Die Entleerung des Staubeckens Ova Spin

Geologischer Massenumsatz im Flussbett und Geochemie der Ablagerungen im Staubecken Ova Spin

Benjamin U. Müller, Marc Rolli & Christian Schlüchter
Geologisches Institut - Quartärgeologie
Universität Bern
Baltzerstrasse 1
CH - 3012 Bern

31. März 1996

Inhalt:

Zusammenfassung

1. Auftrag und Problemstellung

2. Ausgeführte Arbeiten

3. Frühere Berichte und verwendete Unterlagen

4. Lithologie und Geochemie der Ablagerungen im Staubecken Ova Spin und im Spöl

    4.1. Abschätzung der Sedimentmengen im Staubecken Ova Spin
        a. Feinkörnige Sedimente
        b. Die Deltas von Ova Spin, Spöl und Ova dal Fuorn

    4.2. Lithologie und Mineralogie der Lockergesteine
        a. Kastengreiferproben
        b. Kolbenlotkerne

    4.3. Geochemie

    4.4. Spurenelemente

    4.5. Die Ablagerungen im Spöltal
        a. Flussgeologische Kartierung
        b. Volumen

5. Massenumsatz der Spülung 1995

    5.1. Messmethodik
    5.2. Materialaustrag
        a. Spöltal
        b. Staubecken Ova Spin

    5.3. Sedimenttransport und Sedimentablagerung
        a. Gemessener Sedimenttransport während der Spülung-
        b. Sedimentakkumulation

    5.4. Geologische Massen-Bilanz

    5.5. Zustand des Seegrundes und des Flussbettes nach der Spülung

6. Geochemische und physikalische Verhältnisse während der Spülung

    6.1. Geruch
    6.2. pH
    6.3. Leitfähigkeit
    6.4. Redoxpotential
    6.5. Temperatur

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Anhänge

Anhang 1: Photodokumentation

Anhang 2: Flussbettkartierung 1: 5000

Anhang 3: Übersichtspläne Ausgleichsbecken Ova Spin / Spölschlucht

Anhang 4: Querprofile Spöl Nr. 1 - 11 und 21 - 24

Anhang 5: Gesamtmineralogie der Kerne OSK-2, OSK-3 und OSK-4

Anhang 6: Geochemie der Kerne OSK-2, OSK-4 und OSK-5

Anhang 7: Analysedaten Spurenelemente

Anhang 8: Korngrössenanalysen Ova Spin und Spöl

Anhang 9: Diagramm Leitfähigkeit und Abfluss / Zeit

Figurenverzeichnis

Zusammenfassung

Im vorderen Teil des Staubeckens Ova Spin wurden feinkörnige Sedimente gefunden, die 10 bis 15 % organisches Material enthalten und in chemisch reduzierter Form vorliegen. Diese Sedimente enthalten neben Resten von Siedlungsabfällen teilweise Schwermetalle in anthropogen angereicherten Mengen. Die mineralischen Anteile der stärker organischen Lagen weisen auf eine dominante Herkunft dieser Ablagerungen aus dem Oberengadin und evtl. aus dem Tal von Livigno hin.

Zusammensetzung und Herkunft der organisch belasteten Sedimente im Staubecken Ova Spin erklären sich aus der hydrographischen Lage dieses Ausgleichsbeckens. Dort werden in einem bescheidenen Nutzvolumen von 6.24 Mio. m^3 grosse Wassermengen umgesetzt. Einerseits sind dies zwischen 5 und 43 m^3/sec aus dem Inn bei Schanf, andererseits die gesamte Menge des turbinierten Wassers aus dem Livigno-Stausee mit 164 Mio. m^3 Nutzinhalt. Ein grosser Teil der suspendierten (teils organischen) Stoffe kann sich bei einer durchschnittlichen Aufenthaltsdauer des Wassers von 2 Tagen im Becken Ova Spin absetzen. Da der Nutzinhalt des Staubeckens Ova Spin jährlich ca. **170 - 175 mal umgesetzt** wird, sammelt sich dort in kurzer Zeit viel organisches Material am Seegrund an, sodass sämtlicher Sauerstoff gezehrt wird und sich während Phasen von verstärkter Zufuhr (Tourismus-Hochsaison ?) reduzierende Verhältnisse einstellen können.

Das von den EKW angewandte Konzept mit einer Vorpülung und einer nachfolgenden Hauptspülung hat das verfolgte Ziel erreicht. Die feinkörnigen Ablagerungen im Nahbereich der Staumauer Ova Spin sowie die kiesigen Auflandungen im Spölbett wurden vollständig entfernt, ohne dass über längere Zeit zu hohe Schwebstoffbelastungen im Wasser des Spöl aufgetreten sind. Das Spölbett wurde zwischen der Mauer von Ova Spin und der Brücke RhB zwischen 0.5 und 1 m tiefergelegt, und die zum Teil ausgedehnten Schuttfächer und Deltas wurden ausgeräumt. Die Sohle des Spöls wurde in diesem Bereich von den Korngrössen < 10 - 15 cm "gereinigt". Unterhalb der Brücke RhB blieb das Flussbett praktisch in seiner vorherigen Form erhalten. Es weist dort auch noch die typischen Kiesbänke auf, die vor der Spülung im ganzen Spöllauf zu finden waren. Ausser einer Ufererosion an der Abwasserleitung "Chesa Spöl" oberhalb der Holzbrücke und einer etwa 20 m langen Zone mit unterspültem Ufer bei Flusskilometer 0.55 traten mit der Uferstabilität - infolge der erfolgten Tiefenerosion - keine Probleme auf.

Die bei der Spülung insgesamt aufgetretenen Massenbewegungen liegen in der Grössenordnung von 150'000 - 200'000 m^3 Feststofffracht.

Die geochemischen Verhältnisse während der Spülung werfen einige Fragen auf, die weiterer Abklärungen bedürfen. So lassen starke Schwankungen im pH und dem Redoxpotential und der

anhaltende H_2S-Geruch während der Spülung, auf nicht zu vernächlässigende Abbaureaktionen im Wasser schliessen.

Das Verhältnis von Wassermenge zu transportierter Feststofffracht beträgt für das ganze Spülereignis rund 50, dies ergibt eine durchschnittliche Feststofffracht von etwa 2 Volumenprozent. Die Schmelz-/Hochwasserereignisse, welche den Schuttfächer des Spöls im oberen Zernezerbecken zu Ende der letzten Eiszeit aufgebaut haben, müssen aufgrund des ursprünglich grösseren Schuttfächergefälles noch mehr Feststoffracht mit sich geführt haben. Die letzten morphogenetisch aktiven Hochwasserereignisse im Postglazial waren (aufgrund der kartierten Erosionsterrassen im oberen Teil des Schuttfächer), wie das Spülereignis vom Sommer 1995, erosiv. Sie führten also ähnlich viel oder eher weniger Feststofffracht mit sich.

1. Auftrag und Problemstellung

Für die geplante Spülung des Ausgleichsbeckens Ova Spin der Engadiner Kraftwerke (EKW) sollten, neben einer Erfolgskontrolle im eigentlichen Staubecken, die Auswirkungen eines künstlich ausgelösten Hochwasserereignisses auf den Spöl unterhalb der Staumauer Ova Spin untersucht werden. Die Wissenschaftliche Nationalparkkommission (WNPK) initiierte ein multidisziplinäres Untersuchungsprogramm mit Prof. C. Schlüchter (Quartärgeologie, Geologisches Institut der Universität Bern) als Berater für den Fachbereich "Geologie", in Absprache mit den EKW und den kantonalen Stellen.
Die geologischen Hauptprobleme beim geplanten wasserbaulichen Eingriff waren die Erodierbarkeit und die Stabilität der Sedimente im Staubecken und der Massenumsatz im talwärtigen Flussbett. Dort musste mit einer beträchtlichen Aufarbeitung von akkumuliertem Sediment jeglicher Korngrösse aus dem nun seit 20 Jahren "hydraulisch beruhigten" Spölbett gerechnet werden. Erfahrungen, die anlässlich der Spülung des Grundablasses Punt dal Gall im Jahre 1990 gemacht worden waren, liessen eine nur unvollständige und vor allem kleinräumige Verlagerung der auszuspülenden Sedimente im talwärtigen Flussbett erwarten. Flussbauliche Aspekte - wie seitliche Erosion und Verlagerung der Gerinne - sollten ebenfalls berücksichtigt werden, da bei der geplanten Spülung mit einem maximalen Abfluss von 40 - 60 m^3/sec im Spölbett grundsätzlich mit aktiven Sedimentumlagerungen zu rechnen war.

Um Voraussagen über die Erodierbarkeit der Seesedimente im Stauraum zu machen, mussten die auszuspülenden Sedimente geotechnisch, und wie sich im Verlauf der Arbeiten gezeigt hat, auch chemisch charakterisiert werden. Eine möglichst präzise Kenntnis dieser Ablagerungen war notwendig, um die Auswirkungen des Spülereignisses auf den Unterlauf von Spöl und Inn

abschätzen zu können. Im Verlauf des Projekts ergab sich als neuer Untersuchungsfad die Notwendigkeit mineralogische und geochemische Analysen an den Seesedimenten durchzuführen, um den "human impact" auf die gefundenen Sedimentserien im Staubecken besser abschätzen zu können.

In Zusammenarbeit und im teilweisen Auftrag der EKW sowie der kantonalen Behörden wurde ein erstes Untersuchungsprogramm entwickelt, welches Aufschluss über Art, Zusammensetzung und Erodierbarkeit der Sedimente im Staubecken geben sollte.

Als weiteres Hauptziel dieser Untersuchungen sollte ein umfassendes Monitoring des Spülereignisses und dessen Auswirkungen auf den Spöl und seine Umgebung erstellt werden.

2. Ausgeführte Arbeiten

- Ausarbeitung eines Untersuchungsprogramms mit mehreren Besprechungen in Bern, Chur und im Engadin.

- Verschiedene Sediment-Probenahmen mit Kastengreifer und Kolbenlot im Staubecken Ova Spin.

- Geologische Detail-Kartierung des Spölbettes von Ova Spin bis zur Mündung in den Inn vor und nach der Spülung mit Probenahmen im Flussbett.

- Laboruntersuchungen an den entnommenen Sedimentproben aus Ova Spin und dem Spölbett (Korngrössenanalysen, lithologische Zusammensetzung, organische Gehalte und Plastizitätsversuche).

- Mineralogische und geochemische Spurenelementanalysen an Sedimenten aus dem Staubecken Ova Spin und an zwei Proben aus dem Spöltal (nur Mineralogie).

- Aufnahme und Vermessung von fünf neuen und allen bestehenden Spöl-Querprofilen (Amt für Flussbau) zwischen Ova dal Cluozza und dem Inn.

- Begleitung der Spülung im Juni/Juli 1995 mit halbstündlichen Messungen der Suspensionsfracht, von Wasserstand und Wasserchemie. Kontrolle der Uferstabilität und visuelle Erfolgskontrolle im leeren Staubecken.

- Erstellung eines Zwischenberichtes zuhanden der EKW im Herbst 1994.

- Auswertung und Darstellung der Untersuchungsresultate im vorliegenden Schlussbericht.

3. Frühere Berichte und verwendete Unterlagen

AMSTUTZ, et al. (1979): in: Diagenesis in Sediments ans Sedimentary rocks. Ed. G. LARSEN & G. CHILINGAR; Elsevier, Amsterdam.

ENGADINER KRAFTWERKE AG (1995): Bericht über die Spülung des Staubeckens Ova Spin vom 29. Juni bis 2. Juli 1995. Zernez, Oktober 1995.

CHURCH, M. & RYDER J. (1972): Paraglacial Sedimentation: A consideration of fluvial processes conditioned by glaciation. GSA Bulletin, Vol. 83: p. 3059-3072.

HYDRA (1995): Spülung des Ausgleichsbeckens Ova Spin 1995 - Begleitende Untersuchungen und Abschätzung der oekologischen Folgen im Spöl. Bericht zuhanden des Amtes für Umweltschutz Kanton Graubünden. Konstanz und Bern, November 1995.

MÜLLER, B. U. (1993): Zur Quartärgeschichte des Seeztales (Kt. St. Gallen). - Dissertation ETH-Nr.10184, 249 S.

MÜLLER, K. (1982): Die Bielerseesedimente 1878 - 1978. Dissertation Universität Bern. OFKO AG, Bern.

NRIAGU, J.O. (1994, Ed.): Arsenic in the environment - Part I: Cycling and Characterisation. Wiley & Sons, New York.

SCHLÜCHTER, Ch. & MÜLLER, B.U. (1994): Die Spülung des Staubeckens Ova Spin - Geologischer Massenumsatz und Flussbett. 1. Zwischenbericht, 19.10.1994.

VETTER, H. (1992): Quartär-, Aktuo- und Hydrogeologie im Val dal Spöl (Schweizerischer Nationalpark). Diplomarbeit ETH Zürich, Abt. XCa, 86 S.

WEDEPOHL, K. H. (1995): The composition of the continental crust. Geochim. Cosmochim. Acta 59: 1217 - 1232.

4. Lithologie und Geochemie der Ablagerungen im Staubecken Ova Spin und im Spöl

Um eine Prognose für die zu erwartenden geologischen Vorgänge während der Spülung zu erstellen, sollten die Sedimente im Staubecken Ova Spin und im talwärtigen Flusslauf möglichst genau charakterisiert werden. Dabei ging es einerseits um die Bestimmung der vorhandenen Volumina, andererseits - vor allem im Staubecken - um die Mineralogie und den Chemismus der Ablagerungen.

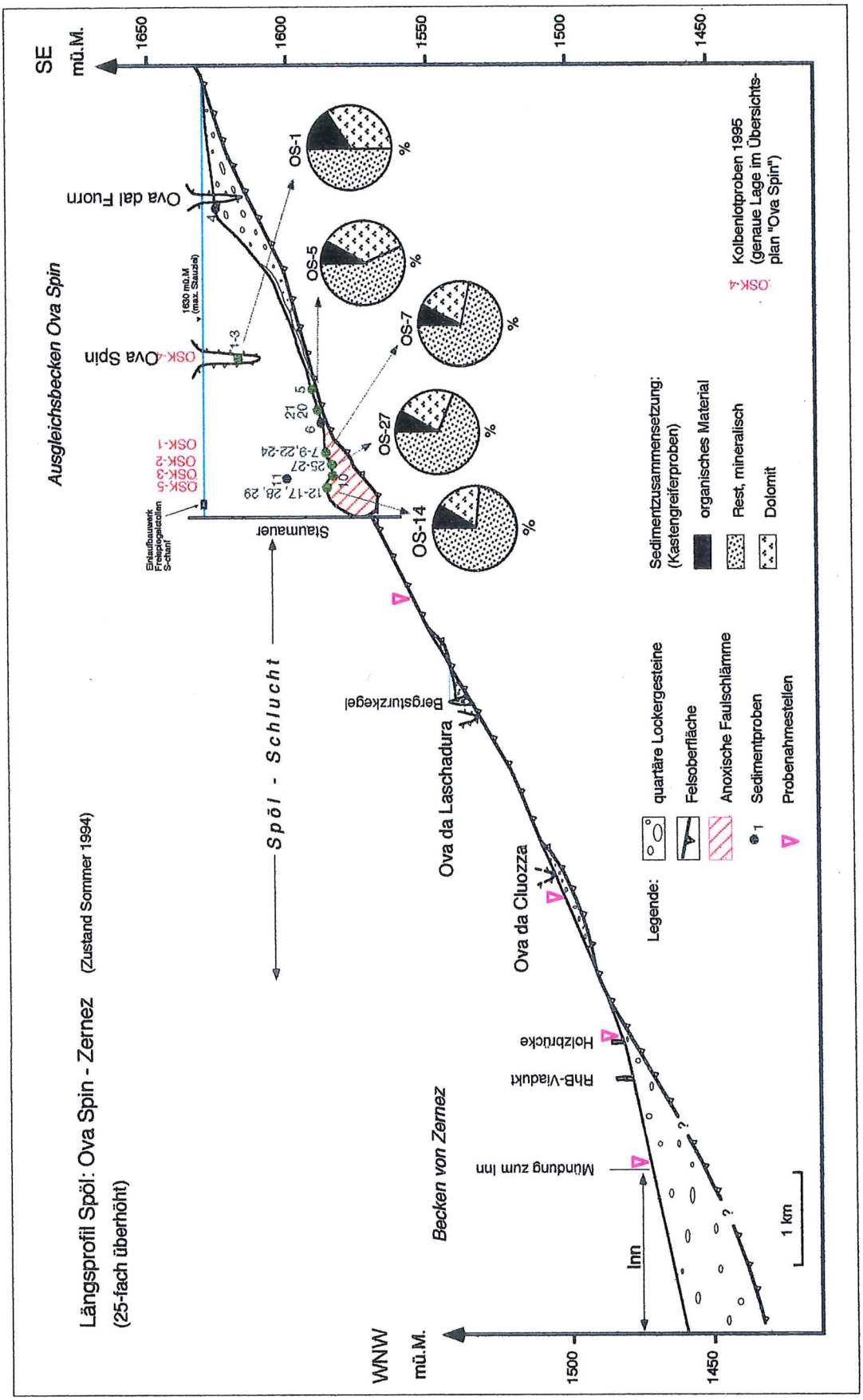
4.1 Abschätzung der Sedimentmengen im Staubecken Ova Spin

a. Feinkörnige Sedimente

Der vordere Teil des Staubeckens Ova Spin, zwischen der Staumauer und der Einmündung von Ova Spin, muss aufgrund von Transportmodellen und Faziesüberlegungen vor allem mit feinkörnigem Material gefüllt sein. Es handelt sich um die distalen Anteile (Suspensionsfracht) des vom Ova Spin, dem Spöl und dem Fuornbach in den See geschütteten Materials. Dazu kommen von den Einleitungen an der Staumauer und über den Freispiegelstollen Schanf feinste Suspensionsanteile, die mit dem Innwasser transportiert werden und die schwimmfähigen (organischen ?) Feststoffanteile aus dem Wasser des Livigno-Stausees.
Das Volumen dieser feinkörnigen Ablagerungen im vorderen Seeteil wurde von den EKW aufgrund der alten Seebodentopographie und Echolotuntersuchungen auf total etwa 100'000 m^3 geschätzt. Wird aber in Betracht gezogen, dass sich der Bereich mit feinkörnigen Sedimenten bis fast zur Mündung von Ova Spin hinzieht (siehe Figur 1), dürfte sich die Menge dieser Ablagerungen vor der Spülung auf etwa 150'000 bis 200'000 m^3 belaufen haben.

b. Die Deltas von Ova Spin, Spöl und Ova dal Fuorn

Die Abschätzung der Volumina des abgelagerten Materials im hinteren Seeteil gestaltete sich bedeutend schwieriger, da dort keine Echolotdaten zur Verfügung standen. Eine überschlagsmässige Rechnung konnte aber aufgrund der angetroffenen Wassertiefen bei der Probenahme mit dem Kastengreifer gewagt werden (siehe auch Figur 1). Danach müssten sich im hinteren Seeteil und im subaquatischen Delta von Ova Spin zusätzlich noch etwa 300'000 bis 500'000 m3 gröbkörnige Ablagerungen befunden haben.



Figur 1: Längsprofil durch Ova Spin und das Spöltal bis zum Inn

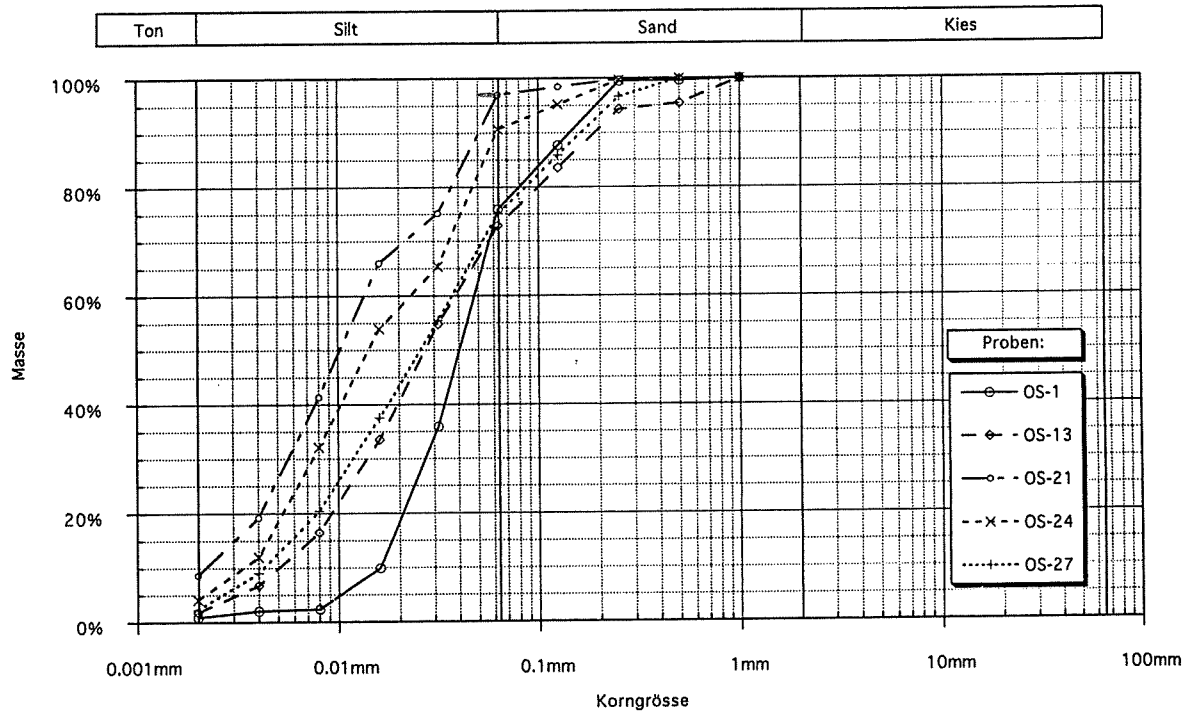
4.2. Lithologie und Mineralogie der Lockergesteine

Infolge der unterschiedlichen Resultate der beiden Probenahmekampagnen (Kastengreifer / Kolbenlot) sollen die Analysen daraus getrennt besprochen werden.

a. Kastengreiferproben

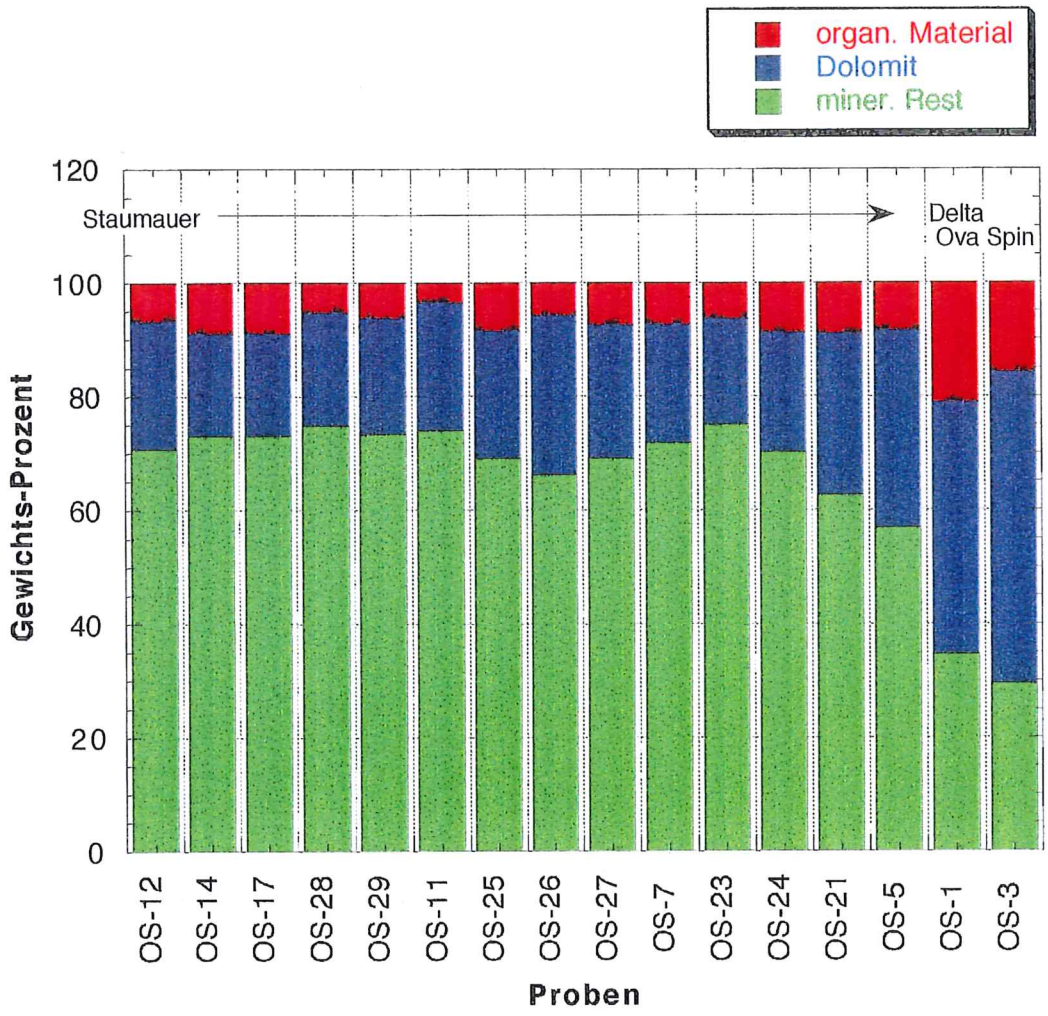
In zwei Kampagen (16.5./6.6.1994) wurden total 27 Kastengreiferproben vom Grund des Ausgleichsbeckens Ova Spin entnommen (Figur 1). Bei der Entnahme der ersten Probenserie (OS-1 bis OS-17) wurde offensichtlich, dass die Eindringtiefe des Gerätes bei Wassertiefen > 20 m nicht genügte. Es wurde vermutlich meist nur etwas Sediment von der Oberfläche zusammengekratzt, wie die oft zu kleinen Probemengen zeigten. Nach einem Umbau des Gerätes konnten dann in der zweiten Probenahme bessere Proben mit teilweise noch intakten, verschiedenfarbigen Laminationen gewonnen werden. Allerdings erschwerten in die feinkörnigen Seeablagerungen eingestreute Steine und über dem Grund treibendes Holz immer wieder die Probenahme. Während beiden Probekampagnen wurden jeweils auch Proben für das Amt für Umweltschutz (AfU) in Chur genommen. Eine erste Staffel Proben wurde dem AfU Mitte Mai 1994 überbracht.

Einige typische, statistisch genügende Proben sind in Figur 2 dargestellt. Die Kornsummenkurven aller weiteren analysierbaren Proben sind in Anhang 8 beigefügt. Die restlichen Proben wiesen für eine Korngrössenanalyse im Schlämmzylinder nicht genügend Material auf. Sie wurden gesiebt (> 250µm) und visuell nach Makroresten durchgesehen.



Figur 2: Typische Kornsummenkurven der Sedimente im vorderen Seeteil von Ova Spin

Die mineralogische Zusammensetzung und der Anteil an organischem Material wurde mit Coulomat-Analysen ermittelt. Eine Auswahl von Proben aus verscheidenen Seebereichen ist in Figur 1 mit Kuchendiagrammen dargestellt. Figur 3 zeigt alle analysierbaren Proben in Form eines schematischen Längsprofils durch den See von 250m hinter der Staumauer bis vor das Delta der Ova Spin. Die letzten zwei dolomitreichen Proben mit einem hohem Anteil an organischem Material stammen direkt aus dem Delta der Ova Spin. Die Verteilung der organischen Substanz in den Proben vom Seeboden (alle ausser OS-1,OS-3 und OS-11) folgt keinem eindeutigen Trend, höchstens eine schwache Zunahme gegen den hinteren Seeteil. Dagegen nimmt der Dolomitanteil klar gegen die Seewurzel hin zu, was noch deutlicher wird, wenn die Proben aus dem Delta der Ova Spin dazugenommen werden (OS-1 und OS-3).



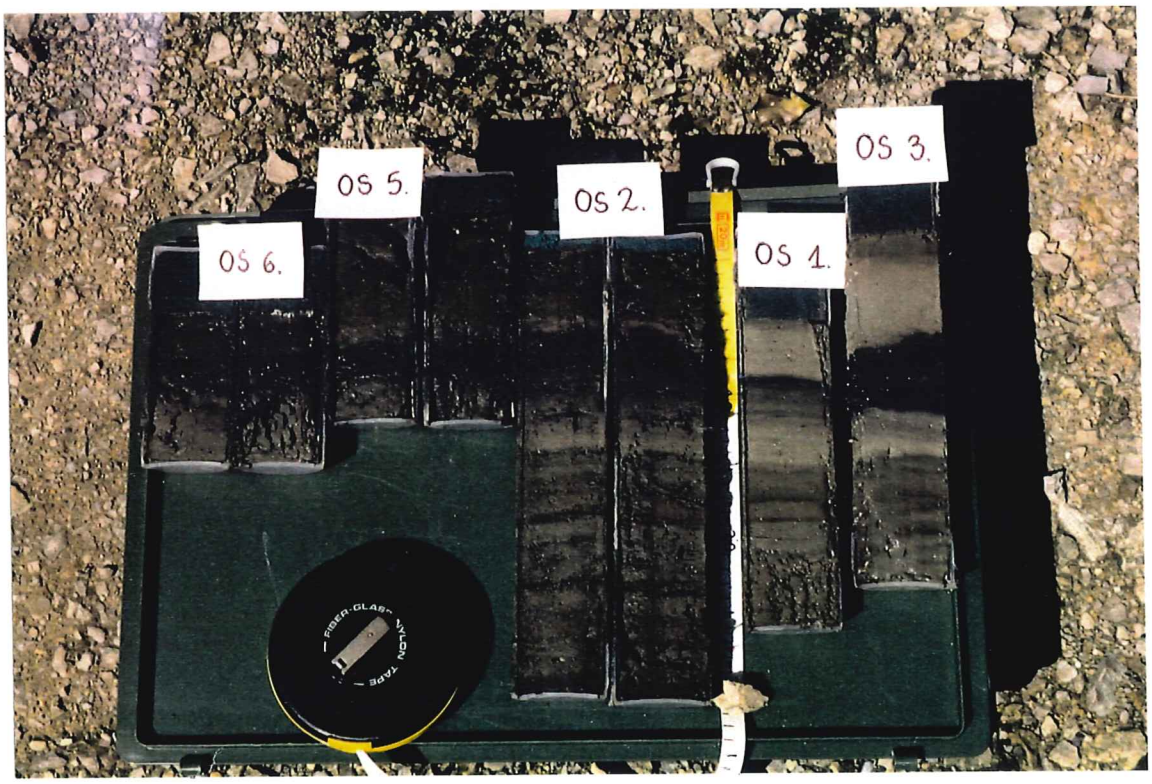
Figur 3: Lithologien der Kastengreiferproben aus Ova Spin

Interpretation

Von der Seewurzel und von der Ova Spin her wird offensichtlich mehr lokales, dolomitisches Material in den See geschüttet, während der mineralische Anteil in den Sedimenten im vorderen Seeteil dem Oberengadin mit seinen kristallinen Gesteinen zugeordnet werden kann. Dieses

Material gelangt über den Freispiegelstollen Schanf ins Ausgleichsbecken Ova Spin. Eine solche Interpretation wird auch durch grosse Mengen von Glimmer in den grobkörnigeren Fraktionen dieser Proben unterstrichen.

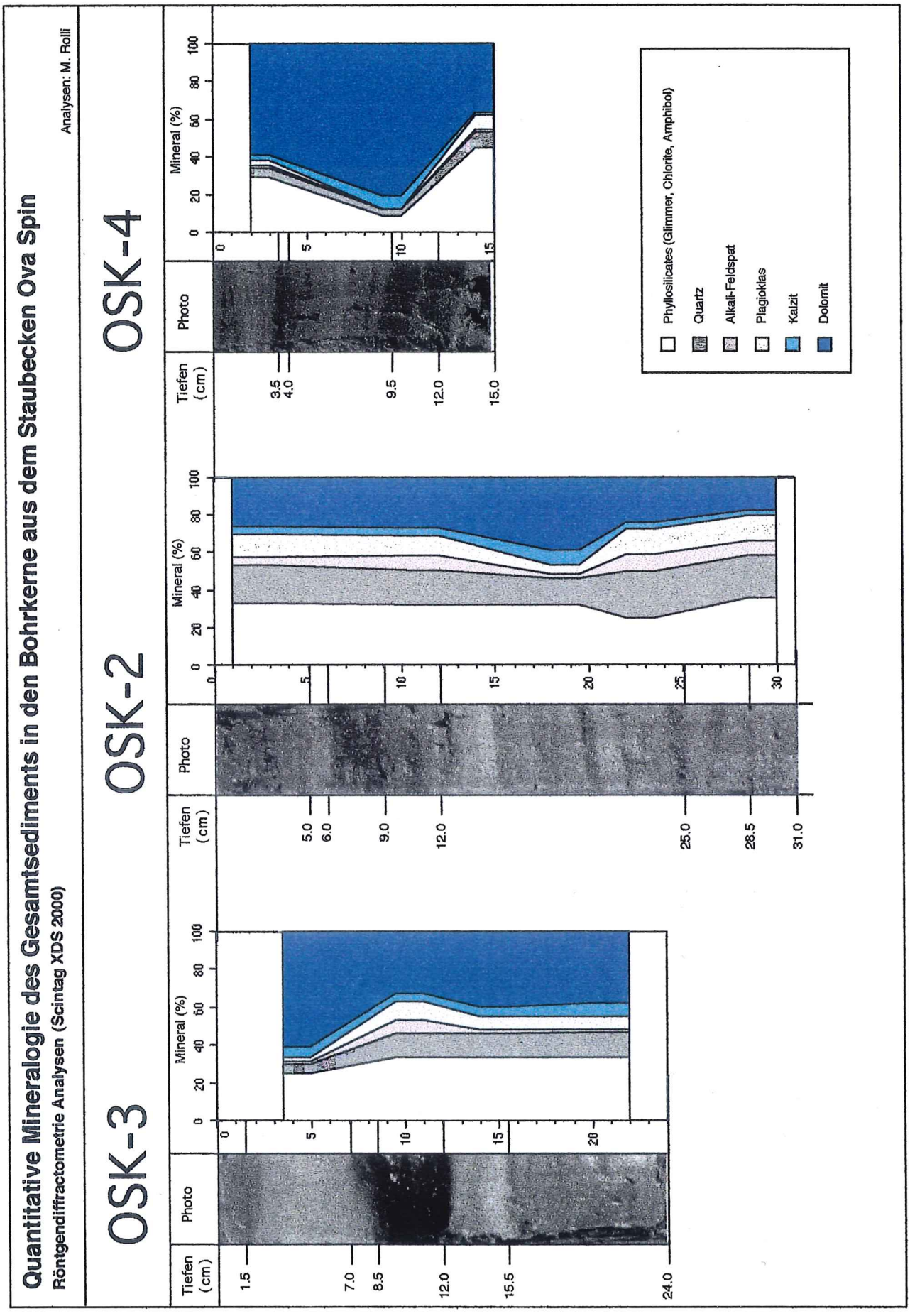
Auf den ersten Blick mögen die hohen organischen Anteile in den Proben des Deltas der Ova Spin (OS-1, OS-3) erstaunen. Bei einer Schlämmung dieser Sedimente wurde aber deutlich, dass es sich um Lagen von pflanzlichen Resten (Lärchennadeln usw.) handelt, während bei den Proben vom Seegrund eindeutig anthropogene Komponenten, wie Textilfasern, Plastikreste usw. in den organischen Lagen zu finden sind. Im Unterschied zu den Proben aus dem Delta der Ova Spin (Wassrtiefe 7m), ist in den Proben vom Seeboden auch kein Sauerstoff mehr vorhanden, was sich im gülleartigen Gestank bei der Probenahme äusserte. In den Sedimenten am Seegrund findet also mangels Sauerstoff kein weiterer Abbau der organischen Anteile statt, während der Biodetritus in den Deltasedimenten von Ova Spin unter Sauerstoffzufuhr im untiefen, gut durchmischten Wasser noch weiter zersetzt wird.



Figur 4: Kernphoto Ova Spin

b. Kolbenlotkerne

Nachdem die zweite Probenahmekampagne mit dem Kastengreifer grau-schwarz laminierte Sedimente zutage gefördert hatte, sollten mit einem Kolbenlot der Universität Neuenburg (Groupe Limnocéane) längere (bis max. 2), ungestörte Kerne gezogen werden, um das Ablagerungsmilieu im Staubecken Ova Spin besser verstehen zu können.



Figur 5: Gesamtmineralogie der Kerne OSK-2, OSK-3 und OSK-4 im Vergleich

Anlässlich der Probenahmekampage vom 21. Mai 1995 zeigte es sich aber, dass es mit dem Kolbenlot eher noch schwieriger war, Kerne zu bergen, da das abgesunkene Treibholz und die einzelnen, im feinkörnigen Sediment "schwimmenden", grösseren Steine das Kolbenlot immer wieder aus der Vertikalen ablenkten, oder es am tieferen Eindringen in die Sedimente hinderten. Trotzdem konnten aber insgesamt 6 Kernstücke von maximal 31 cm Länge gehoben werden (siehe Figuren 4 & 5 und Übersichtsplan 1:10'000 Anhang 3). Überraschenderweise, und im Gegensatz zu den Kastengreiferproben, waren in diesen Kernen nur einige schwarze (organische ?) Lagen vorhanden und graue Lagen (mineralische ?) dominierten. Die Analyseresultate von Proben aus den Kernen OSK-2, OSK-3 und OSK-4 werden im folgenden dargestellt und interpretiert.

Die Mineralogie des Gesamtsediments wurde an 12 Stichproben aus den Kernen 2, 3 und 4 mittels Röntgendiffraktometrie (Scintag XDS 2000) bestimmt. Die Darstellungen der Grundlagendaten der Kerne 3, 4 und 5 sind im Anhang zu finden. Eine zusammenfassende Darstellung der Resultate ist in Figur 5 zu finden. Die dargestellten Kurven stellen prozentuale (Volumen-) Abschätzungen dar, errechnet aus den Bruttointensitäten der Diffraktions-peaks (cpm = counts per minute) der einzelnen Minerale. Es ist augenfällig, dass sich die Karbonate gegenläufig zum Rest der bestimmten Mineralien aus den kristallinen Gesteinen verhalten. Die Probe zwischen 18 und 19.5 cm (OSK-2) enthält deutlich mehr Dolomit und Kalzit auf Kosten der kristallinen Anteile (Quarz, Feldspat, Amphibole, Glimmer usw.). Dieser Abschnitt im Kern, mit verschiedenen sandigeren Lagen, belegt eine Schüttung aus dem hinteren Seeteil, bzw. von der Ova Spin, während alle anderen Proben im Kern grössere Anteile aus dem kristallinen Einzugsgebiet des Oberengadins enthalten. In absoluten Werten ausgedrückt enthalten die Proben mit höherem Kristallinanteil rund 20% Quarz und 20 % Feldspäte, 30% Karbonat (Calcit und Dolomit), sowie etwa 30 % Glimmer, Chlorit und Amphibole. Die mineralische Substanz einer Probe wird hier mit 100 % gleichgesetzt, organisches Material ist nicht berücksichtigt.
Kern OSK-3 (380 m hinter der Mauer geborgen) zeigt ebenfalls eine starke Variation im Mineralgehalt. Die auffällig schwarz gefärbte Lage zwischen 8.5 und 12 cm (Figur 4) besteht neben viel organischem Material (siehe Abschnitt Geochemie) vor allem aus kristallinem Detritus. Die Karbonatewerte sind in dieser Lage im Kern auf ein relatives Minimum abgesunken.
Kern OSK-4 (Delta Ova Spin) sollte vor allem als Referenzprofil dienen, wo die Sedimente möglichst unbeeinflusst von den Einträgen aus dem Freispiegelstollen Schanf und dem Livignosee sein müssten. Es fanden sich dort erwartungsgemäss keine schwarzen, organischen Lagen (Figur 4) und die Mineralogie der Ablagerungen ist von den lokal anstehenden Karbonaten dominiert. Zwei weitere Analysen aus dem unteren, grobkörnigeren Teil des Deltas der Ova Spin sind im "Übersichtsplan Ova Spin" in Anhang 3 dargestellt. Sie zeigen ebenfalls deutlich die Dominanz des lokalen karbonatdominierten Einzugsgebietes dieses seitlichen Zuflusses zum Staubecken Ova Spin.

Interpretation

Der Vergleich zeigt deutlich die beiden sich verfingernden Einzugsgebiete, aus denen Sedimente ins Staubecken Ova Spin eingebracht werden. Das organische Material am Grund des Staubeckens stammt hauptsächlich aus dem Oberengadin und wird über den Freispiegelstollen Schanf eingetragen. Ein gewisser Teil dieser organischen Komponenten (soweit schwimmfähig) dürfte auch aus dem Livignosee stammen. Die mineralische Phase aus diesem Einzugsgebiet spielt infolge der langen Absetzzeiten im See von Livigno als Sedimentbildner im Staubecken Ova Spin kaum eine Rolle.

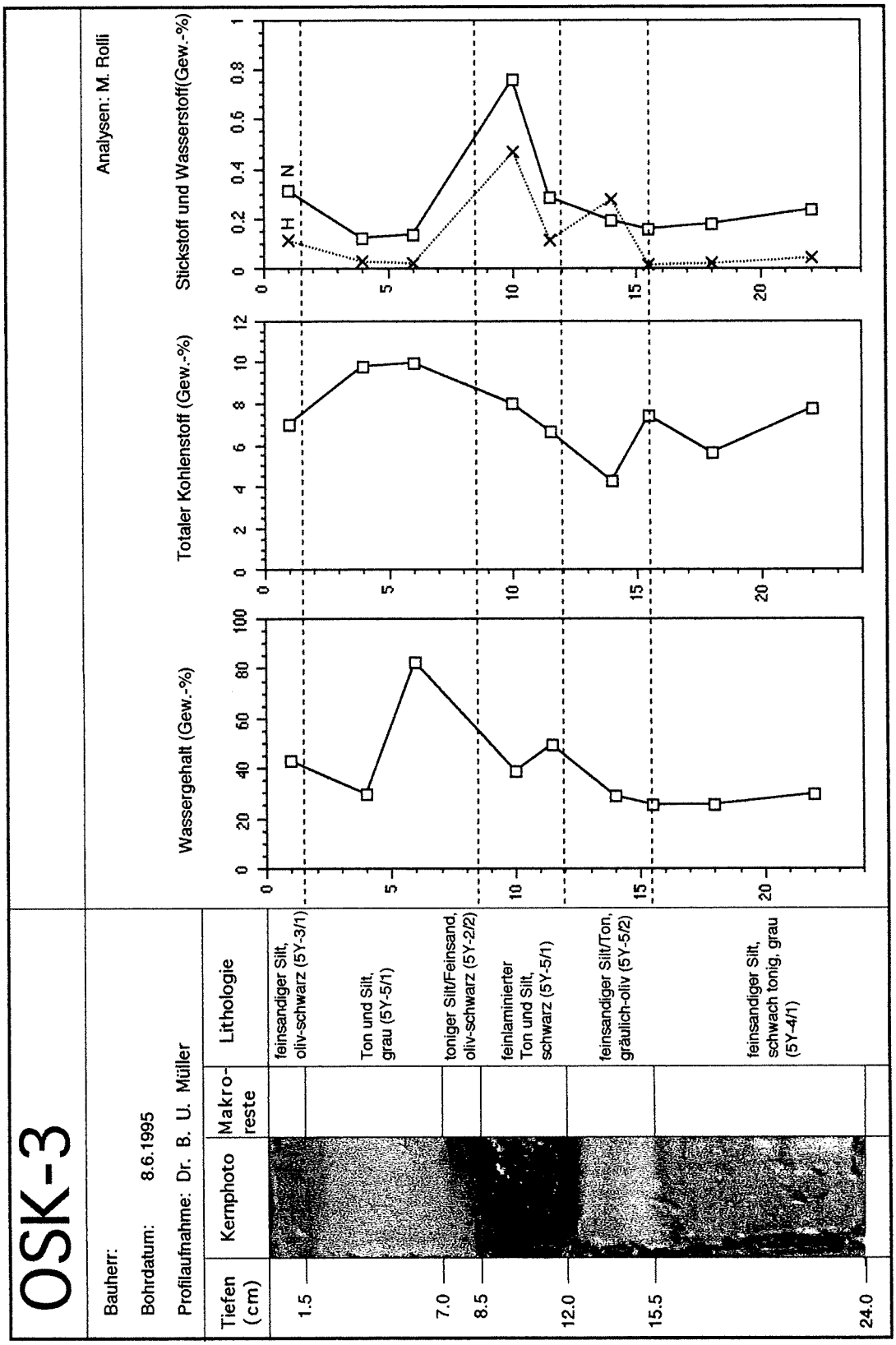
Wieso sahen die Sedimente ein Jahr später anders aus ?

Nur an der Probenahmemethode kann dies nicht gelegen haben. Es müssen also sedimentologische und milieubedingte Gründe vorliegen. Möglicherweise beobachten wir im Staubecken Ova Spin eine ausgesprochene Saisonalität der Ablagerungen oder aber eine Ereignislaminierung. Typische Sommer/Winterlagen sind in unseren kurzen Kernen nicht auszumachen. Die Sedimentationsraten liegen mit 30 - 60 cm / Jahr viel zu hoch. Die gefundenen dunklen Lagen sind nur etwa 2 - 4 cm mächtig und entsprechen also eher einzelen Ereignissen oder kürzeren Ablagerungszyklen. Im Jahr 1994 trafen wir mit der Probenahme im Frühsommer möglicherweise einen Zeitpunkt mit nur kleiner Zufuhr an organischem Detritus aus dem Oberengadin, verdünnt mit viel Mineraldetritus bedingt durch die hohe Wasserführung während der Schneeschmelze. Die tiefschwarzen Lagen mit hohem organischem Anteil werden möglicherweise im Winter (Tourismushochsaison im Oberengadin), bei stark reduzierter Wasserführung abgelagert. In Figur 4 ist zu sehen, dass die dunkelsten Lagen (Winter 94/95 ?) in den drei Kernen aus dem vorderen Seeteil bereits durch hellere (dominant mineralische) Ablagerungen überdeckt sind.

4.3. Geochemie

Zusätzlich zur Bestimmung der Gesamtmineralogie wurden vom vorhandenen Kernmaterial auch an 30 Proben der totale Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff und der Wassergehalt bestimmt.Profil OSK-3 ist in Figur 6 dargestellt, um einen Vergleich mit der vorher beschriebenen Gesamtmineralogie (Figur 5) machen zu können. Bei dieser Art der Analyse zeigt die Höhe des Wasser- und des Stickstoffgehalts zusammengenommen die Menge organischen Materials an (siehe auch Geochemie OSK-2 und OSK-5, in Anhang 6). Der totale Kohlenstoff widerspiegelt vor allem die Variationen im Karbonatgehalt und nur untergeordnet den organischen Kohlenstoff. Wie aus Kern OSK-3 ersichtlich ist, stimmt die empirische Annahme, dass die schwarze Farbe (frühdiagenetisch gebildete Sulfide ?) einzelner Lagen in den Kernen, anoxische Zonen mit

angehäuftem organischen Material darstellen. Eine Erscheinung, die auch in anderen anoxischen Seesedimenten schon beschrieben worden ist (MÜLLER, 1993).



Figur 6: Kern OSK-3: Geochemie

Die chemischen Verhältnisse zur Bildung dieser Schwefelverbindungen müssen reduzierend sein. Der pH muss zwischen 4 und 10 liegen, und der Eh (Elektronenaktivität) muss negativ sein (AMSTUTZ et al. 1979), und es muss freier Schwefel vorhanden sein. Solche Verhältnisse stellen sich beim Abbau von organischem Material ohne Sauerstoff ein. Es gibt aber offenbar auch Bereiche in den Kernen, die zwar ebenfalls viel organisches Material enthalten (in Kern OSK-4), ohne dass es dabei zur Bildung von Sulfiden gekommen wäre.

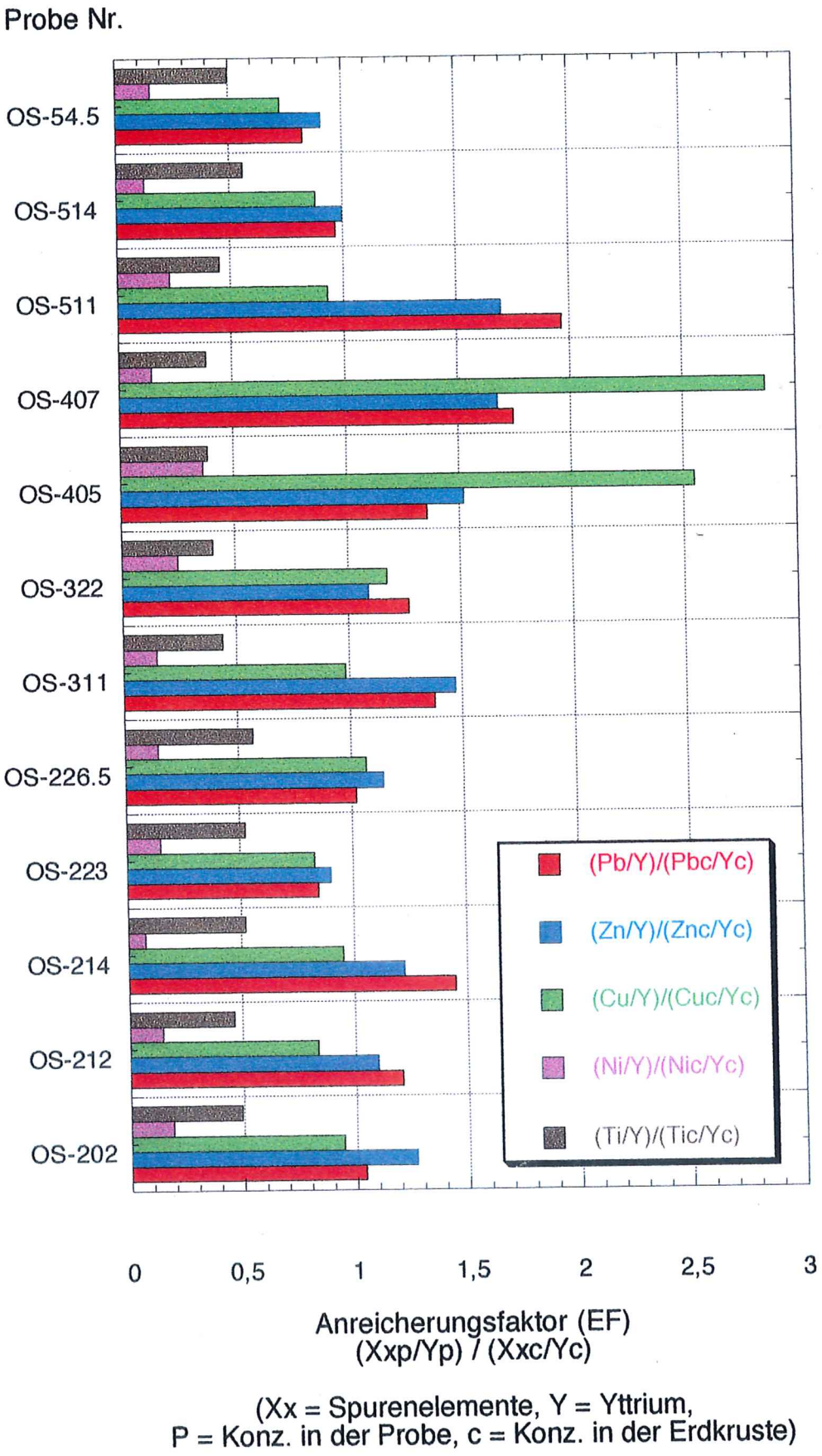
4.4. Spurenelemente

Mit dem Ziel, in den Ablagerungen im vorderen Seeteil anthropogen angereicherte Spurenelemente (u.a. Schwermetalle) zu suchen, wurden insgesamt 12 Stichproben aus 4 Kernen (OSK-2, 3, 4 und 5) auf Titan, Mangan, Eisen, Nickel, Kupfer, Zink, Gallium, Arsen, Brom, Rubidium, Strontium, Yttrium, Blei und Thorium analysiert (siehe Tabelle "Spurenelemente" im Anhang 6). Generell haben wir festgestellt, dass die Konzentrationen der meisten gemessenen Elemente kleiner ist als die natürlichen Durchschnittswerte in der (kristallinen) Erdkruste (nach WEDEPOHL, 1995). Der Vergleich ist in Figur 7 tabellarisch dargestellt.

	Element	Konz. OS.total (% v. Kruste)	Konz. OS ohne OSK-4 (% von OS.tot)	Konz. OSK-4 (% v.Kruste)	Konz. OS-min (% v. OS.tot)	Konz. OS511 (% v.Kruste)
0	Titan	41.0	112.6	15.1	26.2	61.8
1	Mangan	51.6	109.4	27.3	40.1	73.5
2	Eisen	42.0	109.1	22.9	40.1	72.2
3	Nickel	14.8	109.0	8.7	48.0	31.8
4	Kupfer	88.6	103.0	75.6	80.4	127
5	Zink	109.3	108.4	63.1	38.9	232
6	Arsen	1526	102.0	1370.6	72.1	2790
7	Brom	270.0	103.0	235	62.5	590
8	Yttrium	89.2	111.0	38.9	31.3	137
9	Blei	111.0	109.0	62.5	34.1	268

Figur 7: Vergleich der geogenen Hintergrundwerte mit den Spurenelementkonzentrationen in den Ablagerungen des Staubeckens Ova Spin.

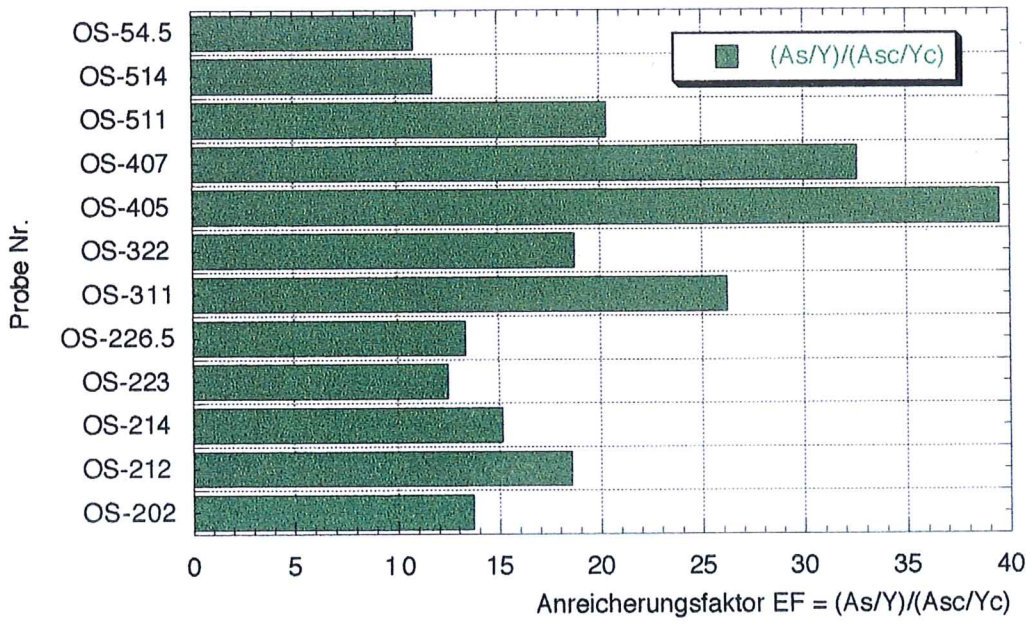
In Figur 7 sind die Krustenkonzentrationen, die Durchschnittskonzentrationen aller Proben aus Ova Spin, die Konzentrationen im Referenzkern OSK-4, sowie die Konzentration in der am stärksten organisch belasteten Probe OS-511 dargestellt. Kern OSK-4, der aus dem Delta von Ova Spin stammt (Proben OS-407 und OS-405), enthält erwartungsgemäss von den meisten Elementen um einen Faktor 2 - 3 weniger als der Durchschnitt aller Proben aus Ova Spin. Nur gerade Arsen, Brom und Blei sind gegenüber den Krustenwerten schwach angereichert.
Kern OSK-4 dient uns deshalb als Standard für den geogenen Hintergrund des engeren Spöl-Einzugsgebietes. Im seitlich gelegenen Delta der Ova Spin sollte der Einfluss des Innwassers und des aus dem Livignosee stammenden Wassers minimal sein, da die Strömung dort gegen die Seemitte gerichtet ist und die Ablagerung des Deltas heute rund 35 - 40 m über dem eigentlichen Seegrund stattfindet. In den Deltasedimenten sollte neben dem natürlichen Gehalt der Gesteine im Einzugsgebiet also nur der Einfluss atmosphärischer Deposition und eventuell ein kleiner Eintrag von Spurenelementen aus der Strassenwasser-Kanalisation der Ofenpassstrasse messbar sein.



Figur 8: Anreicherungsfaktoren einiger Spurenelemente an Proben aus dem Staubecken Ova Spin

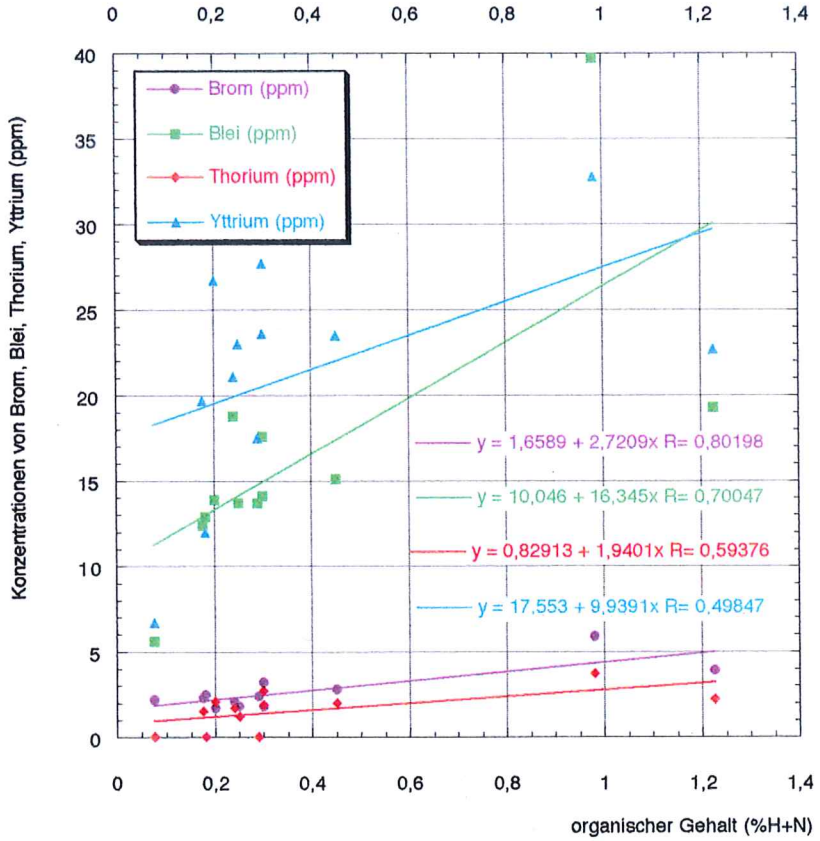
In Figur 8 sind die Anreicherungsfaktoren (EF = enrichment factor) der wichtigsten, normalerweise anthropogen angereicherten Spurenelemente Pb, Zn, Cu und Ni dargestellt. Die messbaren Anreicherungen sind aber sehr klein oder sogar negativ (Faktor 0.3 bis 2.8). Als Vergleichswert dient bei der Berechnung des EF die Konzentration von Yttrium, einem Element, welches vom Menschen kaum umgesetzt wird und deshalb auch heute noch in seiner natürlichen (krustalen) Häufigkeit vorkommt. Um die analytische Genauigkeit zu prüfen, wurde in Figur 8 auch Titan (oft auch als Referenzelement gebraucht) mit Yttrium normiert (braune Balken). Titan ist im Vergleich zu normalen Krustenwerten um rund 50 % abgereichert. Der Schwankungsbereich von EF (0.35 bis 0.55) ist relativ gering, die Analytik muss demzufolge in korrekt gewesen sein. Eine noch stärkere Abreicherung kann für Nickel (violette Balken) beobachtet werden, einem Element, welches heute in unserer Umwelt vor allem lokal (Industrie) angereichert vorkommen kann.

Die Anreicherungsfaktoren von Blei und Zink sind ebenfalls auf einem so tiefen Niveau, dass zuerst mit einen Analysenfehler gerechent werden musste. Blei ist zum Beispiel in schweizerischen Hochmoortorfen heute etwa 300-fach angereichert verglichen mit dem Krustenverhältnis Pb/Sc (W. SHOTYK, mündl. Mitt.) und grösstenteils an organisches Material gebunden. In den Sedimenten des Bielersees (MÜLLER, 1982) war Blei schon im Jahr 1878 stärker antropogen angereichert als heute im Staubecken Ova Spin. Gleich hohe anthropogene Anreicherungen wie heute in Ova Spin können bei Kupfer und Zink im Sediment des Bielersees schon zu Ende des letzten Jahrhunderts beobachtet werden. Rezente Werte liegen im Bielersee auf einem 2 - 3-fach höheren Niveau. Im Staubecken Ova Spin dagegen, bewegen sie sich auch heute noch bei Werten die im Bereich des geogenen Hintergrundes (für kristalline Kruste) anzusiedeln sind.



Figur 9: Anreicherungsfaktoren (EF) von Arsen in den Sedimenten aus dem Staubecken Ova Spin

Einzig für Arsen (Figur 9) ergeben sich grössere Anreicherungsfaktoren (EF = 11 - 39.5). Die Sedimente des Referenzkerns OSK-4 mit seinem ausser der Ofenpassstrasse zivilisatorisch unberührten Einzugsgebiet, weisen die beiden höchsten Werte auf. Dies zeigt, dass die natürliche geochemische Zusammensetzung der im Einzugsgebiet anstehenden Sedimente, die im Staubecken zur Ablagerung kommen, über einzelne der anthropogen zugeführten Schwermetalle dominiert. Dies wiederum muss auf die sehr hohen Ablagerungsraten von ca 0.1 - 0.6 m (!) pro Jahr im Ausgleichsbecken von Ova Spin zurückgeführt werden. Die grossen Mengen von lokalem (vor allem karbonatischem) Gesteinsmaterial mit offenbar sehr tiefen Werten für Titan, Eisen und Nickel, andererseits aber hohen Gehalten an Arsen und Brom (?) ergeben diese unerwartet, von normalen "modernen" Seesedimenten, abweichenden Spurenelement-Konzentrationen in den Ablagerungen von Ova Spin.



Figur 10: Diagramm organische Gehalte im Sediment gegen Spurenelemente

Für relative Vergleiche ist die Berechnung von Anreicherungsfaktoren in unserer Betrachtung hilfreich (Figur 8): ohne die Proben OS-405 und OS-407 mit ihrer speziellen Herkunft (kleinere Sedimentationsraten, andere Sedimentzusammensetzung) ist ein direkter Zusammenhang zwischen dem Gehalt an organischem Material und der Höhe der Anreicherungsfaktoren festzustellen. Da im Abschnitt Mineralogie/Geochemie die Herkunft des Hauptanteils an organischer Substanz dem Innwasser (und damit dem Oberengadin) zugeordnet werden konnte, gilt dies folglich auch für die typischerweise anthropogen angereicherten Spurenelementen. Am deutlichsten zeigt sich dieser Zusammenhang bei Probe OS-511, der schwärzesten organischen Lage in allen unsern Kernen.

Schon in der prozentualen Statistik (Figur 7) fallen die erhöhten Werte von OS-511 auf. In Figur 10 ist der Zusammenhang zwischen dem organischen Gehalt der Proben (relative Skala, Daten aus den geochemischen Messwerten für N und H) und dem Gehalt an einigen Spurenelementen dargestellt. Die Korrelation der Messwerte mit den einzelnen Regressionsgeraden ergibt bei Blei, Brom und Thorium eine recht gute Übereinstimmung (siehe R-Werte am Schluss der dargstellten Formeln). Die Qualität der Regression bei Thorium leidet vermutlich etwas unter der Nähe der gemessenen Werte zur Nachweisgrenze. Thorium wird nachgewiesenermassen an organisches Material gebunden, ein Umstand der zur Datierung von Torfen mit der Uran/Thorium-Verhältnisse genutzt wird. Als Gegensatz zu Blei, Brom und Thorium wurde Yttrium dargestellt, wo die Korrelation bedeutend schlechter aussieht. Hier widerspiegeln die vorliegenden Konzentrationen also tatsächlich die Verteilung des Elements in der Kruste. Eisen, als häufigstes der analysierten Elemente (siehe Anhang) zeigt auf einem viel höheren Konzentrationsniveau dasselbe Verhalten wie Yttrium. Es kommt ebenfalls weitgehend unabhängig von der Verteilung der organischen Sustanz im Sediment vor.

Interpretation

Die Berechnung von Anreicherungsfaktoren von Schwermetallen im Staubecken Ova Spin ergibt infolge der enorm hohen Sedimentationsraten keine verlässlichen Werte, die den Vergleich zu anderen limnischen Systemen zulassen würden. Es kann aber eine Anreicherung proportional zum organischem Gehalt der Probe beobachtet werden. Einige der am stärksten angereicherten Elemente (z.B. Pb, Br) sind in den organischen Lagen am höchsten angereichert. Eine genauere Berechnung der Anreicherungsfaktoren würde umfangreiche Messungen an den lokalen Gesteinen erfordern, um so die regionalen, geogenen Hintergrundkonzentrationen zu bestimmen. Zusätzlich sollten auch Analysen an Wasserproben im Zufluss und Abfluss des Staubeckens gemacht werden um eine Bilanzierung der wirklich im Stauraum verbleibenden Spurenelemente anstellen zu können. Um trotzdem einen Vergleich mit anderen rezenten Seesedimenten anstellen zu können, sollen im folgenden Abschnitt Frachtberechnungen für einige "kritische", also normalerweise anthropogen angereicherte Elemente gemacht werden.

Spurenelementfrachten im Ausgleichsbecken Ova Spin

Für Frachtberechnungen im Staubecken von Ova Spin sind einige Annahmen notwendig. Das in die Rechnung einfliessende Sedimentvolumen setzt sich zusammen aus den Schätzungen der EKW und den Zahlen im vorliegenden Bericht. Nicht berücksichtigt wurden die grobkörnigen Ablagerungen in der Seewurzel, von denen keine Analysen vorliegen.

- Abgeschätztes Volumen an feinkörnigen Sedimenten vor der Spülung: 150'000 m^3.

- Der durchschnittliche Wassergehalt aus 30 Proben beträgt 30 % und kann für unsere Abschätzung mit der Porosität gleichgesetzt werden. Effektiv lagen im Staubecken Ova Spin also etwa 105'000 m^3, bzw. 285'000 Tonnen feinkörnige Trocken-Sediment.

- Die Dichte der Trockensubstanz variiert aufgrund von fünf an den Sedimenten durchgeführten Pyknometermessungen zwischen 2.56 und 2.87 g/m^3. Der Durchschnitt liegt bei 2.72 g/cm^3.

- Die Zeit, in der diese Sedimente abgelagert wurden, beträgt rund 24 Jahre (Eröffnung des Kraftwerkes am 1.10.1970).

Der durchschnittliche Sedimentrückhalt im Staubecken Ova Spin beträgt demzufolge 11875 t/Jahr. Bei einer durchschnittlichen Wasserzufuhr von etwa 1 Mia. m^3 / Jahr ins Staubecken ergibt dies eine durchschnittliche Schwebstoffkonzentration von rund 4 x 10^{-3} cm^3 /Liter Wasser, (bzw. von 0.004 ml / Liter) Wasser. Dieser Wert liegt aufgrund der Nullmessungen im Spöl (siehe Abschnitt 5) eher zu tief. Die Menge an Sediment im Staubecken Ova Spin wird in unseren Abschätzungen also tendenziell eher unterschätzt. Verfälschend wirkt sich bei dieser Rechnung aber auch aus, dass bei einer durchschnittlichen Aufenthaltszeit des Wassers im Staubecken von 2 Tagen nicht die ganze Schwebstofffracht abgesetzt wird.

Bei den gemessenen durchschnittlichen Spurenelement-Konzentrationen (Figur 7) aller analysierten Proben vom Seegrund (ohne OS-405 und OS-407) ergibt dies die folgende jährliche Ablagerung an Schwermetallen im Ausgleichsbecken von Ova Spin:

-Nickel: 107 kg
-Kupfer: 271 kg
-Zink: 914 kg
-Blei: 212 kg

und von weiteren Spurenelementen:

-Brom: 33 kg
-Arsen: 314 kg (wohl zumeist geogener Herkunft in den fossilführenden Formationen (Raibler-Fm. ?) der Engadiner Dolomiten)

Wie gross ist nun der anthropogene Anteil an diesen Ablagerungen ?. Da noch keine geogenen Hintergrundwerte der lokalen Gesteine bekannt sind, kann dieser Anteil nur grob abgeschätzt werden. Die minimalen gefundenen Konzentrationen jedes Elements wurden als "geogen" angenommen und mit den Durchschnittskonzentrationen aller Proben aus Ova Spin verglichen (siehe Figur 11). Aus der Differenz ergibt sich der anthropogene Anteil der Spurenelementdeposition im Staubecken Ova Spin. Aus dieser Abschätzung ergeben natürlich sich

nur Minimalwerte für den anthropogenen Anteil der gemessenen Schwermetalle in den Sedimenten von Ova Spin. Die atmosphärische (ebenfalls anthropogene) Deposition wird so leider vernachlässigt, ebenso wird der sicher überall im See vorhandene Einfluss des zum See zugeführten "Fremdwassers" vom Inn unterschätzt.

	Element	Konz.OS.tot (ppm)	Konz.OS-min (ppm)	Konz.OS-min (%vonOS.tot)
0	Titan	1649	432	26.2
1	Mangan	369.3	148.0	40.1
2	Eisen	18172	7358	40.1
3	Nickel	8.3	4.0	48.0
4	Kupfer	22.1	17.8	80.4
5	Zink	70.9	27.6	38.9
6	Arsen	25.9	18.7	72.1
7	Brom	2.7	1.7	62.5
8	Yttrium	21.4	6.7	31.3
9	Blei	16.4	5.6	34.1

Figur 11: Abschätzung des anthropogenen Anteils an der Schwermetallbelastung im Staubecken Ova Spin

Die minimale antropogene Deposition von Schwermetallen im Staubecken Ova Spin pro Jahr beträgt:

- Nickel: 52 % von 107 kg: **56 kg/Jahr**
- Kupfer: 20 % von 271 kg **54 kg/Jahr**
- Zink: 61 % von 914 kg **558 kg/Jahr**
- Blei: 66 % von 212 kg **140 kg/Jahr**

Wird dieser jährliche, anthropogene Eintrag auf die See-Fläche umgerechnet, kann ein Vergleich mit den Frachtberechnungen von MÜLLER (1982) für den Bielersee gemacht werden. Bei einer Seefläche Ova Spin von nur 0.32 km^2 erhalten wir folgende Ablagerungsraten:

-Zink: 1744 kg/km^2 (Bielersee 1974 - 1977: 534 kg/km^2)

-Blei: 438 kg/km^2 (Bielersee 1974 -1977: 148 kg/km^2)

-Kupfer: 169 kg/km^2 (Bielersee 1974 - 1977: 137 kg/km^2)

Die Belastungen für Zink und Blei im Sediment, bezogen auf die Seefläche, sind also im Staubecken Ova Spin knapp 3 mal, für Kupfer knapp 1.5 mal höher als im Bielersee ! Erstaulich sind diese hohen Werte vor allem für das Blei, wenn man bedenkt, dass die Siebzigerjahre den Höhepunkt der Bleiemmissionen in der Schweiz darstellten. So wurden 1975 (zur Zeit der Entstehung der hier angeführten Bielerseesedimente) rund 1500 t Blei pro Jahr in die Umwelt

abgegeben, im Jahre 1994 (vermutliches Alter der Sedimente in Ova Spin) waren es hingegen nur noch knapp 300 t.

Bezieht man die jährlichen Spurenelement-Frachten auf die Fläche des Einzugsgebiets ergeben sich wesentlich geringere Werte für das Ausgleichsbecken Ova Spin:

Einzugsgebiet Staubecken Ova Spin:	1010.5 km^2 (inkl. Oberengadin)
Einzugsgebiet des Bielersees:	8266 km^2 (MÜLLER, 1982)

Jährliche Fracht pro km^2 Einzugsgebiet:

- Zink:	550 g/km^2 Einzugsgebiet	(Bielersee: 2.5 kg/km^2)
- Blei:	139 g/km^2 Einzugsgebiet	(Bielersee: 702 g/km^2)
- Kupfer:	53 g/km^2 Einzugsgebiet	(Bielersee: 653 g/km^2)

So betrachtet, liegen die Frachten im Staubecken Ova Spin, und damit im hochalpinen Erholungsraum Engadin ca. 4 -12 mal niedriger als im stark industrialisierten Einzugsgebiet der Aare. Es ergibt sich bei dieser Annahme aber die Unsicherheit, dass nicht das ganze Innwasser nach Ova Spin umgeleitet wird, sondern nur ein variabler Anteil. Wird bei dieser Abschätzung auch der Bevölkerungsdichte (Zahlen aus dem statistischen Jahrbuch der Schweiz 1994) Rechnung getragen, ergibt sich eine Belastung mit Schwermetallen der zwei Seen auf Einwohner umgerechnet:

Ova Spin:	1010.5 km^2 x 25.2 Einwohner/km^2	=	25'465 Einwohner
Bielersee:	8266 km^2 x 174 Einwohner/km^2	=	1'438'284 Einwohner

- Zink: 558 kg / 25'465	=	22 g Zn/Einwohner und Jahr (Bielersee: 14.6 g)
- Blei: 140kg / 25'465	=	5.5 g Pb/Einwohner und Jahr (Bielersee: 4.0 g)
- Kupfer: 54 kg / 25'465	=	2.1 g Cu/Einwohner und Jahr (Bielersee: 3.75 g)

Eine andere Möglichkeit, die Schwermetallfrachten der beiden Seen zu vergleichen, ist über den jährlichen Wasserzufluss, das heisst für den Bielersee = 7.6 Mia m^3/Jahr,

und für das Staubecken Ova Spin = 1.1 Mia m^3/Jahr

Für Zink ergibt das bei 558 kg / 1.1 Mia m^3 noch 0.51 g/1000 m3 (Bielersee: 2.7 g / 1000 m^3).

Das Wasser, welches ins Staubecken Ova Spin gelangt ist somit nach diesen Überschlagsrechnungen nur gut fünf mal weniger mit Zink belastet als es die Zuflüsse des Bielersees zwischen 1974 und 1977 waren.

4.5. Die Ablagerungen im Spöltal

Um die Sedimentmenge abzuschätzen, welche während der vorgesehenen Vorspülphase aus dem Spöltal aufgearbeitet werden könnte, wurde der gesamte Spöllauf im Massstab 1 : 5000 kartiert (Anhang 2).

a. Flussgeologische Kartierung

Vor der Spülung wurde der ganze Flusslauf, die unmittelbar angrenzenden Ufer und die unteren Teile der begrenzenden Steilufer aufgenommen. Im Sinne einer einfachen, prozessbezogenen Kartierung wurden nur wenige geologische Einheiten ausgeschieden. Zum besseren Verständnis der Karte im Anhang 2 folgen hier einige Anmerkungen:

- Der anstehende Fels wurde lithologisch nicht gegliedert, sondern einheitlich in Rot dargestellt. Die Lockergesteine im Bachbett und seiner näheren Umgebung wurden nach Korngrössen, bzw. nach der Genese unterschieden, dies wurde kartographisch nur mit Signaturen ausgedrückt. Mit der Farbgebung der einzelnen unterscheidbaren Einheiten wurde die "Erodierbarkeit der Sedimente" ausgedrückt. Kriterien für diese Einstufung waren der Vegetationsbewuchs, die Exposition im Flussbett und die Art und Lagerung der jeweiligen Sedimente. Gelb bedeutet generell eine gute Erodierbarkeit bei erhöhter Wasserführung (Spülung, natürliches Hochwasser). Dieselben Signaturen mit hellgrüner/hellbrauner Farbe hinterlegt bedeuten eine reduzierte Erodierbarkeit, das heisst stärkeren Vegetationsbewuchs, dichtere Lagerung oder teilweise sogar eine Zementierung der Lockergesteine im und am Bachbett.

- Das Flussbett wurde generell als leicht erodierbar eingestuft, weil sich dort in den letzten 20 Jahren bei "beruhigtem" Spöl beträchtliche Sedimentmengen abgelagert haben, welche nicht oder nur spärlich bewachsen sind. Dies gilt speziell für den Schluchtbereich des Spöls, das Mündungsgebiet des Cluozzabaches und die weitverbreiteten Kiesbänke im Spöl unterhalb der Einmündung des Cluozzabaches.

- In hellblau und dunkelgrün wurden ältere, erosiv gebildete Lockergesteinsterrassen in den Ablagerungen des Zernezerbeckens auskartiert. Violett erscheinen die künstlichen Auffüllungen und Schüttungen.

- Als Besonderheit muss ein offenbar in jüngerer Zeit niedergegangener Bergsturz erwähnt werden, der etwa 150 m oberhalb der Mündung der Ova da Laschadura die Spölschlucht

blockiert. Eine grobblockige Sturzmasse von etwa 10 m Höhe staut in der Schlucht einen etwa 300 m langen See auf. Dieser See dürfte bei der Spülung als wichtige Sedimentfalle gewirkt haben, da dort vermutlich der grösste Teil der remobilisierten grobkörnigen Sedimente aus dem oberen Teil der Spölschlucht sedimentierte. Allerdings waren durch das zahlreiche hinter dem Bergsturz aufgestaute Stammholz bei einer Weiterverfrachtung Probleme bei der Holzbrücke nicht auszuschliessen. (Photodokumentation im Anhang 1).

Ein weiteres Ziel der Kartierung war es, die Stabilität der Uferböschungen des Spöls in seinem Unterlauf zu beurteilen. Nach unserer Einschätzung lag die mit Abstand kritischste Stelle in einem Prallhang ca. 200m unterhalb der RhB-Brücke, wo das Ufer bereits vor der Spülung leicht erodiert war und die Strasse nur ca. 1.5 m neben der Uferlinie verläuft (siehe auch Spöl-Querprofil Nr. 6 im Anhang 3).

Die 4 Tage nach dem Ende der Spülung ausgeführte Nachkartierung des Spöltales wird hier nicht dargstellt. Es kann aber festgehalten werden, dass der gesamte obere Teil des Spöllaufes bis zur RhB-Brücke durch die Spülung vollständig von Kiesbänken und Auflandungen befreit worden ist. Sämtliche, auch die bewachsenen Schuttfächer in der Spölschlucht wurden steil erodiert und der Schuttfächer des Cluozza-Bachs wurde vollständig ausgeräumt. In kleinen Arealen auf dem etwas erhöhten Ufer in der Spölschlucht wurden zu Ende der Spülung neue Hochflutsedimente abgelagert. Diese Resultate sind in verschiedene Bereiche des vorliegenden Berichts eingeflossen, so z. B. in die Berechnungen des aus dem Flussbett erodierten, bzw. darin akkumulierten Materials. Die wichtigsten Resultate fanden auch Eingang in den Abschnitt "Zustand des Seegrundes und des Flussbettes nach der Spülung".

b. Volumen

Es wurde infolge vieler nur schlecht bekannter Grössen darauf verzichtet, das Volumen des mobilisierbaren Sediments im Spölbett unterhalb Ova Spin zu berechnen. Eine grobe Abschätzung wurde aber trotzdem versucht. Das mögliche erodierbare Volumen setzte sich zusammen aus den meist kiesigen Ablagerungen im Flussbett und aus den sich in die Spölschlucht hinausbauenden Schuttfächern. Unter der Voraussetzung, dass eine Spülwassermenge von 60 m^3/sec eingespiesen würde, rechneten wir mit einer Tiefenerosion von ca. 0.5 m in der ganzen Spölschlucht bis etwa zur Mündung des Cluozzabachs. Von da an abwärts rechneten wir mit neutralen bis eher akkumulativen Verhältnissen. Dies ergab etwa 20'000 m^3 erodierbares Material, falls auch die grün auskartierten, bewachsenen Kiesbänke alle erodiert werden würden. Weitere 10'000 - 15'000 m^3 Schottermaterial lagen vor der Mündung des Cluozzabaches. Dazu kamen noch etwa 5000 m^3 Material in den 10 grössten Schuttfächern im Spöltal. Total musste also mit rund 40'000 m^3 remobilisiertem Material aus der Spölschlucht gerechnet werden. Ein Teil dieses Materials

müsste sich aber schon im kleinen See ablagert haben, der in der Schlucht hinter dem kartierten Bergsturz aufgestaut wird.

Diese Prognose zur Massenbilanz wird im nächsten Kapitel anhand der durchgeführten Messungen überprüft.

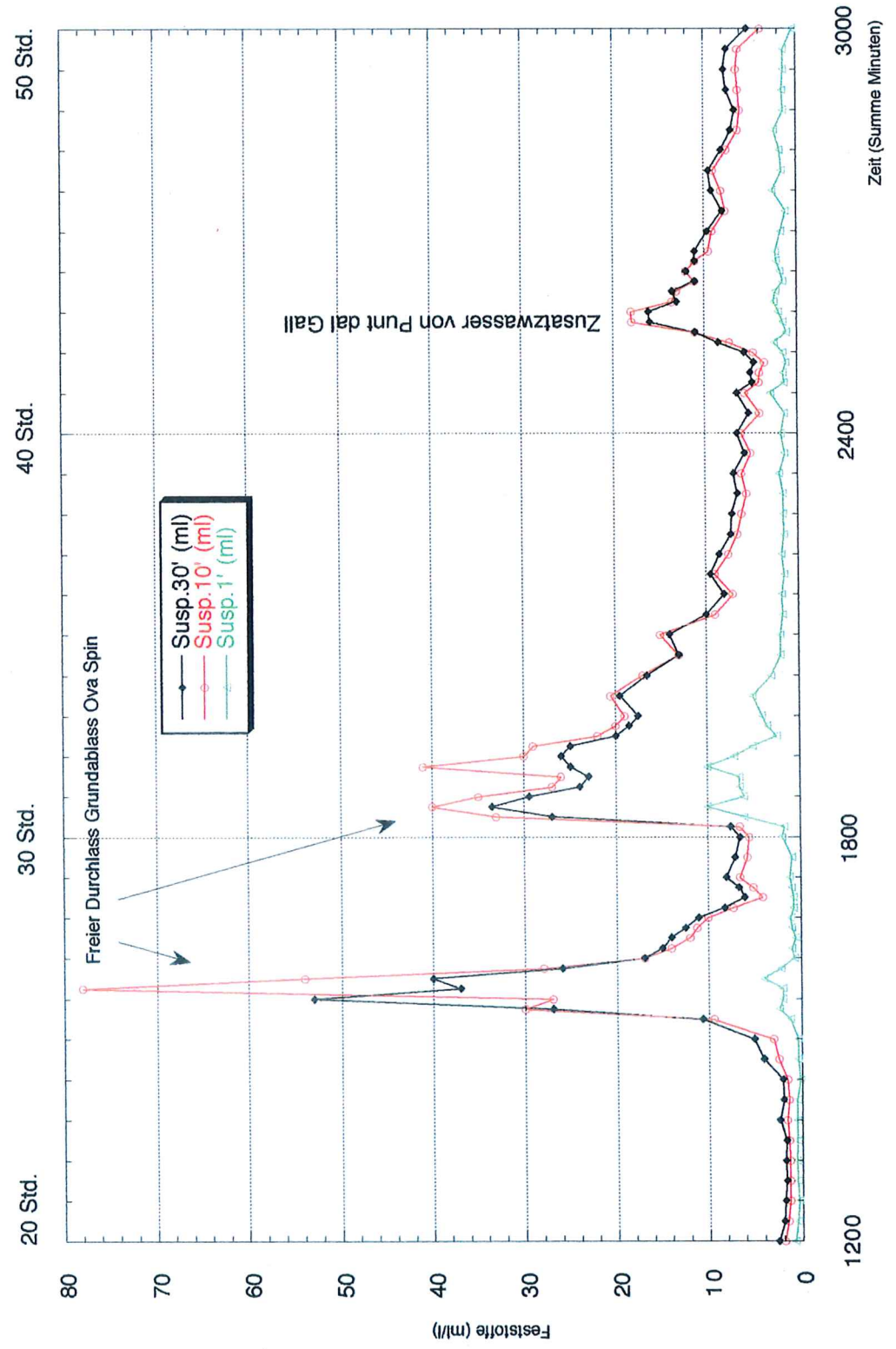
5. Massenumsatz der Spülung 1995

In diesem Kapitel soll versucht werden, aus den Beobachtungen und Messungen während und den nach erfolgter Spülung eine geologische Bilanz des Spülereignisses zu entwickeln. Dazu wird der Spülvorgang in zwei (bzw. drei) prozessorientierte Phasen bzw. Vorgänge unterteilt: 1. Materialaustrag, 2. Materialtransport und -ablagerung. Diesem Kapitel ist ein kurzer Abschnitt über die angewandten Messtechniken und Analysemethoden vorangestellt.

5.1. Messmethodik

Aus methodischen Gründen ist es bis heute noch nicht möglich, den gesamten Geschiebetrieb eines Hochwasserereignisses in einem natürlichen Gerinne direkt zu bestimmen. Dies kann nur indirekt, über eine Zustandserhebung des Gerinnes vor und nach dem Ereignis oder über Volumenbestimmungen in einem Geschiebesammler gemacht werden.
Im vorliegenden Fall konnte als Anhaltspunkt für die Aufarbeitung und den Transport von Feststoffen im Wasser nur die suspendierte Fracht gemessen werden. Dabei muss aber darauf geachtet werden, dass die Proben immer in etwa der gleichen Tiefe ab Grund genommen werden, um nicht Bodenfracht unter das suspendierte Material zu mischen. Bodenfracht ist der Teil des von einem Gewässer mitgeführten Materials, welcher sich im Grenzbereich zwischen Suspension und Ablagerung befindet und am Boden des Gerinnes eben noch so mitgeschleppt wird. Auch dieser Anteil an im Gerinne transportiertem Material kann nicht direkt gemessen, sondern allenfalls abgeschätzt werden.
Insgesamt wurden während der Spülung fünf Messstellen betrieben. Die Messwerte an den Stationen "Laschadura" und "Inn" wurden von den EKW erhoben, diejenigen bei der Station "Cluozza" von der Hydra. Die Gruppe der Universität Bern betrieb während der ganzen Spülung die Station "Holzbrücke" und zeitweise eine weitere Messstation an der "Spölmündung" zum Inn. Die Proben an der Station Holzbrücke wurden von der linken Ufermauer oberhalb der Brücke mit einem Schöpfgefäss entnommen. Sie wurden an Ort und Stelle sofort in den Imhoftrichter eingefüllt, um ein frühzeitiges Absetzen der Sandfraktion noch im Schöpfgefäss zu verhindern.

Ebenfalls am linken Ufer, ca. 10 m vor der Einmündung in den Inn, wurden die Proben der Messtelle "Spölmündung entnommen. Die abgesetzte Suspensionsfracht wurde nach 1, 5, 10, 20 und 30 Minuten abgelesen. Die nach einer Minute abgesetzte Fracht entspricht ungefähr der mitgeführten Sandfraktion (> 0.063 mm).



Figur 12: Ausschnitt aus dem Diagramm Absetzbare Suspensionsfracht nach 1, 10 und 30 Minuten an der Messtelle Holzbrücke

Die Werte nach 5, 10 und 20 Minuten ergeben die gröberen Siltfraktionen. Der Wert zu Ende der Messung nach 30 Minuten entspricht definitionsgemäss der gesamten absetzbaren Suspension, obwohl je nach Temperatur und Dichte der Suspension zu Anfang, nach einer halben Stunde noch nicht die gesamte Silt- und Tonfraktion abgesetzt ist. Versuche während der Spülung haben gezeigt, dass bei Absetzzeiten von bis 240 Minuten rund 25 - 30 % zusätzliche Suspension abgesetzt wird. In Wirklichkeit dürfte es sogar noch etwas mehr sein, da während dieser Zeit im abgesetzten Sediment Setzungen auftreten, die durch zusätzliches Material kompensiert werden. Insgesamt wird also die Suspensionsfracht durch die Messungen im Imhoftrichter um mehr als 25 % unterschätzt.

Überschreitet die Suspension eine gewisse Dichte (10 -15 ml Feststoff / Liter), sind die Werte nach 5, 10 und 20 Minuten offensichtlich zu hoch, da sich die Festsubstanz nicht genügend schnell absetzen kann und sich im Imhof-Trichter sehr dichte Suspensionen bilden, die noch nicht genügend entwässert sind. Die entsprechenden Resultate sind in Figur 12 dargestellt, wo die abgelesenen Suspensionswerte (nach 1, nach 10 und nach 30 Minuten) gegen die Zeit (zwischen 1200 und 3000 Minuten) aufgetragen sind. Deutlich kommen die "Maximalwerte" nach 10 Minuten Absetzzeit, während Phasen mit hoher Suspensionsfracht zum Ausdruck. Aus diesem Grund wurden für die Auswertung der Absetzmessungen nur der 1-Minuten und der 30-Minutenwert verwendet. Die absetzbare Suspension wird definitionsgemäss nach 30 Minuten gemessen, das heisst wir messen nicht die gesamte Suspension, sondern nur der Anteil der sich nach 30 Minuten am Grund des Imhof-Trichters abgesetzt hat.

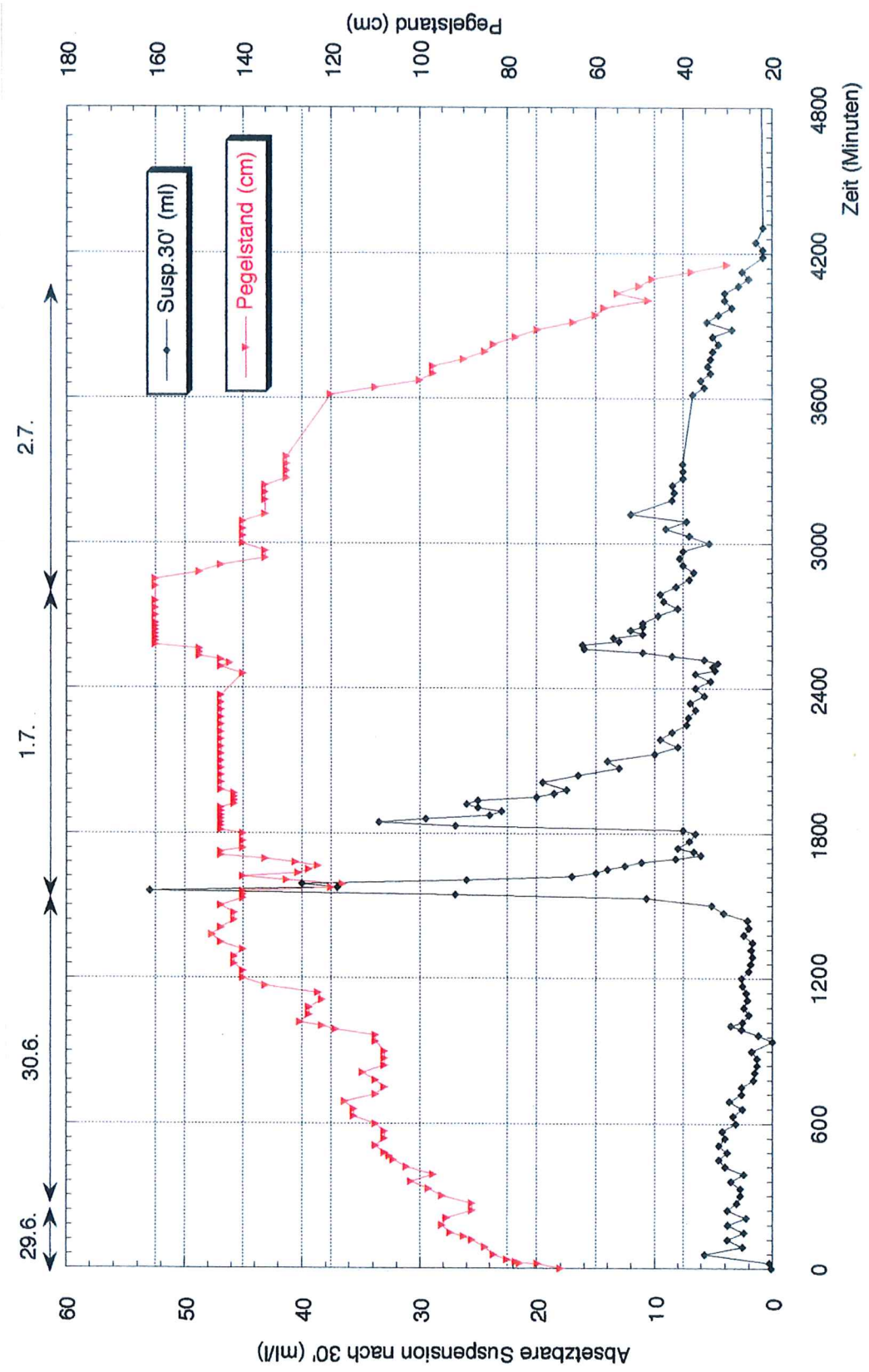
5.2. Materialaustrag

Die Phase des Materialaustrages wird zwecks besserer Übersichtlichkeit wiederum räumlich aufgeteilt auf die Vorgänge im unteren Spöltal, diejenigen im Staubecken Ova Spin und das oberhalb anschliessende Stück des Spöltales bis Punt dall Gall.

a. Spöltal

Der Sedimentaustrag aus dem Gerinne des Spöls begann unmittelbar nach der ersten Erhöhung der Dotierwassermenge ab Grundablass Ova Spin (GABOva Spin) am 29.6., um 18^{00} Uhr. Dies manifestierte sich bei der Messstelle Holzbrücke bereits um 19^{20} Uhr mit einer leichten Pegelerhöhung und einer Trübung des Wassers. Ein erster Peak in der Suspensionsfracht konnte um 20^{00} Uhr gemessen werden (Figur 13). Die gemessene Suspensionsfracht, die bis um 20 Uhr des folgenden Tages (30.6.) die Messstellen "Holzbrücke" und "Mündung Spöl" passierte, stammte wahrscheinlich ausschliesslich aus dem Spölbett, weil erst ab diesem Zeitpunkt der Seespiegel in Ova Spin so weit abgesenkt war, dass ein freier Durchlauf vom See durch den Grundablass gewährleistet war. Der dadurch ausgelöste massive Sedimentaustrag aus dem

Staubecken, zeigte sich ca. 45 min. später an der Messstelle "Holzbrücke" mit dem höchsten gemessenen Wert für die absetzbare Suspension von 53 ml/l (Figur 13).



Figur 13: Diagramm Abfluss / Pegelstand / Suspensionsfracht gegen Zeit (Messstelle Holzbrücke)

Zu dieser Zeit muss der Austrag aus dem Spölbett immer noch stattgefunden haben, wie der Vergleich der Messwerte der drei Messstellen "Laschadura", "Cluozza" und "Holzbrücke" zeigt. Die unterste der drei Messtellen weist die höchsten Frachten auf, was vor allem auf die Erosion des Schuttfächers vor der Cluozzamündung zurückgeführt werden kann, welche zu dieser Zeit immer noch im Gange war. Bei den zwei folgenden Frachtspitzen um 01^{45} Uhr (1.7.) und 14^{00} Uhr (1.7.) muss der Austrag an Feinmaterial aus dem Bachbett weitgehend beendet gewesen sein. Mit zunehmender Wasserführung im Spöl konnten jetzt auch die grösseren Korngrössen der Kiesfraktion mobilisiert werden. Dieser Vorgang ist nicht mit direkten Messungen zu dokumentieren, er zeigt sich aber deutlich im Diagramm "Pegelstand & Abfluss / Zeit" (Figur 13). Mit jeder markanten Erhöhung des Dotierwassers stieg der Pegel bei der Messstelle "Holzbrücke" kurz an, um sich dann schnell auf einem niedrigen Niveau einzupendeln. Diese Pegel-Änderungen dokumentieren die Sohlenerosion, die jeweils sofort auf eine Erhöhung des Abflusses folgte. Dieser Vorgang, wenn grosse Mengen Kies und Steine über der Sohle mitgeschleppt wurden, war jeweils auch akustisch wahrnehmbar.

Mit Hilfe der bereits vorhandenen und den von uns neu vermessenen Querprofile durch den Spöl und der Kartierung nach der Spülung sollte versucht werden, die Menge von erodiertem Material aus dem Spölbett und seiner unmittelbaren Umgebung abzuschätzen. Aus dem Spölbett selber sind aufgrund unserer Aufnahmen nach der Spülung rund 50'000 m^3 Material erodiert worden. Dazu kommen noch etwa 3500 m^3 Schuttfächermaterial, so dass total mit etwa 50'000 bis 55'000 m^3 vor allem kiesigen Materials gerechnet werden kann, das aus dem Bett des Spöls entfernt worden ist (Anhang 4).

Interpretation

Aus diesen Beobachtungen kann geschlossen werden, dass der Spöl, zumindest im Bereich der Holzbrücke, während der Spülung nie genügend Material transportierte um Sediment zu akkumulieren und den Wasserspiegel bleibend anzuheben. Durch die Geschwindigkeitserhöhung des Wassers bei erhöhtem Abfluss konnten jeweils noch grössere Korngrössen von der Bachsohle mobilisiert und transportiert werden und das Bachbett wurde schrittweise tiefergelegt. Dieser Vorgang war jeweils kurz nach einer Erhöhung des Abflusses auch zu hören, wenn an der Sohle viel Material mobilisiert und mitgeschleppt wurde.
Die Spöl-Querprofile 1- 3, bzw.21 - 24, sowie eine photographische Aufnahme des Bachbettes vor und nach der Spülung, oberhalb der Holzbrücke, verdeutlichen diese Tieferlegung des Bachbettes (siehe Anhang 4 und Photodukumentation). Diese unerwartete Tiefenerosion im Spölbett talabwärts bis zur RhB-Brücke führte auch dazu, dass die Menge des erodierten Materials höher ausfiel als unsere Abschätzung. Dadurch entstanden keine unerwünschten Auflandungen im Bereich oberhalb der Holzbrücke.

b. Staubecken Ova Spin

Der Sedimentaustrag aus dem Staubecken Ova Spin konnte einerseits indirekt über die gemessenen Suspensionsfrachten im Spöl, andererseits direkt über die visuelle Kontrolle im leeren Staubecken bestimmt werden. Das Integral über die Suspensionsmessungen ergibt gemäss Abschätzungen der EKW eine ausgetragene Menge von rund 100'000 m^3. Damit wird aber nur das in den oberen Wasserschichten suspendierte Material berücksichtigt, die sogenannte Bodenfracht, Material welches an der Sohle mitgeschleppt wird, hingegen nicht. Dadurch dürfte sich die insgesamt ausgetragene Sedimentmenge ungefähr verdoppeln. Der grösste Teil der feinkörnigen Ablagerungen in der vorderen Seehälfte wurde ausgespült.

Figur 14: Erosionsrand im Staubecken Ova Spin (Blick von der Staumauer am 2.7.95). Die Höhe der Böschung beträgt etwa 5 - 8 m.

Die optische Nachkontrolle (soweit diese möglich war) bestätigte die obige Abschätzung. Im vorderen, schluchtartigen Teil des Staubeckens schaffte das Wasser des Fuornbaches und des Spöls auf fast der ganzen Breite einen Einschnitt, bis etwa auf das Niveau des Grundablasses hinunter. Rückgreifende Rutschungen in den steil unterschnittenen Böschungen führten zu einer zusätzlichen Mobilisation von Material aus den Hängen der Schlucht (Figur 14).

In den hinteren Seeteilen bildete sich bei entleertem See auf der ganzen Talbreite ein verwildertes Flussystem ("braided-river system", siehe Photodokumentation in Anhang 1). Dieses ebnete das Delta des Spöls und des Fuornbaches an der Seewurzel ein und transportierte das meist kiesige Material in den mittleren, breiteren Seeabschnitt. Das Delta der Ova Spin wurde ebenfalls erosiv

stark umgeformt. Es kollabierte in seinem frontalen Teil, was sich in grösseren Sackungen und Abschiebungen äusserte (siehe Photodokumentation). Dies ermöglichte einen Einblick in den Aufbau dieses Sedimentkörpers. Es konnte eine typische Deltaserie, mit kiesig sandigen fore-sets und den siltig-sandigen top-sets darüber beobachtet werden. In den feinkörnigen top-sets fanden sich Laminationen im cm- und dm-Bereich, ähnlich denen im Kern OSK-4. Einzelne grobkörnigere Lagen in den topsets sind als grössere Hochwasserereignissse der Ova Spin zu deuten. Dunkle, organische Lagen wurden keine gefunden, d.h. dass sich in der geringen Wassertiefe dieses Seitenarms des Staubeckens keine anoxischen Verhältnisse einzustellen vermochten.

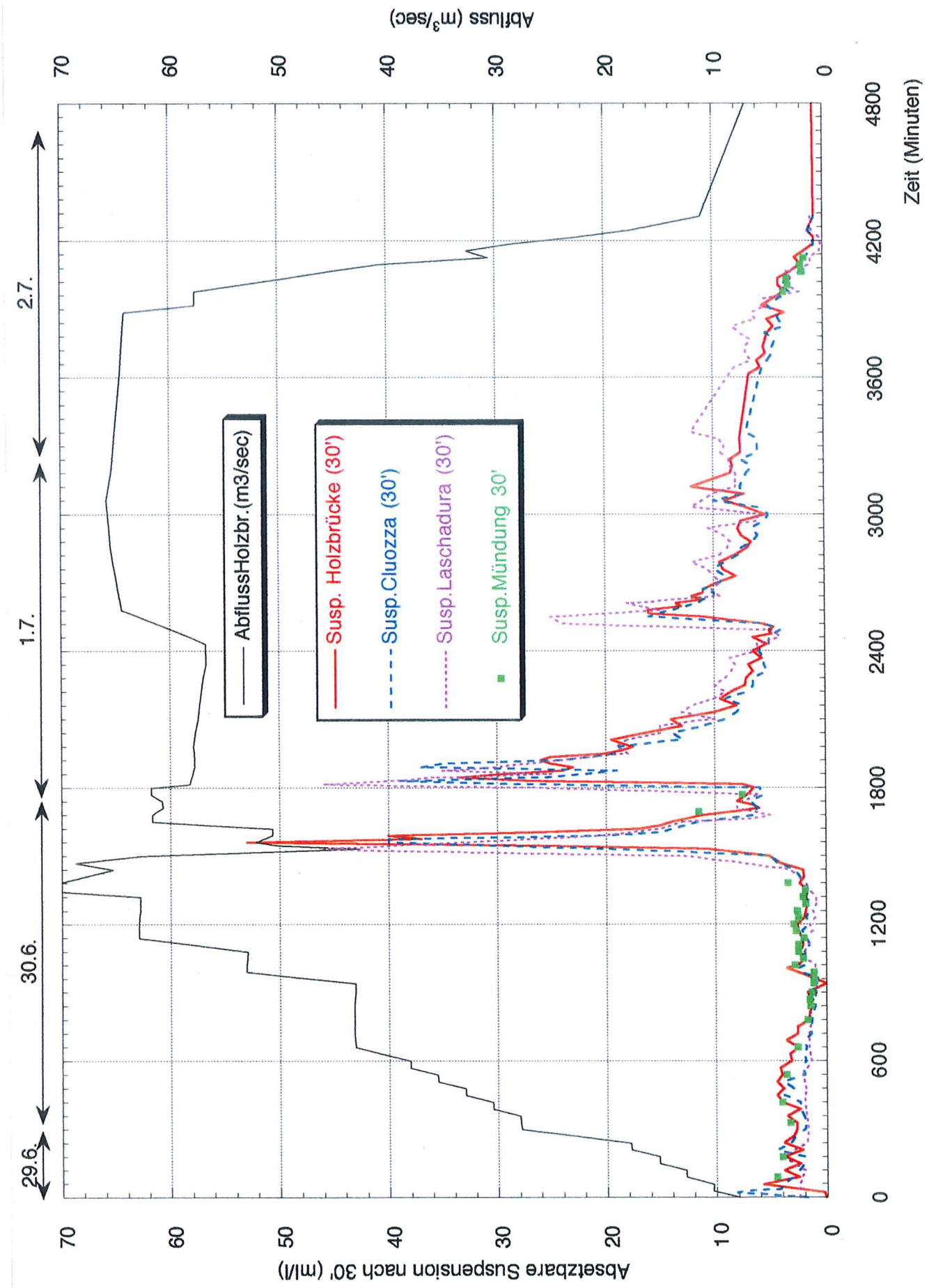
Die totale Menge des ausgespülten Materials aus dem Staubecken Ova Spin kann aufgrund der Unsicherheiten bei der Kiesfraktion nicht exakt beziffert werden. Es muss aber davon ausgegangen werden, dass zwischen 100'000 und 200'000 m^3 Material aus dem See entfernt wurden.

5.3. Sedimenttransport und Sedimentablagerung

Die Messreihe der Messstelle "Holzbrücke" (Figur 13) widerspiegelt die Chronologie der Ereignisse während der Spülung. Zeigt der erste Messwert noch den Zustand des Spöls vor der Spülung, setzt bereits zur Zeit der zweiten Messung der Suspensionstransport ein. Deutliche Peaks der Suspensionsfracht markieren im weiteren Verlauf der Spülung die Ereignisse im Spöl und im Staubecken Ova Spin (siehe auch Kapitel "5.2. Sedimentaustrag").

a. Gemessener Sedimenttransport während der Spülung

Der Vergleich mit den anderen Messstationen "Laschadura" (unterhalb der Seilbahnstation, EKW) und "Cluozza" (ca. 20 m unterhalb des Kraftwerksteges, Hydra) ist wie schon unter "5.1. Messmethodik" dargelegt, schwierig. Einige aussagekräftige Unterschiede in den Messreihen sind aber trotzdem auszumachen. In Figur 15 ist dieser Vergleich dargestellt. Nach einigen kurzen Anfangspeaks mit den höchsten Messwerten an der Station Cluozza (paketweise Erosion des Cluozza-Schuttfächers) bleiben die Messwerte an der Holzbrücke für die ersten 30 Stunden der Spülung die höchsten, das heisst, dass wir vor allem Aufarbeitung von Material aus dem Spölbett gemessen haben. Ab dem zweiten hohen Peak (bei 1800 Minuten) sind dann die Werte bei "Laschadura" und "Cluozza" gleich hoch oder leicht höher als bei der Holzbrücke. Die Aufarbeitung der in Suspension transportierten Fraktionen aus dem Spöl ist von diesem Zeitpunkt an nicht mehr nennenswert. Andere beobachtete hierzu gegenläufige Unterschiede im 5 % -Bereich dürften unseres Erachtens auf nicht vermeidbare Ungenauigkeiten bei der Probenahme zurückzuführen sein.



Figur 15: Suspendierte Fracht an den Messstation "Laschadura", "Cluozza", "Holzbrücke" und "Mündung Spöl"

Die Tatsache, dass ab ca. 2000 Minuten die Station "Laschadura" fast durchwegs die höchsten Messwerte hat, kann so gedeutet werden, dass von diesem Zeitpunkt an talabwärts von dieser Station eine gewisse Sedimentakkumulation im Spölbett stattfand. Feinkörnige, frisch abgelagerte Hochflutsedimente konnten bei der Nachkartierung im unteren Teil der Spölschlucht, im Flussbett des Spöls unterhalb der RhB-Brücke, sowie an den höchsten noch überfluteten Uferpartien gefunden werden. Die vereinzelten Messwerte der Messstation an der Mündung des Spöls in den Inn gleichen denjenigen der Holzbrücke. Nur gerade während der Vorspülphase sind bei der Spölmündung leicht erhöhte Werte gemessen worden, ein Anzeichen für Aufarbeitung auf der ganzen Länge des Spölbettes bis hin zur Mündung.

Die Korngrössenzusammensetzung des suspendierten Materials ist aus Figur 16 ersichtlich. Der Anteil der Sandfraktion (Ablesung nach 1 Minute, grüne Kurve) war am Anfang der Spülung verhältnismässig niedrig und stieg während des ersten grossen Schwebstoff-Peaks nur schwach an. Während des folgenden Doppelpeaks nach ca. 1800 Minuten erhöhte sich der Sandgehalt massiv, vermutlich verursacht durch den erhöhten Sedimentaustrag aus dem hinteren Seeteil von Ova Spin. In der Folge stabilisierte sich der Sandanteil in der Schwebstofffracht bei 2 - 3 ml/l. Ausgelöst wurde dieser Materialtransport durch das ab diesem Zeitpunkt zugemischte Zusatzwasser aus Punt dal Gall welches eine rückgreifende Erosion im Staubecken Ova Spin bedingte. Eine nennenswerte Aufarbeitung von Sediment aus dem Bett des Spöls zwischen Punt dal Gall und Ova Spin kann aufgrund von Aufnahmen in diesem Flussabschnitt ausgeschlossen werden, da nach der Spülung keinerlei Erosionsspuren sichtbar waren (Photodokumentation Anhang 1).

Interpretation

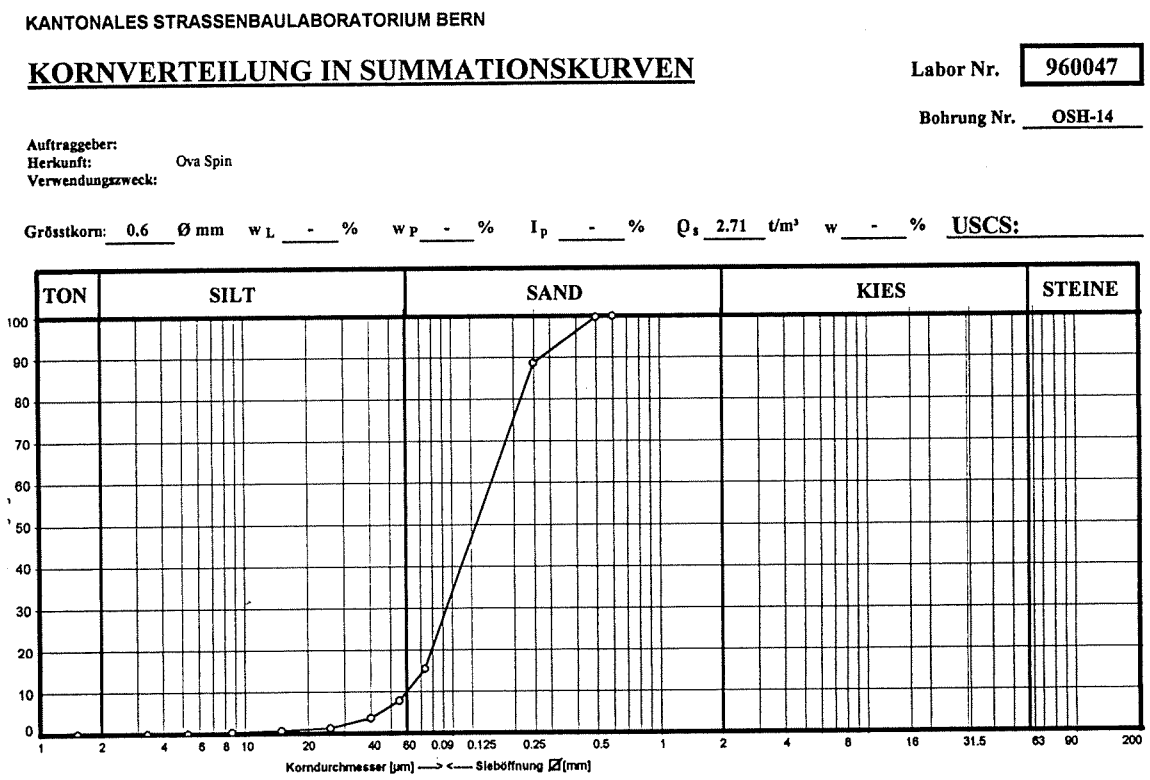
Aus dem Vergleich aller Messstationen ist ersichtlich, dass während der Vorspülphase fast ausschliesslich Sedimentmaterial aus dem Spölbett aufgearbeitet und in Suspension transportiert wurde. Nach rund 30 Stunden, mit dem erstmaligen Erreichen des freien Durchlasses im Staubecken Ova Spin, veränderte sich die Suspensionsfracht herkunfts- und korngrössenmässig. Es wurden in dieser zweiten Phase der Spülung vor allem Sedimente aus dem Staubecken Ova Spin transportiert. Zuerst die feinkörnigen Ablagerungen aus dem vorderen Seeteil, später etwas sandigeres Material aus dem hinteren Teil des Ausgleichsbeckens.

b. Sedimentakkumulation

Die zweite geologische Kartierung drei Tage nach der Spülung dokumentiert eine geringere Ablagerungstätigkeit des Spöls während des künstlich ausgelösten Flutereignisses als von uns angenommen. Nur gerade in der Spölschlucht, auf den höchsten noch überfluteteten Uferpartien

im mittleren Teil des Flussbettes und im untersten Teil des Spöls talabwärts der RhB-Brücke wurden neu abgelagerte Sedimente gefunden (siehe Photodokumentation).

Im unteren Teil der Spölschlucht konnte nur an wenigen Stellen die Ablagerung von feinkörnigen Hochflutsedimenten dokumentiert werden. Diese wurden vor allem in Gleithangsituationen und in randlichen Becken in breiteren Flussbettpartien abgelagert. Die maximale Mächtigkeit dieser, meist sandigen Sedimente wurde ca. 550 m oberhalb der Mündung des Cluozzabachs am rechten Flussufer, etwa 1m über dem Dotierwasserspiegel gefunden. Aufgrund der Hochwassermarken müssen diese Sedimente kurz nach dem Ende des Maximalabflusses (nach etwa 50 Stunden) abgelagert worden sein.
Eine typische Korngrössenzusammensetzunge solcher Hochflutablagerungen ist hier in einer Summationskurve dargestellt worden. Eine Probe aus der unteren Spölschlucht (OSH-14, siehe auch Fotodokumentation "Hochflutsedimente") ist in Figur 16 dargestellt. Es handelt sich dabei um einen gut sortierten, schwach siltigen Fein- bis Mittelsand. Weitere Proben aus der Spölschlucht 100 m oberhalb der Mündung des Cluozzabachs (OSH-12) und von 100 m unterhalb der Holzbrücke (OSH-13) sind im Anhang 8 dargestellt.



Figur 16: Korngrössenzusammensetzung der Hochflutablagerungen des Spöls (Probenahmepunkt OSH 14)

Lithologisch entsprechen diese Sedimente einer Mischung aus dem Analysen aus dem Staubecken Ova Spin (Analysen Nr. OSH 12, OSH 13 und OSH 14, siehe "Übersichtsplan 1:10'000 Spölschlucht " im Anhang 3). Es können in der Abfolge der Ablagerung spölabwärts keine interpretierbaren Tendenzen ausgemacht werden.

Mengenmässig fallen diese spülungsbedingten Ablagerungen im Spölbett kaum ins Gewicht. Ohne die im Moment nicht abschätzbare Sedimentakkumulation im "Bergsturzsee" oberhalb der Mündung der Ova di Laschadura wurden höchstens 400 - 500 m^3 feinkörnige Sedimente, mit teilweise erkennbarer Schichtung abgelagert.
Im untersten Bereich des Spöls, von der RhB-Brücke bis zur Mündung in den Inn, gestaltet sich die Abschätzung der abgelagerten Sedimentmenge bedeutend schwieriger, da es nicht möglich ist, festzustellen, wie tief der Spöl zu Anfang der Spülung erodiert hat, bevor er zu Ende der Spülung bei sinkender Wassermenge zu akkumulieren begann.
Aus den neu vermessenen Querprofilen des Amts für Flussbau (Anhang 4) kann aber mindestens die Netto-Akkumulation im Spölbett abgeschätzt werden.
Auf einer Länge von rund 800 m wurden im Spölbett mit einer durchschnittlichen Breite von 20 m zwischen 0 und 20 cm Material (Kies- und Sandbänke) angelagert. Dies ergibt eine Akkumulation von rund 1600 m^3. Dazu muss noch eine schwer abschätzbare Menge von Treibholz, Schutt und Zivilisationsmüll dazugerechnet werden, die als "Hochwassermarken" im Bereich des Maximalwasserstandes vor allem auf den flachen, überfluteten Wiesen im Zernezerbecken liegengeblieben, oder im Ufergehölz hängengeblieben sind. Alles in allem dürften aber im Spölbett nicht mehr als 3000 m^3 Sedimente aller Art abgelagert worden sein.

5.4. Geologische Massenbilanz

Dieser Abschnitt ist eine Zusammenfassung der vorangegangenen Berechnungen und Abschätzungen. Weiter soll der Sedimenttransport während dieses künstlich ausgelösten Hochwasserereignisses mit den natürlichen Verhältnissen während der Bildung des Spöl-Schuttfächers im Becken von Zernez verglichen werden.

Menge erodiertes Sediment aus Ova Spin	150'000 m^3
Menge erodiertes Sediment aus dem Spöltal	50'000 m^3
Total	**200'000 m^3**
Suspensionsfracht Spülung 1995 (gemessen)	- 100'000 m^3
Abgelagertes Material	- 3000 m^3

Die Differenz aus erodiertem Material und gemessenem Transport ergibt eine Abschätzung für die transportierte Bodenfracht ca. 87'000 m^3

Wird die totale Menge des transportierten Sediments eines morphogenetisch aktiven Hochwasserereignisses auf die beteiligte Wassermenge umgerechnet, ergibt dies ein bestimmtes

Wasser/Feststofffracht-Verhältnis ("Frachtdichte"). Dieses Verhältnis erlaubt Rückschlüsse auf die Ablagerungsverhältnisse in einem Fluss-/Schuttfächersystem. Für die Spülung des Staubeckens Ova Spin ergibt sich folgendes Verhältnis:

Wassermenge (nach EKW):	10'368'000 m^3
Transportierte Sedimentmenge:	200'000 m^3
Verhältnis Wasser/Sediment :	**52 : 1**

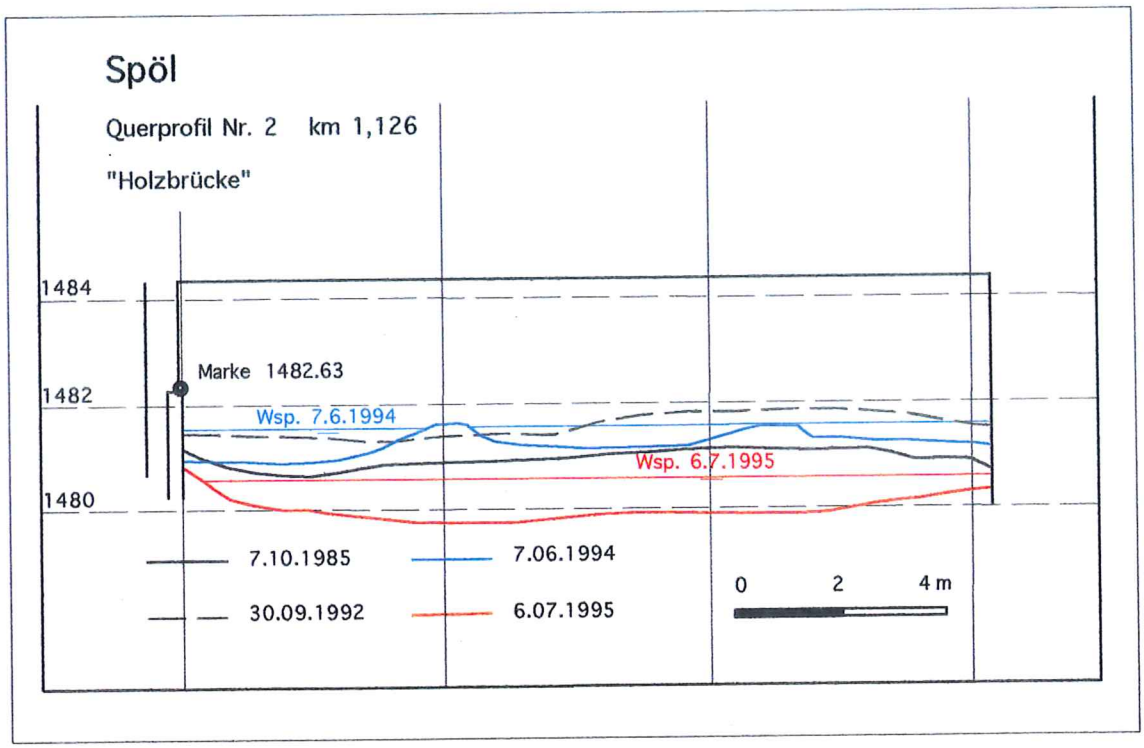
Diese Zahl ergibt für sich allein noch keine Aussage. Wir wissen nun aber, dass die Hochwasserereignisse welche im Spät- und Postglazial den Schuttfächer des Spöls im Becken von Zernez aufgebaut haben, ein Wasser/Sedimentverhältnis von < 50 gehabt haben müssen. Der spätglaziale Spöl führte bei seinen morphogenetisch aktiven Hochwasserereignissen, die zum Aufbau des Schuttfächers beitrugen, wahrscheinlich mehr als zwei Volumenprozent Feststofffracht mit sich. Dieses hohe Verhältnis Wasser/Sediment drückt sich im heutigen Gefälle des Spölschuttfächers aus (einem steilen Schuttfächer entspricht während seinem Bau eine hohe Frachtdichte). Je flacher der Schuttfächer hingegen ist, desto weniger Sediment hatte ein Fluss im Verhältnis zur Abflussmenge zur Verfügung.

Die beim Spülereignis beobachteten erosiven Verhältnisse im oberen Teil des Schuttfächers beweisen, dass der Spöl zuwenig Feststofffracht mitführte, um zu akkumulieren oder um neutrale Verhältnisse aufrecht erhalten zu können. Dieses Hochwasser-Abflussregime dürfte schon längere Zeit bestehen, wie die Detailkartierung des oberen Teils des Spölschuttfächers zeigt. Mindestens drei verschiedene Erosionsterrassenniveaus zeugen von früheren erosiven Grossereignissen, bei denen der Spöl bereits zuwenig Sedimentfracht mit sich führte, um den Schuttfächer weiter aufzubauen. Mit dem Abklingen der umfangreichen, paraglazialen Sedimentationsprozesse (CHURCH & RYDER, 1972) zu Anfang des Postglazials stand im Einzugsgebiet nicht mehr genügend Sediment zur Verfügung, um den Schuttfächer weiter aufzubauen. Aus diesem Grund stellten sich im oberen Teil des Schuttfächers erosive Verhältnisse ein, dokumentiert in den kartierten Eorisonsterrassen.

5.5. Zustand des Seegrundes und des Flussbettes nach der Spülung

Die optische Erfolgskontrolle im Seebecken hat gezeigt, dass der ganze Seegrund von einer kiesigen Lage eingedeckt wurde. Dieser Kies, der aus den Deltas der Ova Spin, des Spöls und des Fuornbaches stammt, wurde bei leerem Staubecken durch den darin fliessenden Bach transportiert und über den ganzen ebenen Bereich des Seegrundes verteilt. Im vordersten, schluchtartigen Teil

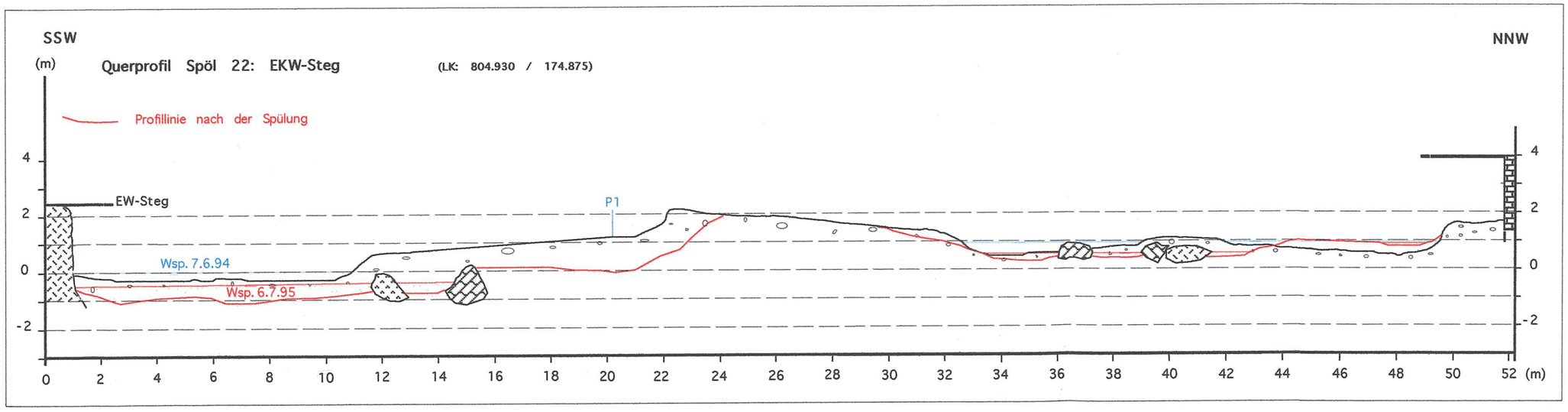
des Sees dürften aber mit dem Wiedereinstau bereits wieder feinkörnige Sedimente darüber geschüttet worden sein, die von den steilen, unterschnittenen, und damit instabilen Böschungen stammen, die in Figur 13 zu sehen sind.
Das zusammengebrochene Delta der Ova Spin dürfte mit dem Wiedereinstau ebenfalls auf einem tieferen Niveau eingeebnet worden sein.



Figur 17: Rinnen-Querprofil Spöl "Holzbrücke"

Genauer dokumentiert ist der Zustand des Spölbettes nach der Spülung. Der obere Teil der Spölschlucht wurde, vermutlich mit Ausnahme des kleinen Sees, der sich hinter dem Bergsturz aufstaute, völlig leergeräumt. Alle Kiesbänke wurden erodiert, nur gerade die grössten Blöcke (> 50 cm) sind im Flussbett liegengeblieben. Dadurch wurde auch die Begehbarkeit der Schlucht stark erschwert. Flussaufwärts konnte nach der Spülung nur noch bis knapp unterhalb der Einmündung der Ova da Laschadura vorgedrungen werden.

Ab 100 m oberhalb der Mündung der Ova da Cluozza kann der Zustand des Spölbettes mit den von uns aufgenommenen, bzw. nachgemessenen Querprofilen durchs Flussbett dokumentiert werden. Als Beispiele sollen das Profil 2 "Holzbrücke" (Figur 17), sowie Profil 22 "Steg EKW" (Figur 18) dienen. An beiden Stellen wird das Ausmass der Erosion im Flussbett demonstriert. Auch in diesem mittleren Teil des Spölbettes sind noch alle Korngrössen < 15 - 20 cm mobilisiert und flussabwärts verfrachtet worden. Erst etwa von der RhB-Brücke an abwärts finden sich im Spölbett wieder die typischen Kiesbänke, wenn auch generell in etwas grösseren Korngrössen, wie sie vor der Spülung bis hinauf zur Mündung der Ova da Cluozza zu finden waren.



Figur 18: Querprofil Spöl "Steg EKW"

6. Geochemische und physikalische Verhältnisse während der Spülung

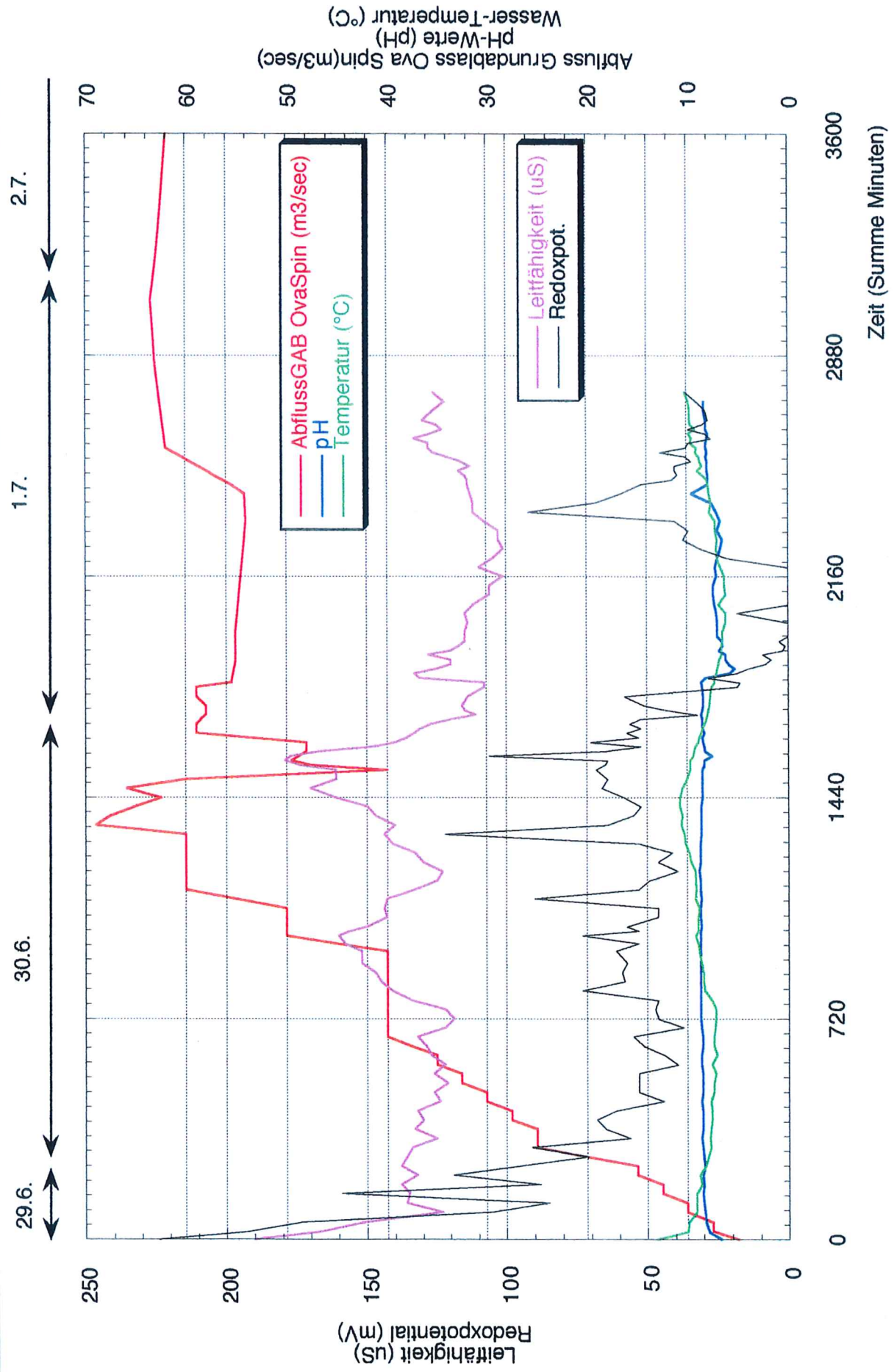
Nach den Resultaten der Voruntersuchung an den teilweise reduzierten Sedimenten aus dem Staubecken Ova Spin, die recht hohe Anteile an organischem Material (5 - 15 Gew.-%) enthielten, musste während der Spülung mit chemischen Abbauvorgängen in der Wassersäule gerechnet werden. Um diese geochemischen Vorgänge im Spöl während der Spülung dokumentieren zu können, wurden verschiedene Parameter gemessen bzw. aufgenommen: Geruch, pH, Leitfähigkeit und das Redoxpotential an Wasserproben. Zusätzlich wurde auch die Temperatur sämtlicher Wasserproben gemessen. Als Archivproben wurde halbstündlich 1 Liter Spölwasser in Flaschen abgefüllt.

6.1. Geruch

Dieser subjektive Parameter wurde dokumentiert, weil die menschliche Nase für Schwefelwasserstoff (H_2S) ein empfindlicher Sensor ist. Die minimale H_2S-Konzentration, welche die Nase noch wahrnimmt, entspricht in etwa der apparativen Nachweisgrenze (mündl. Mittl. Dr. Gloor, BACHEMA, Zürich). Problematisch ist dabei aber die allmähliche Gewöhnung an einen stetig auftretenden Geruch. Da Schwefelwasserstoff ein zu erwartendes Abbauprodukt der reduzierten organischen Sedimente ist, wurden während der ganzen Spülung Geruchsprotokolle geführt.
Diese zeigen an der Messstelle "Holzbrücke" eine Parallelität zu den Suspensionskonzentrationen im Wasser; hohe Frachten bewirkten offenbar auch höhere H_2S-Emmissionen in die Umgebung.

6.2. pH

Bei der Station "Holzbrücke" wurden die wasserchemischen Parameter mit einem kombinierten Messgerät Typ "Water-test" der Marke Hanna-Instruments gemessen. Dieses Gerät hat neben den Vorteilen grosser Handlichkeit und Bedienerfreundlichkeit den Nachteil, dass grosse Suspensionsdichten möglicherweise einen Einfluss auf die Messgenauigkeit beim pH-Wert haben. Die hier dargestellten Messwerte sind also trotz regelmässigen Nacheichungen des Gerätes mit Pufferlösungen bei pH 4 und pH 7 mit Vorbehalt zu betrachten. Der Ausfall des Messgerätes infolge zu tiefen Eintauchens ins Wasser beendete unsere Messreihe am 1.7. um 17^{30} Uhr. Der Verlauf von Temperatur, pH, Redoxpotential und Leitfähigkeit wurden in einem Diagramm zusammen mit dem Abfluss gegen die Zeit aufgetragen (Figur 20).



Figur 19: Diagramm Wasserchemie & Temperatur / Zeit

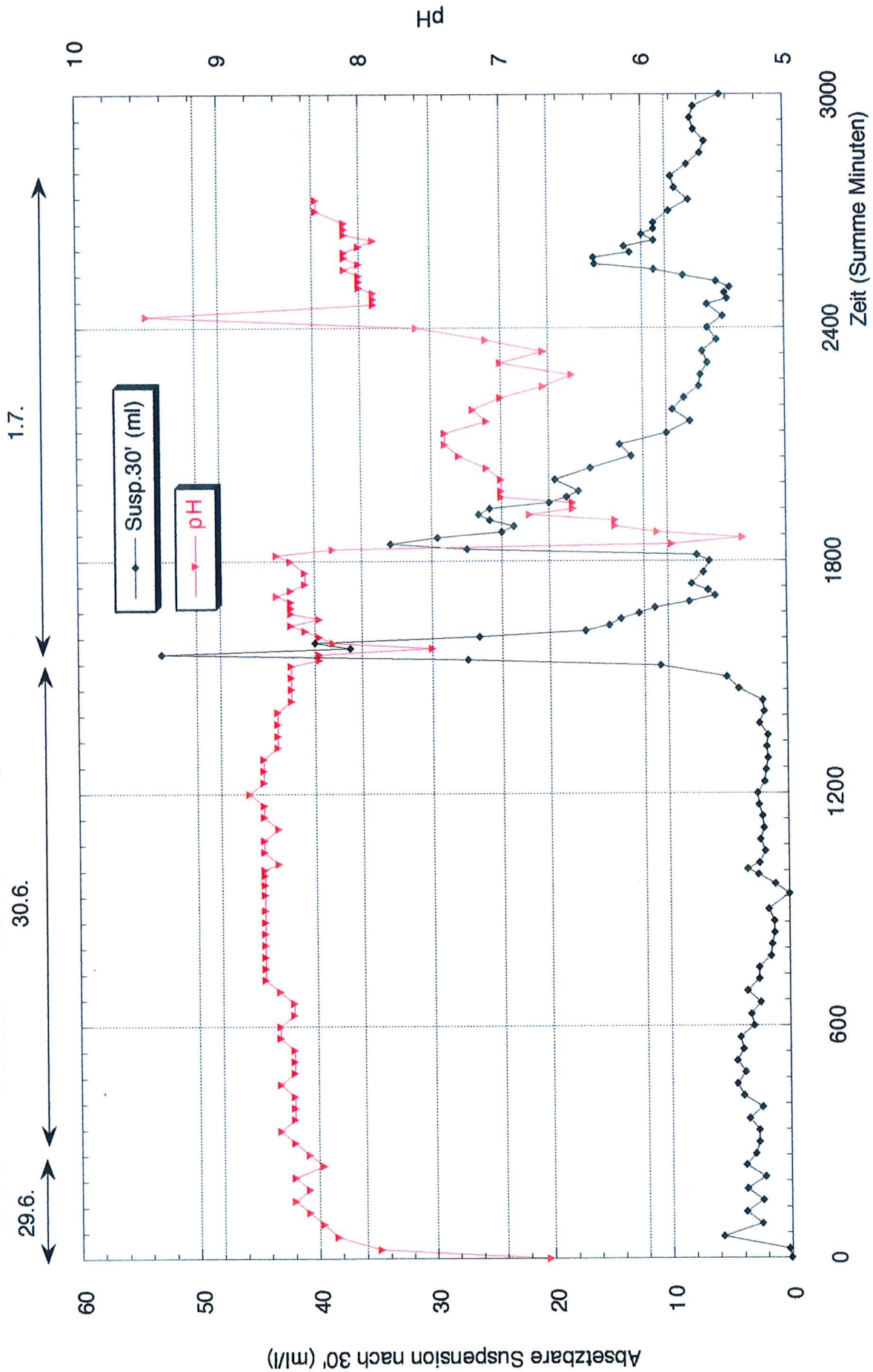
Der in blau aufgetragene pH-Wert verläuft nach einem anfänglichen Anstieg relativ konstant bei etwas über pH 8. Leicht zeitverschoben mit dem Eintreffen der höchsten Schwebstoffkonzentrationen fällt der pH-Wert kurz bis 5.3 ab. In der Folge erholt er sich auf Werte um pH 7, um sich kurz vor dem Ausfall des Gerätes wieder bei Werten leicht über pH 8 zu stabilisieren.
Was sind nun die Ursachen für solche Sprünge im pH-Wert ? Weshalb haben die anderen oberstrom gelegenen Messstationen keine nennenswerten Änderungen im pH-Wert gemessen ?

Wenn der Verlauf der pH-Kurve im Zusammenhang mit den Feststoffkonzentrationen im Wasser betrachtet wird (Figur 20), scheint ein klarer Zusammenhang zwischen der Dichte der Suspension und dem Absinken des pH's zu bestehen. Bei genauerer Analyse der Messwerte wird aber klar, dass die Reaktion des pH auf dichtere Suspension nicht immer in die gleiche Richtung geht und auch nicht streng proportional zur Feststofffracht verläuft. Nicht alle gemessenen pH-Ausschläge können also durch einen systematischen Gerätefehler erklärt werden. Was allerdings die wahre Ursache der pH Schwankungen im Spöl während der Spülung gewesen sein könnte, ist noch nicht klar.

6.3. Leitfähigkeit

Einen ähnlich bewegten Verlauf wie der pH zeigen auch die Messwerte für die Leitfähigkeit, markiert durch die rote Kurve in Figur 19. Der "natürliche Spöl" weist Leitfähigkeiten von knapp 200 µS auf, die mit dem Eintreffen der ersten Schwebstoffwelle auf Werte um 150 µS sanken. Später, mit dem Eintreffen der maximalen Schwebstoffwellen, stiegen die Werte wieder auf bis 180 µS um nachher, nach dem Durchgang des zweiten Schwebstoffpeaks, bis auf 100 µS abzufallen.

Der anfängliche Abfall der Leitfähigkeiten ist vermutlich auf die Verdünnung des natürlichen, hochmineralisierten Spölwassers (VETTER, 1992) durch weniger stark mineralisiertes Inn- bzw. Stauseewasser zurückzuführen. Der Peak in der Leitfähigkeit nach rund 1200 Minuten muss durch die Einleitung von stark sulfathaltigem Wasser aus den Fassungen Clemgia und Sampuoir ausgelöst worden sein, deren Einzugsgebiet in der Hauptdolomit-Formation liegt. Erst der höchste Peak während der Spülung (179 µS) bei 1560 Minuten kann durch die hohe Schwebstofffracht von 53 ml/l erklärt werden, bzw. vermutlich durch einen Anstieg von Nitrat (NO_3^-) im Spölwasser (Zahlen HYDRA). Es fällt auf, dass die Leitfähigkeitswerte bei der Station "Holzbrücke" (Anhang 9) nach anfänglich praktisch gleichen Werten im Durchschnitt etwa 20 - 30 µS tiefer lagen als an der Station "Cluozza", eventuell ein Anzeichen von bereits beginnendem Nitratabbau durch und während dem Transport (siehe auch Bericht HYDRA).



Figur 20: pH-Werte und Suspensionsdichten (Holzbrücke)

6.4. Redoxpotential

Das Redoxpotential wurde während der Spülung ebenfalls gemessen, obwohl die Bedeutung dieses Messwertes in Anbetracht der speziellen Wasserchemie im Spöl noch nicht ganz klar ist. Die Messwerte (Figur 19) zeigen einen ähnlichen Verlauf wie die Leitfähigkeitskurve, nur sind die Ausschläge kräftiger, und die Messwerte gehen während des zweiten Schwebstoffpeaks sogar unter Null, das heisst sie werden leicht negativ. Die gesamten Ladungen (freie Ionen) im Wasser gehen von positven (+ 224 mV) zu neutralen bis leicht negativen Werten.
Der Grund für den ersten Einbruch des Redoxpotentials liegt vermutlich im verstärkten Auftreten von Nitrat im Wasser zusammen mit den Schwebstoffpeaks. Der Umschlag zu negativen Werten wurde vermutlich vom zu diesem Zeitpunkt (2. Schwebstoffpeak) ebenfalls massiv auftretenden Phosphat-Ion ($PO4^{3-}$) ausgelöst (siehe auch Bericht HYDRA). Diese Argumentation beruht vor allem auf dem Fehlen anderer nachweisbarer Zusammenhänge mit den gemessenen Potentialen. Die Messung des Redoxpotentials kann in ähnlichen geochemischen Verhältnissen wie am Spöl möglicherweise als einfache Diagnose für das Auftreten der beiden negativ geladenen Ionen Phosphat und Nitrat im Wasser gebraucht werden.

6.5. Temperatur

Die Temperaturmessungen des Spölwassers während der Spülung zeigen die anfänglich hohe Temeperatur des Wassers von 13 °C. Diese ist durch den verminderten Abfluss mit der Dotierwassermenge zu erklären. Der Einfluss des kalten Stauseetiefenwassers liess die Wassertemperaturen zu Anfang der Spülung sofort auf unter zehn Grad abfallen. Danach stellte sich im von uns gemessenen Intervall ein deutlicher Tages-/Nachtrythmus der Temperaturen ein. Die Differenz Tag/Nacht betrug etwa 2.5 - 3.0 Grad.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen zum vorliegenden Spülereignis vom Sommer 1995 zeigen, wie fruchtbar die Zusammenarbeit **aller** in eine Thematik involvierten Stellen sein kann. Wir möchten an dieser Stelle allen Beteiligten, insbesondere der WNPK, den EKW, dem AfU und dem AfF des Kantons Graubünden, den Fischereibehörden, der HYDRA, sowie allen Mitarbeitern der Universitäten von Bern und Neuenburg herzlich danken.

Im Rahmen dieses Projekts konnten einige Fragen geklärt werden, andere sind neu aufgetaucht oder konnten nur unbefriedigend angegangen werden und sind deshalb nicht vollständig beantwortet worden. Aus diesem Grund sollen hier einige Gedanken entwickelt werden, wie der Problemkreis "Anthropogener Einfluss auf den Spöl infolge Abwasser- und Stauraumbewirtschaftung in der Region" in einem Nachfolgeprojekt angegangen werden könnte.

1. Das Vorhandensein von offenbar erheblichen Mengen suspendierten organischen Materials anthropogenen Ursprungs im Wasser des Inn und im Livigno-Stausee wirft Fragen nach der Effizienz der Abwasserbehandlungsanlagen in den jeweiligen Einzugsgebieten auf.

2. Aufgrund der schädlichen Auswirkungen des organisch belasteten Wassers auf das beruhigte Bachbett des Spöls (Verschlammung, zu hohes Nährstoffangebot) und des unerwünschten Eintrages von anthropogen angereicherten Spurenelementen (As, Br, Pb usw.) in den Spöl sollte die Herkunft dieser Stoffe und des makroskopisch sichtbaren, angeschwemmten Zivilisationsabfalls genauer abgeklärt werden. Dazu sollten einerseits die Sedimente und die Einleitungsverhältnisse im Livigno-Stausee untersucht werden. Weiter müssten, um ein klares Bild der Sachlage zu gewinnen, auch die Sedimente und das zufliessende Wasser aus dem Inn, des Spöls und des Fuornbaches analysiert werden.

3. Diese Untersuchungen und eventuell daraus folgende Konsequenzen für die Abwasserbewirtschaftung der Region würden helfen, zukünftige Spülungen unter einfacheren Randbedingungen durchführen zu können. Zusätzlich könnten auch Daten über die Sedimentationsraten in beiden Staubecken gewonnen werden, welche für eine langfristige Stauraumbewirtschaftung von Bedeutung sein müssen.

Bern, den 31. März 1996

Ch. Schlüchter B.U. Müller

Anhänge

Anhang 1: Photodokumentation

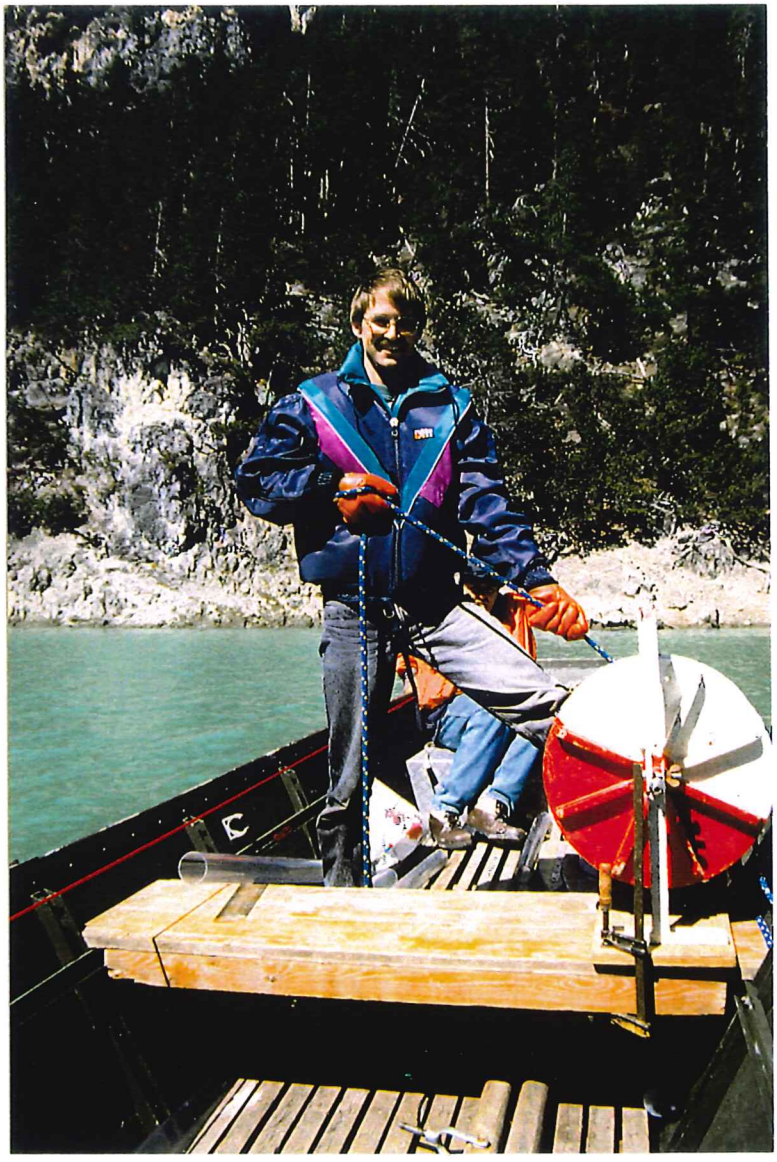


Photo 1: Probenahme mit dem Kolbenlot in Ova Spin im Mai 1995

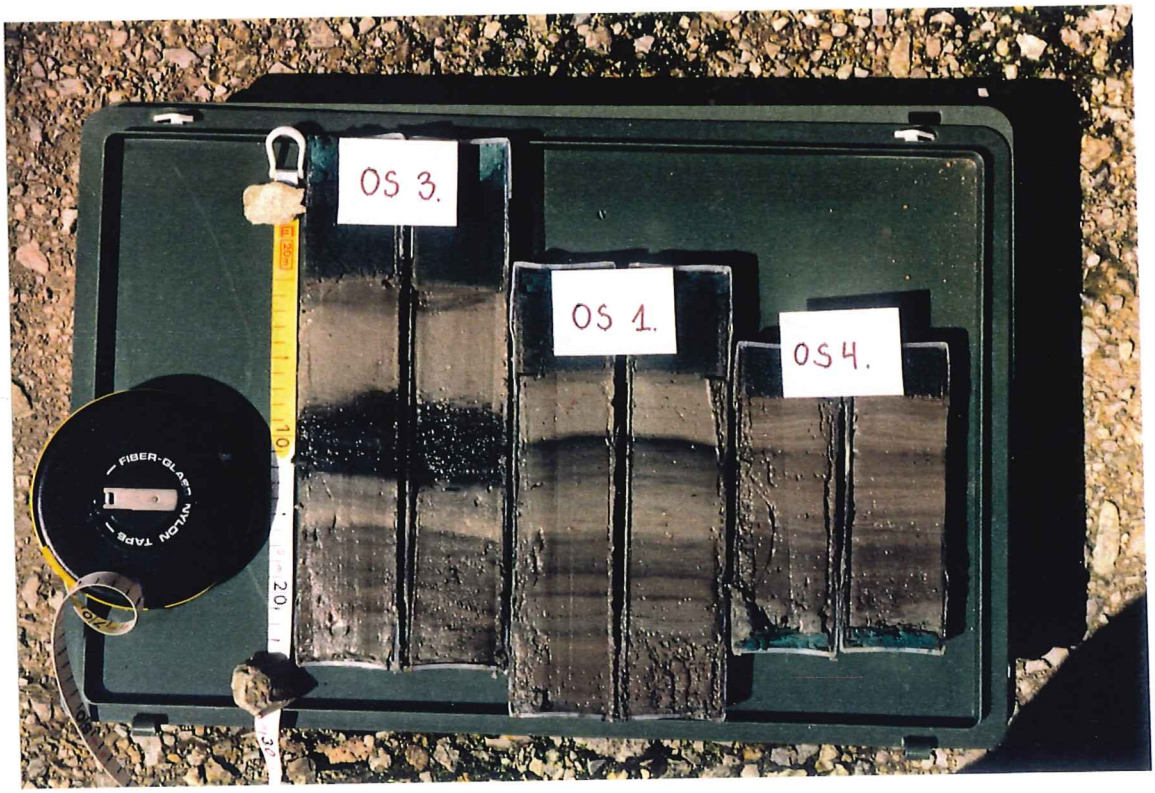


Photo 2: Kolbenlotkerne OSK-3, OSK-1 und OSK-4 aus dem Staubecken Ova Spin. OSK-3 und OSK-1 stammen vom Seegrund, OSK-4 aus dem Delta der Ova Spin.

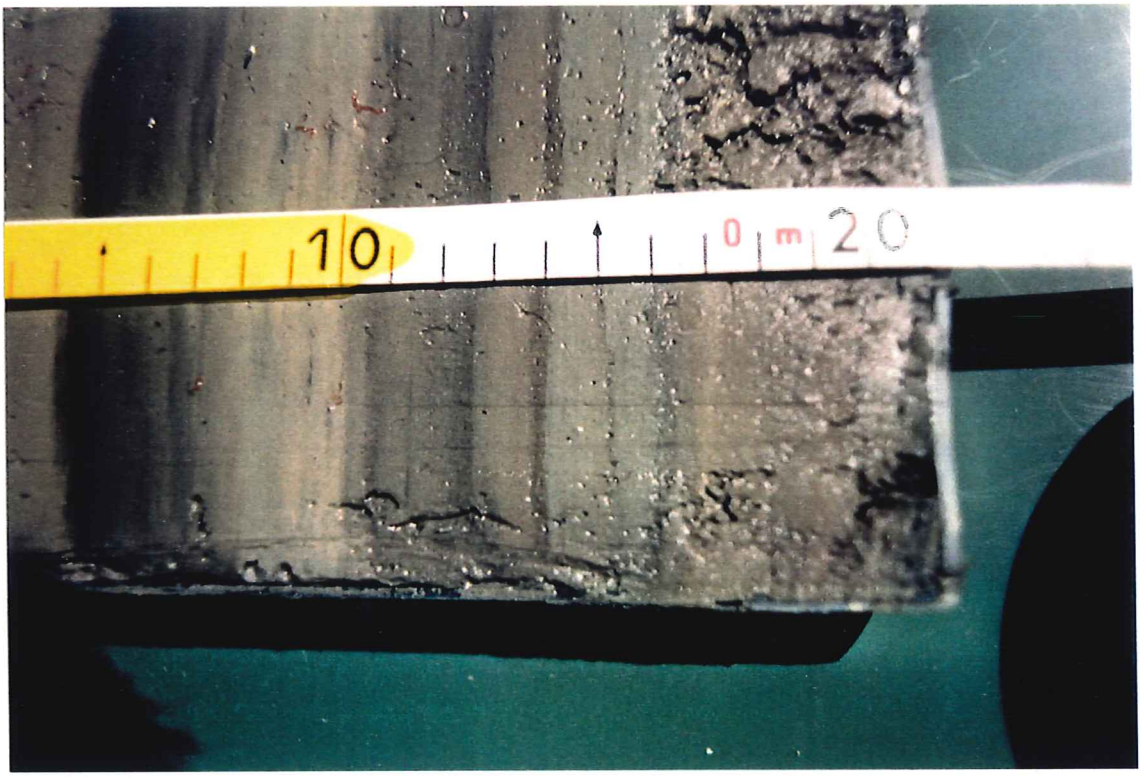


Photo 3: Detailausschnitt aus der unteren Hälfte von OSK-1

Photo 4: Das Spölbett oberhalb der Holzbrücke zu Beginn der Spülung (29.6.1995, 19 Uhr)

Photo 5: Das Spölbett oberhalb der Holzbrücke nach der Spülung (6.7.1996)

Photo 6: Der Schuttfächer des Cluozzabachs vor der Spülung, Blick spölaufwärts

Photo 7: Mündung des Cluozzabachs nach der Spülung, Blick zum Cluozzabach

Photo 8: Das verwilderte Flusssystem ("braided river system") im leeren Ausgleichsbecken Ova Spin während der Spülung (1.7.1995)

Photo 9: Erosion im Delta der Ova Spin, Blickrichtung zur Staumauer

Photo 10: Maximaler Wasserstand bei der Holzbrücke (1.7.1995), mit stehenden Wellen

Photo 11: Ufererosion am Prallhang bei Querprofil Nr. 6 (km 0.557), Blick spölaufwärts. Die neue Uferverbauung ist bereits im Gang (helle Kiese und braune Blöcke)

Photo 12: Erodierter Schuttkegel von "Vallaina da Planta" nach der Spülung

Photo 13: Erodierte Uferböschungen am linken Spölufer bei "Pignai" nach der Spülung

Photo 14: Sandige Hochflutablagerungen in der Spölschlucht am linken Ufer unterhalb "Pignai"

Photo 15: Oberlauf des Spöl ca. 600 m unterhalb der Staumauer Punt dal Gall nach der Spülung (6.7.1996)

Photo 16: Verendete Fische im überfluteten Uferbereich unterhalb der Holzbrücke zu Ende der Spülung (2.7.1996)

Anhang 2: Flussbettkartierung 1: 5000

1. Blatt Ost
2. Blatt Mitte
3. Blatt West

Spöl

Val Mingèr

Pignal

Val Nova

Ova da Laschadè

Tea

Grip dals Nems

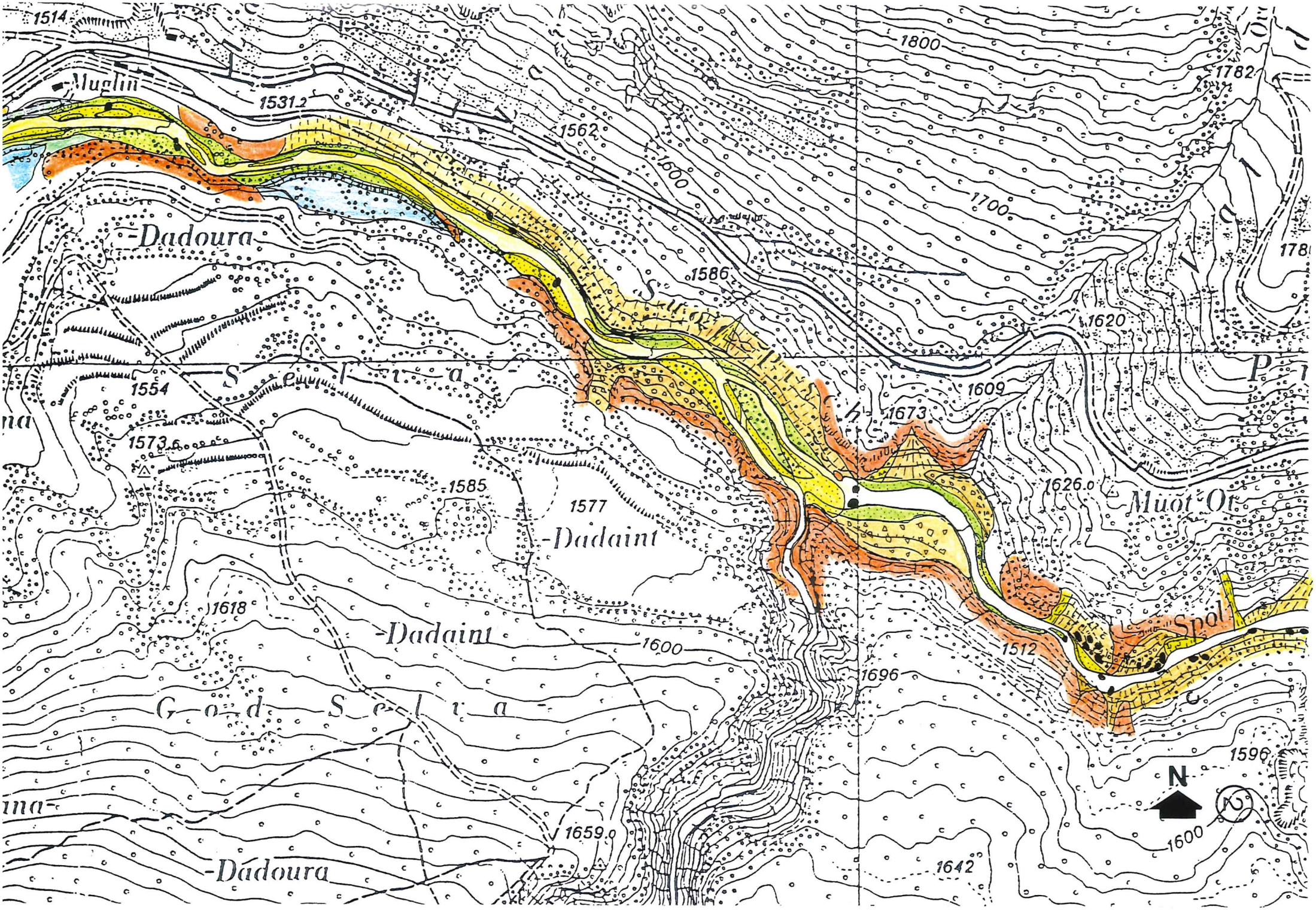
Falcun Dadour

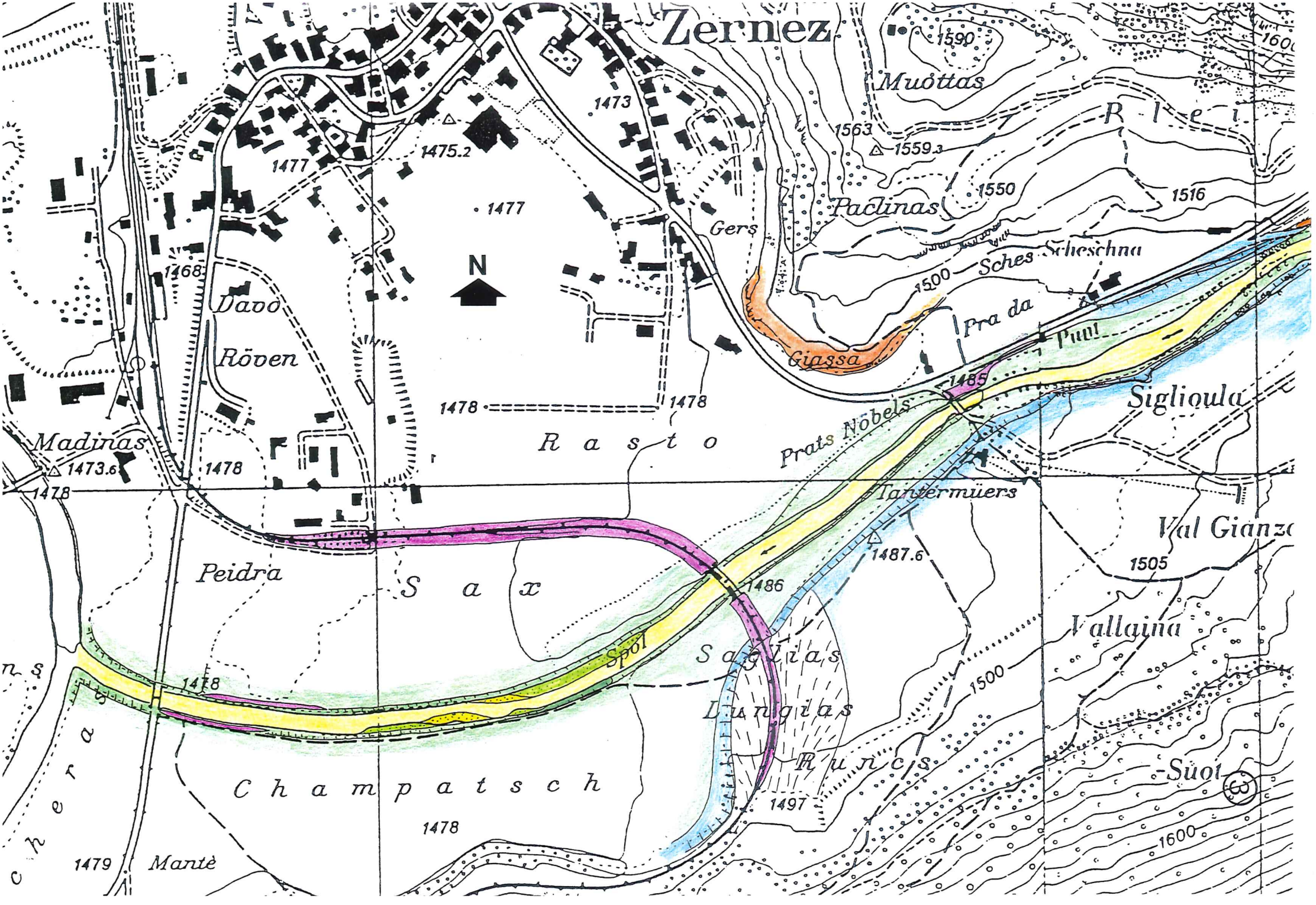
1512
1696
1600
1596
1642
1716
1767.5
1677
1649.8
1634
1700
1775
1800
1875
1805.6
1600
1548
1619
1668
1756
1717
1793
1913
2005.5

Legende

- künstliche Auffüllung
- Kiesbänke rezent
  - nicht bewachsen (leicht erodierbar)
  - bewachsen
- Hangschutt / Gehängeschutt /Schuttfächer
  - nicht bewachsen (leicht erodierbar)
  - bewachsen
- Bergsturzschutt / Blöcke
- tiefere Terrasse des Zernezerbeckens
- höhere Terrasse des Zernezerbeckens
- Fels

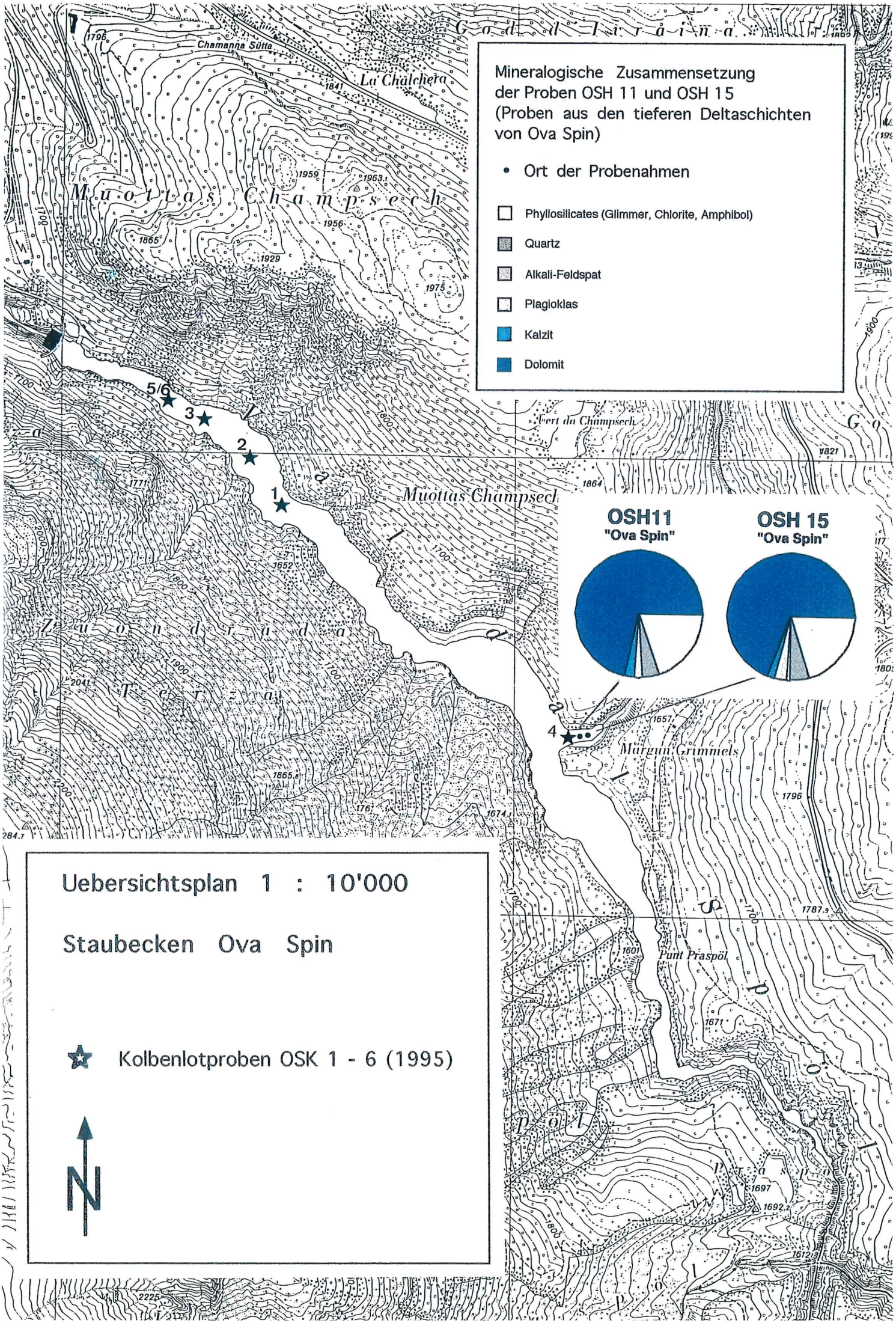
N

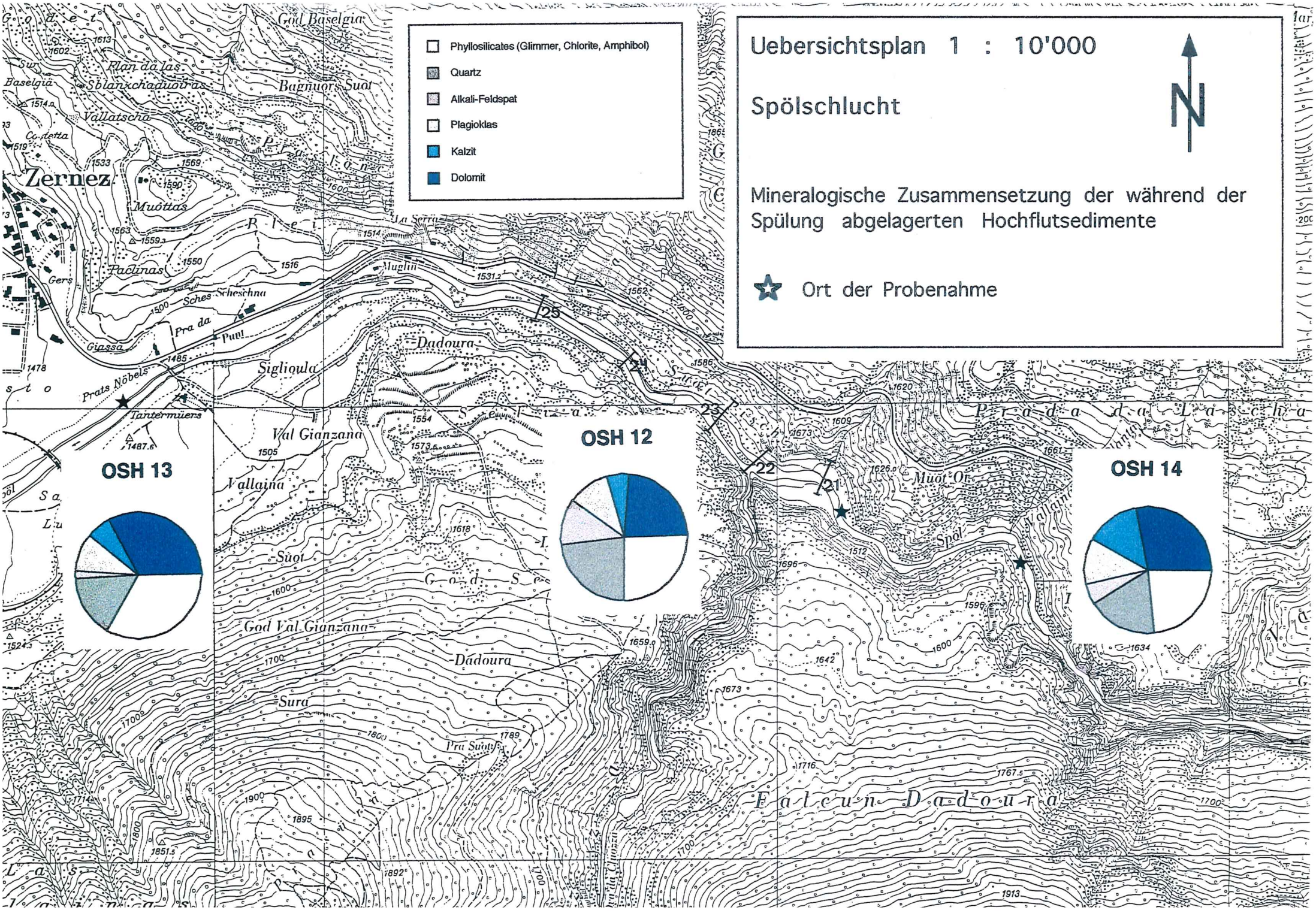

1514
Muglin
1531.2
1562
1600
1800
1782
Dadoura
1700
1586
Surlej
1620
1554
Selva
1609
1673
1573
1585
1577
Dadaint
1626.0
Muot Ot
1618
Dadaint
1600
1512
1696
Spol
Gad Selva
1596
N
1600
1659.0
1642
Dadoura


Zernez
Muottas
1590
1563
1559.3
1550
1516
Paclinas
Gers
Schleschna
Sches
1500
Pra da
Punt
Giassa
1485
Sigliuls
Prats Nöbels
Tantermüers
Val Gianz
1505
1487.6
1486
Vallaina
1500
Suot
1600
1497
Runcs
Sablias
Lungias
Spol
Peidra
Sax
Champatsch
1478
1479
Mantè
Madinas
1473.6
Raste
1477
1475.2
1473
1468
Davo
Röven
N

Anhang 3: Übersichtspläne 1:10'000

Übersichtsplan Ausgleichsbecken Ova Spin
Übersichtsplan Spölschlucht


Mineralogische Zusammensetzung
der Proben OSH 11 und OSH 15
(Proben aus den tieferen Deltaschichten
von Ova Spin)
• Ort der Probenahmen
Phyllosilicates (Glimmer, Chlorite, Amphibol)
Quartz
Alkali-Feldspat
Plagioklas
Kalzit
Dolomit
OSH11
"Ova Spin"
OSH 15
"Ova Spin"
Uebersichtsplan 1 : 10'000
Staubecken Ova Spin
Kolbenlotproben OSK 1 - 6 (1995)
N
Muottas Champsech
Chamanna Sütta
La Chalchera
Vert da Champsech
Margun Grimmels
Punt Praspöl
Zuondradada
Terrasse
1
2
3
4
5/6


Phyllosilicates (Glimmer, Chlorite, Amphibol)
Quartz
Alkali-Feldspat
Plagioklas
Kalzit
Dolomit
Uebersichtsplan 1 : 10'000
Spölschlucht
N
Mineralogische Zusammensetzung der während der Spülung abgelagerten Hochflutsedimente
Ort der Probenahme
OSH 13
OSH 12
OSH 14
Zernez
Sigliola
Val Gianzana
Vallaina
Dadoura
Sura
Muot Ot
Spöl
Falcun Dadoura
Prats Nöbels
Tantermüers
Muglin
Pra Suot
Pra da la Schera
Prada da la Schera
Pra da Punt
Sches Scheschna
Pradatsch
Vallatscha
Bagnuor Suot
God Baselgia
God Val Gianzana
Suot
Muottas
Paclinas
Gessa
Gers
Plan da las Sblanxchaduoras
Baselgia
Corletta
La Serra

Anhang 4: Querprofile Spöl Nr. 1 - 11 und 21 - 24

(Ohne die Profile 2 und 22 (siehe Figuren 17 und 18 im Bericht)

- Die Blickrichtung aller Profile ist flussabwärts (ausser Profil 21).

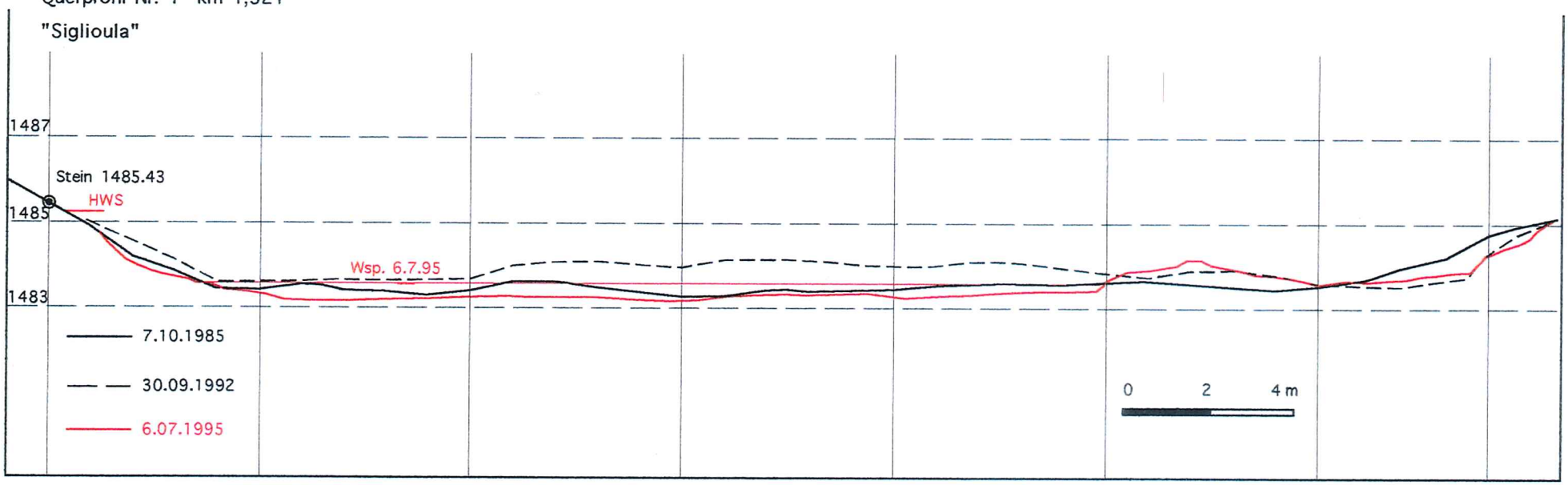
- Die Profilspuren Nr. 1 - 11 sind in den Unterlagen des Amtes für Flussbau des Kt. Graubünden dargestellt.

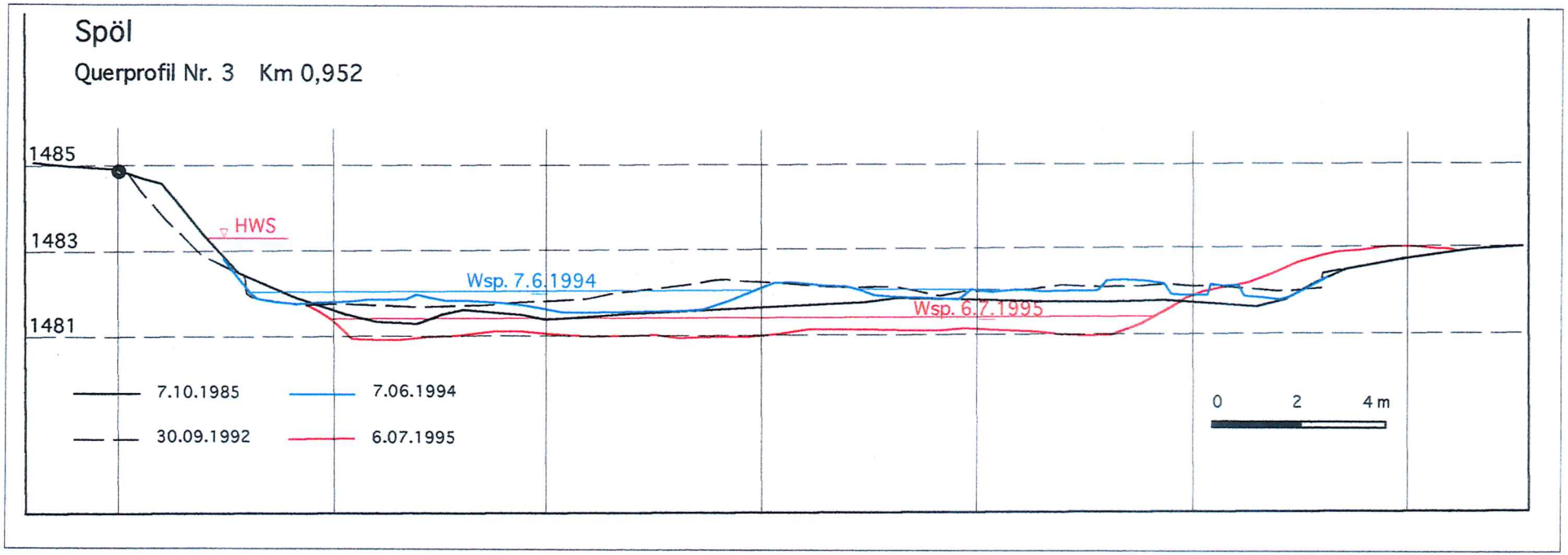
- Die Profilspuren 21 - 25 sind im Übersichtsplan 1:10'000 "Spölschlucht" (Anhang 3) dargestellt.

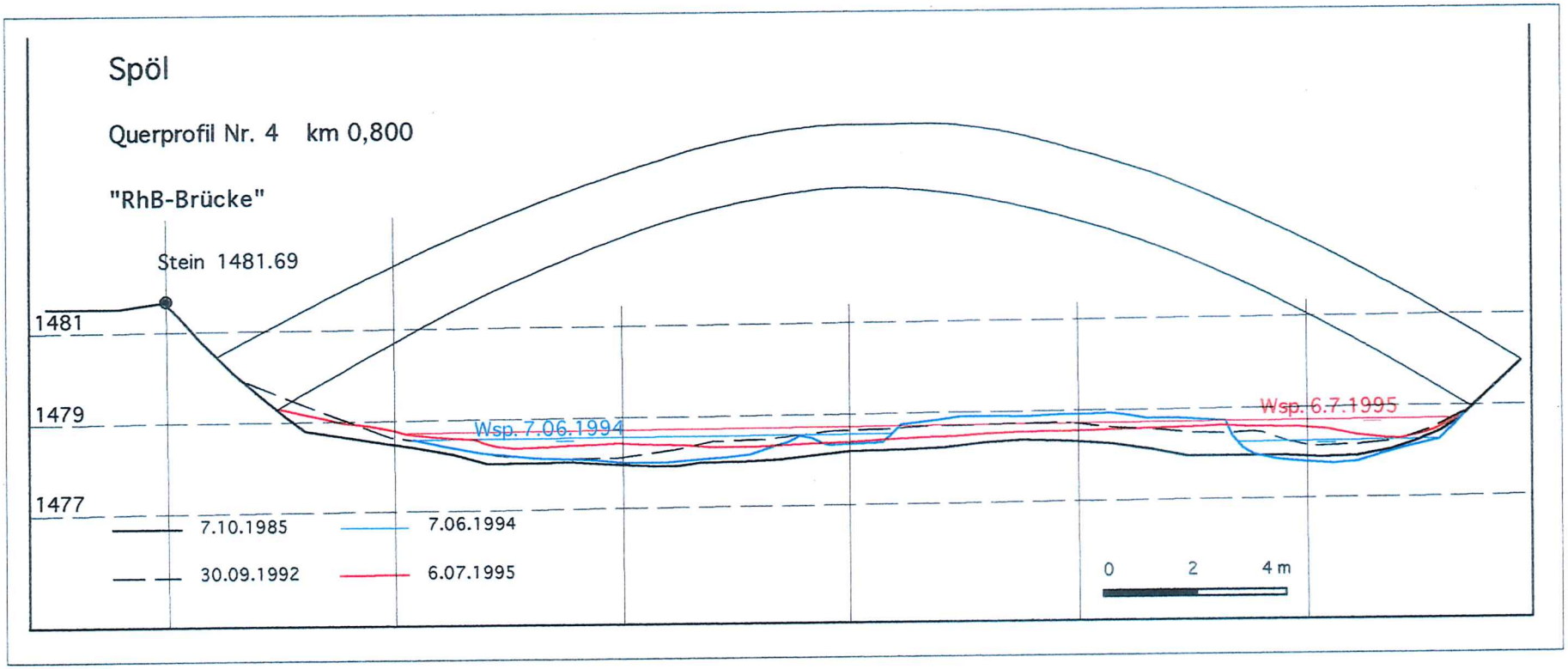
Spöl

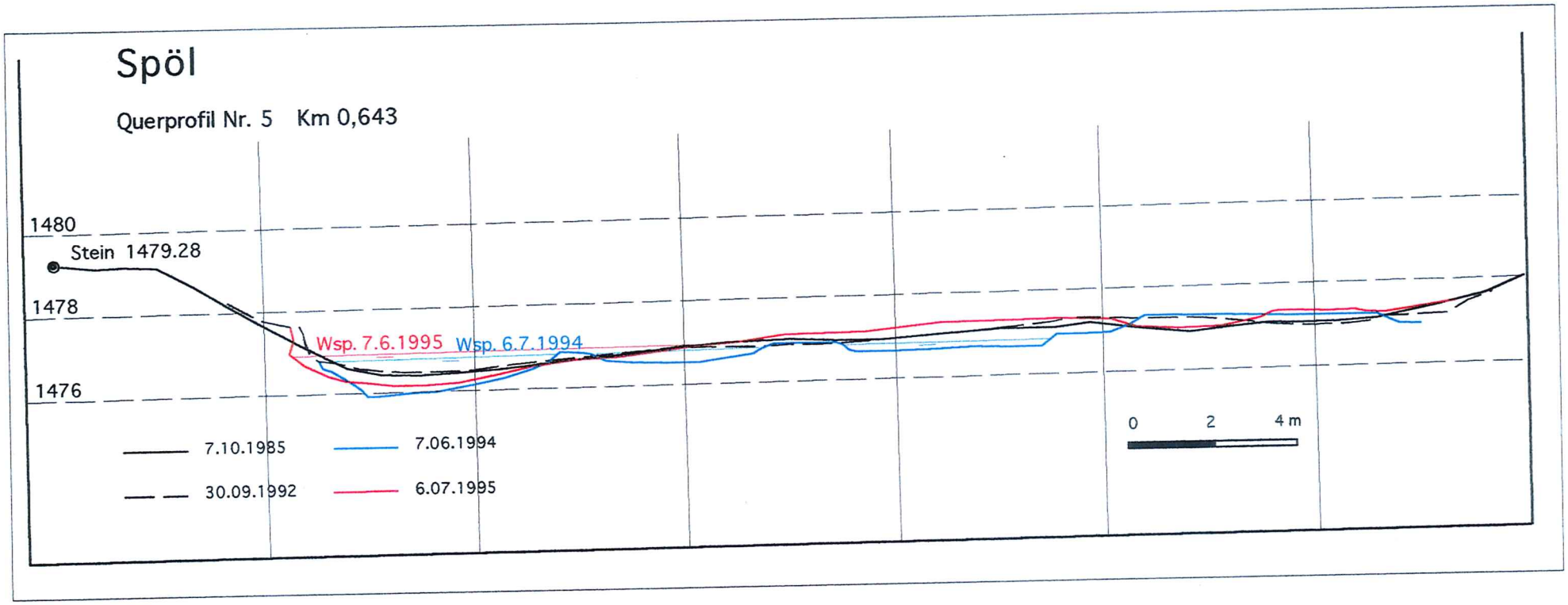
Querprofil Nr. 1 km 1,321

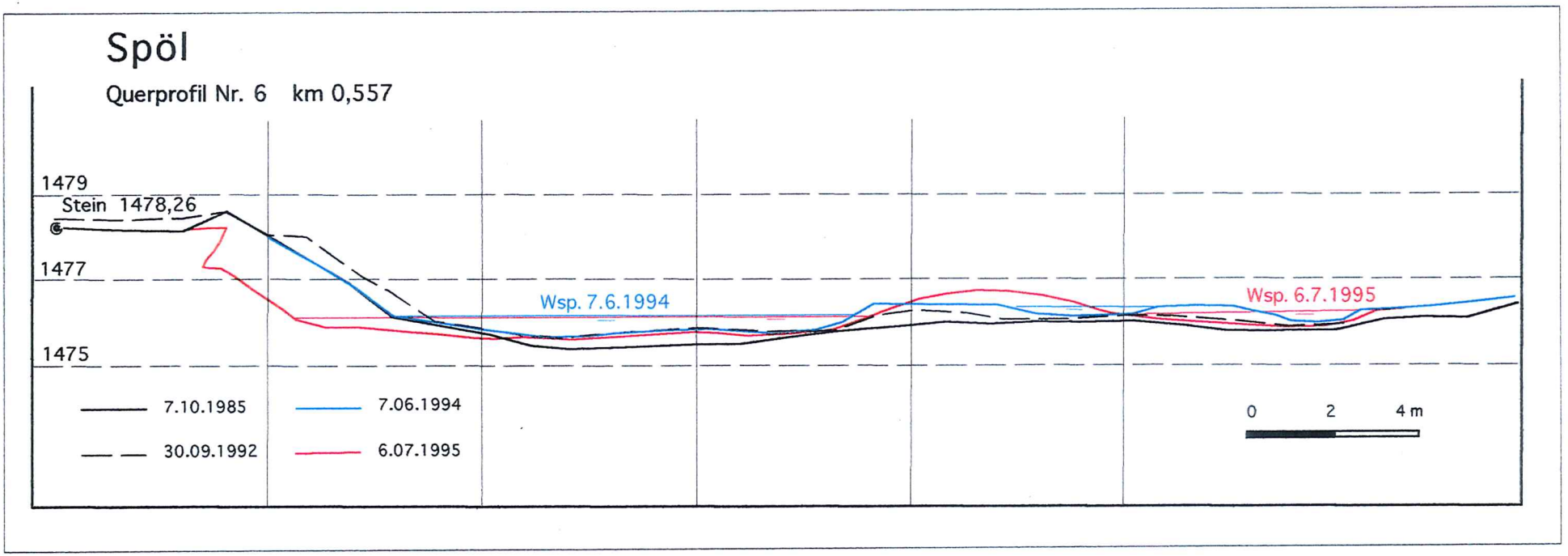
"Siglioula"

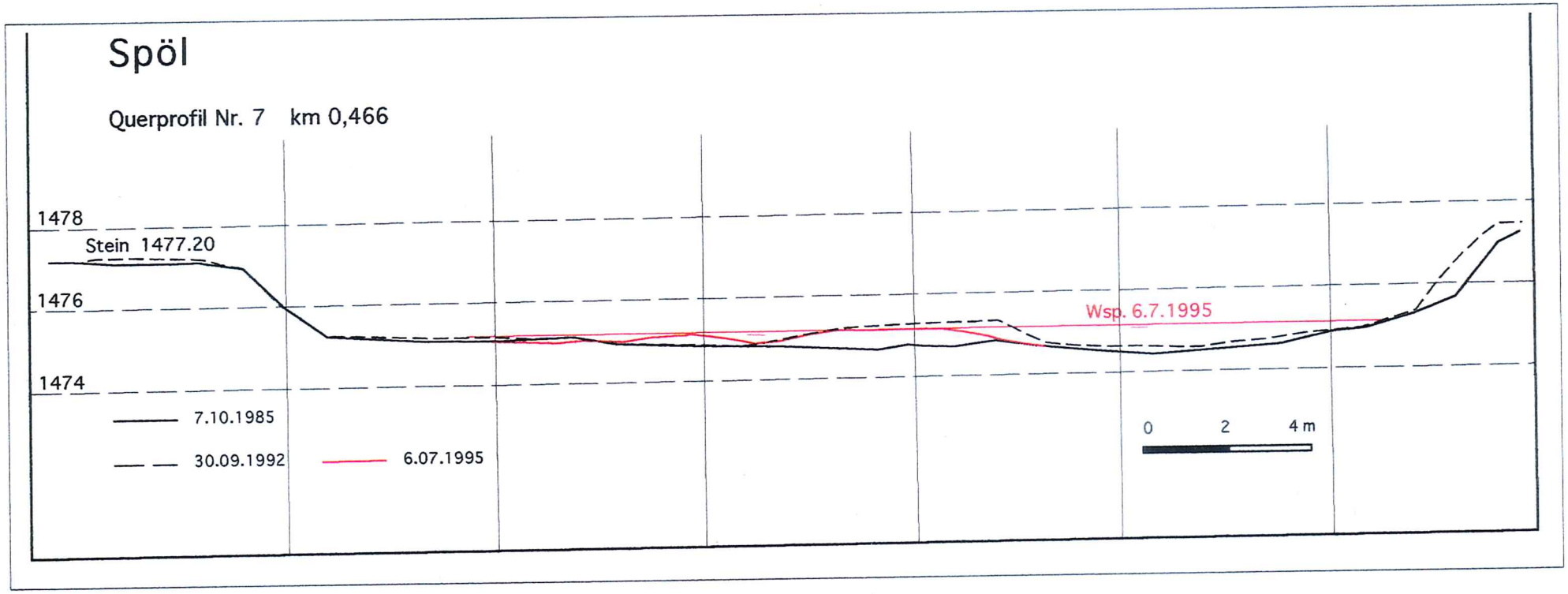


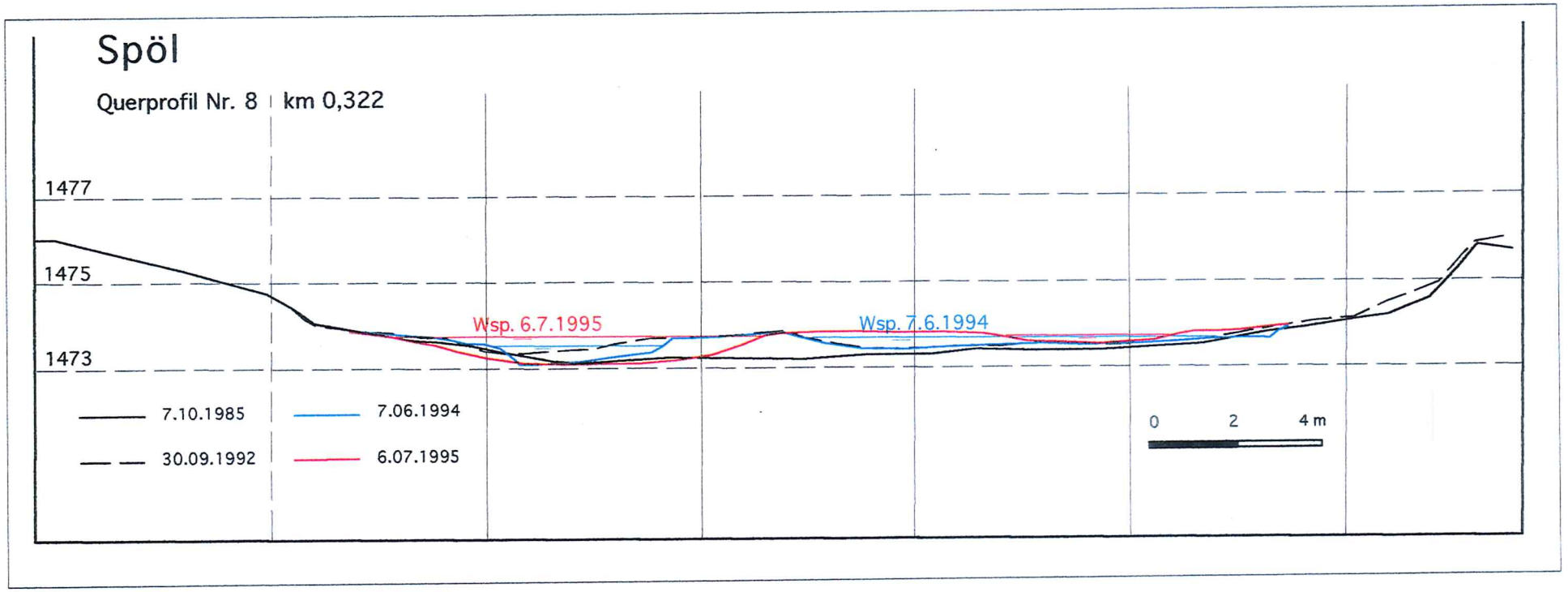

Spöl
Querprofil Nr. 3 Km 0,952
1485
1483
1481
HWS
Wsp. 7.6.1994
Wsp. 6.7.1995
7.10.1985
7.06.1994
30.09.1992
6.07.1995
0
2
4 m

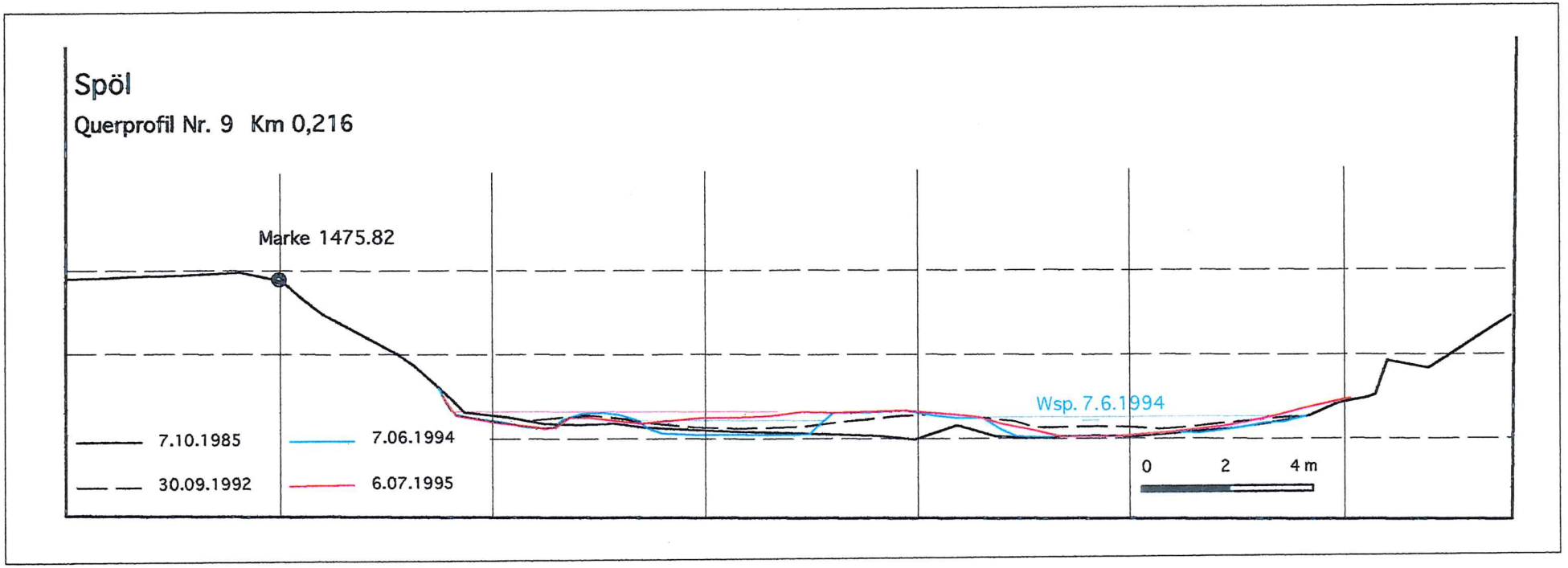

Spöl
Querprofil Nr. 4 km 0,800
"RhB-Brücke"
Stein 1481.69
1481
1479
1477
Wsp. 7.06.1994
Wsp. 6.7.1995
7.10.1985
7.06.1994
30.09.1992
6.07.1995
0
2
4 m

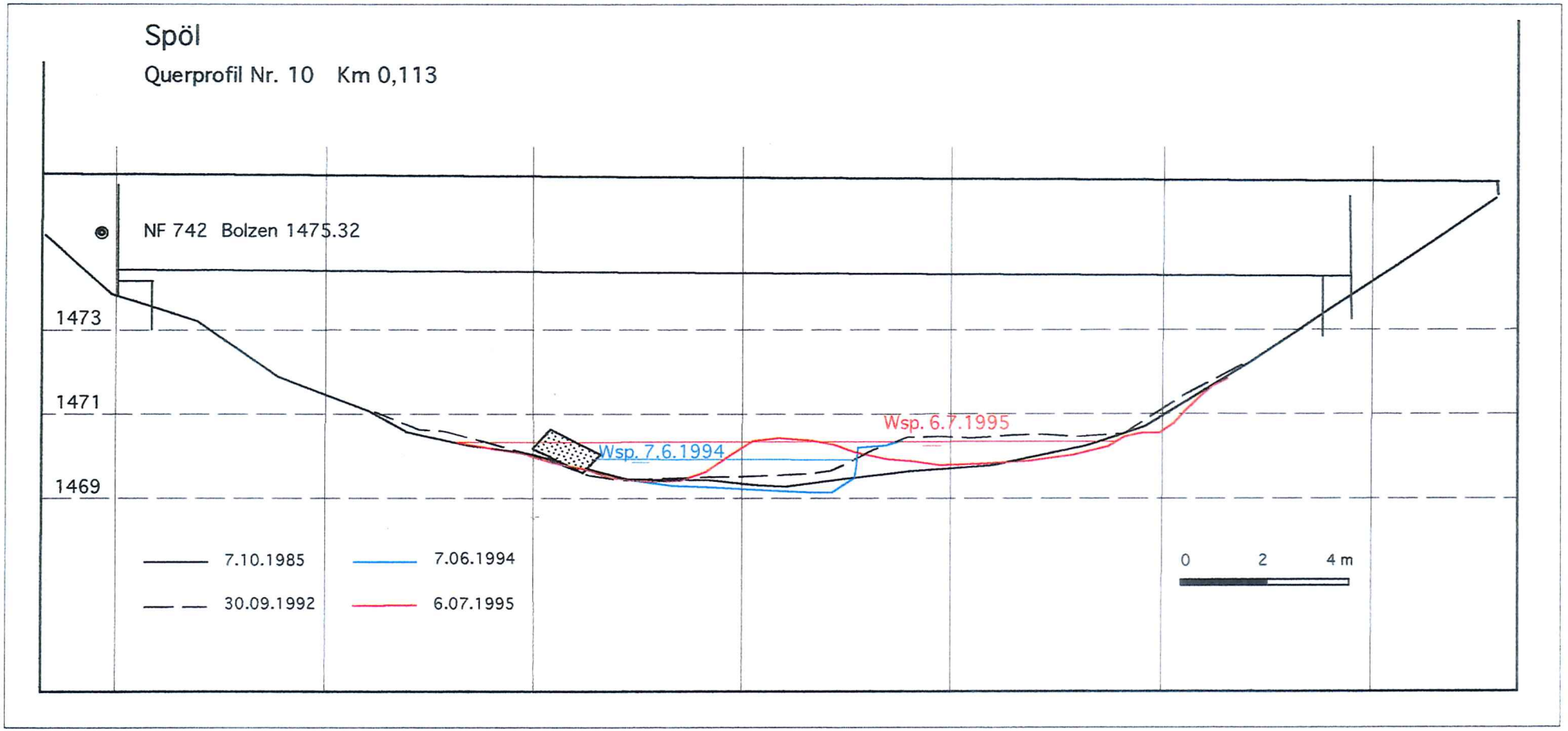

Spöl
Querprofil Nr. 5 Km 0,643
1480
Stein 1479.28
1478
Wsp. 7.6.1995
Wsp. 6.7.1994
1476
0
2
4 m
7.10.1985
7.06.1994
30.09.1992
6.07.1995

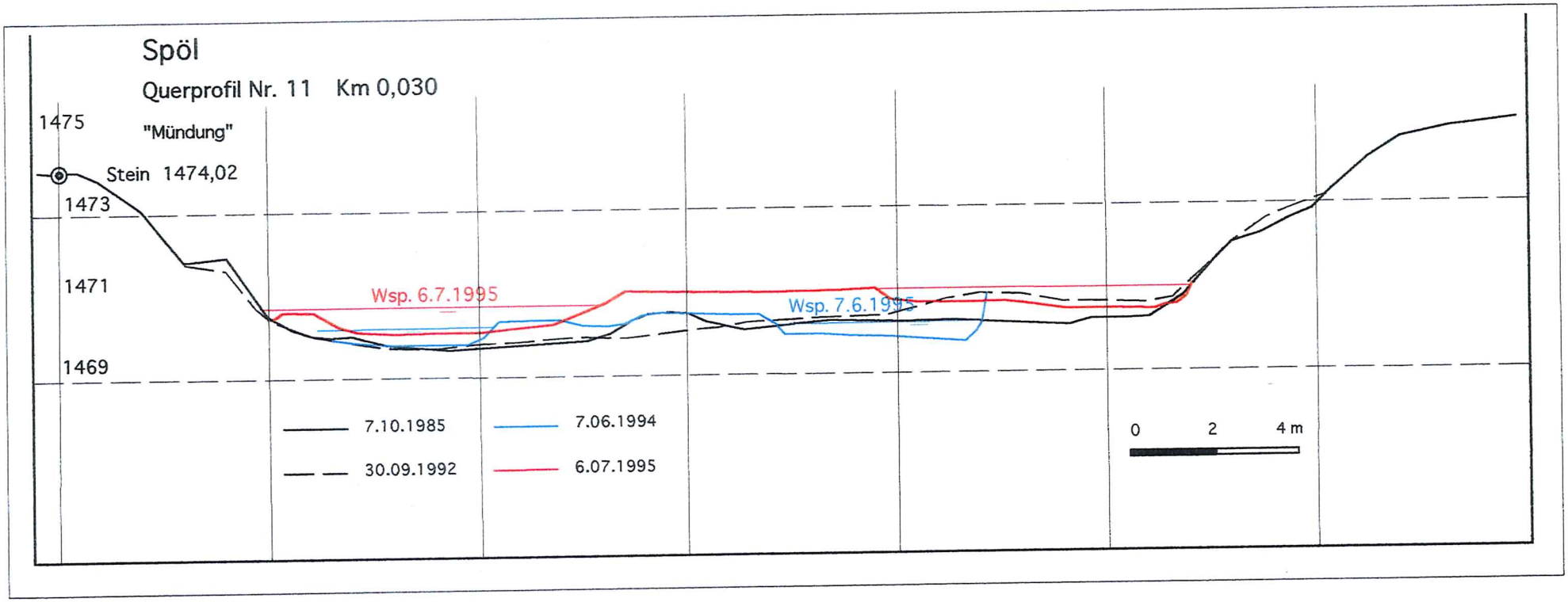

Spöl
Querprofil Nr. 6 km 0,557
1479
Stein 1478,26
1477
1475
Wsp. 7.6.1994
Wsp. 6.7.1995
7.10.1985
30.09.1992
7.06.1994
6.07.1995
0
2
4 m

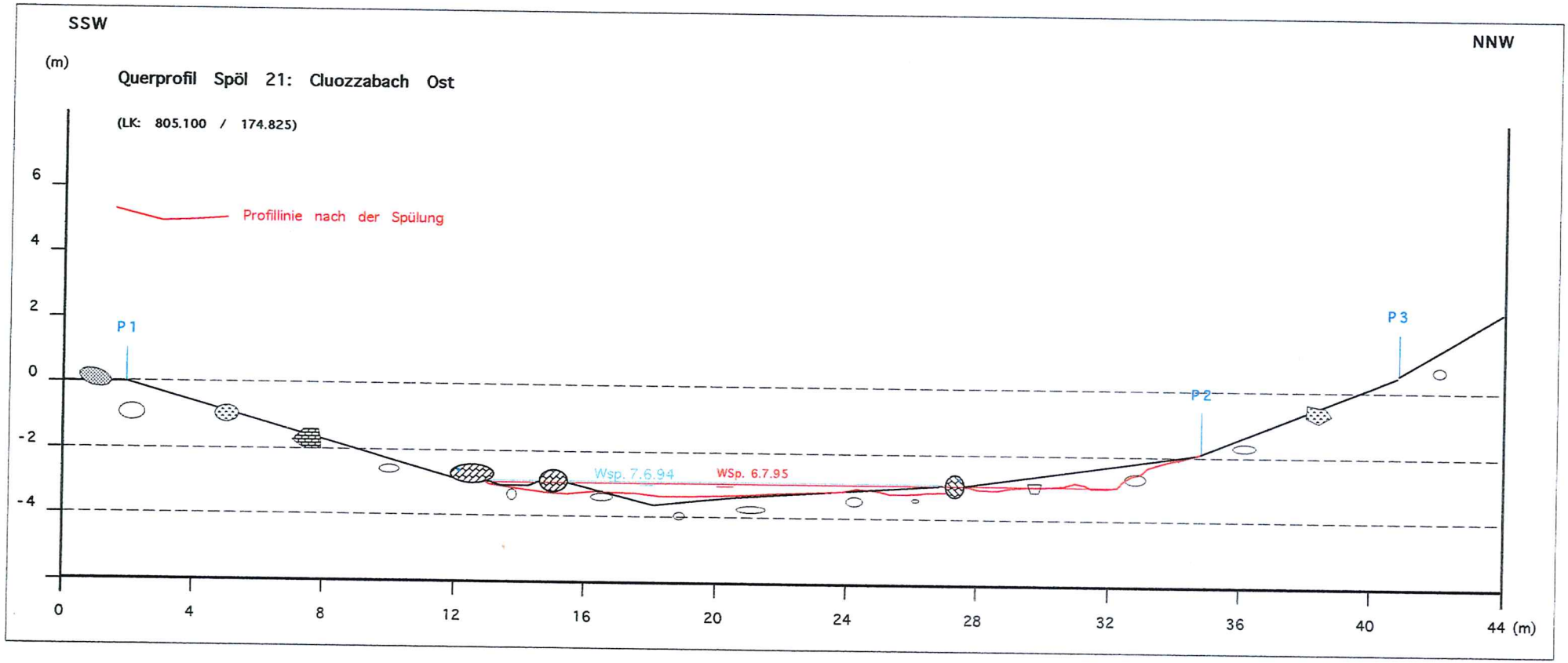

Spöl
Querprofil Nr. 7 km 0,466
1478
Stein 1477.20
1476
1474
Wsp. 6.7.1995
7.10.1985
30.09.1992
6.07.1995
0
2
4 m


Spöl
Querprofil Nr. 8
km 0,322
1477
1475
1473
Wsp. 6.7.1995
Wsp. 7.6.1994
7.10.1985
30.09.1992
7.06.1994
6.07.1995
0
2
4 m


Spöl
Querprofil Nr. 9 Km 0,216
Marke 1475.82
Wsp. 7.6.1994
7.10.1985
7.06.1994
30.09.1992
6.07.1995
0
2
4 m

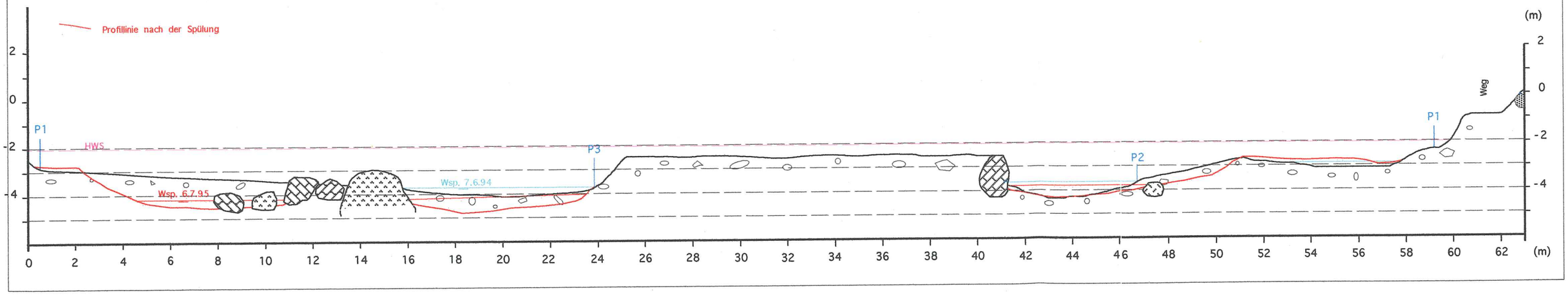

Spöl
Querprofil Nr. 10 Km 0,113
NF 742 Bolzen 1475.32
1473
1471
1469
Wsp. 6.7.1995
Wsp. 7.6.1994
7.10.1985
7.06.1994
30.09.1992
6.07.1995
0
2
4 m

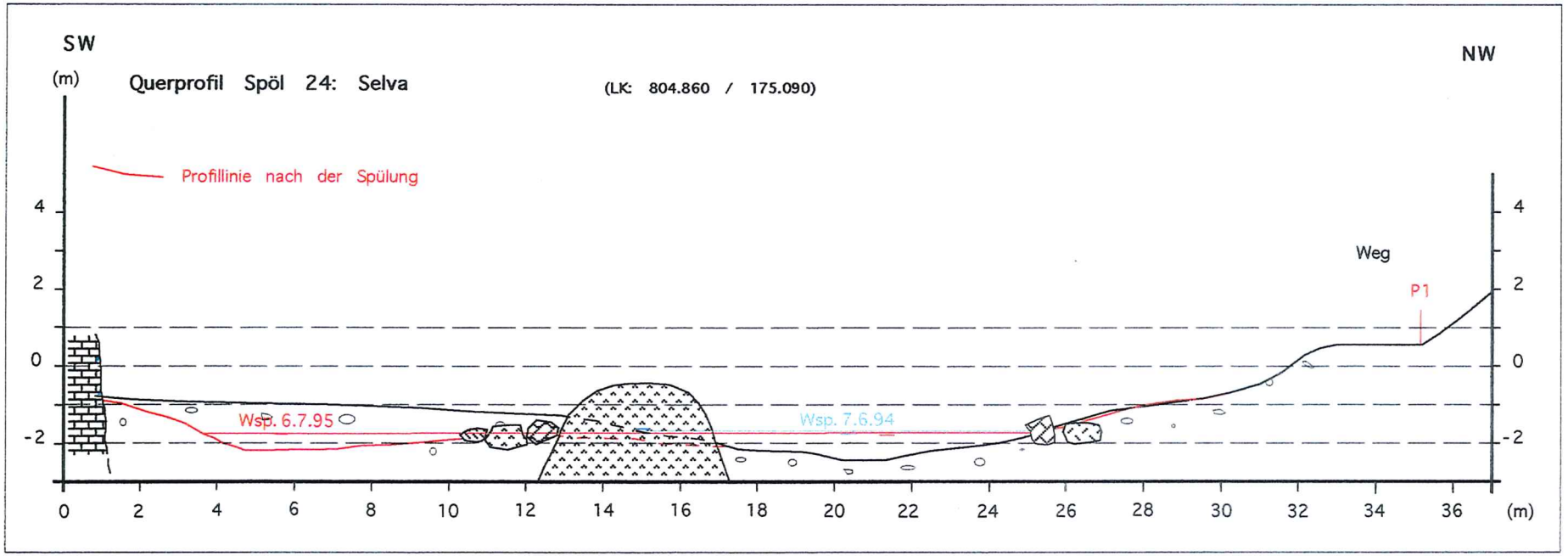

Spöl
Querprofil Nr. 11 Km 0,030
"Mündung"
1475
Stein 1474,02
1473
1471
1469
Wsp. 6.7.1995
Wsp. 7.6.1995
7.10.1985
30.09.1992
7.06.1994
6.07.1995
0
2
4 m

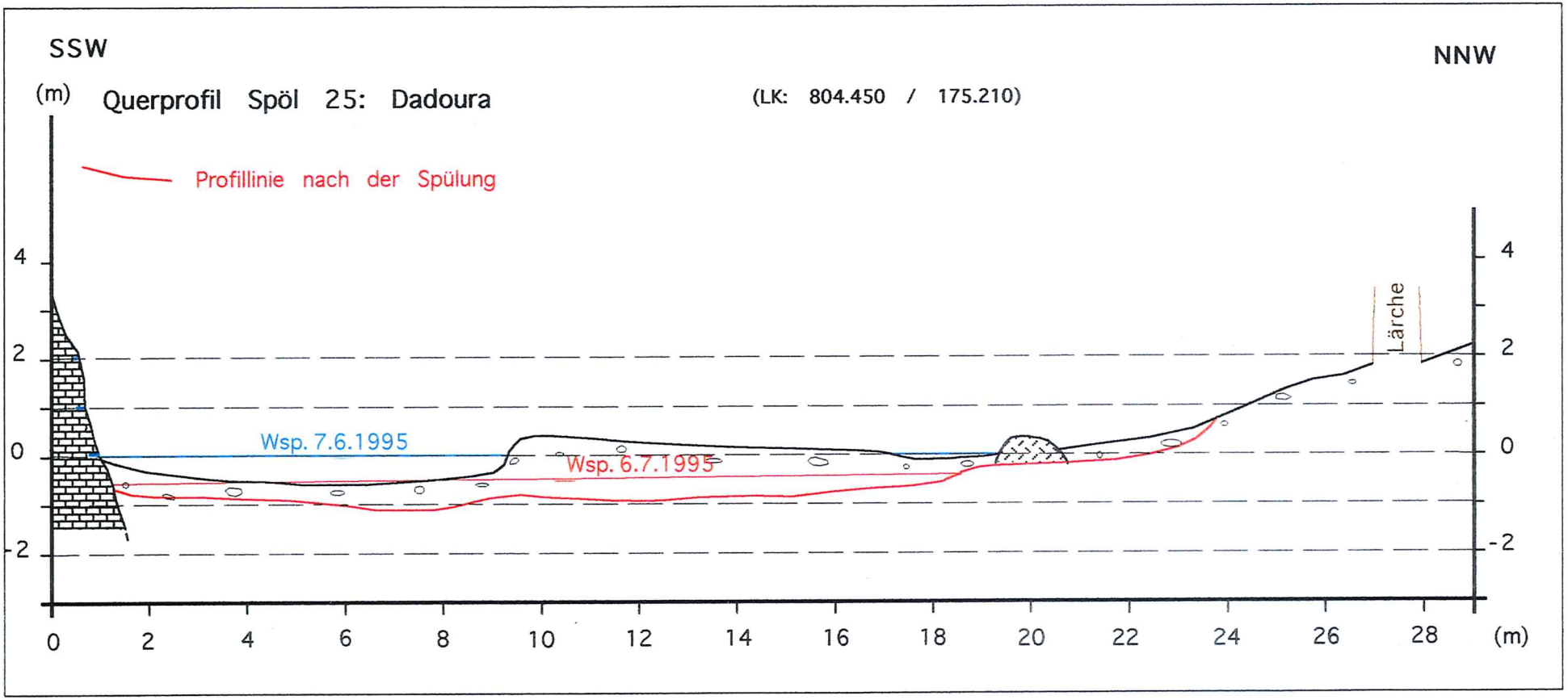

SSW
NNW
(m)
Querprofil Spöl 21: Cluozzabach Ost
(LK: 805.100 / 174.825)
Profillinie nach der Spülung
P 1
P 2
P 3
Wsp. 7.6.94
WSp. 6.7.95
6
4
2
0
-2
-4
0
4
8
12
16
20
24
28
32
36
40
44 (m)

SSW NNW

(m) **Querprofil Spöl 23: Suot Pisch** (LK: 804.850 / 174.875)




SW
NW
(m)
Querprofil Spöl 24: Selva
(LK: 804.860 / 175.090)
Profillinie nach der Spülung
Weg
P1
Wsp. 6.7.95
Wsp. 7.6.94
4
2
0
-2
0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 (m)


SSW
NNW
(m)
Querprofil Spöl 25: Dadoura
(LK: 804.450 / 175.210)
Profillinie nach der Spülung
Wsp. 7.6.1995
Wsp. 6.7.1995
Lärche
4
2
0
-2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
28
(m)

Anhang 5: Gesamtmineralogie Kerne OSK-2 , OSK-3 und OSK-4

OSK-2

Bauherr: EKW

Bohrdatum: 8.6.1995

Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

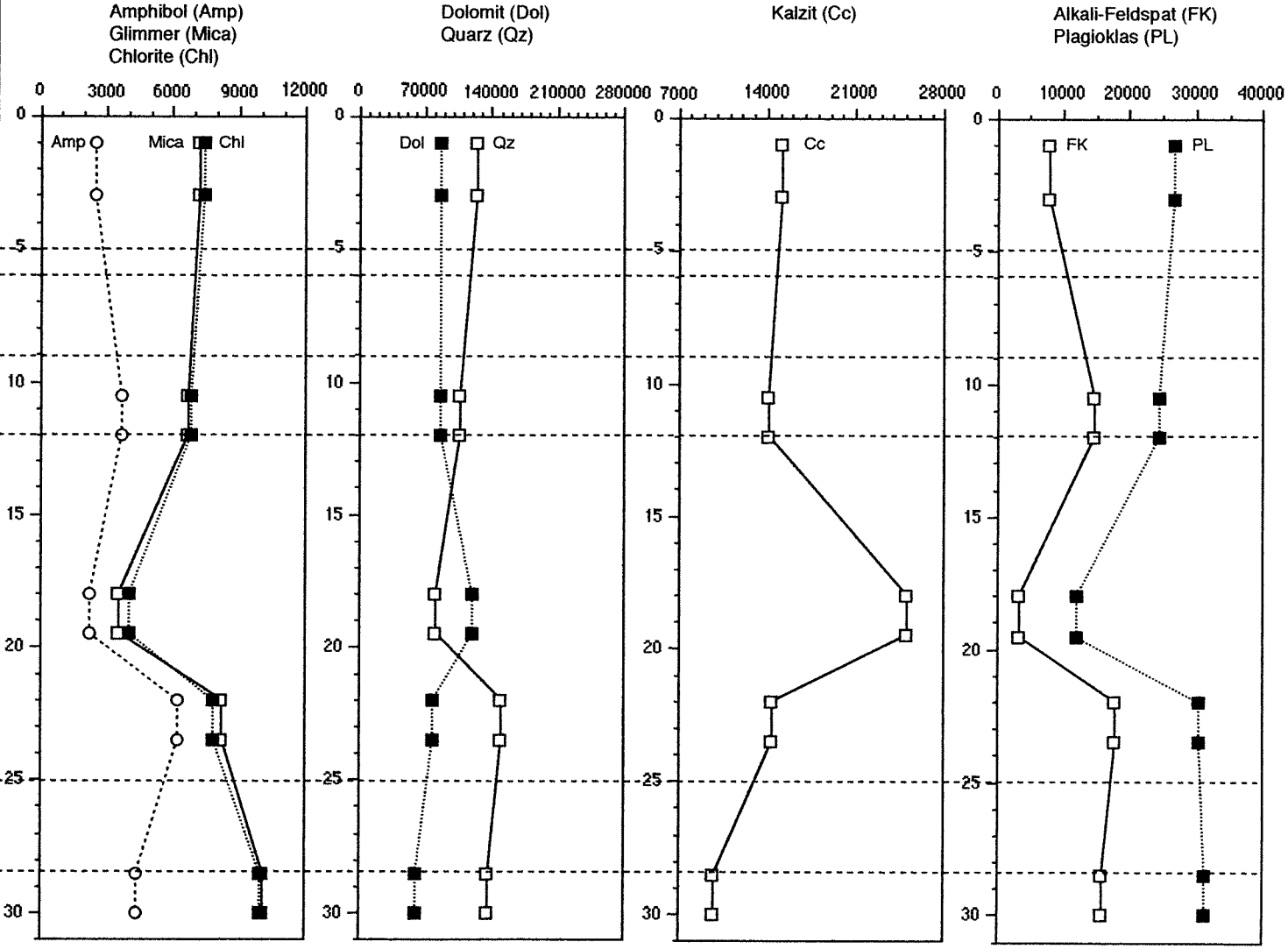
Tiefen (cm)	Kernphoto	Makro-reste	Lithologie
			toniger Silt, dunkel-oliv (5Y-4/3)
5.0			feinsandiger Silt, tonig grau-oliv, (5Y-4/2)
6.0			feinsandiger Silt, leicht tonig dunkel-oliv (5Y-4/3)
9.0			feinsandiger Silt, tonig grau-oliv, (5Y-5/2)
12.0			gestapelte fining-upwards-sequences von feinsandigem Silt mit viel Glimmer bis siltigem Ton, grau-oliv (5Y-5/2)
25.0			feinsandiger Silt/Ton, grau-gelb-braun (10YR-4/2)
28.5			feinsandiger Silt/Ton, gräulich-oliv (5Y-4/2)
31.0			

Lärchennadeln

Mineralogie des Gesamtsediment (Röntgendiffractometrie Scintag XDS 2000)

Einheit: cpm (counts per minute)

Analysen: M. Rolli



OSK-3

Bauherr: EKW

Bohrdatum: 8.6.1995

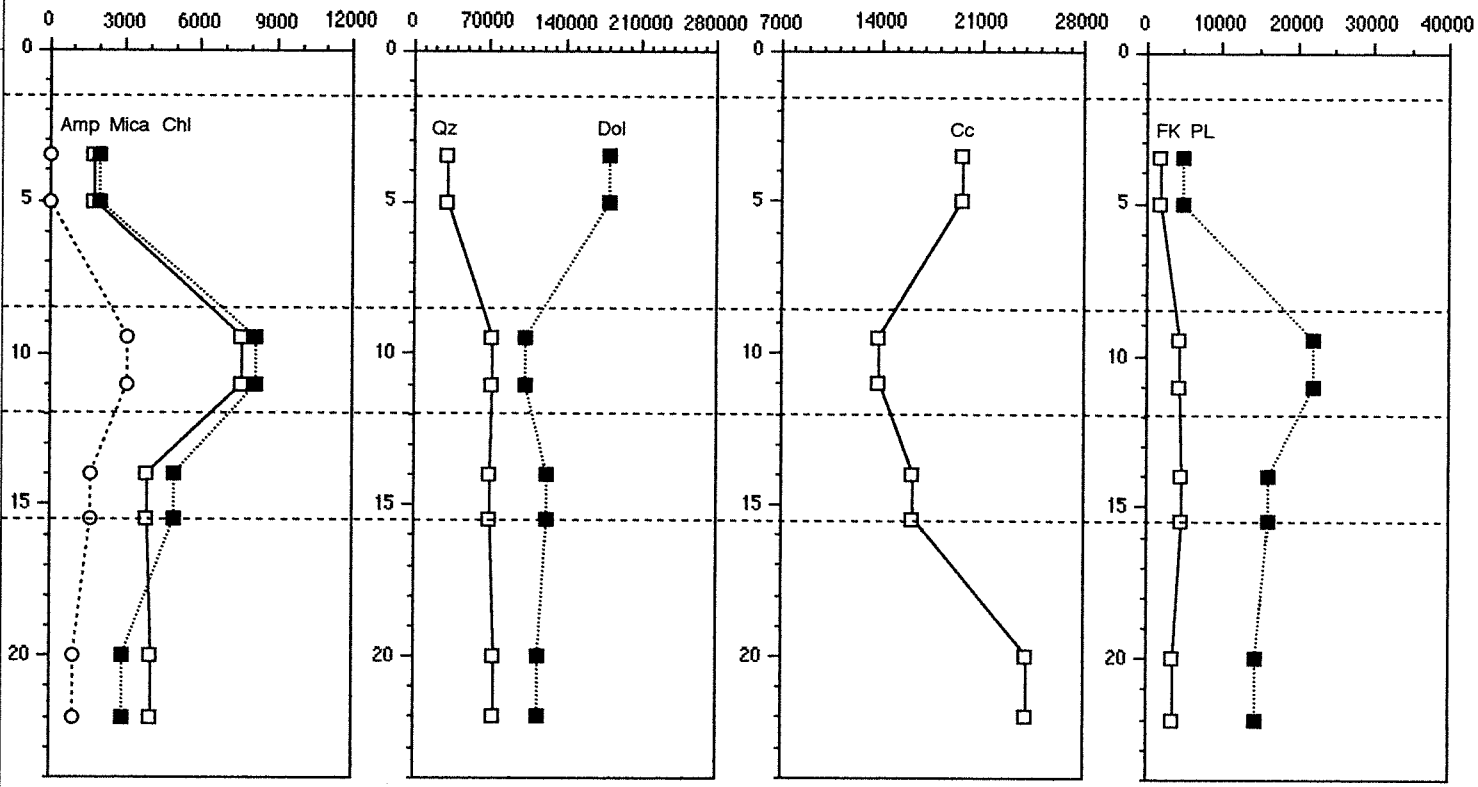
Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

Mineralogie des Gesamtsediment (Röntgendiffractometrie Scintag XDS 2000)

Einheit: cpm (counts per minute)

Analysen: M. Rolli

Tiefen (cm)	Kernphoto	Makro-reste	Lithologie
1.5			feinsandiger Silt, oliv-schwarz (5Y-3/1)
7.0			Ton und Silt, grau (5Y-5/1)
8.5			toniger Silt/Feinsand, oliv-schwarz (5Y-2/2)
12.0			feinlaminierter Ton und Silt, schwarz (5Y-5/1)
15.5			feinsandiger Silt/Ton, gräulich-oliv (5Y-5/2)
24.0			feinsandiger Silt, schwach tonig, grau (5Y-4/1)

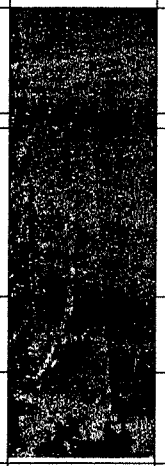


OSK-4

Bauherr: EKW

Bohrdatum: 8.6.1995

Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

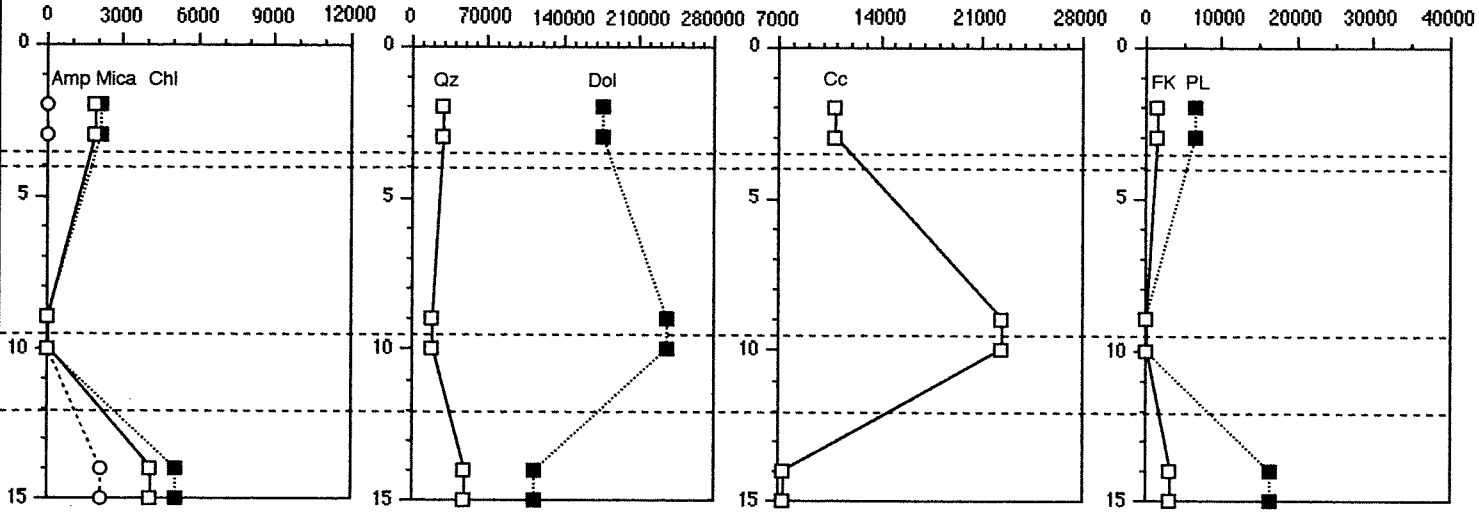
Tiefen (cm)	Kernphoto	Makro-reste	Lithologie
3.5			feinlaminierter Silt/ Ton, teils feinsandig gräulich-oliv (5Y-4/2)
4.0			feinsandiger Silt, gräulich-oliv (5Y-4/2)
			feinlaminierter Silt/ Ton, teils feinsandig gräulich-oliv (5Y-4/2)
9.5			feinsandiger Silt, im cm-Bereich laminiert, oliv-schwarz (5Y-3/2)
12.0			Ton/Silt, mit Stein (ø =2 cm), gräulich-oliv (5Y-4/2)
15.0			

Farben wären frisch etwas heller und weniger grün, Aufnahme ca. 2 Std. nach Kernöffnung.

Mineralogie des Gesamtsediments (Röntgendiffractometrie Scintag XDS 2000)

Einheit: cpm (counts per minute)

Analysen: M. Rolli



Anhang 6: Geochemie Kerne OSK-2, OSK-4 und OSK-5

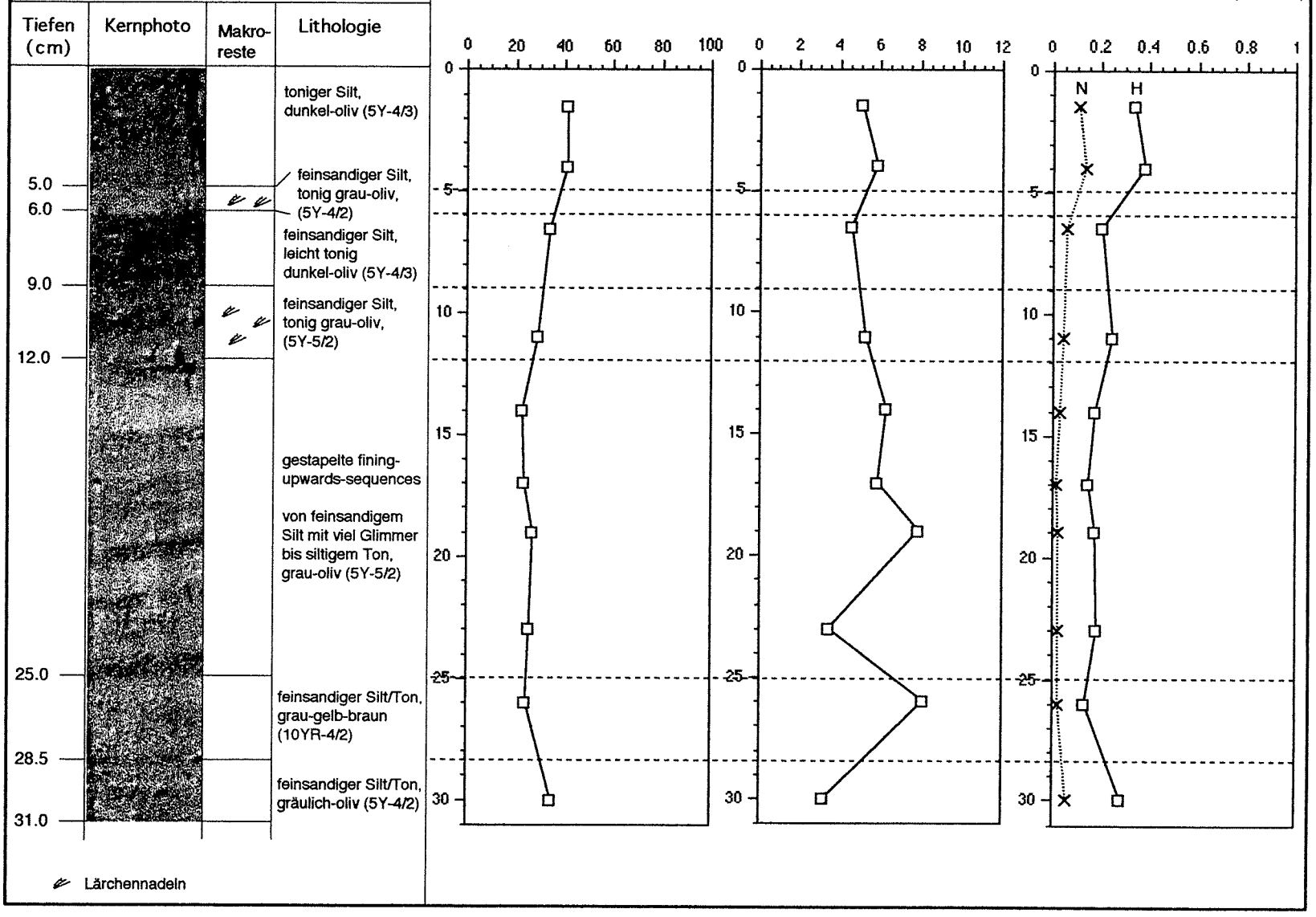
OSK-2

Bauherr:

Bohrdatum: 8.6.1995

Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

Analysen: M. Rolli



OSK-4

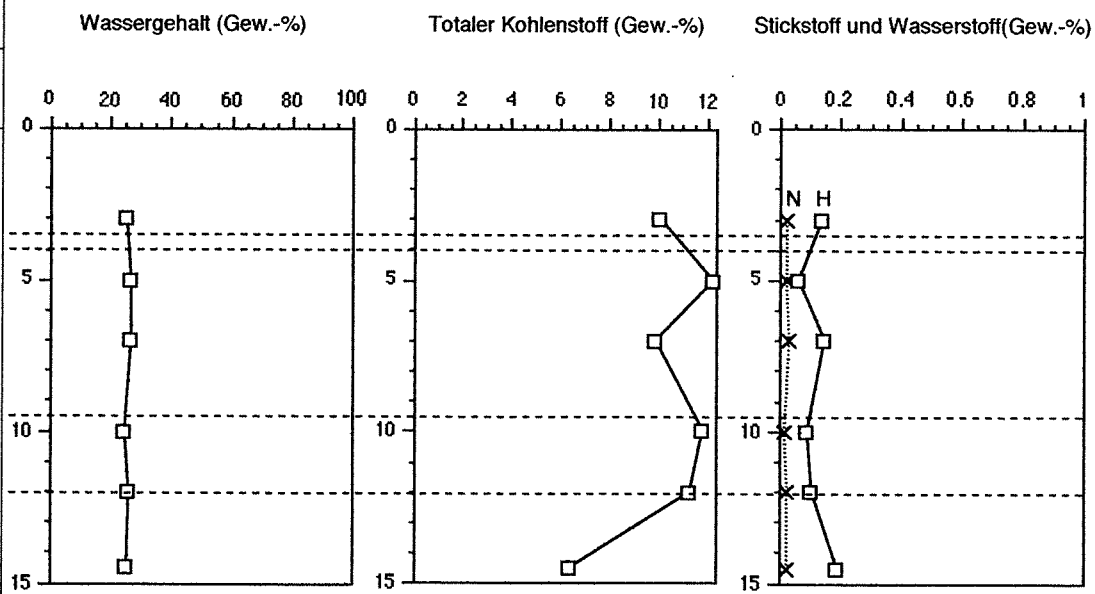
Bauherr:

Bohrdatum: 8.6.1995

Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

Analysen: M. Rolli

Tiefen (cm)	Kernphoto	Makro-reste	Lithologie
			feinlaminierter Silt/ Ton, teils feinsandig gräulich-oliv (5Y-4/2)
3.5			
4.0			feinsandiger Silt, gräulich-oliv (5Y-4/2)
			feinlaminierter Silt/ Ton, teils feinsandig gräulich-oliv (5Y-4/2)
9.5			feinsandiger Silt, im cm-Bereich laminiert, oliv-schwarz (5Y-3/2)
12.0			Ton/Silt, mit Stein (ø =2 cm) gräulich-oliv (5Y-4/2)
15.0			



Farben wären frisch etwas heller und weniger grün, Aufnahme ca. 2 Std. nach Kernöffnung.

OSK-5

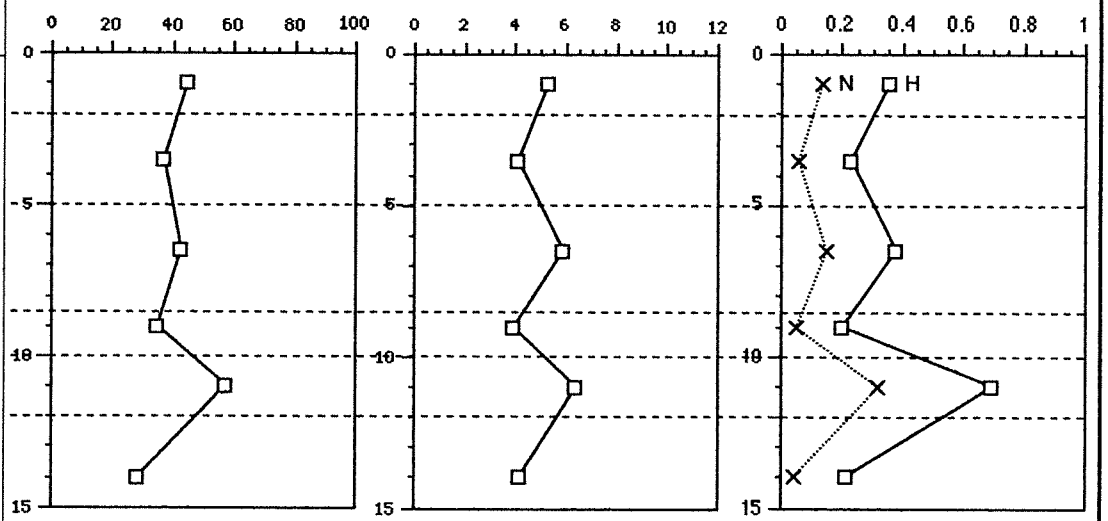
Bauherr:

Bohrdatum: 8.6.1995

Profilaufnahme: Dr. B. U. Müller

Analysen: M. Rolli

Tiefen (cm)	Kernphoto	Makro-reste	Lithologie
0 – 2.0			tonig-siltiger Sand, oliv-grau (5Y-4/2) *
2.0 – 5.0			Fein-/Mittelsand, oliv-grau (5Y-4/2)
5.0 – 8.5			tonig-siltiger Sand, oliv-grau (5Y-4/2)
8.5 – 10.0			Fein-/Mittelsand, oliv-grau (5Y-4/2)
10.0 – 12.0			tonig-siltiger Sand, dunkel-oliv (5Y-4/3)
12.0 – 15.0			feinsandiger Silt, tonig, schwarz-oliv (5Y-2/2)



* nur ca. 50 % Kern, deformiert

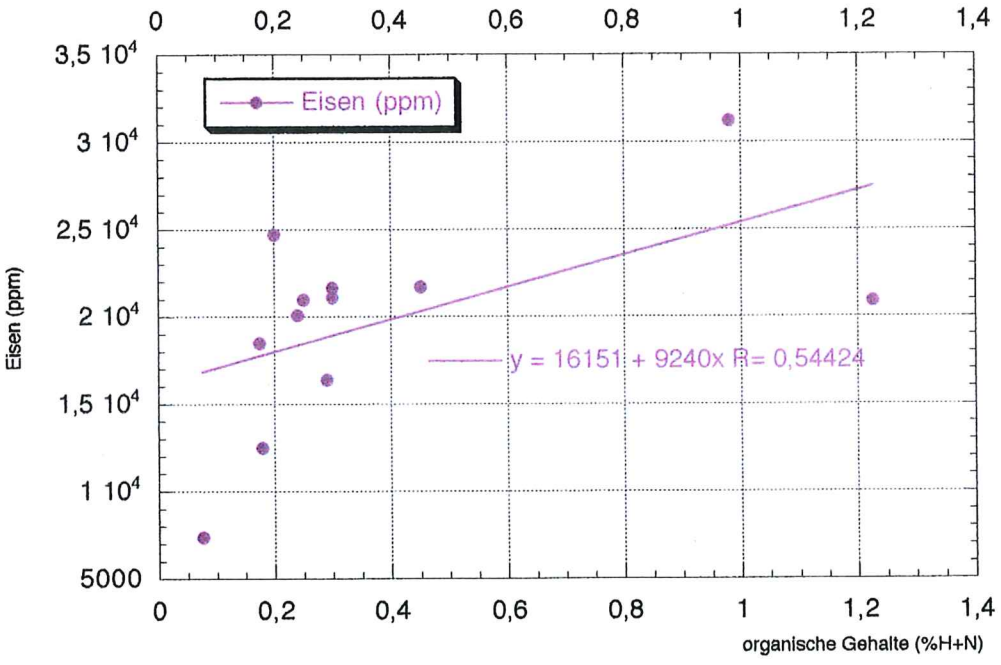
Farben wären frisch etwas dunkler und weniger grün, Aufnahme ca. 2 Std. nach Kernöffnung.

Anhang 7: Analysedaten Spurenelemente

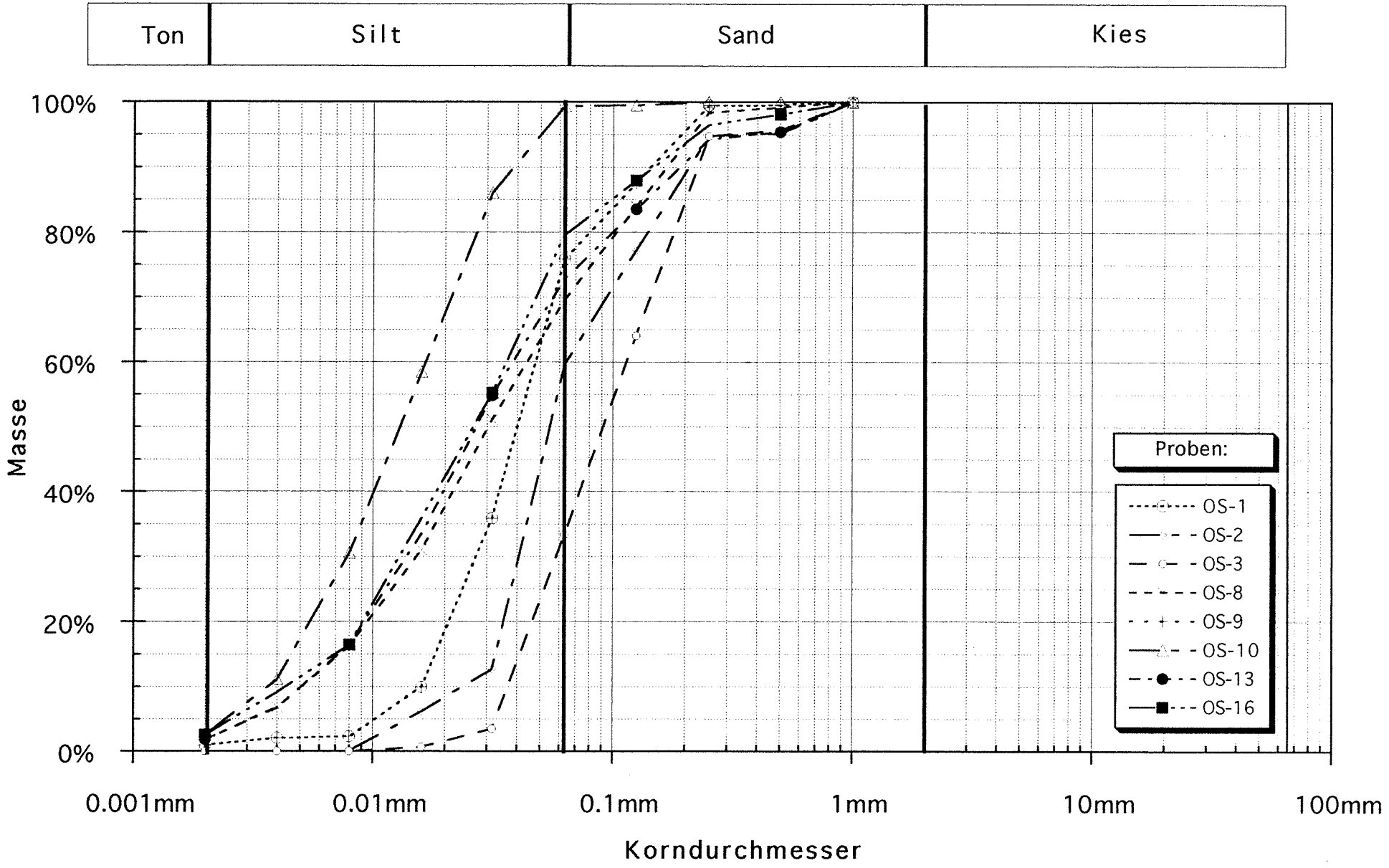
Page #1 - "Spurenelem.(ppm)"

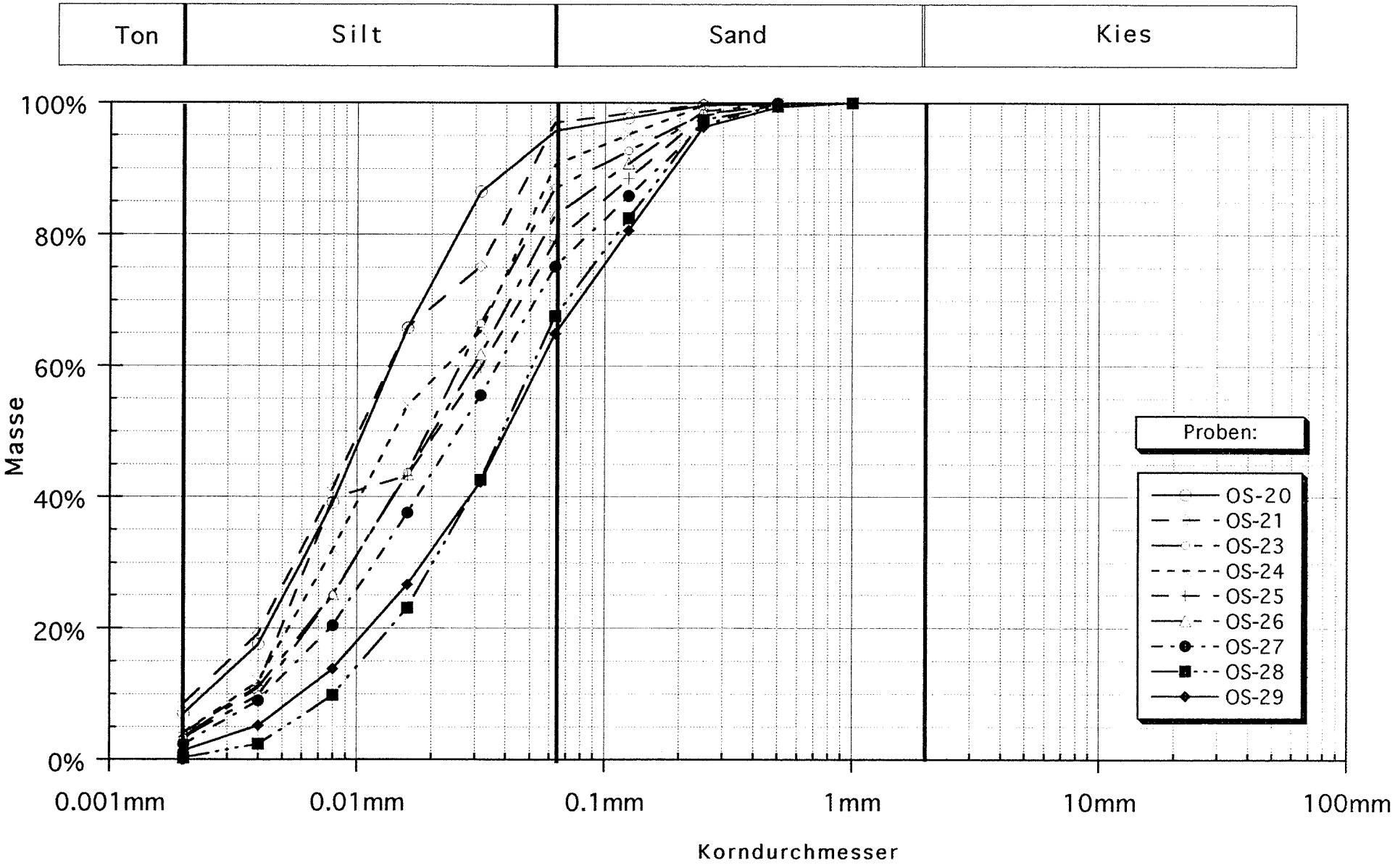
	sample	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Br	Pb	Th	Y	Rb	Sr	Ti	Mn	Fe
0	os202	10.3	23.1	80.60	10.40	22.9	2.8	15.1	2.0	23.5	75.5	157.5	1928.4	375.3	21692
1	os212	8.10	20.5	70.30	10.70	23.2	1.8	17.6	2.7	23.6	72.4	155.7	1829.2	417.6	21072
2	os214	3.70	20.9	69.90	9.600	22.7	2.1	18.8	1.7	21.1	68.2	169.1	1828.1	395.2	20068
3	os223	9.30	23.1	65.10	11.90	23.7	1.7	13.9	2.1	26.7	73.8	143.7	2339.9	467.6	24714
4	os226.5	6.70	21.9	61.00	9.500	18.7	2.3	12.4	1.5	19.7	64.0	168.4	1868.6	349.9	18474
5	os311	7.80	23.2	90.40	9.200	42.3	3.9	19.3	2.2	22.7	70.4	169.9	1675.5	362.3	20878
6	os322	10.1	21.4	51.70	6.800	23.3	2.4	13.7	0.0	17.5	52.8	177.1	1178.3	347.8	16384
7	os405	5.70	17.8	27.60	1.700	18.8	2.2	5.60	0.0	6.70	15.9	97.10	432.00	148.0	7359.0
8	os407	4.00	20.0	54.40	5.900	27.8	2.5	12.9	0.0	12.0	40.9	102.5	777.00	242.7	12479
9	os511	17.8	31.7	150.7	13.30	47.4	5.9	39.7	3.7	32.8	95.7	155.5	2476.7	526.3	31202
10	os514	6.60	21.1	62.10	9.400	19.3	1.8	13.7	1.2	23.0	72.5	160.0	2152.4	398.1	20948
11	os54.5	9.80	21.0	68.00	10.40	21.4	3.2	14.1	1.9	27.7	73.5	156.2	2306.1	400.7	21645

	Element	Konz. Kruste (ppm)	Konz. OS-tot (ppm)	Konz. OS ohne OSK-4	Konz. OSK-4 (ppm)	Konz. OS-min (ppm)	Konz. OS511 (ppm)
0	Titan	4010	1649	1857	604	432	2476
1	Mangan	716.0	369.3	404.1	195.3	148.0	526.3
2	Eisen	43200	18172	19822	9918	7358	31202
3	Nickel	56.0	8.3	9.0	4.8	4.0	17.8
4	Kupfer	25.0	22.1	22.8	18.9	17.8	31.7
5	Zink	65.0	70.9	76.9	41.0	27.6	150.7
6	Arsen	1.7	25.9	26.5	23.3	18.7	47.4
7	Brom	1.0	2.7	2.8	2.4	1.7	5.9
8	Yttrium	24.0	21.4	23.8	9.5	6.7	32.8
9	Blei	14.8	16.4	17.8	9.2	5.6	39.7



Anhang 8: Verschiedene Korngrössenanalysen aus Ova Spin und dem Spöl


Ton
Silt
Sand
Kies
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Masse
0.001mm
0.01mm
0.1mm
1mm
10mm
100mm
Korndurchmesser
Proben:
OS-1
OS-2
OS-3
OS-8
OS-9
OS-10
OS-13
OS-16


Ton
Silt
Sand
Kies
100%
80%
60%
40%
20%
0%
Masse
0.001mm
0.01mm
0.1mm
1mm
10mm
100mm
Korndurchmesser
Proben:
OS-20
OS-21
OS-23
OS-24
OS-25
OS-26
OS-27
OS-28
OS-29

KANTONALES STRASSENBAULABORATORIUM BERN

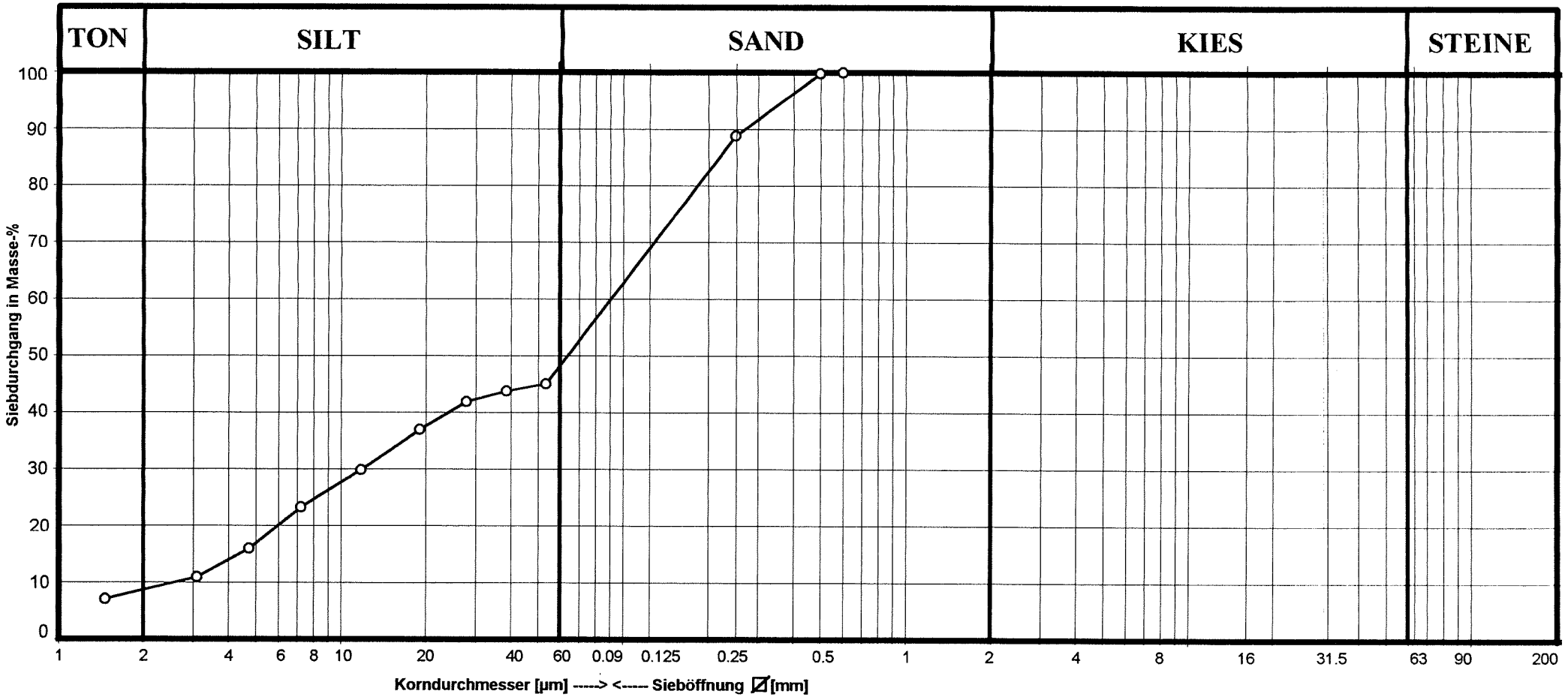
KORNVERTEILUNG IN SUMMATIONSKURVEN

Labor Nr. 960045

Bohrung Nr. OSH-11

Auftraggeber:
Herkunft: Ova Spin
Verwendungszweck:

Grösstkorn: 0.6 Ø mm w_L - % w_P - % I_p - % ϱ_s 2.71 t/m³ w - % **USCS:**



Eingang der Probe:

Bern, 23.1.96 Laborant: BUM ---

KANTONALES STRASSENBAULABORATORIUM BERN

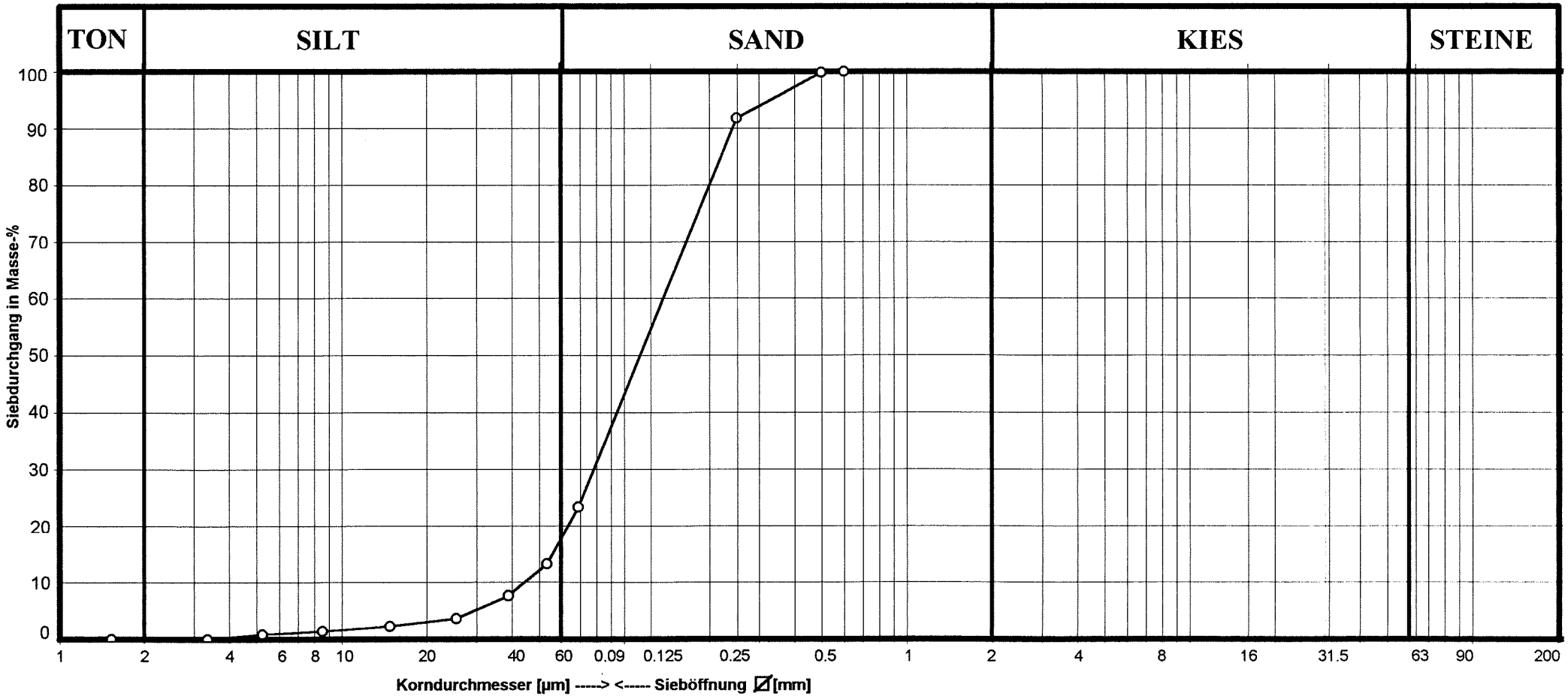
KORNVERTEILUNG IN SUMMATIONSKURVEN

Labor Nr. 960043

Bohrung Nr. OSH-12

Auftraggeber:
Herkunft: Ova Spin
Verwendungszweck:

Grösstkorn: 0.6 Ø mm w_L - % w_P - % I_p - % ϱ_s 2.70 t/m³ w - % **USCS:**



Eingang der Probe:

Bern, 23.1.96 Laborant: BUM ---

KANTONALES STRASSENBAULABORATORIUM BERN

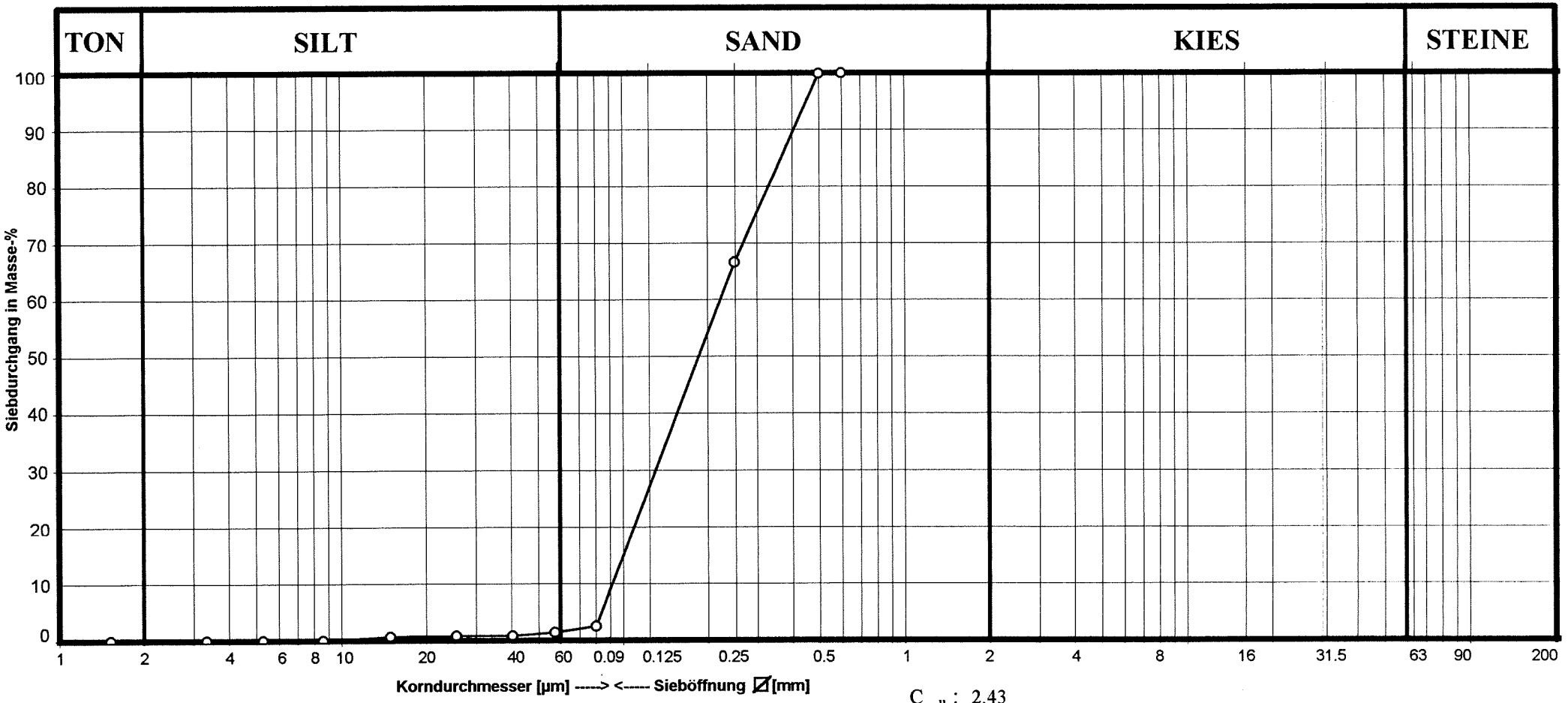
KORNVERTEILUNG IN SUMMATIONSKURVEN

Labor Nr. 960046

Bohrung Nr. OSH-13

Auftraggeber:
Herkunft: Ova Spin
Verwendungszweck:

Grösstkorn: 0.6 Ø mm w_L - % w_P - % I_p - % ϱ_s 2.71 t/m³ w - % **USCS:**



C_u: 2.43
C_c: 0.837

Eingang der Probe:

Bern, 23.1.96

Laborant: BUM

KANTONALES STRASSENBAULABORATORIUM BERN

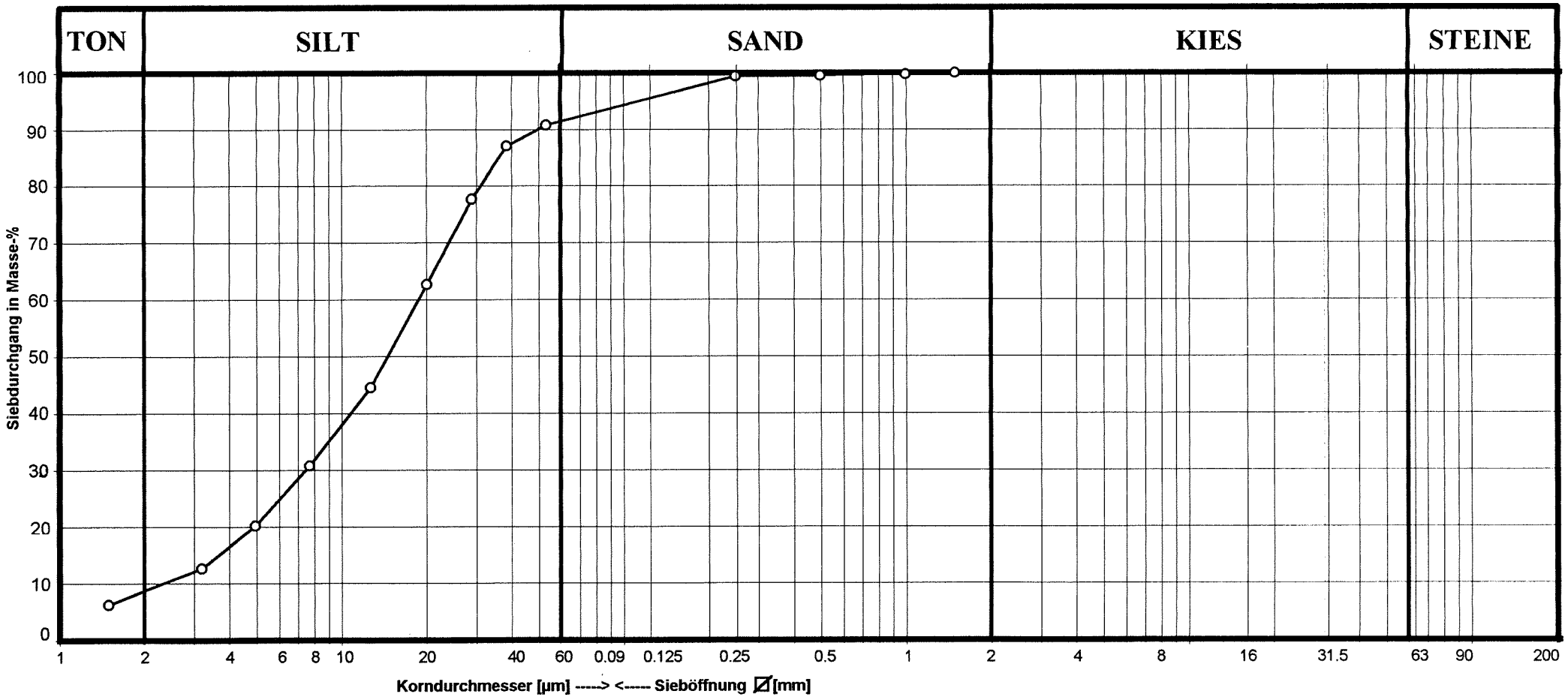
KORNVERTEILUNG IN SUMMATIONSKURVEN

Labor Nr. 960044

Bohrung Nr. OSH-15

Auftraggeber:
Herkunft: Ova Spin
Verwendungszweck:

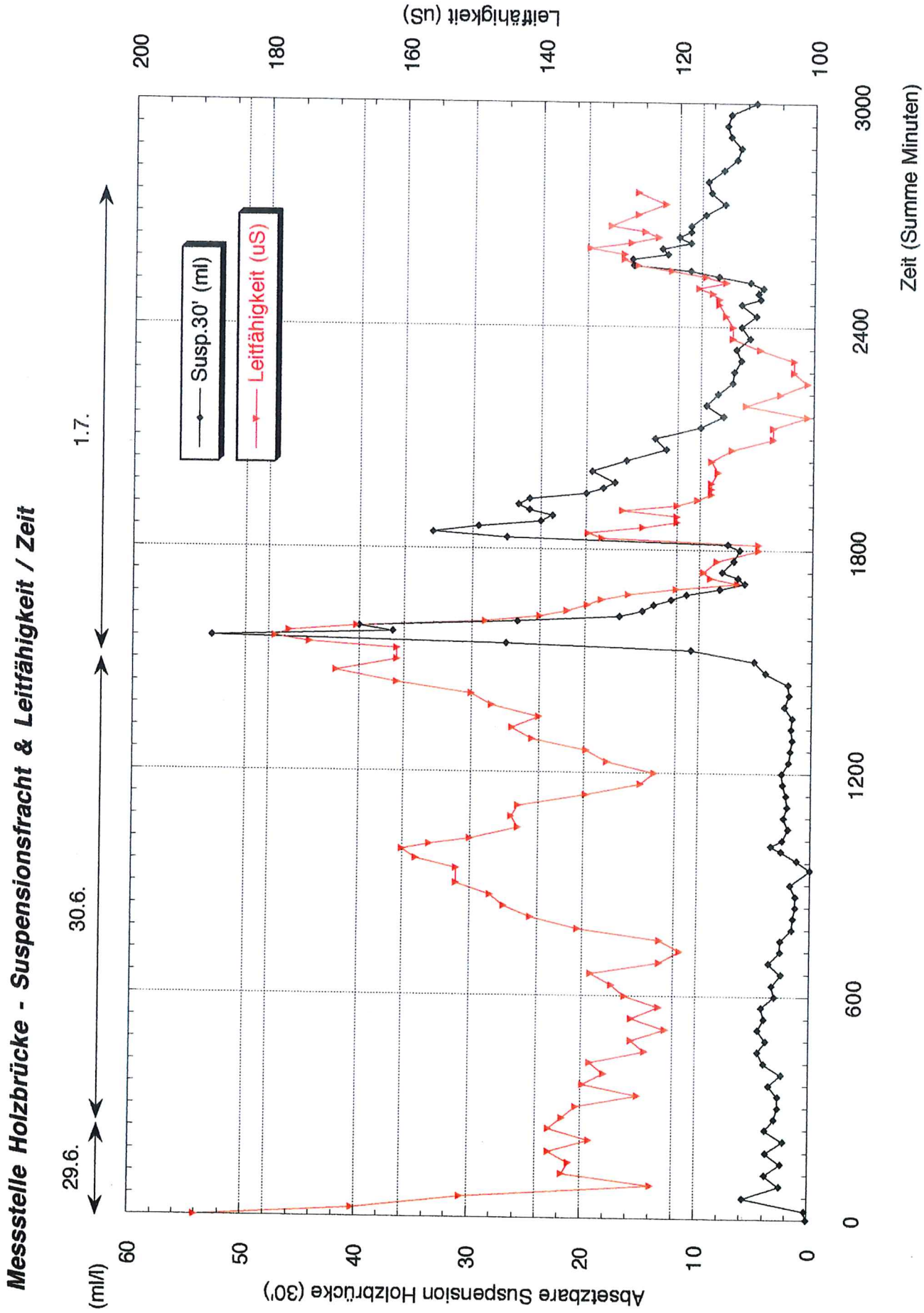
Grösstkorn: 1.5 Ø mm w_L - % w_P - % I_p - % ϱ_s 2.72 t/m³ w - % **USCS:**



Eingang der Probe:

Bern, 23.1.96 Laborant: BUM ---

Anhang 9: Diagramm Leitfähigkeit und Abfluss / Zeit



Figurenverzeichnis

Figur 1: Längsprofil durch Ova Spin und das Spöltal bis zum Inn

Figur 2: Typische Kornsummenkurven der Sedimente im vorderen Seeteil von Ova Spin

Figur 3: Lithologien der Kastengreiferproben aus Ova Spin

Figur 4: Kernphoto Ova Spin

Figur 5: Gesamtmineralogie der Kerne OSK-2, OSK-3 und OSK-4 im Vergleich

Figur 6: Kern OSK-3: Geochemie

Figur 7: Vergleich der geogenen Hintergrundwerte mit den Spurenelementkonzentrationen in den Ablagerungen des Staubeckens Ova Spin.

Figur 8: Anreicherungsfaktoren einiger Spurenelemente an Proben aus dem Staubecken Ova Spin

Figur 9: Anreicherungsfaktoren (EF) von Arsen in den Sedimenten aus dem Staubecken Ova Spin

Figur 10: Diagramm organische Gehalte im Sediment gegen Spurenelemente

Figur 11: Abschätzung des anthropogenen Anteils an der Schwermetallbelastung im Staubecken Ova Spin

Figur 12: Ausschnitt aus dem Diagramm Absetzbare Suspensionsfracht nach 1, 10 und 30 Minuten an der Messtelle Holzbrücke

Figur 13: Diagramm Abfluss / Pegelstand / Suspensionsfracht gegen Zeit (Messstelle Holzbrücke)

Figur 14: Erosionsrand im Staubecken Ova Spin (Blick von der Staumauer am 2.7.95). Die Höhe der Böschung beträgt etwa 5 - 8 m.

Figur 15: Suspendierte Fracht an den Messstation "Laschadura", "Cluozza", "Holzbrücke" und "Mündung Spöl"

Figur 16: Korngrössenzusammensetzung der Hochflutablagerungen des Spöls (Probenahmepunkt OSH 14)

Figur 17: Rinnen-Querprofil Spöl "Holzbrücke"

Figur 18: Querprofil Spöl "Steg EKW"

Figur 19: Diagramm Wasserchemie & Temperatur / Zeit

Figur 20: pH-Werte und Suspensionsdichten (Holzbrücke)