



of materialist
Entwicklung
September 2024

Vorwort

03 Terminkalender

04 Editorial

SMW Inside

06 Präsidial

08 HoPo-Log

SMW Social

10 Soccer Cup

Entwicklung

13 Steinzeit - Die Levalloistechnik

15 King Tut's Nanoscale Secrets

19 Eisenzeit - Ferrum Noricum

26 Learning from Nature

28 Plastikzeit - Face Plant

31 Age of Semiconductors - Internship

35 Siliziumzeit - Moore's Law

39 Use Silicon to Discover its Successors

45 Digitalzeit

Studium

52 GESS - Fach

54 ASVZ

56 Rätsel

Impressum

59 Impressum

Terminkalender

September

25.09. GV

26.09. ESF

Oktober

02.10. Ersti Stamm

30.10. Oktoberfest Stamm

November

01.11. Grave Rave

15.11. Tech Ness mit APV und VeBis

27.11. Raclette Stamm

Dezember

18.12. Glühwein Stamm

Editorial

by Alexandre Nozadze

Hoi zämme / Hallo zusammen! Bonjour à tous! Ciao a tutti! Hello everyone!

A new semester has started and we are happy to get to know our new Bachelor and Master Erstis, to encounter plenty of familiar faces, and to see the ETH campi come back to life again. This time in English to really address everybody, I am happy to introduce you to this Jubilee version: The 50th edition of the Materialist!

Over the last 13 years, our student-led newspaper has grown and developed, seen plenty of changes in both board positions and editorial teams, survived countless layout and writing styles, and is now again in your hands to accompany you through the upcoming semester. Whether you're solving the crosswords in the last row of the lecture hall, browsing through opportunities – we inform you about internships/projects, exam statistics, SiP lectures, ASVZ courses, and the latest SMW events – or simply procrastinating before the upcoming exams: The materialist is there for you! :D

To meet all these purposes and also the demands of our anniversary, we have chosen a very special theme: the development of materials science throughout the history of humankind, from the Stone and Iron Ages all the way to the digital era. I know this sounds very pathetic and not like the fun-to-read casual stuff that you would expect from a student newspaper. Neither does our timeline make any claim to completeness as we are simply lacking the time, resources, and people power for that (yes we are always searching for new editors, feel free to reach out to me any time if you want to join us! :)

But be prepared to be amazed! We will tell you the secrets of ancient Egyptian artisans, think about nature and plastic feelings, and teach you how to develop new materials on USB sticks (not precisely, but you will understand what I mean after reading all the articles ;))

Twice every semester, our diligent editors are voluntarily dedicating their time and effort to writing prose and poems, shooting pictures and making up riddles, adjusting layouts and coordinating deadlines to make this ETH Materials Science newspaper possible. Thus, I see it as an obligation to also thank the leaving editors for their previous contributions and remind us of their “material legacies“:

First of all, Leonor, who has always made us ponder anew with her poems. She is now focusing on sustainability @ZHAW and we wish her great success with her further studies! To check out her art works, you have to look no further than the last (April) edition: “Skye’s Reflexes”.

And second, Stefan, who has long been an important member of the editorial team but has now finally reached the point we are all working towards: The ETH Master’s degree. Congrats! In here, you will find his final article “Silicon Age: Moore’s Law” – definitely worth a read!

I hope you enjoy reading this special edition and wish you a wonderful semester full of new materials and experiences!

Your editor-in-chief,

Alexandre

Präsidial

von Aaron Locher

Liebe Erstis und liebe Mitglieder,

Ich freue mich euch im neuen Semester zu begrüßen. Ob nach den Basisprüfungen, einem weiteren Block oder komplizierten Sessionsprüfungen, es starten neue Vorlesungen. Wir können uns gespannt in neue Themen stürzen und für einen Moment den Gedanken verdrängen, dass uns in guten vier Monaten eine Prüfung darüber erwartet. Im Vorstand haben wir den Schwung des letzten Semesters genutzt und haben verschiedene Ideen am Start, wie wir das kommende Semester gestalten.

Es erwarten uns wieder tolle Stämme und andere abwechslungsreiche Events. So können wir gleich den Semesterstart an der SMW x APV Bar am ESF feiern, gefolgt von einem Ersti Stamm mit neuem Programm und unseren weiteren Klassikern. Nach zwei aktiven Jahren als Kulti geht Dave in den Ruhestand und Fabian wird mit neuer Unterstützung die Stämme organisieren. Wer neu die besten Stämme an der ETH mitorganisieren wird, werdet ihr am 25.09 an unserer GV erfahren.

Wir werden dieses Semester hoffentlich auch euch unser renoviertes SMW Büro vorstellen können und es wird gemunkelt, dass es nicht unsere letzte Sticker Serie war. Wer noch keine hat, kann sich gerne bei mir melden. Die nun knapp einjährige Design Kommission ist eifrig an verschiedenen Projekten und das eine oder andere werdet ihr dieses Semester noch zu Gesicht bekommen.

Doch es gibt nicht nur Parties und Goodies, sondern manchmal wird es im Vorstand ernst. Wir sind gespannt, was für Sparmassnahmen gesprochen werden, wie PAKETH nun abschliessend umgesetzt wird und ob im nächsten Frühling noch jemand übrig ist, um vom legendär kleinen Jahrgang 2023 zu berichten XD. Natürlich hoffe ich, dass es alle schaffen und durch den Winter kommen. Es bleibt auch spannend mit den Diskussionen bezüglich der Erhöhung von Studiengebühren für Bildungsausländer:innen. Wer bei diesen Themen up to date bleiben möchte, kann gerne in der Unterrichtskommis-

sion oder als Vertreter des SMW im Mitgliederrat des VSETH mitwirken. Stichwort Mitwirken, wir benötigen noch Unterstützung im Redaktionsteam des materialist, falls du also gerne Fotos machst, Berichte oder Gedichte schreibst oder gerne im Layout oder der Redaktion mitwirken möchtest, kannst du dich gerne bei unserem Chefredakteur Alexandre (materialist@smw.ethz.ch) melden.

Nun wünsche ich euch allen einen guten Semesterstart, eine spannende Lektüre über die verschiedenen Materialzeitalter und freue mich euch bei unseren Events und Stämmen zu sehen.

Euer Präsident,
Aaron

HoPo-Log

von Marguerite Babusiaux

Hallo SMW!

PAKETH hat dieses Semester mein Dasein als HoPo stark geprägt, weshalb sich der HoPo-Log dieses Mal um PAKETH dreht. Also viel Spass beim Lesen! Alles fing mit der wiegeht's-Umfrage 2019 an, bei der ermittelt werden konnte, dass die Studierenden der ETH zu viel Stress ausgesetzt sind. So wurde ein Konzept entwickelt, um die Studierenden zu entlasten und potenziell negativen Folgen entgegenzuwirken.

Dieses Projekt entwickelte sich peu à peu und hat nun 5 Jahre später gerade die Vernehmlassungsphase hinter sich gebracht. Unser Departement hat während der UK (Unterrichtskommission) und bei zwei vorbereitenden Sitzungen die wichtigsten Punkte des PAKETH diskutiert. Erfreulicherweise war es bei den Diskussionsrunden oft der Fall, dass die Profs und die Studis der gleichen Meinung waren und – selbst, wenn nicht – ein gegenseitiges Verständnis für die Befürchtungen und Anregungen der anderen Seite herrschte. Kurzum war es ein äusserst produktives und angenehmes Arbeiten, wobei wir sogar selbst Vorschläge für die Anpassung der Lernphase eingebracht haben. Der beliebteste Vorschlag war schlussendlich, dass es 4 Wochen Lernphase geben sollte und die Prüfungsphase etwas verlängert wird, um blöden Prüfungszeiten – wie Montag 17.00-19.00 Uhr (auf die Prüfung freue ich mich sehr...) – aus dem Weg zu gehen.

Wir wissen aber durch den VSETH, dass die Diskussionen leider nicht immer produktiv abliefen; einerseits innerhalb der anderen Departemente und andererseits ETH-übergreifend mit dem Entwicklungsteam gab es teilweise hitzige Auseinandersetzungen, die sich wohl über die nächsten Jahre weiterziehen werden. In den nächsten zwei Jahren folgt nämlich die Umsetzungsphase, bei der noch viele Details, aber auch übergreifende Themen geplant und umsetzbar gemacht werden sollen. Ein problematischer Punkt ist zum Beispiel das Work-Load Monitoring und die Work-Load Planung. Als kleiner Refresher: Diese sollen dafür sorgen, dass nicht die ganze Arbeit, die nun nicht mehr im Sommer erbracht werden kann, ins Semester fällt. Funktion-

iert dies nicht, würde natürlich in keinem Fall die Belastung der Studierenden minimiert werden und es wäre schädlich für zwischenmenschliche Aktivitäten, wie zum Beispiel unsere Stämme. Dennoch wurde für diesen Punkt noch keine genügende Basis geschaffen, dass man darüber diskutieren könnte, was dazu führt, dass wichtige Teile der Umsetzung ohne Vernehmlassung geschehen werden. Etwas ungünstig, aber wir müssen optimistisch bleiben, dass es das Team, doch irgendwie schafft, eine Lösung zu finden. Ein weiterer kritischer Punkt, der auch unter den Studierenden am Work Café besprochen wurde, war die Prüfungsabmeldung. Nach PAKETH soll nämlich eine Anmeldung zu einem Fach automatisch auch eine Anmeldung zur Prüfung sein, was mitunter auch eine Anpassung der Online-Infrastruktur verlangt. Das heisst, dass Webseiten wie mystudies ein riesiges Make-Over bekommen werden. Dies soll dazu führen, dass vor allem Wahlfächer mit Gruppenarbeiten nicht einfach belegt werden, danach nur die Hälfte teilnimmt und die Gruppen gar nicht mehr aufgehen. Zu diesem Punkt wurde von unserem Department die Befürchtung geäussert, dass Studierende die Fächerdiversität nicht mehr nutzen werden. Dennoch soll nach momentanen PAKETH-Richtlinien eine Abmeldung ab einer fixen Semesterwoche (noch nicht genau definiert, aber eher früh) nur noch wegen höherer Gewalt möglich sein. Hier hat die UK besprochen, dass eine Abmeldung mit einer Hürde für alle immer noch möglich sein sollte, wobei diese Hürde zum Beispiel ein Questionnaire der Kanzlei oder ähnliches sein soll. Naja, ihr seht, es müssen noch viele Stunden in dieses Projekt investiert werden. 2027 soll dies schlussendlich alles auf einmal implementiert werden, also alle Studierenden des alten Systems werden in das neue System migriert, damit es nicht wie bei Curriculums-Revisionen immer noch Leute gibt, die ewig lange im alten System verharren. Neben PAKETH ist es im VSETH weiterhin busy, da vor allem momentan viele politische Themen, wie zum Beispiel die Studiengebührenerhöhung, angesprochen werden müssen. Zusätzlich dazu wurde ein neuer VSETH-Vorstand gewählt (Nic Cantieni (amiv) als Präsident und Josephine Müller (Ve-Bis) als Vize).

Tschüssili,
Maggy

Soccer Cup

von Phillip Zenger







Die Levalloistechnik

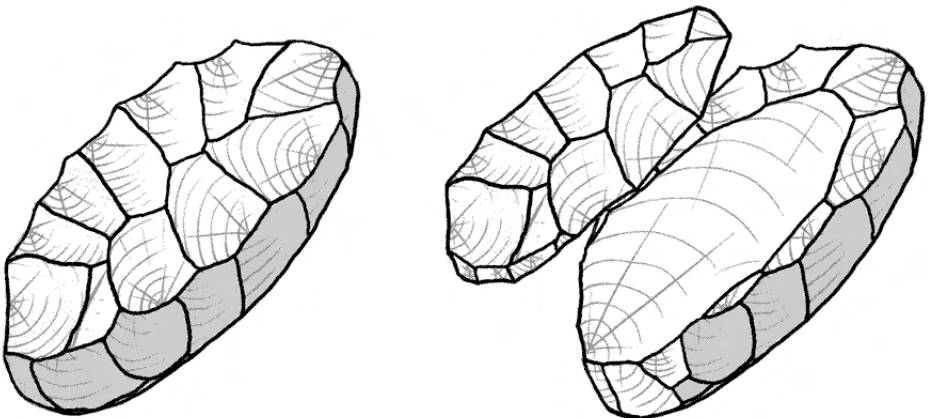
von Siro Käch

Die Steinzeit markiert den Beginn der Menschheitsgeschichte und dauerte ca. von 2.6. Mio. v. u. Z. bis 10'000 Jahren v. u. Z., wobei der genaue Anfang und die Dauer dieser Epoche je nach Kontinent variieren. Archäologische Funde zeigten, dass unsere Vorfahren bereits vor mehr als 1 Mio. Jahren verschiedenste Gegenstände aus Stein, Holz und tierischen Rohstoffen (Knochen, Leder etc.) herstellten. Anfangs wurden v.a. Werkzeuge sowie Waffen hergestellt und später auch Bekleidung und Schmuck. Die bekanntesten Gegenstände sind wohl die Steinwerkzeuge, allen voran der Faustkeil. Viele dieser Werkzeuge zeichneten sich durch eine der Anwendung angepassten Form und meist auch scharfe Kanten aus. So wurden bestimmte Prozesse, wie z.B. das Jagen, um ein Vielfaches effizienter oder teils überhaupt erst möglich.

Mit der Zeit entwickelten Steinzeitmenschen verschiedene Methoden, um Steinwerkzeuge herzustellen. Die Wahl der Gesteinsart spielte dabei auch eine wichtige Rolle. Schlussendlich sollte ein zuverlässiger Herstellungsprozess möglich sein, aber das Werkzeug sollte beim Gebrauch auch nicht zu schnell abgenutzt werden.

Eine dieser Steinbearbeitungstechniken war die Levalloistechnik. Namensgebend war die französische Stadt Levallois-Perret, wo bedeutende Steinwerkzeuge entdeckt wurden. Bei dieser Technik wurden von einem steinernen Rohling (sog. Kernstein) einseitig erst kleine Stücke an den gewünschten Stellen abgeschlagen, um eine mehr oder weniger präzise Form zu erhalten (siehe linkes Bild). Zum Schluss erfolgte dann ein gezielter Schlag, damit der zuvor bearbeitete Teil als ein grosses Stück vom Kernstein abgetrennt wurde, wobei entlang der Bruchstelle eine scharfe Kante entstand (siehe rechtes Bild). So konnten besonders grosse, dünne und scharfe Werkzeuge hergestellt werden. Bei umgekehrter Reihenfolge würde die scharfe Kante beim Abschlagen der kleinen Stücke abgestumpft und generell mehr Material als nötig entfernt.

Diese Methode erinnert mich an einen Schritt beim Fräsen von Teilen. Denn bei manchen gefrästen Teilen wird als letzter Schritt das überschüssige Material, das z.B. während dem Prozess nur dazu da war, um das Teil stabil in der Maschine einzuspannen, sauber in einem Schnitt abgetrennt. Auch hier wäre die umgekehrte Reihenfolge komplizierter und würde zu keinem besseren Ergebnis führen. Solche scheinbar kleinen Entscheidungen können bereits viel ausmachen und ich finde es bemerkenswert, wie früh dies unsere Vorfahren bereits zu ihrem Vorteil nutzten.



Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Levalloistechnik>

King Tut's Nanoscale Secrets:

Revealing Egyptian artisans' Mastery of Ultra-Thin Films

Sunday, November 26, 1922—In a significant breakthrough, Egyptologist Howard Carter uncovered a sealed passage bearing King Tutankhamun's name, raising hopes of finding the long-lost tomb. Would this passage reveal a mere cache of the king's belongings, or was it the entrance to the tomb itself?

Further complicating the find were ominous signs of ancient grave robbers, evidenced by a partially demolished and hastily resealed doorway. The tension in the passage was palpable as Carter, with painstaking precision, made a small breach in the upper left-hand corner of the sealed door.

Taking a moment to test the air with a candle—a precaution against any volatile gases—Carter widened the hole and peered into the darkness. In his later account, Carter vividly described the scene: “As my eyes grew accustomed to the light, details of the room within emerged slowly from the mist—strange animals, statues, and gold—everywhere the glint of gold.”

Gold held significant cultural, religious, and economic value in ancient Egypt. Its brilliance and oxidation resistance made it the perfect symbol of the pharaoh's divine might. This was especially true in a bronze-age world that had not yet seen any other metal. The Egyptian pharaohs amassed vast quantities of gold from mining operations, tributes from conquered territories, and trade. Some historians suggest that the annual gold production at the height of ancient Egypt's power (New Kingdom period, 1550 - 1070 BCE) was in the range of several tons.

Even though King Tut had a short and uneventful reign (1332 - 1323 BCE), his tomb contained about 110 kg of solid gold. More exciting from a material science point of view, however, are the gold-gilded treasures within. One of these is his canopic shrine (Figure 1), where the king's internal organs were laid to rest. Thin sheets of gold cover the outside of the shrine and the statues surrounding it.

To fabricate these thin sheets, artisans had to first purify gold ore. This was done by melting the ore in a mixture of “alum” [the mineral alunite, $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$], salt [NaCl], and chalcopyrite [e.g., CuFeS_2] minerals. During

by **J. Byloff**, Laboratory for Nanometallurgy, ETH Zurich;
Laboratory for Nanomechanics, Empa Thun



Figure 1: Canopic shrine of Tutankhamun. The shrine is guarded by the four goddesses Isis, Nephthys, Neith and Selket, who ensured the safe passage of the deceased into the afterlife. The shrine and statues are gilded with thin sheets of gold. Within, an alabaster chest with four compartments contains the king's internal organs. Adapted from Gérard Ducher under the CC-BY-SA-2.5 license.

this process, H_2SO_4 and HCl form and dissolve the base metals. The purification and early steps of the thinning process are shown in Figure 2, taken from a tomb in Saqqara (2500 BCE). The two men on the right-hand side adjust the oven temperature using blow pipes, while the man on the left-hand side of the image beats the purified gold into a thin sheet using a wooden block and a flat stone as tools.

To maintain coherency of the sheet while thinning it further, the sheets were then layered with vellum (cleaned animal hide) or papyrus. Using this method, a skilled artisan could achieve a sheet thickness of a few microns, in the range of bacteria or a red blood cell. The thinnest gold sheets found in ancient Egyptian tombs had a thickness of $\sim 2000 \text{ \AA}$, comparable in thickness to biological structures such as viruses or large protein complexes (ribosomes) in cells.

Gold is highly malleable due to its close-packed face centered cubic (FCC) structure and low stacking fault energy (SFE). FCC crystals like gold have twelve independent slip systems (= slip plane + slip direction). In these slip systems, dislocation movement can easily occur and lead to plastic deformation. As the gold is hammered, dislocations move along the close-packed slip planes, allowing for layers of atoms to slide over each other.

SFE is the energy per unit area required to create a stacking fault. High e-localisation due to gold's high atomic radii and an almost completely filled d-electron band result in weak atomic bonding. This means that less energy is required to disrupt the regular stacking sequence of atoms in the crystal lattice. This is quantified by the SFE, which is $\sim 30\text{-}50 \text{ mJ/m}^2$ for Au (compare this to FCC Al: 200 mJ/m^2). A low SFE makes it more energetically favourable for dislocations to split into partial dislocations. These can move more easily through the crystal lattice and thus accommodate more plastic deformation. Today, gold leaf thicknesses of $\sim 500 \text{ \AA}$ can be achieved by skilled craftsmen. Interestingly enough, in the time of Howard Carter, gilding was still the main method used to produce thin gold films. Even though the method is still in use today in an artisanal context, it was replaced by roll-to-roll sputter coating and evaporation in the mid-1930s.

Further reading: J. E. Greene: Tracing the recorded history of thin-film sputter deposition: From the 1800s to 2017, *J. Vac. Sci. Technol. A* 35, 05C204 (2017), <https://doi.org/10.1116/1.4998940>



Figure 2: Fresco from a tomb in Saqqara (ca. 2500 BCE). On the right-hand side, the clay pot temperature is increased and maintained by two men using reed blow pipes, while on the left-hand side another beats the purified ore into thin sheets. Adapted from Ref. 1.



Ferrum Noricum

Der Stahl der Keltern

von Evamaria Fuchs

*saevior illa freto surgente cadentibus Haedis,
durior et ferro, quod Noricus excoquit ignis,
et saxo, quod adhuc vivum radice tenetur,
spernit et inridet, factisque inimitibus addit
verba superba ferox et spe quoque fraudat amantem.*

Publius Ovidius Naso, Metamorphosen 14, Verse 711-715, kurz nach Jahr Null

Jene – wilder als das Meer, das beim Untergang der Haedi aufbraust,
härter als der Stahl, der in norischem Feuer geschmolzen wird,
und härter als der Fels, der noch lebend in seinem Grund wurzelt –,
verschmäht und verspottet den Verliebten, fügt grausamen Taten noch
hochmütige Worte hinzu, die Herzlose, und raubt ihm zuletzt die Hoffnung.*

*zwei Sterne, die als Sturmboten galten

Europa um das Ende der Eisenzeit im letzten Jahrhundert vor Christus: Vor etwa achthundert Jahren haben die Menschen gelernt, Eisenerz zu reduzieren und aus dem gewonnenen Metall zuerst einfache, dann kompliziertere Waffen und Werkzeuge zu fertigen. Ganz Mittel- und Westeuropa wird von keltischen Stämmen bewohnt, Spuren ihrer Kultur finden sich von Nordspanien und Südengland im Westen bis nach Ungarn im Osten. Nördlich siedeln die Germanen, und im Süden – von Süden her kündigen sich Änderungen an. Erstreckte sich das Herrschaftsgebiet von Rom um 300 v. Chr. noch nur über die Stadt selbst und ihr Umland, eroberte Gaius Iulius Caesar in den 50er Jahren v. Chr. das von verschiedenen keltischen Stämmen besiedelte Gallien (heute Frankreich, Belgien und die Schweiz). In den darauffolgenden Jahren breiteten die Römer sich immer weiter in das Gebiet der Kelten aus. Die mehr oder weniger friedlich vonstattengehende Angliederung an das römische Reich markierte den Übergang von der Eisenzeit in die Antike.

Haben also die Römer den Fortschritt in den Norden gebracht? Sicherlich, aber wir wissen heute, dass der Austausch nicht so einseitig war. Handel ging in beide Richtungen, und Rom war in einigen Fällen vielleicht sogar abhängiger von seinen Provinzen als die Provinzen von Rom. Die Expansionsversuche der Grossmacht stiessen nämlich nicht unbedingt nur auf Begeisterung in den angrenzenden Gebieten, und für Krieg braucht es bekanntlich neben ausreichend Soldaten auch Waffen, um diese Soldaten auszurüsten. Das römische Kernland verfügte damals aber nicht über Stahlproduktion im grossen Stil.

Grosse Erzvorkommen von genügender Qualität gab es nicht und das benötigte Wissen und die Fähigkeiten, um die verfügbaren Erze zu verarbeiten, fehlten.

Nördlich der Alpen hingegen beherrschten die Kelten dieses Handwerk schon länger, wenn auch mit schwankenden Ergebnissen. Denn für gute Waffen braucht es schmiedbaren, kohlenstoffreichen Stahl, der durch Abschrecken gehärtet werden kann. Der fiel in den damals verwendeten Rennöfen meist nur als zufälliges Nebenprodukt an. Die aus dem zuverlässig produzierbaren weichen Roheisen hergestellten Endprodukte mussten mit grossem Aufwand nachträglich aufgekohlt werden, um als Kampfwerkzeuge nützlich zu sein. Keine guten Voraussetzungen für eine Massenproduktion, wie sie nötig gewesen wäre, um die römische Armee auszurüsten.

Bis in die 1960er Jahre war die in der Archäologie vorherrschende



Keltisches Schwert aus norischem Stahl, ca. 60 v. Chr. – photographed at Metropolitan Museum of Art, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=8058515>

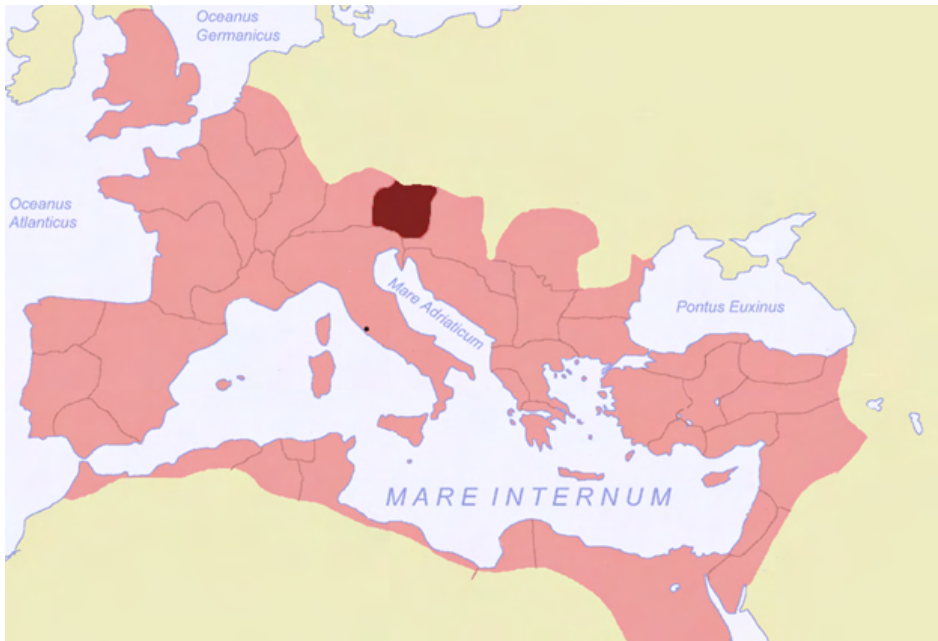
Meinung, dass in Rennöfen nie die Bedingungen erreicht werden konnten, die zur Produktion von kohlenstoffreichem Stahl in grossen Mengen nötig gewesen wären. Doch die Funde sprachen eine andere Sprache: Nur durch nachträgliches Zementieren gehärtete Werkzeuge haben aussen einen höheren Kohlenstoffgehalt als im Kern, aber es wurden immer mehr Werkstücke mit homogener Kohlenstoffkonzentration gefunden. Das wohl überzeugendste Indiz für eine Stahlproduktion in grossen Mengen lieferte jedoch ein Fund von 5 Tonnen Nägeln aus Stahl, verbaut in einer römischen Festung in Schottland aus dem 1. Jahrhundert nach Christus. Nur schon die schiere Menge wäre beeindruckend. Zusätzlich hätten die Nägel aber auch gar nicht aus Stahl hergestellt werden müssen. Kohlenstoffarmes Eisen reicht völlig, so werden sie auch noch heute gemacht. Stahl musste also wirklich sehr günstig produzierbar gewesen sein, sonst wäre er hier nicht verwendet worden.

Doch wo lag diese antike Geburtsstätte der modernen Stahlindustrie? Um diese Frage zu beantworten, gräbt man entweder ganz Europa um und sucht nach Öfen und Schlackeabfällen oder man gibt sich einfach ein bisschen den Studien antiker Literatur hin. Denn Ovid liefert uns die Antwort quasi auf dem Silbertablett: Wilder als der stürmische Ozean, härter als norisches Eisen oder Fels ist das Herz der Angebeteten des armen Jünglings. Auch andere römische Schriftsteller erwähnen Ferrum Noricum, das offensichtlich zu dieser Zeit allgemein für seine Härte bekannt war. Die Spuren führen in das Gebiet des heutigen Österreichs, genauer in eine namenlose keltische und später römische Siedlung, heute «Stadt auf dem Magdalensberg» genannt.

Das Königreich Noricum war ein Verbund 13 keltischer Stämme unter den Norikern, der etwa 200 Jahre vor Christus besiegelt wurde. Schon kurze Zeit später begann dank der Gründung der Hafenstadt Aquileia (nahe dem heutigen Triest) der Handel mit dem römischen Reich, zuerst mit Gold, bald auch mit Eisen. Im Jahre 170 v. Chr. verhandelte eine römische Gesandtschaft freundschaftliche Beziehungen mit den Stämmen und von da an vergrösserte sich der römische Einfluss mehr und mehr, bis die Region kurz vor dem Jahr Null friedlich ins Reich eingegliedert wurde.

Wie wichtig die Siedlung auf dem Magdalensberg vor dem Handel mit den Römern für die Kelten war, ist nicht genau bekannt. Mitte des 1. Jahrhunderts vor Christus gründeten römische Händler auf jeden Fall einen Markt,

es entstanden ein Forum und später auch ein Badehaus, eine Markthalle und Wohnhäuser nach römischem Vorbild. Aber das Zentrum war ein riesiges keltisches Heiligtum, wahrscheinlich gebaut von den norischen Königen. Es gab auch ein paar kleine Öfen für die Metallverarbeitung, aber noch bessere Hinweise auf die Stellung der Stadt als Knotenpunkt des Stahlhandels finden sich in den Kellern der Handelshäuser. Dort haben sich im Verputz der Wände die Inschriften erhalten, die die Händler wahrscheinlich über ihren Waren in die Wände geritzt haben, um den Überblick über die Menge, den Bestimmungsort, den Handelspartner und die Bezahlmethode zu behalten. Sie sind der Beweis, dass ein grosser Teil des Stahls des römischen Reiches wirklich durch diesen Ort abseits aller wichtigen Handelsrouten gegangen sein muss. Teilweise über eine Tonne Haken, Ringe oder Beile wurden hier gelagert, aber auch Halbzeug, das zur Herstellung komplizierterer Werkzeuge oder Waffen exportiert wurde. Und exportiert wurde nicht nur nach Aquileia und Rom, sondern in das ganze Reich.



Noricum zur Zeit des Römischen Reiches; <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2249877>

Nun wäre das «Wo» geklärt, fehlt noch das «Wie». Hier gibt es leider keine so direkten Antworten von den Zeitgenossen, wenn man einmal von Plinius absieht, der die Qualität von Eisen mit den lokalen Unterschieden zwischen dem Wasser zu erklären versuchte. Und abschliessend lassen sich die Fragen wahrscheinlich auch nie beantworten, denn die Hüttenleute kann leider niemand mehr nach ihren Geheimnissen fragen. Aber immerhin lassen sich die Vermutungen mit Hilfe der vorgefundenen Öfen, Schlackeresten und Versuchen mit den Werkzeugen der damaligen Zeit und nachgebauten Öfen auf ihre Plausibilität prüfen.

Mehrere grosse Renn- und Schmiedeöfen, die wahrscheinlich zur Verhüttung des Eisenerzes verwendet wurden, wurden bei Ausgrabungen auf dem Hüttenberg ein paar Kilometer nördlich des Handelspostens entdeckt. Dort wurde das Erz auch abgebaut. Die Reduktion von Eisenerz (Eisenoxyde vermischt mit diversen anderen Stoffen) zu reinem Eisen im Rennofen funktioniert folgendermassen: zuerst wird der Ofen mit Holzkohle angeheizt und einige Stunden gewartet, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist. Danach wird von oben in Schichten abwechselnd klein gebrochenes Erz und mehr Kohle eingefüllt. Die Kohle verglüht dank durch Luftschächte zugeführten Sauerstoff. Die Luftzufuhr wurde in der Antike entweder durch Blasebälge oder automatisch mit Luftzug dank Hangaufwind geregelt. Aufgrund der sehr hohen benötigten Temperaturen für die Stahlproduktion wird angenommen, dass auf dem Hüttenberg Blasebälge eingesetzt wurden. Die Eisenoxidverbindungen werden zuerst reduziert, wobei Kohlenstoff als Reduktionsmittel agiert. Dies kann entweder direkt über Kontakt mit der Kohle erfolgen oder über das bei der Verbrennung entstehende CO/CO₂ – Gasgemisch. Je höher die Temperatur, desto besser verläuft die Reduktion. Genau dieses Gasgemisch kann auch zum anschliessenden Aufkohlen des gebildeten Eisens führen, gegeben genügend hohe Temperaturen für die Bildung von γ -Eisen und hoher Anteil von CO im Gasgemisch. Die anderen Stoffe bilden eine unter diesen Bedingungen flüssige Schlacke. Alles klar so weit, aber wieso fiel dann in den meisten Fällen nur weiches Eisen ohne nennenswerten Kohlenstoffgehalt an, und was machten die Noriker anders, um ihren berühmten Stahl zu produzieren? Hier scheiden sich die Geister, aber wahrscheinlich lag ihr Glück in der ausserordentlichen Zusammensetzung des Erzes der Region, kombiniert mit einem über Generationen perfektionierten Verhüttungsprozess. Beim

Reduktions- und Aufkohlprozess handelt es sich nämlich, wie doch immer, um Gleichgewichtsreaktionen. Die C-Anreicherung findet erst statt, wenn nur noch ganz wenig zu reduzierendes FeO in der Schlacke vorhanden ist. Die normalerweise bei diesen Öfen gefundenen Schlackeabfälle beinhalten meist einen noch immer beträchtlichen Anteil an Eisen, was bedeutet, dass die Bedingungen für ein Aufkohlen gar nie erreicht werden konnten. Hier kommt das im Hüttenberger Erz in zur Genüge vorhandene Mangan ins Spiel. Manganoxid ist viel schwieriger zu reduzieren als Eisenoxid. Darum nimmt während des Reduktionsprozesses der relative Anteil von Manganoxid in der Schlacke gegenüber dem Eisenoxid immer mehr zu, was im Falle von Hüttenberg die aufkohlungshemmende Wirkung der Schlacke verringert haben könnte. Zusätzlich enthält das Erz praktisch keinen Phosphor, der zur Versprödung des Endproduktes hätte führen können. Aber auch das reicht nicht, um den Erfolg der Noriker zu erklären. Denn um die erforderliche Temperatur zu erreichen, ist viel Sauerstoff notwendig. Damit sinkt aber gleichzeitig der CO-Gehalt im Gasgemisch. Kohlenstoffreiche Eisenteilchen können also in der Nähe der Blasebälge entstehen, aber sie werden durch die neu eingeblasene Luft sofort wieder oxidiert und entkohlt. Untersuchungen der Öfen aus dem Regnum Noricum zeigen aber eine Eigenheit, die dazu gedient haben könnte, dieses Problem zu umgehen: Unter den Luftzufuhrlöchern befinden sich grosse Nischen, in die die Eisenteilchen absinken konnten, und zwar unter die Holzkohleschicht. Dort herrscht wieder eine reduzierende Atmosphäre, und Versuche haben gezeigt, dass das sich dort ansammelnde Eisen so erneut mit Kohlenstoff versetzt wird.

In den nachgebauten Versuchsöfen konnte mit Erz aus der Umgebung tatsächlich Stahl gewonnen werden, aber die Homogenität liess noch sehr zu wünschen übrig. Ganz alle Geheimnisse sind also noch nicht gelüftet, die Hüttenleute von damals sind den Archäologen mit ihren über Generationen gesammelten Erfahrungen und ihrem Wissen über die beste Ofenführung doch noch ein gutes Stück voraus. Sie haben ihre Kunst beherrscht, irgendwie. Die heute noch erhaltenen antiken Waffen und Werkzeuge sprechen klar dafür. Und die Römer haben sich dank ihrer guten Handelsbeziehungen sicher einen Vorteil gegenüber ihren Feinden verschafft. Sie mussten ihre Schwerter nicht alle paar Hiebe wieder geradebiegen, wie laut Caesar zum Beispiel die Gallier. Wer weiss, vielleicht sähe die Geschichte ohne Ferrum Noricum etwas anders aus.

internships, full time positions
for bright materials scientists



where fiction meets reality

Learning from nature

by Philipp Lach

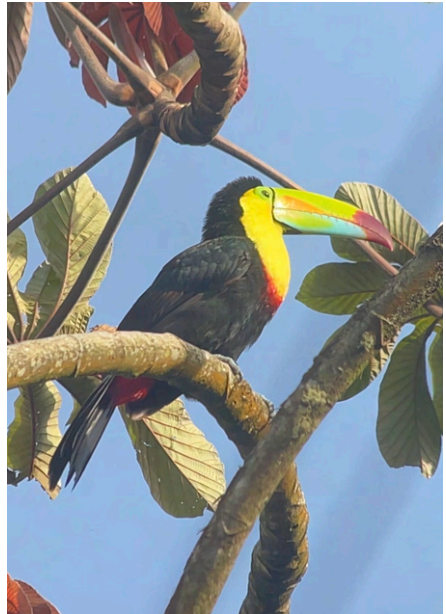
The discovery and application of new materials define milestones in human history. Surely, you have heard this kind of statement before. It is not by chance that eras of human history are named after materials. With new materials come new technologies, which transform our way of living and also our environment. Recently, we as human race have been interfering with nature quite a lot and have put our planet, nature, and its accomplishments at risk. If we want to live on this planet for many more years to come, we are required to behave more sustainably. We need to use less energy, produce less waste, and consume less raw materials.

There is some good news though: It is possible to tackle these problems by using nature as a source for inspiration. Through the course of evolution, nature has created numerous species of plants and animals, which have adapted to their environment perfectly. The examples are endless (although that is probably an exaggeration). Nature has come a long way and has gained more experience than any engineer could ever have. And we can look to learn from that experience.

Take color, for example: Most of you probably did the synthesis of Orange II in the lab as part of your lab courses during your bachelor's degree. I remember there were some nasty ingredients involved and the disposal was less trivial than for some of the other lab courses. Nature on the other hand uses a different way to produce color: Structural color. And it does so with a limited number of molecules, which themselves are colorless. Bird feathers are mostly composed of melanin and keratin whereas chitin is the main component for insects. Nanostructures in the feathers, wings, and exoskeleton selectively reflect light through interference and/or diffraction. The results can be admired in the form of vibrant colors. Wouldn't it be awesome if we could replace all dyes in packaging with biodegradable materials, which produce color through structure?

Let us now talk about mechanical properties. In your studies you will usually learn that a compromise has to be made between stiffness and toughness of a designed material. Nature on the other hand is able to make

both stiff and tough materials out of weak building blocks. The example often used here is nacre in sea shells. I find it magnificent how the shell can be very tough, although 95% of the shell is made out of chalk (okay, technically CaCO_3 , but you get the point). But since many of you have already heard about nacre or will most definitely hear about it in the future, I want to talk about a different fascinating animal instead. I even brought you a picture as well. What a beautifully weird bird, don't you think? Just looking at this bird's beak makes you wonder how this bird didn't die of neck pain already.



I mean, just look at the relative size of that beak and then imagine you had a nose the size of your torso. Good luck keeping your head up with that. In fact, although the toucan's beak makes up $\frac{1}{3}$ of its body length, the beak only makes up $\frac{1}{20}$ of the body weight. The shell of the beak consists of staggered layers of keratin scales, which provide the hardness. The interior of the toucan beak consists of a hollow core surrounded by a foam-like structure. Together, this sandwich composite provides both hardness and stiffness while also being lightweight to prevent migraine from neck pain. (I will admit, that previous rhyme was not intended but I am kind of proud of it, nevertheless)

Although I would love to give you some more examples on how awesome nature is, my laptop's battery is unfortunately running low and it doesn't generate power through photosynthesis yet. So I am going to leave you with the words of a famous materials scientist: «Ciao, me gseht sich am Stamm»

Face Plant

by Anna Huber

I can't feel my face
Can you feel my face?
I can feel your face
Icy and cold and glued together
Glued together like tiny little ice crystals
Tiny ice crystals cutting me open
I can't see what's real

The greyscales dampen my vision
The greyscales are everywhere, omnipresent
It feels real
Most of the time
But who's to tell, in this day and age
It's all plastic - everywhere and omnipresent
Coating everything you touch
Enhancing you(?)
Gifting you clearer vision
It's inside you
In everything we eat, drink, consume
It runs deep through the earth
Even the great blue is consumed by the greyscales
Filling us up till we choke
Life is better now
Why purge the curse
Why purge the curse when it brings with it great gifts
Life is better now
Life in plastic, it's fantastic!

Green doesn't enter my vision
Green doesn't let me see
I keel over and feel the grass
Caressing the gentle blades
Enraptured by the life
The lush life force cursing through my veins
It is real
This is real
Give me the beauty and the beast
But don't tear out the heart in the process
Don't glaze over the eyes and turn us blind
Don't lull us into an everlasting sleep
Hypnotised by the lights and the colours
Packagings lining endless store fronts
It's all plastic, it's fantastic!





Age of Semiconductors

II-VI Laser Enterprise GmbH (Coherent)

by Nicolas Zuberbühler , Tobias Goldenberger

We, Nicolas and Tobias, both did our internship at II-VI Laser Enterprise in Zürich. We had two different insights into the company during our process engineering (PE) and research & development (R&D) internships, respectively. Let's start with...

The Company

II-VI Laser Enterprise GmbH split off from IBM Rüschlikon 25 years ago. Surprisingly, they are also producing their devices in the heart of Zürich within the same facility. Even though about 350 people work there and they are part of a corporation (Coherent Inc.), the working atmosphere is casual and everyone is extremely friendly and always up for chat. Laser Enterprise is specialized in optoelectronic devices, mostly lasers (who would have known) and photo diodes. Without them, our digital daily life would not function! Some examples are pump lasers for the optical fibre network underwater or on land (basically repeaters), lasers for LIDAR, i.e. distance measuring which allows a car to navigate (semi-) autonomously, or your phone to unlock when you look at it – and many more.

They usually start at the wafer level (usually not Si, but GaAs) and deposit layers (sometimes through a mask, which can define a pattern) of other semiconductors or metals to form microstructures, which define e.g. the laser. After treating the finished wafer, one can “break” the chips out of the wafer, construct devices, and test them. During our internships, we got involved in different stages of this process chain.

Process Engineering (Nicolas)

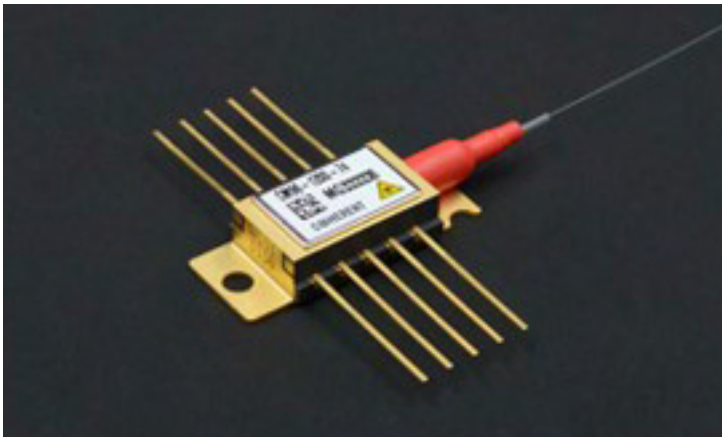
The process engineering department was divided into five teams: dry etching, lithography, epitaxy, packaging, and wet etching – the team I was part of. Wet etching involves using various acids and chemical solutions to precisely remove material from the wafer's surface, allowing for the creation of intricate patterns and layers. Our tasks primarily focused on the automatic etching machine and on managing the preparation and post-processing of wafers. This involved developing processes in the clean room by adjusting a multitude of parameters and analyzing samples until the desired specifica-

tions were met. Additionally, we maintained and adapted existing processes as needed, wrote instructions for the operators responsible for production, and ensured the smooth operation of the machines.

During my time at Coherent, I worked on a variety of projects. One notable project involved developing a process for an R&D initiative where we needed to etch a very thin layer of a material that had never been used before. I conducted research to find etching solutions with high selectivity, created samples, and inspected them using an SEM. I also developed an FEM model to improve the uniformity of a gold plating process. In addition to these projects, I occasionally assisted in production during special events. One aspect of the job I particularly enjoyed was troubleshooting issues when wafers didn't meet specifications. Because the processes operate on such a small scale, even the smallest factors could have an impact. For example, we once discovered that LED lights in a specific room were affecting the etching process while fluorescent lights in other rooms did not cause any issues.

Research & Development (Tobias):

I was part of the team which improves designs of the so-called "Narrow Stripe Edge Emitters" (called Telco at the company), the pump-lasers used as repeaters in the optical fiber network. (see https://www.rp-photonics.com/erbium_doped_fiber_amplifiers.html)



1 This is a pump-laser, encapsulated with contacts and the optical fiber mounted in front.

Picture: Tobias Goldenberger, II-VI Laser Enterprise GmbH

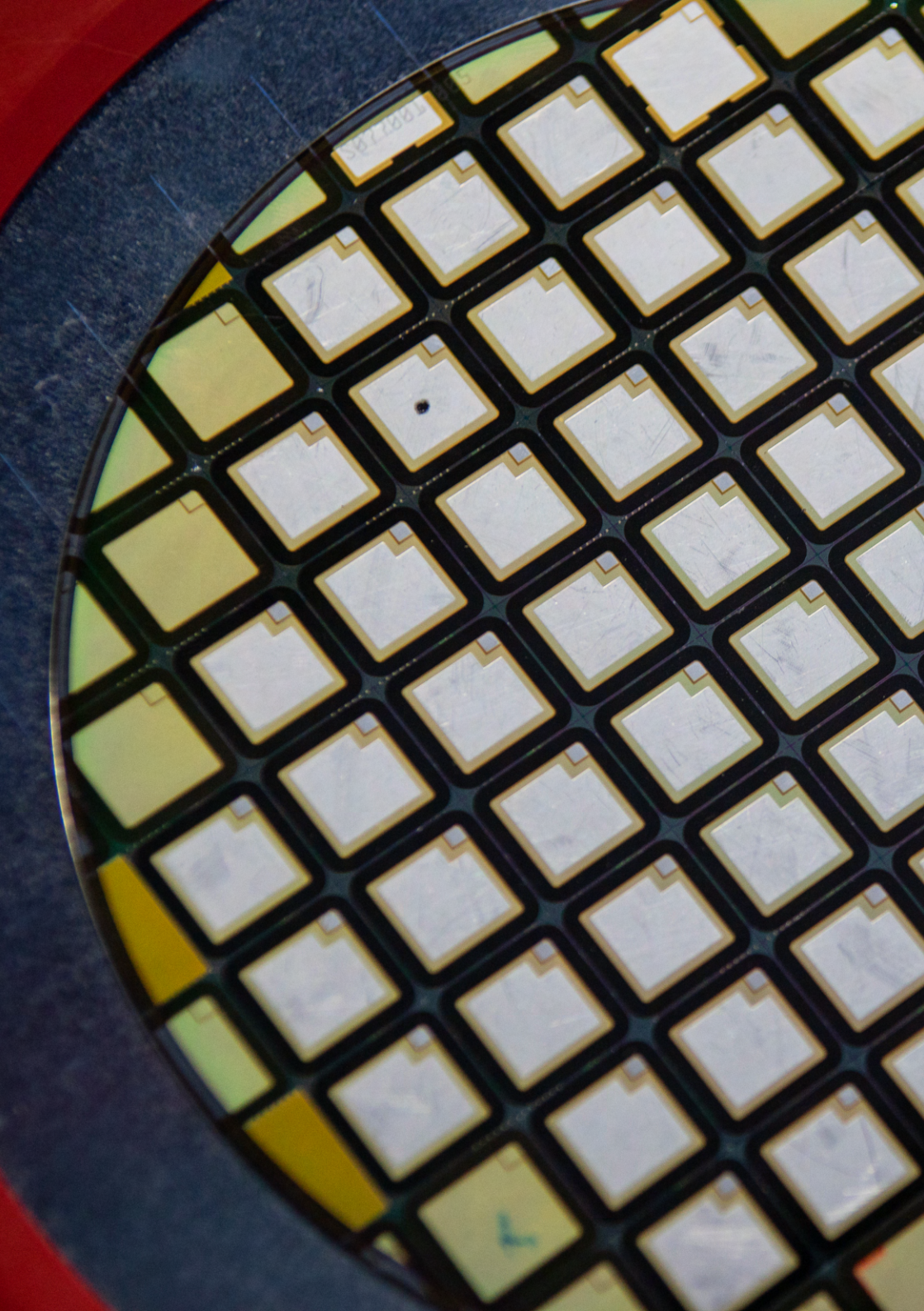
You can think of their work as the development of a new-generation product, which should be entering the market in the “near future” and replace the previous one. My work involved, for example, optical measurements and testing of new-gen samples inside the clean room and in a regular lab, then analyzing the data using e.g. python or MATLAB, and finally presenting new findings. At the same time, I was also working with the “Technology” team. In contrast to Telco, they work on fundamental tech, which should allow for completely new designs, which are not necessarily linked to an existing product (line). For example, I had the opportunity to help come up with a new testing setup, which allowed us to record new data, granting us further information about the inner workings of our laser.

What I learned was a lot more about laser & semiconductor physics and what R&D workflows in industry look like. When asked, other people are happy to show and explain their work, and you can get insights into the complete chain of processes. I enjoyed working within these two teams very much.

We both ended our internship in July 2023 with the fun company summer-event and we can highly recommend applying for an internship at II-VI Laser Enterprise GmbH!



2 Company summer-event on top of the Uetliberg with tombola.
Picture: Tobias Goldenberger, II-VI Laser Enterprise GmbH



1007785

Silicon Age

Moore's Law

by Stefan Schären

When I went to elementary school, I remember comparing USB sticks with the other kids. You were cool if you possessed a 2 GB stick, but you were a legend if it boasted 4 GB. A bit later, teenagers played flappy bird and temple run on their new smart phones, having 16 GB sticks in their pockets. Nowadays, you get 128 GB ones for free, together with a pen, some gummy bears and a brochure. And should you choose to actually pay for one, you can go as high as 2 TB. But how did we get here?

One hundred years ago, the German government taxed the number of vacuum tubes built into electronic devices – much to the annoyance of radio owners. To circumvent these taxes, the Loewe-Audion GmbH built the Loewe 3NF – an electronic component that combines three vacuum tubes into one. While the idea remained fruitless (the evaded taxes did not cover the cost of production), it marks the first integrated component in electronics. Sadly, the concept was buried again, forgotten for another three decades. But it made a come back of world-changing proportions when the MOSFET was invented.

MOSFETs (you can also call them MISFET or IGFET if you are feeling fancy) are a type of transistor – electronic components that control the electric current between point A (called source) and B (called drain) by doing something to point C (called gate). One single transistor may not seem too useful but if you connect millions of As, Bs and Cs in a smart way, you have built something that can do calculations. And here, the integrated electronic components make their comeback: It is not a viable business model to solder millions of transistors onto a chip by hand. Instead, they should be integrated into the fabrication process of the chip. And to this end, the simplicity of a MOSFET comes in terribly handy: Essentially, it is a block of pure silicon with two blotches of slightly dirtier silicon (A and B), covered with one layer of silica and one layer of polysilicon (C). Like a French omelette is just an egg, a MOSFET is just a block of silicon. The last ingredient needed was a process called photolithography (Greek that loosely translates to “writing in stone with light” (yes, technically, silicon is a metal and not a

stone)): First, the silicon wafer is covered with a polymer that becomes soluble when exposed to UV light. Then, using this UV light and a solvent, the polymer can be converted into a mask of any shape. With this mask, only the exposed regions can then be processed further, for example by etching (to create holes that can be filled with doped silicon) or by oxidising (to create an insulating layer needed for the gate). At the beginning of the sixties, it was all there: The MOSFETs, photolithography and the idea of integrated circuits. The last step needed was to combine them.

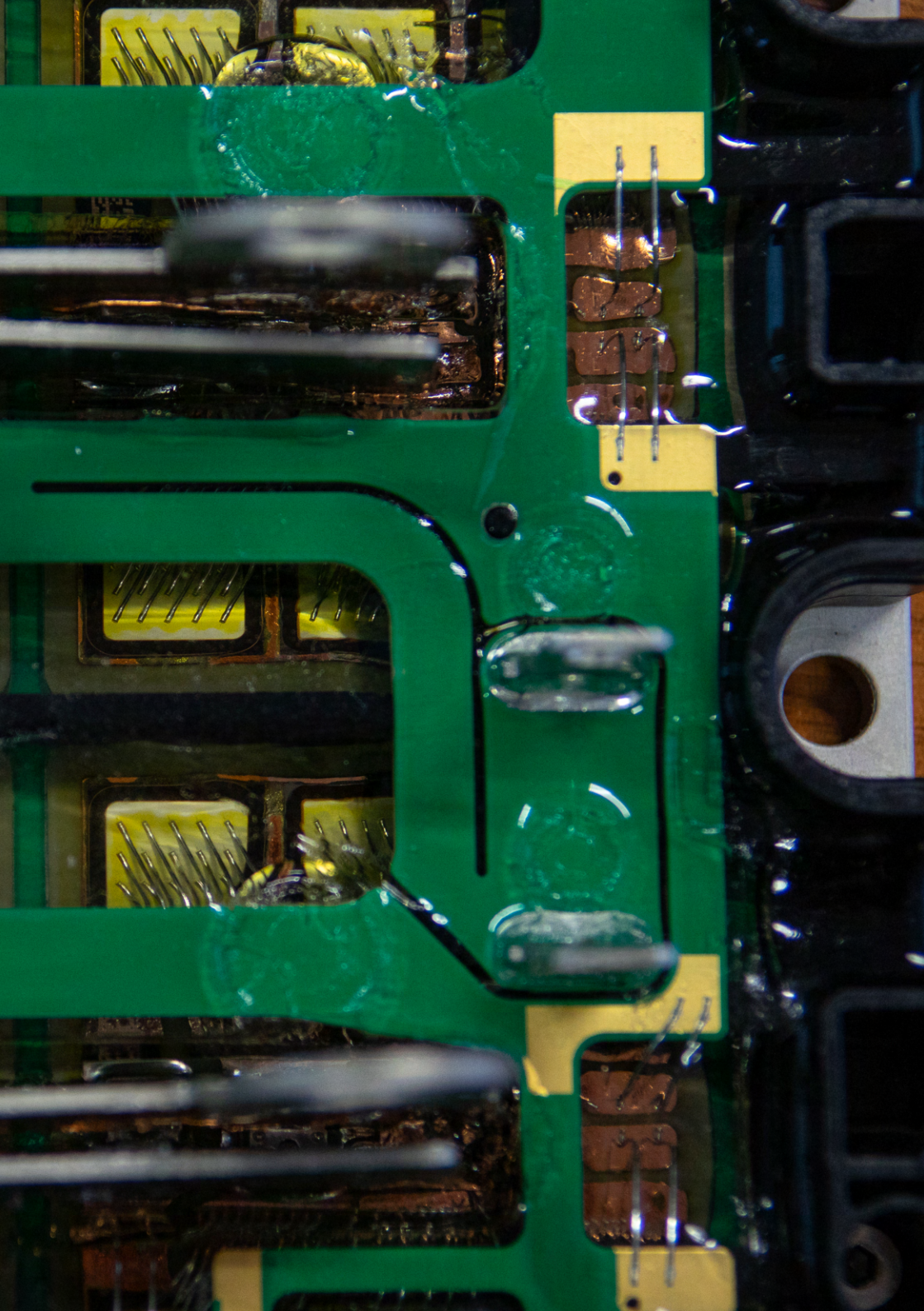
In 1960, Douglas Engelbart (the inventor of the computer mouse) attended the International Solid-State Circuits Conference and presented the idea that complex circuits could be made smaller, which would require less space. The people in the room probably agreed with him, as integrated MOSFET circuits hit the market soon after. And as the resolution of the lithographic process got higher, the size of an individual transistor got smaller. Many people observed this phenomenon and at one point, an electronic magazine asked Gordon Moore (cofounder of Intel) to estimate how this growth would continue. He observed that the numbers of transistors on a given area doubled within two years and that, maybe, this trend could continue for the next 10 years or so. And thus, Moore's Law was born. Moore's law (which is closer to a rule of thumb) states that transistors get smaller with time, exponentially so. However, there is often confusion about whether the area of these components halves every 2 or rather every 1.5 years. A reason for this confusion is another law, called Dennard Scaling. You need to forgive me but I introduce a little bit of maths to explain this (then again, you chose to be here in the first place): The main energy consumption of a transistor is caused by charging the gate, that is, to change between the conducting and non-conducting state. The charging energy scales quadratically with V , the gate voltage needed for the switch to happen, and linearly with C , the capacitance of the transistor (the capacitance tells you how "efficiently" a voltage is converted into an electric field). The important thing is that both C and V are directly proportional to the length of the transistor. Hence, halving the length of a transistor causes C and V to half as well – in turn, the energy consumption to switch the device decreases by a factor of 8! This has an unintuitive effect: If you increase the number of transistors in an area by a factor of 2, the total energy consumption decreases by a factor of $\sqrt{2}$.

Now, if you were a computer engineer from the 70s, what would you do with that information? A modern approach would be to follow the ecological route. “Double the speed, now with 30 % less energy!” Instead, they chose to make it even faster. By increasing the clock speed (the calculations per second) by 30 % every two years, the power consumption per area remains the same. And this, in essence, is Dennard Scaling: The power consumption per area is a constant, no matter how many transistors you pack in there. And herein lies the confusion of Moore’s Law: While the number of transistors roughly doubles every 2 years, the computational speed doubles every 1.5 years. Usually, people tend to mix up either the numbers or the terms.

Another popular phrase is that Moore’s law is dead. But this is only partially true: Transistors still get smaller. In 2020, the first 4 nm devices were developed, followed by the 2 nm ones in 2021. Of course, Moore’s law is very likely to stop soon as a length of 2 nm is about 20 silicon atoms. But what actually died is Dennard scaling: The idea that smaller transistors use less energy is only valid as long as you do not enter the realm of quantum shenanigans. If your transistors are small enough (which happened around 2004), you have to fight against quantum tunnelling and undead Schrödinger kittens: Suddenly, the smaller a transistor, the more energy it will consume. This has the effect that clock speed is practically limited to 4 GHz (if you overclock, your system gets drastically more inefficient), that computers need more energy with every new generation, and that the computational speed does not grow exponentially anymore. The last point is also the reason why many people proclaim the death of Moore’s law.

A last question that might linger is how it is possible that Moore’s law stayed valid for so long. It began as a simple extrapolation, a mere guess, and it held true for five decades. The reason is very similar to why Oedipus died (and why he did the other things he did): A self-fulfilling prophecy. The idea that something doubles every two years sounds very nice and orderly. And as Moore himself was the CEO of Intel, the thing that started as a projection slowly turned into a benchmark. The big transistor companies were actively working towards a doubling every two years. On the one hand, because that was predicted by Moore’s law; and on the other hand, because all the competitors did it.

Who knows, if the tech magazine back then asked Jerry Sanders III instead of Gordon Moore, we would already have quantum computers. Or still be proud on 4 GB USB sticks.



Use Silicon to Discover its Successors

by Luca Marin, Materials Theory Group

What will be the next material that is going to radically change the world? And how will this material be discovered? The course of human history has testified various key-materials that deeply affected society: Stone, wood, copper, iron, oil, silicon are just a few examples of materials that allowed us to create, or even think at, new inventions and technological discoveries. How were these ground-breaking materials discovered? If we think of iron, it is naturally found in the terrestrial crust under relatively simple and abundant minerals, such as hematite, magnetite or siderite. However, in order to build a useful object out of it like a sword or a compass, one must be able to melt it and shape it via a suitable process. Here lies the major difficulty that prevented early populations from using this material as they did not know or had not mastered the casting of metals and specifically of iron. From the point of view of a physicist, this story is a useful lesson: By tuning physical parameters, such as the temperature, and by having a good theoretical model, we can access new materials. From the point of view of a material scientist, we understand that an innovative fabrication and manipulation process such as casting can bring a material from being relatively useless to being very useful. This ancient anecdote helps us draw some general guidelines to answer the initial question:

How can we find the next world-changing material?

Let's start by considering the physical parameters: Contrary to the previous scenario, nowadays it is hard to imagine a new physical parameter or property. Temperature, pressure, chemical composition, electromagnetic forces and phase transitions govern all known synthesis processes and are well-encapsulated in rigorous physical equations. Of course, many knobs are still available to play with: When electromagnetic radiation is shaped into a laser beam, this can be used to ablate a surface and create a pattern with perhaps atomic features and novel functionalities. Despite the periodic table of elements being considered as fully known, the fabrication process could allow the realization of marvellous new materials. New physical parameters are also emerging in systems governed by the laws of quantum

mechanics. For example, by tuning unusual, purely quantum mechanical properties such as the spin interactions between electrons, new types of magnetic materials or computational devices like qubits can be envisioned – or even already exist. Spin glasses are perhaps the material class whose name most highlights the analogy between the tuning of classical and quantum degrees of freedom for the production of new materials.

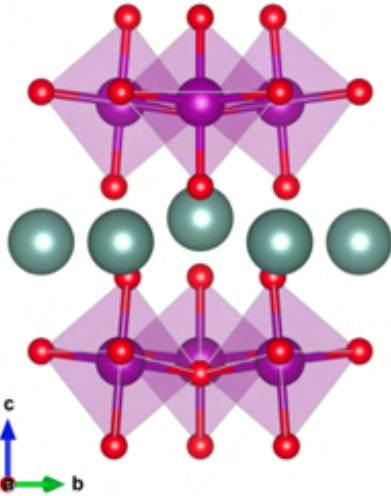


Figure 1: The low temperature crystal structure of hexagonal YMnO₃. Red, purple and green dots correspond to oxygen, manganese and yttrium sites, respectively. The arrows represent net magnetic moment per manganese site. Credits for the picture: Tara N. Toši. Materials Theory Group at ETH.

tions of elements that would satisfy it as for the corner-shared octahedral perovskite structure (Fig.1). Their general chemical formula is ABX₃ and ABB'X₆ for ternary and quaternary compounds, respectively (where A, B and B' are cations and X is an anion). Considering all possible combinations and accounting for chemical and structural constraints, more than 3.5 million compounds could exist. [According to Filip. M. R., Giustino F., The geometric blueprint of perovskites, PNAS (2018)]

As it is impractical – and probably impossible – to experimentally synthesize all such combinations, high-throughput numerical simulations can perform a quick scan and select the best candidates for a set of targets, desired material properties. Let's therefore dig a bit deeper in the realm of these simulations, let's try to picture them in our mind. What are we

However, there is another answer to the original question, lying in what we could define as a “modern manipulation process”: Computer simulations.

In fact, the physics of certain systems is too complex to be handled with pen and paper, hence it must be investigated by exploiting the numerical resources of a computer. Being able to accurately model such systems can facilitate and open the path for their realization. Moreover, computer simulations allow the fast, high-throughput analysis of the parameter space that defines a material with a particular focus on the chemical composition. For a fixed crystal structure, there can be a multitude of different combina-

simulating? Our focus is on a very, very short length scale. Rather than predicting the mechanical stress on a concrete pillar, we are interested in the interactions between and within single atoms at the sub-nanometer scale. In fact, by knowing the behavior of all the electrons in a system, a lot of properties can be inferred. One can, for example, predict the superconductivity of a candidate material – a crucial property for several applications that still lacks the presence of a material able to sustain it at ambient conditions. The search for the “room temperature” superconductor is an example of how experimental and simulation work are strongly intertwined and support each other. Supercomputers – such as Euler (Fig.2) – are needed because the solution of a many-electron quantum mechanical problem cannot be found analytically and the numerical effort to find one of its approximate solutions rapidly increases with the system size and accuracy.



Figure 2: Euler VII, a part of Euler, the supercomputing cluster at ETH Zürich. Picture taken from the ETH scientific computing wiki, “Euler”.

One of the leading techniques in electronic structure simulations is called density functional theory (DFT) and it allows to investigate a vast number of materials and properties. One example is magnetoelectric multiferroic materials, systems in which the magnetic and electric properties are mixed and controllable with each other. These very rare compounds can switch their permanent magnetization by applying an electric field and vice versa (polarization is switched by a magnetic field). Examples of multiferroic materials include BiFeO₃ – bismute ferrite – and the family of hexagonal rare-earths manganites – like YMnO₃ (Fig.1) – both possessing a perovskite structure. DFT can be used to calculate the quantum mechanical exchange coupling constants between the spins of lattice sites as well as the polarization arising from ionic displacements. These ground state properties can be complemented by calculations of perturbed states by the application of electromagnetic fields, setting all the necessary ingredients to the quantification of the magnetoelectric effect. Once again, the simulation can supply

crucial information to experimental groups. An independent experimental work would be hard as the growing processes and characterization techniques for these systems are highly non-trivial. In relation to the beginning of our discussion, we can ask ourselves the question:

What if the new multiferroic storage device – which would have significant advantages over its current magnetic contender – was found by an electronic structure simulation?

From a more fundamental perspective, DFT can also be used to understand the mechanism behind multiferroicity phase transitions. In analogy with the ordering of magnetic dipole moments in a ferromagnetic or antiferromagnetic phase, an order parameter should bring a system to its multiferroic state. Well-motivated physical considerations point to a hidden order parameter consisting of so-called magnetoelectric multipoles (Fig.3). These quantities, which are generally tensors of a certain rank, can be computed via DFT and the emergence of multiferroicity can be studied. Indications for experiments, such as predictions of the magnetoelectric multipole contribution to the magnetic form factor in neutron scattering experiments, can also be provided. [See Spaldin N. A., Ramesh R., Advances in magnetoelectric multiferroics, Nature Materials (2019)]

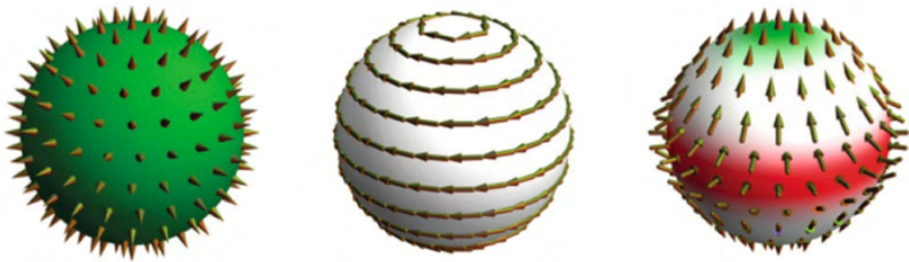


Figure 3: Magnetoelectric monopole (left), toroidal moment (middle) and quadrupole (right), all related to the components of the magnetoelectric tensor via symmetry considerations. The orientation of the magnetization density is indicated by the arrows. Image taken from Spaldin et al. (see above).

One last example we want to present is again from standard materials science and sits at the boundary with fundamental astroparticle physics. Yes, materials simulations can play a role in the hunt for dark matter (DM). Saying it all, materials themselves play a role in this scientific challenge as they constitute the core of rare-particle-events detectors. The idea is the following: a persisting flux of DM particles is predicted to hit the earth with most of it just passing through without any interaction.

However, an infinitesimal but non-zero fraction is supposed to scatter with standard-model matter and produce an observable signal, such as ionization. The important point for us in this story is that the observed signal is strongly dependent on the target material. Specifically, in models where DM is predicted to have more favorable interactions with electrons, having a knowledge of the system's electronic structure is mandatory. Therefore, not only can simulations help in interpreting the data of current detectors, but materials can be proposed as new targets for future experiments. By exploiting the peculiar electronic structure of a system, enhanced or univocal (i.e. easily distinguishable from background events) interactions with DM might be envisioned. Semiconductors and liquid noble gases (Fig.4) are commonly used targets for which DFT simulations have been conducted, while one might think about materials with hidden orders as a probe for specific models of DM-electron interactions. For the latter scenario, a careful symmetry analysis of the interaction Lagrangians and the hidden-order crystal must be carried out. [According to Catena et al., Crystal responses to general dark matter-electron interactions, Phys. Rev. Research (2021)]

As a final remark, materials have shaped the history of humanity since its very first origin. We are now in the era of silicon, which has transformed the way we see the world and our life. With this short article, we hope to have conveyed an idea of how silicon-based computers could help us discover the next material that will again change our vision of the world.



Figure 4 Time Projection Chamber (TPC) of the XENONnT detector for dark matter particles, utilizing liquid xenon as detection medium. Picture taken from <https://xenon-experiment.org/>



Digitalzeit

von Alexandre Nozadze (& ChatGPT)

Seit über 2 Millionen Jahren sucht die Menschheit kontinuierlich nach neuen Materialien. Die vorangegangenen Artikel haben anschaulich demonstriert, wie wichtig Werkstoffe sind für die Weiterentwicklung von Technologien und für das Lösen der grossen Probleme unserer Zeit. Viele der Materialien sind aus unserem Alltag gar nicht mehr wegzudenken und die Werkstoffe entwickeln sich stetig weiter.

Doch mit der Minimierung der Grössenskala, beispielsweise mit dem Aufkommen der Nanotechnologie oder durch die immer kleiner werdenden Elektronik-Bauteile steigt auch die Komplexität rapide an. Aber leider ist die Forschung und Entwicklung an Funktionsmaterialien nachwievor eine zeitaufwändige und arbeitsintensive Angelegenheit. Theorien, die eine generelle Hilfestellung geben für die Synthese neuer Materialien, sind eher selten, und in der Welt der Atome führt nun mal kein Weg an der Schröding-er-Gleichung vorbei.

Kein Wunder also, das gleich acht der 100 Paper, die vom Wissenschaftsjournal Nature zu den „Meistzitiertesten“ erklärt wurden, aus dem Feld der Dichtefunktionaltheorie stammen, einer quantenmechanischen Simulations-Methode zur Berechnung der Elektronenstruktur von Vielteilchensystemen anhand der Elektronendichte um die jeweiligen Atome. Oder dumm gesagt, man versucht komplizierte Ausdrücke in der Energieberechnung zu umgehen und verwendet stattdessen die Hintertür über die Elektronendichte. Dass das meist nicht exakt ist, wie mein Quantenchemie-Professor zu sagen pflegt, versteht sich von selbst.

Ebenfalls high-impact mit über 170.000 Zitationen ist das ar5iv-Paper zu „Adam“, einer Methode zur stochastischen Optimierung, die im Feld des Maschinellen Lernens zur weiten Anwendung kommt. (Die Tatsache, dass der Konvergenzbeweis dieses Optimierers einen entscheidenden Fehler enthielt, der im Nachgang korrigiert wurde, hat seinem Vermächtnis kaum geschadet...) Denn im Gegensatz zu früher stehen uns heutzutage leistungsfähige Algorithmen sowie eine ordentliche Menge an Rechenleistung (siehe Moore´s Law ;) zur Verfügung, die es uns ermöglichen, manch einen

aufwändigen Prozess einfach an die Maschine auszulagern.

Jetzt denkt ihr euch wahrscheinlich, Moment einmal, Zitationen sind doch nicht alles! Allerdings. Aber sie sind dennoch ein Indikator, was in der Wissenschaft gerade populär ist und wo eine Disziplin wie die Materialwissenschaft hinsteuert. Und das sind meines Erachtens vor allem Simulation und KI. Wie lange sich diese Trends wohl halten werden und was davon sich als übersteigter Hype offenbart, wird sich noch zeigen. Aber Fakt ist, dass die Lehrstühle in diesen Feldern in letzter Zeit regelrecht aus dem Boden wachsen und dass sich manche Universitäten sogar veranlasst gefühlt haben, einen ganz neuen Campus mitten ins Nirgendwo zu bauen (TUM und ETH, KI-Campus Heilbronn) oder einen eigenen Materialwissenschafts-Studiengang mit KI-Bezug zu etablieren (FAU, Studiengang „KI-Materialtechnologie“). Was man nicht alles macht, um neue Forschungsgelder zu akquirieren oder neue Studis anzulocken...

Aber nun zu den entscheidenden Fragen:

Wo gibt es noch Probleme, wo Bedarf für mehr „menschliche“ Arbeit?

In welchen Bereichen haben diese neuen Technologien Potential für grosse Fortschritte?

Und werden wir in Zukunft alle unseren Job an die KI verlieren?

Werden Materialwissenschaftler:innen bald ihren Job verlieren?



Es ist unwahrscheinlich, dass Materialwissenschaftler

bald ihren Job verlieren werden. Während die Technologie, insbesondere in den Bereichen künstliche Intelligenz (KI) und Automatisierung, rapide voranschreitet und einige Aufgaben übernehmen kann, bleibt die Rolle von Materialwissenschaftler

in vielen Bereichen weiterhin unersetzlich. Hier sind einige Gründe dafür:

Ein klares Nein von ChatGPT! Das lässt einen doch erstmal aufatmen. Dennoch gibt es gute Gründe, sich mit den beiden Feldern ein bisschen näher zu beschäftigen.



Generated by Flux AI: <https://fal.ai/models/fal-ai/flux>

Simulation:

Wofür Forscher:innen früher unzählige Stunden im Labor verbringen mussten, lässt sich heutzutage entspannt vor Kaffee und Bildschirm im Büro (oder sogar im Home-Office) erledigen: Eine klassische Synthese braucht zwischen wenigen Wochen bis hin zu einigen Monaten an harter Doktoranden-Arbeit (oder studentischer Arbeit, wenn der unschöne Teil an die HiWi-Lemminge ausgelagert wurde...) Im Vergleich lassen sich sogenannte „first principles calculations“ bereits in einigen Stunden oder mehreren Tagen durchführen.

Diese speziellen Computermethoden können die Eigenschaften von Materialien ausschließlich auf der Grundlage grundlegender physikalischer Gesetze vorhersagen, ohne sich auf empirische Daten oder Parameter-Fits zu verlassen. Die Berechnungen basieren auf der Quantenmechanik und beinhalten typischerweise die Lösung der Schrödingergleichung für wechselwirkende Elektronen und Kerne.

Ein besonders exaktes Verfahren ist die sogenannte „Configuration Interaction“ (CI), welche die Wechselwirkung zwischen verschiedenen elektronischen Konfigurationen berücksichtigt. Solche CI-Methoden sind allerdings sehr rechenintensiv, da die Anzahl der Konfigurationen exponentiell mit der Größe des Systems zunimmt. Die CI-Hamilton-Matrix, welche

die Gesamtenergien aller elektronischen Zustände eines Systems enthält, hat beispielsweise 1024 Elemente. Um diese (im Arbeitsspeicher! Wir wollen ja damit rechnen...) zu speichern, werden ganze $8 \cdot 10^{12}$ TB benötigt. Zum Vergleich: Der ETH-Supercomputer Euler stellt in etwa 400 TB Arbeitsspeicher zur Verfügung. Um ein System an Atomen exakt zu berechnen, bräuchten wir also schlappe 20 Milliarden solcher Supercomputer (oder 2 Billionen von Stefans alten USB-Sticks :)

Wie schon oben angesprochen, gibt es natürlich Vereinfachungen und alternative Methoden, wie etwa die Dichtefunktionaltheorie (DFT), bei der die Elektronische Energie allein aus der Elektronendichte berechnet wird. Dies spart Rechenaufwand und ist einfacher, sodass DFT heute als Standard-Methode in der Materialwissenschaft im Bereich der atomaren Auflösungen gilt.

Doch auch wenn diese Berechnungen auf Grundlage erster Prinzipien viel schneller sind als die Synthese, würde es immer noch viel zu lange dauern (insbesondere bei Eigenschaften, deren Berechnung Wochen dauert), eine Datenbank mit mehr als 100.000 Kandidaten zu durchsuchen. Computergestützte Entdeckung durch Simulation allein ist also schwierig. Um durch solch eine große Bandbreite an chemischen und strukturellen Daten zu scrollen, braucht es also Unterstützung durch datengesteuerte Methoden wie Machine Learning.



Machine Learning:

Kaum ein Thema hat in den letzten Jahren so viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen wie Künstliche Intelligenz. Egal wo man hinschaut, KI ist aus dem modernen Buzzword-Bingo gar nicht mehr wegzudenken. In der Forschung können selbstlernende Algorithmen bahnbrechende Veränderungen bewirken – sei es durch die präzise Vorhersage von Proteinstrukturen mit AlphaFold, die beeindruckende Sprachverarbeitung durch GPT-4, oder die beschleunigte Entdeckung neuer Wirkstoffe in der Arzneimittelentwicklung. Doch nicht nur in der Biologie und Medizin, sondern auch in der Materialwissenschaft eröffnet KI völlig neue Möglichkeiten.

Das Vorgehen ist dabei wie folgt: Die (bereits bekannten) Struktur-Eigenschafts-Beziehungen eines Materials werden quantifiziert und in Deskriptoren – auch bekannt als „fingerprints“ oder „features“ – überführt, die für die Maschine lesbar sind. Darauf lässt sich ein Modell aufbauen, welches auf Evidenz und bisherigen wissenschaftlichen Erkenntnissen basiert. Anschließend wird dieses Modell durch Hyperparameter-Optimierung trainiert, bis die Lösung konvergiert.

Vor der grossen Optimierung müssen aber noch fleissig Daten gesammelt, gesichtet, aus uralten Aktenordnern herausgerissen, aus vergessenen Publikationen und den Untiefen des Internets gesaugt, Fakten-gecheckt und zum Teil auch wieder beseitigt werden. Denn um richtig zu funktionieren, braucht die KI wirklich Unmengen an Datenpunkten. Noch dazu gibt es eine Vielzahl an Vorgaben an die einzelnen Datenpunkte, um zu gewährleisten, dass die KI am Ende überhaupt eine verlässliche Aussage machen kann:

Die Daten müssen einer Normalverteilung entsprechen, möglichst repräsentativ sein und dürfen zugleich nicht zu viel statistisches Rauschen aufweisen. Ansonsten hilft auch der beste Deep Learning Algorithmus mit den meisten Neuronen und den tiefsten Schichten nicht mehr viel, ganz nach dem alten Informatik-Spruch: „garbage in, garbage out“

Wenn wir von KI reden, sollten wir uns also unbedingt im Kopf behalten, dass die Daten zunächst von irgendwo herkommen müssen. Besonders wichtig werden hier Materialdatenbanken, die die Schlüsselinformationen eines jeden Werkstoffs – den atomaren Aufbau, die Struktur oder die Eigenschaften – festhält und zugänglich macht.

Ist die Datenfrage endlich geklärt, offenbart sich erst der grosse Nutzen der

KI: Sie spart Zeit und Kosten, indem sie es uns ermöglicht, mit weniger Experimenten ans (wissenschaftliche) Ziel zu kommen. So als würde man den Computer fragen: „Welches Experiment sollte ich als Nächstes laufen lassen? Wodurch kann ich am meisten lernen, wie sich das Material verhält?“ Langfristig spielt auch die Automatisierung eine zunehmend grössere Rolle, sodass die Labore der Zukunft ihre Arbeit vielleicht ganz von allein verrichten können – der Traum eines jeden Theoretikers.

Aktuell ist aber noch viel Handarbeit gefordert. Einerseits braucht es nachwievor mehr Daten, welche wiederum erzeugt werden wollen. Andererseits stellt sich die Frage, wie der Algorithmus auf das gegebene Problem angepasst werden muss (im Falle von „schwacher KI“ und „Supervised Learning“). Und hier spielt das bereits erlangte Domänenwissen eine ganz grosse Rolle.

Laut ChatGPT bleiben wir „weiterhin unerlässlich, da unsere Arbeit komplexe Forschungsfragen und interdisziplinäre Ansätze umfasst, die schwer zu automatisieren sind. Die Entdeckung und Entwicklung neuer Materialien erfordert kreative Problemlösungen und Anpassungen, die über die Fähigkeiten aktueller Simulations- und Machine Learning-Systeme hinausgehen. Auch unsere Zusammenarbeit mit Gesellschaft und Industrie für maßgeschneiderte Lösungen bleibt entscheidend. Während KI viele Routineaufgaben übernehmen und die Effizienz steigern kann, sind viele Aspekte unserer Forschung auf menschliches Urteilsvermögen angewiesen.“

Am Ende braucht es also immer auch den Forscher, die Forscherin. Für die Zukunft sollten wir uns stattdessen andere Fragen stellen:

Wie gehen wir in Lehre und Ausbildung mit Laborarbeit um, wenn diese künftig (teils) an die Maschine ausgelagert wird?

Gehen bei der rein computergestützten Forschung wichtige Werte wie Erfahrung und Intuition verloren?

So komme ich am Ende zur Feststellung, dass gewisse Prozesse eben doch nicht vollständig automatisiert werden müssen. Wie das Schreiben dieses Artikels – wobei ich zugeben muss, dass ChatGPT durchaus einen gewissen Teil beigesteuert hat...



GESS-Fach: PHILOSOPHIEN DER GEGENWART UND IHR VERHÄLTNISS ZU DEN ERFAHRUNGSWISSENSCHAFTEN

KP 3

von **Matthieu Bidaut**

Auf die Frage „Was gibt es in der Welt“ gibt es viele Antworten, und die fallen, je nach dem, wen man fragt, sehr unterschiedlich aus. Für die einen besteht sie aus Materialien, für den nächsten aus Beziehungen, andere werden mit Machtverhältnissen, Gütern oder Energie argumentieren. Auch Philosophen haben sich der Frage angenommen und mehrere miteinander konkurrierende Theorien aufgestellt. Dabei stützen sie sich auf Annahmen, die sie in Einklang mit dem ihnen zur Verfügung stehenden Wissen treffen.

Im 20. Jahrhundert wurde unser Weltbild grundsätzlich erschüttert. Nicht nur fanden ungeheure politische und gesellschaftliche Umwälzungen statt, auch die moderne Wissenschaft rüttelte an den Grundfesten dessen, was wir zu wissen dachten. Einstein liess zwei (gedachte) Menschen unterschiedlich schnell altern (Hautcremehersteller hassen diesen Trick!), bei Schrödinger wurde die Wirkung Ursache und die Ursache Wirkung, sodass am Ende keine von beiden mehr richtig existierte (und niemand mehr wusste, wer die arme Katze denn jetzt umgebracht oder wiederbelebt hatte), und Libet behauptete, dass ich schon beginne zu handeln, bevor ich mich überhaupt dazu entschliesse, eine Handlung durchzuführen.

Durch diese neuen Theorien wurden die Annahmen, auf die sich die Philosophen seit Jahrhunderten gestützt hatten, plötzlich hinfällig. Hier setzt die Vorlesung an: Es werden die Versuche der Philosophie betrachtet, mit dem neu gewonnenen und im Widerspruch zum bisher bestehenden Wissen zurechtzukommen. Jeweils eine neue Erkenntnis wird vorgestellt (beispielsweise die Entwicklung der Quantenmechanik, der Relativitätstheorie oder der Genetik), dann wird dessen Auswirkung auf bisher bestehende philosophische Konzepte betrachtet und Reaktionen der Philosophie auf die neue Erkenntnis erklärt.

Wenn zum Beispiel das Prinzip von Ursache und Wirkung nicht mehr uneingeschränkt gilt (wie in der Quantenmechanik demonstriert), können auch Moral und Justiz an ihre Grenzen kommen. Schliesslich setzt Schuld (die in der Justiz eine zentrale Rolle spielt) die Existenz einer Ursache für einen Sachverhalt voraus.

Wer sich dafür interessiert, was für Auswirkungen die Phänomene aus den Grundvorlesungen über die Wissenschaft hinaus auf unser Verständnis der Wirklichkeit hat, dem sei diese Vorlesung wärmstens empfohlen. Der Professor spricht in klaren Sätzen, welche auch für Nichtphilosophen gut verständlich sind (Aufmerksamkeit vorausgesetzt). Unnötige Fachausdrücke werden vermieden und notwendige Fachausdrücke werden in einfachem Deutsch so erklärt, dass man begreift, was sich hinter dem Begriff verbirgt. Als Prüfungsleistung musste ich einen Essay einreichen, in welchem die Gedanken einer Vorlesung zusammengefasst und weitergedacht werden. Das Schöne an diesem Essay ist, dass er bereits während des Semesters geschrieben werden kann, sodass man sich um drei GESS-Credits schon vor Semesterende keine Gedanken mehr machen muss.

Summer Sports

Cycling and Body Balance



by Doğa Koçum

ASVZ courses are always a good option for me to fill my spare time when I also want to be more physically active. During the summer, I had the chance to try out many different courses, but I would like to introduce you to my 2 favorites: Cycling and Body Balance.

Cycling is a High-Intensity Interval Training (HIIT), therefore it is cardio-intensive. I can assure you will release a lot of toxins because of the sweating. But the feeling of achievement at the end of each class is very worth the pain :).

There are different elements that you need to consider during indoor cycling: The load of your bike, the rpm for your pace, and your body's position. The instructor of the session makes a plan for the intervals, sprints, uphill, etc. Adjusting the load and the difficulty is up to you. What I like about this course is the fact that it is combined with music.

You just need to listen to the music

and try not to miss the rhythm :). Most of the time the music type is techno, but it makes it more fun for me when I come across some instructors who play 2000's pop. Sometimes little light shows accompany this music and it motivates you even further. I would definitely recommend this course if you are looking for a fun way to try out a cardio exercise.

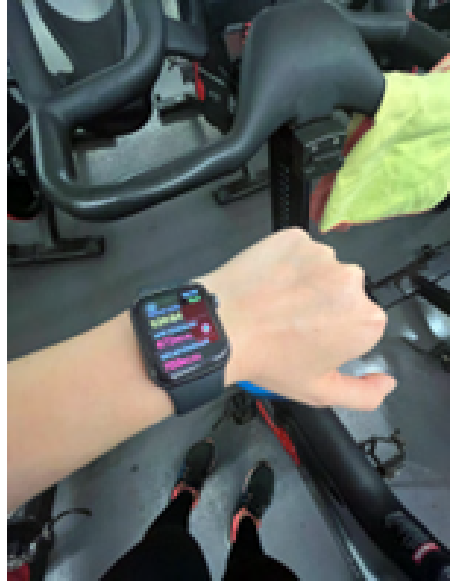


Foto: Doğa Koçum

Body Balance is a more relaxed course if you are looking for full-body training accompanied by chill music. It is a combined session of Tai Chi, Yoga, Qi Gong, Pilates and it leaves you with a relieved mind after a long day. I was lucky to have Daniela Caffisch as my instructor. She was very explicit with the movements and their purposes. That was something I appreciated because doing the figures correctly is very important in these kinds of sports. We were 3 participants on that day, therefore it felt like it was a private class. I would definitely recommend Body Balance and Daniela as the instructor if you want to have efficient full-body training at a calm pace, a relaxed mind, and have fun at the same time :D



Foto: Doğa Koçum

Rätsel

von **Jonas Weber**

Waagrecht

3 Wird gemacht, bei der Suche nach Standort für Schacht | 6 Kreislinie in Mathe, oder der Rand einer Matte | 9 steht für Veränderung und zwischen Zeilen | 11 Super-Food wenn gegessen, wird Flachs wenn in der Erde vergessen | 16 Bei Hasen das erste mal im Januar, danach gibt's ihn sechsmal pro Jahr | 18 Hier ist eine Kollision kein Unfall | 20 Beim Gesäss, Arme können sich wenig | 21 da kannst du sitzen, zum schwitzen | 23 Popcorn und Leinwand Zuhause, und ganz ohne Pause | 27 Platz für Pistolen, oder CH Aufforderung du sollst es holen | 28 Hierzulande vor der Tür und im Tor | 29 Wer, der findet | 30 Bearbeite das, mit CRISPR-CAS

Senkrecht

1 Zuerst Gemälde und Idol | 2 Ein «Fivehead» hat eine Grosse | 3 Bemerkung | 4 Ein Abbild des menschlichen Denkkapparats | 5 kopfüberstehende Dunkelheit | 6 SP - Schulbank Politiker | 7 Pustebblume | 8 Fortschritt, wenn eine Fadenspule weg fliegt | 10 Vor dem Sturm | 12 Nach Kauf und Feuerwehr geht, nicht aber nach Privatjet | 13 wird da gesungen, wo Vodka getrun-gen | 14 Protein, to keep you movin' | 15 WhatsApp der 00er Jahre | 17 Opfer eines Kuss, dieser führte zum Verbandsausschluss | 19 Für den FC Winti mehr als nur eine Abgrenzung | 22 solch Meter ist kürzer als die Nase von Peter | 24 Gibt's nix zu gewinnen was willst du mehr, Ruhm und | 25 Ruhm und ... aber ohne Ende | 26 Ein sportlicher Wagen von einem deutschen Autoladen

*Das Lösungswort setzt sich aus den grauen Zellen zusammen. Waagrecht gelesen von oben nach unten.

Das Lösungswort der letzten Ausgabe ist:
VERTEILT



Team & Kontakt

Periodizität: 4x jährlich
Auflage: 100
Jahresabonnement: Gratis für Aktivmitglieder des SMW

Redaktionsleitung

Alexandre Nozadze

Druck

Schellenberg Druck, Pfäffikon ZH

Autoren

Alexandre Nozadze, Evamaria Fuchs, Stefan Schären, Siro Käch, Aaron Locher, Marguerite Babusiaux, Jonas Weber, Doga Kocum, Matthieu Bidaut, Philipp Lach

Adresse

SMW
Studierende der Materialwissenschaft
Vladimir-Prelog-Weg 2
HCI D291 - Postfach 92
8093 Zürich
www.smw.ethz.ch
materialist@smw.ethz.ch

Gastautoren

Tobias Goldenberger, Nicolas Zuberbühler, Johanna Byloff, Luca Marin

Layout

Aaron Locher

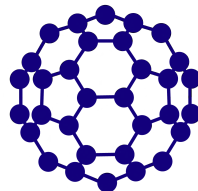
Fotos (ausser speziell erwähnt)

Elena Kropf, Phillip Zenger

Der SMW ist ein Teil des Verbandes der Studierenden an der ETH (VSETH)

Lektorat

Alexandre Nozadze



smw

Studierende der
Materialwissenschaft

Finanzen

Felix Wegmüller

veth Fachverein
Verband der
Studierenden
an der ETH

Inserate

Avantama

© Copyright 2024 SMW. Alle Rechte vorbehalten
Redaktionsschluss: 01.08.2024

materialist

| 09/2024

59

