



.....  
**STRATEGIE** 2016–2025  
.....

STARK DURCH EIN GEMEINSAMES ZIEL



-  **Belgien** Royal Meteorological Institute of Belgium (RMI/KMI)
-  **Dänemark** Danish Meteorological Institute (DMI)
-  **Deutschland** Deutscher Wetterdienst (DWD)
-  **Finnland** Finnish Meteorological Institute (FMI)
-  **Frankreich** Météo-Franc
-  **Griechenland**
-  **Irland** Met Éirean
-  **Island** Icelandic Meteorological Office (IMO)
-  **Italien** Ufficio Generale Spazio Aereo e Meteorologia (USAM)
-  **Kroatien** Meteorological and Hydrological Service of Croatia (DHMZ)
-  **Luxembourg** Air Navigation Administration
-  **Niederlande** Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)
-  **Norwegen** Norwegian Meteorological Institute
-  **Österreich** Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG)
-  **Portugal** Portuguese Sea and Atmosphere Institute (IPMA)
-  **Schweden** Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)
-  **Schweiz** Federal Office of Meteorology and Climatology MeteoSwiss
-  **Serbien** Republic Hydrometeorological Service of Serbia
-  **Slowenien** Meteorological Office, Slovenian Environment Agency (SEA)
-  **Spanien** Agencia Estatal de Meteorología / State Meteorological Agency (AEMET)
-  **Türkei** Turkish State Meteorological Service
-  **Vereinigtes Königreich** Met Office

Mitgliedsstaaten (Januar 2016)

.....

# **STRATEGIE** 2016–2025

.....

**STARK DURCH EIN GEMEINSAMES ZIEL**

# INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort .....	3
Zusammenfassung .....	4
Umfeld: Herausforderungen und Chancen .....	7
Fortschritte in der Meteorologie .....	11
Bereitstellung von globalen Vorhersagen .....	15
Weiterentwicklung des Hochleistungsrechnens .....	18
Unterstützung des EZMW .....	21
Dienste für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten .....	23
Schlussfolgerung .....	27

# VORWORT

Vor vierzig Jahren trat das Übereinkommen in Kraft, mit dem das EZMW geschaffen wurde. Eine Gruppe von europäischen Nationen teilte die Vision, dass ihre Bürger und Volkswirtschaften von einer Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Wetterwissenschaften profitieren würden. Sie bündelten ihre Ressourcen und gründeten ein bis zum heutigen Tage einmaliges Zentrum für die numerische Wettervorhersage. Mit der Konzeption des EZMW sowohl als Forschungsinstitut als auch als rund um die Uhr einsatzbereites Betriebszentrum wurden die Messlatte hoch angesetzt und gleichzeitig die Fundamente für eine erfolgreiche auftragsorientierte internationale Organisation gelegt.

Heute ist die Gruppe der Nationen größer geworden. Wenn wir auf das Erreichte zurückblicken, müssen wir einfach stolz darauf sein, wie die Vorstellungen von damals jetzt Realität geworden sind. Das EZMW gilt als weltweit führend in der globalen numerischen Wettervorhersage („numerical weather prediction“ – NWP), sowohl bei den Innovationen als auch in der Praxis. Seine Vorhersagen, deren höchste Qualität weltweit anerkannt wird, sind heute für eine Vorhersagefrist von 6 Tagen genauso präzise wie vor 30 Jahren für eine Vorhersagefrist von 3 Tagen. Heute ist die räumliche Auflösung dieser Vorhersagen mehr als 20-mal höher als zu Beginn des Zentrums. Sie werden täglich an die nationalen Wetterdienste („national meteorological services“ - NMS) der 34 Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des Zentrums sowie an internationale Partner in der ganzen Welt übermittelt. Wir bieten verlässliche Unterstützung für die Wetterdienste und ermöglichen über WMO-Programme einigen der ärmsten Staaten der Welt, auf lebenswichtige Daten zuzugreifen.

Die Grundlage unserer Strategie für die Jahre 2016–2025 kann in zwei Worten zusammengefasst werden: mehr Zusammenarbeit. Wenn wir betrachten, was mit Zusammenarbeit bereits erreicht wurde, wird klar, dass wir nur so die in der vorliegenden Strategie erläuterten ehrgeizigen Ziele erfolgreich umsetzen werden. Die Partnerschaft zwischen den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW gibt die Richtung vor. Sie unterstützt das Personal des Zentrums, das mehr als 30 Staaten repräsentiert, ermöglicht die Zusammenarbeit mit unabhängigen Fachleuten in der ganzen Welt, die ihr Wissen, ihre Erfahrungen und ihre Erkenntnisse mit uns teilen, und verbindet uns mit den Weltraumagenturen, die unverzichtbare Messungen durchführen. Mit stärkerer Zusammenarbeit werden wir die nächsten großen Herausforderungen in Angriff nehmen können, wie zum Beispiel die Vorhersage der Bandbreite von möglichen Szenarios und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wetter mit großen Auswirkungen bis zu zwei Wochen im Voraus, von großskaligen Wettermustern und Regime-Änderungen bis zu vier Wochen im Voraus und von Anomalien auf globaler Ebene bis zu einem Jahr im Voraus.

Ist diese Vision noch dieselbe wie zu Beginn des Zentrums?

Nein, sie ist es nicht, da in der Wissenschaft der globalen Wettervorhersage so große Fortschritte erzielt wurden. So war es zum Beispiel in den Anfangszeiten des EZMW kaum vorstellbar, dass an einem Tag mehr als 40 Millionen Beobachtungen von mehr als 70 Satelliteninstrumenten verarbeitet werden könnten. Wir waren auch noch nicht imstande, den Meteorologen mithilfe der Ensemble-Vorhersage eine verlässliche Schätzung der Wahrscheinlichkeit zu geben, dass unsere Vorhersagen korrekt sind.

Obwohl schon viel erreicht wurde, reicht dies noch lange nicht aus. Aber Gefahr erkannt ist Gefahr gebannt! Verbesserte Vorhersagen bedeuten weniger Verluste an Menschenleben wegen Extremwetter und weniger zerstörte Existenzen, und eine geringere Beeinträchtigung der Wirtschaft auf nationaler und lokaler Ebene als Folge von Überschwemmungen, Hitze- und Kältewellen, tropischen Stürmen und Orkanen.

Die vorliegende Strategie wurde in Zusammenarbeit mit allen unseren Partnern entwickelt. Sie wird dazu beitragen, Vorhersagen bereitzustellen, die für die Menschen von immer größerem Nutzen sein werden. Mit ihr werden die langfristigen Vorhersagen für Europa verbessert werden, und sie wird dazu beitragen, dass diejenigen, die diese Vorhersagen benötigen – Katastrophenschutz, öffentliche Hand und der einzelne Bürger – das Rüstzeug bekommen, das sie zur Entscheidungsfindung brauchen, und über den Grad der Zuverlässigkeit jeder unserer Vorhersagen informiert werden.

Wir haben Fortschritte in der Wissenschaft erzielt und unsere Vorhersagen verbessert. Es muss aber noch viel mehr getan werden, und wir stellen uns diesen Herausforderungen.

**Gerhard Adrian**  
Präsident des EZMW-Rats



*Ratsmitglieder und Direktoren des EZMW im Dezember 2015*

# ZUSAMMENFASSUNG

## ZIELE BIS 2025

Lieferung von Vorhersageinformationen, die benötigt werden, um einen Beitrag zur Rettung von Menschenleben, dem Schutz der Infrastruktur und der Förderung der wirtschaftlichen Entwicklung in den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten zu leisten, durch:

**Forschungsarbeiten in den Grenzbereichen des Wissens, um ein integriertes globales Modell des Geosystems zur Erstellung von immer zuverlässigeren Vorhersagen mit Vorhersagefristen von bis zu einem Jahr zu entwickeln. So werden die schwierigsten Probleme in der numerischen Wettervorhersage in Angriff genommen werden, wie zum Beispiel die derzeit recht geringe Vorhersage-Skill für das Wetter in Europa von einem Monat im Voraus erstellten Vorhersagen.**

**Operationelle Ensemble-gestützte Analysen und Vorhersagen, mit denen die Bandbreite der möglichen Szenarien und die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens beschrieben und international die Messlatte für Qualität und betriebliche Zuverlässigkeit höher gesetzt werden. Im Jahr 2016 ist die Vorhersagegüte von mittelfristigen Wettervorhersagen bis zu einer Vorhersagefrist von einer Woche im Durchschnitt recht gut. Ziel ist es, bis 2025 gute Ensemble-Vorhersagen von Wetter mit großen Auswirkungen bis zu zwei Wochen im Voraus abzugeben. Mit der Entwicklung eines nahtlosen Ansatzes beabsichtigen wir zudem, großskalige Wettermuster und Änderungen der Großwetterlage bis zu vier Wochen im Voraus und globale Anomalien bis zu ein Jahr im Voraus vorherzusagen.**

Die Zielsetzung des EZMW hat sich seit seiner Gründung nicht geändert und besteht laut seinem Übereinkommen darin, **Kapazitäten für die mittelfristige Wettervorhersage zu entwickeln und diese für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten bereitzustellen.** Das EZMW entwickelt und betreibt rund um die Uhr globale Modelle und Datenassimilationssysteme für die dynamischen und thermodynamischen Eigenschaften sowie die Zusammensetzung der gasförmigen und flüssigen Hülle der Erde und der interaktiven Komponenten des Geosystems.



---

## Herausforderungen und Chancen

---

In den letzten Jahren erzielte Fortschritte in Wissenschaft und Technik lassen es sinnvoll erscheinen, zu versuchen, verschiedene Aspekte des Wetters noch weiter im Voraus vorherzusagen. Gleichzeitig machen sie auch deutlich, dass die Gesellschaft in zunehmenden Maße auf präzise und zuverlässige Wettervorhersagen angewiesen ist. In den letzten Jahren wurden gute und manchmal auch weniger gute Vorhersagen verzeichnet; sie haben jedoch deutlich gemacht, dass die Entwicklung hin zu einem umfassenden Geosystem-Ansatz verläuft.

Wir vertreten die Auffassung, dass in den nächsten zehn Jahren auf die bei der Datenassimilation, Modellentwicklung, Schätzung der Unsicherheit und Koppelung der Geosystem-Komponenten bereits erzielten Fortschritte aufgebaut werden sollte, um die numerische Wettervorhersage deutlich zu verbessern. Dies bedeutet auch, dass die großen rechnerischen Herausforderungen, vor denen die Meteorologie steht, in Angriff genommen werden müssen, insbesondere große Datenmengen ("big data") und die rechnerische Effizienz.

---

## Planung bis 2025

---

Um diese Ziele im von der nächsten Strategie abgedeckten Zeitraum zu verwirklichen, müssen die wissenschaftlichen Grundlagen der Meteorologie weiterentwickelt und die numerische Wettervorhersage verbessert werden, wofür eine Mischung aus Talent und Technik benötigt wird, die Folgendes voraussetzt:

- attraktive Arbeitsbedingungen und ein ansprechendes Umfeld, um die benötigten begabten Mitarbeiter zu gewinnen und zu halten
- Anregung und Realisierung von internationalen wissenschaftlichen und informationstechnischen Gemeinschaftsprojekten mit Partnern in den Mitgliedsstaaten und weltweit
- eine leistungsstarke, energieeffiziente und stabile Infrastruktur, einschließlich Hochleistungsrechenanlagen, bei der systematisch darauf geachtet wird, die Auswirkungen auf die Umwelt auf ein Minimum zu beschränken
- skalierbare, effiziente Modelle und dazugehörige Codes, die einen umfassenden Ansatz für das Geosystem erlauben

---

## Dienste für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten und weitere Partner

---

In der Strategie ist ebenfalls eine Verbesserung der Dienste vorgesehen, die das EZMW entwickelt und für seine Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten sowie für andere Partner in der Meteorologie zur Verfügung stellt, insbesondere in den folgenden Bereichen:

## GEOSYSTEM FÜR DIE WETTERVORHERSAGE

Der Ausdruck „Geosystem“ bezieht sich in der Wettervorhersage auf die gasförmige und flüssige Hülle der Erde und die Wechselwirkungen an deren Berandung. Die Komponenten des Geosystems (Atmosphäre, Ozeane, Meereis, kontinentale Landmassen) beeinflussen das Wetter in starkem Maße. Die Modellierung der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten kann deshalb zur Verbesserung der Wettervorhersagen beitragen. So hat zum Beispiel die Modellierung der Ozeane im integrierten Vorhersagesystem sowohl zu besseren Mittelfristvorhersagen als auch zu besseren Monats- und Jahreszeitenvorhersagen geführt. Ein Geosystem-Ansatz bedeutet, die Wechselwirkungen zwischen so vielen Komponenten des Geosystems wie nötig mit dem erforderlichen Komplexitätsgrad darzustellen, um so unsere Ziele für die Zukunft zu verwirklichen.

- dedizierte Superrechner-Kapazitäten und spezialisierte Software für Mitgliedsstaaten
- ein umfassendes meteorologisches Datenarchiv, das innerhalb und außerhalb des EZMW genutzt werden kann
- globale Reanalysen und Nachhersagen
- spezialisierte Fortbildung für die Modellierung des Geosystems und dessen Vorhersage
- dauerhafte Partnerschaft mit der Weltorganisation für Meteorologie (WMO), über die die ärmsten Nationen der Welt Zugriff zu lebensrettenden Daten erhalten
- Anfangs- und Randbedingungen für regionale hochaufgelöste Wettervorhersagemodelle, die von den Teilnehmern am fakultativen Programm benötigt werden
- zusätzliche betriebliche Tätigkeiten, wie zum Beispiel Atmosphärenüberwachung, Überschwemmungsvorhersage und Klimawandel-Dienste, unterstützt von Drittpartnern

In der vorliegenden Strategie werden die Ziele für die kommenden zehn Jahre definiert. Sie wird nach fünf Jahren überarbeitet werden, um mit den Entwicklungen in Wissenschaft und Technik Schritt zu halten. Zusätzlich wird das Vierjärestätigkeitsprogramm, das den Umsetzungsplan für die vorliegende Strategie darstellt, jedes Jahr aktualisiert werden und somit einen gleitenden Vierjahreszeitraum abdecken, und jährlich von den beratenden Ausschüssen und dem Rat des EZMW überprüft werden. So kann das EZMW bei der Umsetzung der Ziele Prioritäten setzen und diese an die Umstände anpassen, wie zum Beispiel die Verfügbarkeit von Ressourcen und die in der Forschung und Entwicklung erzielten Fortschritte.



# UMFELD: HERAUSFORDERUNGEN UND CHANCEN

## Die Größe der Herausforderung

Die Bevölkerungsdichte, die Beschaffenheit von besiedelten Gebieten und ein sich wandelndes Klima haben dazu geführt, dass die Gesellschaft heute in stärkerem Maße Gefährdungen durch das Wetter und andere Aspekte der natürlichen Umgebung ausgesetzt ist. Wetterinformationen werden überall benötigt; sie beeinflussen Menschen, Unternehmen, politische Entscheidungsträger, Regierungen und die Gesellschaft in ihrer Gesamtheit. Mit der Verbesserung der Qualität der Wettervorhersage ist der Wert dieser Informationen gestiegen, weshalb auch die Erwartungen, dass noch weitere Verbesserungen erzielt werden können, stark gestiegen sind. Wettervorhersagen retten nicht nur Menschenleben und begrenzen materielle Schäden. Derartige, im Voraus verfügbare Informationen schaffen für viele Wirtschaftsbereiche auch neue Chancen, da sie die Steuerung von wetter- und klimabedingten Risiken möglich machen. Diese Möglichkeiten werden dann genutzt werden können, wenn Wissenschaft, numerische Vorhersagen und Nutzeranforderungen voll aufeinander abgestimmt sind.

Das EZMW ist eine Erfolgsgeschichte der wissenschaftlichen und technischen Zusammenarbeit in Europa. Es verfügt heute über 34 Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten (doppelt so viele wie zu Beginn), die auf dem Gebiet der numerischen Wettervorhersage (NWP) kooperieren. Das EZMW setzt auf Partnerschaften; die vorliegende Strategie wird ohne Zusammenarbeit nicht verwirklicht werden können. Das EZMW ist Teil der europäischen meteorologischen Community, die seit Gründung des Zentrums 1975 stark gewachsen ist und weiter wächst. Jede Zusammenarbeit beruht darauf, dass die Partner sich gegenseitig ergänzen. Das EZMW arbeitet eng mit den nationalen Wetterdiensten zusammen, die dafür zuständig sind, für ihre Nutzer Unwetterwarnungen und allgemeine Wetterdienste bereitzustellen. Das EZMW unterstützt die nationalen Wetterdienste, indem es ihnen globale Vorhersagen liefert, die deren NWP-Kapazitäten ergänzen. Die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW haben unterschiedliche meteorologische Bedürfnisse und Kompetenzen. Das EZMW nimmt in diesem sich ständig weiterentwickelnden Umfeld eine zentrale Stellung ein. Es konzentriert sich nicht nur auf die Anforderungen, die für alle Mitgliedsstaaten identisch sind, sondern erfüllt darüber hinaus auch individuelle Bedürfnisse.

Volumen und Vielfalt der Erdbeobachtungen aus dem Weltraum steigen ständig. Das EZMW ist auf die von EUMETSAT gelieferten Satellitenbeobachtungen von hoher Qualität angewiesen und arbeitet eng mit EUMETSAT zusammen, um die Nutzung der operationellen Satelliten zu optimieren. Es besteht auch eine Zusammenarbeit mit der ESA, um neue Satellitenforschungsmissionen zu

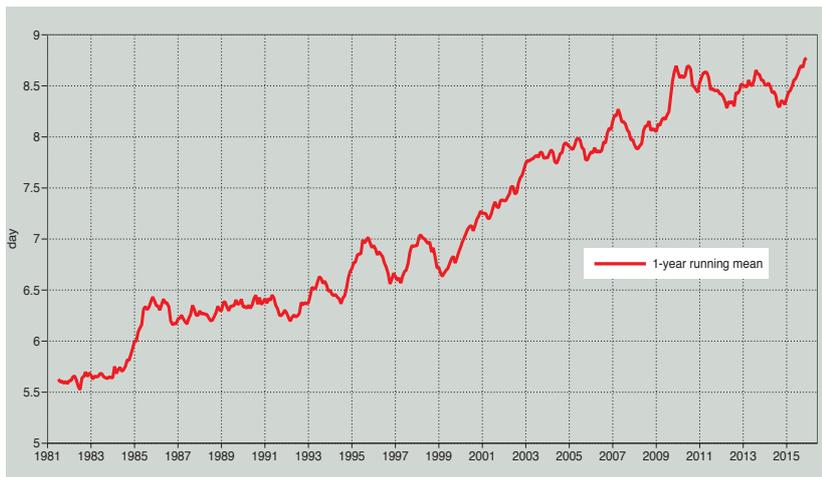
## ZUSAMMENARBEIT MIT DEN NATIONALEN WETTERDIENSTEN

Das EZMW arbeitet mit den nationalen Wetterdiensten in Europa zusammen, indem es ihnen wichtige globale NWP-Daten liefert und Unterstützung bietet. Diese Zusammenarbeit ist vielseitig und umfasst die Bereiche Forschung, numerische Wettervorhersage, Hochleistungsrechnen und Fortbildung. So können zum Beispiel Ideen aus den Mitgliedsstaaten gemeinsam mit dem EZMW verwirklicht werden, falls das Zentrum hierfür entsprechende Ressourcen anbieten kann. Umgekehrt kann auch das EZMW eine Initiative leiten und mit den Mitgliedsstaaten zusammenarbeiten, die über entsprechendes Fachwissen verfügen oder Interesse an der gemeinsamen Entwicklung von Lösungen haben, was zum Beispiel im Rahmen des Programms Skalierbarkeit geschieht. Das Zentrum stellt eine gemeinsame europäische Ressource dar, das für seine Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten effiziente Dienste von hoher Qualität anbietet.

evaluieren. Darüber hinaus arbeitet das EZMW eng mit vielen Weltraumagenturen der Koordinierungsgruppe für meteorologische Satelliten (Coordinating Group for Meteorological Satellites) der WMO (insbesondere aus China, Japan, Indien und den Vereinigten Staaten) sowie mit den nationalen Organisationen zusammen, die für die Bereitstellung von konventionellen Beobachtungen zuständig sind. Dies wird es dem EZMW erlauben, auch weiterhin eine aktive Rolle bei der Festlegung der Nutzeranforderungen für neue Beobachtungen im integrierten globalen Beobachtungssystem (Integrated Global Observing System) der WMO zu spielen und so die Weltraumagenturen bei der Planung von zukünftigen Programmen zu unterstützen.

Die akademische Forschung im Bereich Wetter- und Klimawissenschaften ist in Europa und anderswo sehr stark expandiert. Private Wetterdienste sind entstanden und Unternehmen machen zunehmend Gebrauch von Wettervorhersagen und Umweltinformationen. Es bestehen neue Gelegenheiten für das EZMW, Partnerschaften mit Wissenschaftlern und Organisationen weltweit aufzubauen. So bietet insbesondere die WMO den Rahmen für viele kollaborative Arbeiten sowohl in der Forschung als auch in der operationellen Wettervorhersage. Da EZMW spielt auch hier eine wichtige globale Rolle, indem es einen Beitrag zu den strategischen Zielen der WMO leistet.

Als das EZMW 1975 eröffnet wurde, steckte die globale NWP noch in den Kinderschuhen. Die Schaffung des Zentrums beruhte auf der kühnen Vision, dass die Frist,



*Entwicklung der EZMW-Vorhersagegüte für die Mittelfrist in den letzten 35 Jahren. Das Schaubild zeigt die Zahl der Tage, an denen die Vorhersagen nützliche Informationen enthalten. Dies wird definiert als der letzte Tag, bevor die Anomaliekorrelation der Geopotential-Höhe bei 500 Pa für die nördliche Hemisphäre unter 60 % fällt.*

für die genaue Wettervorhersagen abgegeben werden können, von damals zwei Tagen auf zehn Tage verlängert werden könnte, was damals ein unglaublich ehrgeiziges Ziel darstellte. Angesichts der damals vorhandenen geringen Superrechnerleistung und spärlichen Beobachtungen von Satelliten war dies in der Tat eine kühne Vision. Seitdem wurden außerordentlich große Fortschritte beim wissenschaftlichen Verständnis der Faktoren erzielt, die die Vorhersagegüte bestimmen. Heutzutage sind Datenassimilation, Ensembles, die eine Reihe von wahrscheinlichen Szenarien liefern, und die Berücksichtigung des Einflusses der Geosystem-Komponenten auf das Wetter unabdingbar für die Erstellung von Wettervorhersagen. Es können nur dann genaue und zuverlässige Mittelfrist-Vorhersagen erstellt werden, wenn die globalen Kurzfristvorhersagen, wie zum Beispiel 12-stündige Vorhersagen, sogar noch genauer sind. Dies könnte es uns erlauben, den Zeitraum, für den wir verschiedene Bestandteile des Wetters voraussagen, zu verlängern. Zehn Tage gelten nicht mehr als eine unüberwindliche Grenze. Probabilistische Wettervorhersagen und Monats- und Jahreszeitenvorhersagen mit Ensembles, basierend auf dem Anfangswert-Ansatz, bieten echte Chancen für weitere wissenschaftliche Fortschritte. Die vorliegende Strategie stützt sich zweifelslos auf die vorherige Strategie des EZMW. Das derzeitige Umfeld führt jedoch auch dazu, dass die globale NWP bereit ist, mit kühnen Schritten diese Herausforderungen und Chancen in Angriff zu nehmen.

Weitere Fortschritte in der Wissenschaft und die Verfügbarkeit von neuen Beobachtungen zum Beispiel von neuen Satelliteninstrumenten führen dazu, dass sich die globale numerische Wettervorhersage zu einer umfassenden numerischen Umweltprognose entwickelt. Die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten und der Wert der Umweltinformationen nehmen zu, wie auch die Bedeutung des freien Zugangs zu diesen Daten. Durch die Aufnahme einer großen Bandbreite von Geosystem-Komponenten werden die Modelle zunehmend komplexer. Umweltüberwachung und Vorhersagedienste (wie zum Beispiel das Copernicus-Programm) bieten Gelegenheiten für das EZMW, gestützt auf seine Erfahrungen im Bereich der Meteorologie und in der Überleitung von Forschungsarbeiten in operationelle Projekte eine umfassendere Rolle zu übernehmen. Für diesbezügliche

Forschungsarbeiten und die Bereitstellung von operationellen Ressourcen gibt es inzwischen eine Vielzahl von Finanzierungsquellen, was die Umsetzung dieser Strategie erleichtern wird.

Seit den Anfängen des EZMW stehen Hochleistungsrechenanlagen (HPC) im Mittelpunkt seiner Tätigkeiten. Ein signifikanter Teil der Rechenkapazitäten des EZMW wird von den Mitgliedsstaaten genutzt. Dieser Anteil ist noch weiter gestiegen und wird jetzt für Forschungsarbeiten und die operationelle Vorhersage verwendet. Ein Anstieg der Rechenleistung auf Exascale-Ebene in den zwanziger Jahren dieses Jahrhunderts wird durch neue Superrechner-Architekturen mit erhöhter Parallelität erreicht werden. Die Anpassung der Modell-Codes, um sie so effizient wie möglich zu gestalten, war schon immer eine wichtige Aufgabe für das EZMW. Zukünftige Anforderungen an das Computing und die Beschaffenheit der Rechenanlagen der nächsten Generation bedeuten jedoch, dass dieser Aufgabe noch eine viel größere Bedeutung zukommen wird. Das EZMW muss auf die Auswirkungen seiner gesamten Tätigkeiten auf die Umwelt reagieren und seinen ökologischen Fußabdruck minimieren, nicht zuletzt, da seine Rechentätigkeiten auch in Zukunft große Mengen an Energie verbrauchen werden. Darüber hinaus wird wegen höherer Auflösungen, Ensembles und der Bereitstellung von maßgeschneiderten Ausgabedaten das Volumen der Vorhersagedaten weiter stark steigen. Gleichzeitig wird die Bereitstellung von Daten sich nicht mehr länger auf Datenspeicher und Datenlieferungen beschränken; künftig werden Rechenleistungen auch dort erbracht werden, wo die Daten gespeichert sind. Die Allgegenwart von „Big Data“ und deren Verschmelzen mit HPC wird Möglichkeiten schaffen, die auf Modellierung und Datenanalyse beruhen. Überall in der Welt stehen Meteorologen und Klimatologen vor denselben, oben beschriebenen Herausforderungen. Wir beabsichtigen, sie durch intensive internationale Zusammenarbeit gemeinsam anzugehen.

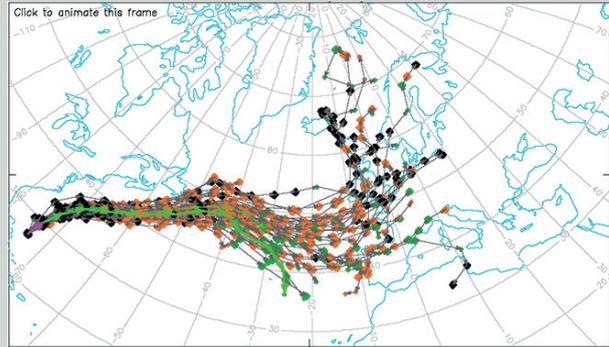
Abschließend ist darauf hinzuweisen, dass das Umfeld der vorgestellten Strategie schnellen Änderungen und Weiterentwicklungen ausgesetzt ist. Nachstehend werden zwei Beispiele für Wettervorhersagen vorgestellt, die einige der Herausforderungen verdeutlichen, zu deren Lösung die vorliegende Strategie beitragen soll.

## VERBESSERUNG UNSERER VORHERSAGEN – FALLBEISPIEL 1

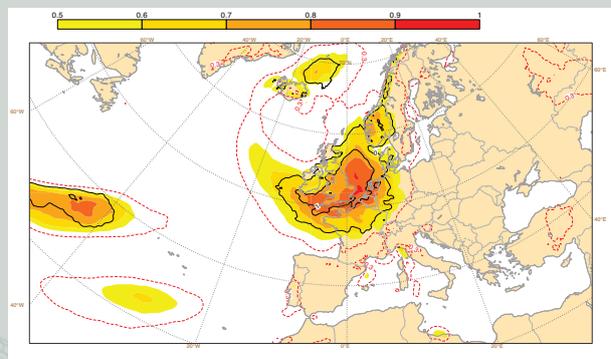
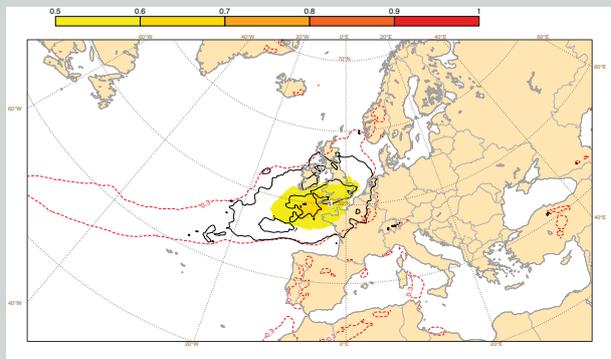
### Übergang von einem tropischen zu einem extra-tropischen Zyklon – 6. Vorhersagetag

Bertha war ein tropischer Sturm im Nordatlantik, der für kurze Zeit als Orkan der Kategorie 1 eingestuft wurde. Auf dem Weg entlang der Küste Nordamerikas nach Nordosten erfolgte der Übergang in einen extra-tropischen Sturm, der dann weiter nach Osten über den Atlantik zog (Abbildung 1). Bertha verursachte heftige, zu großen Schäden führende Winde und starke Regenfälle in Teilen Nordwesteuropas. Die Vorhersage dieses Wettersystems enthielt hohe Unsicherheiten, worauf die starke Streuung der von den Einzelvorhersagen, den sogenannten „Members“, des Ensembles vorausgesagten Sturmbahnen (siehe Abbildung 1) hinweist. In einigen Einzelvorhersagen bildete sich das Sturmsystem zurück und erreichte Westeuropa nicht, in anderen wurde ein extrem starker Wirbelsturm vorhergesagt, der schwere Schäden hätte anrichten können. Der Extreme Vorhersageindex (siehe Abbildung 2) verweist bereits eine Woche vor dem Ereignis auf einen möglichen Sturm über Nordwesteuropa, erst ein paar Tage vor dem Ereignis konnte jedoch der Standort genau vorhergesagt und das Auftreten des Sturms mit hoher Wahrscheinlichkeit vorhergesagt werden.

Vorhersagen des Übergangs zu einem extra-tropischen Sturm sind besonders schwierig, was zum Teil darauf zurückzuführen ist, dass die Auflösung der Darstellung des in der Entstehung befindlichen tropischen Sturms begrenzt ist, und zum Teil darauf, dass die Ankoppelung an ein Ozeanmodell eine wichtige Rolle spielt. Mit besserer Modellauflösung und -ankoppelung werden wir die Darstellung von tropischen Zyklonen verbessern können, was sich positiv auf die Vorhersage des Übergangs zu einem extra-tropischen Sturm auswirken wird. Wir erwarten, dass sich die Streuung der Ensemble-Vorhersagen (ENS) der Stärke und der Sturmbahn des Zyklons verringern wird, was dazu führen wird, dass unsere Vorhersagen früher und genauer vor Unwettern warnen können.



**Abbildung 1.** Sturmbahnen von Bertha in die Extra-Tropen, vorhergesagt von der Ensemble-Vorhersage (ENS - graue Linien), der Kontrollvorhersage (dünne grüne Linie) und der hochauflösenden Vorhersage (HRES - dicke grüne Linie). Der Sturm erreicht Westeuropa etwa am 6. Vorhersagetag.



**Abbildung 2.** Extremer Vorhersageindex für Windgeschwindigkeiten zwischen 10. und 12. August 2014; die Vorhersagen wurden 6 bis 9 Tage im Voraus (oben) bzw. 2 bis 5 Tage im Voraus (unten) erstellt.

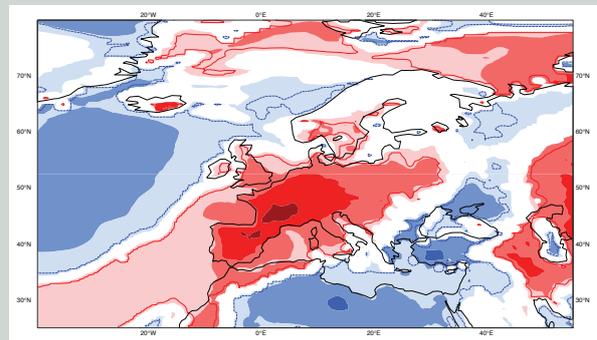
### Hitzewelle in Europa – 3. Vorhersagewoche

Im Sommer 2015 wurde Europa von einer Hitzewelle heimgesucht. Sie begann im Juli in Westeuropa und erreichte ihren Höhepunkt zwischen dem 29. Juni und dem 7. Juli 2015, als vielerorts in Europa mehrere Temperaturrekorde gebrochen wurden. Hierzu gehören die höchste jemals erreichte Temperatur in Deutschland (5. Juli), der Hitzerekord für die Schweiz nördlich der Alpen (7. Juli), der Tag mit der zweithöchsten jemals in Paris gemessenen Temperatur, der Junirekord für Madrid (29. Juni) und der Julirekord für das Vereinigte Königreich (1. Juli).

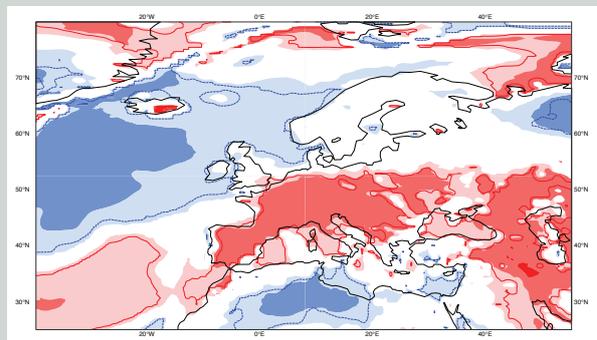
Abbildung 3 zeigt die entsprechenden Monatsvorhersagen für Westeuropa der wöchentlichen Durchschnittsanomalien im Vergleich zur Modellklimatologie, die ein paar Tage bis ein paar Wochen vor dem Ereignis erstellt wurden. In der zweieinhalb Wochen vor der Hitzewelle erstellten (am 18. Juni initialisierten) Vorhersage wird eine Wärme-Anomalie für Europa vorhergesagt, und in der Vorhersage vom 22. Juni hat sich die vorhergesagte Hitzewelle noch verstärkt. Die am 15. Juni, also drei Wochen vor dem Ereignis erstellte Vorhersage enthält jedoch noch kein Signal.

Neue Wege in der Forschung werden uns helfen, die Ursachen der Vorhersagbarkeit für diese Vorhersagefristen besser zu verstehen und das Integrierte Vorhersagesystem (IFS) weiterzuentwickeln, um das vorhersagbare Signal zu extrahieren. Ziel der Strategie ist es, die Leistung der Vorhersage von den derzeitigen zweieinhalb auf drei und mehr Wochen im Voraus auszuweiten. So könnten den nationalen Wetterdiensten (NMS) Warnungen vor Hitzewellen und Kälteperioden mit längerer Vorlaufzeit geliefert werden.

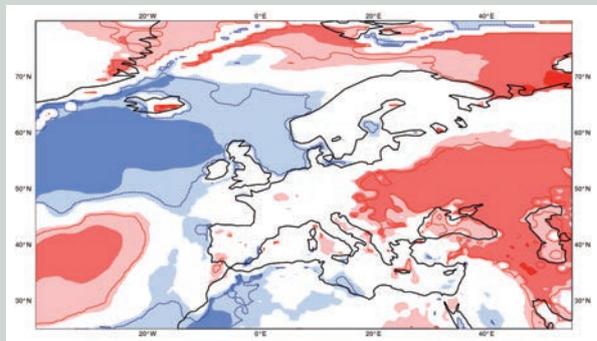
22 June



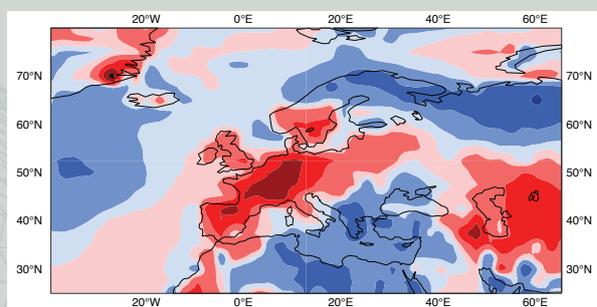
18 June



15 June



Analysis



**Abbildung 3.** Vorhersage der 2 m-Temperatur: Wöchentliche Anomalie für den Zeitraum vom 29. Juni bis 5. Juli aus der Analyse (unten) und den am 22. Juni (oben), am 18. Juni (darunter) und am 15. Juni (darunter) initialisierten.

# FORTSCHRITTE IN DER METEOROLOGIE

Eines der beiden Hauptziele des EZMW ist die Durchführung von Forschungsarbeiten, die zu Verbesserungen der operationellen Vorhersagemodelle führen werden. Um die in dieser Strategie als Ziel genannte Vorhersagequalität zu erreichen, sind Forschungsarbeiten nötig, mit denen die Vorhersagegüte des Modells und die Qualität des Datenassimilationssystems deutlich verbessert werden können. Das EZMW wird Forschungsarbeiten in den Grenzbereichen des Wissens durchführen, um ein integriertes globales Modell des Geosystems zur Erstellung von immer zuverlässigeren Vorhersagen mit Vorhersagefristen von bis zu einem Jahr zu entwickeln. So werden die schwierigsten Probleme der globalen numerischen Wettervorhersage in Angriff genommen werden, wie zum Beispiel die derzeit recht geringe Vorhersagegüte für das Wetter in Europa für einen Monat im Voraus.

Um die Vorhersagegüte in der Mittelfrist zu verbessern, muss im kommenden Jahrzehnt vor allem an den beiden folgenden wissenschaftlichen Zielen gearbeitet werden:

**A Modellierung des Geosystems: stärkere Berücksichtigung der Komplexität der physikalischen und chemischen Prozesse und des Zusammenspiels von Atmosphäre, Ozean, Meereis und Landoberflächen im Modell**

**B Verbesserung der Vorhersagegüte: durch eine genauere Schätzung des Anfangszustands und eine einheitliche Darstellung der den Beobachtungen und dem Modell inhärenten Unsicherheiten, sowohl in den Anfangsbedingungen als auch in der Vorhersage**

Forschungsarbeiten in den Grenzbereichen der Wetterwissenschaften durchgeführt und neue Methoden erprobt werden, mit denen Güte und Zuverlässigkeit der Vorhersagen noch weiter verbessert werden können. Dies wird in internationaler Zusammenarbeit mit den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten sowie mit Wetterdiensten, Universitäten und Rechenzentren weltweit durchgeführt werden. So wird sich das EZMW zum Beispiel intensiv am Weltwetter-Forschungsprogramm beteiligen, dessen Schwerpunkt auf drei Hauptprojekten zu den Themen Wetter mit großen Auswirkungen, Polarvorhersage und subsaisonale bis saisonale Vorhersage liegt. Das EZMW wird darüber hinaus an Themen arbeiten, die zum Weltklima-Forschungsprogramm gehören und für die Ziele der Wettervorhersage von Bedeutung sind.

Um die Auswirkungen der Forschungsarbeiten des EZMW zu beurteilen, insbesondere seines Beitrags zur globalen Forschung, werden quantitative Ziele festgelegt werden, einschließlich für Veröffentlichungen, Zitierungen und den Erfolg von Bewerbungen um Drittmittel. Ein besonderes Gewicht wird auf Indikatoren für eine erfolgreiche Zusammenarbeit in der Forschung gelegt werden.

## A Modellierung des Geosystems

Zur Weiterentwicklung des Geosystem-Modells müssen sowohl dessen einzelne Komponenten verbessert als auch zusätzliche Komponenten, falls sie zur Verbesserung der Vorhersagegüte beitragen können, in das Modell aufgenommen werden.

### Modellentwicklung

Die Modelle für die numerische Wettervorhersage haben sich von Modellen der atmosphärischen Flüsse mit grober Auflösung zu hochaufgelösten Vorhersagemodellen des physikalisch komplexen Geosystems entwickelt. Derzeitige Vorhersagemodelle lösen Bewegungen bis zu einer Größenordnung von etwa zehn Kilometern auf und sind an Landoberflächen- und Ozeanmodelle angekoppelt. Um die Vorhersagezuverlässigkeit zu erhöhen, werden neue Modellkomponenten und eine höhere räumliche Auflösung benötigt.

Eine Begrenzung bei der Modellierung der Atmosphärenkomponente besteht darin, dass Bewegungen in der Größenordnung der Konvektion derzeit nicht explizit aufgelöst werden können. Feuchte Konvektion verursacht einen großen Teil der vertikalen Hitze- und Feuchteverfrachtung in der Atmosphäre, insbesondere in den Tropen. Die Modellierung der Tropen muss unbedingt verbessert werden, um die Vorhersagegüte in Europa für die Mittelfrist und für längere Fristen zu erhöhen. Eine hohe horizontale Auflösung, Ankopplung an Ozean- und Landoberflächenmodelle sowie eine bessere Darstellung von Bewegungen in der Größenordnung der Konvektion sind allesamt erforderlich, um die Vorhersagegüte für die Tropen zu verbessern. Wärmeflüsse zwischen Atmosphäre und Ozean hängen in entscheidendem Maße von oberflächennahen Winden und Aufwärts- und Abwärtsströmungen in den Ozeanen ab. Eine erhöhte Auflösung wird dank besserer Erfassung von Windfeldern und einer genaueren Darstellung der Ozeandynamik eine genauere Modellierung der Flusskopplungen ermöglichen.

Im nächsten Jahrzehnt müssen unbedingt die zugrundeliegenden physikalischen Prozesse genauer erforscht werden, was zu besseren Parametrisierungen der subgitterskaligen Prozesse führen wird; und es müssen Methoden zur Darstellung der Modellunsicherheit entwickelt werden. Ein größeres Maß an automatischer Anpassung an unterschiedliche Größenordnungen ist notwendig, wenn Prozesse wie die Konvektion teilweise aufgelöst werden, dreidimensionale Strahlungseffekte an Bedeutung gewinnen und Landoberflächenmodelle mit sehr hoher Auflösung machbar werden. Weiterentwicklungen in der Wolken- und Aerosolphysik und der Modellierung von Prozessen auf der Landoberfläche sind ebenfalls von großer Bedeutung.

Das EZMW hat damit begonnen, einen flexibleren dynamischen Kern zu konzipieren und arbeitet an Verbesserungen des derzeitigen Spektral- und hydrostatischen Modells. Es werden neue numerische Methoden zur effizienten und präzisen Verarbeitung von Daten auf unstrukturierten



### BILDUNG VON PARTNERSCHAFTEN MIT UNIVERSITÄTEN: OFFENES IFS („OPENIFS“)

OpenIFS ist die neueste Version des EZMW-Modells, das für Forschung und Ausbildung zur Verfügung steht. Es beruht auf dem integrierten Vorhersagesystem (IFS), dem am EZMW verwendeten NWP-Software-System. Das OpenIFS-Programm leistet einen Beitrag zur Stärkung der Zusammenarbeit mit Universitäten und anderen Forschungsinstituten. Ein Beispiel für seine Anwendung in der Forschung sind Berechnungen mit reduzierter Genauigkeit, die direkt in das Programm skalierbar einfließen. OpenIFS wird auch in der akademischen Lehre verwendet, um anhand eines numerischen Modells zu zeigen, wie Änderungen in der Parametrisierung die Erfassung von großskaligen Zirkulationsmustern und Wetterereignissen beeinflussen. Das EC-Earth-Konsortium verwendet das OpenIFS für die atmosphärische Komponente seines Geosystem-Modells. Diese Beispiele unterstreichen die wachsende Bedeutung des OpenIFS für große Forschungsprojekte, die in internationaler Zusammenarbeit durchgeführt werden.

Gittern entwickelt und vollständig komprimierbare, nicht-hydrostatische Gleichungssysteme geprüft werden. Dies wird in enger Zusammenarbeit mit den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten im Rahmen des Programms Skalierbarkeit erfolgen.

### Komponenten des Geosystems

Es wird unbedingt ein integrierter Modellrahmen für die Darstellung des Geosystems einschließlich Atmosphäre, Ozeanen, Landoberflächen und Kryosphäre benötigt, um nahtlose Analysen und Vorhersagen zu ermöglichen. Dies bedeutet auch, dass die umfassende Darstellung der physikalischen und chemischen Prozesse und die Kopplung von Atmosphäre und Oberfläche feste Bestandteile des Modells für alle angestrebten Skalen und Vorhersagefristen sein werden. Die Assimilation von mehr Beobachtungen der Geosystem-Komponenten zur Bestimmung der Anfangsbedingungen ist auch für die Verringerung von



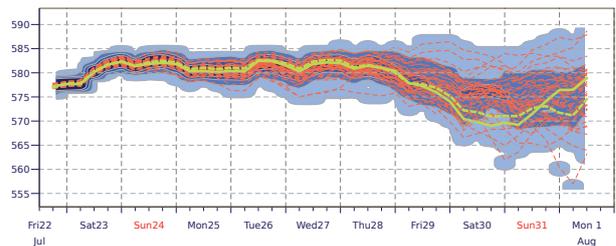
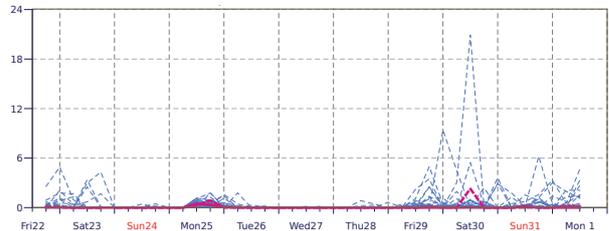
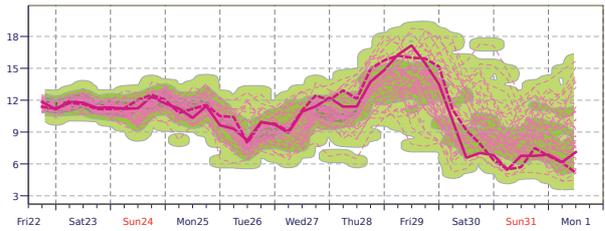
## STRATEGISCHE PARTNERSCHAFTEN FÜR DIE BEOBACHTUNG DER ERDE

Satellitendaten und konventionelle Daten sind für die Weiterentwicklung und Verbesserung der NWP unbedingt notwendig. EZMW und EUMETSAT arbeiten eng daran zusammen, den Wert von neuen Satellitenbeobachtungen zu belegen und sicherzustellen, dass die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten den größtmöglichen Nutzen aus ihren Investitionen in Beobachtungen und Monitoring ziehen. Dies ermöglicht es dem EZMW, derzeit vorhandene und zukünftige Beobachtungen effizient zu nutzen, insbesondere Daten der nächsten Generation der polaren und geostationären Satelliten von EUMETSAT, die während des von der Strategie abgedeckten Zeitraums in Betrieb genommen werden dürften. Das EZMW wird darüber hinaus eng mit der ESA an der Bewertung von neuen Satellitenmissionen für Forschung und Betrieb zusammenarbeiten. Der Großteil der konventionellen Daten wird von den nationalen Wetterdiensten geliefert und umfasst in-situ-Beobachtungen der Atmosphäre sowie der Landoberfläche.

Vorhersagefehlern von Bedeutung. Um alle Aspekte der Modellierung und Assimilation des Geosystems abzudecken, ist eine Zusammenarbeit mit führenden Forschungsgruppen auf der ganzen Welt unabdingbar.

Der Rahmen muss die mit verschiedenen Auflösungen modellierten Eigenschaften des Geosystems rechnerisch effizient erfassen können. Vorhersagen für Europa für längere Vorhersagefristen werden von einer verbesserten Darstellung der Landoberflächenankopplungen sowie der Interaktionen zwischen Troposphäre und Stratosphäre profitieren. Darüber hinaus ist zu beachten, dass Aerosolkonzentrationen die Energiebilanz des Geosystems deutlich beeinflussen. Eine bessere Assimilation und Modellierung von Aerosolen wird somit zur Verbesserung der globalen Wettervorhersagen beitragen.

Reanalysen des Geosystems bilden wichtige Ausgangsdatensätze, die zur Verifizierung und Kalibrierung der Ausgabedaten von Vorhersagemodellen verwendet



Die Vorhersage-Unsicherheit kann mit Vorhersagefahnen veranschaulicht werden, die sich ausbreiten, wenn die Vorhersagen unsicherer werden. Dies wird hier gezeigt mit Beispielen für die Vorhersage der Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) bei 850 hPa (oben), des Gesamtniederschlags (mm/6 Stunden) (Mitte) und der Geopotential-Höhe bei 500 hPa (Dekameter) (unten), vorhergesagt von HRES (dicke gestrichelte Linie), Bezugsvorhersage (dicke Linie) und ENS (dünne gestrichelte Linien).

werden. Darüber hinaus werden sie zur Bestimmung von Klimatendenzen verwendet und stellen die Grundlage für die Erforschung der Atmosphäre und der Ozeane weltweit dar. Das strategische Ziel, Kapazitäten zur Modellierung des Geosystems für Vorhersagezwecke zu entwickeln, ist somit eng mit der Entwicklung und Erzeugung von Reanalyse-Datensätzen verbunden. Die Entwicklung der Reanalyse erlaubt auch die Erprobung von neuen Methoden der Datenassimilation, sowohl für die Entwicklung eines gekoppelten Modells des Geosystems als auch für hybride variationelle Techniken und Ensemble-Techniken.

## B Verbesserung der Vorhersagegüte

Es hängt von der Unsicherheit des Modells und des Anfangszustands ab, wie lange die Vorhersagegüte anhält, d.h. für welchen Zeitraum Vorhersagen von guter Qualität abgegeben werden können. Auf Beobachtungen basierende Daten werden assimiliert und zur Verringerung der Unsicherheit des Anfangszustands verwendet. Zur Vorhersage der Vorhersagegüte müssen alle Unsicherheiten quantifiziert werden.

### Datenassimilation

Der Schlüssel zur präzisen Vorhersage des Zustands des Geosystems bis zu einem Jahr im Voraus besteht darin, ein Modell und das globale Beobachtungssystem bestmöglich

zur Bestimmung der Anfangsbedingungen zu nutzen. Das strategische Ziel besteht darin, weiter in das Konzept der hybriden Datenassimilation zu investieren, bei der variationelle und Ensemble-Techniken wie das Ensemble aus Datenassimilationen und der Ensemble-Kalman-Filter kombiniert werden. Die Schaffung eines flexiblen Rahmens, der eine objektive Bewertung der wissenschaftlichen und der rechnerisch effizienten Varianten der bestehenden Elemente sowie von neuen Datenassimilations-Algorithmen erlaubt, gilt als ein entscheidender erster Schritt. Dieser Rahmen muss gekoppelte Initialisierungen erlauben, insbesondere für Ozean, Meereis und Landoberflächen, und gleichzeitig durch erhöhte Parallelität rechnerisch effizient bleiben. Dies bildet die Grundlage für eine Nutzung der Vorteile einer erhöhten physikalischen Komplexität des Modells, insbesondere, wenn eine Verbesserung der Vorhersagegüte für längere Vorhersagefristen angestrebt wird. Es wird erwartet, dass eine verstärkte Nutzung von Feuchte-, Wolken- und Niederschlagsbeobachtungen Zwangsbedingungen für den hydrologischen Zyklus liefern wird. Die Verwendung von Beobachtungen der Zusammensetzung der Atmosphäre, insbesondere von Aerosolen und Treibhausgasen, wird der Wettervorhersage direkt zugutekommen.

Die erhöhte Komplexität macht es auch erforderlich, Methoden zur effizienten Auswertung der Informationen von modernsten Instrumenten für die Beobachtung des Geosystems zu erforschen. Zu solchen satellitengestützten Instrumenten zählen hyperspektrale Sonden sowie aktive und passive Instrumente, die Messungen von Wolken, Niederschlägen, Aerosolen, Winden und Oberflächeneigenschaften von Boden, Vegetation, Schnee, Meereis, Seen und Ozeanen liefern. Diese Arbeiten werden auch weiterhin eng mit den Weltraumagenturen abgestimmt werden und auf die Unterstützung von Wissenschaftlern angewiesen sein.

### Schätzung der Unsicherheit

Ein wesentlicher Teil der Herausforderungen bei der Vorhersage besteht in der Schätzung der Unsicherheit von Analyse und Vorhersage. Das EZMW wird Forschungsarbeiten leiten, deren Ziel die vollständige Integration der Ensemble-Analyse und -Vorhersage mit nahtlosen Vorhersagefristen und Auflösungen ist, und Methoden zur einheitlichen Darstellung der Modellunsicherheiten anwenden. Bei Berücksichtigung eines höheren Maßes an Komplexität des Geosystems wird der Schwerpunkt mehr darauf gelegt werden, die Formulierung der Modellfehler dichter an die Entstehung der Unsicherheit der physikalischen Prozesse und an deren Entwicklung in Zeit und Raum anzulehnen. Dies wird umfassende Verbesserungen der Tools für die

Datenassimilation und Modelldiagnose erforderlich machen, um die Ursachen des Modellfehlers systematisch untersuchen zu können.

Die Beschreibung der Fehler in Zusammenhang mit den Beobachtungen und Beobachtungsoperatoren wird sich auf diagnostische Tools stützen, die unter Berücksichtigung des sich weiterentwickelnden Beobachtungssystems die relativen Beiträge des Modells und der Beobachtungen zur Unsicherheit beurteilen. Darüber hinaus wird ein besseres Verständnis der Fehlerkorrelation in Zeit und Raum und als Funktion der elektromagnetischen Wellenlänge zu zustandsabhängigen Formulierungen und einer angepassten Datenprobenentnahme in diesen Dimensionen führen. So werden letztendlich die Beobachtungsinformationen bei vertretbaren Rechenkosten sehr viel besser ausgewertet werden.

### Vorhersagbarkeit

Ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten des EZMW wird auf die Vorhersagbarkeit bei längeren Vorhersagefristen gelegt werden. Ein großer nächster Schritt besteht darin, wichtige Faktoren zu bestimmen, wie zum Beispiel die Variabilität in den Tropen, deren Verständnis zu einer guten Vorhersagequalität in Regionen wie Europa für Vorhersagefristen von einem Monat bis zu einer Jahreszeit führen werden. Es wird erwartet, dass sich die Aufnahme von Komponenten des Geosystems für diese Zeitfristen sehr positiv auswirken wird. Grundsätzlich werden Verbesserungen bei der Bestimmung des Anfangszustands und beim Modell zu einer Verlängerung der Zeitfrist beitragen, für die Vorhersagen von brauchbarer Qualität abgegeben werden können. Ein besseres Verständnis, wie die Vorhersagegüte je nach geographischer Region und Strömungszustand variiert und inwieweit sie von der Ankopplung der Atmosphäre an Komponenten mit zeitlich langem Gedächtnis wie dem Ozean oder der Landoberfläche beeinflusst wird, wird auch dazu beitragen, besser vorhersehbare Situationen identifizieren zu können. Für längere Vorhersagefristen ist es eine Herausforderung, im gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Landoberfläche-Modell das richtige Maß an Streuung für Anfangszustand und Modellunsicherheiten zu erzeugen. Fortschritte hierbei dürften zu einer Verbesserung der Vorhersagegüte führen. Im kommenden Jahrzehnt wird ein Schwerpunkt der Forschungsarbeiten darauf gelegt werden, nützliche Informationen aus Modellen des Geosystems zu gewinnen und insbesondere diejenigen Strömungssituationen zu identifizieren, die möglicherweise besser vorhergesagt werden können als andere.

# BEREITSTELLUNG VON GLOBALEN VORHERSAGEN

Eines der beiden Hauptziele des EZMW ist die Lieferung von operationellen Wettervorhersagen an seine Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten. Das EZMW wird einen integrierten Satz von operationellen, Ensemble-gestützten Analysen und Prognosen liefern, mit denen die Bandbreite der möglichen Szenarien und die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens beschrieben und international die Messlatte für Qualität und betriebliche Zuverlässigkeit hoch angesetzt werden. Im Jahr 2016 ist die Vorhersagegüte von mittelfristigen Wettervorhersagen bis zu einer Vorhersagefrist von einer Woche im Durchschnitt recht gut. Ziel ist es, bis 2025 Wetter mit großen Auswirkungen bis zu zwei Wochen im Voraus vorherzusagen. Mit der Entwicklung eines nahtlosen Ansatzes beabsichtigen wir zudem, großskalige Wettermuster und Änderungen der Großwetterlage bis zu vier Wochen im Voraus und globale Anomalien bis zu ein Jahr im Voraus vorherzusagen.

Die zwei Hauptziele bei der Bereitstellung der Vorhersagen des EZMW sind:

**A Schaffung eines vollständig integrierten Ensemble-Systems**

**B Evaluierung der Vorhersagequalität**

Die Verwirklichung dieser Ziele wird es dem EZMW zum einen erlauben, durch die vollständige Anwendung der Ensemble-Methode in allen Teilen des Vorhersagesystems bei der der Vorhersage innewohnenden Unsicherheit Fortschritte zu erzielen. Zum anderen wird hiermit durch die Entwicklung einer Reihe von probabilistischen Scores ein Beitrag zur Überwachung und Verbesserung der Vorhersagegüte des EZMW geleistet.



George Doyle/Stockbyte/Thinkstock; Celtic-MomentsPhotography/iStock/Thinkstock; gemphotography/iStock/Thinkstock.

## „GENERALIZED DISCRIMINATION SCORE“

Diese Maßzahl kann für Ensemble-Vorhersagen verwendet werden, um anzugeben, wie oft die Vorhersagen verschiedene Wetterlagen korrekt vorhersagen. Für die 10-Tages-Vorhersage von extrem hohen Windgeschwindigkeiten würden wir eine Erfolgsrate von 70 % im Vergleich zu den derzeit erreichten 60 % anstreben. Eine willkürlich erstellte Vorhersage hat bereits eine Erfolgsrate von 50 %. Eine Qualitätsverbesserung in dieser Größenordnung würde im Vergleich zu einer dem Zufall überlassenen Vorhersage eine Verdopplung unserer Vorhersagegüte bedeuten. Unser Ziel ist es, auch in der Mittelfrist vergleichbare Fortschritte bei der Vorhersage von extremen Niederschlägen zu erzielen. Für die Vorhersage von Hitzewellen und Kälteperioden drei Wochen im Voraus würden wir uns eine Erfolgsrate von mehr als 70 % als Ziel setzen, was eine ähnliche Verbesserung darstellen würde.

### A Das integrierte Ensemble

Wir beabsichtigen, ein hochaufgelöstes Ensemble-System mit einer Vorhersagefrist von bis zu zwei Wochen zu betreiben, um die Vorhersagen von Wetter mit großen Auswirkungen noch weiter zu verbessern. Es soll bis 2015 eine horizontale Auflösung von etwa 5 km haben - ein ehrgeiziges Ziel, das Fortschritte in der Wissenschaft, Informatik und der Skalierbarkeit voraussetzt. Die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW halten eine hohe Auflösung des Modells für unbedingt erforderlich, um die Wetterphänomene zu simulieren, die den größten Einfluss auf Menschen und Sachwerte haben und sich in einer Größenordnung von einigen Kilometern oder darunter abspielen. Die hohe Auflösung wird darüber hinaus entscheidend zur Verringerung der Fehler bei der Bestimmung der Anfangsbedingungen beitragen, da mit ihr alle Arten von Beobachtungen präziser assimiliert



und die Genauigkeit der numerischen Berechnungen sowie insbesondere die Beschreibung der Elemente des Oberflächenwetters verbessert werden können. Ein Ensemble-Ansatz ist auch wegen der Vorhersage innewohnenden Unsicherheit und der Notwendigkeit, wegen der möglicherweise katastrophalen Auswirkungen von extremem Wetter die Wahrscheinlichkeit seines Eintretens angemessen zu erfassen, unbedingt erforderlich. Für längere Vorhersagefristen werden die Konfigurationen des für subsaisonale und saisonale Vorhersagen verwendeten Modells im Laufe des von der Strategie abgedeckten Zeitraums allmählich konvergieren.

Die Ensemble-Vorhersagen werden von einem integrierten Modell des Geosystems geliefert werden, in dem die unterschiedlichen Modellkomponenten und verschiedenen Vorhersagefristen so einheitlich wie möglich behandelt werden. Inzwischen wird allgemein anerkannt, dass die Auswirkungen der Komponenten des Geosystems auf die Wettervorhersage äußerst signifikant sind. Die Aufnahme im Vorhersagesystem von Elementen, die die Zusammensetzung der Atmosphäre beschreiben, wie zum Beispiel Aerosolen, dürfte zu einer Verbesserung der Wettervorhersagen führen. Dasselbe gilt für eine engere Anbindung an hydrologische Modelle.

Mit der Entwicklung hin zu einem noch stärker integrierten System werden die Prognosen des EZMW als großes Ensemble präsentiert werden, dessen verschiedene Komponenten bestmöglich integriert werden. Zu diesen Komponenten könnten Ensemble-Members mit verschiedenen Auflösungen und Initialisierungszeiten gehören, falls gezeigt werden kann, dass sie Mehrwert bringen, wenn sie gekoppelt werden. Die Anwendung des Ensemble-Systems wird durch vermehrte Fortbildungsmaßnahmen unterstützt werden, im Rahmen derer der Mehrwert von Ensemble-Vorhersagen und die Fülle der in den Ensembles enthaltenen Informationen erläutert werden.

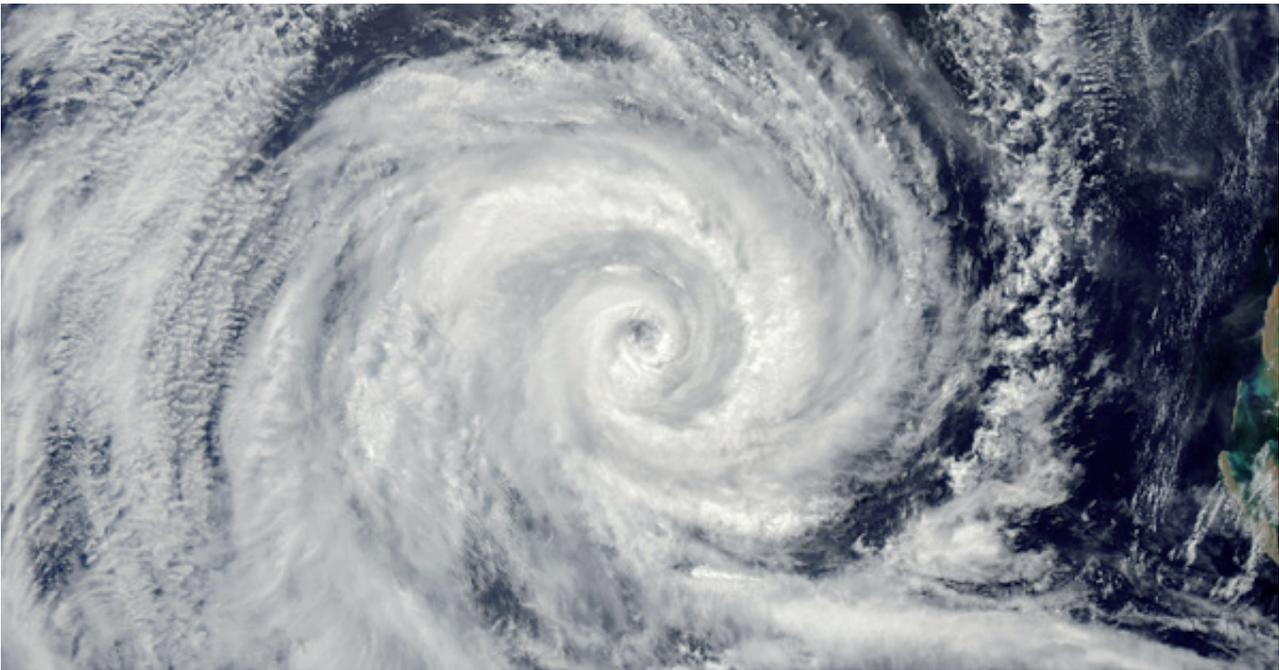
### B Evaluierung der Vorhersagequalität

Eine bessere Zukunft vorhersagen



sheilades/Stock/Thinkstock

*Anfang Februar verursachte ein starker Eisregen in Slowenien und Kroatien Verkehrsstörungen und schwere Schäden an Bäumen und Überlandleitungen. Derartige Extremereignisse sind selten; gefrierender Regen oder Sprühregen kommen jedoch in den Wintermonaten in Europa und Nordamerika grundsätzlich recht häufig vor. Änderungen der Wolken- und Niederschlagsphysik im Modell führen im neuen, vom EZMW im Mai 2015 eingeführten Modellzyklus zu verbesserten Vorhersagen von gefrierendem Regen.*



Vorhersagen von Unwettern und von Änderungen der Großwetterlage sind für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW besonders wichtig. Deshalb werden die Entwicklungsarbeiten gezielt auf die hiermit in Zusammenhang stehenden Herausforderungen ausgerichtet werden. Ein strategisches Ziel für das kommende Jahrzehnt besteht darin, Vorhersagen von extremen Windgeschwindigkeiten und Niederschlägen, die für Wirtschaft und Gesellschaft nützlich sind, statt für eine Vorhersagefrist von nur einer Woche wie bisher auch für die zweite Woche bereitzustellen. Ein weiteres Ziel ist es, die Vorhersagefrist von brauchbaren Vorhersagen von extremen Temperaturen in Hitze- und Kältewellen von den derzeit zwei auf durchschnittlich drei Wochen auszudehnen. Beispiele der derzeitigen modernsten Vorhersagen von derartigen meteorologischen Ereignissen sind auf den Seiten 12 und 13 dargestellt. Pünktlichkeit und operationelle Zuverlässigkeit der Vorhersagen sind für die Mitglieder des EZMW von entscheidender Bedeutung und werden auch weiterhin hohe Priorität behalten. Pünktliche verbesserte Vorhersagen werden dazu beitragen, dass durch die Arbeit der Wetterdienste in den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW Menschenleben und Sachwerte noch besser geschützt werden können.

### **Verständnis der Stärken und Schwächen der Vorhersage**

Das Zentrum wird einen verbesserten Satz von probabilistischen Leistungskennzahlen (sogenannten „Scores“) entwickeln und definieren, einschließlich möglicher Zielvorgaben, um seine Fortschritte überprüfen und die richtigen Entscheidungen zur Maximierung der Vorhersageleistung treffen zu können. Normalerweise liefern Ensemble-Vorhersagen Schätzungen der Wahrscheinlichkeit des Eintretens von Ereignissen, die Kriterien bezüglich ihrer Zuverlässigkeit und Schärfe erfüllen. Eine Vorhersage gilt als zuverlässig, wenn in allen Situationen in der Vergangenheit, in denen eine Wahrscheinlichkeit für

das Eintreten eines bestimmten Ereignisses angegeben wurde, dieses Ereignis auch tatsächlich mit derselben Wahrscheinlichkeit eingetreten ist. Die andere erwünschte Eigenschaft von Ensemble-Vorhersage ist Schärfe, was Genauigkeit bedeutet, definiert als eine Minimierung der Streuung der Wahrscheinlichkeitsverteilung. Darüber hinaus von Interesse ist die Sprunghaftigkeit von Vorhersagen (Unterschiede von einem Tag zum nächsten), da diese den Meteorologen deren Interpretation erschwert.

Für die Beurteilung der Vorhersageleistung werden Scores verwendet werden, die diese Aspekte messen. Zu den wissenschaftlichen Entwicklungsarbeiten gehören eine Verbesserung der Datenassimilation und Modellphysik, die Optimierung der Zahl der Ensemble-Members, Verwendung von zeitverzögerten Vorhersagen und Auflösungserhöhungen. Ihre operationelle Einführung wird von ihren Scores für das Ensemble-System abhängen. Mit der Entwicklung eines umfangreichen Satzes an probabilistischen Scores, die auf unserer Erfahrung und den neuesten wissenschaftlichen Forschungsarbeiten aufbauen, versuchen wir, einige Vorgaben zu liefern, die direkt auf unsere strategischen Ziele Bezug nehmen. In Zusammenarbeit mit unseren Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten werden neue Skill-Scores und Leistungsziele entwickelt werden.

Ein wichtiger Faktor bei der Verbesserung der Vorhersagen ist das Zusammenwirken von wissenschaftlichen Entwicklungsarbeiten, diagnostischen Studien und dem Feedback der Mitglieder des EZMW. Diese Zusammenarbeit soll noch verbessert werden und der Rolle, die die Diagnose bei ihr spielt, noch mehr Bedeutung beigemessen werden.

Da gezeigt werden konnte, dass genaue Reanalysen unabdingbar sind für die Initialisierung von Ereignissen in der Vergangenheit, für die Erzeugung von Vorhersage-Ausgabedaten (Extremer Vorhersageindex, kalibrierte Ensembles) und für die Verifizierung der operationellen Vorhersagen, wird auch die Genauigkeit der Reanalysen noch weiter an Bedeutung gewinnen.

# WEITERENTWICKLUNG DES HOCHLEISTUNGSRECHNENS

Um Vorhersagen für Forschung und Betrieb liefern zu können, braucht das EZMW Ressourcen für High-Performance Computing. Bei der Ressourcenplanung für das nächste Jahrzehnt muss sich das EZMW zwei großen Herausforderungen stellen:

- A Skalierbarkeit: Computer-Codes müssen skalierbar sein, um die vorhandene Rechnerleistung effizient nutzen zu können.**
- B Es muss eine Hochleistungs-Rechanlage bereitgestellt werden, die es erlaubt, die Vorteile von wissenschaftlichen Innovationen auf energieeffiziente und umweltverträgliche Weise zu nutzen.**

Das EZMW braucht unbedingt Hochleistungsrechner-Kapazitäten, um Forschungsarbeiten durchführen und Vorhersagen liefern zu können. Es muss eine Lösung für die Skalierbarkeit gefunden werden, um zukünftige Rechner-Technologien effizient nutzen und weiter die Vorhersagegüte der Vorhersagen des EZMW verbessern zu können.



## A Skalierbarkeit

Die immer komplexeren und höher aufgelösten Modelle müssen skalierbar sein, um zukünftige Hochleistungsrechner effizient nutzen zu können. Die Skalierbarkeit stellt somit ein für das EZMW sehr wichtiges Arbeitsgebiet dar und ist Gegenstand eines eigenen Programms, im Rahmen dessen das EZMW mit Partnern sowohl von den nationalen Wetterdiensten als auch aus der Computerindustrie zusammenarbeitet.

Die Entwicklung hin zu hochaufgelösten Modellen des Geosystems schafft Herausforderungen für Skalierbarkeit und Betrieb, zu deren Bewältigung grundsätzlich neue wissenschaftliche und rechnerische Methoden verwendet werden müssen. Es werden skalierbare Codes für alle Teile des Vorhersageverfahrens benötigt, von der Beobachtungseingabe über die Vorhersagemodellierung und Produktgenerierung bis zur Abgabe von Vorhersagen an die Nutzer in den Mitgliedsstaaten. Die zukünftige Generation von hochaufgelösten Ensembles stellt numerisch und rechnerisch um viele Größenordnungen höhere Ansprüche als die heutigen; hinzu kommt der erwartete gewaltige Anstieg des Datenvolumens der Beobachtungen.

Ein Paradigma-Wechsel ist erforderlich, um einen integrierten Ansatz für Elemente wie dynamischer Kern, numerische Methoden, Computer-Hardware und Code-Design zu finden. Hierfür ist es erforderlich, dass numerische Wettervorhersage und Informatik gemeinsam an der Schnittstelle zwischen energieeffizienten Algorithmen und Technologien und der numerischen Genauigkeit und Stabilität Fortschritte erzielen. Es wurden Forschungsprojekte zu heterogenen Rechnerarchitekturen eingeleitet, die eine wichtige Rolle spielen werden bei der Vorbereitung des unter Berücksichtigung der in Zukunft verfügbaren Rechenleistung und der gegebenen Beschränkungen bei der Datenverarbeitung bestmöglichen Modells.

Das EZMW muss ein extrem großes System zu vertretbaren Kosten auf zukünftigen Rechnerarchitekturen betreiben, die Beobachtungsbearbeitung effizienter machen und ausreichend Kapazitäten bereitstellen, um seine Ergebnisse an die außerordentlich große Bandbreite von Partnern des EZMW abgeben zu können – und dies alles bei strengen Zeitvorgaben. Gemeinsame Anstrengungen auf internationaler Ebene sind notwendig, um Entwickler von meteorologischen und Geosystem-Modellen, Informatiker und Spezialisten für neue Hardware zusammenzubringen. So können dann gemeinsame numerische Bibliotheken und Arbeitsfluss-Konfigurationen entwickelt, die Widerstandsfähigkeit des Systems gesteuert und seine Effizienz überwacht werden. Dieser Ansatz erlaubt es zudem, zur Unterstützung zukünftiger Hardware-Beschaffungen mit Hardware- und Software-Firmen gemeinsam Entwicklungsarbeit zu leisten.

## BÜNDELUNG VON KNOW-HOW ZUR VERBESSERUNG DER SKALIERBARKEIT DER DATENASSIMILATION

Im Rahmen des OOPS-Projekts wird gemeinsam an der Objekt-orientierten Programmierung für die Datenassimilation gearbeitet. Hiermit sollen die Skalierbarkeit und Flexibilität der Datenassimilation verbessert und ein allgemeiner Rahmen für die Datenassimilation aller Geosystem-Komponenten (Atmosphäre, Landoberfläche, Ozean, Seegang, Meereis) sowie vereinfachte Modelle für die Forschung bereitgestellt werden. Das OOPS-Projekt wird zukünftige Forschungsarbeiten an neuen Algorithmen für die Datenassimilation ermöglichen. Eine neue Code-Struktur wurde bereits erarbeitet. EZMW, Météo-France, ALADIN und HIRLAM arbeiten intensiv zusammen, um den IFS-Code an die neue Struktur anzupassen. Es ist unser Ziel, die Zahl der Partner des OOPS-Projekts noch zu erhöhen. Im Rahmen des Programms Skalierbarkeit arbeitet das EZMW mit Partnern sowohl von den nationalen Wetterdiensten als auch aus der Computerindustrie zusammen. Es ist unser Ziel, die Zahl der Partner des OOPS-Projekts noch zu erhöhen. Im Rahmen des Programms Skalierbarkeit arbeitet das EZMW mit Partnern sowohl von den nationalen Wetterdiensten als auch aus der Computerindustrie zusammen.

## A Hochleistungsrechnen

Die Bereitstellung geeigneter effektiver, stabiler und effizienter Hochleistungsrechen- und Datenspeicherkapazitäten ist von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Umsetzung der Strategie des EZMW für Forschung und Betrieb.



Jeff Hu/Stock/Thinkstock



## UMWELTVERTRÄGLICHKEIT

Die Umweltverträglichkeit wird auch weiterhin ein entscheidendes Kriterium in allen unseren Arbeitsgebieten darstellen.

Superrechner werden für die NWP unbedingt gebraucht, haben aber einen gewaltigen Energiebedarf. Das Zentrum wird die Nutzung ökologisch nachhaltiger erneuerbarer Energiequellen prüfen und sich bemühen, die künftigen Betriebskosten ohne Beeinträchtigung der Betriebsleistung zu minimieren.

In den nächsten zehn Jahren werden bedeutende Impulse von der Entwicklung einer Infrastruktur mit hohem Wirkungsgrad (geringes „Power Utilization Efficiency“-Verhältnis) durch Systeme mit höheren Ein- und Austrittstemperaturen ausgehen. Außerdem wird das Zentrum Methoden zur Erschließung neuer Bereitstellungskonzepte für Rechenleistungen wie die Cloud-basierte Datenspeicherung entwickeln.

Wir werden uns bemühen, die von unserer Arbeit ausgehende Umweltbelastung durch die Übernahme von bestmöglichen nachhaltigen Arbeits-, Reise- und Betriebsverfahren sowie durch eine umweltverträgliche Energieversorgung zu minimieren.

Die Rechen-Technologie stellt einerseits eine Grundvoraussetzung für die Wissenschaft dar und treibt andererseits die Innovation in der Forschung voran. Auf dem Gebiet des Hochleistungsrechnens ist eine rasante Entwicklung zu verzeichnen, die ständig wegweisende neue Konzepte wie den Einsatz beschleunigter Systeme und leichtgewichtiger Prozessorkerne mit hoher Speicherbandbreite hervorbringt. Deshalb wird das Zentrum intensive Kontakte zu den großen Anbietern pflegen, um deren technologische Entwicklungsvorhaben zu verstehen und zu seinem Vorteil zu nutzen und um mit technologischen Neuerungen, die möglicherweise Kursänderungen erforderlich machen, Schritt zu halten. Eine erfolgreiche Nutzung neuer Rechnerarchitekturen ist in hohem Maße auf die Ergebnisse des Programms Skalierbarkeit angewiesen.

Mit dem Einsatz von Zukunftstechnologien ist auch die Frage der Energieeffizienz und des Stromverbrauchs verbunden. Die „TopGreen500“-Liste, die eine Einstufung der Systeme nach Gigaflops pro Watt vornimmt, wird von heterogenen Supercomputern beherrscht, wobei sich kein Abklingen dieses Trends abzeichnet. Die erfolgreiche Nutzung neuer Technologien verspricht also nicht nur effektive Rechenressourcen, sondern auch deren effiziente Nutzung.

Neben der Effizienz seiner Infrastruktur wird das EZMW auch weiterhin die Effizienz und Effektivität seiner Verfahren im Auge behalten. Entscheidend dafür ist die Einbindung angemessener bewährter Verfahren („Industry Best Practices“) in seine betrieblichen Abläufe. Das EZMW will die Standards nicht nur einhalten, sondern auch kritisch hinterfragen, um aus den Bereichen zu lernen und die Aspekte umzusetzen, die durch eine Verbesserung der Effizienz, Effektivität und Stabilität einen echten Mehrwert bieten. Das Zentrum wird sich auch weiterhin gemeinsam mit seinen Mitgliedsstaaten mit der Stabilität der Recheninfrastruktur befassen. Dies umfasst zuverlässige Verfahren zur Wiederherstellung der Daten und zur Aufrechterhaltung des Betriebs bei Störfällen.

Die wichtigsten Ziele des EZMW für den Computerbereich lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Bereitstellung angemessener Rechenkapazitäten zur Deckung des Bedarfs von Forschung, Betrieb und von Anwendern in den Mitgliedsstaaten
- Bereitstellung effizienter, effektiver und stabiler Rechnerressourcen unter Anwendung der „Industry Best Practices“, wo dies sinnvoll ist
- Umweltverträglichkeit

# UNTERSTÜTZUNG DES EZMW

Zur Unterstützung des EZMW in den Bereichen Forschung, Vorhersage und Computing müssen Finanzierung und Personalressourcen gesichert sein. Diesbezüglich bestehen für die Zukunft zwei große Herausforderungen:

**A Finanzierung und Personal: Sicherung der diversen Finanzierungsströme des EZMW sowie Anwerbung und Wahrung der Fachkompetenz, die das EZMW benötigt, um seine Ziele zu erreichen.**

**B Unterbringung des EZMW: Bereitstellung eines geeigneten Arbeitsumfelds, das steigenden Personalzahlen und den Anforderungen an die Hochleistungsrechner gerecht wird.**

Zur Verwirklichung der Ziele des EZMW für Vorhersage und Forschung wird eine zwischenstaatliche Institution mit effizienter Organisationsstruktur benötigt. Die wichtigsten Assets des EZMW sind sein Personal und die Hochleistungsrechenanlagen. Finanzierung und Unterbringung müssen weiterentwickelt werden, um die notwendige Unterstützung zu sichern.



## A Finanzierung und Personal

### Diversifikation für die Finanzierung

Die Hauptfinanzierungsquelle des EZMW für die Erfüllung seines Auftrags sind die Beiträge der Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten. Ergänzend kommen Mittel aus zusätzlichen Quellen hinzu, die für das Zentrum dank seiner führenden Position in der numerischen Wettervorhersage zugänglich sind und die ihm schnellere Fortschritte bei der Umsetzung seiner Strategie ermöglichen. Das EZMW wird diese verschiedenen Finanzierungsströme sorgsam steuern, um sicherzustellen, dass von diesen zusätzlichen Einnahmen eine positive Hebelwirkung auf die Beiträge der Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten ausgeht, und gleichzeitig die Risiken minimieren und die Konzentration auf seinen eigentlichen Auftrag gewährleisten.

Dem EZMW eröffnen sich bedeutende Möglichkeiten, auch weiterhin in Bereichen, die zu seiner allgemeinen Forschungsstrategie beitragen, externe Forschungsmittel einzuwerben. Konsortien, denen das Zentrum als Mitglied angehört, konnten sich bereits mit großem Erfolg solche Mittel sichern, und das EZMW wird sich auch künftig mit den nationalen Wetterdiensten der Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten und anderen Institutionen abstimmen und an gemeinsamen Bewerbungen um Fördermittel beteiligen. Auf diese Weise wird auch weiterhin ein großer, aber nicht überwiegender Anteil der Forschungsressourcen des EZMW finanziert werden.

Der Erfolg der mit Fremdmitteln geförderten Forschung hat dem EZMW seinerseits zusätzliche Finanzierungsmöglichkeiten für die Einführung operationeller Dienste eröffnet, die auf diesen Forschungsarbeiten beruhen und im Rahmen von Drittpartneraktivitäten erbracht werden. Solche Finanzmittel werden zur Stärkung der Infrastruktur des EZMW beitragen, sodass es die Beiträge der Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten vorwiegend für die laufende Weiterentwicklung seiner Forschung im Bereich der numerischen Wettervorhersage und seiner Vorhersageproduktion zugunsten seiner Mitglieder einsetzen kann.

Das EZMW ist auch weiterhin bestrebt, die Wünsche seiner Mitgliedsstaaten bezüglich einer bedarfsgerechten Forschung und Vorhersageproduktion zu erfüllen und wird die Einleitung von zusätzlichen fakultativen Programmen prüfen, wo vielleicht auf Bedürfnisse eingegangen werden kann, die in vielen, aber nicht in allen Mitgliedsstaaten bestehen.

Das Zentrum wird eng mit seinen Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten zusammenarbeiten, um effektive Strategien zur Finanzierung bedeutender Projekte (wie der laufenden Entwicklung von Hochleistungsrechenkapazitäten und der zukünftigen Unterbringung) zu entwickeln, die den finanziellen Problemen Rechnung tragen, mit denen sich einige Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten im gegenwärtigen wirtschaftlichen Umfeld konfrontiert sehen.

### Die Besten gewinnen

Das Personal ist die wichtigste Ressource des EZMW. Das Ziel des Zentrums besteht darin, die Mitarbeiter zu gewinnen, zu halten und zu motivieren, die das EZMW zur Umsetzung seiner Strategie und zur Wahrung seiner führenden Position im Bereich der mittelfristigen numerischen Wettervorhersage benötigt. Aufgrund seines Rufs als weltweit führende Organisation in der Forschung auf dem Gebiet der numerischen Wettervorhersage und in der Erstellung von Vorhersagen kann das EZMW jetzt und auch in Zukunft die besten Bewerber

für offene Stellen gewinnen. Allerdings muss es angesichts der wachsenden Konkurrenz um den begabtesten Nachwuchs und des aktuellen wirtschaftlichen Umfelds sicherstellen, dass seine Einstellungs-, Vergütungs- und Beschäftigungsbedingungen sowie seine Führungsstrukturen modern und zweckmäßig sind und der Umsetzung seiner Strategie dienen.

Das Zentrum wird eng mit seinen Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten und wichtigen Organisationen wie den nationalen Wetterdiensten und Universitäten zusammenarbeiten, um eine freie Bewegung begabter Fachkräfte zwischen den meteorologischen Organisationen Europas zu ermöglichen. Ein solcher Austausch eröffnet die Möglichkeit, von einer regelmäßigen Erneuerung der Fähigkeiten und Kompetenzen zu profitieren und gleichzeitig den Mitarbeitern Gelegenheit zur Weiterentwicklung ihrer Fähigkeiten durch eine einzigartige Plattform für internationale Zusammenarbeit zu bieten. Zur Wahrung der Kontinuität wird das EZMW verlängerte Vertragslaufzeiten bieten, um sich dauerhaft bestimmte Schlüsselkompetenzen zu sichern, die über einen längeren Zeitraum benötigt werden.

Zusätzlich wird das EZMW sein „Fellowship-Programm“ fortsetzen, bei dem führende Wissenschaftler und Computerfachleute zu „EZMW-Fellows“ ernannt werden. Dabei handelt es sich um einen Ehrentitel, der aber beinhaltet, dass die Fellows in kritischen Fragen, die sowohl für sie selbst als auch für das Zentrum von Belang sind, mit dem EZMW zusammenarbeiten, wodurch eine umfassendere Zusammenarbeit auf internationaler Ebene möglich wird.

Innerhalb der Struktur der Koordinierten Organisationen wird das Zentrum seine Verfahrensweisen überprüfen, um sicherzustellen, dass diese die bestmöglichen Voraussetzungen bieten, um sich gegenüber Bewerbern und deren Familien als attraktiver Arbeitgeber zu positionieren. Diese Verfahrensweisen werden so gestaltet, dass sie die Karrieren der Mitarbeiter sowohl während ihrer Tätigkeit für das Zentrum als auch danach fördern und ein Umfeld begünstigen, in dem motivierte Mitarbeiter mit gemeinsamen Werten und klaren Zielen zusammenarbeiten können, die auf die Gesamtziele des Zentrums abgestimmt und mit diesen verknüpft sind.

## B Unterbringung des EZMW

Das Zentrum ist bestrebt, sein Personal und seine Rechner-Infrastruktur in angemessenen Räumlichkeiten unterzubringen. Diese sollten der Bedarfsprognose des EZMW bis 2040 gerecht werden und eine gewisse Flexibilität bieten, um den nicht vorhersehbaren Anforderungen infolge des Wachstums der Organisation, der Zahl der Beschäftigten sowie der HPC-Infrastruktur Rechnung zu tragen. Die laufenden Kosten und die Lebensdauerkosten des Gebäudes bzw. der Gebäude sollten möglichst gering sein. Die Räumlichkeiten sollten für eine umfangreiche IT- und Kommunikationsinfrastruktur geeignet sein, über integrierte Ausfallsicherheit verfügen und die Sicherheit der Nutzer garantieren. Das Zentrum wird sich bemühen, die von ihm ausgehende Umweltbelastung durch die Übernahme von bestmöglichen nachhaltigen Arbeits-, Reise- und Betriebsverfahren sowie durch eine nachhaltige Energieversorgung zu minimieren. Ein Standort des Zentrums in der Nähe zu anderen wissenschaftlichen Organisationen begünstigt die Vertiefung von Kollaborationen und Partnerschaften. Dies entspricht der wissenschaftlichen und technischen Arbeitskultur und dem Geist des Zentrums, trägt zu deren Stärkung bei und hilft dem EZMW, hochqualifiziertes internationales Personal, das den Schlüssel zu seinem Erfolg darstellt, für sich zu gewinnen und zu halten.

# DIENSTE FÜR DIE MITGLIEDS- UND ZUSAMMENARBEITSSTAATEN

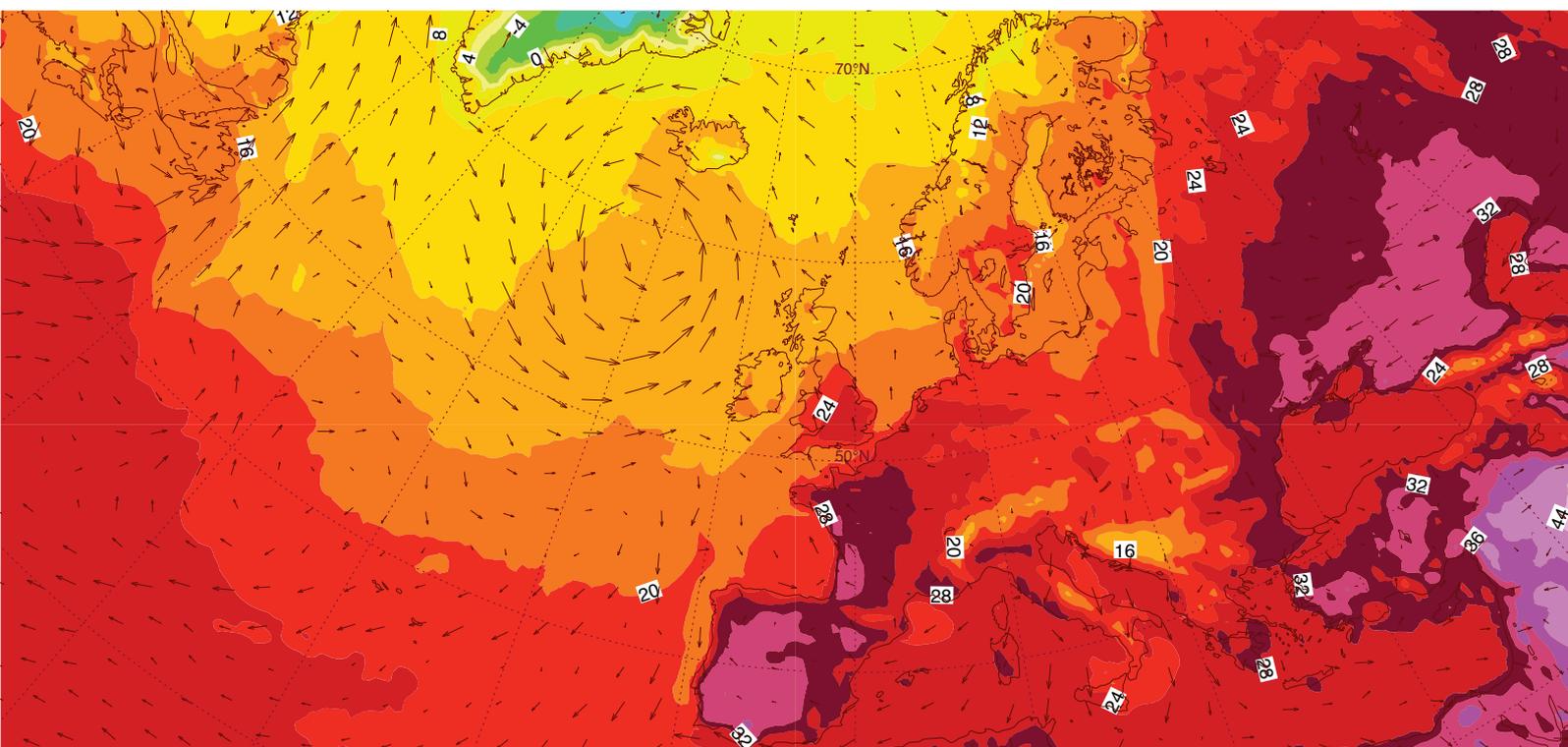
Die Kernaufgabe des EZMW besteht darin, für seine Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten mittel- und längerfristige Wettervorhersagen auf Weltklasseniveau bereitzustellen und deren Aufbereitung durch die Wetterdienste für die Endnutzer zu ermöglichen. Das Zentrum bietet seinen Partnern folgende Dienste:

**A Bereitstellung von Arbeitsergebnissen und Fachwissen für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten**

**B Pünktliche und zuverlässige Lieferung von Umweltinformationen**

Die vom EZMW bereitgestellten Dienste müssen effizient und pünktlich erbracht werden. Zusätzlich zu den mittelfristigen Wettervorhersagen ist das EZMW auch damit beauftragt, Datenbanken für meteorologische Daten, Rechenanlagen, sowie Kapazitäten für Fortbildung und Umweltinformationen bereitzustellen.

*Einer der operationellen Charts des EZMW mit der Temperaturvorhersage für eine Höhe von 2 m (Schattierung) sowie der Windvorhersage für eine Höhe von 30 m über dem Boden.*



## **A** Bereitstellung von Arbeitsergebnissen und Fachwissen für die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten

### Vorhersage-Ergebnisse

Das EZMW wird in enger Zusammenarbeit mit den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten Vorhersagedaten erstellen, die die Anforderungen der Nutzer erfüllen. Hierbei wird auch berücksichtigt werden, dass immer mehr komprimierte Informationen aus Ensemble-Vorhersagen gebraucht werden, zusammen mit geeigneten Zusatzinformationen und Fortbildungen. Das Zentrum wird weiterhin allgemeine probabilistische Vorhersagedaten, wie zum Beispiel Median, Ensemble-Mittel und -Streuung, Perzentile, Szenarios von Clustern von großskaligen Wettermustern und Änderungen der Großwetterlage, Anomalien sowie Indikatoren für Unwetter wie den Extremen Vorhersageindex abgeben. Das EZMW wird darüber hinaus die nationalen Wetterdienste seiner Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten dabei unterstützen, mehr spezifische und maßgeschneiderte Informationen zu entwickeln.

Es wird geplant, es ihnen zu ermöglichen, an ihre eigenen Bedürfnisse angepasste, spezifische, aus den Ensemble-Vorhersagen des EZMW abgeleitete Maßzahlen zu berechnen, was zu einer effizienteren Nutzung der Ressourcen und einer Verringerung der zu übermittelnden Daten führen wird. Auf globaler Ebene wird das EZMW auch weiterhin die Programme der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) unterstützen und von ihnen profitieren, sich an Arbeitsgruppen in den vielen Gebieten von gemeinsamem Interesse beteiligen und Gelegenheiten zum Aufbau von Partnerschaften mit anderen internationalen Gremien nutzen.

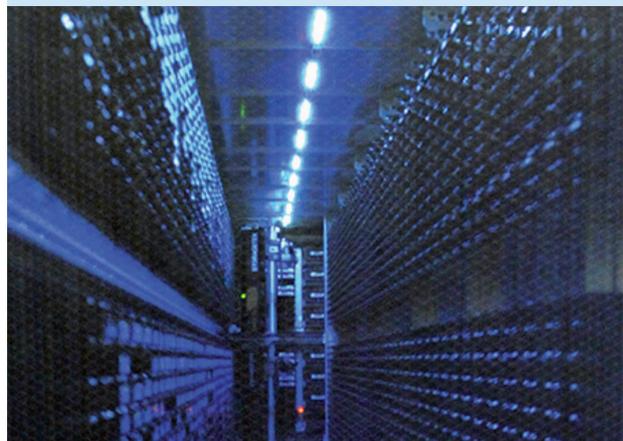
Darüber hinaus wird das EZMW die Ausbildung in WMO-Mitgliedsstaaten und den Aufbau der hierfür erforderlichen Kapazitäten unterstützen.

Das EZMW wird darüber hinaus durch die Bereitstellung von Anfangs- und Randbedingungen für Ausschnittsmodelle die Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten befähigen, bessere Vorhersagen abzugeben. Dies geschieht im Rahmen eines fakultativen Programms, an dem die Mitgliedsstaaten teilnehmen, die diese Daten benötigen. Diese von anderen Organisationen betriebenen Modelle bieten Vorhersagen mit höherer Auflösung an und nutzen zusätzliche hochaufgelöste Beobachtungen.

Die Monats-Vorhersagefrist gewinnt für die Nutzer des EZMW immer mehr an Bedeutung. Selbst wenn nicht erwartet werden kann, dass das Wetter für einen spezifischen Tag 30 oder 60 Tage im Voraus vorhergesagt werden kann, so können doch mit einem Ensemble-Ansatz Strömungssituationen identifiziert werden, die besser vorhersagbar sind als andere. Mit einer angemessenen Nachbearbeitung in Zeit und Raum wird darüber hinaus das vorhersagbare Signal aus dem Rauschen der weniger vorhersagbaren kleinskaligen und hochfrequenten Komponenten herausgepickt werden.

## BEREITSTELLUNG VON GEMEINSAM GENUTZTEN DATENBANKEN

Das EZMW betreibt das TIGGE-Archiv für die WMO. In ihm werden alte Vorhersagen von einer Reihe von Zentren zusammengefasst, um die Forschung in den Mitgliedsstaaten zu unterstützen, sowohl in den nationalen Wetterdiensten als auch in akademischen Instituten. Der Zugriff auf TIGGE ermöglicht es dem EZMW und den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten, die Leistung ihrer eigenen Vorhersagesysteme im Vergleich zu unabhängigen Systemen zu messen und vergleichende Studien durchzuführen, um Aspekte der Vorhersageleistung für einzelne Ereignisse mit großen Auswirkungen besser zu verstehen. TIGGE wird von seinen Mitgliedern zur Prüfung der statistischen Kalibrierung der Ensemble-Vorhersagen und des potentiellen Nutzens von Ensemble-Vorhersagen aus mehreren Modellen genutzt. Das EZMW arbeitet im Rahmen des Projekts EUROSIP mit Météo-France, dem britischen Met-Office und NCEP zusammen, um Daten der Jahreszeitenvorhersage auszutauschen und Multimodell-Produkte für den Betrieb zu erstellen. Die gesammelten Daten bilden darüber hinaus eine wertvolle Ressource für Forschung und Entwicklung. Es besteht innerhalb und außerhalb Europas ein wachsendes Interesse an einem Beitritt zu EUROSIP.



Die Kalibrierung wird dazu beitragen, das Ziel zu erreichen, bestmöglich korrigierte und aus mehreren Elementen optimal kombinierte Ausgabedaten bereitzustellen. Das EZMW wird seinem Ziel, nahtlose Vorhersagedaten für verschiedene Vorhersagefristen bereitzustellen, näher rücken und weiter an der Kalibrierung auf dem Modellgitter unter Verwendung von Nachhersagen und anderen Methoden arbeiten.

In Europa gelten offene Daten als Eckstein für mehr Wohlstand für die Bürger. Es gibt starke Initiativen in der nationalen Gesetzgebung für den öffentlichen Sektor, die einen Übergang zu einer offenen Datenpolitik herbeiführen sollen (PSI- und INSPIRE-Richtlinien). Das EZMW wird sehr eng mit seinen Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten zusammenarbeiten, um Politiken zu entwickeln, die diese Initiativen berücksichtigen. Unser Ziel ist es, uns im selben

## ZUSAMMENARBEIT BEI REGIONALMODELLEN

Die Zusammenarbeit des EZMW mit seinen Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten erfolgt auf vielfältige Weise und über verschiedene Plattformen. Die Partnerschaft zwischen dem EZMW, Météo-France und den Konsortien ALADIN und HIRLAM ermöglicht es den Teilnehmern, das globale Modell des Zentrums zur Entwicklung ihrer regionalen Modelle zu verwenden. Es wird an der Entwicklung von gemeinsamen Codes gearbeitet, die letztendlich zur Verbesserung des EZMW-Modells beitragen könnten, was allen Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten des EZMW zugutekäme. Weitere Beispiele für die Zusammenarbeit am Modell-Code sind die Aufnahme im IFS eines Seenmodells, das ursprünglich vom DWD für das ICON-Modell entwickelt wurde, sowie die Entwicklung von ODB-Software zusammen mit dem britischen Met-Office.

Tempo wie unsere Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten gemäß der in der Oslo-Deklaration zur offenen Datenpolitik vorgegebenen Richtung zu bewegen, und dabei sicherzustellen, dass die Nutzer über solche Änderungen umfassend informiert werden. Hierbei handelt es sich um wichtige Fragen, die die Datenlieferung und die zukünftigen Finanzmittel aus Datenverkäufen betreffen, wie Pünktlichkeit und Leistung des Abgabesystems, räumliche und zeitliche Auflösung der Daten sowie die signifikante Erhöhung der Datenvolumen. Es ist sehr wahrscheinlich, dass in Zukunft die Daten frei zur Verfügung gestellt werden und über öffentlich zugängliche Systeme heruntergeladen werden können. Das EZMW plant darüber hinaus, Rechenkapazitäten und zuverlässigere, unterstützte und an die individuellen Bedürfnisse der Kunden anpassbare Lieferdienste anzubieten, die von den Nutzern finanziert würden.

## Datenarchive, Rechenanlagen und Software

Das EZMW wird für sein Umfeld weiterhin meteorologische Daten archivieren und Rechenleistungen erbringen und hierfür die Computer- und Netzwerkinfrastruktur nutzen, die im Laufe der Jahre als einzigartige europäische Ressource aufgebaut wurde und die kein Land im Alleingang hätte schaffen können. Das EZMW verfügt über eine der weltweit größten Hochleistungsrechen- und Datenarchivierungsanlagen für meteorologische Zwecke. Sein meteorologisches Archiv ist weltweit das größte seiner Art und umfasst lange Aufzeichnungen globaler Beobachtungsdaten und Modelldaten, die nirgendwo sonst zur Verfügung stehen. Damit stellt es eine einzigartige Ressource für seine Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten sowie für die gesamte internationale Gemeinschaft dar, wobei durch den Copernicus-Klimadatenspeicher ein weiterer Ausbau erfolgt. Das EZMW wird darüber hinaus Feldforschungskampagnen zur Wetterbeobachtung unterstützen, indem es in Echtzeit Vorhersagedaten bereitstellt, die zur erfolgreichen Durchführung der jeweiligen Kampagne benötigt werden. Da die Datenmengen schneller wachsen als die Übertragungskapazitäten, werden die datennahe Verarbeitung und ganz allgemein Rechenleistungen auf Abruf bei der Datenbereitstellung eine wachsende Rolle spielen.

Ein Viertel der Kapazität der Hochleistungs-Rechenanlage des EZMW wird für den besonderen Bedarf der Mitgliedsstaaten genutzt, zum Beispiel für die Erstellung regionaler Wettervorhersagen. Die Möglichkeit einer Erweiterung der Hochleistungs-Rechenkapazitäten zur Nutzung durch die Mitgliedsstaaten wird geprüft, wobei hierfür fakultative Programme in Frage kommen. Außerdem wird das EZMW gemeinsam mit den hieran teilnehmenden Staaten und anderen Organisationen spezielle Support-Software und verbundene Anwendungen entwickeln und damit die Kosteneffizienz steigern. Abgesehen vom IFS wird die gesamte Software über eine Open-Source-Lizenz zur Verfügung gestellt, wobei zu externen Beiträgen aufgerufen wird, damit das EZMW den

*Teilnehmer am jährlichen Seminar 2015.*



## UNTERSTÜTZUNG DER MITGLIEDS UND ZUSAMMENARBEITSSTAATEN

Das EZMW unterstützt seine Mitglieder mit regelmäßigen Fortbildungskursen und bietet umfassenden operationellen Support über eine Call-Desk rund um die Uhr. Die jährliche Tagung zum Thema „Using ECMWF's Forecasts“ (Nutzung der EZMW-Vorhersagen) gibt den Mitgliedern Gelegenheit, Feedback zu liefern, und dem Zentrum dazu, die Mitglieder über jüngste Neuerungen im Vorhersagesystem zu informieren. Bei diesen Gelegenheiten, bei denen die Teilnehmer über ihre eigenen Erfahrungen berichten können, wovon alle profitieren, werden besondere Herausforderungen wie der Übergang zu probabilistischen Vorhersagen erörtert.



größtmöglichen Nutzen aus den gemeinschaftlich organisierten Entwicklungen ziehen kann.

### Fortbildung

Die Fortbildung gehört als wesentlicher Bestandteil zum Auftrag des EZMW und ist folglich ein wichtiges Element seiner Strategie. Die Fortbildung in der Wissenschaft der numerischen Wettervorhersage und in der Nutzung von Vorhersagen und Rechenkapazitäten sowie die Vermittlung von technischem Knowhow vergrößert die Wissensbasis der Meteorologen in Europa. Außerdem hat sie den Vorteil, dass sie die Möglichkeiten des EZMW erweitert, begabtes Personal aus den Mitgliedsstaaten anzuwerben. Darüber hinaus leistet sie einen erheblichen Beitrag dazu, dass die Modell-Ausgabedaten des Zentrums von einem breiten Spektrum von Partnern des EZMW verwendet

werden. In die Fortbildungsstrategie werden andere Fortbildungsinitiativen innerhalb und außerhalb Europas einbezogen, um den einzigartigen Beitrag in den Blick zu nehmen, den das EZMW leisten kann. Zur Ergänzung der Präsenzs Schulungen, die im Rahmen spezieller Fortbildungseinheiten am EZMW stattfinden, wird das Zentrum die Entwicklung verschiedener Schulungsformate wie E-Learning und anderer Formen des Fernunterrichts prüfen. Durch dieses umfassendere Fortbildungsangebot werden den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten mehr Möglichkeiten zur Schulung ihres Personals geboten und gleichzeitig Kosteneffizienz gewährleistet. Zudem erhalten Beschäftigte aus den Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten Gelegenheit, durch eine Entsendung beim EZMW zu arbeiten, um neue Fähigkeiten zu erwerben und eine praktische Ausbildung in neuen Techniken zu erhalten. Und schließlich bietet die Initiative OpenIFS einen Mechanismus, durch den Universitäten praktische Erfahrung mit einem globalen numerischen Wettervorhersagemodell in die Ausbildung der Wissenschaftler der nächsten Generation integrieren können.

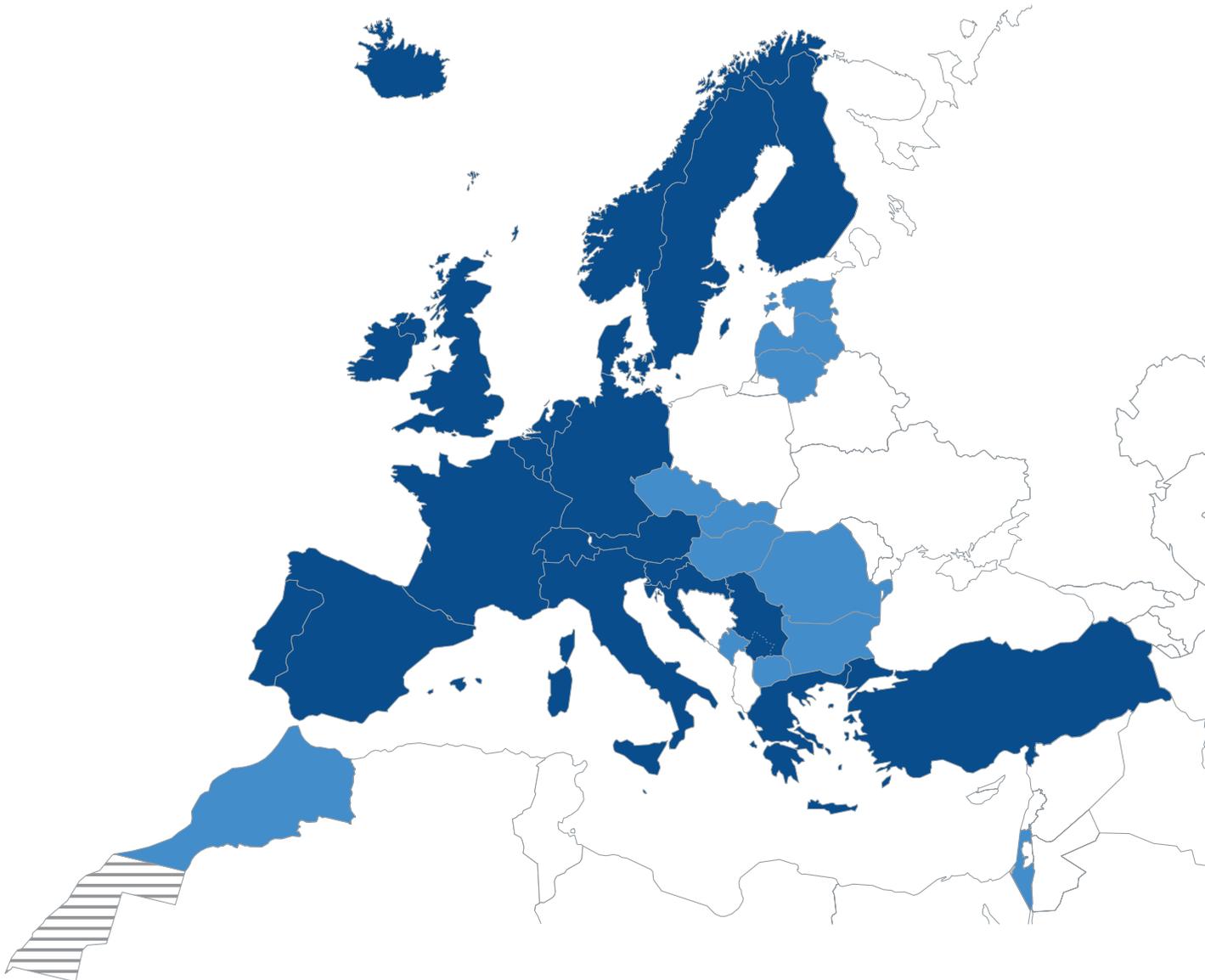
## B Umweltinformationen

Mit der Weiterentwicklung globaler Wettermodelle wie des IFS zu vollständigeren Geosystem-Modellen eröffnet sich die Möglichkeit, über das Wetter hinaus noch viele weitere Aspekte der natürlichen Umwelt zu analysieren und vorherzusagen. Es gibt eine sehr starke Nachfrage nach solchen Umweltinformationen seitens der politischen Entscheidungsträger, der Wirtschaft und der Bürger überall in Europa. Ein Beispiel dafür ist das Copernicus-Programm, in dessen Rahmen das EZMW die Dienste zur Überwachung des Klimawandels und der Atmosphäre übernimmt, die als Drittpartnertätigkeit von der Europäischen Union finanziert werden. Außerdem betreibt das EZMW das Rechenzentrum für das Europäische Überschwemmungswarnsystem („European Flood Awareness System“), das Teil des Copernicus-Katastrophenschutzdienstes ist. Diese operationellen Tätigkeiten maximieren den Mehrwert des EZMW für die europäische Gesellschaft. Die mit diesen Programmen erzeugten Daten ermöglichen die Versorgung der europäischen Bevölkerung mit verlässlichen Informationen von hoher Qualität, zum Beispiel über den Klimawandel, die Luftqualität, die Verschmutzung der Atmosphäre und Hochwasser. Da diese Umweltinformationen auf denselben Modell- und Beobachtungsstrukturen beruhen wie die Wettervorhersage, lenken sie das EZMW nicht von der Meteorologie als seinem Kernthema ab und sind voll und ganz mit den Zielsetzungen des Übereinkommens und dem Auftrag des EZMW vereinbar.

# SCHLUSSFOLGERUNG

Die Bewältigung der Herausforderungen, die im nächsten Jahrzehnt auf das EZMW zukommen, erfordert starke Partnerschaften mit Einzelpersonen, Institutionen und Regierungen. Erreicht werden wird dies durch die Stärkung der bestehenden Kooperation mit unseren Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten, die Wahrung einer starken Präsenz im Zentrum der europäischen und globalen Organisationen sowie durch Netzwerke und eine anhaltende Offenheit für neue Chancen.

Im EZMW werden die gemeinsamen meteorologischen Ziele seiner Mitglieds- und Zusammenarbeitsstaaten zusammengeführt. Es hat die Aufgabe, das zu erreichen, was keinem Land alleine gelingen kann. Es muss die nationalen Kapazitäten ergänzen und vervollständigen, den unterschiedlichen Bedürfnissen seiner Mitglieder gerecht werden und die besten globalen numerischen Wettervorhersagen erstellen, die 34 Nationen mit vereinten Kräften und einem gemeinsamen Ziel zustande bringen können.





	National Institute of Meteorology and Hydrology	<b>Bulgarien</b>	
National Hydrometeorological Service	Republic of Macedonia	<b>Ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien</b>	
	Estonian Environment Agency	<b>Estland</b>	
	Israel Meteorological Service	<b>Israel</b>	
	Latvian Environment, Geology and Meteorology Centre	<b>Lettland</b>	
	Lithuanian Hydrometeorological Service	<b>Litauen</b>	
	Météorologie Nationale, Royaume du Maroc	<b>Marokko</b>	
	Institute of Hydrometeorology and Seismology of Montenegro (IHMS)	<b>Montenegro</b>	
	National Meteorological Administration	<b>Rumänien</b>	
	Slovak Hydrometeorological Institute (SHMÚ)	<b>Slowakische Republik</b>	
	Czech Hydrometeorological Institute (CHMI)	<b>Tschechische Republik</b>	
	Hungarian Meteorological Service (OMSZ)	<b>Ungarn</b>	

Zusammenarbeitsstaaten (Januar 2016)



ECMWF, Shinfield Road, Reading RG2 9AX, UK

Tel: +44 118 949 9000

[www.ecmwf.int](http://www.ecmwf.int)

