

Entwicklungsablauf eines Scirocco
und seine Abwandlungen durch die Orographie
(dargestellt am Beispiel des 30./31.3.1981)

von
Sabine MÜLLER und Michael RICHTER

Inhalt

	Seite
Einleitung	4
1. Das großräumige Wettergeschehen	5
1.1. Entstehung in Nordafrika	5
1.2. Durchzug in Südeuropa	10
1.3. Folgen in Mitteleuropa	16
2. Regionale Abwandlungen und geländeklimatische Auswirkungen	17
2.1. Orographische Effekte in Westsizilien	17
2.2. Expositionsunterschiede an der Riviera di Levante	23
2.3. Staueffekte in den Tessiner Alpen	27
3. Agrarökologische Auswirkungen des Scirocco	36
Zusammenfassung	38
Literatur	39

Am 1.4. 1981 berichteten italienische Tageszeitungen von verheerenden Stürmen in West- Sizilien und außergewöhnlichen Temperaturanstiegen in der südlichen Tyrrhenis. Am 2.4. 1981 fanden in den gleichen Zeitungen Überschwemmungen, Murgänge, Felsstürze und Straßenunterbrechungen als Folge katastrophaler Regenfälle in Norditalien besondere Beachtung. In Süddeutschland registrierte man in den ersten Apriltagen eine für die Jahreszeit erstaunlich hohe Lufttemperatur. Zusammen mit einem "Sandregen" zwischen Süditalien und Süddeutschland sind diese Erscheinungen in Bezug mit einem Scirocco - Durchzug vom 30. - 31.3. 1981 zu stellen.

Das Phänomen "Scirocco" fand vor allem in den dreissiger Jahren von französischer und italienischer Seite in der Literatur Berücksichtigung. Die stärksten Einwirkungen wurden zuvor von G.HELLMANN und W. MEINARDUS (1902) beschrieben, als Sandmengen des "großen Staubfalls" im März 1901 auf 1.800.000 Tonnen und eine Überdeckung von 800.000 km² Land- bzw 450.000 km² Meeresfläche berechnet wurden; der Sandregen reichte damals von der tunesischen Sahara bis zu den süddänischen Inseln. Unter der Bevölkerung von Tunis verursachten die trocken - heißen Sandstürme panischen Schrecken und Weltuntergangsstimmung.

Bei ähnlicher Wetterlage wie 1901 umfaßten die Staubfälle im März 1981 eine halb so große Fläche wie 80 Jahre zuvor und reichten gerade über die Alpen hinaus. Scirocco - Einbrüche dieser Größenordnung sind keineswegs selten, sie treten normalerweise ein- bis zweimal pro Jahr auf. Trotz der grundsätzlich bekannten Ursachen und Auswirkungen soll dieser Scirocco besondere Berücksichtigung finden, da die exakte und umfangreiche Datenlieferung heute vielfältige Interpretationsmöglichkeiten und ergänzende Erklärungen erlaubt. So läßt sich mit der vorliegenden Arbeit eine nahezu lückenlose Rekonstruktion des Scirocco - Durchzuges aufzeichnen, wobei der Schwerpunkt auf Abwandlungen der Witterung in unterschiedlichen räumlichen Dimensionen liegt. Diese reichen von großräumigen Veränderungen in ganz Italien bis hin zu kleinräumigen Unterschieden in Gebirgsabschnitten Siziliens, Liguriens und der Südschweiz.

Neben Satellitenbildern und Wetterkarten (s. Lit.verz.) lagen Schreibstreifen registrierender Klimageräte aus Tunesien, Italien und der Schweiz, von eigenen Wetterhütten - Aufzeichnungen in den Cinque Terre (Provinz La Spezia) sowie Computer - Ausdrücke meteorologischer Daten aus Italien und der schweizerischen automatischen Außenstationen (ANETZ) vor .

1. Das großräumige Wettergeschehen

1.1. Entstehung in Nordafrika

Seinen Ursprung findet der Scirocco vom 30.-31. März in einem Tiefdruckgebiet, das am 29. März südlich des Sahara - Atlas entsteht. Verfolgt man die saharischen Temperaturveränderungen während der Vortage auf den jeweiligen Bodenkarten, so läßt sich zuerst eine Aufheizung im Bereich des Nigerbogens erkennen, der eine allmähliche Ausdehnung der warmen Luftmassen in Nordrichtung folgt:

Tab. 1: Temperaturveränderungen an drei saharischen Stationen zwischen 26.3. und 31.3., jeweils 0⁰⁰ GMT. Pfeilsignatur punktiert = lokale Erhitzung; liniert = nordwärtige Erwärmung; gestrichelt = lokale Abkühlung.

		26.3.	27.3.	28.3.	29.3.	30.3.	31.3.
S	Timbuktu	27 ⁰ ----->	29 ⁰ ----->	32 ⁰ ----->	31 ⁰ ----->	27 ⁰	28 ⁰
	In Salah	24 ⁰	22 ⁰	23 ⁰	25 ⁰	25 ⁰ ----->	16 ⁰
N	Remada	16 ⁰	20 ⁰	16 ⁰	21 ⁰	28 ⁰ ----->	21 ⁰

Auch im 700 mb- Niveau läßt sich die Erwärmung verfolgen; die aus der sudano - saharischen Depression stammenden Luftmassen haben bereits am 29.3. um 12⁰⁰ die tunesische Nordküste überschritten (siehe Bereich der potentiellen Äquivalenttemperatur >14⁰C in Abb. 1 b). Am Boden steht der Ausbreitung der warmen Luft jedoch das Atlas - Gebirge entgegen; außerdem wird das Vordringen weiter nördlich im Verlaufe des 29. März durch zwei Kaltfronten abgeblockt, die über das westliche Mittelmeer ziehen (vergl. Abb. 2 a). Die Luftmassen am Boden werden also am Sahara - Atlas gestaut, wirken sich nach NE aber noch bis Sizilien aus (s.u.).

Nach diesen grundlegenden Vorbemerkungen seien nun Aufzeichnungen eines Augenzeugen zwischengeschoben, der auf einer Studienreise durch die Maghreb-länder zwischen dem 29. und 31. März von Touggourt nach Kebili im Osten des Chott Djerid unterwegs war.¹ Danach zeichnete sich der 29. März durch Schwüle und große Hitze aus (Temperaturmaximum in Tozeur = 35,7⁰C); bei schwacher Windbewegung war die Luft trüb.

¹Herrn Theo Brauers, Student am Geographischen Institut der RWTH Aachen, danken wir herzlich für seine präzisen Ausführungen.

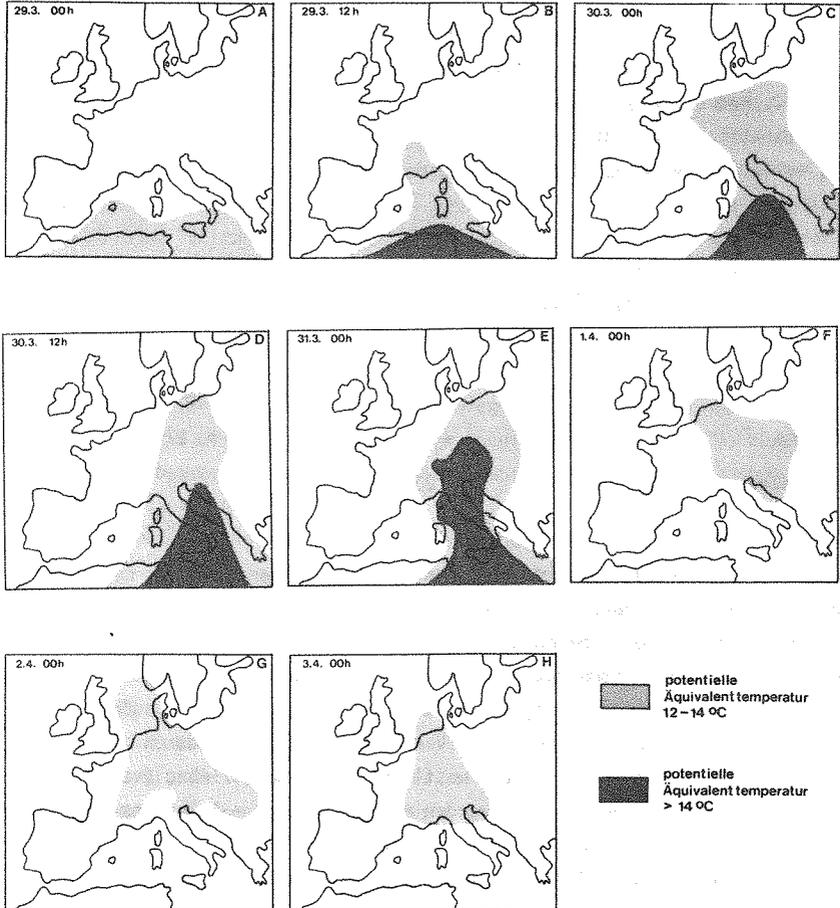
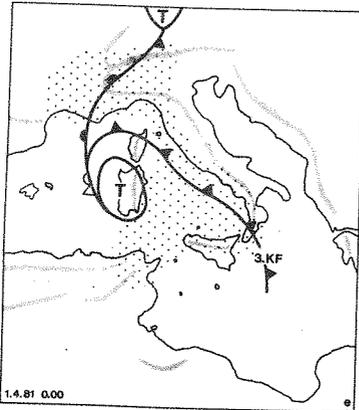
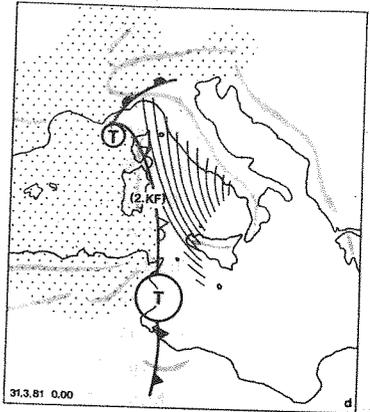
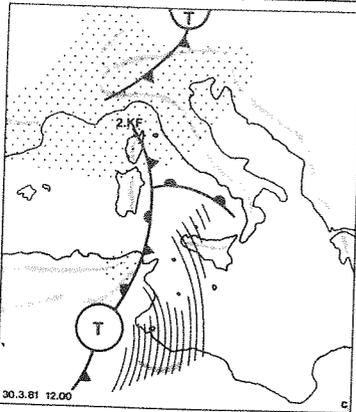
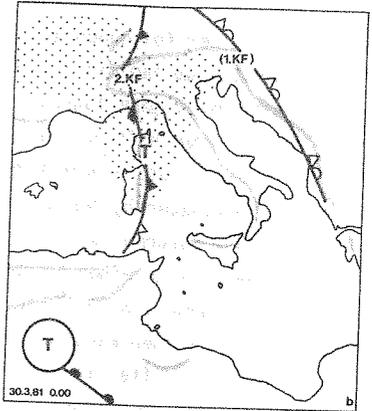
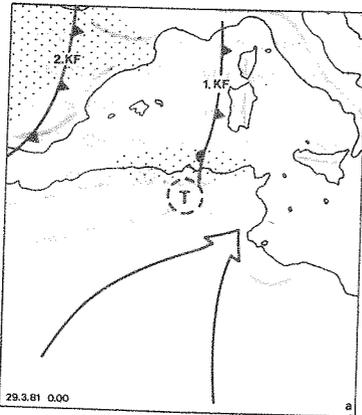


Abb. 1 a - h : Luftmassenerwärmung über Süd- und Mitteleuropa im
700 mb - Niveau (29.3. - 3.4.1981)

In Nefta gab es in der folgenden Nacht zum 30. März eine normale Abkühlung um 15°C ; das Tagesmaximum lag mit $31,9^{\circ}\text{C}$ (Tozeur) niedriger als am Vortag. Die Windgeschwindigkeit nahm tagsüber deutlich zu, um bei Sonnenuntergang gegen 17³⁰ Uhr in einen heftigen Sandsturm aus SW-Richtung überzugehen. Der Sturm hielt bis in die frühen Morgenstunden an und war am 31. März morgens bei der Durchquerung des Chott Djerid zwischen Kriz und Kebili noch als bodennahes Sandgebläse spürbar. Mit Nachlassen des Windes kam es trotz sonnigen Wetters zu einer erheblichen Abkühlung, die für Tozeur mit einem Temperaturmaximum von $20,1^{\circ}\text{C}$ und einem Minimum von $11,6^{\circ}\text{C}$ am Morgen des 1. April belegt werden kann.

Im vorliegenden Fall dürfte sich also im Gebiet zwischen Massif de l'Aurès und Grand Erg Oriental im Verlauf des 29. März ein Hitzetief entwickelt haben (Abb. 2 b), das als thermische Turbulenz in Verbindung mit der Ausbildung elektrostatischer Felder um Staubpartikel zur Aerosolproduktion in der unteren Troposphäre führte (vgl. D. KLAUS, 1979, S. 108). Die Dynamik dieses Tiefdruckgebietes wird durch die Luftdruckverhältnisse in der Höhe und durch schwache Druckgegensätze am Boden bestimmt. Unter der Vorderseite eines polaren Höhentrogues über der Iberischen Halbinsel bleibt in den folgenden eineinhalb Tagen für die Zyklonenwanderung nur eine Zugbahn südlich des Sahara-Atlas in ENE-Richtung (Abb. 2 c). Vor dem Tiefdruckgebiet weichen trocken-heiße Luftmassen nach Norden aus. Die Tagesmaxima tunesischer und süditalienischer Wetterstationen lassen am 30. März auf sehr unterschiedliche Einwirkungen schließen (vgl. Abb. 3): am stärksten ist die Erhitzung in Südosttunesien und in Nordwestlibyen (Temperaturmaxima in Remada: $37,5^{\circ}\text{C}$; Zarzis: $38,8^{\circ}\text{C}$; Medenine: $38,4^{\circ}\text{C}$; Gabès: $37,6^{\circ}\text{C}$; Tripolis: 37°C). Es erstaunt allerdings, daß die nur 100 km NNE von Gabès gelegenen Stationen um über 10°C geringere Temperaturen aufweisen (Tagesmaxima in Sfax: 26°C ; Kerkena: 24°C). Eine Beeinflussung durch erhitze Luftmassen ist allerdings wieder am Südrand des Golfs von Hammamet feststellbar (Temperaturmaxima in Monastir: $30,5^{\circ}\text{C}$; Kairouan: $29,6^{\circ}\text{C}$), so daß nur kurzfristig ein schmaler Keil der trockenen Warmluft von SE in den mitteltunesischen Sahel eindringt (Abb. 2 c). Von der Aufheizung unbeeinflusst bleiben auch die östlich gelegenen Inseln Lampedusa (Temperaturmaximum: 20°C) und Pantelleria (Temperaturmaximum: $19,2^{\circ}\text{C}$). Malta, das noch weiter östlich liegt, wird vom Scirocco nicht berührt, während gleichzeitig in Westsizilien Winde aus SE einfallen.



- Tiefdruckgebiet
(in Auflösung)
- Niederschlagsgebiet
- warme Luftmassen
- Warmfront
- Kaltfront
- Okklusion (ohne Temperaturänderung)
- warme, stürmische
Scirocco-Einwirkung

Mit Fortschreiten des Tiefdruckgebietes, das in der Nacht zum 31. März den Golf von Gabès erreicht, strömen kalte Luftmassen aus der Nordsahara nach. Die starke Abkühlung (s. Diagramme von Djerba und Remada, Abb. 3) ist als Folge des Energieverlustes am Boden nach der vorangegangenen Vertikalturbulenz der heißen Luft im Tiefdruckkern zu erklären. Nach F. EREDIA (1938) kommt es im Grenzbereich aufeinanderfolgender heißer und kühler Luftmassen zu einem "Turbinen-Effekt", worin das Nachfolgen des erwähnten Sandsturmes seine Erklärung findet. Nach dessen Durchzug beträgt der Temperatursturz stellenweise bis zu 24°C innerhalb von 18 Stunden (Ben Gardane, Remada;vgl. Abb.3).

Abschließend sei darauf hingewiesen, daß die aus dem Djerid-Gebiet beschriebenen Witterungsphänomene den Scirocco-Definitionen von Meteorologen süd-tunesischer Wetterstationen (mdl. Mitteilung) entsprechen. Danach zeichnet sich ein Scirocco durch überdurchschnittliche Temperaturen bei geringer Ventilation und stauberfüllter Luft aus; Radiosondenaufstiege über Tozeur zeigen in solchen Fällen ein Gefälle des Temperaturgradienten von $0,7^{\circ}/100\text{m}$ bei gleichzeitig abnehmender relativer Luftfeuchtigkeit bis zu einer Sprungschicht in 1000 - 2000 m NN an. Dieser Hinweis erscheint insofern bemerkenswert, als in der Nordsahara im Sprachgebrauch einheimischer Fachleute die Ansprache eines Scirocco ganz andere Witterungsphänomene beinhaltet, als es den Beschreibungen italienischer Kollegen entspricht ; dennoch scheint ein enger Zusammenhang zwischen der Entstehungsursache in Nordafrika und den Auswirkungen in Südeuropa zu bestehen, wie noch zu zeigen sein wird.

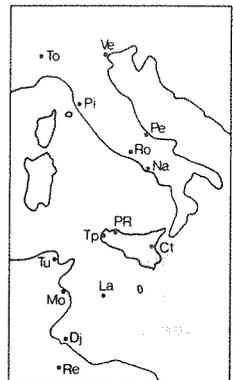
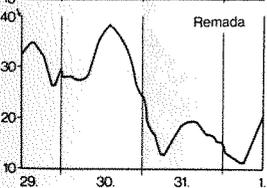
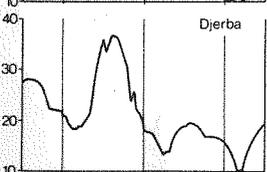
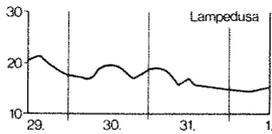
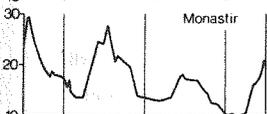
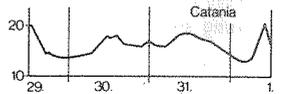
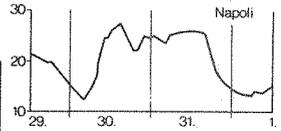
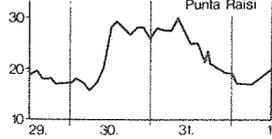
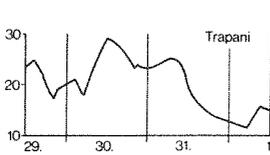
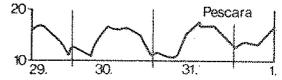
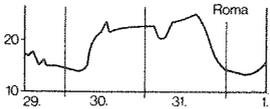
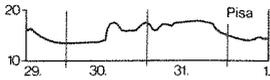
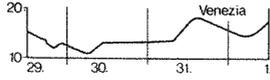
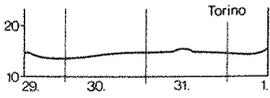
Abb.2 a - e : Bodenwetterkarten des westlichen Mittelmeeres vom
29.3. - 1.4.1981 (zusammengestellt nach Wetterkarten
verschiedener Wetterdienste)

1.2. Durchzug in Südeuropa

Während es in der algerischen Nordsahara durch das Einströmen der warmen Luftmassen aus der sudano-saharischen Depression zum Hitzestau kommt, wird das Wettergeschehen im westlichen Mittelmeergebiet durch zwei durchziehende Kaltfronten bestimmt. Die erste (1. KF in Abb 2 a-b) findet ihren Ursprung am 27. März in einem Tief westlich von Irland. Sie erreicht die Tyrrhenis am Vormittag des 29. März und verursacht starke Niederschläge vor allem in der westlichen Poebene und den angrenzenden Südalpen (Abb. 4 a). Mit Einströmen der saharischen Luftmassen aus Süden kommt es zur Bildung einer Okklusion, die in der Nacht zum 30. März die dalmatische Küste quert. Eine zweite Kaltfront (2. KF in Abb. 2 a-d), Ausläufer eines Biscaya-Tiefs, erreicht am Vormittag Korsika und Sardinien. Sie stößt im Verlauf des 30. März auf die trocken-heiße Scirocco-Luft, die im Vorfeld des nordafrikanischen Tiefs heftig aus südlichen Richtungen einströmt und die Kaltfront zum Stillstand bringt. Aus Abb. 2 e läßt sich ableiten, daß der Wind im südtyrrhenischen Raum einen schmalen Korridor passiert. Denn während südlich und nördlich die Luftmassen geringere Geschwindigkeiten aufweisen und Ostsizilien von ihnen unberührt bleibt, werden an den Stationen Ustica und Trapani Windspitzen von 65 - 70 Knoten erreicht, also Orkanböen bis 125 km/h (Abb. 5). Mit der nordwärtigen Abschwächung des Sturms kann die Luft von der ohnehin bewegten Meeresoberfläche verstärkt Feuchtigkeit aufnehmen, was sich in Abb. 3 in einer Temperaturabnahme von Punta Raisi über Rom, Pisa bis Turin widerspiegelt. Änderungen in der Windrichtung (Abb. 5) deuten auf orographisch bedingte, bodennahe Umleitungen vor den See- bzw. Südalpen hin. Staueffekte führen zur Kondensation mit Niederschlägen (Abb. 4 b), die allerdings von den ausklingenden Frontalregen des 30. März vormittags nicht deutlich zu trennen sind (s.u.).

Der präfrontale Einbruch des Scirocco erklärt sich zunächst aus den Strömungsrichtungen vor der Zyklonen-Vorderseite in Südtunesien und Nordost-

Abb. 3 : Temperaturgang (°C) vom Mittag des 29.3. bis zum Mittag des 1.4.1981 an ausgewählten Wetterstationen in Tunesien und Italien



libyen. Als weitertreibender Motor fungiert zudem die übergleitende Warmluft von Süden, die im 700 mb-Niveau dem bodennahen Scirocco vorausseilt (s. Abb. 1 c-e). Nach wie vor bleiben also die erwähnten Druckverhältnisse in der mittleren Troposphäre, die durch die Lage des erwähnten Höhentrogges gekennzeichnet werden, als richtungsweisende Kraft wirksam. Erst mit der Verlagerung dieses Tiefs im 500 mb-Niveau von Nordwestspanien (30.3. 0⁰⁰) nach Sardinien (1.4. 0⁰⁰) wird das Nachströmen der Warmluft in der mittleren Troposphäre blockiert (Abb. 1 f).

Im Bodenniveau entsteht im Kontaktbereich zwischen Scirocco und der stationären 2. KF bei Sardinien und Korsika eine erneute Okklusion. Auf deren Rückseite entwickelt sich eine Tiefdruckrinne aus dem nach Norden auslaufenden nordsaharischen Tief und einer Zyklone über dem Ligurischen Meer. Bei letzterer handelt es sich um eine neue bodennahe Verwirbelung, die in der fortgesetzten Berührung warmer und kalter Luft ihren Ursprung hat.

Trotz ihres Entstehungsgebietes ist sie nicht als "Genua-Zyklone" anzusprechen, deren Genese sich durch Kaltlufteinbrüche aus Nordrichtungen erklärt (W. Eriksen, 1971, S. 169). Auf Satellitenfotos ist der Durchzug des Scirocco für die Nacht vom 30./31.3. mit einer weitreichenden Bewölkung erkennbar (Foto 1, 31.3., 9⁰⁰), die sich rasch entwickelt haben muß, da sie auf dem 12 Stunden zuvor aufgenommenen Satellitenbild noch nicht festzustellen ist¹.

In der gleichen Nacht kommt es westlich des Apennin, in der Poebene und in der Schweiz zu Staubniederschlägen. Auf dem Satellitenfoto vom 1.4.1981 8⁰⁰ (Foto 2) hat sich das neu entstandene Tief über dem Ligurischen Meer bereits nach Süden verlagert und verursacht auf seiner Vorderseite erstmals Niederschläge in Süditalien (Abb. 2 e und 4 c).

¹ Die Satellitenbilder wurden uns vom Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin, Meteorologische Satellitenforschung, zur Verfügung gestellt, wofür wir uns herzlich bedanken.

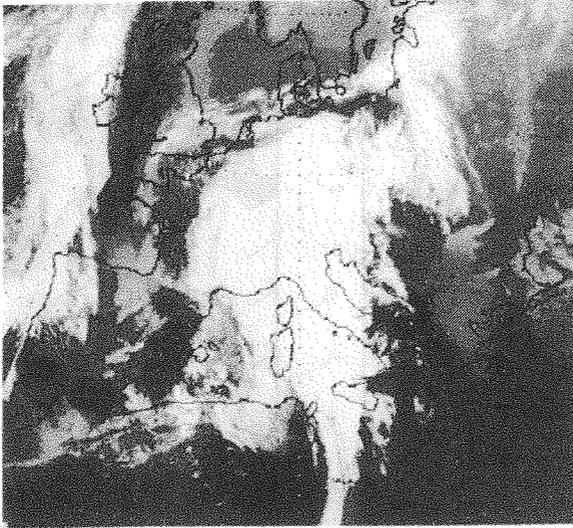


Foto 1 : Satellitenaufnahme vom 31.3.81, ca. 9⁰⁰ GMT (NOAA 6)

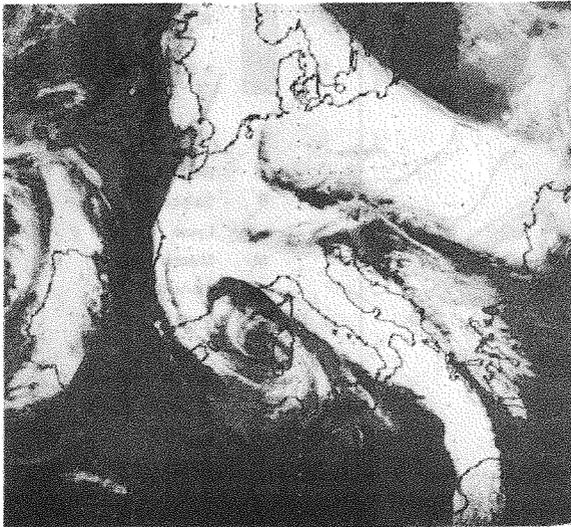


Foto 2 : Satellitenaufnahme vom 1.4.81, ca. 8⁰⁰ GMT (NOAA 6)

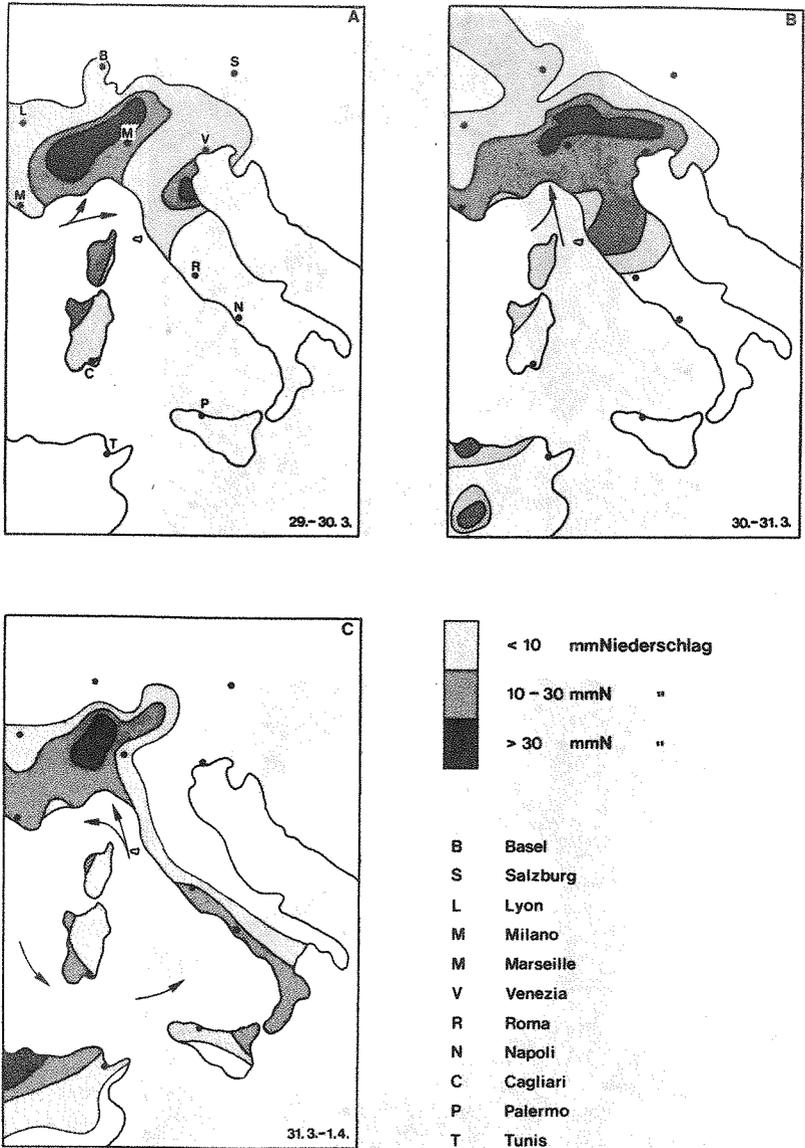
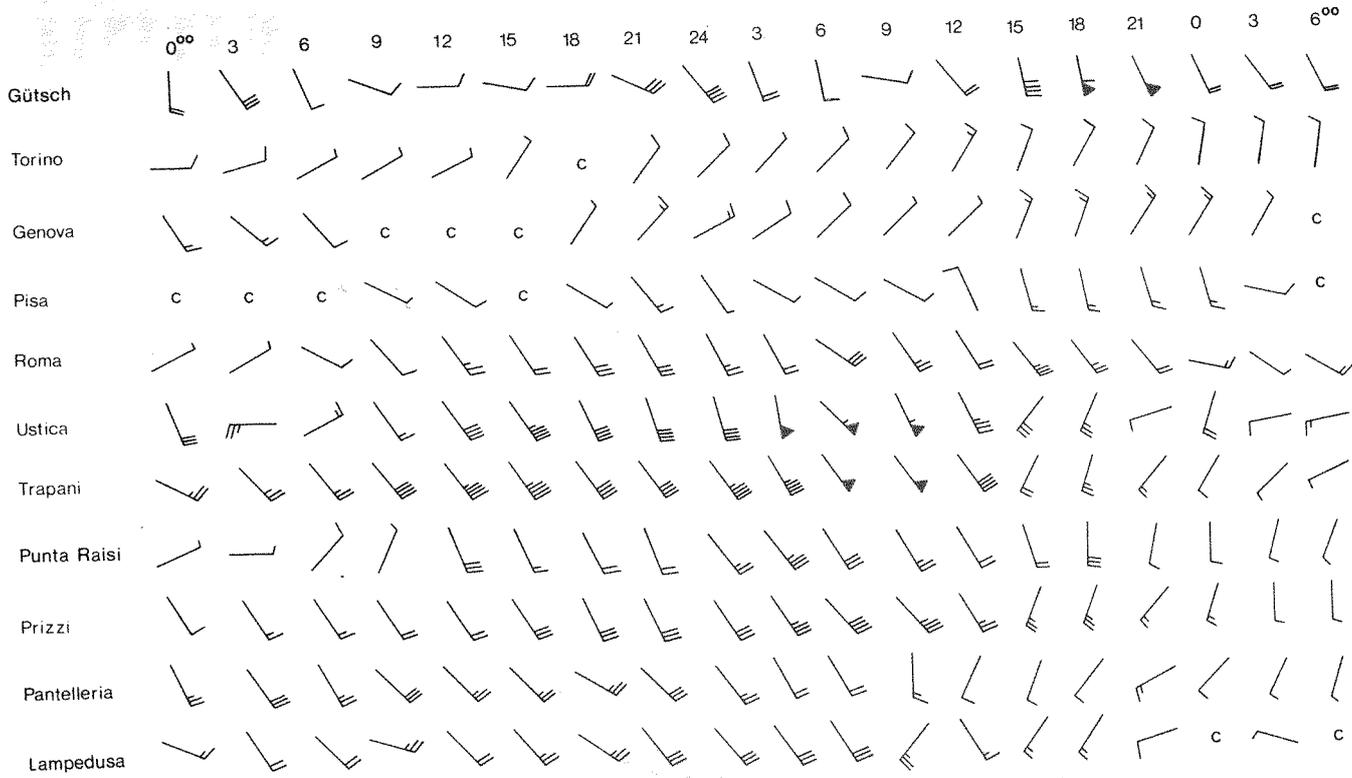


Abb. 4 a-c : Isohyeten in Nordtunesien, Italien und den Alpen vom 29.3. - 31.3.1981, jeweils von 7⁰⁰ bis 7⁰⁰ GMT

30. 3. 81

31. 3. 81



15

Abb. 5 : Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen im Verlauf des Scirocco-Durchzuges vom 30./31.3.1981 im Nord - Südprofil zwischen Alpenkamm und Pelagischen Inseln. Dreistündiges Intervall, Angaben in Knoten (= 15 kn, = 50 kn, c = Calme)

1.3. Folgen in Mitteleuropa

In der Zeit vom 27.3. bis zum 3.4.1981 bleibt Norddeutschland in unterschiedlich starkem Maße im Einflußbereich trocken-kühler Luftmassen, die einem ausgedehnten Hochdruckgürtel von Skandinavien bis nach Südrußland entstammen. Dagegen wird die Witterung in Süddeutschland in der Zeit vom 28.3. bis 30.3. durch mehrere durchziehende Warm- und Kaltfronten bzw. Okklusionen geprägt, die zwar zu wechselnder Bewölkung, jedoch nicht zu Niederschlägen führen.

Am Vormittag des 31. März trifft die vom Biscaya-Tief ostwärts vordringende Front (2. KF, Abb. 2 b-d) auf warme Luftmassen, die von Süden her einströmen. Hierdurch entstehen entlang des Alpennordrandes kleinere Verwirbelungen. Inwiefern sie auf Föhneinwirkung unter der hoch gelegenen Bewölkung (vgl. Foto 1 und 2) zurückgehen könnten, wird in Kap. 2.3. behandelt. Im Verlauf der folgenden Nacht schließen sich diese Tiefdruckgebiete zu einer größeren Zyklone zusammen, die sich am Mittag des 1. April von den Alpen bis zum Main mit Zentrum zwischen Augsburg und München erstreckt. Auf ihrer Vorderseite verursacht die ausströmende Warmluft in Ostbayern außergewöhnlich hohe Temperaturen (Temperaturmaxima am 1.4.1981 in Ingolstadt: 26°C , in Nürnberg: 25°C); in den folgenden Tagen dehnen sich diese Luftmassen nach NW bis zum Niederrhein aus, während es in Baden-Württemberg, also auf der Rückseite der Kaltfront, kühl bleibt. Noch extremer sind aber die Temperaturunterschiede zu Norddeutschland, wo am Rande des kräftigen Hochdruckgebietes über der Ostsee die Temperaturen nicht über 10°C steigen (Temperaturmaxima am 1.4.1981 in Rügen: 4°C , in Schleswig: 6°C).

Nun wird auch die relative Langlebigkeit der warmen Luftmassen über Mitteleuropa im 700 mb-Niveau verständlich, die in Abb. 1 g und f dargestellt ist. Nach Blockade der saharischen Luftmassenzufuhr durch das Höhentief über dem Mittelmeer dürfte über Süddeutschland der Aufstieg von Warmluft als lokale Komponente zur Erhaltung des Bereichs erhöhter Temperaturen in der mittleren Troposphäre beigetragen haben.

2. Regionale Abwandlungen und geländeklimatische Auswirkungen

Aus dem vorher Gesagten geht hervor, daß die Zyklonenwanderung mit nachfolgendem Sandsturm in Nordafrika weitgehend ungehindert von W nach E erfolgt. Erst die Scirocco-Luftmassen, die als heftige Winde an der Tiefdruckvorderseite in der unteren Troposphäre gegen Italien nach Norden strömen, treffen auf Gebirge, die einem freien Durchzug entgegenstehen. Solche Hindernisse können sich je nach Heftigkeit und Einfallswinkel des Sturmes unterschiedlich auswirken.

So erfährt der Scirocco vom 30./31. März in Westsizilien bei der Überquerung der Sicani-Berge im Süden und des Mazara-Gebirges im Norden eine deutliche Abwandlung (s. Kap. 2.1.). Auf der Leeseite des Apennin ist im adriatischen Tiefland keine Beeinflussung feststellbar (s. Pescara und Venezia in Abb. 3). Sogar die Gebirgsstationen von Monte Terminillo bei Rieti (1640 m) und auf dem Campo Imperatore (2130 m) am Gran Sasso werden vom Scirocco kaum betroffen, so daß der Sturm vor dem mittellitalienischen Apennin nach NW abgelenkt wird. Die Alpen werden im Bereich des Gotthard- und Bernina-Massivs überströmt.

Die drei folgenden Kapitel sollen dementsprechend dazu beitragen, die Veränderungen an Gebirgshindernissen genauer zu belegen.

2.1. Orographische Effekte in Westsizilien

Aus der Beschreibung des großräumigen Wettergeschehens in Kapitel 1 geht bereits hervor, daß schon am 29.3.1981, also am Vortag der stürmischen Scirocco-Einwirkung, aus der Südsahara stammende Warmluft Sizilien erreicht. Sie bewirkt an der Südküste eine Erwärmung um ca. 4°C gegenüber dem Vortag. Auch im kontinentaleren Inselinnern werden aufgrund des Strahlungswetters Temperaturen über 26°C erreicht, während die Nordküste der Insel noch im Einflußbereich der vorüberziehenden 1. Kaltfront liegt und bei bewölktem Himmel ziemlich kühl bleibt (s. Abb. 6).

Am Vormittag des 30.3.1981 erreicht der Scirocco West-Sizilien. Es bereitet jedoch Schwierigkeiten, seine Zugbahn genau abzugrenzen. Malta zeigt vom 29.3. bis zum 1.4.1981 keine Beeinflussung, und auch die Werte der Temperaturen und Luftfeuchte der übrigen Inseln im Süden Siziliens deuten allenfalls auf eine randliche Lage zur Scirocco-Luftströmung hin; einzig Lam-

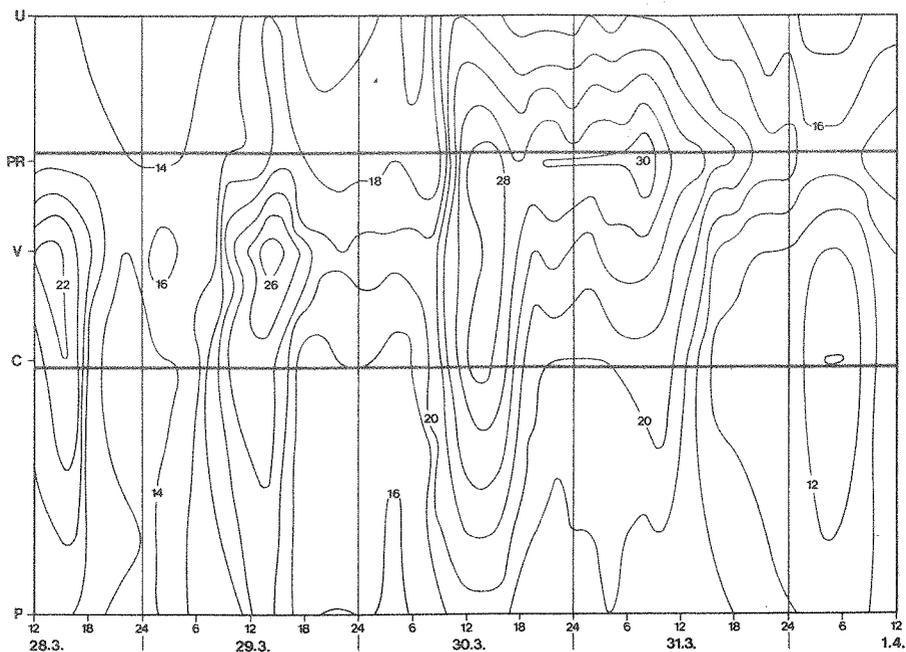


Abb. 6 : Thermoisoplethen zwischen Pantelleria (P), Camemi (C), Valle (V), Punta Raisi (PR) und Ustica (U) im Zeitraum vom 28.3.81 12⁰⁰ bis 1.4.81 12⁰⁰. Die beiden dicken Querlinien geben die Lage der Nord- und Südküste an.

pedusa zeichnet sich durch eine leichte Erwärmung in der Nacht vom 30.3 zum 31.3.81 aus (s. Abb. 3). Bleibt also nur ein schmaler Korridor, durch den der Scirocco zwischen den Inseln hindurch gegen Westsizilien vordringt. Unterschiede in Ablauf und Intensität des Scirocco an verschiedenen Stationen Westsiziliens sind auf den vertikalen Aufbau der Luftströmung und auf seine Modifizierung durch das Relief zurückzuführen.

Um den vertikalen Aufbau der in Sizilien ankommenden Scirocco-Luftmassen zu charakterisieren, soll der Radiosondenaufstieg von Trapani vom 30.3.81

herangezogen werden. Obwohl Trapani im NW der Insel liegt, sind Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsgänge am 30. und 31.3.81 denjenigen der Südküste vergleichbar, da im niedrigen Hügelland vor Trapani (vgl. Abb. 7) kaum eine reliefbedingte Abwandlung stattfindet.

Aus dem TEMP geht hervor :

- die Temperaturen nehmen bis 500 m NN von 27°C auf 24°C ab, um bis 850 m wieder auf 25°C anzusteigen, oberhalb dieser Sprungschicht nehmen sie kontinuierlich um ca. 0,5°C/100 m ab.
- die relative Luftfeuchtigkeit verringert sich bis 950 m NN von 37% auf 17%, oberhalb nimmt sie langsam zu (23% bei 3000 m).
- die Windgeschwindigkeit ist bei 500 m NN mit 50 kn am höchsten (SSE). Sie fällt bis 4400 m NN auf 28 kn ab und wird darüber durch einen Wechsel aus westlichen Richtungen bestimmt.

Eine Interpretation ergibt, daß die Scirocco-Luftmassen bis ca. 900 m NN heraufreichen und von weiterer trocken-warmer Luft aus südlichen Richtungen überlagert werden (bis zum 700 mb-Niveau, s. Abb. 1 d).

Dieser Vertikalaufbau erfährt aber durch die Überquerung der weiter östlich gelegenen Gebirge deutliche Abwandlungen. In einem S - N Profil müssen schon unmittelbar im Hinterland der Station Camemi fast 900 m NN überquert werden. In seinem weiteren Verlauf muß der Scirocco die Monti Sicani (bis ca. 1450 m) und die Monti Mazara (bis ca. 1630 m) überwinden (vgl. Abb. 7). Noch 4 km südlich von Punta Raisi sind die Berge fast 1000 m hoch.

Die aus SSE vordringende Warmluft streicht mit einem flachen Steigungswinkel ein (vgl. Kap. 2.2 und 2.3), so daß die Scirocco-Luftmassen in größeren Höhen den tieferen vorrauseilen. Das hat zur Folge, daß die früher eintreffenden oberen Luftschichten an den Gebirgen Westsiziliens bereits aufsteigen und verwirbelt werden und im Lee der Gebirge als böige Fallwinde herabstürzen, noch bevor an der Südküste eine Scirocco-Einwirkung spürbar ist. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß das Einsetzen des Sturmes an der Nordküste Siziliens und im südtyrrenischen Ustica 1-3 Stunden früher registriert wird, als in Camemi (vgl. Abb. 8). In Ustica kennzeichnet die markante Zunahme der Windgeschwindigkeit, des Temperaturanstiegs und des Absinkens der Feuchte das Einsetzen des Scirocco bereits um 7⁰⁰, in Punta Raisi um 9⁰⁰, während Camemi erst um 10⁰⁰ erreicht wird.

Die reliefbedingten Modifikationen sind aber nicht nur für die geschilderten Zeitverschiebungen beim Einsetzen des Scirocco, sondern auch für

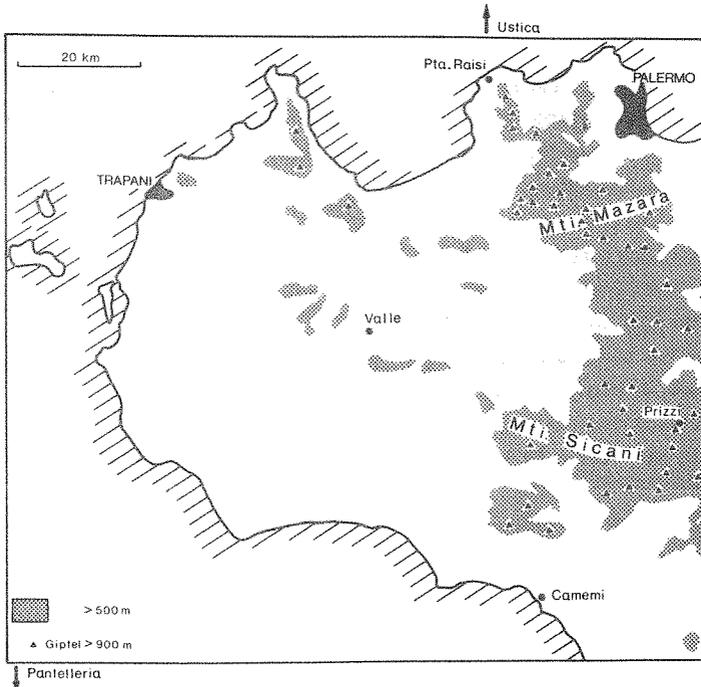


Abb. 7 : Lage der im Text angesprochenen Stationen in Westsizilien

deutliche Unterschiede im Ablauf des Sturmes an verschiedenen Stationen Westsiziliens verantwortlich.

In Camemi ist nach dem Temperaturanstieg, der zusammen mit dem Abfallen der Luftfeuchte gegen 10⁰⁰ am 30.3.1981 die Ankunft des Scirocco anzeigt, schon nach kurzer Zeit ein deutliches Abfallen der Temperatur und Ansteigen der Luftfeuchte zu verzeichnen. Diese zweite Phase mit niedrigeren Temperaturen und etwas erhöhter Luftfeuchtigkeit besteht bis zum Mittag des folgenden Tages. Bei annähernd gleicher Windeinwirkung (vgl. Windgeschwindigkeiten der nahegelegenen Kammstation Prizzi, Abb. 5) bleibt als Erklärung einzig die zunehmende Aufrauung der Meeresoberfläche zwischen Sizilien und Nordafrika, die zu einer Abkühlung und Wasserdampfanreicherung der darüberstreichenden Luft führt.

Weiter im Osten kommt es beim Anstieg der unteren relativ feuchten Luftmassen (vgl. TEMP) über den Monti Sicani zu einer turbulenten Vermischung mit den trocken-warmen oberen Schichten. Folge ist, daß schon in den inner-sizilianischen Tälern die zweite Scirocco-Phase durch höhere Temperaturen und geringere Luftfeuchtigkeit gekennzeichnet wird als an der Südküste (vgl. Abb. 6, Station Valle bzw. Camemi, 30.3. 22⁰⁰ - 31.3. 10⁰⁰). An der Nordküste ist schließlich die Unterteilung in die beiden Phasen kaum noch festzustellen. Nach Überwindung der Monti Mazara wird hier im Gegensatz zu den südlichen Stationen das absolute Temperaturmaximum erst gegen Ende der Scirocco-Einwirkung erreicht. Die Luftfeuchtigkeit sinkt hier auf Werte unter 10%; die absolute Austrocknung der Luftmassen zwischen Süd- und Nordküste geht aus verringerten Dampfdruckwerten hervor. Da es am 31.3.81 nicht zu einer Kondensation an den vorgelagerten Gebirgen kommt, handelt es sich im vorliegenden Fall keineswegs um Föhneffekte, die bei ähnlichen Wetterlagen durchaus in Palermo auftreten können. Die Fallwinde in Punta Raisi sind stattdessen aufgrund der turbulenten Luftmassenvermischung ausgetrocknet und erreichen durch dynamische Erwärmung der absteigenden Luft (trockenadiabatische Zustandsänderung) höhere Temperaturen als die in Südsizilien einströmenden Scirocco-Winde. Als Konsequenz der großen Reibungshöhe, die bei Auftreffen des Windes auf das Hindernis erreicht wird, hat der turbulente Vertikalaustausch für Punta Raisi eine sehr hohe Böigkeit des Windes zur Folge (mittlere halbstündige Amplitude der Windgeschwindigkeit in Punta Raisi: 34,8 kn, hingegen in Ustica: 25,9 kn - jeweils vom 30.3. 10⁰⁰ bis 31.3. 10⁰⁰).

Der Zusammenschluß der zwei Sturmphasen zu einer langanhaltenden Phase ist auch noch auf der nördlich gelegenen Insel Ustica erkennbar. Allerdings ist es hier schon wieder zu einer merklichen Abkühlung und Feuchtezunahme gekommen, die bei Windgeschwindigkeiten von bis zu 70 kn wiederum auf die aufgewühlte See zurückzuführen sind. Für die weiter im Westen vorbeiströmenden Scirocco-Luftmassen ist dagegen der in Trapani belegte zweiphasige Ablauf anzunehmen (Abb. 3), so daß der Scirocco bei seiner nordwärtigen Überquerung der Tyrrhenis auf breiter Front nicht einheitlich sein kann.

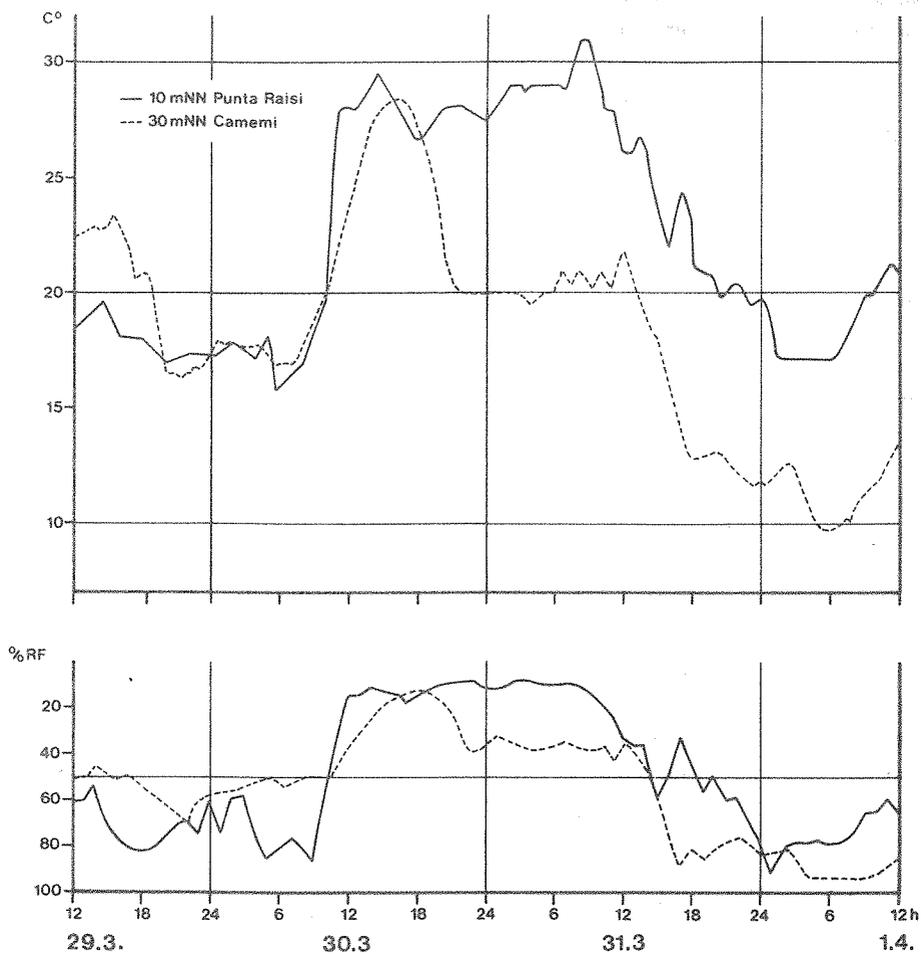


Abb. 8 : Gegenüberstellung der Temperatur- und Luftfeuchtgänge zweier sizilianischer Küstenstationen; Camemi im Süden und Punta Raisi im Norden

2.2. Expositionsunterschiede an der Riviera di Levante

Aus dem vorhergehenden Kapitel geht hervor, daß der Scirocco mit der Überquerung Siziliens eine Intensivierung erfährt, die bei ungehinderter Strömung über eine Meeresfläche ausgeblieben wäre. Für die tyrrhenische Küste zwischen Napoli und Genova ergibt sich eine komplexe Zusammensetzung aus unterschiedlich starken Phasen der Einwirkung, da der Scirocco hier aus verschiedenen Durchzugsgebieten einfällt. So ist für Napoli eine überdurchschnittliche Erwärmung festzustellen, wobei der Verlauf der Temperaturkurve eine Zwischenstellung zwischen demjenigen von Trapani und dem von Punta Raisi einnimmt (Abb. 3). Die Windeinwirkung ist aufgrund der geschützten Stationslage am Flughafen zwar ziemlich gering (max. 18 kn am 31.3.81 um 8³⁰), die Luftfeuchtigkeit sinkt jedoch auf 44%. Im Vergleich dazu ist an der offener gelegenen Station Roma-Fiumicino die Windstärke höher, jedoch ist insbesondere die thermische Auswirkung schon schwächer als in Napoli. Der Temperaturverlauf zeigt eine Verwandtschaft dem von Punta Raisi (Temp.-maximum am Ende des Scirocco-Durchzuges). Viel geringer sind die Auswirkungen in Pisa, das etwas von der Küste entfernt im Lee eines flachen Höhenzuges liegt; die geringen Windgeschwindigkeiten und die Windrichtungen sprechen gegen einen direkten Scirocco-Einbruch (Abb. 5).

Nach diesen Erörterungen erscheint es angebracht, auf Expositionsunterschiede während eines Scirocco-Durchzugs ausführlicher einzugehen. Dies erfolgt am Beispiel Cinque Terre in der Provinz La Spezia, da von dort Thermohygrographenaufzeichnungen aus eigenen Klimastationen mit Datenmaterial zu dem angesprochenen Scirocco vorliegen. Eine Übersichtskarte verdeutlicht die Lage der Meßstellen, die sowohl eine Interpretation vertikaler (Abb. 9, Stationen 1-3 in Corniglia) als auch expositionsbedingter Unterschiede (Station 4 in Pignone) zulassen.

Abb. 10 belegt für beide Hanglagen Niederschläge vor und nach dem Scirocco, die vom 1. und 3. Frontdurchzug herrühren. Bereits gegen Mittag des 30.3.81 läßt sich trotz Stratusbewölkung ein Temperaturanstieg ausmachen, der die Annäherung des Scirocco anzukündigen scheint. Gegenüber Ustica läge in diesem Fall die Zeitverschiebung bei etwa fünf Stunden, woraus sich für die Tyrrhenis-Überquerung der warmen Luftmassen eine mittlere Geschwindigkeit von etwa 130 km/h bzw. 70 kn ergäbe. In Corniglia war die Windeinwirkung allerdings deutlich schwächer: Stichprobenmessungen mit einem Windweg -

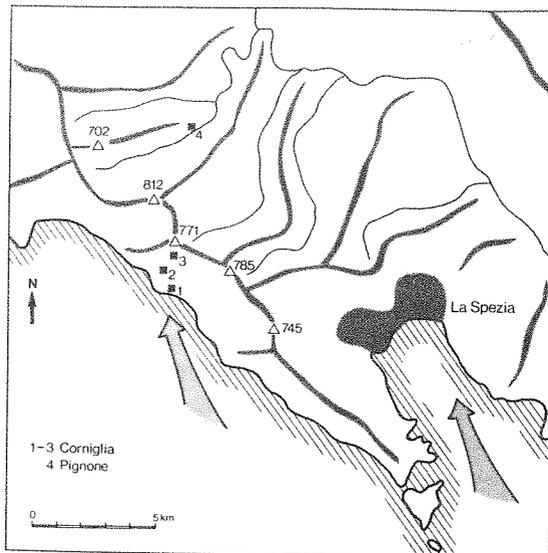


Abb. 9 : Übersichtsskizze der Stationslage in den Cinque Terre

Schalenanemometer ergaben am 30.3. gegen 16³⁰ in exponierter Lage Durchschnittswerte von 14 kn und von 17 kn am 31.3.81 gegen 8¹⁵. Um Mitternacht waren allerdings Böen verspürbar, die die genannten Werte weit überschritten haben dürften. Sie lassen sich einer Phase eines nochmaligen Temperaturanstieges zuordnen, der sich von der vorauslaufenden Erwärmung am Nachmittag deutlich abhebt (Abb. 10). Der eigentliche Scirocco-Einfall ist also erst am späten Abend festzustellen. Im Gegensatz zu der Vorphase zeigt sich hier wieder eine vorausseilende Strömung in der Höhe, was - ähnlich wie in Sizilien - den flachen Steigungswinkel der aufgleitenden Warmluft belegt. In Abb. 10 wird dieser Zeitabschnitt durch einen Pfeil gekennzeichnet, der im Kurvenverlauf der Corniglia-Stationen eine kurzfristige Temperaturangleichung in verschiedenen Meereshöhen heraushebt. Das leeseitige Pignone wird erst ca. drei Stunden später von der Warmluft beeinflusst. Die kurze, aber markante Erwärmung mit deutlicher Abnahme der

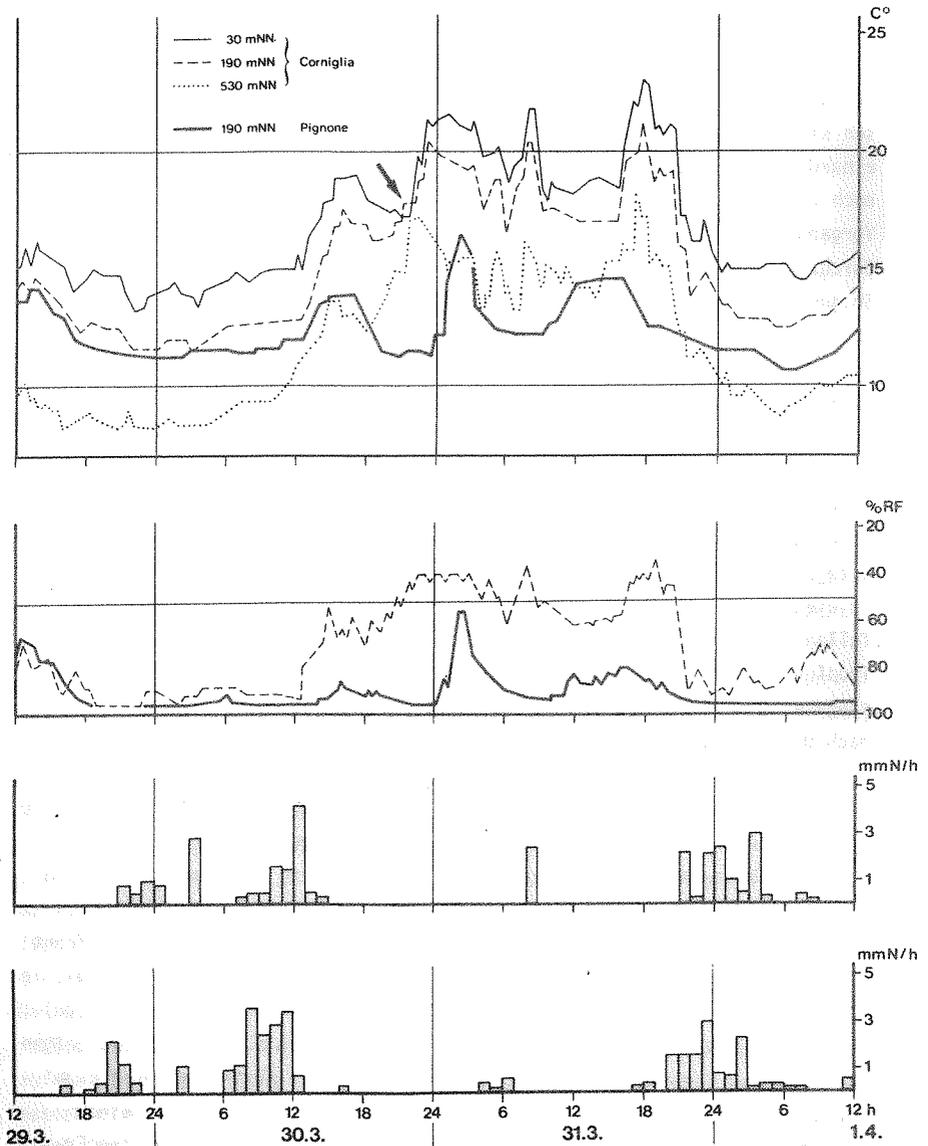


Abb. 10 : Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsstundenwerte an 2 bzw. 4 Stationen in den Cinque Terre.

Corniglia : Luvlage, Pignone : Leelage

Luftfeuchte läßt darauf schließen, daß hier nur vorübergehend ein direkter Scirocco-Einbruch in das abgeschirmte Tal vordringen konnte. Von da an lassen sich auf Luv- und Leeseite keine gleichförmigen Witterungsabläufe mehr einander zuordnen. Während der Vorphase am Nachmittag des 30.3.81 war das noch der Fall, so daß in der vorübergehenden postfrontalen Erwärmung ein Vorgang zu sehen ist, der nur indirekt mit dem bevorstehenden Scirocco-Durchzug in Zusammenhang steht.

So gesehen setzt also der eigentliche Scirocco in Corniglia erst mit 15 - stündiger Verzögerung gegenüber Ustica ein, was entgegen der vorgenannten Durchschnittsgeschwindigkeit einem realistischerem Wert von rund 45 km/h bzw. 25 kn über dem tyrrhenischen Meer entspricht. So wird auch verständlich, daß die Luftfeuchte von Sizilien bis Südligurien merklich angestiegen ist (Abb. 10). Leeseitig sinkt sie nur während der kurzen Scirocco-Einwirkung ab und bleibt ansonsten über 80% , was auf fehlende Ventilation schließen läßt. Trotzdem sinkt das Kondensationsniveau im Gegensatz zu den vorausgegangenen und folgenden Frontdurchgängen nicht bis in die 700 m NN hinaufreichende Kammregion herab; schwache Niederschläge fallen nur am frühen Morgen des 31.3.81. In Corniglia sind sie in großen Tropfen mit Staubfall verbunden, der auch in Pignone als gelbroter Feinsandüberzug auf Fahrzeugen erkennbar ist.

Nach Durchzug der aufgleitenden Warmluftmassen kommt es an den verschiedenen hoch gelegenen Meßstationen zu zeitlich und größenmäßig übereinstimmenden Temperaturschwankungen, die in zahlreichen Schüben erhebliche Amplituden aufweisen. Dagegen zeigt die Leeseite ausgeglichenerere Verhältnisse. Insbesondere kommt es hier zu einer geringeren Erwärmung als in den Cinque Terre. Diese Tatsache wirkt sich über den Scirocco-Durchzug hinaus aus, indem in Pignone die Ausgangssituation beim Passieren der 3. Kaltfront niedrigere Temperaturen vorgibt, als auf der Leeseitigen Abdachung (vgl. in Abb. 10 die beiden Temperaturkurven in 190 m NN vor und nach dem Scirocco).

Bei zyklonaler Wetterlage, insbesondere bei Ponente (Weststürme), zeigen im nördlichen Apennin geschützte Täler gegenüber der Küstenabdachung kaum thermische Unterschiede. Dagegen kommt es bei Strahlungswetter zu einem außergewöhnlichen ozeanisch-kontinentalen Gefälle.¹ Die vorgestellten Er-

¹ So wurden beispielsweise im Winterhalbjahr 80/81 in Corniglia drei Frostwechseltage registriert (Station bei 190 m NN), denen im nur sechs Kilometer entfernten Pignone 85 Frostwechseltage gegenüberstanden !

gebnisse zeigen, daß auch Scirocco-Stürme zu einer deutlichen gelände-klimatischen Differenzierung führen, indem schon meernahe Leelagen wenig beeinflußt werden.

2.3. Staueffekte in den Tessiner Alpen

Ähnlich wie in den Cinque Terre setzt auch im 200 - 300 km nördlich gelegenen Tessin der Scirocco in Höhenlagen früher ein, als in tieferen Bereichen. Dies zeigt sich vor allem in den Temperaturkurven in Abb. 11: an der fast 2300 m hoch gelegenen zentralalpinen Station Gütsch (Gotthard-Massiv über Andermatt, s. Abb. 12) läuft ein eindeutiger Temperaturanstieg dem viel schwächer ausgeprägten im 380 m hohen Locarno-Monti voraus, obwohl Locarno 55 km weiter südlich liegt. Die deutlichere Scirocco-Einwirkung in Gütsch zeichnet sich auch in der Windstärke ab (Abb. 12), da hier die höchsten Stundenwerte diejenigen von Locarno weit übertreffen. Aus Wind- und Temperaturgängen läßt sich ableiten, daß der Scirocco in Gütsch am 30.3.81 gegen 18⁰⁰ einsetzt, in Locarno hingegen erst gegen Mitternacht. Weiterhin sind nicht nur in der Intensität, sondern auch in der Dauer der Einwirkung erhebliche Unterschiede festzustellen; so steht der sechsstündigen Beeinflussung in Tallage in eine ca. dreißigstündige, in zwei Phasen geteilte Scirocco-Einwirkung im Bereich des Gotthard-Massivs gegenüber. Es zeigt sich also, daß die in Sizilien noch flach einstreichende Warmluft über den westlichen Südalpen bereits angehoben ist, wobei nicht nur Locarno, sondern auch schon Turin überströmt wird (vgl. Abb. 5). In der Tat zeigt sich anhand von Radiosonden-Aufzeichnungen, daß über Mailand in der Nacht vom 30.3.-31.3.81 ab 1300 m NN Isothermie herrscht und erst ab 1900 m NN eine deutliche Temperaturabnahme stattfindet. Knapp unterhalb dieser Sprungschicht läßt sich auch die maximale Windeinwirkung in der Grundsicht der Atmosphäre feststellen: die Windstärke nimmt von 20 kn im Bodenniveau auf 71 kn in 1700 m NN zu, und fällt bis 2400 m NN wieder auf 38 kn ab (Windrichtung ESE). Vor den Alpen werden die Scirocco-Luftmassen also angehoben und tragen wahrscheinlich zu einem direkten Nachschub für die langfristige Erhaltung der Warmluft über Mitteleuropa im im 700 mb-Niveau bei, die in Abb. 1 f-h erkennbar ist.

Nachdem nun die Beeinflussung des Tessin durch den Scirocco zeitlich festgelegt ist, sei zunächst für das gleiche Gebiet die Niederschlagstätig-

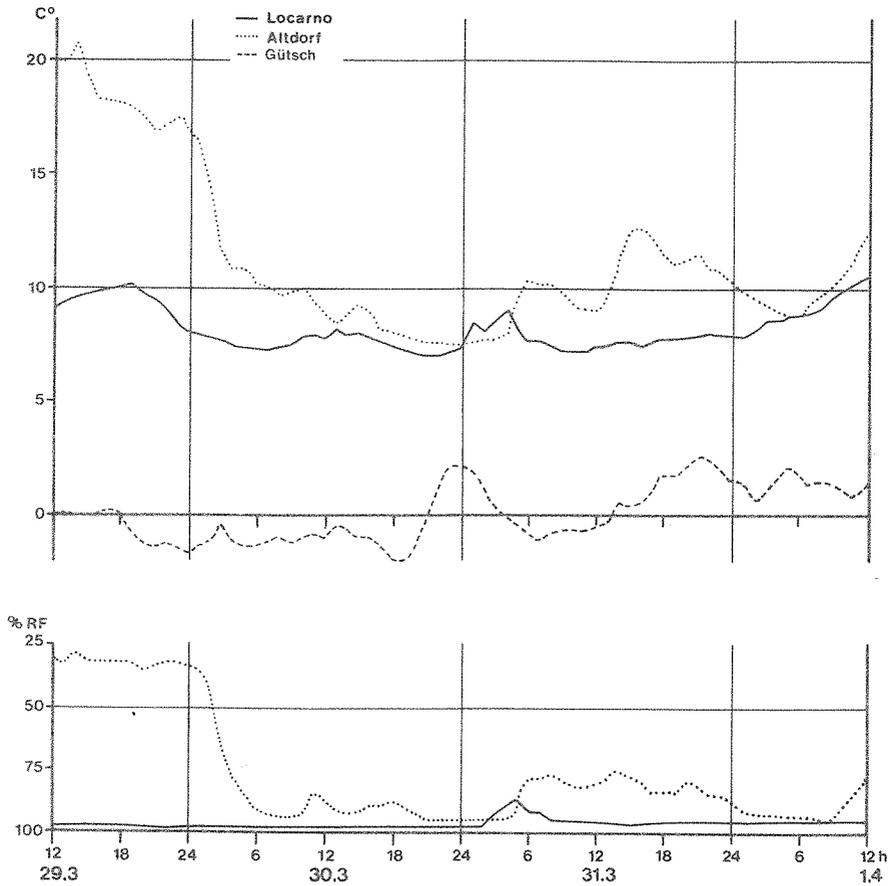
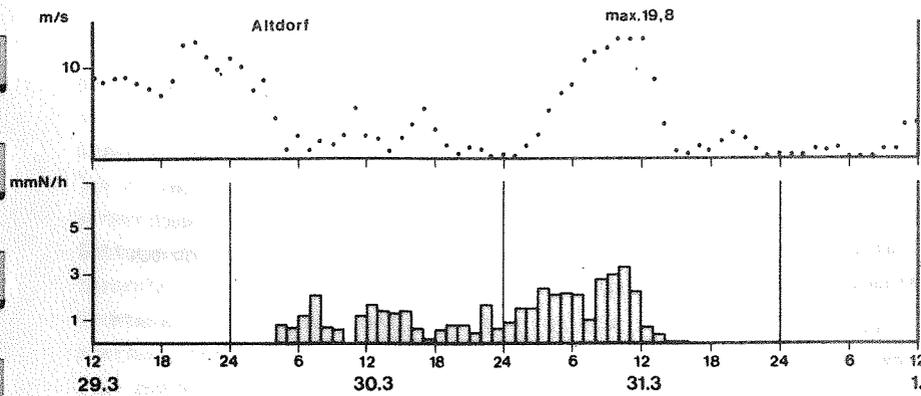
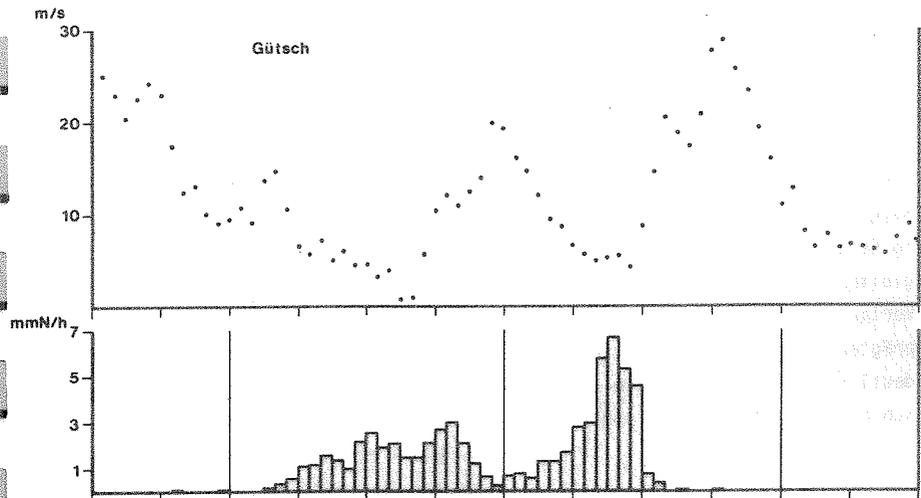
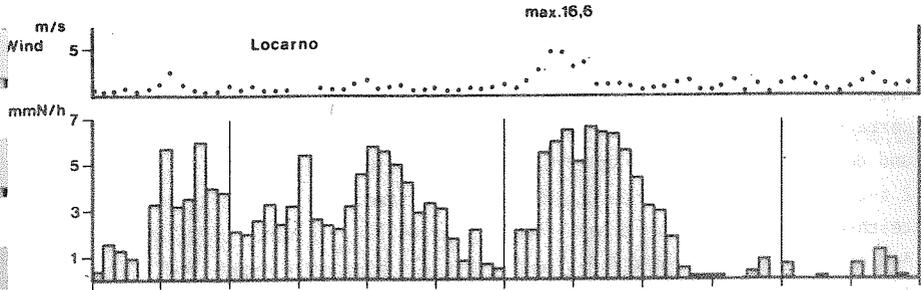


Abb. 11 und 12 (Gegenseite) : Temperatur-, Luftfeuchtigkeitsgänge (Abb. 11)
 Windgeschwindigkeiten und Niederschlags-Stundenwerte (Abb. 12)
 an drei schweizerischen Wetterstationen. Südalpen : Locarno,
 Zentralalpen : Gütsch, Nordalpen : Altdorf



keit genauer aufgezeigt, um anschließend die resultierenden Auswirkungen nördlich der Zentralalpen darstellen zu können. Dabei ist die Analyse des Niederschlagsgeschehens vor dem eigentlichen Scirocco-Einbruch nicht zu vernachlässigen, das mit dem Durchzug der vorangegangenen 1. Kaltfront und der Annäherung der 2. Kaltfront in Bezug gesetzt werden muß (s. Abb. 2 a-c). Die stärksten Niederschläge sind für Camedo im Centovalli zu verzeichnen; hier fielen innerhalb von 72 Stunden (29.-31.März) 369,3 mm N! Aus der Literatur ist diese Region bereits als besonders regen- und gewitterreich bekannt (E. ZENONE, 1971 und 1972), ohne daß jedoch die Ursachen hierfür näher erörtert wurden. In Übereinstimmung mit den Meteorologen des Observatoriums von Locarno-Monti gehen wir davon aus, daß die besondere orographische Situation für den Niederschlagsreichtum des Centovalli ausschlaggebend ist. Normalerweise werden feuchte Luftmassen aus südlichen Richtungen vor Verbania am Lago Maggiore in das Toce-Tal nach NW und in das Seetal nach NE umgeleitet. Über die flache Talwasserscheide bei S. Maria Maggiore werden sie aus Westen und über das untere Maggiatal von Osten her im Centovalli wieder zusammengeführt. Das Zusammentreffen der beiden aufgleitenden Wolkenpakete verursacht starke Dauerregen. Dies war auch im Verlauf des 29.-30.3.81 der Fall, da es in den Südalpen zu einer ausgeprägten präfrontalen Südstaulage kam. Sie wird auf der Alpennordseite durch deutliche Föhnerscheinungen belegt: in Gütsch und Altdorf bleiben Niederschläge aus bei gleichzeitig starker Südwindeinwirkung, die bis gegen 4⁰⁰ am 30.3.81 anhält (Abb. 12). Gleichzeitig sind die Temperaturen in Altdorf mit bis zu 21⁰C überdurchschnittlich hoch und die Luftfeuchtwerte fallen bis 35% ab (Abb. 11). Mit Annäherung der 2. Kaltfront kommt es auf der Alpensüdseite zu gesteigerten Niederschlägen. Nördlich des Gotthard-Massivs bricht am Vormittag des 30.3.81 mit einsetzendem Regen und abrupter Temperaturabnahme der Föhn zusammen, da hier die 2. Kaltfront nach Osten vorbeizieht (s.o.).

So entstammt also ein erheblicher Teil der Regenmengen vom 29. und 30.3.81 im Tessin eindeutig dem frontalen Wettergeschehen, das dem Scirocco-Durchzug vorausgeht. Weiter westlich im Simplon-Gebiet gibt es jedoch Stationen, die erst am 31.3.81 die höchsten Tageswerte zeigen, also bei eindeutiger Scirocco-Einwirkung.

Tab. 2 : Niederschlags-Tageswerte verschiedener Stationen im westlichen Tessin und im Simplongebiet (in mm·N)

	29.3	30.3	31.3	1.4.	Lage in Abb.14
Camedo	130,0	170,8	68,5	8,5	2
Bosco Gurin	68,0	153,6	79,2	12,2	3
Brissago	90,5	100,7	35,0	1,5	4
Vira	85,3	106,0	39,0	2,7	5
Simplon-Dorf	53,4	106,6	136,8	49,1	}1
Engelloch	59,2	95,9	112,2	45,5	

Ursachen für die längeranhaltende Niederschlagstätigkeit im Simplon-Gebiet dürften in der hinausgezögerten Stauwirkung zu finden sein, die durch eine größere Massenerhebung der umliegenden Bergzüge zustande kommt, zumal hier zwei Gebirgsketten zu überwinden sind (Walliser Alpen, Berner Oberland).

Eine genauere Auswertung der Niederschlagsverteilung im Tessin zeigt eine Zunahme der Regenfälle von SE (Sottoceneri) nach NW (Maggiatäler). Auch hier werden wieder Zusammenhänge mit der unterschiedlichen Relief-formung und -energie einzelner Gebirgsabschnitte erkennbar. So führt am nördlichen Lago Maggiore die markante Verengung zwischen den steil ansteigenden Höhenzügen des Gridone (über Brissago) und Gambarogno (über Vira) sowie in den anschließenden schmalen Maggiatälern zu einer Kanalisation der von Süden eintreibenden Bewölkung, d.h. zu verstärktem Aufstieg mit Kondensation. Im Sottoceneri ist dagegen der Gebirgsanstieg nach Norden gleichmäßiger, sieht man von einzelnen isoliert herausragenden Bergen ab. Feuchte Luftmassen strömen hier vielmehr in einer allmählichen Aufgleitbewegung gegen den Alpenkamm. So belief sich das Mengenverhältnis der Niederschläge vom 29. und 30.3.81 zwischen Sottoceneri einerseits und Centovalli bzw. westlichen Maggiatälern andererseits auf 1 : 2,5 und am 31.3.81 sogar auf 1 : 3,5 (Entfernung: 40 - 50 km).

Die Aufschlüsselung anhand eines N-S-Profiles läßt weitere Unterschiede erkennen (Abb. 13). Am 30.3.81, also bei reiner Südstaulage, werden zwischen Sottoceneri, Tessintal (Leventina) und Gotthard-Massiv gleichförmige Niederschlagsveränderungen weder im peripher-zentralen, noch im vertikalen Richtungssinne deutlich. Erst am 31.3.81 ist eine solche Veränderung feststellbar, indem sich mit Ausnahme von Frasco eine zunehmende Regenmenge vom Süd- zum Nordtessin abzeichnet. Die Staulage wird also im ersten Fall durch

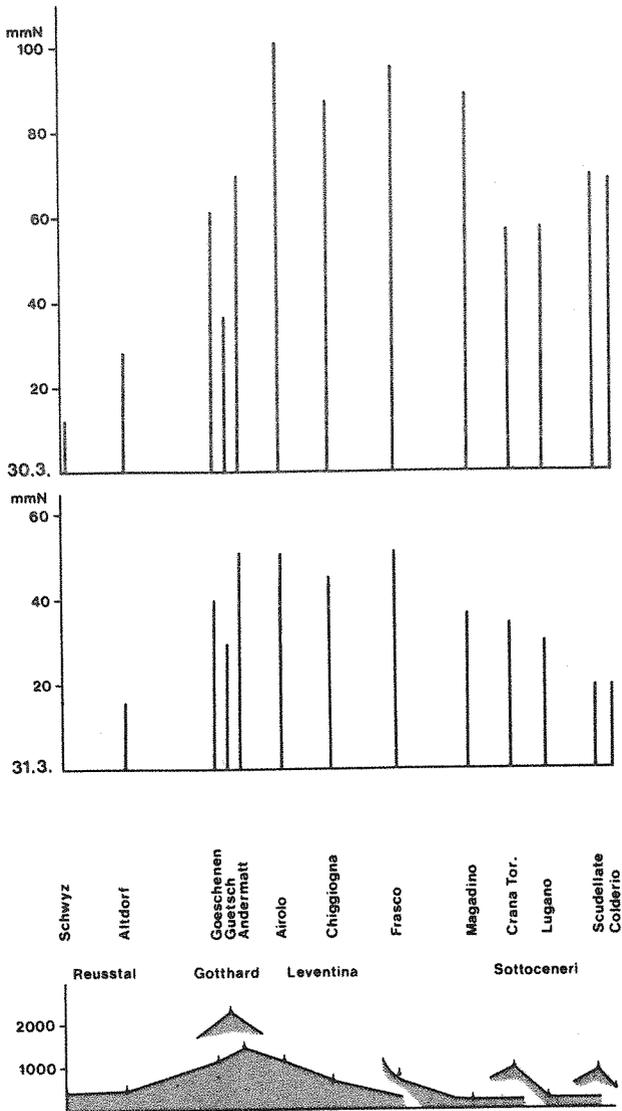


Abb. 13 : Niederschlagstagesummen an den beiden Scirocco-Tagen in N-S-Profil in den Schweizer Alpen

ein komplexes Verteilungsmuster mehrerer Niederschlagszentren gekennzeichnet, die auf lokale Zirkulationsbewegungen zurückgehen. Dagegen verursacht die durch den Scirocco vorgegebene gleichbleibende Strömungsrichtung eine weitgehend kontinuierliche Niederschlagszunahme bis zum Haupthindernis, dem Alpenkamm. Ein erheblicher Teil dieser Niederschläge dürfte noch von der Südstaubewölkung stammen, die durch den Scirocco vom Spätabend des 30.3.81 an verstärkt gegen die Talenden getrieben wird. Insbesondere am Beispiel Locarno läßt sich belegen, daß die Windeinwirkung aus Süden, die hier immerhin maximale Spitzenwerte von 16,6 m/s erreicht, eine abschließende Niederschlagsausfällung aus den noch vorhandenen feuchten Luftmassen bedingt (Abb. 12). In Gütsch fällt dagegen die maximale Niederschlagstätigkeit in den Zeitraum relativer Ventilationsberuhigung zwischen den beiden Sciroccophasen. Sicherlich trägt im Verlauf der ersten Windphase an der exponierten Station eine Tropfenverdriftung zur Verringerung der gemessenen Regenfälle bei (kein Schnee), während im zweiten Abschnitt mit noch stärkerer Windeinwirkung (31.3. 12⁰⁰ - 24⁰⁰) die Niederschläge im ganzen Süd - Nord - Profil weitgehend zum Erliegen gekommen sind.

Anhand der im Reusstal gelegenen Station Altdorf zeigt sich, daß die Südstaubewölkung durch den Scirocco über den Alpenkamm hinweg bis auf die Nordseite gerissen wird. Die Niederschläge nehmen hier mit der ersten Sturmeinwirkung auf Gütsch allmählich zu und gipfeln am Vormittag in einer ca. vierstündigen Phase kontinuierlicher Bergwinde mit auffallend gleichmäßiger südlicher Richtungskomponente (193⁰ - 195⁰). Für die Niederschlagsverdriftung in dieses Gebiet hinein sprechen zudem die für Regenwetter niedrigen Luftfeuchtwerte zwischen 70% und 80% (s. Abb. 11). Für den Zeitabschnitt der erhöhten Regenfälle ist eine vorübergehende leichte (Niederschlags-) Abkühlung festzustellen. Es folgt am Nachmittag ein markanter Temperaturanstieg, der keinesfalls mit einer unmittelbaren Föhnwirkung zusammenhängen kann. Hiergegen spricht nicht allein das deutliche Abflauen der Durchlüftung sondern auch ein Wechsel von Berg- zu Talwind (ab ca. 14⁰⁰), d.h., die warmen Luftmassen strömen am Nachmittag des 31.3.81 langsam vom Norden her ein.

Eine Auswertung von Plotterkarten der Temperaturmaxima an allen schweizerischen automatischen Außenstationen (ANETZ) belegt für denselben Nachmittag in der Nordostschweiz eine Erwärmung gegenüber dem Vortag. Eine Temperaturerhöhung von mehr als 5⁰C, die bei fehlender Sonneneinstrahlung nicht mit einer üblichen Aufheizung tagsüber zu erklären ist, läßt sich am Nord-

abfall der Schweizer Hochalpen im Bereich der Seen verfolgen: Vierwaldstätter See bis östlicher Bodensee (vgl. Abb. 14). Von der Erwärmung nicht betroffen ist die gesamte Westschweiz (Genfer See - Mittelland - Schweizer Jura).

Wenn also im Reusstal am 31.3.81 kein echter Föhn nachweisbar ist, so ist damit keineswegs gesagt, daß woanders die Voraussetzungen für die Bildung warmer Fallwinde fehlen. Immerhin trifft der Scirocco im Vorfeld der Walliser und Tessiner Alpen auf eine besonders massierte Staubewölkung, die weiter östlich mit Entfernung von der stationären Kaltfront schwächer wird. Außerdem verursachen die querverlaufende Staffelung der Bergamasker, Bernina und Bündner Alpen, sowie die ohnehin größere Breite der Ostalpen günstigere Voraussetzungen für ein Ausregnen an der Luvseite. So kommt es im Alpenrheintal zwischen Chur und Bregenz zu trocken-warmen Fallwinden; die Station Vaduz weist am Nachmittag des 31.3.81 mit $19,9^{\circ}\text{C}$ die höchste Tages-temperatur bei einem Luftfeuchteminimum von 46% auf (Windgeschwindigkeit bis 18 m/s aus SSW). In Bregenz wird die größte Temperaturzunahme gegenüber dem Vortag registriert ($+ 6,5^{\circ}\text{C}$). Noch deutlicher macht sich Föhn im deutschen Alpenvorland bemerkbar (s.o., Kap. 1.3). Außer aus dem Alpenrheintal streicht er durch das Illertal, Isartal und Inntal in das Alpenvorland ein, wobei kleinere lokale Verwirbelungen entstehen (vgl. Berliner Wetterkarte vom 31.3.81, Wetterlage über Mitteleuropa um 13⁰⁰ MEZ). Diese schließen sich bis zum folgenden Tag zu der bereits erwähnten Tiefdruckrinne zusammen (s. Kap. 1.3.), die zu den erhöhten Temperaturen in Ostbayern führt.

Zusammenfassend ergibt sich, daß der Scirocco gegen die vorgegebene präfrontale Südtau-Bewölkung drängt, was in den Tessiner und Walliser-Alpen zu verstärktem Niederschlag führt. Hier werden die Wolken sogar auf die Alpen-nordseite gerissen, wodurch die Föhnbildung nördlich dieser Gebiete mit maximaler Niederschlagstätigkeit verhindert wird. Die Täler auf der Nordseite (also auch das Reusstal mit der Station Altdorf) werden langfristig dennoch durch trocken-warme Föhnluft beeinflusst, allerdings indirekt, da sie von Nordosten her aus dem Alpenrheintal einströmt (s. Abb. 14).

Abb. 14 : Witterung am 31.3.81 in den Schweizer Alpen: übergreifende Niederschläge im Bereich des Gotthard-Massivs, Föhn im Alpenrheintal, von dort nach W vorstoßende Warmluft.
Die Zahlen 1-5 geben die Lage der Stationen aus Tab. 2 an.

3. Agrarökologische Auswirkungen des Scirocco

Scirocco-Einbrüche können im westlichen Mittelmeergebiet beträchtliche Verheerungen in der Landwirtschaft anrichten, da ihr verstärktes Auftreten im Frühjahr und Frühsommer mit dem Zeitraum der Blüte zahlreicher Kulturpflanzen zusammenfällt. Kaum betroffen sind die nordsaharischen Oasen, da Datteln und Feigen als herausragende Kulturpflanzen gegen Sandstürme wesentlich resistenter sind, als gegen plötzlichen Regen (Platzen der Früchte). Ebenfalls wenig gefährdet sind die von Südtunesien bis Südfrankreich weit verbreiteten Ölbäume, da ihre Blüten ziemlich unempfindlich gegen Sturm- und Hitze-Einwirkungen sind. Dagegen sind Weinreben sehr stark betroffen; Gescheine, Blüten und junge Trauben können durch heißes Sand- und Salzgebläse leicht vernichtet werden.

Unter den geschilderten Voraussetzungen hätten insbesondere die Weinanbaugebiete in Westsizilien (Mazara, Marsala, Trapani) von dem Scirocco des 30./31.März 1981 besonders stark betroffen sein müssen. Normalerweise sind zu diesem Zeitpunkt auf der tunesischen Halbinsel Cap Bon, auf Pantelleria und in Südwestsizilien die Gescheine an den jungen Trieben bereits angelegt. In den vorausgehenden Wintermonaten wurde diese Region allerdings durch außergewöhnliche Weststürme mit unterdurchschnittlichen Temperaturen und erhöhten Niederschlägen betroffen. Die vorangegangene Schlechtwetterperiode wirkte sich hinsichtlich des Scirocco-Einbruchs jedoch insofern positiv aus, als die Vegetation und damit auch der Wein phänologisch in Rückstand geraten waren, die jungen Blütenstände also noch nicht ausgetreten waren. Für die weiter nördlich gelegenen Gebiete war der Zeitpunkt ohnehin zu früh, um Rebschäden zu verursachen; die Tatsache, daß in Norditalien (Poebene, Riviera) der Januar und Februar im Gegensatz zu Süditalien ausgesprochen heiter und trocken waren hatte sich bis dahin nicht zu einer phänologischen Begünstigung ausgewirkt.

Stattdessen bangte man in der westlichen Poebene um die rechtzeitige Reisaussaat. Sie wurde erst durch die ausgiebigen Regenfälle gesichert, an denen der Scirocco-Durchzug beteiligt war. So gaben die geschilderten Sturm-schäden in Süditalien und Überschwemmungen im Norden zwar zunächst Anlaß zu Furcht vor Mißernten, aus den genannten Gründen blieben jedoch landwirtschaftliche Schäden gering.

In Hinblick auf die Erntegefährdung durch Scirocco-Einbrüche sei abschließend allerdings darauf hingewiesen, daß es Anzeichen für eine Zunahme entsprechender Vorfälle gibt. 1983 beispielsweise konnte man zwischen Februar und Mai dreimal saharische Staubfälle in Westdeutschland registrieren. So gesehen ist dieser Beitrag als Anregung zur weiterführenden, kritischen Beachtung folgender Scirocco-Einbrüche zu verstehen.

Zusammenfassung

Dargestellt wird der Gesamtverlauf des Scirocco vom 30.-31.3.1981 von seinem Entstehungsgebiet in der Sahara über seinen Weg in Südeuropa und über die Alpen bis zu seinen Auswirkungen in Mitteleuropa. Das zu Verfügung stehende Material erlaubt sowohl eine Rekonstruktion der Entstehung und Entwicklung des Geschehens in Abhängigkeit von der Großwetterlage, als auch eine Analyse von lokalen Abwandlungen, die durch die Überquerung von orographischen Hindernissen verursacht werden.

Warme Luftmassen mit Ursprung im östlichen Erg drängen vor einem Tief, das sich südlich des Sahara-Atlas in Richtung ENE bewegt, in einem schmalen Keil gegen das Mittelmeer vor (Abb. 2 a-c). Die aus Süden einströmende Warmluft löst dort die in den Vortagen von Frontdurchgängen und z.T. heftigen Niederschlägen bestimmte Witterung ab und macht sich in Italien mit deutlichem Temperaturanstieg, z.T. heftigen Sturmböen und Staubniederschlag bemerkbar. Veränderungen durch die Orographie werden für Sizilien, Ligurien und die Alpen dargestellt.

Aus dem an verschiedenen westsizilianischen Stationen aufgezeichneten unterschiedlichen Ablauf des Scirocco können Rückschlüsse auf seinen vertikalen Aufbau und seine Veränderungen bei Überwindung der sizilianischen Gebirge gezogen werden. Die warmen Luftmassen steigen hier auf, werden turbulent durchmischt und stürzen am Nordabfall als böige, trockene Fallwinde herab.

Je nach Durchzugsgebiet und davon abhängiger orographischer Modifikation ergeben sich für Stationen an der tyrrhenischen Küste unterschiedlich starke Einwirkungen (Abb. 3). Anhand von Meßdaten aus den Cinque Terre (Prov. La Spezia) werden der vertikale Aufbau sowie expositionsbedingte Unterschiede der Scirocco-Einwirkung erläutert.

Die Untersuchung der Staueffekte in den Tessiner Alpen zeigen, daß die Scirocco-Luftmassen vor den Alpen bereits angehoben wurden. Wie zuvor an den sizilianischen und ligurischen Gebirgen streicht auch hier die Warmluft flach ein und beeinflußt höher gelegene Stationen früher. Das Überqueren der Alpen ist von mehr oder weniger starken Regenfällen begleitet, die aber zum Teil dem frontalen Wettergeschehen, das dem Scirocco-Einfluß vorrausgeht, zugeordnet werden müssen. Abbildung 14 verdeutlicht, daß nur im Alpenrheintal und im Lee der breiteren Ostalpen Föhn nachweisbar ist, der in Süddeutschland zu einer für die Jahreszeit außergewöhnlichen Erwärmung führt.

Literatur

- EREDIA, F., 1938 : La sabbia dell' atmosfera. Rivista di Meteorologia Aeronautica, II, S. 83 - 98, Roma
- ERIKSEN, W., 1971 : Die Häufigkeit meteorologischer Fronten über Europa und ihre Bedeutung für die klimatische Gliederung des Kontinentes. Erdkunde XXV, S. 163 - 178, Bonn
- HELLMANN, G., MEINARDUS, W., 1902 : Der große Staubfall vom 9. bis 12. März 1901 in Nordafrika, Süd- und Mitteleuropa. Abhandl. d. Königl. Preuss. Meteorolog. Inst. Bd 11, Berlin
- KLAUS, D., 1979 : Globalklimatische Implikationen saharischer Wüstenstäube. Die Erde, 110, S. 107 - 125, Berlin
- ZENONE, E., 1971 u. 1972 : Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt, H. 22 und H. 27, Zürich

Wetterkarten (täglich vom 26.3. bis 4.4.1981)

- Berliner Wetterkarten mit Satellitenbildern des Inst. f. Meteorologie der FU Berlin
- Europäischer Wetterbericht des Deutschen Wetterdienstes Offenbach
- Wetterbericht der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt, Zürich
- Cartello Meteorologico der Aeronautica Militare, Roma
- Bulletin Quotidien de Renseignements Météorologiques des Inst. Nat. Mét., Tunis