

CEDIM Forensic Disaster Analysis Group (FDA)

# Starkregen Griechenland & Libyen (Sept. 2023)

Stand: 20. Oktober 2023

DOI: 10.5445/IR/1000163284

Autoren: Bernhard Mühr, James Daniell, Andreas Schäfer, Susanna Mohr, Michael Kunz

## ZUSAMMENFASSUNG

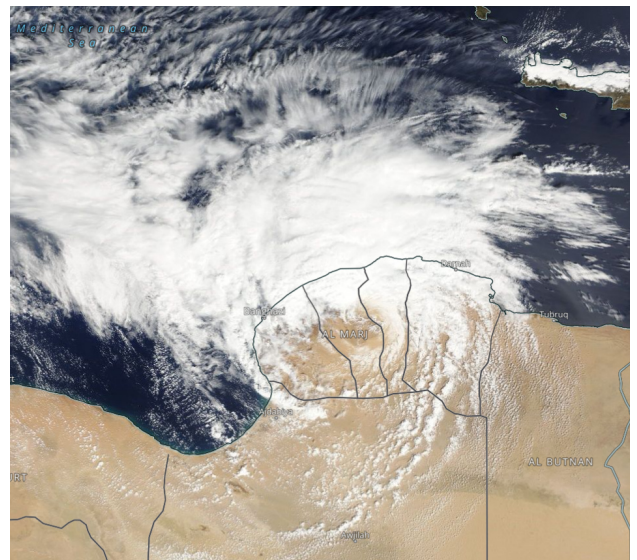
Naturereignis	Beginn	Ende	Andauer
<b>Extreme Niederschläge</b>	<b>04.09.2023</b>	<b>11.09.2022</b>	<b>8 Tage</b>

## Herausragende Ereignisse:

Tiefdruckgebiet	„Daniel“
414,1 mm / 24 h (10.-11.09.2023)	Al-Bayda (LY)
753,9 mm / 24 h (05.-06.09.2023)	Zagora (GR)
4.345 Todesopfer (UN – 13.10.2023)	Derna (LY)
8.540 Vermisste, 42.000 Obdachlose	Libyen (UN – 13.10.2023)



**Abbildung 1:** Verheerende Überflutungen in Libyen (Quelle: <https://public.wmo.int/en/media/news-from-members/northeastern-regions-of-libya-were-affected-extreme-weather-event-10>).



**Abbildung 2:** Satellitenbild, 10.09.2023 VIS. „Daniel“ über Libyen (Quelle: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

## 1 Zusammenfassung

Von Ende August bis Mitte September 2023 zeichnete sich der Mittelmeerraum durch intensive Tiefdrucktätigkeit aus. Bereits das Tief „Erwin“ führte vom 28. bis zum 30. August in Norditalien zu extremen Niederschlägen, Erdbeben und Überschwemmungen. Triest verzeichnete innerhalb von nur zwei Stunden Regenmengen von 100 mm, von der Lombardei bis Trentino gingen gebietsweise 150 bis 200 mm innerhalb eines Tages nieder. Anfang September 2023 traten im westlichen Mittelmeerraum in Nordostspanien enorme Niederschlagsmengen auf, während sich weiter im Osten das Tief „Daniel“ zu formieren begann. „Daniel“ entstand an der Südostflanke eines riesigen blockierenden Hochdruckgebietes über Zentraleuropa („Omega-Lage“) und verursachte zunächst in Griechenland und einige Tage später als

sogenannter Medicane in Libyen Sturm, heftige Niederschläge und Überschwemmungen. Der Sturzregen führte zum Kollaps zweier Dämme, deren Wassermassen sich durch die libysche Hafenstadt Derna wälzten und Tausenden den Tod brachte. Ganze Stadtteile wurden hinweggespült, mehr als 3000 Gebäude wurden völlig zerstört.

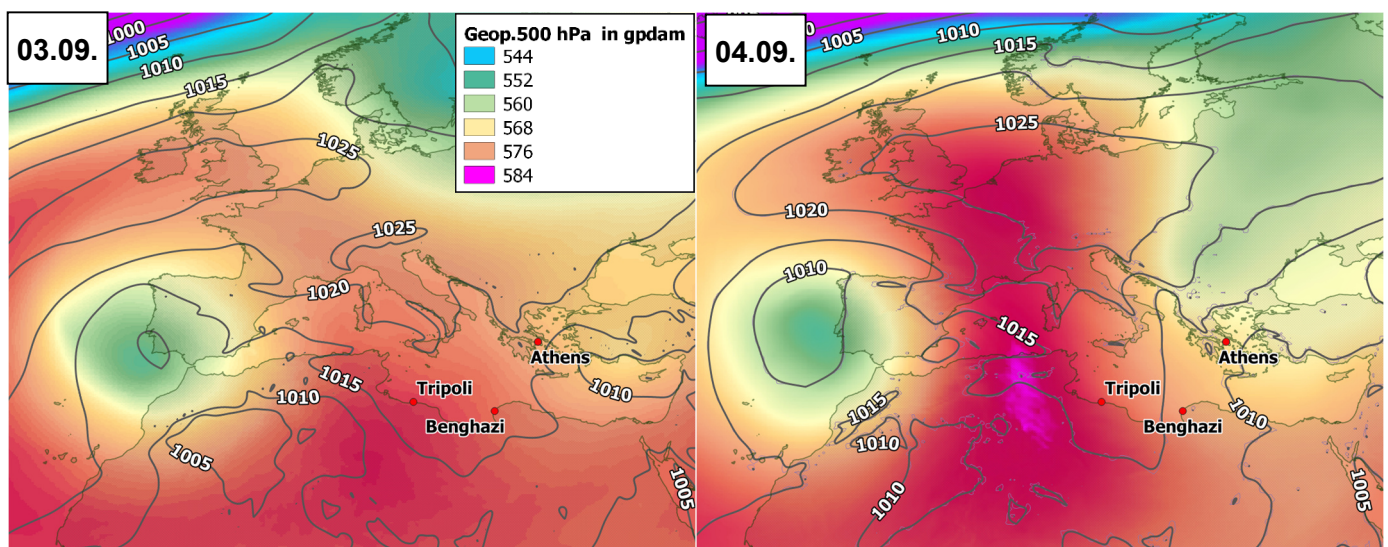
## 2 Meteorologische Informationen

### 2.1 Großräumiges Strömungsmuster über Europa und dem Mittelmeerraum

Über die Verteilung der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gpdam über Europa sowie den Bodendruck in hPa gibt Abbildung 3 in chronologischer Reihenfolge Auskunft. Es stehen für jeden Tag des Zeitraums vom 3. bis zum 12.09.2023 jeweils die Analysen von 00 UTC zur Verfügung.

#### 03.09.2023

Zu Beginn des betrachteten 10-tägigen Zeitraums befindet sich ein bestens ausgeprägtes Höhentief über dem äußersten Südwesten Europas und dem Nordwesten Marokkos, das sich auf dem Atlantik bis fast nach Madeira fortsetzt. Am Boden korrespondiert dazu ein Tiefdruckgebiet mit einem Kerndruck von unter 1010 hPa mit Zentrum über dem Süden Portugals. Vor allem in der Osthälfte Spaniens löste das Tief verbreitet heftigen und anhaltenden Niederschlag aus, südwestlich von Barcelona kamen nicht selten mehr als 100 mm innerhalb von 24 Stunden zusammen (zum Beispiel Mas de Barberans: 150,7 mm). Ein Gebiet hohen Geopotentials umschließt das südwesteuropäische Höhentief, es erstreckt sich vom Seegebiet südwestlich von Irland über die Britischen Inseln, Mitteleuropa nach Süden bis nach Libyen. Am Boden wurde das Hochdruckgebiet „Olenka“ immer kräftiger, es wies um 00 UTC von Irland bis zum Emsland sowie über den Alpen bereits einen Kerndruck von mehr als 1025 hPa auf. Ein alter und nur schwach ausgeprägter Höhentrog überdeckt die Gebiete vom Schwarzen Meer bis zum östlichen Mittelmeer und südlich der Südküste der Türkei zeichnet sich auch am Boden ein schwaches Tiefdruckgebiet mit einem Kerndruck von weniger als 1010 hPa ab. Eine große Wetteraktivität ging mit diesem Tief nicht einher. Besondere Bedeutung kommt allerdings dem sich über Dänemark und Polen abzeichnenden Randtrog zu; er wird in den Folgetagen für die heftigen Wettererscheinungen in Griechenland und Libyen verantwortlich werden.



**Abbildung 3:** Analysen der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gpdam (Farbflächen) und des Bodendrucks in hPa (Isobaren als Linien) am 03. und 04.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).

**04.09.2023**

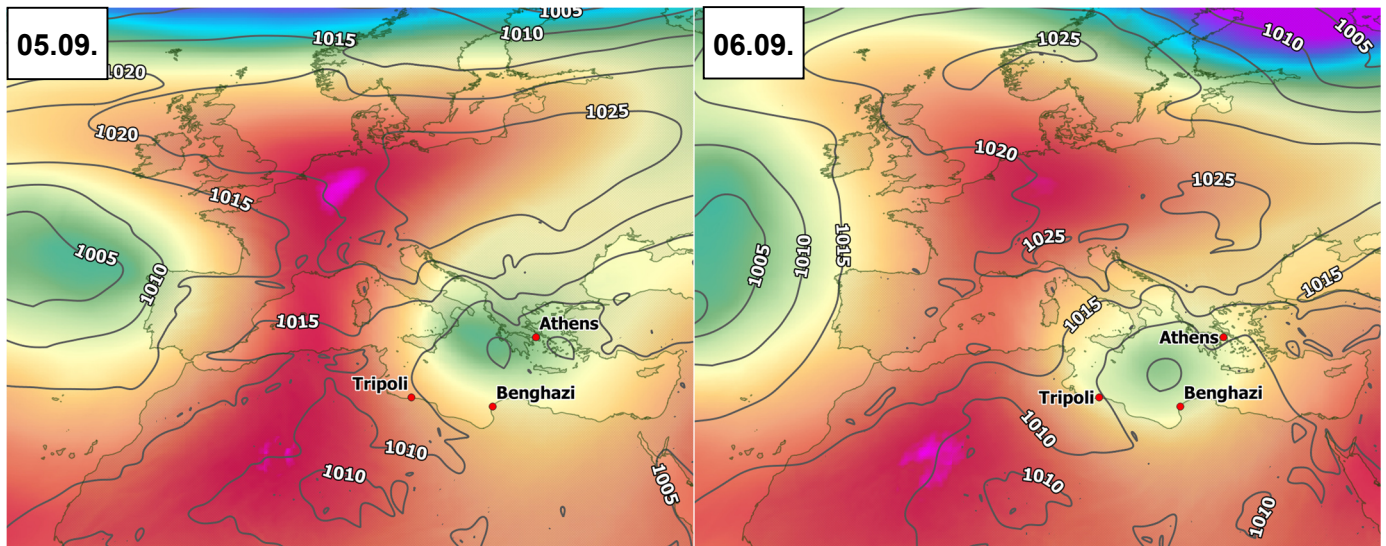
Der riesige, von Nordafrika sich über den zentralen Mittelmeerraum bis nach Nordwest- und Mitteleuropa Höhenrücken verlagerte sich etwas weiter nach Osten. Am Boden umschloss die 1025-hPa-Isobare des Hochs „Olenka“ die Gebiete von der Irischen See bis zu den Alpen und nach Osten bis zum Baltikum. Über dem Westen der Iberischen Halbinsel und westwärts bis nach Madeira zog das kräftige abgeschlossene Höhentief mit nahezu unveränderte Intensität und Ausdehnung weiter seine Kreise. An der Ostflanke des Höhenrückens vergrößerte der Höhentrog weiter seine Amplitude und stieß bis in den Norden Griechenlands vor. Zeitgleich führten die mit der Austrogung einhergehenden Hebungsprozesse in der mittleren Troposphäre auch zu einem Druckfall in Bodennähe und das Bodentief „Daniel“ begann sich im Tagesverlauf zu formieren.

**05.09.2023, „Omega-Lage“**

Den 05.09.2023 zeichnet sich im 500 hPa-Niveau eine nahezu symmetrische Geopotentialverteilung über Europa und den angrenzenden Arealen ab. Von Algerien verläuft ein massiver Höhenrücken über den zentralen Mittelmeerraum nordwärts bis nach Mitteleuropa, von wo aus sich das Gebiet hohen Geopotentials pilzartig ausbreitet, im Westen über Schottland hinaus auf den Nordatlantik und im Osten bis zum Finnischen Meerbusen. Das Bodenhoch „Olenka“ dominiert das Wettergeschehen in Nordwest-, Mittel- und Osteuropa, sein Schwerpunkt liegt im Gebiet des stärksten großräumigen mitteltroposphärischen Absinkens auf der Vorderseite (Ostseite) des riesigen Höhenhochs über Polen, dem Baltikum und Weißrussland. Auf dem östlichen Nordatlantik tritt nach wie vor das kräftige Höhentief in Erscheinung, das allerdings sein Rotationszentrum weiter nach Westen verlagert hat und allmählich an die planetare Frontalzone Anschluss findet. Über Osteuropa leitete der sich ostwärts ausweitende Höhenrücken bereits einen Abschnürungsprozess ein, bei dem die nördlichen Strömungskomponenten in dem Höhentrog verloren gehen und abgeschnitten werden. Übrig bleibt der Südteil des Höhentroges als zunehmend eigenständiges Gebilde. Als kräftiges Höhentief tritt es zwischen Süditalien und dem Westen der Türkei bereits eindrucksvoll in Erscheinung. Das korrespondierende Bodentief „Daniel“ weist bereits einen Kerndruck von unter 1005 hPa auf. Ein solche großräumige Geopotential- bzw. Druckverteilung wird gerne mit dem Begriff „Omega-Lage“ versehen, bei der die Isohypsen in ihrem Verlauf den griechischen Großbuchstaben Omega ( $\Omega$ ) nachzeichnen. Ein in seiner Erscheinungsform oft pilzartig aussehendes und riesiges Gebiet hohen Geopotentials wird dabei im Südwesten und im Südosten jeweils durch ein kräftiges Höhentief flankiert. Eine solche Geopotentialkonstellation erweist sich über Europa vor allem im Spätherbst und Winter und Winter oft als ausgesprochen beständig und kann in seinen Grundzügen im Extremfall mehrere Wochen lang anhalten. Während es unter dem hohen Geopotential zu großräumigem Absinken und trockenem Wetter kommt, geht es im Bereich der beiden Höhentiefs wesentlich turbulenter zu. Insbesondere über dem Mittelmeer, wo große Mengen feuchtwarmer Luftmassen in die Zirkulation mit einbezogen werden, sind die Wettererscheinungen oft heftig und die Auswirkungen folgenschwer, umso mehr, je länger ein Höhentief seine Lage beibehält.

**06.09.2023**

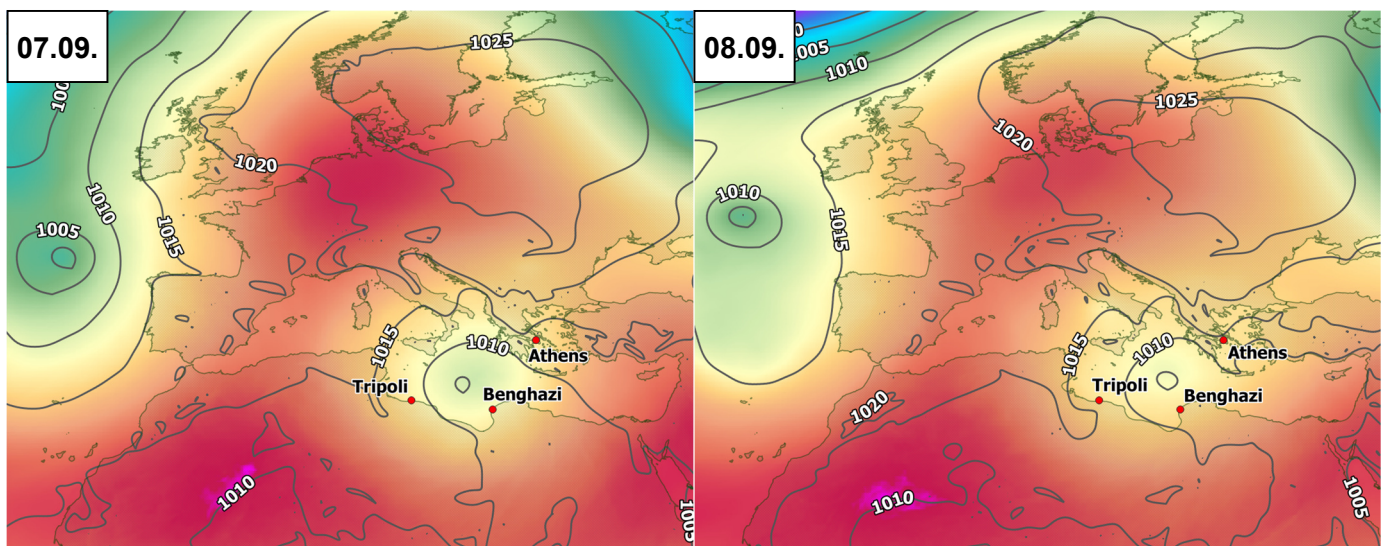
An den Grundzügen der Geopotentialverteilung über Europa änderte sich nur wenig. Im Nordwesten dehnte sich der Höhenrücken etwas weiter nach Norden aus und ließ mit „Patricia“ ein weiteres Hochdruckgebiet entstehen, dessen Schwerpunkt mit mehr als 1025 hPa über Südwestnorwegen analysiert werden konnte. Über Osteuropa arbeitete sich das hohe Geopotential etwas weiter nach Süden vor, entsprechend lag das Zentrum von Hoch „Olenka“ nun über der Ukraine. Auf dem Ostatlantik gesellte sich zu dem alten Tief der ehemalige Hurrikan „Franklin“; dadurch intensivierte sich einerseits das Bodentief, andererseits verlagerte es sich mit seinem Zentrum etwas weiter nach Westen und schloss sich als Höhentrog der planetaren Frontalzone an. Sein Einfluss auf das Wetter der Iberischen Halbinsel schwand. Davon unbeeindruckt rotierte das Tief „Daniel“ mit einem Kerndruck von weniger als 1005 hPa auf halbem Weg zwischen Libyen und Griechenland. Griechenland selber lag auf der Nordostseite des Tiefs in einer kräftigen östlichen Strömung.



**Abbildung 4:** Analysen der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gdam (Farbflächen) und des Bodendrucks in hPa (Isobaren als Linien) am 05. und 06.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).

### 07.09.2023

Am 07.09.2023 erstreckte sich ein markanter Höhentrog vom Südosten Grönlands bis fast zu den Kanarischen Inseln, darin eingebettet war am Boden der ehemalige Hurrikan „Franklin“, in dessen Zentrum der Luftdruck kurzzeitig auf unter 1000 hPa absank. Der Höhentrog näherte sich wieder von Westen her dem europäischen Kontinent an. Sonst dominierten aber fast überall in Europa die beiden kräftigen Hochdruckgebiete „Patricia“ mit Schwerpunkt über dem Ostseeraum und „Olenka“ über dem Süden der Ukraine. Der Einfluss des Tiefs „Daniel“, dessen Zentrum quasi-stationär mit unter 1005 hPa über der äußeren Großen Syrte lag, reichte bis zum südlichen Balkan und Griechenland.



**Abbildung 5:** Analysen der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gdam (Farbflächen) und des Bodendrucks in hPa (Isobaren als Linien) am 07. und 08.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).

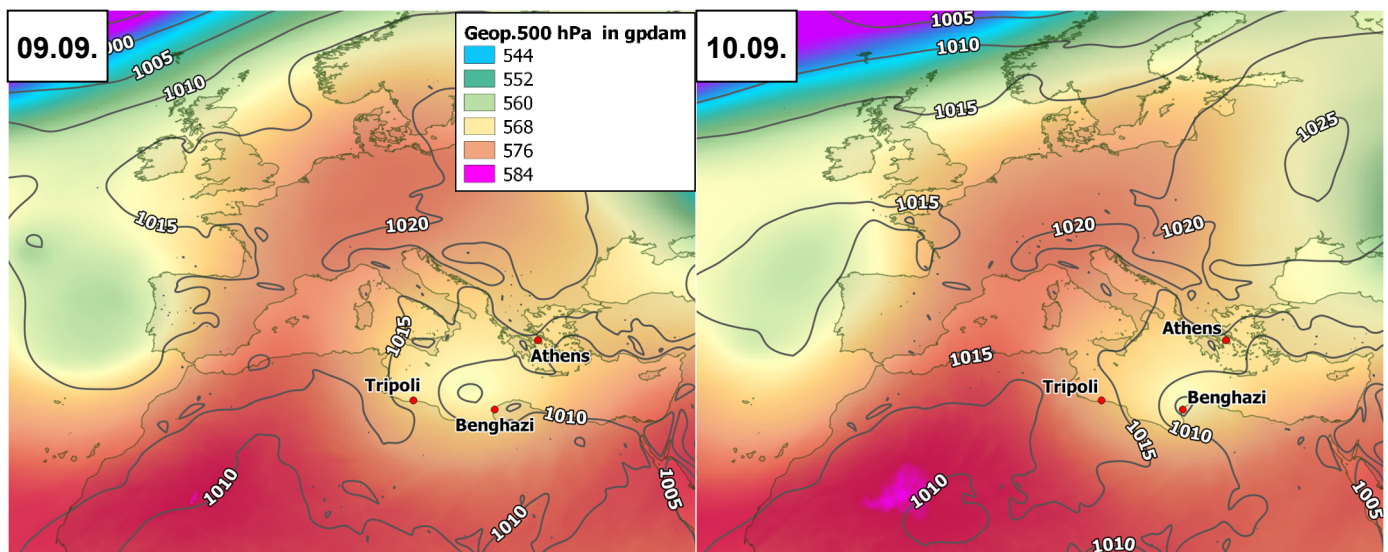
### 08.09.2023

An der großräumigen Druckverteilung über Europa änderte sich am 08.09.2023 wenig. Der kräftige Höhentrog über dem Ostatlantik begann sich abzuschnüren, behielt seine Lage aber bei. Fast ganz Europa stand unter dem Einfluss hohen Geopotentials und am Boden des Hochdruckgebietes „Patricia“, zwischen Ostsee und Schwarzem Meer lag der Luftdruck am Boden über 1025 hPa und auch in Griechenland setzte sich zunehmend trockenes Wetter durch. Über dem Mittelmeer rotierte das Höhentief mit dem Bodentief

„Daniel“ zwischen Libyen, Süditalien und Griechenland weiter und zeigte kaum Verlagerungstendenzen. Im Zentrum betrug der Luftdruck weniger als 1005 hPa.

### 09.09.2023

Am 09.09.2023 wurde von Westen her das hohe Geopotentials allmählich abgebaut. Im Südwesten erfasst das Höhentief wieder Iberische Halbinsel und auch in Irland und Schottland sowie entlang der Westküste Norwegens machten sich die planetare Frontalzone mit eingelagerten Tiefausläufern bemerkbar. Der westliche Mittelmeerraum, Mittel- und Osteuropa profitierten hingegen weiterhin vom hohen Geopotential und dem Bodenhoch „Patricia“, dessen Schwerpunkt allerdings schon über dem Westen Russlands angelangt war. Unbeeindruckt zeigte sich weiterhin das Höhentief über dem östlichen zentralen Mittelmeerraum und mit ihm auch Tief „Daniel“; sein Zentrum befand sich fast unverändert über der östlichen Großen Syrte. Zumindest zum Analysezeitpunkt um 00 UTC blieb die Tiefdruckaktivität noch auf die Seegebiete nördlich der libyschen Küste beschränkt.



**Abbildung 6:** Analysen der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gpdam (Farbflächen) und des Bodendrucks in hPa (Isobaren als Linien) am 09. und 10.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).

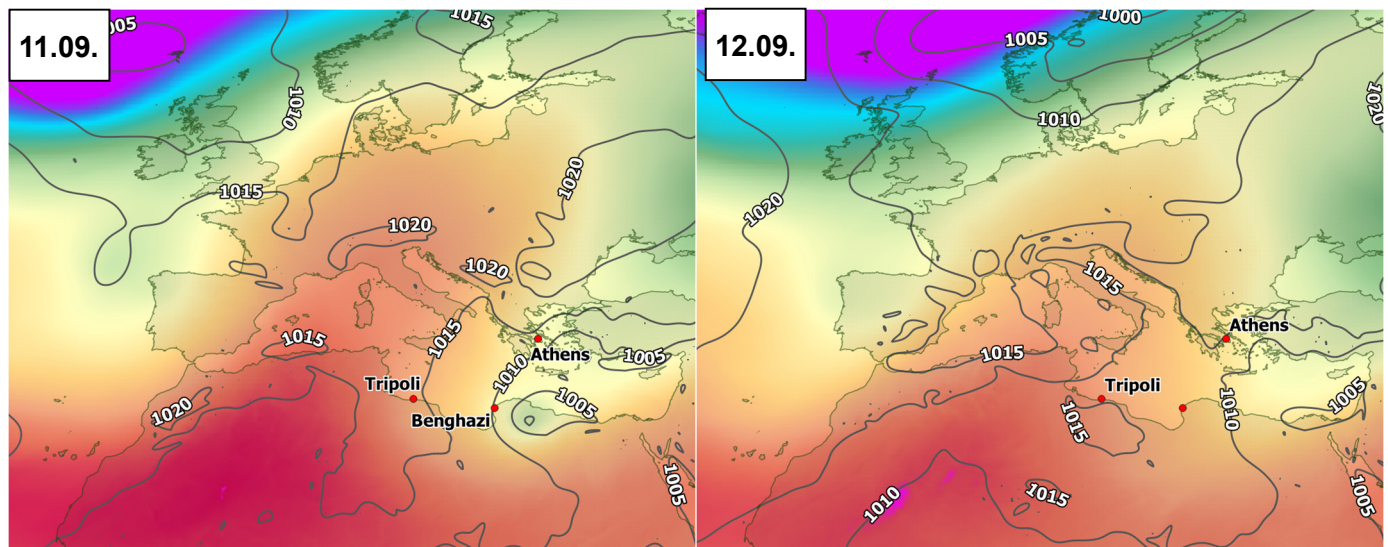
### 10.09.2023

Am 10.09.2023 wurde das hohe Geopotential in Südwest- und Nordwesteuropa weiter abgebaut und Tiefausläufer erfassten mit Regen die Gebiete von Spanien über den Westen Frankreichs, England bis nach Norwegen. Über Mittel- und Osteuropa dauerte der hochdruckdominierte Witterungsabschnitt hingegen weiter an, das noch immer kräftige Bodenhoch „Patricia“ mit Schwerpunkt über Westrussland hielt jeglichen Tiefdruckeinfluss und zugehörige Frontensysteme auf Distanz. „Daniel“ hingegen vertiefte sich noch etwas und verlagerte sein Zentrum zur libyschen Küste zur Hafenstadt Benghazi, der zweitgrößten Stadt des Landes. Wolken- und Niederschlagsgebiete sowie die Windfelder des Tiefs „Daniel“ erfassten nun auch das libysche Festland und kamen im Tagesverlauf langsam weiter östlich voran.

### 11.09.2023

Bis zum 11.09.2023, 00 UTC, verringerte sich auch über den zentralen Teilen Europas das Geopotential weiter, dennoch blieb der Höhenrücken mit seinen Absinkprozessen von Deutschland bis weit in den Osten und Südosten Europas sowie im zentralen Mittelmeerraum wetterbestimmend. Nach Nordwesten hin wurde die Tiefdruckeinfluss immer größer und über der nördlichen Nordsee hatte sich mittlerweile das Tiefdruckgebiet „Hanjo“ formiert. Das Tief „Daniel“ hatte seine Verlagerungsgeschwindigkeit erhöht und befand sich mit seinem Zentrum bereits über dem Nordosten Libyens. Zu diesem Zeitpunkt befand sich „Daniel“ auf seinem Entwicklungshöhepunkt, gut 100 km landeinwärts konnte das Sturmzentrum mit einem

Kerndruck von unter 1000 hPa analysiert werden. Auch die Windgeschwindigkeiten und Niederschlagsintensitäten erreichten ihre jeweils größten Intensitäten.



**Abbildung 7:** Analysen der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gdam (Farbflächen) und des Bodendrucks in hPa (Isobaren als Linien) am 11. und 12.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).

### 12.09.2023

Am 12.09.2023 ging der beständige Hochdruckeinfluss auch in Mitteleuropa mit dem sich weiter abschwächenden und immer flacheren Höhenrücken zu Ende. Auch in Deutschland traten wieder Niederschläge auf. Eine Fortsetzung fand das ruhige Hochdruckwetter in Europa zunächst noch von Tunesien bis zum Baltikum und östlich davon. Auch mit dem Tief „Daniel“, das mehr als eine Woche lang auf den Wetterkarten des zentralen und östlichen Mittelmeerraumes präsent war, ging es langsam zu Ende. Es trat um 00 UTC nunmehr als flaches Gebilde in Erscheinung, dessen 1005 hPa-Isobare im Küstenbereich Ägyptens erkennbar blieb. Auch in den höheren Atmosphärenschichten zeichnete sich das ehemalige kräftigere Höhentief nur noch schwach ab, vielmehr hatte sich mittlerweile ein osteuropäischer Langwellentrog bis in die mittleren Landesteile Ägyptens vorgearbeitet - seine Wetterwirksamkeit blieb gering.

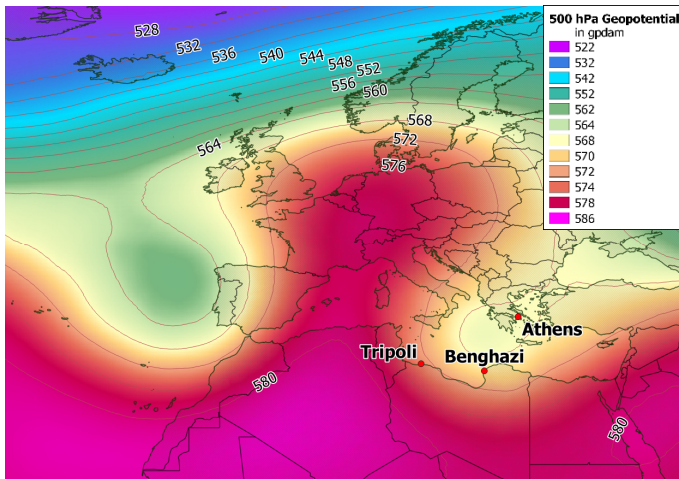
### Mittelwerte der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche im gesamten Zeitraum 03. bis 12.09.2023

Auch im Mittel des 10-tägigen Zeitraums vom 3. bis zum 12.09.2023 zeichnet sich die sogenannte Omega-Lage eindrucksvoll ab (Abbildung 8). Das Gebiet hohen Geopotentials wölbt sich von Algerien bis nach Mittelengland, Südschweden, Polen und Tschechien auf. Der Verlauf der 572 gdam-Isohypse ähnelt dabei dem griechischen Großbuchstaben Omega ( $\Omega$ ). Die größten Werte des Geopotentials treten im Mittel des 10-Tage-Zeitraums über Ostfrankreich, der Schweiz und Deutschland mit mehr als 576 gdam auf. Flankiert wird das riesige Gebiet hohen Geopotentials im Westen durch einen Höhentrog, der sich von der planetaren Frontalzone südlich Island über den Westen der Iberischen Halbinsel bis nach Marokko erstreckt. Das niedrigste Geopotential mit Werten von unter 560 gdam liegt über dem Seegebiet unmittelbar westlich von Portugal. Die Omega-Lage wäre nicht bestens ausgeprägt, befände sich nicht auch östlich des Höhenrückens ein Gebiet tiefen Geopotentials.

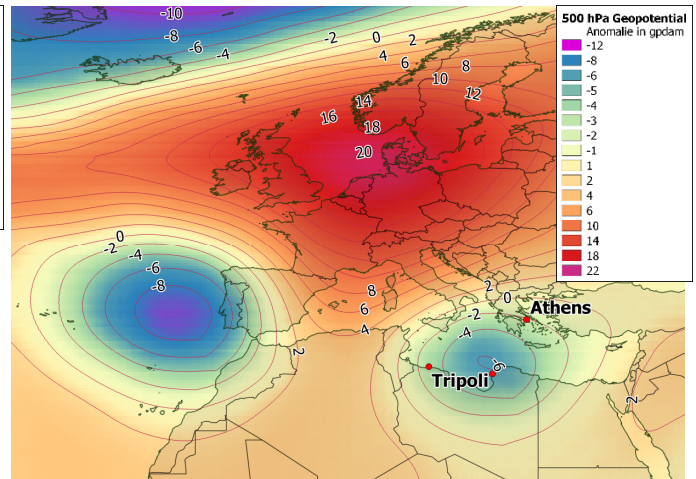
Es tritt zwar mit nicht ganz so niedrigen Werten des Geopotentials wie das Höhentief westlich von Portugal in Erscheinung, dennoch verläuft ein markanter Höhentrog über Südosteuropa, das Schwarze Meer, Griechenland bis zur Großen Syrte und dem Norden Libyens.

Wenig überraschend sind beim Blick auf die Karte mit der Abweichung des 10-Tages-Mittels der 500 hPa-Geopotentialverteilung vom langjährigen Durchschnittswert 1991-2020 zwei Gebiete mit deutlich negativen Werten besonders augenfällig (Abbildung 9). Ein großes Areal mit negativen Anomalien erstreckt sich

zwischen den Kanarischen Inseln, den Azoren, Westspanien und Marokko. Das Geopotential liegt hier mehr als 8 gpdam unter dem langjährigen Durchschnittswert. Nicht ganz so großflächig überdeckt das zweite Gebiet mit unterdurchschnittlichen Geopotentialwerten die Region südlich von Italien und Griechenland und reicht bis in die mittleren Landesteile von Libyen. Bei Benghazi (Libyen) betragen die größten negativen Geopotentialabweichungen rund 6 gpdam. Über dem großen Rest Europas befinden sich deutlich positive Geopotentialanomalien von Irland bis zur Ukraine und von Mittelitalien bis in den Norden Skandinaviens. Die größten Werte mit mehr als 20 Gpdam treten dabei über der südlichen Nordsee, Dänemark und Norddeutschland auf.



**Abbildung 8:** Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gpdam, aus Analysen (jeweils 00 UTC) gemittelt über den Zeitraum 3. bis 12.09.2023 (Modell: Arpege; Quelle: meteo.fr).



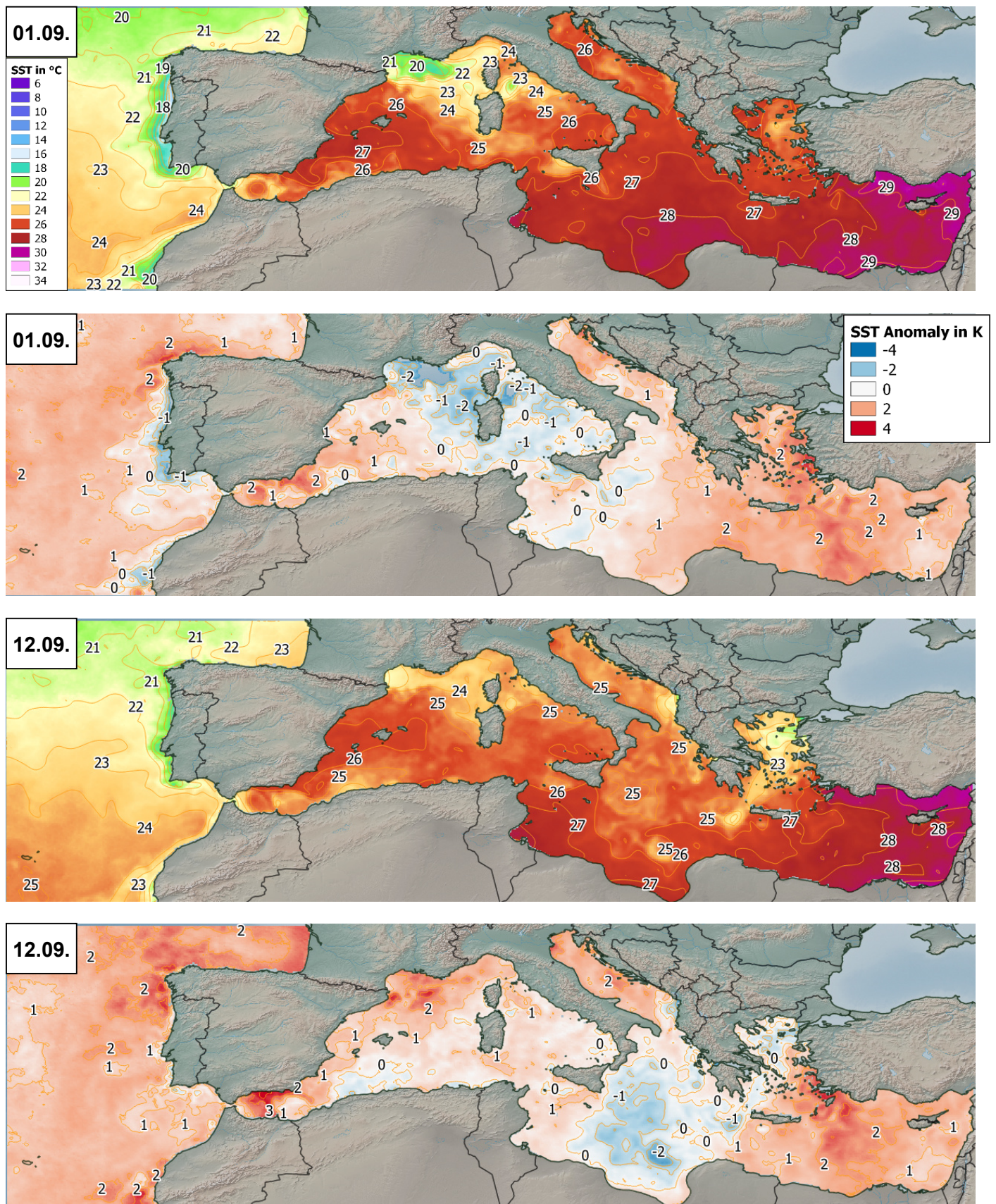
**Abbildung 9:** Anomalie der Höhe der 500 hPa-Geopotentialfläche in gpdam, aus Analysen (jeweils 00 UTC) gemittelt über den Zeitraum 3. bis 12.09.2023. Referenzzeitraum: 1991-2020 (Modell: Arpege; Reanalyse-daten: ERA5; Daten: meteo.fr und <https://cds.climate.copernicus.eu>).

## 2.2 Wasseroberflächentemperaturen und deren Abweichung vom langjährigen Mittel

Die hochaufgelösten Karten der Meeresoberflächentemperaturen des Mittelmeeres zeigen zum einen die Verhältnisse am 01.09.2023, zwei Tage vor Ausbildung des Tiefdruckgebietes „Daniel“, und zum anderen am 13.09.2023, als das Tief „Daniel“ seinen Weg durch den östlichen Mittelmeerraum abgeschlossen hatte und sich über Nordägypten auflöste (Abbildung 10). Die Meeresoberflächentemperaturen am 01.09.2023 zeichneten sich durch vergleichsweise niedrige Werte im zentralen Bereich des Mittelmeeres aus, vom Golfe du Lion bis nach Sardinien konnten gerade einmal Temperaturen von 20 bis 21 °C festgestellt werden. Die negativen Temperaturabweichungen betragen in diesem Seegebiet teilweise mehr als 2 K. Auch das Tyrrenische Meer wies unternormale Wasseroberflächentemperaturen auf. Ende August 2023 zog dort das kräftige Tiefdruckgebiet „Erwin“ seine Kreise; sein Zentrum lag vom 28. bis zum 30.08.2023 über Norditalien. An seiner Westflanke bildete sich zeitweise ein starker Luftdruckgradient aus, der einen kräftigen nördlichen Bodenwind ermöglichte. Aus tieferen Wasserschichten konnte dadurch kühleres Wasser an die Oberfläche gelangen. Im östlichen Mittelmeerraum, wo sich „Erwin“ nicht bemerkbar machte, betragen die Temperaturabweichungen der oberflächennahen Wasserschichten dagegen verbreitet zwischen 1 und 2 K, gebietsweise auch darüber. Bei Wassertemperaturen von 27 bis 29 °C herrschten dort durchaus tropische Verhältnisse.

Mit Durchzug des Tiefs „Daniel“ und dem dabei längere Zeit einwirkenden kräftigen und teilweise Sturmstärke erreichenden Wind fand eine intensive Durchmischung der oberen Wasserschichten statt, die sich in um 2 bis 3 K niedrigeren Wasseroberflächentemperaturen am 12.09.2023 manifestieren. Von der Adria bis zur großen Syrte konnten meist nicht einmal mehr 25 °C gemessen werden, in der Ägäis, wo der Nordostwind besonders stark und längere Zeit wehte, sanken die Wassertemperaturen auf nur noch 20 bis 23 °C. Einzig die libyschen küstennahen Gewässer wiesen noch Werte um 27 °C auf. In all diesen Gebieten lag nach Passage von „Daniel“ die Wasseroberflächentemperatur 0 bis 2 K unter ihren langjährigen Vergleichswerten. Im Seegebiet zwischen der Türkei und Ägypten, wo „Daniel“ nur wenig in Erscheinung

trat und sich auflöste, blieben die Wasseroberflächentemperaturen nahezu unverändert bei Werten um 28 °C.



**Abbildung 10:** Analyse der Meeresoberflächentemperaturen in °C am 01. und am 12.09.2023 sowie deren Abweichung in K vom langjährigen Mittelwert (1982-2012; Daten: <https://data.marine.copernicus.eu>).



## 2.3 Satellitenbilder

Die Abbildung 11 zeigt für jeden Tag des Zeitraums vom 03. bis zum 12.09.2023 die Bewölkungsverhältnisse über dem zentralen und dem östlichen Mittelmeerraum samt angrenzender Landmassen. Eine hohe räumliche Auflösung ermöglichen dabei die Kanäle im sichtbaren Spektrum, die Fotos wurden von den Terra-, Aqua-, Suomi- und NOAA-20 der NOAA/NASA erzeugt.

Am **03.09.2023** präsentiert sich der östliche Mittelmeerraum von Griechenland bis nach Nordafrika noch weitgehend wolkenfrei, nur über den Bergen Griechenlands und Kretas bildeten sich einige Quellwolken. Größere Wolkenkomplexe lassen sich nur über der Türkei ausmachen (Abbildung 11 links).

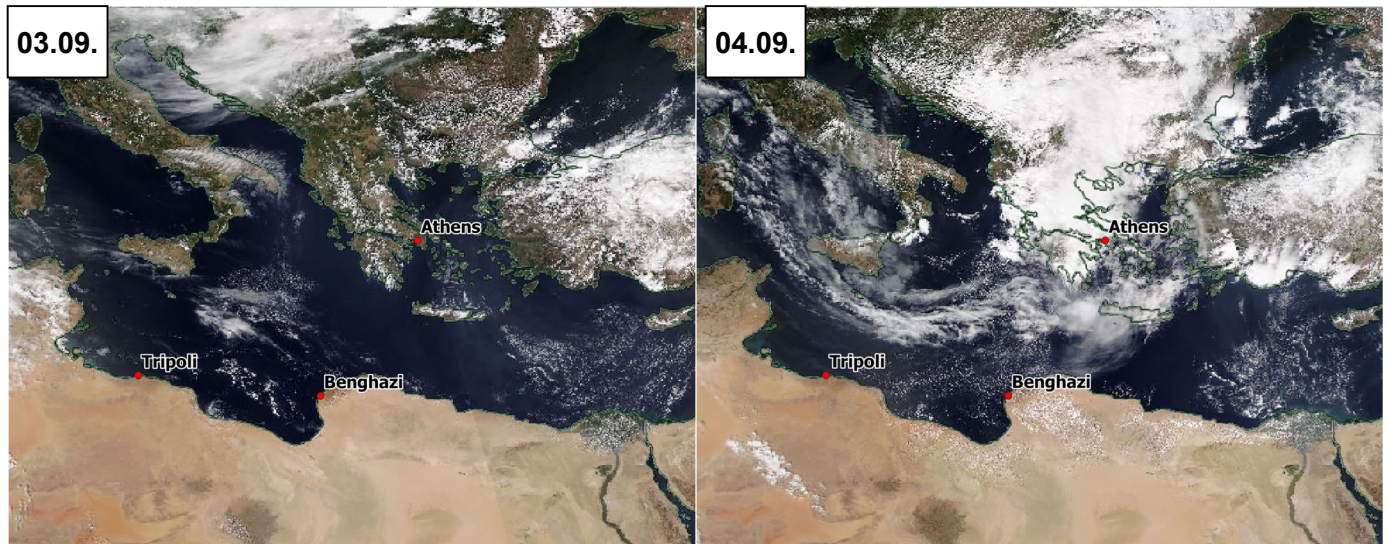


Abbildung 11: Satellitenbilder (VIS) für 03. und 04.09.2023 (Quelle: NASA / <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

**Tags darauf** überdecken bereits ausgedehnte Wolkenfelder den größten Teil Griechenlands (Abbildung 11 rechts). Sie entstanden durch einen großräumigen Hebungsantrieb, den der südwärts vorstoßende Höhentrog auslöste. Ausgehend von Sardinien und Korsika zeichnet sich bogenförmig und mit einer zyklonalen Krümmung ein langgestrecktes Band dünner Wolkenfelder ab, das bis nach Kreta verläuft. Die Wolken markieren die Vorderseite des sich südwärts ausweitenden Höhentrog.

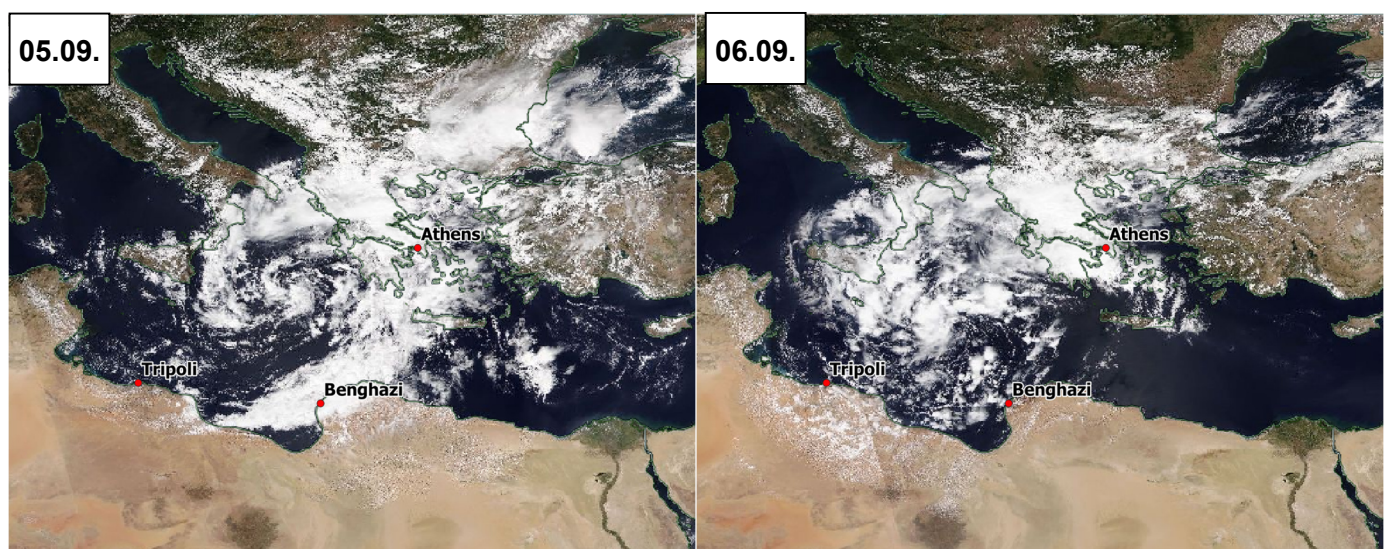
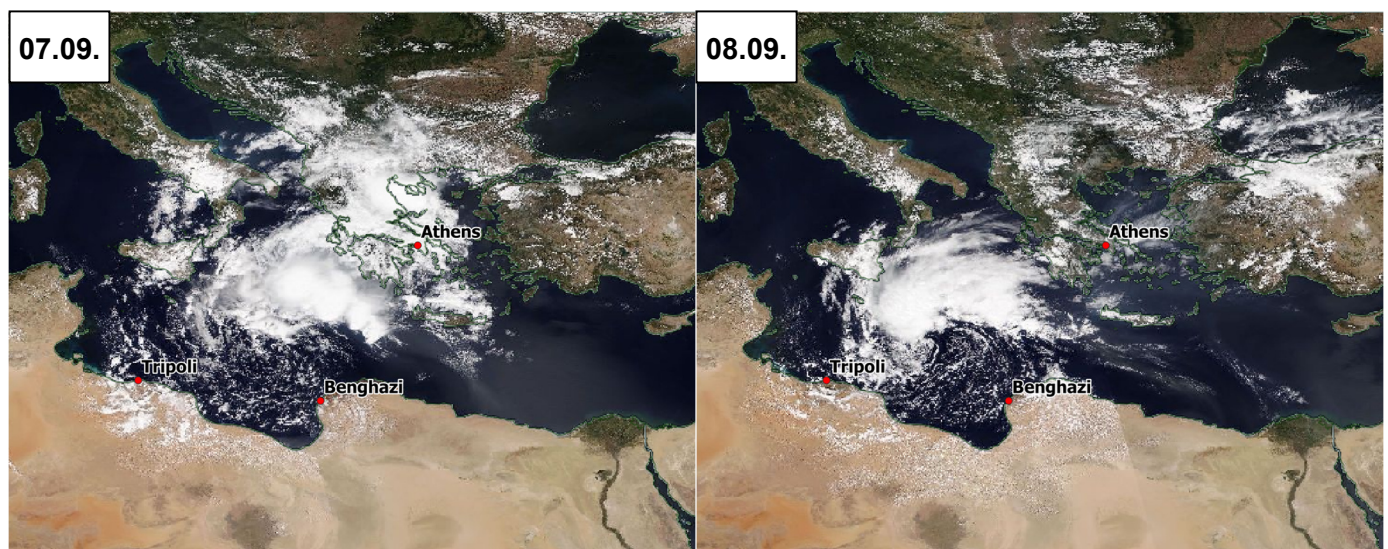


Abbildung 12: Satellitenbilder (VIS) für 05. und 06.09.2023 (Quelle: NASA / <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

Mit einer gut erkennbaren Spiralstruktur lässt sich das neu entstandene Tiefdruckgebiet „Daniel“ anhand der Wolkenbänder am **05.09.2023** gut ausmachen (Abbildung 12 links). Das Rotationszentrum des Tiefs kann leicht auf halbem Wege zwischen Sizilien und der Peleponnes identifiziert werden. Aus dem Zentrum winden sich die Wolkenbänder heraus und erstrecken sich über Kalabrien, Apulien, die Mitte und den Norden Griechenlands bis in den äußersten Nordens Libyens und weiter in den Süden der Großen Syrte.

Ein etwas strukturloseres Bild bieten die Bewölkungsverhältnisse am **06.09.2023**, gleichwohl tritt das Zirkulationszentrum des Tiefs „Daniel“ nordwestlich von Benghazi immer noch recht deutlich und zweifelsfrei in Erscheinung (Abbildung 12 rechts). Die Wolkenkleckse lassen im Seegebiet zwischen Libyen, Italien und Griechenland auf konvektive Niederschläge schließen, also Schauer und Gewitter, die auch durchaus kräftig ausfallen. Kompakte Bewölkung überdeckt dagegen den größten Teil Griechenlands.

Am **07.09.2023** lässt sich das Zentrum des Tiefs „Daniel“ auf dem Satellitenbild anhand der Bewölkungsverhältnisse allenfalls erahnen, es befindet sich westnordwestlich von Benghazi über der Großen Syrte (Abbildung 13 links). Unter massiver und kompakter Bewölkung südwestlich der griechischen Küste verbergen sich intensive Gewitter, auch nördlich von Athen lässt ein kompaktes Wolkengebiet auf intensive Niederschläge schließen.



**Abbildung 13:** Satellitenbilder (VIS) für 07. und 08.09.2023 (Quelle: NASA / <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

Ausgedehnte Wolkenfelder sind am **08.09.2023** über Griechenland nicht mehr vorhanden, vielleicht reicht es über den Bergen noch für den eine oder anderen Schauer oder auch Gewitter, die dann aber nur noch lokal auftreten (Abbildung 13 rechts). Fast das gesamte Niederschlagsgeschehen spielt sich am 08.09.2023 über dem offenen Meer ab; die kompakten Wolkenfelder östlich und südöstlich von Sizilien weisen die am stärksten betroffenen Regionen leicht erkennbar aus. Die Anordnung der Wolkenfelder belegt zudem eindeutig die Rotation des Gesamtgebildes gegen den Uhrzeigersinn.

Mit einer geringeren Ausdehnung als an den Vortagen tritt die Zirkulation von Tief „Daniel“ am **09.09.2023** klar umrissen in Erscheinung (Abbildung 14 links). Der Durchmesser des Tiefs beträgt rund 400 km. Das Rotationszentrum des Tiefs befindet sich als nahezu wolkenfreier Bereich rund 130 km nordwestlich von Benghazi. Über dem libyschen Festland gingen am 09.09.2023 noch keine größeren Niederschläge nieder.

Am **10.09.2023** verlagerte sich das Tief „Daniel“ mit seinem Zentrum von der Großen Syrte auf das libysche Festland (Abbildung 14 rechts). Zum Aufnahmezeitpunkt zeigt das Satellitenbild das Rotationszentrum des Tiefs gut 100 km östlich von Benghazi als wolkenfreies Gebiet, aus dem sich ein Band von zahlreichen kleineren Quellwolken (weiße Punkte) in einem weiten Bogen und zyklonal gekrümmt herauswindet und bis nach Tripoli verläuft. Der kleine Krümmungsradius in Zentrumsnähe des Tiefs weist auf eine hohe Rotations- und entsprechend hohe Windgeschwindigkeiten hin.

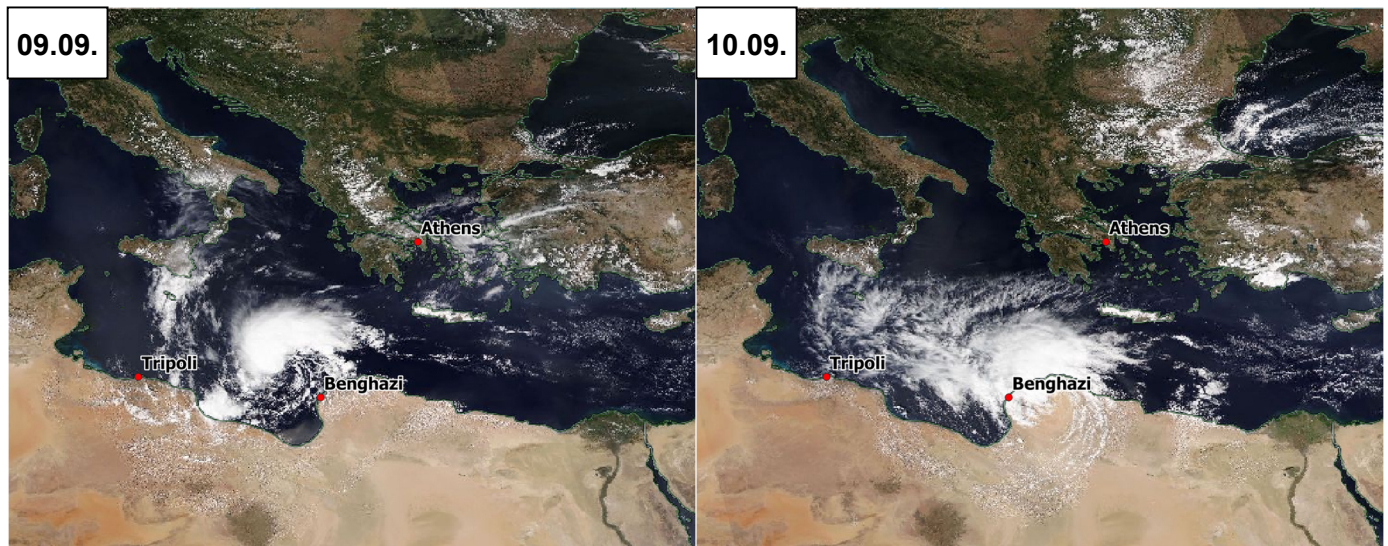


Abbildung 14: Satellitenbilder (VIS) für 09. und 10.09.2023 (Quelle: NASA / <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

Das Satellitenbild vom **11.09.2023** zeigt zum Aufnahmezeitpunkt das Zentrum des Tiefs „Daniel“ bereits an der libysch-ägyptischen Grenze rund 100 Kilometer südlich der Mittelmeerküste (Abbildung 15 links). Noch immer tritt die Rotation des Tiefs auch im Wolkenbild eindrucksvoll in Erscheinung. Vorderseitig (östlich) des Bodentiefs lässt sich über Teilen des Nildeltas und dem nordwestlich davon über dem Mittelmeer ein grau-ockerfarbener Schleier ausmachen. Hierbei handelt es sich um Sand und Staub, den der kräftige Wind über der Wüste aufgewirbelt und in höhere Atmosphärenschichten verfrachtet hat, wo von aus sie über mehrere hundert Kilometer mit dem Süd- bis Südostwind auf das Mittelmeer hinaus transportiert wurden. Die ausgedehnten Wolkenfelder, die sich aus Zentralanatolien über mehr als 500 Kilometer südwestwärts erstrecken, gehören zu einem Langwellen-Höhentrog, der bis nach Nordostafrika vorstößt und dessen mitteltroposphärischer Hebungsantrieb die Wolkenbildung auslöste.

Das Satellitenbild vom **12.09.2023** zeigt das Tiefdruckgebiet „Daniel“ nunmehr in rudimentärer Form als wenig kompakte Bewölkung (Abbildung 15 rechts). Die Zirkulation des Tiefs lässt sich noch immer erahnen, das Rotationszentrum kann über dem Nildelta ausgemacht werden.

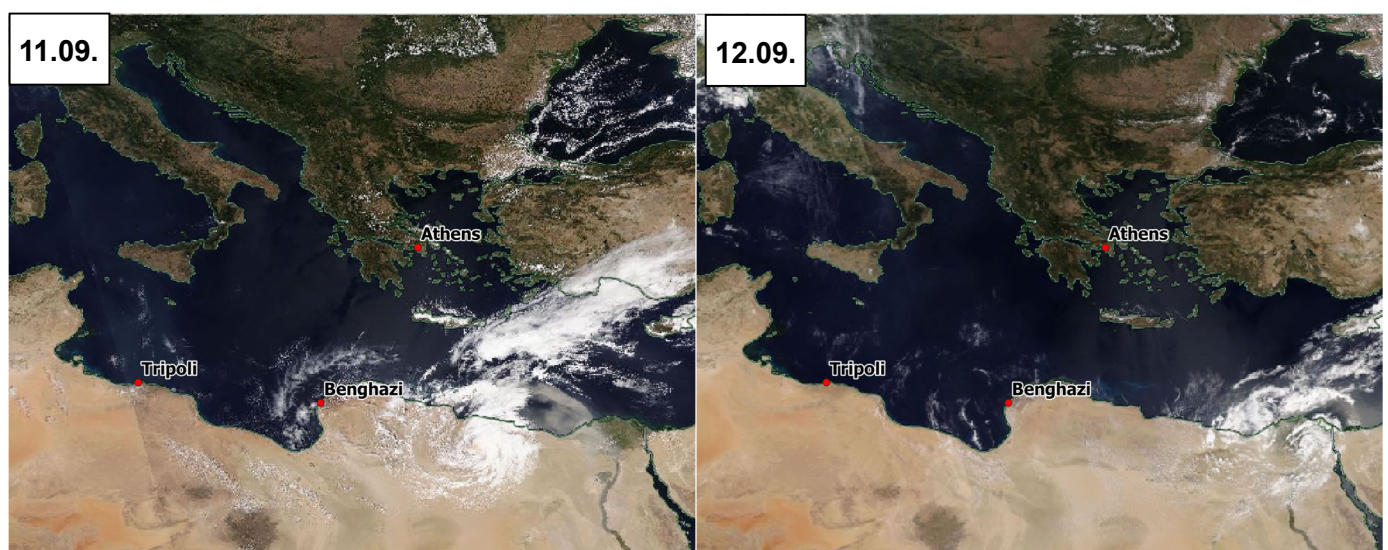


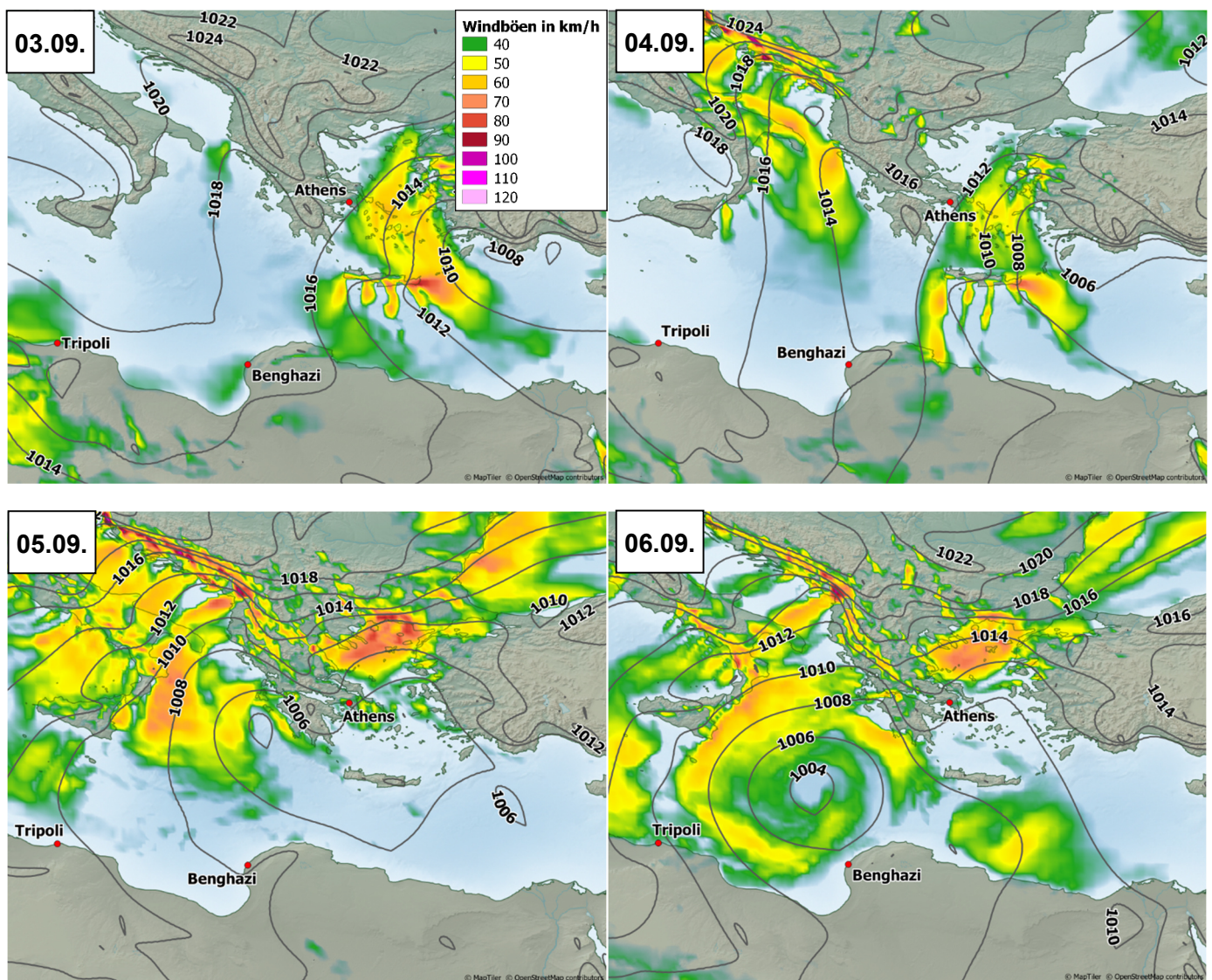
Abbildung 15: Satellitenbilder (VIS) für 11. und 12.09.2023 (Quelle: NASA / <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

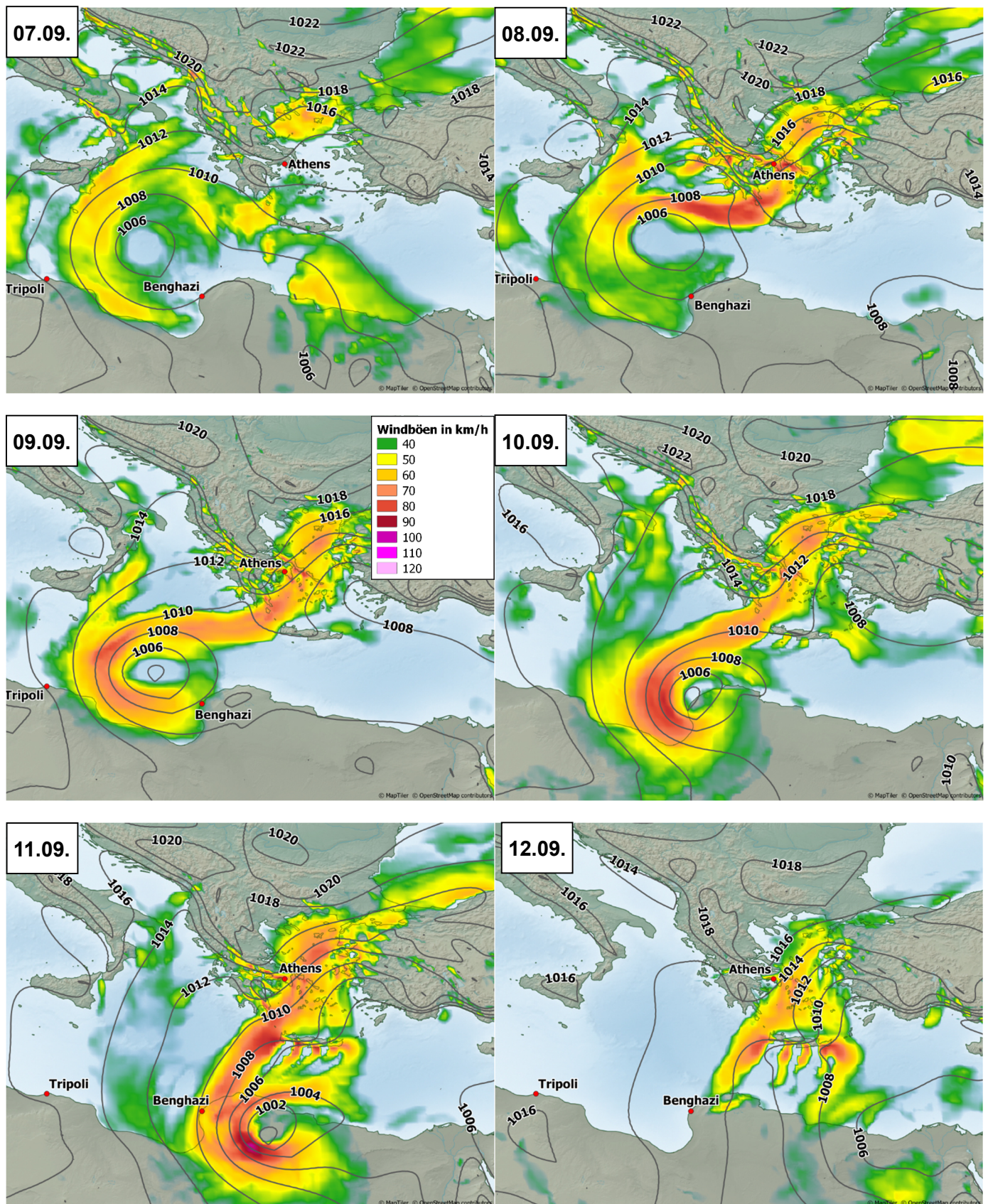
## 2.4 Spitzenböen und auf Meeresebene reduzierter Luftdruck

Kräftige Tiefdruckentwicklungen in Herbst und Winter gehen im Mittelmeerraum nicht selten auch mit starkem Wind einher, der in Böen mancherorts, insbesondere auf dem offenen Meer und den Inseln, durchaus Orkanstärke erreichen kann. In der Regel handelt es sich dann um Kaltluft, die auf der Rückseite gut ausgeprägter Tiefdruckgebiete west- oder südwärts vorstößt. Abbildung 16 gibt Auskunft über die Analysen der Spitzenböen für jeden Tag des Zeitraums vom 03. bis zum 12.09.2023, der Analysezeitpunkt ist jeweils 00 UTC.

Über die Ägäis fegte der Wind häufig mit stürmischen Böen oder Sturmböen hinweg. Vor allem vom 9. bis zum 11.09.2023 bildete sich zwischen dem südlichen Balkan und der südlichen Ägäis ein starker Druckgradient von rund 15 hPa aus. Der Wind aus Osten bis Nordosten erreichte nicht selten Sturmstärke. Am 10.09.2023 meldete Mykonos Windgeschwindigkeiten bis 78 km/h (Bft 9), tags darauf registrierten Milos und Mykonos jeweils 76 km/h (Bft 9).

Auch auf dem Höhepunkt der Tiefdruckentwicklung von „Daniel“ legte der Wind in Zentrumsnähe kräftig zu. Über der Großen Syrte sowie auf dem Festland südlich von Benghazi konnten sogar schwere Sturmböen um 90 km/h analysiert werden.





**Abbildung 16:** Analysen von Bodendruck in hPa (Isobaren als Linien) und Windböen in km/h (Farbflächen) für den Zeitraum 3. bis 12.09.2023, jeweils 00 UTC (Modell: Arpege. Quelle: meteo.fr).

## 2.5 Niederschlag – Analysen und Prognosen

Die Niederschlagsmengen, die mit dem Tiefdruckgebiet „Daniel“ einhergingen, waren enorm. Insbesondere in Griechenland kamen gebietsweise mehr als 500 mm innerhalb von 3 bis 4 Tagen zusammen, aber auch Libyen verzeichnete große Niederschlagsmengen.

Abbildung 17 gibt einen Überblick über die täglichen Niederschlagsmengen im Zeitraum vom 3. bis zum 12.09.2023 (jeweils 00-24 UTC), wie sie auf Grundlage der ERA 5-Reanalysedaten berechnet wurden.

Am 03.09.2023 traten in Griechenland noch keine Niederschläge auf, der Tiefdruckeinfluss beschränkte sich auf die Türkei und den zentralen Balkan, wo sich jeweils Schauer und Gewitter entwickelten. Die Niederschlagsmengen erreichten nur selten mehr als 10 mm. Tags darauf intensivierte sich mit dem von Norden ausweitenden Höhentrog auch über Griechenland die Niederschlagsaktivität. Insbesondere über den zentralen Landesteilen Griechenlands gingen 30 bis 50 mm nieder.

Das am 05.09.2023 knapp südwestlich des Peloponnes zentrierte und kräftige Höhentief und sein mittlerweile gut ausgebildetes Pendant am Boden, das Tief „Daniel“, verursachten auf seiner Vorderseite intensive Hebungsprozesse, die in anhaltendem, heftigen und ergiebigen Regenfällen mündeten. Besonders betroffen war nördlich von Athen die Region Thessalien. Angesichts der bodennah östlichen bis nordöstlichen Strömung übten die bereits unmittelbar hinter der Küstenlinie aufragenden Bergzüge einen niederschlagsverstärkenden Einfluss aus. Die 24-stündigen Niederschlagsmengen betragen verbreitet mehr als 100 mm. Auch wenn das Tief „Daniel“ sich wie schon am Vortag mit seinem Zentrum schon weit entfernt über dem Ionischen Meer befand, regnete es in Thessalien am 06.09.2023 kräftig und anhaltend weiter. Mitteltroposphärische Hebung und von der Ägäis landeinwärts transportierte feucht-warme Luftmassen machten erneut Regenmengen von verbreitet mehr als 100 mm möglich.

Zwar entfernte sich das Tiefdruckgebiet „Daniel“ am 07.09.2023 mit seinem Zentrum immer weiter vom griechischen Festland und hatte keinen direkten Einfluss mehr auf die Wettergeschehnisse in Griechenland. Die bodennahe östliche und von der Ägäis landeinwärts gerichtete Strömung beförderte allerdings weiterhin niederschlagsträchtige Luftmassen nach Thessalien. Die Niederschläge summierten sich der Reanalyse zufolge noch einmal lokal auf mehr als 100 mm, ganz so großflächig-intensiv wie an den beiden Vortagen regnete es allerdings nicht mehr.

Am 08.09.2023 endete das Starniederschlagsereignis und nur im zentralgriechischen Bergland fiel etwas Regen, die Mengen blieben aber unter 10 mm. Dafür geriet langsam Libyen ins Visier von „Daniel“ dessen Wolken- und Niederschlagsbänder bereits die westlibysche Küste rund um die Hauptstadt Tripoli und auch den küstennahen Gebieten rund um Benghazi etwas Niederschlag brachten. Auch am 09.09.2023 konzentrierte sich das Niederschlagsgeschehen noch ganz überwiegend auf das offene Meer, im Küstenumfeld blieben die Niederschlagsmengen mit zumeist weniger als 10 mm noch moderat.

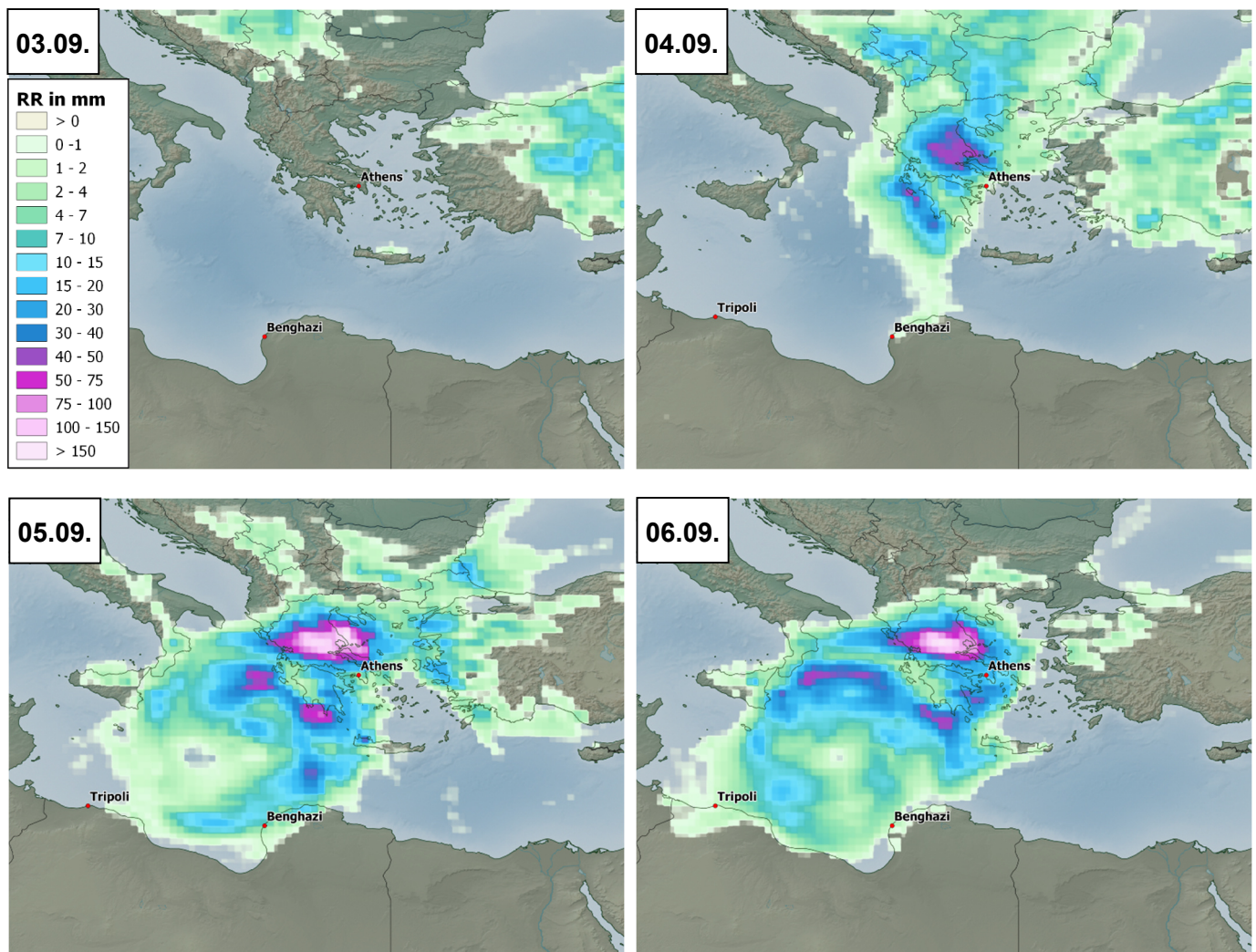
Am 10.09.2023 trat das Tief „Daniel“ mit seinem Zentrum von der Großen Syrte her auf das Festland über und setzte anschließend ostwärts fort. Auch die Gebiete mit den stärksten Niederschlägen konnten nun ihre nasse Fracht über dem Festland vor allem östlich und nordöstlich von Benghazi abladen. Der Reanalyse zufolge kamen dort 75 bis 100 mm zusammen.

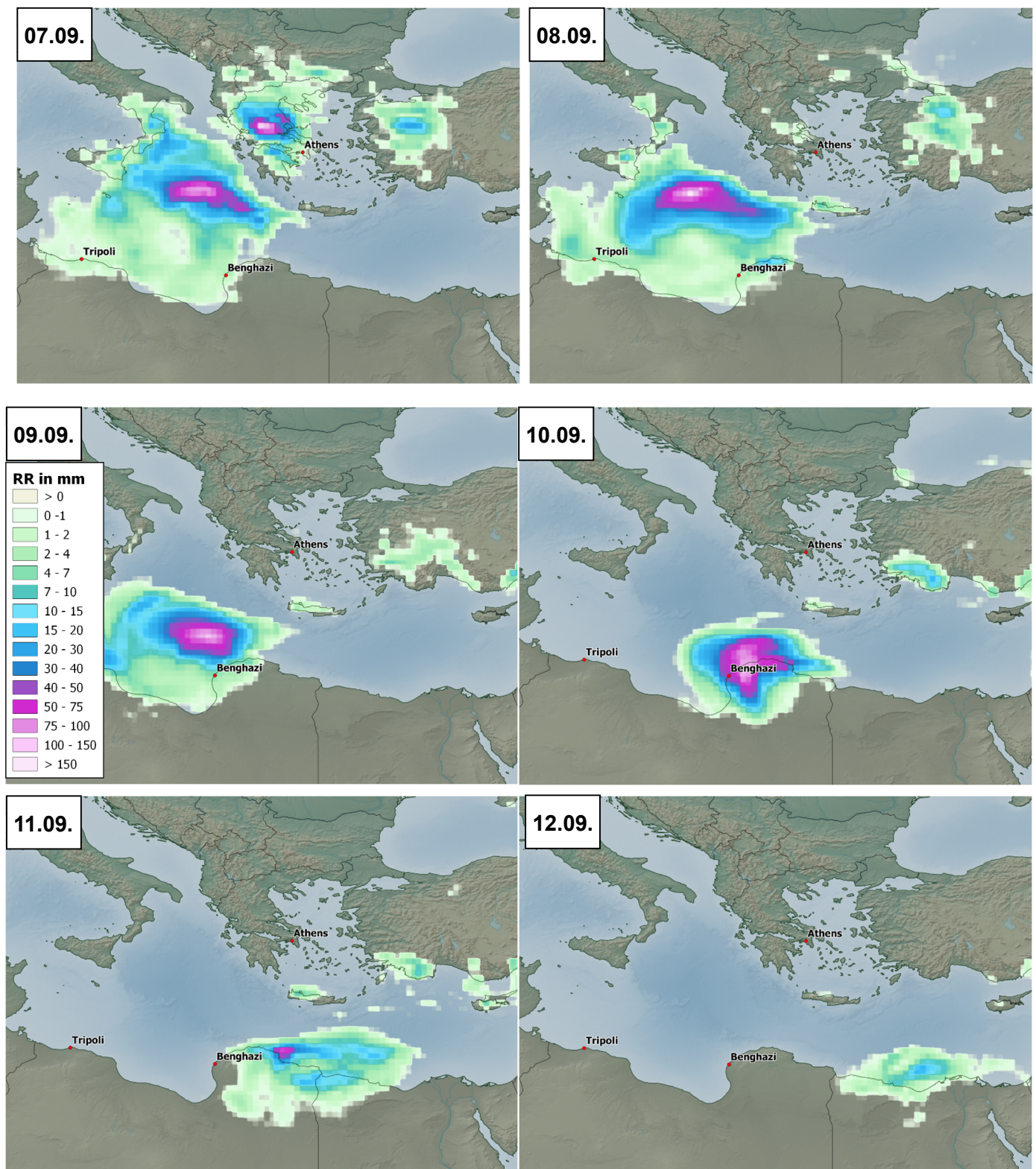
Am 11.09.2023 begann sich „Daniel“ mehr und mehr abzuschwächen und auch die Niederschlagsintensitäten erreichten nicht mehr die Werte der Vortage. Ein paar mm Regen löste „Daniel“ auch weit im wüstenhaften Binnenland Nordostlibyens und sogar im Nordwesten Ägyptens aus, es kamen aber nur gebietsweise mehr als 10 mm zusammen. Um 40 mm gingen nur noch in einem kleinen Gebiet an der Küste zwischen Derna und Umm Ar Rizamn nieder. Auf seinem weiteren Weg Richtung Osten hinterließ „Daniel“ am 12.09.2023 noch ein wenig Regen entlang der ägyptischen Mittelmeerküste.

Auf Grundlage der ERA5-Reanalysedaten erreichten die 10-Tages-Niederschlagssummen (03.-12.09.2023) in den zentralen Landesteilen Griechenlands (Thessalien) mit 400 bis 600 mm ihre höchsten Werte (Abbildung 18 oben). Das Niederschlagsgeschehen in Griechenland konzentrierte sich dabei auf 3 bis 4 Tage, nämlich 04. bis 07.09.2023. Die anderen Landesteile empfingen 10 bis 40 mm, um 80 mm gab es nur in kleinen Gebieten der östlichen Peloponnes sowie in dessen äußerstem Süden. Trocken blieb es in Griechenland nur ganz im Nordosten im Grenzgebiet zur Türkei sowie auf einigen Inseln in der Ägäis. In

Libyen verzeichneten kleinere Gebiete nördlich und östlich von Benghazi rund 100 bis 200, die allerdings meist innerhalb eines Tages am 10.09.2023 niedergingen. Mehr als 10 mm konnten darüber hinaus nur in einem schmalen Streifen an der Küste im Westen Libyens sowie ganz Nordosten des Landes verzeichnet werden. Das Tief „Daniel“ war sonst nur noch im Süden Kalabriens (Italien), im Osten Siziliens, im äußersten Süden von Albanien sowie abschnittsweise entlang der ägyptischen Mittelmeerküste verantwortlich.

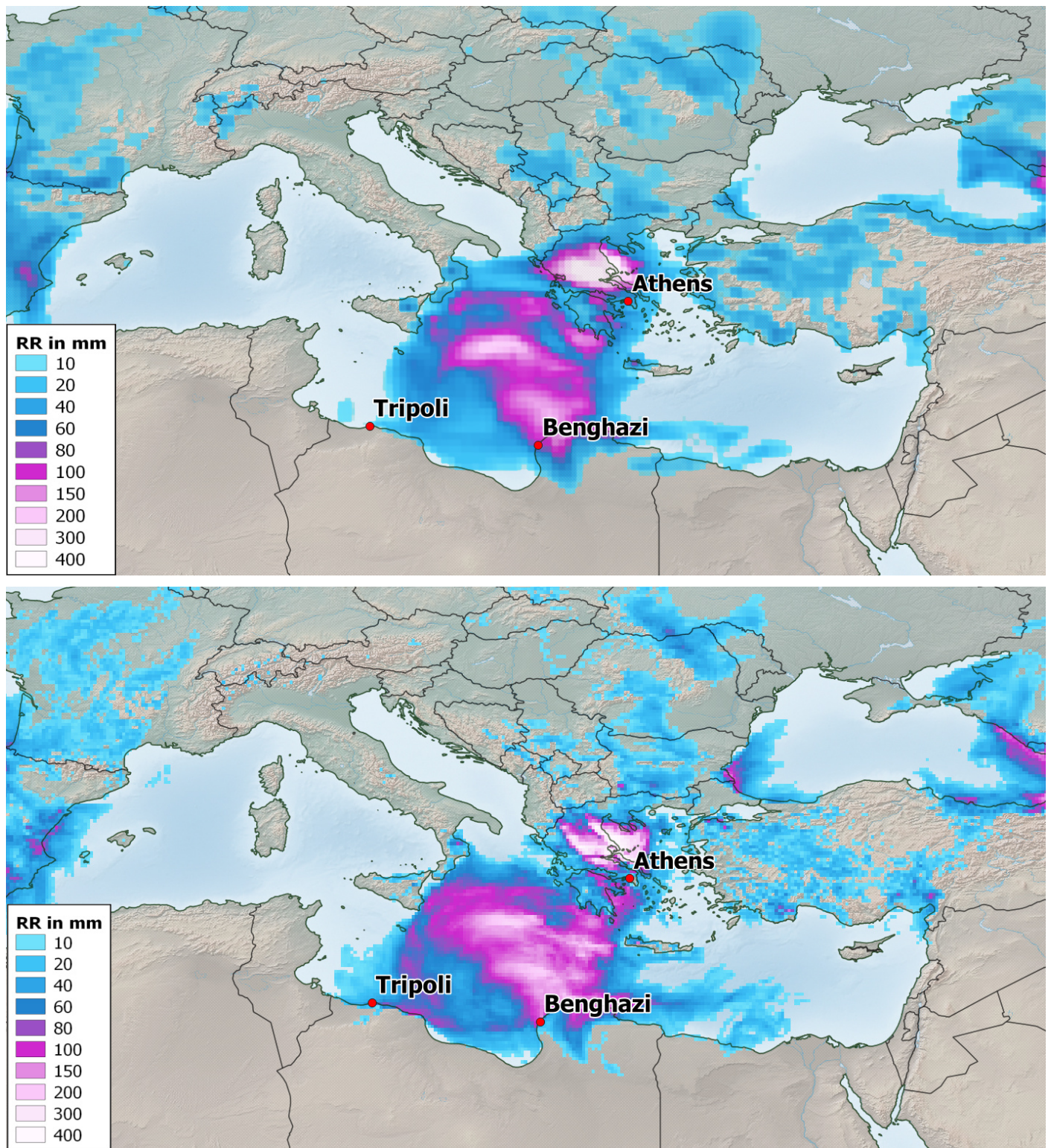
Die Vorhersageleistung der gängigen globalen numerischen Vorhersagemodelle können nur als gut bezeichnet werden, zumindest für den Vorhersagezeitraum von 1 bis 2 Tagen. Abbildung 18 (unten) zeigt die jeweils prognostizierte 24-stündige Niederschlagssumme, jeweils aufsummiert über den Zeitraum vom 03. bis zum 12.09.2023, als Grundlage dient hier das Modell Arpege, das routinemäßig bei Météo France im Einsatz ist. Die Unterschiede der Reanalyse und der Modellprognosen sind nur marginaler Natur und stimmen sowohl qualitativ als auch quantitativ im Wesentlichen überein.





**Abbildung 17:** Analysen der 24-stündigen Niederschlagsmengen in mm im Zeitraum 3. bis 12.09.2023 , 00-24 UTC des jeweiligen Tages (Daten: ERA 5 Reanalysen; Quelle: <https://cds.climate.copernicus.eu>).





**Abbildung 18:** Analyse der 10-Tages-Niederschlagssumme im Zeitraum 03. bis 12.09.2023 (oben) auf Basis der ERA 5-Reanalysedaten sowie die auf Basis des Globalmodells Arpege prognostizierte Niederschlagsmenge für denselben Zeitraum (Summe aus jeweils 24-stündigen Vorhersagen; Quellen: <https://cds.climate.copernicus.eu/>, [meteo.fr](https://meteo.fr)).

## 2.6 Niederschlag – Messwerte

In Griechenland löste das Tief „Daniel“ vor allem in den zentralen Landesteilen Regenfälle aus, die mit wechselnder Intensität 3 bis 4 Tage andauerten. „Daniel“ avancierte zudem zum heftigsten Niederschlagsereignis der griechischen Geschichte. Das Tiefdruckgebiet lud in Zagora innerhalb eines Tages (am 05.09.2023) eine Regenmenge von 753,9 mm ab. Der bisherige Niederschlagsrekord von 644,7 mm datiert vom 17./18.09.2020 und wurde in Paliki, einer Halbinsel auf der Insel Kefalonia im Ionischen Meer aufgestellt. Damals gingen die intensiven Regenfälle auf das Konto des Tiefs und Medicanes „Ianos“.

Zagora liegt lediglich knapp 3 Kilometer von der Küste der Ägäis entfernt und doch schon einer Meereshöhe von 500 bis 600 Meter. Wenige Kilometer weiter landeinwärts erheben sich die Berge bis auf über 1000 Meter. Bei der herrschenden kräftigen östlichen Grundströmung und dem beständigen Feuchtenachschub von der Ägäis wirkten sich die orographischen Gegebenheiten niederschlagsverstärkend aus. Aber auch anderswo in Thessalien gingen enorme Regenmengen zwischen 400 und 600 mm nieder. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die am 05.09.2023 gemessenen Niederschlagsmengen an einigen Stationen in Zentralgriechenland.

Die heftigen Niederschläge führten auch an einigen Stationen zu Stromausfällen: die Messungen können dort daher unvollständig und die tatsächlich aufgetretenen Werte noch höher ausgefallen sein.

In Libyen erreichte das Tief „Daniel“ am 10. und 11. September 2023 seine größte Intensität. Der Wind erreichte in Böen rund 80 km/h und führten in einigen Städten zu Unterbrechungen der Kommunikationsverbindungen, zu umgestürzten Strommasten und Bäumen. Die Regenmengen erreichten gebietsweise zwischen 150 und 240 mm und lösten Überschwemmungen in einigen Städten aus. Al-Bayda meldete eine maximale Tagesregenmenge von 414,1 mm (10.09.2023, 06 UTC, bis 11.09.2023, 06 UTC) – ein neuer libyscher Landesrekord. Bayda liegt etwa 65 km westlich von Derna auf dem Jebel Akhdar Plateau. Tabelle 2 gibt Auskunft über weitere 24-stündige Regenmengen im gleichen Zeitraum an Stationen in Libyen.

**Tabelle 1:** Tagesniederschlagsmengen an einigen Stationen in Zentralgriechenland am 05.09.2023

(Quelle: <https://www.foxweather.com/weather-news/greece-flooding-storm-daniel-september-2023> und <https://greekcitytimes.com/2023/09/06/rain-record-in-greece-was-broken/>).

Station	24-Stunden-Regensumme
Zagora	753.9 mm
Portaria	644.7 mm
Volos	392.9 mm
Agia	212.9 mm
Larissa	164.8 mm

**Tabelle 2:** Tagesniederschlagsmengen an einigen Stationen in Libyen am 10./11.09.2023 (Quelle:

<https://floodlist.com/africa/libya-dozens-feared-dead-after-storm-daniel-brings-flooding-rains>).

Station	24-Stunden-Regensumme	Distrikt
Bayda	414.1 mm	District al-Dschabal al-Achdar
Marawah	240.0 mm	District of Jabal al Akhdar
Al Abraç	170.0 mm	Derna District
Derna	73.0 mm	City of Derna

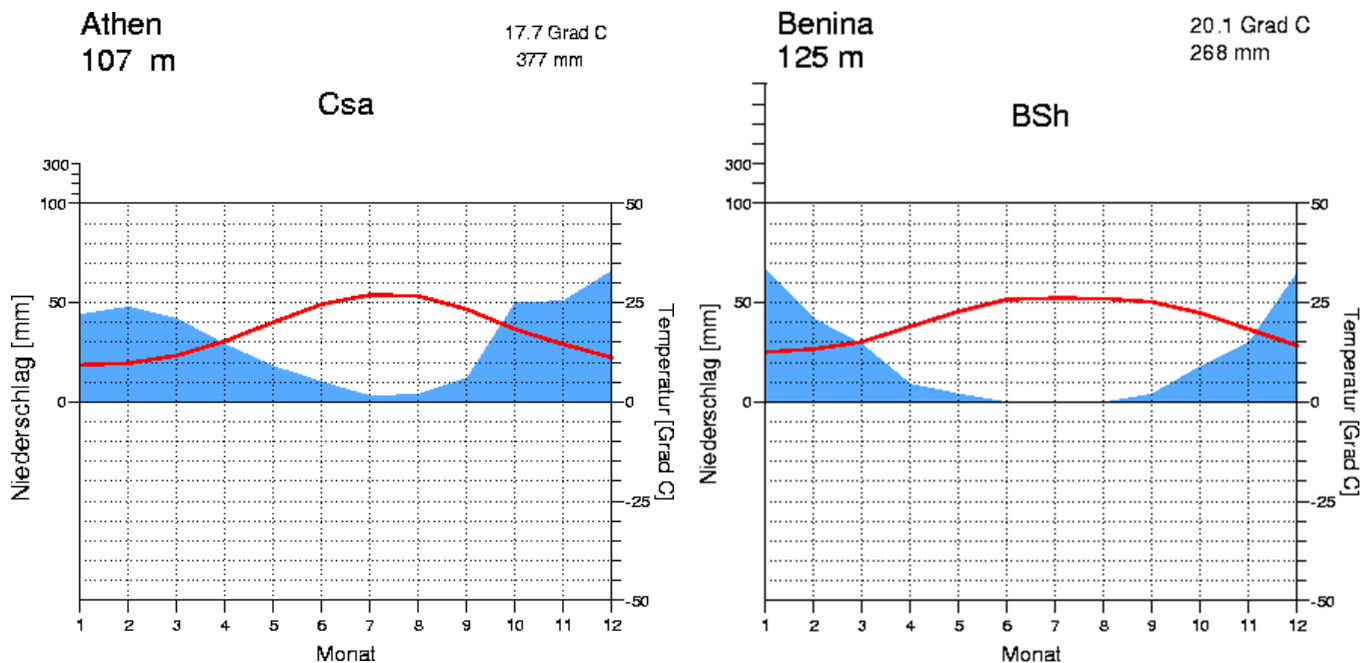
### 3 Klimatologische Informationen

#### 3.1 Langjährige Mittelwerte des Niederschlags

Der größte Teil Griechenlands und der Norden Libyens zeichnen sich durch ein sommertrockenes, sogenanntes Mittelmeerklima aus. Die Sommermonate weisen eine Mitteltemperatur von mehr als 22 °C auf, die Winter sind mild. Der Großteil des Jahresniederschlags tritt in den Herbst- und Wintermonaten auf. Die Monate Juni, Juli und August verlaufen nahezu oder sogar völlig trocken (Abbildung 19).

Im September gehen durchschnittlich in Griechenland nur wenige mm Regen nieder, in den zentralen Landesteilen sind im Binnenland die Niederschlagsmengen wie zum Beispiel in Larissa etwas höher; hier sogar lokale konvektive Niederschläge in Form von Schauern und Gewitter für eine größere Niederschlagsausbeute. So verzeichnet Larissa im September im langjährigen Durchschnitt 30 mm, in Thessaloniki sind es 26 mm und in Athen 12 mm.

In Libyen empfängt die Hauptstadt Tripolis empfängt im September durchschnittlich 16 mm Regen, nur 4 mm sind es in Benghazi-Benina im Nordosten des Landes.

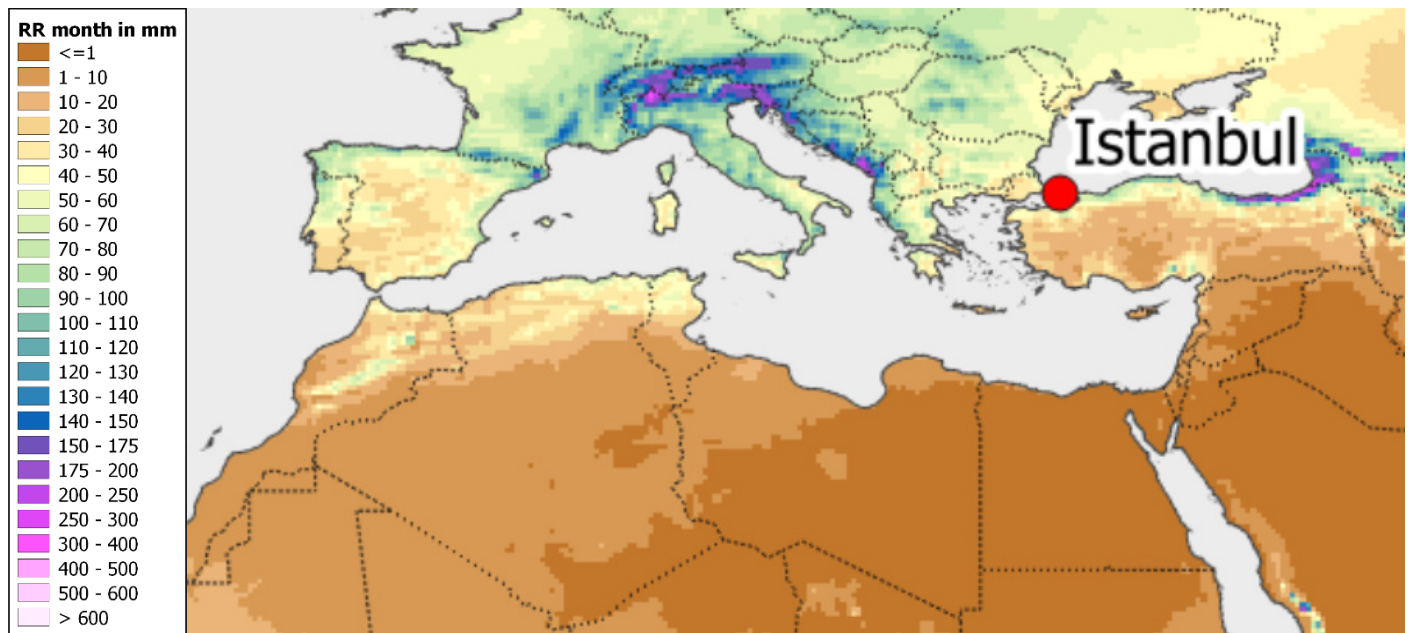


**Abbildung 19:** Jahresgang der Monatsmittelwerte von Temperatur und Niederschlag (Bezugsperiode 1961-1990) an den Stationen Athen (Griechenland), links, und Benghazi-Benina (Libyen), rechts (Quelle: www.klimadiagramme).

Abbildung 20 illustriert die durchschnittliche Niederschlagsverteilung im Monat September im Mittelmeerraum bezogen auf den Zeitraum 1991-2020, als Grundlage dienen hier die ERA5-Reanalysedaten. Während im Nordwesten Griechenlands bereits die ersten Tiefdruckgebiete des Herbstes in der Summe für einen Monatsniederschlag von mehr als 40 mm verantwortlich zeichnen, ist es im Osten des Landes und auf der Peloponnes noch trockener. Die mit Tief „Daniel“ aufgetretenen Niederschläge von bis zu 750 mm Regen in Thessalien (innerhalb von nur 24 Stunden) übertreffen die langjährigen Vergleichswerte um ein Vielfaches.

Ganz ähnlich in Libyen: Von Marokko bis in den Norden Tunesiens zeichnen sich in der Niederschlagsverteilung des Septembers die ersten herbstlichen Tiefdruckgebiete ab, die mit ihren Niederschlagsgebieten schon ab und zu die küstennahen Bereiche erfassen. Rund um die Große Syrte und im Osten Libyens und erst Recht in Ägypten präsentiert sich der Monat September normalerweise noch praktisch vollständig trocken. Mehr als 10 mm sind im Osten Libyens oder in Ägypten nicht zu erwarten. In Mersa Matruh, im Westen Ägyptens an der Mittelmeerküste gelegen, und in Alexandria im Westen des

Nildeltas kommt im September im langjährigen Mittel gerade mal 1 mm zusammen. Gerade im Osten Libyens und in Ägypten müssen die mit Tief „Daniel“ aufgetretenen Niederschläge als besonders außergewöhnlich bewertet werden.



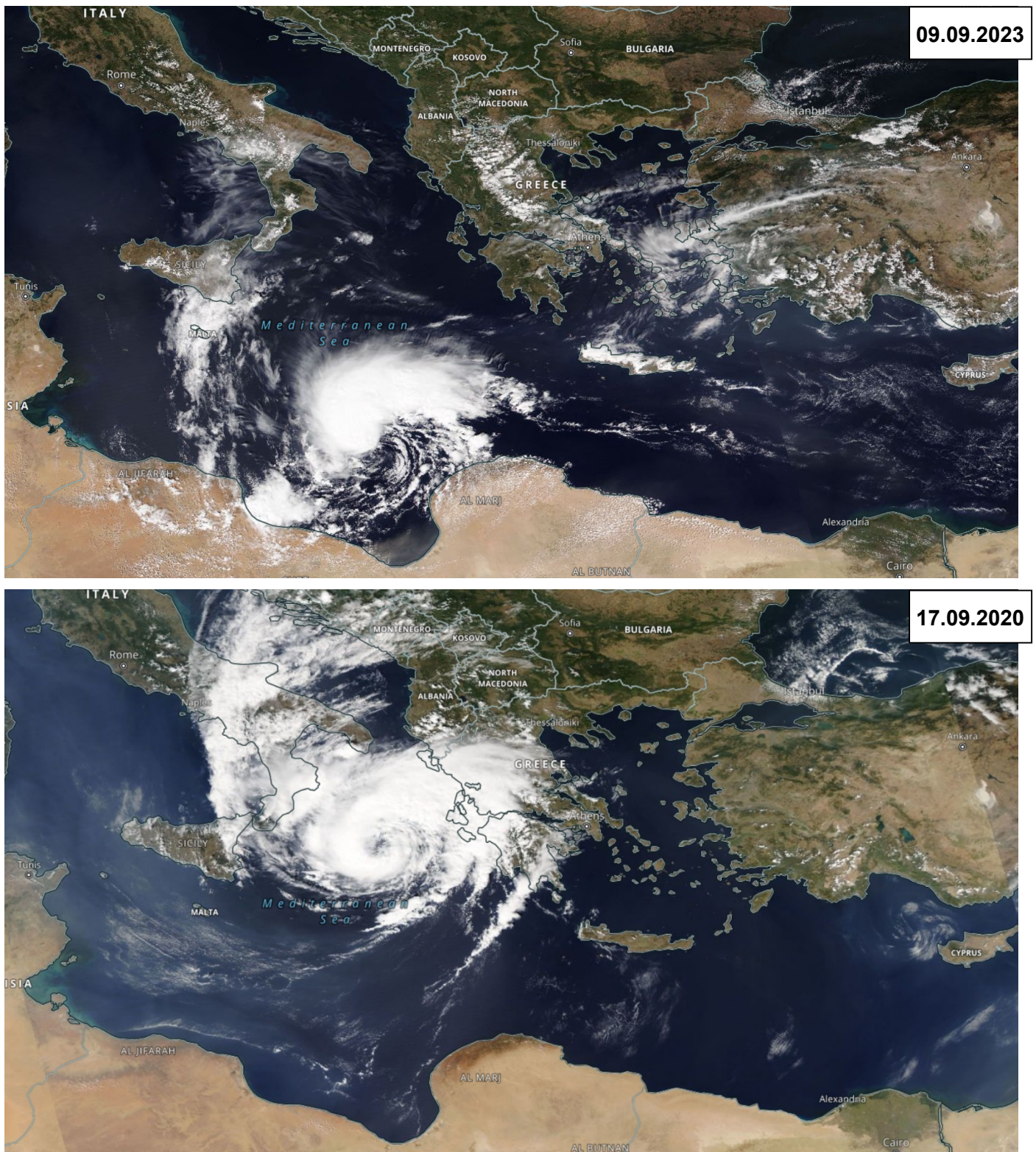
**Abbildung 20:** Langjähriger Mittelwert des Niederschlags im Monat September (1991-2020; Daten: ERA5, <https://cds.climate.copernicus.eu/>).

### 3.2 Medicanes

Medicanes ähneln in ihrem Erscheinungsbild zwar tropischen Wirbelstürmen wie Hurrikanen oder Taifunen, sie erreichen bei Weitem nicht deren Ausdehnung oder Intensität. Sie stellen keine voll ausgebildeten tropischen Wirbelstürme dar. Anders als die tropischen Wirbelstürme weisen Medicanes kaum einen warmen Kern auf, sie entwickeln sich in der Regel unter dem Einfluss eines kalten Höhentiefs. Zudem sind die Wasserflächen des Mittelmeeres nicht ausgedehnt oder warm genug, um einen vollwertigen tropischen Wirbelsturm hervorzubringen oder am Leben zu erhalten. Eine windschwache oder scherungsfreie vertikale Schichtung der Atmosphäre ist im Mittelmeerraum auch nur selten vorhanden. Meist liegt die maximale Intensität eines Medicanes unterhalb derer eines Kategorie 1-Wirbelsturms. Im Gegensatz zu tropischen Wirbelstürmen der Nordhalbkugel bewegen sie sich meist in östliche Richtung. Im Durchschnitt entstehen im Mittelmeerraum 1 bis 2 Medicanes pro Jahr, Libyen gerät allerdings üblicherweise nicht in deren Visier. Die Wortschöpfung „Medicane“ ergibt sich aus den beiden Begriffen „MEDiterranean“ und „hurriCANE“, als hybride Tiefdruckgebiete weisen sie sowohl Eigenschaften eines tropischen Sturms oder Wirbelsturms als auch eines außertropischen Sturmtiefs auf. Eine offizielle Definition eines Medicanes gibt es allerdings nicht.

„Daniel“ entstand zunächst als gewöhnliches Tief südwestlich von Griechenland und entwickelte auf seinem Weg Richtung Große Syrte und Libyen mehr und mehr Eigenschaften eines Medicanes. Das Projekt „Morphed Integrated Microwave Imagery at CIMSS – Total Precipitable Water (MIMIC-TPW)“ an der University Wisconsin in Madison ergab für die Menge des ausfällbaren Niederschlagswassers in der Nähe des Rotationszentrums von „Daniel“ exorbitant hohe Werte von 51 bis 76 mm – Werte, die selbst an der US-Golfküste im Sommer noch beeindruckend wären.

Die Satellitenbilder (Abbildung 21) zeigen die beiden Medicanes „Daniel“ und „lanos“. „lanos“ war für den bisherigen griechischen Landesrekord der größten Tagesniederschlagsmenge von 644,7 mm am 17.09.2020 verantwortlich. Auch wenn mit „Daniel“ in Griechenland noch größere 24-stündige Niederschlagsmengen zusammenkamen, entwickelte das Tief erst auf seinem weiteren nach Süden über der Großen Syrte die Charakteristika eines Medicanes.



**Abbildung 21:** Satellitenbilder des Tiefs und Medicanes „Daniel“ vom 09.09.2023 (oben) und des Tiefs und Medicanes „Ianos“ vom 17.09.2020 (unten; Quelle: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>).

## 4 Auswirkungen und Schäden

### 4.1 Damnbrüche bei Derna

Die Überschwemmungen im Nordosten Libyens am 10.09.2023 forderten nach Angaben der UN bis zum 13.10.2023 insgesamt 4.345 Menschenleben, 8.540 Personen wurden noch vermisst und rund 42.000 Einwohner blieben obdachlos zurück. Rund 10.000 Gebäude wurden in den betroffenen Städten ganz und teilweise zerstört. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die Anzahl der zerstörten, beschädigten oder möglicherweise beschädigten Gebäude in Orten und Städten Nordostlibyens.

**Tabelle 3:** Anzahl der zerstörten, beschädigten und möglicherweise beschädigten Häuser in verschiedenen von Tief „Daniel“ und seinen Auswirkungen betroffenen Städten in Libyen (Quelle: <https://unosat.org/products/>, United Nations Institute for Training and Research).

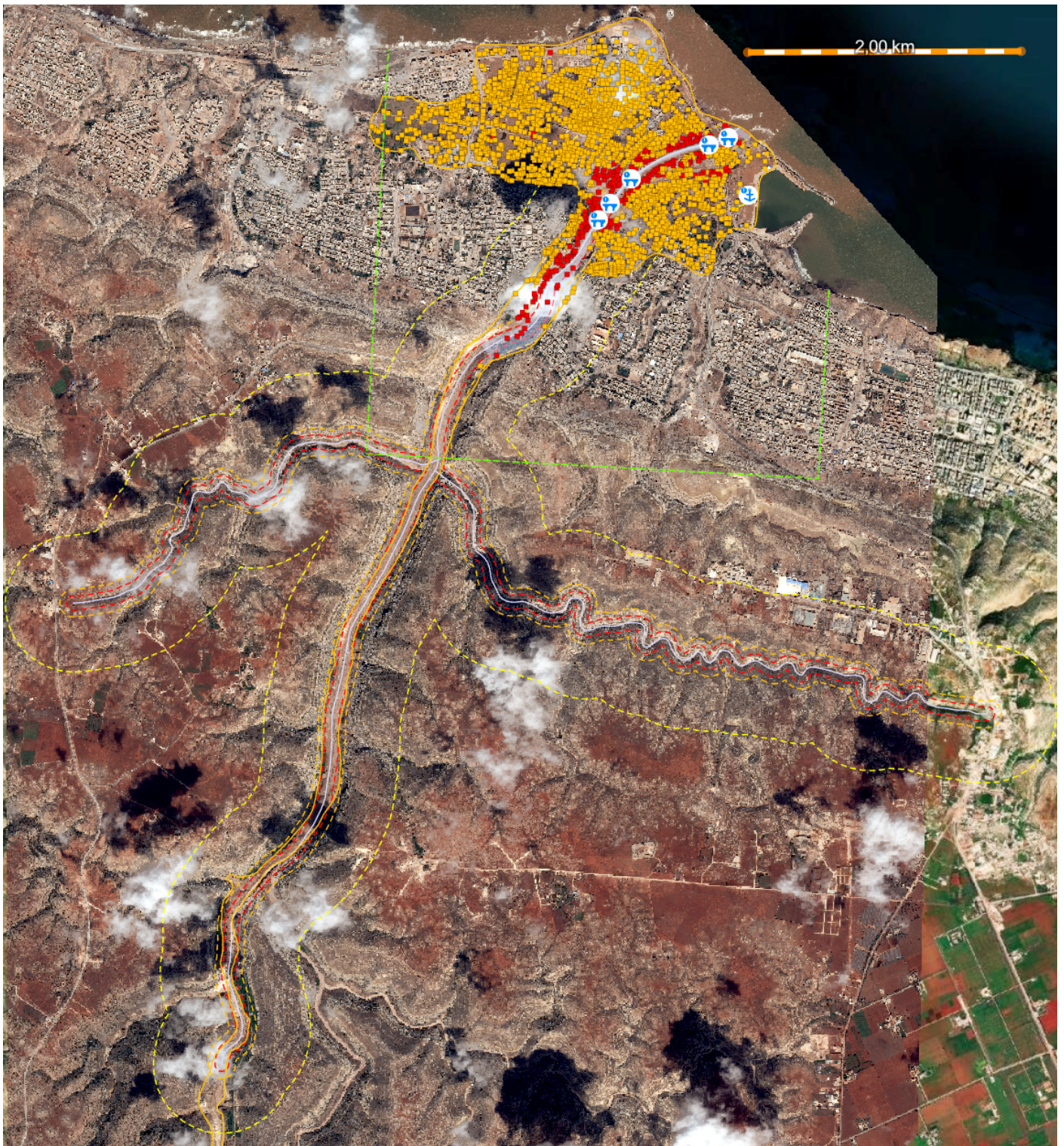
OBJECT ID	Name	Anzahl der Gebäude		
		Zerstört	Beschädigt	Möglicherweise beschädigt
0	Al Bayda	125	134	8919
1	Al Marj	0	33	66
2	Al Tamimi	0	112	16
3	Benghazi	36	3009	10902
4	Derna	876	3100	3
5	Shahat	0	19	79
6	Susah	37	3565	0
7	Tocra	0	0	4

Besonders in Mitleidenschaft gezogen wurde die Stadt Derna mit mehr als 100.000 Einwohnern; die Küstenstadt liegt rund 300 km östlich von Benghazi und 270 westlich der libysch-ägyptischen Grenze. Derna liegt am Ausgang eines schmalen Wadis, der sich über mehrere Kilometer erstreckt. Wadis sind die meiste Zeit trockene Täler, an deren Grund nur in der Regenzeit bzw. nach heftigen Regenereignisse die Flüsse und Bäche zeitweise Wasser führen.

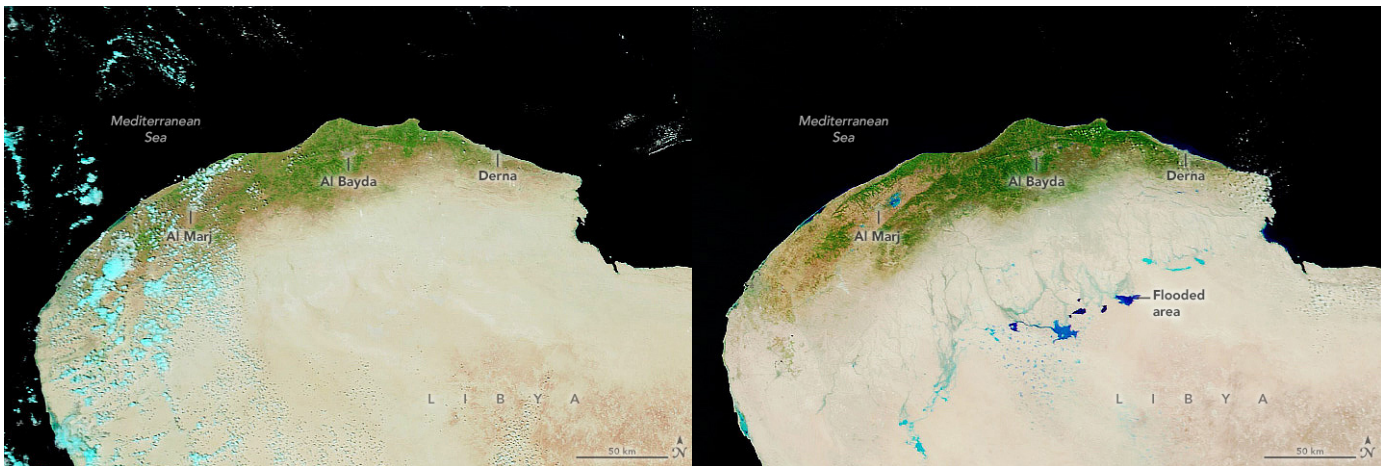
Im Gebiet rund um Derna gingen am 10. und 11.09.2023 70 bis 170 mm Regen nieder. Dem zusätzlichen Wassereintrag hielten zwei Staudämme entlang des Wadis Derna nicht stand und brachen. Es ergossen sich 30 Millionen Kubikmeter Wasser mit einer Flutwelle von 3 bis 7 Metern Höhe mit ungeheurer Wucht in die und durch die Stadt und richtete in ganzen Stadtvierteln großen Schaden an. Die Wassermassen zerstörten rund 4.000 Gebäude in Derna ganz oder teilweise.

Abbildung 22 zeigt ein Satellitenbild der Stadt Derna und der angrenzenden Gebiete. Nach Auswertung der Satellitenbilder wurde jedes zerstörte Gebäude mit einem roten Punkt markiert, orangefarbene Punkte zeigen beschädigte Häuser. Wenig überraschend zieht sich der Korridor mit den vollständig zerstörten Gebäuden vom Ausgang des Wadis Derna bis zu dessen Mündung in das Mittelmeer. Beiderseits des Wadis fächerte im Stadtgebiet die Flutwelle auf und beschädigte auf einer Breite von mehr als zwei Kilometern viele weitere Gebäude teilweise schwer. Fünf Brücken stürzten ein oder wurden unpassierbar, auch der Hafen trug schwere Schäden davon. 80 % der Märkte der Stadt wurden zerstört, was die lokale Lebensmittelverfügbarkeit und -versorgung erheblich beeinträchtigte. Die Wasserfluten beschädigten oder zerstörten rund ein Drittel aller Gebäude der Stadt sowie große Teile der Infrastruktur.

Nicht nur in den Städten im Nordosten Libyens richteten die Niederschläge schwere Schäden an, auch 50 bis 100 Kilometer weiter im Süden bildeten sich größere Überschwemmungsgebiete und Wasserflächen. Allerdings entstanden in den nahezu unbesiedelten Gebieten keine weiteren Schäden. Abbildung 23 zeigt anhand zweier Satellitenbilder vom 7. und 13.09.2023 die neu entstandenen und großflächigen Überflutungsgebiete in niedrig gelegenen Gebieten, Senken und Wadis.



**Abbildung 22:** Gebäudeschäden in Derna (Libyen). Orangefarbene Punkte: Beschädigte Gebäude, rote Punkte: Zerstörte Gebäude. Rote gestrichelte Linie: 50 Meter Puffer. Orangefarbene gestrichelte Linie: 100 Meter Puffer. Gelbe gestrichelte Linie: 500 Meter Puffer um die Flussläufe (Quelle: <https://unosat.org/products/>, United Nations Institute for Training and Research, und United Nations Satellite Center, UNOSAT).



**Abbildung 23:** Satellitenbilder vom 07. (links) und 13.09.2023 (rechts) vor und nach Tief „Daniel“ für die Cyrenaica Region in Libyen. Die neu entstandenen Überflutungsgebiete treten im Satellitenbild rechts als türkisfarbene und dunkelblaue Fläche hervor (Quelle: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151826/torrential-rain-wreaks-havoc-in-libya>).

## 5 Historische Einordnung

„Daniel“ geht als der teuerste und tödlichste Medicanne bzw. Überschwemmungsereignis in Afrika in die Geschichte ein. Kein Flutereignis und kein tropischer Wirbelsturm forderten seit 1900 in Afrika mehr Todesopfer. „Daniel“ verdrängt somit das Flutereignis von 1927 in Algerien auf Platz zwei (Tabelle 4). Auch weltweit führt „Daniel“ die Liste der Stürme oder Wirbelstürme mit den meisten Todesopfern zumindest seit 2013 an, als mit Supertaifun „Haiyan“ auf den Philippinen 7.354 Menschen umkamen. Das letzte Überschwemmungsereignis in Libyen trat 2019 auf, forderte 4 Menschenleben und betraf einige tausend Einwohner.

**Tabelle 4:** Liste der Flutereignisse oder tropischer Wirbelstürme mit den meisten Todesopfern in Afrika seit 1900 (Quelle: emdat.be).

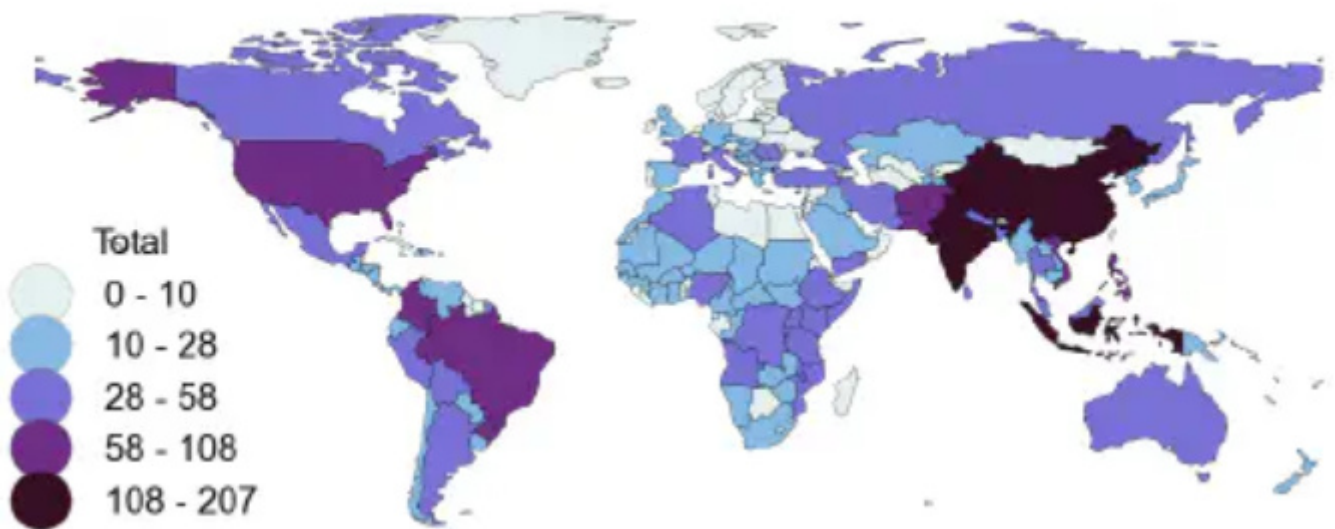
Rang	Art der Katastrophe	Land	Jahr	Todesopfer
1	Flut / Tief "Daniel"	Libyen	2023	> 4000
2	Flut	Algerien	1927	3000
3	Tropischer Wirbelsturm "Freddy"	Malawi, Mozambique, Madagaskar	2023	1434
4	Tropischer Wirbelsturm "Idai"	Mozambique, Zimbabwe, Malawi, Madagaskar	2019	1294
5	Flut	Algerien	1995	921
6	Flut	Nigeria, Niger, Benin, Tschad, Mali, Kamerun	2022	876
7	Tropischer Wirbelsturm "Eline"	Mozambique, Madagaskar, Zimbabwe	2000	800
8	Flut	Marokko	1995	730
9	Flut	DRC, Rwanda, Uganda, Kenya	2023	603
10	Flut	Ägypten	1994	600
11	Flut	Südafrika	2022	544
12	Flut	Tunesien	1969	540

Nach Auswertungen von EMDAT zählen Libyen, Tunesien und Ägypten zusammen mit Botswana und Madagaskar zu den Staaten in Afrika mit den wenigsten Überschwemmungsereignissen (Abbildung 24).

In den fünf afrikanischen Staaten konnten im untersuchten 23-Jahres-Zeitraum nur weniger als 10 Überschwemmungsereignisse festgestellt werden. Die meisten Überschwemmungsereignisse (28 bis 58) traten in Algerien und vor allem in den zentralen und östlichen Ländern des afrikanischen Kontinents auf. Im Osten tragen insbesondere die tropischen Wirbelstürme, die vom Indischen Ozean heranziehen, zu heftigen und großflächigen Niederschlagsmengen bei, wenn sie auf das Festland übertreten und sich weiter landeinwärts verlagern.



## Flood occurrence per country (2000-2022)



**Abbildung 24:** Absolute Anzahl an Überschwemmungsereignissen im Zeitraum 2000 bis 2022 (Quelle: [https://www.emdat.be/images/flood\\_map\\_hu7309fe85381a664f300c6982c78bbf50\\_139970\\_500x0\\_resize\\_q75\\_h2\\_box\\_3.webp](https://www.emdat.be/images/flood_map_hu7309fe85381a664f300c6982c78bbf50_139970_500x0_resize_q75_h2_box_3.webp)).

### Chronik historischer Flutereignisse am Wadi Derna

Der Wadi Derna hat ein Einzugsgebiet von 575 km<sup>2</sup>. In der Vergangenheit traten im Wadi Derna bereits des Öfteren verheerende Flutereignisse auf, benachbarte Wadis haben eine ähnliche Historie.

- **Vor 1940:** Zahlreiche Flutereignisse traten im frühen 20. Jahrhundert in Derna auf. Manche zerstörten Infrastruktur, die während der italienischen Besatzung in den 1920er und 1930er-Jahren entstand.
- **1941:** Ein größeres Überschwemmungsereignis während des Zweiten Weltkrieges spülte deutsche Panzer und andere Kriegsausrüstung hinweg, Soldaten kamen ums Leben. Angaben über genaue Verluste liegen angesichts der Kriegswirren nicht vor.
- **1950er-Jahre:** 1955, 1956 und 1959 verursachten Flutereignisse erhebliche Schäden und forderten zahlreiche Menschenleben. Als besonders folgenschwer erwies sich das Flutereignis des Jahres 1959, als eine Niederschlagsmenge bis 155 mm in wenigen Stunden niederging und verbreitet Schäden entstanden.
- **1968:** Ein mittelschweres Flutereignis hatte nur geringe Schäden zur Folge.
- **1970er-Jahre:** Anfangs der 1970er-Jahre errichtete ein jugoslawisches Unternehmen entlang des Wadis Derna zwei Dämme, um das Überschwemmungsrisiko abzumildern. Der Al-Bilad-Staudamm, etwa 1 Kilometer südlich des Stadtzentrums gelegen, hat eine Speicherkapazität von 1,5 Millionen m<sup>3</sup> und besteht aus verdichtetem Ton mit Stein- und Felswänden. Der 13 Kilometer weiter südlich gelegene Abu-Mansour-Staudamm verfügt über ein deutlich größeres Fassungsvermögen von 22,5 Millionen m<sup>3</sup>.
- **1986:** Es kam zu einer Überschwemmung, bei der zwar ein Materialverlust auftrat, ansonsten aber gut eingedämmt werden konnte.
- **2011:** Es trat ein kleineres Flutereignis auf, das aber keine größeren Schäden verursachte.
- **2023:** Die jüngste Überschwemmung am 11. September 2023 war in ihrer Schwere in den letzten 50 Jahren beispiellos (angesichts der Auswirkungen der Dammbürche), verursachte katastrophale Schäden und führte zum Kollaps der Dämme.

## 6 Zusatzinformationen – Staudämme bei Derna

**Tabelle 5:** Informationen zum Staudamm Derna.

Staudamm Derna	
Damm Typ	Staudamm mit Lehmfüllung
Dammhöhe	75 m
Dammlänge	300 m
Breite des Fundaments	104 m
Staumauer Volumen	735.000 m <sup>3</sup>
Speicherkapazität	18.000.000 m <sup>3</sup>

**Tabelle 6:** Informationen zum Staudamm Mansour.

Staudamm Mansour	
Damm Typ	Staudamm mit Lehmfüllung
Dammhöhe	45 m
Dammlänge	130 m
Breite des Fundaments	56 m
Staumauer Volumen	104.000 m <sup>3</sup>
Speicherkapazität	1.500.000 m <sup>3</sup>

## 7 Literaturverzeichnis / Internetquellen:

- [http://213.239.206.108/Klima/ERA5/NEU/era5\\_1991\\_2020.html#era5\\_1991\\_2020\\_rr\\_m](http://213.239.206.108/Klima/ERA5/NEU/era5_1991_2020.html#era5_1991_2020_rr_m)
- [http://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/The\\_NMCs\\_brief\\_summary\\_of\\_the\\_extreme\\_weather\\_event.pdf?VutXGrHq2g0Od6BOAqalqDaKjp6mkY0Y](http://ane4bf-datap1.s3-eu-west-1.amazonaws.com/wmocms/s3fs-public/ckeditor/files/The_NMCs_brief_summary_of_the_extreme_weather_event.pdf?VutXGrHq2g0Od6BOAqalqDaKjp6mkY0Y)
- <https://catalogue.marine.copernicus.eu/documents/PUM/CMEMS-SST-PUM-010-004-006-012-013.pdf>
- <https://ciesin.columbia.edu/data/gdis-1960-2018/gdis-codebook-june2020.pdf>
- [https://www-cdn.eumetsat.int/files/2022-07/Copernicus\\_OC-SVC\\_Lampedusa\\_AnnexD4\\_Medicanes\\_CNR.pdf](https://www-cdn.eumetsat.int/files/2022-07/Copernicus_OC-SVC_Lampedusa_AnnexD4_Medicanes_CNR.pdf)
- [https://data.marine.copernicus.eu/product/SST\\_MED\\_SST\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_010\\_004/services](https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004/services)
- [https://data.marine.copernicus.eu/product/MEDSEA\\_OMI\\_TEMP\\_SAL\\_sst\\_trend/description?view=-&task=results&product\\_id=-&option=-](https://data.marine.copernicus.eu/product/MEDSEA_OMI_TEMP_SAL_sst_trend/description?view=-&task=results&product_id=-&option=-)
- [https://data.marine.copernicus.eu/product/SST\\_MED\\_SST\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_010\\_004/files?path=SST\\_MED\\_SST\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_010\\_004%2FSST\\_MED\\_SST\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_010\\_004\\_a\\_V2%2F2023%2F09%2F&subdataset=SST\\_MED\\_SST\\_L4\\_NRT\\_OBSERVATIONS\\_010\\_004\\_a\\_V2](https://data.marine.copernicus.eu/product/SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004/files?path=SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004%2FSST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004_a_V2%2F2023%2F09%2F&subdataset=SST_MED_SST_L4_NRT_OBSERVATIONS_010_004_a_V2)
- [https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM\\_3IMERGDL\\_06/summary](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/GPM_3IMERGDL_06/summary)
- [https://downloads.psl.noaa.gov/Datasets/cpc\\_global\\_precip/](https://downloads.psl.noaa.gov/Datasets/cpc_global_precip/)
- <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151826/torrential-rain-wreaks-havoc-in-libya>
- <https://earthobservatory.nasa.gov/images/151851/storm-aftermath-in-derna-libya>
- <https://edition.cnn.com/2023/09/17/africa/un-revises-libya-death-toll/index.html>
- <https://www.emdat.be/news/>
- [https://www.emdat.be/images/flood\\_map\\_hu7309fe85381a664f300c6982c78bbf50\\_139970\\_500x0\\_resize\\_q75\\_h2\\_box\\_3.webp](https://www.emdat.be/images/flood_map_hu7309fe85381a664f300c6982c78bbf50_139970_500x0_resize_q75_h2_box_3.webp)
- [https://experience.arcgis.com/experience/970d0cacd0c24b39b08d844b99a797ae/page/UNOSAT/?data\\_id=widget\\_298\\_output%3A3](https://experience.arcgis.com/experience/970d0cacd0c24b39b08d844b99a797ae/page/UNOSAT/?data_id=widget_298_output%3A3)
- <https://floodlist.com/africa/libya-dozens-feared-dead-after-storm-daniel-brings-flooding-rains>
- <https://www.foxweather.com/weather-news/greece-flooding-storm-daniel-september-2023>
- [https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GPM\\_L3/GPM\\_3IMERGDL\\_06/2023/09/](https://gpm1.gesdisc.eosdis.nasa.gov/data/GPM_L3/GPM_3IMERGDL_06/2023/09/)
- <https://greekcitytimes.com/2023/09/06/rain-record-in-greece-was-broken/>
- <https://www.klimadiagramme.de/>
- <https://libyaobserver.ly/news/yale-university-storm-daniel-deadliest-recorded-african-history>
- <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/4/206>
- <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/am-pdf/10.1002/joc.6669>
- <https://mf-models-on-aws.org/>
- <https://www.nesdis.noaa.gov/news/noaa-20-spots-rare-mediterranean-hurricane-storm#:~:text=Medicanes%20are%20similar%20to%20tropical,Saffir%2DSimpson%20Hurricane%20Wind%20Scale>
- <https://news.italy24.press/local/818249.html>
- <https://www.nytimes.com/2023/09/07/world/europe/greece-turkey-floods.html>
- <https://www.ogimet.com/cgi-bin/gsynres?lang=en&osum=no&state=Liby&fmt=html&ano=2023&mes=09&day=09&hora=00&ord=REV>
- <https://public.wmo.int/en/media/news-from-members/northeastern-regions-of-libya-were-affected-extreme-weather-event-10>
- <https://public.wmo.int/en/media/news/storm-daniel-leads-extreme-rain-and-floods-mediterranean-heavy-loss-of-life-libya>
- <https://reliefweb.int/report/libya/libya-floods-climate-and-infrastructure-catastrophe>
- <https://reliefweb.int/report/libya/libya-floods-fact-sheet-1-fiscal-year-fy-2024>

- <https://reliefweb.int/map/libya/libya-floodsstorm-daniel-accumulated-rainfall-and-potentially-exposed-population-production-date-12-sept-2023>
- <https://reliefweb.int/report/libya/libya-impact-storm-daniel-derna-needs-assessment-report-25-september-2023>
- <https://reliefweb.int/report/libya/libya-storm-daniel-flash-update-4-17-september-2023-displacement-tracking-matrix>
- <https://smcs.unosat.org/event/283>
- <https://wcd.copernicus.org/articles/3/173/2022/wcd-3-173-2022.pdf>
- <https://weather.com/news/weather/video/the-meteorology-behind-two-historic-floods-in-one-week>
- <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>
- <https://www.worldweatherattribution.org/interplay-of-climate-change-exacerbated-rainfall-exposure-and-vulnerability-led-to-widespread-impacts-in-the-mediterranean-region/>
- <https://yaleclimateconnections.org/2023/09/the-libya-floods-a-climate-and-infrastructure-catastrophe/>

---

## 8 Kontakt

### **CEDIM Head Office**

Susanna Mohr  
E-mail: [info@cedim.de](mailto:info@cedim.de)

### **CEDIM Spokesman**

Prof. Dr. Michael Kunz  
E-mail: [kunz@kit.edu](mailto:kunz@kit.edu)

### **KIT Public Relations**

Monika Landgraf  
E-mail: [monika.landgraf@kit.edu](mailto:monika.landgraf@kit.edu)