

Nichts Neues bei den Temperaturen? Statistical Literacy im Zeitalter der Computersimulationen

PHILIPP ULLMANN, FRANKFURT

Zusammenfassung: *Ob in der Zeitung, im Fernsehen oder auf dem Smartphone: Der Wetterbericht ist immer dabei. Wie viel Mathematik sich aber dahinter verbirgt, ist den meisten nicht bewusst. In diesem Beitrag möchte ich nicht nur zeigen, wie viel (nicht nur mathematisch) Interessantes in der Wettervorhersage steckt, sondern an diesem Beispiel auch einige grundsätzliche Überlegungen zu Daten und allgemein zu statistical literacy entwickeln. Wie bei kaum einem anderen Thema bieten sich zahlreiche Anlässe, um auf einem für SchülerInnen angemessenen Niveau über Daten(erhebungen), Computer-Einsatz oder ganz generell über den gesellschaftlichen Nutzen der Mathematik zu sprechen.¹*

1 Das Relevanz-Paradoxon

Mit Schulmathematik kann man im Alltag nichts anfangen – so jedenfalls wird oft behauptet. Man mag diesem Befund zustimmen oder ihn beklagen, didaktisch geadelt jedenfalls wurde er vor zwei Jahrzehnten unter dem Begriff „Relevanz-Paradoxon“. Der dänische Mathematikdidaktiker Mogens Niss konstatierte:

Obwohl die soziale Bedeutsamkeit von Mathematik Umfang und Dichte nach immer weiter *zuzunehmen* scheint, sind der Ort, die Rolle und die Funktion von Mathematik für die generelle Öffentlichkeit, Entscheidungsträger und Politiker weitgehend *unsichtbar* – und werden verkannt. Mehr noch: Sie sind sogar für viele Personen unsichtbar, die in außer-mathematischen Gebieten arbeiten, in denen ausgiebig von mathematischen Modellen und vom Modellieren Gebrauch gemacht wird. Dazu kommt, dass sogar etliche Mathematiker und Mathematikdidaktiker ein recht unklares Bild von der Rolle der Mathematik in der Gesellschaft zu haben scheinen.

Diese Diskrepanz zwischen der objektiven gesellschaftlichen Bedeutung der Mathematik und ihrer subjektiven Unsichtbarkeit stellt eine Form dessen dar, was der Autor oft als *Relevanz-Paradoxon* bezeichnet [...]. (Niss 1994, S. 371)

Damit führte Niss die subjektive Bedeutungslosigkeit von Mathematik also zurück auf deren mangelnde Sichtbarkeit. Dass es sich dabei nicht um die einzige Ursache handelt, ist natürlich klar. Doch bedenkenswert ist dieses Argument durchaus, zumal sich daraus eine unmittelbare Handlungsempfehlung ableiten lässt: Mache die Mathematik und deren Rolle in der Gesellschaft sichtbar!²

Im Folgenden will ich das am Beispiel der Wettervorhersage (ansatzweise) durchführen und nebenbei zeigen, dass die beklagte Unsichtbarkeit der Mathematik eine Folge ihrer gesellschaftlichen Rolle ist, das Paradoxon also in gewissem Sinne notwendig ist.

2 Die Wettervorhersage

Das Thema Wettervorhersage besticht durch mindestens drei Dinge. Zunächst: Wetter gibt es überall – auch wenn sich dessen Auswirkungen im Alltag – meist darauf beschränken, geeignete Kleidung zu tragen und ggf. einen Regenschirm mitzunehmen. Dann ist die Wettervorhersage auf mathematische Methoden und Modelle sowie auf den Einsatz von Computern angewiesen und ist so ein im besten Sinne authentisches Beispiel. Schließlich spielt dabei der kompetente Umgang mit Daten eine zentrale Rolle – und das ist wohl der zentrale Gegenstand eines (Mathematik-)Unterrichts, der auf gesellschaftliche Teilhabe zielt: *statistical literacy* ist das Gebot der Stunde.³

Eine wesentliche Einschränkung ist dabei allerdings zu beachten. Wettervorhersage als eine der frühesten globalen Unternehmungen zeichnet sich in ihrer heutigen Form durch eine schier unüberschaubare Komplexität aus – nicht zuletzt die mathematischen Anforderungen sind immens. Es kann also nicht darum gehen, sich mit Schulmitteln an „Wetterprognosen“ irgendwelcher Art zu versuchen – nicht zuletzt die Geschichte der Wettervorhersage zeigt, dass das wenig erfolgversprechend ist. Aber etwas mehr als die inzwischen häufig in Schulbüchern anzutreffenden Temperaturkurven im Kontext des Lesens von Diagrammen und Tabellen darf es schon sein. Dass es möglich ist, zumindest einen prinzipiellen Eindruck von der Sache zu erhalten, will ich mit meinen Ausführungen zeigen – um mehr kann es (und muss es auch) nicht gehen.

Datenverarbeitung ...

Eine Wettervorhersage erfolgt im Wesentlichen in drei Schritten: Zunächst einmal werden Beobachtungsdaten erhoben, und zwar jede Menge. Dann wird aus den zusammengeführten Daten der Ist-Zustand ermittelt; Meteorologen nennen das die „Analyse“. Schließlich wird daraus die eigentliche Vorhersage erstellt.

Mit der Institutionalisierung der Sammlung nationaler (bzw. globaler) Wetterdaten im 19. Jahrhundert begann die Geschichte der modernen Wettervorher-

sage.⁴ Die dazu notwendigen Beobachtungsstationen wurden unter der Ägide nationaler meteorologischer Gesellschaften aufgebaut bzw. koordiniert und staatlich finanziert – nicht zuletzt wegen des damit verbundenen militärischen Nutzens. Aus diesen Ansätzen hat sich inzwischen ein globales Netzwerk entwickelt, in dem mittels Tausender von Mess-Stationen, Schiffen, Flugzeugen, Ballonen und Messbojen sowie Dutzender von Satelliten Millionen von Daten erhoben und in Echtzeit verarbeitet werden: das *Global Observing System* (GOS).⁵

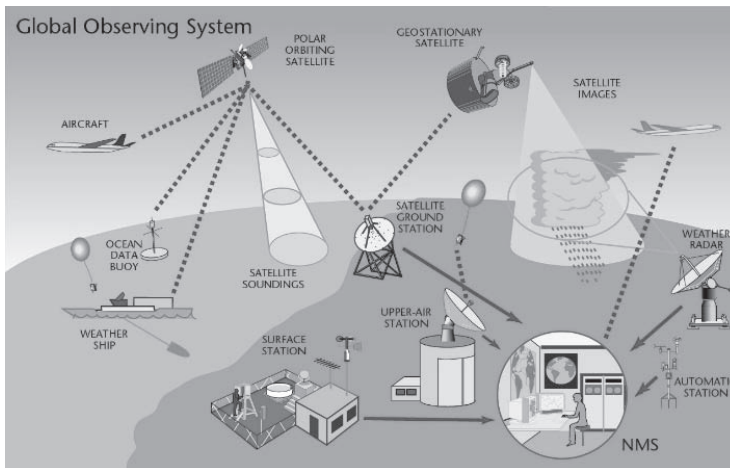


Abb. 1: Das Global Observing System. © World Meteorological Organization. Der Abdruck erfolgt mit Genehmigung.

... ohne Computer

Bevor Computer in die Wettervorhersage Einzug hielten, erfolgten Analyse und Vorhersage per Hand. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts sah ein typisches Vorgehen folgendermaßen aus: Die gemeldeten Datenpunkte wurden in Karten eingetragen und dann nach Erfahrung und Gefühl zu einem Gesamtbild ergänzt. Die entstandene Wetterkarte wurde dann mit Karten aus der Vergangenheit verglichen, die zu diesem Zweck gesammelt und archiviert worden waren. War eine möglichst ähnliche Wetterlage gefunden, diente die damalige Entwicklung des Wetters als Grundlage für die aktuelle Wettervorhersage.

Obwohl die Atmosphärenphysik in dieser Zeit große Fortschritte machte und mathematische Modelle entwickelt wurden, mit denen eine Vorhersage auf mathematisch-naturwissenschaftlicher Grundlage prinzipiell möglich wurde, war in der Praxis der Rechenaufwand viel zu groß. Einschlägig ist in diesem Zusammenhang der Verweis auf den englischen Mathematiker Lewis Richardson, der im Jahr 1922 eine 6-Stunden-Vorhersage für den 20. März 1910 berechnete – dafür benötigte er ganze sechs Wochen und verrechnete sich unweigerlich (vgl. Edwards 2010, S. 93 f.). Kein

Wunder also, dass Wettervorhersage mehr als Handwerk bzw. als eine Kunst angesehen wurde und sich akademisch nicht recht etablieren konnte.

... mit Computer

Das änderte sich dramatisch mit der Entwicklung des Computers Ende der 1940er Jahre. Es gibt wohl kaum einen der frühen Großrechner, auf dem nicht Wettervorhersagemodelle gerechnet wurden. Dabei stellte die eigentliche Vorhersage das kleinere Problem dar; deutlich schwieriger war die Analyse. Die Automatisierung dieses Prozesses (und damit die mathematische Objektivierung menschlicher Erfahrung, Intuition und Heuristik) stellte bis in die 1960er Jahre die größte Herausforderung für eine zeitnahe Wettervorhersage dar.⁶

Die ersten Ansätze der sogenannten ‚objektiven‘ Analyse (die damit begrifflich vom ‚subjektiven‘ Vorgehen der Analysten abgesetzt wurde) waren mathematisch relativ einfach. Bei hinreichend vielen Daten wurden Potentiale zunächst durch Ausgleichspolynome dritten Grades modelliert, also durch Ausdrücke der Form $p(x,y) = \sum_{i+j \leq 3} a_{ij} x^i y^j$, so dass deren Gradienten Polynome zweiten Grades, also Kegelschnitte darstellten (vgl. Panofsky

1949). Die Anpassung der Polynome erfolgte dabei durch die Methode der kleinsten Quadrate; die dazu notwendigen Berechnungen erforderten zu dieser Zeit einen Großrechner (vgl. ebenda, S. 386 f.).

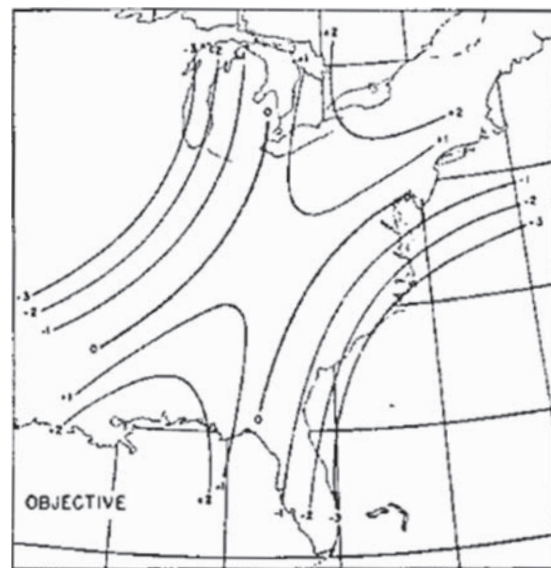


Abb. 2: Objektive Analyse. Deutlich sind die Hyperbeläste zu erkennen. Abbildung aus Panofsky (1949), S. 388. © American Meteorological Society. Der Abdruck erfolgt mit Genehmigung.

Zumeist aber bestand das Problem darin, dass es viel weniger Daten gab, als zur Bestückung der Gitterpunkte im Vorhersage-Modell notwendig waren: In diesem Fall wurde zunächst mit verschiedenen linearen Interpolationen gearbeitet, die anschließend in einem gewichteten Mittel zusammengefasst wurden (vgl. Bergthórsson & Döös 1955).

Trotz der Einschränkung durch unzureichende Datensätze und unzureichende mathematische Modelle begann die objektive Analyse in den 1960er Jahren, die subjektive an Vorhersagekraft zu übertreffen. Vier Faktoren sind es, die seitdem zu einer kontinuierlichen Verbesserung in der numerischen Wettervorhersage geführt haben (und immer noch führen): Erstens kann durch verbesserte Rechnerleistung auf feiner aufgelösten Gittern simuliert werden. Zweitens ermöglicht es diese Kleinräumigkeit, komplexere physikalische Prozesse zu modellieren. Drittens ist die Analyse des Ist-Zustands durch die sogenannte Datenassimilation deutlich präziser geworden. Viertens hat sich die Datenlage erheblich verbessert. (Vgl. Kalnay 2003, S. 2)

3 Datenbilder

Der dritte Punkt verdient unter dem Blickwinkel der *statistical literacy* besondere Beachtung, weil sich hier etwas Grundlegendes über Daten lernen lässt. Die Idee der Datenassimilation ist so einfach wie frappierend. Um gute Vorhersagen zu erhalten, benötigt man einen guten Ist-Zustand. Dazu sind viele Daten erforderlich, die aus Messungen so nicht zu haben sind: Zum einen gibt es generell zu wenig Messdaten, zum anderen sind diese raum-zeitlich zu ungleichmäßig verteilt. Was liegt näher, als zusätzlich die vorhergehenden Prognose-Daten für die nächste Vorhersage zu berücksichtigen?

Bei der modernen Wettervorhersage [...] stammen nur etwa zehn Prozent der [...] verwendeten Daten aus tatsächlichen Instrumentenablesungen. Die übrigen neunzig Prozent werden aus anderen Computer-Modellen synthetisiert [...]. Vereinfacht gesagt beginnt das Analyse-Modell mit der vorhergehenden Wettervorhersage und verbessert sie mittels aktueller Beobachtungen [...]. Zugleich überprüft das Analyse-Modell die Beobachtungen auf Fehler und Unstimmigkeiten, wobei einige Daten abgelehnt werden, andere modifiziert. (Edwards 2010, S. 21 f.)

Diese Praxis der Computersimulation, wie sie nicht nur für die moderne Wettervorhersage typisch ist, verweist darauf, dass ein grundlegendes Problem neu zur Verhandlung ansteht, nämlich die Frage danach, in welchem Verhältnis Theorie und Daten zueinander stehen. In der klassischen Sichtweise liefert Mathe-

matik eine theoretische Beschreibung der ‚wirklichen‘ Welt; mathematische Modelle gehören dabei zur Theorie, Daten hingegen sind Teil der Wirklichkeit.⁷

Wetterbeobachtungen von Donnerstag, 25.09.2014, 15 Uhr

Station	Höhe	Luftd.	TT	RR	DD	FF	FX	Wetter/Wolken	Böen	
Helgoland	4	1019.9	14.2	0.0	W	47	45	Regen	Windböen	
Isarfließ	26	1011.9	14.4	0.1	W	40	34	Regen	Windböen	
Schießweg	43	1012.2	12.9	0.1	W	19	14	Regenschauer	Windböen	
Leuchtturm Kiel	5	1012.4	14.7	----	W	29	47	----	----	
Kiel	37	1013.1	14.7	0.0	W	32	47	leichter Regen	----	
Fehmarn	3	1012.2	14.8	0.0	W	47	45	----	Windböen	
Ardene	42	1010.0	14.4	0.0	W	43	46	Bewölkt	Staubböen	
Horsensy	11	1014.5	14.3	0.0	SW	29	34	Regenschauer	Windböen	
Leuchtt. Alte Weser	32	1013.2	13.4	----	----	----	----	----	----	
Cuxhaven	5	1014.8	14.0	0.0	W	32	50	Regenschauer	Windböen	
Hamburg-Fth.	11	1014.9	13.9	0.0	W	22	30	Regenschauer	Windböen	
Schwerin	59	1013.4	13.1	0.0	SW	18	47	Regen	Windböen	
Rostock	4	1011.9	13.9	0.1	W	40	34	Regenschauer	Windböen	
Greifswald	2	1011.5	12.7	1.8	W	18	----	Regenschauer	----	
Königs	3	1012.7	14.0	0.0	W	----	----	----	----	
Hemsen-Fth.	5	1014.4	13.9	0.0	W	32	47	stark bewölkt	----	
Lüchow	17	1014.7	17.0	0.0	W	18	----	Regen	----	
Mackels	81	1013.5	13.9	0.4	W	22	----	Regen	----	
Waken	70	1012.2	14.3	0.3	W	14	----	Regen	----	
Wustrow	38	1014.0	14.3	0.0	W	18	----	Regenschauer	----	
Angermünde	56	1012.5	14.6	0.1	W	18	----	Regenschauer	----	
Münster/Demabr.-Fth.	49	1019.3	14.0	0.0	W	22	----	Regen	----	
Hannover-Fth.	59	1014.6	14.2	0.0	W	29	30	stark bewölkt	Windböen	
Magdeburg	76	1015.8	14.3	0.0	W	18	----	Regenschauer	Windböen	
Fulda	31	1014.6	13.0	0.0	W	29	30	Regenschauer	Windböen	
Berlin-Tegel	37	1014.1	13.3	1.7	W	18	----	Regenschauer	----	
Berlin-Tempelhof	49	1014.7	13.7	0.4	SW	29	47	----	----	
Berlin-Gatow	35	1014.0	14.3	0.0	W	18	----	Regenschauer	Windböen	
Lindenberg	99	1013.2	14.4	0.0	W	22	----	stark bewölkt	----	
Deuselzsdorf-Fth.	45	1020.1	14.9	0.0	W	22	----	stark bewölkt	----	
Karen	130	1014.6	14.3	0.0	W	14	----	----	----	
Kahler Asten	839	----	----	9.8	0.0	W	20	----	stark bewölkt	----
Bad Säckingen	137	1018.0	13.7	0.0	W	29	----	Regenschauer	----	
Flitzlar	174	1015.6	14.0	----	----	----	----	haizer	----	
Brocken	1142	----	6.1	----	----	47	68	in Wolken	Staubböen	
Leipzig-Fth.	142	1014.4	14.7	0.0	SW	11	----	Regenschauer	----	
Dresden-Fth.	227	1014.2	14.4	0.0	W	18	----	stark bewölkt	----	
Cottbus	49	1014.2	17.8	----	----	18	----	Regenschauer	----	
Cottbus	239	1014.4	13.9	0.0	W	18	----	stark bewölkt	----	
Aachen	231	1021.1	14.1	0.0	W	22	----	Bewölkt	----	
Wuppertal	495	1020.9	13.9	0.0	W	14	----	Bewölkt	----	
Köln/Bonn-Fth.	92	1020.3	17.2	0.0	W	18	----	Bewölkt	----	
Hafen/Wettberg	209	1019.7	13.4	0.0	W	22	----	----	----	
Frankfurt	321	1018.0	14.2	0.0	W	18	----	in Wolken	----	
Heinzingen	430	1018.1	14.2	0.0	W	18	----	Bewölkt	----	
Kfurt	314	1017.9	14.4	0.0	W	22	----	Bewölkt	----	
Geis	311	1017.2	14.1	0.0	W	22	----	stark bewölkt	Windböen	
Fichtelberg	1219	----	5.9	----	----	40	56	----	----	
Flitz	245	1021.1	13.8	0.0	W	11	----	haizer	----	
Hahn-Fth.	497	1020.8	12.7	0.0	W	11	----	Regenschauer	----	
Frankfurt/Fin-Fth.	112	1020.3	17.0	0.0	W	18	----	Bewölkt	----	
OF-Wetterpark	119	1020.0	14.4	0.0	W	14	----	----	----	
Würzburg	249	1019.7	13.4	0.0	SW	18	----	stark bewölkt	----	

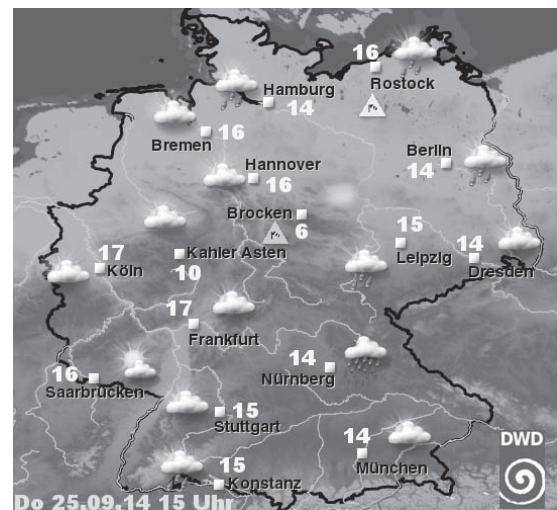


Abb. 3 und 4: Von Daten zum Datenbild. © Deutscher Wetterdienst. Der Abdruck erfolgt mit Genehmigung.

Am Beispiel der Datenassimilation aber wird deutlich, dass eine klare Grenze zwischen Daten und Theorie gar nicht gezogen werden kann. Der Wissenschaftshistoriker Paul Edwards hat in diesem Zusammenhang den Begriff „Datenbild“ geprägt:

Moderne Analyse-Modelle vermischen Daten und Theorie zu einem nahtlosen, konsistenten, umfassenden und homogenen Zahlenraster – was ich in diesem Kapitel *Datenbild* genannt habe [...]. Sie erschaffen ein Bild – ein Datenbild der Welt – das lückenlos und vollständig ist, obwohl es die Beobachtungen nicht sind. (Edwards 2010, S. 283)

Die unmittelbar anschaulich und einheitlich wirkenden Datenbilder sind also (theoriehaltige) Produkte,

die durch mathematische Übersetzungsprozesse aus lückenhaften bzw. fehlerbehafteten Beobachtungen gewonnen werden; diese Beobachtungen sind wiederum im Hinblick auf eine solche (theoretisch motivierte) Vervollständigung erhoben worden. Daten – das darf und kann ein Stochastikunterricht durchaus vermitteln – sind keineswegs so einfache Entitäten, wie es (immer noch) oft geglaubt wird.

4 Infrastrukturen

Hinter der Anschaulichkeit der Wetterkarte verbirgt sich also nicht nur jede Menge Mathematik, sondern es lässt sich auch einiges über Daten und den Umgang mit ihnen lernen: Angefangen bei der Erhebung und Aufbereitung der Messdaten, über die Modellierung des Ist-Zustandes, bis hin zur Simulation der Wettervorhersage.⁸ Zugleich aber ist die Anschaulichkeit der Wetterkarte gerade darauf angelegt, die ihr zugrundeliegende Maschinerie unsichtbar zu machen. Die Techniksoziologinnen Susan Star und Karen Ruhleder (1996) sprechen in diesem Kontext von einer „Infrastruktur“, also einer (technischen) Konfiguration, auf die bei Bedarf selbstverständlich und verlässlich zurückgegriffen werden kann. Beispiele für Infrastrukturen sind etwa das Stromnetz, der öffentliche Nah- und Fernverkehr oder das Internet, aber eben auch die Wettervorhersage:

Wettervorhersage ist heutzutage dicht in das Gewebe des Alltags eingewoben. Es handelt sich dabei um eine Infrastruktur: allgegenwärtig, zuverlässig (innerhalb gewisser Grenzen), weithin geteilt und verständlich. Man kann eine Vorhersage für jeden Ort dieser Erde erhalten. Man erhält sie beinahe überall, wo auch immer man sich gerade befinden mag, aus dem Radio, Fernsehen oder Internet. [...] man hat gelernt, wie bzw. wie sehr man sich darauf verlassen kann. Man versteht, dass es sich dabei um Wahrscheinlichkeiten und Wertebereiche handelt, nicht um Gewissheiten, und handelt dementsprechend. Wie bei fast allen Infrastrukturen beschäftigt man sich vor allem mit ihrer Funktionsweise, wenn sie versagen. (Edwards 2010, S. 431 f.)

Ohne solche Infrastrukturen ist unsere heutige Welt gar nicht mehr vorstellbar, und die Mathematik spielt dabei in vielen Fällen eine wesentliche Rolle.

Man kann sogar mit guten Gründen die Mathematik selbst als eine Wissens-Infrastruktur der modernen Gesellschaft ansehen (vgl. Edwards 2010, S. 1–25); denn wirklich ist sie vielfach anschlussfähig und steht jederzeit zur Nutzung bereit, aber bleibt unsichtbar, solange es keine Probleme gibt und alles funktioniert. Unter dieser Perspektive erscheint das Relevanz-Paradoxon gar nicht mehr als paradox, sondern erweist

sich als unmittelbare Konsequenz der Rolle, die Mathematik in unserer Gesellschaft spielt.⁹

5 Statistical Literacy

Im Lichte der vorigen Ausführungen liegt folgende Formulierung nahe: *statistical literacy* zielt darauf ab, unsere datenbasierte Wissens-Infrastruktur nach Maßgabe der je eigenen Bedürfnisse kompetent nutzen zu können. Kompetent meint in diesem Zusammenhang, ein prinzipielles Verständnis dieser Infrastruktur zu haben, und damit um ihre Reichweite und Grenzen zu wissen.

Das Beispiel der Wettervorhersage ist unter diesem Gesichtspunkt in mindestens dreifacher Hinsicht interessant. Zum Ersten wird ein realistisches Bild von Statistik vermittelt: Große Datenmengen werden unter massivem Computeraufwand verarbeitet. Zum Zweiten wird ein realistisches Verständnis von Daten angebahnt: Statt um „objektiv“ Gegebenes handelt es sich bei Daten um Mischwesen aus Beobachtung und Theorie. Zum Dritten wird ein realistisches Bild von (angewandter) Mathematik vermittelt: Ein gegebenes Problem wird – unter ökonomischen, politischen und sozialen Randbedingungen – modelliert, zunächst mit relativ naheliegenden und einfachen Standardmethoden, die dann nach und nach ausgeweitet und verfeinert werden, woraus sich schließlich ein eigenständiges Forschungsfeld entwickelt und etabliert.

Oder auf eine etwas allgemeinere Ebene gehoben: Die Wettervorhersage bietet ein alltagsnahes, spannendes und vor allem mathemathikhaltiges Beispiel, das zahlreiche Anlässe bietet, um auf einem für SchülerInnen angemessenen Niveau über Daten und deren Erhebung, über Computer-Einsatz oder ganz generell über die gesellschaftliche Rolle von Mathematik und Statistik zu sprechen.

Dass durch ein solches – im besten Sinne – Hintergrundwissen (auch) der Mathematikunterricht zu einem Ort wird, an dem man lernen kann, dass seriöse Recherche und Verstehen möglich ist, ohne die technischen Details völlig zu durchschauen, ist nur ein weiterer positiver Nebeneffekt.¹⁰

Anmerkungen

- 1 Den Anstoß, mich mit dem wunderbar vielfältigen Thema Wetter zu beschäftigen, verdanke ich Ina Dietzsch. Lutz Führer hat – wie so oft – wertvolle Details beige-steuert. Beiden danke ich herzlich.
- 2 Niss' Formulierung „Rolle der Mathematik in der Gesellschaft“ ist zugegebenermaßen sehr vage, und je nach Auslegung erscheint die Forderung dann auch als

mehr oder weniger originell. Nichtsdestotrotz bringt die Formulierung „Relevanz-Paradoxon“ eine Beobachtung begrifflich griffig auf den Punkt.

- 3 Vgl. Ullmann (2012a) und (2012b). Einschlägig zu *statistical literacy* und deren gesellschaftlicher Relevanz sind Watson (2006), Ben-Zvi & Garfield (2004) sowie Gal (2002). Nach Gal etwa bezieht sich *statistical literacy* vorrangig „auf die Fähigkeit von Personen, statistische Informationen, datenbasierte Argumente oder stochastische Phänomene, denen sie in unterschiedlichen Zusammenhängen begegnen, zu deuten und kritisch einzuschätzen“ sowie „auf ihre Fähigkeit, ihre Reaktionen auf solche statistischen Informationen zu artikulieren, wie ihr Verständnis von der Bedeutung dieser Informationen, ihre Ansichten über die Implikationen dieser Informationen, oder ihre Bedenken bezüglich der Akzeptabilität vorgegebener Schlussfolgerungen“ (Gal 2002, S. 2 f.).
- 4 Zu Details dieser spannenden Geschichte, die auch mit der Standardisierung der Zeit zusammenhängt, vgl. Edwards (2010), S. 27–59.
- 5 Eine Internetrecherche zum GOS liefert reichhaltige Funde. Einen guten Einstieg bietet etwa die entsprechende Seite der *World Meteorological Organization* (WMO) www.wmo.int/pages/prog/www/OSY/GOS.html. Allerdings gibt es kaum deutschsprachige Texte.
- 6 Zu Details über den Einzug des Computers in der Wettervorhersage vgl. Edwards (2010), S. 111–186.
- 7 So auch aktuell wieder in Eichler & Vogel (2013). Zu prinzipiellen Überlegungen, inwiefern Simulationen über klassische Vorstellungen des Modellierens hinausgehen, vgl. Sismondo (1999) und Winsberg (1999).
- 8 Lohnenswert ist auch eine Recherche zu der Frage, für wen bzw. für was Wetterberichte von Interesse sind. Um nur einige Aspekte zu nennen: für Katastrophenschutz, Landwirtschaft und Baugewerbe, bei Umwelt- und Verkehrsfragen, für den Tourismus und nicht zuletzt für die breite Öffentlichkeit.
- 9 In diesen Gedankengang passt sich die Beobachtung von Sträßer (1999) zwanglos ein, dass die Auslagerung der Mathematik in (technologische) Artefakte zu ihrer Unsichtbarkeit beiträgt.
- 10 Ein guter Ausgangspunkt für Internetrecherchen sind beispielsweise die Seiten des Deutschen Wetterdienstes www.dwd.de. Unter der Rubrik *Wir über uns* stehen zahlreiche informative und leicht verständliche Broschüren zum Download bereit (*Wie entsteht eine Wettervorhersage? Wie gut sind Wettervorhersagen?* u. v. m.), unter der Rubrik *Wetter + Warnungen* findet sich reichhaltiges Kartenmaterial, und auch im *Wetterlexikon* kann man fündig werden, etwa zur (in der Stochastikdidaktik notorischen) *Regenwahrscheinlichkeit* (vgl. Gigerenzer et al. 2005). Auch eine Google-Suche nach *Geschichte der Wettervorhersage* liefert schöne Funde.

Literatur

- Ben-Zvi, Dani & Garfield, Joan (Hrsg.) (2004): *The Challenge of Developing Statistical Literacy, Reasoning and Thinking*. Dordrecht: Kluwer.
- Bergthórsson, Páll & Döös, Bo (1955): *Numerical Weather Map Analysis*. *Tellus* VII (3), S. 329–340.
- Edwards, Paul (2010): *A Vast Machine*. MIT Press.
- Eichler, Andreas & Vogel, Markus (2013): *Daten- und Wahrscheinlichkeitsanalyse als Modellierung*. In: Borromeo Ferri, Rita et al. (Hrsg.): *Mathematisches Modellieren für Schule und Hochschule*. Wiesbaden: Springer Spektrum, S. 163–180.
- Gal, Iddo (2002): *Adult’s Statistical Literacy: Meanings, Components, Responsibilities*. *International Statistical Review* 70 (1), S. 1–51.
- Gigerenzer, Gerd et al. (2005): „A 30 % Chance of Rain Tomorrow“: *How Does the Public Understand Probabilistic Weather Forecasts?* *Risk Analysis* 25 (3), S. 623–629.
- Kalnay, Eugenia (2003): *Atmospheric modeling, data assimilation and predictability*. Cambridge: Cambridge University.
- Niss, Mogens (1994): *Mathematics in society*. In: Biehler, Rolf et al. (Hrsg.): *Didactics of mathematics as a scientific discipline*. Dordrecht: Kluwer, S. 367–378.
- Panofsky, Hans (1949): *Objective Weather-Map Analysis*. *Journal of Meteorology* 6, S. 386–392.
- Star, Susan & Ruhleder, Karen (1996): *Steps Toward an Ecology of Infrastructure*. *Information Systems Research* 7 (1), S. 111–134.
- Sismondo, Sergio (1999): *Models, Simulations, and Their Objects*. *Science in Context* 12, S. 247–260.
- Sträßer, Rudolf (1999): *Über das allmähliche Verschwinden der Mathematik aus der gesellschaftlichen Wahrnehmung*. *BzMU*, S. 528–531.
- Ullmann, Philipp (2012a): *Daten, Zufall und Empowerment*. *Stochastik in der Schule* 32 (1), S. 7–14.
- Ullmann, Philipp (2012b): *Diagramme, die uns etwas angehen*. *MU* 58 (4), S. 53–59.
- Watson, Jane (2006): *Statistical Literacy at School. Growth and Goals*. Mahwah: Erlbaum.
- Winsberg, Eric (1999): *Sanctioning Models. The Epistemology of Simulation*. *Science in Context* 12, S. 275–292.

Anschrift des Verfassers

Philipp Ullmann
Universität Frankfurt
Institut für Didaktik der Mathematik
Robert-Mayer-Str. 6–8
60325 Frankfurt
ullmann@math.uni-frankfurt.de