

V S M P
S S P M P
S S I M F

Bulletin

September 2025 – Septembre 2025 – Settembre 2025

N° 159

VISION \$ SCIENCE

ETH Zürich

22. – 24. Januar 2026



V S M P
S S P M P
S S I M F

Verein Schweizerischer Mathematik- und Physiklehrkräfte
Société Suisse des Professeurs de Mathématique et de Physique
Società Svizzera degli Insegnanti di Matematica e di Fisica

TI Bluetooth® Adapter

Der TI Bluetooth®-Adapter ermöglicht es ausgewählten Texas Instruments (TI)-Taschenrechnern, sich drahtlos mit mehreren der beliebtesten Go Direct®-Sensoren zu verbinden.

In Verbindung mit dem TI Bluetooth® Adapter können die Schüler:innen ihre Messdaten mithilfe eines TI-Rechners und selbst geschriebener Python-Programme schnell und einfach drahtlos erfassen.



Zum
Produkt



Unterstützte Go Direct® Sensoren sind:

Kraft- und Beschleunigungssensor, Licht- und Farbsensor, Bewegungsmelder, pH-Sensor, Gasdruck-Sensor, Temperatursensor



EducaTec – Systems GmbH
 Telefon +41 31 511 87 40
 info@educatec-systems.ch
 www.educatec-systems.ch

Business Office
 Grossächerstrasse 2
 8966 Oberwil-Lieli

Service Center
 Bahnhof 1
 3313 Büren zum Hof

Internet-Adressen – *Adresses Internet*

www.vsmf.ch – www.sspmp.ch – www.ssimf.ch

Titelseite – *Page de Titre*

Kongress visionScience. Artikel auf Seite 11 in dieser Ausgabe.

Bulletin N° 159

Inhaltsverzeichnis

AUS DEM VORSTAND	6
Josef Züger	
Gedanken des Präsidenten/Pensée du président/Pensieri del presidente	6
VSMP – SSPMP – SSIMF	
Generalversammlung 2025	7
Patrick Turtschy	
Comité de la SSPMP : Vice-présidence romande	8
VSMP – SSPMP – SSIMF	
Rejoindre le comité – Unisciti al comitato – Vorstandsmitglied werden	10
Kongress 2026	
visionScience	11
DEUTSCHSCHWEIZERISCHE PHYSIKKOMMISSION	16
Martin Lieberherr	
Boomless	16
Hans Peter Dreyer	
Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, Max Born und die Welle-Teilchen-Dualität der Materie	18
WISSENSCHAFTSWETTBEWERBE	22
Lara Gafner	
Die neue Astronomie-Olympiade startet durch	22
Lara Gafner	
Les nouvelles Olympiades suisses d'astronomie sont lancées	24
DEUTSCHSCHWEIZERISCHE MATHEMATIKKOMMISSION	26
Georg Keller	
Beziehung zwischen sphärischer und ebener Geometrie: Eine Ergänzung	26
Peter Gallin	
Sinus- und Cosinuskurve für die Schule	29
Anja Kuonen	
Bericht DATCH 2025	30
Clemens Pohle	
Der Känguru-Wettbewerb als Teamwettbewerb	34
DMK	
Kurs: Die Mathematik hinter Spielen und Rätseln	36
COMMISSION ROMANDE DE PHYSIQUE	37
Thomas Genoud	
Inégalité de Bell : De la Théorie à l'Expérience	37

Josef Züger
Präsident VSMP, praesident@vsmp.ch

Gedanken des Präsidenten Pensées du président Pensieri del presidente

Liebe Kolleginnen, liebe Kollegen

In den meisten Kantonen haben die Überlegungen zur Umsetzung der WEGM Fahrt aufgenommen. In einigen Kantonen sind die Grundsatzentscheidungen bereits gefallen und die Erstellung der kantonalen oder der Schullehrpläne hat begonnen. In anderen Kantonen sind die Diskussionen über die Stundentafel oder die Zusammensetzung der Schwerpunkt- und Ergänzungsfächer gestartet. Tatsache ist, dass die Reform die Lehrpersonen fordern wird, sei es in der Vorbereitung oder später in der Umsetzung.

Einen Teil zur Umsetzung möchte der Kongress visionScience, welcher im kommenden Januar in Zürich stattfinden wird, beitragen. Breit abgestützt über die MINT-Fächer Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Informatik und Geografie und in drei Landessprachen werden ausgesprochene Fachleute Inputs, schwerwichtig im Bereich der Nachhaltigkeit, geben. Das Anmeldefenster geht demnächst auf und die Anzahl Plätze ist beschränkt.

Im Vorstand des VSMP stehen in naher Zukunft Wechsel an und es wird notwendig sein, neue Kräfte in das Gremium aufzunehmen. Würde dich eine verantwortungsvolle Aufgabe im Vorstand des VSMP interessieren, dann bist du unsere Kandidatin bzw. unser Kandidat. Melde dich bei uns.

Josef Züger, Präsident VSMP – SSPMP – SSIMF



Chères collègues, chers collègues,

Dans la plupart des cantons, les réflexions sur la mise en œuvre de la EVMG ont pris de l'ampleur. Dans certains, les décisions de principe ont déjà été prises et l'élaboration des programmes scolaires cantonaux a commencé. Dans d'autres, les discussions sur l'emploi du temps ou la composition des disciplines principales et complémentaires ont commencé. Le fait est que la réforme va solliciter les enseignant·e·s, que ce soit lors de la préparation ou plus tard lors de la mise en œuvre.

Le congrès visionScience, qui se tiendra en janvier prochain à Zurich, souhaite contribuer à cette mise en

œuvre. En s'appuyant largement sur les matières MINT (mathématiques, physique, chimie, biologie, informatique et géographie) et en s'exprimant dans les trois langues nationales, des experts reconnus apporteront leur contribution, principalement dans le domaine de la durabilité. Les inscriptions ouvriront prochainement. Attention, le nombre de places est limité.

Des changements sont à prévoir prochainement au sein du comité directeur de la SSPMP et il sera nécessaire d'accueillir de nouvelles forces. Si une fonction à responsabilité au sein du comité directeur de la SSPMP t'intéresse, tu es notre candidate ou notre candidat. N'hésite pas à nous contacter.

Josef Züger, Président VSMP – SSPMP – SSIMF



Care colleghe, cari colleghi,

nella maggior parte dei cantoni le riflessioni sull'attuazione del progetto sullo Sviluppo della Maturità Liceale hanno preso slancio. In alcuni sono già state prese le decisioni di principio ed è iniziata l'elaborazione dei piani di studio cantonali o scolastici. In altri sono state avviate le discussioni sulla griglia oraria o sulla composizione disciplinare delle Opzioni specifiche e complementari. È un dato di fatto che la riforma richiederà un grande impegno da parte degli insegnanti, sia nella fase di elaborazione progettuale che successivamente in quella di attuazione.

Il congresso nazionale visionScience, che si terrà il prossimo gennaio a Zurigo, intende fornire un contributo all'attuazione. Chiamando in causa principalmente le materie MINT (matematica, fisica, chimica, biologia, informatica e geografia) e proposto nelle tre lingue nazionali, esperti di spicco forniranno contributi, soprattutto nel campo della sostenibilità. Le iscrizioni apriranno a breve e il numero di posti è limitato.

Pel prossimo futuro si prevedono diversi cambiamenti in seno al comitato della SSIMF e sarà necessario accogliere nuove forze nell'importante organo della società. Se sei interessata/o a ricoprire un incarico di responsabilità nel comitato della SSIMF, non esitare a contattarci.

Josef Züger, Presidente VSMP – SSPMP – SSIMF

Einladung zur Generalversammlung des VSMP

Invitation à l'Assemblée générale de la SSPMP

Invito all'Assemblea generale della SSIMF

Alte Kanti Aarau (AKSA)

Freitag, 28. November 2025 – *vendredi 28 novembre 2025* – venerdì 28 novembre 2025

A. Rahmenprogramm

- 14:15 – 15:30: Sammlung Kern (www.kern-aarau.ch), Schlossplatz 23, 5000 Aarau
 14h15 – 15h30: *Collection Kern* (www.kern-aarau.ch), Schlossplatz 23, 5000 Aarau
 14:15 – 15:30: Collezione Kern (www.kern-aarau.ch), Schlossplatz 23, 5000 Aarau

B. Generalversammlung 2025 – Assemblée générale 2025 – Assemblea generale 2025

Beginn – heure – orario: 17:15

Ort – lieu – luogo: siehe die Angaben in der AKSA – *voir les informations au lycée AKSA* – vedi le informazioni affisse al liceo AKSA

Traktandenliste – *Ordre du jour* – Ordine del giorno:

0. Begrüssung – *Salutations* – Saluto
1. Traktandenliste 2025, Protokoll 2024 – *Ordre du jour 2025, procès-verbal 2024* – Ordine del giorno 2025, verbale 2024
2. Jahresberichte des Vereins und der Kommissionen – *Rapports annuels de la société et des commissions* – Rapporti annuali della società e delle commissioni
3. Jahresrechnungen des Vereins und der Kommissionen 2024/25 – *Comptes annuels de la société et des commissions 2024/25* – Conti annuali della società e delle commissioni 2024/25
4. Budget 2025/26 und Mitgliederbeitrag 2026/27 – *Budget 2025/26 et cotisations 2026/27* – Preventivo 2025/26 e quota sociale 2026/27
5. Mutationen – *Mutations* – Mutazioni
6. Wahlen – *Élections* – Elezioni
7. Reglement der DMK – *Règlement de la DMK* – Regolamento della DMK
8. Anträge von Mitgliedern – *Propositions des membres* – Mozioni di membri
9. Varia – *Divers* – Eventuali

Bemerkung – *Remarque* – Commento:

- Das Protokoll der letzten GV sowie die diesjährige Einladung sind auf unserer Website vsmp.ch zu finden.
- *Le procès-verbal de la dernière AG ainsi que l'invitation de cette année se trouvent sur notre site sspmp.ch.*
- Il verbale dell'ultima AG e il presente invito si trovano sul sito ssimf.ch.

C. Gemeinsames Abendessen – *Repas du soir en commun* – Cena comune

- Im Anschluss an die GV werden wir in einem Restaurant ein gemeinsames Nachtessen einnehmen. Der Ort wird an der GV bekanntgegeben.
- *Après l'assemblée générale, nous prendrons un repas en commun dans un restaurant dont l'adresse sera communiquée lors de l'AG.*
- Dopo l'assemblea è prevista una cena comune; l'indirizzo del ristorante sarà comunicato al termine dell'AG.

Bonaduz, September 2025, Josef Züger, Präsident / *Président* / Presidente

Patrick Turttschy

Vice-président de la SSPMP, patrick.turttschy@sspmp.ch

Comité de la SSPMP : Vice-présidence romande

Après 12 ans comme vice-président de la SSPMP, je vais arrêter mon engagement à ce poste à la fin de l'année (prochaine AG). Plusieurs raisons :

Âge : depuis l'année scolaire 2018-2019, je suis retraité. Donc en partie loin de la réalité vécue aujourd'hui par les enseignant·e·s sur le terrain. L'expérience compense un peu, mais dans certains cas, cela ne suffit pas.

Renouvellement : je pense qu'il est nécessaire que des forces plus jeunes avec de nouvelles idées s'engagent dans la défense de la place des mathématiques et de la physique dans la formation des adolescent·e·s qui nous sont confié·e·s.

Statuts : selon l'article 7, alinéa 5, les mandats sont limités en principe à 12 ans, ce que je trouve bien.

Engagement d'un·e vice-président·e

Temps

Le nombre de séances du comité de la SSPMP par an est de 4 : en janvier, en mai et en septembre (week-end) et une AG qui a lieu en même temps que l'Assemblée des délégué·e·s de la SSPES.

Le ou la vice-président·e peut (doit) seconder le ou la président·e dans la représentation de la SSPMP auprès de la SSPES. Ceci à raison de maximum 4 séances par an : mars, mai (2 jours), septembre et novembre (AG des délégué·e·s).

Préparations

Qui dit séances dit également préparations :

SSPMP

Les séances du comité sont préparées par le ou la président·e (d'abord Arno, maintenant Sepp), secondé·e par le ou la secrétaire (actuellement Franz) et d'autres assesseurs comme Hansjürg. Les président·e·s des commissions préparent également leurs interventions sur les sujets qui les concernent (cours de formation continue, rédaction et édition d'ouvrage, autres sujets touchant l'enseignement des maths et de la physique). Ces séances sont donc une source indispensable d'information de ce qui se passe dans les différents gymnases des différentes régions de Suisse. Cela donne un bon aperçu de la diversité et de la richesse de l'enseignement.

SSPES

La SSPES est l'interlocuteur auprès de la CDIP et

également des différentes institutions telles que swiss-universities, la Commission Suisse de Maturité, LCH (syndicat des enseignant·e·s), la CGDS (Conférence des directeurs des gymnases de Suisse), la CEF-SG (Conférence suisse des services de l'enseignement secondaire formation générale), etc.

Les sujets abordés sont divers. Le dernier, qui a pris du temps, est la réforme de la maturité gymnasiale. Le nombre de disciplines fondamentales, le nombre de disciplines spécifiques ou complémentaires, le nombre d'heures pour chaque discipline, l'importance de chacune, le poids à l'examen, la rédaction du plan d'étude cadre, etc. sont des points traités lors des PrT (Präsidententreffen ou rencontre des président·e·s) ou lors de PrK (Präsidentenkonferenz ou conférence des présidents). La SSPES transmet ensuite nos avis à qui de droit.

Autre débat : formation continue : combien de jours par an ? Sur le temps de travail ou pendant le temps libre ? Qui finance ? Quelles sont nos demandes auprès de la CDIP, ou de la CDGS ? Auprès de chef·fe·s de service (CEFSG) ?

Qui organise ou coordonne la formation continue (ZEM-CES) ? Selon quels besoins ? Pour qui ?

Participation aux conférences « KUGU » (Konferenz Übergang Gymnasium-Universität) chargées de définir et d'étudier les modalités de passage entre le gymnase et l'université.

Temps de travail, effectifs des classes, salaires, et autres sujets à caractère syndical.

Là aussi, ces séances sont un endroit riche en information sur la politique de l'éducation au niveau gymnasiale en Suisse. Est intégrée également la formation au niveau des écoles de culture générale.

Les conférences des président·e·s (PrK) de mars et septembre ont lieu une demi-journée (mercredi après-midi) à Olten. La rencontre des président·e·s (PrT) a lieu sur 2 jours (vendredi après-midi et samedi matin) dans une ville de Suisse (cette année : Zürich).

L'AG des délégué·e·s a lieu sur une journée, le vendredi, en principe le dernier vendredi de novembre, dans une ville de Suisse.

En tant que représentant de la formation continue pour la SSPMP, je participe à 1 séance supplémentaire par an (un mercredi en fin d'après-midi, possible en ligne) avec les délégué·e·s des autres disci-

plines membres de la SSPES.

Comme toute participation à des séances, il y a des rapports à lire et des questionnaires à remplir et parfois un rapport à écrire. On peut compter en moyenne une demi-journée par séance.

Climat et ambiance

L'important dans ce genre de société est l'échange qu'on peut avoir entre nous, personnes de formation différente (uni, epf). Il n'y a pas de conflit, pas d'égo démesuré, tout se passe dans un climat de bienveillance et d'amitié, de reconnaissance du travail de l'autre et de son engagement.

Les séances de la SSPMP sont suivies ou précédées d'un repas, ce qui accroît la convivialité.

La SSPES offre une collation en fin de séances.

Et la langue ?

Chacun parle dans sa langue et j'ai toujours parlé en français. Je salue les membres suisse allemands de parler uniquement en « Hochdeutsch » quand un ou une Romand-e est présent-e.

Pour les Tessinois-e-s, c'est plus facile, ils ou elles parlent très bien 3 de nos 4 langues nationales.

Importance de la présence romande au comité de la SSPMP

La présidente de la CRM, les co-présidents de la CRP, le caissier de la SSPMP et moi-même sommes actuellement les seuls romands du comité. Il manque cependant un ou une membre chargé-e de représenter notre sensibilité Suisse de l'ouest auprès de la SSPES, en collaboration avec des représentant-e-s d'autres associations romandes.

Nous avons des choses à dire et faire connaître (par exemple l'existence de niveaux de maths au gymnase) de dire que nos cours de formation continue sont toujours complets (environ 50 participants), etc ...

A améliorer peut-être :

Il serait souhaitable que le ou la vice-président-e romand-e soit associé-e à l'une des deux commissions CRM ou CRP, sans nécessairement participer à toutes les séances.

Un intérêt pour les questions de politique éducative en Suisse est nécessaire.

La Chaux-de-Fonds, le 9 septembre 2025

Rejoindre le comité – Unisciti al comitato – Vorstandsmitglied werden

Intéressé-e par la place des mathématiques et de la physique dans la formation des étudiant·e·s des gymnases, collèges et lycée de Suisse ?

Intéressé-e par l'introduction de la nouvel maturité ?

Intéressé-e par la politique de l'éducation en Suisse ?

Envie d'échanger et de travailler avec d'autre collègues ?

Alors tu peux t'engager et exprimer ton avis en rejoignant le comité de la SSPMP !

Sei interessata/o al ruolo della matematica e della fisica nella formazione degli studenti delle scuole medie superiori in Svizzera?

Sei interessata/o all'introduzione della nuova maturità liceale?

Sei interessata/o alla politica dell'educazione in Svizzera?

Desideri scambiare idee e lavorare con altri colleghi?

Allora puoi impegnarti ed esprimere la tua opinione entrando a far parte del comitato della SSIMF!

Interessiert an der Rolle der Fächer Mathematik und Physik in der Ausbildung der Schüler:innen an den Schweizer Gymnasien?

Interessiert an der Einführung der neuen Matur?

Interessiert an der Schweizer Bildungspolitik?

Lust auf den Austausch und die Arbeit mit anderen engagierten Kolleg:innen?

Dann kannst du dich im Vorstand des VSMP engagieren und deine Meinung einbringen!

La SSPMP recherche des enseignant·e·s prêt·e·s à s'engager pour quelques séances par année pour étoffer son comité.

La SSIMF cerca insegnanti disposti a impegnarsi per alcune riunioni all'anno per rafforzare il proprio comitato.

Der VSMP sucht Lehrpersonen, die bereit sind, sich für einige Sitzungen pro Jahr zu engagieren und den Vorstand zu verstärken.

Ampleur de l'engagement / entità dell'impegno / Aufwand

- 3 demi-journées (mercredi après-midi) et un week-end par an / 3 mezze giornate (mercoledì pomeriggio) e un fine settimana all'anno / 3 Halbtage (Mittwochnachmittage) und ein Wochenende pro Jahr
Petit groupe de travail (actuellement 14 personnes) / piccolo gruppo di lavoro (attualmente 14 persone) / kleine Arbeitsgruppe (aktuell 14 Personen)
- Ambiance de travail sympathique avec des collègues venant de toute la Suisse / ambiente di lavoro piacevole con colleghi provenienti da tutta la Svizzera / sympathisches Arbeitsklima mit Kolleg:innen aus der ganzen Schweiz
- Chacun·e s'exprime dans sa langue / ognuno si esprime nella propria lingua / alle drücken sich in ihrer Sprache aus

Conditions / requisiti / Bedingungen

- être membre de la SSPMP / essere membri della SSIMF / Mitglied beim VSMP
- enseigner les mathématiques ou la physique dans un gymnase, collège ou lycée de Suisse / insegnare matematica o fisica in un liceo in Svizzera / unterrichtet Mathematik oder Physik an einem Schweizer Gymnasium

Frais de déplacements et repas payés / spese di viaggio e pasti pagati / Reisespesen, Unterkunft und Mahlzeiten werden übernommen

Il est possible d'assister à une ou deux séances pour voir si l'ambiance de travail convient.

È possibile partecipare a una o due riunioni per vedere se l'atmosfera di lavoro è congeniale.

Es ist möglich, an einer oder zwei Sitzungen teilzunehmen um zu sehen, ob die Arbeitsatmosphäre zusagt.

Tout renseignement / Ulteriori informazioni/weitere Auskünfte:

- Patrick Turtzschy (actuel vice-président): info@sspmp.ch, 079 272 05 20
- Arno Gropengiesser (membro di comitato/Vorstandsmitglied): info@ssimf.ch / info@vsmp.ch, 079 271 05 48

VISION \$ SCIENCE

Die Welt ändert sich rasant und damit unsere Wissenschaften und die Bildung.

Liebe Kolleginnen und Kollegen

Wir freuen uns, Euch zum Kongress «visionScience» vom 22. bis 24. Januar 2026 an der ETH Zürich (Hönggerberg) einzuladen. Der Kongress greift aktuelle Entwicklungen auf und stellt Visionen der Wissenschaften und der Bildung dazu vor. Die Lehrpersonen der MINT-Fächer und der Fachverbände VSMP, VSN, VSGg und SVIA haben diesbezüglich eine besondere und gemeinsame Verantwortung.

Der Kongress steht in einer Reihe von Anlässen, die etwa alle 5 Jahre stattfinden. Gerne erinnern wir an «Science-Cuisine» (2013) oder «Scientiæ&Robotica» (2018). Diese Kongresse sind stets auch Orte und Momente der Gemeinschaft sowie des Austauschs über die Fachschaften und die Sprachgrenzen hinaus.

Das hochkarätige Programm mit sechs Plenarvorträgen und etwa 50 Ateliers folgt auf den nächsten Seiten und ist aktuell auf visionsscience26.ch zu finden, wo Ihr Euch auch anmelden könnt.

Das Organisationskomitee des Kongresses «visionScience»

Le monde évolue rapidement, tout comme nos sciences et notre éducation.

Chères collègues, chers collègues

Nous avons le plaisir de vous inviter au congrès « visionScience » qui se tiendra du 22 au 24 janvier 2026 à l'ETH Zurich (Hönggerberg). Le congrès abordera les développements actuels et présentera les visions des sciences et de l'éducation à ce sujet. Les enseignants des matières MINT et les associations professionnelles SSPMP, SSPSN, ASEG et SSIE ont une responsabilité particulière et commune à cet égard.

Le congrès s'inscrit dans une série d'événements qui ont lieu environ tous les cinq ans. Nous nous souvenons avec plaisir de « Science-Cuisine » (2013) ou « Scientiæ&Robotica » (2018). Ces congrès sont toujours des lieux et des moments de rencontre et d'échange au-delà des disciplines et des frontières linguistiques.

Le programme de haut niveau, comprenant six conférences plénières et une cinquantaine d'ateliers, est présenté dans les pages suivantes et peut être consulté sur visionsscience26.ch, où vous pouvez également vous inscrire.

Le comité d'organisation du congrès « visionScience »

Il mondo sta cambiando rapidamente e con esso anche le nostre scienze e la nostra formazione.

Care colleghe e cari colleghi,

siamo lieti di invitarvi al congresso "visionScience" che si terrà dal 22 al 24 gennaio 2026 presso il Politecnico federale di Zurigo (Hönggerberg). Il congresso affronta gli sviluppi attuali e presenta le visioni delle scienze e della formazione al riguardo. Gli insegnanti delle materie MINT e delle associazioni professionali SSIMF, ASISN, ASIG e SSII hanno una responsabilità particolare e comune in questo senso.

Il congresso fa parte di una serie di simili appuntamenti che si svolgono circa ogni 5 anni. Ricordiamo volentieri "Science-Cuisine" (2013) o "Scientiæ&Robotica" (2018). Questi congressi sono sempre anche luoghi e momenti di condivisione e scambio al di là delle discipline e delle barriere linguistiche.

Il programma di alto profilo con sei relazioni plenarie e circa 50 atelier è riportato nelle pagine seguenti ed è attualmente disponibile su visionscience26.ch, dove è anche possibile registrarsi.

Il comitato organizzativo del congresso "visionScience"

VISION SCIENCE

Kongress für Mittelschullehrpersonen der MINT-Fächer
Congrès des enseignant·e·s de gymnases des matières MINT
Congresso per docenti delle scuole medie superiori delle materie MINT

22. – 24. Januar 2026 ETH Zürich (Hönggerberg)

Plenarvorträge / Conférences plénières / Conferenze plenari



Prof. Dr. Reto Knutti

Ordentlicher Professor im Departement Umweltsystemwissenschaften am Institut für Atmosphäre und Klima der ETH Zürich

Herausforderung Klimawandel

Bildquelle: ETH Zürich



Dr. Michael Hermann

Geograph und Politikwissenschaftler

Akademischer Mitarbeiter am Departement für Geografie der Universität Zürich

Geschäftsführer des Forschungsinstituts Sotomo

Wenn das Klimathema nervt – Ansätze gegen die Klimamüdigkeit

Bildquelle: M. Hermann



Prof. Dr. Antonietta Mira

Founder and director of the Data Science Lab at Università della Svizzera italiana

Data Science for Sustainability and the Sustainability of Data Science

Bildquelle: A. Mira



Prof. Dr. Christophe Ballif

Director EPFL Photovoltaics and Thin Film Electronics Laboratory. Director CSEM sustainable Energy Center, Neuchâtel

Energiewende leicht gemacht: Eine Reise zwischen Mythen und Realität, zwischen der Schweiz und China, mit einem genaueren Blick auf die Photovoltaik

Bildquelle: EPF Lausanne



Prof. Dr. Alessio Figalli

Directeur du FIM (Forschungsinstitut für Mathematik) et Professeur titulaire à l'ETH Zürich

Récipiendaire de la médaille Fields 2018

Transport optimal: de A à B ... et au-delà

Bildquelle: ETH Zürich / Giulia Marthaler



Dr. Simon Christian Stähler

Dozent am Departement Erd- und Planetenwissenschaften der ETH Zürich

Planeten verstehen, Zukunft gestalten: Die Rolle der Physik

Bildquelle: ETH Zürich



Programm

ETHZ Höggerberg

(Stand 13.9.2025, Änderungen vorbehalten)

Donnerstag, 22. Januar 2026	Freitag, 23. Januar 2026	Samstag, 14. Januar 2026
08:00-09:00 Empfang		
09:00-09:30 Begrüssungen		
09:30 – 10:30 Plenarvortrag 1 Reto Knutti (ETH Zürich) Herausforderung Klimawandel	08:30 – 09:30 Plenarvortrag 3 Antonietta Mira (Università d. Svizzera italiana) Data Science for Sustainability and the Sustainability of Data Science	09:00 – 10:00 Plenarvortrag 5 Alessio Figalli (ETH Zürich) Transport optimal : de A à B... et au-delà
Pause*	Pause*	Pause
11:00 – 11:45 Ateliers	10:00 – 10:45 Ateliers	10:45 – 11:45 Plenarvortrag 6
12:00 – 12:45 Ateliers	11:00 – 11:45 Ateliers	Simon Stähler (ETH Zürich) Planeten verstehen, Zukunft gestalten: Die Rolle der Physik
Mittagspause	Mittagspause	Kongressabschluss
14.00 – 15.00 Plenarvortrag 2 Michael Hermann (Sotomo) Wenn das Klimathema nervt – Ansätze gegen die Klimamüdigkeit	13:00 – 14:00 Plenarvortrag 4 Christophe Ballif (EPF Lausanne) Energiewende leicht gemacht: Reise zwischen Mythen und Realität, zwischen Schweiz und China, mit genauerem Blick auf die Photovoltaik	
15:15 – 16:00 Ateliers	14:15 – 15:00 Ateliers	
Pause*	Pause*	
16:30 – 17:15 Ateliers	15:30 – 16:15 Ateliers	
Abend: Sternwarte oder Kunsthaus	Abend: Kongressdinner	

Ateliers

Donnerstag, 22. Januar 2026

Ateliers **A** für **A**lle Fachrichtungen. Wenn sie einen besonderen Fachbezug haben, ist es mit einem Zusatz angegeben, z. B. **A1/B** zu **B**iologie. Bei einem fachlichen Schwerpunkt beginnt das Kürzel mit dem entsprechenden Buchstaben: **B**iologie, **C**hemie, **G**eografie, **I**nformatik, **M**athematik oder **P**hysik. Beschreibung zu den Ateliers folgen unten. **d, f, i** und **e**: Angaben zur Sprache im Atelier.

11:00 – 11:45	12:00 – 12:45	15:15 – 16:00	16:30 – 17:15
B1 f Chantal Wicky (Université de Fribourg et Association AutreSens) C. elegans, le couteau suisse des laboratoires de biologie		A2 d Ivana Oberhänsli (Science Lab Universität Zürich) Say SDGs, do what? - Ermutigender Unterricht für eine lebenswerte Zukunft Uni Irchel	
A3/I d Marc Eyer (PHBern) Epistemische KI-Tutoren im Unterricht	A3/I d Marc Eyer (PHBern) Epistemische KI -Tutoren im Unterricht	A10/M dfi Arno Gropengiesser (Liceo cantonale di Locarno, VSMP) Von Daten zum Modell für Nicht-Mathematiker	
A9/G d Seline Frei (Baukaderschule SG) Hochwasserschutz trifft Ökologie – Projekte und Tools für den Unterricht	I5 di Giovanni Serafini (ETHZ) Über Alltag, Algorithmen und Abstraktion: Eine ungewöhnliche Informatikstunde	A6/G d Leandro De Angelis (WWF Schweiz) Energiestrategie 2050	A12/C fd Klemens Koch (PHBern, Gymnasium Biel-Seeland, VSN) Batterien selber bauen - Elektrochemische Energiespeicherung verstehen
A1/B f Sofia Martin Caba (Uni FR) Le pouvoir caché du bois : science, structure et durabilité	A8/C d Hansruedi Dütsch Chemische Hintergründe von Klimaerwärmung und Energiewende	A15/C d Patrick Aschwanden (Kantonsschule Zürich Nord) Simulationen und Lernbots mit KI entwickeln	G5 i Cristian Scapoza (SUPSI) Il «ghiaccio nascosto» delle Alpi. Ripartizione e impatto del riscaldamento climatico sul permafrost
A13/C d Amadeus Bärtsch (ETHZ) Innovationen im Unterricht thematisieren	P1 d Hans Peter Dreyer Nachhaltigkeit als Ausgangspunkt und Bildungsziel bei der Erarbeitung von Grundlagen der Physik	G5 f Cristian Scapoza (SUPSI) La “glace cachée” des Alpes. Répartition et impact du réchauffement climatique sur le pergélisol	P2 fd Peter Kreuzer (UNIGE) Physique et Climat - un cours au gymnase/Physik und Klima im gymnasialen Unterricht
G4 d Tanja Jäger (ETHZ) Geologie- Hydrologie – Wetter & Klima: Unterrichtsunterlagen	M1 f Ilaria Rossinelli, Adélie Garin (EPFL) Former à penser et à agir : enseigner la durabilité à travers les mathématiques	M1 i Ilaria Rossinelli, Adélie Garin (EPFL) Educare a pensare e ad agire : insegnare la sostenibilità attraverso la matematica	I3 d Bernadette Spieler (PHZH) Was leuchtet, klingt und blinkt: Digitale Muster & Smart Wearables
I1 d Juraj Hromkovic (ETHZ) Gewinnstrategien von Spielen als Zugang zur KI	A7 d Sarah Eberz (Universität Zürich) BNE als transversaler Unterrichtsbereich	I4 f Pascal Burkhard (Lycée Denis-de-Rougemont NE) Des données à la carte : enseigner la data science avec Python	A18/C e Kent Warren (ETHZ) Gasoline from solar energy
	B3 d Cyrill Götz, Sacha Glardon (Gymnasium Bäumlhof BS) Nachweis von Wolbachia mittels PCR		

Bei 90-minütigen und auswärtigen Ateliers werden die Pausen integriert.

Ateliers

Freitag, 23. Januar 2026

Ateliers **A** für **A**lle Fachrichtungen. Wenn sie einen besonderen Fachbezug haben, ist es mit einem Zusatz angegeben, z. B. **A1/B** zu **B**iologie. Bei einem fachlichen Schwerpunkt beginnt das Kürzel mit dem entsprechenden Buchstaben: **B**iologie, **C**hemie, **G**eografie, **I**nformatik, **M**athematik oder **P**hysik. Beschreibung zu den Ateliers folgen unten. **d, f, i** und **e**: Angaben zur Sprache im Atelier.

10:00 – 10:45	11:00 – 11:45	14:15 – 15:00	15:30 – 16:15
A4 d Martina Rau (ETHZ) Visualisierungen lernwirksam einsetzen		A5/B d Bernhard Koch (Grün Stadt Zürich) Mosaiklandwirtschaft Adlisberghof	
A11/ I f Simon Verdan (Collège Rousseau GE) Physical computing : mesures physico-chimiques à l'aide d'une carte		M2 d Christof Weber (Arbeitsgruppe EDK) Basale mathematische Kompetenzen für die allgemeine Studierfähigkeit: Was ist das? Wie lassen sie sich fördern, wie prüfen?	
I6 i Francesco Mondada (EPFL) Durabilità e IA	A17/G fd Philippe Hertig, Matthias Probst (HEP Vaud/PH Bern) Matériel didactique sur l'assainissement des sites contaminés en Suisse	A17/G df Matthias Probst, Philippe Hertig (PH Bern/HEP Vaud) Lernmaterialien zu Altlastensanierungen in der Schweiz für die Sekundarstufe II	M4 id Guido Lob (CMSI) Basi di modelli con python: implementazione, visualizzazione e analisi
G1 d Eveline Braun (Tektonikarena Sardona) Sardona -Entdeckungsreise entlang der magischen Linie	B2 f Manuela Varini (Liceo de Lugano 1) Requalification de la rivière Cassarate: projet participatif	B2 i Manuela Varini (Liceo de Lugano 1) Riquilifica del Fiume Cassarate: progetto partecipativo	A12/C df Klemens Koch (PHBern, VSN) Batterien selber bauen - Elektrochemische Energiespeicherung verstehen
M3 fe Matthieu Jacquemet (HES-SO VS /Uni FR) Thématiser les émotions en sciences – l'exemple d'un escape game	G2 dfi Felix Glauser (Nagra) Entsorgung von Atom Müll: Forschung erleben	I2 f Cédric Donner (Collège du Sud) Activités interdisciplinaires en informatique	G3 d Kerstin Bircher & Gioanna Michel (ETHZ) KEEP IT CO ₂ OL Rettet uns High-Tech? ETH Zentrum
P3 f Alice Gasparini (UNIGE) Cosmologie et relativité générale au niveau gymnasial	A14/C d Samuel Heiniger (ETHZ) Saisonale Energiespeicherung mit dem Eisen-Dampf-Verfahren	P4 f Murièle Jacquier (Uni GE) Eduquer pour un avenir durable dans la formation des enseignants de sciences : Enjeux et pratiques au degré gymnasial	A16/C d Benita Heiz (VSN, Chemielehrerin) Selbstlernarchitektur: mit Fehlern als Feature
C1 d Jan Cvengros (ETHZ) Ausbildung für Chemikerinnen und Chemiker der Zukunft	M5 d Thomas Wihler (Uni Bern) Iterieren und Diskretisieren – Mathematische Schlüsselkonzepte für die quantitative Welt	P5 d Martin Lieberherr: (MNG Rämibühl ZH) Computational Physics	P6 d Michael Oettli, Wolfgang Pfalzgraf (KS Rychenberg/ BMS Winterthur, ZH) Grundkenntnisse zum Klimawandel im Physikunterricht
		A19/i d Mirko Kovacs (EPFL) Sustainability Robotics	

Bei 90-minütigen und auswärtigen Ateliers werden die Pausen integriert.

1 Einleitung

Alte weisse Männer lesen gern Zeitung. Ich bin da keine Ausnahme. Am Ostersonntag 2025 stand in der NZZ¹, dass die amerikanische Firma Boom Supersonic in einem Test demonstrierte, dass der Überschallknall eines Flugzeugs in mindestens 9200 m Höhe bei Mach 1.1 bis 1.3 den Boden nicht erreicht, weil er in der Luft einer U-förmigen Bahn folgt. Das ist das perfekte Geburtstagsgeschenk für einen Nerd und rettet mein Wochenende! Was bedeutet U-förmig? Warum maximal Mach 1.3? Warum so hoch und nicht viel höher?

Die Schallgeschwindigkeit hängt von der Temperatur ab. Die Temperatur der Atmosphäre fällt bis zur Tropopause in etwa 10 km Höhe. Da die Schallgeschwindigkeit auch abnimmt, werden Schallwellen analog dem Licht gebrochen und können aufwärts reflektiert werden. Rechnen wir ein Beispiel durch!

2 Theorie

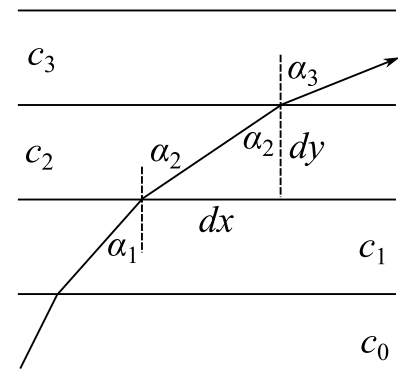
Das Brechungsgesetz gilt auch für Schall, wenn es mit der Wellengeschwindigkeit c geschrieben wird:

$$\frac{\sin \alpha}{c} = \frac{\sin \alpha_1}{c_1} = \text{const} \quad (1)$$

Die Einfallswinkel- und Brechungswinkel α bestimmen die Steigung der Schallbahn, siehe Abb. 1.

Abbildung 1: Die Atmosphäre wird in infinitesimale Schichten der Höhe dy unterteilt. Eine Schallwelle schliesst den Winkel α mit der Vertikalen ein. Die Schallgeschwindigkeit c ändert sich von Schicht zu Schicht.

$$\sin \alpha = \frac{dx}{\sqrt{dx^2 + dy^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + (dy/dx)^2}} \quad (2)$$



Die Temperatur fällt, weil aufsteigende Luftpakete adiabatisch expandiert werden. Sei T_0 die Temperatur auf Meereshöhe bei $z = 0$ und sei z die Höhe über Meer. Falls kein Wasserdampf kondensiert, gilt

$$T = T_0 - \Gamma z \quad \text{trockenadiabatischer Temperaturgradient } \Gamma \quad (3)$$

$$c_p m \Delta T + mg \Delta z = 0 \Rightarrow \Gamma = -\frac{dT}{dz} = \frac{g}{c_p} = \frac{9.80665 \text{ m/s}^2}{1005 \text{ J/(kg K)}} = 9.758 \cdot 10^{-3} \text{ K/m} \quad (4)$$

Die Schallgeschwindigkeit hängt von der Temperatur und damit von der Höhe ab. In der Höhe $z_0 = T_0/\Gamma$ erreicht die Temperatur den absoluten Nullpunkt. Setzen wir dort den Nullpunkt der vertikalen Koordinate y für die Schallbahn und orientieren die positive y -Richtung abwärts, so werden die Gleichungen einfacher:

$$T = \Gamma y \quad \wedge \quad c = \sqrt{\frac{\gamma R T}{M}} \Rightarrow \quad \frac{c}{c_0} = \sqrt{\frac{T}{T_0}} \Rightarrow \quad c = c_0 \sqrt{\frac{\Gamma y}{T_0}} \quad (5)$$

Diese Schallgeschwindigkeit (Gl. 5) und Gleichung (2) setzen wir in das Brechungsgesetz (1) ein.

$$\frac{1}{c_0 \sqrt{\Gamma y/T_0} \cdot \sqrt{1 + (dy/dx)^2}} = \frac{\sin \alpha_1}{c_0 \sqrt{\Gamma y_1/T_0}} \quad (6)$$

$$y \cdot \left(1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right) = \frac{y_1}{\sin^2 \alpha_1} \stackrel{\text{def}}{=} 2r = \text{const} \quad (7)$$

$$\frac{dy}{dx} = \pm \sqrt{\frac{2r}{y} - 1} \quad (8)$$

Gleichung (8) ist gerade die Differentialgleichung einer gewöhnlichen Zykloiden!² (Abb. 2) Der Radius r des Rollkreises wird durch die Startwerte y_1 und α_1 der ausgesandten Schallwelle bestimmt.

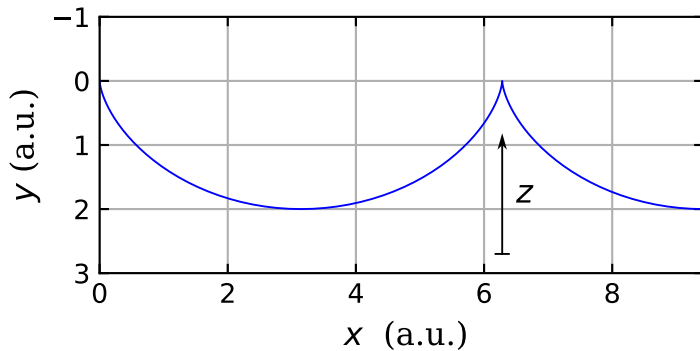


Abbildung 2: Gewöhnliche Zykloide ($r = 1$ a.u.)

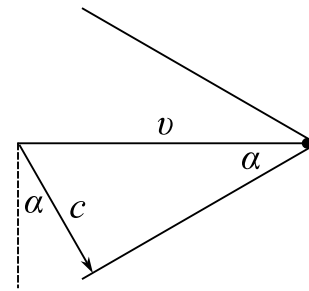


Abbildung 3: Machkegel

Typische Zahlenwerte sind $T_0 = 288$ K bei $z = 0$. Damit liegt der (virtuelle) Temperaturnullpunkt in der Stratosphäre, wo die Annahme eines konstanten Gradienten verletzt ist.

$$z_0 = \frac{T_0}{\Gamma} = \frac{288 \text{ K}}{9.758 \cdot 10^{-3} \text{ K/m}} = 29.51 \text{ km} \quad (9)$$

Nehmen wir an, dass die Schallwelle einer Zykloiden folgt. Das Minimum soll bei $z_{\min} = 0.51$ km respektive $y_{\min} = 29$ km liegen. In welche Richtung α_1 musste dann die Schallwelle bei $y_1 = 20$ km respektive Höhe $z_1 = 9.51$ km ausgesandt werden? Diese Richtung α_1 entspricht gerade dem halben Öffnungswinkel des Mach'schen Kegels, siehe Abb. 3, respektive dessen Sinus dem Kehrwert der Machzahl M . Mit Gleichung (7) folgt:

$$\frac{y_1}{\sin^2 \alpha_1} = \frac{y_{\min}}{\sin^2(\pi/2)} \rightarrow M = \frac{v}{c_1} = \frac{1}{\sin \alpha_1} = \sqrt{\frac{y_{\min}}{y_1}} = \sqrt{\frac{29 \text{ km}}{20 \text{ km}}} = 1.2 \quad (10)$$

3 Diskussion

Wenn wir wie oben annehmen, dass die strahlenoptische Näherung auch für die hohen Amplituden in einem Überschallknall gilt, gibt Rechnung die genannten Größenordnungen korrekt wieder. Im gleichen NZZ-Artikel steht, dass ein Überschallflugzeug fünf bis sieben mal mehr Treibstoff pro Passagier benötigt als konventionelle Flugzeuge. Man darf sich schon fragen, ob dieser Luxus zu Zeiten der Flugscham noch angemessen ist.

¹ A. Spaeth, "Der Knalleffekt ist weg", Neue Zürcher Zeitung, 19. April 2025, Seite 52

² <https://en.wikipedia.org/wiki/Cycloid> (Abruf am 20. April 2025)

Hans Peter Dreyer
Ebnat-Kappel, hp.dreyer@thurweb.ch

Louis de Broglie, Erwin Schrödinger, Max Born und die Welle-Teilchen-Dualität der Materie

Il faut unifier les points de vue corpusculaire et ondulatoire. (L. de Broglie, 1924)

Je mehr ich über den physikalischen Teil der Schrödingerschen Theorie nachdenke, desto abscheulicher finde ich ihn. (W. Heisenberg, 1926)

Dieses 'Gespensterfeld' bestimmt die Wahrscheinlichkeit dafür, dass ein Lichtquant einen bestimmten Weg einschlägt. (M. Born, 1926)

Die Quanten sind eine hoffnungslose Schweinerei, klagt am 21. Oktober 1921 Max Born seinem Freund Einstein. Während dieser in Berlin als «mächtiger Direktor des physikalischen Instituts der Kaiser Wilhelm Gesellschaft» ohne Lehrverpflichtung seinen Gedanken nachgehen kann, sorgt sich der von Asthma und Inflation geplagte Born in Göttingen vor dem «recht grossen Betrieb» bei Semesterbeginn. Er hat wenig Geld, zieht aber viele junge Leute an. *Pauli ist jetzt mein Assistent; er ist erstaunlich klug und kann sehr viel. Mit Pauli gehe ich daran, Quantenrechnungen über Atome zu machen.* – Die halbklassische, alte Quantenphysik steckte in einer Krise, die rückblickend gut verständlich ist. Auf der Basis eines reinen Teilchenbilds und nur mit Bohrs Korrespondenzprinzip mussten Paulis *Quantenrechnungen über Atome* ebenso scheitern, wie zuvor diejenigen zum H_2^+ -Molekül-Ion in der Doktorarbeit bei Sommerfeld in München. Zwei Wege führten aus der Sackgasse: Einerseits Louis de Broglies genialer Gedanke, die Welle-Teilchen-Dualität vom Licht auf die Materie zu übertragen, und andererseits Werner Heisenbergs radikale Forderung, den anschaulichen Bahnbezug der klassischen Mechanik zu verwerfen.

Die Quantenphysik der Materie beginnt 1906 mit Einsteins Überlegungen zur Anomalie der spezifischen Wärme des Diamanten: *Wenn wir die Träger der Wärme in festen Körpern als periodisch schwingende Gebilde ansehen (...), so dürfen wir nach der Planck'schen Theorie der Strahlung nicht erwarten, dass die spezifische Wärme stets den Wert $3R$ besitze.* Einstein berechnet die innere Energie unter der Annahme, dass die *Gebilde* nur mit hf schwingen können und erhält eine Funktion, die für hohe Temperaturen $3R$, aber für kleine Temperaturen 0 ergibt. Einstein vergleicht die Funktionskurve mit den Messwerten seines ETH-Lehrers Weber und findet: *Sie liegen tatsächlich nahezu auf der Kurve.*

Dieser Stand der Dinge veranlasst den Chemiker-Physiker Nernst im Jahr 1910 zur Aussage: ***Derzeit ist die Quantentheorie im Wesentlichen eine Rechenregel, man darf wohl sagen eine Regel mit höchst wunderlichen, ja sogar grotesken Eigenschaften. Jedoch hat sie in den Händen von Planck und Einstein so reiche Frucht getragen, dass nun die wissenschaftliche Verpflichtung besteht, zu ihr Stellung zu nehmen und sie experimenteller Prüfung zu unterwerfen.*** Die semiklassische Quantenphysik fordert für Schwingungen und Drehungen ganzer Atome in Kristallen oder Molekülen eine Quantisierung der Energie und vermag auf dieser Basis auch IR-Schwingungen einfacher Moleküle wie CO_2 einigermaßen zu erklären. Die überraschende Entdeckung des Atomkerns bringt die Dinge ins Rollen: Ist der gleiche Ansatz auch im Atominnern gültig?

Niels Bohrs postuliert in seinem Atommodell, dass das Elektron nicht strahlt und in den Kern abstürzt, wenn sein Drall ein ganzzahliges Vielfaches des Wirkungsquantum $h/2\pi$ ist. Mit dieser neuen Rolle für h kann er nicht nur die Stabilität der Atome begründen, sondern auch Grösse und die in den Spektren abgebildeten Energiestufen des Wasserstoff-Atoms ausrechnen. Einstein, 1913 Professor an der ETH, zeigt sich begeistert darüber, dass die Atomgrösse, mit der er sich vor Jahren beschäftigt hat, nun auf fundamentale Konstanten, wie Elektronenladung und -masse zurückgeführt ist. Max von Laue und Otto Stern hingegen, die damals ebenfalls in Zürich wirken und gemeinsam wandern, leisten den «Üetli[berg]-Schwur»: Sie würden die Physik an den Nagel hängen, sollte sich das verrückte Modell als zutreffend herausstellen. In der Tat hat Bohrs Modell Schwächen. Z. B. wäre Wasserstoff scheibenförmig und hätte im Grundzustand einen Drall.

Schon bevor deutlich wird, dass mit dem Modell weder das Heliumatom noch der Magnetismus verstanden werden können, zweifelt Bohrs Mentor in Manchester am Mix von klassischer Planeten-Mechanik und modernem Wirkungsquantum h . Am 20. März 1913 schreibt Rutherford: *I have received your paper safely and read it with great interest, but I want to look it over again (...). Your ideas as to the origin of the spectrum of hydrogen are very ingenious, and seem to work out well; but the mixture of Planck's ideas with the old mechanics makes it very difficult to form a physical idea of what is the basis of it.* Beispielsweise müssten die beobachteten Spektrallinien den Übergängen zwischen bestimmten Bahnen entsprechen. [But] *there appears to me one grave difficulty in your hypothesis (...). How does an electron decide what frequency it is going to vibrate? [And] you have to assume that the electron knows beforehand where it is going to stop.* Schon früh ist also klar, dass mit einem rein klassischen Teilchen-Elektron das Verhalten der Atome nicht richtig verstanden werden kann. Elliptische Bahnen und andere Raffinessen bringen keine endgültige Lösung. Damit die Quantenphysik auch das Atominnere korrekt zu beschreiben vermag, braucht es revolutionäre Ideen.

Prince Louis-Victor de Broglie überlebt das Gemetzel des ersten Weltkriegs als Funker auf dem Eiffelturm. Für die Dissertation arbeitet er nicht experimentell im Privatlabor seines Bruders Maurice, sondern theoretisch, speziell mit den Unterlagen der Solvay-Konferenzen. Dabei entwickelt er eine Idee: Wenn Energie in Form von Licht Teilchen- und Wellenaspekt zeigt, sollte das auch für Energie in der Form von Elektronen der Fall sein.



L. de Broglie

Die Welle-Teilchen-Dualität vom Licht auf die Materie erweiternd, stellt Louis de Broglie ein Programm auf: [Il faut] *unifier les points de vue corpusculaire et ondulatoire et approfondir un peu le sens véritable des quanta.* Für seine kühne Vermutung gibt er eine theoretische Rechtfertigung der Art: «So wie die Wellenoptik umfassender ist als die Strahlenoptik, so muss eine neue Wellenmechanik umfassender sein als die alte Mechanik.»

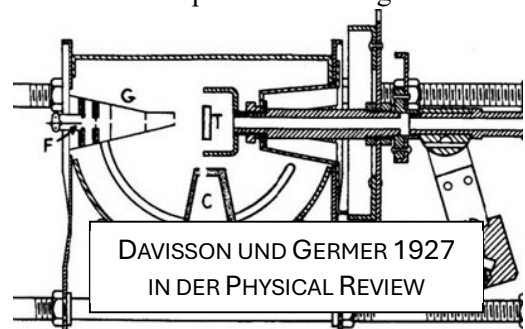
«Nach langem, einsamem Nachdenken» kommt de Broglie zur genialen, revolutionären, vollkommen kontraintuitiven, Schlussfolgerung: ***À toute particule matérielle de masse m et de vitesse v doit être associée une onde réelle.*** Zur Berechnung der Länge dieser

onde réelle stützt sich de Broglie auf die in der Mittelschule unzugängliche Hamiltonsche Mechanik und die Relativitätstheorie. Im Gymnasium kann eine Analogie mit dem Licht weiterhelfen. Für elektromagnetische Strahlung γ gilt: $p_\gamma = E_\gamma/c = hf_\gamma/c = h/\lambda_\gamma$. $\Leftrightarrow \lambda_\gamma = h/p_\gamma$. Mit de Broglie nimmt man an, was fürs Licht zutrifft, gelte auch für Quantenobjekte mit Ruhemasse: $\lambda_{\text{de Broglie}} = h/p$: links Wellenaspekt, rechts Teilchenaspekt. Das ist natürlich keine Herleitung. Doch eine solche kann es für die mathematische Form der grundlegend neuen Idee auch nicht geben. Den Experten, die de Broglies Dissertation beurteilen müssen, ist die Sache nicht ganz geheuer, so dass sie Einstein zu Rate ziehen. Dieser kennt Maurice de Broglie, den älteren Bruder, von den Solvay-Kongressen und berichtet nach der Lektüre dem von ihm hoch geschätzten H. A. Lorentz nach Leyden: *Der junge de Broglie hat einen sehr interessanten Versuch zur Deutung der Bohr-Sommerfeldschen Quantenregel unternommen. (...) Ich habe einiges gefunden, was für seine Konstruktion spricht.*

Als Begründung für *seine Konstruktion* kann Louis de Broglie 1924 nur angeben, dass in stabilen Zuständen des H-Atoms die *onde associée* des Elektrons auf dem Umfang $2\pi r$ eine ganze Anzahl n von Wellenlängen besitzen müsse: $n\lambda_{\text{dB}} = nh/p$. Daraus ergibt sich die *Bohr-Sommerfeldsche Quantenregel* $rp = nh/2\pi$. In der Zusammenfassung seiner Dissertation folgert de Broglie: *Nous avons montré qu'elles [les lois de stabilité des trajectoires] peuvent s'interpréter comme exprimant la résonnance de l'onde de phase.* Von der Welle, die das Elektron «begleitet», ist nur die Phase und zusätzlich ihre Wellenlänge von Bedeutung.

Mit der abgebildeten Apparatur können C. Davisson und L. Germer drei Jahre später die Richtigkeit von de Broglies Spekulation bestätigen: Ein Gewehr G schiesst Elektronen von etwa 50 eV auf einen Nickelkristall T. Die gestreuten Elektronen werden vom Kollektor C aufgefangen, der unter verschiedenen Winkeln Maxima und Minima misst. Die Datenauswertung zeigt teilweise Analogie zur Bestrahlung von Ni mit der wellenartigen Röntgenstrahlung, also zeigen sich Elektronen hier auch wellenartig.

Die ganze Geschichte ist viel komplizierter. Davisson versuchte seit Jahren im Bell-Lab die Lebensdauer von Radoröhren mit Nickel-Anoden zu verlängern und betrachtete deshalb mit verschiedenen Mitarbeitern den Aufprallprozess. Trotz mässigem Erfolg publizierte er Daten. Im Sommer 1926

DAVISSON UND GERMER 1927
IN DER PHYSICAL REVIEW

kombiniert er seine Hochzeitsreise mit der Teilnahme am *Oxford meeting of the British Association for the Advancement of Science*. Dort hört er einen Vortrag von Max Born über die neuesten Entwicklungen der Quantenmechanik und sieht überrascht, wie seine unbefriedigenden Messwerte als Beleg für die ihm vorher nicht bekannten de Broglie-Wellen dienen. Zurück in New Jersey perfektioniert er seine Messungen derart, dass Skeptiker überzeugt werden. Das bringt ihm – aber nicht den Mitarbeitern – einen Nobelpreis ein. Das Geschehen illustriert, dass man nur finden kann, was man sucht, und dass «fake history» suggeriert wird, wenn in Lehrbüchern zuerst Davissons Experiment und erst anschliessend de Broglies Idee vorgestellt wird.

Offensichtlich ist der schriftliche und mündliche Gedankenaustausch wesentlich für die Entwicklung der Wissenschaft. Einstein ist ein wichtiger Knoten in diesem Beziehungsnetz, daher ein Einschub mit Bezug zum Gymnasium: Der Quereinsteiger Albert *hat grosse Lücken* in Französisch, vermerkt das Protokoll, als er in der Kantonsschule Aarau zugelassen wird. Trotz gutem Fleiss bringt er es an der Matura mit seinem Aufsatz *Mes projets d'avenir* nur auf die ungenügende Note 3. Er kündigt allerdings korrekt an: *Je m' imagine de devenir professeur dans ces branches* [les mathématiques et la physique]. In Deutschland ist er nach der Niederlage und dem Zusammenbruch des Kaiserreichs einer der wenigen Physiker, die Kontakte zum Erzfeind pflegen und de Broglies Arbeit im Original lesen. Diese Lektüre regt ihn 1924 an zur zweiteiligen Arbeit *Über die Quantentheorie des einatomigen idealen Gases*, also von ungeladenen Quantenobjekten mit Ruhemasse. Darin untersucht er wieder Schwingungserscheinungen und findet als Ergebnis gleich wie beim Licht einen Term mit zwei Summanden. *Der erste wäre allein vorhanden, wenn die Moleküle* [Quantenobjekte] *voneinander unabhängig wären*, wie es die klassische Physik voraussetzt. Dazu kommt ein zweiter Anteil. *Man kann ihn in entsprechender Weise deuten, indem man dem Gase einen Strahlungsvorgang zuordnet und dessen Interferenzschwankungen berechnet. Ich gehe näher auf diese Deutung* [Materie zeigt sowohl Teilchen- als auch Wellenaspekt] *ein, weil ich glaube, dass es sich um mehr als um eine blosser Analogie handelt*. Wie man den *Strahlungsvorgang zuordne*, habe L. de Broglie *in einer sehr beachtenswerten Schrift dargetan*. In der gleichen Arbeit sagt Einstein das Phänomen voraus, das später Bose-Einstein-Kondensat heisst: *Es wird sich ein nicht unerheblicher Quanteneinfluss auf die Zustandsgleichung bemerkbar machen*. Erst siebzig Jahre später kann dieser *nicht unerhebliche Quanteneinfluss* experimentell nachgewiesen werden.

Sofort wirkt sich hingegen aus, dass Einstein und Erwin Schrödinger, ein Nachfolger auf dem Lehrstuhl an der Universität Zürich, sich über den Wellenaspekt der Materie austauschen. Schrödinger nimmt das Thema auf und findet, dass man die *de Broglie-Einstein'sche Wellentheorie von bewegten Körpern ernst* nehmen soll. Er tut dies ab Januar 1926 in der Artikelserie *Quantisierung als Eigenwertproblem*. Für Gymnasiastinnen und Gymnasiasten könnte man das übersetzen in: «Bestimmung der Energiewerte von gebundenen Systemen mit Hilfe von abstrakten ψ -Wellen-Schwingungen, die einer neuartigen Gleichung mit h gehorchen.» Das abstrakte ψ bezeichnet Schrödinger bloss als *Feldskalar* – eine skalare Grösse, die im ganzen Raum und nicht nur am Ort des Objekts eine Rolle spielt. Dann stürzt er sich aufs H-Atom und klagt: *Wenn ich nur mehr Mathematik könnte*. Sein Kollege Hermann Weyl hilft ihm mit den Kugelfunktionen, so dass er Bohrs Energieniveaus auf eine neue Art begründen kann. Was das ominöse ψ bedeuten soll, fragen alle Kollegen, unter anderen



E. Schrödinger

Erich Hückl mit dem abgedruckten Gedicht. Auch die Geheimräte Planck und Sommerfeld erkundigen sich sofort. Schrödinger muss zugeben, dass er es nicht genau weiss. Er antwortet am 26. Februar nach Berlin: *Hochverehrter Herr Geheimrat Planck*. (...) *Ich meine selbstverständlich nicht, dass nun alles wieder mit Mechanik zu erklären sei, dass etwa jene ψ -Schwingungen Massenschwingungen im Sinne der gewöhnlichen Mechanik sind. Im Gegenteil: sie oder etwas ihnen Ähnliches scheint aller Mechanik und Elektrodynamik zugrunde zu liegen*.

Schrödinger stellt sich anfänglich vor, dass die Ladung der Elektronen gar nicht lokalisiert, sondern gemäss ψ vollkommen im Raum verteilt ist. Diese konkrete, aber nicht experimentell überprüfbare Vorstellung ist es, die Heisenberg in einem Brief an Pauli zur Formulierung verleitet: *Je mehr ich über den physikalischen Teil der Schrödingerschen Theorie nachdenke, desto abscheulicher finde ich ihn*.

Heute ist klar: *Jene ψ -Schwingungen* bilden eine neue Grundlage der Mechanik für Elektronen, Atome, Moleküle, Kristalle und sogar Fussbälle. Bei diesem ist aber λ_{dB} nur rund 10^{-36} m, so dass die neue mit der klassischen Mechanik zusammenfällt. *Was man sich dabei vorstell'n soll*, wird hingegen heute noch diskutiert.

Gar Manches rechnet Erwin schon
Mit seiner Wellenfunktion.
Nur wissen möcht' man gerne wohl
Was man sich dabei vorstell'n soll.

Im Gymnasium ist etwa zur Diskussion von Schrödingers Katze der Zustandsbegriff wichtiger als die allgemeine Schrödinger-Gleichung. Eine partielle Differenzialgleichung in einem mehrdimensionalen, komplexen Raum ist nicht zugänglich. Hingegen treffen die Lernenden stehende ψ -Wellen als Orbitale im Chemieunterricht an. Nach Absprache ist es erlaubt, auch im Physikunterricht den 1s-Zustand zu diskutieren. Die Funktion $\psi_1(r) = C_1 \cdot e^{-r/a}$ kann nicht hergeleitet, wohl aber diskutiert werden: Das H-Atom erstreckt sich ins Unendliche; der Bohr'sche Radius a ist die charakteristische «Zerfallsgrösse». Das Elektron ist auch im Kern anzutreffen; die Punktsymmetrie zeigt, dass im Grundzustand kein Drall zur Stabilität nötig ist. Intuitiv kann die Stabilität als Gleichgewicht zwischen dem durch die teilchenartige Ladung verursachten Trend nach Innen und dem durch die wellenartige Masse verursachten Trend nach aussen veranschaulicht werden. Auch ohne Schrödinger-Gleichung leuchten Sinuswellen für das Quantenobjekt im unendlich tiefen Potentialtopf mit der Breite b ein. Sie liefern das diskrete Energiespektrum mit $E_0 > 0$, lassen sich mit dem Quantum-Dot verbinden und erlauben mit $b \rightarrow \infty$ den Übergang zum freien Objekt.

Max Borns Institut in Göttingen ist auch im Sommer 1926 quantenphysikalisch aktiv. Vor einem Jahr ist hier Heisenbergs Idee zur Matrizenmechanik perfektioniert worden. Über sie schrieb Einstein an Ehrenfest: *Heisenberg hat ein grosses Quantenei gelegt. In Göttingen glauben sie daran. Ich nicht.* Mittlerweile ist klar, dass Schrödingers und Heisenbergs Quantenmechanik gleichwertig sind. Nun publiziert Born allein einen Artikel: *Die Stossvorgänge haben nicht nur die überzeugendsten experimentellen Beweise für die Grundannahmen der Quantentheorie geliefert, sondern scheinen auch geeignet, Aufklärung zu geben über die physikalische Bedeutung der sogenannten 'Quantenmechanik'.* Damit prägt er den neuen Begriff und führt folgendermassen die Wahrscheinlichkeit in die Quantenphysik ein: Heisenberg, Jordan und er hätten zuerst die Auffassung vertreten, dass *eine exakte Darstellung der Vorgänge in Raum und Zeit überhaupt unmöglich sei.* (...) *Schrödinger auf der anderen Seite scheint den ψ -Wellen eine Realität von der selben Art zuzuschreiben, wie sie Lichtwellen besitzen.* (...) *Keine dieser beiden Auffassungen scheint mir befriedigend.* Ich [Born] möchte versuchen, hier eine dritte Interpretation zu geben und ihre Brauchbarkeit an den Stossvorgängen zu erproben. Dabei knüpfe ich an eine Bemerkung Einsteins über das Verhältnis von [elektromagnetischem] Wellenfeld und Lichtquanten an. (...) **Dieses 'Gespensterfeld' bestimmt die Wahrscheinlichkeit** [Hervorhebung HPD] dafür, dass ein Lichtquant (...) einen bestimmten Weg einschlägt. (...) Bei der vollständigen Analogie [Welle-Teilchen-Dualität] zwischen Lichtquant und Elektron wird man die Gesetze der Elektronenbewegung in ähnlicher Weise formulieren. Und hier liegt es nahe, die DE BROGLIE-SCHRÖDINGERschen Wellen als das «Gespensterfeld» oder besser «Führungsfeld» anzusehen. Diese dritte Interpretation schreiben wir heute für reelle ψ als $w(x) = \psi^2$ und folgern, dass man sich eine Wahrscheinlichkeitsdichte $w(x)$ vorstell'n soll, eine Verteilung wie z. B. für Grippeviren. Daraus ergibt sich, dass reell-wertige ψ die sehr unanschauliche Dimension einer Wurzel aus Wahrscheinlichkeitsdichte besitzen.



E. SCHRÖDINGER, L. DE BROGLIE UND M. BORN AM 5. SOLVAY-KONGRESS, BRUXELLES 1927.
PAULI UND HEISENBERG STEHEN HINTER IHREM FÖRDERER BORN, BOHR SITZT NEBEN IHM.

Eine Skizze der historischen Entwicklung der Quantenmechanik mag Fachleute weniger überzeugen als eine Axiomatik im Hilbertraum. Aber nur die Menschen und ihre Interaktionen stimulieren bei Gymnasiastinnen und Gymnasiasten das Interesse für derart abstrakte Erkenntnisse. Manchmal vermögen Geschichten sogar grundlegende Einsichten zu wecken: *Es überraschte mich, dass die Physik im Grunde nicht einfach schon da ist, sondern von Menschen erarbeitet wird,* schreibt Thea aus dem Schwerpunkt Musik im 11. Schuljahr nach der Beschäftigung mit Quantenphysik.

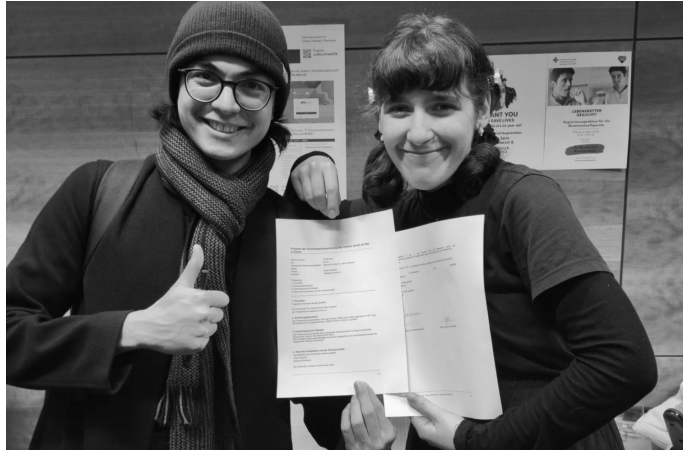
Lara Gafner

Wissenschafts-Olympiade, l.gafner@olympiad.ch

Die neue Astronomie-Olympiade startet durch

Die Astronomie-Olympiade ist das neueste Mitglied des Dachverbands Wissenschafts-Olympiade.

Gegründet wurde sie von Studierenden und ehemaligen Teilnehmenden der Physik-Olympiade mit dem Ziel, Schweizer Jugendliche für Astronomie zu begeistern und ihnen die Teilnahme an der International Olympiad on Astronomy and Astrophysics (IOAA) zu ermöglichen. "Ich habe an der Universität Bern Astrophysik studiert und jemanden getroffen, der als Jugendlicher an der IOAA teilgenommen hat", erzählt die Gründerin Jehan Alsawaf. Zu ihrem Erstaunen fand sie heraus, dass die Schweiz an diesem Wettbewerb noch nie vertreten war, obwohl das Land bereits jährlich Delegationen an Internationale Wissenschafts-Olympiaden in 10 anderen Fächern schickte.



Wir verzichten an dieser Stelle ausnahmsweise auf News über die Mathematik- und Physik-Olympiaden, um Sie über die neue Astronomie-Olympiade zu informieren. Die Resultate der internationalen Wettbewerbe in Mathematik und Physik können Sie auf mathematical.olympiad.ch und physics.olympiad.ch nachlesen. Dort finden Sie auch Informationen zur Teilnahme im Schuljahr 2025/2026, die in beiden Fächern **bis zum 30. September** möglich ist.

Erfolgreiche erste Teilnahme in Brasilien

Im August 2024 war es dann soweit: Die Schweiz nahm zum ersten Mal an der IOAA teil, mit den Teilnehmenden Ferdinand Ornskov (Kantonsschule Zug, ZG), Valentine Thürler (Collège du Sud, FR) und Luis Gördes (Stiftsschule Engelberg, OW). Der Wettbewerb fand in Brasilien statt, wo das Team sogar vom Schweizerischen Generalkonsulat in Rio de Janeiro willkommen geheissen wurde.



Valentine Thürler gehörte ausserdem mit Teilnehmenden aus anderen Ländern zur Gruppe, das den Teamwettbewerb gewann, der an der IOAA neben dem Einzelwettkampf auf dem Programm steht.

Der Weg an die IOAA 2025 in Indien

Nach der ersten Teilnahme machte sich die Schweizer Astronomie-Olympiade daran, ihren nationalen Wettbewerb aufzubauen. Dabei wird sie vom SBFJ, der Gebauer Stiftung und IDEA Helvetia finanziell unterstützt. Am Online-Test der ersten Runde im Januar 2025 nahmen 62 Mittelschülerinnen und Mittelschüler teil. Am 19. April gab es einen Hackathon an der ETH Zürich, bei dem die Teilnehmenden Poster zu astronomischen Themen gestalteten. Der Preis für das beste Poster ging an Elisa Bisig (Liceo Cantonale di Locarno, TI) und Nathan Bernard (Lycée Collège de Saint Maurice, FR).

Das Finale fand am 11. Mai statt, online und an der Universität Bern, wo die Teilnehmenden von einer Führung durch Thibaut Roger vom Center for Space and Habitability profitierten. Drei Schüler haben am ersten Finale der Schweizer Astronomie-Olympiade Gold und Tickets an die IOAA 2025 gewonnen, die vom 11. bis 21. August 2025 in Mumbai stattfindet: Mikhail Dudko (Gymnasium Lerbermatt, BE), Pranavendra Tammireddy (Gymnase de Burie, VD) und David Reichmuth (Kantonsschule Alpenquai, LU). Ausserdem ging eine Silbermedaille an Leonhard Mayer (Liechtensteinisches Gymnasium, FL) und eine Bronzemedaille an Seraina Maag (Kantonsschule Wettingen, AG).



Wer kann an der Astronomie-Olympiade teilnehmen?

Der Wettbewerb ist offen für alle, die eine Schweizer Mittelschule besuchen. Da Astronomie kein reguläres Schulfach ist, soll die erste Runde möglichst wenig Vorwissen voraussetzen, sondern eher Problemlösefähigkeiten anhand von Beispielen aus der Astronomie testen. Im Finale seien dann gute Physikkenntnisse und Wissen über andere Naturwissenschaften von Vorteil, so der Verein. Anders als die Physik-Olympiade, die seit den 1990ern junge Talente in ihrem Fach fördert, verfolge die Astronomie-Olympiade nämlich aktiv einen interdisziplinären Ansatz. Aufgaben über Datenanalysen oder die Atmosphären von Planeten beziehen Informatik oder Biochemie mit ein. Daher sind Lehrpersonen aller naturwissenschaftlichen Fächer eingeladen, interessierte Jugendliche auf den Wettbewerb hinzuweisen. Wir bitten alle interessierten Lehrpersonen, auf science.olympiad.ch/lehrpersonen den Schulversand für das Fach Astronomie zu abonnieren, um über den Start des Wettbewerbs informiert zu werden. Die erste Runde für das Schuljahr 2025/2026 wird vom **27.10. bis 30.11.2025** verfügbar sein.



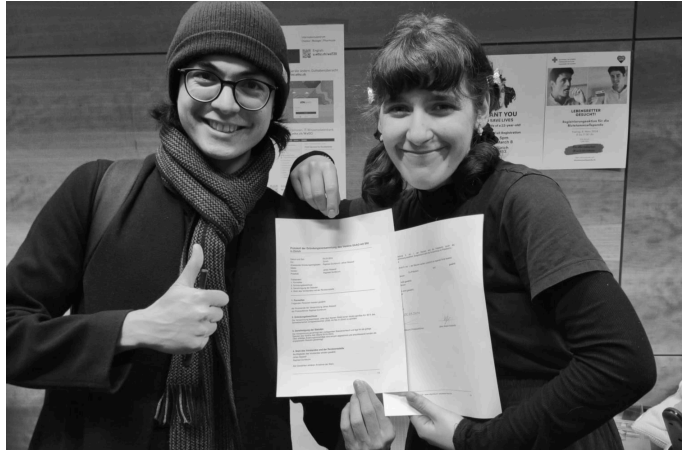
Lara Gafner

Wissenschafts-Olympiade, l.gafner@olympiad.ch

Les nouvelles Olympiades suisses d'astronomie sont lancées

Les Olympiades d'astronomie sont le membre le plus jeune de l'association faîtière des Olympiades de la science.

Elles ont été fondées par des étudiant-e-s et des ancien-ne-s participant-e-s d'autres olympiades de la Science dans le but d'enthousiasmer les jeunes suisses pour l'astronomie et de leur permettre de participer aux Olympiades internationales d'astronomie et d'astrophysique (IOAA). "J'ai étudié l'astrophysique à l'Université de Berne et rencontré quelqu'un qui avait été aux IOAA dans sa jeunesse", raconte la fondatrice Jehan Alsawaf. A son grand étonnement, elle a découvert que la Suisse n'avait encore jamais participé à ce concours, alors que le pays envoie des délégations aux Olympiades internationales de la science dans dix autres branches.



Nous renonçons exceptionnellement ici aux nouvelles concernant les Olympiades de mathématiques et de physique afin de vous informer sur les nouvelles Olympiades d'astronomie. Vous pouvez consulter les résultats des concours internationaux de mathématiques et de physique sur mathematical.olympiad.ch et physics.olympiad.ch. Vous y trouverez également des informations sur la participation pour l'année scolaire 2025/2026, qui est possible dans les deux disciplines **jusqu'au 30 septembre**.

Une première participation réussie au Brésil

En août 2024, une nouvelle ère était lancée: la Suisse était pour la première fois présente aux IOAA, avec les participant-e-s Ferdinand Ornskov (Kantonsschule Zug, ZG), Valentine Thürler (Collège du Sud, FR) et Luis Gördes (Stiftsschule Engelberg, OW). Le concours se déroulait au Brésil, où l'équipe avait même été accueillie par le consulat général de Suisse à Rio de Janeiro.



Valentine Thürler avait en outre été membre du groupe de participant-e-s d'autres pays ayant gagné le concours par équipe, organisé en plus du concours individuel.

En route pour les IOAA 2025

Après sa première participation, les Olympiades suisses d'astronomie ont œuvré à mettre en place leur concours national, avec le soutien financier du SEFRI, de la Gebauer Stiftung et d'IDEA Helvetia. Le test en ligne du premier tour mené en janvier 2025 avait attiré 62 élèves d'école secondaire. Un hackathon s'était ensuite tenu le 19 avril à l'EPF de Zurich, durant lequel les participant-e-s avaient créé des posters sur des thèmes issus du domaine de l'astronomie. Le prix du meilleur poster avait été remis à Elisa Bisig (Liceo Cantonale di Locarno, TI) et à Nathan Bernard (Lycée Collège de Saint Maurice, FR).

La finale a eu lieu le 11 mai en ligne et à l'Université de Berne, où les participants ont visité le Center for Space and Habitability sous la conduite de Thibaut Roger. Trois élèves ont remporté l'or à la première finale des Olympiades suisses d'astronomie et décroché un billet pour les IOAA 2025, qui ont lieu à Mumbai du 11 au 21 août : Mikhail Dudko (Gymnasium Lerbermatt, BE), Pranavendra Tammireddy (Gymnase de Burie, VD) et David Reichmuth (Kantonsschule Alpenquai, LU). Par ailleurs, une médaille d'argent a été remise à Leonhard Mayer (Liechtensteinisches Gymnasium, FL) et une de bronze à Seraina Maag (Kantonsschule Wettingen, AG).



Qui peut participer aux Olympiades d'astronomie?

Le concours est ouvert à l'ensemble des élèves d'école secondaire. L'astronomie n'étant pas une matière scolaire régulière, le premier tour doit exiger le moins de connaissances préalables possible et plutôt tester les capacités de résolution de problèmes à l'aide d'exemples tirés de l'astronomie. Pour la finale, de bonnes connaissances en physique et dans d'autres sciences naturelles constituent un avantage, selon l'association. Contrairement aux Olympiades de physique qui encouragent les jeunes talents de la branche depuis les années 1990, les Olympiades d'astronomie poursuivent activement une approche interdisciplinaire. Les épreuves portant sur l'analyse de données ou l'atmosphère des planètes requièrent des connaissances en informatique ou en biochimie. C'est pourquoi les enseignant-e-s de toutes les branches des sciences naturelles sont invité-e-s à faire connaître le concours auprès des jeunes intéressé-e-s. Nous demandons à tous les enseignants intéressés de s'abonner à l'envoi scolaire pour l'astronomie sur science.olympiad.ch/fr/enseignantes afin d'être informés du lancement du concours. Le premier tour pour l'année scolaire 2025/2026 sera disponible du **27.10. au 30.11.2025.**



Georg Keller
Kantonsschule Schaffhausen, georg.keller@shinternet.ch

Beziehung zwischen sphärischer und ebener Geometrie: Eine Ergänzung

Einleitung

Im Schwerpunktfach „Anwendungen der Mathematik“ behandle ich u.a. einige attraktive Aspekte der Kugelgeometrie. Allgemein gesagt, geht es mir dabei um ein für die meisten Schülerinnen und Schüler anspruchsvolles Training des räumlichen Vorstellungsvermögens, um eine Weiterentwicklung der aus der ebenen Geometrie bekannten mathematischen Methoden (z.B. sphärische Trigonometrie) und um eine Verbesserung des mathematischen und mathematikhistorischen Grundverständnisses (z.B. nichteuklidische Geometrie). Zu Beginn des Kugelgeometrie-Unterrichtes verwenden wir konstruktive / darstellend-geometrische Methoden, danach rechnerische / sphärisch-trigonometrische. Die im Unterricht thematisierten Anwendungsaufgaben stehen häufig in Zusammenhang mit Routenproblemen auf der idealisierten Erdkugel.

Weil die Oberfläche einer Kugel, deren Radius r grösser und grösser wird, lokal immer ebener wird, wird die Kugelgeometrie im Grenzfall $r \rightarrow \infty$ Aussagen über die ebene Geometrie machen. Spannend ist es herauszufinden, welches diese Aussagen, insbesondere diejenigen der sphärischen Trigonometrie, sind. Das dazu gewählte Vorgehen überraschte nicht nur meine Schüler, sondern auch meine Fachschaftskollegen, denn offenbar waren ihnen die entsprechenden Überlegungen unbekannt. Weil es vielleicht Bulletinleserinnen oder -leser gibt, denen es ebenso geht, werden im Rest dieses Beitrags in unterrichtsorientierter Weise diese Überlegungen vorgestellt.

Sphärische Trigonometrie: Berechnungsformeln

Auf einer Kugel mit Radius r betrachten wir ein sphärisches Dreieck ABC mit Seiten a, b, c (welche definitionsgemäss Grosskreisbögen sind, und deren Zentriwinkel wir mit w_a, w_b, w_c bezeichnen¹⁾) und mit Eckwinkeln α, β, γ . Der Einfachheit halber betrachten wir nur sogenannte *Eulersche* Dreiecke, d.h. Dreiecke, bei denen alle Eck- resp. Zentriwinkel kleiner als 180° sind. Die üblichen Berechnungsaufgaben an diesem Dreieck können mit Hilfe der folgenden Berechnungsformeln der sphärischen Trigonometrie vorgenommen werden (wobei der Kürze halber nicht alle zulässigen Eck-/Zentriwinkel-Varianten aufgelistet wurden, sondern nur jeweils eine):

- Sinussatz: $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\sin(w_a)}{\sin(w_b)}$ (1)
- Seitencosinussatz: $\cos(w_c) = \cos(w_a) \cos(w_b) + \sin(w_a) \sin(w_b) \cos(\gamma)$ (2)
- Winkelcosinussatz: $-\cos(\gamma) = \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta) \cos(w_c)$ (3)

¹⁾ Wir werden sehen, dass in den sphärisch-trigonometrischen Berechnungsformeln nicht die Dreiecksseiten per se, sondern nur deren Zentriwinkel auftreten. Um die sphärisch-trigonometrischen Berechnungsformeln schreiberisch möglichst einfach zu halten, werden daher in den mir bekannten Lehrtexten und Formelsammlungen zur Kugelgeometrie – und im Gegensatz zum hier gewählten Vorgehen – statt der Dreiecksseiten ihre Zentriwinkel mit a, b, c bezeichnet, oder es wird $r = 1$ gesetzt, womit (im Bogenmass) die Zentriwinkel(grössen) mit den Dreiecksseiten(längen) übereinstimmen und daher auch die Zentriwinkel mit a, b, c bezeichnet werden können. Um in meinem eigenen Unterricht die erarbeiteten kugelgeometrischen Einsichten möglichst mühelos z.B. auf Erdkugelsituationen oder für $r \rightarrow \infty$ anwenden zu können, fand ich es aber schülergerechter, die klare Unterscheidung zwischen den Dreiecksseiten und ihren Zentriwinkeln beizubehalten und r nicht auf 1 zu normieren.

Anmerkung: Manchmal ist es ganz nützlich, ohne Umschweife die aus den Formeln (1)-(3) folgenden, hauptsächlich Berechnungsformeln für den Spezialfall eines rechtwinklig-sphärischen Dreiecks ($\gamma = 90^\circ$) zur Hand zu haben. Sie lauten:

$$\bullet \sin(\alpha) = \frac{\sin(w_a)}{\sin(w_c)} \quad , \quad \cos(\alpha) = \frac{\tan(w_b)}{\tan(w_c)} \quad , \quad \tan(\alpha) = \frac{\tan(w_a)}{\sin(w_b)} \quad (4)$$

$$\bullet \cos(w_c) = \cos(w_a) \cos(w_b) \quad (5)$$

$$\bullet \cos(w_c) = \cot(\alpha) \cot(\beta) \quad (6)$$

Sphärische Trigonometrie: Der Grenzfall $r \rightarrow \infty$

Jetzt stellen wir uns vor, dass wir die räumliche Position der Ecken A, B, C fixieren und Kugeln mit immer grösserem Radius r durch A, B, C legen. Auf jeder dieser Kugeln sind A, B, C die Ecken eines sphärischen Dreiecks mit Seiten a, b, c und Eckwinkeln α, β, γ . Natürlich hängen a, b, c und α, β, γ von r ab; zwecks möglichst schlanker Notation schreiben wir aber trotzdem nur $a, b, \dots$ statt z.B. $a(r), b(r), \dots$

Offensichtlich ist $a_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} a = \overline{BC}$, $b_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} b = \overline{AC}$, $c_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} c = \overline{AB}$, $\alpha_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} \alpha = \sphericalangle BAC$, $\beta_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} \beta = \sphericalangle ABC$, $\gamma_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} \gamma = \sphericalangle ACB$; insbesondere ist also

$$a_\infty, b_\infty, c_\infty < \infty \quad . \quad (7)$$

Im Bogenmass gilt für die Zentriwinkel w_a, w_b, w_c

$$w_a = \frac{a}{r}, \quad w_b = \frac{b}{r}, \quad w_c = \frac{c}{r} \quad ; \quad (8)$$

gemäss (8) und (7) streben daher die Zentriwinkel w_a, w_b, w_c für $r \rightarrow \infty$ gegen 0. Um diejenigen Aussagen über die ebene Geometrie zu bestimmen, welche die sphärisch-trigonometrischen Berechnungsformeln (1)-(3) im Grenzfall $r \rightarrow \infty$ machen, müssen wir also die Werte von $\sin(x), \cos(x)$ für $x \rightarrow 0$ untersuchen. Weil den Schülern das Thema Potenzreihenentwicklung unbekannt war, haben wir uns zuerst anhand des Graphen der Sinus- resp. Cosinusfunktion inspirieren lassen und anschliessend auf rechnerische Weise die Richtigkeit des folgenden, mittlerweile plausibel wirkenden Satzes verifiziert.

Satz: Für $[x] = \text{rad}$ gilt in immer besserer Genauigkeit, je kleiner $|x|$ ist:

$$\bullet \sin(x) \cong x \quad (9)$$

$$\bullet \cos(x) \cong 1 - \frac{x^2}{2} \quad (10)$$

Beweis: (9): Gemäss Differentialrechnung lautet für $[x] = \text{rad}$ die Gleichung der durch den Punkt $(0, 0)$ gehenden Tangente an den Graphen der Sinusfunktion $y = \sin(x)$, woraus (9) folgt.

(10): Mit Hilfe des Additionstheorems der Cosinusfunktion erhält man $\cos(x) = \cos\left(\frac{x}{2} + \frac{x}{2}\right) = \cos^2\left(\frac{x}{2}\right) - \sin^2\left(\frac{x}{2}\right) = 1 - 2 \sin^2\left(\frac{x}{2}\right)$, was via (9) zu (10) führt. ■

Damit kann nun der folgende, wohlbekannte Satz bewiesen werden:

Satz: Für $r \rightarrow \infty$ führen (1), (2) resp. (3) zu den folgenden Aussagen der ebenen Geometrie:

$$\bullet (1) \text{ ergibt den Sinussatz } \frac{\sin(\alpha_\infty)}{\sin(\beta_\infty)} = \frac{a_\infty}{b_\infty} \quad (11)$$

$$\bullet (2) \text{ ergibt den Cosinussatz } c_\infty^2 = a_\infty^2 + b_\infty^2 - 2 a_\infty b_\infty \cos(\gamma_\infty) \quad (12)$$

$$\bullet (3) \text{ ergibt die Dreiecks-Winkelsummenformel } \alpha_\infty + \beta_\infty + \gamma_\infty = 180^\circ \quad (13)$$

- Beweis: (11): Gemäss (1), (8), (9) gilt in immer besserer Genauigkeit, je grösser r ist, dass $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \cong \frac{a/r}{b/r}$, d.h. $\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} \cong \frac{a}{b}$, ist. Für $r \rightarrow \infty$ erhalten wir also (11).
- (12): Gemäss (2), (8)-(10) gilt in immer besserer Genauigkeit, je grösser r ist, dass $1 - \frac{(c/r)^2}{2} \cong \left(1 - \frac{(a/r)^2}{2}\right) \cdot \left(1 - \frac{(b/r)^2}{2}\right) + a/r \cdot b/r \cdot \cos(\gamma)$ ist. In dieser Ungefährgleichung lösen wir die Klammern auf, subtrahieren auf beiden Seiten 1 und multiplizieren beide Seiten mit $-2r^2$ und erhalten $c^2 \cong a^2 + b^2 - \frac{a^2 b^2}{2r^2} - 2ab \cos(\gamma)$. Für $r \rightarrow \infty$ führt dies zu (12).
- (13): Gemäss (3), (8), (10) gilt in immer besserer Genauigkeit, je grösser r ist, dass $-\cos(\gamma) \cong \cos(\alpha) \cos(\beta) - \sin(\alpha) \sin(\beta) \left(1 - \frac{(c/r)^2}{2}\right)$ ist. Für $r \rightarrow \infty$ erhalten wir daher $-\cos(\gamma_\infty) = \cos(\alpha_\infty) \cos(\beta_\infty) - \sin(\alpha_\infty) \sin(\beta_\infty)$ oder, via Additionstheorem der Cosinusfunktion, $-\cos(\gamma_\infty) = \cos(\alpha_\infty + \beta_\infty)$. Aus geometrischen Gründen muss auf der Kugel mit $r = \infty$, d.h. in der Ebene, $\alpha_\infty + \beta_\infty < 180^\circ$ sein. Und natürlich ist auch $\gamma_\infty < 180^\circ$. Anhand des Graphen der Cosinusfunktion im Intervall $[0^\circ, 180^\circ]$ sieht man nun rasch, dass $-\cos(\gamma_\infty) = \cos(\alpha_\infty + \beta_\infty)$ der Aussage $\gamma_\infty = 180^\circ - (\alpha_\infty + \beta_\infty)$ entspricht, d.h. dass (13) gilt. ■

Anmerkung: In analoger Weise² kann man - ohne Rückgriff auf (11)-(13) - diejenigen Aussagen zur ebenen Geometrie bestimmen, welche (4)-(6) für $r \rightarrow \infty$ ergeben:

- (4) $\Rightarrow \sin(\alpha_\infty) = \frac{a_\infty}{c_\infty}$, $\cos(\alpha_\infty) = \frac{b_\infty}{c_\infty}$, $\tan(\alpha_\infty) = \frac{a_\infty}{b_\infty}$
- (5) $\Rightarrow c_\infty^2 = a_\infty^2 + b_\infty^2$
- (6) $\Rightarrow \alpha_\infty + \beta_\infty = 90^\circ$

Fläche $\leftrightarrow$ Winkelsumme im sphärischen Dreieck: Der Grenzfall $r \rightarrow \infty$

Bekanntlich gibt es eine (und ausserdem erstaunlich einfache) Beziehung zwischen der Fläche F eines sphärischen Dreiecks und seiner Winkelsumme $\alpha + \beta + \gamma$, nämlich

$$F = \pi r^2 \cdot \left(\frac{\alpha + \beta + \gamma - 180^\circ}{180^\circ} \right). \quad (14)$$

Indem wir beide Seiten von (14) durch πr^2 dividieren, und weil $F_\infty < \infty$ ist, sehen wir, dass $\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{\alpha + \beta + \gamma - 180^\circ}{180^\circ} = 0$ ist. Für $r \rightarrow \infty$ führt also nicht nur (3), sondern auch (14) zur Aussage $\alpha_\infty + \beta_\infty + \gamma_\infty = 180^\circ$.

² Allerdings können nur zwei der drei Dreiecks-Ecken A, B, C (z.B. A, B) im Raum fixiert werden, denn ansonsten würde das auf der jeweiligen Kugel mit Radius r liegende Dreieck ABC in der Regel nicht rechtwinklig sein. Die dritte Dreiecks-Ecke (bei uns C) muss dann in r -abhängiger Weise noch sinnvoll gewählt werden, d.h. so, dass ABC jeweils wirklich ein rechtwinklig-sphärisches Dreieck (mit $\gamma = 90^\circ$) ist und dass $C_\infty := \lim_{r \rightarrow \infty} C$ existiert.

Peter Gallin
peter@gallin.ch

Sinus- und Cosinuskurve für die Schule

Sinus- und Cosinuskurve für die Schule

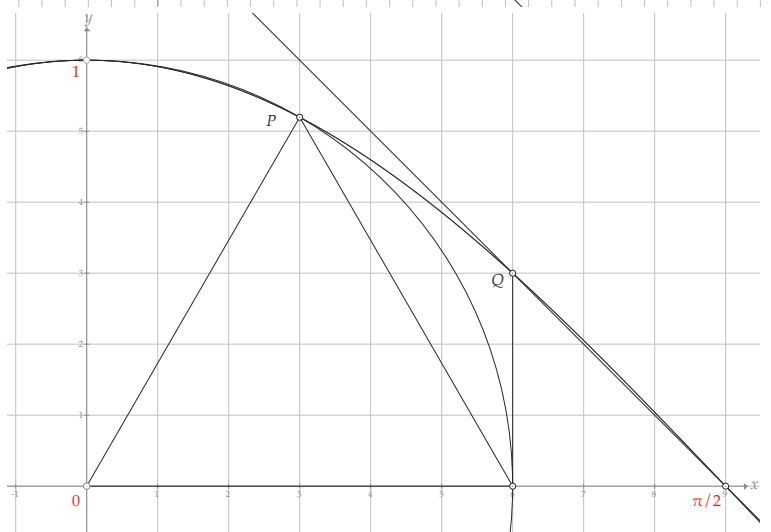
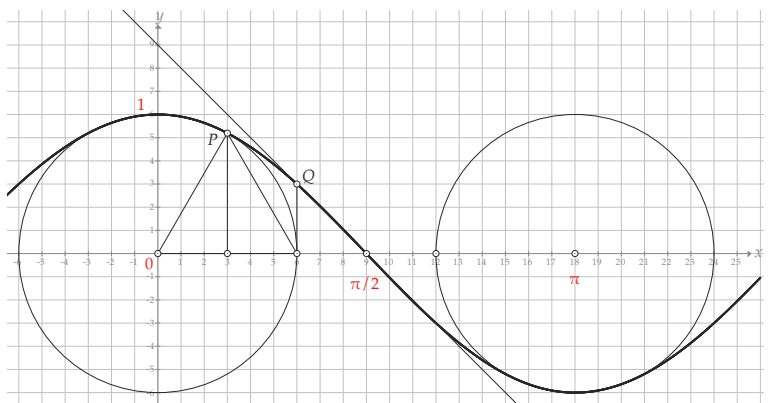
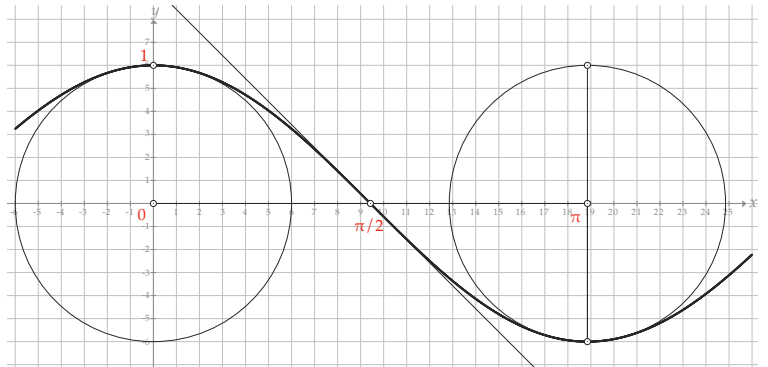
Peter Gallin, peter@gallin.ch

12. Juni 2025

Wenn man auf kariertem Papier eine schöne Sinus- oder Cosinuskurve zeichnen will, wählt man gerne 6 Häuschen als Längeneinheit (rot markierte Skala). Die erste Abbildung zeigt die wirkliche Cosinuskurve zusammen mit zwei Näherungslinien: Man kann zeigen, dass der Einheitskreis mit Zentrum im Ursprung des Koordinatensystems eine Näherungskurve für die Cosinuskurve bei $x = 0$ darstellt, und zwar so, dass der Kreis überall tiefer liegt als die Cosinuskurve. Und die Gerade mit der Steigung -1 durch die erste positive Nullstelle der Cosinuskurve ist Tangente an die Cosinuskurve.

Damit nun das Zeichnen für die Schülerinnen und Schüler leicht und schnell vor sich geht, wählt man gerne die Näherung $\pi \approx 3$. Das hat zur Folge, dass bei 6 Häuschen als Einheit jedes Häuschen auf der horizontalen Achse gerade 10° bedeutet und $\frac{\pi}{2}$ bei 9 und π bei 18 Häuschen zu finden sind. Zeichnet man den Einheitskreis (mit Radius 6 Häuschen) und die Gerade mit Steigung -1 durch die Nullstelle $\frac{\pi}{2}$ wie in der zweiten Abbildung, so kann man von Hand eine recht schöne Cosinuskurve zeichnen. Bei einer kräftigen Strichdicke ahnt man nichts Böses.

Ein Schüler hat aber bei seiner Analyse mit einer feinen Strichdicke gefunden, dass der Graph der wahren Cosinuskurve mit einer ersten Nullstelle bei 9 Häuschen sowohl die so gezeichneten Näherungskreise als auch die Tangenten nicht berührt, sondern schneidet, weil die Kurve in horizontaler Richtung leicht gestaucht ist, nämlich mit dem Faktor $\frac{3}{\pi} < 1$. Es lässt sich leicht nachrechnen, dass diese Schnittpunkte P und Q an kanonischen Orten liegen: P liegt bei $x = \frac{1}{2}$ und $y = \frac{\sqrt{3}}{2}$, das heisst mit 6 Häuschen als Einheit bei $P = (3, 3\sqrt{3})$. Und für Q ergibt sich mit Häuschen $Q = (6, 3)$. Links von P liegt die Cosinuskurve tiefer als der Kreis und rechts von Q liegt sie höher als die Gerade mit Steigung -1 wie man in der vergrösserten dritten Abbildung mit feiner Strichdicke gut sehen kann. Beim Zeichnen von Hand kann man also zuerst bis P den Kreis benützen und ab Q die Gerade. Dazwischen kann man nach Gefühl die Kurve recht gut einlegen.



Anja Kuonen
Schülerin 7. Klasse KZU Bülach

Bericht DATCH 2025

Mehr zu DATCH: <https://www.kaenguru-schweiz.ch/veranstaltungen/datch/>

Mittwoch

Obwohl die Schweizer Delegation sich erst am Nachmittag am Hauptbahnhof in Zürich traf, während das Team aus Deutschland und Österreich längst unterwegs war, waren wir als Erste vor Ort in der Jugendherberge Zürich-Wollishofen und halfen bei den letzten Vorbereitungen. Kurz vor dem gemeinsamen Nachtessen war die Runde komplett und wir konnten die Zeit nutzen uns gegenseitig richtig kennenzulernen. Die Teams aus Deutschland (D), Österreich (AT) und der Schweiz (CH) bestanden jeweils aus den besten 4 Teilnehmenden vom Känguruwettbewerb der 7. und 8. Klassen und deren Begleitpersonen.



Das Schweizer Team mit Seline, Joséphine, Luca, Anton (linke Reihe) und Anja, Sophia, Lukas, Lingjun (rechte Reihe)

Donnerstag

Nach dem gemeinsamen Frühstück starteten wir frisch gestärkt in die Einzelwettbewerbe, welche den Großteil des Vormittags andauerten. Danach packten wir unsere Lunchpakete und bestiegen damit ein Zürisee-Schiff für eine ausgiebige Bootsrundfahrt, die am Bürkliplatz endete. Dort erhielten wir Freizeit, um selbständig die Stadt Zürich zu erkunden. Treffpunkt war später die Seebadi, wo wir uns beim Baden von der Hitze abkühlen und gemütlich Spiele spielen konnten. Zurück in der Jugendherberge wurden wir mit einem feinen Znacht verwöhnt und durften den Abend draussen bei diversen Spielen ausklingen lassen.



Konzentriert am Rätseln

Freitag

Heute stand der Gruppenwettbewerb auf dem Plan, das heisst, die Teams der drei Länder traten im direkten Vergleich gegeneinander an. Von 7 Aufgaben mussten 5 als schriftliche Lösung abgegeben und eine mit dem Lösungsvorgehen als Präsentation vorgestellt werden. Direkt anschliessend machten wir uns mit der Polybahn auf den Weg an die ETH Zürich, wo wir das Mittagessen in der Mensa einnehmen durften. Auf der Polyterasse konnten wir die tolle Aussicht über Zürich bei strahlend blauem Himmel und inklusive Sonnenschein nutzen für ein Gruppenfoto.

Praktisch um die Ecke bei der ETH befindet sich das FocusTerra mit dem Erdbebensimulator. Dort konnten wir zur Ausstellung, einem Vortrag zum Thema Erdbeben lauschen und zudem ländersweise den Simulator selbst besuchen. Zurück an der ETH erwartete uns ein mathematischer Vortrag von Sara Willemsen von GoMath zum Thema “Eulerkreis und Eulerweg”. Auch heute gab es das Abendessen in der Herberge und wir durften am Abend die freie Zeit geniessen.



Alle gemeinsam auf der Polyterasse der ETH Zürich



Im Erdbebensimulator

Samstag

Vom Frühstück gestärkt, ging es heute in den Speed-Wettbewerb. Quer durch alle Länder gemischt wurden wir dazu in 4er-Gruppen eingeteilt. Die jeweils erhaltene Känguru-Aufgabe musste so rasch als möglich korrekt gelöst werden, um die Nächste zu erhalten. Die Gruppe, die am schnellsten die meisten korrekten Aufgaben aufweisen konnte, war Sieger. Auch heute wurde ein Lunchpaket gepackt und wir machten uns damit auf zum See, wo wir Freizeit genossen.

Zurück in der Jugendherberge hat uns Dima, einer der Leiter, Matherätsel zum freien Lösen aufgegeben. Am Abend wurde es nochmals spannend – die Siegerehrungen standen an. Den Teamwettbewerb hat das Team aus Deutschland vor Österreich und der Schweiz gewonnen. Ebenso gab es Preise und Urkunden für die Sieger des Speed-Wettbewerbes und die Besten im Einzelwettbewerb. Der Tag ging mit einer Grillade in der Herberge und Spielen bis spät in die Nacht zu Ende.



Siegerehrung mit dem Känguru

Sonntag

Nach dem Frühstück gab es heute noch ein kleines Ständchen - Happy Birthday Dima. Danach mussten rasch alle sieben Sachen gepackt werden, damit wir unsere Kollegen von Deutschland und Österreich noch bis an den Hauptbahnhof begleiten konnten, von wo sie die gemeinsame Heimreise antraten, während sich unsere Wege bereits trennten und jeder individuell die Heimreise startete.



Gruppenfoto DATCH 2025

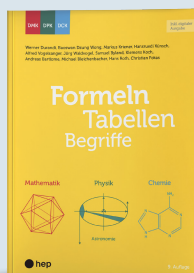


Betreuerteam: Martin, Renate, Dima, Doris, Lilo und Deindra

Es waren wundervolle Tage voller Mathematik, Rätseln, Spielen, neuen Kontakten und viel Sonnenschein. Herzlichen Dank an das coole Leiterteam, Lilo Florez, Dima Nikolenkov, Deindra Hanzig, Martin Altmann, Renate Gottlieb und Doris Prach, die das ermöglicht haben.

Unsere DMK-Bestseller

Neuaufgabe



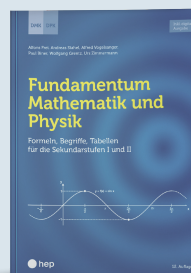
Formeln, Tabellen, Begriffe

Mathematik – Physik – Chemie

(Print inkl. E-Book Edubase)

9. Auflage 2025 | 264 Seiten, Broschur

ISBN 978-3-0355-2825-1 | CHF 31.–



Fundamentum Mathematik und Physik

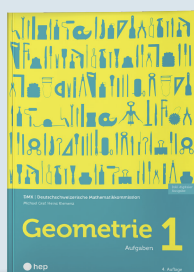
Formeln, Begriffe, Tabellen für die Sekundarstufen I und II

(Print inkl. E-Book Edubase)

12. Auflage 2024 | 120 Seiten, Broschur

ISBN 978-3-0355-2559-5 | CHF 22.–

Neuaufgabe



Geometrie 1

Aufgaben

(Print inkl. E-Book Edubase)

4. Auflage 2025 | 128 Seiten, Broschur

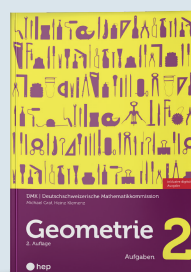
ISBN 978-3-0355-2910-4 | CHF 34.–

→ Erscheint im Oktober 2025

Kommentierte Lösungen

(Print inkl. E-Book Edubase)

ISBN 978-3-0355-2603-5 | CHF 87.–



Geometrie 2

Aufgaben

(Print inkl. E-Book Edubase)

2. Auflage 2024 | 160 Seiten, Broschur

ISBN 978-3-0355-2561-8 | CHF 32.–

Kommentierte Lösungen

(Print inkl. E-Book Edubase)

ISBN 978-3-0355-2563-2 | CHF 87.–

Neuaufgabe

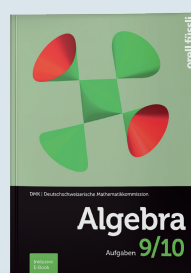


Algebra 7/8

Aufgaben und Ergebnisse
(Print inkl. E-Book Edubase)

3. Auflage 2025 | 316 Seiten, Broschur

ISBN 978-3-0355-2812-1 | CHF 43.–



Algebra 9/10

Aufgaben

(Print inkl. E-Book MoLib)

3. Auflage 2023 | 312 Seiten, Broschur

ISBN 978-3-280-04227-4 | CHF 39.–

Ergebnisse

(Print inkl. E-Book MoLib)

ISBN 978-3-280-04228-1 | CHF 45.–

Besuchen Sie uns an der Swissdidac!
Kostenlose Tickets erhalten Sie unter
hep-verlag.ch/swissdidac

**SWISS⁺
DIDAC**

Clemens Pohle

Kantonsschule Hohe Promenade, clemens.pohle@kshp.ch

Der Känguru-Wettbewerb als Teamwettbewerb



Am Donnerstag, 20. März 2025, fand an der Kantonsschule Hohe Promenade – wie an zahlreichen weiteren schweizerischen Schulen – der Känguru-Wettbewerb¹ statt. Seit mehreren Jahren haben die Schüler*innen der Kantonsschule Hohe Promenade dabei die Wahl, ob sie allein oder in einem Team bestehend aus zwei bis drei Schüler*innen am Wettbewerb teilnehmen möchten (falls sie sich für eine Teilnahme entscheiden, denn diese ist freiwillig). In diesem Bericht wird die Teilnahme in Teams vorgestellt, die seit diesem Jahr schweizweit allen Schulen mit 7. bis 13. Klassen als Möglichkeit zur Verfügung steht.

Zunächst sollen kurz die Rahmenbedingungen einer solchen Teams-Teilnahme erläutert werden. Wie beim Einzelwettbewerb haben die Teams 75 Minuten Zeit, um an den Aufgaben zu arbeiten. Der Unterschied besteht lediglich darin, dass sie nicht allein an den Aufgaben arbeiten, sondern eben im Team. Hierbei darf auch innerhalb des Teams gesprochen werden. Die Aufgaben sind dieselben wie auch beim Einzelwettbewerb.

Nun stellt sich die Frage: Wieso sollte man als Schule überhaupt eine solche Teilnahme in Teams anbieten? Die Antwort darauf lautet: Weil dies die Motivation der Schüler*innen, überhaupt am Wettbewerb teilzunehmen, stark erhöht. An der Kantonsschule Hohe Promenade hatte sich die Anzahl der am Känguru-

Wettbewerb teilnehmenden Schüler*innen in den Jahren 2013-2022 zwischen 110 und 160 eingependelt. Als im Jahr 2023 das erste Mal die Teilnahme in Teams angeboten wurde, schoss diese Zahl auf 185 hoch, und in den Jahren 2024 und 2025 betrug sie sogar 227 respektive 224. Beachtlich dabei ist, dass sich jeweils 80% bis 83% der teilnehmenden Schüler*innen für eine Teilnahme in Teams entschieden. Die reinen Zahlen sprechen also eine klare Sprache. Doch wieso sind die Schüler*innen motivierter, in Teams teilzunehmen, als allein? Dafür gibt es einige Gründe:

- Vielen Schüler*innen macht es mehr Spass, gemeinsam teilzunehmen, da sie sich so nicht nur austauschen, sondern auch die Hochs und Tiefs des Wettbewerbs gemeinsam durchstehen können.
- Bei einer Einzelteilnahme kann man rasch in eine Situation kommen, in der man ziemlich unsicher ist oder gar nicht mehr weiterkommt. Bis ein Team in diese Situation gerät, dauert es deutlich länger, da es einerseits mehr Leute gibt, die Ideen einbringen können, und andererseits diese Ideen auch ausdiskutiert werden können. Zudem kommt hinzu, dass sich eine schwierige Situation im Team deutlich leichter ertragen lässt als allein, da man sich gegenseitig unterstützen und motivieren kann.
- Für viele Schüler*innen ist die Aussicht, sie könnten beim Einzelwettbewerb ja ein Resultat erzielen, für das sie sich – in ihrer Wahrnehmung – anschliessen schämen müssten, äusserst unangenehm. Um diese mögliche Blösse zu umgehen, nehmen sie lieber gar nicht erst teil. Im Team hingegen kann eine eher bescheidene Leistung ganz locker mit Humor weggesteckt werden, wodurch die genannte Problematik entfällt.
- Eine Einzelteilnahme ähnelt in vielen Aspekten der bei Schüler*innen im Allgemeinen unbeliebten typischen Prüfungssituation.

Interessanterweise schneiden die Teams erfahrungsgemäss gar nicht wirklich besser ab, als dies die Einzelteilnehmenden tun. Dies hängt damit zusammen, dass die meisten Schüler*innen die Aufgaben auch tatsächlich im Team zusammen lösen möchten, anstatt die Aufgaben unter sich aufzuteilen, was vermutlich die Strategie wäre, die zur grösstmöglichen Punktzahl führen würde. Dies bestätigt aber nochmals den oben genannten Punkt: Die Schüler*innen geniessen es, denn Wettbewerb zusammen zu bestreiten.

Für Schulen, die eine Teilnahme in Teams anbieten möchten, seien an dieser Stelle noch einige Empfehlungen und Hinweise aufgeführt:

- Ehrgeizigen Schüler*innen sollte weiterhin eine Einzelteilnahme ans Herz gelegt werden.
- Die Teams und die Einzelteilnehmenden sollten räumlich voneinander getrennt werden.
- Für den Teamwettbewerb bieten sich grosse Räume an. Idealerweise hat jedes Team seinen eigenen Gruppentisch. Es ist jedoch auch möglich, zwei Teams aus unterschiedlichen Kategorien an einem gemeinsamen grossen Tisch zu platzieren. Die einzelnen Tische sollten zueinander etwas Distanz haben.
- Treten Teams verschiedener Kategorien an, werden diese idealerweise so verteilt, dass keine benachbarten Teams dieselbe Kategorie haben. (Beispielsweise im Schachbrettmuster.)
- Aufsichtspersonen sollten dafür sorgen, dass keine Kommunikation zwischen den verschiedenen Teams stattfindet. (Und können gleichzeitig auch dafür sorgen, dass die Lautstärke auf einem angemessenen Level bleibt, wobei das erfahrungsgemäss nur selten ein Problem ist.)
- Wenn sich die Schüler*innen innerhalb ihrer Teams austauschen, entsteht tatsächlich eine gewisse Grundlautstärke. Die Erfahrung zeigt aber, dass üblicherweise niemand herumschreit und sich die Schüler*innen nicht gestört fühlen.

Immer wieder ist es eine wahre Freude, den Teams beim eifrigen Arbeiten zuzuschauen. Schon viele Lehrpersonen anderer Fächer, die zur Aufsicht eingeteilt waren, waren von der Atmosphäre beim Team-Wettbewerb äusserst begeistert. Wenn Sie als Schule also noch nach einer Möglichkeit suchen, mehr Schüler*innen für den Känguruwettbewerb zu gewinnen; dies wäre eine solche!

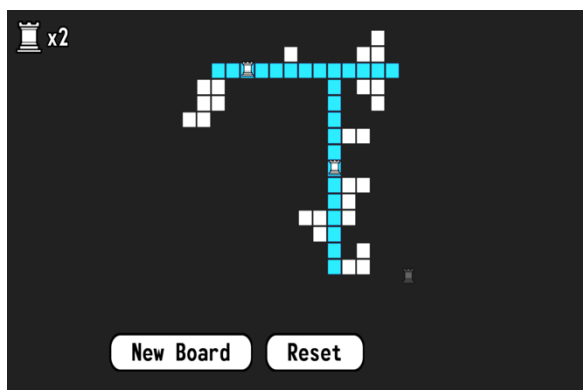
¹Allgemeine Informationen zum Känguruwettbewerb sind auf <https://www.kaenguru-schweiz.ch> zu finden.

Die Mathematik hinter Spielen und Rätseln

Bewachen mit Türmen und Damen: Ein Dominanzproblem zwischen Schach, Kombinatorik und Informatik

Wie viele Türme oder Damen braucht man, um eine bestimmte Teilmenge der Felder eines Schachbretts zu „bewachen“? Diese Frage führt zu einem spannenden mathematischen Problem, das Elemente aus der Kombinatorik und der Informatik vereint – und direkt mit den Zugregeln des Schachspiels zusammenhängt.

Diese verallgemeinerten Schachbretter werden **Polyominos** genannt – sie müssen turmweise zusammenhängend (rookwise-connected) sein – und die zentrale Frage lautet: Wie kann man sie mit möglichst wenigen Schachfiguren vollständig abdecken? Wir werden verstehen, warum höchstens $n/2$ Türme oder $n/3$ Damen ausreichen, um ein Polyomino mit n Feldern zu bewachen – und warum dies in vielen Fällen sogar notwendig ist. Ausserdem werden wir sehen, warum es mathematisch schwierig (NP-vollständig) ist, die genaue Mindestanzahl der benötigten Figuren zu bestimmen. Abschliessend zeigen wir, wie Sätze aus der Theorie bipartiter Matchings helfen können, Mengen nichtschlagender Türme auf Polyominos zu beschreiben.



Neben diesen theoretischen Einsichten stellt der Workshop auch didaktische Ideen vor, wie dieses Thema gewinnbringend im Unterricht eingesetzt werden kann – zum Beispiel zur Veranschaulichung von Optimierungsproblemen, Graphentheorie, algorithmischer Komplexität und mehr. Dies geschieht anhand von low-floor, no-ceiling-Aufgaben, die einen niedrighschweligen Einstieg ermöglichen, aber unbegrenzte Möglichkeiten zur weiteren Exploration bieten.

Referentin: Dr. Erika Roldan, Max-Planck-Institut für Mathematik in den Naturwissenschaften und Universität Leipzig

Zielpublikum: Mathematik-Lehrkräfte der Sekundarstufe II

Organisation: Prof. Dr. Norbert Hungerbühler (ETH),
Jonas Gloor (DMK)

Datum und Zeit: Dienstag, 25. November 2025, 09:30 Uhr – 16:00 Uhr

Kursort: ETH Zürich

Kurskosten: CHF 200, CHF 150 für VSMP-Mitglieder und Studierende

Anmeldung: <https://math.ch/DMK2025b/>

Anmeldeschluss: **vorverschoben auf 30. September 2025**



Thomas Genoud
Collège du Sud, Bulle, thomas.genoud@studentfr.ch

Inégalité de Bell : De la Théorie à l'Expérience

Présentation du Travail de Maturité

Introduction

Malgré ses succès technologiques, la mécanique quantique soulève des interrogations fondamentales sur la nature de la réalité. En particulier, son caractère intrinsèquement probabiliste et l'apparente non-localité de certains phénomènes ont longtemps défié les intuitions héritées du réalisme classique.

Albert Einstein, avec Podolsky et Rosen, soulignait en 1935 cette tension dans le paradoxe EPR, plaidant pour l'existence de variables cachées permettant de rétablir une vision déterministe et locale. À l'opposé, l'interprétation de Copenhague défendait l'idée que la fonction d'onde contient toute l'information physique, et qu'aucune réalité physique n'existe indépendamment de l'acte de mesure.

Ce débat est longtemps resté d'ordre philosophique, jusqu'à ce que John S. Bell montra que toute théorie à variables cachées locales devait obéir à une inégalité vérifiable expérimentalement, dont la mécanique quantique prédit la violation dans certains cas intriqués.

Nous présentons ici une expérience visant à tester ces inégalités. Après avoir exposé le cadre théorique, nous décrivons notre dispositif expérimental, présentons nos résultats et discutons leurs implications sur la localité et le réalisme.

Fondements théoriques

État quantique d'un photon

En mécanique quantique, l'état d'un photon est représenté par un vecteur appartenant à un espace de Hilbert sur les complexes. Ce vecteur peut être décomposé sur une base d'états propres associés à une observable donnée, elle-même modélisée par un opérateur autoadjoint.

Dans notre cas, nous nous intéressons à la polarisation du photon. Elle peut être décrite dans les bases $\{|H\rangle, |V\rangle\}$, correspondant respectivement aux états de polarisation horizontale et verticale.

L'état général d'un photon polarisé peut alors s'écrire sous la forme :

$$|\Psi\rangle = \alpha|H\rangle + \beta|V\rangle \quad \text{avec} \quad |\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1.$$

Ce formalisme illustre le principe de superposition. Avant toute mesure, le photon n'a pas de polarisation définie, mais se trouve dans une combinaison cohérente des deux états possibles. La probabilité d'obtenir un résultat donné correspond au carré du module du coefficient associé.

États à deux photons et intrication

Lorsqu'on considère un système constitué de deux photons, l'espace d'état global est donné par le produit tensoriel des espaces de Hilbert individuels. Et la base canonique de ce nouvel espace est formée par les états $|HH\rangle, |HV\rangle, |VH\rangle, |VV\rangle$, où la première lettre correspond à la polarisation du premier photon et la seconde à

celle du second. Certains états de ce système ne peuvent pas être écrits comme un produit de deux états individuels : ce sont les états intriqués. Un exemple typique d'état intriqué est l'état EPR :

$$|\Psi_{\text{EPR}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|HH\rangle + |VV\rangle) .$$

Dans un tel état, chaque photon pris isolément semble non polarisé, mais des corrélations fortes apparaissent lorsque des mesures sont réalisées conjointement. Ce sont précisément ces corrélations, incompatibles avec toute théorie locale à variables cachées, que les inégalités de Bell permettent de tester expérimentalement.

Inégalités de Bell

Le théorème de Bell montre que les corrélations observées entre deux systèmes intriqués sont soumises à des contraintes spécifiques si l'on suppose que la nature obéit à une description locale et déterministe. Ces contraintes prennent la forme d'une inégalité statistique, dont la violation, prédite par la mécanique quantique, signifie qu'il est impossible de reproduire les résultats expérimentaux tout en conservant à la fois réalisme et localité.

Cette inégalité fait intervenir un paramètre observable S , construit à partir des fonctions de corrélation $E(a, b)$, qui quantifient la dépendance statistique entre les résultats de mesures effectuées avec différentes orientations a, a', b, b' des polariseurs :

$$S(a, a', b, b') = |E(a, b) - E(a, b')| + |E(a', b) + E(a', b')| .$$

Dans notre cas, ces corrélations sont évaluées à partir des coïncidences de détection. Nous enregistrons les événements où deux photons intriqués sont détectés simultanément après avoir traversé chacun un polariseur orienté selon un angle donné. La fonction $E(a, b)$ correspond alors à l'espérance du produit des résultats binaires (+1 ou -1) issus de ces détections conjointes.

Dans une théorie à variables cachées locales, chaque photon est associé à un paramètre λ contenant toute l'information déterminant le résultat des mesures. Les fonctions $A(a, \lambda)$ et $B(b, \lambda)$, prenant les valeurs ± 1 , modélisent les résultats aux détecteurs en fonction de ce paramètre λ et de leur orientation a ou b . En intégrant sur toutes les valeurs possibles de λ , pondérées par une densité de probabilité $\rho(\lambda)$, on obtient la fonction de corrélation classique

$$E(a, b) = \int A(a, \lambda) B(b, \lambda) \rho(\lambda) d\lambda .$$

Sous ces hypothèses, la quantité S est toujours bornée par

$$S \leq 2 .$$

En revanche, dans le cadre quantique, où les résultats ne sont pas prédéterminés, la corrélation prédite pour l'état $|\Psi_{\text{EPR}}\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (|HH\rangle + |VV\rangle)$ est donnée par

$$E_{QM}(a, b) = \cos[2(a - b)] ,$$

ce qui permet d'atteindre une valeur maximale de :

$$S \leq 2\sqrt{2} .$$

Une mesure expérimentale donnant $S > 2$ exclut donc toute théorie fondée sur des variables cachées locales. Elle ne valide pas pour autant de manière exclusive la mécanique quantique, mais indique qu'au moins l'un des postulats de réalisme ou de localité doit être abandonné.

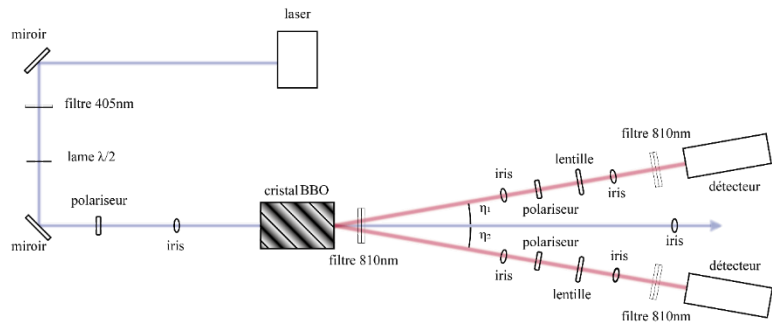
Dispositif Expérimental et Méthodologie

Configuration de l'expérience

Le montage expérimental repose sur un schéma optique standard pour la génération de photons intriqués par conversion paramétrique descendante spontanée (SPDC). Un laser de longueur d'onde 405 nm est d'abord filtré pour supprimer toute lumière parasite, puis traverse une lame demi-onde ($\lambda/2$), qui permet de faire basculer la polarisation linéaire du faisceau dans une direction diagonale, à 45° par rapport à l'axe horizontal. Cette orientation est ensuite contrôlée par un polariseur avant l'entrée dans un cristal non linéaire de β -borate de baryum (BBO).

Au sein du cristal, le processus de SPDC type I produit des paires de photons intriqués dans un état de type EPR, chacun émis dans des directions opposées. Un filtre centré à 810 nm, placé à la sortie, permet de sélectionner les photons convertis en éliminant ceux issus du rayonnement résiduel du laser.

Chaque photon issu de la paire est dirigé vers un bras optique muni d'un polariseur réglable, permettant de définir précisément l'angle de mesure de polarisation. Les photons sont ensuite détectés par des photodiodes capables de détecter des photons uniques grâce au principe d'avalanche dans des semi-conducteurs. Les signaux générés sont ensuite traités pour enregistrer uniquement les coïncidences de détection, indispensables au calcul des corrélations.



Méthodologie de mesure

Pour chaque configuration d'angles α et β des polariseurs, le dispositif enregistre le nombre de coïncidences de détection entre les deux photodiodes durant une période fixe de 20 secondes. Les angles sont ajustés manuellement à l'aide de montures rotatives, puis stabilisés pendant la durée de comptage.

Ces coïncidences correspondent aux événements où deux photons issus d'une même paire sont détectés simultanément, après avoir traversé les polariseurs orientés respectivement selon les angles α et β . Le comptage est ensuite répété pour différentes paires d'orientations (a, b) , (a, b') , (a', b) , (a', b') , afin de permettre le calcul des fonctions de corrélation $E(a, b)$, à partir desquelles la valeur de S est déterminée. Les fonctions de corrélation sont ensuite évaluées selon la relation

$$E(a, b) = \frac{N_{\parallel} - N_{\perp}}{N_{\parallel} + N_{\perp}},$$

où $N_{\parallel}$ correspond aux coïncidences interprétées comme corrélées, et $N_{\perp}$ à celles interprétées comme anticorrélées, en fonction des orientations choisies des polariseurs.

Analyse des Résultats et Discussion

Comparaison des modèles

La figure ci-contre présente les taux de coïncidences mesurés pour $\alpha = 60^\circ$, en fonction de l'angle β , comparés aux prédictions de quatre modèles théoriques, chacun fondé sur une hypothèse différente concernant la polarisation des photons :

QM (mécanique quantique) : prédictions issues d'un état intriqué, non réductible à une description locale ;

Two photons : modèle à variables cachées avec distribution uniforme de la polarisation $\lambda \in [0, \pi]$. Il postule que chaque photon a une polarisation bien définie, mais inconnue ;

50/50 : mélange de paires polarisées horizontalement ($\lambda = 0$), soit verticalement ($\lambda = \pi/2$) ;

All or Nothing (AN) : scénario artificiel où un photon est détecté uniquement si sa polarisation est proche de celle du polariseur.

Visuellement, seul le modèle quantique reproduit fidèlement la structure des données expérimentales. Pour appuyer cette observation, nous avons effectué un test du χ^2 , qui mesure l'écart entre les données et les prédictions de chaque modèle. Pour la série de mesures avec $\alpha = 60^\circ$, nous obtenons

$$\chi_{QM}^2 = 0.071 \quad \chi_{2Ph}^2 = 0.636 \quad \chi_{50/50}^2 = 1.412 \quad \chi_{AN}^2 = 0.190 .$$

Le modèle quantique présente la plus faible divergence statistique. Bien que le modèle AN affiche un χ^2 relativement bas, il n'a aucune base physique réaliste. Ces résultats confirment que, parmi les modèles testés, la mécanique quantique décrit le plus fidèlement les phénomènes observés.

Violation de l'inégalité de Bell

À partir des séries de mesures correspondantes, les fonctions de corrélation $E(a, b)$ ont été calculées selon la méthode décrite dans la section Méthodologie de mesure, puis combinées suivant la formule donnée dans la section Inégalités de Bell. La valeur obtenue est

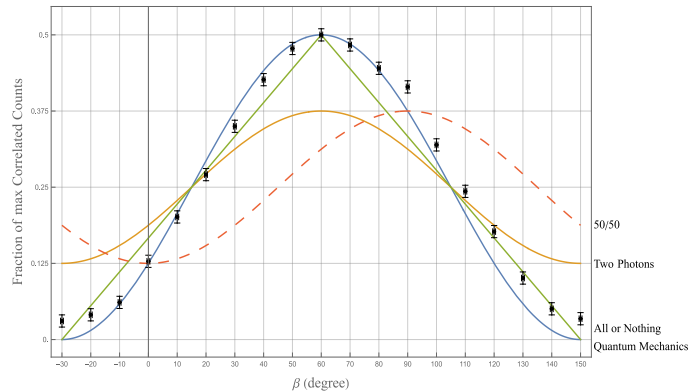
$$S \approx 2.56 \pm 0.12 .$$

Cette valeur dépasse clairement la limite de $S \leq 2$ imposée par les théories locales à variables cachées, confirmant une violation significative des inégalités de Bell.

Signification statistique

Pour estimer la probabilité qu'un tel écart résulte d'une fluctuation aléatoire dans un cadre classique, nous avons appliqué la borne décrite dans *Random numbers certified by Bell's theorem* (Pironio et al., 2010). Cette approche repose sur l'idée de quantifier, à partir d'un ensemble de n essais indépendants, la probabilité d'obtenir une valeur moyenne empirique $\hat{I}$ supérieure au seuil classique fixé (ici, 2) :

$$P(\hat{I} \geq 2 + \delta) \leq \exp\left(-\frac{n(\hat{I}-2)^2}{72}\right) .$$



Cette borne est adaptée aux situations où les résultats sont binaires et les choix de mesures aléatoires et indépendants. En appliquant cette formule à notre expérience, nous obtenons

$$P \leq 7.33 \times 10^{-25} .$$

Cette valeur rend extrêmement improbable que la violation observée de l'inégalité de Bell résulte d'une simple fluctuation statistique dans un cadre local.

Conclusion

Cette étude expérimentale a permis de tester les inégalités de Bell dans un contexte accessible et contrôlé, en s'appuyant sur la génération de paires de photons intriqués via un cristal de BBO et l'analyse de leurs corrélations à l'aide de polariseurs réglables et de détecteurs de photons uniques.

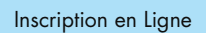
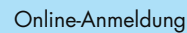
La valeur mesurée de $S \approx 2.56$ dépasse nettement la borne classique imposée par les théories locales à variables cachées, et la probabilité qu'un tel résultat provienne d'une fluctuation statistique dans un cadre classique est estimée à moins de 7.33×10^{-25} . Ces résultats expérimentaux excluent toute interprétation locale et déterministe des corrélations mesurées. Ils mettent en évidence la non-classicité de la lumière et confirment, dans les limites de notre dispositif, la nature non locale des phénomènes quantiques.

Certaines limitations expérimentales persistent, notamment l'absence de séparation stricte entre les mesures (faille de localité) et l'efficacité insuffisante des détecteurs (faille de détection). Leur prise en compte dans des dispositifs plus avancés permettrait de renforcer encore la portée de ces résultats.

Au-delà de cet enjeu fondamental, l'intrication démontrée ici constitue un socle des technologies quantiques modernes, de la cryptographie à l'informatique, illustrant comment une interrogation, presque philosophique au départ, peut conduire à des avancées technologiques majeures.

Remerciements

Nous souhaitons remercier le Dr. Chi ZHANG, dép. Physique de l'Université de Fribourg, Soft Matter and Photonics Group (chi.zhang2@unifr.ch) de nous avoir accordé son temps et son know-how, et de nous avoir mis à disposition le laboratoire ainsi que des sources précieuses, ayant pu rendre possible la réalisation de ce travail. Nous exprimons également toute notre reconnaissance à Dr. David TAJ (david.taj@edufr.ch) pour la direction de ce travail.



Ich möchte Mitglied des Vereins Schweizerischer Mathematikund Physiklehrkräfte (VSMP) sowie des Vereins Schweizerischer Gymnasiallehrerinnen und Gymnasiallehrer (VSG) werden.

Desidero diventare membro della Società Svizzera degli Insegnanti di Matematica e Fisica (SSIMF) e della Società Svizzera degli Insegnanti delle Scuole Secondarie (SSISS).

www.vsg-sspes.ch

Bulletin N° 159

Impressum

Herausgeber — *Éditeur*

VSMP – SSPMP – SSIMF

Korrespondenz — *Correspondance*

Franz Meier franz.meier@vsmp.ch
Werner-Kälin-Strasse 1 Tel. 041 210 25 58
8840 Einsiedeln

Layout — *Mise en page*

Samuel Byland samuel.byland@vsmp.ch
Weinbergstrasse 48b Tel. 079 728 63 97
5000 Aarau

Inserateverwaltung — *Publicité*

Hansjürg Stocker hjstocker@vsmp.ch
Friedheimstrasse 11 Tel. 044 780 19 37
8820 Wädenswil

Bestimmungen für Inserate und Beilagen

— *Tarifs pour les annonces et les annexes*

Inserate:

ganzseitig	Fr. 500.–
halbseitig	Fr. 300.–

Beilagen:

bis 20 g	Fr. 500.–
über 20 g	nach Vereinbarung

Adressänderungen — *Changement d'adresse*

VSMP Mitglieder — Membres de la SSPMP:
VSG – SSPES – SSIS
Sekretariat (Frau Doris Lazzeri)
Monbijoustrasse 36
3011 Bern
Tel. 031 382 52 33
information@vsg-sspes.ch

übrige Abonnenten — autres abonnées:

Franz Meier franz.meier@vsmp.ch
Werner-Kälin-Str. 1 Tel. 041 210 25 58
8840 Einsiedeln

Auflage — *Tirage*

800 Exemplare
erscheint dreimal jährlich

Präsident VSMP — SSPMP — SSIMF

Josef Züger praesident@vsmp.ch
Via Salens Tel. 081 641 10 94
7402 Bonaduz

Deutschschweizerische Mathematikkommission

Andrea Peter praesidium@dmk.vsmtp.ch
Kantonsschule Sursee
Moosgasse 11
6210 Sursee

Deutschschweizerische Physikkommission

Christian Stulz christian.stulz@vsmp.ch
Gymnasium Burgdorf Tel. 031 638 03 03
Pestalozzistrasse 17
3400 Burgdorf

Commission Romande de Mathématique

Sylvie Luisier sylvie.luisier@vsmp.ch
39, ch. des Sellières Tél. 078 689 34 11
1219 Acère

Commission Romande de Physique

Yves Oestreicher yves.oestreicher@vsmp.ch
Malvand 13 Tél. 079 796 69 95
1292 Chambésy

Commissione di Matematica della Svizzera Italiana

Guido Lob guido.lob@vsmp.ch
Via Borghese 14 Tel. 078 663 13 37
6600 Locarno

Redaktionsschluss (Erscheinungsdatum)

— *Délais de rédaction (de parution)*

Nr. 160	30.11.2025 (Ende Januar)
Nr. 161	31.03.2026 (Ende Mai)
Nr. 162	31.07.2026 (Ende September)

Druck und Versand — *Imprimerie*

Niedermann Druck AG
Letzistrasse 37
9015 St. Gallen
www.niedermanndruck.ch

Internet:

www.vsmtp.ch – www.sspmp.ch – www.ssimf.ch



V S M P
S S P M P
S S I M F

Verein Schweizerischer Mathematik- und Physiklehrkräfte
Société Suisse des Professeurs de Mathématique et de Physique
Società Svizzera degli Insegnanti di Matematica e di Fisica