

JuniorAkademie Adelsheim

21. SCIENCE ACADEMY BADEN-WÜRTTEMBERG 2024



Astronomie



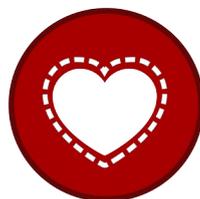
Literatur/Philosophie



Mathematik/Informatik



Mathematik/Physik



Medizin



Meteorologie/Physik

Regierungspräsidium Karlsruhe Abteilung 7 – Schule und Bildung

**Dokumentation der
JuniorAkademie Adelsheim 2024**

**21. Science Academy
Baden-Württemberg**

Veranstalter der JuniorAkademie Adelsheim:

Regierungspräsidium Karlsruhe
Abteilung 7 –Schule und Bildung–
Hebelstr. 2

76133 Karlsruhe

Tel.: (0721) 926 4245

Fax.: (0721) 933 40270

www.scienceacademy.de

E-Mail: joerg.richter@scienceacademy.de

birgit.schillinger@scienceacademy.de

rico.lippold@scienceacademy.de

Die in dieser Dokumentation enthaltenen Texte wurden von der Kurs- und Akademieleitung sowie den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der 21. JuniorAkademie Adelsheim 2024 erstellt. Anschließend wurde das Dokument mithilfe von L^AT_EX gesetzt.

Gesamtredaktion und Layout: Jörg Richter, Tobias van Lier

Copyright © 2024 Jörg Richter, Dr. Birgit Schillinger

Vorwort

„Völlig losgelöst ...“

... vom Schulalltag schwebten 76 Jugendliche schwerelos durch den „Kosmos“ – unser diesjähriges Motto – der 21. JuniorAkademie Adelsheim. Wie auch Major Tom im gleichnamigen Sommerhit von Peter Schilling begaben sich die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der diesjährigen Science Academy auf eine Reise in neue Welten – eine Reise in die Weiten der Wissenschaft. Begleitet von unserem 28köpfigen Leitungsteam sollten sie schon bald neue Interessen entdecken, wissenschaftliche Erfahrungen sammeln und Freundschaften knüpfen.

Der Startschuss für diese Mission fiel Mitte Juni auf dem Gelände des Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU) in Adelsheim. Am Eröffnungswochenende kam unsere Crew das erste Mal zusammen und lernte sich kennen – alle mit ganz eigenen Vorerfahrungen, Talenten und Erwartungen. Was sie auf ihrem Flug so alles erleben würden, stand zu diesem Zeitpunkt noch in den Sternen.



Im Sommer dann nahm unsere Reise so richtig Fahrt auf. Über zwei Wochen hinweg arbeiteten die Teilnehmerinnen und Teilnehmer in den sechs Kursen und entdeckten und gestalteten gemeinsam den Mikrokosmos Akademie.

Der Philosophiekurs verglich dystopische und utopische Welten, im Kurs Mathematik/Informatik wurde der Energiemix der Zukunft analysiert und optimiert, und die Medizinerinnen und Mediziner

fragten sich, was „Gesundheit“ eigentlich bedeutet. Unterdessen schickte der Meteorologiekurs einen Wetterballon in den Himmel, die Astronominnen und Astronomen richteten ihren Blick auf Meteoriden im Weltall und Meteoriten auf der Erde, und der Kurs Mathematik/Physik ging nochmal einen Schritt weiter und erforschte gleich die Unendlichkeit.

Neben der Kurszeit haben sich die Crewmitglieder bei Ausflügen und in den KüAs, beim Morgensport, im Theater oder als Teil des Orchesters, bei Wanderungen und Grillabenden besser kennengelernt und ihre Interessen ausgelebt. So verging die Zeit wie im Flug, und der große Abschlussabend kam viel zu früh.

Am Dokumentationswochenende im Herbst bot sich dann die Möglichkeit, auf die schöne gemeinsame Zeit zurückzublicken und über die Entdeckungen aus dem Trip durch den Akademie-Kosmos zu reflektieren. Zwar war damit nun die Zeit in Adelsheim vorbei, doch unsere Reise ist noch lange nicht zu Ende.

Losgelöst und schwerelos schweben wir weiter, doch anders als Major Tom melden wir uns zurück – hier und heute, mit dieser Dokumentation. Wir wünschen Euch und Ihnen viel Spaß beim Lesen!

Eure/Ihre Akademieleitung



Melissa Bauer (Assistenz)



Mathis Bußhoff (Assistenz)



Jörg Richter



Dr. Birgit Schillinger

Inhaltsverzeichnis

VORWORT	3
KURS 1 – ASTRONOMIE	7
KURS 2 – LITERATUR/PHILOSOPHIE	33
KURS 3 – MATHEMATIK/INFORMATIK	53
KURS 4 – MATHEMATIK/PHYSIK	73
KURS 5 – MEDIZIN	97
KURS 6 – METEOROLOGIE/PHYSIK	115
KÜAS – KURSÜBERGREIFENDE ANGEBOTE	135
DANKSAGUNG	151
BILDNACHWEIS	152

Kurs 3 – Von Datenanalyse bis Optimierung: Der Energiemix der Zukunft



Unser Kurs

Aarnav war im Kurs immer mit bester Laune dabei. Er setzte sich immer solange an Dinge, bis er sie wirklich erfolgreich erledigt und verstanden hatte. Wenn die Müdigkeit groß oder wir erschöpft waren, war Aarnav mit seinen motivierenden Sprüchen stets zur Stelle, womit er uns sehr beeindruckte. Aarnav war sich nie zu schade, eine seiner Ideen im Kurs vorzuschlagen oder ein Problem von einer neuen Seite zu beleuchten.

Neben dem Kurs überzeugte Aarnav im Akademieorchester an der Geige oder war

während des Bergfests beim Breakdancen zu sehen. Es machte immer sehr viel Spaß mit ihm im Kurs.

Bruno zeichnet sich durch eine außerordentliche Vielseitigkeit aus. Besonders auffällig ist seine Begeisterung für das Programmieren, die er von Anfang an zeigte. Er war immer interessiert und konzentriert dabei. Mit seiner humorvollen und dennoch ruhigen und geduldigen Art bereicherte er unseren Kurs sehr. Außerdem machte es ihm großen Spaß, neues Wissen direkt in

die Praxis umzusetzen. Besonders in den letzten Tagen, als es um die Erstellung der Abschlusspräsentationen ging, war er immer zur Stelle und half, wo er nur konnte. Doch er kann nicht nur Mathe und Informatik: Während der zwei Wochen im Sommer nahm er auch fast jeden Morgen an der Sport-KüA teil und gehörte zu den schnellsten Joggern. Außerdem spielte er Saxophon im Akademieorchester.

David ist ein Mensch mit viel Persönlichkeit und Humor. Er ist auch ein Genie am Schachbrett und brachte uns einige Tricks bei, wo er nur konnte. Mit seiner Intelligenz in Mathematik und Programmierung brachte er unseren Kurs voran. Seine Geistesgegenwart am Sporttag half uns, die nötigen Punkte zu sammeln. Poker ist auch ein Spiel, das er in der Akademie anfang, zu spielen, und er spielt es wunderbar, indem er blufft und im richtigen Moment Geld setzt.

Er ist sehr gut im Basteln, was sich zeigte, als wir etwas für unseren geheimen Freund basteln mussten. Alles in allem ist er immer für uns da, wenn wir ihn brauchen, und er ist ein toller Freund.

Franziska – auch freundlich Franzi genannt – ist eine geduldige Person, die offen und tolerant ist und zugleich für ihre Werte steht. Sie sorgte auch immer für viel Positivität im Kurs. Bei der Rotation und am Präsentationstag waren wir äußerst angewiesen auf ihren Laptop, der zum Abspielen unserer PowerPoint für alle herhalten musste.

Zudem macht sie in ihrer Freizeit viel Sport, war im Orchester und spielt Schach. Zu letzterem bot sie in der Akademie eine spannende und lustige Abend-KüA an.

Ilya ist eine sehr interessante Person. Bei ihm findet man die passende Mischung aus Spaß und konzentriertem Arbeiten. Mit spannenden Fragen und Ideen brachte er den Kurs voran und war sich nie zu schade, eine Idee, einen Lösungsansatz oder eine noch nicht geklärte Fragestellung anzusprechen. Ilya kann sehr gut mit Kritik umgehen und es machte ihm großen Spaß, das neu Gelernte direkt umzusetzen, auszuprobieren und an-

zuwenden. Immer wieder versuchte er beeindruckend lange, geduldig und selbstständig ein Problem zu lösen. In seiner ehrlichen und ruhigen Art war er dem Kurs eine große Bereicherung.

Auch beim Sportfest hatte er immer Spaß dabei, unser Team zu motivieren. Er ließ sich selbst, als seine Brille kaputt ging, nicht unterkriegen.

Jessica ist sehr ehrgeizig. Im Kurs wollte sie nie Pause machen, sondern lieber weiterprogrammieren. Im Programmieren mit Python war Jessica besonders gut. Sie hat aber auch ein sehr gutes räumliches Vorstellungsvermögen. Den anderen Kursteilnehmerinnen und -teilnehmern half sie immer gerne, und sie brachte sich oft ein und stellte gute Fragen.

Jessica spielt außerdem „Guzheng“, ein traditionelles chinesisches Saiteninstrument. Damit verlieh sie unserem Akademieorchester einen besonderen Klang und war eine Bereicherung für das Akademie-Ensemble. Dass Jessica gut tanzen kann, zeigte sie beim Bergfest und auch bei der Abschlussparty. Sie verbreitete jede Menge gute Laune und motivierte auch die andern zum Tanzen.



Julian Le. war während der Akademie fester Bestandteil der Sport-KüA. Mit seiner angenehmen Art sorgte er für Ausgeglichenheit im Kurs. Darüber hinaus ist er sehr humorvoll und nett. Er war im Kurs immer wissbegierig dabei und stellte viele hilfreiche Fragen. Er konnte die Themen sehr gut und gründlich verstehen. Beim Präsentieren überzeugte er durch eine sehr souveräne und angenehme Aufttritsweise.

Er brachte sich stets mit durchdachter und konstruktiver Kritik ein, egal ob bei der Gestaltung des Kurs-T-Shirts oder bei der Vorbereitungen auf den Präsentationstag. Dabei hatte er eine schier endlose Ausdauer. Auch beim Schreiben der Dokumentation zeigte er viel Geduld und auf ihn war immer Verlass.

Julian Li. gehörte ebenfalls zu denen im Kurs, die am liebsten programmierten. Ihn musste man auch oft zu einer Pause zwingen. Mit seinen guten Ideen und Programmierfähigkeiten brachte er unseren Kurs voran und half bei Gruppenarbeiten mit seinen konstruktiven Beiträgen und guten Ideen sehr. Außerdem sorgte er mit seiner guten Laune für eine gute Stimmung in unserem Kurs. Wenn man kurzfristig noch eine Grafik für die Präsentation brauchte, war man bei ihm genau richtig.

Mit Julian hatten wir die ganze Akademie über sehr viel Spaß, vor allem auch bei der Theateraufführung, bei der er den Reporter spielte. Diese Rolle passte perfekt zu ihm und er verkörperte sie sehr überzeugend und gut.

Kristina sorgt mit ihrem Humor und ihrer offenen Art immer für eine unterhaltsame Atmosphäre. Im Kurs brachte sie uns mit ihren konstruktiven Beiträgen gut voran. Besonders in den Theorieteilen zeigte sie viel Begeisterung und war sehr interessiert und konzentriert.

Während der Freizeitangebote war sie meist künstlerisch tätig. Beispielsweise sah man ihr musikalisches Talent eindeutig, als sie die einzige Gesangsrolle im Theater bekam. Ihre Leidenschaft für die Musik und Gesang war für alle klar zu erkennen, da wir sie oft in der Freizeit singen hörten. Sie war außerdem akademieweit bekannt als Reporterin der morgendlichen Nachrichten.

Livia begeisterte uns alle mit ihrer freundlichen und hilfsbereiten Art. Ob in der Theater-KüA oder im Kurs, sie war immer motiviert und sorgte mit ihrer Energie für eine gute Stimmung in der Gruppe. Im Kurs war sie immer fokussiert und sorgte für eine konzentrierte und ruhige Arbeitsatmosphäre.

Außerdem ist sie eine super Teamplayerin. Ihre Begeisterung im Optimierungsteil war deutlich zu spüren, da sie immer etwas zum Kurs beitragen konnte.

Sie war an vielen Stellen engagiert. Zum Beispiel schrieb sie ein Dankeslied für Melli und Mathis und organisierte die Aufführung.



Maiko hatte stets eine gute Idee parat. Wir hatten mit ihr als „Tratschtante“ immer Unterhaltung und Spaß. Besonders interessiert war sie am Optimierungsteil, weshalb sie auch diesen als Abschlussprojekt auswählte. Dank ihrer Fähigkeiten in der Mathematik schaffte sie es regelmäßig, wertvolle Ideen zum Kurs beizutragen.

Auch hatte sie generell eine immer fröhliche Persönlichkeit und war gerade im Programmiersteil sehr kooperativ und konnte gut mit anderen zusammenarbeiten. Ihre positive Ausstrahlung sorgt stets für gute Laune.

Milas ansteckendes Lachen heiterte die Kursatmosphäre immer wieder entscheidend auf. Sie bereicherte den Kurs durch ihre vielen Beiträge und durchdachten Fragen. Jedoch war sie auch immer für eine kurze Phase des Plauderns zu haben und zählte deshalb zu den „Tratschtanten“ unseres Kurses. Hier zeigte sich dann ihre außergewöhnliche Multi-Tasking-Fähigkeit, denn trotz dieser Ablenkung behielt sie zu jeder Zeit den Überblick über unseren gesamten Kursinhalt.

Da sie in einer Fußballmannschaft spielt, stand sie in ihrer Freizeit am liebsten auf dem Fußballfeld, um dort ihr sportliches Können unter Beweis zu stellen. Man sah

sie immer mit Freundinnen über den Campus laufen, die Mila durch die Akademie begleiteten, denn sie war eine beliebte Person, die jedem ein Lächeln aufs Gesicht zaubern konnte.

Samuel war immer sehr motiviert bei der Arbeit, vor allem beim Programmieren, wo seine Informatikbegeisterung herausstach. Samuel gehörte zu der Gruppe im Kurs, die Pausen für überbewertet hielt. Er musste von Maren und Maybritt gezwungen werden, das Python-Programm warten zu lassen, um zum Essen zu gehen.

Bei Gruppen- und Partnerarbeiten sorgte er stets für gute Laune und war auch sonst für jeden Spaß zu haben. Dies fiel besonders auf, als er bei einer Partnerarbeit nach Fertigstellung der eigentlichen Aufgabe das Programm beabsichtigt mit Fehlern laufen ließ, um zu schauen, was passiert.

Ole hat eine scheinbar unendliche Begeisterung für die Akademie. Mit seiner Motivation steckte er alle an, sei es für unseren Kurs, die Akademie im Allgemeinen oder auch als Anfeuerungungs-Coach beim Sportfest. Ole ist sehr hilfsbereit, zum Beispiel beantwortete er Fragen im Kurs auf sehr verständliche Weise. Er war aber auch offen für andere Probleme oder die Gefühle der Teilnehmerinnen und Teilnehmer während der Akademie.

In einigen der Mittags-KüAs ermöglichte er uns ungewöhnliche Aktivitäten, wie Krolf oder Disk-Golf. In den Kurspausen ließ er uns auf einer (kleinen) Plane stehen und diese umdrehen (schwer).

Am Bergfest zeigte sich auch noch, dass er über ein unentdecktes Talent im Lichtschwertkampf verfügt. Einfach der beste Schülermentor!

Maren konnte als Kursleiterin die Theorie zur Optimierung im Kurs maximal optimiert erklären. Sie hatte immer gute Ideen für spannende Beispiele zu Optimierungsproblemen. Ihr war ruhiges und konzentriertes Arbeiten sehr wichtig. Sie war aber auch für jede lustige Aktion zu haben. In ihrem Alltag unterrichtet sie Studierende, kann den Kursteilnehmerinnen und -teilnehmern

die Themen aber genauso gut rüberbringen. Außerdem war sie auf der Akademie für ihre Fahrradbegeisterung bekannt und häufig auf dem Campus nach der Radtour mit Bionade und Radklamotten anzutreffen. Ihre Lieblingstage waren sogar die, an denen sie morgens vor dem Frühstück schon eine Runde auf dem Rad drehen konnte.

Maybritt vermittelte den Kursinhalt in Mathematik und Informatik, insbesondere im Bereich der Statistik, auf eine äußerst klare und verständliche Weise. Selbst komplexe und anspruchsvolle Themen, die für viele zunächst herausfordernd erscheinen mögen, erklärte sie mit großer Geduld und einem strukturierten, gut durchdachten Aufbau. Dadurch war es jederzeit möglich, ihren Erklärungen problemlos zu folgen und das Erlernete direkt anzuwenden.

Ihre lockere und sympathische Art trug zudem zu einer entspannten und gleichzeitig motivierenden Lernatmosphäre bei. Dies machte es den Teilnehmerinnen und Teilnehmern leicht, sich auf die Inhalte einzulassen und Fragen zu stellen. Die Fahrradtouren mit Maren in der Mittagspause halfen ihr, während der Kursschienen entspannt und gelassen zu bleiben.

Einführung

MAREN BECK, MAYBRITT
SCHILLINGER, OLE FLECK

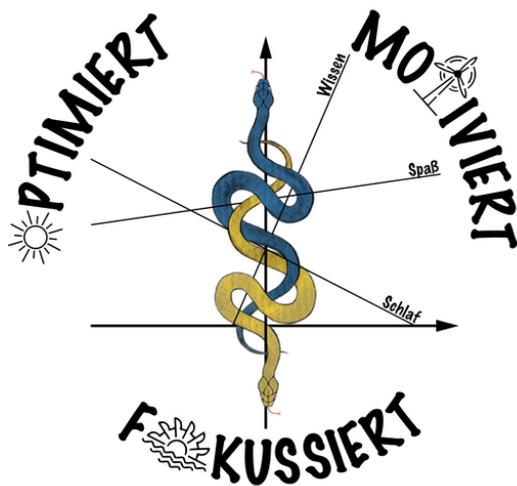
„Optimiert, motiviert, alle Kräfte fokussiert!“ Der Sportfest-Schlachtruf fasst unsere Kursatmosphäre bestens zusammen. In diesem Fall wurden unsere Kräfte dafür gebündelt, eine optimale nachhaltige Energieversorgung der Zukunft zu berechnen. Und nicht nur unsere Kräfte vereinten wir, sondern auch die aus verschiedenen Disziplinen: Wir erlernten Grundlagen aus dem Energiebereich sowie Methoden aus Mathematik und Informatik.

Die Optimierung verwendeten wir zum Beispiel, um den Gewinn beim Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerkes zu maximieren. Dabei berücksichtigten wir verschiedene Rahmenbedingungen wie Daten zum Strompreis im Verlauf der Zeit. Solche Daten konnten wir mit Methoden

aus der Statistik analysieren. Mithilfe statistischer Methoden trafen wir im nächsten Schritt dann Datenvorhersagen, wie für die erzeugte Windenergie anhand der Windgeschwindigkeit.

Der Kurs vereinte mehrere Gebiete, und oft konnten wir auch wählen, in welchem Bereich wir Experte werden wollten. Beim Abschlussprojekt optimierten wir den bereits oben genannten Betrieb eines Pumpspeicherkraftwerkes und hatten dafür ein Optimierungs- und ein Daten-Team.

Unser Freund und Helfer war dabei die Programmiersprache „Python“, denn große Datensätze oder Optimierungsprobleme mit mehreren Variablen werden schnell unübersichtlich. Aber mit entsprechenden Python-Paketen und den richtigen Befehlen ließen sich auch die kniffligsten Probleme lösen. Wir haben Python so gerne, dass es die Schlange aus dem Python-Logo sogar auf unser Kurs T-Shirt schaffte.



Dabei war Programmieren auch nicht immer nur Spaß pur. Manche Fehlermeldungen mussten wir schon eine Weile anstarren, bis wir dann die Ursache gefunden hatten – dabei konnte das Problem zum Beispiel auch mal nur eine fehlende Klammer gewesen sein.

Apropos Klammern: „Klammer auf, Klammer zu – der Infokurs gewinnt im Null!“ Naja, zumindest fast konnten wir das Sportfest in der offiziellen Wertung gewinnen. In der inoffiziellen Wertung hat Ole sicherlich den Preis für den Schülermentor, der am lautesten und häufigsten den Schlachtruf schreien konnte, gewonnen. Wir schrien fleißig zurück.

Dieser Teamgeist hat uns dann auch die nervigsten Fehler lösen lassen, die komplizierteste Theorie durchgestanden, und vor allem für viel Spaß und gute Stimmung im Kurs gesorgt.

Einführung in Python

JULIAN LIEBSCH

Python ist eine der größten und am weitesten verbreiteten Programmiersprachen der Welt, die in vielen Bereichen der Entwicklung eingesetzt wird; von der Webentwicklung über die Datenanalyse bis hin zum maschinellen Lernen.

Die Vielseitigkeit von Python beruht unter anderem auf der großen Anzahl von Bibliotheken und Frameworks, die es Entwicklern ermöglichen, komplexe Projekte schneller und effizienter umzusetzen. Der Name „Python“ hat allerdings nichts mit der gleichnamigen Schlange zu tun, wie viele vielleicht vermuten. Vielmehr wurde er von Guido van Rossum, dem ursprünglichen Entwickler der Programmiersprache, gewählt, weil er ein großer Fan der britischen Komikergruppe „Monty Python’s Flying Circus“ war.¹

Während der zwei Wochen im Sommer arbeiten wir mit verschiedenen Paketen. Pakete sind Zusammenstellungen von mehreren Modulen. Sie ermöglichen und vereinfachen die Lösung verschiedener Probleme, indem sie einem Programm vorprogrammierte Befehle und Funktionen hinzufügen. Im Laufe der Zeit lernten wir verschiedene Pakete kennen, die uns Vieles erleichterten. Mit `pandas` lassen sich zum Beispiel große Datenmengen einfach und effizient verarbeiten, einlesen und speichern. Mit `matplotlib` konnten wir alle Arten von Diagrammen erstellen. Beim Programmieren mit Python half uns außerdem der Open-Source-Code-Editor „Jupyter-Notebook“, in dem wir den Code schrieben.

Wir hatten alle unterschiedliche Vorkenntnisse. Viele hatten schon Erfahrung mit Python, aber nicht alle. Hier profitierten wir besonders von der einfachen Syntax von Python, die man relativ schnell erlernen kann.

¹Quelle: <https://pythoninstitute.org/about-python>, Stand: 27.10.2024

Optimierung am Beispiel des Produktionsproblems

JULIAN LENK

Ein Bestandteil unseres Kurses war die Optimierung, also das Erreichen eines gewünschten Zustands und Ziels unter Einhaltung gegebener Voraussetzungen. Wir betrachteten dafür folgendes Beispiel: Wir sind Betreiber einer Biogasanlage, die zwei verschiedene Produkte herstellt: Biogas und Dünger. Jede verkaufte Mengeneinheit (ME) Biogas wirft 3 € Gewinn ab, jede verkaufte ME Dünger 4 €. In diesem Beispiel ist die ME beliebig teilbar, das heißt, wir können beispielsweise auch eine halbe ME Dünger herstellen. Unser Ziel ist, den Gewinn unserer Anlage zu maximieren. Dabei müssen wir bestimmte Voraussetzungen beachten, die „Nebenbedingungen“ genannt werden.

Das Ziel wollen wir jetzt durch eine Funktion mathematisch formulieren. Hierfür benötigen wir zwei Variablen, denn gesucht wird die ideale Anzahl an ME beider Produkte, die wir herstellen müssen, um den höchstmöglichen Gewinn zu erreichen. Deshalb führen wir die Variablen x_1 bzw. x_2 ein, welche die Anzahl an zu produzierenden ME Biogas bzw. Dünger beschreiben. Da wir pro ME 3 € bzw. 4 € Gewinn machen, müssen wir die Variablen mit diesen dazu passenden Gewinnen multiplizieren. Daraus folgt folgende Zielfunktion:

$$3x_1 + 4x_2.$$

Da unser Ziel ein möglichst hoher Gewinn ist, entspricht unsere Optimierungsrichtung in diesem Fall einer Maximierung der Zielfunktion. Will man zum Beispiel die Kosten für die Herstellung so gering wie möglich halten, müsste man eine entsprechende Zielfunktion minimieren.

Jetzt haben wir zwar unser Ziel mathematisch formuliert, aber uns fehlt noch der Einfluss der gegebenen Voraussetzungen, welche wir unbedingt einhalten müssen. Die erste Nebenbedingung legt fest, dass unsere beiden Variablen nicht negativ sein dürfen, denn wir können keine negativen Mengen herstellen. Es gilt also

$$\begin{aligned} x_1 &\geq 0, \\ x_2 &\geq 0. \end{aligned}$$

Für die Herstellung von Biogas bzw. Dünger benötigen wir Maschinenzeit in der Biogasanlage (BGA), Rohstoffe (RS), welche weiterverarbeitet werden, und eine Arbeitskraft (AK). Diese Ressourcen sind allerdings nur beschränkt verfügbar, wie in der folgenden Tabelle zu sehen. Die rechte Spalte zeigt die Verfügbarkeit der Ressourcen, welche bei der Produktion nicht überschritten werden darf. Die beiden mittleren Spalten zeigen den Bedarf der Ressourcen pro produzierter ME des jeweiligen Produkts.

Ressource	Bedarf	Bedarf	verfügbar
	x_1	x_2	
BGA (in h)	3	2	12
RS (in ME)	5	10	30
AK (in h)	0	2	5

Die mathematische Schreibweise für diese Nebenbedingungen lautet:

$$\begin{aligned} 3x_1 + 2x_2 &\leq 12, \\ 5x_1 + 10x_2 &\leq 30, \\ 2x_2 &\leq 5. \end{aligned}$$

Sie werden, weil sie nur in eine Richtung begrenzt sind, als Ungleichungen dargestellt. Im Produktionsbeispiel erfolgt die Begrenzung durch die Verfügbarkeit der Ressourcen bei der Produktion und die Nichtnegativitätsbedingungen der Variablen.



Die sogenannte zulässige Menge umfasst jegliche Kombinationen von x_1 und x_2 , die alle Nebenbedingungen erfüllen und somit mögliche Lösungen unseres Optimierungsproblems darstellen. Da jedoch nicht alle Punkte innerhalb der zulässigen Menge zwangsweise dem

maximalen Gewinn unter Einhaltung der Nebenbedingungen entsprechen, müssen wir eine Möglichkeit finden, den höchsten Gewinn innerhalb unserer zulässigen Menge ausfindig zu machen. Dieser entspricht der endgültigen Lösung unseres Problems.

Optimierungsprobleme graphisch lösen

MAIKE BROCHHAUS

Eine Möglichkeit, die Lösung eines Optimierungsproblems zu finden, ist das graphische Lösen.

Als erstes werden dafür in den einzelnen Nebenbedingungen „ \leq “ und „ \geq “ durch „ $=$ “ ersetzt und die Gleichungen werden nach x_2 aufgelöst. Die Ungleichung

$$3x_1 + 2x_2 \leq 12$$

wird so zunächst zur Gleichung

$$3x_1 + 2x_2 = 12$$

und dann mittels Äquivalenzumformungen zu

$$x_2 = -1,5x_1 + 6$$

umgeformt.

Mit diesem Vorgehen lassen sich auch die anderen Nebenbedingungen umformen:

$$5x_1 + 10x_2 \leq 30$$

$$\rightarrow x_2 = -0,5x_1 + 3,$$

$$2x_2 \leq 5$$

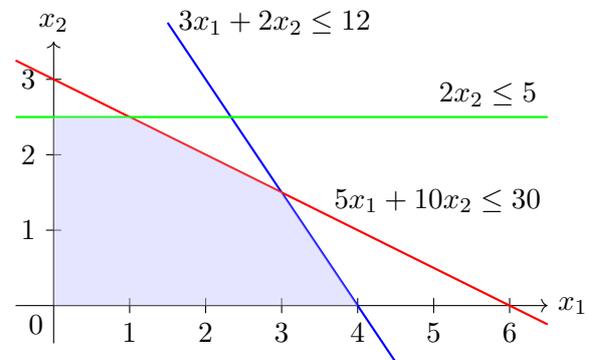
$$\rightarrow x_2 = 2,5 \quad \text{und}$$

$$x_1, x_2 \geq 0$$

$$\rightarrow x_1 = 0, x_2 = 0.$$

Diese Gleichungen werden nun in ein Koordinatensystem eingezeichnet. Dabei liegt x_1 auf der x -Achse und x_2 auf der y -Achse. Da unsere umgeformten Gleichungen der Form von linearen Gleichungen entsprechen, sind ihre Graphen Geraden. Deshalb nennt man derartige Fälle auch lineare Optimierungsprobleme.

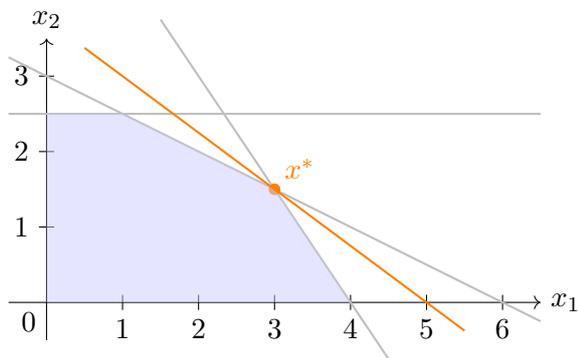
Die Nebenbedingungen waren jedoch Ungleichungen, welche eine Begrenzung der möglichen Werte in eine Richtung darstellen. Die zulässigen Punkte liegen also immer auf einer Seite der eingezeichneten Geraden. Um herauszufinden, auf welcher Seite der Geraden die zulässige Menge liegt, eignet sich eine Punktprobe: Wir setzen zum Beispiel den Punkt $(1|1)$ in die Nebenbedingung $2x_2 \leq 5$ ein. Dadurch erhalten wir $2 \leq 5$. Da diese Behauptung wahr ist, wissen wir, dass die zulässige Menge auf der Seite der Geraden mit dem Punkt $(1|1)$ liegt. Wenn man dieses Prozedere mit allen Nebenbedingungen durchführt, erhält man eine Menge an Punkten, für die alle Nebenbedingungen erfüllt sind, welche in folgendem Bild als blaue Fläche dargestellt ist.



Zur Lösung des Optimierungsproblems nutzen wir eine sogenannte „Höhenlinie“. Diese zeigt alle möglichen Punkte, für die die Zielfunktion den gleichen Wert annimmt. Diesen Wert nennen wir Niveau. Mit diesem Konzept können wir die Zielfunktion graphisch darstellen. Dafür wählen wir zunächst ein frei gewähltes, kleines Niveau, in diesem Beispiel 8. Wenn wir dieses Niveau mit der Zielfunktion gleichsetzen, erhalten wir im Graphen eine Höhenlinie passend zur Gleichung $x_2 = -0,75x_1 + 2$. Alle Punkte auf dieser Geraden erzielen den Gewinn 8 €.

Diese Gerade lässt sich im Koordinatensystem durch die Veränderung des Niveaus verschieben. In diesem Fall wird der Gewinn erhöht, wenn wir die Höhenlinie nach oben verschieben. Das passt zu unserer angestrebten Optimierungsrichtung (Maximierung). Wir erhöhen den Gewinn beziehungsweise verschieben die Höhenlinie so weit wie möglich nach oben, solange noch mindestens ein Punkt auf der Höhenlinie Teil der zulässigen Menge ist. Alle Punkte, die

am Ende dieses Vorgangs innerhalb der zulässigen Menge *und* auf der Höhenlinie liegen, sind unsere Optimalpunkte.



Wie man in der vorherigen Grafik erkennen kann, entspricht der Optimalpunkt dem Punkt

$$x^* = (3 | 1,5).$$

Um den Optimalwert zu erhalten, setzen wir den Optimalpunkt in die Zielfunktion ein und erhalten

$$v = 3 \cdot 3 + 1,5 \cdot 4 = 15.$$

Für die Lösung unseres Optimierungsproblems heißt das, dass wir einen maximalen Gewinn von 15 € erzielen können, wenn wir 3 ME Biogas und 1,5 ME Dünger herstellen.

Optimierungsprobleme mit Gurobi

DAVID LEMBACH

In diesem Abschnitt beschäftigen wir uns mit der Lösung linearer Optimierungsprobleme unter Einsatz von Computern. Hierfür verwenden wir Python mit dem Paket `gurobipy`. Gurobipy bietet eine effiziente Möglichkeit, Optimierungsprobleme mit wenigen Codezeilen zu modellieren und zu lösen.

Lösung des Produktionsbeispiels

Dabei gehen wir wie im auf Seite 61 abgebildeten Code beschrieben vor: Als erstes importieren wir das Paket Gurobi (Z. 2) und definieren das Modell (Z. 5). Im nächsten Schritt führen wir die Entscheidungsvariablen ein, wobei x_1 unsere Menge an Biogas und x_2 unsere Menge an Dünger ist (bis Z. 11). Danach formulieren

wir die Nebenbedingungen (bis Z. 19) und die zu maximierende Zielfunktion (Z. 22).

Nachdem alle Elemente des Problems definiert sind, wird das Modell aktualisiert, um sicherzustellen, dass alle Änderungen berücksichtigt werden (Z. 25). Als letztes lösen wir nun das Problem (Z. 29) und lassen uns den Optimalpunkt sowie den Optimalwert ausgeben (bis Z. 33). Dabei erhalten wir als Ausgabe den selben Optimalpunkt und Optimalwert wie bei der graphischen Lösung, was nicht sonderlich überraschend ist.

Für kompliziertere Probleme mit mehr Variablen lassen sich Probleme nicht mehr graphisch lösen, da wir viel mehr Koordinatenachsen benötigen würden und das nicht mehr zeichnen könnten. Mit Python stellt die Lösung aber kein Problem dar.

Ganzzahlige Optimierung

KRISTINA ZIEGLER

Nach dem Aufstellen und Lösen des Produktionsproblems stellten wir uns die Frage, wie wir das Optimierungsproblem ändern müssen, damit nur ganze Mengeneinheiten Dünger und Biogas hergestellt werden können. Das könnte zum Beispiel der Fall sein, wenn wir die Produkte nur in vollen Tanklastern abtransportieren wollen. In diesem Fall würde eine ME einer Tankladung entsprechen.

Diese Art von Optimierungsproblemen nennen wir „ganzzahlige Optimierungsprobleme“. Um einen ganzzahligen Optimalpunkt zu erhalten, müssen zunächst die Nebenbedingungen geändert werden, da sowohl die x_1 -Koordinate als auch die x_2 -Koordinate ganzzahlig sein müssen. Dafür fügen wir die folgende Nebenbedingungen hinzu:

$$\begin{aligned} x_1 &\in \mathbb{Z}, \\ x_2 &\in \mathbb{Z}. \end{aligned}$$

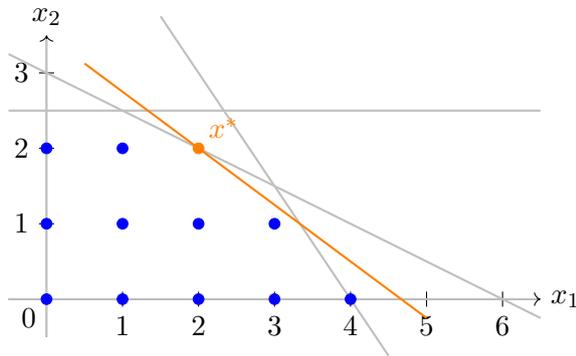
Wir wollen nun das ganzzahlige Optimierungsproblem wieder graphisch lösen. Im Vergleich zu dem Optimierungsproblem ohne Ganzzahligkeit wird die zulässige Menge deutlich kleiner: Sie reduziert sich auf ein Gitter. Die Höhenlinie wird anschließend wie vorher über der

```
1 # Import des Pakets gurobipy
2 from gurobipy import Model, GRB
3
4 # Optimierungsproblem benennen: Produktionsproblem
5 p = Model('Produktionsproblem')
6
7 # Entscheidungsvariablen
8 # erste Entscheidungsvariable: x_1
9 x_1 = p.addVar(vtype=GRB.CONTINUOUS, lb=0, ub=10000)
10 # zweite Entscheidungsvariable: x_2
11 x_2 = p.addVar(vtype=GRB.CONTINUOUS, lb=0, ub=10000)
12
13 # Nebenbedingungen
14 # erste Nebenbedingung: Maschinenstunden
15 p.addConstr(3 * x_1 + 2 * x_2 <= 12)
16 # zweite Nebenbedingung: Rohstoffe
17 p.addConstr(5 * x_1 + 10 * x_2 <= 30)
18 # dritte Nebenbedingung: Arbeitskräfte
19 p.addConstr(2 * x_2 <= 5)
20
21 # Zielfunktion: maximiere den Gesamtgewinn unter Einhaltung der
    Ressourcen
22 p.setObjective(3 * x_1 + 4 * x_2, GRB.MAXIMIZE)
23
24 # das Optimierungsproblem wird geupdated
25 p.update()
26
27 # Optimierung
28 # das Optimierungsproblem wird optimiert
29 p.optimize()
30 # der Optimalpunkt wird bestimmt
31 print(p.x)
32 # der Optimalwert wird berechnet
33 print(p.ObjVal)
```

```
1
2 Solved in 2 iterations and 0.01 seconds (0.00 work units)
3 Optimal objective 1.500000000e+01
4 [3.0, 1.5]
5 15.0
```

Python-Code zur Lösung des Optimierungsproblems mit zugehöriger Ausgabe

neuen zulässigen Menge verschoben. Die zulässige Menge und eine Höhenlinie sind in der folgenden Grafik dargestellt.



Der Punkt, der den größten Gewinn bringt, ist unser neuer Optimalpunkt. In diesem Beispiel ist es der Punkt

$$x^* = (2|2).$$

Den Optimalwert erhalten wir wieder durch Einsetzen in die Zielfunktion. Es ergibt sich

$$v = 2 \cdot 3 + 2 \cdot 4 = 14.$$

Im rein ganzzahligen Fall werden also 2 ME Biogas und 2 ME Dünger produziert, mit einem Maximalgewinn von 14 €.

Im Vergleich zu dem Optimierungsproblem mit kontinuierlichen Zahlen fällt auf, dass der Optimalwert kleiner ist. Das liegt daran, dass die zulässige Menge schrumpft. Sofern bereits der Optimalpunkt des kontinuierlichen Optimierungsproblems ganzzahlig war, bleibt der Optimalwert gleich, ansonsten wird der Optimalwert (wie in diesem Fall) kleiner.

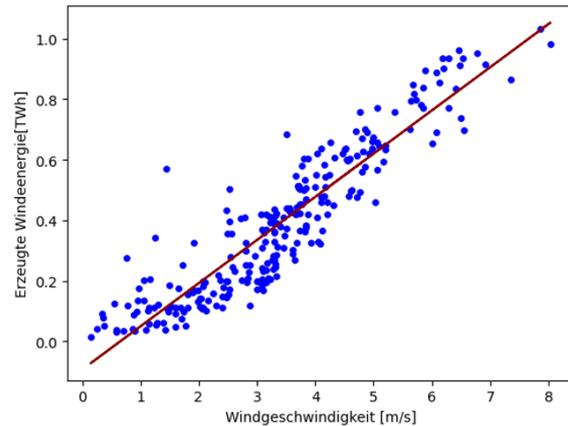
Lineare Regression

FRANZISKA FRODL

Ein weiterer Bestandteil des Kurses war die Datenanalyse. Unter anderem beschäftigten wir uns mit der Vorhersage mit Hilfe von Daten. Hierfür stellten wir unsere Daten als Datenpunkte in einem Koordinatensystem dar.

Beispielsweise ist uns ein Datensatz gegeben, der die erzeugte Windenergie in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit angibt. Diese Daten sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Jeder Datenpunkt beschreibt die Energieproduktion an einem Tag im Jahr 2023. Wir wollen

eine bestmögliche Vorhersage für die erzeugte Windenergie bei 7,7 m/s Windgeschwindigkeit treffen. Allerdings haben wir für diesen x -Wert keine Messung gegeben. Außerdem weisen die Daten einige zufällige Schwankungen auf. Um eine Vorhersage zu treffen, ist der Zusammenhang relevant, der in den Daten sichtbar wird. Dafür nähern wir die Datenpunkte durch eine Gerade, die „Regressionsgerade“ genannt wird, an.



Beispiel für eine Regressionsgerade bei Windenergie-Daten

Die Gleichung für eine Gerade lautet:

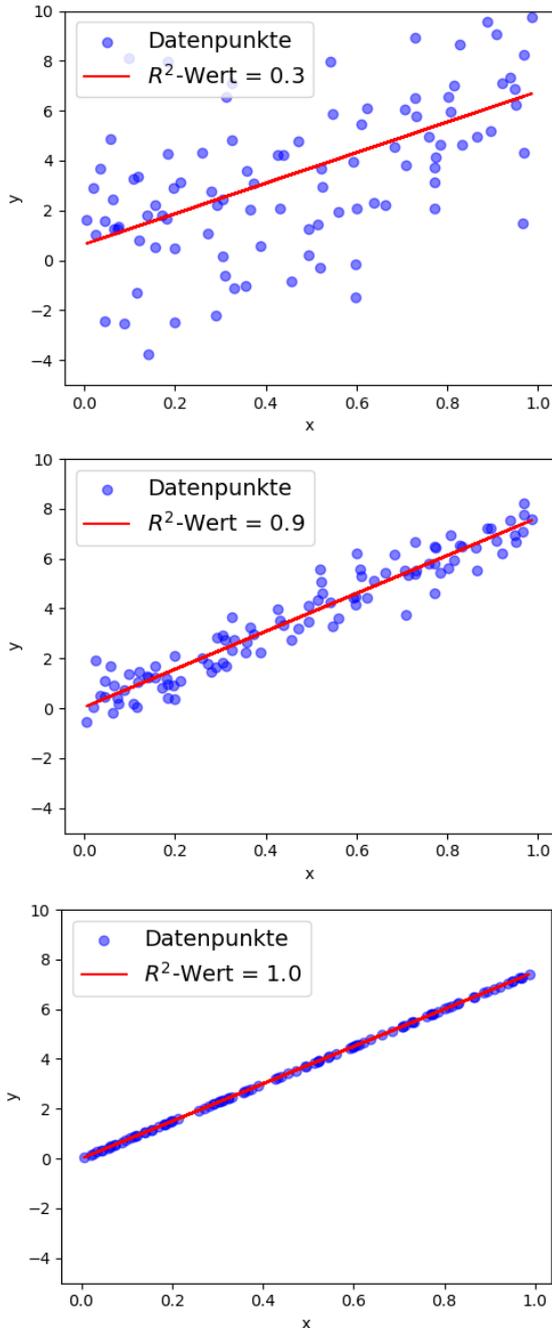
$$y = ax + c.$$

Der y -Wert für ein gegebenes x ist demnach von a und c abhängig. a ist die Steigung und c der y -Achsenabschnitt. Die besten Werte für die Steigung und den y -Achsenabschnitt finden wir, indem wir den Abstand von allen Punkten zur Gerade minimieren. Das ist ein Optimierungsproblem, das der Computer mit Hilfe von Python lösen kann.

In unserem Wind-Beispiel ergibt sich dadurch die rot eingezeichnete Regressionsgerade. Somit erhalten wir die bestmögliche Vorhersage für den uns gegebenen Datensatz. Der y -Wert an der Stelle $x = 7,7$ m/s ist $y \approx 1$ TWh.

Um zu bewerten, wie gut die gefundene Regressionsgerade die Datenpunkte beschreibt und somit auch wie gut unsere Vorhersage ist, verwenden wir den R^2 -Wert. Wenn der R^2 -Wert null ist, beschreibt die Gerade die Daten sehr schlecht, und wenn der R^2 -Wert eins ist, liegen alle Datenpunkte exakt auf der Geraden. Die

folgende Grafik zeigt unterschiedliche Beispiele für Daten mit den zugehörigen R^2 -Werten.



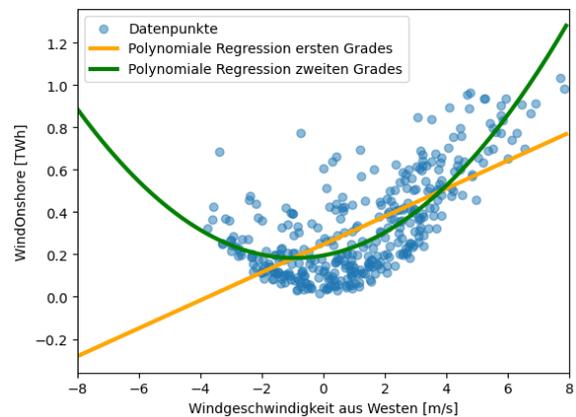
Für unser oben beschriebenes Beispiel zur Windenergie berechneten wir den R^2 -Wert, er betrug 0,84. Das zeigt, dass unsere Vorhersage relativ genau ist.

Eine lineare Regression ist jedoch nicht immer sinnvoll, zum Beispiel wenn die Datenpunkte über das ganze Diagramm verteilt sind und dadurch keinen klaren Zusammenhang zeigen, oder wenn die Datenpunkte keinen linearen Zusammenhang zeigen.

Polynomiale Regression

JESSICA GUO

Wenn die Daten eines Datensatzes einen Zusammenhang zeigen, allerdings keinen linearen, dann müssen wir unser Modell erweitern, um den Datensatz beschreiben zu können. Dieser Fall ist in der nächsten Grafik zu sehen. Die Grafik zeigt, wie viel Windenergie die Windräder in ganz Deutschland in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit nur aus West-Richtung produzieren.



Regressionsversuch mit einer Geraden (gelb) und einer Parabel (grün)

Da die Daten einen parabelähnlichen Zusammenhang zeigen, könnte man als erste Intuition die Daten mit einer Parabel beschreiben, wie es in grün in der Grafik eingezeichnet ist.

Die Gleichung für eine Parabel lautet:

$$y = a_2x^2 + ax + c.$$

Bei einer Parabel ist der y -Wert also nicht nur von x abhängig, wie bei einer Geraden, sondern von x und x^2 .

Wie bei der linearen Regression liegt hier wieder ein Optimierungsproblem vor: Um die passende Regressionskurve zu finden, werden die besten Werte für a_2 , a und c gesucht. Dabei sind a_2 und a die Faktoren für x^2 und x und c ist der y -Achsenabschnitt. Im Unterschied zur linearen Regression werden hier nun drei Parameter gesucht statt zwei.

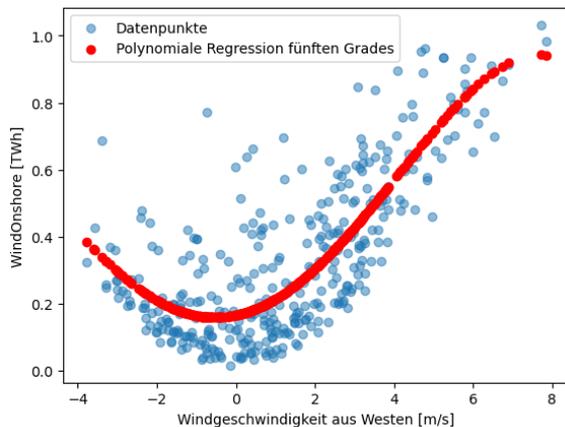
Sowohl die lineare Regression als auch diese Regression mit einer Parabel werden allgemein als „polynomiale Regression“ bezeichnet. Dabei sagt die höchste Potenz x^n im Term aus,

welchem Grad n die Regression entspricht. Eine lineare Regression ist folglich eine polynomiale Regression ersten Grades. Die Regression durch eine Parabel ist eine polynomiale Regression zweiten Grades. Die polynomiale Regression kann durch höhere Potenzen x^3 , x^4 , x^5 usw. ergänzt werden, woraus sich die folgende Gleichung für die polynomiale Regression zusammensetzt:

$$y = a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + a_2 x^2 + a x + c.$$

Je höher der Grad n einer Regression ist, desto genauer beschreibt die daraus entstehende Regressionskurve die Daten. Allerdings kann dies zum „Overfitting“ führen. Das tritt ein, wenn die Daten zu genau beschrieben werden. Dadurch bekommen einzelne Punkte und Ausreißer eine so starke Gewichtung, dass die Regression keinen allgemeinen Zusammenhang der Daten mehr beschreibt.

Wir wendeten schließlich eine polynomiale Regression fünften Grades auf unseren gegebenen Datensatz an. Das Ergebnis beschreibt die Daten schon recht gut, wie in der folgenden Abbildung gezeigt wird.



Polynomiale Regression fünften Grades

In Python kann die polynomiale Regression umgesetzt werden, indem man die Funktion zur Berechnung einer linearen Regression nimmt. Als x -Werte werden dann die Potenzen von x bis zum Grad n als Input gegeben. Statt diese Potenzen von x von Hand auszurechnen und im richtigen Format einzugeben, gibt es in Python auch dafür bereits passende Funktionen.

Im Abschlussprojekt, das am Ende der Dokumentation beschrieben ist, wendeten wir unsere theoretischen Kenntnisse aus der Optimierung und Statistik beziehungsweise der Datenvorhersage auf ein Beispiel aus dem Energiemarkt an. Aus diesem Grund beschäftigten wir uns im Kurs auch ausführlich mit dem deutschen Strommarkt und weiteren Themen aus dem Energiebereich.



Grundlagen des Strommarkts und Anwendung eines Pumpspeicherkraftwerks

ILYA KARNAUKH

Grundlagen des Strommarkts

Der Strommarkt basiert auf dem Zusammenspiel von Angebot und Nachfrage, wobei der Preis für Strom in verschiedenen Marktsegmenten ermittelt wird. Es gibt den Spotmarkt (Day-Ahead- und Intraday-Markt) sowie den Terminmarkt. Im Spotmarkt wird zeitnah gehandelt, im Terminmarkt in der Zukunft.²

Im Allgemeinen wird der Preis nach dem sogenannten „Merit-Order-Prinzip“ bestimmt. Dabei werden Kraftwerke nach ihren Grenzkosten, also den Kosten für die Stromproduktion, ge- reiht: Zuerst werden die günstigsten Kraftwerke, zum Beispiel erneuerbare Energien (Wind, Solar) oder Kernkraftwerke, herangezogen. Teu- rere Kraftwerke wie Kohle- oder Gaskraftwerke

²Quelle: <https://www.next-kraftwerke.de/wissen/energieboerse-eex>, Stand: 27.10.2024

kommen nur dann zum Einsatz, wenn die Nachfrage hoch ist und das günstigere Angebot nicht ausreicht.

Der Strompreis wird durch das letzte benötigte Kraftwerk, das den Bedarf deckt, bestimmt. Diesen Preis nennt man den „Grenzkostenpreis“. Liegt die Nachfrage über dem Angebot aus kostengünstigen Energiequellen, steigt der Preis, da teurere Kraftwerke hinzugezogen werden müssen. Umgekehrt sinkt der Preis, wenn viel Strom aus günstigen Quellen vorhanden ist, beispielsweise an sonnigen oder windigen Tagen.



Marktakteure

Die wichtigsten Akteure auf dem Strommarkt sind die Erzeuger (z. B. Kraftwerksbetreiber), Verbraucher, Netzbetreiber und Stromhändler. Die Erzeuger bieten Strom an, während die Verbraucher (z. B. Haushalte, Industrie) diesen nachfragen. Die Netzbetreiber stellen das Stromnetz zur Verfügung, und die Händler kaufen und verkaufen Strom, um Angebot und Nachfrage auszugleichen.

Der Strom wird im Wesentlichen auf dem Day-Ahead-Markt, der 24 Stunden im Voraus arbeitet, und dem Intraday-Markt gehandelt, der kurzfristige Ungleichgewichte ausgleicht.

Anwendung eines Pumpspeicherkraftwerks

Ein Pumpspeicherkraftwerk spielt eine zentrale Rolle im Ausgleich von Stromangebot und -nachfrage, indem es überschüssigen Strom speichert und bei Bedarf wieder ins Netz einspeist.

Es funktioniert durch die Nutzung zweier Wasserreservoirs auf unterschiedlichen Höhen. Bei überschüssiger Energie, etwa durch hohe Produktion aus erneuerbaren Quellen, wird Wasser vom unteren in das obere Reservoir gepumpt. Diese Speicherung erfolgt typischerweise, wenn der Strompreis niedrig ist, also dann, wenn das Angebot die Nachfrage übersteigt (zum Beispiel nachts oder bei starker Wind- und Solarstromproduktion).

Die gespeicherte Energie wird dann wieder umgewandelt, indem Wasser vom oberen Reservoir zurück ins untere fließt und dabei Turbinen antreibt, die Strom erzeugen. Dies geschieht üblicherweise in Zeiten hoher Stromnachfrage bei niedriger Produktion und somit hoher Preise, da das Pumpspeicherkraftwerk durch den Verkauf des Stroms dann einen Gewinn erzielen kann.

Datenanalyse von realen Energiedaten

BRUNO GÖTZ

Um nun zu wissen, wann wie viel Strom produziert wird, schauen wir uns anhand von historischen Daten die zeitliche Verteilung der Nutzung verschiedener Energiequellen an. Dafür nutzen wir die Daten der Website „SMARD“³. Wir luden stündliche Daten zur erzeugten Energie für das gesamte Jahr 2023 im CSV-Format (Comma-Separated Values) herunter. Ein Beispiel für eine CSV-Datei ist in der Abbildung zu sehen.

```
Datum von;Datum bis;Gesamt (Netzlust) [MWh] Berechnete Auflösungen;
01.01.2023 00:00;01.01.2023 01:00;38.346,00;6.575,00;2.023,00
01.01.2023 01:00;01.01.2023 02:00;37.777,25;4.885,25;1.682,50
01.01.2023 02:00;01.01.2023 03:00;36.939,75;3.830,25;3.287,50
01.01.2023 03:00;01.01.2023 04:00;35.932,50;5.459,75;4.015,75
01.01.2023 04:00;01.01.2023 05:00;35.486,25;5.583,75;4.023,50
01.01.2023 05:00;01.01.2023 06:00;35.647,25;5.510,75;4.425,50
01.01.2023 06:00;01.01.2023 07:00;35.231,75;5.339,25;4.828,75
01.01.2023 07:00;01.01.2023 08:00;36.172,25;5.568,75;3.692,00
01.01.2023 08:00;01.01.2023 09:00;36.829,25;6.777,75;3.023,25
01.01.2023 09:00;01.01.2023 10:00;39.226,50;7.255,00;1.955,50
01.01.2023 10:00;01.01.2023 11:00;41.005,50;7.014,25;1.795,25
01.01.2023 11:00;01.01.2023 12:00;43.703,00;8.482,75;1.303,75
01.01.2023 12:00;01.01.2023 13:00;44.205,75;10.091,50;1.163,75
01.01.2023 13:00;01.01.2023 14:00;43.621,75;11.381,00;1.591,25
01.01.2023 14:00;01.01.2023 15:00;43.231,50;11.175,75;1.677,25
01.01.2023 15:00;01.01.2023 16:00;43.691,75;12.976,50;926,50
01.01.2023 16:00;01.01.2023 17:00;45.668,75;18.010,75;177,75
01.01.2023 17:00;01.01.2023 18:00;48.732,00;22.364,50;86,50
01.01.2023 18:00;01.01.2023 19:00;48.882,00;23.160,75;194,25
01.01.2023 19:00;01.01.2023 20:00;47.468,50;22.296,75;372,25
01.01.2023 20:00;01.01.2023 21:00;44.883,50;19.729,25;490,25
01.01.2023 21:00;01.01.2023 22:00;43.222,75;17.694,75;433,75
01.01.2023 22:00;01.01.2023 23:00;42.278,00;18.653,50;233,25
01.01.2023 23:00;02.01.2023 00:00;39.092,75;16.128,75;885,75
```

CSV-Datei

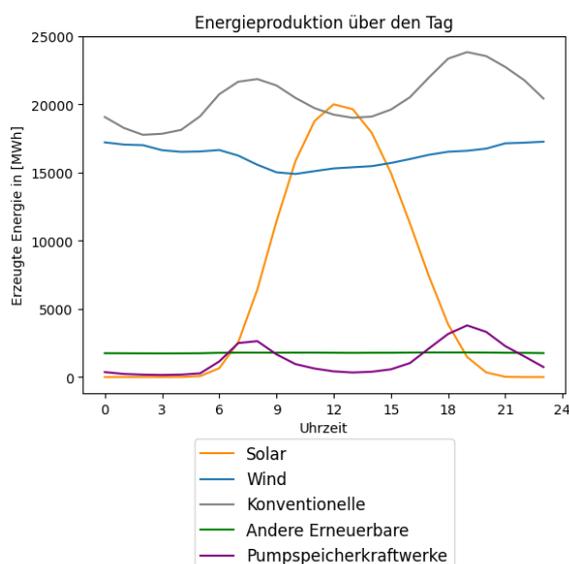
³<https://smard.de>

Die CSV-Datei enthält große Datenmengen und ist recht unübersichtlich. Zur Datenverarbeitung verwendeten wir daher die Python-Bibliothek `pandas`. Nachdem die CSV-Datei eingelesen wurde, konvertiert Pandas die Daten in einen sogenannten „DataFrame“. Dieser stellt die Daten in einer tabellarischen Form dar, bei der Zeilen und Spalten strukturiert angeordnet sind. In unserem Fall repräsentieren die Spalten die verschiedenen Energiequellen – sowohl erneuerbare (wie Solarenergie oder Windkraft) als auch konventionelle (wie Kohle oder Erdgas). Die Indexspalte enthält das Datum und die Stunde, während die Zeilen die stündlichen Werte der erzeugten Energie aufzeigen.

Mit der Bibliothek `matplotlib` lassen sich einzelne Spalten des DataFrames graphisch darstellen. Dazu verwenden wir den folgenden Befehl:

```
matplotlib.pyplot.plot(x,y)
```

In den Klammern definieren wir, welche Daten auf der x - und y -Achse dargestellt werden sollen, beispielsweise die Uhrzeit auf der x -Achse und die erzeugte Energiemenge auf der y -Achse. Vor der Visualisierung berechnen wir mit Pandas für jede Uhrzeit die durchschnittliche Energieproduktion pro Stunde über alle Tage des Jahres für die verschiedenen Energiequellen. Das folgende Diagramm zeigt die Ergebnisse:



In diesem Diagramm werden die stündlichen Durchschnittswerte für Solarenergie, Windkraft

(die Summe aus Offshore-Windparks und an Land installierten Windrädern) sowie konventionelle Energiequellen dargestellt. Zudem zeigen wir noch die „anderen Erneuerbaren“, größtenteils Wasserkraft aber auch Geothermie und Biogas, und die Netzeinspeisung der Pumpspeicherkraftwerke.



Die Photovoltaik-Linie weist im Tagesverlauf die größten Schwankungen auf, was naheliegt, da die Sonneneinstrahlung naturgemäß mittags ihr Maximum erreicht und nachts vollständig ausbleibt. Die Windkraft zeigt hingegen nur geringe Variationen, die primär auf Unterschiede in den Windgeschwindigkeiten zurückzuführen sind.

Die konventionellen Energieträger weisen morgens und abends Höchstwerte auf, da sie flexibel regelbar sind und in diesen Zeiträumen verstärkt eingesetzt werden. Das ist nötig, um den Energiebedarf zu decken, wenn noch keine oder nur geringe Mengen an Solarenergie verfügbar sind. Das Pumpspeicherkraftwerk speist aus dem selben Grund zu den gleichen Zeiten Strom ein. Die anderen erneuerbaren Energien weisen eine konstante Stromerzeugung auf, da sie nicht von äußeren Faktoren abhängen.

Wie funktioniert eine Strompreisvorhersage?

SAMUEL SCHÖN

Die Schwankungen in der Stromerzeugung wirken sich direkt auf den Strompreis aus. Wenn wir uns den Verlauf des Strompreises über den Tag anschauen, können wir sehen, dass er von Angebot und Nachfrage abhängig ist. Wenn viel Strom vorhanden ist und wenig gebraucht

wird, ist der Preis niedrig. Wenn umgekehrt der Strombedarf hoch und nicht viel Strom vorhanden ist, steigt der Preis.

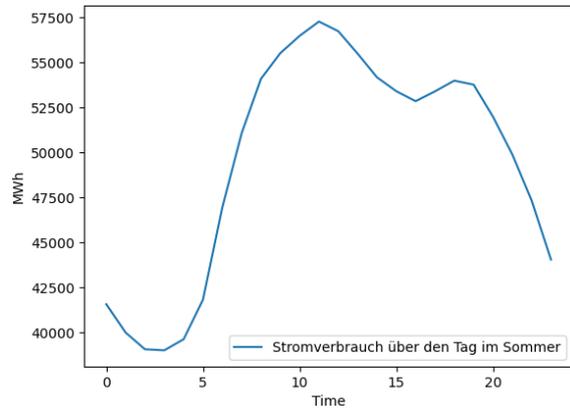
Für Unternehmen, die mit Strom handeln, ist es wichtig, zu wissen, wie sich der Strompreis entwickelt. Dafür müssen wir uns zuerst mit dem Verbrauch und der Produktion beschäftigen. Anschließend können wir mit diesen Werten versuchen, den zukünftigen Strompreis vorherzusagen.

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien können wir durch den Wetterbericht vorher-sagen. Wenn es zum Beispiel sehr windig und sonnig ist, gibt es viel Wind- und Solarenergie. Wie im Kapitel zur linearen Regression gezeigt, kann man die erzeugte Windenergie basierend auf der Windgeschwindigkeit mit Hilfe von linearer Regression vorhersagen.



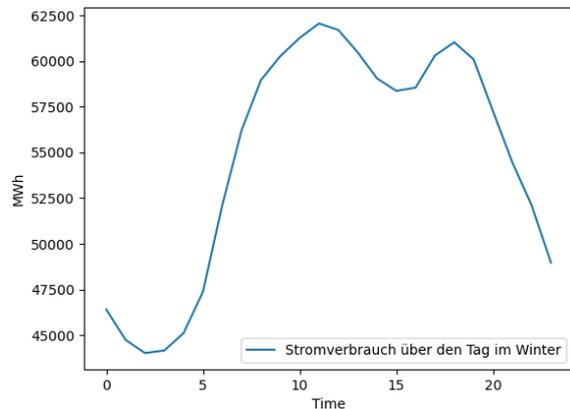
Die Stromerzeugung aus konventionellen Energien ist wiederum von der verfügbaren erneuerbaren Energie abhängig. Außerdem können die Rohstoffpreise die Erzeugung beeinflussen. So stiegen in der Gaskrise die Strompreise, da weniger Gas zu höheren Preisen verfügbar war. Mit Wetterdaten und Rohstoffpreisen können wir die Stromerzeugung vorhersagen. Es fehlt also nur noch der zweite Teil, die Entwicklung des Stromverbrauchs. Anhand historischer Daten können wir unter Verwendung von Uhrzeit und Tag den Bedarf an einem bestimmten Zeitpunkt abschätzen.

In den folgenden Abbildungen wird der Stromverbrauch gezeigt. In der ersten Grafik sieht man, dass im Sommer der Stromverbrauch morgens und abends am höchsten ist, während er nachmittags etwas sinkt. Die Grafik zeigt den Stromverbrauch pro Stunde am Tag über den ganzen Sommer (Mai bis Oktober) gemittelt.



Stromverbrauch über den Tag im Sommer.
Quelle der Daten: <https://smard.de>

Im Winter ist die Form gleich, außer dass der Stromverbrauch abends mehr ansteigt und der Stromverbrauch im Allgemeinen höher ist. Die Daten sind in der zweiten Grafik dargestellt und über den ganzen Winter (November bis April) gemittelt.



Stromverbrauch über den Tag im Winter.
Quelle der Daten: <https://smard.de>

Wir können also basierend auf Uhrzeit und Jahreszeit den Stromverbrauch und basierend auf Wetter und Rohstoffpreis den erzeugten Strom vorhersagen.

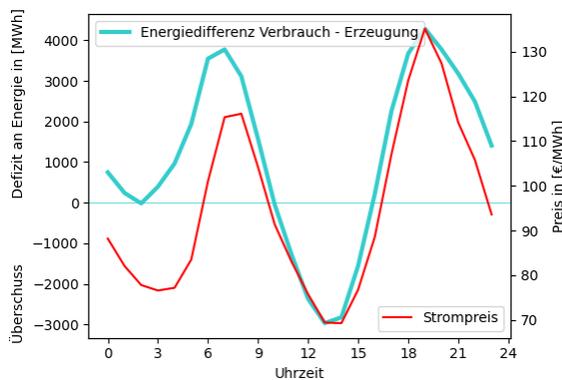
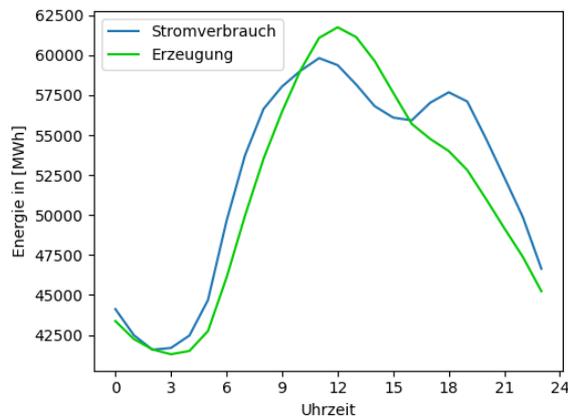
Diese beiden Vorhersagen kann man vergleichen und abhängig davon, ob mehr Strom pro-

duziert oder verbraucht wird, den resultierenden Strompreis abschätzen.

Visualisierung des Strompreises

BRUNO GÖTZ

Im vorherigen Teil wurde erklärt, dass der Strompreis von Angebot und Nachfrage abhängt. Das Ganze visualisierten wir in den folgenden beiden Abbildungen.



Im ersten Diagramm werden zwei Kurven dargestellt: Die grüne ist die gesamte Stromerzeugung in Deutschland (2023) und die blaue ist der Stromverbrauch von Deutschland (ebenfalls Daten von 2023, der Jahresdurchschnitt zu jeder Stunde). Die Daten stammen genau wie oben auch von SMARD. An der Linie der Stromerzeugung sieht man, wie die Energieformen zusammenspielen: Mittags ist durch Photovoltaik die Produktion am höchsten, durch die anderen Energieformen wird aber auch noch Strom produziert, wenn nachts und morgens keine Sonne scheint (auf die Skala achten: Um 3 Uhr wird immer noch Strom produziert, es

wird zur besseren Lesbarkeit nur ein Ausschnitt der y -Achse gezeigt). Wie man auf der Grafik schon sieht, ist meistens der Verbrauch höher als die Erzeugung, dann muss Deutschland von anderen Staaten Strom zum aktuellen Marktpreis einkaufen.

Im zweiten Diagramm ist in türkis diese Differenz zwischen Verbrauch und Erzeugung über den Tag aufgetragen. In rot ist der durchschnittliche Strompreis pro Stunde (2023) in Euro pro Megawattstunde angegeben. Positive Werte bei der Energiedifferenz bedeuten, dass es ein Defizit gibt und Strom eingekauft werden muss. In diesen Zeiten ist der Strom tendenziell teurer. Um die Mittagszeit hat man einen Überschuss an Strom (durch Solar), dadurch kann der Strom billiger verkauft werden und der Strompreis sinkt. Entsprechend dieser Faktoren steigen und sinken die beiden Kurven immer zu gleichen Tageszeiten und verlaufen auch sonst nahezu parallel. Es wird sehr klar, wie Angebot und Nachfrage den Strompreis beeinflussen.

Die verarbeiteten Daten und die Vorhersagen können zum Beispiel für eine Kraftwerksplanung genutzt werden, wie wir das im Abschlussprojekt taten.

Pumpspeicherkraftwerk als Optimierungsproblem

LIVIA GRAMLICH, MILA SCHENKER

Unser Abschlussprojekt war ein sogenanntes „Unit Commitment Problem“. Das Optimierungsproblem stammt aus dem Lehrbuch „Einführung in Optimierungsmodelle“⁴.

Wir suchten in diesem Problem die optimale Planung der Fahrweise eines Kraftwerks. Zunächst überlegten wir uns, was bei einem solchen Problem optimiert werden kann. Zwei mögliche Ziele sind:

1. Wir planen den Einsatz des Kraftwerks maximal gewinnbringend in Bezug auf prognostizierte Marktpreise.
2. Wir versuchen, möglichst nachfragedeckend zu produzieren.

⁴https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-67381-2_5

In unserem Optimierungsproblem wollen wir den Gewinn eines Pumpspeicherkraftwerks (PSW) maximieren. Wir betrachten dazu verschiedene Nebenbedingungen:

1. Der Betrieb von Pumpe und Turbine kann nur stündlich verändert werden.
2. Die Pumpe und Turbine können nicht gleichzeitig arbeiten.
3. Der Betrieb der Pumpe ist diskret: entweder sie ist aus oder wird mit 70 MW betrieben.
4. Der Betrieb der Turbine ist kontinuierlich: sie kann zwischen 0 und 90 MW leisten.
5. Der Speicherstand zu Beginn und Ende des Planungszeitraums muss 300 MWh sein. Der minimale Speicherstand beträgt 100 MWh, der maximale 360 MWh.
6. Der Wirkungsgrad wird hier komplett der Pumpe zugeschrieben. Er beträgt 0,75. Das heißt nach zum Beispiel 5 Stunden pumpen mit 70 MW sind im Speicher zusätzlich $5 \text{ h} \cdot 70 \text{ MW} \cdot 0,75 = 262,5 \text{ MWh}$.

Uns stehen folgende weitere Daten zur Verfügung:

1. Alle zu planenden Stunden:
 $T = \{1, \dots, T_{max}\}$,
2. Der Strompreis zur Stunde $t \in T$: p_t .

Danach überlegten wir uns, welche Variablen wir zur Lösung des Problems benötigen. Diese sind:

- $b_t \in \{0,1\}$: Diese Variable gibt an, ob in Stunde t gepumpt wird oder nicht. Die Variable ist binär.
- $x_t \in [0,90]$: Diese Variable beschreibt die Turbinenleistung in Stunde t . Sie ist kontinuierlich.
- $l_t \in [100,360]$: Diese Variable beschreibt das Energielevel bzw. den Speicherinhalt im oberen Speichersee am Ende der Stunde t . Sie ist ebenso kontinuierlich.

Wie oben beschrieben, ist unser Ziel, den Gewinn zu maximieren. Mithilfe der Variablen können wir die Zielfunktion ausformulieren. Zuerst betrachten wir Umsatz und Kosten der ersten Stunde. Diese setzen sich aus Einkauf und Verkauf zusammen:

- Verkauf in Stunde 1: $x_1 \cdot p_1$. Dies ist der Umsatz der ersten Stunde.
- Einkauf in Stunde 1: $70 \cdot b_1 \cdot p_1$. Dies sind die Kosten der ersten Stunde.

Um den Gewinn zu erhalten, muss die Differenz aus Umsatz und Kosten berechnet werden. Der Gesamtgewinn in Stunde 1 beträgt also:

$$(x_1 - 70b_1)p_1.$$



Wenn wir nun den Gewinn aller Stunden des Planungszeitraums aufsummieren, erhalten wir den Gesamtgewinn:

$$(x_1 - 70b_1)p_1 + (x_2 - 70b_2)p_2 + \dots + (x_{T_{max}} - 70b_{T_{max}})p_{T_{max}}.$$

Das können wir auch kompakter formulieren, nämlich in mathematischer Schreibweise mit dem Summenzeichen:

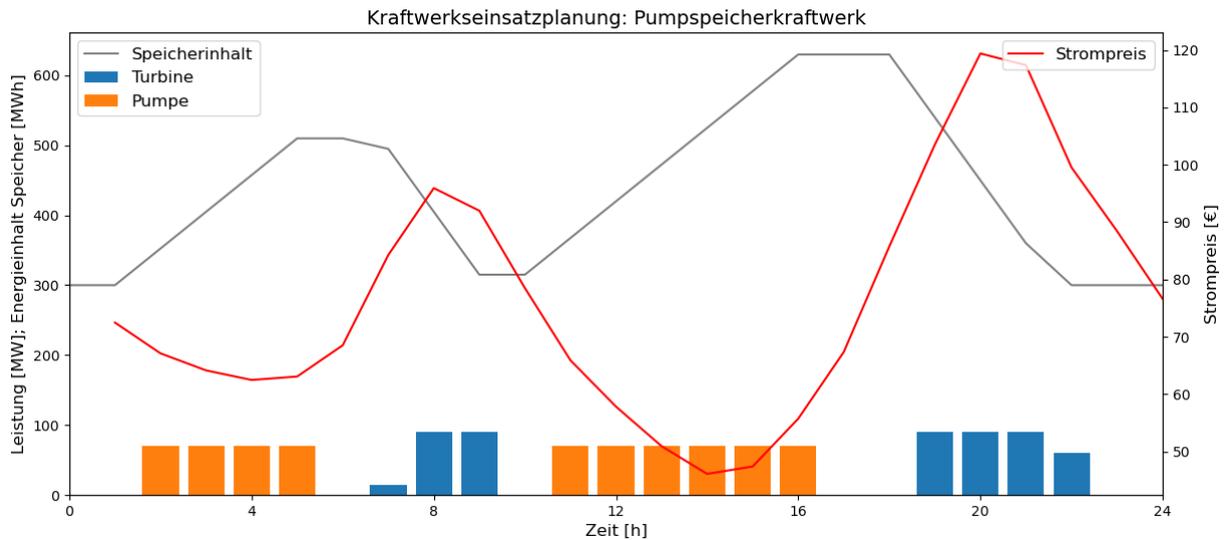
$$\sum_{t=1}^{T_{max}} (x_t - 70b_t)p_t.$$

Die oben genannten Nebenbedingungen können wir auch als Formeln so darstellen:

- Zu 2 gibt es mehrere Möglichkeiten:
Variante 1: $(1 - b_t)x_t \geq x_t$,
Variante 2: $(1 - b_t) \cdot 90 \geq x_t$,
Variante 3: $b_t \cdot x_t = 0$
für $t \in \{1, \dots, T_{max}\}$.

Wir diskutierten, welche Variante die beste ist, und kamen zu dem Schluss, dass Variante 1 und 3 im Allgemeinen für den Computer schwerer sind, da sie Produkte von Variablen enthalten. Deshalb verwendeten wir Variante 2.

- Zu 4: $x_t \leq 90$, $x_t \geq 0$ für $t \in \{1, \dots, T_{max}\}$.



- Zu 5: $l_0 = l_{T_{max}} = 300$, $l_t \leq 630$; $l_t \geq 100$ für $t \in \{1, \dots, T_{max}\}$.
- Zu 6: $l_t = l_{t-1} + 70 \cdot 0,75 \cdot b_t - x_t$ für $t \in \{1, \dots, T_{max}\}$.

Dieses gesamte Optimierungsproblem formulierten wir anschließend als Code in Python, lösten es mit Gurobi und ließen uns die Ergebnisse als Grafik (oben auf dieser Seite) visualisieren.

Das besondere an der Grafik sind die zwei y -Achsen, bei der die linke den Energieinhalt des Speichers und die Leistung der Pumpe sowie der Turbine angibt. Die rechte y -Achse zeigt den Strompreis. Die x -Achse gibt den Zeitraum unserer Kraftwerksplanung, welcher in unserem Beispiel 24 h beträgt, an.

Die unterschiedlichen Variablen lassen sich in der Grafik gut unterscheiden, da sie in verschiedenen Farben dargestellt sind. So sieht man zum Beispiel eindeutig, dass die Pumpe (orange) entweder an oder aus ist, also entweder 0 oder 70 MW benötigt. Im Gegensatz dazu kann die Turbine (blau) zwischen 0 und 90 MW leisten. Außerdem kann man erkennen, dass, wie durch die Nebenbedingungen vorgeschrieben, Pumpe und Turbine niemals gleichzeitig benutzt werden.

Die Grafik veranschaulicht, dass es gewinnbringend ist, Wasser abzulassen, wenn der Strompreis hoch ist. Umgekehrt ist es sinnvoll, Wasser ins obere Becken zu pumpen, während der Strom billig ist.

Des Weiteren lässt sich erkennen, dass auch Nebenbedingungen wie der maximale und minimale Speicherseeinhalt (630 MWh bzw. 100 MWh) eingehalten werden und dass der Anfangs- und Endspeicherseeinhalt von 300 MWh bei der Lösung des Optimierungsproblems berücksichtigt wurde. Wir sehen also, dass das Modell genau das Gewünschte abdeckt.

BASF-Exkursion

AARNAV GUPTA



Am Exkursionstag fahren wir morgens mit dem Bus nach Ludwigshafen, um den größten Standort der BASF (Badische Anilin- und Sodafabrik) zu besichtigen. Die BASF ist der weltweit größte Chemiekonzern.⁵

⁵Quelle: <https://www.chemietechnik.de/markt/die-10-groessten-chemieunternehmen-der-welt-112.html>, Stand: 27.10.2024

Da sie mit Strom handeln, haben sie viel mit Optimierung und Datenanalyse zu tun, womit wir uns auch im Kurs beschäftigten. Außerdem will die BASF bis 2050 komplett klimaneutral sein.⁶ Das bedeutet, dass sie auf erneuerbare Energien umsteigen wollen, was auch ein großes Thema unseres Kurses war.



Mit dem Bus ging es dann auf das 10 Quadratkilometer große⁷ Gelände der BASF. Die BASF verfügt über viele interessante Techniken und Tricks. Ihre Sicherheitssysteme machen den Transport von Chemikalien sehr sicher. Am interessantesten waren die „selbstfahrenden Container“. Das sind Container mit Rädern, die Stoffe und Gase auf einem vorgegebenen Weg transportieren können.

Anschließend tauchten wir mit Hilfe von Expertenvorträgen in die Welt der Logistik, Optimierung und Datenanalyse bei der BASF ein. Im ersten Vortrag lernten wir direkt, dass der Standort etwa 6 TWh Strom pro Jahr verbraucht.⁸ Das ist halb so viel wie Berlin. Einen guten Teil davon produziert die BASF mit ihren drei Kraftwerken selbst, den Rest bezieht sie aus dem deutschen Stromnetz. Um herauszufinden, wie viel Strom sie wann einkaufen müssen, sind Optimierungstools nötig. Außerdem müssen sie herausfinden, wann sie Strom am besten verkaufen können. Die Optimierung

⁶Quelle: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/sustainability/we-produce-safely-and-efficiently/energy-and-climate-protection/climate-protection-goal>, Stand: 27.10.2024

⁷Quelle: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen>, Stand: 27.10.2024

⁸Quelle: <https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/production/energy>, Stand: 27.10.2024

für das perfekte Verhältnis und den kostengünstigsten Betrieb der eigenen Kraftwerke wird vereinfacht in drei Schritten berechnet. Zunächst wird eine gute Strompreisprognose benötigt. Im zweiten Schritt wird die optimale Ausführung der Stromhandelsgeschäfte berechnet. Zum Schluss werden dann die kostengünstigsten Kraftwerkslastpunkte bestimmt.

Die zweite Präsentation zeigte uns die Zukunftspläne der BASF. Sie bauen gerade weitere Offshorewindparks auf dem Meer und haben Kooperationen mit China. Auch am weltweit größten Windpark an der holländischen Küste sind sie bereits beteiligt. Doch das große Ziel, bis 2050 klimaneutral zu werden, hängt stark von der Regierung ab. Würde diese die erneuerbaren Energien stärker fördern, wäre es noch einfacher zu erreichen.

Der letzte Vortrag, den wir uns anhörten, wurde von einem Mitarbeiter der IT-Abteilung gehalten. Wir erfuhren von interessanten Projekten, die bereits umgesetzt wurden, und von weiteren Projektideen zum Beispiel im Bereich des Machine Learnings.

Alles in allem war diese Exkursion sehr informativ, lehrreich und bereitete uns viel Spaß. Vielen Dank an die BASF für dieses bereichernde Erlebnis!

Zitate

Zwei Stunden sind zu wenig. Zwei Stunden sind zu viel. Zwei Stunden sind perfekt.
(Ole)

Nicht-weibliche Ziegen sind nicht immer Schafe.
Pausen sind überbewertet.
(Das Python-Programm ist interessanter als das Pausenspiel mit Ole)

Klammer auf, Klammer zu, der Info-Kurs gewinnt im Nu!
(Sportfest-Spruch)

Klammer auf, Klammer zu, Ole trägt doch nie ein Schuh!

Wo ist die Kohle für Ole?

Wir haben ein Land namens Dänemark entdeckt.

Wir sollten einfach Sklaven einstellen.
(Kursteilnehmer, die keine Lust haben, die Nebenbedingung mit der Arbeitskraft einzuberechnen.)

Tempo ist nicht nur eine Taschentuchmarke.
(Zehn Minuten später ...) Smart ist nicht nur eine Automarke.

Ole-Kraftwerke sind schlecht für die Umwelt.

Wir sind neutral, wie die Schweiz.

Jetzt rechnen wir nicht mehr mit Äpfeln, sondern mit Scheiße!

Käsebrötchen mit Nutella schmeckt (nicht!!)

Rucksackproblem: wir brauchen kein Essen, der PC ist wichtiger!

Herr Merkel ist da!

(Aarnav über Davids Präsentationsstil)

Die Steine da hinten sind gefährlich. Ich spreche aus Erfahrung.

1, 2, 3! Energie herbei, hex hex!!!

Warum hat Sokrates keinen Teilchenbeschleuniger gebaut?

Auf deinem Namenschild steht aber Li!

Kannst du es einem Philosophen nicht erklären, hast du es nicht gut genug verstanden.

Die Meteos hätten uns einfach den Inhalt ihres Ballons optimieren lassen sollen.

Beine, wo ich sie sehen kann!

Aarni Barnie oder Adweil Adapter
(Aarnav)



Danksagung

Wir möchten uns an dieser Stelle bei denjenigen herzlich bedanken, die die 21. JuniorAkademie Adelsheim / Science Academy Baden-Württemberg überhaupt erst möglich gemacht und in besonderem Maße zu ihrem Gelingen beigetragen haben.

Finanziell wurde die Akademie in erster Linie durch die Dieter Schwarz Stiftung, die Vector Stiftung, die Hopp Foundation for Computer Literacy & Informatics und den Förderverein der Science Academy unterstützt. Dafür möchten wir allen Unterstützern ganz herzlich danken.

Die Science Academy Baden-Württemberg ist ein Projekt des Regierungspräsidiums Karlsruhe, das im Auftrag des Ministeriums für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg für Jugendliche aus dem ganzen Bundesland realisiert wird. Wir danken Frau Anja Bauer, Abteilungspräsidentin der Abteilung 7 „Schule und Bildung“ des Regierungspräsidiums Karlsruhe, der Leiterin des Referats 75 „Allgemein bildende Gymnasien“, Frau Leitende Regierungsschuldirektorin Dagmar Ruder-Aichelin, und Herrn Jan Wohlgemuth, Regierungsschuldirektor und Stellvertretender Leiter des Referats 35 „Allgemein bildende Gymnasien“ am Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg.

Koordiniert und unterstützt werden die JuniorAkademien von der Bildung & Begabung gGmbH in Bonn, hier gilt unser Dank der Leiterin des Bereichs Akademien Frau Dr. Ulrike Leikhof, der Referentin für die Deutschen JuniorAkademien und die Deutschen SchülerAkademien Dr. Dorothea Brandt sowie dem gesamten Team.

Wir waren wie immer zu Gast am Eckenberg-Gymnasium mit dem Landesschulzentrum für Umweltbildung (LSZU). Für die herzliche Atmosphäre und die idealen Bedingungen auf dem Campus möchten wir uns stellvertretend für alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter bei dem Schulleiter des Eckenberg-Gymnasiums Herrn Oberstudiendirektor Martin Klaißer sowie dem Leiter des LSZU Herrn Studiendirektor Christian Puschner besonders bedanken.

Ein herzliches Dankeschön geht auch an Frau Oberstudiendirektorin Dr. Andrea Merger, Leiterin des Hölderlin-Gymnasium in Heidelberg, und Herrn Oberstudiendirektor Stefan Ade, Leiter des Schwetzingen Hebel-Gymnasiums, wo wir bei vielfältiger Gelegenheit zu Gast sein durften.

Zuletzt sind aber auch die Leiterinnen und Leiter der Kurse und der kursübergreifenden Angebote gemeinsam mit dem Schülermentorenteam und der Assistenz des Leitungsteams diejenigen, die mit ihrer hingebungsvollen Arbeit das Fundament der Akademie bilden.

Diejenigen aber, die die Akademie in jedem Jahr einzigartig werden lassen und sie zum Leben erwecken, sind die Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Deshalb möchten wir uns bei ihnen und ihren Eltern für ihr Engagement und Vertrauen ganz herzlich bedanken.

Bildnachweis

Seite 9, Abbildung Asteroid (Ausschnitt des Originalbildes):

NASA, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA00135>
NASA/JPL

Seite 9, Abbildung Meteor:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Meteor,_8.5.2016.jpg
Wikimedia-User Michael Eberth
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 9, Abbildung Meteorit Knyahinya:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Steinmeteoriten_NHM_Wien.JPG
Wikimedia-User Dr. Bernd Gross
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Kirkwood Gaps:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:AsteroidIncAu.png>
Wikimedia-User Dreg743, Piotr Deuar
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 12, Abbildung Mikrometeoriten unter dem Lichtmikroskop:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Light_microscope_images_of_stony_cosmic_spherules.png
Wikimedia-User Shaw Street
CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 13, Abbildung Genese von Mikrometeoriten:

urbane Mikrometeorite, <https://www.micrometeorites.org/einfuehrung>
Dr. Thilo Hasse, mit freundlicher Genehmigung

Seite 14, Abbildung Azimutsystem:

Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HorSys.svg>
Wikimedia-User S. Wetzel
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 15, Abbildung Äquatorsystem:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equatorial_coordinates.svg?lang=de
Wikimedia-User Cmglee
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 17, Abbildung Funktion des großen Wagens als Polarsternzeiger:

Wikimedia, <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:PolarsternFinden.svg>
Wikimedianutzer Flups

Der Urheber erteilte ein unentgeltliches, bedingungsloses Nutzungsrecht für jedermann ohne zeitliche, räumliche und inhaltliche Beschränkung (gemeinfrei-artige Nutzungslizenz).

Seite 23, Abbildung Ionentriebwerk:

NASA, <https://www.jpl.nasa.gov/images/pia04247-deep-space-1s-ion-engine>
NASA/JPL

Seite 25, Abbildung Messeinheit:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_IMU_at_Draper_Hack_the_Moon_exhibit.agr.jpg
Wikimedia-User ArnoldReinhold
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 26, Abbildung Testflug Starship:

Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch_\(crop_2-3\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:StarshipLaunch_(crop_2-3).jpg)
Wikimedianutzer Osunpokeh
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)

Seite 33, Kursbild:

Foto des Literatur/Philosophie-Kurses
Isabella Flick

- Seite 34, Utopiebegriff:
Darstellung der Utopiebegriffe
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 35, Thomas Morus:
Bildnis des Thomas Morus, UB Leipzig
openverse, <https://openverse.org/image/a00ea616-6192-4377-91c4-60710389e7ff>
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 36, Hermeneutische Spirale:
Darstellung der Hermeneutik als Methode
Laura Treptow
- Seite 37, Grundkonzept des Kursaufbaus:
Schaubild der grundlegenden Überlegungen zum Kursaufbau, angelehnt an ein Schaubild aus: Susann Vollert:
Utopien – nicht hier, nicht jetzt, nicht möglich?, Beitrag 33 aus: RAAbits Ethik/Philosophie Nr. 37, Raabe
Verlag, Dezember 2013.
- Seite 38, Kursarbeit:
Henriette Neuschwander
- Seite 39, Portrait von Hobbes, Künstler John Michael Wright, ca. 1670
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Thomas_Hobbes_by_John_Michael_Wright.jpg
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 41, George Orwell (1940)
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Orwell,_c._1940_\(41928180381\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:George_Orwell,_c._1940_(41928180381).jpg)
Cassowary Colorizations
CC BY 2.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>)
- Seite 42, Vereinfachte Darstellung des idealen Staatsaufbaus nach Platons Idee des Philosophenkönigs
Antonia Schneider
- Seite 42, Platon:
Ausschnitt aus dem Fresko „Philosophenschule von Athen“, Künstler Raffael, ca 1510
Wikimedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Platon.png>
Wikimedia-User RaphaelQS
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 43, Immanuel Kant:
Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Kant_gemaelde_3.jpg
Johann Gottlieb Becker, 1768
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Bildnis des Gotthold Ephraim Lessing, UB Leipzig
openverse, <https://openverse.org/image/c311d14c-7e57-4b62-83b1-c0eb5bf45350>
Als gemeinfrei gekennzeichnet
- Seite 45, Die Ebenen der Ringparabel:
Schaubild der Text- und Bedeutungsebene von Lessings Ringparabel in seinem Werk „Nathan der Weise“
Letitia Bindert
- Seite 46, Hans Jonas an der Universität St. Gallen (1983):
Wikimedia, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Jonas_an_der_Universität_St._Gallen_\(1983\)_H_SGH_022-001945.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hans_Jonas_an_der_Universität_St._Gallen_(1983)_H_SGH_022-001945.jpg)
Universitätsarchiv St.Gallen, Regina Kühne, HSGH 022/001945
CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode>)
- Seite 47, KI-generierte virtuelle Welt:
Beispielhafte Darstellung einer virtuellen Utopie, angelehnt an Beschreibungen aus dem Buch „Cryptos“ von
Ursula Poznanski
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 48, Der voll digitalisierte Mensch:
Beispielhafte Darstellung eines „gläsernen“ Menschen in einer voll digitalisierten Welt
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet
- Seite 49, Exkursion:
Foto des Kurses bei der „experimenta“ in Heilbronn
Nadia Serotek

Seite 50, Spaß beim Planendreihen:

Kursteilnehmer zwischen Arbeit und Vergnügen
Tobias Flick

Seite 52, Design des Kursshirts:

Gemeinsam im Kurs erstelltes Design für das Kurs-T-Shirt
KI-generiert und vom Kurs bearbeitet

Seite 111, Abbildung Ernährungspyramide:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Plakat_Ern%C3%A4hrungspyramide_7Stufen_ohne_Rand_cutted.png

Wikimedia-User Magnus Manske

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>) Seite 119, Abbildung Temperaturverlauf in der Atmosphäre:

www.eskp.de/en/pollutants/forschungsthema-atmosphaere-935771/#images-1

Wissensplattform eskp.de

CC BY 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>)

Seite 125, Abbildung Schematischer Aufbau der Erdatmosphäre:

Wikimedia, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Atmosphäre_Stufen.svg

Niko Lang, Wikimedia-User Ladyt

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 126, Abbildung Lichtspektrum:

Wikipedia, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EM-Spektrum.svg>

Matthias Matt

CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/legalcode>)

Seite 126, Abbildung Streuung des Sonnenlichts:

<https://www.leifiphysik.de/optik/farben/ausblick/himmelsblau-und-abendrot>

LEIFIPhysik – mit freundlicher Genehmigung

Seite 133, Abbildung: Vergleich mit Daten anderer Sonden

Dr. Tobias Kerzenmacher, Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Spurengase und Fernerkundung am KIT (Karlsruhe Institute of Technology), unter Verwendung der Daten von:

<https://doi.org/10.24381/cds.6860a573>

<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>

Mit freundlicher Genehmigung

Alle anderen Abbildungen sind entweder gemeinfrei oder eigene Werke.

Bearbeitungen von Bildern unter einer CC-SA-Lizenz werden hiermit unter derselben Lizenz weitergegeben.

Abbildungen der Europäischen Weltraumagentur (ESA) werden gemäß der ESA Standard License für Bildungszwecke verwendet: https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Copyright_Notice_Images

Abbildungen der National Aeronautics and Space Administration (NASA) können für Schulen und Lehrbücher ohne explizite Erlaubnis verwendet werden: <https://www.nasa.gov/multimedia/guidelines/index.html>