

DIE STARKREGEN UND MASSENUMLAGERUNGEN DES JULI-UNWETTERS 1987 IM TESSIN UND VELTLIN*)

Mit 7 Abbildungen, 1 Tabelle und 2 Photos

MICHAEL RICHTER

Summary: The heavy rains and landslides of the July storms of 1987 in the Tessin and Valtelline

Between July 16 and July 19, 1987 heavy and intensive rainfall with a maximum of 392 mm/d (Maggia) caused extensive rock slides and land slips as well as severe erosion and flooding in the southern Alps, and particularly in Valtelline in northern Italy. There the landslide activity was far stronger than in Tessin in southern Switzerland, although the total amount of precipitation was much higher in the latter area. The differences in the extent of damage in these regions with similar geological and tectonic conditions can be explained by application of magnitude-frequency analysis of rainfall events with a duration of 48 hours. Resulting from these analyses the recurrence interval of high intensity rainfalls in Tessin is very much shorter than in Valtelline. Newspaper coverage overemphasized the significance of environmental damages as causes for the disastrous landslides; however, they did not consider the extraordinarily high intensity of rainfall as the most effective geomorphological process event.

Im Sommer 1987 wurden die katastrophalen Auswirkungen von vier Unwettern in den Alpen ausführlich in der Tagespresse behandelt. Neben der üblichen Berichterstattung über Unglücks- und Schadensfälle wurde nun auch in verstärktem Maße die Frage aufgeworfen, inwiefern eine fortgeschrittene Umweltschädigung das Ausmaß der Katastrophe verschärft hat. Als mögliche Ursachen der Verwüstungen durch Felsstürze, Rutschungen und Überschwemmungen wurden in zahlreichen Zeitungen die zunehmende Überbauung an Hängen, die Ausweitung der Skigebiete und die Waldschäden besonders herausgestellt.

So sehr dieser Trend der Presse in Richtung auf eine ökologische Sensibilisierung zu begrüßen ist, so scheint es dennoch angebracht, „Zitate von Wissenschaftlern“ in ihrem Zustandekommen kritisch zu interpretieren. Es kann dabei eine Pauschalisierung erfolgen, die zu der Vorstellung führen mag, die genannten Umweltveränderungen wären als grundlegende Wirkungsfaktoren für katastrophale Massenumlagerungen oder Überschwemmungen zu verstehen. Der Blick auf das auslösende Witterungsereignis wird dadurch verstellt, und die Tatsache, daß die Alpen ihr Erscheinungsbild zum erheblichen

Teil entsprechenden Naturkatastrophen verdanken, bleibt unberücksichtigt.

Am Beispiel des Unwetters mit den heftigsten Niederschlägen sollen die meteorologischen Ursachen herausgestellt und bewertet sowie in Verbindung zu den teilweise dramatischen morphologischen Prozessen gebracht werden. Es handelt sich dabei um die Starkregen vom 16.-19. 7. 1987, durch die das Veltlin in besonderem Maße von Überschwemmungen betroffen wurde und in deren Gefolge als spektakulärstes Ereignis der Bergsturz des Val Pola südlich Bormio niederging. Bei den drei anderen Unwettern kam es am 14. Juli in den französischen Alpen bei Annecy zu Überschwemmungen und am 24./25. August in der Zentralschweiz sowie am 25./26. August in Tirol zu erheblichen Massenumlagerungen.

Auslösende Wetterlage

Dem monatlichen Übersichtsbericht des Istituto Svizzero di Meteorologia in Locarno-Monti ist zu entnehmen, daß sich der Juli 1987 meteorologisch klar in zwei Abschnitte einteilen läßt: die erste Hälfte mit erhöhten Temperaturen und Schwüle, die zweite verhältnismäßig kühl mit übermäßigen und häufigen Niederschlägen. Bis etwa zum 15. Juli sorgte ein weiter Ausläufer des Azorenhochs, der sich bis zum Nordatlantik erstreckte, im Alpenbereich für geringe Störungseinflüsse aus nordwestlichen Richtungen. Die Alpensüdseite befand sich somit im Einflußbereich feucht-warmer Luftmassen, die langsam von Osten und Süden einströmten. Mit dem Zurückweichen des Hochdruckausläufers in sein Kerngebiet über den Azoren breitete sich Mitte Juli kühl-feuchte Meeresluft vom Nordatlantik her gegen die Alpen aus. Im Kontaktbereich mit den warmen Luftmassen über Mittel- und Südeuropa entstand eine Folge von Depressionen über dem Ärmelkanal und der Nordsee, die mehrfach Störungen verursachten.

In der Anfangsphase der Tiefdruckeinflüsse kam es mit der Zufuhr kühl-feuchter Luftmassen vom frühen

*) Herrn Professor FRANK AHNERT zum 60. Geburtstag gewidmet.

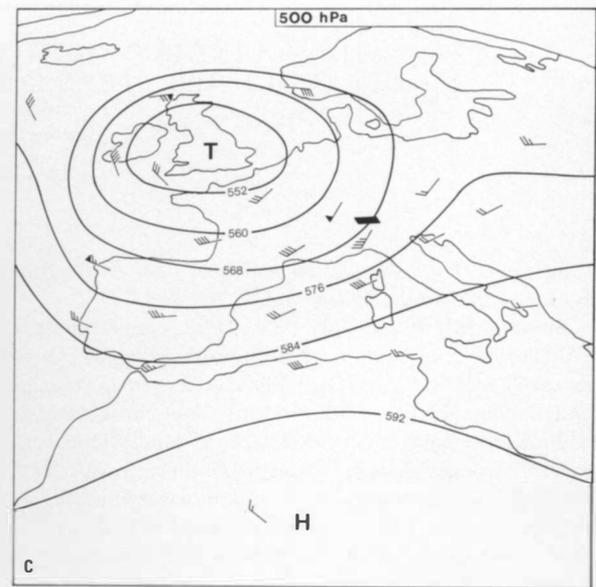
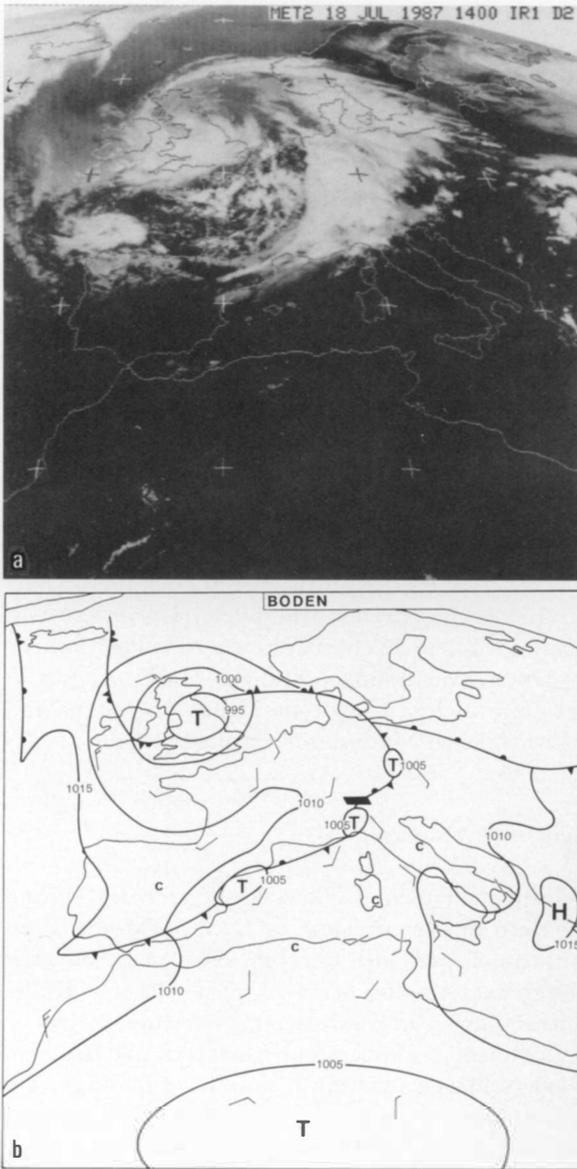


Abb. 1a-c: Meteosat-Bild vom 18. 7. 1987, 14h00 GMT, mit zugehöriger Karte der Luftdruckverteilung und der Windwerte im 500 hPa-Niveau und Bodenwetterkarte des Bereichs zwischen Nordafrika und Südkandinavien
 Meteosat image taken on July 18, 1987 (14h00 GMT), air pressure distribution and wind values on the 500 hPa level, and surface chart for the area extending from the northern Sahara to southern Scandinavia

Morgen des 17. Juli an zu extremen Starkniederschlägen im südlichen Tessin. Sie setzten sich im Verlauf der nächsten beiden Tage zuerst in nordöstlicher Richtung über das Nordtessin (Sopraceneri) und dann nach Osten über das Veltlin und das Engadin bis in die Tiroler Alpen im österreichisch-italienischen Grenzgebiet fort. Als regionale Ursache ist von einer sekundären Verwirbelung kühler und warmer Luftmassen über dem Monferrato im Piemont auszugehen, der sog. „fucina Astigiana“ bzw. „Gewitterschmiede von Asti“. In diesem Fall des Luftmassen-Zusammenschlusses wurde im 500 hPa-Niveau die kühle Luft aus der Nordsee-Region in großem Bogen

über Schottland, Irland und Südfrankreich von SW gegen die Südalpen geführt (s. Abb. 1b). Gleichzeitig strömte Warmluft aus dem südlichen Sektor seit zwischen der vorschreitenden Kaltfront über der spanisch-südfranzösischen Mittelmeerküste und einem stabilen Hochdruckgürtel über Südosteuropa von Nordafrika her ein (Abb. 1c). Der Ursprung dieser Luftmassen lag in einer seit Tagen über der Sahara lagernden flachen Hitzedepression mit schwachen Druckgegensätzen auf kleinem Raum, die im Sinne von S. MÜLLER u. M. RICHTER (1984, S. 7) auf lokale Turbulenzen mit möglicher Sandsturm-Entladung hindeuten (vgl. z. B. Bodenkarten des Europäischen Wetterberichts vom 13.-16. 7. 1987). Als langsame Scirocco-Strömung breitete sich die Warmluft über das Tyrrhenische Meer aus und reicherte sich mit Wasserdampf an.

Nach der Klassifikation der Witterungslagen von M. SCHÜEPP (1968) läßt sich das Juli-Unwetter in den Südalpen auf eine „zyklonale Südwestlage“ zurückführen, bei der nach Auswertungen von F. FLIRI (1984, S. 268 ff., 644 f. u. 662 f.) für das Tessin die maximale Niederschlagsdichte im Alpenraum zu erwarten ist. Die beschriebene Konstellation der

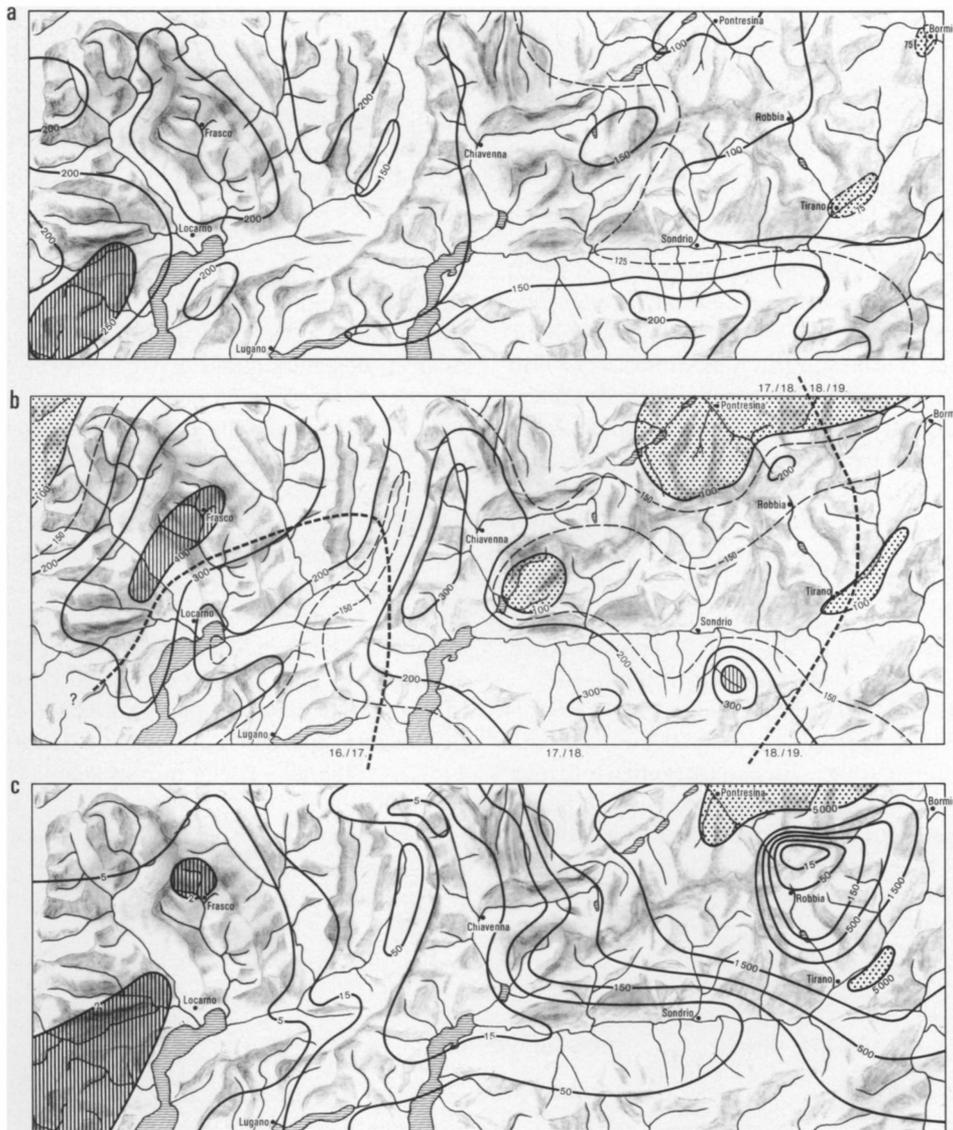


Abb. 2a-c: Niederschlagskarten der Südalpen zwischen Tessin und oberem Veltlin

- Isohyeten des langjährigen Niederschlagsmittels der Jahressummen, in cm
- Isohyeten der Niederschläge mit den maximalen 2-Tages-Summen im Juli 1987, in mm; gerissene Linien: Grenze der Zeitverschiebung der 48stündigen Maximalwerte, auf 7h30-Ablesungen bezogen
- Wiederkehrzeit (in Jahren) eines Niederschlagsereignisses mit 200 mm in zwei Tagen

Precipitation charts for the southern Alps between Tessin and upper Valtelline

- Isohyets of long term average annual precipitation in cm
- Isohyets of precipitation with the maximum 2-day totals in July 1987 (in mm); intermediate lines: outer limit of the time lag of the 48-hour maxima (7h30 readings)
- Recurrence interval (in years) of rainfall yielding 200 mm in 2 days

Druckgebilde ist jedoch eher in den Übergangsjahreszeiten wirksam, insbesondere im September.

Für die Jahreszeit selten waren die Windgeschwindigkeiten des Jets in ca. 11 km Höhe, wo die Radiosonden-Aufstiege über Mailand für den 19. Juli 1987 um 0h00 und 12h00 GMT Werte von 105 Knoten

übermittelten. Diese überlagernde Strömung aus SW trug maßgeblich zu jenem Bewegungsimpuls bei, der die allmähliche Verlagerung der Gewitterzone vom Südtessin nach E über das Veltlin bis in die Tiroler Alpenregion bedingte (vgl. gerissene Linie in Abb. 2b).

Starkregen-Ereignisse

Aus Abb. 2a geht hervor, daß das von den Juli-Starkregen betroffene Untersuchungsgebiet hinsichtlich der langjährigen Niederschlagsverteilung gegensätzliche Verhältnisse zeigt. Die Isohyeten der mittleren Jahressummen (in cm), die verschiedenen Karten entnommen sind (S. BELLONI 1972, A. BAUMGARTNER et al. 1983, *Ministero dei Lavori Pubblici* 1959), weisen das Sopraceneri mit seinen nach Süden offenen Quertälern als ein ausgesprochen feuchtes Gebiet aus, das obere Veltlin hingegen in klimatischer Hinsicht als trockenes Alpenlängstal. Nach A. BAUMGARTNER et al. (1983, Abb. 18) liegt das obere Adda-Tal in bezug auf die mittlere jährliche Niederschlags-höhe im 2500-m-Höhenniveau mit Werten von 120 cm/a im Randbereich des absoluten Minimums für die gesamten Alpen; auf der gleichen Übersichtskarte zeichnet sich das Gebiet im Centovalli, oberen Verzasca-Tal und um den Ghiridone oberhalb Brissago nach den Julischen Alpen als feuchteste Alpenregion ab (>300 cm/a). Für den 1000-m-Höhenbereich (ebd. Abb. 17) wird aufgezeigt, daß das untere Veltlin mit Werten zwischen 100 und 140 cm/a eine Übergangsstellung zwischen trockenen und mittleren Verhältnissen einnimmt; die genannten Regionen im Sopraceneri weisen mit 240 cm/a wiederum den zweithöchsten Wert in den Alpen auf. Für die Region südlich von Sondrio ist außerdem eine kleine Insel um den Pizzo di Coco als feuchter Nordrand der Bergamasker Alpen erwähnenswert (Abb. 2a).

Die räumliche Verteilung der Starkregen im Juli 1987, die sich auf die Zeit vom 16.-19.7. konzentrieren, entsprechen grob der langjährigen Isohyeten-Konfiguration. So sind die höchsten Werte für das Sopraceneri und die Bergamasker Alpen zu verzeichnen, die geringsten hingegen für das mittlere Adda-Tal um Tirano und für das Engadin (s. maximale 2-Tages-Werte in Abb. 2b). An der Klimastation Maggia in 350 m NN beliefen sich im genannten Zeitraum die Starkregen auf insgesamt 533 mm und in Frasco in 890 m NN auf 501 mm; aber auch am Lago Scais in den Bergamasker Alpen wurde ein entsprechender Betrag von 505 mm gemessen.

In bezug auf die absoluten Tagesmengen sind für das Sopraceneri besonders die Stationen Maggia mit 392 mm, Frasco mit 273 mm und Camedo mit 232 mm zu nennen; die Station Lago Scais, die relativ isoliert in einem trockeneren Umfeld liegt, weist mit 305 mm den zweithöchsten Tageswert auf. Die extreme Niederschlagsintensität im Tessin sei noch durch zwei weitere Angaben belegt: in Maggia fielen am 18.7. zwischen 0h00 und 6h00 GMT 220 mm, und in Locarno-Monti lag der höchste Stundenwert bei 59 mm (zwischen 21h40 und 22h40 GMT am 17.7.), wobei allein 19,4 mm in zehn Minuten registriert wurden!

Der Vergleich der beiden Netzausdrucke für zwei unterschiedlich lange Zeiträume (Abb. 4) zeigt darüber hinaus, daß die maximalen 1-Tages-Werte des

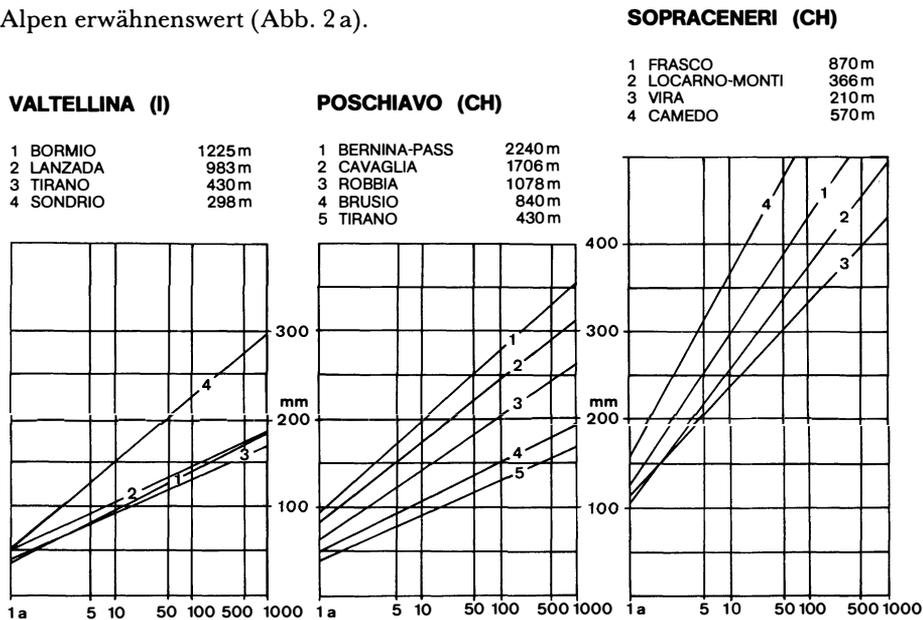


Abb. 3: Größenfrequenz-Geraden der Wiederkehrzeit von 2-Tages-Niederschlägen für Klimastationen im Veltlin, Puschlav und Tessin

Magnitude-frequency estimate of 2-day precipitation for stations in Valtellina, Puschlav and Tessin

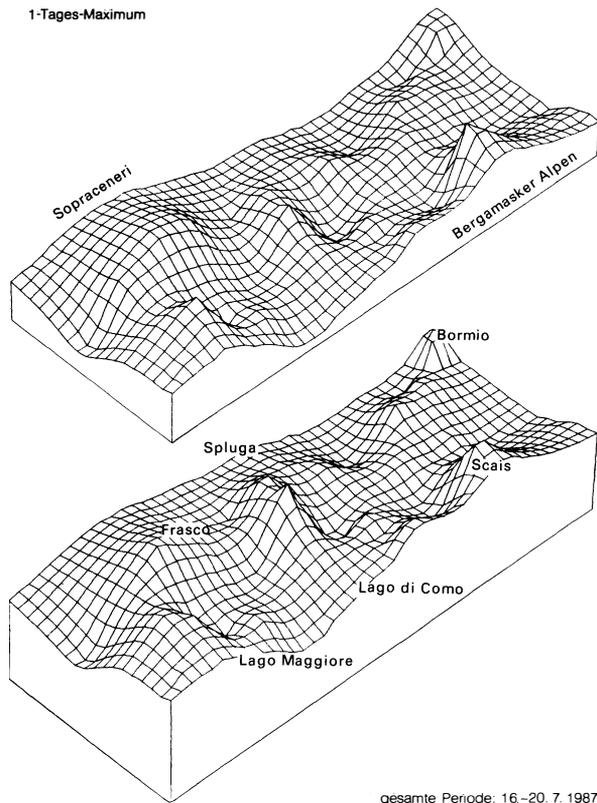


Abb. 4: EDV-gestützte Netzdarstellungen der 1-Tages-Maxima (oben) und der 5-Tages-Summen vom 16.-20. 7. 1987 auf Grundlage von 62 Koordinaten-Eingaben mit Niederschlagswerten von Stationen im Bereich der Regionen Tessin und Veltlin. Der Grundriß entspricht dem Kartenausschnitt in Abb. 2. Datenverarbeitung: A. VRESAK, Geograph. Inst. RWTH, Aachen
Computer-processed grid charts of the 1-day maxima (above) and the 5-day totals of July 16 to 20, 1987, based on 62 input coordinates of precipitation values for stations in Valtelline and Tessin. The layout corresponds to the map section in fig. 2

Niederschlags bereits die regionale Regenverteilung des gesamten Unwetters vorgegeben haben. Dies kommt durch die ähnlichen Verteilungsmuster der Regenmengen in beiden Feldern zum Ausdruck. So fällt vor allem in den zwei Gebieten mit den höchsten Absolutwerten, also in den Tessiner und den Bergamäcker Alpen, auf, daß sich die großflächige 3D-Aufwölbung über dem Sopraceneri und der spitze Gipfel im Bereich des Pzo. di Coco schon im 1-Tages-Maximalwert klar abzeichnen und auch bei der 5-Tages-Gesamtsumme erhalten bleiben. Nur im Gebirgszug zwischen Misox und Lira-Tal mit der Station Lago Truzzo im SSW des Splügen-Passes kommt es noch

zu einer wesentlichen Erhöhung im Verlaufe der Tage mit dem dritten bis fünften (also letzten) Rang der Niederschlags-Tagessummen während der gesamten Unwetterphase. Einzig dieses Gebiet, das sich in Abb. 4 (unten) durch einen markanten Ausreißer nordwestlich des Zentrums des Untersuchungsgebietes abhebt, zeichnet sich also durch eine relativ gleichmäßige Verteilung der Starkregen über den fünf-tägigen Zeitraum aus.

Hinsichtlich der Stundenwerte ergeben sich durch die Gegenüberstellung der Erhebungen in Locarno-Monti und in Tirano-Ronco aber doch aufschlußreiche Unterschiede in der zeitlichen Niederschlagsverteilung zwischen einer relativ feuchten und einer relativ trockenen Station (Abb. 5). Im Tessiner Beispiel kommt der Kontrast zwischen niederschlagsreichen und -armen Zeitintervallen während des Unwetters deutlicher zum Ausdruck als für die Veltliner Meßstelle.

Immerhin übersteigen in Locarno an sieben Stunden die Regenmengen den maximalen Stundenwert von Tirano, wobei beim erstgenannten Ort der vier Stunden währende Ausreißer vor Mitternacht am 17. 7. beeindruckend ist. Für das gesamte Niederschlagsereignis ergibt sich bei der Berechnung der Variations-Koeffizienten auf der Basis der Stundenmengen für Tirano eine mittlere Abweichung von 115 %, für Locarno jedoch von 261 %. Damit wird die erheblich größere Schwankung in der Regenintensität für das Tessiner Beispiel belegt, während sich für das mittlere Adda-Tal eine gleichmäßigere Verteilung der Regenfälle ergibt. Dies kommt letztlich auch in Abb. 4 (unten) zum Ausdruck, da bei der Gesamt-Niederschlagsmenge für fünf Tage die Unterschiede zwischen dem Tessin und dem Veltlin nicht mehr so kraß ins Auge fallen wie beim Einzeltag mit dem absoluten Maximalwert.

Stellt man die Meßergebnisse der einzelnen Stationen zu Gebietsniederschlägen während des Unwetters zusammen, so belaufen sie sich im Sopraceneri auf 251 mm und im Veltlin mit dem Puschlav auf 158 mm. Für die Beantwortung der Frage, weshalb es im ersten Fall trotz höherer Regenmengen zu relativ wenigen spektakulären Ereignissen der Massenumlagerung, im zweiten jedoch bei geringeren Niederschlägen zu außerwöhnlichen Erosionsprozessen (i. w. S., s. u.) gekommen ist, bietet sich eine Analyse der Häufigkeit entsprechender Starkregen an. Die Außergewöhnlichkeit des Falles läßt sich statistisch über eine Größenfrequenzanalyse ermitteln, die im Sinne von F. AHNERT (1986) zur Beurteilung des morphoklimatologischen Stellenwertes des Unwetters herangezogen wird. Bei der zeitaufwendigen Daten-

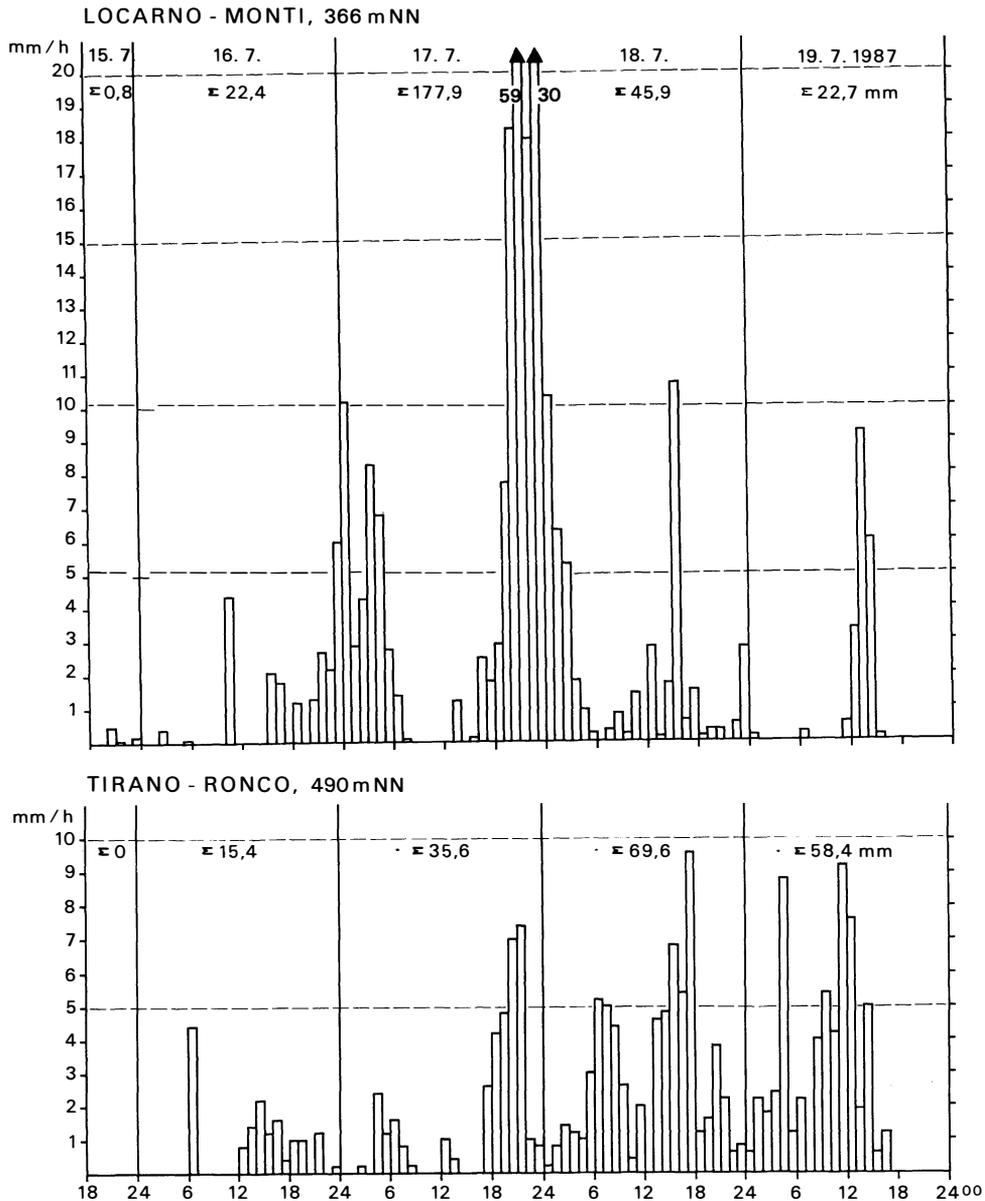


Abb. 5: Stundenwerte der Niederschläge in Locarno-Monti und in Tirano-Ronco für die Starkregen-Phase vom 16.-19. 7. 1987. Tagessummen in jeweils oberer Spalte, von 0-24h; Auswertungen eines Computer-Ausdruckes der automatischen Außenstation (ANETZ) in Locarno bzw. eines Pluviographen-Schreibstreifens von Tirano
Hourly values of rainfall in Locarno-Monti and Tirano-Ronco during the rainfall event between July 16 to 19, 1987. Daily totals are in the upper row (0-24h)

erhebung für dieses Berechnungsverfahren erwies es sich als vorteilhaft, daß J. ZELLER et al. (1976, 1980, 1983) bereits für einen Großteil der Schweizer Klimastationen und derjenigen des benachbarten Auslandes entsprechende Niederschlags-Auswertungen vorgelegt haben. Die Ermittlung der mittleren Wiederkehrzeiten beliebig hoher Tages- bzw. 2-Tages-

Niederschläge erfolgte seitens der Autoren mit Hilfe des Gumbel-Verfahrens; Beispiele ausgewählter Orte aus dem trockenen Veltlin, dem feuchten Tessin und dem Puschlav als Übergangsregion werden in Abb. 3 vorgestellt. Aus entsprechenden Regressions-Diagrammen wurde zudem auf Grundlage von 62 Stationsangaben die mittlere Wiederkehrzeit einer Nie-

derschlagsmenge von 200 mm innerhalb von zwei Tagen für das Untersuchungsgebiet abgeleitet und in Form von Isolinien auf die Karte übertragen (Abb. 2c).

Als Ergebnis lassen sich auf kleinem Raum beachtliche Unterschiede in der Starkregen-Häufigkeit nachweisen. Dies geht besonders deutlich aus dem Beispiel Pusclav in Abb. 2c hervor, wo zwischen Tirano und Bernina-Paß auf einer Distanz von nur 25 km die Wiederkehrzeit der 2-Tages-Niederschlagssumme von 200 mm von etwa 5000 Jahre auf 10,5 Jahre abnimmt (es handelt sich dabei um rein theoretische Angaben für einen statistischen Vergleich). Der Unterschied zwischen den starkregenarmen Veltlin und Engadin auf der einen und dem Tessin mit extrem hohen Niederschlagsintensitäten auf der anderen Seite kommt in Abb. 2c gut zum Ausdruck. Für den Kartenausschnitt liegt die Spannweite der Wiederkehrzeit des genannten Falles zwischen ca. 10000 Jahren in Pontresina und zehn Monaten in Falmenta im Cannobino (italienisches Tessin südlich des Ghiridone bzw. westlich des Lago Maggiore; Camedo im Centovalli = 1,5 a). Nach Auslegung einer Karte der maximalen Tagesniederschläge innerhalb eines Jahres für das Einzugsgebiet des Lago Maggiore von A. CAROLLO (1985) dürfte die Region mit den kürzesten Wiederkehrzeiten extremer Starkregen unmittelbar außerhalb der SW-Ecke des Rahmens von Abb. 2c liegen. Danach erstreckt sich vom mittleren Cannobino im NE über das untere Toce-Tal bis nach Forno im oberen Strona-Tal im SW ein schmaler Bereich, in dem sich das mittlere

Niederschlagsmaximum des Tages mit dem höchsten Absolutwert innerhalb eines Jahres auf etwas über 200 mm beläuft (wiederum auf Grundlage der Gumbel-Methode).

Die Wiederkehrzeit von 200 mm/2d, die ungefähr dem mittleren Gebietsniederschlag der 2-Tages-Maxima in der abgebildeten Unwetter-Region entspricht, bietet eine einheitliche Grundlage für einen räumlichen Vergleich. Darüber hinaus erscheint es sinnvoll, die Jahres-Intervalle der effektiven 2-Tages-Niederschläge zu ermitteln. Entsprechende Angaben befinden sich hinter einigen Zusatz-Informationen in der letzten Spalte in Tab. 1 (RI = recurrence interval, bezogen auf die tatsächlichen Maximalwerte in der vorausgehenden Spalte). Hier zeigt sich, daß das Starkregenereignis vom Juli 1987 auch für das Tessin einen außergewöhnlichen Stellenwert einnimmt, vor allem, was die besonders hohen Meßwerte in Frasco betrifft. Für das Veltlin liegen die Berechnungszeiten von RI trotz der geringeren Niederschlags-Eingaben dennoch höher, insbesondere für Lanzada im stark von Massenumlagerungen betroffenen Val Malenco und für Bormio, in dessen Nähe der Val Pola-Bergsturz niederging.

Für die folgenden Ausführungen über die Beurteilung der morphologischen Wirksamkeit der Starkregen im Fall des 16.-19. Juli bleiben jedoch die in Abb. 3c aufgezeigten Relationen von größerem Interesse. Hier werden die Unterschiede der Starkregen-Häufigkeit zwischen Tessin und Veltlin gerade unter Berücksichtigung der Klimastation Frasco besonders deutlich.

Tabella 1: Höhenlage, langjährige Niederschlags-Jahressummen, mittlere Niederschlagssummen für den Monat Juli und 2-Tages-Maxima in der Zeitspanne 16.-19. 7. 1987 (2d-max) sowie berechneter Wert der Wiederkehrzeit (RI) dieses Ereignisses in Jahren für drei Klimastationen im Sopraceneri und vier im Veltlin

Altitude, long-term annual precipitation totals, mean precipitation totals for the month of July, and two-day maxima for the period 16-19 July, 1987 (2d max.), together with the calculated value of the recurrence period (RI) of this event in years for three weather stations in the Sopraceneri and for four in Valtellina

	m NN	mm/a	mm/Juli	mm/2d-max	RI/2d-max
TESSIN:					
Frasco	890	2013	172	440	150 a
Camedo	610	2154	197	379	10 a
Locarno	366	1794	206	225	6 a
VELTLIN					
Sondrio	298	1083	98	113	5 a
Tirano	430	693	75	128	90 a
Lanzada	983	974	99	163	250 a
Bormio	1225	728	90	163	350 a

Geomorphologische Auswirkungen

Für die kombinierte Betrachtung der petrologischen Grundlagen und tektonischen Strukturen im Veltlin wird auf das Blatt 8 der Geologischen Generalkarte der Schweiz 1:200 000 (1964) und auf M. GWINNER (1971, insb. Abb. 308) Bezug genommen. Danach besteht ein Großteil des Einzugsgebietes der Adda einschließlich des Puschlav aus Gneisen, Glimmerschiefern und Phylliten (s. Abb. 6). Das zentral gelegene Val Malenco wird von Serpentiniten beherrscht; westlich schließt sich der Bergell-Pluton an, der die penninischen Decken spätalpidisch durchschmolzen hat. Mesozoische Sedimentgesteine treten nur im oberen Veltlin nördlich der Linie Livigno-Bormio als Kalke und Dolomite im ostalpinen Komplex und ferner als Deckenscheider auf, z. B. als „Splügener Zone“ zwischen Tambo- und Suvretta-Decke (Abb. 6).

Auch im Tessin und im Bündner Misox herrschen im Südalpin sowie im Bereich der penninischen

Decken Gneise und Glimmerschiefer vor (s. M. GWINNER, Abb. 301). Nur im südlichen Sottoceneri stehen spätpaläozoische und mesozoische Kalke und Dolomite an. Sowohl im Tessin als auch im Veltlin wird der Bau durch ein nahezu vertikales Aufsteigen der penninischen bzw. ostalpinen Decken unmittelbar nördlich der Jorio-Tonale-Linie gekennzeichnet (Abb. 6).

Trotz der vergleichbaren petrologischen und tektonischen Grundlagen zeigen die Auswirkungen der Juli-Starkregen im Tessin einerseits und im Veltlin-Tal andererseits in bezug auf die Verteilung von Erscheinungsformen der Massenumlagerung deutliche Unterschiede. So beschränken sich die zahlreichen Schäden an Straßen und Brücken im Südschweizer Kanton auf kleinere Muren und Rutsche sowie Unterspülungen im Blenio-Tal und ferner in der mittleren Leventina bei Faïdo. Hier waren insbesondere die Zonen betroffen, die im Risikokataster der Richtplankommission des *Vincolo Idrogeologico* (1984) in Bellinzona bereits in drei Gefahrenkategorien

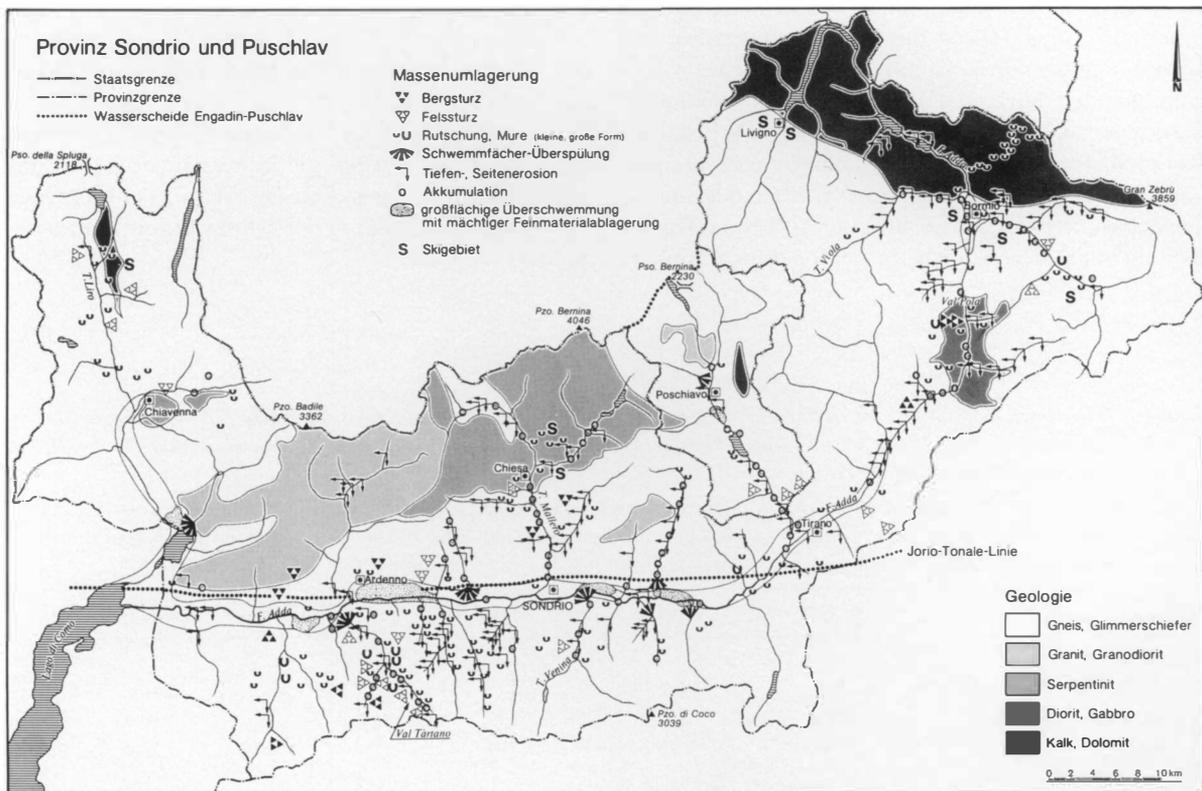


Abb. 6: Karte der Formen der Massenumlagerungen, die in der Provinz Sondrio und im Puschlav infolge des Juli-Unwetters aufgetreten sind. Nach Aufzeichnungen von Dott. M. GRECCHI, Regione Lombardia, Milano, und nach eigenen Erhebungen

Map of the different forms of mass transport in the province of Sondrio and in Puschlav resulting from the July storms

erfaßt sind (Lawinengefährdung, Hanginstabilität, Überschwemmungen). Die von den Juli-Niederschlägen am stärksten betroffenen Gebiete im Centovalli, unteren Maggia- und oberen Verzasca-Tal weisen nach eigener Anschauung nur an wenigen Stellen Hangunterschneidungen in Flußterrassen, kleinere Muren im Bereich steiler Bergbäche im Taltrag und flache Rotationsrutsche in der Almenregion auf.

Im Veltlin hingegen führten dagegen die Prozesse der Massenumlagerungen im Verlaufe des Juli-Unwetters zu einer ganz anderen Dimension, wie es auch die überregionalen Medien deutlich zum Ausdruck brachten. Bereits sechs Wochen nach den katastrophalen Auswirkungen der Starkregen wurden in Sondrio durch die von der Regione Lombardia eingesetzte Kommission zur Beurteilung der Schadensfälle fünf Detailkarten mit den geomorphologischen Veränderungen vorgelegt. Sie bilden die Grundlage für die Karte der Massenumlagerungen, in die neben ergänzenden Eintragungen das Puschlav einbezogen wurde. Diese Übersicht in Abb. 6 kann nicht dem Anspruch auf Vollständigkeit genügen, da in unbewohnten und schlecht erreichbaren Gebieten zahlreiche Fälle nur schwer erfassbar oder von ihrer genauen Entstehungszeit her kaum einzustufen sind.

Die in sieben Gruppen eingeteilten Formen der Massenumlagerungen belaufen sich auf 408 Fälle. Zu den rasch verlaufenden Massenbewegungen zählen die 11 Bergsturz- und 22 Felssturz-Ereignisse. Während die Bergstürze in drei Gebieten konzentriert vorkommen (Adda-Lauf südlich Bormio, unteres Val Malenco, unteres Veltlin), treten zahlreiche Felsstürze im besonders betroffenen Tärtano-Tal hervor, sind jedoch darüber hinaus im gesamten Bereich verteilt. In 30 der insgesamt 33 Fälle sind die beiden Formen an die kristallinen Deckenkomplexe gebunden. Das spektakulärste Beispiel, der Bergsturz vom Val Pola südlich von Bormio, liegt jedoch in einem ultrabasischen Intrusivkörper mit Gabbrodioriten inmitten des Campo-Kristallin (s. u.).

Wesentlich höher ist mit insgesamt 136 Fällen die Zahl der Rutschungen und Muren. Es wurden nur solche Beispiele erfaßt, die eine Fläche von mehr als 500 m² umfassen. Gerade im Tärtano-Tal, das oberhalb der Ortschaft Campo vom Unwetter am stärksten betroffen wurde, gibt es mehrere hundert Fälle mit kleinflächigen Abrutschungen 20–30 cm mächtiger Rasensoden, die in Abb. 6 unberücksichtigt blieben. Von den als „große Formen“ bezeichneten Rutschungen und Muren (> 5000 m²) ist ein etwa 1100 m langer Murschuttstrom in Tärtano selbst hervorzuheben, der die Rückwand des eine Bachrunse verstellenden Hotels „Gran Baita“ eindrückte und

zahlreiche Menschenleben forderte. Die Rutsch- und Murstrom-Ereignisse des Juli-Unwetters sind in allen Gesteinskomplexen des Untersuchungsgebietes anzutreffen, mit Ausnahme des Bergeller Granitplutons. Auffallend ist eine Konzentration entlang der Straße zwischen Bormio und Umbrail-Paß, die größtenteils durch postglaziale Bergsturzmassen im Bereich von Trias-Dolomiten führt und an zahlreichen Stellen überschüttet war.

Neben den frischen Formen der Massenverlagerung löste das Hochwasser in den Flüssen bzw. Bächen während des Juli-Unwetters an 149 Stellen eine klar erkennbare Seiten- oder Tiefenerosion aus. In den meisten Fällen handelt es sich bei der Pfeilsignatur in der Karte um unterspülte Flußterrassen, wobei in den tieferen Lagen Kulturflächen betroffen sind.

Die Zahl der Beispiele mit einer Akkumulation von Geröllmassen in den Flußbetten dürfte erheblich über den 76 eingezeichneten Fällen liegen, da die chaotische Sortierung des Materials die Festlegung des Zeitpunktes der jüngsten Aufschotterung erschwert. An sechs Stellen sind ausgedehnte Überschwemmungsflächen eingezeichnet, auf denen es zu mächtigen Sediment-Ablagerungen kam. In Photo 2 handelt es sich um einen Ausschnitt aus der 9 km² großen Alluvion bei Ardenno, wo sich die jüngste Akkumulation nach Angaben der geologischen Kommission des Krisenstabes in Sondrio auf eine mittlere Mächtigkeit von einem halben Meter belaufen soll.

Abschließend wird der Val Pola-Bergsturz im oberen Veltlin bei der (ehemaligen) Ortschaft Morignone behandelt, der am 28. 7. 1987 um 7h27 niederging. Das Ereignis fand also acht Tage nach den Starkregen des Juli-Unwetters statt. In diesem Zeitraum gab es drei niederschlagsfreie Tage und vier mit insgesamt 13 mm – ein unerheblicher Betrag für eine Massenbewegung von 30 Millionen Kubikmetern Gestein und Erdreich. Das Volumen des Ablagerungsmaterials beläuft sich wegen des geringeren spezifischen Gewichtes in den aufgelockerten Sturzmassen sogar auf fast 40 Millionen Kubikmeter. Der anstehende Gabbrodiorit löste sich mit einer Tiefe von 100 m aus dem Gesteinsverband des Hangkopfes zwischen etwa 745 und 1200 Höhenmeter über dem Adda-Talgrund (Abb. 7).

Im Zusammenhang mit der Verzögerung des Sturzeignisses ist das Umfeld des Hangkopfes genauer zu betrachten. So geht aus Photo 1 hervor, daß sich beidseitig über der Abrißnische zwei Kare unter dem Doppelgipfel der Cime Redasco befinden. Derartige Hohlformen tragen ideal zur Konfluenz des Niederschlagswassers bei, das gebündelt als Hangzugwasser

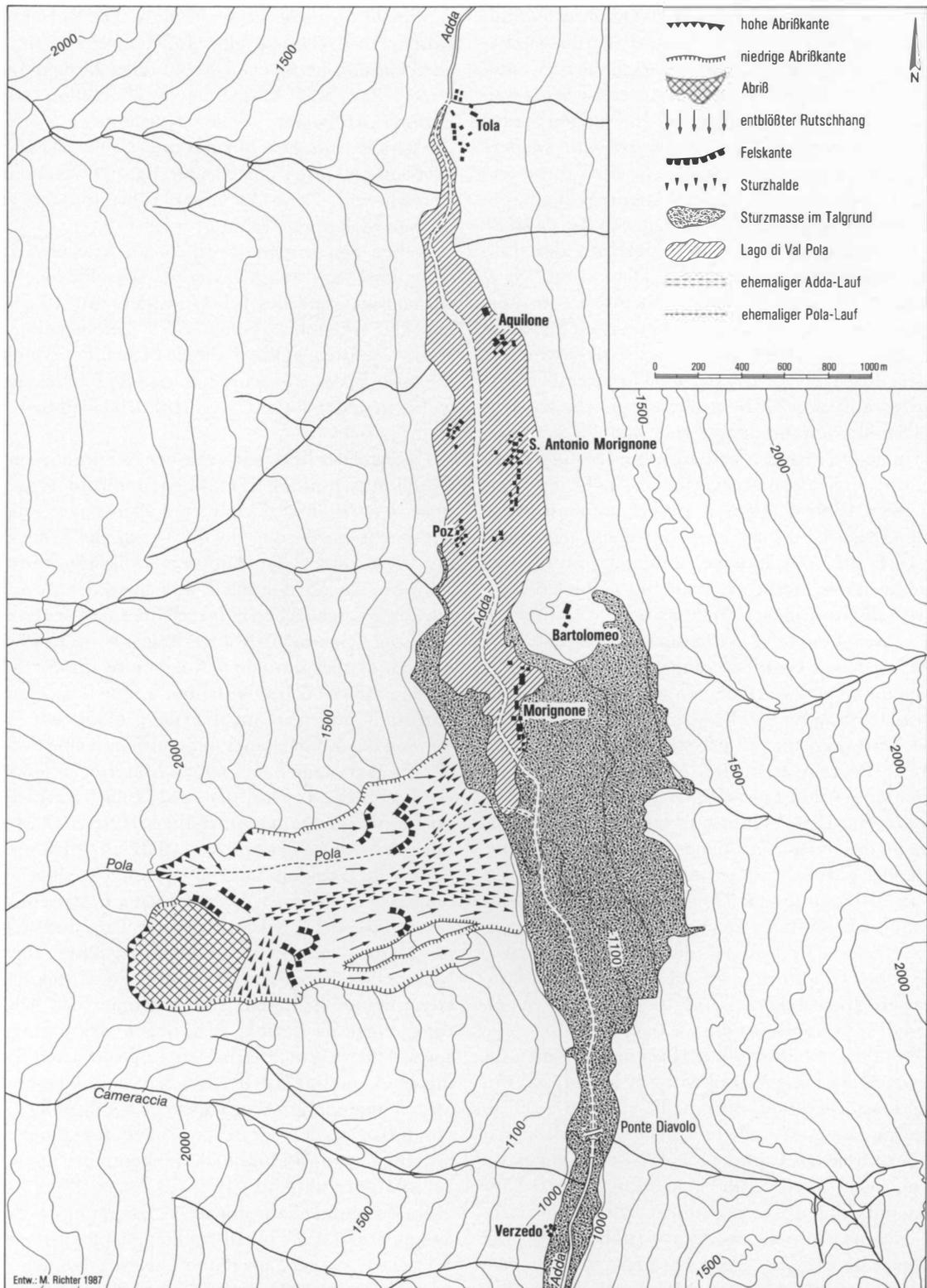


Abb. 7: Morphologische Detailkarte des Bergsturzes vom Val Pola auf Grundlage von Luftbildauswertungen
Detailed morphological chart of Val pola landslide, based on interpretations of aerial photographs



Photo 1: Der Val Pola-Bergsturz mit seinen Sturzmassen im Talgrund, die die Ortschaft Marignone verschüttet haben. Der Pola-Bach stürzt oben rechts aus dem Kar unter dem Doppelgipfel der Cime Redasco (3138 m NN) in die Abriß-nische; Blickrichtung SW, vom Monte Oultoir aus. Aufnahme: 2. 8. 1987

Val Pola landslide and its debris having buried the village of Marignone (bottom). In the upper right-hand corner of the photograph Pola stream rushes out of the cirque below the twin peaks of Cime Redasco (3138 m) into the landslide scar. Photograph looking south-west. Aug. 2, 1987



Photo 2: Sedimentablagerungen der Juli-Überschwemmungen im Talgrund der Adda bei Ardenno. Aufnahme: 9. 9. 1987

Sedimentation from the July floods on the bottom of the Adda Valley near Ardenno. Sept. 9, 1987

für eine tiefgreifende Durchtränkung des Untergrundes im Bereich der späteren Sturzmassen sorgte. Hinzu kommt eine intensive Zerklüftung des Gesteins im Übergangsbereich zwischen Trogwand und -schulter als mögliche Spätfolge einer Druckentlastung nach dem Abschmelzen der spätglazialen Eismassen. Schließlich ist im vorliegenden Gabbrodiorit eine zusätzliche Lockerung des Anstehenden durch Gangklüfte denkbar. – Im definierten Sinne von G. ABELE (1974, S. 60 ff.) sind die glazialen Versteilungen am Pola-Hang als externe und die Störungen im Bereich des Abbruchgebietes als interne Ursachen zu bezeichnen, während der Starkregen im Juli als auslösender Anlaß des Bergsturzes zu verstehen ist.

Die Labilität der betroffenen Partie zwischen dem Vallone Camereccia und dem Val Pola wurde bereits von R. POZZI u. G. SFONDRINI (1972, S. 93) erwähnt. Der Bergsturz war somit vorhersehbar, ließ sich jedoch nicht vermeiden. Es ist zu befürchten, daß ein etwa 150 m breiter Sporn nachstürzen kann, der sich

nördlich entlang der Abrifsnische zwischen etwa 1300 und 2100 m NN erstreckt. Die Vermeidung eines möglichen Wellendurchbruchs in der Krone des Stauwalls machte es erforderlich, daß an der höchsten Aufwölbung des Akkumulationskörpers etwa 95 m über der ehemaligen Talsohle ein künstlicher Ablauf für den neu entstandenen See geschaffen wurde (vgl. Lage des potentiellen Sturzgebietes in bezug zum „Lago di Val Pola“, Abb. 7). Diese Arbeiten sind zur Zeit im Gange (Stand: Oktober 1987).

Schlußbetrachtung

Nach den Ausführungen über die klimatischen Ursachen und geomorphologischen Auswirkungen des Juli-Unwetters in den Südalpen sind Überlegungen bezüglich der Gründe der regionalen Differenzierung des Ausmaßes an Massenumlagerungen und bezüglich einer möglichen Zunahme von Starkregen im Untersuchungsgebiet angebracht.

Es fällt auf, daß gerade jene Regionen von Massenbewegungs- und Erosionsprozessen betroffen waren, in denen extreme Starkregen relativ selten sind. Dies bezieht sich auch auf entsprechende Relationen innerhalb der beiden Teilgebiete Tessin und Veltlin. So kam es nach eigenen Anschauungen im oberen Verzascatal kaum zu Massenumlagerungen, obwohl hier die Niederschlagssummen deutlich höher lagen als im Bleniotal, wo zahlreiche Rutschungen, Muren und Flußeinschnidungen registriert wurden. Im Veltlin traten im Val Malenco erheblich mehr und stärkere Auswirkungen auf als im gegenüberliegenden Venina-Tal, wo die Regenfälle fast den doppelten Wert erreichten.

Besonders deutlich wird das Verhältnis zwischen der Wiederkehrzeit von Starkregen und dem Ausmaß der Massenumlagerungen im Puschlav; hier nehmen die Schadenseinwirkungen infolge des Juli-Unwetters zwischen Tirano und Bernina-Paß deutlich ab, während die Häufigkeit hoher Niederschlagsintensitäten und auch die Regenmengen des Vorfalles höhenwärts drastisch zunehmen (Abb. 2 b und c). Auf der Engadiner Abdachung des Bernina-Massivs liegen inverse Gradienten vor.

Hier wurde insbesondere im oberen Rosegtal der Talgrund weitflächig aufgeschottert; weiterhin kam es zur Überformung von zwei außergewöhnlich langen Rufen am Westabfall des Piz Tschieriva und zu mehreren großflächigen Abgleitungen von Feinerde-Auflagen am Osthang unter der Fuorcla Surlej bei Alp Ota. Gerade in der unmittelbaren Umgebung des Roseg-Gebietes wurden jedoch relativ geringe

Regenmengen registriert, so z. B. auf dem Piz Corvatsch¹⁾ bei dem 1-Tages-Maximum 35,8 mm bzw. bei der 5-Tages-Summe 86,2 mm.

Diese Beobachtungen führen zu der Annahme, daß es in jenen Teilen des Untersuchungsgebietes, wo die Intervalle zwischen einzelnen Starkregenfällen lang sind, zur Akkumulation ausgedehnter Lockermaterial-Auflagen im Bereich der Trogschultern gekommen ist. In diesen Regionen mit geringen Niederschlags-Intensitäten sind Blocksturz-Ereignisse selten. Kommt es jedoch zu außergewöhnlichen Starkregen, so besteht eine erhebliche Gefahr großvolumiger Fels- oder Bergstürze. Von den Größenverhältnissen her gilt entsprechendes für den flächenhaften Abtrag an den Hängen der Taltröge; hier ist bei den vorherrschenden Niederschlags-Ereignissen von einer nur unbedeutenden Spüldenudation auszugehen, während in Extremfällen die Gleit- und Versatzdenudation gravierende Massenverlagerungen verursacht.

Umgekehrte Verhältnisse lassen sich für die Regionen des Untersuchungsgebietes aufzeigen, in denen Starkregen häufig sind. Für das Beispiel des oberen Verzasca-Tales lassen sich mehrere Faktoren anführen, die das starke Überwiegen kleinvolumiger Ereignisse in der Massenumlagerungs-Bilanz verursachen (M. RICHTER 1979). Hier kommt es aufgrund der glazialen Übertiefung der steilen Taltröge während der Schneeschmelze sowie bei Starkregen zu häufigen Stürzen einzelner Blöcke, so daß der rezente Zuwachs großflächiger Verwitterungs-Schuttdecken im Bereich der Trogschultern unerheblich ist. Daneben sorgt ein dichtes Gewässernetz mit zahlreichen episodisch durchflossenen Rinnen für eine rasche Aufnahme und lineare Weiterleitung des Oberflächen- bzw. Hangwassers; Gleit- und Versatzdenudation spielen eine unbedeutende Rolle. Und schließlich ist davon auszugehen, daß aufgrund des häufigen Auftretens von extremen Starkregen ein Großteil der instabilen Hangaufgaben bereits im Verlaufe des Postglazials zu Tal gegangen sind.

Somit läßt sich festhalten, daß für die katastrophalen morphologischen Auswirkungen im Veltlin und Puschlav während des Juli-Unwetters die Außergewöhnlichkeit des Niederschlagsgeschehens ausschlag-

gebend war. Weder Skipisten noch Überbauungen spielten bei den Massenumlagerungen während des Juli-Unwetters als Kausalfaktoren eine nennenswerte Rolle. Daß jedoch anthropogene Einrichtungen im hohen Maße durch Schäden betroffen waren, führte bei vielen Betrachtern möglicherweise zu einer Verwechslung von Ursache und Wirkung.

Das Interesse ist vielmehr auf das Phänomen einer möglichen Klimaschwankung zu richten. Unveröffentlichten Auswertungen von H.-P. ROESLI vom Istituto Meteorologico in Locarno-Monti zufolge lassen sich Veränderungen in der Häufigkeits-Verteilung der drei Großwetterlagen feststellen, die das Klima in den Südalpen bestimmen. Danach ist in Relation zu den letzten 40 Jahren im Verlauf des letzten Jahrzehnts für das Tessin eine Abnahme der Nordföhn-Lagen von 14 auf 9%, ein gleichbleibender Wert für die Antizyklonal-Lagen von 53% und ein Anstieg der regenbringenden Südostlagen von 33 auf 38% zu verzeichnen (Bezugszeitraum: 1945–1984). Diese Tendenz spricht für eine Zunahme der Verwirbelung feucht-kühler Polarluft mit feuchtwarmer Tropikluft im Bereich des Golfes von Genua bzw. über der westlichen Poebene, also für eine verstärkte Konfrontation gegenläufiger und unterschiedlich temperierter Luftmassen. In diesen Rahmen fügen sich Ergebnisse eigener Auszählungen von Starkregen-Fällen ein. Danach kam es z. B. in Locarno-Monti in den letzten zehn Jahren sechsmal zu Niederschlägen mit mehr als 200 mm pro Tag; in den drei vorausgegangenen Dezennien wurde hingegen dieser Schwellenwert im Mittel nur in 2, 3 Fällen überschritten.

Neben den zu Anfang beschriebenen Druckgegensätzen und Strömungstendenzen, die das Juli-Unwetter verursachten und die auch im Falle des August-Unwetters bezeichnend waren, müssen im Hinblick auf eine mögliche Wetterlagen-Veränderung zwei weitere Kriterien berücksichtigt werden:

- Der ausgeprägte Höhenwirbel etablierte sich über dem Ärmelkanal bzw. der Nordsee für den Zeitraum vom 15.–23. Juli und blieb anschließend mit einer langsamen Verlagerung gegen Osten bis zum Monatsende für Mittel- und Osteuropa wetterbestimmend.
- Die weit nach Süden ausgreifende Troglage über Westeuropa mit einer Zufuhr maritimer Polarluft und die nordwärtige Erstreckung des südosteuropäischen Hochdruckgebietes mit einer Zufuhr zunehmend maritimer Tropikluft über der Vorderseite eines nordwestafrikanischen Troges im zentralen Mittelmeerraum ist beispielhaft für den meridionalen Zirkulationstyp.

¹⁾ Diese Klimastation in 3315 m NN zeigt als relativ trockene Insel in feuchterer Umgebung für das betreffende Unwetter den Effekt eines Wärmegewitters mit abnehmenden Vertikalgradienten, also eine Abweichung von der bei anderen Wetterlagen regelhaften Niederschlagszunahme (vgl. D. HAVLIK 1969, S. 60).

Sowohl für die hohe Beständigkeit der Großwetterlage als auch für die markante Meridionalzirkulation gibt D. KLAUS (1984, S. 168 u. 173) eine allmähliche Zunahme seit etwa 1950 bzw. seit 1920 an. Er belegt, daß die verstärkte Meridionalität mit einer entsprechenden Trendveränderung in der Sonnenfleckenaktivität einhergeht. Insbesondere für die Sommermonate Juni–August zeichnet sich eine enge Beziehung zwischen den Residuenmassenkurven des „low-index-Typs“ und der solaren Aktivitätsschwankungen ab. D. KLAUS (1984, S. 179) weist außerdem darauf hin, daß eine Erhöhung der Partikeltrübung in der Atmosphäre eine verstärkte Meridionalität der außertropischen Zirkulation bedingt.

In den Südalpen dürfte sich eine mögliche Häufigkeitszunahme meridionaler zu Lasten zonaler bzw. gemischter Zirkulationsstrukturen aufgrund der orographischen Situation besonders deutlich abzeichnen. Somit bieten sich für diese Region weitere statistische Auswertungen von Starkregenfällen und Scirocco-Einwirkungen an, um einen Beitrag zum Fragenkomplex „Klimaschwankung oder Klimaänderung“ zu leisten.

Literatur

- ABELE, G.: Bergstürze in den Alpen. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, H. 25, 1974.
- AHNERT, F.: An Approach to the Identification of Morphoclimates. In: Progress in Geomorphology (Ed.: V. GARDINER), Part II. Chichester et al. 1986, S. 159–188.
- BELLONI, S.: Il clima della Valtellina in relazione all' utilizzazione del suolo, alla sua evoluzione ed alla sua difesa. Fondazione per i problemi montani dell'Arco Alpino (CNR), pubbl. n. 86. Mailand 1972.
- BAUMGARTNER, A., REICHEL, E. u. WEBER, G.: Der Wasserhaushalt der Alpen. München, Wien 1983.
- CAROLLO, A.: Realizzazioni, riflessioni e proposte per una cartografia idroclimatica finalizzata. In: Contributi di climatologia (Hrsg.: M. PINNA). Memorie dell' Società Geografica Italiana, Vol. 39. Rom 1985, S. 221–238.
- FLIRI, F.: Synoptische Klimatographie der Alpen zwischen Mont Blanc und Hohen Tauern. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, H. 29, 1984.
- GWINNER, M.: Geologie der Alpen. Stuttgart 1971.
- HAVLIK, D.: Die Höhenstufe maximaler Niederschlagssummen in den Westalpen. Freiburger Geographische Hefte, H. 7, 1969.
- KLAUS, D.: Hat sich das Klima Mitteleuropas geändert? 100 Jahre europäische Großwetterlagenstatistik. In: Berichte zur deutschen Landeskunde, Bd. 58, 1984, S. 147–182.
- Ministero dei Lavori Pubblici* Precipitazioni medie mensili ed annue per il trentennio 1921–1950. Pubbl. N. 24 del Serv. Idrografico, Fasc. XIIb: Affluenti del versante alpino del Po a Valle del Sesia (Regione Lombardia). Rom 1959.
- MÜLLER, S. u. RICHTER, M.: Entwicklungsablauf eines Scirocco und seine Abwandlungen durch die Orographie (dargestellt am Beispiel des 30./31. 3. 1981). In: Aachener Geographische Arbeiten, H. 16, 1984, S. 3–39.
- POZZI, R. u. SFONDRINI, G.: Caratteri generali della franosità in provincia di Sondrio. Fondazione per i problemi montani dell' Arco Alpino (CNR), pubbl. n. 88. Mailand 1972.
- RICHTER, M.: Geoökologische Untersuchungen in einem Tessiner Hochgebirgstal. Bonner Geographische Abhandlungen, H. 63, 1979.
- SCHÜEPP, M.: Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967 im zentralen Alpengebiet. Veröff. Schweiz. Meteorolog. Zentralanstalt, H. 11. Zürich 1968.
- Schweizerische Geologische Kommission*: Geologische Generalkarte der Schweiz. Blatt 8 (Engadin). Bern 1964.
- Vincolo Idrogeologico*: Piano direttore cantonale (Richtplan Risikokataster). Bellinzona 1984.
- ZELLER, J., GEIGER, H. u. RÖTHLISBERGER, G.: Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf: Bd. 1, 1976, Graubünden; Bd. 5, 1980, Wallis, Tessin; Bd. 6, 1983, Ausgewählte Stationen von Jura, Mittelland und grenznahem Ausland.