

ORCHESTRATEUR

Meteorologie - Vollständiger deutscher Leitfaden

Ein vertiefender Leitfaden, offline verfügbar

Lesen, verstehen, ein Kapitel wiederfinden

LAFAYETTE DIGITAL PRODUCTS

Inhalt

Die Einträge des Inhaltsverzeichnisses sind anklickbar. PDF-Lesezeichen führen zu Kapiteln und Abschnitten. Der Link am Ende jeder Seite führt hierher zurück.

KAPITEL 1 - WETTER, KLIMA UND MESSUNG: RÄUMLICHE UND ZEITLICHE MASSSTÄBE UND INSTRUMENTE 6

KAPITEL 2 - TEMPERATUR UND ENERGIE: STRAHLUNG, WÄRMELEITUNG, KONVEKTION UND BILANZ 17

KAPITEL 3 - LUFTDRUCK, DICHTE UND WIND: GRADIENTEN UND ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION 27

KAPITEL 4 - WASSER IN DER ATMOSPHÄRE: DAMPF, SÄTTIGUNG, RELATIVE FEUCHTE UND TAUPUNKT 37

KAPITEL 5 - WOLKEN UND NIEDERSCHLAG: KONDENSATION, KRISTALLE UND VEREINFACHTE MIKROPHYSIK 47

KAPITEL 6 - FRONTEN UND LUFTMASSEN: ENTWICKLUNG, GELÄNDE UND ÖRTLICHE SITUATIONEN 57

KAPITEL 7 - GEWITTER, BLITZE UND HEFTIGE WETTERPHÄNOMENE: MECHANISMEN UND VORHERSAGEGRENZEN 67

KAPITEL 8 - Numerische Vorhersage: Anfangsbedingungen, Modelle und Ensembles von Szenarien 77

KAPITEL 9 - Wahrscheinlichkeiten und Unsicherheiten: Wettermitteilungen ohne Scheingenauigkeit lesen 88

KAPITEL 10 - Vigilance, Alarmierung und Entscheidung: Gefahr, Exposition und zuständige Behörden 99

KAPITEL 11 - Sicherheit von Tätigkeiten: Verschiebungskriterien und erforderliche aktuelle Daten 111

KAPITEL 12 - Wetterheft und zusammenführende Übungen: beobachten, vergleichen und Grenzen erkennen 122

Meteorologie - Vollständiger deutscher Leitfaden

METEOROLOGIE: PHÄNOMENE VERSTEHEN, VORHERSAGEN LESEN UND UMSICHTIG ENTSCHEIDEN

Ein eigenständiger Leitfaden von Lafayette Digital Products, ins Deutsche übersetzt aus dem französischen Manuskript vom 11. Oktober 2026, auf dem Niveau der letzten Schuljahre vor dem Abitur. Der französische Text wurde mit Unterstützung von Codex, dem KI-Assistenten von OpenAI, verfasst, anschließend gelesen und korrigiert. Die deutsche Übersetzung entstand ebenfalls mit Unterstützung von Codex. Dieser Leitfaden ergänzt Unterricht und Unterlagen der zuständigen Fachstellen; er ist keine offizielle pädagogische Zertifizierung. Zahlenbeispiele, Personen und Situationen, die als erfunden bezeichnet werden, sind didaktische Schöpfungen. Die Quellen dienen zur Überprüfung von Begriffen und historischen Bezügen; kein fremdes Buch wird vollständig zusammengefasst.

Jedes Kapitel verbindet Analyse, eigenständige Beispiele, Übungen mit Lösungswegen, häufige Fehler und ein Wiederholungsblatt. Bearbeiten Sie die Übungen, bevor Sie ihre Lösungen lesen, und erklären Sie anschließend mit eigenen Worten, warum eine Antwort begründet ist. Die Lösungen zeigen nachvollziehbare Wege, garantieren jedoch weder eine Note noch entsprechen sie einem offiziellen Erwartungshorizont für eine Prüfung.

Dieser offline verfügbare Leitfaden liefert weder eine aktuelle Wettervorhersage noch eine aktuelle Warnung. Konsultieren Sie für jede Tätigkeit, bei der Sie Wettergefahren ausgesetzt sind, datierte Informationen der Wetterdienste und die Anweisungen der zuständigen Behörden. Der Text bietet keine Diagnose und keine medizinische Maßnahme an. Orchestrateur ist kein Medizinprodukt;

wenden Sie sich bei Bedarf an eine medizinische Fachkraft und wählen Sie im Notfall die offizielle örtliche Notrufnummer.

KAPITEL 1 - WETTER, KLIMA UND MESSUNG: RÄUMLICHE UND ZEITLICHE MASSSTÄBE UND INSTRUMENTE

1. Was eine Wetterbeobachtung beschreibt

Die Aussage, das Wetter sei schlecht, verbindet eine Beobachtung mit einer Bewertung. Jemand wünscht sich Regen für einen Garten; jemand anderes einen trockenen Himmel für einen Weg. Um ein Phänomen zu verstehen, müssen zunächst Größen beschrieben werden: Lufttemperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit, Wind, Niederschlagsmenge und Sichtweite. Wetter bezeichnet hier den Zustand der Atmosphäre und seine Entwicklung in einem bestimmten Maßstab. Klima charakterisiert Bedingungen statistisch über lange Zeiträume, anhand von Mittelwerten, Verteilungen und Schwankungen. Eine Kälteperiode belegt daher für sich genommen keinen Klimatrend; ein klimatischer Mittelwert sagt das Wetter eines bestimmten Tages nicht voraus.

Die Atmosphäre ist ein materielles Medium. Sie besteht hauptsächlich aus Gasen, enthält aber auch Partikel und manchmal Tröpfchen oder Kristalle. Wasserdampf ist ein unsichtbares Gas; eine sichtbare Wolke ist nicht einfach ein Vorrat an Dampf, den man sehen könnte. Diese Unterscheidung wird in den folgenden Kapiteln vertieft. Schon jetzt zeigt sie, weshalb Alltagswörter unterschiedliche physikalische Zustände verdecken können. Ein scheinbar durchsichtiger Himmel bedeutet nicht, dass kein Wasser vorhanden ist; eine Wolke garantiert umgekehrt keinen Regen, der den Boden erreicht.

Eine Messung ist erst vollständig beschrieben, wenn sie eine Größe, eine Einheit, einen Ort, einen Zeitpunkt oder eine Dauer und eine Methode umfasst. „Temperatur: 18“ reicht nicht aus.

Anzugeben sind 18 Grad Celsius, die Bedingungen der Messung, die Uhrzeit und der Ort. Eine Regenhöhe von 12 Millimetern innerhalb einer Stunde beschreibt nicht dieselbe mittlere Intensität wie 12 Millimeter an einem Tag. Eine über eine bestimmte Dauer gemittelte Windgeschwindigkeit entspricht keiner maximalen Böe. Erkenntnis beginnt mit einer Beschreibung, die Vergleiche ermöglicht.

2. Der Maßstab verändert die Frage

Ein Schauer kann ein Viertel betreffen und an einer wenige Kilometer entfernten Station vorbeiziehen. Ein Tiefdruckgebiet kann mehrere Tage lang das Wetter einer großen Region bestimmen. Eine Klimareihe kann sich über mehrere Jahrzehnte erstrecken. Diese Maßstäbe sind nicht austauschbar. Wenn gefragt wird, ob eine Vorhersage zutrifft, müssen Gebiet, Zeitraum und das bewertete Ereignis bestimmt werden. Die Ankündigung möglicher Schauer in einem französischen Département behauptet nicht, dass es den ganzen Tag in jeder Straße regnen wird.

Der räumliche Maßstab betrifft die Ausdehnung des Phänomens und die Auflösung der Informationen. Der zeitliche Maßstab betrifft seine Dauer, die Häufigkeit von Beobachtungen und die Vorhersagefrist. Eine Messung an einem einzelnen Punkt ist eine Stichprobe der Umgebung und kein Abbild von allem, was sich ringsum ereignet. Ein Satellitenbild umfasst eine große Fläche, ersetzt aber nicht automatisch eine Messung am Boden. Ein stündlicher Messwert kann eine sehr kurze Veränderung verpassen. Instrumente ergänzen sich deshalb, weil sie nicht genau dieselben Gegenstände beobachten.

Erfundenes Szenario: Zwei Schüler stellen ein Thermometer in einen Hof und ein anderes nahe einer von der Sonne beschienenen Mauer. Das erste zeigt 21 Grad, das zweite 29 Grad. Sie schließen daraus, dass eines zwangsläufig defekt ist. Dieser Schluss geht

über die Beobachtungen hinaus. Die empfangene Strahlung, die Belüftung, die Nähe zur Mauer und die Einstellzeit können einen Unterschied erklären. Zum Vergleich müssen die Geräte zunächst vergleichbare Bedingungen erhalten. Die Abweichung zwischen zwei Zahlen wirft hier zuerst eine methodische Frage auf, bevor sie einen Defekt beweist.

3. Vom Instrument zum Messwert

Ein Sensor wandelt eine Eigenschaft seiner Umgebung in ein Signal um, das abgelesen oder aufgezeichnet werden kann. Ein Thermometer misst seine eigene Temperatur nach dem Energieaustausch mit seiner Umgebung; angestrebt wird, dass diese Temperatur die Lufttemperatur angemessen repräsentiert. Ein Barometer reagiert auf den Luftdruck. Ein Regenmesser sammelt Wasser auf einer bekannten Fläche. Ein Anemometer misst eine örtliche Bewegung. Keines dieser Geräte beschreibt unmittelbar die gesamte Atmosphäre.

Die Auflösung ist die kleinste Veränderung, die ein Gerät anzeigen oder unterscheiden kann. Die Anzahl angezeigter Nachkommastellen garantiert keine Messrichtigkeit. Ein Bildschirm mit dem Wert 20,137 Grad kann einen systematischen Fehler aufweisen, der größer ist als die letzten sichtbaren Ziffern. Bei einer Kalibrierung wird das Gerät unter festgelegten Bedingungen mit einer Referenz verglichen. Eine Messunsicherheit drückt begrenztes Wissen über das Ergebnis aus; sie bedeutet nicht, dass jede Messung unbrauchbar ist. Es gilt zu lernen, nur die Ziffern und Schlussfolgerungen beizubehalten, welche die Methode tatsächlich zulässt.

Ein systematischer Fehler verschiebt Ergebnisse dauerhaft in eine Richtung. Zufällige Schwankungen können Abweichungen in mehrere Richtungen hervorbringen. Die Wiederholung einer Messung hilft dabei, diese Schwankungen zu untersuchen,

beseitigt aber nicht zwangsläufig einen gemeinsamen systematischen Fehler. Zehn Messwerte eines ungünstig aufgestellten Geräts können sehr dicht beieinanderliegen und alle die gesuchte Lufttemperatur schlecht repräsentieren. Wiederholung ist nützlich, wenn klar ist, was sie überprüft. Sie ersetzt die Kontrolle der Messbedingungen nicht.

4. Die Regenhöhe als Beispiel für eine Größe

Die Niederschlagshöhe entspricht einem über eine Fläche verteilten Volumen. Ein Millimeter Wasser auf einem Quadratmeter entspricht einem Liter. Das lässt sich zeigen: Ein Millimeter entspricht 0,001 Meter; mit einem Quadratmeter multipliziert ergibt das 0,001 Kubikmeter, also einen Liter. Die Rechnung betrifft eine geometrische Gleichwertigkeit. Sie besagt weder, dass jeder Quadratmeter einer Region genau dieselbe Menge erhält, noch, dass das gesamte Wasser nach dem Regen an Ort und Stelle bleibt.

In einem erfundenen Szenario erhält eine horizontale Fläche von 4 Quadratmetern gleichmäßig 7 Millimeter Regen. Das entsprechende Volumen beträgt 4 × 7 = 28 Liter. Bei einem Dach müssen darüber hinaus die maßgebliche Auffangfläche, Verluste, Abflüsse und die Kapazität des Systems unterschieden werden. Die theoretische Zahl garantiert kein verfügbares Volumen. Dieselbe Sorgfalt gilt für den Oberflächenabfluss: Boden, Gefälle und Ausgangszustand verändern die Reaktion des Geländes.

Eine mittlere Intensität wird berechnet, indem eine Niederschlagshöhe durch eine Dauer geteilt wird. Zwölf Millimeter in zwei Stunden entsprechen im Mittel 6 Millimetern pro Stunde. Es ist möglich, dass fast das gesamte Wasser innerhalb von zehn Minuten gefallen ist. Der Mittelwert gibt deshalb weder das momentane Maximum noch die örtlichen Auswirkungen wieder. Eine Sicherheitsmitteilung muss mit ihren Angaben zu Dauer,

Verteilung und möglichen Folgen gelesen werden, nicht nur anhand einer Gesamtmenge.

5. Direkte Messungen und indirekte Beobachtungen

Eine Station liefert entsprechend ihrem Standort und ihren Sensoren örtliche Messungen. Ein Radiosondenballon untersucht während seiner Bewegung ein vertikales Profil. Ein Radar analysiert von Partikeln reflektierte Signale und erzeugt Schätzungen, die einer Interpretation bedürfen. Ein Satellit beobachtet Strahlung; bestimmte Eigenschaften der Umgebung werden anschließend mithilfe physikalischer Verfahren erschlossen. Indirektes Beobachten bedeutet nicht Erfinden. Es bedeutet, den Zusammenhang zwischen empfangenem Signal und gesuchter Größe kennen zu müssen.

Ein farbiges Bild ist bereits eine Darstellung. Seine Farben können Werteklassen entsprechen und müssen nicht die Farben sein, die ein menschlicher Beobachter sehen würde. Lesen Sie stets Legende, Erstellungszeit, abgedecktes Gebiet und dargestellte Größe. Ein Wolkenbild reicht nicht aus, um Regen am Boden festzustellen. Ein Radar kann Niederschlag in der Höhe erfassen, von dem ein Teil verdunstet, bevor er das Gelände erreicht. Eine fehlende Messung in einem Gebiet beweist nicht, dass dort kein Phänomen auftritt.

In seiner Einführung zu Beobachtungen erklärt das Met Office: „Meteorological observations are essential for understanding and predicting weather and climate.“ Dieses kurze Zitat aus elf Wörtern ordnet die Funktion der Daten ein; es besagt nicht, dass ein einzelnes Instrument alles vorhersagt. Die Beispiele und Überlegungen dieses Kapitels sind eigenständig. Die Quelle dient zur Überprüfung der Unterscheidung zwischen Beobachtungsarten, ohne die ausführlichen Beschreibungen ihrer Netze oder ihre Betriebswerte wiederzugeben.

6. Fehlende Daten und Änderungen der Methode

Eine Messreihe enthält manchmal Lücken. Einen fehlenden Wert durch null zu ersetzen, verwandelt fehlende Information in eine Messung und verfälscht die Ergebnisse. Der Hinweis auf einen fehlenden Wert muss ausdrücklich erhalten bleiben. Wird ein Wert geschätzt, muss diese Schätzung weiterhin von einer Beobachtung unterscheidbar sein. In einem Lernheft ist eine ehrliche unvollständige Reihe besser als eine Reihe, die mit erfundenen Zahlen gefüllt wurde.

Die Verlegung einer Station, ein neues Instrument oder eine Veränderung der Umgebung können eine Reihe beeinflussen. Ein Vorher-Nachher-Vergleich verlangt dann die Unterscheidung zwischen atmosphärischer Veränderung und Veränderung der Messung. Das bedeutet nicht, dass lange Reihen wertlos sind. Es erklärt die notwendige Prüfung vor einer klimatischen Interpretation. Ein Hof, der nach und nach von Gebäuden umgeben wird, repräsentiert nicht mehr genau dieselbe Umgebung wie ein offener Hof.

Statistiken beschreiben die verfügbare Reihe nach ausgewählten Regeln. Ein Mittelwert kann Extremwerte verdecken; ein Median kann deren Bedeutung für eine gefährdete Tätigkeit verdecken. Eine Häufigkeit lässt sich nur interpretieren, wenn die Ereignisse definiert sind. Zum Zählen von Regentagen werden ein Schwellenwert und ein Zeitraum benötigt. Wird der Schwellenwert mitten in einem Vergleich geändert, verändert sich die Bedeutung des Ergebnisses. Wissenschaftliche Redlichkeit verlangt, diese Entscheidungen sichtbar zu machen.

7. Eine eigenständige Untersuchung zum Lernen

Stellen Sie sich vor, Sie möchten zwei Orte vergleichen: einen Garten und einen gepflasterten Platz. Die Frage „Wo ist es wärmer?“ muss genauer werden. Möchten Sie die Lufttemperatur im Schatten, die Temperatur einer Oberfläche oder eine empfundene Wärme vergleichen? Das sind nicht drei Bezeichnungen für dieselbe Größe. Eine exponierte Oberfläche kann heiß sein, während ein korrekt geschützter Luftsensor einen anderen Wert anzeigt. Eine Empfindung hängt darüber hinaus von Wind, Strahlung und individuellen Faktoren ab.

Eine vernünftige Methode für eine Schulübung besteht darin, eine Größe auszuwählen, vergleichbare Instrumente zu verwenden, Uhrzeit und Bedingungen zu notieren und den Vergleich anschließend zu wiederholen, ohne eine vollständige klimatologische Studie zu behaupten. Die Ergebnisse sind als begrenzte örtliche Beobachtungen darzustellen. Sie können eine Hypothese über die Rolle der Materialien und des Schattens formulieren, müssen aber die nicht kontrollierten Faktoren anerkennen. Eine klar begrenzte Hypothese vermittelt mehr als eine allgemeine Schlussfolgerung über alle Städte.

Das Heft kann vier Spalten enthalten: das Beobachtete, seine Messweise, die vorgeschlagene Interpretation und das weiterhin Ungewisse. Diese Trennung verhindert, dass ein Eindruck sofort in eine Erklärung verwandelt wird. Wenn Sie „dunkle Wolke“ notieren, ersetzen Sie die Beobachtung nicht automatisch durch „unmittelbar bevorstehendes Gewitter“. Eine mögliche Interpretation muss eine Interpretation bleiben. Eine tatsächliche Tätigkeit verlangt aktuelle Informationen der zuständigen Dienste, auch wenn eine Übung korrekt ausgeführt wurde.

8. Schrittweise Übungen und Lösungen

Übung 1 - Einen Messwert vervollständigen. In einem Heft steht „Wind: 30“. Nennen Sie die fehlenden Informationen und schlagen Sie einen vollständigen erfundenen Eintrag vor.

Mögliche Lösung: Es fehlen mindestens Einheit, Art des Wertes, die Richtung, falls sie gemessen wird, Ort, Uhrzeit und Methode. Ein Lerneintrag könnte lauten: „erfundene mittlere Windgeschwindigkeit von 30 km/h, aus Westen, über die vom Gerät angegebene Dauer, an Punkt A, um 14 Uhr“. Dieser Eintrag ist keine wirkliche Beobachtung. Er zeigt, weshalb ein Zahlenwert allein weder einen strengen Vergleich noch eine Sicherheitsentscheidung erlaubt.

Übung 2 - Eine Niederschlagshöhe umrechnen. Eine erfundene horizontale Fläche von 3 Quadratmetern erhält gleichmäßig 8 Millimeter Regen. Berechnen Sie das entsprechende geometrische Volumen und nennen Sie zwei praktische Grenzen.

Lösung: 1 Millimeter auf 1 Quadratmeter entspricht 1 Liter; das Volumen beträgt daher 3 × 8 = 24 Liter. Der Regen ist möglicherweise nicht gleichmäßig verteilt; Verluste und Abflüsse können eine vollständige Sammlung verhindern. Die Rechnung liefert keine Trinkwassermenge und erlaubt keinen Schluss über die gesundheitliche Eignung. Einheiten und Bedeutung des Ergebnisses müssen zusammen mit der Rechenoperation angegeben werden.

Übung 3 - Einen Mittelwert untersuchen. Ein Schauer bringt in dreißig Minuten 15 Millimeter Regen. Welche mittlere Intensität ergibt sich in Millimetern pro Stunde? Lässt sich daraus das Maximum während einer Minute ableiten?

Lösung: Dreißig Minuten entsprechen einer halben Stunde; 15 / 0,5 = 30 Millimeter pro Stunde. Das Maximum während einer Minute

ist unbekannt. Eine gleichmäßige Verteilung und eine Abfolge starker Schwankungen können denselben Mittelwert haben. Verwandeln Sie eine gemittelte Größe nicht in eine momentane Messung. Diese Unterscheidung ist wesentlich für die Interpretation der Auswirkungen von Niederschlag auf ein Gelände.

Übung 4 - Wetter und Klima unterscheiden. In einer Stadt ist ein Tag kälter als der Mittelwert eines Monats. Ein Kommentar schließt daraus, dass sich das Klima nicht verändert. Analysieren Sie diesen Schluss, ohne hier eine reale Klimareihe zu behandeln.

Lösung: Eine tägliche Beobachtung und eine langfristige statistische Entwicklung betreffen unterschiedliche Maßstäbe. Werte unterhalb eines Mittelwerts können in einer Verteilung auftreten, deren Mittelwert steigt. Zur Behandlung der Klimafrage muss eine ausreichend lange, geprüfte Reihe untersucht werden. Die Übung widerlegt den Schluss auf Grundlage eines einzigen Tages; sie berechnet keinen tatsächlichen Trend und ersetzt keine fachliche Analyse.

Übung 5 - Einen Vergleich entwerfen. Zwei Thermometer liefern unterschiedliche Werte. Schlagen Sie drei Kontrollen vor, bevor eines für defekt erklärt wird, und erläutern Sie anschließend, was eine Wiederholung feststellen kann und was nicht.

Lösung: Vergleichen Sie ihre Strahlungsexposition, ihre Belüftung und ihre Einstellzeit; untersuchen Sie außerdem ihre Auflösung und die Kalibrierungsreferenz. Sie vorübergehend unter vergleichbaren Bedingungen aufzustellen, kann helfen, eine instrumentelle Abweichung zu erkennen, sofern dies ihrer vorgesehenen Nutzung entspricht. Eine Wiederholung gibt Aufschluss über Schwankungen, beseitigt aber einen gemeinsamen systematischen Fehler nicht automatisch. Der Schluss muss den tatsächlich vorgenommenen Kontrollen angemessen bleiben.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Häufige Fehler bestehen darin, den angezeigten Wert mit dem exakten Wert, die Oberflächentemperatur mit der Lufttemperatur, eine Böe mit dem mittleren Wind und ein Bild mit einer unmittelbar interpretierbaren Beobachtung zu verwechseln. Ein weiterer Fehler ist, fehlenden Daten den Wert null zu geben. Schließlich kommen klimatische Schlussfolgerungen aus einem einzigen Tag und praktische Entscheidungen anhand einer alten Karte vor. Diese Verwechslungen werden korrigiert, indem zu Größe, Einheit, Maßstab und Methode zurückgekehrt wird.

Wiederholungsblatt: Eine Angabe muss örtlich und zeitlich eingeordnet sein; ein Mittelwert beschreibt nicht alle Extreme; eine punktuelle Messung ist keine vollständige Karte; eine indirekte Beobachtung benötigt ein Interpretationsmodell. Ein Millimeter Wasser auf einem Quadratmeter entspricht einem Liter. Klima beschreibt Verteilungen und ihre Entwicklungen; Wetter beschreibt atmosphärische Situationen in kürzeren zeitlichen Maßstäben. Jede Vorhersage, die für eine tatsächliche Tätigkeit genutzt wird, muss aktuell und auf das jeweilige Gebiet abgestimmt sein.

Erklären Sie zur Wiederholung, weshalb zwei unterschiedliche Zahlen mit zwei korrekt ausgeführten Messungen vereinbar sein können. Konstruieren Sie anschließend eine Situation, in der der Unterschied tatsächlich ein instrumentelles Problem offenlegt. Das Ziel ist nicht, jedes Gerät zu verteidigen: Es besteht darin, die Kontrollen zu verstehen, die eine Schlussfolgerung ermöglichen.

Quellen und Herkunft: NOAA, physikalische Einführung in die Atmosphäre, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere ; Met Office, Types of observations, https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations, das obige kurze Zitat und die Unterscheidung von Beobachtungsarten. Seiten für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Einheitenumrechnungen, Szenarien, Übungen und Lösungen von LFDP verfasst. Keine aktuelle Karte, operationelle Vorhersage, fremde Abbildung oder fremde

Messreihe wiedergegeben.

KAPITEL 2 - TEMPERATUR UND ENERGIE: STRAHLUNG, WÄRMELEITUNG, KONVEKTION UND BILANZ

1. Temperatur und Energie sind nicht dasselbe

Eine kleine Menge heißen Wassers und ein großer lauwarmer Behälter können unterschiedliche Temperaturen haben und zugleich sehr unterschiedliche Mengen thermischer Energie speichern. Temperatur beschreibt einen Zustand; übertragene Energie beschreibt, was von einem System zu einem anderen gelangt oder umgewandelt wird. Für Überlegungen in der Meteorologie muss das System bestimmt werden: eine Bodenfläche, ein Luftvolumen, eine Atmosphärenschicht oder das gesamte System Erde-Atmosphäre. Ohne diese Festlegung kann ein örtlicher Austausch mit einer globalen Bilanz vermischt werden.

Wärme bezeichnet hier eine Energie, die aufgrund eines Temperaturunterschieds übertragen wird. Sie ist kein Stoff, den die Luft wie Wasser in einer Flasche enthält. Auf mikroskopischer Ebene hängt die Temperatur mit der Bewegung der Bestandteile zusammen; in diesem Kurs werden vor allem Beziehungen zwischen makroskopischen Messungen verwendet. Eine Temperatur in Grad Celsius eignet sich für den Alltag. Physikalische Rechnungen, in denen eine absolute Temperatur vorkommt, verwenden Kelvin: T in Kelvin = Temperatur in Grad Celsius + 273,15. Eine Änderung um ein Kelvin entspricht einer Änderung um ein Grad Celsius.

Eine Unterscheidung ist wesentlich: Der Übergang von 10 zu 20 Grad Celsius verdoppelt die absolute Temperatur nicht. Er führt von 283,15 zu 293,15 Kelvin. Grad Celsius unmittelbar in einer Formel zu verwenden, die proportional zur absoluten Temperatur

ist, kann einen erheblichen Fehler erzeugen. Die Wahl der Einheit ist daher kein Detail der Darstellung; sie gehört zur physikalischen Bedeutung der Rechnung.

2. Drei Mechanismen der Übertragung unterscheiden

Wärmeleitung überträgt Energie durch Materie, ohne dass sich das Medium als Ganzes bewegen muss. So tauschen benachbarte Bereiche im Boden Energie aus. Konvektion umfasst die Bewegung eines Fluids, beispielsweise von Luft, die Energie von einem Bereich in einen anderen transportiert. Strahlung transportiert Energie in elektromagnetischer Form und kann sich durch das Vakuum ausbreiten. Diese Mechanismen können gleichzeitig wirken. Sie sind keine drei Ursachen, die sich ausschließen, sobald eine davon erkannt wird.

In einer erfundenen Szene empfängt eine Platte Sonnenstrahlung, tauscht Energie mit dem darunterliegenden Boden aus und erwärmt die Luft, die sie berührt. Eine Luftbewegung erneuert anschließend diesen Kontakt. Strahlung erklärt einen Energieeintrag; Wärmeleitung wirkt in der Materie; Luftbewegungen tragen zum Transport bei. Die Aussage, dass die Sonne wärmt, erklärt noch nicht, weshalb sich zwei benachbarte Oberflächen unterschiedlich entwickeln oder weshalb Wind ihre Temperatur verändert.

Natürliche Konvektion hängt unter anderem von Dichteunterschieden und der Schichtung des Mediums ab. Ein Luftpaket mit geringerer Dichte als seine Umgebung kann durch Auftrieb aufsteigen. Das bedeutet weder, dass jede warme Luft unbegrenzt aufsteigt, noch, dass sie nur ihre Wärme transportiert, ohne ihren Zustand zu verändern. Umgebungsdruck, Durchmischung und vertikale Bedingungen spielen eine Rolle. Das Kapitel über Wolken untersucht die mit dem Aufstieg verbundene

Abkühlung, ohne sie mit einem einfachen Wärmeverlust durch Kontakt zu verwechseln.

3. Absorbieren, reflektieren und emittieren

Trifft Strahlung auf eine Oberfläche, kann ein Teil reflektiert, ein Teil absorbiert und manchmal ein Teil durchgelassen werden. Die Albedo ist ein reflektierter Anteil, der für bestimmte Bedingungen und einen bestimmten Strahlungsbereich definiert wird. Ein Wert von 0,30 bedeutet, dass 30 % des betrachteten Strahlungsflusses reflektiert werden. Er bedeutet nicht, dass die Oberfläche zwangsläufig kalt bleibt: Ihre gesamte Bilanz und ihre Eigenschaften müssen untersucht werden.

Ein vollständig erfundenes Zahlenbeispiel verwendet zwei Oberflächen, die jeweils 500 Watt pro Quadratmeter empfangen. Die erste reflektiert 20 % und absorbiert in diesem Modell ohne Transmission 400 Watt pro Quadratmeter. Die zweite reflektiert 60 % und absorbiert 200 Watt pro Quadratmeter. Der Unterschied in der Absorption beträgt 200 Watt pro Quadratmeter. Um auf einen Temperaturunterschied zu schließen, müssen zusätzlich Wärmekapazität, Verluste, verfügbares Wasser und Umgebung bekannt sein. Absorption allein ist keine Temperatur.

Irdische Gegenstände senden ebenfalls Wärmestrahlung aus. Diese verschwindet nachts nicht; gerade deshalb kann eine Oberfläche auch ohne Sonne Energie verlieren. Die Emission hängt von Temperatur und Eigenschaften der Oberfläche ab. Eine sichtbare Farbe verrät nicht alle Eigenschaften im Infrarotbereich. Die Behauptung, ein dunkler Gegenstand sende immer in sämtlichen Bereichen mehr Strahlung aus, wäre deshalb zu allgemein. Die Absorption von Sonnenstrahlung muss von der thermischen Emission unterschieden werden.

4. Eine Bilanz statt einer einzigen Erklärung aufstellen

Eine Bilanz vergleicht Zuflüsse, Abflüsse und die Veränderung des gespeicherten Energievorrats. Vereinfacht gilt: Energieänderung = empfangene Energie minus abgegebene Energie. Übersteigen die Zuflüsse die Abflüsse, speichert das System zusätzliche Energie; sind sie kleiner, verliert es Energie. Dieses Prinzip der Bilanzierung liefert nicht alle Flüsse: Es zeigt, wie sie miteinander verbunden werden, wenn Messungen oder Annahmen vorliegen.

Die NASA verwendet in ihrer Erklärung der irdischen Energiebilanz den Ausdruck „Energy leaves the surface“. Dieses kurze Zitat aus vier Wörtern erinnert lediglich daran, neben den Zuflüssen auch die Abflüsse zu untersuchen. Die Zahlen ihrer Abbildungen werden hier nicht übernommen. In unseren Lernmodellen sind die Zahlen erfunden, und ausgelassene Austauschprozesse werden ausdrücklich benannt. Dieses Vorgehen verhindert, dass eine Übung als aktuelle Messung des Klimasystems dargestellt wird.

Erfundenes Szenario: Eine Oberfläche empfängt insgesamt 420 Watt pro Quadratmeter und gibt insgesamt 390 Watt pro Quadratmeter ab, zehn Minuten lang und als konstant angenommen. Der Nettofluss beträgt +30 Watt pro Quadratmeter. Über 600 Sekunden ergibt sich eine Speicherung von 30 × 600 = 18 000 Joule pro Quadratmeter. Dieses Ergebnis lässt sich nicht sofort in Grad umrechnen, ohne die betroffene Masse und ihre Wärmekapazität zu kennen und zu prüfen, ob weitere Umwandlungen stattfinden.

5. Wärmekapazität und thermische Trägheit

Die Wärmekapazität gibt an, welche Energie erforderlich ist, um die Temperatur eines Systems unter festgelegten Bedingungen zu verändern. Für die Masse m eines Stoffes, dessen spezifische Wärmekapazität c annähernd konstant ist, gilt ohne Zustandsänderung: Q = m × c × Temperaturänderung. Q wird in Joule angegeben, wenn m in Kilogramm, c in Joule pro Kilogramm und Kelvin und die Änderung in Kelvin angegeben werden. Die Formel beschreibt ein begrenztes Modell; sie lässt sich nicht ohne Weiteres auf eine Umwandlung mit Verdampfung oder Schmelzen anwenden.

In einer erfundenen Übung werden 2 Kilogramm Wasser mit c = 4 200 Joule pro Kilogramm und Kelvin modelliert. Eine Erwärmung um 3 Grad erfordert Q = 2 × 4 200 × 3 = 25 200 Joule, wenn die anderen Austauschprozesse vernachlässigt werden. Eine konstante Nettoleistung von 100 Watt würde diese Energie in 252 Sekunden liefern. Das Ergebnis folgt aus den Annahmen; es beschreibt kein wirkliches Gerät, dessen Nettoleistung und Verluste sich ändern können.

Thermische Trägheit erklärt, weshalb ein Medium nicht augenblicklich auf eine Änderung der Energiezufuhr reagiert. Ein großer Speicher kann weiterhin Energie abgeben, nachdem die empfangene Strahlung abgenommen hat. Zwei Materialien und zwei unterschiedliche Schichtdicken zeigen nicht zwangsläufig dieselbe Reaktion. Ozeane und Böden folgen deshalb unterschiedlichen Rhythmen; eine allgemeine Aussage reicht jedoch nicht aus, um eine örtliche Temperatur vorherzusagen. Transport und Zustandsänderungen müssen ebenfalls untersucht werden.

6. Verdunstung und latente Energie

Eine Zustandsänderung kann Energie beanspruchen, ohne die Temperaturänderung hervorzurufen, welche die vorherige Formel vorhersagen würde. Verdunstung erfordert eine Energiezufuhr; Kondensation setzt Energie in die Umgebung frei. Diese Energie trägt zu den Austauschprozessen in der Atmosphäre bei. Latent bedeutet nicht magisch oder unzugänglich: Der Begriff unterscheidet eine mit der Zustandsänderung verbundene Übertragung von einer fühlbaren Erwärmung im verwendeten Modell.

Betrachten wir eine erfundene Oberfläche, die unter zwei Bedingungen denselben verfügbaren Nettofluss empfängt. Im ersten Fall kann Wasser verdunsten; im zweiten ist die Oberfläche trocken, und dieser Übertragungsweg ist eingeschränkt. Die Temperaturänderungen können sich unterscheiden, weil die Energie unterschiedlich aufgeteilt wird. Allein aus dem feuchten oder trockenen Zustand darf nicht automatisch eine genaue Temperatur abgeleitet werden. Wind, Wassernachschub und die anderen Austauschprozesse verändern diese Aufteilung.

Diese Erklärung hilft zu verstehen, weshalb eine Temperaturbeobachtung nicht ausreicht, um die gesamte ausgetauschte Energie zu beschreiben. Ein System kann Energie empfangen und einen Teil davon für eine Zustandsänderung verwenden. Umgekehrt geht die Bildung von Tröpfchen mit einer Energiefreisetzung einher, die das Medium beeinflusst. Wolken sind daher nicht nur Zeichnungen am Himmel; sie wirken an physikalischen Umwandlungen mit, die ein Modell darstellen muss.

7. Strahlungsgleichgewicht, Klima und örtliche Schwankungen

Ein langfristiges globales Gleichgewicht bedeutet, dass sich die mittleren Zuflüsse und Abflüsse annähernd ausgleichen. Es verlangt weder eine einheitliche Temperatur noch das Ausbleiben örtlicher Schwankungen. Regionen empfangen und verlieren unterschiedliche Energiemengen; atmosphärische und ozeanische Zirkulationen verteilen die Energie neu. Eine Oberfläche, die sich am Nachmittag erwärmt, beweist nicht, dass der gesamte Planet im selben Augenblick eine dazu proportionale Energiemenge speichert.

Gase und Wolken wechselwirken je nach Wellenlänge mit der Strahlung. Der Mechanismus des atmosphärischen Treibhauseffekts darf nicht vollständig mit dem eines Gartengewächshauses gleichgesetzt werden, in dem auch andere Austauschprozesse verändert werden. Der Begriff bleibt nützlich, wenn klargestellt wird, dass es um die Absorption und Emission von Strahlung in der Atmosphäre geht. Dieses Kapitel berechnet keine Klimaprojektion und macht aus diesem Mechanismus keine alleinige Erklärung für das Wetter von morgen.

Wolkenbedeckung kann die solaren Einträge und den Infrarotaustausch verändern. Ihre Nettowirkung hängt von den Bedingungen ab; die Regel, dass Wolken immer erwärmen oder immer abkühlen, wäre unzureichend. Derselbe Prozess kann je nach Zeitpunkt, Höhe, Dicke und den anderen Bestandteilen der Bilanz unterschiedliche Folgen haben. Diese Grenze fordert dazu auf, die richtige Frage zu stellen, nicht die physikalische Erklärung aufzugeben.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1 - Einheiten. Rechnen Sie 12 Grad Celsius in Kelvin um. Entspricht eine Temperaturänderung von 4 Grad Celsius einer Änderung um 277,15 Kelvin?

Lösung: 12 + 273,15 = 285,15 Kelvin. Eine Änderung von 4 Grad Celsius entspricht 4 Kelvin, weil der Abstand zwischen den Skalen bei der Differenz entfällt. Zu einer Änderung 273,15 zu addieren wäre ein Fehler. Unterscheiden Sie den Wert einer Temperatur vom Abstand zwischen zwei Temperaturen, bevor Sie die Rechenoperation auswählen.

Übung 2 - Erfundenes Albedobeispiel. Auf eine undurchsichtige Oberfläche trifft ein Strahlungsfluss von 600 Watt pro Quadratmeter; ihre Albedo für diesen Fluss beträgt 0,25. Berechnen Sie den reflektierten und den absorbierten Anteil. Lässt sich daraus die Temperatur ableiten?

Lösung: Der reflektierte Anteil beträgt 600 × 0,25 = 150 Watt pro Quadratmeter; der absorbierte Anteil beträgt 450 Watt pro Quadratmeter. Die Temperatur ist nicht bestimmt: Angaben zu Abflüssen, Wärmekapazität und Umwandlungen fehlen. Selbst eine exakte Zahlenrechnung kann daher eine nur teilweise Information liefern. Diese Information muss benannt werden, statt ihr eine Aussagekraft zu geben, die sie nicht besitzt.

Übung 3 - Speicherung. Ein erfundenes System hat fünf Minuten lang einen Nettofluss von −20 Watt pro Quadratmeter. Berechnen Sie seine Energieänderung pro Fläche und interpretieren Sie ihr Vorzeichen.

Lösung: Fünf Minuten entsprechen 300 Sekunden; −20 × 300 = −6 000 Joule pro Quadratmeter. Das negative Vorzeichen bezeichnet nach der angegebenen Konvention einen Nettoverlust. Es liefert nicht unmittelbar eine Temperaturabnahme in Grad. Eine

Vorzeichenkonvention muss in der gesamten Rechnung gleich bleiben; ein Vorzeichen ist keine Verzierung, die nachträglich zum Ergebnis hinzugefügt wird.

Übung 4 - Vereinfachtes Erwärmen. Ein erfundenes Luftvolumen hat eine Masse von 3 Kilogramm; c wird mit 1 000 Joule pro Kilogramm und Kelvin angenommen. Es empfängt 9 000 Joule ohne weiteren Austausch und ohne Änderung der Masse. Welche Änderung ergibt das Modell? Nennen Sie zwei Gründe, weshalb die wirkliche Atmosphäre komplexer ist.

Lösung: Änderung = Q / (m × c) = 9 000 / 3 000 = 3 Kelvin, also 3 Grad Celsius. In der Atmosphäre verändern Bewegungen und Durchmischung das System; Druck und Umwandlungen des Wassers können ebenfalls eingreifen. Das Ergebnis gilt unter den Annahmen und ist keine örtliche Vorhersage. Die fehlenden Bedingungen zu benennen, ist ein Teil der wissenschaftlichen Antwort.

Übung 5 - Argumentieren. Jemand behauptet, Wind könne eine sonnenbeschienene Oberfläche nicht beeinflussen, weil die Sonne weiterhin strahle. Entwickeln Sie eine Antwort mithilfe einer Bilanz.

Mögliche Lösung: Strahlung beschreibt einen Eintrag, während Wind den Austausch mit der Luft und die Verdunstung verändern kann. Ein unveränderter Eintrag verlangt keine unveränderte Bilanz. Zur Vorhersage der Veränderung müssten sämtliche Flüsse bekannt sein. Die Antwort behauptet nicht, dass jeder Wind immer dieselbe Folge erzeugt; sie erklärt, weshalb das ursprüngliche Argument unvollständig ist.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Die wichtigsten Fehler sind die Verwechslung von Temperatur und Energie, Leistung in Watt und Energie in Joule, absoluter Temperatur und Temperaturdifferenz sowie Absorption von Sonnenstrahlung und Infrarotemission. Ein weiterer Fehler besteht darin, jede Veränderung mit einem einzigen Mechanismus zu erklären, ohne das System festzulegen. Notieren Sie zur Korrektur Zuflüsse, Abflüsse und Speicherung, bevor Sie rechnen. Prüfen Sie anschließend Einheiten und Annahmen.

Wiederholungsblatt: Wärmeleitung = Übertragung durch Materie; Konvektion = mit der Bewegung eines Fluids verbundene Übertragung; Strahlung = elektromagnetische Übertragung. Energie = Leistung × Dauer, wenn die Leistung konstant ist. Eine positive Bilanz bedeutet Speicherung, nicht zwangsläufig eine unmittelbar berechenbare Erwärmung. Q = m × c × Temperaturänderung verlangt einen gültigen Anwendungsbereich. Eine Umwandlung von Wasser kann latente Energie beanspruchen. Ein mittleres globales Gleichgewicht beseitigt weder Gegensätze noch örtliche Schwankungen.

Quellen und Herkunft: NOAA, The Transfer of Heat Energy, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/transfer-of-heat-energy, Überprüfung der drei Mechanismen; NASA, Climate and Earth's Energy Budget, https://science.nasa.gov/earth/earth-observatory/climate-and-earths-energy-budget/, Überprüfung der Unterscheidung zwischen Flüssen und Bilanz, gekennzeichnetes kurzes Zitat. Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Keine Zahlen einer irdischen Energiebilanz und keine fremde Grafik wiedergegeben. Sämtliche Übungswerte sind erfunden, die didaktischen Erläuterungen sind eigenständige Texte von LFDP.

KAPITEL 3 - LUFTDRUCK, DICHTE UND WIND: GRADIENTEN UND ATMOSPHÄRISCHE ZIRKULATION

1. Druck als auf eine Fläche verteilte Kraft

Druck ist in der betrachteten Situation eine auf eine Fläche bezogene Kraft. Seine SI-Einheit ist Pascal: Ein Pascal entspricht einem Newton pro Quadratmeter. In der Meteorologie ist Hektopascal zweckmäßig: 1 hPa = 100 Pa. Ein Unterschied von 6 hPa entspricht daher 600 Pa. Diese Umrechnung verändert das Phänomen nicht; sie verändert die Einheit seiner Beschreibung. Ein einzelner Wert benötigt weiterhin eine Höhenangabe, ein Datum und eine Messmethode.

Auf mikroskopischer Ebene bewegen sich die Bestandteile eines Gases und wechselwirken mit Oberflächen. Im atmosphärischen Maßstab trägt das Gewicht der darüberliegenden Schichten zum beobachteten Druck bei. Diese Beschreibungen ergänzen sich. Druck wirkt nicht nur nach unten; das Medium übt Kräfte in unterschiedlichen Richtungen aus. Luft darf nicht als unbeweglicher Stapel fester Platten vorgestellt werden. Sie ist ein Fluid, dessen Bewegungen die Massenverteilung verändern.

In einer erfundenen Übung wirkt ein Druckunterschied von 500 Pa auf eine Fläche von 0,2 Quadratmetern. Das Produkt ergibt im Modell eine Kraft von 100 Newton. Diese Rechnung beschreibt nicht automatisch die Kraft auf einen Menschen oder ein Gebäude: Dafür müssten Drücke auf beiden Seiten, Richtungen und Geometrie bekannt sein. Eine korrekt berechnete Zahl kann irreführend werden, wenn der Gegenstand ihrer Anwendung unbemerkt verändert wird.

2. Höhenlage und Vergleich von Stationen

Der Druck nimmt im Allgemeinen ab, wenn man in der Atmosphäre aufsteigt, weil weniger Luft darüberliegt. Die Abnahme folgt über die gesamte Höhe keinem universell konstanten Gefälle. Temperatur, Dichte und vertikaler Aufbau spielen eine Rolle. Eine örtliche Lernregel darf nicht ohne Gültigkeitsbereich verallgemeinert werden. Zum Vergleich zweier Stationen auf unterschiedlichen Höhen muss bekannt sein, ob die Werte tatsächlich an der Station gemessene Drücke oder nach einer vereinbarten Methode auf dieselbe Bezugshöhe reduzierte Werte sind.

Erfundenes Szenario: Eine Station im Tal zeigt 1 010 hPa, eine Station auf einem erhöhten Gelände 930 hPa. Daraus lässt sich nicht unmittelbar schließen, dass über dem Gipfel ein örtliches Tief von 80 hPa liegt. Der Höhenunterschied kann einen großen Teil der Differenz erklären. Eine synoptische Karte verwendet Konventionen, welche den Vergleich von Orten ermöglichen; ihre Interpretation verlangt Legende und Methode. Stationswert und angepassten Wert zu verwechseln führt dazu, Gradienten zu erfinden.

Die Reduktion auf Meereshöhe ist keine tatsächliche Verlegung des Barometers. Sie ist eine Rechnung, die von physikalischen Annahmen abhängt. Dass der Wert berechnet wird, macht ihn nicht nutzlos; er liefert einen gemeinsamen Bezug. Es erinnert jedoch daran, dass eine Angabe ein unmittelbarer Messwert oder eine abgeleitete Größe sein kann. Ein Messwert zur Untersuchung der Höhe und ein Wert zum Vergleich von Wettersystemen beantworten nicht genau dieselbe Frage.

3. Dichte, Temperatur und Zusammensetzung

Die Massendichte, in Alltagsgesprächen häufig Luftdichte genannt, bezieht eine Masse auf ein Volumen. Eine Massendichte von 1,2 Kilogramm pro Kubikmeter bedeutet, dass das betrachtete Volumen unter den angegebenen Bedingungen diese Masse enthält. Sie verändert sich mit Druck, Temperatur und Zusammensetzung. Das Modell des idealen Gases verbindet diese Größen durch eine Gleichung; für trockene Luft in einem geeigneten Bereich wird p = rho × R × T geschrieben, mit T in Kelvin und einer geeigneten Konstanten R.

Bei gleichem Druck und gleicher Zusammensetzung verringert eine Temperaturerhöhung in diesem Modell die Massendichte. Die gleichen Bedingungen müssen benannt werden: Ein Gas in einem starren geschlossenen Behälter zu erwärmen entspricht keiner Ausdehnung bei konstantem Druck. Die Aussage, warme Luft sei immer weniger dicht, ist deshalb unpräzise, wenn sich die anderen Größen ändern. Die Meteorologie verwendet Vergleiche unter bestimmten Bedingungen und kein Adjektiv, das sämtliche Bedingungen ersetzt.

Eigenständiges Beispiel: Zwei Pakete trockener Luft werden bei demselben Druck modelliert, eines bei 283 K, das andere bei 293 K. Ihr Verhältnis der Massendichten, rho warm / rho kalt, beträgt 283 / 293, also ungefähr 0,966. Das warme Paket ist in diesem Modell daher etwa 3,4 % weniger dicht. Die Rechnung bestimmt für sich allein keine vertikale Bahn: Umgebung, Durchmischung und die Randbedingungen der Bewegung fehlen. Feuchtigkeit bringt zudem einen Unterschied in der Zusammensetzung ein, den das Modell trockener Luft vernachlässigt.

4. Der Druckgradient

Der Gradient beschreibt die räumliche Veränderung einer Größe und in seiner Vektorform die Richtung ihrer stärksten Zunahme. Für eine erste Betrachtung kann ein Druckunterschied auf eine Entfernung bezogen werden. Zwei nahe beieinanderliegende Gebiete mit demselben Druckunterschied wie zwei weit entfernte Gebiete ergeben nicht dieselbe Änderung pro Längeneinheit. Diese Verteilung und nicht allein die Zahl im Zentrum eines Tiefdruckgebiets trägt zur Beschleunigung der Luft bei.

Die Druckgradientkraft treibt Luft in Richtung geringeren Drucks. Das bedeutet nicht, dass wirklicher Wind immer einer geraden Linie vom Maximum zum Minimum folgt. Im Bezugssystem der Erde wirken Rotation, Reibung, Krümmungen und weitere Bestandteile der Bewegung mit. Eine erste Erklärung kann eine Kraft isolieren; sie wird falsch, wenn sie sich als gesamte tatsächliche Bahn darstellt.

Auf einer Karte verbindet eine Isobare Punkte gleichen Drucks nach der verwendeten Konvention. Eng beieinanderliegende Isobaren können bei vergleichbarem Linienintervall und Maßstab einen stärkeren horizontalen Gradienten anzeigen. Zwei Karten mit unterschiedlichen Intervallen unmittelbar zu vergleichen kann täuschen. Eine wenig detaillierte Karte bedeutet nicht zwangsläufig eine Atmosphäre ohne Gegensätze. Vor einem Schluss müssen Kartenmaßstab, dargestellte Höhe und Uhrzeit gelesen werden.

5. Zwei erfundene Gradienten berechnen

In der ersten Situation erstreckt sich ein Unterschied von 8 hPa über 400 Kilometer. Das entspricht 800 Pa über 400 000 Meter, also im Mittel 0,002 Pa pro Meter. In der zweiten erstreckt sich derselbe Unterschied über 100 Kilometer: 800 / 100 000 = 0,008 Pa pro Meter. Der zweite mittlere Gradient ist viermal so groß. Die Rechnung vergleicht zwei idealisierte Verteilungen und keine zwei Windvorhersagen.

Wird die Bewegung auf die Wirkung des Gradienten auf Luft mit einer einheitlichen Massendichte rho reduziert, ergibt sich als Größenordnung einer Beschleunigung Gradient / rho. Dieser Ausdruck reicht zur Dimensionsprüfung aus: Pa pro Meter, geteilt durch Kilogramm pro Kubikmeter, ergibt Meter pro Sekunde zum Quadrat. Wirklicher Wind lässt sich jedoch nicht berechnen, indem diese konstante Beschleunigung mit einer beliebigen Dauer multipliziert wird; andere Kräfte und die Entwicklung des Gradienten verhindern diese Fortschreibung.

Diese Grenze verdeutlicht eine allgemeine Regel der Modellierung. Eine Formel, die unter Annahmen eine momentane Wirkung beschreibt, liefert nicht automatisch die vollständige Entwicklung. Zur Vorhersage einer Bewegung werden ein Anfangszustand, miteinander vereinbare Beziehungen und die Entwicklung der Bedingungen benötigt. Die Kenntnis eines Mechanismus ist notwendig, ersetzt aber nicht sämtliche Informationen einer Vorhersage.

6. Erdrotation und Reibung

Im rotierenden Bezugssystem der Erde trägt der Corioliseffekt zur Beschreibung großräumiger Bewegungen bei. Er lenkt Bewegungen auf der Nordhalbkugel zu ihrer rechten Seite und auf der Südhalbkugel zu ihrer linken Seite ab, entsprechend den üblichen Konventionen für horizontale Bewegung. Er ist keine Kraft, die allein Wind aus ruhender Luft erzeugt. Seine Bedeutung hängt insbesondere von Maßstab und Breite ab; sie ist für eine synoptische Zirkulation nicht dieselbe wie für einen kleinen Wirbel nahe einem Hindernis.

Fern vom Boden und unter geeigneten Annahmen kann ein annäherndes Gleichgewicht zwischen Corioliseffekt und Druckgradient entstehen; der Wind kann dann nahezu parallel zu den Isobaren verlaufen. In Bodennähe verändert die Reibung dieses Gleichgewicht, und die Bewegung kann die Isobaren stärker kreuzen. Diese Beschreibungen sind Verständnismodelle und keine Navigationsregeln. Gelände, Gebäude und örtliche Zirkulationen können erhebliche Abweichungen erzeugen.

Reibung und Rauigkeit machen nicht zwangsläufig jeden Wind schwach. Sie verändern Geschwindigkeiten, Richtungen und Turbulenzen. Eine Engstelle kann eine Strömung bündeln; ein Hindernis kann örtliche Schwankungen erzeugen. Aus einem einzigen Mittelwert praktische Sicherheit abzuleiten wäre deshalb unzureichend. Böen und die besonderen Bedingungen der Tätigkeit müssen anhand aktueller Informationen untersucht werden.

7. Globale Zirkulationen und ein historischer Bezug

Die ungleiche Verteilung der Energie, die Erdrotation und die Eigenschaften der Oberflächen tragen zu atmosphärischen Zirkulationen bei. Darstellungen globaler Zellen bieten ein nützliches mittleres Modell; sie stellen nicht jedes System zu jedem Zeitpunkt dar. Jahreszeiten und Unterschiede zwischen Kontinenten und Ozeanen verschieben oder verändern die Strukturen. Eine regelmäßige Zeichnung auf einem Globus ist eine Vereinfachung, die in ihrem Maßstab interpretiert werden muss.

Die NOAA erinnert daran, dass George Hadley im Jahr 1735 eine Erklärung für eine mit äquatorialen Regionen und Winden verbundene Zirkulation vorschlug. Dieser historische Bezug zeigt, wie ein Modell eine Frage ordnen und anschließend weiterentwickelt und korrigiert werden kann. Er verleiht einer alten Darstellung nicht den Wert einer aktuellen Vorhersage. Die Einzelheiten dieser Geschichte und die Abbildungen der NOAA werden nicht wiedergegeben; hier geht es um den Unterschied zwischen einem Zirkulationsmodell und einem beobachteten Zustand.

Ein Tiefdruckgebiet ist nicht einfach überall schlechtes Wetter und ein Hochdruckgebiet kein garantiert schönes Wetter. Vertikale Bewegungen, Feuchtigkeit, Jahreszeit und örtliche Bedingungen verändern die damit verbundenen Phänomene. Eine Hochdrucklage kann von Nebel oder anderen störenden Bedingungen begleitet sein; ein Ort nahe tiefem Druck kann eine zeitweise ruhige Phase erleben. Diese Möglichkeiten fordern dazu auf, eine vollständige Wettermitteilung zu lesen, statt die gesamte Meteorologie auf einen Barometerwert zu reduzieren.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1 - Umrechnung. Rechnen Sie 1 005 hPa in Pascal um, anschließend einen Unterschied von 3,5 hPa. Weshalb dürfen absoluter Druck und Druckdifferenz bei der Berechnung einer resultierenden Kraft nicht vertauscht werden?

Lösung: 1 005 hPa = 100 500 Pa; 3,5 hPa = 350 Pa. Die resultierende Wirkung auf eine Fläche hängt von den Wirkungen auf beiden Seiten und ihrer Richtung ab. Ein absoluter Druck anstelle der Differenz kann das Ergebnis in einem Modell überschätzen, in dem beide Seiten ähnlichen Drücken ausgesetzt sind. Die maßgebliche Größe muss vor der Multiplikation bestimmt werden.

Übung 2 - Höhenlage. Zwei Stationen auf unterschiedlichen Höhen zeigen unterschiedliche Drücke. Welche Informationen verlangen Sie, bevor Sie die Wettersituation vergleichen?

Lösung: Höhenlage, Stationsdruck oder angepasster Druck, Anpassungskonvention, Uhrzeit und Qualität der Messungen. Ein unmittelbarer Unterschied kann hauptsächlich mit der Höhe zusammenhängen. Zur Erörterung eines horizontalen Gradienten werden vergleichbare Daten benötigt. Diese Antwort berechnet die Anpassung nicht; sie zeigt, weshalb es falsch wäre, sie ohne Annahmen zu erfinden.

Übung 3 - Gradient. Eine erfundene Karte zeigt einen Unterschied von 5 hPa über 250 Kilometer. Eine andere zeigt 5 hPa über 50 Kilometer. Berechnen Sie die mittleren Gradienten und ihr Verhältnis.

Lösung: 500 Pa / 250 000 m = 0,002 Pa/m; 500 Pa / 50 000 m = 0,010 Pa/m. Der zweite ist fünfmal so groß wie der erste. Die Werte liefern keine unmittelbare Windgeschwindigkeit; andere Kräfte und

Anfangsbedingungen fehlen. Das Verhältnis beantwortet die gestellte Frage, ohne eine Vorhersage zu erfinden.

Übung 4 - Dichte. Bei gleichem Druck und gleicher Zusammensetzung liefert ein Modell T kalt = 280 K und T warm = 300 K. Welches Verhältnis rho warm / rho kalt ergibt sich? Welcher Schluss ist daraus nicht möglich?

Lösung: 280 / 300 = ungefähr 0,933. Die Massendichte des warmen Falls ist in diesem Modell ungefähr 6,7 % geringer. Weder vertikale Geschwindigkeit noch Dauer eines Aufstiegs oder Durchmischung sind bekannt. Der Vergleich von Dichten kann zu einer Erklärung des Auftriebs beitragen; er ist keine vollständige Zirkulationsrechnung.

Übung 5 - Eine Regel kritisieren. Jemand behauptet, Isobaren zeigten immer genau die Richtung des bodennahen Windes an. Schlagen Sie eine begründete Korrektur vor.

Mögliche Lösung: Isobaren beschreiben den Druck auf einer Karte; annähernd paralleler Wind kann unter bestimmten großräumigen Annahmen fern von ausgeprägter Bodenreibung auftreten. Am Boden verändern Reibung, Gelände, Krümmungen und örtliche Strukturen die Richtung. Das Wort immer überschreitet den Gültigkeitsbereich des Modells. Der Nutzen der Karte muss erhalten bleiben, ohne sie in eine unmittelbare Messung jedes örtlichen Windes zu verwandeln.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Häufige Fehler verwechseln Druck und Massendichte, Höhenlage und horizontalen Gradienten, Tiefdruckzentrum und Windgeschwindigkeit sowie mittleren Wind und Böe. Andere wenden ein Modell mit konstantem Druck auf einen Behälter mit festem Volumen an oder schreiben jeden Wirbel dem Corioliseffekt zu. Benennen Sie zur Korrektur System, gleichbleibende Bedingungen und Maßstab. Eine Formel darf nicht ohne ihre Annahmen weitergegeben werden.

Wiederholungsblatt: 1 hPa = 100 Pa; der Stationsdruck hängt von der Höhe ab; ein auf ein gemeinsames Niveau reduzierter Wert ist berechnet. Der Gradient vergleicht eine Änderung mit einer Entfernung. Die Druckgradientkraft ist nur ein Term der Dynamik. Corioliseffekt, Reibung und Umgebung verändern die Bahn. Globale Darstellungen beschreiben mittlere Strukturen und liefern keine aktuelle Warnung.

Quellen und Herkunft: BIPM, Brochure du SI, https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure, Überprüfung der Einheiten; NOAA, Air Pressure, https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere/air-pressure, Druckbegriffe und Stationsvergleich; NOAA, Global Atmospheric Circulations, https://www.noaa.gov/jetstream/global/global-atmospheric-circulations, Bezug zu Hadley 1735. Seiten für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Keine Grafik, alte barometrische Handlungsempfehlung oder betriebliche Messgröße übernommen. Rechnungen und erfundene Szenarien als eigenständige Inhalte von LFDP.

KAPITEL 4 - WASSER IN DER ATMOSPHÄRE: DAMPF, SÄTTIGUNG, RELATIVE FEUCHTE UND TAUPUNKT

1. Drei Zustände des Wassers, mehrere Größen

Atmosphärisches Wasser kann gasförmig, flüssig oder fest sein. Wasserdampf ist unsichtbar; Tröpfchen und Kristalle können eine Wolke sichtbar machen. Die Dampfmenge und das Vorhandensein einer Wolke sind deshalb zwei unterschiedliche Informationen. An einem wolkenlosen Tag kann Wasserdampf vorhanden sein; eine Wolke kann existieren, ohne Niederschlag am Boden zu erzeugen. Diese Dinge zu verwechseln führt zur Fehlinterpretation einer Feuchtemessung.

Die absolute Feuchte gibt eine Dampfmasse pro Volumen an, beispielsweise in Gramm pro Kubikmeter. Die spezifische Feuchte gibt eine auf die Masse feuchter Luft bezogene Dampfmasse an. Das Mischungsverhältnis bezieht diese Masse auf die Masse der trockenen Luft. Diese Definitionen liegen in manchen Fällen nahe beieinander, haben aber unterschiedliche Nenner. Eine Größe darf nicht durch eine andere ersetzt werden, nur weil alle von Wasser in der Luft handeln. Die Wahl hängt vom angestrebten Vergleich ab.

Der Partialdruck des Wasserdampfs, in unserem Modell mit e bezeichnet, beschreibt den Beitrag dieses Dampfes zum Druck des Gasgemischs. Der Sättigungsdampfdruck e_s(T) hängt von der Temperatur und der gewählten Referenz über flüssigem Wasser oder Eis ab. Die relative Feuchte, hier mit HR bezeichnet, vergleicht e mit diesem Referenzwert: HR = 100 × e / e_s(T). Die Formel zeigt sofort, weshalb die relative Feuchte nicht einfach eine temperaturunabhängige Dampfmenge ist.

2. Sättigung ist keine volle Flasche

Ein verbreitetes Bild besagt, dass warme Luft mehr Wasser aufnehmen kann. Dieses Bild hilft dabei, sich eine Tendenz zu merken, kann aber den Eindruck erwecken, Luft sei ein Behälter mit einer festen Zahl von Plätzen. Sättigung betrifft ein Gleichgewicht zwischen Phasen und den Dampfdruck bei einer gegebenen Temperatur. Das Verhalten von Wasser hängt nicht von einer mechanischen Speicherfähigkeit wie der eines Schwamms ab. In diesem Leitfaden wird das Behälterbild deshalb durch eine Beziehung zwischen physikalischen Größen ersetzt.

Bei höherer Temperatur ist der Sättigungsdampfdruck über flüssigem Wasser größer. Bleibt e gleich, während e_s zunimmt, sinkt ihr Verhältnis. Die relative Feuchte kann daher abnehmen, ohne dass die entsprechende Dampfmenge entfernt wurde. Der angenommene Prozess muss jedoch bestimmt werden: In einer tatsächlichen Situation können Wasseraustausch sowie Änderungen von Volumen und Druck auch e verändern. Eine Beziehung zwischen zwei Größen erlaubt nicht, die Umwandlungen des Systems zu vergessen.

Sättigung allein garantiert keinen Regen. Die NOAA erinnert mit dieser kurzen Formulierung daran: „does NOT necessarily mean that precipitation will occur“. Diese Passage aus acht Wörtern betrifft die Verbindung zwischen Sättigung und Niederschlag; sie kündigt keine aktuelle Situation an. Damit Niederschlag entsteht und den Boden erreicht, wirken weitere Wachstums- und Transportprozesse mit. Ihre Untersuchung gehört zum nächsten Kapitel.

3. Eine eigenständige Rechnung bei veränderlicher Temperatur

Unser erstes Lernmodell legt einen Partialdruck e = 1,2 kPa fest. Es verwendet zwei für die Übung ausgewählte gerundete Referenzwerte: e_s = 2,4 kPa im Zustand A und e_s = 4,0 kPa im Zustand B, der einem wärmeren Zustand entspricht. In A gilt HR = 100 × 1,2 / 2,4 = 50 %. In B gilt HR = 100 × 1,2 / 4,0 = 30 %. Der Partialdruck wurde durch die Annahme gleich gehalten, der relative Wert hat sich jedoch verändert.

Diese Zahlen sind weder eine betriebliche Tabelle noch tatsächliche Messwerte. Sie dienen dazu, die Rolle des Nenners zu isolieren. Wer behauptet, in B müsse weniger Dampf vorhanden sein, weil 30 kleiner als 50 ist, hat vergessen, dass die Referenzwerte nicht gleich sind. Beim Vergleich von Prozentangaben muss immer bekannt sein, worauf sie sich beziehen. Derselbe Fehler tritt in vielen Alltagsstatistiken auf.

Ein zweites Modell vergleicht zwei erfundene Orte. Ort C weist e = 0,8 kPa und e_s = 1,0 kPa auf, also 80 %. Ort D weist e = 1,6 kPa und e_s = 4,0 kPa auf, also 40 %. D hat trotz geringerer relativer Feuchte einen höheren Wasserdampfpartialdruck. Aus diesen Daten allein lassen sich weder eine individuelle Empfindung noch eine Oberflächentemperatur oder eine gesundheitliche Entscheidung ableiten. Die Rechnung zeigt nur den Unterschied zwischen der gewählten absoluten Größe und einem relativen Anteil.

4. Der Taupunkt

Der Taupunkt ist die Temperatur, bei der die Abkühlung der Luft unter den festgelegten Bedingungen zur Sättigung über flüssigem Wasser führt. Er verbindet daher den vorhandenen Wasserdampf mit der entsprechenden Sättigungstemperatur. Liegt die Lufttemperatur nahe dem Taupunkt, ist der Abstand zu dieser Sättigung klein. Das bestimmt nicht automatisch eine Sichtweite oder den Zeitpunkt der Nebelbildung.

In einem erfundenen Modell kühlt ein Luftpaket vor der Sättigung ohne Dampfverlust und bei aufrechterhaltenem Druck ab. Erreicht der Referenzwert e_s den Wert e, erreicht HR 100 %. Eine weitere Abkühlung kann unter geeigneten Bedingungen zur Kondensation führen. Diese Aussage beschreibt nicht die gesamte Entwicklung einer wirklichen Luftmasse: Durchmischung, Transport, Oberflächen und Wasseraustausch können ihren Verlauf verändern. Ein gemessener Taupunkt ist keine eigenständige Vorhersage.

Der Frostpunkt entspricht einer Sättigungsreferenz über Eis. Bei bestimmten Temperaturen unterscheiden sich die Referenzen über Wasser und über Eis. Diese Präzisierung verhindert, 100 % als einzige universelle Grenze darzustellen, ohne das Referenzmedium zu benennen. Merken Sie sich für den Einstieg vor allem, dass eine physikalische Definition ihre Bedingungen bestimmen muss. Feinere mikrophysikalische Phänomene benötigen anschließend detailliertere Modelle.

5. Abkühlung, Dampfzufuhr und Durchmischung

Mehrere Wege können Luft näher an die Sättigung bringen. Abkühlung verringert den Referenzwert; Dampfzufuhr erhöht e; die Durchmischung von Luftpaketen kann eine Situation erzeugen, deren Endzustand von Austauschprozessen und Bilanz abhängt. Nicht jeder Nebel darf demselben Mechanismus zugeschrieben werden. Mit nächtlicher Abkühlung verbundene und durch Luftverlagerung bedingte Entstehungsweisen haben nicht dieselben Bedingungen.

Erfundenes Szenario: Eine Oberfläche kühlt in einer Nacht ab, und die benachbarte Luft verändert ihre Temperatur. Die relative Feuchte nimmt in unserem Modell zu, wenn der Dampf nicht ausreichend abnimmt, um dies auszugleichen. Das zwingt nicht die gesamte Region, sich mit Nebel zu bedecken: Belüftung, vertikales Profil und Oberflächen spielen eine Rolle. Eine örtliche Beobachtung kann mit mehreren Entwicklungen vereinbar sein. Für eine tatsächliche Tätigkeit müssen eine Vorhersage und aktuelle Sichtweitenmessungen konsultiert werden.

Anderes Szenario: Ein Luftvolumen im Inneren und eines im Freien haben unterschiedliche Temperaturen und Feuchten. Das einfache arithmetische Mittel ihrer Prozentwerte ergibt nicht zwangsläufig die relative Feuchte des Gemischs. Die Prozentwerte beziehen sich auf unterschiedliche Temperaturen; zunächst müssen die maßgeblichen physikalischen Größen und Bilanzen erhalten bleiben. Das erklärt, weshalb eine verlockende Rechnung trotz korrekt ausgeführter Rechenoperationen falsch sein kann.

6. Feuchte messen, ohne Anzeige und Phänomen zu verwechseln

Ein Hygrometer kann entsprechend seiner Technik und seinen Einsatzbedingungen eine relative Feuchte angeben. Ein Ergebnis hängt vom Sensor, seiner Temperatur, seiner Exposition und seiner Ansprechzeit ab. Ein unmittelbar nach dem Wechsel zwischen zwei Umgebungen angezeigter Wert ist nicht zwangsläufig stabilisiert. Die Bedienungsanleitung des Instruments muss beachtet und die maßgebliche Unsicherheit beibehalten werden. Dieser Leitfaden erlaubt nicht, einen Hobbysensor in ein Gerät zur gesundheitlichen Überwachung umzudeuten.

Die Einheiten müssen in einer Formel zusammenpassen. Wird e in Pascal und e_s in Kilopascal angegeben, muss vor der Division umgerechnet werden. Das Verhältnis ist dimensionslos, und der Faktor 100 drückt es in Prozent aus. Eine relative Feuchte von 0,65 als Bruchteil entspricht 65 % und nicht 0,65 %. Faktorfehler können auftreten, bevor die physikalische Diskussion überhaupt beginnt.

Eine Feuchteangabe sollte von Temperatur, Ort und Zeitpunkt begleitet sein. Zum Vergleich zweier Tage kann es nützlich sein, auch den Taupunkt oder ein geeignetes Maß der Dampfmenge zu untersuchen. Kein einzelner Indikator beschreibt sämtliche möglichen Wirkungen der Umgebung. Eine Messgröße muss nach der Frage gewählt werden und nicht deshalb, weil sie auf dem Bildschirm verfügbar ist.

7. Konkurrierende Vorstellungen untersuchen

Erste Vorstellung: Hohe relative Feuchte bedeutet zwangsläufig viel Dampf. Unsere zweite Rechnung zeigt die Grenze dieser Behauptung. Zwei relative Werte können nur dann als Mengen verglichen werden, wenn die maßgeblichen Referenzen bekannt sind. Die korrekte Neuformulierung muss Temperatur und die zur Beschreibung des Dampfes verwendete Größe bestimmen.

Zweite Vorstellung: Sobald die Luft gesättigt ist, ist Regen sicher. Sättigung beschreibt einen örtlichen Zustand gegenüber einer Referenz, keinen vollständigen Niederschlagsprozess. Wolke, Partikelwachstum, Strömungen und der Weg bis zum Boden spielen eine Rolle. Eine Bedingung, die zu einem Phänomen beitragen kann, muss von einer hinreichenden Bedingung für das gesamte Ergebnis unterschieden werden.

Dritte Vorstellung: Ein Behaglichkeitsindikator beschreibt eine universelle Sicherheit. Informationen über Feuchte und Temperatur können zum Verständnis einer Umgebung beitragen; die Situation eines Menschen hängt aber zusätzlich von seiner Tätigkeit und vielen weiteren Faktoren ab. Dieser Leitfaden erstellt keine individuelle medizinische Bewertung. Gesundheitliche Anweisungen und fachlicher Rat müssen von Übungen zur Atmosphärenphysik getrennt bleiben. Eine klare Grenze verbessert den Nutzen des Kurses, statt ihn zu verringern.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1 - Verhältnis und Einheiten. Ein Modell liefert e = 900 Pa und e_s = 1,8 kPa. Berechnen Sie HR und benennen Sie die erforderliche Umrechnung.

Lösung: 1,8 kPa = 1 800 Pa; HR = 100 × 900 / 1 800 = 50 %. Unmittelbar 900 durch 1,8 zu teilen, ohne die Einheiten anzugleichen, würde ein unsinniges Ergebnis erzeugen. Die

Kontrolle der Größenordnung ergänzt die Rechnung: Im Modell ist e die Hälfte des Referenzwerts, daher wird als Ergebnis die Hälfte von 100 % erwartet.

Übung 2 - Erfundene Erwärmung. Ein Luftpaket behält e = 1,0 kPa bei. Der Referenzwert ändert sich von 2,0 zu 2,5 kPa. Berechnen Sie die beiden relativen Feuchten. Welche Aussage über den Dampf ist nicht begründet?

Lösung: 50 %, dann 40 %. Die Abnahme der Prozentangabe belegt hier keine Abnahme von e, da e konstant gehalten wurde. Dieses Modell darf auch nicht in eine Regel für jede wirkliche Erwärmung verwandelt werden: Tauscht das System Wasser aus oder ändern sich andere Bedingungen, kann sich e verändern. Die Annahmen gehören zum Ergebnis.

Übung 3 - Zwei Orte vergleichen. An einem erfundenen Ort gilt e = 0,6 kPa und e_s = 0,8 kPa; am anderen gilt e = 1,2 kPa und e_s = 3,0 kPa. Welcher Ort hat die höhere HR? Welcher hat das höhere e?

Lösung: Der erste weist 75 % auf, der zweite 40 %. Der Wasserdampfpartialdruck ist dennoch am zweiten höher. Genau dieser Unterschied ist Gegenstand der Übung. Er verlangt kein Urteil über eine Empfindung oder eine Gefahr. Eine gute Antwort behält den Namen der Größe bei, statt unbestimmt zu sagen, ein Ort sei feuchter.

Übung 4 - Taupunkt. Eine erfundene Messung gibt eine Lufttemperatur von 14 Grad und einen Taupunkt von 13 Grad an. Eine andere gibt 24 Grad und einen Taupunkt von 13 Grad an. Was lässt sich vergleichen, und was darf nicht angekündigt werden?

Lösung: Der erste Zustand hat einen kleineren Abstand zwischen Temperatur und Taupunkt und liegt daher unter den Definitionsbedingungen näher an der Sättigung. Weder eine Uhrzeit für Regen noch eine genaue Sichtweite lassen sich

ankündigen. Dafür wären eine Entwicklung, ein Ort und weitere Informationen nötig. Die Zahlen dienen einem begrifflichen Vergleich, nicht einer tatsächlichen Vorhersage.

Übung 5 - Argumentieren. Jemand berechnet die Feuchte eines Gemischs, indem ohne weitere Daten der Mittelwert von 20 % und 80 % gebildet wird. Erklären Sie, weshalb 50 % nicht zwangsläufig die richtige Antwort ist.

Lösung: Die Prozentangaben können sich auf unterschiedliche Temperaturen, Drücke und Massen beziehen. Ihr Mittelwert erhält nicht unmittelbar eine physikalische Dampfmenge oder eine Energiebilanz. Massen, Anfangszustände und Art der Mischung müssen bestimmt werden. In manchen Sonderfällen kann ein Mittelwert mit dem Ergebnis übereinstimmen; dieses Zusammentreffen rechtfertigt nicht die allgemeine Methode.

Übung 6 - Einen Schluss lesen. „Der Sensor zeigt 100 %, also wird Regen einsetzen.“ Formulieren Sie die einzige gewonnene Information neu und schlagen Sie zwei maßgebliche zusätzliche Informationen vor.

Lösung: Der Sensor zeigt eine relative Feuchte an, die unter seinen Messbedingungen mit ihren Grenzen und ihrer Referenz der Sättigung entspricht. Informationen über das vertikale Profil, die Wolken und die atmosphärische Entwicklung können gesucht werden; für eine tatsächliche Entscheidung bleibt eine aktuelle Wettermitteilung erforderlich. Die Übung liefert kein garantiertes Verfahren für eine Wettervorhersage durch Laien.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Häufige Fehler sind, Dampf für sichtbar zu halten, HR mit Regenwahrscheinlichkeit zu verwechseln, Prozentangaben ohne Temperatur zu vergleichen, unterschiedliche Referenzen zu mitteln und die Ansprechzeit eines Sensors zu ignorieren. Ein weiterer Fehler verbindet Sättigung mit sicherem Niederschlag. Notieren Sie zur Korrektur Größe, Einheit und Nenner, bevor Sie interpretieren.

Wiederholungsblatt: Dampf ist unsichtbar; Tröpfchen und Kristalle sind davon verschieden; HR = 100 × e / e_s(T); Taupunkt = unter den angegebenen Bedingungen erreichte Sättigungstemperatur. Eine Prozentangabe kann sich ohne Abnahme von e ändern. Sättigung bedeutet keinen garantierten Regen. Eine örtliche Messung ersetzt weder eine datierte Vorhersage noch aktuelle Sicherheitsanweisungen. Die Zahlenbeispiele bleiben Modelle und sind keine Tabelle zur Verwendung bei einer Tätigkeit, die Wettergefahren ausgesetzt ist.

Quellen und Herkunft: NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, Überprüfung der Beziehung zwischen Temperatur, relativer Feuchte und Sättigung, gekennzeichnetes kurzes Zitat; NOAA/NWS, Dew Point vs Humidity, https://www.weather.gov/arx/why_dewpoint_vs_humidity, Überprüfung der Taupunktdefinition. Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Keine fremde Behaglichkeitstabelle, aktuelle Angabe oder Messreihe wiedergegeben. Verhältnisanalysen, Beispiele und Lösungen als eigenständige Inhalte von LFDP.

KAPITEL 5 - WOLKEN UND NIEDERSCHLAG: KONDENSATION, KRISTALLE UND VEREINFACHTE MIKROPHYSIK

1. Eine sichtbare Wolke ist kein Block aus Dampf

Eine sichtbare Wolke besteht je nach ihren Bedingungen aus kleinen Wassertröpfchen, Eiskristallen oder beidem. Dampf bleibt eine unsichtbare gasförmige Phase. Diese Unterscheidung erklärt, weshalb die Sichtbarkeit einer Wolke nicht unmittelbar die gesamte Dampfmenge der Atmosphäre angibt. Die Partikel streuen Licht; Größe, Anzahl, Dicke des Mediums und Beleuchtung verändern das Erscheinungsbild. Eine dunkle Wolke ist nicht einfach mit einem schwärzeren Stoff gefüllt.

Kondensation wandelt Dampf in flüssiges Wasser um; Resublimation an Eis wandelt Dampf in einen festen Stoff um. Gefrieren wandelt Flüssigkeit in Eis um, Schmelzen führt in die umgekehrte Richtung. Diese Begriffe bezeichnen unterschiedliche Prozesse mit Energieaustausch. Ersetzen Sie nicht alle durch das Wort Abkühlung. Eine Temperatursenkung kann zu einem Prozess beitragen, doch Sättigungsbedingungen und vorhandene Phasen müssen untersucht werden.

Die Mikrophysik untersucht Umwandlungen und Wechselwirkungen im Maßstab der Partikel. Unser Leitfaden vermittelt ein vereinfachtes Verständnis. Er liefert weder eine vollständige Wolkensimulation noch eine Methode für örtliche Vorhersagen. Allgemeine Mechanismen können bekannt sein, während die genaue Niederschlagsmenge unsicher bleibt. Die Unterscheidung zwischen der Erklärung eines Prozesses und der Vorhersage seines Ergebnisses bleibt wesentlich.

2. Aufstieg und Abkühlung

Steigt ein Luftpaket in Bereiche mit geringerem Umgebungsdruck auf, kann es sich ausdehnen. In einem Aufstiegsmodell ohne äußeren Wärmeaustausch, adiabatisch genannt, wird diese Ausdehnung von Abkühlung begleitet. Zur Erklärung jeder Temperaturabnahme muss daher nicht angenommen werden, dass ein kalter Gegenstand die Luft berührt. Das Modell hängt dennoch von Bedingungen ab: Durchmischung, Strahlung und Umwandlungen des Wassers können die tatsächliche Situation verändern.

Kühlt sich die Luft gegenüber dem vorhandenen Dampf ausreichend ab, kann sie Sättigung erreichen und anschließend unter geeigneten Bedingungen Partikel bilden. Die bei Zustandsänderungen freigesetzte Energie verändert die Temperaturentwicklung; ein gesättigter Aufstieg folgt nicht genau demselben Modell wie der Aufstieg ungesättigter Luft. Der Unterschied hängt von den Bedingungen ab und lässt sich nicht auf eine universelle, für alle Wolken gültige Rate reduzieren.

Erfundenes Beispiel: Für eine Übung setzen wir auf einem ersten Weg eine Abnahme von 8 Grad über einen Kilometer und auf einem zweiten eine Abnahme von 5 Grad über einen Kilometer fest. Eine Anfangstemperatur von 20 Grad würde nach dieser Bewegung in den Modellen entsprechend 12 und 15 Grad ergeben. Diese Raten sind Lernparameter, keine Werte zur Vorhersage eines Flugs oder einer Wanderung. Das Ergebnis zeigt lediglich, weshalb unterschiedliche Annahmen unterschiedliche Entwicklungen hervorbringen.

3. Keime und Entstehung der Partikel

In der Atmosphäre vorhandene Partikel können die Bildung von Tröpfchen oder Eis erleichtern. Ihre Eigenschaften und ihre Größe spielen eine Rolle. Die Entstehung einer Wolke darf deshalb nicht als augenblickliche Umwandlung des gesamten Dampfes dargestellt werden, sobald eine Prozentangabe auf einem Bildschirm genau 100 erreicht. Der Prozess läuft in einem Medium mit veränderlichen Bedingungen ab, dessen Partikel sich unterschiedlich verhalten.

Ein Tröpfchen kann bei einer Temperatur unter null Grad existieren, ohne sofort zu gefrieren: Dies wird als unterkühltes Wasser bezeichnet. Das bedeutet nicht, dass die Definition von null Grad falsch ist; es zeigt, dass der Zustand eines Systems auch von der Bildung der festen Phase und den Bedingungen abhängt. Wolken mit flüssigem Wasser und Eis zugleich können besondere Wachstumsprozesse aufweisen. Diese Phänomene erfordern mehr als eine allein auf der Temperatur beruhende Regel.

Wasser, Aerosole und Dynamik wirken zusammen. Eine veränderte Partikelzahl kann die Größenverteilung verändern, ohne in jeder Situation dieselbe Folge zu erzeugen. Eine allgemeine Behauptung, mehr Partikel führten immer zu mehr Regen, wäre übertrieben. Mechanismen und untersuchter Bereich müssen betrachtet werden. Das Kapitel behält diese Grenze bei, statt eine mikrophysikalische Vorstellung in eine Anleitung zur Wetterveränderung zu verwandeln.

4. Zum Niederschlag heranwachsen

Kleine Tröpfchen werden nicht automatisch zu großen Tropfen. Kondensation vergrößert sie; Zusammenstöße können Koaleszenz ermöglichen, also das Zusammenfließen von Tröpfchen. Unterschiedliche Größen und relative Bewegungen beeinflussen die Begegnungen. Prozesse mit Beteiligung von Eis können ebenfalls zum Wachstum beitragen. Die Vielfalt der Mechanismen erklärt, weshalb ein einzelner Wolkenname zur Bestimmung einer Niederschlagssumme nicht ausreicht.

Eine eigenständige geometrische Herleitung hilft, die Maßstäbe zu verstehen. Das Volumen einer Kugel ist proportional zur dritten Potenz ihres Radius. Eine Verdopplung des Radius vervielfacht das Volumen um den Faktor acht. Um aus gleichen Partikeln ohne Verluste und unter Erhaltung des Volumens ein Partikel mit zehnmal größerem Radius aufzubauen, wären tausend Ausgangsvolumina nötig. Die Rechnung erklärt nicht die tatsächliche Bildungsgeschwindigkeit; sie zeigt, weshalb nur wenige Begegnungen nicht immer ausreichen, um den Maßstab stark zu verändern.

Der Fall eines Partikels hängt von Kräften, seiner Form, dem Medium und den Luftbewegungen ab. Ein Partikel kann sich gegenüber der Luft nach unten bewegen und zugleich vorübergehend von einer Aufwärtsströmung getragen werden. Es wäre deshalb irreführend zu sagen, jeder Tropfen falle, sobald er ein Gewicht habe. Tröpfchen besitzen bereits eine Masse; verändert wird ihre Bewegung in einem Medium. Am Boden beobachteter Niederschlag entsteht aus einem Weg, nicht allein aus dem Auftreten in der Höhe.

5. Der Weg verändert, was den Boden erreicht

Ein festes Partikel kann in einer wärmeren Schicht schmelzen; ein Tropfen kann auf eine kalte Schicht treffen und vorübergehend flüssig bleiben oder seinen Zustand ändern. Unterschiedliche vertikale Profile führen zu unterschiedlichen Ergebnissen am Boden. Eine nahe einer Tür gemessene Temperatur beschreibt nicht alle durchquerten Schichten. Die Niederschlagsart darf nicht aus einer einzigen Zahl ohne Profil oder Entwicklung vorhergesagt werden.

Schnee hat unterschiedliche Formen und Dichten. Schneehöhe und äquivalente Wasserhöhe sind nicht anhand eines universellen festen Verhältnisses austauschbar. Eine Schneedecke kann sich nach ihrer Bildung auch setzen und verändern. Bei einer Volumenübung müssen eine Massendichte oder eine gewählte Entsprechung angegeben werden. Für eine wirkliche Entscheidung im Gebirge ersetzt dieser Kurs weder einen Fachbericht noch Geländekenntnis.

Niederschlag kann verdunsten, bevor er den Boden erreicht. Unter einer Wolke kann ein Streifen sichtbar sein, ohne dass am Beobachtungsort Regen ankommt. Ein Radar kann Partikel über einem Gebiet erfassen; die Interpretation der Menge am Boden erfordert Korrekturen und weitere Informationen. Verwechseln Sie fehlende Tropfen auf Ihrer Hand nicht mit fehlendem Niederschlag in der gesamten atmosphärischen Säule.

6. Wolken klassifizieren, ohne das gesamte Wetter vorhersagen zu wollen

Der Internationale Wolkenatlas der Weltorganisation für Meteorologie unterscheidet zehn Gattungen: cirrus, cirrocumulus, cirrostratus, altocumulus, altostratus, nimbostratus, stratocumulus, stratus, cumulus und cumulonimbus. Diese Nomenklatur ermöglicht eine gemeinsame Beschreibung. Sie liefert keine zehn automatischen Vorhersagen. Arten, Unterarten und besondere Merkmale ergänzen die Beschreibung; zum Verständnis der Grenze zwischen Beobachtung und Erwartung muss jedoch nicht die gesamte Klassifikation auswendig aufgesagt werden.

Faserartige, geschichtete oder gehäufte Formen bieten visuelle Anhaltspunkte; Höhe und vertikale Entwicklung liefern weitere Informationen. Untergrenze und Obergrenze liegen nicht zwangsläufig in derselben Höhenstufe. Die üblichen Bereiche unterscheiden sich nach Region. Eine durch ein Fenster betrachtete Silhouette kann mehrdeutig bleiben; diese Unsicherheit beizubehalten ist besser, als eine genaue Bestimmung zu erfinden.

Die WMO führt den Ursprung des lateinischen Namenssystems auf die Arbeiten von Luke Howard im Jahr 1803 zurück. Dieser historische Bezug zeigt den Nutzen einer gemeinsam verwendbaren Beschreibung in einer auf Beobachtung beruhenden Disziplin. Er gibt den Namen keine magische Vorhersageeigenschaft. Die Fotografien und Tabellen des Atlas werden hier nicht wiedergegeben; die Situationen des Leitfadens bleiben didaktische Schöpfungen.

7. Zwei eigenständige Szenen zur Interpretation

Erste erfundene Szene: Eine Gruppe sieht gehäufte Wolken, deren vertikale Entwicklung im Lauf des Vormittags zunimmt. Jemand kündigt sofort eine Uhrzeit für ein Gewitter an. Eine andere Person notiert die Form und sucht eine aktuelle Wettermitteilung. Die zweite Haltung unterscheidet Beobachtung und Vorhersage. Die Entwicklung kann ein maßgeblicher Hinweis sein, doch Uhrzeit, Ort und Intensität sind durch diese Beobachtung allein nicht bestimmt. Eine Entscheidung bei möglicher Gefährdung benötigt passende offizielle Informationen.

Zweite Szene: Eine Station sammelt keinen Regen, während ein Radar ein Signal über dem Gebiet zeigt. Mehrere Erklärungen sind möglich: Niederschlag in der Höhe, der den Boden nicht erreicht, Unterschiede in Uhrzeit oder Ort, Grenzen des Instruments oder der Darstellung. Die Metadaten müssen gelesen werden, bevor ein Widerspruch festgestellt wird. Das Vorgehen behauptet nicht, dass jedes Radarbild korrekt ist; es ordnet die Überprüfungen.

Eine konkurrierende Vorstellung behauptet, die Kenntnis der Wolkengattung reiche zur Wettervorhersage aus. Sie erkennt eine Verbindung zwischen Strukturen und Prozessen, überschreitet aber die verfügbaren Informationen. Eine andere Vorstellung besagt, Wolkenbeobachtungen seien nutzlos, weil die Bestimmung schwierig sein kann. Sie übersieht deren Beitrag zur Beschreibung der Umgebung. Eine vernünftige Position erkennt einen begrenzten Nutzen an und verweigert ein übermäßiges Versprechen.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1 - Zustände und Umwandlungen. Unterscheiden Sie Dampf, Tröpfchen und Kristall; benennen Sie anschließend den Übergang von Dampf zu Flüssigkeit und von Flüssigkeit zu Feststoff.

Lösung: Dampf = unsichtbarer gasförmiger Zustand; Tröpfchen = flüssiges Wasser; Kristall = fester Zustand. Der Übergang Dampf-Flüssigkeit ist Kondensation; Flüssigkeit-Feststoff ist Gefrieren. Eine genaue Beschreibung ersetzt diese Umwandlungen nicht allein durch das Wort Abkühlung. Energie- und Bildungsbedingungen wirken mit, auch wenn die Temperatur zum Verständnis des Prozesses beiträgt.

Übung 2 - Volumen. Ein erfundenes kugelförmiges Partikel hat den dreifachen Radius eines anderen aus demselben Material. Welches Verhältnis haben ihre Volumina? Wie viele kleine Volumina entsprechen dem großen in einem Modell ohne Verluste?

Lösung: 3 zur dritten Potenz = 27. Siebenundzwanzig Ausgangsvolumina sind nötig, um dem großen Volumen zu entsprechen. Diese geometrische Gleichwertigkeit liefert weder eine Anzahl tatsächlicher Zusammenstöße noch eine Wachstumsdauer. Sie erhält nur das Volumen im Modell. Eine wissenschaftliche Antwort muss diesen Aussagebereich angeben.

Übung 3 - Modellierter Aufstieg. Bei einer vorgegebenen Abkühlungsrate von 7 Grad pro Kilometer steigt ein erfundenes Luftpaket um 500 Meter auf, ausgehend von 18 Grad. Welches Ergebnis entsteht? Lässt sich allein mit dieser Rechnung eine wirkliche Wolke vorhersagen?

Lösung: 500 Meter = 0,5 Kilometer; die Abnahme beträgt 7 × 0,5 = 3,5 Grad; die Modelltemperatur wird zu 14,5 Grad. Für eine wirkliche Wolke fehlen insbesondere Feuchtigkeit, Entwicklung der Raten, Durchmischung und Dynamik. Die Rate war eine Übungsannahme. Sie wird nicht zu einer atmosphärischen Messung, nur weil die Rechnung exakt ist.

Übung 4 - Erfundenes Wasseräquivalent. Eine Übung legt eine Schneeablagerung fest, die 2 Quadratmeter mit einer Höhe von 0,10 Meter und einer Massendichte von 100 Kilogramm pro

Kubikmeter bedeckt. Berechnen Sie Volumen, Masse und die entsprechende Höhe flüssigen Wassers, wobei Wasser mit 1 000 Kilogramm pro Kubikmeter angenommen wird.

Lösung: Volumen = 2 × 0,10 = 0,20 Kubikmeter; Masse = 0,20 × 100 = 20 Kilogramm. Das Wasservolumen beträgt 20 / 1 000 = 0,020 Kubikmeter; verteilt auf 2 Quadratmeter ergibt es 0,010 Meter, also 10 Millimeter. Das Verhältnis folgt aus der vorgegebenen Massendichte; es gilt nicht automatisch für jeden Schnee. Eine tatsächliche Bilanz der Schneedecke wird nicht geliefert.

Übung 5 - Signal und Beobachtung. Ein Radarsignal und ein Regenmesser scheinen sich zu widersprechen. Schlagen Sie vier Überprüfungen vor, bevor Sie eine Schlussfolgerung auswählen.

Mögliche Lösung: Vergleichen Sie Uhrzeiten, Gebiete, beobachtete Höhen und dargestellte Größe; überprüfen Sie außerdem die Grenzen der Instrumente. Das Radar kann Partikel in der Höhe beobachten, der Regenmesser eine Menge am Boden über eine Dauer. Zwei Ergebnisse können miteinander vereinbar sein, weil sie unterschiedliche Gegenstände betreffen. Sind die Bedingungen tatsächlich vergleichbar, bleibt ein Fehler möglich und muss untersucht werden.

Übung 6 - Eine überzogene Vorhersage. Korrigieren Sie die Aussage „Diese Wolke ist ein Cumulonimbus, also wird der Blitz in zehn Minuten unseren Standort treffen“, ohne eine mögliche Gefahr zu verharmlosen.

Lösung: Die Bestimmung kann auf eine ernst zu nehmende Situation hinweisen, liefert aber weder einen exakten Weg noch eine garantierte Frist. Aktuelle Informationen müssen konsultiert und angemessene Schutzanweisungen angewendet werden, statt eine genaue Minute beweisen zu wollen. Kapitel 7 behandelt

Gewitter; keine Übung rechtfertigt es, eine wirkliche Gefährdung zu verlängern.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Häufige Fehler sind, Dampf für sichtbar zu halten, Kondensation und Gefrieren zu verwechseln, null Grad mit einer universellen sofortigen Umwandlung zu verbinden, Regen aus einem Wolkennamen abzuleiten und ein festes Schnee-Wasser-Verhältnis zu verwenden. Eine weitere Verwechslung setzt ein Signal in der Höhe mit einer am Boden gemessenen Menge gleich. Verfolgen Sie zur Korrektur das Partikel, seine Phasen, sein Medium und die beobachtete Größe.

Wiederholungsblatt: Eine Wolke enthält sichtbare Partikel; Aufstieg kann durch Ausdehnung abkühlen; Zustandsänderungen beeinflussen die Energie; Wachstum ist mehr als das erste Auftreten. Das Kugelvolumen verändert sich wie die dritte Potenz des Radius. Der vertikale Weg verändert manchmal Art oder Menge, die den Boden erreicht. Eine Klassifikation beschreibt; sie garantiert weder eine Niederschlagszeit noch Sicherheit im Gelände.

Quellen und Herkunft: WMO, Internationaler Wolkenatlas, Gattungen, https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html ; WMO, Classifying clouds, https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds, Bezug zu Howard 1803; NOAA/NWS, Discussion on Humidity, https://www.weather.gov/lmk/humidity, Unterscheidung zwischen Sättigung und Niederschlag und Bezug zum Wachstum. Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Rechnungen, Personen und Fallinterpretationen als eigenständige Inhalte von LFDP. Keine Abbildung des Atlas und keine aktuelle Vorhersage wiedergegeben.

KAPITEL 6 - FRONTEN UND LUFTMASSEN: ENTWICKLUNG, GELÄNDE UND ÖRTLICHE SITUATIONEN

1. Von einer örtlichen Messung zur Organisation der Atmosphäre

Ein Thermometer zeigt eine Temperatur an einem Ort an; es beschreibt nicht allein die Luft, die sich über einer Region bewegt. Zur Verbindung der Beobachtungen wird unter anderem der Begriff Luftmasse verwendet: ein ausgedehnter Bereich, dessen Temperatur- und Feuchteeigenschaften eine gewisse Übereinstimmung zeigen. Diese Übereinstimmung bleibt relativ. Eine Luftmasse ist kein starrer, vollständig einheitlicher und gegenüber Austausch abgeschlossener Block; sie verändert sich während ihrer Verlagerung.

Eine Ursprungsregion trägt zu ihren Eigenschaften bei, anschließend verändert der Weg über Meer oder Land diese Eigenschaften. Die Bezeichnungen maritim, kontinental, polar oder tropisch beschreiben Merkmale und eine allgemeine Vorgeschichte. Sie liefern nicht unmittelbar die Temperatur eines Stadtviertels zu einer bestimmten Uhrzeit. Jahreszeit, Gelände, Dauer des Wegs und Austausch mit der Oberfläche können die beobachteten Bedingungen verändern. Der Name einer Luftmasse darf nicht als vollständige örtliche Wettermitteilung behandelt werden.

Das Ziel dieses Kapitels besteht darin zu verstehen, wie ein Übergangsbereich und das Gelände Veränderungen ordnen können. Wir verwenden in Worten beschriebene Schemata und erfundene Zahlen. Sie erlauben nicht, den tatsächlichen Durchgang einer Front heute vorherzusagen. Für eine

Entscheidung im Freien bleiben eine datierte Karte, eine örtliche Vorhersage und aktuelle offizielle Mitteilungen notwendig. Das Verständnis der Mechanismen verbessert das Lesen dieser Informationen; es ersetzt sie nicht.

2. Eine Front ist ein Übergang, keine Mauer

Eine Front trennt Luftmassen mit gegensätzlichen Eigenschaften. Auf einer Bodenkarte wird sie durch eine vereinbarte Linie dargestellt, während der Übergang eine vertikale Ausdehnung und Struktur besitzt. Die Linie ist daher eine Vereinfachung. Sie bedeutet weder, dass sämtliche Parameter genau im selben Augenblick wechseln, noch, dass sich Regen auf ihren Verlauf beschränkt.

Die Wörter kalt und warm beziehen sich auf die miteinander verglichenen Luftmassen. Als kalt bezeichnete Luft kann nach unseren Gewohnheiten warm sein, wenn sie noch wärmere Luft ersetzt. Das Vokabular bezeichnet vor allem die Anordnung des Gegensatzes und der Bewegung. Diese Präzisierung ist wichtig, wenn eine Sommerkarte eine Kaltfront in einer Region zu zeigen scheint, in der die Temperaturen weiterhin hoch bleiben.

Eine nützliche, aber begrenzte Metapher vergleicht eine Karte mit einem flach gelegten Querschnitt eines Stoffes. Die Linie zeigt eine Anordnung an, die an der Oberfläche nicht vollständig zu sehen ist. Es wäre dennoch irreführend, sich eine feste und undurchlässige Grenze zwischen zwei Gegenständen vorzustellen. Bewegungen, Austauschprozesse und Durchmischung gehören zur Situation. Beim Kartenlesen müssen deshalb die Symbole mit den Beobachtungen und der angegebenen Gültigkeitszeit verbunden werden.

3. Kaltfront, Warmfront, stationäre Front und Okklusion

Eine Kaltfront bezeichnet das Vordringen relativ kalter Luft, die wärmere Luft nahe dem Boden ersetzt. Eine Warmfront bezeichnet den umgekehrten Ersatz. Die damit verbundenen vertikalen Bewegungen können die Bildung von Wolken und Niederschlag fördern; ihre Intensität hängt jedoch von Feuchte, Stabilität und weiteren Bedingungen ab. Ein Frontname erzwingt deshalb nicht in jeder Situation dieselbe Regenmenge.

Auf üblichen konventionellen Karten kennzeichnen Dreiecke eine Kaltfront und Halbkreise eine Warmfront; die Seite ihrer Darstellung zeigt die dargestellte Bewegungsrichtung an. Eine stationäre Front verwendet abwechselnde Zeichen auf beiden Seiten. Eine Okklusion wird durch abwechselnde Dreiecke und Halbkreise auf derselben Seite dargestellt. Dennoch muss die Legende des Dienstes gelesen werden, der die Karte bereitstellt: Farben allein reichen nicht aus, insbesondere bei einer Schwarz-Weiß-Wiedergabe oder für Personen, die bestimmte Farben schlecht unterscheiden.

Eine Okklusion betrifft eine Anordnung, in der warme Luft angehoben wird und nahe dem Boden nicht mehr denselben Platz zwischen den kälteren Luftmassen einnimmt. Sie darf nicht als augenblickliches Verschwinden sämtlicher Wolken oder garantiertes Ende einer Wetterstörung dargestellt werden. Das System kann sich weiterentwickeln. Stationär bedeutet hingegen, dass sich die Position der Front in der betrachteten Darstellung wenig verändert, nicht, dass die Atmosphäre sich nicht mehr bewegt.

Hier beschränken wir uns auf das Lesen der Kategorien. Die tatsächliche Struktur eines Frontensystems verlangt Beobachtungen in der Höhe und Werkzeuge, die dieser Leitfaden nicht liefert. Eine allzu einfache Entsprechung zwischen einem

Symbol und dem erlebten Wetter zu suchen würde die Unterscheidung zwischen Erklärungsmodell, Kartenanalyse und Vorhersage verwischen.

4. Weshalb Veränderungen nicht sämtlich der Bodenlinie folgen

Wind, Temperatur, Druck und Niederschlag zeigen nicht zwangsläufig dieselben Übergänge. Eine Wolke kann auftreten, bevor der Temperaturgegensatz am Boden gemessen wird; ein Regengebiet kann über die eingezeichnete Front hinausreichen. Eine Station wird zudem durch ihren Standort beeinflusst. Der Übergang von einem strukturierten Gebiet zu einer Reihe örtlicher Messungen benötigt deshalb Interpretation und kein mechanisches Ablesen des Symbols.

Ein eigenständiges Beispiel verwendet drei erfundene Stationen A, B und C im Abstand von vierzig Kilometern. Eine Lernkarte zeigt eine allgemeine Bewegung von Westen nach Osten. An A wird mittags eine Temperaturabnahme gemessen; an B wird sie später gemessen; an C setzt ein Schauer vor dieser Abnahme ein. Diese Hinweise sind mit einer geordneten Entwicklung vereinbar, reichen aber nicht aus, um ihre gesamte Struktur zu rekonstruieren. Insbesondere örtliche Wirkungen und die Genauigkeit der Messungen sind unbekannt.

Trennen Sie beim Denken das Gegebene vom Angenommenen. Die gemessenen Uhrzeiten sind erfundene Daten der Übung. Die Regelmäßigkeit der Bewegung ist eine vereinfachende Annahme. Die Behauptung, dieselbe Abfolge werde eine vierte Station erreichen, wäre eine Vorhersage, für die zusätzliche Informationen erforderlich sind. Diese Einordnung verhindert, dass eine schulische Illustration in eine Bewegungsregel für ein tatsächliches Ereignis verwandelt wird.

Es lässt sich auch eine Frage nach Ursachen stellen: Verursacht der Schauer die Temperaturänderung, oder tragen mehrere Prozesse zu beiden Beobachtungen bei? Eine bloße zeitliche Abfolge entscheidet dies nicht. Niederschlag und seine Wirkungen können die Temperatur örtlich verändern; die Ankunft einer anderen Luftmasse kann ebenfalls mitwirken. Eine gute Erklärung behält mehrere miteinander vereinbare Mechanismen bei, statt die erste Verbindung auszuwählen, die einem einfällt.

5. Das Gelände ordnet örtliche Unterschiede

Trifft eine Strömung auf eine Geländeerhebung, kann Luft in größere Höhe gelenkt werden. Ihre Ausdehnung und Abkühlung können die Sättigung fördern, wenn ihre Feuchte dies zulässt. Das trägt zur Erklärung bestimmter Unterschiede zwischen Hängen bei. Es bedeutet nicht, dass es auf jedem Berg regnet, sobald Wind weht, oder dass ein geschützter Hang immer trocken bleibt.

Das Gelände verändert auch die Strömung: Ein Pass, ein Tal oder ein Hang erfährt nicht zwangsläufig denselben Wind wie die nächste Station im Flachland. Manche Unterschiede sind kleiner als die Gitterzellen eines Vorhersagemodells. In seinen Arbeiten zur Orographie betont das Met Office die Notwendigkeit, die Wirkungen von Bergen in Modellen darzustellen. Unser Ziel ist nicht, eine universelle persönliche Korrektur zu liefern, sondern zu verstehen, weshalb eine regionale Vorhersage örtliche Grenzen haben kann.

Ein eigenständiges Beispiel vergleicht zwei erfundene Orte auf verschiedenen Seiten eines Gebirgsmassivs. Die Station auf der Luvseite zeigt anhaltende Wolken und Regen; die Station auf der Leeseite meldet Auflockerungen. Das Gelände macht einen Unterschied plausibel, erlaubt aber nicht, ihn automatisch allein der Hebung zuzuschreiben. Höhe, Uhrzeit, Instrument und allgemeine Lage müssen ebenfalls geprüft werden. Eine

zufriedenstellende Erklärung verbindet Hinweise; sie macht einen einzelnen Faktor nicht zur ausschließlichen Ursache.

Es ist verlockend, eine Regel zu erfinden, etwa beim Aufstieg stets eine feste Anzahl Kilometer pro Stunde zum Wind zu addieren. Eine solche Regel wird durch den Geländebegriff allein nicht begründet. Die Wirkungen hängen von Ausrichtung, Stabilität und Strömungsstruktur ab. Konsultieren Sie für eine Wanderung, eine Tätigkeit in der Höhe oder eine exponierte Anlage eine zum Ort und zur Tätigkeit passende Information, nicht lediglich den Wert einer Nachbarstadt.

6. Ein Lernquerschnitt und eine begrenzte Rechnung

Stellen wir uns eine erfundene Übergangslinie vor, die hundertzwanzig Kilometer von einem Punkt entfernt liegt und sich nur innerhalb der Übung mit dreißig Kilometern pro Stunde direkt auf ihn zubewegt. Bleiben Geschwindigkeit und Richtung konstant, beträgt die geometrische Dauer Entfernung geteilt durch Geschwindigkeit, also vier Stunden. Die Einheiten vereinfachen sich: Kilometer, geteilt durch Kilometer pro Stunde, ergeben Stunden. Die Rechnung ist mit ihren Annahmen vereinbar.

Dieses Ergebnis ist keine tatsächliche Ankunftszeit des Regens. Die dargestellte Position kann unsicher sein, die Geschwindigkeit kann sich verändern, und Niederschlag kann gegenüber der Linie versetzt sein. Auch die Geschwindigkeitskomponente zum Punkt hin ist wichtig: Eine schräge Bewegung wird nicht wie eine Bewegung direkt zum Ort behandelt. Die vier Stunden drücken nur aus, was die Zahlen des vereinfachten Szenarios ergeben.

Ergänzen wir eine erfundene Geschwindigkeitsspanne von zwanzig bis vierzig Kilometern pro Stunde und behalten Entfernung und Richtung fest bei. Die Dauern werden zu sechs Stunden und drei Stunden. Es ergibt sich eine Spanne geometrischer Szenarien, kein

durch Beobachtungen bestätigtes Wahrscheinlichkeitsintervall. Nichts erlaubt die Behauptung, die tatsächliche Dauer habe eine bestimmte Wahrscheinlichkeit, zwischen diesen Werten zu liegen. Eine Spanne von Rechnungen und eine probabilistische Vorhersage sind nicht dasselbe.

Diese Unterscheidung wird in den Kapiteln über Modelle und Wahrscheinlichkeiten wieder aufgenommen. Schon jetzt liefert sie eine nützliche Leseregel: Eine exakte Rechenoperation kann auf Annahmen beruhen, die zu vereinfacht sind, um eine Entscheidung zu leiten. Rechengenauigkeit beseitigt nicht die Unsicherheit der Daten oder des Modells.

7. Ein überprüfter historischer Bezug

Das historische Informationsblatt des Met Office verbindet die moderne Darstellung von Fronten mit der Bergener Schule und beschreibt einen Vorschlag einfarbiger Symbole durch Tor Bergeron im Jahr 1924. Wir übernehmen diesen begrenzten Bezug: Dreiecke und Halbkreise ermöglichen die Vermittlung einer Unterscheidung, ohne ausschließlich von Farben abzuhängen. Damit wird nicht behauptet, sämtliche heutigen Werkzeuge hätten bereits in ihrer aktuellen Form existiert.

Diese Geschichte zeigt ein gemeinsames Problem der Wissenschaften: Darstellung soll Verständnis, Vergleich und Übermittlung ermöglichen. Ein Symbol kann nützlich bleiben, obwohl es seinen Gegenstand stark vereinfacht. Lernen besteht darin, Funktion und Grenze zu kennen. Es darf weder für die Atmosphäre selbst gehalten noch zurückgewiesen werden, weil es nicht all ihre Eigenschaften zeigt.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1. Eine Karte zeigt eine Kaltfront, obwohl die Temperatur nach ihrem erfundenen Durchgang achtundzwanzig Grad beträgt. Ist das ein Widerspruch?

Lösung. Nicht zwangsläufig. Kalt beschreibt hier einen Gegensatz zwischen Luftmassen, keine universelle Temperatur, die ein Beobachter als kalt empfindet. Temperatur der ersetzten Luft und Kontext fehlen. Der Fehler bestünde darin, eine relative Bezeichnung in einen absoluten Schwellenwert zu verwandeln. Diese Antwort erlaubt keinen Schluss über das aktuelle Wetter in einer Region.

Übung 2. Eine erfundene Frontlinie liegt neunzig Kilometer entfernt und bewegt sich mit fünfzehn Kilometern pro Stunde direkt auf einen Ort zu. Berechnen Sie die vereinfachte Dauer und nennen Sie anschließend drei Gründe, weshalb die genaue Uhrzeit des Regens nicht angekündigt werden darf.

Lösung. Die Dauer beträgt neunzig geteilt durch fünfzehn, also sechs Stunden. Die Bewegung kann sich ändern, die Ausgangsposition kann unsicher sein, und der Regen kann vor oder hinter der Linie liegen. Richtung und örtliche Wirkungen ließen sich ergänzen. Die Rechnung beantwortet eine bedingte geometrische Frage; sie ist keine operative Wettermitteilung.

Übung 3. Zwei nahe Gemeinden haben unterschiedliche Beobachtungen. Schlagen Sie ein Vorgehen vor, das nicht sofort auf einen Messfehler schließt.

Lösung. Prüfen Sie zunächst Uhrzeiten, Standorte und Instrumente. Untersuchen Sie anschließend Höhe, Exposition und die Nähe zu Erhebungen oder einer Küste. Vergleichen Sie diese Daten mit einer datierten regionalen Information. Ein Unterschied kann tatsächlich, instrumentell oder durch Vergleichsbedingungen

bedingt sein. Das Vorgehen ordnet die Hypothesen, bevor eine Erklärung ausgewählt wird.

Übung 4. Ein Mitschüler behauptet, eine Okklusion bedeute sofort schönes Wetter und eine stationäre Front bedeute Windstille. Korrigieren Sie beide Behauptungen.

Lösung. Die Okklusion beschreibt eine Anordnung von Luftmassen und eine Hebung; sie garantiert nicht das Verschwinden von Wolken oder Niederschlag. Stationär betrifft die Position der Front, nicht das Anhalten sämtlicher Strömungen. Beide Sätze schreiben einer Kartenkategorie eine Folge zu, die ihre Definition nicht enthält.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Verwechseln Sie eine Kartenlinie nicht mit einer starren vertikalen Grenze. Lesen Sie kalt und warm nicht als feste Schwellenwerte. Setzen Sie eine Verlagerungsgeschwindigkeit nicht mit der Uhrzeit des Regens gleich. Übertragen Sie einen Flachlandwert nicht ohne passende Information auf einen Hang. Schließlich kann eine Karte ohne Datum oder Legende als Lerndokument dienen, darf aber nicht als Nachweis der aktuellen Situation verwendet werden.

Definieren Sie zur Wiederholung Luftmasse, Kaltfront, Warmfront, stationäre Front und Okklusion. Erklären Sie, weshalb ein Weg über eine Oberfläche die Eigenschaften verändert. Beschreiben Sie die mögliche Rolle des Geländes, ohne ein Ergebnis zu versprechen. Wiederholen Sie die Rechnung Entfernung geteilt durch Geschwindigkeit und benennen Sie dabei jede Annahme. Unterscheiden Sie abschließend Messung, Interpretation und Vorhersage: Diese drei Vorgänge sind verbunden, ihre Ergebnisse haben aber nicht denselben Aussagebereich.

10. Primärquellen und weiterführende Hinweise

NOAA, How to read Surface Weather Maps, Definitionen und Konventionen: https://www.noaa.gov/jetstream/wxmaps Met Office, Weather fronts: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/atmosphere/weather-fronts Met Office, Rain, frontale und orographische Hebung: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/weather/types-of-weather/rain Met Office, Orographic processes, Schwierigkeiten bei der Darstellung des Geländes: https://www.metoffice.gov.uk/research/foundation/parametrizations/orography Met Office, Factsheet 10, Air masses and weather fronts, insbesondere der historische Abschnitt „A brief history“: https://www.metoffice.gov.uk/binaries/content/assets/metofficegovuk/pdf/research/library-and-archive/library/publications/factsheets/factsheet_10-air-masses-and-weather-fronts_2023.pdf Quellen für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 geprüft. Kein Schema und keine Tabelle der Herausgeber werden wiedergegeben; Beispiele, Rechnungen und Übungen sind eigenständig und erfunden. Dieses Kapitel liefert keine aktuellen Wetterinformationen.

KAPITEL 7 - GEWITTER, BLITZE UND HEFTIGE WETTERPHÄNOMENE: MECHANISMEN UND VORHERSAGEGRENZEN

1. Eine geordnete Bildung, unterschiedliche Gefahren

Ein Gewitter verbindet elektrische Aktivität mit einer entwickelten konvektiven Wolke. Blitzentladungen, starke Niederschläge, Hagel und Böen können innerhalb derselben Situation unterschiedliche Gefahren darstellen. Man darf nicht warten, bis alle auftreten, um ein Risiko zu erkennen. Ausbleibender Regen am eigenen Standort beweist nicht, dass keine Gefahr durch ein benachbartes Gewitter besteht.

Konvektion ist eine Bewegung, die insbesondere Energie und Materie transportiert. In einer günstigen Atmosphäre kann Luft aufsteigen, abkühlen, Wolken bilden und zu einer vertikal stärker ausgedehnten Organisation beitragen. Feuchtigkeit, Stabilität und ein Auslösemechanismus wirken mit. Bestimmte günstige Voraussetzungen erlauben jedoch nicht, automatisch die Bildung eines Gewitters an einem Ort und zu einer genauen Minute anzukündigen.

Dieses Kapitel hilft dabei, die Wörter in einer Wettermitteilung zu verstehen und die Grenzen einer persönlichen Interpretation zu erkennen. Es bildet nicht zur Gewitterjagd aus, liefert keine aktuelle Warnung und ersetzt keine offizielle Anweisung. Die Beispiele sind erfunden. Jede Lernbeobachtung erfolgt aus einer sicheren Situation heraus; keine Übung verlangt, sich einem Gewitter zu nähern oder für eine Messung im Freien zu bleiben.

2. Aufwinde und Abwinde

Eine konvektive Zelle enthält Luftbewegungen. Ihre Entwicklung wird durch einen Aufwind gespeist; Niederschlag und Abkühlungsprozesse können zu abwärtsgerichteten Bewegungen beitragen. In ihrer Erklärung der Reifephase gibt die NOAA an: „updrafts and downdrafts coexist“, also das gleichzeitige Vorhandensein von Auf- und Abwinden. Dieser kurze Bezug betont, dass ein entwickeltes Gewitter nicht nur eine aufsteigende Luftsäule ist.

Abkühlung und Niederschlag können eine abwärtsgerichtete Strömung fördern, die sich in Bodennähe ausbreitet. Das trägt zur Erklärung von Böen bei, die manchmal von der sichtbarsten Regenzone entfernt auftreten. Eine Fotografie gibt nicht alle Bewegungen wieder. Der spektakuläre Teil einer Wolke und das für eine Entscheidung wichtigste Gebiet sind daher nicht zwangsläufig dieselben.

Die Unterscheidung zwischen einem Zellenschema und einem tatsächlichen System muss erhalten bleiben. Mehrere Zellen können entstehen, verschmelzen oder sich erneuern; eine anhaltende Organisation kann fortbestehen, während eine einzelne Zelle schwächer wird. Die im Unterricht betrachtete Dauer einer Zelle ist kein Sicherheitstimer. Es lässt sich nicht ankündigen, eine Gefahr werde nach einer festen Anzahl Minuten vorbei sein, weil ein Kurs aufeinanderfolgende Phasen darstellt.

Ein Erklärungsmodell ist nützlich, wenn es die Beziehungen zwischen Versorgung, Entwicklung und Veränderung zeigt. Es wird irreführend, wenn daraus ohne aktuelle Beobachtung ein genauer Zeitplan abgeleitet wird. Diese Unterscheidung begegnet uns erneut in den Kapiteln über numerische Vorhersage und Entscheidung.

3. Blitzerscheinung, Blitzentladung zum Boden und Donner

Bewegungen und Wechselwirkungen zwischen Partikeln in der Wolke tragen zur Trennung elektrischer Ladungen bei. Eine Entladung kann innerhalb einer Wolke, zwischen Wolken oder zwischen Atmosphäre und Boden auftreten. Das sichtbare Licht ist die Blitzerscheinung; Donner ist das Geräusch, das mit der sehr schnellen Erwärmung der Luft und ihrer Ausdehnung verbunden ist. Dass der Blitz gesehen wird, bevor der Donner hörbar ist, erklärt sich hauptsächlich durch die unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht und Schall.

Die wissenschaftliche Beschreibung erlaubt nicht, den nächsten Einschlagpunkt mit Sicherheit zu bestimmen. Ein Mensch kann entfernte Aktivität sehen, ohne über vollständige Informationen zu allen Entladungen zu verfügen. Spektakuläre Temperatur- oder Spannungszahlen, die manchmal genannt werden, liefern keine persönliche Schutzmethode. Ein Phänomen zu verstehen und sein Auftreten kontrollieren zu können sind zwei unterschiedliche Fähigkeiten.

Eine Entfernungsrechnung anhand einer Verzögerung kann die Schallausbreitung illustrieren, bestimmt aber keinen gefahrlosen Bereich im Freien. Der National Weather Service erinnert daran, dass hörbarer Donner eine Situation anzeigt, in der Blitzgefahr bestehen kann. Dieser Leitfaden schlägt deshalb keinen persönlichen Schwellenwert für das Warten im Freien vor. Offizielle Anweisungen zum Aufsuchen von Schutz haben Vorrang vor dem Wunsch, eine Beobachtung abzuschließen.

4. Hagel, Starkregen und Böen lassen sich nicht aus einem einzigen Bild ableiten

Hagel wächst insbesondere durch die Ansammlung von Eis um Partikel in den Strömungen eines Gewitters. Tröpfchen können unter null Grad flüssig bleiben, bevor sie bei Kontakt gefrieren. Wachstum, Schweben und Fall hängen von Bedingungen ab, die nicht an einer einfachen Himmelsfarbe abzulesen sind. Eine am Boden beobachtete Eisschicht reicht nicht aus, um den gesamten Weg eines Hagelkorns zu rekonstruieren.

Starker Regen kann rasch Wasser auf einer Fläche konzentrieren. Seine Auswirkungen hängen von Dauer, Boden, Gefälle, Entwässerung und Zuflüssen aus höher gelegenen Bereichen ab. Eine mittlere Menge in einer Region beschreibt nicht zwangsläufig die in einem Viertel erhaltene Summe. Ebenso ist eine Böe eine kurze Änderung des Windes; sie darf nicht mit dem für einen Zeitraum angegebenen Mittelwert verwechselt werden.

In einem eigenständigen Beispiel erhalten zwei erfundene Orte innerhalb einer Stunde dieselbe Regensumme. Der erste hat eine funktionierende Entwässerung; der zweite liegt am Fuß eines Hangs und erhält zusätzlich Oberflächenabfluss. Die Folgen können unterschiedlich sein, obwohl die örtliche Regenzahl dieselbe ist. Der Fall zeigt, weshalb ein Risiko nicht nur von der atmosphärischen Messung, sondern auch von Exposition und Umgebung abhängt.

Es wäre gefährlich, daraus eine Fähigkeit zum Durchqueren eines überschwemmten Gebiets durch Schätzung seiner Tiefe abzuleiten. Die Übung erklärt einen Unterschied der Wirkungen; sie bestätigt keine Passierbarkeit. Eine Straße, eine Brücke oder ein Gelände können unsichtbar beschädigt sein. Sperrungen und Anweisungen der Behörden haben Vorrang vor einer persönlichen Analyse aus der Ferne.

5. Tornados und andere Phänomene: komplexe Ursachen nicht vereinfachen

Ein Tornado ist eine stark rotierende Luftsäule, die eine konvektive Wolke mit dem Boden verbindet. Nicht jede Gewitterzelle erzeugt einen. Die Mechanismen hängen von einer komplexen Organisation der Bewegungen ab, insbesondere von Windänderungen mit der Höhe und zelleneigenen Prozessen. Der National Weather Service betont, dass allein das Zusammentreffen von Luftmassen eine zu stark vereinfachte Entstehungserklärung ist.

Das bedeutet nicht, dass jegliches Wissen nutzlos ist. Günstige Bedingungen lassen sich erkennen, und Überwachungssysteme können Warnungen liefern. Die Fähigkeit, eine günstige Umgebung vorherzusagen, und die Fähigkeit, ein sehr örtliches Phänomen mit genauer Lage und Intensität anzukündigen, sind jedoch nicht dieselben. Unsicherheit im kleinen Maßstab beseitigt nicht die Notwendigkeit, einer Schutzmitteilung zu folgen.

Ein häufiger Fehler besteht darin, lange über den genauen Namen eines Phänomens zu diskutieren, bevor eine Anweisung angewendet wird. Für einen gefährdeten Menschen haben angekündigte Gefahr, verlangte Handlung und betroffener Ort Vorrang. Die wissenschaftliche Klassifikation kann anschließend untersucht werden. Dieser Leitfaden bietet keine Bestimmungsübung im Gelände und verlangt keine Fotografie aus der Nähe.

6. Eine Lernrechnung zur Ausbreitung

In einem erfundenen Szenario, das anhand einer Aufnahme untersucht wird, liegen zwischen Licht und Schall sechs Sekunden. Nehmen wir eine vereinfachte Schallgeschwindigkeit von dreihundertvierzig Metern pro Sekunde an und vernachlässigen wir in diesem Maßstab die Laufzeit des Lichts. Das Produkt beträgt zweitausendvierzig Meter, also ungefähr zwei Kilometer. Die Rundung passt zu den Annahmen: Zwei Kilometer und vierzig Meter als exakte Messung anzugeben wäre überzogen.

Ergänzen wir eine für die Übung angenommene Unsicherheit von einer Sekunde bei der Verzögerung. Mit fünf Sekunden ergibt die Rechnung eintausendsiebenhundert Meter; mit sieben Sekunden zweitausenddreihundertachtzig Meter. Die Variation zeigt, dass die Unsicherheit der Zeitmessung das Ergebnis beeinflusst. Auch die Wirkung einer anderen angenommenen Geschwindigkeit lässt sich untersuchen, denn die Ausbreitung hängt von den Bedingungen des Mediums ab. Das Ziel besteht darin, Messung, Annahme und Ergebnis zu verbinden, nicht eine Schutzentfernung zu bewerten.

Weshalb reicht die Rechnung nicht aus, um über das Verbleiben im Freien zu entscheiden? Sie betrifft ein bereits eingetretenes Ereignis, nicht das nächste. Sie vereinfacht den Schallweg und die atmosphärischen Bedingungen. Sie beschreibt weder die gesamte Ausdehnung des Systems noch sämtliche möglichen Einschlagpunkte. Schließlich kann das Warten für die Rechnung das Aufsuchen von Schutz verzögern. Der schulische Wert einer Rechenoperation und ihre Bedeutung für die Sicherheit müssen getrennt bewertet werden.

Eine Unterrichtsarbeit kann eine erlaubte Tondatei und ein erlaubtes Video oder ein vollständig geschriebenes Szenario verwenden. Sie darf niemals verlangen, die Sequenz während einer gefährlichen Situation selbst aufzunehmen. Wissenschaftliche

Neugier kann ausgeübt werden, ohne jene Exposition zu erzeugen, die sie verstehen möchte.

7. Zwei Szenarien zum Lesen einer Wettermitteilung

Erstes eigenständiges Szenario: Ein erfundener Ausflug soll nahe einem geeigneten Gebäude stattfinden, während eine innerhalb der Übung aktuelle Mitteilung Gewitterrisiko im Gebiet ankündigt. Die Gruppe kennt einen Rückzugsort, weiß aber nicht, wie lange es dauern würde, sämtliche Teilnehmer dorthin zu bringen. Die vorrangige Frage besteht nicht darin, die genaue Uhrzeit mit dem Blick zum Himmel vorherzusagen. Zu prüfen sind die anwendbaren Anweisungen, die zum Handeln benötigte Dauer und die Möglichkeit, die Tätigkeit zu verschieben.

Zweites Szenario: Ein erfundener Organisator bemerkt eine Auflockerung und möchte das System für beendet halten. Die datierten Informationen der Übung zeigen jedoch weiterhin Aktivität im Gebiet an. Die örtliche Auflockerung ist eine Beobachtung, keine hinreichende Bestätigung für das Ende der Gefahr. Eine Entscheidung muss aktuelle Überwachung und Regeln des Ortes einbeziehen. Der Leitfaden liefert keine universelle Frist für die Wiederaufnahme; offizielle Empfehlungen und zuständige Verantwortliche müssen das Vorgehen bestimmen.

Diese Situationen zeigen eine wichtige Asymmetrie. Um mit dem Schutz zu beginnen, muss nicht jeder Mechanismus vollkommen bekannt sein. Für die Ankündigung, die Gefahr sei verschwunden, reicht ein bloßer Eindruck nicht aus. Diese Asymmetrie anzuerkennen verhindert, dass wissenschaftliche Unsicherheit zum Vorwand für Untätigkeit oder vorzeitige Wiederaufnahme wird.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung 1. Unterscheiden Sie Blitzerscheinung, Donner und Blitzentladung zum Boden in einem kurzen Absatz. Erklären Sie, weshalb ihre Wahrnehmung die Berechnung des nächsten Einschlagpunkts nicht erlaubt.

Lösung. Die Blitzerscheinung ist die sichtbare Lichterscheinung einer Entladung; Donner ist ihre Schallwirkung; eine Blitzentladung zum Boden verbindet Atmosphäre und Boden. Ein wahrgenommenes Ereignis informiert unter Beobachtungsgrenzen über das Geschehene. Es liefert nicht die genauen Bedingungen sämtlicher zukünftiger Entladungen. Schutzanweisungen müssen daher befolgt werden, statt diese Wahrnehmung in eine Garantie zu verwandeln.

Übung 2. In einer erfundenen Aufnahme beträgt die Verzögerung neun Sekunden. Verwenden Sie die vereinfachte Geschwindigkeit von dreihundertvierzig Metern pro Sekunde und erklären Sie anschließend die angemessene Genauigkeit.

Lösung. Das Produkt beträgt dreitausendsechzig Meter. Angesichts der Annahmen und einer begrenzten Zeitmessung kann von ungefähr drei Kilometern gesprochen werden. Die Multiplikation ist für die gewählten Zahlen exakt, die physikalische Entfernung besitzt aber nicht zwangsläufig diese Genauigkeit. Das Ergebnis bestimmt keine gefahrlose Entfernung im Freien.

Übung 3. Eine sichtbare Zelle wird schwächer, und ein Schüler schließt daraus, das gesamte Gewittersystem sei beendet. Welche Information fehlt?

Lösung. Es fehlen der Zustand der anderen Zellen, die Möglichkeit einer Erneuerung und die aktuellen Informationen zum Gebiet. Ein System kann mehrere Strukturen enthalten, deren Entwicklungen unterschiedlich verlaufen. Die Beobachtung einer Zelle reicht nicht

aus, um auf das Ganze zu schließen. Die Lösung sagt keine Erneuerung des Systems voraus; sie zeigt, dass die Schlussfolgerung nicht feststeht.

Übung 4. Eine erfundene Mitteilung kündigt mögliche starke Böen an, ohne den genauen betroffenen Punkt anzugeben. Ist sie unbrauchbar? Schlagen Sie eine begründete Überlegung vor.

Lösung. Fehlende genaue Lokalisierung beseitigt nicht jegliche Information. Die Möglichkeit von Böen in einem Gebiet kann eine Tätigkeit oder Anlage gefährden und eine Maßnahme rechtfertigen, die durch passende Anweisungen vorgesehen ist. Die Entscheidung hängt von Exposition, Alternativen und zuständiger Behörde ab. Unsicherheit kann nicht zum Beweis verwendet werden, dass der ausgewählte Ort verschont bleibt.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Verwandeln Sie ein Zellenschema nicht in eine garantierte Dauer. Verwechseln Sie fehlenden Regen nicht mit fehlender Blitzgefahr. Stellen Sie eine nach einem Blitz berechnete Entfernung nicht als Schutzschwelle dar. Reduzieren Sie einen Tornado nicht auf das Zusammentreffen von Luftmassen. Schließlich ersetzt eine spektakuläre Fotografie oder ein Eindruck von Ruhe weder datierte Informationen noch aktuelle Anweisungen.

Verbinden Sie zur Wiederholung Aufwind, Abwind, Niederschlag und Böen, ohne eine stets identische Abfolge anzunehmen. Unterscheiden Sie die Gefahren innerhalb desselben Systems. Erklären Sie, weshalb eine exakte Rechnung für eine Sicherheitsentscheidung ungeeignet sein kann. Schlagen Sie abschließend eine Lernbeobachtung ohne Exposition vor: Mit einer erlaubten Aufnahme zu arbeiten ist oft nützlicher, als selbst eine gefährliche Messung erzeugen zu wollen.

10. Primärquellen und weiterführende Hinweise

NOAA, Life Cycle of a Thunderstorm, kurzer Bezug zu den Bewegungen: https://www.noaa.gov/jetstream/thunderstorms/life-cycle-of-thunderstorm National Weather Service, Understanding Lightning Science: https://www.weather.gov/safety/lightning-science-overview NOAA, Thunderstorm Hazards - Hail: https://www.noaa.gov/jetstream/hail NOAA, Types of Thunderstorms: https://www.noaa.gov/jetstream/tstrmtypes National Weather Service, Tornadoes FAQ, Grenzen von Erklärung und Vorhersage: https://www.weather.gov/lmk/tornadoesfaq National Weather Service, Lightning Safety: https://www.weather.gov/safety/lightning-safety Quellen für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 geprüft. Das englische Zitat umfasst vier Wörter; keine Abbildung, Opferstatistik oder Leistungstabelle wird wiedergegeben. Rechnungen und Szenarien sind eigenständig. Es wird keine aktuelle Warnung und keine medizinische Handlung angeboten.

KAPITEL 8 - Numerische Vorhersage: Anfangsbedingungen, Modelle und Ensembles von Szenarien

1. Vorhersagen bedeutet, eine Entwicklung aus einem geschätzten Zustand zu berechnen

Eine Wettervorhersage beschreibt mögliche zukünftige Zustände der Atmosphäre. Sie besteht weder darin, das gestern beobachtete Wetter mechanisch fortzuschreiben, noch lediglich eine Wolkenform zu erkennen. Sie verbindet Beobachtungen, physikalische Gesetze, numerische Methoden und Fachwissen. Das Ergebnis hat eine Vorhersagefrist, ein Gebiet, Variablen und Grenzen. Eine Vorhersage der bodennahen Temperatur für morgen beantwortet nicht unmittelbar die Frage nach einer Böe auf einem Bergkamm in drei Stunden.

Eine Anfangsbedingung ist der Zustand, von dem aus eine Rechnung beginnt. Für die Atmosphäre umfasst dieser insbesondere Temperatur, Feuchtigkeit, Druck und Luftbewegung an vielen Punkten und in mehreren Höhenstufen. Idealerweise müssten diese Größen überall zum selben Zeitpunkt bekannt sein. Beobachtungen bleiben jedoch verstreut, unsicher und fehlen manchmal. Ein Satellit, eine Station und ein Ballon messen nicht genau dieselben Dinge an denselben Orten und zu denselben Uhrzeiten.

Die Datenassimilation erstellt eine stimmige Schätzung dieses Zustands. Sie vergleicht kontrollierte Beobachtungen mit einer vorherigen Schätzung, die häufig aus einer jüngeren Vorhersage stammt. Eine neue Messung ersetzt daher nicht automatisch das gesamte berechnete Feld. Ihre Genauigkeit, Repräsentativität und Stimmigkeit spielen eine Rolle. Misst ein Thermometer nahe einer

erwärmten Mauer, kann die Zahl für diesen Punkt richtig sein, ohne eine gesamte Gitterzelle des Modells zu repräsentieren.

In der institutionellen Beschreibung des ECMWF dient diese Analyse als Ausgangspunkt für folgende Vorhersagen; sowohl Beobachtungen als auch Modelle weisen Unsicherheiten auf. Merken Sie sich den allgemeinen Ablauf: beobachten, prüfen, vergleichen, anpassen und anschließend die Entwicklung berechnen. Diese didaktische Zusammenfassung beschreibt nicht sämtliche betrieblichen Methoden. Assimilation ist weder ein einfaches Mittel aller verfügbaren Zahlen noch eine Möglichkeit, die Gegenwart vollkommen zu kennen.

2. Eine diskrete Darstellung eines kontinuierlichen Mediums

Ein numerisches Modell ist eine berechenbare Darstellung bestimmter Prozesse. Das Atmosphärenmodell ordnet Gleichungen, Daten und Näherungen. Eine Gitterzelle repräsentiert einen Teil des Raums. Ein Zeitschritt ist das Intervall zwischen zwei Rechenschritten. Wirkliche Luft bewegt sich nicht in Kästchen und Sprüngen: Diese Organisation dient der Rechnung und definiert nicht die Wirklichkeit.

Die Auflösung bezeichnet die Feinheit dieser Darstellung. Ein feineres Gitter kann Gelände oder bestimmte Bewegungen besser unterscheiden, macht aber nicht sämtliche Phänomene unmittelbar berechenbar. Ein kleiner Wirbel, ein Tropfen oder eine Straße bleiben oft kleiner als eine Gitterzelle. Manche Wirkungen müssen daher durch vereinfachte Beziehungen dargestellt werden, Parametrisierungen genannt. Eine Parametrisierung ist keine beliebige Zahl: Sie drückt eine im verwendeten Maßstab nicht aufgelöste Wirkung aus, mit Annahmen, die zu bewerten sind.

Stellen wir uns eine quadratische Region vor, die in jeder horizontalen Richtung in zehn Zellen unterteilt ist: Sie enthält

hundert Zellen. Diese Anzahl in beiden Richtungen zu verdoppeln ergibt vierhundert Zellen, also viermal so viele. Verdoppelt sich zusätzlich die vertikale Feinheit, wird die Anzahl der Volumina achtmal so groß. Dieses geometrische Experiment sagt nicht die genaue Rechendauer voraus: Zeitschritte, Kommunikation zwischen Rechnern und numerische Methode verursachen weitere Kosten.

Eine feine Auflösung sichert keine gute Vorhersage, wenn der Anfangszustand falsch ist, Prozesse schlecht dargestellt werden oder das Ergebnis falsch interpretiert wird. Eine sehr detaillierte Zeichnung kann einen täuschenden Eindruck von Gewissheit vermitteln. Räumliche Feinheit, Richtigkeit und Zuverlässigkeit müssen unterschieden werden: Diese Eigenschaften sind verbunden, doch keine ersetzt automatisch die anderen.

3. Einen numerischen Schritt an einem kontrollierten Beispiel verstehen

Betrachten wir ein erfundenes Abkühlungsmodell. Ein Gegenstand hat eine Temperatur T, während die Umgebung bei 10 °C bleibt. Wir nehmen an, dass seine Abkühlungsrate proportional zum Abstand T − 10 ist, mit einem Koeffizienten k = 0,25 pro Stunde. Dieses Modell stellt weder eine Wolke noch die zukünftige Temperatur einer Stadt dar. Es dient nur dazu, den Übergang von einer kontinuierlichen Beziehung zu einer schrittweisen Rechnung zu verstehen.

Für einen in Stunden angegebenen Schritt h verwenden wir die Regel T danach = T aktuell − k × h × (T aktuell − 10). Das Produkt k × h ist dimensionslos. Der thermische Abstand ist eine Temperaturdifferenz: Ihr Zahlenwert ist in Grad Celsius und Kelvin derselbe. Ausgehend von 18 °C und mit h = 1 Stunde ergibt der erste Schritt 18 − 0,25 × 8 = 16 °C. Nach einem zweiten Schritt ergibt sich 16 − 0,25 × 6 = 14,5 °C.

Wiederholen wir die Rechnung mit h = 0,5 Stunde. Es ergeben sich nacheinander 17; 16,125; 15,359375; anschließend 14,689453125 °C nach zwei Stunden. Beide Methoden wenden dieselbe Ausgangsbeziehung an, nähern ihre Entwicklung aber unterschiedlich an. Ihr abschließender Unterschied beträgt ungefähr 0,189 °C. Dieser Unterschied zeigt eine Diskretisierungswirkung; er ist keine gemessene meteorologische Unsicherheit.

Mit der kontinuierlichen Lösung dieses elementaren Modells beträgt T nach zwei Stunden 10 + 8 × exp(−0,5), also ungefähr 14,852 °C. Wurde die Exponentialfunktion noch nicht behandelt, reicht der Vergleich der beiden Rechnungen aus, um die Idee zu erfassen. Die Verringerung des Schritts verbessert hier die Näherung. Diese Feststellung darf nicht ungeprüft auf jede Methode, jedes Phänomen und jede Einstellung übertragen werden.

Eine nützliche Kontrolle prüft auch das qualitative Verhalten. In diesem Fall sollte sich die Temperatur 10 °C annähern, statt sich ohne Ursache davon zu entfernen. Ein übermäßig großer Schritt könnte eine unstimmige Entwicklung erzeugen. Die Prüfung eines Modells verbindet daher Rechnung, Einheiten und physikalische Bedeutung. Viele Nachkommastellen anzuzeigen beweist keine dieser Eigenschaften.

4. Anfangsunsicherheit, Modellunsicherheit und Empfindlichkeit

Ein Anfangsfehler bezeichnet eine Abweichung zwischen dem verwendeten und dem tatsächlichen Zustand. Er kann aus einer Messung, einem unbeobachteten Gebiet oder einer unvollkommenen Schätzung stammen. Ein Modellfehler entsteht aus den ausgewählten Gleichungen, Näherungen, Parametern oder der Rechnung. Ein Interpretationsfehler tritt auf, wenn ein Nutzer dem Ergebnis eine Bedeutung zuschreibt, die es nicht besitzt. Die drei dürfen nicht verwechselt werden.

Manche atmosphärischen Entwicklungen verstärken kleine anfängliche Unterschiede. In einem chaotischen System begrenzt unvollkommenes Wissen über den Start schrittweise die mögliche Genauigkeit. Chaotisch bedeutet nicht gesetzlos oder völlig zufällig. Eine Bahn kann durch Regeln bestimmt sein und dennoch langfristig schwer vorhersehbar bleiben, weil ihr Ausgangspunkt nicht mit unendlicher Genauigkeit bekannt ist.

Unser abkühlender Gegenstand veranschaulicht gerade nicht diese Verstärkung: Zwei nahe Anfangstemperaturen nähern sich hier beim Abkühlen derselben Umgebung und damit einander an. Diese Grenze gehört zur Herleitung. Ein einfaches Beispiel ermöglicht das Verständnis der Diskretisierung, darf aber nicht behaupten, sämtliche Verhaltensweisen der Atmosphäre darzustellen. Ein Lernmodell ist nützlich, wenn benannt wird, was es erklärt und was es auslässt.

Nehmen wir nun an, dass ein Regengebiet nahe einer Grenze zwischen zwei französischen Départements vorhergesagt wird. Eine geringe Verlagerung seines Wegs kann den an einem Punkt erhaltenen Regen stark verändern, obwohl die regionale Beschreibung recht ähnlich bleibt. Die Schwierigkeit betrifft nicht

nur die Menge, sondern auch Position und Uhrzeit. Ein räumlicher Mittelwert kann diese örtliche Empfindlichkeit verdecken.

5. Weshalb mehrere Szenarien erzeugen?

Eine Ensemblevorhersage untersucht mehrere Entwicklungen, die insbesondere durch Variation des Anfangszustands und bestimmter Modelldarstellungen entstehen. Ein Ensemblemitglied ist ein in diesem Ensemble berechnetes Szenario. Das Ensemble hilft, Streuung und mögliche Ereignisse zu untersuchen. Nicht sämtliche Mitglieder sind zwangsläufig unabhängig; sie können Daten, Struktur und Fehler teilen. Ihre Übereinstimmung ist deshalb kein absoluter Beweis.

In einem erfundenen Beispiel liefern fünf Szenarien 15, 16, 16, 17 und 20 °C. Ihr Mittelwert beträgt 16,8 °C und ihr Median 16 °C. Der Mittelwert fasst die Reihe zusammen, doch kein Szenario ergibt genau 16,8 °C. Ein Regenmittelwert kann ebenfalls einen Gegensatz zwischen trockenen und regnerischen Szenarien verdecken. Die Verteilung muss betrachtet werden, nicht nur ihre Mitte.

Nur die Mitglieder mit 17 und 20 °C erreichen in diesem Beispiel mindestens 17 °C, also zwei von fünf. Dieser Anteil beschreibt unsere kleine Reihe. Er erlaubt nicht ohne Weiteres, eine tatsächliche meteorologische Wahrscheinlichkeit von 40 % zu behaupten. Für eine solche Interpretation müssen Aufbau des Ensembles, Kalibrierung und Definition des Ereignisses bekannt sein.

Die Kalibrierung prüft, ob angekündigte Wahrscheinlichkeiten in geeigneten Reihen den beobachteten Häufigkeiten entsprechen. Eine Methode kann eine sehr schmale Verteilung liefern und dabei zu sicher sein. Sie kann auch eine übermäßige Streuung erzeugen. Zuverlässigkeit und Schärfe müssen gemeinsam bewertet werden;

eine weniger spektakuläre Vorhersage kann besser wiedergeben, was tatsächlich bekannt ist.

Das folgende Kapitel vertieft diese Wahrscheinlichkeiten. Merken Sie sich vorerst, dass ein Ensemble keine Abstimmung allwissender Maschinen ist. Es ordnet Szenarien, um die Unsicherheit besser zu charakterisieren. Es ersetzt weder aktuelle Beobachtungen noch die Interpretation durch die zuständigen Dienste.

6. Von der Rechnung zur Wettermitteilung: Datum, Ort und Fachwissen

Der Initialisierungszeitpunkt bezeichnet den Beginn der Rechnung. Der Gültigkeitszeitpunkt bezeichnet den Moment, auf den sich ein Ergebnis bezieht. Die Vorhersagefrist ist ihre Differenz. Eine Karte aus einer am Montag um Mitternacht initialisierten Rechnung kann eine Situation am Dienstagmittag zeigen. Das Datum des Bilddownloads verwandelt eine alte Rechnung nicht in eine neue Vorhersage.

Auch Uhrzeiten verlangen ausdrückliche Aufmerksamkeit. UTC und Ortszeit sind nicht austauschbar; die Verschiebung hängt vom Ort und manchmal von der Jahreszeit ab. Die Konvention des Dokuments muss gelesen werden, statt sie zu erraten. Eine Vorhersage ohne vollständiges Datum, Gebiet und Einheit ist schwer verwendbar, auch wenn ihre Grafik vertraut wirkt.

Ein Ergebnis für eine Gitterzelle ist nicht zwangsläufig der genaue Wert vor einem Haus. Gelände, Exposition, Höhe und unmittelbare Umgebung können die Situation verändern. Der Übergang zur Wettermitteilung berücksichtigt diese Abweichungen und den Kontext. Menschliches Fachwissen prüft neue Beobachtungen, mehrere Ausgaben und bekannte Grenzen. Es besteht nicht lediglich darin, eine Farbe von einer Karte zu übernehmen.

Notieren Sie zum Aufbewahren einer Vorhersage in einem Heft Anbieter, Initialisierung, falls angegeben, Gültigkeit, Gebiet, Variable und Unsicherheit. Vergleichen Sie bei einer Aktualisierung diese Elemente vor den Zahlen. Eine Änderung kann zusätzliche Beobachtungen widerspiegeln; sie beweist nicht für sich allein, dass sämtliche früheren Rechnungen nutzlos waren. Eine ausbleibende Änderung stellt ebenso wenig eine Garantie dar.

7. Historische Bezüge und Methodenwandel

Die numerische Vorhersage entwickelte sich mit physikalischen Methoden, Beobachtungen und Rechenmöglichkeiten. Das Met Office datiert seine erste operative Computervorhersage auf den 2. November 1965, nach vorherigen experimentellen Arbeiten. Dieser Bezug betrifft diese Einrichtung, keine behauptete weltweite Erstleistung. Er zeigt den schrittweisen Übergang von einem Experiment zu einem regelmäßigen Dienst.

Das ECMWF gibt an, seine ersten operativen Vorhersagen im Jahr 1979 und seine ersten Ensemblevorhersagen im Jahr 1992 erstellt zu haben. Diese in seiner institutionellen Darstellung geprüften Daten verdeutlichen die zunehmende Rolle der Unsicherheit. Konfigurationen, Mitgliederzahlen und technische Möglichkeiten verändern sich: Zahlen eines historischen Informationsblatts dürfen nicht automatisch dem aktuellen Dienst zugeschrieben werden.

Es wäre dennoch irreführend, diese Geschichte als vollständigen Ersatz von Menschen durch Computer zu erzählen. Beobachtungen müssen entworfen und geprüft, Modelle untersucht und Ergebnisse bewertet werden. Die Rechnung erweitert die Möglichkeiten; sie beseitigt nicht die Pflicht, das Gemessene zu definieren und das Unbekannte anzuerkennen.

8. Schrittweise Übungen und Lösungen

Übung A - Eine Messung von 25 °C stammt von einem exponierten Sensor nahe einer Fassade. Kann sie als repräsentative Temperatur einer gesamten Region verwendet werden? Lösung: Nein, nicht ohne Prüfung von Standort und Repräsentativität. Die Qualität der Messung am betreffenden Punkt muss von ihrer Eignung für den Modellmaßstab unterschieden werden. Eine tatsächliche Zahl kann falsch verwendet werden; sämtliche örtlichen Beobachtungen automatisch zurückzuweisen wäre jedoch ein anderer Fehler.

Übung B - Beginnen Sie in unserem erfundenen Modell bei 22 °C, verwenden Sie k = 0,25 pro Stunde und zwei Schritte von einer Stunde. Lösung: Der erste Abstand zur Umgebung beträgt 12; T1 = 22 − 3 = 19 °C. Der zweite Abstand beträgt 9; T2 = 19 − 2,25 = 16,75 °C. Das Ergebnis folgt einer Entwicklung zu 10 °C. Diese Rechnung sagt nichts über die Temperatur von morgen aus.

Übung C - Zehn Szenarien liefern 0, 0, 0, 0, 0, 0, 4, 4, 8 und 14 mm für einen erfundenen Zeitraum. Berechnen Sie Mittelwert, Median und den Anteil strikt positiver Werte. Lösung: Die Summe beträgt 30 mm und der Mittelwert 3 mm; der fünfte und der sechste Wert sind null, daher beträgt der Median 0 mm. Vier Werte sind positiv, also 40 % der Reihe. Die Aussage, sämtliche Szenarien kündigten schwachen Regen von 3 mm an, wäre falsch.

Übung D - Eine um 00 Uhr UTC initialisierte Rechnung liefert ein Feld, das am selben Tag um 18 Uhr UTC gültig ist. Wie lang ist die Vorhersagefrist? Lösung: Achtzehn Stunden. Ohne Datum und örtliche Konvention lässt sich dieses Feld nicht einer exakten Ortszeit zuordnen. Bestimmen Sie die fehlenden Informationen, bevor Sie fortfahren.

Übung E - Eine Werbung behauptet: „Unsere Karte besitzt mehr Pixel und ist deshalb zuverlässiger.“ Entwickeln Sie einen Einwand.

Lösung: Die angezeigten Pixel beweisen weder die Feinheit der Rechnung noch ihre Richtigkeit. Selbst ein feineres Gitter kann Anfangsfehler oder physikalische Fehler teilen. Die Ergebnisse müssen anhand von Beobachtungen für eine festgelegte Variable, ein Gebiet und eine Vorhersagefrist bewertet werden.

Übung F - Verfassen Sie einen Absatz, der Modell und Wirklichkeit unterscheidet. Vorschlag: Das Modell vereinfacht bestimmte Prozesse, um eine überprüfbare Rechnung zu erzeugen. Seine Ergebnisse müssen mit Beobachtungen verglichen werden. Eine Vereinfachung ist annehmbar, wenn ihr Verwendungsbereich und ihre Auswirkungen untersucht werden; sie wird irreführend, wenn ihr eine Gewissheit oder ein Maßstab zugeschrieben wird, die sie nicht besitzt.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Verwechseln Sie eine Messung nicht mit einer globalen Analyse, eine Analyse nicht mit einer zukünftigen Vorhersage, ein Mitglied nicht mit einer sicheren Wahrscheinlichkeit oder einen Mittelwert nicht mit einem einzigen Szenario. Verwenden Sie Streuung allein nicht als Zuverlässigkeitsgarantie. Ein Datumsfehler kann schwerer wiegen als ein Unterschied der Nachkommastellen. Eine fehlende Netzverbindung erlaubt nicht, die Gültigkeit einer gespeicherten Vorhersage unbegrenzt zu verlängern.

Wiederholungsblatt: Beobachtungen und eine vorherige Schätzung bilden die Analyse; das Modell entwickelt diesen Zustand mithilfe von Näherungen weiter; Gitterzelle und Zeitschritt ordnen die Rechnung; mehrere Szenarien untersuchen die Unsicherheiten; Fachwissen interpretiert die Ausgaben im nützlichen Maßstab. Bestimmen Sie immer Initialisierung, Gültigkeit, Ort, Einheit und Anbieter. Unsere Abkühlungsrechnung ist eine didaktische Herleitung, niemals eine operative Wettermitteilung.

10. Überprüfte Primärquellen

ECMWF, „Data assimilation“: https://www.ecmwf.int/en/research/data-assimilation ; „Fact sheet: Ensemble weather forecasting“, 2017: https://www.ecmwf.int/en/about/media-centre/focus/2017/fact-sheet-ensemble-weather-forecasting . Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert; allgemeine Methoden und historische Bezüge, ohne eine historische zahlenmäßige Konfiguration als aktuelle Beschreibung zu übernehmen.

Met Office, „History of numerical weather prediction“: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/history-of-numerical-weather-prediction ; „How forecasts are made“: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made . Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Beispiele, Rechnungen und Übungen dieses Kapitels sind eigenständig und erfunden; es wird kein wörtliches Zitat dieser Seiten verwendet.

KAPITEL 9 - Wahrscheinlichkeiten und Unsicherheiten: Wettermitteilungen ohne Scheingenauigkeit lesen

1. Eine Prozentangabe muss sich auf ein definiertes Ereignis beziehen

Eine Wahrscheinlichkeit quantifiziert eine Möglichkeit in einem bestimmten Rahmen. Sie liegt zwischen null und eins oder zwischen 0 und 100 %. Ohne Definition des Ereignisses bleibt die Prozentangabe unvollständig. „60 %“ kann messbaren Regen an einem Ort, das Überschreiten einer Temperatur oder eine klimatische Kategorie während einer Jahreszeit betreffen. Diese Ereignisse haben weder dieselbe Dauer noch denselben Schwellenwert.

Definieren wir ein erfundenes Ereignis: Mindestens 2 mm Regen an einem A genannten Punkt zwischen 14 Uhr und 20 Uhr eines angegebenen Datums erhalten. Diese Definition enthält Variable, Schwellenwert, Ort und Zeitraum. Sie besagt nicht, ob der Regen innerhalb von zehn Minuten oder sechs Stunden fällt oder ob ein benachbarter Punkt B dieselbe Menge erhält. Eines dieser Elemente zu ändern verändert die Frage und kann die Wahrscheinlichkeit verändern.

Ein Informationsblatt des National Weather Service erklärt seine Niederschlagswahrscheinlichkeit anhand einer messbaren Menge, eines Punktes und eines bestimmten Zeitraums. Es stellt klar, dass eine Prozentangabe nicht automatisch den Anteil der regnerischen Dauer oder den Anteil der zu einem Zeitpunkt betroffenen Fläche bezeichnet. Sein besonderer Schwellenwert gehört zu diesem amerikanischen Produkt; er darf nicht sämtlichen Anbietern

vorgeschrieben werden. Suchen Sie beim Lesen eines tatsächlichen Dienstes dessen eigene Definition.

„Es besteht eine Wahrscheinlichkeit von 30 % für dieses Ereignis“ bedeutet deshalb weder „Während 30 % meines Ausflugs wird es regnen“ noch „Der Regen wird schwach sein“. Eine relativ geringe Wahrscheinlichkeit kann ein heftiges Ereignis betreffen. Eine hohe Wahrscheinlichkeit kann eine kleine Menge betreffen. Wahrscheinlichkeit, Intensität und Dauer sind drei unterschiedliche Informationen, auch wenn sie in derselben Zeile erscheinen.

2. Beobachtete Häufigkeit und angekündigte Wahrscheinlichkeit

Eine relative Häufigkeit ist ein in einer Beobachtungsreihe berechneter Anteil. Tritt ein Ereignis 12-mal in 40 Fällen auf, beträgt seine Häufigkeit 12/40 = 0,30. Eine vor dem Ereignis angekündigte Wahrscheinlichkeit ist eine Schätzung. Beide können in geeigneten Reihen verglichen werden; die Häufigkeit einer kleinen Stichprobe wird nicht automatisch zu einem allgemeinen Gesetz.

Eine Methode, die häufig 30 % ankündigt, kann für diese Klasse von Situationen als gut kalibriert gelten, wenn das Ereignis in einer ausreichend großen und passend definierten Stichprobe ungefähr dreimal in zehn Fällen eintritt. Das bedeutet nicht, dass jede aufeinanderfolgende Gruppe von zehn genau drei Ereignisse enthält. Schwankungen treten auf, und Fälle können miteinander verbunden sein.

In einer erfundenen Reihe von 200 vergleichbaren Ankündigungen mit 30 % werden 64 Ereignisse beobachtet, also 32 %. Diese Abweichung allein erlaubt nicht, die Methode für vollkommen oder fehlerhaft zu erklären. Stichprobengröße, Abhängigkeiten, Ereignisdefinition und Stabilität der Methode müssen untersucht

werden. Hingegen würden 150 Ereignisse in denselben 200 Fällen klar eine Untersuchung verlangen: Die Abweichung von 30 % wäre erheblich.

Das Met Office stellt diese Bewertung anhand von Wahrscheinlichkeitsgruppen dar und erläutert den Nutzen der Kalibrierung. Es erklärt: „ensembles cannot provide a perfect representation of probability“. Diese acht Wörter fordern dazu auf, Methoden zu bewerten, statt ihre Zahlen für vollkommen zu halten. Eine bestimmte Vorhersage trifft ein oder nicht; die Qualität einer Wahrscheinlichkeit wird anhand vieler Fälle und nicht eines einzigen spektakulären Erfolgs beurteilt. Eine Ankündigung von 80 %, auf die kein Ereignis folgt, ist nicht logisch unmöglich. Es bleibt notwendig zu prüfen, ob dieses Ausbleiben im erwarteten seltenen Umfang oder zu häufig auftritt.

3. Präzise Ergebnisse sind nicht zwangsläufig zuverlässig

Präzision kann die Feinheit einer Zahl bezeichnen, beispielsweise 17,284 °C. Richtigkeit bezeichnet ihre Nähe zu einem maßgeblichen Referenzwert. Probabilistische Zuverlässigkeit betrifft die statistische Übereinstimmung zwischen angekündigten Wahrscheinlichkeiten und beobachteten Ereignissen. Ein Ergebnis kann sehr präzise erscheinen, ohne richtig oder zuverlässig zu sein. Die Begriffe müssen vor dem Produktvergleich getrennt werden.

Betrachten wir zwei erfundene Dienste für eine zukünftige Temperatur. Der erste zeigt einen einzelnen Wert von 18,00 °C, ohne seinen Spielraum zu erklären. Der zweite gibt eine wahrscheinliche Spanne von 16 bis 20 °C mit ihrer Definition und ihren Grenzen an. Die zweite Anzeige erscheint weniger sicher, kann aber die Unsicherheit besser darstellen. Eine breite Spanne ist dennoch nicht automatisch nützlich: Sie muss informativ sein und bewertet werden.

Ein mit 80 % vorhergesagtes Intervall bedeutet in einem korrekt kalibrierten Rahmen, dass ungefähr 80 % der vergleichbaren Fälle darin liegen sollten. Dieser Rahmen und die Methode müssen bekannt sein. Das verwandelt die Intervallgrenzen nicht in physikalische Schranken. Ein außerhalb liegender Wert bleibt möglich. Vertrauen in eine Vorhersage darf nicht mit einer vertraglichen Garantie oder einer Sicherheitszusage verwechselt werden.

Prüfen Sie beim Vergleich zweier Karten Variable, Maßstab, Vorhersagefrist und Definition, bevor Sie betrachten, welche mehr Nachkommastellen zeigt. Werte unterschiedlicher Punkte, Höhen oder Zeiträume werden nicht durch einen bloßen Farbwechsel vergleichbar. Visuelle Genauigkeit kann einen Unterschied der Fragestellung verdecken.

4. Mehrere Stunden: weshalb die Prozentwerte nicht addieren?

Nehmen wir an, dass zwei aufeinanderfolgende Zeiträume jeweils eine Regenwahrscheinlichkeit von 40 % haben. 40 und 40 zu addieren, um insgesamt auf 80 % zu schließen, ist im Allgemeinen falsch. Die Ereignisse können sich überschneiden: Dieselbe Wetterstörung kann beide Zeiträume betreffen. Ihre Beziehung ist genauso wichtig wie ihre getrennten Wahrscheinlichkeiten.

Bezeichnet A Regen im ersten Zeitraum und B Regen im zweiten, beträgt die Wahrscheinlichkeit von A oder B P(A) + P(B) − P(A und B). Die doppelt gezählte Überschneidung muss abgezogen werden. Mit P(A) = P(B) = 0,40 und P(A und B) = 0,25 beträgt die Wahrscheinlichkeit mindestens eines regnerischen Zeitraums 0,55, also 55 %. Diese Rechnung ist ein erfundenes Beispiel, keine verborgene Auslegung einer Anwendung.

Wären die Ereignisse unabhängig, betrüge die Überschneidung 0,40 × 0,40 = 0,16, was 64 % ergäbe. Unabhängigkeit ist jedoch eine Annahme und kein Reflex. Benachbarte Wetterzeiträume sind häufig verbunden. Ohne Informationen über diese Beziehung liefern die beiden Prozentangaben kein eindeutiges Ergebnis für das Ganze.

Dieselbe Vorsicht gilt für mehrere Orte. Regen in zwei nahen Gemeinden kann zu demselben System gehören. Ihre Wahrscheinlichkeiten ohne gemeinsames Modell zu multiplizieren oder zu addieren erfindet eine Information. Rein mathematisch liegt für zwei Ereignisse mit jeweils 40 % die Wahrscheinlichkeit mindestens eines Ereignisses zwischen 40 und 80 %. Diese Grenzen sagen nicht, wo die richtige meteorologische Schätzung liegt.

5. Bedingte Wahrscheinlichkeit: der Kontext zählt

Eine bedingte Wahrscheinlichkeit betrifft ein Ereignis, wenn bekannt ist, dass ein anderes eingetreten ist. P(A gegeben B) bedeutet nicht P(B gegeben A). Beispielsweise ist der Anteil regnerischer Tage unter den bewölkten Tagen nicht zwangsläufig der Anteil bewölkter Tage unter den regnerischen Tagen. Die Ausgangsgruppe verändert sich.

In einem erfundenen Heft mit hundert Tagen sind sechzig als bewölkt und zwanzig als regnerisch eingestuft. Fünfzehn gehören zu beiden Kategorien. Die Regenhäufigkeit unter den bewölkten Tagen beträgt 15/60 = 25 %. Die Häufigkeit bewölkter Tage unter den regnerischen Tagen beträgt 15/20 = 75 %. Beide Ergebnisse sind korrekt, beantworten aber unterschiedliche Fragen. Die Kategorien und die Stichprobe dieses Hefts bilden kein tatsächliches Modell.

Eine neue Beobachtung kann eine Schätzung verändern. Ein örtlich dunkler Himmel reicht jedoch nicht aus, um die Wahrscheinlichkeit eines heftigen Phänomens selbst neu zu berechnen. Dafür wären maßgebliche Daten und eine validierte Methode nötig. Die Idee der Bedingung lehrt, die richtigen Fragen zu stellen; sie liefert kein improvisiertes Warnwerkzeug.

Auch klimatische Referenzen haben einen Kontext. Eine Anomalie ist ein Abstand zu einer definierten Referenz, oft einem Mittelwert über einen Zeitraum. „Wärmer als normal“ verlangt die Kenntnis dieses Normalwerts. Eine saisonale Wahrscheinlichkeit einer Anomalie sagt die Temperatur eines bestimmten Tages nicht genau voraus. Zeitlicher Maßstab und statistische Definition müssen sichtbar bleiben.

6. Vom Risiko zur Entscheidung: Folgen und Alternativen

Die Wahrscheinlichkeit eines Phänomens ist nicht seine Folge. Die Gefahr entspricht dem potenziell schädigenden Phänomen; Exposition bezeichnet das, was sich in seinem Gebiet befindet; Vulnerabilität betrifft Empfindlichkeit und Bewältigungsmöglichkeiten. Diese Unterscheidungen werden im folgenden Kapitel vertieft. Derselbe Regen kann auf einem Boden, an einem Gebäude oder bei einer Tätigkeit unterschiedliche Folgen haben.

Eine Entscheidungsüberlegung kann einen Kostenvergleich in einer Situation ohne Sicherheitsbelange verwenden. Stellen wir uns eine Ausstellung von Zeichnungen vor, die für 12 erfundene Kosteneinheiten nach drinnen verlegt werden kann. Tritt im Freien ein Schauer auf, beträgt der Sachschaden 80 Einheiten. Bei einer angenommenen Wahrscheinlichkeit von 20 % beträgt der theoretische mittlere Verlust beim Verbleiben draußen 0,20 × 80 = 16 Einheiten und liegt damit über den Verlegungskosten.

Diese Rechnung setzt voraus, dass die Kosten vergleichbar sind, die Schätzung geeignet ist und die Verlegung tatsächlich den betrachteten Schaden verhindert. Sie garantiert nicht, dass ein Schauer auftreten wird; sie vergleicht Entscheidungen, bevor das Ergebnis bekannt ist. Tritt kein Regen auf, kann die Verlegung zum Zeitpunkt ihrer Entscheidung dennoch vernünftig gewesen sein.

Dasselbe Modell darf nicht als Erlaubnis angewendet werden, ein Leben zu riskieren. Pflichten, rechtliche Schwellenwerte, die Unmöglichkeit einer Wiedergutmachung und die Schwere der Folgen verändern die Überlegung. Offizielle Anweisungen und die Anweisungen der Verantwortlichen einer Tätigkeit haben Vorrang. Die Schulrechnung hilft, Unsicherheit zu verstehen; sie ersetzt keine professionelle Sicherheitsanalyse.

Eine gute Entscheidung verfügt auch über Alternativen: verschieben, Exposition verringern, einen anderen Ort wählen oder absagen. Auf absolute Gewissheit zu warten kann unmöglich sein; so zu handeln, als sei jede Möglichkeit sicher, kann ebenfalls sämtliche Tätigkeiten undurchführbar machen. Entscheidend ist, geeignete aktuelle Informationen entsprechend den Folgen und anwendbaren Regeln zu verwenden.

7. Bewerten, ohne nur die Erfolge auszuwählen

Ein Prüfheft muss die Vorhersage vor dem Ergebnis festhalten und anschließend dieselbe beobachtete Variable am definierten Ort und im definierten Zeitraum. Schwellenwert oder Gebiet nachträglich zu verändern erzeugt einen künstlichen Vorteil. Nur denkwürdige Episoden auszuwählen verzerrt die Bewertung ebenfalls. Auch gewöhnliche Situationen und Fehler müssen erhalten bleiben.

Eine Methode, die immer „kein starker Regen“ ankündigt, kann in einem Klima mit seltenem Auftreten dieses Ereignisses oft richtig

erscheinen und dennoch keine nützliche Information liefern, wenn es eintritt. Die gesamte Erfolgsquote reicht daher nicht aus. Untersucht werden müssen das Erkannte, das Verpasste und der Vergleich mit einer einfachen Referenz.

Für eine Übung lässt sich ein einfacher Bewertungswert bilden: Für jedes binäre Ereignis y = 1 notieren, wenn es eintritt, andernfalls y = 0; (p − y)² berechnen und anschließend den Mittelwert bilden. Eine Wahrscheinlichkeit p = 0,8 mit anschließendem Ereignis ergibt 0,04; dieselbe Ankündigung mit anschließendem Ausbleiben ergibt 0,64. Die Rechnung bestraft hohe Sicherheit, die dem Ergebnis widerspricht. Dieses kleine mathematische Beispiel reicht nicht aus, um einen tatsächlichen Dienst zu validieren oder sämtliche Fehler zu untersuchen.

Eine Bewertung muss mit dem untersuchten Bereich verbunden bleiben. Ergebnisse zur regionalen Temperatur bei kurzer Vorhersagefrist beweisen nicht dieselben Eigenschaften für ein örtliches Gewitter oder eine zukünftige Jahreszeit. Ein geeigneter Vergleich verwendet dieselben Fälle, Definitionen und Beobachtungen. Fehlen diese Elemente, betrifft der ehrliche Schluss die unzureichenden Belege und keine erfundene Überlegenheit.

8. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung A - Eine Wettermitteilung nennt eine Niederschlagswahrscheinlichkeit von 70 % für einen Zeitraum. Lässt sich daraus eine Intensität ableiten? Lösung: Nein. Benötigt werden die Definition des Schwellenwerts und Informationen zu Menge, Dauer oder Intensität. Die Prozentangabe betrifft das vom Anbieter definierte Ereignis, nicht automatisch starken oder schwachen Regen.

Übung B - In 120 Fällen, für die eine Wahrscheinlichkeit von 25 % angekündigt wurde, tritt das Ereignis 36-mal auf. Wie groß ist die Häufigkeit, und was lässt sich schließen? Lösung: 36/120 = 30 %. Die Abweichung von der Ankündigung beträgt fünf Prozentpunkte. Zur Beurteilung der Kalibrierung sind weitere Angaben nötig: Stichprobenunsicherheit, Vergleichbarkeit und Abhängigkeit der Fälle. Sagen Sie nicht „fünf Prozent Fehler“, ohne die Bedeutung zu bestimmen.

Übung C - Zwei Zeiträume haben jeweils 50 % Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses; ihre Überschneidung beträgt 35 %. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit mindestens eines Auftretens. Lösung: 50 + 50 − 35 = 65 %. Unter der Annahme von Unabhängigkeit wäre 75 % entstanden; diese Annahme wäre aber mit der gegebenen Überschneidung unvereinbar.

Übung D - In einer erfundenen Reihe sind 40 Tage windig, an 10 gibt es Sachschäden, und 8 weisen beide Merkmale auf. Vergleichen Sie die beiden bedingten Häufigkeiten. Lösung: Schaden unter den windigen Tagen, 8/40 = 20 %; Wind unter den Tagen mit Schaden, 8/10 = 80 %. Das Ergebnis beweist nicht, dass Wind die einzige Ursache sämtlicher Schäden ist.

Übung E - Betrachten Sie die Zeichnungsausstellung erneut mit einer Wahrscheinlichkeit von 10 %. Lösung: Der erfundene mittlere Verlust beim Verbleiben draußen beträgt nun 8 Einheiten, gegenüber 12 für die Verlegung. Dieser Vergleich begünstigt in diesem sehr begrenzten Modell das Verbleiben draußen. Er berücksichtigt weder andere Kosten noch Pflichten; er liefert keinen universellen Schwellenwert für eine exponierte Tätigkeit.

Übung F - Auf drei Ankündigungen p = 0,2; 0,7; 0,9 folgen y = 0; 1; 1. Berechnen Sie den mittleren einfachen Bewertungswert. Lösung: Quadrate 0,04; 0,09; 0,01, Summe 0,14, Mittelwert ungefähr 0,0467. Diese drei Fälle reichen nicht aus, um einen Dienst

dauerhaft einzuordnen. Der berechnete Wert ist eine Messgröße für die Stichprobe, keine Gewissheit über sämtliche zukünftigen Fälle.

9. Häufige Fehler und Wiederholungsblatt

Vermeiden Sie vier Verschiebungen: Prozentangabe zu Intensität, Wahrscheinlichkeit zu Dauer, vergangene Häufigkeit zu zukünftiger Garantie, angezeigte Präzision zu Richtigkeit. Addieren Sie keine überlappenden Wahrscheinlichkeiten. Nehmen Sie keine Unabhängigkeit benachbarter Zeiträume an. Eine geringe Wahrscheinlichkeit hebt eine schwere Folge nicht auf; eine vernünftige Entscheidung wird nicht allein dadurch schlecht, dass das Phänomen schließlich ausgeblieben ist.

Wiederholungsblatt: Variable, Schwellenwert, Ort und Zeitraum definieren; Wahrscheinlichkeit und Beobachtung unterscheiden; Kalibrierung anhand von Reihen untersuchen; Beziehungen zwischen Ereignissen prüfen; Folgen, Alternativen und Anweisungen berücksichtigen. Lesen Sie eine Spanne und eine Wahrscheinlichkeit mit ihrer Definition. Keine Rechnung dieses Kapitels erzeugt eine aktuelle Vorhersage oder eine Sicherheitsfreigabe.

10. Überprüfte Primärquellen

National Weather Service, „Precipitation probability“, didaktisches Informationsblatt: https://www.weather.gov/media/pah/WeatherEducation/pop.pdf . Definition und Grenzen beim Lesen des amerikanischen Produkts, ohne seinen Schwellenwert auf sämtliche Dienste zu übertragen.

Met Office, „Using ensemble forecasts in decision-making“: https://www.metoffice.gov.uk/research/weather/ensemble-forecasting/decision-making ; „How to use our long-range predictions“: https://www.metoffice.gov.uk/research/climate/seasonal-to-decadal/seasonal-forecast/user-guide . Für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Reihen, Kosten, Übungen und Rechnungen sind

erfundene Schöpfungen; es wird nur ein wörtliches Zitat von acht Wörtern aus der ersten Seite verwendet.

KAPITEL 10 - Vigilance, Alarmierung und Entscheidung: Gefahr, Exposition und zuständige Behörden

1. Phänomen und Folgen sind nicht dasselbe

Starker Regen ist ein meteorologisches Phänomen; mögliche Schäden hängen zusätzlich von Ort, vorhandenen Menschen und Dingen sowie Schutzmöglichkeiten ab. Eine Regenmenge führt nicht unmittelbar zu einer einzigen menschlichen Folge. Gelände, Bodenzustand, Entwässerungsnetz, Bauten und Tätigkeiten verändern die Situation. Eine Risikobeschreibung muss mehrere Elemente verbinden, statt alles auf eine Zahl zu reduzieren.

Gefahr bezeichnet hier ein Phänomen, das Schäden verursachen kann. Exposition bezeichnet das Vorhandensein von Menschen, Gütern oder Tätigkeiten in einem betroffenen Gebiet. Vulnerabilität entspricht den Bedingungen, die sie gegenüber den Wirkungen dieser Gefahr empfindlicher machen. Bewältigungskapazitäten umfassen Ressourcen, mit denen bestimmte Folgen verhindert oder begrenzt werden können. Diese Unterscheidungen beruhen auf der institutionellen Terminologie der UNDRR; sie ordnen eine Analyse und berechnen nicht automatisch einen universellen Wert.

In einem erfundenen Beispiel erhalten zwei Bücherlager denselben Regen draußen. Das erste befindet sich in einem tief gelegenen Raum, in den Wasser eindringen kann; das zweite in einem geeigneten und instand gehaltenen Gebäude. Die Intensität des Phänomens ist vergleichbar, die möglichen Folgen unterscheiden sich jedoch. Das bestätigt ohne Untersuchung nicht die Sicherheit des zweiten Gebäudes. Das Beispiel zeigt lediglich, weshalb die Eigenschaften des Ortes wichtig sind.

Menschen dürfen außerdem nicht allein für ihre Vulnerabilität verantwortlich gemacht werden. Zugang zu Wohnraum, Transport, Information oder materiellen Mitteln beeinflusst die Schutzmöglichkeiten. Eine identische Anweisung kann für eine isolierte oder abhängige Person schwieriger umzusetzen sein. Diese Unterschiede zu verstehen ermöglicht realistischere Vorbereitung; es verleiht einem Leitfaden nicht die Macht, zuständige Dienste zu ersetzen.

2. Vorhersage, Vigilance und Alarmierung: drei Funktionen

Eine Vorhersage beschreibt eine erwartete Wetterentwicklung mit ihren Unsicherheiten. Ein Gefahrenhinweis im Sinne der französischen Vigilance lenkt die Aufmerksamkeit auf eine mögliche Gefahr und ihre möglichen Folgen in einem Gebiet. Eine von einer zuständigen Behörde übermittelte Alarmierung betrifft eine Situation, die Schutzmaßnahmen oder schützendes Verhalten verlangt. Diese Funktionen ergänzen sich, dürfen aber nicht verwechselt werden.

Météo-France erklärt, dass seine Vigilance die Vorhersagen ergänzt und Behörden dazu veranlassen kann, ein Alarmierungsverfahren einzuleiten. Im französischen Mutterland verwendet die Darstellung vier Farben und territoriale Informationen für den laufenden Tag und den folgenden Tag. Die Farbe muss zusammen mit Phänomen, Zeitraum und zugehörigen Mitteilungen gelesen werden. Sie ist weder eine Temperatur noch eine unmittelbare Wahrscheinlichkeit oder dieselbe Anweisung für sämtliche Situationen.

Die ministerielle Darstellung unterscheidet ebenfalls die vorausschauende Beachtung einer Gefahr von der Alarmierung der Bevölkerung. Behörden können angepasste Anweisungen übermitteln; deren Inhalt hängt von Phänomen und Kontext ab. Aus einer bloßen Farbe darf deshalb nicht selbst eine

Evakuierungsanordnung abgeleitet werden; ebenso wenig darf eine örtliche Anweisung ignoriert werden, weil eine allgemeine Karte beruhigend erscheint. Eine genauere Information kann einen anderen Maßstab betreffen.

Der Aufbau eines Systems unterscheidet sich nach Ländern und Gebieten. Manche Regionen haben besondere Einrichtungen, insbesondere für tropische Wirbelstürme oder Hochwasser. Französisches Vokabular reicht nicht aus, um sämtliche internationalen Warnungen zu interpretieren. Bestimmen Sie vor einer Reise den Wetterdienst und die zuständigen Behörden des betreffenden Ortes. Dieses Kapitel beschreibt Grundsätze und Referenzen, nicht deren aktuellen Zustand.

3. Vollständige Informationen lesen, nicht nur die Farbe

Ein sorgfältiges Lesen beginnt bei Anbieter und Aktualisierungszeit. Anschließend werden Gebiet, Phänomen, Beginn und Ende der Gültigkeit sowie Folgen und zugehörige Empfehlungen bestimmt. Ein alter Screenshot kann eine überzeugende Grafik behalten und dennoch seine Bedeutung für die aktuelle Situation verloren haben. Ist das Datum abgeschnitten, fehlt ein wesentliches Element.

Geografische Grenzen müssen ebenfalls untersucht werden. Eine Information für ein französisches Département beschreibt nicht zwangsläufig jede Straße, jedes Tal oder jede Route auf dieselbe Weise. Umgekehrt reicht eine einzelne Beobachtung nicht aus, um eine Information für ein größeres Gebiet zu widerlegen. Einen ruhigen Himmel vor sich zu sehen beweist keine fehlende Gefahr auf einer Straße oder im folgenden Zeitraum.

Eine Vigilance-Stufe kann von der Empfindlichkeit des Gebiets abhängen, nicht nur von einem überall identischen meteorologischen Schwellenwert. Eine Infrastruktur oder Tätigkeit

kann durch eine andernorts relativ gewöhnliche Situation gestört werden. Zwei Farben dürfen deshalb nicht wie zwei universelle Messungen einer Stärke verglichen werden. Betrachtet werden müssen die beschriebenen Gründe und Folgen.

Regenvorhersagen und Hochwasserinformationen beantworten ebenfalls unterschiedliche Fragen. Regen fällt in einem Gebiet über eine Dauer; Wasser kann sich anschließend verlagern und in einem Einzugsgebiet ansammeln. Hochwasser lässt sich nicht auf den am eigenen Standort beobachteten Regen reduzieren. Fachstellen liefern Informationen, die nicht mit einem einfachen Thermometer oder einem Blick auf den Himmel rekonstruiert werden können.

Erstellen Sie für eine Schuluntersuchung ein leeres Leseblatt: Einrichtung, Veröffentlichung, Gültigkeit, Gebiet, Phänomen, Stufe, Folgen, Anweisungen und nächste bekannte Aktualisierung. Füllen Sie es mit einem alten Dokument, das klar als Übung gekennzeichnet ist. Lassen Sie dieses Lernblatt niemals mit einer aktiven Warnung verwechselt werden.

4. Örtliche Beobachtung und Zuständigkeit einer Anweisung unterscheiden

Eine örtliche Beobachtung kann zum Verständnis des Geschehens beitragen. Sie verleiht keine Zuständigkeit, für eine gesamte Bevölkerung zu entscheiden. Behörden und Dienste verwenden weitere Daten, kennen die Infrastruktur und können Mittel koordinieren. Ihre Anweisung darf nicht durch einen improvisierten Schluss aus einem einzigen Zeichen ersetzt werden.

In einer erfundenen Situation bemerkt jemand nachlassenden Wind und möchte eine ausgesetzte Tätigkeit im Freien wieder aufnehmen. Diese Beobachtung kann zu diesem Zeitpunkt korrekt sein. Dennoch fehlen die vorhergesagte Entwicklung, der Zustand des Orts und die Anweisungen des Verantwortlichen. Eine

vorübergehende Abnahme beweist nicht das Ende der Gefahr. Eine gute Überlegung bestimmt fehlende Informationen, statt Erleichterung in eine Erlaubnis zu verwandeln.

Das französische Innenministerium stellt FR-Alert als Mittel vor, Menschen eines Gebiets Nachrichten mit Schutzanweisungen zu übermitteln. Seine Seite erinnert daran: „Respectez ces consignes“, also diese Anweisungen zu befolgen. Dieses Zitat aus drei Wörtern betont die Verbindlichkeit der Schutzanweisungen. Das Ministerium beschreibt auch Sirenen und institutionelle Medien als ergänzende Mittel. Der Leitfaden garantiert weder den Empfang einer Nachricht auf jedem Telefon noch das Funktionieren jedes Kanals in einer bestimmten Situation. Mehrere Informationswege vorzubereiten ist vorsichtiger, als von einer einzigen Anwendung abzuhängen.

Lesen Sie bei einer empfangenen Alarmierung die zuständige Behörde, das Gebiet und die Anweisungen; folgen Sie den passenden offiziellen Vorgaben. Verwandeln Sie eine weitergeleitete Nachricht oder ein undatiertes Video nicht in eine neue Warnung. Informationen zu prüfen bedeutet, wenn dies ohne eigene Gefährdung möglich ist, zu ihrer offiziellen Quelle und ihrem Kontext zurückzukehren. Das rechtfertigt nicht, in einer dringlichen Situation die Anwendung einer klaren Anweisung zu verzögern.

5. Eine Entscheidung vor der schwierigen Situation vorbereiten

Nützliche Vorbereitung definiert Kriterien, bevor eine Änderung zu aufwendig wird. Stellen wir uns einen Verein vor, der eine Ausstellung empfindlicher Dokumente im Freien plant. Er kann im Voraus einen Innenraum, eine verantwortliche Person, einen Entscheidungszeitpunkt und einen Informationsweg für die Gruppe bestimmen. Diese Organisation verhindert keinen Regen, begrenzt aber Verwirrung.

Ein Verschiebungskriterium muss auf zur Tätigkeit passenden Informationen und den Anforderungen des zuständigen Verantwortlichen beruhen. Dieser Leitfaden liefert keinen Wind- oder Regenschwellenwert, der eine Veranstaltung universell erlaubt. Gewicht einer Anlage, Gelände, Teilnehmer und anwendbare Regeln verändern die Situation. Ein erfundener schulischer Schwellenwert darf nicht als tatsächliches Protokoll übernommen werden.

Die Entscheidung hat mehrere Dimensionen: das Bekannte, das Fehlende, das Veränderbare und den Zeitpunkt, zu dem gewählt werden muss. Ein Szenario der Fortführung, eines der Anpassung und eines der Verschiebung können vorbereitet werden. Die Szenarien dürfen nicht dieselbe Exposition hinter drei verschiedenen Namen verbergen. Verringert eine Alternative das Risiko nicht tatsächlich, liefert sie nicht den erwarteten Schutz.

Anschließend muss eine verständliche Entscheidung mitgeteilt werden. „Die Veranstaltung wird nach Anweisung des Verantwortlichen nach drinnen verlegt“ ist genauer als eine mehrdeutige Nachricht, die alle raten lässt. Das Dokument muss passenden Ort, Uhrzeit und Ansprechpartner angeben. Bei einer tatsächlichen Alarmierung haben offizielle Anweisungen Vorrang

vor dem geplanten Programm; Vorbereitung macht den Organisator nicht zur Rettungsbehörde.

6. Weshalb auf einen Gefahrenhinweis das erwartete Phänomen ausbleiben kann

Die Information betrifft eine noch unsichere Entwicklung. Ein Phänomen kann sich verlagern, schwächer sein oder andere Folgen haben. Sein Ausbleiben an einem individuellen Standort beweist nicht zwangsläufig einen Fehler für das gesamte Gebiet. Es macht die Bewertung aber auch nicht nutzlos: Die Dienste müssen im passenden Maßstab prüfen, was vorhergesagt und beobachtet wurde.

Falsche Alarme und verpasste Ereignisse entsprechen unterschiedlichen Situationen. Zu häufige, wenig geeignete Informationen können zu geringerer Aufmerksamkeit führen. Zu seltene Informationen können Gefahren ohne Vorbereitung lassen. Dieser Zielkonflikt muss anhand von Beobachtungen, Folgen und klar definierten Zielen untersucht werden. Er wird nicht durch den Wunsch gelöst, in jedem einzelnen Fall immer recht zu haben.

Eine nachträgliche Bewertung darf Ergebnis und Qualität der ursprünglichen Entscheidung nicht verwechseln. Hat ein Verein seine Ausstellung wegen einer angekündigten Gefahr verlegt und fällt schließlich kein Regen, kann die Entscheidung durch die verfügbaren Informationen begründet gewesen sein. Rekonstruieren Sie für ihre Prüfung das zum Entscheidungszeitpunkt Bekannte, nicht nur das später Gewusste.

Ein weiterer Fehler besteht darin, eine historische Leistungsbilanz als persönliche Garantie zu nehmen. Ein Dienst kann gute Statistiken zeigen, ohne zu sichern, dass kein zukünftiges Ereignis verpasst wird. Leser müssen örtliche Zeichen, Aktualisierungen und Anweisungen weiterhin beachten. Weder absolutes Vertrauen

noch systematische Zurückweisung: Die Qualität einer Quelle begründet ihre Verwendung mit ihren Grenzen.

7. Information, Gerücht und gemeinsame Verantwortung

Ein Wettergerücht besitzt häufig drei Reize: eine dringliche Formulierung, ein eindrucksvolles Bild und einen einfachen Schluss. Diese Eigenschaften beweisen seine Wahrheit nicht. Ein Video eines alten Ereignisses kann als aktuell dargestellt werden; eine Karte eines Extremszenarios kann in einer weitergeleiteten Nachricht zur sicheren Vorhersage werden. Der Kontextwechsel genügt, um eine tatsächliche Information in eine irreführende Behauptung zu verwandeln.

Prüfen Sie vor dem Teilen Anbieter, Datum, Ort, Variable und Status. Handelt es sich um eine Vorhersage, Beobachtung, Illustration oder Übung? Eine wesentliche Unsicherheit darf in der Zusammenfassung nicht verschwinden. Ist Prüfung nicht möglich, stellen Sie die Nachricht nicht als offizielle Anweisung dar. Sie können die Unsicherheit benennen, ohne eine sichere Behauptung weiterzuverbreiten.

Gemeinsame Verantwortung umfasst auch Zugänglichkeit. Eine Information kann offiziell sein und dennoch für jemanden ohne Kenntnis des Vokabulars oder der Sprache schwer verständlich bleiben. Es lässt sich helfen, Begriffe zu lesen, die Quelle zu bestimmen und die Anweisung getreu zu vermitteln. Eine klinische Anpassung oder widersprechende Anweisung darf nicht erfunden werden. Bei besonderen Bedürfnissen erfolgt die Vorbereitung vor dem Ereignis mit zuständigen Ansprechpartnern.

Der offline verfügbare Leitfaden kann das Verständnis dieses Vokabulars unterstützen. Er weiß nicht, ob heute ein Gefahrenhinweis aktiv ist, eine Straße offen ist oder eine Behörde ihre Anweisungen geändert hat. Die richtige Verwendung besteht

darin, die Unterschiede zu lernen und anschließend die zum Entscheidungszeitpunkt benötigten aktuellen Informationen zu konsultieren.

8. Erfundene Fallstudie: ein verschobener Beobachtungsausflug

Eine Klasse möchte Wolken von einer zugelassenen Terrasse aus beobachten. Am Vortag erhält der Verantwortliche eine Information über das Risiko eines gefährlichen Phänomens während des vorgesehenen Zeitfensters. Ein am Morgen aufgenommenes Foto des Orts zeigt jedoch einen klaren Himmel. Wie lässt sich die Analyse ordnen, ohne eine neue Vorhersage zu behaupten?

Erster Schritt: maßgebliche Information, Anbieter, Gültigkeit und Gebiet bestimmen. Zweiter Schritt: Anweisungen der Einrichtung und des Verantwortlichen kennen. Dritter Schritt: eine gleichwertige Tätigkeit im Inneren erwägen, beispielsweise datierte Fotografien vergleichen oder eine Übungskarte analysieren. Vierter Schritt: die Änderung mitteilen und erklären, dass das momentane Foto nicht den gesamten Zeitraum beschreibt.

Die Verschiebung beweist nicht, dass genau bekannt ist, was eintreten wird. Sie drückt eine vorsichtige Entscheidung in einem organisatorischen Rahmen aus. Die Übung im Inneren kann das Lernziel erhalten, ohne die Exposition beizubehalten. Nachträglich können die verfügbaren Daten zum Verständnis der Entwicklung analysiert werden; die ursprünglichen Informationen dürfen aber nicht so umgeschrieben werden, als sei das Ergebnis bekannt gewesen.

9. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung A - Intensiver Regen fällt in einem Gebiet ohne exponierte Menschen oder Güter. Kann vom selben potenziellen Schaden wie in einem bewohnten Gebiet gesprochen werden? Lösung: Nein. Das Phänomen bleibt bestehen, Exposition und Folgen unterscheiden sich jedoch. Das bedeutet nicht, ein unbewohntes Gebiet habe keine ökologischen Belange oder indirekte Wirkungen seien unmöglich.

Übung B - Eine Karte ist farbig, ihr Datum aber abgeschnitten. Welche Informationen fehlen? Lösung: Veröffentlichung, Gültigkeitszeitraum und möglicherweise die Unterscheidung zwischen Beobachtung und Vorhersage. Ohne sie ermöglicht das Dokument keine zuverlässige aktuelle Entscheidung. Suchen Sie die vollständige Quelle, statt anzunehmen, dass ein heute empfangenes Bild heute erstellt wurde.

Übung C - Weshalb hebt eine ruhige Beobachtung einen Gefahrenhinweis nicht automatisch auf? Lösung: Sie betrifft einen Punkt und einen Zeitpunkt, während der Hinweis ein mögliches Phänomen in einem Gebiet über eine Dauer betrifft. Die Beobachtung ist eine nützliche Angabe; sie beantwortet nicht die gesamte Frage. Aktualisierungen und Anweisungen bleiben erforderlich.

Übung D - Eine weitergeleitete Nachricht sagt „Evakuieren Sie“, ohne Behörde, Ort oder Datum. Wie ist sie zu behandeln? Lösung: Stellen Sie sie nicht als geprüfte offizielle Anweisung dar. Bestimmen Sie die Quelle und suchen Sie die passenden Vorgaben. Die Übung erlaubt weder, eine klare offizielle Alarmierung zu ignorieren, noch eine Prüfung zu unternehmen, die jemanden einer Gefahr aussetzen würde.

Übung E - Bereiten Sie drei Alternativen für unsere Bücherausstellung vor. Vorschlag: Fortführung nur nach den vom

Verantwortlichen festgelegten Kriterien; Verlegung nach drinnen, wenn diese Möglichkeit tatsächlich geeignet ist; Verschiebung, wenn keine annehmbare Lösung verfügbar ist. Bestimmen Sie, wer entscheidet und wie die Öffentlichkeit informiert wird. Kein erfundener meteorologischer Schwellenwert wird ergänzt.

Übung F - Eine angekündigte Situation trat vor Ihrem Haus nicht ein. Verfassen Sie einen maßvollen Schluss. Vorschlag: Das Ereignis wurde an diesem Punkt nicht beobachtet; zur Bewertung der Information müssen Gebiet, Zeitraum und entsprechende Beobachtungen untersucht werden. Der Fall beweist weder Vollkommenheit noch allgemeine Nutzlosigkeit des Systems.

10. Wiederholungsblatt und Quellen

Wiederholungsblatt: Phänomen, Exposition, Vulnerabilität und Bewältigungskapazitäten tragen zu den Folgen bei. Vorhersage beschreibt, Vigilance lenkt die Aufmerksamkeit auf eine Gefahr, Alarmierung vermittelt Anweisungen einer Behörde. Anbieter, Datum, Gültigkeit, Gebiet, Phänomen und Empfehlungen lesen. Vor der Entscheidung Alternativen vorbereiten. Weder Fachstellen noch eine offizielle Anweisung durch eine einzelne Farbe, ein Foto oder eine Antwort lokaler KI ersetzen.

UNDRR, institutionelle Terminologie „Hazard“, „Exposure“, „Vulnerability“: https://www.undrr.org/terminology/hazard ; https://www.undrr.org/terminology/exposure ; https://www.undrr.org/terminology/vulnerability . Météo-France, „5 questions sur la Vigilance météorologique“, 7. Juli 2026: https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/5-questions-sur-la-vigilance-meteorologique .

Französisches Innenministerium, „Système d'alerte des populations“: https://www.securite-civile.interieur.gouv.fr/reagir/comment-se-preparer-face-aux-risques/systeme-dalerte-des ; für den ökologischen Wandel zuständiges Ministerium, Dossier zu Starkregen und Überschwemmungen, aktualisiert am 2. September 2026: https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Für das französische

Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Kein aktueller Vigilance-Zustand wird wiedergegeben; Beispiele und Übungen sind erfunden, nur ein wörtliches Zitat von drei Wörtern aus dem Innenministerium wird verwendet.

KAPITEL 11 - Sicherheit von Tätigkeiten: Verschiebungskriterien und erforderliche aktuelle Daten

1. Meteorologie zu lernen reicht nicht aus, um eine Tätigkeit freizugeben

Die Entstehung eines Gewitters zu kennen oder einen Druckwert lesen zu können verbessert das Verständnis. Das verleiht nicht automatisch die Kompetenz, eine exponierte Tätigkeit für sicher zu erklären. Die Wahl hängt von Gelände, Ausrüstung, Menschen, anwendbaren Regeln und aktuellen Informationen ab. Ein allgemeiner Leitfaden liefert Begriffe; er ersetzt weder einen geschulten Verantwortlichen noch einen Fachdienst.

Das Ziel dieses Kapitels besteht darin, gute Fragen vorzubereiten. Welche Variable ist für die Tätigkeit wichtig? An welchem Ort und über welche Dauer? Welche Folgen sind möglich? Welches Dokument liefert die passende Information? Wer darf über Fortführung, Änderung oder Verschiebung entscheiden? Eine Antwort, die diese Fragen ignoriert, kann irreführend sein, auch wenn sie korrekte wissenschaftliche Wörter verwendet.

Eine Lerntätigkeit ohne Exposition muss von einer wirklichen Tätigkeit im Freien unterschieden werden. Den zeitlichen Abstand zwischen Blitz und Donner anhand einer Aufnahme zu berechnen ermöglicht die Untersuchung der Schallausbreitung; während eines Gewitters für diese Rechnung draußen zu warten ist eine ganz andere Situation. Die zweite Verwendung wird von diesem Leitfaden nicht empfohlen. Die folgenden Zahlenbeispiele sind Übungen, niemals Schwellenwerte, die eine Praxis erlauben.

Vorbereitung bedeutet auch, eine Alternative anzunehmen. Eine Verschiebung kann ein Vorhaben erhalten, statt es scheitern zu lassen. Eine Wolkenbeobachtung kann durch eine Analyse datierter Fotografien ersetzt werden; eine Zeichnungsausstellung kann an einen geeigneten Ort verlegt werden. Die Alternative muss ein Ziel erhalten, ohne die gefährliche Exposition in anderer Form beizubehalten.

2. Für die Tätigkeit nützliche Variablen bestimmen

Mittlerer Wind und Böen beschreiben nicht dasselbe. Der erste fasst nach einer Methode einen Messzeitraum zusammen; die zweiten betreffen kürzere Veränderungen. Eine Tätigkeit, die für eine plötzliche Kraft empfindlich ist, darf nicht allein anhand des Mittelwerts bewertet werden. Auch Höhe, Exposition und Ort der Vorhersage müssen bekannt sein. Ein bodennaher Wert in einem allgemeinen Gebiet beschreibt nicht sämtliche Bergkämme oder Strömungskorridore.

Regenmenge und Intensität müssen ebenfalls getrennt werden. Zwanzig Millimeter an einem Tag und zwanzig Millimeter innerhalb weniger Minuten haben nicht dieselbe zeitliche Verteilung. Die Folge hängt weiterhin von Boden und Abflüssen ab. Eine bloße Summe ermöglicht nicht die Bestimmung des Zustands einer Straße, eines Kellers oder eines Gewässers.

Die Lufttemperatur beschreibt nicht die gesamte thermische Exposition. Sonne, Wind, Feuchte, Dauer und Tätigkeit wirken mit. Fachliche Indizes haben Definitionen und Grenzen. Eine einzelne Zahl in einer Anwendung zu wählen, um einen Menschen zu diagnostizieren oder die Eignung einer Anstrengung zu garantieren, wäre falsch. Offizielle Gesundheitsempfehlungen und zuständige Fachkräfte behandeln andere Dimensionen als dieser naturwissenschaftliche Kurs.

Die Sichtweite ist eine von der Bewölkung getrennte Information. Viele Wolken können sichtbar sein, während die horizontale Sicht gut bleibt; Nebel kann sie hingegen nahe dem Boden stark verringern. Ein Himmelsbild beschreibt nicht zwangsläufig, was ein Fahrer oder Fußgänger auf seinem Weg antreffen wird. Die Variable zu bestimmen verhindert, eine Frage mit einem verwandten, aber unzureichenden Indikator zu beantworten.

3. Ein Vorbereitungsschema ohne erfundene Schwellenwerte

Erstellen Sie ein Schema mit fünf Rubriken: Tätigkeit und Ort; vollständiger Zeitraum; notwendige Informationen; Entscheidung und Alternativen; Aktualisierung und Kommunikation. Es muss kurz und für seine Nutzer verständlich sein. Die Rubriken ordnen die Überlegung; sie bilden kein universelles Sicherheitsprotokoll.

Geben Sie in der ersten Rubrik an, was tatsächlich getan wird. „Ausflug“ ist zu unbestimmt: Eine betreute Wanderung, die Installation von Material, eine Straßenfahrt oder Schifffahrt stellen nicht dieselben Fragen. Beziehen Sie in der zweiten Vorbereitung und Rückkehr ein, nicht nur den zentralen Zeitpunkt. Eine von 14 Uhr bis 15 Uhr geplante Tätigkeit kann vor und nach diesem Zeitfenster einen Weg benötigen.

Listen Sie in der dritten Rubrik die maßgeblichen Dokumente und ihre Herkunft auf. Fachvorhersage, Vigilance-Hinweis, offizieller Zustand eines Orts oder Anweisung des Verantwortlichen können nötig sein. Bestimmen Sie in der vierten, wer entscheidet und welche Ersatzlösung möglich ist. Planen Sie in der fünften, wann eine neue Information konsultiert und wie die Gruppe informiert wird. Die letzte Konsultation hebt nicht die Notwendigkeit auf, eine anschließend empfangene Anweisung anzuwenden.

Fehlt eine unverzichtbare Angabe, füllen Sie die Lücke nicht mit einer beruhigenden Schätzung. Das Vorhaben muss möglicherweise geändert oder verschoben werden. „Mich hat keine Warnung erreicht“ beweist weder, dass sämtliche Informationen konsultiert wurden, noch, dass keine Gefahr besteht. Das Schema hilft, diesen Mangel festzustellen, statt ihn zu verbergen.

4. Gebirge: allgemeine Informationen reichen nicht aus

Das Gelände verändert die Bedingungen: Höhe, Hang, Exposition und Anordnung der Täler spielen eine Rolle. Eine Vorhersage für eine nahe Stadt beschreibt nicht unmittelbar eine Route in der Höhe. Der Himmel kann sich an zwei Hängen unterschiedlich entwickeln, und die Geländebedingungen bringen eigene Schwierigkeiten hinzu. Die Abweichung lässt sich nicht durch eine einfache auf eine Temperatur angewandte Formel korrigieren.

Im verschneiten Gebirge hängt die Lawinengefahr insbesondere von Schneedecke und Gelände ab, nicht allein von der aktuellen Temperatur. Météo-France stellt Fachberichte vor und betont, dass ein Risikoindex allein nicht ausreicht. Ihr Lesen verlangt geeignete ergänzende Informationen und die Fähigkeiten des Ausübenden oder Betreuers. Eine sichtbare Spur ist kein Sicherheitsnachweis.

Die offizielle Darstellung erinnert daran, dass die europäische Lawinengefahrenskala im Alpenbogen im Jahr 1993 übernommen wurde. Dieser Bezug zeigt die Suche nach einer gemeinsamen Sprache zwischen Diensten; er verwandelt eine Zahl der Skala nicht in eine Erlaubnis für jeden Hang. Eine regionale Zusammenfassung und eine örtliche Entscheidung sind nicht austauschbar.

Dieser Leitfaden lehrt weder eine Überquerungstechnik noch eine Rettungsmethode oder eine Regel, die eine Route garantiert. Konsultieren Sie aktuelle Berichte, Anweisungen der Behörden und

Orte sowie Bergfachkräfte, wenn Ihr Vorhaben dies verlangt. Die Beispiele zu Druck oder Temperaturgradienten aus den vorherigen Kapiteln dienen dem Verständnis, nicht der Bestätigung geeigneter Bedingungen für eine Tätigkeit.

5. Meer und Küste: Wind, Wellen und Gebiet

Eine Vorhersage für Land beantwortet eine maritime Frage nicht vollständig. Wind, Seegang, Dünung, Gezeiten und Strömungen betreffen unterschiedliche Prozesse, die wechselwirken können. Die Windrichtung an einem Ort erlaubt nicht, sämtliche dort zu beobachtenden Wellen abzuleiten. Ein zeitweise ruhiges Meer beschreibt nicht zwangsläufig die erwartete Entwicklung während eines gesamten Ausflugs.

Météo-France erläutert die Erstellung regelmäßiger Berichte und besonderer Sicherheitsberichte für die Schifffahrt, die insbesondere von den französischen CROSS-Rettungsleitstellen im Rahmen ihrer Aufgaben verbreitet werden. Diese Organisation liefert fachliche Informationen; der Leitfaden übernimmt weder Funkfrequenzen noch Zeiten oder Navigationskriterien als universell und dauerhaft gültig. Ihre tatsächliche Verwendung verlangt aktuelle Dokumente und die erforderlichen Fähigkeiten.

An der Küste kann auch eine Beobachtungstätigkeit Wellen und wechselnden Bedingungen ausgesetzt sein. Fehlender Regen ist kein Sicherheitsindikator auf einer Mole oder einem Damm. Eine Schließung, ein Verbot oder eine örtliche Anweisung muss beachtet werden; dieser Text schlägt keine Route zu ihrer Umgehung vor.

Vergleichen Sie für eine Schuluntersuchung einen erfundenen Windbericht und einen erfundenen Dünungsbericht. Bestimmen Sie Einheit, Richtung, Zeitraum und Gebiet. Die Übung zeigt, dass mehrere Variablen nötig sind; sie erzeugt keine operative

Entscheidung. Für einen tatsächlichen Ausflug muss sich der Organisator auf passende Informationen und Zuständigkeiten stützen, ohne seine Entscheidung an die Antwort einer allgemeinen KI zu delegieren.

6. Gewitter: keinen Nähebeweis abwarten

Der National Weather Service fasst einen Grundsatz in der kurzen Formulierung „When Thunder Roars, Go Indoors“ zusammen. Dieses Zitat aus fünf Wörtern erinnert daran, dass hörbarer Donner keine Ermutigung ist, eine Beobachtung im Freien fortzusetzen. Seine offizielle Seite gibt an, dass es draußen keinen sicheren Ort gibt, wenn Gewitter im Gebiet sind. Einzelheiten der Schutzmittel müssen in den zuständigen Empfehlungen gelesen und dürfen nicht aus einer Schallverzögerung improvisiert werden.

Eine spektakuläre Fotografie kann dazu verleiten, den nächsten Blitz abzuwarten. Der Lernzweck rechtfertigt diese Exposition nicht. Verwenden Sie aufgezeichnete Dokumente oder Übungen unter geeigneten Bedingungen. Das Kapitel über Blitze erklärt einen Mechanismus; es bietet keine Methode, sich einem Gewitter zu nähern oder eine sichere Entfernung zu bestimmen.

Eine Tätigkeit im Freien sollte im Voraus ein passendes, von ihren Verantwortlichen festgelegtes Verfahren besitzen: Information, Unterbrechung und Ersatzlösung. Der vorliegende Leitfaden setzt keine universelle Frist für die Wiederaufnahme fest. Ein klarerer Himmel, ein gespeichertes Radarbild oder fehlender Donner während einiger Minuten ersetzen nicht die notwendigen Regeln und Aktualisierungen.

Dieselbe Logik gilt für eine gemeinsame Beobachtung. Vor jeder wirklichen Tätigkeit bestimmt der Betreuer die Bedingungen für das Aufsuchen von Schutz und die maßgeblichen Informationen. Existiert dieser Rahmen nicht, wird er nicht durch eine im letzten

Moment von einem lokalen Assistenten erhaltene Regel ersetzt. Wissenschaftliches Lernen kann durchaus fortgesetzt werden, ohne sich einer Exposition auszusetzen.

7. Wege und alltägliche Tätigkeiten

Ein Weg hat eigene Randbedingungen: Zustand der Verkehrsfläche, Sicht, Verkehr, Sperrungen und verfügbare Mittel. Eine Regenvorhersage kann nicht sichern, dass eine Straße passierbar ist. Ein ruhiger Ausgangspunkt schließt Schwierigkeiten auf einem anderen Streckenabschnitt nicht aus. Passende Informationen müssen konsultiert und offizielle Beschränkungen angewendet werden.

Bei Überschwemmung oder Starkregen erinnert das ministerielle Dossier insbesondere daran, Wege zu verschieben und gefährliche Bereiche wie Furten oder niedrig liegende Übergänge nicht zu durchqueren. Dieser Grundsatz darf nicht in einen vom Leser durchgeführten Tiefentest verwandelt werden. Der Leitfaden liefert keine Wasserhöhe, die eine Durchquerung zu Fuß oder mit einem Fahrzeug erlaubt.

Im Alltag kann die Vorbereitung klarer Informationen eine übereilte Entscheidung vermeiden. Eine Familie kann vereinbaren, wie eine Programmänderung mitgeteilt wird; ein Verein kann den Ersatzort einer Versammlung angeben; eine Einrichtung hat eigene Anweisungen. Diese Vereinbarungen sichern nicht das Funktionieren von Netz oder Transport, begrenzen aber Missverständnisse.

Menschen mit besonderen Bedürfnissen können eine angepasste Vorbereitung mit den zuständigen Ansprechpartnern benötigen. Dieser Text diagnostiziert keine individuelle Fähigkeit und verordnet keine Versorgung. Er fordert dazu auf, nicht

anzunehmen, dass alle dieselben Mittel zum Bewegen, Verstehen einer Nachricht oder schnellen Ändern eines Programms haben.

8. Informationen auch bei fehlender Netzverbindung vorbereiten

Ein heruntergeladenes Dokument bleibt offline lesbar, eine gespeicherte Vorhersage oder Warnung aktualisiert sich aber nicht von selbst. Lokaler Zugang ist ein Vorteil zum Lernen der Begriffe und Wiederfinden eines vorbereiteten Verfahrens. Er garantiert keine Kenntnis der aktuellen Situation. Halten Sie das Datum von Dokumenten sichtbar, deren Gültigkeit von der Zeit abhängt.

Verlangt eine Tätigkeit jüngere Daten, wird eine fehlende Verbindung zur Information über Ihre Entscheidungsfähigkeit. Sie bedeutet nicht, dass die Gefahr null ist. Einen anderen vom Organisator vorgesehenen Kanal zu suchen oder zu verschieben kann notwendig sein. Kein offline arbeitender Assistent darf eine allgemeine Beschreibung als Mitteilung der aktuellen Stunde darstellen.

In einer erfundenen Übung beruht ein Ausflug auf einer morgens aktualisierten Fachinformation. Das Netz funktioniert nicht, und keine andere geplante Quelle ist verfügbar. Der Schluss darf nicht lauten: „Die letzte Karte war günstig, also brechen wir auf.“ Er muss den Mangel anerkennen, den Verantwortlichen konsultieren und die zuvor festgelegten Kriterien anwenden. Der Wert eines Vorhabens rechtfertigt nicht, die fehlende Angabe zu erfinden.

Vorbereitung bedeutet schließlich, Informationen zugänglich zu halten: klare Titel, lesbare Daten, passende Kontakte und kurze Anweisungen. Eine Bibliothek voller Dateien ohne Orientierungspunkte kann das Nachschlagen verzögern. Inhaltsverzeichnis und Einordnung der Dokumente erleichtern den

Zugang zum Wissen; sie machen konsultierte Inhalte nicht automatisch aktuell.

9. Schrittweise Übungen mit Lösungen

Übung A - Eine erfundene Veranstaltung findet von 15 Uhr bis 16 Uhr statt, mit Aufbau um 13 Uhr und geplanter Rückkehr um 18 Uhr. Welcher Zeitraum muss untersucht werden? Lösung: Der gesamte exponierte Zeitraum vom Aufbau bis zur Rückkehr, unter Berücksichtigung der Wege und ihrer Dauer. Das öffentliche Zeitfenster allein fasst die Informationsbedürfnisse nicht zusammen. Die Übung definiert keinen Schwellenwert für die Fortführung.

Übung B - Eine Anwendung zeigt einen mäßigen mittleren Wind an. Lässt sich daraus das Fehlen bedeutender Böen ableiten? Lösung: Nein. Die beiden Variablen unterscheiden sich. Die passenden Informationen müssen mit Einheit, Ort und Zeitraum gelesen werden. Ein Mittelwert ist keine Obergrenze sämtlicher Schwankungen.

Übung C - Ein Dorf liegt auf einer anderen Höhe als die geplante Route. Reicht eine einfache Temperaturkorrektur aus? Lösung: Nein. Gelände, Exposition, Wind, Sicht und Bodenzustand ergänzen Unterschiede. Eine schulische Beziehung kann zum Verständnis eines Mechanismus beitragen, ohne eine Fachvorhersage oder eine betreute Entscheidung zu ersetzen.

Übung D - Weshalb reicht die Farbe eines Lawinenindex nicht aus? Lösung: Sie fasst eine Gefahr in einem definierten Maßstab zusammen. Schneedeckenzustand, Gelände, Entwicklung und Fähigkeiten bleiben maßgeblich. Der Leitfaden schlägt keine Interpretation vor, die automatisch einen Hang freigibt. Offizielle Anweisungen und zuständige Fachkräfte müssen berücksichtigt werden.

Übung E - Ein lokales Dokument trägt ein altes Datum, während die Tätigkeit aktuelle Informationen verlangt. Was folgt daraus? Lösung: Das Dokument behält seinen didaktischen oder historischen Nutzen, beantwortet aber nicht den Aktualisierungsbedarf. Einen passenden Kanal suchen und die Kriterien des Verantwortlichen anwenden; fehlende neue Daten nicht in eine Bestätigung der vorherigen verwandeln.

Übung F - Bereiten Sie eine Verschiebungsnachricht für eine erfundene Tätigkeit vor. Vorschlag: „Die für morgen geplante Beobachtung wird nach Entscheidung des Betreuers durch eine Sitzung im Inneren ersetzt. Ort und Uhrzeit stehen im aktualisierten Programm. Wir analysieren aufgezeichnete Dokumente; diese Sitzung benötigt keine Beobachtung eines gefährlichen Phänomens.“ Die Nachricht muss vor ihrer Verwendung einer tatsächlichen Entscheidung entsprechen.

Übung G - Eine Anlage kann verlegt werden, der neue Standort behält jedoch dieselbe Windexposition. Ist das eine schützende Alternative? Lösung: Nicht gegenüber der betrachteten Gefahr. Den Namen des Orts zu ändern verändert nicht automatisch die Bedingungen. Die Analyse muss die tatsächliche Wirkung der Alternative prüfen, ohne einen Schutz zu erfinden.

10. Häufige Fehler, Wiederholung und Quellen

Verwechseln Sie Ausrüstung nicht mit Garantie, Erfahrung nicht mit aktuellem Wissen, momentane Ruhe nicht mit fehlender zukünftiger Gefahr. Leiten Sie den Geländezustand nicht allein aus dem Wetter der Luft ab. Verwenden Sie keine Kursrechnung als betrieblichen Schwellenwert. Bereits in ein Vorhaben investierte Kosten oder Mühe beseitigen keine ungünstige Information. Eine Alternative vorzubereiten ermöglicht, das Ziel zu erhalten, ohne die Exposition fortzuführen.

Wiederholungsblatt: Tätigkeit, Ort und vollständigen Zeitraum definieren; Variablen und Fachdienste bestimmen; Verantwortliche und Anweisungen kennen; Fortführung, Anpassung oder Verschiebung mit passenden Kriterien vorbereiten; Aktualisierungen prüfen; fehlende Daten anerkennen. Offline-Lesen hilft beim Lernen und Wiederfinden von Bezügen, bestätigt aber niemals aktuelles Wetter.

Météo-France, „Avalanche : quels dangers, comment réagir et s'informer ?“, 5. Februar 2025: https://meteofrance.com/vigilance-et-securite/avalanche-quels-dangers-comment-reagir-et-sinformer ; „Météo-France et la mer“, 8. Juni 2026: https://meteofrance.com/meteo-a-z/meteo-france-et-la-mer . National Weather Service, „Lightning safety“: https://www.weather.gov/safety/lightning-safety .

Für den ökologischen Wandel zuständiges Ministerium, Dossier zu Starkregen und Überschwemmungen: https://www.ecologie.gouv.fr/dossiers/comprendre-risques-naturels-sen-proteger/savoir-pluies-intenses-inondations-france . Primärquellen für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Nur ein wörtliches Zitat von fünf Wörtern des National Weather Service wird in diesem Kapitel verwendet; Beispiele und Übungen sind eigenständig. Keine aktuellen Wetterinformationen und kein Versorgungsverfahren werden geliefert.

KAPITEL 12 - Wetterheft und zusammenführende Übungen: beobachten, vergleichen und Grenzen erkennen

1. Ein Heft zum Lernen, ohne eine Vorhersage zu erfinden

Ein Wetterheft sammelt datierte Beobachtungen, die nach einer Methode beschrieben werden. Es verbindet die Begriffe des Leitfadens mit Daten, ermöglicht die Untersuchung einer Veränderung und das Erkennen des Unbekannten. Allein sein Vorhandensein macht es weder zu einer offiziellen Station noch zu einem Warnsystem. Einige örtliche Messungen reichen nicht aus, um sämtliche Bedingungen einer Route, eines Gebiets oder einer exponierten Tätigkeit vorherzusagen.

Das Lernziel muss vor der Auswahl der Spalten definiert werden. Möchten Sie Temperaturänderungen zu festen Uhrzeiten untersuchen, Wolkenbeschreibungen vergleichen oder den Unterschied zwischen aufsummiertem Regen und Intensität verstehen? Eine genaue Frage verlangt geeignete Daten. Eine lange Informationsliste ohne Herkunft kann einen Eindruck von Beherrschung erzeugen und zugleich verhindern, die Vergleiche zu überprüfen.

Es lässt sich vollständig im Inneren mit aufgezeichneten Daten, alten beschrifteten Fotografien oder ausdrücklich gekennzeichneten erfundenen Reihen arbeiten. Direkte Beobachtung verlangt niemals, sich einem gefährlichen Phänomen auszusetzen. Machen eine Anweisung oder die Bedingungen die Tätigkeit ungeeignet, wird eine Sitzung im Inneren verwendet oder gemäß der Entscheidung der zuständigen Verantwortlichen

verschoben. Die Notwendigkeit, eine Tabelle zu vervollständigen, rechtfertigt nicht, während einer Gefahr hinauszugehen.

Wolkenbeschreibungen zeigen den Nutzen eines gemeinsamen Vokabulars. Die Weltorganisation für Meteorologie erinnert an Luke Howard, der im Jahr 1803 eine Klassifikation vorschlug, deren Namen teilweise erhalten und weiterentwickelt wurden. Dieser historische Bezug beweist nicht, dass ein Anfänger jede Formation ohne Zögern bestimmen kann. Er erklärt, weshalb eine definierte Kategorie und eine wiederholbare Beschreibung nützlicher sind als ein isolierter persönlicher Eindruck.

2. Ein nachvollziehbares Beobachtungsblatt entwerfen

Eine erste Zeile beschreibt die Reihe: untersuchte Frage, nützlicher ungefährer Ort, Zeitraum, Methode und Herkunft. Zeichnen Sie für eine Schulübung nicht unnötig personenbezogene Daten auf. Eine Kennung des Beobachtungspunkts kann ausreichen. Ist der genaue Ort für eine betreute wissenschaftliche Analyse nötig, muss er nach den Regeln des Projekts behandelt werden; der Leitfaden verlangt keine Veröffentlichung einer privaten Adresse.

Jeder Messwert trägt Datum, Uhrzeit und Zeitzonenangabe. Unterscheiden Sie Messzeit, Veröffentlichungszeit und die Zeit Ihrer Datenspeicherung. Eine mittags veröffentlichte Mitteilung kann eine Beobachtung von elf Uhr enthalten. Eine heute veröffentlichte Vorhersage kann morgen betreffen. Die Spalte „Typ“ kann Beobachtung, gespeicherte Vorhersage oder erfundene Angabe enthalten. Sie ohne Unterscheidung zu mischen macht die Interpretation verwirrend.

Geben Sie für jede Variable Einheit und Methode an. Eine Temperatur in Grad Celsius ist keine Energie; ein Druck in Hektopascal ist keine Höhe; eine Regenmenge in Millimetern ist keine Geschwindigkeit. Bestimmen Sie für Summen und

Mittelwerte die Zeiträume. Eine über ein Intervall gemittelte Windgeschwindigkeit und eine maximale Böe beantworten nicht dieselbe Frage. Die Einheit allein definiert nicht die gesamte Messung.

Ergänzen Sie eine Qualitätsspalte: Angabe verfügbar, fehlend, geschätzt, korrigiert oder Methode verändert. Ein fehlender Wert wird nicht null. Eine Korrektur darf den ursprünglichen Wert nicht spurlos verschwinden lassen: Behalten Sie Grund und für den Vergleich nützliche Version bei. Schreiben Sie bei einer erfundenen Reihe diese Herkunft deutlich in Titel und Tabellen, die möglicherweise getrennt kopiert werden.

3. Vergleichbarkeit, Instrumente und Standort

Ein Instrument verwandelt entsprechend seiner Funktionsweise eine Größe in eine Anzeige. Seine Auflösung beschreibt den Schritt oder das angezeigte Detail; seine Richtigkeit betrifft die Nähe zu einem Referenzwert unter definierten Bedingungen. Zwei Nachkommastellen zu zeigen beweist keine auf ein Hundertstel richtige Messung. Funktion, Kalibrierung, Standort und Einsatzbedingungen bleiben entscheidend. Eine visuelle Schätzung kann nützlich sein, wenn sie als solche gekennzeichnet wird.

Zum Vergleich zweier Temperaturen muss bekannt sein, wie sie gemessen wurden. Ein strahlungsexponiertes Gerät, eine erwärmte Oberfläche und ein zur Luftmessung bestimmtes Instrument beschreiben nicht automatisch dieselbe Größe. Ein geeigneter Strahlungsschutz oder ein Schutzgehäuse kann manche Wirkungen begrenzen, garantiert aber allein nicht das Fehlen sämtlicher systematischer Fehler. Folgen Sie für ein wirkliches Messnetz den Methoden und Anforderungen des zuständigen Dienstes; eine häusliche Übung muss ihre Grenzen darstellen.

Ein Standortwechsel kann einen Bruch in einer Reihe erzeugen. Nehmen wir an, ein Instrument werde aus einem belüfteten Bereich nahe eine Mauer verlegt. Eine anschließend beobachtete Zunahme beweist keine Klimaentwicklung. Methode und Umgebung haben sich ebenfalls verändert. Notieren Sie den Bruch, vergleichen Sie nur Vergleichbares und vermeiden Sie, eine örtliche Änderung der Anordnung in einen allgemeinen Trend zu verwandeln.

Dasselbe gilt für Uhrzeiten. Neun Uhr an einem Tag mit fünfzehn Uhr am folgenden zu vergleichen verbindet Unterschiede zwischen Tagen mit Veränderungen innerhalb des Tages. Wählen Sie zum Untersuchen einer Entwicklung zu fester Uhrzeit eine stimmige Methode und geben Sie Abweichungen an. Korrigieren Sie keinen Wert willkürlich, damit er dem vorherigen ähnelt. Wissenschaftliche Qualität entsteht aus Nachvollziehbarkeit und Prüfung, nicht aus einer künstlich regelmäßigen Tabelle.

4. Beschreiben vor dem Interpretieren

Trennen Sie eine Spalte der Feststellungen von einer der Hypothesen. „Auf der Fotografie von elf Uhr erscheint eine Wolkenschicht“ beschreibt das Beobachtete mit den Bildgrenzen. „Sie kündigt zwangsläufig Regen in einer Stunde an“ ergänzt einen Schluss, der durch die Fotografie allein nicht begründet ist. Eine Hypothese muss so benannt werden und Informationen bestimmen, die sie stützen oder widerlegen könnten.

Beschreiben Sie Wolken mit vorsichtigen Kategorien: Aussehen, scheinbare Ausdehnung, Entwicklung in datierten Bildern, wahrscheinliche Gattung bei sichtbaren Kriterien. Eine begrenzte Perspektive erlaubt nicht immer die Höhenbestimmung. Ein von einem Gebäude verdeckter Himmel darf nicht als vollständig klar notiert werden. Sind mehrere Bestimmungen möglich, schreiben Sie den Zweifel, statt eine schmückende Gewissheit auszuwählen.

Bei Wind liefern Blätter oder sichtbare Gegenstände Hinweise, aber nicht zwangsläufig eine in standardisierter Höhe gemessene Geschwindigkeit. Eine örtliche Bewegung kann von Gelände oder Hindernissen abhängen. Verwenden Sie bei fehlender geeigneter Messung eine gekennzeichnete qualitative Beschreibung. Eine ungefähre Umrechnung darf nicht als instrumentelle Messung angezeigt werden.

Die Interpretation verbindet anschließend mehrere Informationen: Temperatur, Feuchtigkeit, Druck, Wolken, Entwicklung und Kontext. Diese Verbindung erlaubt keinen automatischen Schluss. Die untersuchten Mechanismen liefern Möglichkeiten und Bedingungen; ausreichende Daten werden weiterhin benötigt. Ein ernsthaftes Heft kann folgern: „Informationen reichen zur Entscheidung nicht aus.“ Diese Antwort ist nützlicher als eine erfundene Vorhersage zum Füllen aller Felder.

5. Erste Rechnungen mit einer erfundenen Reihe

Betrachten wir vier erfundene Temperaturen: 9 °C um acht Uhr, 11 °C um elf Uhr, 14 °C um vierzehn Uhr und 12 °C um siebzehn Uhr. Ihr arithmetischer Mittelwert beträgt (9 + 11 + 14 + 12) / 4 = 11,5 °C. Er beschreibt diese vier Stichprobenwerte. Er wird nicht automatisch zum Mittelwert des gesamten Tages, weil die anderen Stunden nicht beobachtet wurden und die offizielle Mittelungsmethode nicht angegeben ist.

Das Minimum der vier Werte beträgt 9 °C und das Maximum 14 °C; ihre Spannweite beträgt 5 °C. Dies sind Minimum, Maximum und Spannweite der Stichprobe. „Minimale Tagestemperatur: 9 °C“ zu schreiben wäre unbegründet, wenn die Nacht nicht gemessen wurde. Zwischen elf und vierzehn Uhr beträgt die Differenz 3 °C über drei Stunden, also im Mittel 1 °C pro Stunde. Dieser Mittelwert beschreibt nicht jede Minute.

In einer erfundenen Reihe aufsummierten Regens zeigt der Zähler 2 mm um acht Uhr und 5 mm um zwölf Uhr. Wurde das Gerät nicht zurückgesetzt und sind die Werte vergleichbar, beträgt die zusätzliche Summe 3 mm über vier Stunden. Die mittlere Rate in diesem Intervall beträgt 0,75 mm pro Stunde. Sie beweist weder durchgängigen Regen noch eine maximale Intensität von 0,75 mm pro Stunde: Die 3 mm können ungleichmäßig gefallen sein.

Wurde um zehn Uhr zurückgesetzt, verliert die unmittelbare Differenz beider Anzeigen ihre Bedeutung. Die Werte vor und nach dem Vorgang müssen bekannt sein, oder es muss anerkannt werden, dass die Summe allein aus den verfügbaren Daten nicht rekonstruiert werden kann. Das Beispiel zeigt, weshalb Metadaten Teil der Messung sind. Eine exakte Rechnung mit nicht vergleichbaren Daten erzeugt einen falschen Schluss.

6. Grafiken, Trends und fehlende Daten

Eine Grafik muss Titel, Achsen, Einheiten und Zeitraum zeigen. Sind die Uhrzeiten unregelmäßig, müssen ihre Positionen diese Unregelmäßigkeit auf einer Zeitachse beachten. Vier auf der Seite gleichmäßig verteilte Punkte können identische Intervalle vortäuschen. Eine Linie zwischen zwei Beobachtungen ist eine grafische Verbindung; sie beweist nicht, dass sämtliche Zwischenwerte gemessen wurden.

Fehlt die Angabe von elf Uhr, ersetzen Sie sie nicht stillschweigend durch einen interpolierten Wert. Interpolation schlägt eine Schätzung auf Grundlage einer Veränderungsannahme vor. Sie kann einer Übung dienen, muss aber von der Beobachtung unterschieden werden. Der Mittelwert der verbleibenden Werte betrifft eine andere Stichprobe. Tage mit unterschiedlichen Messzeiträumen zu vergleichen verlangt deshalb besondere Aufmerksamkeit.

Drei aufeinanderfolgende wärmere Tage belegen allein keinen Klimatrend. Dauer, Schwankungen, Methode und Kontext müssen untersucht werden. Ein Trend betrifft einen geeigneten Datenbestand und eine passende Analysemethode. Ein kurzes Heft kann eine örtliche Episode dokumentieren, nicht automatisch eine ganze Region oder das Weltklima repräsentieren. Diese Grenze hebt seinen Nutzen zum Verständnis von Veränderungen und Lernen einer Methode nicht auf.

Vermeiden Sie auch einen Maßstab, der einen Unterschied ohne Erklärung übertreibt oder verdeckt. Eine bei 10 °C beginnende Achse kann eine kleine Veränderung sichtbar machen, muss aber klar skaliert bleiben. Eine große farbige Fläche ersetzt keine Werte. Prüfen Sie beim Vergleich zweier Grafiken die Maßstäbe vor der Forminterpretation. Die Darstellung soll das Gemessene verständlich machen, nicht einen vorherbestimmten Eindruck erzeugen.

7. Druck, Feuchte und Vorhersage gemeinsam lesen

Ein erfundener Druck sinkt zwischen zwei am selben Punkt mit derselben Methode vorgenommenen Messungen von 1 014 hPa auf 1 008 hPa. Die Differenz beträgt −6 hPa. Diese Feststellung kündigt nicht automatisch ein bestimmtes Phänomen an. Eine Vorhersage benötigt insbesondere räumlichen und zeitlichen Kontext, Systementwicklung und weitere Variablen. Prüfen Sie auch, ob es örtliche oder auf Meereshöhe reduzierte Druckwerte sind: Ihr Vergleich ist nicht immer unmittelbar möglich.

Nehmen wir eine Temperatur von 12 °C und einen Taupunkt von 8,3 °C an. Ihr Abstand beträgt 3,7 °C. Er informiert über die Nähe zu bestimmten Sättigungsbedingungen, reicht aber nicht zur Vorhersage der Nebelbildung an einem bestimmten Ort und zu einer Uhrzeit aus. Abkühlung, Durchmischung, Feuchtezufuhr und örtliche Situation spielen eine Rolle. Eine Hypothese kann mit

zusätzlichen Daten untersucht werden; sie darf nicht in ein feststehendes Ergebnis verwandelt werden.

Speichern Sie Vorhersagen getrennt, um sie später mit Beobachtungen zu vergleichen, ohne ihren Inhalt rückwirkend zu verändern. Ein Vorhersageblatt enthält Anbieter, Ausgabedatum, Ort, Vorhersagefrist, Variable und Definition. Eine Niederschlagswahrscheinlichkeit lässt sich nicht unmittelbar mit einer Menge in Millimetern vergleichen. Ein vorhergesagter Mittelwert und ein beobachteter Höchstwert sind nicht zwei Formulierungen derselben Messung.

Wählen Sie zur Prüfung die Regel, bevor Sie das Ergebnis betrachten. In einer Übung können Sie den Abstand zwischen vorhergesagter und beobachteter Temperatur zu einer definierten Uhrzeit messen. Ändern Sie anschließend die Uhrzeit, um einen kleineren Abstand zu erhalten, prüfen Sie nicht mehr die Ausgangsfrage. Einen Fehler zu dokumentieren ist kein didaktisches Scheitern: Es erlaubt, Angabe, Definition und Grenzen der Vorhersage zu untersuchen.

8. Zusammenführende Werkstatt mit Lösungen

Übung A - Eine erfundene Reihe liefert 10, 13 und 16 °C zu drei Uhrzeiten. Berechnen Sie Mittelwert und Spannweite und nennen Sie anschließend eine Grenze. Lösung: Mittelwert 13 °C; Spannweite 6 °C. Diese Rechnungen betreffen die drei Werte. Ohne Messung zu den anderen Uhrzeiten können Mittelwert und Extreme des gesamten Tages nicht angekündigt werden. Die Grenze muss in der Beschriftung stehen und darf nach der Rechnung nicht vergessen werden.

Übung B - Eine Summe steigt während zweier Stunden ohne Rücksetzung von 4 auf 10 mm. Was lässt sich feststellen? Lösung: 6 zusätzliche Millimeter und eine mittlere Rate von 3 mm pro

Stunde. Weder die genaue Dauer jeder Episode noch ihre maximale Intensität ist bekannt. Unterbrochener Regen kann dieselbe Summe wie gleichmäßigerer Regen erzeugen. Feinere Beobachtungen fehlen zur Unterscheidung.

Übung C - Eine Tabelle gibt „Regen: null“ an, wo der Sensor keine Daten übertragen hat. Korrigieren Sie. Antwort: Den Wert durch fehlende Angabe ersetzen und die bekannte Störung notieren. Null behauptet eine Messung; fehlende Übertragung belegt sie nicht. Wird eine andere Quelle verwendet, müssen Herkunft und Vergleichsbedingungen erscheinen. Zwei Methoden werden nicht unauffällig gemischt, um eine Reihe zu vervollständigen.

Übung D - Die erfundenen Temperaturvorhersagen sind 12, 14 und 13 °C; die entsprechenden Beobachtungen 11, 15 und 13 °C. Berechnen Sie die Differenzen Vorhersage minus Beobachtung und den Mittelwert ihrer Absolutbeträge. Lösung: +1, −1 und 0 °C; mittlerer Absolutbetrag (1 + 1 + 0) / 3, also ungefähr 0,67 °C. Der Mittelwert mit Vorzeichen beträgt null, verdeckt hier aber zwei von null verschiedene Abweichungen, die sich ausgleichen.

Übung E - Zwei Gruppen vergleichen ihre Messungen. Die erste misst Luft zu festen Uhrzeiten; die zweite notiert eine Oberflächentemperatur, wenn sie den Ort erreichen kann. Lässt sich schließen, ein Viertel sei wärmer? Lösung: Variablen, Uhrzeiten und Methoden unterscheiden sich. Der Schluss ist durch diesen Vergleich allein nicht begründet. Eine gemeinsame Frage und vergleichbare Messungen müssen definiert oder beide Reihen als Beobachtungen unterschiedlicher Phänomene erhalten werden.

Übung F - Eine Anwendung enthält eine alte Karte, deren Datum nach einer Kopie nicht mehr sichtbar ist. Ein Ausflug benötigt aktuelle Informationen. Welche Verwendung ist legitim? Lösung: Die Karte kann möglicherweise einer historischen Analyse dienen, wenn ihre Herkunft wiedergefunden wird. Sie kann die aktuellen

Bedingungen nicht bestätigen. Datierte offizielle Informationen suchen und Anweisungen anwenden; eine fehlende neue Warnung in der Datei nicht als Sicherheitsbeweis nehmen.

Übung G - Von zwanzig erfundenen Tagen, für die eine Regenwahrscheinlichkeit von 50 % angekündigt wurde, enthalten zwölf das definierte Ereignis. Ist die Vorhersage endgültig schlecht? Lösung: Zwölf von zwanzig entsprechen 60 %, doch eine kleine Menge schwankt. Definition, vergleichbare Fälle und eine ausreichende Reihe müssen untersucht werden. Eine einzelne Abweichung belegt allein weder schlechte Kalibrierung noch eine Garantie guter Kalibrierung. Das Ergebnis bleibt eine Beobachtung, die in die Analyse einzubeziehen ist.

Übung H - Formulieren Sie einen Heftschluss, ohne morgen vorherzusagen. Vorschlag: „Zu den vier nach derselben Methode beobachteten Uhrzeiten nahm die Temperatur zunächst zu und dann ab. Fehlende Nachtwerte verhindern die Bestimmung der täglichen Extreme. Die Reihe beschreibt diesen Punkt und diesen Zeitraum; sie reicht nicht aus, um einen Klimatrend festzustellen.“ Dieser Schluss verbindet Ergebnis, Methode und Grenze, ohne mehr zu behaupten.

9. Drei weitere Schwierigkeiten: Unsicherheit, Winkel und Umrechnung

Ein Vergleich kann Werte betreffen, die im Rahmen der Übung mit einer bekannten Unsicherheit verbunden sind. Nehmen wir zwei erfundene Temperaturen an: 9,7 °C, anschließend 10,5 °C, jeweils mit einer absoluten Fehlergrenze von 0,3 °C. Der erste Wert ist unter dieser Annahme mit dem Intervall von 9,4 bis 10,0 °C vereinbar, der zweite mit 10,2 bis 10,8 °C. Die Zunahme liegt zwischen 0,2 und 1,4 °C, wenn die angegebenen Grenzen tatsächlich die betrachteten Fehler abdecken.

Die Anzeigedifferenz beträgt 0,8 °C, ihre Genauigkeit darf aber nicht als unendlich dargestellt werden. Die Überlegung mit Grenzen hat den ungünstigen Fall verwendet: höchsten Anfangs- und niedrigsten Endwert, anschließend umgekehrt. Die Rechnung liefert keine Wahrscheinlichkeit einer Zunahme. Fehlergrenze, Standardabweichung und Konfidenzintervall sind keine austauschbaren Formulierungen. Die Methode ihrer Definition muss vor der Verwendung ihrer Zahlen bekannt sein.

Hat dasselbe Instrument einen konstanten systematischen Fehler, kann ein Teil davon in einer Differenz verschwinden. Ohne Prüfung darf jedoch nicht angenommen werden, sämtliche Wirkungen seien konstant. Eine Verlegung, wechselnde Strahlung oder eine Methodenänderung können ebenfalls eingreifen. Bei einem Lernheft geht es nicht darum, ohne Daten eine anspruchsvolle Korrektur zu erzeugen; es geht darum, die Annahmen zu zeigen und nicht mehr Genauigkeit zu versprechen, als die Messung zulässt.

Winkel bringen eine weitere Schwierigkeit ein. Zwei nordnahe Richtungen, 350° und 10°, dürfen nicht wie zwei Temperaturen gemittelt werden. Das gewöhnliche arithmetische Mittel ergibt 180°, also Süden, obwohl die Richtungen den Norden umgeben. Winkel sind periodisch: 360° und 0° bezeichnen dieselbe Richtung. Eine geeignete Analyse kann Richtungen durch Vektoren darstellen und anschließend ihre Summe und deren Länge untersuchen.

In diesem erfundenen Beispiel haben zwei gleich gewichtete Einheitsvektoren, symmetrisch zu beiden Seiten des Nordens angeordnet, eine nach Norden gerichtete Summe. Diese Konstruktion ist kein universelles Verfahren zur Mittelung wirklichen Windes: Geschwindigkeiten, Dauern und Methode des Anbieters müssen ebenfalls bestimmt werden. Zwei genau entgegengesetzte gleich gewichtete Richtungen hätten eine Summe null; dann wäre es irreführend, eine klar definierte mittlere

Richtung anzugeben. Prüfen Sie schließlich die Konvention: Eine meteorologische Windrichtung bezeichnet gewöhnlich die Herkunft und nicht das Ziel des Windes.

Eine Einheitenumrechnung muss ebenfalls die Größe beachten. Zur Umrechnung einer Temperatur von Grad Celsius in Grad Fahrenheit gilt T°F = 1,8 × T°C + 32. Somit entsprechen 20 °C einem Wert von 68 °F. Eine Temperaturdifferenz von 3 °C entspricht aber einer Differenz von 5,4 °F: Es werden nicht 32 addiert. Die Konstante betrifft den Ursprung der Skala, nicht jede Veränderung. Skalenwert und Differenz zu unterscheiden vermeidet diesen Fehler.

Ergänzende Übung - Zwei erfundene Temperaturen betragen 8,0 und 8,2 °C, jeweils mit einer Fehlergrenze von 0,4 °C. Lässt sich in diesem Modell von Grenzen eine sichere Zunahme behaupten? Lösung: Die Intervalle sind 7,6 bis 8,4 °C und 7,8 bis 8,6 °C. Sie überschneiden sich; Anzeigen und Grenzen allein reichen nicht aus, um das tatsächliche Vorzeichen der Differenz zu bestimmen. Der Unterschied der Anzeigen ist positiv, das Ergebnis muss aber diese Grenze behalten.

Ergänzende Übung - Eine Datei enthält zwei Zeilen mit derselben Ortszeit, ohne vollständiges Datum oder Zeitzone. Lassen sie sich sicher ordnen? Lösung: Nicht anhand dieser Informationen allein. Ein Wechsel von Datum, Zeitzone oder gesetzlicher Uhrzeit kann Mehrdeutigkeit erzeugen. Die Metadaten müssen wiedergefunden werden; eine Reihenfolge darf nicht allein aus der Zeilenposition erfunden werden. Diese Vorsicht betrifft Nachvollziehbarkeit unabhängig vom beobachteten Wetter.

10. Beobachtungen in aktive Wiederholung verwandeln

Erstellen Sie eine zusammenführende Seite mit vier Feldern: Phänomen, Mechanismus, maßgebliche Angabe und Grenze. Beim Wind verbindet der Mechanismus insbesondere Druckgradienten, Erdrotation und Reibung; die maßgebliche Angabe hängt von der Frage ab, Mittelwert oder Böe, Richtung und Zeitraum. Die Grenze erinnert daran, dass bloße Blattbewegungen nicht sämtliche Messungen liefern. Unterscheiden Sie bei Niederschlag Entstehung, Summe und zeitliche Verteilung.

Ergänzen Sie das Feld „Was ich in einer aktuellen Information prüfen muss“. Es kann Datum, Ort, Gültigkeitszeitraum, zuständigen Dienst, Datenart und zugehörige Anweisungen enthalten. Dieses Feld darf nicht ein für alle Mal aus diesem Leitfaden ausgefüllt werden: Es benennt die zu untersuchenden Elemente, wenn die Tätigkeit sie verlangt. Ein offline verfügbares Blatt dient zur Erinnerung an die Methode, nicht zur Anzeige aktueller Bedingungen.

Erklären Sie zur Vorbereitung einer Wiederholung jemandem, weshalb Druck und Höhe nicht dieselbe Größe sind, weshalb relative Feuchte mit der Temperatur variiert, weshalb eine Wolke kein hinreichender Beweis unmittelbaren Regens ist und weshalb eine Wahrscheinlichkeit keine Dauer ist. Bearbeiten Sie anschließend eine Zahlenübung und geben Sie die Einheit an. Stellen Sie schließlich eine Grenze Ihrer Antwort dar. Dieses Vorgehen prüft ein stärkeres Verständnis als das Erkennen eines Wortes.

Lesen Sie Ihr Heft mit einer kritischen Frage erneut: Könnte jemand anderes verstehen, woher meine Daten stammen, und die Rechnungen wiederholen? Ergänzen Sie bei einem Nein die Metadaten oder begrenzen Sie den Schluss. Sie können auch zwei konkurrierende Interpretationen untersuchen und bestimmen,

welche Beobachtung sie unterscheiden würde. Es geht nicht um Gewissheit in jeder Zeile, sondern darum, Behauptungen den Belegen anzupassen.

11. Häufige Fehler und abschließendes Wiederholungsblatt

Verwechseln Sie null und Abwesenheit, Summe und Intensität, Mittelwert und Extrem, Ausgabezeit und Gültigkeitszeit, Beobachtung und Vorhersage sowie kurzfristiges Wetter und Klima nicht. Löschen Sie keine Instrumenten- oder Ortswechsel. Leiten Sie keine sichere Ursache aus einer bloßen Abfolge ab. Machen Sie eine Fotografie oder eine örtliche Messung nicht zur Erlaubnis einer exponierten Tätigkeit. Der Leitfaden ersetzt keinen offiziellen Dienst und keinen zuständigen Verantwortlichen.

Abschließendes Wiederholungsblatt: genaue Frage; erkennbare Herkunft; passender Ort und Zeitraum; klare Einheiten und Methoden; gekennzeichnete fehlende Daten; geprüfte Rechnungen; von der Hypothese getrenntes Ergebnis; angemessener Vergleich; geschriebene Grenzen; bei Bedarf über passende Kanäle gesuchte aktuelle Informationen. Ein gelungenes Heft kann Unsicherheiten enthalten. Es scheitert vor allem, wenn es sie unter Zahlen oder zu weiten Schlussfolgerungen verbirgt.

Der gesamte Leitfaden verbindet Energie, Druck, Feuchte, Wolken, Fronten, gefährliche Phänomene, Modelle, Wahrscheinlichkeiten und Entscheidung. Keines dieser Elemente darf zu einer isolierten magischen Regel werden. Einen Mechanismus zu verstehen hilft, bessere Fragen zu stellen; Fehlendes zu erkennen hilft, einen irreführenden Schluss zu vermeiden. Zum Offline-Lernen ergänzen sich diese Fähigkeiten. Für eine wirkliche Entscheidung müssen sie mit datierten Informationen und zuständigen Anweisungen verbunden werden.

12. Quellen und Herkunft

Weltorganisation für Meteorologie, „Classifying clouds“, historischer Bezug zu Luke Howard und der Klassifikation von 1803: https://public.wmo.int/world-meteorological-day-2017/classifying-clouds ; Internationaler Wolkenatlas, Gattungen: https://cloudatlas.wmo.int/en/principles-of-cloud-classification-genera.html . Met Office, Beobachtungen und ihre Rolle im meteorologischen Verständnis: https://weather.metoffice.gov.uk/learn-about/how-forecasts-are-made/observations .

Internationales Büro für Maß und Gewicht, Broschüre zum Internationalen Einheitensystem: https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure . Primärquellen für das französische Manuskript am 11. Oktober 2026 konsultiert. Kein fremdes wörtliches Zitat in diesem Kapitel; sämtliche Zahlenangaben der Übungen und Heftsituationen sind erfunden und eigenständig. Keine aktuelle Beobachtung, operative Vorhersage oder Echtzeitwarnung wird geliefert.