	89,20	99,27	Ss
Pe 306-5	3,22	11,77	85,01	100,00	Su2
Pe 306-6/1	9,57	78,40	12,03	100,00	Ut2
Pe 306-6/2	14,68	69,61	15,71	100,00	Ut3
Pe 306-7	5,28	19,08	75,64	100,00	Su2



## zu C - 3 – Modellierung der „Kleine-Eiszeit“-Phase

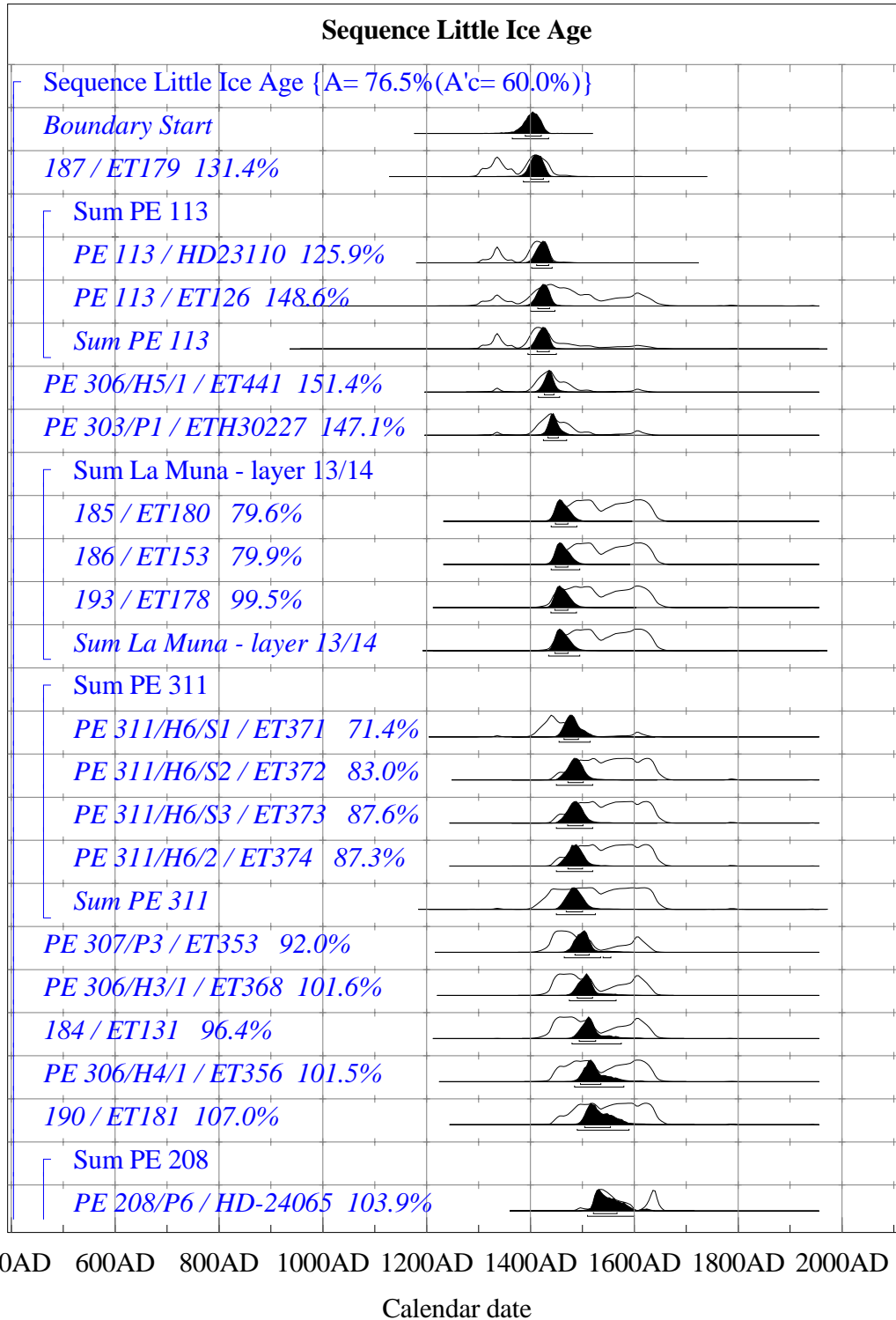
## TEIL 1

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



**TEIL 2**

Atmospheric data from Stuiver et al. (1998); OxCal v3.8 Bronk Ramsey (2002); cub r:4 sd:12 prob usp[chron]



# Lebenslauf

## PERSÖNLICHE DATEN

Geburtsdatum: 16.05.1978  
Geburtsort: Heidelberg  
Staatsangehörigkeit: deutsch

## AUSBILDUNGSDATEN

1988-1997 Gymnasium Sandhausen, Abitur : Abschlußnote 1,4  
1997-1999 Studium der Geologie an der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg,  
1999-2002 Fortsetzung des Studiums an der Universität (TU) Karlsruhe  
Hauptfächer: Hydrogeologie, Ingenieur-/Angewandte Geologie, Tektonik,  
Wasserchemie

Titel der Diplomarbeit: Europäische Erdbebenzone Golf von Korinth: Geologisch-  
hydrogeologische Untersuchungen in der Region Aigion, im Umfeld der kontinentalen  
Tiefbohrung AIG 10 (NW-Peloponnes, Griechenland)  
Diplomnote: 1,5 (sehr gut)

Akademischer Grad: Diplom-Geologe (Dipl.-Geol.)

2003- Promotionstelle an der Heidelberger Akademie der Wissenschaften,  
Arbeitsstelle Radiometrie, C14-Labor.

Titel der Dissertation: AMS-<sup>14</sup>C-Analysen zur Rekonstruktion der Landschafts- und  
Kulturgeschichte in der Region Palpa (S-Peru)

## AUSZEICHNUNGEN UND PREISE

1997 "Jugend forscht", Bundesvierter im Fachgebiet Geo- u. Raumwissenschaften.  
1998 "Wilke-Preis" für die wissenschaftl. Veröffentlichung eines jungen Autors.

## STIPENDIEN

1999-2002 Stipendiat der Friedrich-Naumann-Stiftung  
2003- Stipendiat des „International Postgraduate Programme (IPP) - "Geofluids,  
Gases and Aerosols in System Earth", gefördert von DAAD und DFG an der  
Universität Heidelberg.

## MITGLIEDSCHAFTEN UND AKTIVITÄTEN

2000-2003 Student Member der Society of Economic Geologists (SEG)  
seit 2000 Studentenmitglied der deutschen Quartärgesellschaft (DEUQUA)  
seit 2001 Gründungsmitglied des Vereins „Homo heidelbergensis von Mauer e.V.“  
2003/04 Beirat im Vorstand  
seit 2003 Mitglied des Jungforschernetzwerkes JuFORUM e.V.  
2004 - Organisation des „5. Deutschen Jungforscher Congresses“, Heidelberg  
seit 2004 Mitglied der Gesellschaft für Naturwissenschaftliche Archäologie (GNAA)

**Erklärung gemäß § 8 (3) b) und c) der Promotionsordnung:**

- a) ich erkläre hiermit, dass ich die vorgelegte Dissertation selbst verfasst und mich keiner anderen als der von mir ausdrücklich bezeichneten Quellen und Hilfen bedient habe,
- b) ich erkläre hiermit, dass ich an keiner anderen Stelle ein Prüfungsverfahren beantragt bzw. die Dissertation in dieser oder anderer Form bereits anderweitig als Prüfungsarbeit verwendet oder einer anderen Fakultät als Dissertation vorgelegt habe.

Heidelberg, im Januar 2006

---