Die 59. Internationale Mathematik-Olympiade

Jürgen Prestin

Die 59. Internationale Mathematik-Olympiade fand vom 3. bis zum 14. Juli 2018 in Cluj-Napoca, der zweitgrößten Stadt Rumäniens, statt.

60 Schülerinnen und 534 Schüler aus 107 Ländern nahmen an dieser Olympiade teil.

Die deutsche Mannschaft bestand aus sechs Schülern, Dr. Christian Reiher als stellvertretendem Delegationsleiter und dem Berichterstatter als Delegationsleiter.

Tabelle 1. Das deutsche Team

Name	Wohnort	Schule	Klasse
Armbruster, Alexander	Unterhaching	Lise-Meitner-Gymnasium	12
Börger, Christoph	Wentorf bei Hamburg	Gymnasium Wentorf	12
Fronhöfer, Christoph	Landshut	Hans-Leinberger-Gymnasium	12
Groß, Lukas Finn	Essen	Alfred-Krupp-Schule	11
Holstermann, Jan	Warendorf	Gymnasium Laurentianum	12
Walter, Jonas	Rostock	Käthe-Kollwitz-Gymnasium	11

Alle sechs Teilnehmer haben schon an vielen Mathematik-Wettbewerben teilgenommen. Für Jonas Walter und Alexander Armbruster war es nach Rio de Janeiro 2017 die zweite Teilnahme an einer IMO und die dritte Teilnahme an den IMO-Vorbereitungslehrgängen. Christoph Börger und Jan Holstermann haben auch schon im letzten Jahr an der IMO-Vorbereitung teilgenommen. Auf der diesjährigen Bundesrunde der 57. Mathematik-Olympiade in Würzburg erzielte Jonas Walter mit voller Punktzahl einen 1. Preis in Klasse 11 und die vier Abiturienten erreichten drei 2. und einen 3. Preis und belegten den 2.-4. und den 6. Platz. Alle vier Abiturienten wollen im Wintersemester ein Mathematik-Studium beginnen.

Auswahl und Vorbereitung der deutschen Mannschaft

Die Auswahl und Vorbereitung der deutschen Mannschaft verlief nach dem Verfahren der Vorjahre. Es qualifizierten sich 76 Schüler und 19 Schülerinnen durch die erfolgreiche Teilnahme an der 2. Runde des Bundeswettbewerbs Mathematik oder an der Bundesrunde der Mathematik-Olympiaden für zwei Auswahlklausuren, die am 5. und 11. Dezember 2017 geschrieben wurden. Teilgenommen an den Auswahlklausuren haben 70 Schüler und 13 Schülerinnen. Die 16 erfolgreichsten Klausurteilnehmerinnen und Klausurteilnehmer bildeten den Kandidatenkreis für die deutsche Mannschaft. Für diese 14 Schüler und zwei

Schülerinnen gab es Seminare über eine knappe Woche in Rostock, drei Wochenenden in Bad Homburg (jeweils drei Tage) und die traditionelle Abschlusswoche am Mathematischen Forschungsinstitut in Oberwolfach. Während dieser Zeit wurden von allen Kandidaten insgesamt sieben Klausuren geschrieben. Die sechs Besten qualifizierten sich für die IMO-Mannschaft (s. Tabelle 1), deren Zusammensetzung am 17. Mai in Oberwolfach verkündet wurde.

Die Seminare wurden von den Mentoren PD Dr. C. Bey (U Lübeck), Prof. Dr. M. Dreher (U Rostock), Dr. M. Härterich (Wiesloch), Prof. Dr. J. Jähnel (U Siegen), Prof. Dr. U. Leck (U Flensburg), Dr. E. Müller (Villingen-Schwenningen), Prof. Dr. J. Prestin (U Lübeck), Dr. C. Reiher (U Hamburg), A. Riekert (U Bonn), G. Schröter (Osnabrück) und F. Schweiger (U Bonn) geleitet.

Zusätzlich hat die Mannschaft vom 20. bis 24. Juni und vom 1. bis 4. Juli wieder zwei selbstständig gestaltete Trainingswochenenden in Bonn durchgeführt. Bereits in den Vorjahren fanden solche von den Teilnehmern als sehr effektiv erachtete Zusammenkünfte statt. Dieses Training hat sich hervorragend bewährt. Die Hilfestellung der Geschäftsstelle beschränkte sich hier auf die Organisation der Plätze in der Jugendherberge in Bonn.

Erwähnenswert ist wieder das Zusatztraining im Vorfeld dieses Auswahlverfahrens. Dr. E. Müller (Villingen-Schwenningen), J. Reinhold, L. Sauermann (beide U Stanford) und F. Schweiger (U Bonn) betreuten in der zweiten Jahreshälfte 2017 per E-Mail-Korrespondenz sehr intensiv sieben erfolgreiche IMO-Teilnehmer, die auch noch in diesem Jahr teilnahmeberechtigt waren. Sechs von ihnen konnten sich in den Dezemberklausuren für die Vorbereitungslehrgänge qualifizieren, vier von ihnen nahmen an der diesjährigen IMO teil.

Seit 2007 gibt es das Programm *Jugend trainiert Mathematik* (JuMa). Es wurde u. a. zur besseren Vorbereitung unserer Schülerinnen und Schüler auf die IMO initiiert. Viele der erfolgreichen Teilnehmer an den bundesweiten Mathematik-Wettbewerben und auch vier unserer sechs IMO-Teilnehmer wurden durch dieses Projekt gefördert.

Die gesamte organisatorische Vorbereitung und Durchführung der Klausuren, der Seminare und der Reise wurden wiederum von der Geschäftsstelle der bundesweiten Mathematik-Wettbewerbe unter Leitung von H.-H. Langmann (bis Dezember 2017) und P. Bauermann (ab Januar 2018) in gewohnt perfekter Weise abgewickelt. Allen, die an der Organisation und der Vorbereitung des deutschen Teams beteiligt waren, gebührt herzlicher Dank.

Das deutsche IMO-Team 2018: Dr. Christian Reiher, Jonas Walter, Lukas Finn Groß, Christoph Börger, Jan Holstermann, Christoph Fronhöfer, Alexander Armbruster, Prof. Dr. Jürgen Prestin, Ilinca Maria Farcaș (Guide) (v. l. n. r.)

Der Ablauf der 59. IMO

Die Delegationsleiter der Länder, welche die internationale Jury bilden, reisten am 3. und 4. Juli an. Die Jury muss bis zum Ende der Klausuren strikt von den Mannschaften getrennt sein. Allerdings fand in diesem Jahr der oft nach den Klausuren übliche Umzug zu den Schülern nicht statt. Die Delegationsleiter blieben die gesamte Zeit im Grand Hotel Italia in Cluj-Napoca und die stellvertretenden Delegationsleiter kamen für die beiden Tage der Korrektur und des Koordinationsprozesses per Bus-Shuttle in dieses Tagungshotel. Die Schüler und die stellvertretenden Delegationsleiter kamen am 7. Juli in Cluj-Napoca an.

Der Eröffnungsfeier am 8. Juli in einer großen Sporthalle wohnten eine Reihe von Ehrengästen bei. Es gab ausführliche Grußworte von insgesamt ca. 75 Minuten Dauer u. a. vom Präsidenten Rumäniens, einer stellvertretenden Ministerpräsidentin, dem Bildungsminister, dem Bürgermeister von Cluj-Napoca und dem Ehrenpräsidenten dieser IMO, Prof. Viorel Barbu. Prof. Barbu leitet die Mathematik-Abteilung der rumänischen Akademie der Wissenschaften und war selber als Schüler Teilnehmer der 1. IMO 1959 in Brașov. Der Höhepunkt der Veranstaltung war dann wieder die traditionelle Parade aller teilnehmenden Mannschaften über die Bühne.

Am 9. und 10.7. wurden vormittags die beiden 4½-stündigen Klausuren geschrieben. Die Arbeitsbedingungen waren sehr gut. Zur Beantwortung der Schülerfragen in den ersten 30 Minuten der Klausuren konnte die Jury

in ihrem Hotel bleiben. Die Fragen wurden eingescannt geschickt und die Antworten auch eingescannt zurückgeschickt. Wieder wurde pro Aufgabe je ein Team von Koordinatoren und Jury-Mitgliedern gebildet, welches die Anfragen mit den jeweiligen Delegationsleitern diskutierte und dann die Antworten genehmigte. Zum einen verlief dieses Verfahren sehr effizient, zum anderen gab es in diesem Jahr erfreulich wenige Anfragen, nur 25 am ersten Tag und 34 am zweiten Tag, so dass alle Schüler die Antworten auf ihre Fragen zeitnah zurückbekamen.

Nach der Durchsicht der Schülerlösungen durch die Delegationsleitungen fand am 11. und 12. Juli die endgültige Festlegung der Bewertung mit den Koordinatoren statt. Das Programmheft listet 91 Koordinatoren auf, fast ausschließlich Rumänen, aber viele von ihnen auch weltweit tätig an bekannten Universitäten. Aus Deutschland war in diesem Jahr niemand als Koordinator beteiligt. Die gesamte Koordination verlief sehr fair und war professionell organisiert. Verbesserungswürdig bleibt für die Zukunft die Beschlussfassung in der Jury über die *Marking schemes*. Die Koordinatoren legen dazu Entwürfe vor, deren Diskussion in der Jury sicher noch zielorientierter geführt werden kann.

Auf zwei Ausflügen konnten die Schüler Sehenswürdigkeiten kennenlernen. Am 11. Juli besuchten die Schüler Alba Iulia, eine bereits von den Römern gegründete Stadt mit großer Bedeutung für die rumänische Geschichte. Neben einer Besichtigung der Zitadelle blieb den Schülern eine historische Parade nebst Kanonenschüssen in

besten Erinnerung. Am Folgetag ging es in das 300 Jahre alte Salzbergwerk Turda, das inzwischen in einen riesigen unterirdischen Freizeitpark, sogar mit Riesenrad und mit mehr als 600 000 jährlichen Besuchern, umfunktioniert wurde. Die Delegationsleiter bzw. die Stellvertreter hatten schon an den Klausurtagen die Möglichkeit, dieses imposante Bergwerk zu bestaunen. Besonders beeindruckte die Schüler, dass sämtliche Bustouren, auch die in Cluj-Napoca vom Hotel zum Veranstaltungsort, jeweils von mehreren Polizeifahrzeugen eskortiert wurden.

Auch in diesem Jahr wurde von den Veranstaltern die Idee aufgegriffen, bekannte Mathematiker zu Vorträgen einzuladen. Von den drei Beiträgen blieben den Teilnehmern besonders die Vorträge von zwei ehemaligen sehr erfolgreichen rumänischen IMO-Teilnehmern in Erinnerung: Ciprian Manolescu (drei Goldmedaillen 1995–97, jetzt UCLA) berichtete sehr spannend von seiner eigenen Forschung im Bereich der Knotentheorie und Victor Nistor (zwei Goldmedaillen 1978–79, jetzt Université de Lorraine) stellte an zwei mit Nobelpreisen ausgezeichneten Ergebnissen aus den Wirtschaftswissenschaften und der Physik die Rolle von partiellen Differentialgleichungen und ihrer expliziten Lösung heraus.

Die Preisverleihung fand am 13. Juli in der gleichen Sporthalle wie die Eröffnungsveranstaltung statt. Wiederum gab es eine Reihe von Grußworten durch Ehrengäste, u. a. einer stellvertretenden Ministerpräsidentin. Zum zweiten Mal wurden die jeweils besten Teilnehmerinnen der verschiedenen Kontinente auf die Bühne gebeten und mit einem Sonderpreis ausgezeichnet. Dies waren Yolrada Yongpisanpob aus Thailand, Alina Harbuzova aus der Ukraine, Monica Martinez Sanchez aus Peru und Shuyu Jiao aus Botswana. Der Preis soll in Zukunft jährlich vergeben werden und wird benannt nach der Fields-Medaillistin und zweimaligen IMO-Goldmedaillengewinnerin Maryam Mirzakhani.

Zur Medaillenübergabe der diesjährigen IMO wurden wie üblich Gruppen von Auszuzeichnenden auf die Bühne gebeten: zuerst Bronze, dann Silber und zum Schluss Gold. Zum Abschluss wurde die IMO-Fahne feierlich an den nächsten Veranstalter, das Vereinigte Königreich, übergeben und mit einem Film über Bath die IMO für das nächste Jahr eingeladen. Die Veranstaltung endete mit einer faszinierenden Lasershow in der abgedunkelten Halle und einem überwältigenden Konfettiregen auf die Sitzreihen der Ausgezeichneten.

Im Anschluss an die Preisverleihung gab es abends eine *Farewell Party* im Grand Hotel Italia. Während man in früheren Jahren meist landesweise zusammensaß, gab es in diesem Jahr zwei Säle, einen für die Schüler und einen für die Delegationsleitungen. In dem einen Saal wurde Wein zum Essen gereicht und vier Tenöre begleiteten den Abend; aus dem anderen Saal schallten laute Discoklänge. So laut, dass unsere deutschen Schüler dann im Hotelfoyer Karten gespielt haben. Die Rückreise am 14. Juli 2018 brachte die Mannschaft im Direktflug nach München, von wo aus dann jeder einzeln weiterfuhr.

Jedes Team wird bei der IMO von einem Guide begleitet. In diesem Jahr war keine Studentin Guide, son-

dern eine Schülerin von einem Gymnasium mit Deutsch-Unterricht, die unsere Mannschaft sehr engagiert betreut hat.

Der Wettbewerb

An der 59. IMO nahmen 107 Länder mit 594 Schülern teil (vgl. die Ergebnisübersicht auf Seite 212).

Damit konnten die bisherigen Rekorde von 111 Ländern und 615 Teilnehmern im letzten Jahr in Rio de Janeiro nicht eingestellt werden. Die vier Länder weniger in diesem Jahr waren Kuba, Kenia, Liechtenstein und Nicaragua.

Die internationale Jury, bestehend aus den 107 Delegationsleitern und dem rumänischen Chairman Mihail Bălună, begann am Abend des 4. Juli mit ihrer Arbeit. Die Arbeitsbedingungen der Jury in den Konferenzräumen des Grand Hotel Italia waren insgesamt sehr gut. Als besonderen Clou hatten die Veranstalter jedem Jurymitglied für alle Abstimmungen und das Herunterladen von Dokumenten ein Tablet aus rumänischer Produktion zur Verfügung gestellt. Nach einer Eingewöhnungsphase konnte dann sehr effizient in der Jury abgestimmt werden, so dass sofort nach jeder Abstimmung das Ergebnis, je nach Bedarf als geheime oder offene Abstimmung, projiziert wurde.

Jedes teilnehmende Land hat das Recht, Aufgabenvorschläge einzureichen. In diesem Jahr wurden den Veranstaltern 168 Aufgaben aus 49 Ländern zugesandt. Eine Aufgabenkommission des Veranstalters, bestehend aus sechs rumänischen Mitgliedern und den drei weiteren langjährig erfahrenen Mitgliedern Ilya Bogdanov, Pavel Kozhevnikov (beide Moskau) und Géza Kós (Budapest), stellte daraus im Vorfeld der IMO 28 Aufgaben für eine Shortlist zusammen, welche die Grundlage für die Auswahl der Jury bildeten. Von diesen 28 Aufgaben wurden nach längerer Diskussion drei Aufgaben ausgeschlossen. Zwei Vorschläge waren sehr ähnlich zu Aufgaben, die in China bzw. Australien zur Vorbereitung genutzt wurden. Die dritte Aufgabe war wohl kurzzeitig im Einreichungsprozess auf der nur den Delegationsleitern zugänglichen Homepage des Veranstalters allgemein sichtbar gewesen.

Die Jury legte nach intensiven Diskussionen unter Hinzuziehung eines anonym aufgestellten „Beauty-Contests“ schließlich bis zum Abend des 6. Juli sechs der Shortlist-Aufgaben für die beiden Klausuren fest, wobei die Aufgaben einerseits eine gute Mischung von unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden und mathematischen Gebieten sein sollen, andererseits aber auch möglichst keine „Standard“-Lösungen zulassen sollen. Ein deutscher Aufgabenvorschlag hat es leider nicht in die Shortlist geschafft. Am Morgen des 7. Juli setzte sich die „English Language Group“ zusammen, um den endgültigen englischen Text der Aufgaben zu wählen, der danach von der Jury wieder bestätigt werden musste. Dort wurden dann Kompromisse geschlossen, z. B. heißt es dann in Aufgabe 1 „parallel oder gleich“, da in einigen Sprachen bzw. Schulsystemen „parallel“ auch immer ungleich bedeutet und dann diese

Schüler versuchen würden, zu zeigen, dass die Geraden nicht identisch sind. Dass in dieser Aufgabe ein Kreisbogen AB nicht als AB bezeichnet wird, hat allerdings einen anderen Grund: Es gibt Sprachversionen und Drucker, in denen dieses Bogensymbol nicht ordentlich wiedergegeben wird. Stark umformuliert wurde die Aufgabe 4. Hier ist die Originalversion aus der Shortlist:

Queenie and Horst play a game on a 20×20 chessboard. In the beginning the board is empty. In every turn, Horst places a black knight on an empty square in such a way that his new knight does not attack any previous knights. Then Queenie places a white queen on an empty square. The game gets finished when somebody cannot move.
Find the maximal positive K such that, regardless of the strategy of Queenie, Horst can put at least K knights on the board.

In der neu formulierten Variante spielt Wissen über Schachfiguren keine Rolle und auch die Ersetzung der Spielernamen durch Amy und Ben war aus deutscher Sicht eher passend.

Nach Beschlussfassung über die englische Variante der Aufgaben wurden die Aufgaben in die weiteren offiziellen Sprachen Deutsch, Französisch, Russisch und Spanisch übersetzt und von der Jury genehmigt. Jeder Schüler und jede Schülerin erhält die Aufgaben in der Muttersprache und einer zweiten Sprache eigener Wahl. Demgemäß übersetzten die entsprechenden Delegationsleiter die Aufgabentexte in die restlichen 56 Sprachen. Auch alle diese Versionen wurden nach Prüfung durch die Jury bestätigt. Insgesamt standen die Aufgaben in 57 Sprachversionen zur Verfügung und sind auf imo-official.org abrufbar.

Bei der Bewertung der Lösungen wurden 36,8 % der möglichen Punkte vergeben. Dies ist ein sehr durchschnittlicher Wert. Die beiden Extrema der letzten zehn Jahre lagen 2014 bei 38,2 % und 2015 bei 30,9 %. Auch in diesem Jahr war die Aufgabe 3 wieder besonders schwer, so dass sie es mit ihrer erreichten durchschnittlichen Punktzahl in die Liste der schwersten Aufgaben geschafft hat (vgl. Tabelle 2).

Zu dieser sehr spannenden Aufgabe über anti-Pascalsche Dreiecke wurde schon wenige Stunden nach Ende der Klausur in Internetforen berichtet, dass Martin Gardner hierüber schon publiziert hat und dass daraufhin vier chinesische Autoren die Existenzfrage abschließend klären konnten (G. J. Chang, M. C. Hu, K. W. Lih and T. C. Shieh, Exact difference triangles. *Bull. Inst. Math., Acad. Sin.* 5 (1977), 191–197. Siehe auch <https://tinyurl.com/yd99r3rr>): Ersetzt man in dieser Aufgabe 2018 durch n , dann gibt es bis auf Spiegelung insgesamt nur zwei Lösungen für $n = 2$, je vier Lösungen für $n = 3$ und $n = 4$ sowie noch eine Lösung für $n = 5$.

In der „Hall of Fame“ aller IMO-Teilnehmer seit 1959 (siehe die Webseite www.mathematik-olympiaden.de oder www.imo-official.org/hall.aspx) gab es an der Spitze keine Veränderungen. In dieser Liste gehören unverändert Lisa

Sauermann, Christian Reiher, Wolfgang Burmeister, Martin Härterich und Peter Scholze zu den besten 16. Auch im exklusiven „Club der IMO-Teilnehmer mit mindestens drei Goldmedaillen“ gab es in diesem Jahr keine Neuauflagen.

Das Reglement, das seit vielen Jahren festgeschrieben ist, sieht vor, dass nicht mehr als die Hälfte der Teilnehmer einen Preis erhält und dass die Anzahl der 1., 2. bzw. 3. Preise möglichst das Verhältnis 1 : 2 : 3 aufweisen sollte. Die diesjährigen Punktgrenzen sind in Tabelle 3 angegeben. Eine spannende Frage bleibt immer, ob die Jury das Reglement streng auslegt oder eher zu approximativen Varianten neigt. Wieder wurde darüber anonym in der Jury abgestimmt. Anonym meint hier, dass der Jury gesagt wurde: „Wenn man für n Punkte eine Medaille bekommt, dann werden insgesamt 306 Medaillen vergeben, bei Punktgrenze $n + 1$ genau 289 Medaillen.“ Bei der Juryabstimmung, ob mehr als die laut Reglement möglichen 297 Teilnehmer eine Medaille bekommen sollen und bei der n den Jurymitgliedern noch unbekannt war, wurde die Zweidrittelmehrheit zum Überstimmen des Reglements in diesem Jahr klar verfehlt. Unter den acht Möglichkeiten, die drei Medaillengrenzen festzulegen, wurde dieses Jahr nicht die strengste Möglichkeit gewählt, sondern bei der Grenze von Bronze zu Silber zu Gunsten von Silber entschieden. Hiervon profitierte auch ein deutscher Teilnehmer.

Es gab auch in diesem Jahr keinen Sonderpreis für die besonders elegante Lösung einer Aufgabe.

Die deutsche IMO-Mannschaft

Das Ergebnis der deutschen Mannschaft mit insgesamt vier Medaillen ist Tabelle 4 zu entnehmen. Besonders gefreut haben wir uns über die Goldmedaille für Jonas Walter. Seit 2008 gab es für Deutschland nur die vier Goldmedaillen von Lisa Sauermann 2008–11. Selbst innerhalb der 48 Goldmedaillenpreisträger gehört Jonas Walter mit 38 Punkten zu den besten acht Teilnehmern der IMO. Nur in Aufgabe 3 fehlte ihm ein Beweisteil, für den vier Punkte im Marking Scheme festgelegt waren. Besonders zu erwähnen ist, dass dies die 50. Goldmedaille einer bundesdeutschen IMO-Mannschaft war. Zur kompletten Statistik nach dieser IMO gehören genau 100 Silbermedaillen, 76 Bronzemedallen und 13 ehrende Erwähnungen für bundesdeutsche Mannschaften.

In der inoffiziellen Länderwertung liegt Deutschland auf Rang 31 und damit um zwei Plätze höher als 2017 in Rio de Janeiro. Hier ist durchaus Verbesserungspotenzial vorhanden, wenn man auf Rang 19 im Jahr 2016, davor auf die Ränge 27, 16, 27, 31, 11, 9, 9, 20, 15 und 2006 sogar auf Rang 4 zurückblickt.

Interessant ist wieder ein Blick auf die Ergebnisse bei den einzelnen Aufgaben. Der Vergleich der erreichten Resultate (in Prozent) aller IMO-Teilnehmer, der Schüler der besten 10 Mannschaften sowie der deutschen Mannschaft gibt Aufschluss darüber, wie unsere Schüler die Aufgaben relativ bewältigten, s. Tabelle 5. Gefreut haben wir uns über das gute Abschneiden bei Aufgabe 4.

Tabelle 2. Kleinste durchschnittlich erreichte Punktzahl seit der 1. IMO 1959

Ø	Absolute Punkte	Aufgabe	Jahr
0,042	$3 \times 1 + 1 \times 4 + 1 \times 5 + 2 \times 7 = 26$	3	2017
0,152	$40 \times 1 + 2 \times 2 + 5 \times 7 = 79$	6	2007
0,168	$2 \times 1 + 1 \times 2 + 10 \times 3 + 6 \times 4 + 2 \times 5 + 1 \times 6 + 3 \times 7 = 95$	6	2009
0,187	$11 \times 1 + 3 \times 2 + 3 \times 3 + 1 \times 5 + 1 \times 6 + 8 \times 7 = 93$	6	2006
0,251	$25 \times 1 + 14 \times 2 + 2 \times 5 + 3 \times 6 + 10 \times 7 = 151$	3	2016
0,260	$31 \times 1 + 9 \times 2 + 1 \times 6 + 12 \times 7 = 139$	6	2008
0,278	$7 \times 1 + 9 \times 2 + 14 \times 3 + 4 \times 4 + 1 \times 5 + 11 \times 7 = 165$	3	2018
0,294	$24 \times 1 + 9 \times 2 + 5 \times 3 + 4 \times 4 + 2 \times 5 + 14 \times 7 = 181$	6	2017
0,296	$15 \times 1 + 6 \times 2 + 6 \times 3 + 2 \times 4 + 6 \times 5 + 4 \times 6 + 7 \times 7 = 156$	6	2013

Tabelle 3. Die Punktgrenzen für die Preise

48	Goldmedaillen	für ≥ 31 Punkte (von 42)
98	Silbermedaillen	für ≥ 25 Punkte
143	Bronzemedailles	für ≥ 16 Punkte
138	Ehrende Erwähnungen	für eine vollständige Lösung
289	Medaillen	bei 594 Teilnehmern

Tabelle 4. Die Ergebnisse des deutschen Teams

Name	Punkte	Preis
Jonas Walter	38	Gold
Lukas Finn Groß	28	Silber
Christoph Börger	25	Silber
Alexander Armbruster	21	Bronze
Jan Holstermann	10	Ehrende Erwähnung
Christoph Fronhöfer	9	Ehrende Erwähnung

Ausblick

Die gegenwärtige Situation über die Ausrichtung der nächsten IMOs bis 2023 ist in Tabelle 6 angegeben. Neue Ausrichter ab 2024 wurden vom IMO Board noch nicht der Jury zur Bestätigung vorgelegt. Für 2024 und 2025 gibt es allerdings Länder, die überlegen, sich zu bewerben.

IMO Board

In diesem Jahr fanden turnusgemäß Wahlen zum IMO Board statt. Die neue Zusammensetzung dieses Gremiums ist in Tabelle 7 angegeben.

Tabelle 5. Die Ergebnisse der einzelnen Aufgaben

Aufgabe	Gebiet	Alle (%)	Top 10 (%)	Deutsches Team (%)
1	Geometrie	70,5	99,8	71,4
2	Algebra	42,1	94,0	54,8
3	Kombinatorik	4,0	21,0	7,1
4	Kombinatorik	56,6	98,8	100,0
5	Zahlentheorie	38,5	90,5	57,1
6	Geometrie	9,1	38,1	21,4
Alle		36,8	73,7	52,0

Tabelle 6. Die nächsten IMOs

Jahr	Land	Ort	Zeitraum
2019	Vereinigtes Königreich	Bath	11.–22.07.2019
2020	Russland	St. Petersburg	
2021	USA		
2022	Norwegen		
2023	Japan		

Tabelle 7. Die Mitglieder des IMO-Boards

	Amtszeit
Vorsitzender: Geoff Smith (Vereinigtes Königreich)	bis 2022
Sekretär: Gregor Dolinar (Slowenien)	bis 2020
Mitglied: Nazar Agakhanov (Russland)	bis 2022
Mitglied: Dávid Kunszenti-Kovács (Norwegen)	bis 2020
Mitglied: Yongjin Song (Südkorea)	bis 2022
ex officio IMO 2018: Radu Gologan (Rumänien)	bis 2019
ex officio IMO 2019: Geoff Smith (Vereinigtes Königreich)	bis 2020
ex officio IMO 2020: Nazar Agakhanov (Russland)	bis 2021

IMO-Informationen

Für weitere Informationen zu mathematischen Schülerwettbewerben sei auf die Webseite www.mathematik-olympiaden.de verwiesen. Speziell zu den IMOs sind folgende Webseiten empfehlenswert: www.imo-official.org www.mathematik-olympiaden.de/moev/index.php/olympiaden/imo

Auch Datenschutz wird inzwischen sehr ernst genommen: Ehemalige Teilnehmer, die namentlich auf den Seiten von imo-official.org gelistet sind, können verlangen, dass ihr namentlicher Eintrag ersetzt wird durch beispielsweise „deutscher Teilnehmer Nr. 2“.

Prof. Dr. Jürgen Prestin, Institut für Mathematik, Universität zu Lübeck,
Ratzeburger Allee 160, 23562 Lübeck
prestin@math.uni-luebeck.de

Jürgen Prestin ist seit 2000 Inhaber einer Professur für Mathematik an der Universität zu Lübeck. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in Approximationstheorie und Fourier-Analyse. Seit 2010 ist er 1. Vorsitzender des Mathematik-Olympiaden e. V. und seit 2015 Delegationsleiter der deutschen IMO-Mannschaft.

Die Aufgaben der 59. IMO 2018

1. Tag

1. Es sei Γ der Umkreis eines spitzwinkligen Dreiecks ABC . Punkte D und E liegen so auf den Strecken AB bzw. AC , dass $AD = AE$ gilt. Die Mittelsenkrechten der Strecken BD und CE schneiden die kürzeren Kreisbögen AB bzw. AC von Γ in den Punkten F bzw. G . Man beweise, dass die Geraden DE und FG parallel oder gleich sind.

(Griechenland)

2. Man bestimme alle ganzen Zahlen $n \geq 3$, für die reelle Zahlen $a_1, a_2, \dots, a_{n+2}$ existieren, so dass $a_{n+1} = a_1$, $a_{n+2} = a_2$ und

$$a_i a_{i+1} + 1 = a_{i+2}$$

für $i = 1, 2, \dots, n$ gelten.

(Slowakei)

3. Ein *anti-Pascalsches Dreieck* ist eine gleichseitig dreieckige Anordnung von Zahlen in der, mit Ausnahme der Zahlen in der untersten Zeile, jede Zahl gleich dem Absolutbetrag der Differenz der beiden unmittelbar darunter stehenden Zahlen ist. Zum Beispiel ist die folgende Anordnung ein anti-Pascalsches Dreieck mit vier Zeilen, das jede ganze Zahl von 1 bis 10 enthält.

$$\begin{array}{cccc} & & 4 & \\ & 2 & & 6 \\ & 5 & 7 & 1 \\ 8 & 3 & 10 & 9 \end{array}$$

Existiert ein anti-Pascalsches Dreieck mit 2018 Zeilen, das jede ganze Zahl von 1 bis $1 + 2 + \dots + 2018$ enthält?

(Iran)

2. Tag

4. Ein *Knoten* ist ein Punkt (x, y) in der Ebene, für den sowohl x als auch y positive ganze Zahlen kleiner oder gleich 20 sind.

Zunächst ist jeder der 400 Knoten unbesetzt. Amy und Ben legen abwechselnd Steine auf die Knoten, wobei Amy beginnt. In jedem Zug von Amy legt sie einen neuen roten Stein so auf einen unbesetzten Knoten, dass der Abstand zwischen je zwei von roten Steinen besetzten Knoten ungleich $\sqrt{5}$ ist. In jedem Zug von Ben legt er einen neuen blauen Stein auf einen unbesetzten Knoten. (Ein Knoten, der von einem blauen Stein besetzt ist, darf einen beliebigen Abstand von jedem anderen besetzten Knoten haben.) Sie hören auf, sobald ein Spieler keinen Stein mehr legen kann.

Man bestimme das größte K , so dass Amy sicher mindestens K rote Steine legen kann, unabhängig davon, wie Ben seine blauen Steine legt.

(Armenien)

5. Es sei $a_1, a_2, \dots$ eine unendliche Folge positiver ganzer Zahlen. Es sei angenommen, dass eine ganze Zahl $N > 1$ existiert, so dass für jedes $n \geq N$ die Zahl

$$\frac{a_1}{a_2} + \frac{a_2}{a_3} + \dots + \frac{a_{n-1}}{a_n} + \frac{a_n}{a_1}$$

ganz ist. Man beweise, dass es eine positive ganze Zahl M gibt, so dass $a_m = a_{m+1}$ für alle $m \geq M$ gilt.

(Mongolei)

6. Ein konvexes Viereck $ABCD$ erfülle die Bedingung $AB \cdot CD = BC \cdot DA$. Ein Punkt X liege so im Inneren von $ABCD$, dass

$$\sphericalangle XAB = \sphericalangle XCD \quad \text{und} \quad \sphericalangle XBC = \sphericalangle XDA.$$

Man beweise, dass $\sphericalangle BXA + \sphericalangle DXC = 180^\circ$ gilt.

(Polen)

Arbeitszeit: $4\frac{1}{2}$ Stunden an jedem Tag.

Bei jeder Aufgabe waren 7 Punkte erreichbar.

59. IMO 2018 – Länderübersicht (inoffiziell)

N	Land	P	G	S	B	N	Land	P	G	S	B
1	USA	212	5	1	–	55	Spanien	74	–	–	2
2	Russland	201	5	1	–	56	Norwegen	73	–	–	2
3	Volksrepublik China	199	4	2	–	57	Österreich	72	–	–	3
4	Ukraine	186	4	2	–	58	Dänemark	71	–	–	3
5	Thailand	183	3	3	–	59	Finnland	70	–	–	2
6	Taiwan	179	3	1	2	60	Saudi-Arabien	69	–	1	1
7	Republik Korea	177	3	3	–		Syrien	69	–	–	2
8	Singapur	175	2	3	1	62	Südafrika	66	–	–	1
9	Polen	174	1	5	–	63	Costa Rica (5)	65	–	–	2
10	Indonesien	171	1	5	–		Turkmenistan	65	–	–	1
11	Australien	169	2	3	1	65	Macao	61	–	–	1
12	Vereinigtes Königreich	161	1	4	–	66	Kolumbien	59	–	–	1
13	Japan	158	1	3	2	67	Island	56	–	–	1
	Serbien	158	2	2	2	68	Schweiz	52	–	–	1
15	Ungarn	157	–	4	2	69	Aserbaidshjan	50	–	–	–
16	Kanada	156	–	5	1	70	Tunesien	49	–	–	–
17	Italien	154	–	4	2	71	Ecuador	48	–	–	–
18	Kasachstan	151	–	4	2	72	Sri Lanka	47	–	–	1
19	Islamische Republik Iran	150	1	3	1	73	Marokko	46	–	–	–
20	Vietnam	148	1	2	3		Puerto Rico	46	–	–	1
21	Bulgarien	146	1	3	1	75	Republik Zypern (5)	45	–	–	1
22	Kroatien	145	–	4	1	76	Irland	43	–	–	1
23	Slowakei	140	–	3	3	77	Kirgisistan	41	–	–	–
24	Schweden	138	1	2	2	78	Lettland	40	–	–	–
	Türkei	138	1	1	4	79	Albanien	37	–	–	–
26	Israel	136	–	2	4	80	Pakistan	35	–	–	–
27	Georgien	133	–	1	5	81	Bolivien	33	–	–	–
28	Brasilien	132	1	–	4	82	Ehem. Jug. Rep. Mazedonien	27	–	–	–
	Indien	132	–	3	2	83	Nigeria (3)	26	–	–	–
	Mongolei	132	–	1	5		Trinidad und Tobago (3)	26	–	–	–
31	Deutschland	131	1	2	1	85	Myanmar	23	–	–	–
32	Armenien	130	–	2	4	86	Kosovo	21	–	–	–
33	Frankreich	129	1	1	4		Panama (4)	21	–	–	–
	Rumänien	129	1	1	2		Usbekistan (3)	21	–	–	–
35	Peru	125	–	2	3	89	El Salvador (2)	20	–	–	–
36	Mexiko	123	–	1	4		Montenegro (4)	20	–	–	–
	Niederlande	123	–	1	4	91	Chile (4)	19	–	–	–
38	Philippinen	121	1	1	2	92	Algerien (4)	18	–	–	–
39	Argentinien	115	–	1	4	93	Luxemburg (2)	14	–	–	–
	Tschechische Republik	115	–	2	2	94	Ghana (5)	13	–	–	–
41	Bangladesch	114	1	–	3	95	Botswana	12	–	–	–
42	Slowenien	104	–	1	1		Paraguay	12	–	–	–
43	Bosnien und Herzegowina	103	–	–	4	97	Guatemala (3)	11	–	–	–
	Tadschikistan	103	–	–	5		Kambodscha	11	–	–	–
45	Neuseeland	102	–	1	2	99	Ägypten (4)	10	–	–	–
	Weißrussland	102	–	–	4	100	Irak	9	–	–	–
47	Belgien	92	–	–	4		Uganda (4)	9	–	–	–
48	Malaysia	90	–	–	2	102	Côte d'Ivoire	8	–	–	–
49	Hongkong	89	–	–	2	103	Uruguay (4)	7	–	–	–
50	Moldawien	86	–	–	3	104	Honduras (3)	6	–	–	–
51	Estland	80	–	1	–	105	Nepal	5	–	–	–
52	Litauen	77	–	–	2	106	Venezuela (1)	2	–	–	–
	Portugal	77	–	–	2	107	Tansania (3)	1	–	–	–
54	Griechenland	74	–	–	2						

Legende: N – Platzierung, P – Punktzahl, G – Anzahl der Goldmedaillen, S – Anzahl der Silbermedaillen, B – Anzahl der Bronzemedailles. Jede Mannschaft bestand aus sechs bzw. der in Klammern angegebenen Anzahl von Schülerinnen und Schülern. Eine vollständige Mannschaft (sechs Personen) konnte maximal 252 Punkte erreichen.