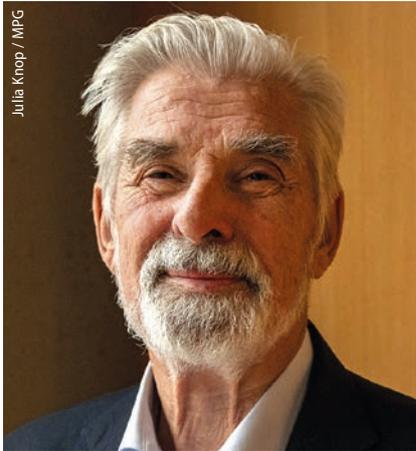


## Komplexe Systeme verstehen

Den diesjährigen Nobelpreis für Physik erhalten Klaus Hasselmann, Syukuro Manabe und Giorgio Parisi.



Julia Knop / MPG



Bengt Nyman, CC BY 2.0



Stefania Sepulcri

Klaus Hasselmann (geb. 1931 in Hamburg, links) promovierte 1957 an der Universität Göttingen und habilitierte sich 1963 an der Universität Hamburg. Nach Forschungsaufenthalten in den USA war er unter anderem in Hamburg Direktor am Max-Planck-Institut für Meteorologie (1975 bis 1999) und wissenschaftlicher Direktor am Deutschen Klimarechenzentrum (1988 bis 1999). Syukuro Manabe (geb. 1931 in Shingu, Japan) promovierte 1957 an der Universität Tokio. Anschließend ging er in die USA und entwickelte ein Klimamodell, das unter anderem die Strahlungsbilanz mit der vertikalen Bewegung von Luftmassen verknüpft. Seit 2002 wirkt er an der Princeton University als Senior Meteorologist.

Giorgio Parisi (geb. 1948 in Rom, Italien) schloss seine Doktorarbeit 1970 an der Universität La Sapienza in Rom ab. 1992 kehrte er als Professor für Quantenphysik an seine Alma Mater zurück und ist ihr bis heute als Emeritus verbunden. Ausgehend von Spinglas hat er seine Theorie zu komplexen Systemen entwickelt.

Komplexe Systeme bestehen aus vielen unterschiedlichen Teilen, die miteinander wechselwirken. Dieses Zusammenspiel zu verstehen, zu modellieren und vorherzusagen beschäftigt die Physik in verschiedenen Fachgebieten seit einigen Jahrhunderten. Dabei treten chaotische und zufällige Phänomene auf. Ein Beispiel ist das Klima auf unserer Erde. Für dessen „physikalische Modellierung, die Quantifizierung seiner Schwankungen und die verlässliche Vorhersage der Erderwärmung“ erhalten Klaus Hasselmann und Syukuro Manabe eine Hälfte des Physik-Nobelpreises 2021. Die zweite Hälfte geht an Giorgio Parisi „für die Entdeckung des Zusammenspiels von Unordnung und Fluktuationen in physikalischen Systemen von atomaren bis zu planetaren Skalen“.

Giorgio Parisi konnte mit seinen Arbeiten zeigen, dass auch hinter zufällig erscheinenden Phänomenen versteckte Regeln stecken. So gelang es ihm 1979, frustrierte Spingläser mathematisch zu beschreiben. Diese komplexen Systeme besitzen ein Gitter aus Kupferatomen, wobei einige Gitterplätze durch magnetische

Eisenatome ersetzt sind. Da in der Regel nicht alle Spins aufgrund ihrer Wechselwirkung untereinander den minimalen Energiezustand einnehmen können, ist das System frustriert. Parisi's fundamentale mathematische Beschreibung dieses Zustands lässt sich auch auf zahlreiche andere Probleme aus Physik, Mathematik und Biologie sowie Neurowissenschaften und maschinellem Lernen anwenden, in denen Frustration eine Rolle spielt. Die DPG würdigte „seine bedeutenden Beiträge in der theoretischen Elementarteilchenphysik und Quantenfeldtheorie und der statistischen Physik, insbesondere von Systemen mit eingefrorener Unordnung, vor allem Spingläser“ bereits vor zehn Jahren mit der Max-Planck-Medaille, ihrer höchsten Auszeichnung für herausragende Leistungen auf dem Gebiet der theoretischen Physik.<sup>1)</sup>

Auf den ersten Blick haben seine Untersuchungen wenig mit dem Themenbereich gemein, den Syukuro Manabe und Klaus Hasselmann erforscht haben. Aber auch unser Klima entspringt einem komplexen System. Seine Veränderungen bzw. deren Ursachen korrekt zu beschreiben, ist ent-

scheidend, um den immer deutlicheren Auswirkungen des Klimawandels in den Polarregionen der Erde und den immer häufiger auftretenden Extremwetter-Ereignissen zu begegnen. Syukuro Manabe entwickelte in den 1960er-Jahren ein physikalisches Modell des Erdklimas. Damit zeigte er, wie ein steigender Kohlendioxid-Gehalt in der Atmosphäre und höhere Oberflächentemperaturen auf der Erde zusammengehören. Außerdem untersuchte er erstmals, wie die Strahlungsbilanz und der vertikale Transport von Luftmassen zusammenhängen. Manabe arbeitete mehrere Jahrzehnte in der Abteilung General Circulation Research des U.S. Weather Bureau, dem heutigen Geophysical Fluid Dynamics Laboratory der NOAA.

Etwa zehn Jahre nach Manabe entwickelte der Klimaforscher, Meteorologe und Ozeanologe Klaus Hasselmann ein stochastisches Klimamodell. Damit konnte er beispielsweise erklären, warum sich das Klima langfristig

1) Physik Journal, August/September 2011, S. 29

2) Physikalische Blätter, Januar 1999, S. 27

vorhersagen lässt, obwohl sich das resultierende Wetter chaotisch verhält. Daneben hat Hasselmann Methoden erarbeitet, die sogenannte Fingerabdrücke im Klima identifizieren, die sich natürlichen Phänomenen oder menschlichen Aktivitäten zuordnen lassen.<sup>2)</sup> Ein Beispiel ist die Frage, ob die steigenden Temperaturen in der Atmosphäre auch auf die menschengemachten Emissionen von Kohlendioxid zurückgehen. Mit seinem Modell berechnete Hasselmann den Temperaturverlauf im vergangenen Jahrhundert: Die Ergebnisse passten

nur dann zu den gemessenen Werten, wenn er natürliche und menschengemachte Quellen in Betracht zog. Daher warnte er schon 1988: „In 30 bis 100 Jahren, je nachdem, wieviel fossiles Brennmaterial wir verbrauchen, wird auf uns eine ganz erhebliche Klimaänderung zukommen. Klimazonen werden sich verschieben, Niederschläge anders verteilen. Dann wird man nicht mehr von Zufallsergebnissen reden können.“

Mit Klaus Hasselmann wird in der Physik nach Reinhard Genzel im Vorjahr erneut ein Wissenschaftler

aus Deutschland ausgezeichnet, der an einem Institut der Max-Planck-Gesellschaft (MPG) arbeitet. Die MPG freut sich darüber hinaus mit einem der beiden Nobelpreisträger für Chemie: Benjamin List vom Max-Planck-Institut für Kohlenforschung wird gemeinsam mit David MacMillan (Princeton University) für die Entwicklung der asymmetrischen Organokatalyse ausgezeichnet.

Kerstin Sonnabend

## Die üblichen Geförderten

Der neue DFG-Förderatlas basiert auf Daten für die Jahre 2017 bis 2019 und zeigt, welche Hochschulen und Forschungseinrichtungen in Deutschland am erfolgreichsten Drittmittel eingeworben haben.

Nachdem die Universität Mainz sich in der letzten Ausgabe des DFG-Förderatlas mit den meisten eingeworbenen Drittmitteln in der Physik erstmalig an die Spitze gesetzt hatte, zeigen sich im neuesten Bericht nur geringe Verschiebungen auf den vorderen Plätzen. Anfang Oktober veröffentlichte die DFG die neunte Ausgabe des Förderatlas, der alle drei Jahre Auskunft gibt über Kennzahlen zur öffentlich finanzierten Forschung. Der aktuelle Berichtszeitraum umfasst die Jahre 2017 bis 2019.

Der Wissenschaftsbereich Naturwissenschaften verzeichnet nach den Lebenswissenschaften die höchste Summe an Drittmitteln mit erstmals über zwei Milliarden Euro. Das sind rund 21 Prozent Anteil an der Gesamtförderung durch die DFG. Knapp 87 Prozent der Mittel fließen an Projekte, die an Hochschulen durchgeführt werden; der Rest geht an die außeruniversitäre Forschung. Innerhalb der Naturwissenschaften entfällt die höchste Fördersumme auf die fünf Forschungsfelder der Physik – allein knapp 324 Millionen Euro erhielten Projekte aus der Physik der kondensierten Materie.

Führend in diesem Bereich ist die Universität Würzburg mit 18,1 Millionen Euro, gefolgt von den Universitäten in Regensburg und Köln. In Optik, Quantenoptik und Physik

der Atome, Moleküle und Plasmen liegt die Universität Hannover mit 20,3 Millionen Euro vor der Universität Hamburg und der LMU München. Mit einer Fördersumme von 32,7 Millionen dominiert die Universität Mainz das Gebiet Teilchen, Kerne und Felder – unter anderem ein Erfolg des Exzellenzclusters PRISMA<sup>+</sup>.

Mit einer Gesamtfördersumme von fast 45 Millionen Euro in der Physik liegt die Universität Mainz in der Physik an der Spitze – genau wie vor drei Jahren. Allerdings ist der Abstand zur zweitplatzierten Universität gestiegen und beträgt nun mehr als 10 Millionen Euro. Unter den 12 stärksten Universitäten gab es nur leichte Verschie-

### Bewilligungen in Physik

Hochschule	gesamt (in Mio. Euro)	davon (in Mio. Euro)				
		PKM	OPT	TKF	SND	AST
U Mainz	44,9	5,9	1,6	32,7	4,7	0,0
U Heidelberg	34,6	0,7	4,5	15,8	0,3	13,3
TU München	33,3	12,3	2,3	14,0	2,8	1,9
LMU München	32,7	4,7	11,6	4,6	4,5	7,3
U Hamburg	31,9	5,7	15,1	6,4	0,1	4,6
U Köln	27,0	14,5	0,3	1,2	0,8	10,2
U Hannover	23,7	1,7	20,3	0,9	—	0,8
U Göttingen	21,1	8,7	3,8	—	5,7	2,9
U Würzburg	19,5	18,1	—	0,8	0,3	0,3
U Regensburg	19,1	15,8	0,2	3,0	0,1	—
U Bonn	18,7	2,9	4,2	7,6	0,4	3,6
TU Berlin	18,5	13,2	0,4	—	2,0	2,9
<b>Rang 1 bis 12</b>	<b>325,0</b>	<b>104,2</b>	<b>64,3</b>	<b>87,0</b>	<b>21,7</b>	<b>47,8</b>
<b>HS gesamt</b>	<b>671,4</b>	<b>284,2</b>	<b>122,2</b>	<b>147,4</b>	<b>55,7</b>	<b>61,9</b>

Die erfolgreichsten zwölf Hochschulen in der Physik haben in den Jahren 2017 bis 2019 zusammen 325 Millionen Euro eingeworben. Die DFG-Bewilligungen sind nach Forschungsfeldern aufgeschlüsselt: PKM: Physik der kondensierten Materie, OPT: Optik, Quantenoptik und Physik der Atome, Moleküle und Plasmen, TKF: Teilchen, Kerne und Felder, SND: Statistische Physik, Weiche Materie, Biologische Physik, Nichtlineare Dynamik sowie AST: Astrophysik und Astronomie.