

DER SCHLAMMREGEN IN JUGOSLAVIEN AM 3. UND 4. MAI 1933.

(Ein Beitrag zur Kenntnis des Scirocco und der Mittelmeerzyklonen.)

Von J. Goldberg und M. Kovačević

Aus dem geophysikalischen Institut in Zagreb

Am 3. Mai 1933. wurde in Zagreb und an zahlreichen anderen Orten Jugoslawiens ein rötlicher Schlammregen wahrgenommen, der sich an mehreren Orten am 4. Mai wiederholte, an einzelnen am 4. Mai erstmalig beobachtet wurde. Die ungewöhnliche Intensität und Ausdehnung des Phänomens gaben Anlass seiner Natur und dem Ursprung nachzuforschen. Wohl sind Schlammregen und Staubfälle schon Gegenstand sehr eingehender Bearbeitung in der meteorologischen Fachliteratur gewesen und viele der bekanntesten Erscheinungen dieser Art wurden auch in unseren Gegenden beobachtet und von hier aus beschrieben. Namentlich der grosse Staubfall vom 9. bis 12. März 1901, der von Hellmann und Meinardus gründlichst erforscht wurde [10, 11], wirkte sich in den westlichen Gebieten unseres Landes stark aus. Die wissenschaftliche Bearbeitung hat auch im allgemeinen die Entstehungsursachen solcher Phänomene klargelegt. Jedoch gerade weil sich dieses Phänomen in unseren Gegenden relativ häufig zu wiederholen scheint, schien es wünschenswert, es in seiner besonderen Natur und Bedeutung für unsere Gegenden zu erfassen und die speziellen Bedingungen festzustellen, unter welchen es hier zustande kommt. Bedenkt man, dass in den Monaten Februar bis Mai 1934. allein 4 Fälle von Schlammregen und Staubfall im westlichen Teil unseres Landes mit Sicherheit festgestellt wurden, so liegt die Vermutung nahe, dass unser Land ein habituelles Senkgebiet dieses Staubes ist. Es ergibt sich so das spezielle Problem, welche meteorologischen Bedingungen und Vorgänge die Transportverbindung dieses Senkgebietes mit dem bekannten nordafrikanischen Quellgebiet des Staubes, auf welches — wie vorweggenommen sei — unser Phänomen zurückzuführen ist, bewirken. Hieraus aber ergibt sich Anlass auf das weitere Problem des Scirocco und der Mittelmeerdepressionen einzugehen.

I. Die Grundlage der vorliegenden Bearbeitung des Schlammregens und Staubfalles bilden die Berichte über die Beobachtung desselben, welche wir aus dem Ausland und dem Inland erhielten, und die synoptischen Karten der italienischen, österreichischen und ungarischen Zentralanstalten sowie der meteorologischen Abteilung des Flugkommandos der jugoslawischen Armee in Novi Sad.

Ausländische Berichte sandten uns in entgegenkommendster Weise: *R. Ufficio Centrale di Meteorologia e Geofisica, Roma*; *Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien*; *M. Kir. Orszagos meteorologiai es földmagnessegizet, Budapest*; *Institutul Meteorologic Central al României, Bucuresti*; *Das meteorologische Zentralinstitut von Bulgarien (Centralna meteorologičeska stancija), Sofija*; *Observatoire National d'Athènes*.

Im Inland wurden durch die lebenswürdige Bemühung der inländischen Institute: *Meteorološka opservatorija Beograd*; *Zavod za meteorologiju in geodinamiko Ljubljana*; *Zavod za meteorologiju, Sarajevo*; *Komanda vazduhoplovstva Vojske, Meteorološka sekcija, Novi Sad*; *Meteorološka centrala Mornarice, Marjan—Split*, — Zirkularfragebogen an die Beobachtungsstationen gesandt. Auf diese Weise

Der Schlammregen wurde in Italien von Süditalien bis zum Gardasee und Triest wahrgenommen, und zwar in Neapel und Rom schon am 2. Mai, in Oberitalien am 3. Mai. Auch aus Italien wird starke Temperatursteigerung (bis 30° C) gemeldet. Die territoriale Kontinuität der italienischen Beobachtungen mit den jugoslawischen wird durch die positiven Beobachtungen der Stationen Lussinpiccolo, Triest, Abbazia, Fiume hergestellt.

Aus allen anderen Nachbarstaaten lauten die Berichte durchgehends negativ mit Ausnahme der äussersten Südwestgrenze Rumäniens. Aus Albanien haben wir keinen Bericht.

In Jugoslawien bilden ein zusammenhängendes Gebiet, wo das Phänomen fast ausnahmslos wahrgenommen wurde, das nördliche Küstengebiet, das Gebirgsmassiv des Velebit, das pannonische Bassin, Mittelbosnien, das Drinagebiet, Ostmontenegro und ein Gebiet an der westlichen Morava.

Das negative Gebiet, wo das Phänomen nicht wahrgenommen wurde, bilden: Slovenien nordwestlich von der Linie Maribor — Krško — Dvor mit dem angrenzenden Österreich; die nördlichsten Orte des Mura-, Drava- und Donaugebietes im Zusammenhang mit dem benachbarten Ungarn; das Dinarische Kettengebirge; die östlichsten Orte Serbiens östlich der Linie Pirot — Caribrod — Bosiljgrad — Kočane — Radovište — Strumica zusammenhängend mit dem benachbarten Bulgarien.

In den übrigen Gebieten Jugoslawiens sind die Orte mit positivem Beobachtungsergebnis stark untermischt mit negativen.

Trockener Staubfall wurde aus 2 Orten Südserbiens (Prilep, Kruševo) und aus einem in Bosnien (Kupres) gemeldet.

III. Proben der mit dem Schlammregen vom 3. V. 1933. niedergeschlagenen Substanz erhielten wir aus 13 Orten Jugoslawiens, grösstenteils auf Pflanzenblättern. Die trockene Substanz hatte trotz verschiedensten Ursprungsortes (Küste, westliche und östliche Gegenden des Landes) zweifellos gleiches Aussehen: ein rötlich-gelber Staub, die Farbe am ehesten mit blasser Ziegelfarbe vergleichbar. Der aus den Regenmessern in Zagreb und Senj gewonnene Staub wurde gewogen, und es ergab sich unter der (freilich recht vagen) Annahme der Flächenproportionalität der niedergeschlagenen Staubmenge für Zagreb 1,78 Tonnen je Km², für Senj 1,80 Tonnen je Km² in auffallender Übereinstimmung. Das uns vom Sarajevoer Observatorium mitgeteilte analoge Ergebnis der Rechnung ist 1 Tonne je Km², während H. Emil in Sušak [20] den Wert 1,5 Tonne je Km² berechnet. Unter plausiblen Annahmen über das jugoslawische Areal, auf welchem der Staubfall beobachtet wurde, und mit einem mittleren Wert der Menge von 1,5 Tonnen je Km² ergibt sich die allein in Jugoslawien niedergeschlagene Menge mit mindestens ¼ Million Tonnen.

Das mineralogisch-petrographische Institut der Universität in Zagreb unterzog in entgegenkommendster Weise einige der Proben der mineralogisch-mikroskopischen Untersuchung, wofür wir Herrn Prof. F. Tućan und Kustos L. Barić auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen möchten.

Bis auf einen Fall, wo der an 2 Proben aus der gleichen Gegend (Krk) wahrgenommene Unterschied auf die verschiedene Art der Einsammlung zurückführbar war, erwiesen sich alle Proben als von wesentlich gleicher Zusammensetzung. Der Staub besteht im Wesen aus kleinen Kalzitromboedern, wesentlich größeren aber

recht spärlichen Quarzelementen unregelmässigen Baues, einzelnen organischen Skeletten und einer reichlichen Menge einer amorphen, erdigen, braunen Masse. Namentlich der letzte Bestandteil, der der Terra rossa der Karstgebiete ähnelt, könnte einen heimischen Ursprung des Sediments als nicht ausgeschlossen erscheinen lassen.

Mit Rücksicht auf diese Natur des Sediments und die besondere Bodenbeschaffenheit grosser Teile des jugoslavischen Senkgebietes äolischer Sedimente mögen hier einige Bemerkungen zum Ursprungsproblem solcher Staubfälle Platz finden.

Die eingehende Untersuchung des grossen Staubfalles von 1901 durch Hellmann und Meinardus [10] stellte zum ersten Mal mit Sicherheit die Sandwüsten Nordafrikas als Ursprungsort des Staubes fest auf Grund einer sorgfälligen Diagnose und Epignose der synoptischen Situation.

Das Ergebnis der mineralogischen und chemischen Untersuchung zahlreicher Proben aus dem ausgedehnten Senkgebiet (Italien bis Nordeuropa) liess jedoch auch damals keinen so eindeutigen Schluss auf den Ursprung zu, sie liess die Frage offen, ob es Löss oder Lateritboden war, wo der Staub aufgewirbelt wurde. Die Überlegenheit der meteorologischen Schlüsse auf den Ursprungsort des Staubes über die mineralogischen und chemischen gründet sich auf 2 Momente: 1.) Die Quellgebiete des Staubes in Nordafrika sind von solcher Ausdehnung, dass eine einheitliche Bodenbeschaffenheit, die eine eindeutige Identifizierung des äolischen Sediments im Fallgebiet zuliesse, nicht besteht. 2.) Erfolgt die Senkung des Staubes in grösserer Entfernung vom Quellgebiet, so ändert sich der Staub beim Transport sowohl in seiner mechanischen Beschaffenheit als auch in seiner Zusammensetzung. — Die mechanische Änderung besteht darin, dass durch Sedimentierung auf dem langen Wege die Substanz ausgesiebt wird, die gröberen Teile seltener, die ganze Substanz feiner wird. Hierbei ändert sich auch zumindest die quantitative chemische und mineralogische Zusammensetzung, da bestimmte mineralogische Elemente (wie etwa im Phänomen von 1901 und im vorliegenden die Quarzkörner) grobkörniger sind. Sowohl die mechanische als die mineralogische und chemische Änderung wurde von Hellmann und Meinardus [10] durch Vergleich südlicher und nördlicher Proben gefallenen Staubes direkt nachgewiesen. — Zu diesen nachgewiesenen Änderungen des Staubes während des Transportes kommen noch andere mögliche, wenn auch bisher nicht nachgewiesene, wie chemische Änderung durch die Luftgase und Wolkenwasser und Beimengung von Bestandteilen lokalen Ursprungs aus durchzogenen Gegenden. — So kann ein chemisch-mineralogischer Befund ein mit meteorologischen Methoden gewonnenes Ergebnis, wenn meteorologisch erkennbar ist, wo und wie so ungeheure Massen in so grosse Höhen (bis über 4000 m) gehoben wurden und in entfernte Gegenden transportiert wurden, wohl stützen, jedoch kaum widerlegen.

Von den zahlreichen Hypothesen, die für den Ursprung trocken gefallenen oder mit Regen gemischten Staubes in der Fachliteratur auftreten, wurden die meisten auch für Vorkommnisse in unseren Gegenden in Anwendung gebracht.

Vulkanischer Staub (Asche) scheint auf unserem Gebiete bloss einmal mit Sicherheit festgestellt zu sein u. zw. im Jahre 1906. IV. 8.—9., wo der in Süddalmatien gefallene Staub [15] mit einer Probe vom Vesuv zu gleicher Zeit ausgeworfenen

Materialien verglichen werden konnte. Vielleicht ist der am 14. I. 1926. in der Lik (Gospic, Oločac) mit Schnee gefallene Staub gleichfalls vulkanischen Ursprungs entsprechend der auf Grund chemischer Analyse ausgesprochenen Vermutung (Brielle Mitteilung von Dir. Z. Filičić an das Geophysikalische Institut). Die gelbe Farbe spräche allerdings eher für Wüstenursprung.

In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts neigten die wissenschaftlichen Kreise sehr zur Hypothese des »Passatstaubes«, welche ihren Eingang in die Literatur durch Ehrenbergs Werk »Passatstaub und Blutregen« (1849) gefunden hatte. Diese Hypothese macht sich auch A. E. Nordenskiöld [5] bei der Untersuchung des Staubfalles in Schweden am 3. V. 1892. im Wesentlichen zu eigen. Nach dieser Hypothese ist der »Passatstaub« nicht rein terrestrischen Ursprungs sondern entstammt einem Staubtrichter, der die Erde in der Äquatorebene umgibt und lebende organische Keime enthält. Beim Eindringen in die Erdatmosphäre vermengt sich dieser Staub mit terrestrischen Elementen. Der »Polarstaub«, der nach A. E. Nordenskiöld das Phänomen vom 3. V. 1892 konstituierte, wäre eine Abarbeitung des Passatstaubes, die weniger terrestrische Elemente enthält. Die Hypothese des Passatstaubes wurde für einzelne unser Gebiet betreffende Staubfälle diskutiert, so von M. Barač [9] auf Grund seiner Analyse des in Fiume aufgefangenen Staubes beim Staubfalle vom 11. März 1901, von M. Schuster [4] für den in Krainen wahrgenommenen Staubfall vom 14. und 15. Oktober 1875. u. A. — Doch ist nach dem sorgfältigen Studium der Staubfälle vom 9.—12. März 1901 [10], [11] und 22. Februar 1903 [12] [13], wo das nordafrikanische Quellgebiet nachgewiesen wurde die Hypothese des Passatstaubes ganz in den Hintergrund getreten und wird — als recht phantastisch und zumindest überflüssig — kaum noch ernsthaft diskutiert werden.

Die Annahme benachbarter Gebiete als Quellgebiet eines Staubfalles wurde auf Grund der Ähnlichkeit des Materials in unseren Gegenden gelegentlich als Möglichkeit erwähnt und auch verworfen, so beim Staubfall von 1885. X. 14/15, wo M. Schuster [4] bemerkt: » verweisen darauf, dass das Material kristallinen Urgebirgen, Kalk- und Dolomitbergen (wie sie auch in der Umgebung von Klagenfurt zu finden sind) entstammen könnte. Darüber, ob der Ursprung des Staubmaterials in grosser Ferne zu suchen ist, müssen demnach andere Gründe als die, welche im mineralogischen Befunde liegen, entscheiden.« Beim Staubfall 1869. III. 24.-25. wahrgenommen in Krain, bemerkt Deschmann [2]: »Die Substanz war eine rötliche Staubmasse, in der Färbung dem hiesigen Gebirgsschiefer sehr nahe kommend. Da aber schon 14 Tage hindurch fortwährend nasse Witterung herrschte, ist an eine Staubaufwirbelung und den Niederschlag derselben durch den Regen nicht zu denken.« Es ist hier noch zu bemerken, dass in beiden Fällen der heimische Ursprung verworfen wurde noch bevor über den zeitlichen Verlauf und die territoriale Verbreitung des Staubfalles Näheres bekannt war.

Diesen beiden Fällen steht jedoch das Vorkommen von 1896. II. 25.-26. gegenüber, wahrgenommen blos in den nördlichen Gebieten des heutigen Jugoslawien, wo das Quellgebiet auf Grund meteorologischer Untersuchung mit grosser Sicherheit in den Deliblater Steppen eruiert wurde; dieses Ergebnis wurde auch durch den mikroskopischen Befund (humusartige Konsistenz des Staubes mit Wurzelfäserchen), der Wüstenursprung ausschloss, gestützt [7].

Staubführenden Luftkörpern und habituellen Quellgebieten des atmosphärischen Staubes wird in den neueren Methoden der Wetteranalyse (den sogenannten Bergener Methoden) besonderes Augenmerk zugewandt. Solche Luftkörper sind als typische Tropikluft anzusprechen, wo immer sie auch wahrgenommen werden. Die Staubbeimengung ist graduell sehr verschieden. Meistens ist es infolge weiten Abstandes vom Quellgebiet und langer Schwebezeit feinste Suspension, welche nur eine opaleszente Trübung der Luft (Höhenrauch) erzeugt und die Sichtverhältnisse beeinflusst. Als Quellgebiete des Staubes, der grössere Luftkörper erfüllt, kommen in Betracht nur solche Gebiete, die auf Kontinenten liegen, weder eis — noch schnee — noch vegetationsbedeckt sind und nicht regenreich sind. So ergeben sich als mögliche Quellgebiete für Stauberfüllung grösserer Luftkörper nur die beiden subtropischen Trockengürtel mit ihren Wüstengebieten [21]. Zu diesen Bedingungen, der Bodenbeschaffenheit treten noch die meteorologischen Bedingungen, welche die Aufwirbelung zur Alto-Etage ermöglichen. Die jugoslawischen Gebiete weisen keine genügend grossen vegetationsfreien und mit lockerem Material bedeckten Areale auf, um Quellgebiete ausgedehnter Stauffälle zu sein, und Tromben sind auf diesem Gebiete vereinzelt und selten. Hingegen ist unser Gebiet als, namentlich in seinen Küstengebieten, sehr regenreich ein typisches Senkgebiet für eventuell herbeigetragenen atmosphärischen Staub.

IV. G. Hellmann und W. Meinardus [10] geben vom Staubfall 9.12. III. 1901 ein dynamisches Bild auf Grund der älteren Theorie der Zyklonen. Es ist aber bemerkenswert, dass sie bei der Erklärung nicht umhin konnten auch die Vorstellung definierter Luftmassen heranzuziehen. So führen sie die scharfe Nordwestgrenze des Stauffalles auf einen staubfreien Luftkörper nördlicher Herkunft zurück und sehen als Träger des Staubes einen hohen südlichen Luftstrom an.

Heute, wo die Grundbegriffe der norwegischen Schule hinsichtlich der Wetteranalyse und Zyklogense (Bjerknes' »Polarfronttheorie«) allgemein in das dynamische Denken eingedrungen sind, wird man den Strom der Tropikluft bei der Erklärung des Staubtransportes als primär anzusehen haben, die aus Bodenbeobachtungen gewonnenen isobarischen Gebilde als sekundär. Würde man doch bei Fehlen anderer meteorologischer Beobachtungsdaten schon in der Anwesenheit des Staubes in feiner Verteilung, grösser Höhe und so weiter Verbreitung ein Symptom erblicken, das man es mit einer nördlich vorgestossenen Tropikluftmasse zu tun hat.

Die Wetterlage entwickelte sich in den dem Stauffall vorangehenden Tagen folgendermassen.

Im Südwesten Europas finden wir schon vor dem 1. Mai ein Tief (iberisches Tief); über dem Atlantischen Ozean, namentlich im subtropischen Gebiet, ein sehr ausgedehntes Hoch mit hohem Maximum (Azorenhoch), aus welchem sich ein Rücken hohen Druckes nordöstlich bis zur skandinavischen Halbinsel erstreckt. Ein zweites Hoch mit Zentrum in Nordostafrika liegt über Südosteuropa. Zwischen diesen beiden Hochdruckgebieten erstreckt sich vom iberischen Tief in der Richtung der europäischen Kontinentalachse eine breite Rinne tiefen Druckes, an deren nordöstlichem Ende ein Tief über Finnland und Nordrussland liegt. In dieser Rinne dringt in den folgenden Tagen eine Warmluftmasse vor, mit dem Antrieb durch die Gradienten des Azorenhochs, verstärkt durch die Existenz eines nord-europäischen Tief.

und Sandstürme in geringere Höhe gehoben wurde, wird infolge grösserer Sedimentationsgeschwindigkeit schon in näheren Senkgebieten zur Erde gelangen. Die für den Transport zur Ostküste der Adria notwendige West und Südwestdrift der Warmluft war an den Vortagen und dem Haupttag des Staubfalls, wie aus Sondage-Ergebnissen in Italien und Jugoslawien hervorgeht, nur in Höhen über 2000 m vorhanden. Die vertikale Mächtigkeit des Warmluftstromes bei Scirocco-Einbrüchen wird von M. Herrmann [24] auf über 4000 m geschätzt, Westdrift in höheren Lagen wird auch von P. Zisler [25] bei Scirocco festgestellt. Es ist auch aus früheren Staubfällen bekannt, dass die Staubluf die Alpenkette überschreitet. Im vorliegenden Fall überschritt sie Gebirge von über 2000 m Höhe. — Nun ist es bekannt, dass Altostratus häufig Fallstreifen hat, die die Erde nicht erreichen. Wo im Gebiet des Schlamms regens dieser Fall eintrat, das Schlammsregenwasser also in geringerer Höhe wieder verdampfte, blieb der Staub in verschiedenen niedrigeren Höhen, u. zw. infolge der geringen Regenintensität in sehr spärlicher Verteilung. Kam es nun durch aufsteigende Luftbewegung zur Rekondensation des Dampfes unter Bildung von niedrigeren Wolken von der Art der Fractostratus und Fractocumulus, so fiel klare Regen.

Es wurde vielfach beobachtet, dass der Schlammsregen eine eigentümlich intermittierende Art zu fallen aufwies — als ob man unter einem nassen Baum stünde, der spärlich tropft, aber von Zeit zu Zeit geschüttelt wird. Vielleicht ist diese Erscheinung darauf zurückzuführen, dass die Staubeimengung die Coagulation der kleinen Wolkentropfen zu grossen, die zur Regenbildung erforderlich ist, erschwerte.

Der zeitliche Verlauf des Schlammsregens weist wohl in einzelnen Gebieten Regelmässigkeiten auf; so fällt der beobachtete Regenbeginn an der oberen jugoslawischen Adriaküste nach Norden fortschreitend immer später (am 3. Mai von 7 h bis 13 h). Doch erwies es sich als unmöglich Isochronen von einer nennenswerten Ausdehnung zu ziehen. Man hat sich den Verlauf so vorzustellen, dass das jugoslawische Gebiet am 3. Mai morgens grösstenteils mit staubführenden Wolken überdeckt war, dass der Regenbeginn jedoch, wie es in gebirgischem Land nicht anders zu erwarten, lokal stark beeinflusst war. Aus dem Vergleich italienischer und jugoslawischer Einsatzzeiten lässt sich schätzungsweise eine Ausbreitungsgeschwindigkeit des Schlammsregens von etwa 20 km je Stunde berechnen, falls man als Ausbreitungsrichtung NE annimmt.

VI. Der Schlammsregen vom 3. u. 4. Mai 1933. trat im Küstengebiet mit Scirocco auf. Dieses Zusammentreffen findet man auch bei den älteren gleichartigen Phänomenen. Es liegt also nahe, den Zusammenhang der beiden Phänomene auf seine Allgemeinheit und Notwendigkeit hin zu prüfen.

Der Scirocco des Mittelmeeres gehört dem Zirkulationssystem der nichtoccludierten Mittelmeerzyklonen an und ist der zyklonale Wind des Warmsektors derselben.

Diese Mittelmeerzyklonen treten einzeln oder serienweise auf, wenn sich im Mittelmeerbecken ein Stück zusammenhängender Polarfront bildet, sei es in einer Tiefdruckrinne, sei es als Sekundärzyklonen einer Zyklone der höheren Breiten. Ihr Warmsektor besteht dann aus maritimer (atlantischer) oder kontinentaler (nordafrikanischer) Tropikluft. Wenn diese Zyklonen am Nordrande Afrikas östlich ziehen, so saugt der zyklonale Warmsektorwind Wüstenluft an.

Dieses zyklonale Windsystem reicht nicht hoch in die Atmosphäre, in Höhen über 2000 m bestehend durchgehender West oder Südweststrom*). Dieser obere Strom ist der ungestörte Strom der Warmluft, deren Einbruch zyklogenetisch wirksam ist.

Wie aus der geringen vertikalen Reichweite des Scirocco hervorgeht, sind diese Mittelmeerzyklonen sehr niedrige Zyklonen, was vielleicht damit zusammenhängt, dass die Kaltluft nach V. Bjerknes [22. S. 710] im Mittelmeerbecken, infolge enger Einbruchstore, seicht ist.

Es ist wohl nicht auszuschliessen, dass der niedere Sciroccowind mit Wüstenluft auch Staub aufnimmt. Doch ist es zumindest sehr unwahrscheinlich, dass dieser Staub an das adriatische Meer und in das innere der Balkanhalbinsel getragen würde. Für den Staubtransport bei ausgedehnteren Staubfällen und Schlammbregen kommt nur der obere West und Südweststrom der Warmluft in Betracht, der in einzelnen Fällen [10], [24], auch eine Wendung nach Norden nimmt. Die Aufwirbelung des Staubes aber erfolgt durch Sandstürme und Tromben in der Wüste, die sich an der West- und Nordwestseite der Randzyklonen im Zusammenhang mit dort herrschenden starken Druckgradienten bilden.

Der Zusammenhang von Scirocco und Staubsenkung im adriatischen Gebiet besteht also darin, dass beide Erscheinungen an Einbrüche von Tropikluft geknüpft sind. Wie zu erwarten, ist dieser Zusammenhang in der Jahresperiode beider Erscheinungen erkennbar. Die Staubfälle, die im I. Abschnitt angeführt sind, fallen fast ausschliesslich in die Monate Februar bis Mai, in welchen nach P. Zistler [25] auch der Scirocco am häufigsten ist. Während in den Sommermonaten Scirocco-Situationen in der Adria auftreten, scheinen Staubfälle in diesen Monaten äusserst selten zu sein. Diese Eigentümlichkeit der jahreszeitlichen Verteilung der Staubfälle ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass sich in den Sommermonaten die Polarfront des Mittelmeeres nach Norden verlagert, die sich an ihr bildenden Zyklonen das Mittelmeer wohl zonal durchziehen, ihre Zugstrassen aber zu nördlich liegen um die nordafrikanischen Quellgebiete des Staubes zu erfassen.

VII. Mit Ausnahme der Phänomene von 1869 und 1872, für welche ufs keine synoptischen Karten zur Verfügung standen, und desjenigen von 1916, wo sie sehr mangelhaft sind, haben wir für alle in I. Abschnitt angeführten Schlammbregen und Staubfälle die Entwicklung der synoptischen Situation der Vortage und des Haupttages einer vergleichenden Betrachtung an der Hand synoptischer Karten unterzogen.

Es sind vor allem jene Fälle auszuscheiden, die atypisch verliefen, d. h. zu keinem Transport von nordafrikanischem Wüstenstaub nach der Ostküste der Adria führen konnten. Das sind die Fälle vom 26. II. 1896. und 8. – 9. IV. 1906.

Der letzte Fall scheidet aus, weil es sich um Vulkanasche handelt. In diesem Falle muss keineswegs zwischen der Eruption und der Staubsenkung eine zusammenhängende Kette solcher meteorologischer Vorgänge vermitteln, die einem einheitlichen Zirkulationssystem angehören. Die Vulkanasche kann auch sehr lange nach der Eruption niedergeschlagen werden.

Im Falle 26. II. 1896. bestand war ein starkes Tief im westlichen Mittelmeerbecken, jedoch ergab ein ausgedehntes Hoch über dem ganzen europäischen Russ-

*) Siehe oben und [25].

land allgemeine europäische Gradienten nach SW, also einem Transport von Tropikluft gerade entgegengesetzt. An der Adria herrscht Scirocco, westlich der Siebenbürgischen Gebirge starke Košava. Wie oben Absch. III. hervorgehoben, war es von der Košava aufgewirbeltes Steppenmaterial, was von der NE-Drift nach den nördlichen Gegenden Kroatiens geweht wurde.

Es mag nicht unerwähnt bleiben, dass während der ganzen Entwicklungsperiode des grossen Staubfalles vom 19.—23. II. 1903. auf dem Atlantischen Ozean, in Grossbritannien und Mitteleuropa [12], [13] ganz Südeuropa und ein guter Teil Mitteleuropas von einem stationären starken Hoch bedeckt war, welches sich, den grossbritannischen Staubfall nach Mitteleuropa bis zu den Alpen lenkend [12], langsam nach Süden verlagerte. Man kann infolgedessen den Fall von Saharastaub in diesen Tagen im Adriagebiet mit grosser Sicherheit ausschliessen, so dass die recht unbestimmten Angaben darüber in [12] kaum verwertbar sind.

Die synoptischen Situationen der übrigen Fälle lassen sich zwanglos in zwei Grundtypen einordnen, durch deren Realisierung die Möglichkeit von Schlammregen und Staubfällen im Adriagebiet durch Transport von Wüstenstaub gegeben ist:

a) Ein Tiefdruckrinne, flankiert von einem subtropischen Hoch, in welcher sich eine Reihe von Mittelmeerzyklonen (an der sich durch Warmlufteinbruch bildenden Mittelmeerpolarfront) nach E und NE fortpflanzt.

b) Zonal wandernde Mittelmeerzyklonen, die als Sekundärbildungen einer Zyklone der höheren Breiten entstehen. Hierbei wird oft das Fickersche Isobarenschema [23] realisiert.)*

Allen Fällen a) und b) ist es gemeinsam, dass eine der Zyklonen auf Wüstengebiet übergreift, so dass die Bedingungen für heftige Wüstenwinde und Staubaufwirbelung gegeben werden. Eine wiederkehrende Charakteristik der Entwicklung der synoptischen Situation besteht darin, dass sich in der Richtung der Zyklonenfortpflanzung am Vortage des Staubfalles ein Hochdruckkeil einschleibt.

Zur Gruppe der mit a) bezeichneten synoptischen Situationen gehören die Fälle 1879. II. 25., 1901. III. 19.—21., 1931. III. 13., 1933. V. 3.—4. Alle 3 erstgenannten Fälle zeigen eine sehr weitgehende Analogie mit der Situation von 1933. V. 3.—4. Im Einzelnen wäre bezüglich des Phänomens von 1901. folgendes zu bemerken: Nach dem grossen Staubfall 9.—12. III. 1901. folgte rasch ein zweiter Staubfall 19.—21. III. 1901. [10], der gleichfalls Norddeutschland erreichte. Während nach der Situation der Hauptstaubfall 9.—12. III. 1901. der Gruppe b) zuzuweisen ist, erfolgte der zweite mit fast gleicher Ausgangssituation wie das jugoslavische Phänomen 3.—4. V. 1933. Im weiteren Gange breitet sich eine Mittelmeerzyklone über Mitteleuropa aus, die auch die Balkanhalbinsel erfasst. Man kann die begründete Vermutung aussprechen, dass auch dieser zweite Staubfall von 1901. die Ostküste der Adria wenigstens in ihrem nördlichen Teil erreicht haben müsste, doch ist keine diesbezügliche Beobachtung zu finden.

Das Phänomen von 1931. III. 13. ist dadurch charakterisiert, dass die typische Situation a) sich besonders lange stationär erhielt und der Verlauf ein langsamerer war als 1933. V. 3.—4.

*) Doch halten wir das Vorkommen dieses Isobarenschemas nicht für einen Beweis, dass die von H. Ficker in [23] begründete Dynamik der Entstehung dieser Mittelmeerzyklonen in allen Fällen zutrifft.

Zur Gruppe der mit b) bezeichneten Situationen gehören die Fälle 1885. X. 14.—15., 1901. III. 9.—12., 1906. III. 22.—23., 1926. I. 14., 1934. II. 26.—27., 1934. III. 15., 1934. IV. 26., 1934. V. 3.

Im Einzelnen ist, abgesehen von der besonderen Intensität des Warmluftstromes, auf einen Unterschied in der Endphase der Entwicklung des Phänomens 1901. III. 9.—12. gegenüber anderen Fällen des Wüstenstaubtransportes zur Ostküste der Adria hinzuweisen: Die besonders tiefe Depression der höheren Breiten gibt einen eine Südströmung begünstigenden nach Norden gerichteten barischen Gradienten; das sich besonders stark entwickelnde und nach NW ausbreitende südosteuropäische Hoch drängt den Warmluftstrom ebenfalls nach Norden.

Auch im Falle 1906. III. 22.—23. überschreitet eine ligurische Zyklone die Alpen und es ergibt sich eine nach Norden offene Tiefdruckrinne. Jedoch fehlt der Erscheinung die Intensität von 1901. III. 9.—12.

Im Falle 1926. I. 14. in welchem auch die Natur des Sediments fraglich ist (s. Abschn. III.) konnten wir auch die Entwicklung der synoptischen Situation nicht ganz klarlegen; die tyrrhenische Zyklone, welche sich am 14. I. auch über Jugoslawien ausdehnt, scheint eine Sekundärbildung einer isländischen Zyklone hoch im Norden zu sein.

Scirocco-Wind tritt, wie oben erwähnt, in allen behandelten Fällen auf. Der Fall 1934. III. 15. zeichnet sich durch besonders starken Scirocco in der Adria aus (Beaufort 9.) Starke Regen an der Küste schlugen den Staub schon in dem küstennächsten Streifen nieder.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass sich die relativ häufige Senkung aufgewirbelten Saharastaubes in Jugoslawien unter meteorologischen Bedingungen abspielt, die durchaus typische Züge aufweisen. Der Zusammenhang dieser Phänomene, die auf Einbrüche von Tropikluft und Polarfrontbildungen im Mittelmeerbecken zurückzuführen sind, mit den Mittelmeerzyklonen und dem Scirocco ist offenkundig, und es ist aus dem Studium dieser Staubfälle Erweiterung unserer Kenntnis der Mittelmeerzirkulation zu erwarten. Das in diesem ganzen Fragenkomplex enthaltene dynamische Problem glauben wir mit den obigen Darlegungen nur formuliert zu haben.

Literaturverzeichnis

1. *G. Buchich*, Staubregen in Lesina, Zschr. d. öst. Ges. f. Met. IV. S. 205 (1869).
2. *Deschmann*, Staubregen in Krain, Zschr. d. öst. Ges. f. Met. IV. S. 206 (1869).
3. *Stürme, Gewitter und Staubfall* am 23. und 25. Februar 1879. Zschr. d. öst. Ges. f. Met. XIV. S. 141. (1879).
4. *M. Schuster*, Staubregen vom 14./15. Oktober 1885. in Kärnten Met. Zschr. 1886. S. 76.
5. *A. E. Nordenskiöld*, Über den grossen Staubfall in Schweden und angrenzenden Ländern 3. Mai 1892. Met. Zschr. 1894. S. 201.
6. *Staubfall* am 25./26. Februar 1896. Met. Zschr. 1896. S. 105.
7. *S. Róna*, Sandregen in Ungarn. Met. Zsch. 1896. S. 138.
8. *G. Hellmann*, Staubfall am 25./26. Februar 1896. Met. Zschr. 1896. S. 469.
9. *M. Barač*, Pasatni prah oboren s kišom u noći od 10. na 11. ožujka 1901. Glasn. Hrv. Nar. Društva XIII. br. 1—3, Str. 86 (1901).

10. *G. Hellmann* und *W. Meinardus*, Der grosse Staubfall vom 9. bis 12. März 1901. in Nordafrika, Süd- und Mitteleuropa. Abh. d. K. preuss. met. Inst. Bd. II. No 1. (1901).
11. *J. Valentin*, Der Staubfall vom 9. bis 12. März 1901. Sitz. ber. d. Ak. d. Wissensch. Wien, Mat. Naturw. Kl. Bd. CXI. Abt. IIa S. 727. (1902).
12. *E. Herrmann*, Die Staubfälle vom 19. bis 23. Februar 1903. über dem Nordatlantischen Ozean, Grossbritannien und Mitteleuropa. Ann. d. Hydrogr. XXXI. S. 425; 475. (1903).
13. *H. R. Mill*, and *R. G. K. Lempfert*, The great Dust-fall of February 1903 and its origin. Quart. Journ. R. Met. Soc. Vol. XXX. No 129. p. 57. (1904).
14. *A. Vončina*, *J. Stigleühner*, Staubfall-gelber Schnee. Met. Zschr. 1906. S. 170.
15. *L. Nettičič*, *Ed. Mazelle*, *G. Bijelić*, *E. Janežič*, Staubfall (Vesuvusche) in Cattaro, Ragusa, Mezzo, Megline. Met. Zschr. 1906. 223-225.
16. *Roter Schnee*, Met. Zschr. 1916. S. 429.
17. *Gelber (roter) Schnee*, Met. Zschr. 1917. S. 265.
18. *Vulkanski pepeo u Lici*. Priroda XVI. Str. 29. (1926).
19. *N. Bošnjak*, Prljava kiša. Priroda XXIII. Str. 201. (1933).
20. *H. Emili*, Zanimljivi podaci o prošlogodišnjoj prljavoj kiši. Priroda XXIV. Str. 152 (1934).
21. *Tor Bergeron*, Über die dreidimensional verknüpfende Wetteranalyse I. Teil. Geofys. Publikasjoner Vol. V. No 6. Oslo, 1928.
22. *V. Bjerknes*, *J. Bjerknes*, *H. Solberg*, *T. Bergeron*, Physikalische Hydrodynamik, Berlin 1933. (Zitiert kurz als V. Bjerknes).
23. *H. Ficker*, Der Einfluss der Alpen auf Fallgebiete des Luftdruckes und die Entstehung von Depressionen über dem Mittelmeer. Met. Zschr. 1920. S. 350.
24. *M. Herrmann*, Scirocco- Einbrüche in Mitteleuropa, Veröff. d. geophys. Inst. d. Univ. Leipzig Bd. IV. Heft 4.
25. *P. Zistler*, Die Temperaturverhältnisse der Türkei. Der Scirocco. — Zum Klima der Türkei, hrsg. v. L. Weickmann, 2. Heft, Leipzig 1926.

PROMETNOGEOGRAFIJSKI ZNAČAJ RIJEČKE I SUŠAČKE LUKE.

Dr. Zvonimir Dugački

Pozadina istarsko-hrvatskog primorja ima radi svoje umjerene visine i prilične uravnjenosti terena s prometnogeografskog stanovišta relativno povoljne uvjete. Stoga je ovdje Panonski bassin našao najpogodniji pristup do mora. Prometna linija do Trsta vodi preko Celjske i Ljubljanske kolline te Jadranskim vratima (613 m). Jadranska su vrata jedan od važnih prilaza koji spajaju Srednju Evropu s mediteranskim područjem. Budući da se ova linija račva u dolini istarske Rijeke, to na njoj participira i riječka luka. No za nju je ova prometna linija radi političkog razgraničenja u prošlosti bila uvijek sekundarnog karaktera. Za Rijeku je mnogo važnija prometna linija preko zapadnog hrvatskog visočja, i ako se ta uspinje punih 200 m više. Senjska je linija najmanje povoljna, ali ipak u prošlosti vrlo značajna. Ona vodi preko sedla Vratnika (698 m) i Razvale (888 m, između Velike i Male Kapele; tra-