



Interreg

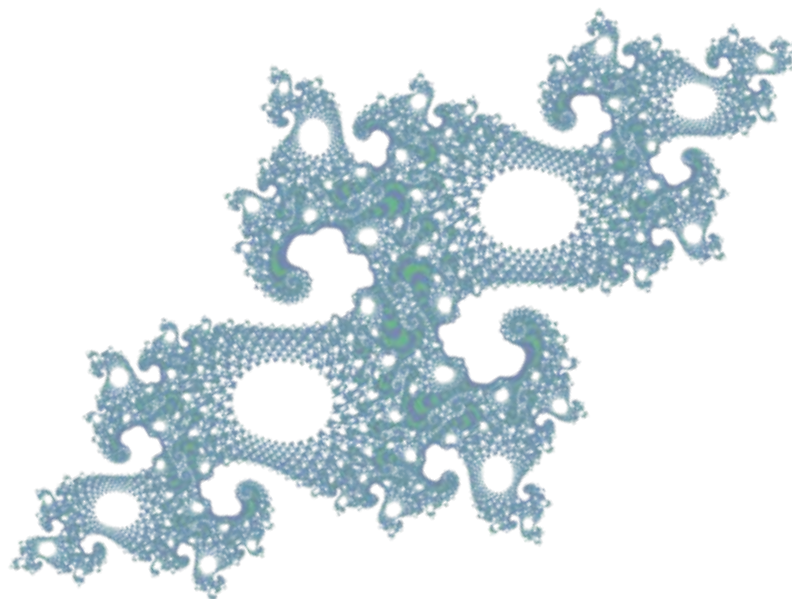


Kofinanziert von
der Europäischen Union
Spolufinancováno
Evropskou unií

Sachsen - Tschechien | Česko - Sasko

Book of Extended Abstracts of the International
Conference

Science, Art & AI



Sborník rozšířených abstraktů z mezinárodní konference

Tagungsband mit erweiterten Abstracts
der internationalen Konferenz

Liberec 2026



BOOK OF EXTENDED ABSTRACTS

Science, Art & AI

2026

DEUTSCH

Tagungsband mit erweiterten Abstracts
der internationalen Konferenz

ČEŠTINA

Sborník rozšířených abstraktů
z mezinárodní konference

Editors:

Hana Křížová
Daisy Nestler

Technical University of Liberec

Liberec, 2026

“Science, Art & AI”

Book of Extended Abstracts of the International Conference / Tagungsband mit erweiterten Abstracts der internationalen Konferenz / Sborník rozšířených abstraktů z mezinárodní konference
Liberec, 2026

Editorky:

Hana Křížová (Technická univerzita v Liberci, CZ)
Daisy Nestler (Technische Universität Chemnitz, DE)

Vydavatel:

Technická univerzita v Liberci
Studentská 1402/2, 461 17 Liberec

Schváleno:

Rektorátem TUL dne 16. 3. 2026, čj. RE 23/26

Vyšlo:

v červnu 2026

Vydání:

1.

ISBN :

978-80-7494-782-7

Č. publikace

55-023-26

Tato publikace neprošla redakční ani jazykovou úpravou



Annotation / Zusammenfassung / Anotace

Annotation

The Book of Extended Abstracts of the international conference **Science, Art & AI** was prepared within the framework of the Czech-Saxon project InterBridge – Interdisciplinary Bridge, implemented with the support of the Interreg Czechia–Saxony programme. The publication brings together contributions at the intersection of science, art and innovative technologies (including AI) and fosters cross-border exchange of knowledge, experience and inspiration, as well as the development of long-term professional networks.

Contributions from authors representing diverse scientific and creative fields demonstrate that linking rigorous research with artistic imagination and technological innovation opens new perspectives for the interpretation, application and communication of research results. The volume documents the dialogue between the Czech and Saxon environments and confirms the importance of interdisciplinary cooperation for the development of creativity, innovation and the societal relevance of contemporary science.

Zusammenfassung

Der Sammelband der erweiterten Abstracts der internationalen Konferenz **Science, Art & AI** entstand im Rahmen des tschechisch-sächsischen Projekts InterBridge – Interdisziplinäre Brücke, das mit Unterstützung des Programms Interreg Tschechien–Sachsen umgesetzt wird. Die Publikation vereint Beiträge an der Schnittstelle von Wissenschaft, Kunst und innovativen Technologien (einschließlich KI) und fördert den grenzüberschreitenden Austausch von Wissen, Erfahrungen und Inspiration sowie den Aufbau langfristiger fachlicher Netzwerke.

Die Beiträge von Autorinnen und Autoren aus unterschiedlichen wissenschaftlichen und kreativen Bereichen zeigen, dass die Verbindung von exakter Forschung mit künstlerischer Imagination und technologischer Innovation neue Perspektiven für die Interpretation, Anwendung und Vermittlung von Forschungsergebnissen eröffnet. Der Sammelband dokumentiert den Dialog zwischen dem tschechischen und sächsischen Umfeld und unterstreicht die Bedeutung interdisziplinäre Zusammenarbeit für die Entwicklung von Kreativität, Innovation und gesellschaftlicher Relevanz moderner Wissenschaft.

Anotace

Sborník rozšířených abstraktů z mezinárodní konference **Science, Art & AI** vznikl v rámci česko-saského projektu InterBridge – Interdisciplinární most, realizovaného s podporou programu Interreg Česko–Sasko. Publikace propojuje příspěvky na pomezí vědy, umění a inovativních technologií (včetně AI) a podporuje přeshraniční sdílení znalostí, zkušeností a inspirace i tvorbu dlouhodobých odborných sítí.

Příspěvky autorů z různých vědních a tvůrčích oblastí ukazují, že propojení exaktního poznání s uměleckou imaginací a technologickými inovacemi otevírá nové perspektivy interpretace, aplikace i komunikace výzkumných výsledků. Sborník dokumentuje dialog mezi českým a saským prostředím a potvrzuje význam interdisciplinární spolupráce pro rozvoj kreativity, inovací a společenské relevance současné vědy.

Mgr. Ing. Bc. Hana Křížová, Ph.D.

Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation (CXI), Technical University of Liberec
Institut für Nanomaterialien, fortgeschrittene Technologien und Innovationen (CXI), Technische Universität Liberec
Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI), Technická univerzita v Liberci

Daisy Nestler, Prof. Dr.-Ing. habil.

MERGE Research Centre, Chemnitz University of Technology
Forschungszentrum MERGE, Technische Universität Chemnitz
Výzkumné centrum MERGE, Technická univerzita v Chemnitz

Editors / Herausgeberinnen / Editorky

Obsah

Annotation / Zusammenfassung / Anotace	3
Foreword / Vorwort / Předmluva	7
Introduction / Einleitung / Úvod	9
The Transformation of Authorship, Authenticity, and the Creative Process in the Age of Artificial Intelligence <i>MgA. Lukáš Dostálek</i>	13
Emotional Mapping in the Landscape of the Jizera Mountains <i>Ing. arch. Helena Hlávková</i>	19
A New Alternative for Conductive Paths of Smart Textiles: Potential of 3D Printing <i>Assoc. Prof. Sukran Kara¹ & Ahmet Özkurt²</i>	26
AI-Driven Transformation of Scientific Data into Interactive Visual Art <i>Mr. Farid Kenas, Ph.D.</i>	33
Explainable Artificial Intelligence for Interpretable Scientific Visualization and Human Understanding <i>Mr. Farid Kenas, Ph.D.</i>	40
Artificial Intelligence for Generating Scientific Illustrations from Abstract Research Concepts <i>Mr. Farid Kenas, Ph.D.</i>	49
AI-Augmented Intuition for Visual Metaphor Generation in Scientific Discovery <i>Mr. Farid Kenas, Ph.D.</i>	56
From a Grapevine to a Mandelbulb: Simple Rules, Repeated Processes and the Emergence of Complexity <i>Bc. Vítězslav Kříž</i>	63
Gall Nut Ink: A Sci-Fi Journey into the Past <i>Mgr. Ing. Bc. Hana Křížová, Ph.D.</i>	71
Integrating Mixed Reality and Artificial Intelligence in Textile Education: Bridging Science, Art, and Digital Innovation <i>Dr. Adnan Mazari, Ph.D.¹, Funda Buyuk Mazari¹, Sevda Altas² & İbrahim Ergül³</i>	78
The Relationship Between AI and Artistic Creation: The Potentiality of the Creative Act versus the Perfection and Executiveness of AI Tools in Artistic Production <i>Mgr. Kamil Nábělek, Ph.D.</i>	85
AI, Social Media and the Pharmakopolitics of Diabetes <i>Dr. David Levente Palatinus, Ph.D.</i>	89

Risk Management in Creative and Innovation Projects: An Artificial Intelligence and Systems Thinking Approach	
<i>Ing. Věra Pelantová, Ph.D.</i>	96
Use Without Understanding: Art, Digital Stimuli, and the Limits of Human Agency in the Age of AI	
<i>MgA. Jan Rouha</i>	106
An Artistic Work About Periodicity and Aperiodicity	
<i>Claudia Silva Ruiz</i>	110
Utilization of Papermaking Technology for the Formation of Layers from Recycled Mineral Wool in Artistic Practice	
<i>Ing. Jakub Soustružník</i>	117
Creating Colors through Plasma Deposition	
<i>Ing. Martin Šetina</i>	127
Planar Rule-Based Design of Modular Lighting Objects	
<i>Söhnke Vetter</i>	134
Physics that paints: Surface tension as an artist´s tool	
<i>Ing. Karolína Voleská, Ph.D.</i>	144
When the Surface Speaks: The Hidden Power of Finishes in Art	
<i>Ing. Karolína Voleská, Ph.D.</i>	151
Symmetry and Its Breaking: Why Perfect Order Needs Imperfection	
<i>Johannes Winhard, M.Sc.</i>	158
Efficiency as an Aesthetic Principle: Soap Films between Art and Science	
<i>Johannes Winhard, M.Sc.</i>	162

Foreword / Vorwort / Předmluva

Foreword

In recent decades, there are increasingly intensive interrelations between technical disciplines, natural science and humanities disciplines. Many contemporary research topics can no longer be addressed within the boundaries of a single field, but require interdisciplinary cooperation, openness to new approaches, and the ability to transcend traditional borders between science, technology, art and creative practice.

Artificial intelligence, machine learning, advanced digital tools, novel materials and modern manufacturing technologies now play a significant role in this process. These developments are fundamentally transforming not only industrial and research environments, but increasingly also the fields of design, visual communication, architecture and artistic creation.

The international conference Science, Art & AI, organized within the Czech-Saxon project InterBridge, represents an inspiring example of such interdisciplinary collaboration. The conference created a platform for meetings among experts from various fields – ranging from materials research, textile and nanotechnologies, through digital media and artificial intelligence, to contemporary art, design and creative education.

I highly appreciate that the InterBridge project has succeeded in connecting not only two university institutions on both sides of the Czech-German border, but also different ways of thinking about research, creativity and innovation. Such interdisciplinary cooperation can become an important source of new inspiration, unconventional solutions and future research directions.

This book of extended abstracts documents the thematic diversity of the conference while also reflecting current trends in the interconnection of science, technology, art and artificial intelligence. I believe that the individual contributions will be inspiring not only for the scientific community, but also for students, educators, creative professionals and all readers interested in contemporary interdisciplinary approaches.

Vorwort

In den letzten Jahrzehnten hat die Vernetzung technischer, naturwissenschaftlicher und geisteswissenschaftlicher Disziplinen immer intensiver zugenommen. Viele aktuelle Forschungsthemen lassen sich nicht mehr isoliert innerhalb eines einzelnen Fachgebiets bearbeiten, sondern erfordern interdisziplinäre Zusammenarbeit, Offenheit für neue Ansätze und die Fähigkeit, die traditionellen Grenzen zwischen Wissenschaft, Technik, Kunst und kreativer Praxis zu überwinden.

Künstliche Intelligenz, maschinelles Lernen, fortschrittliche digitale Werkzeuge, neue Materialien und moderne Produktionstechnologien spielen in diesem Prozess ebenfalls eine bedeutende Rolle und verändern grundlegend nicht nur Industrie und Forschung, sondern zunehmend auch Bereiche wie Design, visuelle Kommunikation, Architektur und künstlerisches Schaffen.

Die internationale Konferenz „Wissenschaft, Kunst & KI“, die im Rahmen des tschechisch-sächsischen Projekts InterBridge stattfand, ist ein interessantes Beispiel für diese interdisziplinäre Vernetzung. Die Konferenz bot Experten verschiedenster Fachrichtungen eine Plattform zum Austausch – von der Materialforschung über Textil- und Nanotechnologien bis hin zu digitalen Medien und künstlicher Intelligenz sowie zeitgenössischer Kunst, Design und der kreativen Ausbildung.

Ich schätze es sehr, dass das InterBridge-Projekt nicht nur zwei Universitäten beiderseits der tschechisch-deutschen Grenze miteinander verbinden konnte, sondern auch unterschiedliche Denkweisen und Herangehensweisen an kreatives Design, Forschung und Innovation.

Gerade diese interdisziplinäre Zusammenarbeit kann eine wichtige Quelle neuer Inspiration, unkonventioneller Lösungen und zukünftiger Forschungsrichtungen sein.

Die vorliegende Sammlung erweiterter Abstracts dokumentiert die thematische Breite der Konferenz und erfasst gleichzeitig aktuelle Trends an der Schnittstelle von Wissenschaft, Technologie, Kunst und künstlicher Intelligenz. Ich bin überzeugt, dass die einzelnen Beiträge nicht nur Fachleute, sondern auch Studierende, Lehrende, Kreative und alle an zeitgenössischen interdisziplinären Ansätzen Interessierten inspirieren werden.

Předmluva

V posledních desetiletích jsme svědky stále intenzivnějšího propojování technických, přírodovědných a humanitních disciplín. Řada současných výzkumných témat již dnes nemůže být řešena izolovaně v rámci jediného oboru, ale vyžaduje mezioborovou spolupráci, otevřenost novým přístupům a schopnost překračovat tradiční hranice mezi vědou, technologiemi, uměním a kreativní praxí.

Významnou roli v tomto procesu dnes sehrává také umělá inteligence, strojové učení, pokročilé digitální nástroje, nové materiály a moderní výrobní technologie, které zásadním způsobem proměňují nejen průmyslovou a výzkumnou sféru, ale stále více i oblast designu, vizuální komunikace, architektury či umělecké tvorby.

Mezinárodní konference Science, Art & AI, realizovaná v rámci česko-saského projektu InterBridge, představuje zajímavý příklad takového interdisciplinárního propojení. Konference vytvořila prostor pro setkání odborníků z různých oblastí – od materiálového výzkumu, textilních a nanotechnologií, přes digitální média a umělou inteligenci až po současné umění, design a kreativní vzdělávání.

Velmi oceňuji, že projekt InterBridge dokázal propojit nejen dvě univerzitní instituce na obou stranách česko-německé hranice, ale také různé způsoby myšlení a přístupy ke kreativnímu designu, výzkumu a inovacím. Právě podobná mezioborová spolupráce může být významným zdrojem nových inspirací, netradičních řešení i budoucích výzkumných směrů.

Předkládaný sborník rozšířených abstraktů dokumentuje tematickou šíři konference a současně zachycuje aktuální tendence v oblasti propojování vědy, technologií, umění a umělé inteligence. Věřím, že jednotlivé příspěvky budou inspirativní nejen pro odbornou veřejnost, ale i pro studenty, pedagogy, kreativní pracovníky a všechny čtenáře se zájmem o současné interdisciplinární přístupy.

prof. Ing. Jiří Militký, CSc.

Department of Material Engineering, Faculty of Textile Engineering, Technical University of Liberec
Institut für Werkstofftechnik, Fakultät für Textiltechnik, Technische Universität Liberec
Katedra materiálového inženýrství, Fakulta textilní, Technická univerzita v Liberci

Introduction / Einleitung / Úvod

Introduction

The international conference Science, Art & AI was organized within the Czech-Saxon project InterBridge, supported by the Interreg Czech-Saxony programme. The project is based on the cooperation between two universities and their research institutions – the Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation (CXI) at the Technical University of Liberec and the MERGE research centre for lightweight structures at TU Chemnitz.

At first sight, the idea that scientists and engineers would collaborate with artists and creative communities may have appeared somewhat unusual. However, the main goal of the project was simple: to search for new ways of transferring scientific knowledge, advanced technologies and innovative materials into artistic and creative practice.

The Czech and German project partners contributed complementary expertise from their respective research fields. At CXI in Liberec, the activities focused on nanomaterials, surface modifications, plasma technologies, special dyeing techniques, nanoparticle synthesis and nanofibre technologies such as Nanospider. The German partners from TU Chemnitz contributed their experience in lightweight structures, fibre-reinforced composites, advanced optical methods, smart materials and ceramic 3D printing technologies, which became part of several artistic experiments and design objects developed during the project.

An important source of inspiration for many project activities was also the cultural atmosphere connected with Chemnitz as one of the European Capitals of Culture 2025, together with Nova Gorica and Gorizia. This international cultural context further strengthened the interdisciplinary and cross-border character of the project.

During more than two years of cooperation, the InterBridge project organized numerous workshops, exhibitions, lectures, excursions and educational activities for schools, university students, seniors from Universities of the Third Age, independent artists, designers and creative communities from both sides of the Czech-German border. The project cooperated with primary and secondary schools, universities, art schools and various cultural and educational institutions in the Czech-Saxon region.

One of the most interesting developments during the project was the gradual integration of artificial intelligence into many project activities. When the project proposal was originally prepared at the turn of 2023 and 2024, AI was not expected to become such an important part of the project. However, the rapid development of AI technologies during the following years naturally influenced both creative and research-oriented activities within InterBridge.

Artificial intelligence was used in a wide spectrum of activities – from experiments with electron microscope images and AI-generated visualizations to workshops for children, preparation of templates for 3D printing pen workshops, exhibition design and creative textile projects. AI-assisted design also became part of artistic collaborations presented at the international fashion event MBPFW, where fashion accessories produced by ceramic 3D printing technologies were combined with digitally generated visual concepts.

The visual identity of the conference itself reflected this interdisciplinary philosophy. The Julia set fractal, chosen as the visual symbol of the conference, represented the connection between mathematics, natural structures, aesthetics and technology.

The conference Science, Art & AI aimed to create a platform for dialogue between science, technology, art and artificial intelligence. The individual contributions included in this book of extended abstracts demonstrate the diversity of approaches, themes and perspectives currently emerging at the intersection of these fields.

We would like to thank all speakers, participants, students, collaborators and project partners who contributed to the realization of the conference and to the broader activities of the InterBridge

project. We also hope that the conference and its outputs will inspire further interdisciplinary cooperation, creative experimentation and new forms of dialogue between scientific and artistic communities.

Einleitung

Die internationale Konferenz „Science, Art & AI“ wurde im Rahmen des tschechisch-sächsischen Projekts InterBridge organisiert, das durch das Programm Interreg Tschechien-Sachsen gefördert wird. Das Projekt beruht auf der Zusammenarbeit zweier Universitäten und ihrer Forschungseinrichtungen: des Instituts für Nanomaterialien, Fortschrittliche Technologien und Innovationen (CXI) an der Technischen Universität Liberec sowie der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der Technischen Universität Chemnitz.

Auf den ersten Blick mag es ungewöhnlich erscheinen, wenn Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Ingenieurinnen und Ingenieure gemeinsam mit Künstlerinnen, Künstlern und kreativen Gemeinschaften arbeiten. Gerade darin lag jedoch der besondere Ansatz des Projekts: wissenschaftliche Erkenntnisse, fortschrittliche Technologien und innovative Materialien für künstlerische und kreative Prozesse zu öffnen und neue Formen des Transfers zwischen Forschung, Gestaltung und Gesellschaft zu erproben.

Die tschechischen und deutschen Projektpartner brachten hierfür komplementäre Kompetenzen aus unterschiedlichen Forschungsfeldern ein. Am CXI in Liberec standen Nanomaterialien, Oberflächenmodifikationen, Plasmatechnologien, spezielle Färbetechniken, die Synthese von Nanopartikeln sowie Nanofasertechnologien wie Nanospider im Mittelpunkt. Die deutschen Partner der TU Chemnitz ergänzten diese Expertise durch Erfahrungen auf den Gebieten Leichtbaustrukturen, faserverstärkte Verbundwerkstoffe, fortschrittliche optische Methoden, smarte Materialien und keramische 3D-Drucktechnologien. Diese Themen wurden im Projekt in mehreren künstlerischen Experimenten, Designobjekten und Vermittlungsformaten aufgegriffen.

Eine wichtige Inspirationsquelle für zahlreiche Projektaktivitäten war zudem die kulturelle Atmosphäre von Chemnitz als Europäische Kulturhauptstadt 2025, gemeinsam mit Nova Gorica und Gorizia. Dieser internationale kulturelle Kontext stärkte den interdisziplinären und grenzüberschreitenden Charakter von InterBridge in besonderer Weise.

Während der mehr als zweijährigen Zusammenarbeit organisierte das Projekt InterBridge zahlreiche Workshops, Ausstellungen, Vorträge, Exkursionen und Bildungsaktivitäten. Angesprochen wurden Schülerinnen und Schüler, Studierende, Seniorinnen und Senioren der Universitäten des dritten Lebensalters, unabhängige Künstlerinnen und Künstler, Designerinnen und Designer sowie kreative Gemeinschaften auf beiden Seiten der tschechisch-deutschen Grenze. Darüber hinaus arbeitete das Projekt mit Grund- und weiterführenden Schulen, Universitäten, Kunstschulen sowie verschiedenen Kultur- und Bildungseinrichtungen in der tschechisch-sächsischen Region zusammen.

Eine besonders dynamische Entwicklung im Projektverlauf war die zunehmende Integration künstlicher Intelligenz in unterschiedliche Projektaktivitäten. Zum Zeitpunkt der Projektvorbereitung um den Jahreswechsel 2023/2024 war noch nicht absehbar, welche Bedeutung KI-Technologien innerhalb kurzer Zeit für kreative und wissenschaftliche Arbeitsprozesse gewinnen würden. Die rasante Entwicklung auf diesem Gebiet prägte jedoch auf natürliche Weise auch die Aktivitäten innerhalb von InterBridge.

Künstliche Intelligenz wurde in einem breiten Spektrum eingesetzt: von Experimenten mit Bildern vom Rasterelektronenmikroskop und KI-generierten Visualisierungen über Workshops für Kinder, die Vorbereitung von Vorlagen für 3D-Druckstift-Workshops und die Gestaltung von Ausstellungsobjekten bis hin zu kreativen Textilprojekten. KI-gestütztes Design wurde außerdem Teil künstlerischer Kooperationen, die im Rahmen der internationalen Modeveranstaltung

MBPFW prezentovat. Dort verbanden sich mittels keramischem 3D-Druck hergestellte Modeaccessoires mit digital generierten visuellen Konzepten.

Auch die visuelle Identität der Konferenz spiegelte diese interdisziplinäre Philosophie wider. Die Julia-Menge, die als visuelles Symbol der Konferenz gewählt wurde, steht für die Verbindung von Mathematik, natürlichen Strukturen, Ästhetik und Technologie und verweist damit auf zentrale Leitgedanken des Projekts.

Die Konferenz „Science, Art & AI“ verfolgte das Ziel, eine Plattform für den Dialog zwischen Wissenschaft, Technologie, Kunst und künstlicher Intelligenz zu schaffen. Die Beiträge in diesem Sammelband erweiterter Abstracts zeigen die Vielfalt an Ansätzen, Themen und Perspektiven, die heute an den Schnittstellen dieser Bereiche entstehen.

Wir danken allen Vortragenden, Teilnehmenden, Studierenden, Mitarbeitenden und Projektpartnern, die zur Realisierung der Konferenz und der weiteren Aktivitäten des Projekts InterBridge beigetragen haben. Wir hoffen, dass die Konferenz und ihre Ergebnisse weitere interdisziplinäre Zusammenarbeit, kreatives Experimentieren und neue Formen des Dialogs zwischen wissenschaftlichen und künstlerischen Gemeinschaften anregen werden.

Úvod

Mezinárodní konference Science, Art & AI byla realizována v rámci česko-saského projektu InterBridge, podpořeného programem Interreg Česko–Sasko. Projekt je založen na spolupráci dvou univerzit a jejich výzkumných institucí – Institutu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI) při Technické univerzitě v Liberci a výzkumného centra MERGE pro lehké konstrukce při Technické univerzitě v Chemnitz.

Na první pohled se mohlo zdát poněkud neobvyklé, že budou vědci a inženýři spolupracovat s umělci a kreativními komunitami. Hlavním cílem projektu však bylo hledání nových způsobů, jak přenášet vědecké poznatky, pokročilé technologie a inovativní materiály do oblasti umělecké a kreativní praxe.

Čeští i němečtí projektoví partneři přispěli svými specifickými odbornými zkušenostmi z různých výzkumných oblastí. Na CXI v Liberci byly projektové aktivity zaměřeny na nanomateriály, povrchové modifikace, plazmové technologie, speciální barvicí techniky, syntézu nanočástic a nanovláknenné technologie, například Nanospider. Němečtí partneři z TU Chemnitz přispěli zkušenostmi v oblasti lehkých konstrukcí, vláknových kompozitů, pokročilých optických metod, smart materiálů a keramického 3D tisku, který se stal součástí několika uměleckých experimentů a designových objektů vytvořených během projektu.

Významným inspiračním zdrojem pro řadu projektových aktivit byla také kulturní atmosféra spojená s městem Chemnitz jako jedním z Evropských hlavních měst kultury 2025 společně s městy Nova Gorica a Gorizia. Tento mezinárodní kulturní kontext dále posílil interdisciplinární a přeshraniční charakter projektu.

Během více než dvou let spolupráce uspořádal projekt InterBridge řadu workshopů, výstav, přednášek, exkurzí a vzdělávacích aktivit pro školy, univerzitní studenty, seniory z Univerzity třetího věku, nezávislé umělce, designéry a kreativní komunity z obou stran česko-německé hranice. Projekt spolupracoval se základními a středními školami, univerzitami, uměleckými školami i různými kulturními a vzdělávacími institucemi v česko-saském regionu.

Jedním z nejzajímavějších momentů projektu bylo postupné zapojování umělé inteligence do mnoha projektových aktivit. V době přípravy projektu na přelomu let 2023 a 2024 nebylo očekáváno, že se AI stane tak významnou součástí projektu. Rychlý rozvoj technologií umělé inteligence v následujících letech však přirozeně ovlivnil jak kreativní, tak výzkumně orientované aktivity projektu InterBridge.

Umělá inteligence byla využívána v široké škále aktivit – od experimentů s obrazy z elektronového mikroskopu a AI generovaných vizualizací přes workshopy pro děti, přípravu šablon pro workshopy s 3D tiskovými pery, návrhy výstavních objektů až po kreativní textilní projekty. Design vytvořený s podporou AI se stal také součástí uměleckých spoluprací prezentovaných na mezinárodní módní akci MBPFW, kde byly módní doplňky vytvořené pomocí keramického 3D tisku uplatněny společně s digitálně generovanými vizuálními návrhy.

Také vizuální identita samotné konference odrážela tuto interdisciplinární filozofii. Fraktál Juliovy množiny, zvolený jako vizuální symbol konference, reprezentoval propojení matematiky, přírodních struktur, estetiky a technologií.

Konference Science, Art & AI usilovala o vytvoření platformy pro dialog mezi vědou, technologiemi, uměním a umělou inteligencí. Jednotlivé příspěvky zařazené do tohoto sborníku rozšířených abstraktů ukazují rozmanitost přístupů, témat a perspektiv, které dnes vznikají na průsečíku těchto oblastí.

Věříme, že konference i její výstupy budou inspirací pro další mezioborovou spolupráci, kreativní experimentování a nové formy dialogu mezi vědeckou a uměleckou komunitou.

Mgr. Ing. Bc. Hana Křížová, Ph.D.

Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation (CXI), Technical University of Liberec (InterBridge Project Leader)
Institut für Nanomaterialien, fortgeschrittene Technologien und Innovationen (CXI), Technische Universität Liberec (Projektleiterin
InterBridge)
Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI), Technická univerzita v Liberci (vedoucí projektu InterBridge)

Daisy Nestler, Prof. Dr.-Ing. habil.

MERGE Research Centre, Chemnitz University of Technology (Head of the German Project Team)
Forschungszentrum MERGE, Technische Universität Chemnitz (Leiterin des deutschen Projektteams)
Výzkumné centrum MERGE, Technická univerzita v Chemnitz (vedoucí německého projektového týmu)

The Transformation of Authorship, Authenticity, and the Creative Process in the Age of Artificial Intelligence

Der Wandel der Autorschaft, der Authentizität und des kreativen Prozesses im Zeitalter der Künstlichen Intelligenz

Proměna autorství, autenticity a tvůrčího procesu v době umělé inteligence

MgA. Lukáš Dostálek

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): artificial intelligence, digital art, authorship, authenticity, autonomy, appropriation, generative imagery, creative process, digital culture

Schlüsselwörter (DE): Künstliche Intelligenz, digitale Kunst, Autorschaft, Authentizität, Autonomie, Appropriation, generative Bildsprache, kreativer Prozess, digitale Kultur

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, digitální umění, autorství, autenticita, autonomie, apropriace, generované obrazy, tvůrčí proces, digitální kultura

The contribution examines the role of artificial intelligence in contemporary visual art and the transformation of the relationship between the author, the medium, and technology in the context of digital culture. In recent years, there has been a shift in which technologies cease to be only tools for realizing creative intentions and begin to enter the creative process itself as systems capable of generating outputs based on specified parameters. Through the author's own artistic practice and selected artistic examples, the contribution traces how this shift transforms not only the form of the resulting work, but also the method of its creation, interpretation, and understanding.

Artificial intelligence today allows for the generation of images based on extensive data inputs, while working on the principles of appropriation, approximation, and variation. These principles are not foreign to art; they appear throughout its history, but in the case of AI, they are accelerated, automated, and expanded on a large scale. The result is images that can appear visually convincing and stylistically credible, but are created outside the traditionally understood model of authorship and without the need for direct material work with the medium. It is this ambiguity of their origin and of the process of their creation that challenges the authenticity and credibility of the image and the ability to distinguish between the depiction of reality and its synthetic construction.

Along with these possibilities, new limits and risks also appear. One of them is the tendency to use technology in ways oriented primarily towards the rapid production of visually attractive outputs, where artistic creation is reduced to the rapid production of visually appealing but conceptually weakened images. This phenomenon is related to the low technical and professional demands associated with the basic use of generative tools and to the shift of the user's role towards defining inputs and selecting outputs. In contrast, there is an approach that understands technology as a means of expanding human abilities, sensory perception, and the capacity for critical reflection.

A work of art thus ceases to be clearly assignable to a specific creator and becomes the result of a complex relationship between input, algorithm, and output. Artistic creation in a digital environment has long worked with the reproduction, transmission, and modification of data, but working with artificial intelligence further accentuates this process and weakens the claim to programming and some traditional artistic skills. This creates tension between creation as a process of inquiry and creation reduced to the formulation of an assignment and the selection of the result. This shift can be understood as a transition from active image formation to its curatorial management, where the role of the author lies more in the choice of input and selection of outputs than in the actual implementation. This situation also raises ethical questions associated with the use of other people's data, the appropriation of style, including the style of living authors, and the absence of a clearly defined legal framework. The creative process itself is thus undergoing a fundamental transformation.

The issue of autonomy also plays a significant role here. Current technological systems are able to respond to stimuli, generate new outputs and, in certain cases, even show limited decision-making capacity within pre-set parameters. In the field of art, the idea of a work that can exist and develop with a limited degree of independence from direct human intervention is emerging. However, the fundamental fact remains that even these systems are still tied to human experience, both in the design phase and at the level of interpretation. The autonomy of a technological system therefore does not mean its complete independence, but rather a transformation of the relationship between human beings and the system, in which the boundary between tool and partner is gradually blurred.

The contribution thus understands artificial intelligence not as an autonomous entity replacing human beings, but as a tool whose meaning is conditioned by the way it is used. The key question remains whether these technologies lead to the expansion of human imagination and understanding, or, conversely, to their delegation to a technological system. In this sense, artificial

intelligence in art is understood primarily as a means that can facilitate creation and design, but at the same time it places new demands on critical thinking, responsibility, and the ability to navigate the digital environment.

Deutsche Übersetzung

Der Beitrag untersucht die Rolle der künstlichen Intelligenz in der zeitgenössischen bildenden Kunst und die Transformation der Beziehung zwischen Autor, Medium und Technologie im Kontext der digitalen Kultur. In den letzten Jahren kam es zu einer Verschiebung, bei der Technologien nicht mehr nur Werkzeuge zur Umsetzung kreativer Absichten sind, sondern als Systeme in den kreativen Prozess selbst eingreifen, die in der Lage sind, auf der Grundlage festgelegter Parameter Ergebnisse zu generieren. Durch die eigene künstlerische Praxis des Autors und ausgewählte künstlerische Beispiele nachgezeichnet, untersucht der Beitrag, wie dieser Wandel nicht nur die Form des resultierenden Werks verändert, sondern auch die Methode seiner Entstehung, Interpretation und des Verständnisses.

Die künstliche Intelligenz ermöglicht heute die Generierung von Bildern auf der Grundlage umfangreicher Dateneingaben und arbeitet dabei nach den Prinzipien der Aneignung (Appropriation), Annäherung (Approximation) und Variation. Diese Prinzipien sind der Kunst nicht fremd; sie tauchen im Laufe ihrer Geschichte immer wieder auf, werden aber im Fall der KI beschleunigt, automatisiert und in großem Maßstab erweitert. Das Ergebnis sind Bilder, die visuell überzeugend und stilistisch glaubwürdig wirken können, aber außerhalb des traditionell verstandenen Autorenmodells und ohne die Notwendigkeit einer direkten materiellen Arbeit mit dem Medium entstehen. Gerade diese Ambiguität ihrer Herkunft und des Prozesses ihrer Entstehung stellt die Authentizität und Glaubwürdigkeit des Bildes sowie die Fähigkeit, zwischen der Darstellung der Realität und ihrer synthetischen Konstruktion zu unterscheiden, in Frage.

Zusammen mit diesen Möglichkeiten zeigen sich auch neue Grenzen und Risiken. Eine davon ist die Tendenz, Technologie in einer Weise zu nutzen, die in erster Linie auf die schnelle Produktion visuell attraktiver Ergebnisse ausgerichtet ist, wodurch das künstlerische Schaffen auf die schnelle Produktion visuell ansprechender, aber konzeptionell geschwächerter Bilder reduziert wird. Dieses Phänomen hängt mit den geringen technischen und professionellen Anforderungen zusammen, die mit der grundlegenden Nutzung generativer Werkzeuge verbunden sind, sowie mit der Verschiebung der Rolle des Nutzers hin zur Definition von Inputs und der Auswahl von Outputs. Im Gegensatz dazu steht ein Ansatz, der Technologie als Mittel zur Erweiterung der menschlichen Fähigkeiten, der Sinneswahrnehmung und der Fähigkeit zur kritischen Reflexion versteht.

Ein Kunstwerk lässt sich somit nicht mehr eindeutig einem bestimmten Schöpfer zuordnen und wird zum Ergebnis einer komplexen Beziehung zwischen Input, Algorithmus und Output. Das künstlerische Schaffen im digitalen Umfeld arbeitet schon lange mit der Reproduktion, Übertragung und Modifikation von Daten, aber die Arbeit mit künstlicher Intelligenz akzentuiert diesen Prozess weiter und schwächt den Anspruch an das Programmieren und einige traditionelle künstlerische Fertigkeiten. Dadurch entsteht ein Spannungsfeld zwischen dem Schaffen als Prozess des Erforschens und einem Schaffen, das auf die Formulierung einer Aufgabe und die Auswahl des Ergebnisses reduziert ist. Diese Verschiebung kann als Übergang von der aktiven Bildgestaltung zu einer kuratorischen Verwaltung verstanden werden, bei der die Rolle des Autors eher in der Wahl des Inputs und der Selektion der Outputs als in der tatsächlichen Umsetzung liegt. Diese Situation wirft auch ethische Fragen auf, die mit der Nutzung fremder Daten und der Aneignung von Stilen – einschließlich der Stile lebender Autoren – sowie dem Fehlen eines klar definierten rechtlichen Rahmens verbunden sind. Der kreative Prozess selbst erfährt somit eine grundlegende Transformation.

Auch die Frage der Autonomie spielt hier eine wesentliche Rolle. Aktuelle technologische Systeme sind in der Lage, auf Reize zu reagieren, neue Ergebnisse zu generieren und in bestimmten Fällen sogar eine begrenzte Entscheidungskompetenz innerhalb vorgegebener Parameter zu zeigen. Im Bereich der Kunst taucht die Idee eines Werkes auf, das mit einem begrenzten Grad an

Unabhängigkeit von direkten menschlichen Eingriffen existieren und sich entwickeln kann. Es bleibt jedoch die fundamentale Tatsache, dass auch diese Systeme sowohl in der Designphase als auch auf der Ebene der Interpretation an die menschliche Erfahrung gebunden sind. Die Autonomie eines technologischen Systems bedeutet daher nicht seine vollständige Unabhängigkeit, sondern vielmehr eine Transformation der Beziehung zwischen dem Menschen und dem System, in der die Grenze zwischen Werkzeug und Partner allmählich verschwimmt.

Der Beitrag versteht die künstliche Intelligenz daher nicht als eine autonome Entität, die den Menschen ersetzt, sondern als ein Werkzeug, dessen Bedeutung durch die Art und Weise seiner Nutzung bedingt ist. Die Schlüsselfrage bleibt, ob diese Technologien zu einer Erweiterung der menschlichen Vorstellungskraft und des Verständnisses führen oder im Gegenteil zu deren Delegation an ein technologisches System. In diesem Sinne wird die künstliche Intelligenz in der Kunst in erster Linie als ein Mittel verstanden, das das Schaffen und Gestalten erleichtern kann, gleichzeitig aber neue Anforderungen an kritisches Denken, Verantwortung und die Fähigkeit zur Orientierung im digitalen Umfeld stellt.

Český překlad

Příspěvek zkoumá roli umělé inteligence v současném vizuálním umění a proměnu vztahu mezi autorem, médii a technologií v kontextu digitální kultury. V posledních letech dochází k posunu, kdy technologie přestávají být pouhými nástroji k realizaci tvůrčích záměrů a začínají do tvůrčího procesu samy vstupovat jako systémy schopné generovat výstupy na základě zadaných parametrů. Prostřednictvím autorovy vlastní umělecké praxe a vybraných uměleckých příkladů příspěvek sleduje, jak tento posun proměňuje nejen formu výsledného díla, ale také způsob jeho vytváření, interpretace a chápání.

Umělá inteligence dnes umožňuje generování obrazů na základě rozsáhlých datových vstupů, přičemž pracuje na principech apropriace (přivlastnění), aproximace a variace. Tyto principy nejsou umění cizí; objevují se v průběhu celých jeho dějin, avšak v případě AI jsou akcelerovány, automatizovány a rozšiřovány ve velkém měřítku. Výsledkem jsou obrazy, které mohou působit vizuálně přesvědčivě a stylisticky věrohodně, ale vznikají mimo tradičně chápaný model autorství a bez nutnosti přímé materiální práce s médiem. Právě tato nejednoznačnost jejich původu a procesu jejich vzniku zpochybňuje autenticitu a důvěryhodnost obrazu a schopnost rozlišit mezi zobrazením reality a její syntetickou konstrukcí.

Spolu s těmito možnostmi se však objevují i nové limity a rizika. Jedním z nich je tendence využívat technologie způsoby orientovanými primárně na rychlou produkci vizuálně atraktivních výstupů, kdy se umělecká tvorba redukuje na rychlou tvorbu vizuálně přitažlivých, ale konceptuálně oslabených obrazů. Tento fenomén souvisí s nízkými technickými a odbornými nároky spojenými se základním užíváním generativních nástrojů a s posunem role uživatele směrem k definování vstupů a selekci výstupů. V kontrastu k tomu stojí přístup, který chápe technologii jako prostředek k rozšiřování lidských schopností, smyslového vnímání a kapacity pro kritickou reflexi.

Umělecké dílo tak přestává být jasně přiřaditelné konkrétnímu tvůrci a stává se výsledkem komplexního vztahu mezi vstupem, algoritmem a výstupem. Umělecká tvorba v digitálním prostředí již dlouho pracuje s reprodukcí, přenosem a modifikací dat, avšak práce s umělou inteligencí tento proces dále akcentuje a oslabuje nárok na programování i některé tradiční umělecké dovednosti. To vytváří napětí mezi tvorbou jako procesem zkoumání a tvorbou redukovanou na formulaci zadání a výběr výsledku. Tento posun lze chápat jako přechod od aktivního utváření obrazu k jeho kurátorské správě, kdy role autora spočívá spíše ve volbě vstupu a selekci výstupů než v samotné realizaci. Tato situace s sebou přináší také etické otázky spojené s využíváním cizích dat, apropriací stylu, včetně stylu žijících autorů, a absencí jasně definovaného právního rámce. Samotný tvůrčí proces tak prochází zásadní proměnou.

Významnou roli zde hraje také otázka autonomie. Současné technologické systémy jsou schopny reagovat na podněty, generovat nové výstupy a v určitých případech dokonce vykazovat omezenou rozhodovací schopnost v rámci předem nastavených parametrů. V oblasti umění se tak objevuje myšlenka díla, které může existovat a rozvíjet se s omezenou mírou nezávislosti na přímém lidském zásahu. Zásadním faktem však zůstává, že i tyto systémy jsou stále vázány na lidskou zkušenost, a to jak ve fázi návrhu, tak na úrovni interpretace. Autonomie technologického systému proto neznamená jeho úplnou nezávislost, ale spíše proměnu vztahu mezi člověkem a systémem, v němž se postupně stírá hranice mezi nástrojem a partnerem.

Příspěvek tak chápe umělou inteligenci nikoli jako autonomní entitu nahrazující člověka, ale jako nástroj, jehož význam je podmíněn způsobem jeho využití. Klíčovou otázkou zůstává, zda tyto technologie vedou k rozšiřování lidské představitivosti a porozumění, nebo naopak k jejich delegování na technologický systém. V tomto smyslu je umělá inteligence v umění chápána především jako prostředek, který může usnadnit tvorbu a navrhování, ale zároveň klade nové nároky na kritické myšlení, odpovědnost a schopnost orientovat se v digitálním prostředí.

Emotional Mapping in the Landscape of the Jizera Mountains

Emotional Mapping in der Landschaft des Isergebirges

Emocionální mapování v krajině Jizerských hor

Ing. arch. Helena Hlávková

EN: *Faculty of Arts and Architecture, Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Fakultät für Kunst und Architektur, Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Fakulta umění a architektury, Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): emotional mapping, overtourism, Jizera Mountains, GIS, spatial conflicts, public accessibility, landscape management

Schlüsselwörter (DE): Emotional Mapping, Overtourism, Isergebirge, GIS, räumliche Konflikte, öffentliche Zugänglichkeit, Landschaftsmanagement

Klíčová slova (CZ): emocionální mapování, overtourism, Jizerské hory, GIS, prostorové konflikty, veřejná dostupnost, management krajiny

“The norm must be replaced by a process.” – Aglaée Degros

Overtourism in protected landscapes can be systematically identified and analysed through the integration of spatial and experiential data. The key challenge lies not only in locating the most heavily burdened sites, but also in understanding the underlying causes of spatial conflicts and adapting these areas to increasing visitor pressure.

A major issue is the emergence of informational and visual smog resulting from fragmented governance structures and the absence of a coherent landscape vision. Rather than coordinated interventions, multiple overlapping activities generate spatial inconsistency and reduce the environmental legibility of the landscape for visitors.

The COVID-19 pandemic (February 2020–May 2022) significantly altered mobility patterns and intensified domestic tourism. While this shift is often perceived positively, it has exposed structural weaknesses in landscape management, particularly with regard to carrying capacity, safety, and the protection of local communities.

In the Jizera Mountains Protected Landscape Area (CHKO Jizerské hory), post-pandemic tourism has resulted in a rapid increase in visitor numbers, exceeding the adaptive capacity of existing infrastructure.

Conflict: Visitor growth exceeds the spatial and infrastructural capacity of the landscape.

Research Question: How can environmental protection be balanced with broad public accessibility?

Research and methodology

The study combines GIS datasets, institutional reports, and a custom-designed Emotional Map (<https://jizerky.rdck.dev>). As of April 2026, the dataset comprises 848 responses. Positive evaluations primarily reflect the quality of services and visitor experience, whereas negative responses indicate spatial conflicts and inadequately dimensioned infrastructure.

The Emotional Map functions both as an analytical framework and as a mode of spatial representation, linking quantitative data with qualitative perceptions of place. The structured dataset enables advanced analytical approaches, including the application of artificial intelligence methods for pattern recognition, conflict classification, and sentiment analysis of user-generated content. This approach extends the role of mapping beyond visualization towards a data-driven interpretation of human–landscape relationships.

Mapping the conflict zones

Three primary categories of spatial conflict were identified:

- Core areas (>800 m a.s.l.): Conflicts between cross-country skiers and pedestrians at trail intersections and service nodes.
- Threshold zones: Overloaded parking facilities and access points to the Jizera Arterial Trail.
- Valley zones: Increased traffic, noise, and safety risks within municipalities resulting from visitor flows towards higher elevations.

Proposed solutions

- **Open Arterial Trail**

A redesign of the trail network is proposed to facilitate the safe coexistence of multiple user groups. The “open” model replaces restrictive regulation with a flexible, process-oriented spatial framework.

- **Jizera Mountains Shuttle System**

Rather than expanding parking infrastructure in environmentally sensitive areas, a modal shift towards public transport is proposed.

Objective: Reduce car dependency by retaining visitors within valley settlements.

Expected impacts: Reduced traffic intensity, lower emissions and noise levels, improved safety, and strengthened local economies.

Map: <https://jizerky.rdck.dev>

Deutsche Übersetzung

„Die Norm muss durch einen Prozess ersetzt werden.“ – Aglaée Degros

Overtourism in geschützten Landschaften kann durch die Integration von Raum- und Erlebensdaten systematisch identifiziert und analysiert werden. Die zentrale Herausforderung liegt nicht nur darin, die am stärksten belasteten Orte zu lokalisieren, sondern die zugrunde liegenden Ursachen von Raumkonflikten zu verstehen und diese Gebiete an den erhöhten Besucherdruck anzupassen.

Ein großes Problem ist die Entstehung von Informations- und visuellem Smog, der durch fragmentierte Governance-Strukturen und das Fehlen einer einheitlichen Landschaftsvision verursacht wird. Anstelle koordinierter Interventionen erzeugen mehrere sich überschneidende Aktivitäten eine räumliche Inkonsistenz und verringern die Umweltlesbarkeit für die Besucher.

Die Covid-19-Pandemie (Februar 2020 – Mai 2022) hat die Mobilitätsmuster erheblich verändert und den Inlandstourismus intensiviert. Während dieser Wandel oft positiv dargestellt wird, hat er strukturelle Schwächen im Landschaftsmanagement offengelegt, insbesondere im Hinblick auf die Tragfähigkeit, die Sicherheit und den Schutz lokaler Gemeinschaften.

Im Landschaftsschutzgebiet Isergebirge (CHKO) hat der Post-Pandemie-Tourismus zu einem rasanten Anstieg der Besucherzahlen geführt, der die Anpassungsfähigkeit der bestehenden Infrastruktur übersteigt.

Konflikt: Das Besucherwachstum überholt die räumlichen und infrastrukturellen Kapazitäten.

Forschungsfrage: Wie kann Umweltschutz mit breiter öffentlicher Zugänglichkeit in Einklang gebracht werden?

Forschung & Methodik

Die Studie kombiniert GIS-Datensätze, institutionelle Berichte und eine eigens entwickelte emotionale Karte (<https://jizerky.rdck.dev>). Bis April 2026 umfasst der Datensatz 848 Antworten. Positive Bewertungen spiegeln die Servicequalität wider, während negative Antworten auf räumliche Konflikte und unzureichend dimensionierte Infrastruktur hinweisen.

Die emotionale Karte fungiert sowohl als analytischer Rahmen als auch als Modus der räumlichen Darstellung, der quantitative Daten mit qualitativer Wahrnehmung verknüpft. Der strukturierte Datensatz ermöglicht fortgeschrittene analytische Ansätze, einschließlich der Anwendung von Methoden der künstlichen Intelligenz zur Mustererkennung, Konfliktklassifizierung und Sentiment-Analyse auf der Grundlage von nutzergenerierten Eingaben. Dieser Ansatz erweitert die Funktion des Mappings von der Visualisierung hin zur datengestützten Interpretation der Beziehungen zwischen Mensch und Landschaft.

Kartierung der Konfliktzonen

Es wurden drei primäre räumliche Konfliktkategorien identifiziert:

- Kernbereiche (> 800 m ü. M.): Nutzungskonflikte zwischen Langläufern und Fußgängern an Loipenkreuzungen und Serviceknotenpunkten.
- Schwellenzonen: Überlastete Parkkapazitäten und Zugangspunkte zur Isergebirgs-Magistrale.
- Talzonen: Erhöhtes Verkehrsaufkommen, Lärm und Sicherheitsrisiken in den Gemeinden durch den aufwärts gerichteten Besucherstrom.

Vorgeschlagene Lösungen

- **Offene Magistrale**

Es wird eine Neugestaltung des Wegenetzes vorgeschlagen, um die sichere Koexistenz mehrerer Nutzergruppen zu ermöglichen. Das „offene“ Modell ersetzt restriktive Regulierung durch einen prozessorientierten räumlichen Rahmen.

- **Shuttle-System Isergebirge**

Anstatt die Parkplatzinfrastruktur in ökologisch sensiblen Gebieten zu erweitern, wird eine Verkehrsverlagerung hin zum öffentlichen Nahverkehr vorgeschlagen.

Ziel: Reduzierung der Autoabhängigkeit durch das Zurückhalten der Besucher in den Talzonen.

Auswirkungen: Verringerte Verkehrsbelastung, reduzierte Emissionen und Lärm, verbesserte Sicherheit und Unterstützung der lokalen Wirtschaft.

Karte: <https://jizerky.rdck.dev>

Český překlad

„Norma musí být nahrazena procesem.“ – Aglaée Degros

Overtourismus v chráněných krajinných oblastech lze systematicky identifikovat a analyzovat prostřednictvím integrace prostorových dat a dat o zkušenostech návštěvníků. Hlavní výzva nespočívá pouze v lokalizaci nejvíce zatížených míst, ale také v pochopení hlubších příčin prostorových konfliktů a v přizpůsobení těchto oblastí rostoucímu návštěvnickému tlaku.

Zásadním problémem je vznik informačního a vizuálního smogu způsobeného roztržitostí řídicích struktur a absencí jednotné vize rozvoje krajiny. Namísto koordinovaných zásahů vytváří množství překrývajících se aktivit prostorovou nekonzistenci a snižuje čitelnost prostředí pro návštěvníky.

Pandemie covidu-19 (únor 2020 – květen 2022) významně změnila vzorce mobility a posílila domácí cestovní ruch. Přestože je tento trend často hodnocen pozitivně, odhalil strukturální slabiny v managementu krajiny, zejména z hlediska únosné kapacity území, bezpečnosti a ochrany místních komunit.

V Chráněné krajinné oblasti Jizerské hory vedl postpandemický rozvoj cestovního ruchu k výraznému nárůstu počtu návštěvníků, který překračuje adaptační kapacitu stávající infrastruktury.

Konflikt: Růst návštěvnosti předbílá prostorovou a infrastrukturní kapacitu území.

Výzkumná otázka:

Jak lze vyvážit ochranu životního prostředí a krajiny se širokou dostupností území pro veřejnost?

Výzkum a metodika

Studie kombinuje data GIS, institucionální zprávy a autorsky vytvořenou Emocionální mapu (<https://jizerky.rdck.dev>). K dubnu 2026 obsahovala datová sada 848 odpovědí. Pozitivní hodnocení odráží kvalitu služeb a návštěvnické zkušenosti, zatímco negativní reakce poukazují na prostorové konflikty a nedostatečně dimenzovanou infrastrukturu.

Emocionální mapa funguje zároveň jako analytický nástroj i forma prostorové reprezentace, která propojuje kvantitativní data s kvalitativním vnímáním místa. Strukturovaný soubor dat umožňuje využití pokročilých analytických metod, včetně aplikace umělé inteligence pro rozpoznávání vzorců, klasifikaci konfliktů a analýzu sentimentu uživatelských vstupů. Tento přístup rozšiřuje funkci mapování od pouhé vizualizace směrem k datově podložené interpretaci vztahů mezi člověkem a krajinou.

Mapování konfliktních zón

Byly identifikovány tři hlavní kategorie prostorových konfliktů:

- Jádrové oblasti (> 800 m n. m.): Konflikty mezi běžkaři a pěšími návštěvníky v místech křížení tras a u obslužných zařízení.
- Prahové zóny: Přetížené parkovací kapacity a nástupní body na Jizerskou magistrálu.
- Údolní zóny: Zvýšená dopravní zátěž, hluk a bezpečnostní rizika v obcích v důsledku pohybu návštěvníků do vyšších poloh.

Navrhovaná řešení

- **Otevřená magistrála**

Navrhuje se přepracování systému tras s cílem umožnit bezpečné soužití různých skupin uživatelů. Koncept „otevřené magistrály“ nahrazuje restriktivní regulaci flexibilním, procesně orientovaným prostorovým rámcem.

- **Kyvadlový dopravní systém Jizerských hor**

Namísto rozšiřování parkovacích kapacit v ekologicky citlivých lokalitách je navrhována podpora veřejné dopravy a související změna dopravního chování návštěvníků.

Cíl: Snížit závislost na individuální automobilové dopravě a podpořit delší setrvání návštěvníků v údolních obcích.

Předpokládané dopady:

Snížení dopravní zátěže, emisí a hluku, zvýšení bezpečnosti a podpora místních ekonomik.

Mapa: <https://jizerky.rdck.dev>

A New Alternative for Conductive Paths of Smart Textiles: Potential of 3D Printing

Eine neue Alternative für leitfähige Bahnen in Smart Textiles: Das Potenzial des 3D-Drucks

Nová alternativa pro vodivé dráhy chytrých textilií: Potenciál 3D tisku

Assoc. Prof. Sukran Kara¹ & Ahmet Özkurt²

EN: ¹Textile Engineering Department, Engineering Faculty, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey; ²Electrical and Electronics Engineering Department, Engineering Faculty, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey

DE: ¹Institut für Textiltechnik, Ingenieurwissenschaftliche Fakultät, Dokuz-Eylül-Universität, Izmir, Türkei; ²Institut für Elektrotechnik und Elektronik, Ingenieurwissenschaftliche Fakultät, Dokuz-Eylül-Universität, Izmir, Türkei

CZ: ¹Katedra textilního inženýrství, Fakulta inženýrství, Univerzita Dokuz Eylül, Izmir, Turecko; ²Katedra elektrotechniky a elektroniky, Fakulta inženýrství, Univerzita Dokuz Eylül, Izmir, Turecko

Keywords (EN): 3D printing, smart garments, electrical conductivity, carbon-loaded filament

Schlüsselwörter (DE): 3D-Druck, intelligente Kleidung, elektrische Leitfähigkeit, kohlenstoffgefülltes Filament

Klíčová slova (CZ): 3D tisk, chytré oděvy, elektrická vodivost, filament s obsahem uhlíku

“Smart” or “intelligent” textiles are a subcategory of functional textiles, defined as products capable of sensing, processing, and responding to environmental stimuli or physiological changes. In addition to specific chemical and physical treatments, they may incorporate either rigid electronic components or soft textile-based electronics to enable a wide range of functions. Smart textiles are applied across diverse fields such as entertainment, security, medicine, communication, military, and sports. In particular, their importance is steadily increasing in sports, healthcare, and defence applications (Angelucci et al. 2021; Al Mahmud et al. 2020; Shishoo 2005; Tao 2005).

When textiles with electronic properties are considered, they can generally be categorized into two types: wearable computers and so-called “smart garments.” Wearable computers, sometimes also referred to as electronic textiles, incorporate rigid electronic components—such as sensors, microcontrollers, batteries, and interfaces—either into or onto clothing (Shishoo 2005; Tao 2005; Dasbairagi et al. 2024). In contrast, smart garments integrate intelligent functionalities directly within textile structures. While wearable computers are often preferred for their practicality, smart garments face technical challenges related to durability under washing, stretching, and abrasion (Dumitrescu et al. 2014; Shishoo 2005; Tao 2005).

One of the key components of both smart garments and wearable computers is conductive pathways, which play a crucial role in determining the overall performance of the final product. These conductive paths are used to connect sensors and other electronic components for electrical and data transmission, as well as to enable specific functions such as electrostatic shielding and heat generation (Li et al. 2014). Traditionally, they are produced using conventional wiring. The resistance of these conductive paths significantly affects device performance. Moreover, issues such as excessive bulk, connection reliability, and stability under mechanical deformation and washing are critical considerations in their design. In this context, 3D printing of conductive composite filaments onto textile surfaces represents a promising alternative for forming conductive pathways (Zhao et al. 2025; Wu et al. 2022).

Therefore, this study investigates the potential application of 3D-printed composite filaments as an alternative approach for conductive pathways in smart garments. For this purpose, a carbon-filled thermoplastic polyurethane (cTPU) filament was used for printing conductive lines. Three knitted fabrics made of polyamide/elastane, cotton, and polyethylene terephthalate were selected as textile substrates. Conductive lines with a width of 3 mm were printed along the wale direction. The experimental variables included print length (5 and 10 cm) and print height (0.5, 1.0, and 1.5 mm). Electrical resistance was measured under different strain conditions (0, 15, 30, 45, and 60%) to simulate real-life deformation during garment use.

Preliminary results indicated that longer samples exhibited higher resistance compared to shorter ones, as expected. All samples failed, and printed structures delaminated from the fabric surfaces before reaching 60% strain. Resistance values at 45% strain could be measured only for cotton-based samples. During stretching, resistance initially increased, followed by a notable decrease. Increasing print height reduced resistance by up to 65%. Future work will focus on a more detailed investigation of electrical resistance, mechanical strain behavior, and adhesion of 3D-printed conductive tracks on textile substrates, including the effects of washing treatments. This may contribute to a better understanding of the mechanisms and performance of 3D-printed conductive pathways on fabrics.

References

- [1] Abdullah Al Mahmud, Tharushi Indeewari Wickramarathne, and Blair Kuys. „Effects of smart garments on the well-being of athletes: a scoping review protocol“. In: *BMJ Open* 10.11 (2020), e042127. DOI: [10.1136/bmjopen-2020-042127](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042127).

- [2] Alessandra Angelucci et al. „Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques“. In: *Sensors* 21.3 (2021), p. 814. DOI: [10.3390/s21030814](https://doi.org/10.3390/s21030814).
- [3] Arghajyoti Dasbairagi, Sayoni Nath, and Anirban Dutta. „Current Trends and Technological Features of E-Textile, Smart Garments and Intelligent Apparels: An Overview“. In: *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board VI* (2024), pp. 164–184.
- [4] Iuliana Dumitrescu et al. „The influence of the textile materials structure on the screen printed circuits' characteristics“. In: *Industria Textilă* 65.6 (2014), pp. 310–317.
- [5] Li Li et al. „Smart Textiles: A Design Approach for Garments Using Conductive Fabrics“. In: *The Design Journal* 17.1 (2014), pp. 137–154. DOI: [10.2752/146069214X13788169841673](https://doi.org/10.2752/146069214X13788169841673).
- [6] Roshan Shishoo, ed. *Textiles in sport*. Elsevier, 2005.
- [7] Xiaoming Tao, ed. *Wearable electronics and photonics*. Woodhead Publishing, 2005.
- [8] Shuangqing Wu et al. „3D Printing Technology for Smart Clothing: A Topic Review“. In: *Materials* 15.20 (2022), p. 7391. DOI: [10.3390/ma15207391](https://doi.org/10.3390/ma15207391).
- [9] Zihui Zhao, Wangcheng Liu, and Hang Liu. „Flexible and Durable Direct Ink Writing 3D-Printed Conductive Fabrics for Smart Wearables“. In: *ACS Omega* 10.14 (2025), pp. 14138–14149. DOI: [10.1021/acsomega.4c11367](https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11367).

Deutsche Übersetzung

„Smarte“ oder „intelligente“ Textilien sind eine Unterkategorie der Funktionstextilien. Sie werden als Produkte definiert, die in der Lage sind, Umweltreize oder physiologische Veränderungen wahrzunehmen, zu verarbeiten und darauf zu reagieren. Neben bestimmten chemischen und physikalischen Behandlungen können sie entweder starre elektronische Komponenten oder weiche, textilbasierte Elektronik enthalten, um eine Vielzahl möglicher Funktionen zu erfüllen. Smarte Textilien werden in verschiedenen Bereichen wie Unterhaltung, Sicherheit, Medizin, Kommunikation, Militär und Sport eingesetzt. Insbesondere in den Bereichen Sport, Gesundheitswesen und Verteidigung nimmt ihre Bedeutung stetig zu (Angelucci u. a. 2021; Al Mahmud u. a. 2020; Shishoo 2005; Tao 2005).

Wenn Textilien mit elektronischen Eigenschaften spezifisch betrachtet werden, lassen sie sich im Allgemeinen in zwei Typen einteilen: tragbare Computer („Wearable Computers“) und sogenannte „intelligente Kleidung“ („Smart Garments“). Tragbare Computer, manchmal auch als elektronische Textilien bezeichnet, integrieren harte elektronische Teile – wie Sensoren, Mikrocontroller, Batterien und Schnittstellen – in oder auf die Kleidung (Shishoo 2005; Tao 2005; Dasbairagi u. a. 2024). Im Gegensatz dazu nutzen intelligente Kleidungsstücke eingebettete intelligente Funktionalitäten direkt innerhalb der Textilstrukturen. Während tragbare Computer oft aufgrund ihrer Praktikabilität gewählt werden, stoßen intelligente Kleidungsstücke auf technische Probleme hinsichtlich der Beständigkeit gegen Waschen, Dehnen und Abrieb (Dumitrescu u. a. 2014; Shishoo 2005; Tao 2005).

Eine der Schlüsselkomponenten intelligenter Kleidung und/oder tragbarer Computer sind „leitfähige Bahnen“, die eine entscheidende Rolle für die Gesamtleistung des resultierenden Produkts spielen. Diese leitfähigen Bahnen werden verwendet, um verschiedene Sensoren und andere elektronische Komponenten für die Strom- und Datenübertragung zu verbinden oder um spezifische Funktionen wie elektrostatischen Schutz, Wärmeerzeugung und so weiter zu ermöglichen (Li u. a. 2014). Typischerweise werden sie unter Verwendung traditioneller Kabel hergestellt. Der Widerstand dieser leitfähigen Bahnen hat einen großen Einfluss auf die Effektivität des gesamten Geräts. Darüber hinaus sind Probleme wie unnötige Masse, Verbindungsschwierigkeiten sowie ihre Stabilität unter mechanischen Einflüssen und Waschen kritische Überlegungen bei der Konstruktion leitfähiger Bahnen für intelligente Kleidung. Hierbei stellt der 3D-Druck von leitfähigen Verbundfilamenten auf Textiloberflächen eine neue und vielversprechende Alternative für die Herstellung von Verbindungen dar (Zhao u. a. 2025; Wu u. a. 2022).

Daher wurde in dieser Studie die potenzielle Anwendung von 3D-gedruckten Verbundfilamenten als Alternative für leitfähige Bahnen intelligenter Kleidung untersucht. Zu diesem Zweck wurde ein kohlenstoffhaltiges Filament auf thermoplastischer Polyurethanbasis (cTPU) für den 3D-Druck leitfähiger Linien verwendet. Als zu bedruckende Textilstrukturen wurden 3 Gestricke aus Polyamid:Elastan, Baumwolle und Polyethylenterephthalat verwendet. Leitfähige Linien mit einer Breite von 3 mm wurden auf den Stoffen entlang der Maschenstäbchenrichtung aufgedruckt. Als experimentelle Variablen wurden die Länge (5 und 10 cm) und die Höhe (0,5, 1,0 und 1,5 mm) der Drucke variiert. Der Widerstand der Proben wurde unter verschiedenen Dehnungsbedingungen (0, 15, 30, 45 und 60 %) bestimmt, um den möglichen täglichen Gebrauch intelligenter Kleidung zu simulieren.

Die vorläufigen Ergebnisse zeigen, dass längere Proben wie erwartet höhere spezifische Widerstandswerte aufwiesen als kürzere. Alle Proben versagten und die Drucke lösten sich von den Stoffoberflächen ab, bevor eine Dehnung der Stoffe von 60 % erreicht wurde. Die Widerstandswerte von Proben auf Baumwollbasis konnten nur bei 45 % Dehnung gemessen werden. Während der Dehnung der Stoffe stieg der spezifische Widerstand der Proben zunächst an, gefolgt von deutlichen Verringerungen. Eine Erhöhung der Druckhöhe senkte die spezifischen

Widerstandswerte um bis zu 65 %. In weiteren Studien ist geplant, den spezifischen Widerstand, die Dehnung und die Haftung der 3D-gedruckten leitfähigen Linien auf Textilgeweben in einer detaillierteren experimentellen Studie zu messen, die auch den Einfluss von Waschbehandlungen einbeziehen wird. Dies kann dazu beitragen, die Prinzipien und Effekte von 3D-gedruckten leitfähigen Bahnen auf den Stoffen zu verstehen.

Stichwörter: 3D-Druck, intelligente Kleidung, elektrische Leitfähigkeit, kohlenstoffgefülltes Filament.

Literatur

- [1] Abdullah Al Mahmud, Tharushi Indeevari Wickramarathne und Blair Kuys. „Effects of smart garments on the well-being of athletes: a scoping review protocol“. In: *BMJ Open* 10.11 (2020), e042127. DOI: [10.1136/bmjopen-2020-042127](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042127).
- [2] Alessandra Angelucci u. a. „Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques“. In: *Sensors* 21.3 (2021), S. 814. DOI: [10.3390/s21030814](https://doi.org/10.3390/s21030814).
- [3] Arghajyoti Dasbairagi, Sayoni Nath und Anirban Dutta. „Current Trends and Technological Features of E-Textile, Smart Garments and Intelligent Apparels: An Overview“. In: *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board VI* (2024), S. 164–184.
- [4] Iuliana Dumitrescu u. a. „The influence of the textile materials structure on the screen printed circuits' characteristics“. In: *Industria Textilă* 65.6 (2014), S. 310–317.
- [5] Li Li u. a. „Smart Textiles: A Design Approach for Garments Using Conductive Fabrics“. In: *The Design Journal* 17.1 (2014), S. 137–154. DOI: [10.2752/146069214X13788169841673](https://doi.org/10.2752/146069214X13788169841673).
- [6] Roshan Shishoo, Hrsg. *Textiles in sport*. Elsevier, 2005.
- [7] Xiaoming Tao, Hrsg. *Wearable electronics and photonics*. Woodhead Publishing, 2005.
- [8] Shuangqing Wu u. a. „3D Printing Technology for Smart Clothing: A Topic Review“. In: *Materials* 15.20 (2022), S. 7391. DOI: [10.3390/ma15207391](https://doi.org/10.3390/ma15207391).
- [9] Zihui Zhao, Wangcheng Liu und Hang Liu. „Flexible and Durable Direct Ink Writing 3D-Printed Conductive Fabrics for Smart Wearables“. In: *ACS Omega* 10.14 (2025), S. 14138–14149. DOI: [10.1021/acsomega.4c11367](https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11367).

Český překlad

„Chytré“ nebo „inteligentní“ textilie jsou podkategorií funkčních textilií definovanou jako produkty schopné vnímat, zpracovávat a reagovat na vnější podněty nebo fyziologické změny. Kromě specifických chemických a fyzikálních úprav mohou obsahovat buď pevné elektronické součástky, nebo měkkou elektroniku na textilní bázi, které umožňují široké spektrum funkcí. Chytré textilie nacházejí uplatnění v různých oblastech, jako je zábavní průmysl, bezpečnost, medicína, komunikace, vojenství a sport. Zejména ve sportu, zdravotnictví a obraně jejich význam neustále roste (Angelucci et al. 2021; Al Mahmud et al. 2020; Shishoo 2005; Tao 2005).

Pokud se zaměříme specificky na textilie s elektronickými vlastnostmi, lze je obecně rozdělit do dvou typů: nositelná elektronika („wearable computers“) a takzvané „chytré oděvy“ („smart garments“). Nositelná elektronika, někdy označovaná jako elektronické textilie, integruje pevné elektronické součásti – jako jsou senzory, mikrokontroléry, baterie a rozhraní – do oděvu nebo na jeho povrch (Shishoo 2005; Tao 2005; Dasbairagi et al. 2024). Naproti tomu chytré oděvy využívají inteligentní funkce zabudované přímo v textilních strukturách. Zatímco nositelná elektronika je často preferována pro svou praktičnost, chytré oděvy narážejí na technické problémy spojené s odolností vůči praní, natahování a oděru (Dumitrescu et al. 2014; Shishoo 2005; Tao 2005).

Jednou z klíčových součástí chytrých oděvů a nositelné elektroniky jsou vodivé dráhy, které hrají zásadní roli při určování celkového výkonu výsledného systému. Tyto vodivé dráhy slouží k propojení jednotlivých senzorů a dalších elektronických součástek pro přenos elektrické energie a dat, případně k realizaci specifických funkcí, jako je elektrostatická ochrana nebo generování tepla (Li et al. 2014). Tradičně jsou realizovány pomocí klasických vodičů. Elektrický odpor těchto vodivých drah však významně ovlivňuje účinnost celého zařízení. Při jejich konstrukci pro chytré oděvy jsou navíc kritickými faktory nadměrná objemnost, obtížná integrace a stabilita při mechanickém namáhání a praní. V tomto kontextu představuje 3D tisk vodivých kompozitních filamentů na povrch textilií novou a slibnou alternativu pro vytváření vodivých spojů (Zhao et al. 2025; Wu et al. 2022).

Tato studie se proto zabývá potenciálním využitím 3D tištěných kompozitních filamentů jako alternativy pro tvorbu vodivých drah v chytrých oděvech. K 3D tisku vodivých linií byl použit filament na bázi termoplastického polyuretanu s příměsí uhlíkového plniva (cTPU). Jako textilní substráty byly použity tři pleteniny z polyamidu s elastanem, bavlny a polyethylentereftalátu. Vodivé linie o šířce 3 mm byly tištěny ve směru sloupků pleteniny. Jako experimentální proměnné byla zvolena délka tisku (5 a 10 cm) a výška tisku (0,5; 1,0 a 1,5 mm). Elektrický odpor vzorků byl měřen při různých stupních deformace (0, 15, 30, 45 a 60 %) s cílem simulovat reálné podmínky používání chytrých oděvů.

Předběžné výsledky ukázaly, že delší vzorky vykazovaly, jak se očekávalo, vyšší elektrický odpor než kratší. Všechny vzorky selhaly a tištěné struktury se odloučily od povrchu textilie ještě před dosažením 60% deformace. Hodnoty odporu bylo možné změřit pouze u bavlněných vzorků při 45% deformaci. Během natahování textilií se odpor vzorků nejprve zvyšoval, následně však došlo k jeho výraznému poklesu. Zvýšení výšky tisku vedlo ke snížení elektrického odporu až o 65 %. V navazujícím výzkumu bude provedeno detailnější měření elektrického odporu, mechanické deformace a adheze 3D tištěných vodivých drah na textilních substrátech, včetně vlivu praní. To může přispět k lepšímu pochopení principů a chování 3D tištěných vodivých struktur na textiliích.

Literatura

- [1] Abdullah Al Mahmud, Tharushi Indeevari Wickramarathne a Blair Kuys. „Effects of smart garments on the well-being of athletes: a scoping review protocol“. In: *BMJ Open* 10.11 (2020), e042127. DOI: [10.1136/bmjopen-2020-042127](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-042127).

-
- [2] Alessandra Angelucci et al. „Smart Textiles and Sensorized Garments for Physiological Monitoring: A Review of Available Solutions and Techniques“. In: *Sensors* 21.3 (2021), s. 814. DOI: [10.3390/s21030814](https://doi.org/10.3390/s21030814).
- [3] Arghajyoti Dasbairagi, Sayoni Nath a Anirban Dutta. „Current Trends and Technological Features of E-Textile, Smart Garments and Intelligent Apparels: An Overview“. In: *Annual Technical Volume of Textile Engineering Division Board VI* (2024), s. 164–184.
- [4] Iuliana Dumitrescu et al. „The influence of the textile materials structure on the screen printed circuits' characteristics“. In: *Industria Textilă* 65.6 (2014), s. 310–317.
- [5] Li Li et al. „Smart Textiles: A Design Approach for Garments Using Conductive Fabrics“. In: *The Design Journal* 17.1 (2014), s. 137–154. DOI: [10.2752/146069214X13788169841673](https://doi.org/10.2752/146069214X13788169841673).
- [6] Roshan Shishoo, ed. *Textiles in sport*. Elsevier, 2005.
- [7] Xiaoming Tao, ed. *Wearable electronics and photonics*. Woodhead Publishing, 2005.
- [8] Shuangqing Wu et al. „3D Printing Technology for Smart Clothing: A Topic Review“. In: *Materials* 15.20 (2022), s. 7391. DOI: [10.3390/ma15207391](https://doi.org/10.3390/ma15207391).
- [9] Zihui Zhao, Wangcheng Liu a Hang Liu. „Flexible and Durable Direct Ink Writing 3D-Printed Conductive Fabrics for Smart Wearables“. In: *ACS Omega* 10.14 (2025), s. 14138–14149. DOI: [10.1021/acsomega.4c11367](https://doi.org/10.1021/acsomega.4c11367).

AI-Driven Transformation of Scientific Data into Interactive Visual Art

KI-gestützte Transformation wissenschaftlicher Daten in interaktive visuelle Kunst

Transformace vědeckých dat do interaktivního vizuálního umění pomocí AI

Mr. Farid Kenas, Ph.D.

EN: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria*

DE: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algier, Algerien*

CZ: *Laboratoř robotického paralelismu a vestavěných systémů, Univerzita vědy a techniky Houari Boumediene, Alžír, Alžírsko*

Keywords (EN): Artificial Intelligence, Generative Art, Data Visualization, Science–Art Interaction, Creative AI

Schlüsselwörter (DE): Künstliche Intelligenz, generative Kunst, Datenvisualisierung, Interaktion zwischen Wissenschaft und Kunst, kreative KI

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, generativní umění, vizualizace dat, interakce vědy a umění, kreativní AI

Abstract

This paper proposes a conceptual framework for transforming scientific data into interactive visual art through the use of artificial intelligence. The objective is to bridge scientific representation and artistic expression by employing generative models to reinterpret structured datasets as dynamic visual compositions.

Rather than relying on traditional analytical visualization, the proposed approach introduces a creative layer in which AI maps numerical patterns onto visual attributes such as color, shape, motion, and spatial organization. This enables novel ways of perceiving and interpreting data beyond conventional graphs and charts.

The framework supports interactive exploration, allowing users to manipulate parameters and generate multiple visual interpretations of the same dataset. This work contributes to interdisciplinary discourse at the intersection of science, art, and artificial intelligence.

Keywords: Artificial Intelligence, Generative Art, Data Visualization, Science–Art Interaction, Creative AI

Introduction

Scientific data is traditionally represented through graphs, charts, and numerical models optimized for accuracy and precision. While effective for analytical purposes, such representations often lack perceptual and emotional engagement. With the rapid advancement of artificial intelligence, new opportunities have emerged to reinterpret data as a creative medium. This paper proposes a conceptual framework in which AI serves as a bridge between analytical structures and artistic expression, enabling more intuitive, immersive, and visually engaging forms of data representation.

Conceptual framework

The proposed framework consists of three interconnected layers:

- **Data Input:** Structured datasets, such as time-series data, sensor measurements, or simulated datasets.
- **AI Transformation:** Generative models identify patterns within the data and map them to visual parameters.
- **Artistic Output:** Visual compositions guided by aesthetic principles, including color harmony, balance, rhythm, and motion.

This approach treats data as a creative material, enabling emergent visual interpretations rather than predefined representations.

Methodology

The proposed workflow includes the following stages:

- **Preprocessing:** Data normalization, cleaning, and structuring.
- **Feature Mapping:** AI-driven conversion of data patterns into visual variables such as color, shape, texture, and motion.
- **Generation:** Creation of static or dynamic visual outputs.
- **Interactivity:** User control over parameters to facilitate real-time exploration and experimentation.

Research questions

The framework is guided by the following research questions:

- How can AI-generated visual outputs preserve the interpretability of the original data?
- What balance should be maintained between data fidelity and artistic freedom?
- How do different audiences perceive and interpret AI-generated visualizations?

Contributions

This work provides:

- A conceptual model for AI-driven data art.
- Design principles for balancing scientific accuracy and aesthetic expression.
- A foundation for interdisciplinary collaboration among scientists, artists, and AI researchers.

Critical reflection

AI-based visualization introduces several challenges, including the potential misrepresentation of data and issues of reproducibility resulting from generative variability. Transparency mechanisms, explainable transformations, and user control over parameters are necessary to ensure interpretability and trustworthiness. These considerations raise broader questions regarding whether such outputs should be understood as data interpretations or as independent aesthetic transformations.

Future implementation

Future work will focus on developing a prototype based on a modular architecture that integrates data processing, generative AI, and visualization components. Generative models such as GANs and VAEs will be explored as potential methods for translating data into visual space.

A hybrid strategy combining rule-based constraints with learned representations will be employed to ensure both interpretability and creative flexibility. An interactive interface will provide real-time user control, supporting collaborative human–AI co-creation.

Evaluation will consider visual quality, data fidelity, interpretability, and user perception through interdisciplinary studies involving both scientists and artists.

References

- [1] Ian J. Goodfellow et al. „Generative adversarial nets“. In: *Advances in neural information processing systems*. Vol. 27. 2014.
- [2] Aaron Hertzmann. „Visual indeterminacy in GAN art“. In: *ACM SIGGRAPH 2020 Art Gallery*. 2020, pp. 424–428.
- [3] Lev Manovich. *AI aesthetics*. Moscow: Strelka press, 2018.

Deutsche Übersetzung

Abstract

Diese Veröffentlichung schlägt einen konzeptionellen Rahmen für die Transformation wissenschaftlicher Daten in interaktive visuelle Kunst unter Nutzung künstlicher Intelligenz vor. Ziel ist es, die Brücke zwischen wissenschaftlicher Repräsentation und künstlerischem Ausdruck zu schlagen, indem generative Modelle eingesetzt werden, um strukturierte Datensätze als dynamische visuelle Kompositionen neu zu interpretieren. Anstelle der traditionellen analytischen Visualisierung führt der vorgeschlagene Ansatz eine kreative Ebene ein, auf der KI numerische Muster in visuelle Attribute wie Farbe, Form, Bewegung und räumliche Organisation übersetzt. Dies ermöglicht neue Wege der Datenwahrnehmung jenseits konventioneller Graphen und Diagramme. Das Framework unterstützt die interaktive Erkundung, sodass Nutzer Parameter manipulieren und mehrere visuelle Interpretationen desselben Datensatzes generieren können. Diese Arbeit trägt zum interdisziplinären Dialog an der Schnittstelle von Wissenschaft, Kunst und KI bei.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, generative Kunst, Datenvisualisierung, Interaktion zwischen Wissenschaft und Kunst, kreative KI

Einleitung

Wissenschaftliche Daten werden traditionell durch Grafiken und numerische Modelle dargestellt, die auf Präzision optimiert sind, denen es jedoch oft an wahrnehmungsbezogener Attraktivität fehlt. Mit dem Aufkommen der künstlichen Intelligenz eröffnen sich neue Möglichkeiten, Daten als kreatives Medium neu zu interpretieren. Diese Arbeit schlägt einen konzeptionellen Rahmen vor, in dem KI als Brücke zwischen analytischen Strukturen und künstlerischem Ausdruck fungiert und so intuitivere und immersivere Formen der Datenrepräsentation ermöglicht.

Konzeptioneller Rahmen

Das Framework besteht aus drei Ebenen:

- Dateneingabe: strukturierte Datensätze wie Zeitreihen oder simulierte Daten.
- KI-Transformation: Generative Modelle extrahieren Muster und bilden sie auf visuelle Parameter ab.
- Künstlerische Ausgabe: visuelle Kompositionen, geleitet von ästhetischen Prinzipien (Farbharmonie, Balance, Bewegung). Dieser Ansatz behandelt Daten als kreatives Material und ermöglicht visuelle Interpretationen anstelle vordefinierter Darstellungen.

Methodik

Die vorgeschlagene Pipeline umfasst:

- Vorverarbeitung: Normalisierung und Strukturierung der Daten.
- Feature-Mapping: KI konvertiert Muster in visuelle Variablen (Farbe, Form, Bewegung).
- Generierung: Erstellung statischer oder dynamischer visueller Ausgaben.
- Interaktivität: Nutzerkontrolle über Parameter für eine Exploration in Echtzeit.

Forschungsfragen

- Wie können visuelle Ausgaben die Interpretierbarkeit der ursprünglichen Daten bewahren?
- Welches Gleichgewicht sollte zwischen Datentreue und künstlerischer Freiheit gewahrt werden?

- Wie interpretieren unterschiedliche Zielgruppen KI-generierte Visualisierungen?

Beiträge

Diese Arbeit liefert:

- ein konzeptionelles Modell für KI-gestützte Datenkunst
- Designprinzipien für das Ausbalancieren von Genauigkeit und Ästhetik
- eine Basis für interdisziplinäre Zusammenarbeit

Kritische Reflexion

KI-basierte Visualisierung bringt Herausforderungen wie eine potenzielle Fehlrepräsentation von Daten und Probleme bei der Reproduzierbarkeit aufgrund generativer Variabilität mit sich. Transparenzmechanismen und Parameterkontrollen sind notwendig, um die Interpretierbarkeit zu gewährleisten. Dies wirft allgemeinere Fragen darüber auf, ob solche Ausgaben eine Interpretation oder eine ästhetische Transformation darstellen.

Zukünftige Implementierung

Zukünftige Arbeiten werden einen Prototyp entwickeln, der auf einer modularen Architektur basiert und Datenverarbeitung, generative KI und Visualisierungskomponenten integriert. Modelle wie GANs und VAEs werden für die Abbildung von Daten im visuellen Raum untersucht. Eine Hybridstrategie, die regelbasierte Einschränkungen und erlernte Repräsentationen kombiniert, wird sowohl Interpretierbarkeit als auch Kreativität sicherstellen. Eine interaktive Schnittstelle wird eine Nutzerkontrolle in Echtzeit ermöglichen und so eine Mensch-KI-Co-Kreation erlauben. Die Evaluierung wird die visuelle Qualität, die Datentreue und die Nutzerwahrnehmung durch interdisziplinäre Studien unter Einbeziehung von Wissenschaftlern und Künstlern berücksichtigen.

Literatur

- [1] Ian J. Goodfellow u. a. „Generative adversarial nets“. In: *Advances in neural information processing systems*. Bd. 27. 2014.
- [2] Aaron Hertzmann. „Visual indeterminacy in GAN art“. In: *ACM SIGGRAPH 2020 Art Gallery*. 2020, S. 424–428.
- [3] Lev Manovich. *AI aesthetics*. Moscow: Strelka press, 2018.

Český překlad

Abstrakt

Tento příspěvek navrhuje konceptuální rámec pro transformaci vědeckých dat do podoby interaktivního vizuálního umění s využitím umělé inteligence. Jeho cílem je propojit vědeckou reprezentaci a umělecké vyjádření prostřednictvím generativních modelů, které reinterpretrují strukturované datové soubory jako dynamické vizuální kompozice.

Namísto tradiční analytické vizualizace zavádí navrhovaný přístup kreativní vrstvu, v níž umělá inteligence převádí numerické vzorce do vizuálních atributů, jako jsou barva, tvar, pohyb či prostorové uspořádání. To otevírá nové možnosti vnímání a interpretace dat nad rámec konvenčních grafů a diagramů.

Navržený rámec podporuje interaktivní zkoumání dat a umožňuje uživatelům upravovat parametry a vytvářet různé vizuální interpretace téže datové sady. Studie tak přispívá k interdisciplinárnímu dialogu na pomezí vědy, umění a umělé inteligence.

Klíčová slova: umělá inteligence, generativní umění, vizualizace dat, interakce vědy a umění, kreativní AI

Úvod

Vědecká data jsou tradičně prezentována prostřednictvím grafů, diagramů a numerických modelů, které jsou optimalizovány pro přesnost a jednoznačnost. Přestože jsou tyto formy reprezentace efektivní pro analytické účely, často postrádají schopnost hlubšího vizuálního a emocionálního zapojení příjemce. S rozvojem umělé inteligence se otevírají nové možnosti využití dat jako tvůrčího média. Tento příspěvek představuje konceptuální rámec, v němž AI funguje jako prostředník mezi analytickými strukturami a uměleckým vyjádřením, a umožňuje tak intuitivnější a imerzivnější způsoby prezentace dat.

Konceptuální rámec

Navržený rámec se skládá ze tří vzájemně propojených vrstev:

- Vstup dat: strukturované datové soubory, například časové řady nebo simulovaná data.
- Transformace pomocí AI: generativní modely identifikují vzorce v datech a převádějí je do vizuálních parametrů.
- Umělecký výstup: vizuální kompozice utvářené estetickými principy, jako jsou barevná harmonie, rovnováha či pohyb.

Tento přístup chápe data jako tvůrčí materiál, který umožňuje vznik nových vizuálních interpretací namísto předem definovaných reprezentací.

Metodika

Navrhovaný postup zahrnuje následující kroky:

- Předzpracování dat: normalizace, čištění a strukturování dat.
- Mapování charakteristik: převod datových vzorců do vizuálních proměnných, jako jsou barva, tvar nebo pohyb.
- Generování: tvorba statických nebo dynamických vizuálních výstupů.
- Interaktivita: možnost uživatelského ovládání parametrů a průběžného zkoumání výsledků.

Výzkumné otázky

- Jak lze zajistit, aby vizuální výstupy zachovaly interpretovatelnost původních dat?
- Jakou rovnováhu je vhodné nastavit mezi věrností datům a uměleckou svobodou?
- Jak různé skupiny uživatelů a diváků interpretují vizualizace generované pomocí AI?

Přínosy

Tato práce přináší:

- konceptuální model datového umění založeného na umělé inteligenci,
- principy pro vyvažování vědecké přesnosti a estetické kvality,
- základ pro interdisciplinární spolupráci mezi vědci, umělci a výzkumníky v oblasti AI.

Kritická reflexe

Vizualizace založené na umělé inteligenci přinášejí řadu výzev, mezi něž patří zejména riziko zkreslení dat a omezená reprodukovatelnost způsobená variabilitou generativních modelů. Pro zachování interpretovatelnosti a důvěryhodnosti výsledků je proto nezbytné zajistit transparentnost transformačních procesů a možnost kontroly použitých parametrů. Tyto skutečnosti zároveň otevírají otázku, zda podobné výstupy představují interpretaci dat, nebo spíše jejich estetickou transformaci.

Budoucí implementace

Budoucí výzkum se zaměří na vývoj prototypu založeného na modulární architektuře propojující zpracování dat, generativní AI a vizualizační nástroje. Pro převod dat do vizuální podoby budou zkoumány modely typu GAN a VAE.

Hybridní strategie kombinující předem definovaná omezení s metodami strojového učení zajistí jak interpretovatelnost výsledků, tak kreativní flexibilitu. Součástí systému bude interaktivní rozhraní poskytující uživateli možnost ovlivňovat výsledky v reálném čase a podporující společnou tvorbu člověka a umělé inteligence.

Hodnocení navrženého řešení bude zahrnovat posouzení vizuální kvality, věrnosti datům, míry interpretovatelnosti a uživatelského vnímání prostřednictvím mezioborových studií zahrnujících vědce i umělce.

Literatura

- [1] Ian J. Goodfellow et al. „Generative adversarial nets“. In: *Advances in neural information processing systems*. Sv. 27. 2014.
- [2] Aaron Hertzmann. „Visual indeterminacy in GAN art“. In: *ACM SIGGRAPH 2020 Art Gallery*. 2020, s. 424–428.
- [3] Lev Manovich. *AI aesthetics*. Moscow: Strelka press, 2018.

Explainable Artificial Intelligence for Interpretable Scientific Visualization and Human Understanding

Erklärbare künstliche Intelligenz für interpretierbare wissenschaftliche Visualisierung und menschliches Verständnis

Vysvětlitelná umělá inteligence ve vědecké vizualizaci: cesta k interpretovatelnosti a porozumění

Mr. Farid Kenas, Ph.D.

EN: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria*

DE: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algier, Algerien*

CZ: *Laboratoř robotického paralelismu a vestavěných systémů, Univerzita vědy a techniky Houari Boumediene, Alžír, Alžírsko*

Keywords (EN): Explainable AI, Scientific Visualization, Interpretable Models, Human–AI Interaction, Information Aesthetics

Schlüsselwörter (DE): Erklärbare KI, wissenschaftliche Visualisierung, interpretierbare Modelle, Mensch-KI-Interaktion, Informationsästhetik

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, vědecká ilustrace, vizualizace znalostí, konceptuální modelování, informační design, komunikace vědy a umění

Abstract

This paper proposes a conceptual framework for integrating Explainable Artificial Intelligence (XAI) into scientific visualization. Unlike conventional black-box AI systems, the proposed approach emphasizes transparency, enabling users to understand how predictions and decisions are generated. Scientific datasets are processed through interpretable models that provide explanations directly linked to visual representations. The framework bridges algorithmic decision-making and human cognition by translating model reasoning into interactive visual elements. Furthermore, the visual design of explainable interfaces incorporates principles of information aesthetics, creating a convergence of scientific transparency, visual communication, and artistic presentation.

Introduction

Artificial intelligence is increasingly employed in the analysis of scientific data; however, many advanced models operate as “black boxes,” limiting transparency, trust, and interpretability. This work proposes a conceptual framework based on Explainable Artificial Intelligence (XAI) to enhance transparency in scientific visualization by connecting AI-driven decision-making with human-understandable visual explanations. In doing so, the framework establishes a link between scientific visualization and information aesthetics, bringing together perspectives from science, art, and artificial intelligence.

Conceptual framework

The proposed framework consists of three interconnected components:

1. Data Input Layer – Scientific datasets, including experimental, simulated, and observational data.
2. AI Processing Layer – Interpretable models equipped with explainability mechanisms such as feature importance analysis, attention maps, and rule-based reasoning.
3. Visualization Layer – Visual outputs that communicate both analytical results and their underlying explanations.

The visual design of the framework is informed by principles of information aesthetics and perceptual psychology, ensuring that transparency is not only functional but also cognitively engaging.

Proposed methodology

The proposed workflow comprises the following stages:

1. Data Preprocessing – Data cleaning, normalization, and preparation.
2. Model Training – Application of inherently interpretable models (e.g., decision trees) or post-hoc explanation techniques such as LIME and SHAP.
3. Explanation Generation – Extraction of feature importance, decision pathways, and attention-based explanations.
4. Visual Mapping – Transformation of explanatory information into heatmaps, saliency overlays, or interactive visual diagrams.
5. User Interaction – Dynamic exploration of model reasoning and explanatory outputs.

Research questions

- How can meaningful explanations be provided to non-expert users?

- What is the most effective way to visually represent model reasoning?
- To what extent does explainability improve user trust and comprehension?
- How can a balance be achieved between explanatory completeness and visual simplicity?

Expected contributions

This work provides:

- A conceptual model for integrating XAI into scientific visualization.
- Design principles for representing machine reasoning through visual means.
- A framework for transparent and human-centered AI applications in scientific research.
- A foundation for interdisciplinary dialogue among AI researchers, scientists, information designers, and artists.

Critical reflection

Several challenges remain. First, there is a trade-off between accuracy and interpretability, as simplified explanations may fail to capture the full complexity of model behavior. Second, excessive simplification can create misleading confidence in AI-generated results. Third, different user groups require different levels of explanatory detail, making universal design difficult. Finally, evaluating interpretability remains challenging because human understanding is inherently subjective and context-dependent.

Future implementation

Future work will focus on developing a prototype that combines interpretable machine learning techniques with interactive visualization. The framework will explore methods such as SHAP for global and local feature importance analysis, attention maps for neural network interpretability, LIME for local surrogate explanations, and rule-based models that provide inherent interpretability.

An interactive interface will enable real-time exploration of feature influence and model reasoning. Evaluation will include user studies assessing interpretability, trust, task performance, and comprehension across a variety of scientific application domains.

Conclusion

This paper has presented a conceptual framework for integrating Explainable Artificial Intelligence into scientific visualization. By translating model reasoning into interpretable visual representations, the proposed approach enhances transparency, trust, and human understanding. The visual dimension creates a natural bridge between analytical science and information aesthetics, establishing a space where science, art, and AI converge. Future work will focus on implementing and evaluating a prototype situated at the intersection of interpretable machine learning, scientific data analysis, and cognitively informed visual design.

References

- [1] Ian Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Vol. 27. 2014, pp. 2672–2680.
- [2] Scott M. Lundberg and Su-In Lee. „A Unified Approach to Interpreting Model Predictions“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Vol. 30. 2017, pp. 4765–4774.

- [3] Marco Tulio Ribeiro, Sameer Singh, and Carlos Guestrin. „“Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier“. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016, pp. 1135–1144.

Deutsche Übersetzung

Abstract

Diese Veröffentlichung schlägt einen konzeptionellen Rahmen vor, der erklärbarer KI (XAI) in die wissenschaftliche Visualisierung integriert. Im Gegensatz zur Black-Box-KI betont dieser Ansatz Transparenz und ermöglicht es den Nutzern zu verstehen, wie Vorhersagen generiert werden. Wissenschaftliche Datensätze werden durch interpretierbare Modelle verarbeitet, die mit visuellen Darstellungen verknüpfte Erklärungen liefern. Das Framework schlägt eine Brücke zwischen algorithmischer Entscheidungsfindung und menschlicher Kognition, indem es die Argumentation des Modells in visuelle, interaktive Elemente übersetzt. Das visuelle Design erklärbarer Schnittstellen beinhaltet Informationsästhetik und schafft so eine Schnittstelle zwischen wissenschaftlicher Transparenz und künstlerischer Präsentation.

Einleitung

KI wird zunehmend zur Analyse wissenschaftlicher Daten eingesetzt, aber viele Modelle agieren als „Black Boxes“, was das Vertrauen und die Interpretierbarkeit einschränkt. Diese Arbeit schlägt ein auf XAI basierendes Framework vor, um die Transparenz in der wissenschaftlichen Visualisierung zu verbessern und die KI-Entscheidungsfindung mit für den Menschen verständlichen visuellen Erklärungen zu verbinden. Dies schlägt eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Visualisierung und Informationsästhetik und steht im Einklang mit den Perspektiven von Wissenschaft, Kunst und KI.

Konzeptioneller Rahmen

Drei miteinander verbundene Komponenten:

1. Dateneingabeschicht – wissenschaftliche Datensätze (experimentell, simuliert, beobachtend).
2. KI-Verarbeitungsschicht – Modelle mit Erklärbarkeitsmechanismen (Feature-Wichtigkeit, Attention-Maps, regelbasierte Argumentation).
3. Visualisierungsschicht – interpretierbare visuelle Ausgaben, die Ergebnisse und Erklärungen zeigen. Das visuelle Design folgt der Informationsästhetik und der Wahrnehmungspsychologie, um sicherzustellen, dass Transparenz sowohl funktional als auch kognitiv ansprechend ist.

Vorgeschlagene Methodik

1. Datenvorverarbeitung – Bereinigung und Normalisierung.
2. Modelltraining – interpretierbare Modelle (Entscheidungsbäume) oder Post-hoc-Methoden (LIME, SHAP).
3. Generierung von Erklärungen – Feature-Wichtigkeit, Entscheidungswege, Attention-Maps.
4. Visuelle Abbildung – Konvertierung von Erklärungen in Heatmaps, Saliency-Overlays oder interaktive Diagramme.
5. Nutzerinteraktion – dynamische Erkundung der Modellargumentation.

Forschungsfragen

- Wie können Nicht-Experten sinnvolle Erklärungen bereitgestellt werden?
- Was ist der beste Weg, die Argumentation des Modells visuell darzustellen?
- Wie verbessert Erklärbarkeit das Vertrauen und das Verständnis?

- Was ist das optimale Gleichgewicht zwischen Vollständigkeit und visueller Einfachheit?

Erwartete Beiträge

- Ein konzeptionelles Modell für XAI in der wissenschaftlichen Visualisierung.
- Designprinzipien für die visuelle Darstellung von Argumentationsprozessen.
- Ein Framework für menschenzentrierte, transparente KI in der Wissenschaft.
- Eine Grundlage für den Dialog zwischen KI-Forschern, Wissenschaftlern und Informationsdesignern, die Wissenschaft, Kunst und Technologie verbindet.

Kritische Reflexion

Herausforderungen bleiben bestehen: (1) Genauigkeit vs. Interpretierbarkeit – vereinfachte Erklärungen erfassen komplexe Verhaltensweisen möglicherweise nicht. (2) Irreführende Einfachheit – eine Übereinfachung kann falsches Vertrauen schaffen. (3) Nutzerabhängiges Verständnis – unterschiedliche Zielgruppen benötigen unterschiedliche Detailstufen. (4) Schwierigkeit der Evaluierung – die Messung von „Interpretierbarkeit“ ist von Natur aus subjektiv.

Zukünftige Implementierung

Zukünftige Arbeiten werden ein System prototypisch entwickeln, das interpretierbares maschinelles Lernen mit interaktiver Visualisierung kombiniert und dabei SHAP (globale/lokale Feature-Wichtigkeit), Attention-Maps (Interpretierbarkeit neuronaler Netze), LIME (lokale Surrogaterklärungen) und regelbasierte Modelle (von Natur aus interpretierbar) untersucht. Eine interaktive Schnittstelle wird eine Echtzeiterkundung des Feature-Einflusses ermöglichen. Die Evaluierung wird Nutzerstudien umfassen, die Interpretierbarkeit, Vertrauen, Aufgabenleistung und Verständnis über wissenschaftliche Anwendungsfälle hinweg messen.

Fazit

Diese Veröffentlichung hat einen konzeptionellen Rahmen für XAI in der wissenschaftlichen Visualisierung skizziert. Durch die Übersetzung der Modellargumentation in interpretierbare visuelle Darstellungen verbessert der Ansatz Transparenz, Vertrauen und das menschliche Verständnis. Die visuelle Dimension schafft eine natürliche Brücke zwischen analytischer Wissenschaft und Informationsästhetik – dort, wo Wissenschaft, Kunst und KI konvergieren. Zukünftige Arbeiten werden einen Prototyp an der Schnittstelle von interpretierbarem maschinellem Lernen, wissenschaftlicher Datenanalyse und kognitiv fundiertem, visuellem Design implementieren und evaluieren.

Literatur

- [1] Ian Goodfellow u. a. „Generative Adversarial Nets“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Bd. 27. 2014, S. 2672–2680.
- [2] Scott M. Lundberg und Su-In Lee. „A Unified Approach to Interpreting Model Predictions“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Bd. 30. 2017, S. 4765–4774.
- [3] Marco Tulio Ribeiro, Sameer Singh und Carlos Guestrin. „“Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier“. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016, S. 1135–1144.

Český překlad

Abstrakt

Tento příspěvek navrhuje konceptuální rámec integrující vysvětlitelnou umělou inteligenci (XAI) do vědecké vizualizace. Na rozdíl od přístupu založeného na tzv. černé skříňce (black-box AI) klade tento model důraz na transparentnost a umožňuje uživatelům porozumět tomu, jak jsou generovány predikce a rozhodnutí modelu. Vědecké datové soubory jsou zpracovávány pomocí interpretovatelných modelů, které poskytují vysvětlení přímo propojená s vizuální reprezentací výsledků. Navržený rámec propojuje algoritmické rozhodování s lidským poznáním tím, že převádí proces rozhodování modelu do podoby vizuálních a interaktivních prvků. Vizuální podoba vysvětlitelných rozhraní zároveň využívá principy informační estetiky, čímž vytváří průsečík mezi vědeckou transparentností a uměleckou prezentací.

Úvod

Umělá inteligence se stále častěji využívá při analýze vědeckých dat, avšak mnoho pokročilých modelů funguje jako „černé skříňky“, což omezuje jejich transparentnost, důvěryhodnost a interpretovatelnost. Tento příspěvek představuje rámec založený na vysvětlitelné umělé inteligenci (XAI), jehož cílem je zvýšit transparentnost vědecké vizualizace propojením rozhodovacích procesů AI s vizuálními vysvětleními srozumitelnými pro člověka. Tím vzniká spojení mezi vědeckou vizualizací a informační estetikou, které propojuje perspektivy vědy, umění a umělé inteligence.

Konceptuální rámec

Navržený rámec se skládá ze tří vzájemně propojených vrstev:

1. Vstupní datová vrstva – vědecké datové soubory experimentálního, simulačního nebo observačního charakteru.
2. Vrstva zpracování AI – modely vybavené mechanismy vysvětlitelnosti, jako je analýza důležitosti proměnných, mapy pozornosti nebo rozhodování založené na pravidlech.
3. Vizualizační vrstva – interpretovatelné vizuální výstupy prezentující výsledky i jejich vysvětlení.

Vizuální návrh vychází z principů informační estetiky a psychologie vnímání, aby byla transparentnost nejen funkční, ale také kognitivně přístupná a vizuálně poutavá.

Navrhovaná metodika

Postup zahrnuje následující fáze:

1. Předzpracování dat – čištění, normalizace a příprava dat.
2. Trénování modelu – využití interpretovatelných modelů (např. rozhodovacích stromů) nebo metod následného vysvětlování (LIME, SHAP).
3. Generování vysvětlení – identifikace důležitosti proměnných, rozhodovacích cest a mechanismů pozornosti.
4. Vizuální mapování – převod vysvětlení do podoby teplotních map, zvýrazněných oblastí významnosti nebo interaktivních diagramů.
5. Uživatelská interakce – dynamické zkoumání rozhodovacích procesů modelu.

Výzkumné otázky

- Jak poskytovat smysluplná vysvětlení uživatelům bez odborných znalostí v oblasti AI?
- Jakým způsobem nejefektivněji vizualizovat rozhodovací proces modelu?
- Do jaké míry vysvětlitelnost zvyšuje důvěru a porozumění výsledkům?
- Jak nalézt rovnováhu mezi úplností vysvětlení a vizuální jednoduchostí?

Očekávané přínosy

Tato práce přináší:

- konceptuální model využití XAI ve vědecké vizualizaci,
- principy vizuální reprezentace rozhodovacích procesů modelů,
- rámec pro transparentní a na člověka orientované využití umělé inteligence ve vědě,
- základ pro dialog mezi výzkumníky v oblasti AI, vědci, informačními designéry a umělci.

Kritická reflexe

Navržený přístup přináší několik výzev. První z nich představuje kompromis mezi přesností a interpretovatelností, protože zjednodušená vysvětlení nemusí zachytit plnou komplexitu modelu. Dalším problémem je riziko nadměrného zjednodušení, které může vést k neopodstatněné důvěře ve výsledky AI. Různé skupiny uživatelů navíc vyžadují odlišnou úroveň detailu, což komplikuje návrh univerzálních vysvětlení. V neposlední řadě zůstává problematické samotné hodnocení interpretovatelnosti, které je do značné míry subjektivní.

Budoucí implementace

Budoucí výzkum se zaměří na vývoj prototypu propojujícího interpretovatelné strojové učení s interaktivní vizualizací. Budou zkoumány metody SHAP pro globální a lokální analýzu důležitosti proměnných, mapy pozornosti pro interpretaci neuronových sítí, metoda LIME pro lokální vysvětlení a modely založené na pravidlech, které jsou ze své podstaty interpretovatelné.

Interaktivní rozhraní umožní v reálném čase zkoumat vliv jednotlivých proměnných na výsledky modelu. Hodnocení bude zahrnovat uživatelské studie zaměřené na interpretovatelnost, důvěru, porozumění a úspěšnost řešení úloh v různých vědeckých aplikacích.

Závěr

Tento příspěvek představil konceptuální rámec pro využití vysvětlitelné umělé inteligence ve vědecké vizualizaci. Převodem rozhodovacích procesů modelu do interpretovatelných vizuálních reprezentací přispívá navržený přístup ke zvýšení transparentnosti, důvěry a porozumění. Vizuální dimenze vytváří přirozený most mezi analytickou vědou a informační estetikou, tedy prostorem, v němž se setkávají věda, umění a umělá inteligence. Budoucí práce se zaměří na implementaci a vyhodnocení prototypu na pomezí interpretovatelného strojového učení, analýzy vědeckých dat a kognitivně podloženého vizuálního designu.

Literatura

- [1] Ian Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Sv. 27. 2014, s. 2672–2680.
- [2] Scott M. Lundberg a Su-In Lee. „A Unified Approach to Interpreting Model Predictions“. In: *Advances in Neural Information Processing Systems*. Sv. 30. 2017, s. 4765–4774.

- [3] Marco Tulio Ribeiro, Sameer Singh a Carlos Guestrin. „“Why Should I Trust You?”: Explaining the Predictions of Any Classifier“. In: *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. 2016, s. 1135–1144.

Artificial Intelligence for Generating Scientific Illustrations from Abstract Research Concepts

Künstliche Intelligenz zur Generierung wissenschaftlicher Illustrationen aus abstrakten Forschungskonzepten

Využití umělé inteligence pro generování vědeckých ilustrací z abstraktních vědeckých konceptů

Mr. Farid Kenas, Ph.D.

EN: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria*

DE: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algier, Algerien*

CZ: *Laboratoř robotického paralelismu a vestavěných systémů, Univerzita vědy a techniky Houari Boumediene, Alžír, Alžírsko*

Keywords (EN): Artificial Intelligence, Scientific Illustration, Knowledge Visualization, Conceptual Modeling, Information Design, Science–Art Communication

Schlüsselwörter (DE): Künstliche Intelligenz, wissenschaftliche Illustration, Wissensvisualisierung, konzeptionelle Modellierung, Informationsdesign, Wissenschaft-Kunst-Kommunikation

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, vědecká ilustrace, vizualizace znalostí, konceptuální modelování, informační design, komunikace vědy a umění

Abstract

This paper proposes a conceptual framework for using artificial intelligence to transform abstract scientific concepts into structured visual illustrations. Unlike traditional visualization approaches based on numerical data, the proposed framework focuses on conceptual inputs such as theories, equations, and textual descriptions. AI models interpret these inputs and generate visual structures that represent relationships, hierarchies, and dependencies among concepts. The framework bridges scientific reasoning and visual communication, enabling abstract ideas to be rendered as interpretable visual representations. Scientific illustration occupies a unique position at the intersection of analytical precision and visual creativity, providing a natural meeting point for science, art, and artificial intelligence.

Keywords: Artificial Intelligence, Scientific Illustration, Knowledge Visualization, Conceptual Modeling, Information Design, Science–Art Communication

Introduction

Scientific knowledge is frequently communicated through textual descriptions, mathematical formulations, and theoretical constructs that may be difficult to interpret intuitively. While data visualization techniques are widely used for numerical datasets, abstract concepts often remain challenging to represent visually. This paper introduces a conceptual framework that employs artificial intelligence to generate visual illustrations from conceptual inputs, with the aim of improving understanding, communication, and interdisciplinary knowledge exchange.

Conceptual framework

The proposed framework consists of three interconnected layers:

1. Conceptual Input Layer – Theories, textual descriptions, equations, and other forms of abstract scientific knowledge.
2. AI Interpretation Layer – Models that identify semantic structures, conceptual entities, and relationships between concepts.
3. Visualization Layer – Generation of diagrams, conceptual maps, flowcharts, and other visual representations.

Through this process, abstract knowledge is transformed into visual structures that highlight logical relationships and conceptual organization.

Proposed methodology

The proposed workflow comprises the following stages:

1. Text Processing – Extraction of key concepts and domain-specific information.
2. Semantic Structuring – Identification of conceptual relationships, hierarchies, and dependencies.
3. AI Mapping – Transformation of semantic structures into visual layouts.
4. Illustration Generation – Creation of diagrams, conceptual maps, symbols, and explanatory visual elements.
5. Refinement – Optimization of clarity, readability, consistency, and aesthetic quality.

Research questions

- How can AI effectively interpret abstract scientific knowledge for visual representation?
- Which visual structures best communicate conceptual relationships and dependencies?

- How can clarity and scientific accuracy be preserved during the visualization process?
- Can AI-generated scientific illustrations improve learning, communication, and knowledge transfer?

Expected contributions

This work provides:

- A conceptual framework for AI-based scientific illustration.
- A bridge between abstract scientific reasoning and visual communication.
- A model for improving the accessibility and comprehensibility of scientific knowledge.
- A foundation for interdisciplinary research involving artificial intelligence, science communication, and visual design.

Critical reflection

Several challenges must be addressed. Semantic ambiguity may result in multiple valid interpretations of the same concept, while AI-generated representations may introduce interpretative bias or distort the intended meaning. Furthermore, a balance must be maintained between precision and clarity, as simplification can improve accessibility but may also reduce conceptual nuance. Consequently, transparency, user oversight, and expert validation remain essential components of the framework.

Future implementation

Future research will focus on developing a prototype that combines transformer-based language models for semantic extraction with graph-based algorithms for visual layout generation. An interactive interface will enable users to refine and adjust generated illustrations according to their needs and domain expertise.

Evaluation will involve user studies examining comprehension, accuracy, usability, and trust across different scientific disciplines and application scenarios.

Conclusion

This paper has presented a conceptual framework for generating scientific illustrations from abstract concepts using artificial intelligence. By transforming textual descriptions, theoretical constructs, and symbolic representations into structured visual forms, the proposed approach establishes a connection between scientific reasoning and visual communication. In doing so, it creates a space where science, art, and AI converge. Future work will focus on implementing and evaluating a prototype at the intersection of natural language processing, generative AI, and information design.

References

- [1] S. K. Card, J. Mackinlay, and B. Shneiderman. *Readings in Information Visualization*. Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] I. Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *NeurIPS 27* (2014), pp. 2672–2680.
- [3] E. R. Tufte. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, 2001.
- [4] A. Vaswani et al. „Attention Is All You Need“. In: *NeurIPS 30* (2017), pp. 5998–6008.

Deutsche Übersetzung

Abstract

Diese Veröffentlichung schlägt einen konzeptionellen Rahmen für den Einsatz von KI vor, um abstrakte wissenschaftliche Konzepte in strukturierte visuelle Illustrationen zu transformieren. Im Gegensatz zur traditionellen Visualisierung, die auf numerischen Daten basiert, konzentriert sich dieser Ansatz auf konzeptionelle Eingaben wie Theorien, Gleichungen und Textbeschreibungen. Die KI interpretiert diese Eingaben und generiert visuelle Strukturen, die Beziehungen, Hierarchien und Abhängigkeiten widerspiegeln. Das Framework schlägt eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Argumentation und visueller Kommunikation und ermöglicht es, abstrakte Ideen als interpretierbare Visualisierungen darzustellen. Wissenschaftliche Illustrationen bewegen sich an der Schnittstelle von analytischer Präzision und visueller Kunst – ein natürlicher Treffpunkt für Wissenschaft, Kunst und KI.

Schlüsselwörter: Künstliche Intelligenz, wissenschaftliche Illustration, Wissensvisualisierung, konzeptionelle Modellierung, Informationsdesign, Wissenschaft-Kunst-Kommunikation

Einleitung

Wissenschaftliches Wissen wird oft durch Text und Gleichungen ausgedrückt, die für das menschliche Verständnis nicht intuitiv sind. Während die Datenvisualisierung für numerische Datensätze existiert, bleiben abstrakte Konzepte visuell schwer darzustellen. Diese Arbeit schlägt ein KI-Framework vor, um visuelle Illustrationen aus konzeptionellen Eingaben zu generieren, wodurch das Verständnis und die interdisziplinäre Kommunikation verbessert werden.

Konzeptioneller Rahmen

Drei miteinander verbundene Ebenen:

1. Konzeptionelle Eingabeschicht – Theorien, Text, Gleichungen.
2. KI-Interpretationsschicht – Modelle zur Extraktion semantischer Strukturen und Beziehungen.
3. Visualisierungsschicht – Generierung von Diagrammen, Karten, Flussdiagrammen. Abstraktes Wissen wird zu visuellen Darstellungen, die logische Beziehungen hervorheben.

Vorgeschlagene Methodik

1. Textverarbeitung – Extraktion von Schlüsselkonzepten.
2. Semantische Strukturierung – Identifikation von Beziehungen.
3. KI-Mapping – Transformation in visuelle Layouts.
4. Illustrationsgenerierung – Diagramme, Karten, Symbole.
5. Verfeinerung – Klarheit, Lesbarkeit, Ästhetik.

Forschungsfragen

- Wie kann KI abstraktes Wissen für die visuelle Darstellung interpretieren?
- Welche visuellen Strukturen repräsentieren konzeptionelle Beziehungen am besten?
- Wie lassen sich Klarheit und wissenschaftliche Genauigkeit bewahren?
- Können KI-Illustrationen das Lernen und die Kommunikation verbessern?

Erwartete Beiträge

- Ein konzeptioneller Rahmen für KI-basierte wissenschaftliche Illustrationen.
- Eine Brücke zwischen abstraktem Denken und visueller Kommunikation.
- Ein Modell zur Verbesserung der wissenschaftlichen Zugänglichkeit.
- Eine Grundlage für interdisziplinäre Forschung zwischen KI, Wissenschaftskommunikation und visuellem Design.

Kritische Reflexion

Zu den Herausforderungen gehören semantische Mehrdeutigkeit (mehrere Interpretationen möglich), Interpretationsbias (KI kann die Bedeutung verzerren) und Zielkonflikte zwischen Präzision und Klarheit (Vereinfachung kann Nuancen opfern). Transparenz und Validierung durch den Nutzer bleiben unerlässlich.

Zukünftige Implementierung

Zukünftige Arbeiten werden ein System prototypisch entwickeln, das transformerbasierte Sprachmodelle für die semantische Extraktion und grafikbasierte Algorithmen für das visuelle Layout nutzt. Eine interaktive Schnittstelle wird eine Verfeinerung durch den Nutzer ermöglichen. Die Evaluierung wird Nutzerstudien umfassen, die das Verständnis, die Genauigkeit und das Vertrauen über wissenschaftliche Domänen hinweg messen.

Fazit

Diese Veröffentlichung hat einen konzeptionellen Rahmen für KI-generierte wissenschaftliche Illustrationen aus abstrakten Konzepten skizziert. Durch die Transformation von Text und Symbolen in strukturierte Visualisierungen schlägt der Ansatz eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Argumentation und visueller Kommunikation – dort, wo Wissenschaft, Kunst und KI konvergieren. Zukünftige Arbeiten werden einen Prototyp an der Schnittstelle von NLP, generativer KI und Informationsdesign implementieren und evaluieren.

Literatur

- [1] S. K. Card, J. Mackinlay und B. Shneiderman. *Readings in Information Visualization*. Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] I. Goodfellow u. a. „Generative Adversarial Nets“. In: *NeurIPS 27* (2014), S. 2672–2680.
- [3] E. R. Tufte. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, 2001.
- [4] A. Vaswani u. a. „Attention Is All You Need“. In: *NeurIPS 30* (2017), S. 5998–6008.

Český překlad

Abstrakt

Tento příspěvek navrhuje konceptuální rámec pro využití umělé inteligence k transformaci abstraktních vědeckých konceptů do strukturovaných vizuálních ilustrací. Na rozdíl od tradičních vizualizací založených na numerických datech se tento přístup zaměřuje na konceptuální vstupy, jako jsou teorie, rovnice a textové popisy. Umělá inteligence tyto vstupy interpretuje a generuje vizuální struktury odrážející vztahy, hierarchie a závislosti mezi koncepty. Navržený rámec propojuje vědecké uvažování a vizuální komunikaci, čímž umožňuje převést abstraktní myšlenky do podoby interpretovatelných vizuálních prvků. Vědecká ilustrace se nachází na průsečíku analytické přesnosti a vizuálního umění – jako přirozené místo setkání vědy, umění a umělé inteligence.

Klíčová slova: umělá inteligence, vědecká ilustrace, vizualizace znalostí, konceptuální modelování, informační design, komunikace vědy a umění

Úvod

Vědecké poznatky jsou často vyjadřovány prostřednictvím textu a matematických rovnic, které nejsou pro lidské porozumění vždy intuitivní. Zatímco pro numerická data existují pokročilé metody vizualizace, abstraktní koncepty zůstávají obtížně vizuálně uchopitelné. Tato práce navrhuje rámec využívající umělou inteligenci pro generování vizuálních ilustrací z konceptuálních vstupů s cílem zlepšit srozumitelnost a podpořit mezioborovou komunikaci.

Konceptuální rámec

Navržený rámec se skládá ze tří vzájemně propojených vrstev:

1. Vrstva konceptuálního vstupu – teorie, texty, rovnice.
2. Vrstva interpretace pomocí AI – modely extrahující sémantickou strukturu a vztahy mezi koncepty.
3. Vizualizační vrstva – generování diagramů, map a vývojových diagramů.

Abstraktní znalosti jsou tak transformovány do vizuálních reprezentací, které zdůrazňují logické a strukturální vztahy.

Navrhovaná metodika

Postup zahrnuje následující kroky:

1. Zpracování textu – extrakce klíčových konceptů.
2. Sémantické strukturování – identifikace vztahů mezi koncepty.
3. Mapování pomocí AI – transformace sémantických struktur do vizuálních uspořádání.
4. Generování ilustrací – tvorba diagramů, map a symbolických reprezentací.
5. Doladování výstupu – optimalizace s ohledem na srozumitelnost, čitelnost a estetiku.

Výzkumné otázky

- Jak může umělá inteligence interpretovat abstraktní znalosti pro účely vizualizace?
- Jaké vizuální struktury nejlépe reprezentují konceptuální vztahy?
- Jak zajistit rovnováhu mezi srozumitelností a vědeckou přesností?
- Může generování ilustrací pomocí AI zlepšit proces učení a komunikace?

Očekávané přínosy

- Konceptuální rámec pro vědeckou ilustraci založenou na umělé inteligenci.
- Propojení abstraktního vědeckého uvažování a vizuální komunikace.
- Model pro zvýšení dostupnosti a srozumitelnosti vědeckých poznatků.
- Základ pro interdisciplinární výzkum na pomezí AI, vědecké komunikace a vizuálního designu.

Kritická reflexe

Mezi hlavní výzvy patří sémantická nejednoznačnost, kdy jeden vstup může vést k více interpretacím, dále riziko interpretačního zkreslení, kdy může AI změnit význam původního sdělení, a také kompromis mezi přesností a srozumitelností, protože zjednodušení může vést ke ztrátě významových nuancí. Klíčovou roli proto hrají transparentnost systému a možnost uživatelského ověření výsledků.

Budoucí implementace

Budoucí výzkum se zaměří na prototyp systému využívající jazykové modely založené na transformerech pro sémantickou extrakci a grafové algoritmy pro generování vizuálních struktur. Součástí bude interaktivní rozhraní umožňující uživatelské úpravy výsledných ilustrací.

Hodnocení bude zahrnovat uživatelské studie zaměřené na porozumění, přesnost a důvěru napříč různými vědeckými doménami.

Závěr

Tento příspěvek představil konceptuální rámec pro generování vědeckých ilustrací z abstraktních konceptů pomocí umělé inteligence. Transformací textových a symbolických reprezentací do strukturovaných vizuálních forem propojuje tento přístup vědecké uvažování a vizuální komunikaci – prostor, kde se setkává věda, umění a umělá inteligence. Budoucí práce se zaměří na implementaci a evaluaci prototypu na pomezí NLP, generativní AI a informačního designu.

Literatura

- [1] S. K. Card, J. Mackinlay a B. Shneiderman. *Readings in Information Visualization*. Morgan Kaufmann, 1999.
- [2] I. Goodfellow et al. „Generative Adversarial Nets“. In: *NeurIPS 27* (2014), s. 2672–2680.
- [3] E. R. Tufte. *The Visual Display of Quantitative Information*. Graphics Press, 2001.
- [4] A. Vaswani et al. „Attention Is All You Need“. In: *NeurIPS 30* (2017), s. 5998–6008.

AI-Augmented Intuition for Visual Metaphor Generation in Scientific Discovery

KI-erweiterte Intuition: Generierung visueller Metaphern für die wissenschaftliche Entdeckung

Intuice rozšířená umělou inteligencí pro tvorbu vizuálních metafor ve vědeckém objevování

Mr. Farid Kenas, Ph.D.

EN: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algiers, Algeria*

DE: *Laboratory of Robotics Parallelism and Embedded Systems, University of Science and Technology Houari Boumediene, Algier, Algerien*

CZ: *Laboratoř robotického paralelismu a vestavěných systémů, Univerzita vědy a techniky Houari Boumediene, Alžír, Alžírsko*

Keywords (EN): AI-generated imagery, visual metaphor, scientific intuition, creative cognition, science–art interaction

Schlüsselwörter (DE): KI-generierte Bilder, visuelle Metapher, wissenschaftliche Intuition, kreative Kognition, Wissenschaft-Kunst-Kollaboration

Klíčová slova (CZ): AI generované obrazy, vizuální metafora, vědecká intuice, kreativní kognice, spolupráce vědy a umění

Abstract

This paper proposes a conceptual framework for using artificial intelligence to transform scientific intuition into visual metaphors. Unlike traditional data-driven visualization approaches, this framework focuses on the pre-analytical stage of research, when scientists form hunches, analogies, or mental models that have not yet been formally articulated. The AI system interprets natural language descriptions of such intuitions and generates corresponding metaphorical images. These visual metaphors function as cognitive tools that support the clarification of thought, communication of emerging ideas, and discovery of unexpected conceptual connections. In this framework, artificial intelligence acts as a creative partner in the earliest phases of scientific discovery, forming a convergence of science, art, and AI.

Keywords: AI-generated imagery, visual metaphor, scientific intuition, creative cognition, science–art interaction

Introduction

Scientific discovery often begins with intuition—a vague sense of how a phenomenon might operate, an analogy, or a mental image that precedes formalization. Such intuitions are inherently difficult to externalize and communicate. This paper proposes a framework in which artificial intelligence generates visual metaphors from intuitive descriptions, transforming vague cognitive impressions into concrete visual representations. This approach bridges pre-analytical scientific creativity and generative AI, with visual imagery acting as a mediating representational language.

Conceptual framework

The proposed framework consists of three interconnected layers:

1. Intuitive Input Layer – Natural language descriptions capturing scientific hunches, analogies, or mental models.
2. AI Metaphor Generation Layer – Models that map linguistic expressions to structured visual concepts.
3. Visual Output Layer – Metaphorical images that represent intuitive content and stimulate reflection, reinterpretation, and hypothesis formation.

Proposed methodology

The workflow consists of the following stages:

1. Description Collection – Researchers provide free-form textual descriptions of intuitions.
2. Semantic Analysis – Natural language processing extracts entities, relationships, and affective or conceptual cues.
3. Metaphor Structuring – The system identifies candidate visual analogies and metaphorical mappings.
4. Image Generation – Text-to-image models generate visuals conditioned on structured metaphorical prompts.
5. Iterative Refinement – Users evaluate, adjust, and reinterpret generated outputs in a feedback loop.

Research questions

- How can artificial intelligence capture the inherent ambiguity of scientific intuition?
- Which types of visual metaphors best support causal, spatial, or dynamic reasoning?
- Can AI-generated metaphors facilitate the formation of new scientific hypotheses?

- How do researchers use visual outputs to refine and externalize their thinking?

Expected contributions

This work provides:

- A conceptual framework for AI-augmented scientific intuition via visual metaphor generation.
- A method for externalizing pre-analytical scientific thought processes.
- A creative tool bridging science and art at the earliest stage of discovery.
- A foundation for studying the role of visual imagery in scientific cognition and creativity.

Critical reflection

Several challenges must be addressed. Scientific intuitions are often ambiguous, which may lead to off-target or overly literal interpretations by AI systems, requiring iterative refinement. Additionally, highly compelling visual metaphors may introduce misleading associations or suggest incorrect causal relationships. At the same time, interpretative variability across users may be beneficial, as it can foster dialogue and divergent thinking. Finally, evaluation remains challenging, particularly in measuring the epistemic usefulness of generated metaphors in terms of hypothesis generation and conceptual clarity.

Future implementation

Future work will focus on developing a prototype system for text-to-metaphor generation using diffusion-based models. A user study involving researchers will evaluate whether the generated metaphors support conceptual clarification, reveal hidden assumptions, or stimulate new research directions.

Conclusion

This paper has outlined a conceptual framework for generating visual metaphors from scientific intuition using artificial intelligence. By transforming vague cognitive impressions into concrete visual representations, the approach externalizes the pre-analytical phase of scientific discovery. At the intersection of science, art, and AI, the visual metaphor becomes a cognitive instrument, a creative probe, and an object of interpretation.

References

- [1] Girish A. Koushik et al. „The Mind’s Eye: A Multi-Faceted Reward Framework for Guiding Visual Metaphor Generation“. In: *arXiv preprint arXiv:2508.18569* (2025).
- [2] George Lakoff and Mark Johnson. *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press, 1980.
- [3] Robin Rombach et al. „High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models“. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022, pp. 10684–10695.

Deutsche Übersetzung

Abstract

Diese Veröffentlichung schlägt einen konzeptionellen Rahmen für den Einsatz von KI vor, um wissenschaftliche Intuition in visuelle Metaphern zu transformieren. Im Gegensatz zur datengesteuerten Visualisierung konzentriert sich dieser Ansatz auf die präanalytische Phase der Forschung – also auf den Moment, in dem ein Wissenschaftler eine Vorahnung oder eine Analogie zu einem Phänomen hat, das noch nicht formalisiert ist. Die KI interpretiert sprachliche Beschreibungen dieser Intuitionen und generiert metaphorische Bilder. Diese visuellen Metaphern dienen als kognitive Werkzeuge, die Forschern helfen, ihr Denken zu klären, entstehende Ideen zu kommunizieren oder unerwartete Verbindungen zu entdecken. Dieses Framework positioniert die KI als kreativen Partner in der frühesten Phase der wissenschaftlichen Entdeckung – eine wahre Schnittstelle von Wissenschaft, Kunst und KI.

Schlüsselwörter: KI-generierte Bilder, visuelle Metapher, wissenschaftliche Intuition, kreative Kognition, Wissenschaft-Kunst-Kollaboration

Einleitung

Wissenschaftliche Entdeckungen beginnen oft mit Intuition – einem vagen Gefühl dafür, wie etwas funktionieren könnte, einer Analogie oder einem mentalen Bild. Diese Intuitionen sind schwer zu externalisieren. Diese Arbeit schlägt ein Framework vor, bei dem KI visuelle Metaphern aus intuitiven Beschreibungen generiert und so vage Gedanken in konkrete Bilder verwandelt. Dies schlägt eine Brücke zwischen präanalytischer Kreativität und generativer KI, mit der visuellen Kunst als vermittelnder Sprache.

Konzeptioneller Rahmen

Drei miteinander verbundene Ebenen:

1. Intuitive Eingabeschicht – natursprachliche Beschreibungen einer wissenschaftlichen Vorahnung oder eines mentalen Modells.
2. KI-Metapherngenerierungsschicht – Modelle, die linguistische Beschreibungen auf visuelle Konzepte abbilden.
3. Visuelle Ausgabeschicht – metaphorische Bilder, die die Intuition repräsentieren und zu Reflexion sowie neuen Hypothesen anregen.

Vorgeschlagene Methodik

1. Sammlung von Beschreibungen – Forscher stellen Freitextbeschreibungen bereit.
2. Semantische Analyse – NLP extrahiert Entitäten, Beziehungen und Emotionen.
3. Metaphernstrukturierung – KI identifiziert potenzielle visuelle Analogien.
4. Bildgenerierung – Verwendung von Text-zu-Bild-Modellen, die auf metaphorische Prompts konditioniert sind.
5. Iterative Verfeinerung – Forscher passen die Ergebnisse an und interpretieren sie neu.

Forschungsfragen

- Wie kann KI die Mehrdeutigkeit wissenschaftlicher Intuition erfassen?
- Welche visuellen Metaphern unterstützen kausales, räumliches oder dynamisches Denken am besten?
- Können KI-generierte Metaphern neue Hypothesen anstoßen?

- Wie nutzen Wissenschaftler Bilder, um ihr Denken zu verfeinern?

Erwartete Beiträge

- Ein Framework für KI-erweiterte wissenschaftliche Intuition mittels visueller Metaphern.
- Eine Methode zur Externalisierung präanalytischer wissenschaftlicher Gedanken.
- Ein kreatives Werkzeug, das Wissenschaft und Kunst in der frühesten Phase der Entdeckung verbindet.
- Eine Grundlage für die Untersuchung der Rolle visueller Bildsprache in der wissenschaftlichen Kreativität.

Kritische Reflexion

Zu den Herausforderungen gehören:

- Mehrdeutigkeit – Intuitionen sind vage; KI kann ungenaue Bilder generieren, die eine Verfeinerung erfordern.
- Irreführende Bildsprache – überzeugende Metaphern könnten falsche Beziehungen suggerieren.
- Subjektivität – unterschiedliche Interpretationen können produktiv für den Dialog sein.
- Evaluierung – Messung der „Nützlichkeit“ über die Hypothesengenerierung oder die Klarheit der Kommunikation.

Zukünftige Implementierung

Zukünftige Arbeiten werden ein System zur Text-zu-Metaphern-Generierung unter Verwendung von Diffusionsmodellen prototypisch entwickeln. Eine Nutzerstudie mit Forschern wird evaluieren, ob generierte Metaphern helfen, das Denken zu klären, verborgene Annahmen zu identifizieren oder neue Forschungsrichtungen anzustoßen.

Fazit

Diese Veröffentlichung hat ein Framework für KI-generierte visuelle Metaphern aus wissenschaftlicher Intuition skizziert. Durch die Transformation vager Vorahnungen in konkrete Bilder externalisiert dieser Ansatz die präanalytische Phase der Entdeckung. An der Schnittstelle von Wissenschaft, Kunst und KI wird die visuelle Metapher zu einem kognitiven Instrument, einer kreativen Sonde und einem künstlerischen Objekt.

Literatur

- [1] Girish A. Koushik u. a. „The Mind’s Eye: A Multi-Faceted Reward Framework for Guiding Visual Metaphor Generation“. In: *arXiv preprint arXiv:2508.18569* (2025).
- [2] George Lakoff und Mark Johnson. *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press, 1980.
- [3] Robin Rombach u. a. „High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models“. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022, S. 10684–10695.

Český překlad

Abstrakt

Tento příspěvek navrhuje konceptuální rámec pro využití AI k transformaci vědecké intuice do vizuálních metafor. Na rozdíl od vizualizace založené na datech se tento přístup zaměřuje na předanalytickou fázi výzkumu – tedy na moment, kdy má vědec předtuchu nebo analogii k jevu, který ještě není formalizován. AI interpretuje popisy těchto intuicí v přirozeném jazyce a generuje metaforické obrazy. Tyto vizuální metaforu slouží jako kognitivní nástroje, které výzkumníkům pomáhají ujasnit si myšlení, komunikovat rodící se myšlenky nebo objevovat nečekané souvislosti. Tento rámec staví AI do role kreativního partnera v nejranější fázi vědeckého objevování – což představuje skutečný průsečík vědy, umění a AI.

Klíčová slova: AI generované obrazy, vizuální metafora, vědecká intuice, kreativní kognice, spolupráce vědy a umění

Úvod

Vědecké objevování často začíná intuicí – vágním pocitem, jak by něco mohlo fungovat, analogií nebo mentálním obrazem. Tyto intuice je obtížné externalizovat. Tento příspěvek navrhuje rámec, v němž AI generuje vizuální metaforu z intuitivních popisů, čímž transformuje nejasné myšlenky do konkrétních obrazů. Tím se překlenuje předanalytická kreativita a generativní AI, přičemž vizuální umění funguje jako zprostředkující jazyk.

Konceptuální rámec

Tři propojené vrstvy:

1. Vrstva intuitivního vstupu – popisy vědecké předtuchy nebo mentálního modelu v přirozeném jazyce.
2. Vrstva generování metafor pomocí AI – modely mapující lingvistické popisy na vizuální koncepty.
3. Vrstva vizuálního výstupu – metaforické obrazy, které reprezentují intuici, podněcují k reflexi a k novým hypotézám.

Navrhovaná metodika

Fáze postupu:

1. Sběr popisů – výzkumníci poskytují popisy formou volného textu.
2. Sémantická analýza – NLP extrahuje entity, vztahy a emoce.
3. Strukturování metafor – AI identifikuje potenciální vizuální analogie.
4. Generování obrazu – s využitím modelů text-to-image podmíněných metaforickými prompty.
5. Iterativní ladění – výzkumníci výsledky upravují a nově interpretují.

Výzkumné otázky

- Jak může AI zachytit nejednoznačnost vědecké intuice?
- Jaké vizuální metaforu nejlépe podporují kauzální, prostorové nebo dynamické uvažování?
- Mohou AI generované metaforu podnítit nové hypotézy?
- Jak vědci využívají obrazy k upřesnění svého myšlení?

Očekávané přínosy

- Rámec pro AI rozšířenou vědeckou intuici prostřednictvím vizuální metafory.
- Metoda pro externalizaci předanalytických vědeckých myšlenek.
- Kreativní nástroj propojující vědu a umění v nejranější fázi objevování.
- Základ pro studium role vizuální představitivosti ve vědecké kreativitě.

Kritická reflexe

Kritická reflexe se zaměřuje na následující výzvy:

- Nejednoznačnost – intuice jsou vágní; AI může generovat nepřesné obrazy vyžadující další úpravy.
- Zavádějící obraznost – přesvědčivé metafory mohou naznačovat falešné vztahy.
- Subjektivita – různé interpretace mohou být pro dialog produktivní.
- Hodnocení – měření „užitečnosti“ prostřednictvím generování hypotéz nebo jasnosti komunikace.

Budoucí implementace

Budoucí práce se zaměří na prototypování systému pro generování metafor z textu s využitím difuzních modelů. Uživatelská studie s výzkumníky vyhodnotí, zda generované metafory pomáhají ujasnit si myšlení, identifikovat skryté předpoklady nebo stimulovat nové směry výzkumu.

Závěr

Tento příspěvek nastínil rámec pro AI generované vizuální metafory z vědecké intuice. Transformací vágních předtuch do konkrétních obrazů tento přístup externalizuje předanalytickou fázi objevování. Na průsečíku vědy, umění a AI se vizuální metafora stává kognitivním nástrojem, kreativní sondou a uměleckým objektem.

Literatura

- [1] Girish A. Koushik et al. „The Mind’s Eye: A Multi-Faceted Reward Framework for Guiding Visual Metaphor Generation“. In: *arXiv preprint arXiv:2508.18569* (2025).
- [2] George Lakoff a Mark Johnson. *Metaphors We Live By*. University of Chicago Press, 1980.
- [3] Robin Rombach et al. „High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models“. In: *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2022, s. 10684–10695.

From a Grapevine to a Mandelbulb: Simple Rules, Repeated Processes and the Emergence of Complexity

Von der Weinrebe zum Mandelbulb: Einfache Regeln, wiederholte Prozesse und die Entstehung von Komplexität

Od vinné révy k Mandelbulbu: jednoduchá pravidla, opakované procesy a vznik komplexity

Bc. Vítězslav Kříž

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): fractals, complexity, chaos, iterative systems, logistic map, Mandelbrot set, Julia sets, Mandelbulb, science communication

Schlüsselwörter (DE): Fraktale, Komplexität, Chaos, iterative Systeme, logistische Abbildung, Mandelbrot-Menge, Julia-Mengen, Mandelbulb, Wissenschaftskommunikation

Klíčová slova (CZ): fraktály, komplexnost, chaos, iterativní systémy, logistické zobrazení, Mandelbrotova množina, Juliovy množiny, Mandelbulb, komunikace vědy

Extended abstract

The genome of the common grapevine, *Vitis vinifera*, offers a useful point of departure for considering the relation between compact descriptions and complex outcomes. Modern reference assemblies describe the grapevine genome at the scale of hundreds of millions of base pairs. When expressed in simplified digital terms, such a sequence can be represented by a surprisingly modest amount of raw information. This contrast is conceptually productive: from a limited biological instruction set, interpreted through growth processes, environmental interaction and time, emerge roots, leaves, tendrils, berries, textures, aromas, ecological dependencies and cultural practices. Around the grapevine, human societies have further developed trade routes, rituals, technologies, symbolic meanings, artistic representations and long histories of wine-making.

This contribution uses that contrast as an entry point into a broader mathematical and conceptual question: how can relatively simple rules generate rich, structured and sometimes unpredictable forms of behaviour? The aim is not to equate biological development, cultural history and mathematical iteration. These are distinct types of systems. Rather, the contribution examines how the concepts of rule, repetition, parameter, boundary and scale can provide a shared language for discussing the emergence of complexity.

The first mathematical example is the logistic map,

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$$

Although elementary in notation, the logistic map demonstrates a wide range of long-term behaviours. The value x_n may be interpreted as the current state of a system, while r acts as a control parameter. For selected parameter values, the system approaches a stable fixed point. For other values, it enters periodic oscillation. With further changes in the parameter, the system undergoes period-doubling and eventually exhibits chaotic behaviour. The significance of this example lies in its economy: the rule remains unchanged, yet a small variation in the parameter can transform the qualitative behaviour of the system.

The associated bifurcation diagram makes this transition visually legible. By plotting the long-term behaviour of the logistic map across a range of values of r , the diagram shows how a single branch splits into two, then four, and subsequently into increasingly dense regions. It also demonstrates that chaos should not be reduced to randomness. Even within chaotic regimes, structured windows of periodicity appear. The diagram therefore provides a concise visual model of deterministic unpredictability: the system is governed by a fixed rule, but its behaviour may become practically difficult to predict.

The next example moves from the real line to the complex plane through the Mandelbrot set. For each complex number c , the iteration

$$z_{n+1} = z_n^2 + c, \quad z_0 = 0$$

is evaluated repeatedly. A point belongs to the set if the resulting sequence remains bounded. The resulting image is not a manually designed visual form, but a map of computational behaviour. Each point records the result of a repeated test. The boundary of the set is especially significant, because it contains intricate structure across many scales. The Mandelbrot set therefore offers a clear illustration of how visual complexity can arise from a short recursive rule.

Julia sets develop the same principle from a complementary perspective. In the Mandelbrot set, the parameter c varies while the initial value is fixed. In a Julia set, c is fixed and the starting point varies across the complex plane. A single parameter choice can therefore define an entire field of behaviour. Small changes in that parameter may produce substantially different structures. This relationship between parameter and generated form is useful beyond the specific

mathematical context, because it highlights how local changes in defining conditions can reshape the global space of possible outcomes.

The final example is the Mandelbulb, a three-dimensional fractal inspired by the Mandelbrot set. The Mandelbulb is not merely a two-dimensional fractal given a visual depth effect; it is a spatial object generated through repeated mathematical transformation. Its rendering commonly relies on computational techniques such as raymarching and distance estimation, rather than on conventional polygonal modelling. A ray is cast into the scene, and the computation estimates the distance to the fractal surface. The resulting object often appears organic or sculptural, despite being produced by formal iteration.

Across these examples, the central argument is that complexity can be approached as a process rather than only as a final form. The grapevine introduces the intuition that compact instructions can participate in the production of layered biological, ecological and cultural realities. The logistic map provides a minimal mathematical case in which a fixed rule yields stability, periodicity and chaos depending on a parameter. The bifurcation diagram reveals that the transition into chaos has structure. The Mandelbrot set shows how repeated computation can generate scale-rich boundaries.

Julia sets demonstrate how a single parameter can define an entire behavioural landscape. The Mandelbulb extends this way of thinking into three-dimensional visualisation.

Fractals are therefore valuable not only as visually striking objects, but also as conceptual instruments. They redirect attention from appearance to generative process. They invite questions such as: What rule is being repeated? Which parameter controls the system? Where does stability give way to oscillation or instability? How does local behaviour accumulate into global structure? In this sense, fractals provide a compact and accessible framework for examining a broader principle: simple beginnings, when repeated under specific conditions, can produce complex worlds.

References

- [1] Benoit B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, 1982.
- [2] Robert M. May. „Simple mathematical models with very complicated dynamics“. In: *Nature* 261 (1976), pp. 459–467. DOI: [10.1038/261459a0](https://doi.org/10.1038/261459a0).
- [3] Numberphile. *What's so special about the Mandelbrot Set?* Video featuring Ben Sparks. 2019. URL: <https://www.numberphile.com/videos/whats-special-about-the-mandelbrot-set>.
- [4] Grant Sanderson. *Fractals are typically not self-similar*. Video lesson. 3Blue1Brown. 2017. URL: <https://www.3blue1brown.com/lessons/fractal-dimension>.
- [5] X. Shi et al. „The complete reference genome for grapevine (*Vitis vinifera* L.) genetics and breeding“. In: *Horticulture Research* 10.5 (2023), uhad061. DOI: [10.1093/hr/uhad061](https://doi.org/10.1093/hr/uhad061).
- [6] Veritasium. *This equation will change how you see the world*. Video on the logistic map. 2020. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ovJcsL7vyrk>.

Deutsche Übersetzung

Erweitertes Abstract

Das Genom der Weinrebe (*Vitis vinifera*) bietet einen nützlichen Ausgangspunkt, um das Verhältnis zwischen kompakten Beschreibungen und komplexen Ergebnissen zu betrachten. Moderne Referenzbaugruppen beschreiben das Genom der Weinrebe im Maßstab von Hunderten von Millionen Basenpaaren. In vereinfachter digitaler Form ausgedrückt, kann eine solche Sequenz durch eine überraschend geringe Menge an Basisinformationen dargestellt werden. Dieser Kontrast ist konzeptionell produktiv: Aus einem begrenzten biologischen Befehlssatz, der durch Wachstumsprozesse, Interaktion mit der Umwelt und Zeit interpretiert wird, entstehen Wurzeln, Blätter, Ranken, Beeren, Texturen, Aromen, ökologische Abhängigkeiten und kulturelle Praktiken. Rund um die Weinrebe haben menschliche Gesellschaften zudem Handelswege, Rituale, Technologien, symbolische Bedeutungen, künstlerische Darstellungen und eine lange Geschichte der Weinherstellung entwickelt.

Der Beitrag nutzt diesen Kontrast als Einstieg in eine breitere mathematische und konzeptionelle Frage: Wie können relativ einfache Regeln ein reiches, strukturiertes und manchmal unvorhersehbares Verhalten erzeugen? Das Ziel ist nicht, biologische Entwicklung, Kulturgeschichte und mathematische Iteration gleichzusetzen. Es handelt sich um unterschiedliche Systemtypen. Vielmehr untersucht der Beitrag, wie die Konzepte von Regel, Wiederholung, Parameter, Grenze und Maßstab eine gemeinsame Sprache für die Diskussion über das Entstehen von Komplexität bieten können.

Das erste mathematische Beispiel ist die logistische Abbildung

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$$

Obwohl in der Notation elementar, demonstriert die logistische Abbildung ein breites Spektrum an langfristigen Verhaltensweisen. Der Wert x_n kann als der aktuelle Zustand eines Systems interpretiert werden, während r als Kontrollparameter fungiert. Für ausgewählte Parameterwerte nähert sich das System einem stabilen Fixpunkt an. Für andere Werte geht es in periodische Oszillationen über. Bei weiteren Änderungen des Parameters durchläuft das System eine Periodenverdopplung und zeigt schließlich chaotisches Verhalten. Die Bedeutung dieses Beispiels liegt in seiner Ökonomie: Die Regel bleibt unverändert, doch eine kleine Variation des Parameters kann das qualitative Verhalten des Systems transformieren.

Das zugehörige Bifurkationsdiagramm macht diesen Übergang visuell lesbar. Indem es das langfristige Verhalten der logistischen Abbildung über eine Reihe von Werten von r darstellt, zeigt das Diagramm, wie sich ein einzelner Zweig in zwei, dann vier und anschließend in zunehmend dichtere Regionen aufspaltet. Es demonstriert auch, dass Chaos nicht auf Zufälligkeit reduziert werden sollte. Selbst innerhalb chaotischer Regime tauchen strukturierte Fenster der Periodizität auf. Das Diagramm liefert somit ein prägnantes visuelles Modell deterministischer Unvorhersehbarkeit: Das System wird von einer festen Regel beherrscht, aber sein Verhalten kann in der Praxis schwer vorhersehbar werden.

Das nächste Beispiel bewegt sich von der reellen Zahlengeraden auf die komplexe Zahlenebene durch die Mandelbrot-Menge. Für jede komplexe Zahl c wird die Iteration

$$z_{n+1} = z_n^2 + c, \quad \text{mit } z_0 = 0$$

wiederholt ausgewertet. Ein Punkt gehört zur Menge, wenn die resultierende Sequenz beschränkt bleibt. Das resultierende Bild ist keine manuell gestaltete visuelle Form, sondern eine Karte computergestützten Verhaltens. Jeder Punkt zeichnet das Ergebnis eines wiederholten Tests auf. Die Grenze der Menge ist besonders bedeutsam, da sie über viele Maßstäbe hinweg eine

komplizierte Struktur aufweist. Die Mandelbrot-Menge bietet daher eine klare Veranschaulichung dafür, wie visuelle Komplexität aus einer kurzen, rekursiven Regel entstehen kann.

Julia-Mengen entwickeln dasselbe Prinzip aus einer komplementären Perspektive. In der Mandelbrot-Menge variiert der Parameter c , während der Anfangswert fest ist. In einer Julia-Menge ist c fest und der Startpunkt variiert auf der komplexen Ebene. Eine einzige Parameterwahl kann somit ein ganzes Verhaltensfeld definieren. Kleine Änderungen dieses Parameters können wesentlich unterschiedliche Strukturen erzeugen. Diese Beziehung zwischen Parameter und generierter Form ist über den spezifischen mathematischen Kontext hinaus nützlich, da sie hervorhebt, wie lokale Änderungen der Definitionsbedingungen den globalen Raum möglicher Ergebnisse verändern können.

Das letzte Beispiel ist der Mandelbulb, ein dreidimensionales Fraktal, das von der Mandelbrot-Menge inspiriert ist. Der Mandelbulb ist nicht bloß ein zweidimensionales Fraktal, dem ein visueller Tiefeneffekt verliehen wurde; er ist ein räumliches Objekt, das durch wiederholte mathematische Transformationen erzeugt wird. Seine Darstellung beruht in der Regel auf computergestützten Techniken wie Raymarching und Distanzschätzung und nicht auf herkömmlicher polygonaler Modellierung. Ein Strahl wird in die Szene geworfen, und die Berechnung schätzt die Entfernung zur fraktalen Oberfläche. Das resultierende Objekt erscheint oft organisch oder skulptural, obwohl es durch formale Iteration erzeugt wurde.

Anhand dieser Beispiele wird zentral argumentiert, dass Komplexität eher als Prozess denn als reine Endform begriffen werden kann. Die Weinrebe führt die Intuition ein, dass kompakte Befehle an der Produktion vielschichtiger biologischer, ökologischer und kultureller Realitäten beteiligt sein können. Die logistische Abbildung bietet einen minimalen mathematischen Fall, in dem eine feste Regel je nach Parameter Stabilität, Periodizität und Chaos liefert. Das Bifurkationsdiagramm zeigt, dass der Übergang ins Chaos Struktur besitzt. Die Mandelbrot-Menge zeigt, wie wiederholte Berechnungen maßstabsreiche Grenzen erzeugen können. Julia-Mengen demonstrieren, wie ein einzelner Parameter eine ganze Verhaltenslandschaft definieren kann. Der Mandelbulb erweitert diese Denkweise in die dreidimensionale Visualisierung.

Fraktale sind daher nicht nur als visuell beeindruckende Objekte wertvoll, sondern auch als konzeptionelle Instrumente. Sie lenken die Aufmerksamkeit vom Erscheinungsbild auf den generativen Prozess. Sie laden zu Fragen ein wie: Welche Regel wird wiederholt? Welcher Parameter steuert das System? Wo weicht Stabilität der Oszillation oder Instabilität? Wie akkumuliert sich lokales Verhalten zu globaler Struktur? In diesem Sinne bieten Fraktale einen kompakten und zugänglichen Rahmen für die Untersuchung eines allgemeineren Prinzips: Einfache Anfänge können, wenn sie unter bestimmten Bedingungen wiederholt werden, komplexe Welten hervorbringen.

Literatur

- [1] Benoit B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, 1982.
- [2] Robert M. May. „Simple mathematical models with very complicated dynamics“. In: *Nature* 261 (1976), S. 459–467. DOI: [10.1038/261459a0](https://doi.org/10.1038/261459a0).
- [3] Numberphile. *What's so special about the Mandelbrot Set?* Video featuring Ben Sparks. 2019. URL: <https://www.numberphile.com/videos/whats-special-about-the-mandelbrot-set>.
- [4] Grant Sanderson. *Fractals are typically not self-similar*. Video lesson. 3Blue1Brown. 2017. URL: <https://www.3blue1brown.com/lessons/fractal-dimension>.
- [5] X. Shi u. a. „The complete reference genome for grapevine (*Vitis vinifera* L.) genetics and breeding“. In: *Horticulture Research* 10.5 (2023), uhad061. DOI: [10.1093/hr/uhad061](https://doi.org/10.1093/hr/uhad061).

- [6] Veritasium. *This equation will change how you see the world*. Video on the logistic map. 2020.
URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ovJcsL7vyrk>.

Český překlad

Rozšířený abstrakt

Genom révy vinné (*Vitis vinifera*) nabízí užitečný výchozí bod pro úvahy o vztahu mezi stručným popisem a komplexními výsledky. Moderní referenční sekvenování popisuje genom révy vinné v měřítku stovek milionů párů bází. Vyjádřeno ve zjednodušených digitálních pojmech může být taková sekvence reprezentována překvapivě skromným množstvím surových informací. Tento kontrast je konceptuálně produktivní: z omezené sady biologických instrukcí, interpretovaných prostřednictvím procesů růstu, interakce s prostředím a času, vznikají kořeny, listy, úponky, bobule, textury, aroma, ekologické závislosti a kulturní praktiky. Kolem révy vinné lidské společnosti dále rozvinuly obchodní stezky, rituály, technologie, symbolické významy, umělecká vyobrazení a dlouhou historii vinařství.

Tento příspěvek využívá uvedený kontrast jako vstupní bránu k širší matematické a konceptuální otázce: jak mohou relativně jednoduchá pravidla generovat bohaté, strukturované a někdy nepředvídatelné formy chování? Cílem není ztotožňovat biologický vývoj, kulturní historii a matematickou iteraci. Jedná se o odlišné typy systémů. Příspěvek spíše zkoumá, jak mohou pojmy pravidlo, opakování, parametr, hranice a měřítko poskytnout společný jazyk pro diskusi o vzniku komplexnosti.

Prvním matematickým příkladem je logistické zobrazení:

$$x_{n+1} = rx_n(1 - x_n)$$

Ačkoliv je notace elementární, logistické zobrazení demonstruje širokou škálu dlouhodobého chování. Hodnota x_n může být interpretována jako aktuální stav systému, zatímco r působí jako kontrolní parametr. Pro vybrané hodnoty parametru se systém blíží ke stabilnímu pevnému bodu. Pro jiné hodnoty přechází do periodické oscilace. S dalšími změnami parametru systém prochází zdvojnásobáním periody a nakonec vykazuje chaotické chování. Význam tohoto příkladu spočívá v jeho úspornosti: pravidlo zůstává nezměněné, přesto malá variace parametru může transformovat kvalitativní chování systému.

Přidružený bifurkační diagram činí tento přechod vizuálně čitelným. Vynesením dlouhodobého chování logistického zobrazení pro řadu hodnot r diagram ukazuje, jak se jedna větev štěpí na dvě, poté na čtyři a následně do stále hustších oblastí. Ukazuje také, že chaos by neměl být redukován na náhodnost. I v rámci chaotických režimů se objevují strukturovaná okna periodicity. Diagram proto poskytuje stručný vizuální model deterministické nepředvídatelnosti: systém se řídí pevným pravidlem, ale jeho chování může být v praxi obtížné předpovědět.

Další příklad se přesouvá z reálné osy do komplexní roviny prostřednictvím Mandelbrotovy množiny. Pro každé komplexní číslo c se opakovaně vyhodnocuje iterace:

$$z_{n+1} = z_n^2 + c, \quad \text{přičemž } z_0 = 0$$

Bod patří do množiny, pokud výsledná posloupnost zůstává ohraničená. Výsledný obraz není manuálně navrženou vizuální formou, ale mapou výpočetního chování. Každý bod zaznamenává výsledek opakovaného testu. Hranice množiny je obzvláště významná, protože obsahuje složitou strukturu v mnoha měřítkách. Mandelbrotova množina proto nabízí jasnou ilustraci toho, jak může vizuální komplexnost vzniknout z krátkého rekurzivního pravidla.

Juliovy množiny rozvíjejí stejný princip z komplementární perspektivy. V Mandelbrotové množině se parametr c mění, zatímco počáteční hodnota je pevná. V Juliově množině je c pevné a počáteční bod se mění v komplexní rovině. Volba jediného parametru tak může definovat celé pole chování. Malé změny v tomto parametru mohou produkovat podstatně odlišné struktury.

Tento vztah mezi parametrem a generovanou formou je užitečný i mimo specifický matematický kontext, protože zdůrazňuje, jak mohou lokální změny v definujících podmínkách přetvořit globální prostor možných výsledků.

Závěrečným příkladem je Mandelbulb, trojrozměrný fraktál inspirovaný Mandelbrotovou množinou. Mandelbulb není pouhým dvourozměrným fraktálem, kterému byl dodán vizuální efekt hloubky; je to prostorový objekt generovaný opakovanou matematickou transformací. Jeho vykreslování se obvykle spoléhá na výpočetní techniky, jako je raymarching a odhad vzdálenosti, spíše než na konvenční polygonální modelování. Do scény je vržen paprsek a výpočet odhaduje vzdálenost k fraktálnímu povrchu. Výsledný objekt často působí organicky nebo sochařsky, přestože je vytvořen formální iterací.

U všech těchto příkladů je ústředním argumentem to, že ke komplexnosti lze přistupovat spíše jako k procesu než pouze jako k výsledné formě. Réva vinná přináší intuici, že kompaktní instrukce se mohou podílet na produkci vrstevnatých biologických, ekologických a kulturních realit. Logistické zobrazení poskytuje minimální matematický případ, v němž pevné pravidlo přináší stabilitu, periodicitu a chaos v závislosti na parametru. Bifurkační diagram odhaluje, že přechod do chaosu má svou strukturu. Mandelbrotova množina ukazuje, jak opakovaný výpočet může generovat hranice bohaté na detaily v různých měřítkách. Juliovy množiny demonstrují, jak může jediný parametr definovat celou krajinu chování. Mandelbulb rozšiřuje tento způsob uvažování do trojrozměrné vizualizace.

Fraktály jsou proto cenné nejen jako vizuálně působivé objekty, ale také jako konceptuální nástroje. Přesouvají pozornost od vnějšího vzhledu k generativnímu procesu. Vyvolávají otázky jako: Jaké pravidlo se opakuje? Který parametr řídí systém? Kde stabilita ustupuje oscilaci nebo nestabilitě? Jak se lokální chování hromadí do globální struktury? V tomto smyslu poskytují fraktály ucelený a přístupný rámec pro zkoumání obecnějšího principu: jednoduché začátky, jsou-li opakovány za specifických podmínek, mohou vytvářet komplexní světy.

Literatura

- [1] Benoit B. Mandelbrot. *The Fractal Geometry of Nature*. W. H. Freeman, 1982.
- [2] Robert M. May. „Simple mathematical models with very complicated dynamics“. In: *Nature* 261 (1976), s. 459–467. DOI: 10.1038/261459a0.
- [3] Numberphile. *What's so special about the Mandelbrot Set?* Video featuring Ben Sparks. 2019. URL: <https://www.numberphile.com/videos/whats-special-about-the-mandelbrot-set>.
- [4] Grant Sanderson. *Fractals are typically not self-similar*. Video lesson. 3Blue1Brown. 2017. URL: <https://www.3blue1brown.com/lessons/fractal-dimension>.
- [5] X. Shi et al. „The complete reference genome for grapevine (*Vitis vinifera* L.) genetics and breeding“. In: *Horticulture Research* 10.5 (2023), uhad061. DOI: 10.1093/hr/uhad061.
- [6] Veritasium. *This equation will change how you see the world*. Video on the logistic map. 2020. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=ovJcsL7vyrk>.

Gall Nut Ink: A Sci-Fi Journey into the Past

Eisengallustinte: Eine Sci-Fi-Reise in die Vergangenheit

Duběnkový inkoust: sci-fi výlet do minulosti

Mgr. Ing. Bc. Hana Křížová, Ph.D.

EN: *Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation (CXI), Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Institut für Nanomaterialien, fortgeschrittene Technologien und Innovationen (CXI), Technische Universität Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace (CXI), Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): iron gall ink, gall nut, carboxymethyl cellulose, cultural heritage, ink stability, historical materials

Schlüsselwörter (DE): Eisengallustinte, Gallapfel, Carboxymethylcellulose, Kulturerbe, Tintenstabilität, historische Materialien

Klíčová slova (CZ): duběnkový inkoust, duběnky, karboxymethylcelulóza, kulturní dědictví, stabilita inkoustu, historické materiály

Iron gall ink was the dominant writing medium in Europe for more than one thousand years and was used for manuscripts, chronicles, scientific notes, drawings and official documents. Many historical texts that shaped European culture were written using this ink. Traditional iron gall ink was prepared from oak galls rich in tannins and gallic acid, mixed with iron salts and various stabilizing additives such as gum arabic. Despite its historical importance, the ink suffered from several disadvantages, including limited colloidal stability, particle aggregation, sedimentation and gradual degradation of paper substrates caused by iron-catalysed oxidation processes.

This contribution presents a scientific reflection on a simple “what-if” scenario: what would have happened if medieval scribes had access to a modern polymeric stabilizer that was not developed until the twentieth century? Carboxymethyl cellulose (CMC), first introduced in 1947, was selected as a model material and compared with traditional formulations of iron gall ink stabilized by gum arabic or without any stabilizer.

Experimental iron gall inks were prepared from tannic acid, gallic acid and ferrous sulfate. Particle size distribution and optical properties were monitored during ink ageing. The results demonstrated substantial differences in colloidal stability. After one hour, the unstabilized ink already contained a significant fraction of particles with sizes around 390 nm, representing approximately 60 % of the particle population. After 24 hours, large aggregates reaching approximately 4.8 μm appeared. In contrast, inks stabilized with gum arabic or sodium carboxymethyl cellulose (NaCMC) maintained particle sizes predominantly within the nanometre range even after 24 hours. The average particle size remained approximately 61 nm for gum arabic and 79 nm for NaCMC-stabilized systems.

Significant differences were also observed in optical behaviour. Measurements performed at 570 nm showed that NaCMC-stabilized inks exhibited substantially higher absorbance values than both traditional formulations and unstabilized systems. After 24 hours of ageing, absorbance reached 1.075 for NaCMC-stabilized ink compared with 0.588 for gum arabic and 0.481 for unstabilized ink. While the unstabilized formulation sedimented after several days, the NaCMC-containing system remained stable and highly coloured throughout the monitored period.

An interesting observation was the gradual bathochromic shift of absorption maxima during ageing. Absorption maxima were found between approximately 560 and 583 nm, corresponding to the purple region of the visible spectrum. This suggests that the historical “black” ink was, from a spectroscopic perspective, actually a very dark purple material. Furthermore, NaCMC produced a pronounced hyperchromic effect, resulting in a darker and optically denser ink.

Of course, medieval scribes never had access to modern cellulose derivatives. Nevertheless, this thought experiment demonstrates how contemporary materials science can provide new perspectives on historical technologies. If such stabilizers had existed centuries ago, written documents might have been produced using darker, more stable inks with improved resistance to sedimentation and potentially reduced degradation effects.

Today, modern analytical methods, digital technologies and artificial intelligence offer new opportunities for the study of historical manuscripts, prediction of degradation processes and reconstruction of historical recipes. In this way, contemporary science helps us better understand both the chemistry and cultural significance of materials from the past.

References

- [1] T. Heinze and A. Koschella. „Carboxymethyl ethers of cellulose and starch—a review“. In: *Macromolecular symposia*. Vol. 223. 1. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, Mar. 2005, pp. 13–40.
- [2] C. Krekel. „The chemistry of historical iron gall inks“. In: *Int J Forensic Doc Exam* 5 (1999), pp. 54–58.

- [3] H. Křížová and J. Wiener. „Preparation of iron gall nut ink and study of the nanoparticles stability“. In: *NART 2015*. 2015, p. 173.
- [4] J. G. Neevel. „Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron galls“. In: *RESTAURATOR-COPENHAGEN- 16* (1995), p. 143.
- [5] B. Reissland and S. de Groot. „Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects“. In: *9th Int Congr IADA. Copenhagen, Denmark*. 1999, pp. 121–130.

Deutsche Übersetzung

Eisengallustinte war über mehr als tausend Jahre das wichtigste Schreibmedium Europas und wurde für Manuskripte, Chroniken, wissenschaftliche Aufzeichnungen, Zeichnungen und offizielle Dokumente verwendet. Viele historische Texte, die die europäische Kultur geprägt haben, wurden mit dieser Tinte verfasst. Traditionelle Eisengallustinte wurde aus Galläpfeln hergestellt, die reich an Tanninen und Gallussäuren sind, und mit Eisensalzen sowie verschiedenen stabilisierenden Zusätzen wie Gummi arabicum versetzt. Trotz ihrer historischen Bedeutung wies diese Tinte mehrere Nachteile auf, darunter eine begrenzte kolloidale Stabilität, Partikelaggregation, Sedimentation sowie eine allmähliche Schädigung papierbasierter Trägermaterialien durch eisenkatalysierte Oxidationsprozesse.

Dieser Beitrag stellt eine wissenschaftliche Reflexion über ein einfaches „Was-wäre-wenn“-Szenario dar: Was wäre geschehen, wenn mittelalterliche Schreiber Zugang zu einem modernen polymeren Stabilisator gehabt hätten, der erst im 20. Jahrhundert entwickelt wurde? Carboxymethylcellulose (CMC), die erstmals 1947 eingeführt wurde, wurde als Modellmaterial ausgewählt und mit traditionellen Eisengallustinten verglichen, die entweder mit Gummi arabicum stabilisiert oder ohne Stabilisator hergestellt wurden.

Experimentelle Eisengallustinten wurden aus Tanninsäure, Gallussäure und Eisensulfat hergestellt. Während der Alterung der Tinten wurden die Partikelgrößenverteilung sowie die optischen Eigenschaften untersucht. Die Ergebnisse zeigten deutliche Unterschiede hinsichtlich der kolloidalen Stabilität. Bereits nach einer Stunde enthielt die unstabilisierte Tinte einen erheblichen Anteil von Partikeln mit Größen um 390 nm, die etwa 60 % der Partikelpopulation ausmachten. Nach 24 Stunden traten große Aggregate mit Größen von etwa 4,8 μm auf. Im Gegensatz dazu blieben die mit Gummi arabicum oder Natriumcarboxymethylcellulose (NaCMC) stabilisierten Tinten auch nach 24 Stunden überwiegend im Nanometerbereich. Die durchschnittliche Partikelgröße betrug etwa 61 nm für Gummi arabicum und 79 nm für NaCMC-stabilisierte Systeme.

Deutliche Unterschiede wurden ebenfalls im optischen Verhalten beobachtet. Messungen bei 570 nm zeigten, dass NaCMC-stabilisierte Tinten wesentlich höhere Absorptionswerte aufwiesen als sowohl traditionelle Formulierungen als auch unstabilisierte Systeme. Nach 24 Stunden Alterung erreichte die Absorption der NaCMC-stabilisierten Tinte 1,075, verglichen mit 0,588 für Gummi arabicum und 0,481 für die unstabilisierte Tinte. Während die unstabilisierte Formulierung nach einigen Tagen sedimentierte, blieb das NaCMC-haltige System während des gesamten Beobachtungszeitraums stabil und intensiv gefärbt.

Eine interessante Beobachtung war die allmähliche bathochrome Verschiebung der Absorptionsmaxima während der Alterung. Die Maxima lagen zwischen etwa 560 und 583 nm, was dem violetten Bereich des sichtbaren Spektrums entspricht. Dies deutet darauf hin, dass die historische „schwarze“ Tinte aus spektroskopischer Sicht tatsächlich ein sehr dunkles Violett war. Darüber hinaus verursachte NaCMC einen ausgeprägten hyperchromen Effekt, der zu einer dunkleren und optisch dichteren Tinte führte.

Natürlich hatten mittelalterliche Schreiber keinen Zugang zu modernen Cellulosederivaten. Dennoch zeigt dieses Gedankenexperiment, wie die heutige Materialwissenschaft neue Perspektiven auf historische Technologien eröffnen kann. Hätten solche Stabilisatoren bereits vor Jahrhunderten existiert, wären möglicherweise dunklere und stabilere Tinten mit geringerer Sedimentation und verbesserter Haltbarkeit entstanden.

Heute bieten moderne analytische Methoden, digitale Technologien und künstliche Intelligenz neue Möglichkeiten für die Untersuchung historischer Manuskripte, die Vorhersage von Alterungsprozessen und die Rekonstruktion historischer Rezepturen. Auf diese Weise hilft die moderne Wissenschaft, sowohl die Chemie als auch die kulturelle Bedeutung historischer Materialien besser zu verstehen.

Literatur

- [1] T. Heinze und A. Koschella. „Carboxymethyl ethers of cellulose and starch—a review“. In: *Macromolecular symposia*. Bd. 223. 1. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, März 2005, S. 13–40.
- [2] C. Krekel. „The chemistry of historical iron gall inks“. In: *Int J Forensic Doc Exam* 5 (1999), S. 54–58.
- [3] H. Křížová und J. Wiener. „Preparation of iron gall nut ink and study of the nanoparticles stability“. In: *NART 2015*. 2015, S. 173.
- [4] J. G. Neevel. „Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron gall inks“. In: *RESTAURATOR-COPENHAGEN- 16* (1995), S. 143.
- [5] B. Reissland und S. de Groot. „Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects“. In: *9th Int Congr IADA. Copenhagen, Denmark*. 1999, S. 121–130.

Český překlad

Duběnkový inkoust byl po více než tisíc let dominantním psacím médiem v Evropě a používal se pro rukopisy, kroniky, vědecké záznamy, kresby i úřední dokumenty. Právě tímto inkoustem byla zaznamenána značná část textů, které formovaly evropskou kulturu a vzdělanost. Tradiční duběnkový inkoust se připravoval z duběnek bohatých na taniny a kyselinu gallovou, které reagovaly se solemi železa za vzniku tmavě zbarvených komplexů. Součástí historických receptur byly často i různé stabilizační přísady, například arabská guma. Přes svůj mimořádný význam však tento inkoust vykazoval řadu nevýhod, mezi něž patřila omezená koloidní stabilita, agregace částic, sedimentace a postupná degradace papírového podkladu způsobená oxidačními procesy katalyzovanými ionty železa.

Tento příspěvek představuje vědeckou úvahu nad jednoduchou otázkou typu „co by bylo, kdyby“. Co kdyby měli středověcí písaři k dispozici moderní polymerní stabilizátor, který byl vyvinut až ve 20. století? Jako modelový materiál byla zvolena karboxymethylcelulóza (CMC), poprvé uvedená na trh v roce 1947. Její účinek byl porovnán s tradičními recepturami duběnkového inkoustu stabilizovanými arabskou gumou nebo bez použití stabilizátoru.

Experimentální inkousty byly připraveny z kyseliny tříslové (tanin), kyseliny gallové a síranu železnatého. Během zrání inkoustů byla sledována distribuce velikosti částic a optické vlastnosti systému. Výsledky ukázaly výrazné rozdíly v koloidní stabilitě jednotlivých receptur. Již po jedné hodině obsahoval nestabilizovaný inkoust významný podíl částic o velikosti přibližně 390 nm, které představovaly asi 60 % všech částic. Po 24 hodinách se objevily velké agregáty dosahující velikosti přibližně 4,8 μm . Naproti tomu inkousty stabilizované arabskou gumou nebo sodnou solí karboxymethylcelulózy (NaCMC) si i po 24 hodinách zachovaly částice převážně v nanometrové oblasti. Průměrná velikost částic činila přibližně 61 nm u systému s arabskou gumou a 79 nm u systému stabilizovaného NaCMC.

Významné rozdíly byly pozorovány také v optických vlastnostech inkoustů. Měření absorpce při vlnové délce 570 nm ukázalo, že inkousty stabilizované NaCMC dosahovaly podstatně vyšších hodnot absorpce než tradiční receptury i nestabilizované systémy. Po 24 hodinách zrání dosáhla absorpce inkoustu s NaCMC hodnoty 1,075, zatímco u arabské gumy činila 0,588 a u nestabilizovaného inkoustu pouze 0,481. Zatímco nestabilizovaný inkoust během několika dnů sedimentoval, systém obsahující NaCMC zůstával stabilní a intenzivně zbarvený po celou dobu sledování.

Zajímavým zjištěním byl také postupný bathochromní posun absorpčních maxim během zrání inkoustů. Absorpční maxima byla zaznamenána v rozmezí přibližně 560–583 nm, tedy v oblasti odpovídající fialové části viditelného spektra. To naznačuje, že historický „černý“ inkoust byl z hlediska spektroskopie ve skutečnosti velmi tmavě fialovým materiálem. Současně byl u systému s NaCMC pozorován výrazný hyperchromní efekt vedoucí k vyšší intenzitě zbarvení a optické hustotě inkoustu.

Středověcí písaři samozřejmě neměli k dispozici moderní deriváty celulózy. Přesto tento myšlenkový experiment ukazuje, jak může současná materiálová věda nabídnout nový pohled na historické technologie. Pokud by podobné stabilizátory existovaly již před staletími, mohly by vznikat tmavší, stabilnější inkousty s nižší tendencí k sedimentaci a potenciálně lepšími vlastnostmi z hlediska dlouhodobého uchování dokumentů.

Moderní analytické metody, digitální technologie a umělá inteligence dnes navíc otevírají nové možnosti studia historických rukopisů, predikce degradačních procesů i rekonstrukce historických receptur. Současná věda tak pomáhá lépe porozumět nejen chemii historických materiálů, ale i jejich kulturnímu významu.

Literatura

- [1] T. Heinze a A. Koschella. „Carboxymethyl ethers of cellulose and starch—a review“. In: *Macromolecular symposia*. Sv. 223. 1. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, břez. 2005, s. 13–40.
- [2] C. Krekel. „The chemistry of historical iron gall inks“. In: *Int J Forensic Doc Exam* 5 (1999), s. 54–58.
- [3] H. Křížová a J. Wiener. „Preparation of iron gall nut ink and study of the nanoparticles stability“. In: *NART 2015*. 2015, s. 173.
- [4] J. G. Neevel. „Phytate: a potential conservation agent for the treatment of ink corrosion caused by iron gall inks“. In: *RESTAURATOR-COPENHAGEN- 16* (1995), s. 143.
- [5] B. Reissland a S. de Groot. „Ink corrosion: comparison of currently used aqueous treatments for paper objects“. In: *9th Int Congr IADA. Copenhagen, Denmark*. 1999, s. 121–130.

Integrating Mixed Reality and Artificial Intelligence in Textile Education: Bridging Science, Art, and Digital Innovation

Integration von Mixed Reality und Künstlicher Intelligenz in die Textilausbildung: Eine Brücke zwischen Wissenschaft, Kunst und digitaler Innovation

Integrace smíšené reality a umělé inteligence v textilním vzdělávání: Propojení vědy, umění a digitálních inovací

Dr. Adnan Mazari, Ph.D.¹, Funda Buyuk Mazari¹, Sevda Altas² & İbrahim Ergül³

EN: ¹Technical University of Liberec, Czech Republic; ²Ege University, Turkey; ³MIXR Software, Turkey

DE: ¹Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik; ²Ege-Universität, Türkei; ³MIXR Software, Türkei

CZ: ¹Technická univerzita v Liberci, Česká republika; ²Egejská univerzita, Turecko; ³MIXR Software, Turecko

Keywords (EN): Mixed Reality, Artificial Intelligence, Textile Education, Vocational Training, Digital Learning, Interdisciplinary Innovation

Schlüsselwörter (DE): Mixed Reality, Künstliche Intelligenz, Textilausbildung, Berufsbildung, Digitales Lernen, Interdisziplinäre Innovation

Klíčová slova (CZ): smíšená realita, umělá inteligence, textilní vzdělávání, odborné vzdělávání, digitální učení, mezioborová inovace

Abstract

The rapid evolution of digital technologies is reshaping the boundaries between science, art, and education. In the textile domain—traditionally positioned at the intersection of engineering and creative design—this transformation is particularly evident. The DigiLAB project (Innovative Textile Testing Laboratory Education with the Integration of Mixed Reality and Artificial Intelligence), funded under the Erasmus+ KA210-VET programme, explores how Mixed Reality (MR) and Artificial Intelligence (AI) can redefine vocational education by creating immersive, accessible, and interdisciplinary learning environments.

This paper presents the conceptual framework, methodology, and preliminary outcomes of DigiLAB, focusing on the development of a virtual textile testing laboratory. The project integrates scientific principles of textile engineering (e.g., yarn linear density, yarn twist, and fabric tensile testing) with advanced digital technologies, including MR simulations and AI-driven virtual assistants. These tools enable users to interact with complex laboratory equipment in a virtual space, bridging the gap between theoretical knowledge and practical application.

From a scientific perspective, the project contributes to the digital transformation of vocational education by translating precise laboratory procedures into interactive, data-driven simulations. From an artistic standpoint, the use of 3D modelling, user interface design, and immersive environments reflects the creative dimension of digital representation and experience design. AI further enhances this interaction by personalizing learning pathways and enabling adaptive feedback through intelligent virtual guides.

The interdisciplinary nature of DigiLAB aligns with the core theme of the “Science, Art & AI” conference, demonstrating how technological innovation can serve as a mediator between structured scientific knowledge and creative exploration. The project also addresses key challenges in vocational education, such as limited access to expensive laboratory infrastructure, by offering scalable and inclusive digital alternatives.

Preliminary findings indicate that MR-based learning environments improve user engagement, conceptual understanding, and digital competencies among students. Moreover, the integration of AI supports individualized learning experiences, making complex scientific processes more accessible. The project also highlights the importance of collaboration between academic institutions and technology developers in creating meaningful educational innovations.

In conclusion, DigiLAB illustrates how the convergence of science, art, and AI can lead to new pedagogical paradigms in textile education and beyond. By combining technical accuracy with immersive and creative digital design, the project contributes to a broader vision of future education: one that is interactive, inclusive, and interdisciplinary.

Conclusion

The DigiLAB project is expected to deliver several significant outcomes at the intersection of science, art, and artificial intelligence. Firstly, it will result in the development of a fully functional Mixed Reality (MR) simulation of textile testing procedures, enabling users to interact with virtual laboratory equipment in an immersive environment. This will provide a cost-effective and accessible alternative to traditional laboratory-based training.

The project illustrates the transformative potential of integrating Mixed Reality and Artificial Intelligence into vocational education, particularly in fields that inherently bridge science and art, such as textile engineering. By combining precise scientific methodologies with immersive and visually engaging digital environments, the project introduces a new paradigm of experiential learning.

The results highlight how MR and AI can enhance accessibility, improve learning outcomes, and support individualized education pathways, while also encouraging creativity and interdisciplinary thinking. This convergence of technologies not only addresses current limitations in vocational training but also opens new directions for future educational models.

In the context of the “Science, Art & AI” dialogue, DigiLAB demonstrates that the integration of these domains is not only possible but essential for the development of innovative, inclusive, and sustainable learning systems. The project contributes to a broader understanding of how digital technologies can act as a bridge between structured scientific knowledge and creative exploration, shaping the future of education.

Deutsche Übersetzung

Abstract

Die rasante Entwicklung digitaler Technologien verschiebt die Grenzen zwischen Wissenschaft, Kunst und Bildung. Im Textilbereich – der traditionell an der Schnittstelle zwischen Ingenieurwesen und kreativem Design angesiedelt ist – wird diese Transformation besonders deutlich. Das DigiLAB-Projekt (Innovative Textile Testing Laboratory Education with the Integration of Mixed Reality and Artificial Intelligence), gefördert im Rahmen des Programms Erasmus+ KA210-VET, untersucht, wie Mixed Reality (MR) und Künstliche Intelligenz (KI) die Berufsbildung durch die Schaffung immersiver, zugänglicher und interdisziplinärer Lernumgebungen neu definieren können.

Dieser Beitrag stellt den konzeptionellen Rahmen, die Methodik und die vorläufigen Ergebnisse von DigiLAB vor, wobei der Schwerpunkt auf der Entwicklung eines virtuellen Textilprüflabors liegt. Das Projekt integriert wissenschaftliche Prinzipien des Textilingenieurwesens (z. B. Feinheit von Garnen, Garndrehung und Zugprüfung von Geweben) mit fortschrittlichen digitalen Technologien, einschließlich MR-Simulationen und KI-gesteuerten virtuellen Assistenten. Diese Werkzeuge ermöglichen es den Nutzern, mit komplexen Laborgeräten in einem virtuellen Raum zu interagieren, und schließen so die Lücke zwischen theoretischem Wissen und praktischer Anwendung.

Aus wissenschaftlicher Sicht trägt das Projekt zur digitalen Transformation der Berufsbildung bei, indem es präzise Laborverfahren in interaktive, datengestützte Simulationen übersetzt. Aus künstlerischer Sicht spiegelt der Einsatz von 3D-Modellierung, Benutzeroberflächendesign und immersiven Umgebungen die kreative Dimension digitaler Repräsentation und des Experience Designs wider. KI verstärkt diese Interaktion weiter, indem sie Lernpfade personalisiert und adaptives Feedback durch intelligente virtuelle Leitfäden ermöglicht.

Die interdisziplinäre Natur von DigiLAB passt perfekt zum Kernthema der Konferenz „Science, Art & AI“ und zeigt, wie technologische Innovation als Vermittler zwischen strukturiertem wissenschaftlichem Wissen und kreativer Erkundung dienen kann. Das Projekt adressiert auch zentrale Herausforderungen in der Berufsbildung, wie den begrenzten Zugang zu teurer Laborinfrastruktur, indem es skalierbare und inklusive digitale Alternativen bietet.

Vorläufige Ergebnisse deuten darauf hin, dass MR-basierte Lernumgebungen das Engagement der Nutzer, das konzeptionelle Verständnis und die digitalen Kompetenzen der Studierenden verbessern. Darüber hinaus unterstützt die Integration von KI individualisierte Lernerfahrungen und macht komplexe wissenschaftliche Prozesse zugänglicher. Das Projekt unterstreicht auch die Bedeutung der Zusammenarbeit zwischen akademischen Institutionen und Technologieentwicklern bei der Schaffung sinnvoller Bildungsinnovationen.

Zusammenfassend veranschaulicht DigiLAB, wie die Konvergenz von Wissenschaft, Kunst und KI zu neuen pädagogischen Paradigmen in der Textilausbildung und darüber hinaus führen kann. Durch die Kombination von technischer Genauigkeit mit immersivem und kreativem digitalem Design trägt das Projekt zu einer breiteren Vision der zukünftigen Bildung bei: einer Bildung, die interaktiv, inklusiv und interdisziplinär ist.

Fazit

Vom DigiLAB-Projekt werden mehrere bedeutende Ergebnisse an der Schnittstelle von Wissenschaft, Kunst und künstlicher Intelligenz erwartet. Erstens wird es zur Entwicklung einer voll funktionsfähigen Mixed-Reality-Simulation (MR) von Textilprüfverfahren führen, die es den Nutzern ermöglicht, mit virtuellen Laborgeräten in einer immersiven Umgebung zu interagieren.

Dies wird eine kostengünstige und zugängliche Alternative zur traditionellen laborbasierten Ausbildung bieten.

Das Projekt veranschaulicht das transformative Potenzial der Integration von Mixed Reality und Künstlicher Intelligenz in die Berufsbildung, insbesondere in Bereichen, die von Natur aus Wissenschaft und Kunst verbinden, wie das Textilingenieurwesen. Durch die Kombination präziser wissenschaftlicher Methoden mit immersiven und visuell ansprechenden digitalen Umgebungen führt das Projekt ein neues Paradigma des erfahrungsorientierten Lernens ein.

Die Ergebnisse zeigen, wie MR und KI die Zugänglichkeit verbessern, Lernergebnisse optimieren und individualisierte Bildungswege unterstützen können, während sie gleichzeitig die Kreativität und das interdisziplinäre Denken fördern. Diese Konvergenz der Technologien behebt nicht nur aktuelle Einschränkungen in der Berufsbildung, sondern eröffnet auch neue Richtungen für zukünftige Bildungsmodelle.

Im Kontext des Dialogs „Science, Art & AI“ demonstriert DigiLAB, dass die Integration dieser Bereiche nicht nur möglich, sondern unerlässlich für die Entwicklung innovativer, inklusiver und nachhaltiger Lernsysteme ist. Das Projekt trägt zu einem breiteren Verständnis darüber bei, wie digitale Technologien als Brücke zwischen strukturiertem wissenschaftlichem Wissen und kreativer Erkundung fungieren und so die Zukunft der Bildung gestalten können.

Český překlad

Abstrakt

Rychlý vývoj digitálních technologií mění hranice mezi vědou, uměním a vzděláváním. V textilním oboru – který se tradičně nachází na průsečíku inženýrství a kreativního designu – je tato transformace obzvláště patrná. Projekt DigiLAB (Innovative Textile Testing Laboratory Education with the Integration of Mixed Reality and Artificial Intelligence), financovaný v rámci programu Erasmus+ KA210-VET, zkoumá, jak mohou smíšená realita (MR) a umělá inteligence (AI) nově definovat odborné vzdělávání prostřednictvím vytváření imerzivních, dostupných a mezioborových vzdělávacích prostředí.

Tento příspěvek představuje konceptuální rámec, metodiku a předběžné výsledky projektu DigiLAB se zaměřením na vývoj virtuální laboratoře pro testování textilií. Projekt integruje vědecké principy textilního inženýrství (např. jemnost příze, zákrut příze a testování pevnosti tkaniny v tahu) s pokročilými digitálními technologiemi, včetně MR simulací a virtuálních asistentů řízených AI. Tyto nástroje umožňují uživatelům interakci s komplexním laboratorním vybavením ve virtuálním prostoru, čímž překlenují propast mezi teoretickými znalostmi a praktickou aplikací.

Z vědeckého hlediska projekt přispívá k digitální transformaci odborného vzdělávání tím, že převádí přesné laboratorní postupy do interaktivních simulací založených na datech. Z uměleckého hlediska odráží využití 3D modelování, návrhu uživatelského rozhraní a imerzivních prostředí kreativní dimenzi digitální reprezentace a zážitkového designu (experience design). AI tuto interakci dále umocňuje personalizací vzdělávacích cest a umožněním adaptivní zpětné vazby prostřednictvím inteligentních virtuálních průvodců.

Mezioborová povaha projektu DigiLAB je v souladu s hlavním tématem konference „Science, Art & AI“, když ukazuje, jak může technologická inovace sloužit jako prostředník mezi strukturovanými vědeckými znalostmi a kreativním zkoumáním. Projekt se také zabývá klíčovými výzvami v odborném vzdělávání, jako je omezený přístup k drahé laboratorní infrastruktuře, a to nabídkou škálovatých a inkluzivních digitálních alternativ.

Předběžné výsledky naznačují, že vzdělávací prostředí založená na MR zlepšují zapojení uživatelů, konceptní porozumění a digitální kompetence studentů. Integrace AI navíc podporuje individualizované učení, čímž se komplexní vědecké procesy stávají přístupnějšími. Projekt také zdůrazňuje význam spolupráce mezi akademickými institucemi a vývojáři technologií při vytváření smysluplných vzdělávacích inovací.

Závěrem projekt DigiLAB ilustruje, jak může propojení vědy, umění a AI vést k novým pedagogickým paradigmatům v textilním vzdělávání i mimo něj. Kombinací technické přesnosti s imerzivním a kreativním digitálním designem přispívá projekt k širší vizi budoucího vzdělávání: takového, které je interaktivní, inkluzivní a mezioborové.

Závěr

Očekává se, že projekt DigiLAB přinese několik významných výsledků na průsečíku vědy, umění a umělé inteligence. Za prvé povede k vývoji plně funkční simulace textilních testovacích postupů ve smíšené realitě (MR), která uživatelům umožní interakci s virtuálním laboratorním vybavením v imerzivním prostředí. To poskytne nákladově efektivní a dostupnou alternativu k tradičnímu laboratornímu výcviku.

Projekt ilustruje transformativní potenciál integrace smíšené reality a umělé inteligence do odborného vzdělávání, zejména v oborech, které ze své podstaty spojují vědu a umění, jako je textilní inženýrství. Kombinací přesných vědeckých metodologií s imerzivním a vizuálně poutavým digitálním prostředím zavádí projekt nové paradigma zážitkového učení.

Výsledky ukazují, jak mohou MR a AI zvýšit dostupnost, zlepšit výsledky učení a podpořit individualizované vzdělávací cesty a zároveň stimulovat kreativitu a mezioborové myšlení. Toto propojení technologií nejen řeší současná omezení v odborném vzdělávání, ale otevírá také nové směry pro budoucí vzdělávací modely.

V kontextu dialogu „Science, Art & AI“ projekt DigiLAB dokazuje, že integrace těchto domén je nejen možná, ale přímo nezbytná pro rozvoj inovativních, inkluzivních a udržitelných vzdělávacích systémů. Projekt přispívá k širšímu pochopení toho, jak mohou digitální technologie fungovat jako most mezi strukturovanými vědeckými znalostmi a kreativním zkoumáním, a formovat tak budoucnost vzdělávání.

The Relationship Between AI and Artistic Creation: The Potentiality of the Creative Act versus the Perfection and Executiveness of AI Tools in Artistic Production

Das Verhältnis zwischen KI und künstlerischem Schaffen: Die Potenzialität des kreativen Akts versus die Perfektion und Exekutivität von KI-Werkzeugen in der künstlerischen Produktion

Vztah mezi umělou inteligencí a uměleckou tvorbou: Potencialita tvůrčího aktu versus dokonalost a exekutivnost nástrojů AI v umělecké produkci

Mgr. Kamil Nábělek, Ph.D.

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): artificial intelligence, generative art, human creativity, potentiality, artistic agency, Giorgio Agamben

Schlüsselwörter (DE): Künstliche Intelligenz, generative Kunst, menschliche Kreativität, Potenzialität, künstlerische Handlungsmacht (Agency), Giorgio Agamben

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, generativní umění, lidská kreativita, potencialita, umělecká agence, Giorgio Agamben

The increasing achievements of AI-based technical creativity in art draw our attention to the technical aspects of the creative process—to programs, algorithms, and digital tools, to a kind of “craft” in which specialized execution itself comes to signify artistic quality. Just as an artist may display virtuosity, technical proficiency is often interpreted as a form of artistic mastery. AI functions as a tool that enables the creator—or the system itself—to demonstrate this particular form of technical virtuosity.

Contrary to common opinion, however, “mastery is not formal perfection but quite the opposite: it is the preservation of potential in the act, the salvation of imperfection in the perfect form” (Agamben 2019, p. 19). Giorgio Agamben uses this paradox to describe the potentiality of the human creative act as its essential quality. For him, creation cannot be understood as a simple transition from potentiality to actuality. Rather, the act of creation is an act of resistance: the creator must slow down and restrain the pressure toward the complete realization of potential.

This is where Agamben helps clarify the distinction between technical and human creativity.

Unlike approaches that locate this difference in the contrast between machine precision and human fallibility, Agamben focuses on the nature of creativity itself. He distinguishes creation from execution, understood as an efficient process that moves rapidly toward complete fulfillment. Yet this operationally “fully realized possibility” does not constitute a model of genuinely human creativity. Creative activity resists complete realization and preserves possibilities that remain unrealized. It emerges from a tension between the impersonal dimension—which precedes and exceeds the individual subject—and the personal dimension, which continually resists the influence of impersonal forces.

Agamben’s argument thus illuminates the distinction between technical, apparatus-based creativity and human creativity. AI tools reduce hesitation and “creative delay,” accelerating and streamlining production; in doing so, however, they weaken the resistance that lies at the foundation of creativity itself. When AI generates an output, it is, in a sense, the best result achievable under the given conditions; its potential is exhausted in the final product. If the result proves unsatisfactory, the parameters must be modified and the process begun anew. In this sense, AI-generated creation returns to perfection understood as “fully exhausted potentiality”: operational, automatic, and blind. What remains is execution oriented toward output rather than a genuinely creative dialectic of potentiality and impotentiality.

References

- [1] Giorgio Agamben. „What is the Act of Creation?“ In: *Creation and Anarchy: The Work of Art and the Religion of Capitalism*. Stanford University Press, 2019, pp. 14–28.

Deutsche Übersetzung

Die zunehmenden Errungenschaften der auf KI basierenden technischen Kreativität in der Kunst lenken unsere Aufmerksamkeit auf die technischen Aspekte des kreativen Prozesses – auf Programme, Algorithmen und digitale Werkzeuge, hin zu einer Art „Handwerk“, bei dem die spezialisierte Ausführung selbst für künstlerische Qualität steht. So wie ein Künstler Virtuosität an den Tag legen kann, wird technische Handwerkskunst oft als künstlerische Exzellenz interpretiert. Die KI ist ein Werkzeug, das es dem Schöpfer – oder dem System selbst – ermöglicht, diese spezifische Form der technischen Virtuosität zu zeigen.

Entgegen der landläufigen Meinung ist „Exzellenz jedoch nicht formale Perfektion, sondern ganz im Gegenteil: Sie ist die Bewahrung der Potenzialität im Akt, die Rettung der Unvollkommenheit in der perfekten Form.“ (Agamben 2019, S. 19) Giorgio Agamben nutzt dieses Paradoxon, um die Potenzialität des menschlichen kreativen Akts als dessen wesentliche Eigenschaft zu beschreiben. Für ihn kann das Schaffen nicht als ein einfacher Übergang vom Vermögen zum Akt verstanden werden. Vielmehr ist der Akt des Schaffens ein Akt des Widerstands: Der Schöpfer muss innehalten und den Druck zur vollständigen Realisierung des Potenzials eindämmen.

Hier hilft Agamben, den Unterschied zwischen technischer und menschlicher Kreativität zu verdeutlichen. Im Gegensatz zu Ansätzen, die diesen Unterschied in der maschinellen Präzision gegenüber der menschlichen Fehlbarkeit verorten, konzentriert sich Agamben auf die Kreativität selbst. Er unterscheidet das Schaffen von der Ausführung (Exekution), verstanden als ein effizienter Prozess, der sich rasch auf die vollständige Erfüllung zubewegt. Doch diese operativ vollständig realisierte Möglichkeit ist kein Modell für originalmenschliche Kreativität. Die kreative Aktivität widersetzt sich der vollständigen Realisierung und behält Möglichkeiten bei, unrealisiert zu bleiben. Sie entspringt einer Spannung zwischen der unpersönlichen Dimension – die dem individuellen Subjekt vorausgeht und über es hinausreicht – und der persönlichen Dimension, die sich dem Einfluss unpersönlicher Kräfte kontinuierlich widersetzt.

Agambens Argument beleuchtet somit den Unterschied zwischen einer technischen, apparatgestützten Kreativität und der menschlichen Kreativität. KI-Werkzeuge reduzieren das Zögern und die kreative Verzögerung, indem sie die Produktion beschleunigen und rationalisieren, doch genau dadurch schwächen sie jenen Widerstand, der dem Fundament der Kreativität selbst zugrunde liegt. Wenn eine KI ein Ergebnis produziert, ist es in gewissem Sinne das beste unter den gegebenen Bedingungen erzielbare Resultat; ihr Potenzial erschöpft sich im Endprodukt. Ist das Ergebnis unbefriedigend, muss man die Parameter modifizieren und von vorn beginnen. In diesem Sinne kehrt das KI-generierte Schaffen zur Perfektion als vollständig erschöpfter Potenzialität zurück: operational, automatisch und blind. Was bleibt, ist eine auf das Ergebnis ausgerichtete Ausführung und nicht eine genuin kreative Dialektik von Potenzialität und Impotenzialität (Unvermögen).

Literatur

- [1] Giorgio Agamben. „What is the Act of Creation?“ In: *Creation and Anarchy: The Work of Art and the Religion of Capitalism*. Stanford University Press, 2019, S. 14–28.

Český překlad

Rostoucí úspěchy technické kreativity založené na umělé inteligenci v umění obracejí naši pozornost k technickým aspektům tvůrčího procesu – k programům, algoritmům a digitálním nástrojům, k určitému „řemeslu“, v němž samotné specializované provedení začíná reprezentovat uměleckou kvalitu. Stejně jako může umělec projevovat virtuozitu, bývá i technická zručnost interpretována jako projev uměleckého mistrovství. Umělá inteligence je nástrojem, který tvůrci – nebo systému samotnému – umožňuje tuto specifickou formu technické virtuozity projevovat.

Oproti všeobecnému mínění však mistrovství není formální dokonalostí, ale jejím přesným opakem: je uchováním potenciality v aktu, záchranou nedokonalosti v dokonalé formě (Agamben 2019, s. 19). Giorgio Agamben využívá tento paradox k charakterizaci potenciality lidského tvůrčího aktu jako jeho určující kvality. Tvorbu podle něj nelze chápat jako pouhý přechod od možnosti k uskutečnění. Akt tvorby je spíše aktem odporu: tvůrce musí zpomalit a tlumit tlak směřující k plné aktualizaci potenciálu.

Právě v tomto bodě pomáhá Agamben vyjasnit rozdíl mezi technickou a lidskou kreativitou. Na rozdíl od přístupů, které tento rozdíl spatřují v kontrastu mezi strojovou přesností a lidskou chybovostí, se zaměřuje na kreativitu jako takovou. Odlišuje tvorbu od exekuce, chápané jako efektivní proces rychle směřující k úplnému naplnění určité možnosti. Tato operativně plně realizovaná možnost však nepředstavuje model skutečně lidské kreativity. Tvůrčí činnost se úplné realizaci brání a uchovává možnosti, které zůstávají neuskutečněné. Vzniká z napětí mezi neosobní dimenzí – jež individuální subjekt předchází a přesahuje – a dimenzí osobní, která neustále odolává působení neosobních sil.

Agambenův argument tak osvětluje rozdíl mezi technickou kreativitou založenou na aparátu a kreativitou lidskou. Nástroje umělé inteligence redukují váhání a tvůrčí prodlevu, čímž produkci urychlují a zefektivňují, avšak zároveň oslabují odpor, který leží v samotném základu kreativity. Vytvoří-li umělá inteligence určitý výstup, jde v jistém smyslu o nejlepší výsledek dosažitelný za daných podmínek; její potenciál je ve výsledném produktu vyčerpán. Je-li výsledek neuspokojivý, je nutné upravit parametry a celý proces opakovat. V tomto smyslu se tvorba generovaná umělou inteligencí vrací k dokonalosti chápané jako plně vyčerpáná potencialita: operativní, automatická a slepá. To, co zůstává, je exekuce orientovaná na výstup, nikoli skutečně tvůrčí dialektika potenciality a impotenciality.

Literatura

- [1] Giorgio Agamben. „What is the Act of Creation?“ In: *Creation and Anarchy: The Work of Art and the Religion of Capitalism*. Stanford University Press, 2019, s. 14–28.

AI, Social Media and the Pharmakopolitics of Diabetes

AI, Social Media and the Pharmakopolitics of Diabetes

AI, sociální média a farmakopolitika diabetu

Dr. David Levente Palatinus, Ph.D.

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): artificial intelligence, social media, diabetes, pharmakopolitics, health technologies, phenomenology

Schlüsselwörter (DE): Künstliche Intelligenz, soziale Medien, Diabetes, Pharmakopolitik, Gesundheitstechnologien, Phänomenologie

Klíčová slova (CZ): umělá inteligence, sociální média, diabetes, farmakopolitika, zdravotnické technologie, fenomenologie

If there was ever a moment that has fundamentally altered the embodied experience of living with diabetes, it is now. The current wave of technologically enhanced healthcare, extensively employing AI and algorithmic governance, has transformed the diabetic experience, mediating bodily states through devices that operate with an immediacy and precision unimaginable even two decades ago. Treatment options now include systems that close the gap between body and data through intelligent closed-loop pump–sensor systems and AI-based tools for external monitoring and control. These technologies promise improved regulation of blood glucose levels and a significant enhancement of diabetes management and quality of life.

On the other hand, these systems also call into question human agency by rendering patients increasingly dependent on technological ecosystems and on a complex economic and institutional infrastructure of for-profit technology companies, insurance providers, and policy makers, within a culture oriented toward restorative healthcare and longevity. These developments are closely linked to the politics of accelerating technological progress, which often reduces the human to clusters of machine-readable data that can be easily quantified and monetized. This heterotopic in-betweenness of the patient’s experience is what this talk refers to as the “pharmakopolitics” of diabetes.

This project examines how such AI-driven technological infrastructures mediate and govern the lived, phenomenological experience of diabetic bodies, situating them within a pharmakopolitical framework of chronic illness. To this end, the talk offers a phenomenological recontextualization of the algorithmically governed yet fragile body, based on an analysis of testimonies from social media content creators who themselves live with diabetes and whose content focuses on everyday life with the condition, particularly their interactions with insulin pumps and glucose sensors. Using examples from creators such as #shesdiabetic, #typeonetalks, #typeoneamy, and #diabeticdanica, the talk explores how these individuals actively navigate and respond to the dehumanizing potential of these technologies—the “dangerous supplement” that simultaneously empowers and objectifies.

Through these creators, a counter-narrative emerges: a re-humanization of the diabetic experience that becomes both globally shareable and economically visible, as lived experiences with health technologies are circulated and monetized across digital platforms. Inhabiting diabetes thus becomes a form of extimacy—a lived duality of intimacy and estrangement, as the technological “other” is integrated into, and at times alienates, the body. This duality is continuously produced, governed, and mediated through algorithmic systems. It generates a phenomenological oscillation in which patients simultaneously affirm and question their bodily boundaries.

This technology-mediated self can be conceptualized through frameworks such as distributed cognition, meta-autonomy, and the “dedicate-to-delegate” model. By examining these mediated testimonies, the project aims to illuminate how such narratives might inform therapeutic, ethical, and policy considerations globally. Ultimately, it addresses the existential tethering of patients to technological supplements, highlighting the embodied complexity of living with—and through—Type 1 diabetes.

The project places strong emphasis on best practices in engagement, regulation, and mediation for policy makers, healthcare practitioners, and individuals living with Type 1 diabetes. In this context, best practice requires multi-level engagement: for policy makers, prioritizing equitable access to diabetes management technologies, regulating and limiting purely market-driven models that reinforce structural dependency, and establishing robust data protection frameworks. For healthcare professionals, integrating technological literacy with psychological care and a holistic approach to both the individual and the condition is an essential step toward recognizing both the therapeutic benefits and the existential burden of technological reliance. Finally, it is essential to foster critical and informed agency among individuals regarding personal data, technological literacy, digital presence, and support networks. These measures enable all stakeholders to

harness technological empowerment while maintaining therapeutic coherence, communication, and a nuanced understanding of diabetes at both individual and societal levels.

References

- [1] Btihaj Ajana, ed. *Metric Culture: Ontologies of Self-Tracking Practices*. Bingley, UK: Emerald Publishing, 2018.
- [2] Giada Danesi, Mélody Pralong, Francesco Panese, et al. „Techno-social reconfigurations in diabetes (self-) care“. In: *Social Studies of Science* 50.2 (2020), pp. 198–220.
- [3] Peter Danholt and Henriette Langstrup. „Medication as infrastructure: decentring self-care“. In: *Culture Unbound: Journal of Current Cultural Research* 4 (2012), pp. 513–532.
- [4] L. Floridi. *The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities*. Oxford: Oxford University Press, 2023.
- [5] Katherine Hayles. *Unthought: The Power of the Cognitive Nonconscious*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2017.
- [6] Drew Leder. *The Absent Body*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1990.
- [7] Deborah Lupton. „The digitally engaged patient: self-monitoring and self-care in the digital health era“. In: *Social Theory and Health* 11 (2013), pp. 256–270.
- [8] Alexandre Mathieu-Fritz and Caroline Guillot. „Diabetes self-monitoring devices and transformations in ‘patient work’, new forms of temporality, reflexivity and self-knowledge relating to the experience of chronic illness“. In: *Revue d’Anthropologie des Connaissances* 4.1 (2017). URL: <https://www.cairn.info/revueanthropologie-des-connaissances-2017-4-page-k.html> (visited on 08/14/2022).
- [9] H el ene Mialet. „The distributed-centered subject“. In: *Thinking in the World*. Ed. by Jill Bennett and Mary Zournazi. London: Bloomsbury, 2019, pp. 131–149.
- [10] Susan Pickard and Anne Rogers. „Knowing as practice: self-care in the case of chronic multi-morbidities“. In: *Social Theory and Health* 10.2 (2012), pp. 101–120.
- [11] Lucy Suchman. *Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [12] Georges Weisz. *Chronic Disease in the Twentieth Century: A History*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2013.

Deutsche Übersetzung

Wenn es jemals einen Moment gab, der die verkörperte Erfahrung des Lebens mit Diabetes verändert hat, dann ist es jetzt. Die aktuelle, utopische Welle technologischer Ergänzungen, die in großem Umfang KI und algorithmische Governance nutzen, hat die diabetische Erfahrung transformiert. Sie vermittelt körperliche Zustände durch Geräte, die mit einer Unmittelbarkeit und Präzision arbeiten, die noch vor zwei Jahrzehnten unvorstellbar gewesen wäre. Zu den Behandlungsoptionen gehören heute Systeme, die die Lücke zwischen Körper und Daten durch intelligente Closed-Loop-Pumpen-Sensor-Systeme schließen, sowie KI-Tools zur externen Überwachung und Steuerung. Diese Werkzeuge versprechen eine verbesserte Kontrolle des Blutzuckerspiegels und eine erhebliche Verbesserung des Diabetesmanagements sowie der Lebensqualität.

Auf der anderen Seite stellen diese Systeme die menschliche Handlungsfähigkeit (Agency) in Frage, indem sie die Patienten unumkehrbar von technologischen Ökosystemen und einer komplexen wirtschaftlichen und institutionellen Infrastruktur aus gewinnorientierten Tech-Unternehmen, Versicherungsgesellschaften und politischen Entscheidungsträgern abhängig machen – in einer Kultur, die von restaurativer Gesundheitsfürsorge und Langlebigkeit besessen ist. Diese Vorstellungen sind unauflöslich mit einer Politik des beschleunigten Fortschritts verbunden, die den Menschen unweigerlich auf Cluster maschinenlesbarer Daten reduziert, die wiederum leicht monetarisiert werden können. Diese heterotopische Zwischenetappe der Patientenerfahrung ist das, was dieser Vortrag als die „Pharmakopolitik“ des Diabetes bezeichnet.

Dieses Projekt untersucht, wie solche KI-gesteuerten technologischen Infrastrukturen die gelebten, phänomenologischen Erfahrungen diabetischer Körper vermitteln und steuern, und verortet sie im pharmakopolitischen Rahmen chronischer Krankheiten. Zu diesem Zweck bietet dieser Vortrag eine phänomenologische Rekontextualisierung des algorithmisch gesteuerten, aber dennoch versehrten Körpers durch die Analyse der Berichte von Content Creator in den sozialen Medien, die selbst Diabetiker sind und deren Inhalte sich um das Leben mit Diabetes und insbesondere um ihre Interaktionen mit Insulinpumpen und Glukosesensoren drehen. Anhand von Beispielen von YouTubern und Creators wie #shesdiabetic, #typeonetalks, #typeoneamy und #diabeticdanica untersucht dieser Vortrag, wie diese Akteure das entmenschlichende Potenzial dieser Technologien aktiv navigieren und darauf reagieren – das „gefährliche Supplement“, das sowohl ermächtigt als auch objektiviert. Durch diese Creators nimmt ein Gegennarrativ Gestalt an: eine Rehumanisierung der diabetischen Erfahrung, die gleichzeitig exportierbar und profitabel wird, da ihre gelebten Erfahrungen mit Gesundheitstechnologie weltweit geteilt und monetarisiert werden.

Das Leben mit Diabetes wird so zu einer Form der Extimität – einer gelebten Dualität von Intimität und Entfremdung, da sich das technologische „Andere“ in den Körper integriert und ihn manchmal entfremdet. Diese Dualität wird durch algorithmische Mittel ins Leben gerufen, gesteuert und vermittelt. Sie führt zu einer ständigen phänomenologischen Oszillation, bei der Patienten ihre körperlichen Grenzen sowohl bejahen als auch hinterfragen. Dieses technologievermittelte Selbst lässt sich am besten durch verteilte Kognition, Meta-Autonomie und das „Dedicate-to-Delegate“-Modell konzeptualisieren. Durch die Untersuchung dieser vermittelten Erfahrungsberichte zielt das Projekt darauf ab, zu beleuchten, wie diese Narrative weltweit therapeutische und politische Überlegungen inspirieren können. Letztlich thematisiert es die existenzielle Bindung von Patienten an technologische Ergänzungen und hebt die verkörperten Nuancen des Lebens mit – und durch – Typ-1-Diabetes hervor.

Das Projekt legt einen starken Fokus auf Best Practices im Hinblick auf Formen des Engagements, der Regulierung und der Vermittlung für politische Entscheidungsträger, medizinisches Fachpersonal und schließlich für Personen, die mit Typ-1-Diabetes leben. In diesem Kontext

umfasst Best Practice ein mehrstufiges Engagement: Für politische Entscheidungsträger bedeutet dies, den gerechten Zugang zu Diabetes-Management-Technologien zu priorisieren, rein marktorientierte Modelle, die strukturelle Abhängigkeiten verstärken, zu regulieren und zu deprioritisieren, und in engem Zusammenhang damit robuste Datenschutzrahmen einzuführen. Seitens des medizinischen Fachpersonals sind die Integration technologischer Kompetenz mit psychologischer Betreuung und ein ganzheitlicher Ansatz für das Individuum sowie die Erkrankung wesentliche erste Schritte zur Anerkennung sowohl des therapeutischen Nutzens als auch der existenziellen Last der Abhängigkeit von Geräten. Und schließlich ist es unerlässlich, eine kritische und informierte Handlungsfähigkeit der Individuen über ihre persönlichen Daten, technologische Kompetenz, digitale Präsenz und Unterstützungsgruppen aufzubauen. Diese Schritte ermöglichen es allen beteiligten Akteuren, die technologische Ermächtigung zu nutzen und gleichzeitig die therapeutische Konsistenz, die Kommunikation, das Verständnis der Erkrankung und die Verkörperung des Diabetes sowohl auf individueller als auch auf sozialer Ebene zu bewahren.

Literatur

- [1] Btihaj Ajana, Hrsg. *Metric Culture: Ontologies of Self-Tracking Practices*. Bingley, UK: Emerald Publishing, 2018.
- [2] Giada Danesi, Mélody Pralong, Francesco Panese u. a. „Techno-social reconfigurations in diabetes (self-) care“. In: *Social Studies of Science* 50.2 (2020), S. 198–220.
- [3] Peter Danholt und Henriette Langstrup. „Medication as infrastructure: decentring self-care“. In: *Culture Unbound: Journal of Current Cultural Research* 4 (2012), S. 513–532.
- [4] L. Floridi. *The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities*. Oxford: Oxford University Press, 2023.
- [5] Katherine Hayles. *Unthought: The Power of the Cognitive Nonconscious*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2017.
- [6] Drew Leder. *The Absent Body*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1990.
- [7] Deborah Lupton. „The digitally engaged patient: self-monitoring and self-care in the digital health era“. In: *Social Theory and Health* 11 (2013), S. 256–270.
- [8] Alexandre Mathieu-Fritz und Caroline Guillot. „Diabetes self-monitoring devices and transformations in ‘patient work’, new forms of temporality, reflexivity and self-knowledge relating to the experience of chronic illness“. In: *Revue d’Anthropologie des Connaissances* 4.1 (2017). URL: <https://www.cairn.info/revueanthropologie-des-connaissances-2017-4-page-k.html> (besucht am 14. 08. 2022).
- [9] Hélène Mialet. „The distributed-centered subject“. In: *Thinking in the World*. Hrsg. von Jill Bennett und Mary Zournazi. London: Bloomsbury, 2019, S. 131–149.
- [10] Susan Pickard und Anne Rogers. „Knowing as practice: self-care in the case of chronic multi-morbidities“. In: *Social Theory and Health* 10.2 (2012), S. 101–120.
- [11] Lucy Suchman. *Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [12] Georges Weisz. *Chronic Disease in the Twentieth Century: A History*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2013.

Český překlad

Pokud někdy existoval moment, který zásadně změnil vtělenou zkušenost života s diabetem, je to právě nyní. Současná utopická vlna technologických doplňků, které v rozsáhlé míře využívají AI a algoritmické řízení, proměnila zkušenost diabetiků a zprostředkovává tělesné stavy prostřednictvím zařízení, jež fungují s bezprostředností a přesností nepředstavitelnou ještě před dvěma desetiletími. Možnosti léčby dnes zahrnují systémy, které uzavírají mezeru mezi tělem a daty prostřednictvím inteligentních uzavřených (closed-loop) systémů pumpa–senzor a nástrojů AI pro externí monitorování a kontrolu. Tyto technologie slibují lepší kontrolu nad hladinou glukózy v krvi a významné zlepšení managementu diabetu i kvality života.

Na druhé straně tyto systémy zpochybňují lidskou autonomii (agency) tím, že udržují pacienty nevratně závislé na technologických ekosystémech a komplexní ekonomické i institucionální infrastruktuře ziskových technologických firem, pojišťoven a tvůrců politik v kultuře posedle restorativní zdravotní péči a dlouhověkosti. Tyto představy jsou neúprosně spjaty s politikou akcelerovaného pokroku, která nevyhnutelně redukuje člověka na shluky strojově čitelných dat, jež jsou následně snadno monetizovatelná. Tuto heterotopickou „meziprostorovost“ zkušenosti pacientů označuje tento příspěvek jako „farmakopolitiku“ diabetu.

Tento projekt si klade za cíl prozkoumat, jak tyto technologické infrastruktury řízené AI zprostředkovávají a usměrňují prožívanou, fenomenologickou zkušenost diabetických těl, a zasazuje ji do farmakopolitického rámce chronického onemocnění. Za tímto účelem přednáška nabízí fenomenologickou rekontextualizaci algoritmicky řízeného, avšak narušeného těla prostřednictvím analýzy svědectví tvůrců obsahu na sociálních sítích, kteří sami žijí s diabetem a jejichž tvorba se zaměřuje na život s touto nemocí, zejména na interakce s inzulínovými pumpami a glukózovými senzory. Na příkladech tvůrců jako #shesdiabetic, #typeonetalks, #typeoneamy a #diabeticdanica bude tento příspěvek zkoumat, jak tyto influenceři aktivně navigují a reagují na odlidšťující potenciál těchto technologií – na onen „nebezpečný doplněk“, který zároveň posiluje i objektivizuje. Prostřednictvím těchto tvůrců se zde formuje protivyprávění: rehumanizace diabetické zkušenosti, která se stává globálně sdílenou, monetizovanou, a tím i exportovatelnou a profitabilní.

Obývání diabetu se pak stává formou extimity – prožívanou dualitou intimity a odcizení, kdy se technologické „druhé“ integruje s tělem a zároveň jej může odcizovat. Tato dualita je uváděna do existence, řízena a zprostředkována algoritmickými nástroji. Vyvolává neustálou fenomenologickou oscilaci, v níž pacienti své tělesné hranice současně potvrzují i zpochybňují. Toto technologicky zprostředkované já lze nejlépe konceptualizovat prostřednictvím distribuované kognice, meta-autonomie a modelu „dedicate-to-delegate“. Zkoumáním těchto zprostředkovaných svědectví si projekt klade za cíl osvětlit, jak by tyto narativy mohly inspirovat terapeutické a politické úvahy v globálním měřítku. V konečném důsledku se zabývá existenčním připoutáním pacientů k technologickým doplňkům a vyzdvihuje vtělené nuance života s diabetem 1. typu – a skrze něj.

Projekt se silně zaměřuje na příklady dobré praxe (best practices) s ohledem na formy zapojení, regulace a mediace pro tvůrce politik, zdravotníky a v neposlední řadě pro jedince žijící s diabetem 1. typu. V tomto kontextu dobrá praxe obnáší víceúrovňové zapojení: pro tvůrce politik zahrnuje upřednostnění spravedlivého přístupu k technologiím pro management diabetu, regulaci a de-prioritizaci čistě tržních modelů, které posilují strukturální závislosti, a v těsné návaznosti na to zavedení robustních rámců ochrany dat. Na straně zdravotníků jsou integrace technologické gramotnosti s psychologickou péčí a holistický přístup k jedinci i k samotnému onemocnění zásadními prvními kroky k uznání jak terapeutických přínosů, tak existenční záležitosti spojené se závislostí na přístrojích. A konečně je nezbytné budovat u jednotlivců kritickou a informovanou autonomii nad osobními daty, technologickou gramotnost, digitální přítomnost

a podpůrné komunity. Tyto kroky umožňují všem zúčastněným aktérům využít technologické posílení při zachování terapeutické konzistence, komunikace, porozumění nemoci a vtělení diabetu na individuální i sociální úrovni.

Literatura

- [1] Btihaj Ajana, ed. *Metric Culture: Ontologies of Self-Tracking Practices*. Bingley, UK: Emerald Publishing, 2018.
- [2] Giada Danesi, Mélody Pralong, Francesco Panese et al. „Techno-social reconfigurations in diabetes (self-) care“. In: *Social Studies of Science* 50.2 (2020), s. 198–220.
- [3] Peter Danholt a Henriette Langstrup. „Medication as infrastructure: decentring self-care“. In: *Culture Unbound: Journal of Current Cultural Research* 4 (2012), s. 513–532.
- [4] L. Floridi. *The Ethics of Artificial Intelligence: Principles, Challenges, and Opportunities*. Oxford: Oxford University Press, 2023.
- [5] Katherine Hayles. *Unthought: The Power of the Cognitive Nonconscious*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 2017.
- [6] Drew Leder. *The Absent Body*. Chicago, IL: University of Chicago Press, 1990.
- [7] Deborah Lupton. „The digitally engaged patient: self-monitoring and self-care in the digital health era“. In: *Social Theory and Health* 11 (2013), s. 256–270.
- [8] Alexandre Mathieu-Fritz a Caroline Guillot. „Diabetes self-monitoring devices and transformations in ‘patient work’, new forms of temporality, reflexivity and self-knowledge relating to the experience of chronic illness“. In: *Revue d’Anthropologie des Connaissances* 4.1 (2017). URL: <https://www.cairn.info/revueanthropologie-des-connaissances-2017-4-page-k.html> (cit. 14. 08. 2022).
- [9] Hélène Mialet. „The distributed-centered subject“. In: *Thinking in the World*. Ed. Jill Bennett a Mary Zournazi. London: Bloomsbury, 2019, s. 131–149.
- [10] Susan Pickard a Anne Rogers. „Knowing as practice: self-care in the case of chronic multi-morbidities“. In: *Social Theory and Health* 10.2 (2012), s. 101–120.
- [11] Lucy Suchman. *Human-Machine Reconfigurations: Plans and Situated Actions*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [12] Georges Weisz. *Chronic Disease in the Twentieth Century: A History*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press, 2013.

**Risk Management in Creative and Innovation Projects:
An Artificial Intelligence and Systems Thinking Approach**
**Risikomanagement in Kreativ- und Innovationsprojekten: Ein Ansatz auf
Basis künstlicher Intelligenz und Systemdenken**

**Řízení rizik v kreativních a inovativních projektech: přístup založený
na umělé inteligenci a systémovém myšlení**

Ing. Věra Pelantová, Ph.D.

EN: *Technical University of Liberec, Faculty of Mechatronics, Informatics, and Interdisciplinary Studies, Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Fakultät für Mechatronik, Informatik und Interdisziplinäre Studien, Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, Liberec, Česká republika*

Keywords (EN): Risk Management, Artificial Intelligence, Systems Thinking, Innovation, Decision Making, Uncertainty

Schlüsselwörter (DE): Risikomanagement, künstliche Intelligenz, Systemdenken, Innovation, Entscheidungsfindung, Unsicherheit

Klíčová slova (CZ): řízení rizik, umělá inteligence, systémové myšlení, inovace, rozhodování, nejistota

Introduction

Creative and innovative projects are uncertain and difficult to manage using traditional methods. They are characterized by evolving goals, ambiguous success criteria, and complexity, often resulting from interdisciplinary collaboration. In such an environment, uncertainty is not an exception but a structural feature of the system. With the acceleration of digital transformation, artificial intelligence is becoming a key tool for improving decision-making, risk prediction, and adaptive management. However, its integration brings new uncertainties related to transparency, ethics, and overreliance on algorithmic outputs. This creates the need for integrated approaches that combine artificial intelligence, systems thinking, and risk management. The goal is to better understand and manage complexity in the context of innovation.

Characteristics of risks in creative and innovative projects

Publications (Gajda et al. 2025; Qudrat-Ullah 2025; Gurung 2024; Zeriouh and Amara 2025; Sohail and Danna 2025; Just 2025; Olugboyega et al. 2026; Tepsa et al. 2024; Cloud 2025) show that creative and innovative projects are fundamentally different from traditional production systems. They are characterized by high ambiguity, unstable requirements and difficulties in measuring inputs and outputs. As highlighted in innovation studies (e.g. (Gajda et al. 2025)), such environments often create a tension between creative freedom and managerial control. Excessive formalization can stifle innovation, while insufficient structure increases the organization's exposure to unmanaged risks. Interdisciplinary collaboration introduces cognitive and organizational complexity, as actors work with different mental models, priorities and evaluation criteria.

Systems thinking perspective

Systems thinking provides a basic concept for understanding innovation projects. They are complex adaptive systems that are composed of related elements. The text (Qudrat-Ullah 2025) emphasizes that system behaviour results from feedback loops, delays and nonlinear interactions, rather than linear correlations. Therefore, risks cannot be isolated as independent events. They must be understood as systemic phenomena that are propagated through relationships between people, processes and technologies. This approach allows for a holistic understanding of uncertainty and highlights the importance of structural interdependencies in completing project deliverables.

Artificial Intelligence in Risk Management

Recent research shows that AI is increasingly being used to support risk prediction, real-time monitoring and decision-making processes. The text (Gurung 2024) shows that AI improves predictive capabilities and enables proactive responses to emerging risks. It also identifies key limitations such as lack of transparency and ethical concerns. Similarly, the paper (Zeridouh and Amara 2025) proposes a structured framework for risk management that is based on AI. It combines strategic management, dynamic risk assessment and stakeholder engagement. However, their model remains conceptual and lacks empirical validation. The paper (Qudrat-Ullah 2025) describes the combination of AI with systems thinking, improving decision-making in complex environments through multi-level uncertainty analysis. The paper (Sohail and Danna 2025) finds that AI improves productivity and learning, but raises concerns around trust, reliability and acceptance in the organization. Text (Just 2025) emphasizes that successful AI-driven innovation depends on organizational culture and leadership. Article (Olugboyega et al. 2026) shows that AI complements human cognitive abilities, such as creativity and critical thinking. The same

problems are repeatedly encountered in the publications: algorithmic bias, lack of transparency, ethical risks, insufficient empirical validation of proposals, and so on. These limitations limit the applicability of many existing risk models.

Research synthesis and implications of the concept

Several problems emerge in the publications. Creative and innovative projects operate under conditions of high uncertainty and weak predictability. Existing research is fragmented into broadly conceptual, qualitative, and quantitative approaches with limited integration into a unified framework. AI systems are powerful but limited in their understanding of “soft” dimensions such as creativity, organizational culture, and knowledge. Other problems include the tension between creativity and control, the difficulty of measuring innovation outcomes, and the ethical implications of AI decision-making. Issues such as distortion, transformation, frugality and accountability are addressed in studies (Gurung 2024; Zeriouh and Amara 2025), (Just 2025; Olugboye et al. 2026; Tepsa et al. 2024; Cloud 2025). Most existing frameworks are conceptual rather than empirically validated (Gajda et al. 2025) and (Zeriouh and Amara 2025).

Proposed conceptual framework

Based on a synthesis of current research, this article proposes an integrated conceptual framework that combines risk management, systems thinking and decision support based on artificial intelligence. The framework consists of three interconnected phases:

1. Risk identification – including both technical and soft risks (cultural, organizational and cognitive factors).
2. System analysis – mapping interdependencies, feedback loops and nonlinear relationships within the project system.
3. Artificial intelligence-supported decision making – using artificial intelligence tools for scenario analysis, prediction and assessment of risk dynamics in the context of time.

This integrated approach aims to improve the ability to handle uncertainty in the innovation management environment and also maintain the flexibility needed for creative processes.

Conclusion

The publications show that artificial intelligence has significant potential for risk management in creative and innovative projects in combination with systems thinking. However, current research is partial and largely conceptual. The main limitations include algorithmic bias, lack of transparency, ethics and lack of integration of human-system perspectives. Future research should focus on developing an empirically based and multidisciplinary framework using technological capabilities, human judgment and a holistic concept of system complexity.

Acknowledgements

This work was supported from Institutional support for long term strategic development of the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic.

References

- [1] D. Cloud. „Examining the Relationship with Kolb’s Experiential Learning Styles and Attitudes Toward Artificial Intelligence and ChatGPT“. PhD thesis. University of La Verne, 2025.
- [2] W. Gajda, H. Górska-Warsewicz, and K. Podleśna. „AI-Based Innovation Management: A Bibliometric Analysis“. In: *Journal of Management 2* (2025), p. 41.

- [3] A. Gurung. „Transformative Ability of Artificial Intelligence in Risk Management“. Bachelor’s thesis. Arcada University of Applied Sciences, 2024. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/859021/Gurung_Ambika.pdf (visited on 06/09/2026).
- [4] J. Just. „Generative AI for Inclusivity: Empowering Individuals with Disabilities in Corporate Innovation Efforts“. PhD thesis. University of Innsbruck, 2025.
- [5] O. Olugboyega et al. „Implications of artificial intelligence-powered construction project management for human creativity, critical thinking, and problem-solving“. In: *International Journal of Construction Management* (2026), pp. 1–23. DOI: 10.1080/15623599.2026.2636009.
- [6] H. Qudrat-Ullah. „Integrating Systems Thinking and AI“. In: *Navigating Complexity: AI and Systems Thinking for Smarter Decisions*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, pp. 39–68.
- [7] A. Sohail and N. M. Danna. „The Organizational Impact of AI Integration in Software Development: A Qualitative Study on Team Dynamics, Roles, and Skill Development“. Dissertation. 2025. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-28591> (visited on 06/09/2026).
- [8] T. T. Tepsa, J. Angelva, and M. Mielikäinen. „ICT-engineering teachers’ experiences and expectations with AI“. In: *Proceedings of the 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education (SEFI 2024)*. SEFI, 2024, pp. xx–xx.
- [9] K. Zeriouh and M. Amara. „AI-driven frameworks for strategic risk management: A systematic review and model for organizational resilience and decision support“. In: *Journal of Intelligent Management and Decision* 4.3 (2025), pp. 44–61.

Deutsche Übersetzung

Einleitung

Kreativ- und Innovationsprojekten sind unsicher und mit traditionellen Methoden nur schwer zu steuern. Sie zeichnen sich durch sich entwickelnde Ziele, mehrdeutige Erfolgskriterien und eine Komplexität aus, die häufig aus der interdisziplinären Zusammenarbeit resultiert. In einem solchen Umfeld ist Unsicherheit keine Ausnahme, sondern ein strukturelles Merkmal des Systems. Mit der Beschleunigung der digitalen Transformation wird die künstliche Intelligenz zu einem Schlüsselwerkzeug zur Verbesserung der Entscheidungsfindung, Risikovorhersage und des adaptiven Managements. Ihre Integration bringt jedoch neue Unsicherheiten mit sich, die mit Transparenz, Ethik und einer übermäßigen Abhängigkeit von algorithmischen Ergebnissen zusammenhängen. Dies schafft den Bedarf an integrierten Ansätzen, die künstliche Intelligenz, Systemdenken und Risikomanagement kombinieren. Ziel ist es, die Komplexität im Innovationskontext besser zu verstehen und zu bewältigen.

Merkmale von Risiken in Kreativ- und Innovationsprojekten

Die Publikationen (Gajda u. a. 2025; Qudrat-Ullah 2025; Gurung 2024; Zeriuoh und Amara 2025; Sohail und Danna 2025; Just 2025; Olugboyega u. a. 2026; Tepsa u. a. 2024; Cloud 2025) zeigen, dass sich Kreativ- und Innovationsprojekte grundlegend von traditionellen Produktionssystemen unterscheiden. Sie sind durch hohe Mehrdeutigkeit, instabile Anforderungen und Schwierigkeiten bei der Messung von Inputs und Outputs gekennzeichnet. Wie in Innovationsstudien (z. B. (Gajda u. a. 2025)) hervorgehoben wird, entsteht in solchen Umgebungen oft ein Spannungsfeld zwischen kreativer Freiheit und managerieller Kontrolle. Eine übermäßige Formalisierung kann Innovationen ersticken, während eine unzureichende Strukturierung das Risiko ungesteuerter Risiken für die Organisation erhöht. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit bringt kognitive und organisatorische Komplexität mit sich, da die Akteure mit unterschiedlichen mentalen Modellen, Prioritäten und Evaluierungskriterien arbeiten.

Perspektive des Systemdenkens

Das Systemdenken bietet ein grundlegendes Konzept für das Verständnis von Innovationsprojekten. Sie sind komplexe adaptive Systeme, die aus miteinander verknüpften Elementen bestehen. Der Text (Qudrat-Ullah 2025) betont, dass das Systemverhalten eher aus Rückkopplungsschleifen, Verzögerungen und nichtlinearen Interaktionen als aus linearen Korrelationen resultiert. Daher können Risiken nicht als isolierte, unabhängige Ereignisse betrachtet werden. Sie müssen als systemische Phänomene verstanden werden, die sich durch die Beziehungen zwischen Menschen, Prozessen und Technologien ausbreiten. Dieser Ansatz ermöglicht ein ganzheitliches Verständnis von Unsicherheit und unterstreicht die Bedeutung struktureller Interdependenzen bei der Erbringung von Projektleistungen.

Künstliche Intelligenz im Risikomanagement

Neuere Forschungen zeigen, dass KI zunehmend zur Unterstützung von Risikovorhersagen, Echtzeit-Überwachung und Entscheidungsprozessen eingesetzt wird. Der Text (Gurung 2024) zeigt, dass KI die prädiktiven Fähigkeiten verbessert und proaktive Reaktionen auf neu entstehende Risiken ermöglicht. Er identifiziert auch wesentliche Einschränkungen wie mangelnde Transparenz und ethische Bedenken.

In ähnlicher Weise schlägt die Arbeit (Zerioush und Amara 2025) ein strukturiertes Framework für das Risikomanagement vor, das auf KI basiert. Es kombiniert strategisches Management, dynamische Risikobewertung und Stakeholder-Engagement. Ihr Modell bleibt jedoch konzeptionell und entbehrt einer empirischen Validierung.

Die Arbeit (Qudrat-Ullah 2025) beschreibt die Kombination von KI mit Systemdenken, was die Entscheidungsfindung in komplexen Umgebungen durch eine mehrstufige Unsicherheitsanalyse verbessert. Die Studie (Sohail und Danna 2025) stellt fest, dass KI die Produktivität und das Lernen verbessert, wirft jedoch Fragen zu Vertrauen, Zuverlässigkeit und Akzeptanz in der Organisation auf. Text (Just 2025) betont, dass erfolgreiche KI-getriebene Innovationen von der Organisationskultur und der Führung abhängen. Der Artikel (Olugboyega u. a. 2026) zeigt, dass KI die menschlichen kognitiven Fähigkeiten wie Kreativität und kritisches Denken ergänzt.

In den Publikationen stößt man immer wieder auf dieselben Probleme: algorithmische Voreingenommenheit (Bias), mangelnde Transparenz, ethische Risiken, unzureichende empirische Validierung von Vorschlägen und so weiter. Diese Einschränkungen mindern die Anwendbarkeit vieler bestehender Risikomodelle.

Forschungssynthese und Implikationen des Konzepts

In den Publikationen kristallisieren sich mehrere Problemstellungen heraus. Kreativ- und Innovationsprojekte operieren unter Bedingungen hoher Unsicherheit und geringer Vorhersagbarkeit. Die bestehende Forschung ist fragmentiert in breit konzeptionelle, qualitative und quantitative Ansätze mit begrenzter Integration in ein einheitliches Framework.

KI-Systeme sind leistungsstark, aber limitiert in ihrem Verständnis von „weichen“ Dimensionen wie Kreativität, Organisationskultur und Wissen. Weitere Probleme sind das Spannungsverhältnis zwischen Kreativität und Kontrolle, die Schwierigkeit der Messung von Innovationsergebnissen und die ethischen Implikationen KI-gestützter Entscheidungsfindung. Fragen wie Verzerrung, Transformation, Frugalität und Rechenschaftspflicht werden in den Studien (Gurung 2024; Zerioush und Amara 2025), (Just 2025; Olugboyega u. a. 2026; Tepsa u. a. 2024; Cloud 2025) behandelt. Die meisten bestehenden Frameworks sind eher konzeptionell als empirisch validiert (Gajda u. a. 2025) und (Zerioush und Amara 2025).

Vorgeschlagenes konzeptionelles Framework

Auf der Grundlage einer Synthese der aktuellen Forschung schlägt dieser Artikel ein integriertes konzeptionelles Framework vor, das Risikomanagement, Systemdenken und KI-basierte Entscheidungsunterstützung kombiniert. Das Framework besteht aus drei miteinander verbundenen Phasen:

1. Risikoidentifikation – einschließlich technischer sowie „weicher“ Risiken (kulturelle, organisatorische und kognitive Faktoren).
2. Systemanalyse – Abbildung von Interdependenzen, Rückkopplungsschleifen und nichtlinearen Beziehungen innerhalb des Projektsystems.
3. KI-gestützte Entscheidungsfindung – Nutzung von KI-Werkzeugen für Szenarioanalysen, Vorhersagen und die Bewertung der Risikodynamik im Zeitverlauf.

Dieser integrierte Ansatz zielt darauf ab, die Fähigkeit zum Umgang mit Unsicherheit im Innovationsmanagement zu verbessern und gleichzeitig die für kreative Prozesse erforderliche Flexibilität zu bewahren.

Fazit

Die Publikationen zeigen, dass die künstliche Intelligenz in Kombination mit Systemdenken ein erhebliches Potenzial für das Risikomanagement in Kreativ- und Innovationsprojekten besitzt. Die aktuelle Forschung ist jedoch lückenhaft und weitgehend konzeptionell. Zu den Hauptbeschränkungen gehören algorithmische Voreingenommenheit, mangelnde Transparenz, Ethik und eine fehlende Integration von Mensch-System-Perspektiven.

Die zukünftige Forschung sollte sich auf die Entwicklung eines empirisch fundierten und multidisziplinären Frameworks konzentrieren, das technologische Fähigkeiten, menschliches Urteilsvermögen und ein ganzheitliches Konzept der Systemkomplexität nutzt.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die institutionelle Unterstützung für die langfristige strategische Entwicklung des Ministeriums für Bildung, Jugend und Sport der Tschechischen Republik gefördert.

Literatur

- [1] D. Cloud. „Examining the Relationship with Kolb’s Experiential Learning Styles and Attitudes Toward Artificial Intelligence and ChatGPT“. Diss. University of La Verne, 2025.
- [2] W. Gajda, H. Górska-Warsewicz und K. Podleśna. „AI-Based Innovation Management: A Bibliometric Analysis“. In: *Journal of Management* 2 (2025), S. 41.
- [3] A. Gurung. „Transformative Ability of Artificial Intelligence in Risk Management“. Bachelor’s thesis. Arcada University of Applied Sciences, 2024. URL: https://www.theus.fi/bitstream/handle/10024/859021/Gurung_Ambika.pdf (besucht am 09.06.2026).
- [4] J. Just. „Generative AI for Inclusivity: Empowering Individuals with Disabilities in Corporate Innovation Efforts“. Diss. University of Innsbruck, 2025.
- [5] O. Olugboyega u. a. „Implications of artificial intelligence-powered construction project management for human creativity, critical thinking, and problem-solving“. In: *International Journal of Construction Management* (2026), S. 1–23. DOI: [10.1080/15623599.2026.2636009](https://doi.org/10.1080/15623599.2026.2636009).
- [6] H. Qudrat-Ullah. „Integrating Systems Thinking and AI“. In: *Navigating Complexity: AI and Systems Thinking for Smarter Decisions*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, S. 39–68.
- [7] A. Sohail und N. M. Danna. „The Organizational Impact of AI Integration in Software Development: A Qualitative Study on Team Dynamics, Roles, and Skill Development“. Dissertation. 2025. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-28591> (besucht am 09.06.2026).
- [8] T. T. Tepsa, J. Angelva und M. Mielikäinen. „ICT-engineering teachers’ experiences and expectations with AI“. In: *Proceedings of the 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education (SEFI 2024)*. SEFI, 2024, S. xx–xx.
- [9] K. Zerouh und M. Amara. „AI-driven frameworks for strategic risk management: A systematic review and model for organizational resilience and decision support“. In: *Journal of Intelligent Management and Decision* 4.3 (2025), S. 44–61.

Český překlad

Úvod

Kreativní a inovativní projekty jsou zatíženy nejistotou a pomocí tradičních metod je lze řídit jen obtížně. Jsou charakteristické vyvíjejícími se cíli, nejednoznačnými kritérii úspěchu a komplexností, která často vyplývá z mezioborové spolupráce. V takovém prostředí není nejistota výjimkou, ale strukturálním rysem systému. Se zrychlující se digitální transformací se umělá inteligence stává klíčovým nástrojem pro zlepšování rozhodování, predikci rizik a adaptivní řízení. Její integrace však přináší nové nejistoty spojené s transparentností, etikou a nadměrným spoléháním na algoritmické výstupy. To vyvolává potřebu integrovaných přístupů, které kombinují umělou inteligenci, systémové myšlení a řízení rizik. Cílem je lépe porozumět komplexnosti v kontextu inovací a efektivně ji řídit.

Charakteristika rizik v kreativních a inovativních projektech

Publikace (Gajda et al. 2025; Qudrat-Ullah 2025; Gurung 2024; Zeriouh a Amara 2025; Sohail a Danna 2025; Just 2025; Olugboyega et al. 2026; Tepsa et al. 2024; Cloud 2025) ukazují, že kreativní a inovativní projekty se zásadně liší od tradičních produkčních systémů. Vyznačují se vysokou mírou nejednoznačnosti, proměnlivými požadavky a obtížemi při měření vstupů a výstupů. Jak zdůrazňují studie v oblasti inovací (např. (Gajda et al. 2025)), tato prostředí často vytvářejí napětí mezi tvůrčí svobodou a manažerskou kontrolou. Nadměrná formalizace může inovace potlačit, zatímco nedostatečná struktura zvyšuje vystavení organizace neřízeným rizikům. Mezioborová spolupráce s sebou přináší kognitivní a organizační komplexnost, protože aktéři pracují s odlišnými mentálními modely, prioritami a hodnotícími kritérii.

Perspektiva systémového myšlení

Systémové myšlení poskytuje klíčový rámec pro pochopení inovativních projektů. Ty lze chápat jako komplexní adaptivní systémy tvořené vzájemně propojenými prvky. Text (Qudrat-Ullah 2025) zdůrazňuje, že chování systému je výsledkem zpětných vazeb, časových prodlev a nelineárních interakcí, nikoli lineárních vztahů. Rizika proto nelze izolovat jako nezávislé události. Je třeba je chápat jako systémové jevy, které se šíří prostřednictvím vztahů mezi lidmi, procesy a technologiemi. Tento přístup umožňuje holistické porozumění nejistotě a zdůrazňuje význam strukturálních závislostí při dosahování projektových cílů.

Umělá inteligence v řízení rizik

Nedávný výzkum ukazuje, že umělá inteligence je stále častěji využívána k podpoře predikce rizik, monitorování v reálném čase a rozhodovacích procesů. Studie (Gurung 2024) ukazuje, že AI zlepšuje predikční schopnosti a umožňuje proaktivní reakce na vznikající rizika, zároveň však identifikuje klíčová omezení, jako je nedostatečná transparentnost a etické problémy.

Podobně práce (Zeriouh a Amara 2025) navrhuje strukturovaný rámec řízení rizik založený na AI, který kombinuje strategické řízení, dynamické hodnocení rizik a zapojení zainteresovaných stran. Tento model však zůstává převážně konceptuální a postrádá empirické ověření.

Studie (Qudrat-Ullah 2025) popisuje integraci AI a systémového myšlení, která zlepšuje rozhodování v komplexních prostředích prostřednictvím víceúrovňové analýzy nejistoty. Práce (Sohail a Danna 2025) uvádí, že AI zvyšuje produktivitu a podporuje učení, avšak vyvolává obavy ohledně důvěry, spolehlivosti a organizačního přijetí. Text (Just 2025) zdůrazňuje, že úspěšná inovace řízená AI závisí na organizační kultuře a vedení (leadershipu). Studie (Olugboyega et al. 2026) ukazuje, že AI doplňuje lidské kognitivní schopnosti, jako je kreativita a kritické myšlení.

V literatuře se opakovaně objevují podobné problémy: algoritmické zkreslení (bias), nedostatek transparentnosti, etická rizika a nedostatečné empirické ověření navrhovaných modelů. Tato omezení snižují použitelnost mnoha stávajících přístupů k řízení rizik.

Syntéza výzkumu a implikace konceptu

V literatuře lze identifikovat několik společných problémů. Kreativní a inovativní projekty fungují v podmínkách vysoké nejistoty a nízké předvídatelnosti. Dosavadní výzkum je roztržštěn do konceptuálních, kvalitativních a kvantitativních přístupů s omezenou mírou integrace do jednotného rámce.

Systémy AI jsou sice výkonné, ale omezené v porozumění „měkkým“ dimenzím, jako je kreativita, organizační kultura a tacitní znalosti. Další problémy zahrnují napětí mezi kreativitou a kontrolou, obtížnost měření inovačních výstupů a etické důsledky rozhodování založeného na AI. Otázky jako bias, odpovědnost, transparentnost a „frugality“ jsou diskutovány ve studiích (Gurung 2024; Zeriouh a Amara 2025), (Just 2025; Olugboyega et al. 2026; Tepsa et al. 2024; Cloud 2025). Většina existujících rámců je stále spíše konceptuální než empiricky ověřená (Gajda et al. 2025), (Zeriouh a Amara 2025).

Navrhovaný konceptuální rámec

Na základě syntézy současného výzkumu tento článek navrhuje integrovaný konceptuální rámec, který kombinuje řízení rizik, systémové myšlení a rozhodování podporované umělou inteligencí. Rámec se skládá ze tří propojených fází:

1. Identifikace rizik – zahrnující technická i „měkká“ rizika (kulturní, organizační a kognitivní faktory).
2. Systémová analýza – mapování vzájemných závislostí, zpětných vazeb a nelineárních vztahů v rámci projektového systému.
3. Rozhodování s podporou AI – využití nástrojů umělé inteligence pro analýzu scénářů, predikci a hodnocení dynamiky rizik v čase.

Tento integrovaný přístup si klade za cíl zlepšit schopnost řízení nejistoty v prostředí inovací a zároveň zachovat flexibilitu nezbytnou pro tvůrčí procesy.

Závěr

Publikace ukazují, že umělá inteligence má v kombinaci se systémovým myšlením významný potenciál pro řízení rizik v kreativních a inovativních projektech. Současný výzkum je však roztržštěný a převážně konceptuální. Mezi hlavní omezení patří algoritmické zkreslení, nedostatek transparentnosti, etické problémy a nedostatečná integrace lidské a systémové perspektivy.

Budoucí výzkum by se měl zaměřit na vývoj empiricky podložených a multidisciplinárních rámců, které propojí technologické možnosti, lidský úsudek a holistické pojetí systémové komplexity.

Poděkování

Tato práce byla podpořena z Institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Literatura

- [1] D. Cloud. „Examining the Relationship with Kolb’s Experiential Learning Styles and Attitudes Toward Artificial Intelligence and ChatGPT“. Dis. pr. University of La Verne, 2025.
- [2] W. Gajda, H. Górska-Warsewicz a K. Podleśna. „AI-Based Innovation Management: A Bibliometric Analysis“. In: *Journal of Management 2* (2025), s. 41.
- [3] A. Gurung. „Transformative Ability of Artificial Intelligence in Risk Management“. Bachelor’s thesis. Arcada University of Applied Sciences, 2024. URL: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/859021/Gurung_Ambika.pdf (cit. 09.06.2026).
- [4] J. Just. „Generative AI for Inclusivity: Empowering Individuals with Disabilities in Corporate Innovation Efforts“. Dis. pr. University of Innsbruck, 2025.
- [5] O. Olugboye et al. „Implications of artificial intelligence-powered construction project management for human creativity, critical thinking, and problem-solving“. In: *International Journal of Construction Management* (2026), s. 1–23. DOI: [10.1080/15623599.2026.2636009](https://doi.org/10.1080/15623599.2026.2636009).
- [6] H. Qudrat-Ullah. „Integrating Systems Thinking and AI“. In: *Navigating Complexity: AI and Systems Thinking for Smarter Decisions*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2025, s. 39–68.
- [7] A. Sohail a N. M. Danna. „The Organizational Impact of AI Integration in Software Development: A Qualitative Study on Team Dynamics, Roles, and Skill Development“. Dissertation. 2025. URL: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:bth-28591> (cit. 09.06.2026).
- [8] T. T. Tepsa, J. Angelva a M. Mielikäinen. „ICT-engineering teachers’ experiences and expectations with AI“. In: *Proceedings of the 52nd Annual Conference of the European Society for Engineering Education (SEFI 2024)*. SEFI, 2024, s. xx–xx.
- [9] K. Zeriuoh a M. Amara. „AI-driven frameworks for strategic risk management: A systematic review and model for organizational resilience and decision support“. In: *Journal of Intelligent Management and Decision 4.3* (2025), s. 44–61.

Use Without Understanding: Art, Digital Stimuli, and the Limits of Human Agency in the Age of AI

Nutzung ohne Verständnis: Kunst, digitale Reize und die Grenzen menschlicher Handlungsmacht im Zeitalter der Künstlichen Intelligenz

Užívání bez porozumění: Umění, digitální stimuly a hranice lidské autonomie v době umělé inteligence

MgA. Jan Rouha

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): digital stimuli, human agency, artificial intelligence, artistic practice, perception, opacity

Schlüsselwörter (DE): digitale Stimuli, Handlungsfähigkeit (Agency), künstliche Intelligenz, künstlerische Praxis, Wahrnehmung, Opazität

Klíčová slova (CZ): digitální stimuly, lidská autonomie, umělá inteligence, umělecká praxe, vnímání, opacita

This presentation addresses the growing discrepancy between technological development and human understanding, arguing that contemporary digital environments can no longer be adequately described as mere “tools.” Instead, they function as complex systems that actively shape perception, behavior, and decision-making.

Although digital technologies are commonly framed as neutral instruments, their increasing opacity challenges this assumption. Users interact daily with systems whose internal logic remains largely inaccessible, resulting in a condition that may be described as use without understanding. Within such a context, human agency becomes increasingly ambiguous: actions are performed, yet their consequences remain only partially visible and comprehensible.

The presentation introduces the concept of the digital stimulus, not as a sensory output, but as an intervention into perception itself. Digital stimuli operate through speed, repetition, and responsiveness, gradually restructuring cognitive habits, attention patterns, and expectations. What emerges is not merely a technological shift, but a transformation in the ways reality is experienced, interpreted, and understood.

These ideas are explored through a series of artistic projects that function as experimental situations rather than representational works. Developed within a practice-based research framework, these projects employ interactive systems as environments for investigating perception, behavior, and the limits of understanding. Installations such as *Dialog* and *Pozastavení*, as well as the interactive system *Transcendental Snake*, expose the fragility of language, the conditional nature of visibility, and the collective structure underlying seemingly individual actions. Through these works, participants encounter uncertainty, loss of control, and the limitations of their own interpretive frameworks.

The discussion then turns to artificial intelligence, not as a speculative future, but as an already existing condition. AI systems are increasingly integrated into everyday life despite their opacity, reinforcing a paradigm of interaction without comprehension. The central issue, therefore, is not the capability of the technology itself, but rather the human relationship to it—specifically, the growing normalization of operating within systems whose functioning remains largely beyond direct understanding.

The presentation argues that this shift carries not only epistemological but also ethical implications. If understanding is no longer a prerequisite for use, responsibility becomes more difficult to locate, yet increasingly urgent to address. In this context, artistic practice can serve as a critical instrument—not by offering solutions, but by revealing hidden structures, disrupting automated patterns of behavior, and reintroducing moments of awareness within complex and highly mediated environments.

Ultimately, the central question is not what technology can do, but what happens to human perception, responsibility, and self-understanding when interaction no longer depends on comprehension.

Deutsche Übersetzung

Diese Präsentation befasst sich mit der wachsenden Diskrepanz zwischen technologischer Entwicklung und menschlichem Verständnis und argumentiert, dass zeitgenössische digitale Umgebungen nicht mehr angemessen als „Werkzeuge“ beschrieben werden können, sondern vielmehr als komplexe Systeme, die Wahrnehmung, Verhalten und Entscheidungsfindung aktiv prägen.

Während digitale Technologien gemeinhin als neutrale Instrumente dargestellt werden, stellt ihre zunehmende Opazität (Undurchsichtigkeit) diese Annahme in Frage. Nutzer interagieren täglich mit Systemen, deren interne Logik unzugänglich bleibt, was zu einem Zustand führt, der als Nutzung ohne Verständnis beschrieben werden kann. In einem solchen Kontext wird Handlungsfähigkeit (Agency) mehrdeutig: Handlungen werden zwar ausgeführt, aber ihre Folgen sind nur teilweise sichtbar oder verständlich.

Die Präsentation führt das Konzept des digitalen Stimulus ein – nicht als sensorischen Output, sondern als Intervention in der Wahrnehmung. Digitale Stimuli wirken durch Geschwindigkeit, Wiederholung und Reaktionsfähigkeit und strukturieren so schrittweise kognitive Gewohnheiten, Aufmerksamkeitsmuster und Erwartungen um. Was sich daraus ergibt, ist nicht nur ein technologischer Wandel, sondern eine Transformation der Art und Weise, wie Realität erfahren und interpretiert wird.

Diese Ideen werden anhand einer Reihe künstlerischer Projekte untersucht, die eher als experimentelle Situationen denn als repräsentative Werke fungieren. Diese Projekte bewegen sich im Rahmen der praxisbasierten Forschung, bei der interaktive Systeme als Umgebungen zur Untersuchung von Wahrnehmung, Verhalten und den Grenzen des Verständnisses genutzt werden. Installationen wie Dialog und Pozastavení sowie das interaktive System Transcendental Snake legen die Fragilität der Sprache, die Bedingtheit von Sichtbarkeit und die kollektive Struktur scheinbar individueller Handlungen offen. In diesen Arbeiten begegnen die Teilnehmenden der Ungewissheit, dem Kontrollverlust und den Grenzen ihrer eigenen Interpretationsrahmen.

Die Diskussion wendet sich dann der künstlichen Intelligenz zu, nicht als spekulative Zukunft, sondern als bereits gegenwärtigen Zustand. KI-Systeme werden trotz ihrer Opazität zunehmend genutzt, was das Paradigma der Interaktion ohne Verständnis weiter verstärkt. Das Problem ist daher nicht die Leistungsfähigkeit der Technologie selbst, sondern die menschliche Beziehung zu ihr – insbesondere die zunehmende Normalisierung des Agierens innerhalb von Systemen, die nicht vollständig verstanden werden.

Die Präsentation legt nahe, dass diese Verschiebung nicht nur epistemologische, sondern auch ethische Konsequenzen nach sich zieht. Wenn Verstehen keine Voraussetzung mehr für die Nutzung ist, wird es schwieriger, Verantwortung zu lokalisieren, während es gleichzeitig umso dringlicher wird, sie zu adressieren. In diesem Kontext kann die künstlerische Praxis als kritisches Werkzeug dienen: nicht indem sie Lösungen anbietet, sondern indem sie verborgene Strukturen offenlegt, automatisches Verhalten durchbricht und Momente des Bewusstseins in komplexen, mediatisierten Umgebungen wieder einführt.

Letztendlich lautet die zentrale Frage nicht, was Technologie leisten kann, sondern was mit der menschlichen Wahrnehmung, Verantwortung und dem Selbstverständnis geschieht, wenn Interaktion kein Verstehen mehr voraussetzt.

Český překlad

Tato prezentace se zabývá rostoucím nesouladem mezi technologickým vývojem a lidským porozuměním a argumentuje, že současná digitální prostředí již nelze adekvátně popisovat jako „nástroje“, nýbrž jako komplexní systémy, které aktivně utvářejí vnímání, chování a rozhodování.

Digitální technologie jsou obvykle vnímány jako neutrální nástroje, jejich obtížná srozumitelnost však toto pojetí zpochybňuje. Uživatelé každodenně interagují se systémy, jejichž vnitřní logika zůstává nepřístupná, což vede ke stavu, který lze označit jako užívání bez porozumění. V takovém kontextu se autonomie (agency) stává nejednoznačnou: jednání jsou sice vykonávána, jejich důsledky však zůstávají pouze částečně viditelné a srozumitelné.

Prezentace představuje koncept digitálního stimulu – nikoli jako smyslového výstupu, ale jako intervence do samotného procesu vnímání. Digitální stimuly působí prostřednictvím rychlosti, opakování a rezponzivity a postupně proměňují kognitivní návyky, vzorce pozornosti i očekávání. Výsledkem není pouze technologický posun, ale proměna způsobů, jakými je realita vnímána a interpretována.

Tyto myšlenky jsou zkoumány prostřednictvím série uměleckých projektů, které fungují spíše jako experimentální situace než jako reprezentační díla. Projekty vznikají v rámci výzkumu založeného na umělecké praxi (practice-based research), v němž jsou interaktivní systémy využívány jako prostředí pro zkoumání vnímání, chování a hranic porozumění. Instalace Dialog a Pozastavení stejně jako interaktivní systém Transcendental Snake odhalují křehkost jazyka, podmíněnou povahu viditelnosti a kolektivní strukturu zdánlivě individuálních jednání. Prostřednictvím těchto děl se účastníci setkávají s nejistotou, ztrátou kontroly a limity vlastních interpretačních rámců.

Diskuse se následně obrací k umělé inteligenci nikoli jako ke spekulativní budoucnosti, ale jako k již přítomné podmínce současnosti. Systémy AI jsou stále častěji využívány navzdory své neprůhlednosti, čímž posilují paradigma interakce bez porozumění. Problémem tedy není schopnost technologie samotné, ale lidský vztah k ní – konkrétně rostoucí normalizace fungování v rámci systémů, jejichž principům uživatelé plně nerozumějí.

Prezentace naznačuje, že tento posun s sebou nese nejen epistemologické, ale také etické důsledky. Pokud porozumění již není podmínkou užívání, stává se otázka odpovědnosti obtížněji uchopitelná, avšak zároveň naléhavější. V tomto kontextu může umělecká praxe fungovat jako kritický nástroj: nikoli tím, že nabízí řešení, ale tím, že odhaluje skryté struktury, narušuje automatizované vzorce chování a znovu vnáší momenty uvědomění do komplexních, technologicky zprostředkovaných prostředí.

Ústřední otázkou proto není, co technologie dokáže, ale co se děje s lidským vnímáním, odpovědností a sebepochopením ve chvíli, kdy interakce již není podmíněna porozuměním.

An Artistic Work About Periodicity and Aperiodicity

Eine künstlerische Arbeit über Periodizität und Aperiodizität

Umělecké dílo o periodicitě a aperiodicitě

Claudia Silva Ruiz

EN: *Center for Scalable Data Analytics and Artificial Intelligence (ScaDS.AI), Germany*

DE: *Center for Scalable Data Analytics and Artificial Intelligence (ScaDS.AI), Deutschland*

CZ: *Center for Scalable Data Analytics and Artificial Intelligence (ScaDS.AI), Německo*

Keywords (EN): Mathematics, Art, Tessellations, Periodicity, Aperiodicity, Hat monotile, Symmetry, Laser engraving

Schlüsselwörter (DE): Mathematik, Kunst, Tessellationen, Periodizität, Aperiodizität, Hat-Monotile (Kachel-Monotile), Symmetrie, Lasergravur

Klíčová slova (CZ): matematika, umění, teselace, periodicitá, aperiodicitá, klobouková monodlaždice, symetrie, laserové gravírování

Extended abstract

The recent discovery of the aperiodic monotile—a single tile that covers the plane without ever repeating—opened a rich terrain for both theoretical inquiry and artistic exploration; see (Smith et al. 2023). My engagement with this object began during my master's thesis in Media Arts and Cultures, *Beyond Infinite Never Repeating Patterns in the Plane: An Artistic Journey through Aperiodic Tessellations*, where I investigated the Hat and other aperiodic monotiles from a creative standpoint, drawing on the artistic legacy of M.C. Escher and on the possibilities that contemporary digital and physical fabrication technologies afford. That work sought to bring an abstract mathematical concept into visible form, tracing a path from pure geometric idea to digital image, and from there into physical objects; and to examine, through artistic means, what it means for a pattern to be simultaneously structured and endlessly novel.

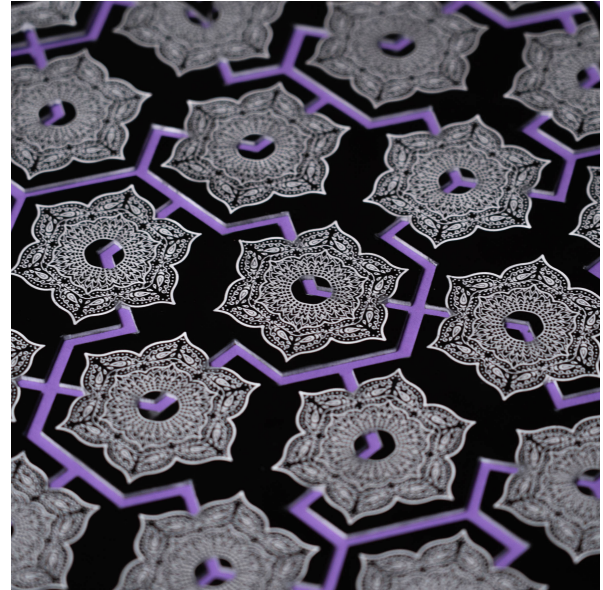
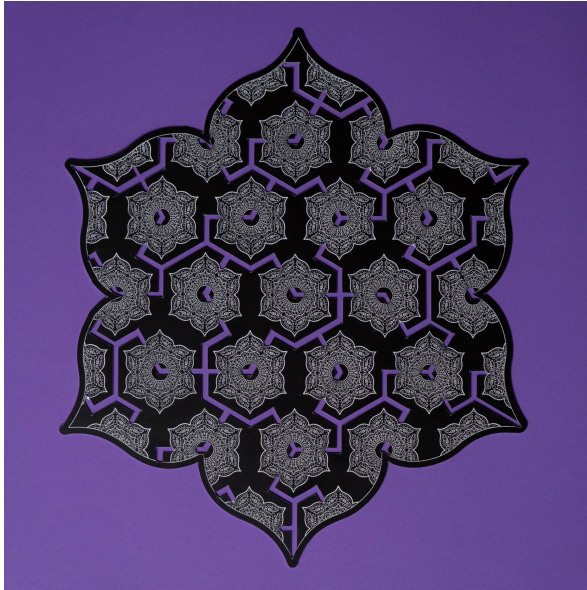
The work presented here continues and extends that inquiry. Its central concern is the juxtaposition of periodicity and non-periodicity within a single image. Because any Hat tiling contains an underlying lattice of regular hexagons, this symmetry can be used as a compositional device. Drawing on the ornamental traditions of Islamic and mandala forms, I developed a flower-like motif from each tile's geometry, so that the Hat boundaries are inscribed in the flower distribution, while the flowers themselves arrange into a periodic hexagonal field. The result is a design that holds both orders at once: the non-periodic layout of the Hat tiles and the perfectly regular hexagonal array of the flowers.

Realized through precision laser engraving and laser cutting, the artwork presents a section of the Hat tiling in which a flower-like motif is engraved within each tile. The motif was constructed by exploiting the hexagonal symmetry underlying the Hat: a single triangle, serving as a fundamental region, was drawn first, and then reflected and rotated to fill the entire tile. Propagating this design across the entire patch of tiles produces an image in which the two geometric orders coexist.

The work builds on the mathematical concepts of tilings, in particular, periodic and aperiodic tilings. A tiling or tessellation is a covering of the plane by closed regions called tiles, with no gaps or overlaps. A relevant type of isometries is a translation that moves every point of the plane with the same vector. A tessellation is called periodic if its symmetry group contains translations in at least two non-parallel directions; by contrast, a set of prototiles is called aperiodic if, despite tiling the plane, none of the resulting tilings admits any translational symmetry, as is the case with Penrose tilings or those built from the Hat tile (Grünbaum and Shephard 1987).

The framework situates itself within the study of order and disorder in complex systems. A periodic tiling is fully determined from a small part: once the prototile and the two translation vectors are given, the entire infinite pattern is known; whereas in aperiodic tilings, even though their local arrangements follow strict rules, no finite patch reliably predicts the global pattern, placing them at a threshold between structure and unpredictability, and between order and disorder; disorder which one might call chaotic.

In sustaining both simultaneously, the work asks whether periodicity and aperiodicity—so often framed as opposites, as order and disorder—are ever truly separate, or whether, as the Hat tiling itself suggests, one is always already folded into the other.



Final artwork Endless repetition?

References

- [1] Branko Grünbaum and Geoffrey Colin Shephard. *Tilings and Patterns*. Courier Dover Publications, 1987.
- [2] David Smith et al. „An aperiodic monotile“. In: *arXiv preprint arXiv:2303.10798* (2023).

Deutsche Übersetzung

Extended abstract

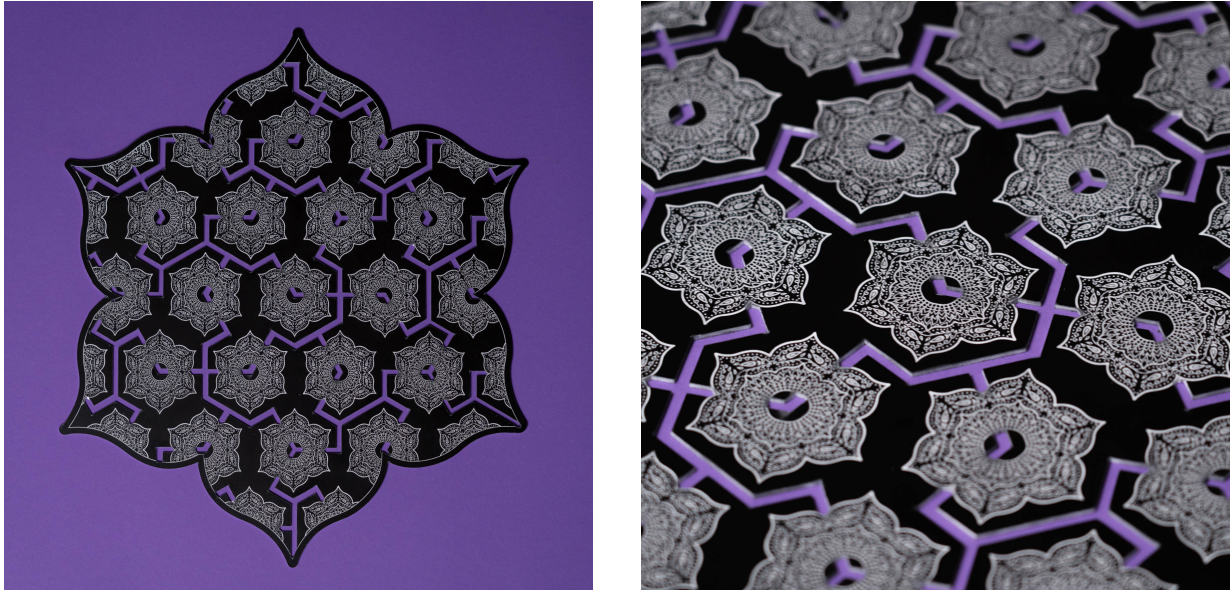
Die jüngste Entdeckung einer aperiodischen Kachel – einer einzelnen Kachel, die die Ebene bedeckt, ohne sich jemals zu wiederholen – hat ein reiches Feld sowohl für die theoretische Forschung als auch für die künstlerische Erkundung eröffnet; siehe (Smith u. a. 2023). Meine Beschäftigung mit diesem Objekt begann während meiner Masterarbeit im Bereich Media Arts and Cultures mit dem Titel „Beyond Infinite Never Repeating Patterns in the Plane: An Artistic Journey through Aperiodic Tessellations“, in der ich das „Hut“-Kachel und andere aperiodische Kacheln aus einer kreativen Perspektive untersuchte. Dabei stützte ich mich auf das künstlerische Erbe von M.C. Escher sowie auf die Möglichkeiten, die moderne digitale und physische Fertigungstechnologien bieten. Diese Arbeit zielte darauf ab, ein abstraktes mathematisches Konzept in eine sichtbare Form zu bringen, indem ein Pfad von der reinen geometrischen Idee zum digitalen Bild und von dort zu physischen Objekten nachgezeichnet wurde. Zudem sollte mit künstlerischen Mitteln untersucht werden, was es bedeutet, wenn ein Muster gleichzeitig strukturiert und endlos neu ist.

Die hier vorgestellte Arbeit setzt diese Untersuchung fort und erweitert sie. Ihr zentrales Anliegen ist das Nebeneinander von Periodizität und Nicht-Periodizität innerhalb eines einzigen Bildes. Da jede Hat-Kachelung auf einem zugrunde liegenden Gitter aus regelmäßigen Sechsecken basiert, kann diese Symmetrie als kompositorisches Element genutzt werden. In Anlehnung an die ornamentalen Traditionen islamischer Formen und Mandalas habe ich aus der Geometrie jeder Kachel ein blütenartiges Motiv entwickelt, sodass die Grenzen des „Huts“ in die Blütenverteilung eingeschrieben sind, während sich die Blüten selbst in einem periodischen hexagonalen Feld anordnen. Das Ergebnis ist ein Design, das beide Ordnungen gleichzeitig in sich trägt: die nicht-periodische Anordnung der Hut-Kacheln und die perfekt regelmäßige hexagonale Anordnung der Blüten.

Das durch präzise Lasergravur und Laserschneiden realisierte Kunstwerk zeigt einen Ausschnitt der Hut-Kachelung, bei dem in jede Kachel ein blütenartiges Motiv eingraviert ist. Das Motiv wurde unter Ausnutzung der dem „Hut“ zugrunde liegenden hexagonalen Symmetrie konstruiert: Ein einzelnes Dreieck, das als Fundamentalbereich dient, wurde zuerst gezeichnet und dann gespiegelt und rotiert, um die gesamte Kachel auszufüllen. Die Ausbreitung dieses Designs über das gesamte Kachelfeld erzeugt ein Bild, in dem die beiden geometrischen Ordnungen koexistieren.

Die Arbeit baut auf den mathematischen Konzepten von Kachelungen auf, insbesondere auf periodischen und aperiodischen Kachelungen. Eine Kachelung oder Tessellation ist eine Überdeckung der Ebene durch geschlossene Bereiche, die Kacheln genannt werden, ohne Lücken oder Überlappungen. Eine relevante Art von Isometrien ist eine Translation, die jeden Punkt der Ebene mit demselben Vektor verschiebt. Eine Tessellation wird als periodisch bezeichnet, wenn ihre Symmetriegruppe Translationen in mindestens zwei nicht-parallelen Richtungen enthält. Im Gegensatz dazu wird eine Menge von Protokacheln (Urkacheln) als aperiodisch bezeichnet, wenn keine der resultierenden Kachelungen eine Translationssymmetrie zulässt, obwohl sie die Ebene lückenlos bedecken kann, wie es bei den Penrose-Kachelungen oder den aus der Hat-Kachel aufgebauten Strukturen der Fall ist (Grünbaum und Shephard 1987).

Der theoretische Rahmen ordnet sich in die Untersuchung von Ordnung und Unordnung in komplexen Systemen ein. Eine periodische Kachelung ist durch einen kleinen Teil vollständig bestimmt: Sobald die Urkachel und die beiden Translationsvektoren gegeben sind, ist das gesamte unendliche Muster bekannt. Bei aperiodischen Kachelungen hingegen lässt sich das globale Muster trotz strenger lokaler Anordnungsregeln nicht zuverlässig aus einem endlichen Ausschnitt



Finales Kunstwerk Endlose Wiederholung?

vorhersagen. Dies platziert sie an der Schwelle zwischen Struktur und Unvorhersehbarkeit sowie zwischen Ordnung und Unordnung – eine Unordnung, die man als chaotisch bezeichnen könnte.

Indem das Werk beides gleichzeitig aufrechterhält, stellt es die Frage, ob Periodizität und Aperiodizität – die so oft als Gegensätze, als Ordnung und Unordnung, dargestellt werden – jemals wirklich voneinander getrennt sind, oder ob, wie die Hat-Kachelung selbst nahelegt, das eine immer schon in das andere hineingefaltet ist.

Literatur

- [1] Branko Grünbaum und Geoffrey Colin Shephard. *Tilings and Patterns*. Courier Dover Publications, 1987.
- [2] David Smith u. a. „An aperiodic monotile“. In: *arXiv preprint arXiv:2303.10798* (2023).

Český překlad

Extended Abstract Nedávný objev aperiodické monodlaždice (tzv. „Hat monotile“) – jediné dlaždice, která pokrývá rovinu, aniž by se její vzor kdykoliv opakoval – otevřel bohaté pole jak pro teoretické zkoumání, tak pro uměleckou tvorbu; viz (Smith et al. 2023). Moje práce s tímto objektem začala během diplomové práce v oboru Media Arts and Cultures s názvem „Beyond Infinite Never Repeating Patterns in the Plane: An Artistic Journey through Aperiodic Tessellations“, kde jsem zkoumala kloboukovou („Hat“) a další aperiodické monodlaždice z kreativního hlediska. Přitom jsem čerpala z uměleckého odkazu M. C. Eschera a z možností, které nabízejí současné technologie digitální a fyzické fabrikace. Tato práce se snažila převést abstraktní matematický koncept do viditelné podoby, sledovat cestu od čisté geometrické myšlenky k digitálnímu obrazu a odtud k fyzickým objektům; a také prozkoumat prostřednictvím umění, co to znamená, když je vzor současně strukturovaný a nekonečně nový.

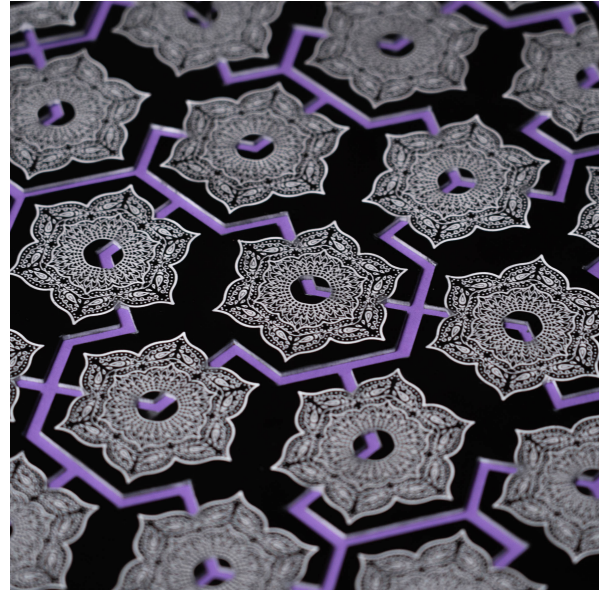
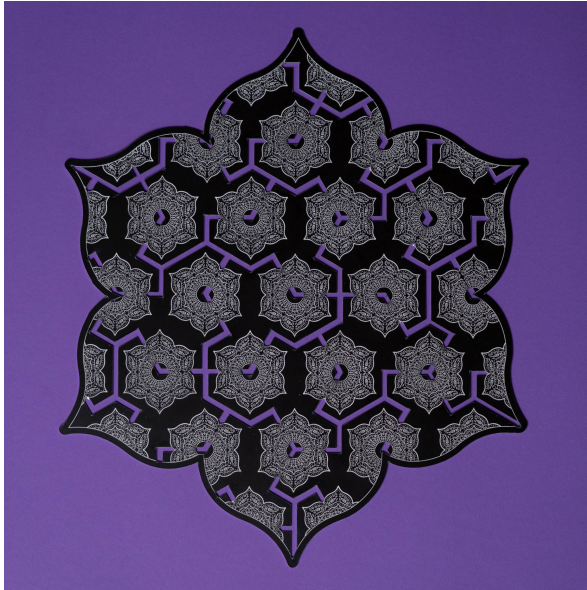
Zde prezentovaná práce na toto zkoumání navazuje a dále jej rozšiřuje. Jejím ústředním tématem je postavení periodicity a neperiodicity vedle sebe v rámci jediného obrazu. Protože jakékoliv kloboukové dláždění obsahuje podkladovou mřížku pravidelných šestiúhelníků, lze tuto symetrii využít jako kompoziční prvek. Na základě ornamentálních tradic islámských forem a mandal jsem z geometrie každé dlaždice vyvinula motiv připomínající květ, takže hranice dlaždice jsou vepsány do rozmístění květů, zatímco samotné květy se uspořádávají do periodického hexagonálního pole. Výsledkem je design, který v sobě drží oba řády současně: neperiodické uspořádání kloboukových dlaždic a dokonale pravidelné hexagonální uspořádání květů.

Umělecké dílo, realizované pomocí přesného laserového gravírování a řezání, představuje výřez kloboukového dláždění, v němž je uvnitř každé dlaždice vygravírován motiv květu. Tento motiv byl vytvořen s využitím hexagonální symetrie, která je kloboukové dlaždici vlastní: nejprve byl nakreslen jediný trojúhelník sloužící jako fundamentální oblast, který byl následně zrcadlen a rotován tak, aby vyplnil celou dlaždici. Rozšířením tohoto designu na celé pole dlaždic vzniká obraz, v němž oba geometrické řády koexistují.

Práce staví na matematických konceptech dláždění roviny, zejména na periodických a aperiodických dlážděních. Dláždění neboli teselace je pokrytí roviny uzavřenými oblastmi nazývanými dlaždice, a to bez mezer nebo překrývání. Významným typem izometrie je translace (posunutí), která pohybuje každým bodem roviny se stejným vektorem. Teselace se nazývá periodická, pokud její grupa symetrie obsahuje translace v alespoň dvou neparalelních směrech. Naproti tomu sada protodlaždic (základních dlaždic) se nazývá aperiodická, pokud – přestože dokáže rovinu pokrýt – žádné z výsledných dláždění nepřipouští žádnou translační symetrii, jako je tomu u Penroseova dláždění nebo dláždění postaveného z kloboukové dlaždice (Grünbaum a Shephard 1987).

Tento rámeček se řadí do studia řádu a neuspořádanosti v komplexních systémech. Periodické dláždění je plně určeno svou malou částí: jakmile je dána základní dlaždice a dva vektory posunutí, je znám celý nekonečný vzor. Naproti tomu u aperiodických dláždění, i když jejich lokální uspořádání podléhá přísným pravidlům, žádný konečný výřez nedokáže spolehlivě předpovědět globální vzor, což je staví na hranici mezi strukturou a nepředvídatelností mezi řád a neuspořádaností; neuspořádaností, kterou bychom mohli nazvat chaotickou.

Tím, že dílo udržuje obojí současně, si klade otázku, zda jsou periodičita a aperiodičita – tak často stavěné do protikladu jako řád a chaos – vůbec někdy skutečně oddělené, nebo zda, jak naznačuje samotné kloboukové dláždění, není jedno vždy již vklopeno do druhého.



Finální dílo Nekonečné opakování?

Literatura

- [1] Branko Grünbaum a Geoffrey Colin Shephard. *Tilings and Patterns*. Courier Dover Publications, 1987.
- [2] David Smith et al. „An aperiodic monotile“. In: *arXiv preprint arXiv:2303.10798* (2023).

Utilization of Papermaking Technology for the Formation of Layers from Recycled Mineral Wool in Artistic Practice

Nutzung der Papierherstellungstechnologie zur Bildung von Schichten aus recycelter Mineralwolle in der künstlerischen Praxis

Využití papírenské technologie pro formování vrstev z recyklované minerální vlny v umělecké praxi

Ing. Jakub Soustružník

EN: *Technical University of Liberec, Czech Republic*

DE: *Technische Universität in Liberec, Tschechische Republik*

CZ: *Technická univerzita v Liberci, Česká republika*

Keywords (EN): mineral wool, recycling, papermaking, wet-laid technology, upcycling, artistic practice

Schlüsselwörter (DE): Mineralwolle, Recycling, Papierherstellung, Nassvliesverfahren, Upcycling, künstlerische Praxis

Klíčová slova (CZ): minerální vlna, recyklace, papírenská technologie, mokré kladení, upcyclace, umělecká praxe

Introduction

The recycling of mineral wools (glass and basalt) represents a significant technological and environmental challenge in the context of the transition to a circular economy. In Europe, approximately 2.5–2.8 million tonnes of this waste are generated annually, while the recycling rate of demolition materials remains below 10–20% in the long term. Mineral wools constitute a substantial portion of construction and demolition waste; however, their effective material utilization is limited primarily by contamination with plaster, mortar, and metal particles, logistical complexity, and the high energy demand of traditional processes (Interreg Europe 2024; Trejbal et al. 2022).

Current recycling methods are often based on remelting at temperatures above 1500 °C or mechanical processing, which degrades the material into low-value fillers. For these reasons, a large proportion of demolition mineral wools continue to be landfilled, despite some European countries introducing restrictions or bans on landfilling. This significantly increases the need for the rapid development of alternative technologies with higher added value (Interreg Europe 2024; Trejbal et al. 2022).

Problem Description

This project focuses on the development and experimental verification of a new approach to the material utilization of waste mineral wools (glass and basalt) through upcycling using wet-laid papermaking technology. The aim is to create a technological platform that integrates principles of materials engineering, environmental science, and artistic practice, enabling the transformation of construction waste into a structurally and visually valuable fibrous material.

The wet-laid process represents a method of forming fibrous layers from a suspension of fibers in a water medium, analogous to paper manufacture. The basic principle involves preparing a homogeneous fiber dispersion, applying it uniformly onto a forming screen, followed by dewatering, pressing, and drying. The aqueous environment enables effective fiber mixing, improves structural homogeneity, and minimizes dust generation and the release of respirable fibers compared to dry methods (Russell 2007; Hubbe and Koukoulas 2016).

From an environmental perspective, wet-laid technology represents a low-energy alternative to melting processes, as forming takes place at low temperatures. This approach thus contributes to reducing CO₂ emissions, lowering the consumption of primary raw materials, and closing the material cycle of construction insulation within a circular economy framework. The project simultaneously develops the concept of upcycling, where waste material is transformed into a product with higher functional and aesthetic value (Deng et al. 2018; ROCKWOOL 2025; Faizal et al. 2025).

Connection with Art

A platform through which this approach has been presented on a long-term basis is the Lucca Biennale Cartasia, held every two years in the city of Lucca. In the context of this exhibition, the principle of fiber dispersion in a water medium and its subsequent formation on a screen can be understood as the material and technological foundation of a wide range of exhibited works. The wet-laid process is applied both in industrially produced paper boards used for monumental public installations and in individual artistic techniques of hand papermaking (Lucca Biennale Cartasia 2026).

The work of Kyoko Ibe directly engages with wet pulp, utilizing transparency, light transmittance, and layering as instruments of spatial drawing, while the works of Pavel Piekár emphasize the structural trace of fibers formed through controlled sedimentation in a wet bath. In the broader context of contemporary art, the structural potential of wet-formed materials is also explored by Michelangelo Pistoletto, whose installations made of industrially produced paper

and cardboard work with the tension between material ephemerality and the monumentality of form. Although the technology is not explicitly thematised here, the properties of paper – such as homogeneity, compressive strength, and the possibility of layering – are derived from the principles of classical wet manufacturing (Lucca Biennale Cartasia 2026).

In addition to artistic installations, the design section of the biennale also features projects utilizing composite paper panels and nonwoven structures produced by modified wet-laid technology, where the combination of cellulosic and synthetic fibers enables the creation of light membranes, spatial elements, and architectural modules. This context presents the wet-laid process simultaneously as a technological tool, a material experiment, and a means for developing new forms of spatial and materially oriented creation (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Conclusion

The artistic dimension of the project is not merely applicative; it functions as an experimental space for testing the material behaviour, visual qualities and spatial potential of the resulting structures. Artistic practice here serves as a form of material research, enabling the examination of material properties at scales, contexts, and load conditions that exceed standard laboratory testing.

The project thus establishes an interdisciplinary framework combining materials engineering, environmental technology, and artistic research. The result should be a new category of structurally variable fibrous materials made from recycled mineral resources, expanding the possibilities for their technical, architectural, and artistic applications while contributing to sustainable management of construction waste.

References

- [1] Chao Deng et al. „Environmentally friendly and breathable wet-laid hydroentangled nonwovens for personal hygiene care with excellent water absorbency and flushability“. In: *Royal Society Open Science* 5.4 (2018), p. 171486. DOI: [10.1098/rsos.171486](https://doi.org/10.1098/rsos.171486). URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171486>.
- [2] M. Faizal et al. „Circular solutions for the built environment: thermal insulation from upcycled waste“. In: *International Journal of Research and Innovation in Social Science* 9.10 (2025), pp. 6659–6673. DOI: [10.47772/IJRIS.2025.909000543](https://doi.org/10.47772/IJRIS.2025.909000543). URL: <https://rsisinternational.org/journals/ijriss/articles/circular-solutions-for-the-built-environment-thermal-insulation-from-upcycled-waste/>.
- [3] Martin A. Hubbe and Alexandros A. Koukoulas. „Wet-laid nonwovens manufacture – chemical approaches using synthetic and cellulosic fibers“. In: *BioResources* 11.2 (2016), pp. 5500–5552. DOI: [10.15376/biores.11.2.5500-5552](https://doi.org/10.15376/biores.11.2.5500-5552). URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/wet-laid-nonwovens-manufacture-chemical-approaches-using-synthetic-and-cellulosic-fibers/> (visited on 03/26/2026).
- [4] Interreg Europe. *Policy brief on sustainable construction*. 2024. URL: <https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/2024-03/Policy%20brief%20on%20Sustainable%20construction.pdf> (visited on 12/07/2025).
- [5] Lucca Biennale Cartasia. *Lucca Biennale Cartasia*. 2026. URL: <https://www.luccabiennalecartasia.com/en> (visited on 03/02/2026).

- [6] ROCKWOOL. *Rockwool UK Recycling Brochure*. URL: <https://www.rockwool.com/siteassets/rw-uk/downloads/brochures/rockwool-uk-recycling-brochure.pdf> (visited on 12/07/2025).
- [7] Stephen J. Russell, ed. *Handbook of Nonwovens*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. ISBN: 978-1-85573-603-0.
- [8] Jan Trejbal et al. „New possibilities for recycling of mineral wool separated from thermal insulation waste“. In: (2022). DOI: 10.14311/app.2022.34.0122. URL: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8123/6334/> (visited on 12/07/2025).

Deutsche Übersetzung

Einleitung

Die Wiederverwertung von Mineralwolle (Glas- und Basaltwolle) stellt eine erhebliche technologische und ökologische Herausforderung im Kontext des Übergangs zu einer Kreislaufwirtschaft dar. In Europa fallen jährlich etwa 2,5–2,8 Millionen Tonnen dieses Abfalls an, während die Recyclingquote von Abbruchmaterialien langfristig unter 10–20 % bleibt. Mineralwolle macht einen wesentlichen Teil des Bau- und Abbruchabfalls aus. Ihre effektive stoffliche Verwertung wird jedoch vor allem durch Verunreinigungen mit Putz, Mörtel und Metallpartikeln, die logistische Komplexität sowie den hohen Energiebedarf traditioneller Verfahren eingeschränkt (Interreg Europe 2024; Trejbal u. a. 2022).

Aktuelle Recyclingmethoden basieren häufig auf dem Umschmelzen bei Temperaturen über 1500 °C oder auf mechanischer Bearbeitung, die das Material zu minderwertigen Füllstoffen degradiert. Aus diesen Gründen wird ein Großteil der Abbruch-Mineralwolle nach wie vor deponiert, obwohl einige europäische Länder Beschränkungen oder Verbote für die Deponierung eingeführt haben. Dies erhöht die Notwendigkeit für die rasche Entwicklung alternativer Technologien mit höherer Wertschöpfung erheblich (Interreg Europe 2024; Trejbal u. a. 2022).

Problembeschreibung

Dieses Projekt konzentriert sich auf die Entwicklung und experimentelle Überprüfung eines neuen Ansatzes zur stofflichen Verwertung von Abfall-Mineralwolle (Glas und Basalt) durch Upcycling mittels der Nassvlies-Papierherstellungstechnologie (Wet-laid-Verfahren). Ziel ist es, eine technologische Plattform zu schaffen, die Prinzipien der Werkstofftechnik, Umweltwissenschaft und künstlerischen Praxis integriert und die Transformation von Bauabfällen in ein strukturell und visuell wertvolles Fasermaterial ermöglicht.

Das Wet-laid-Verfahren ist eine Methode zur Bildung von Faserschichten aus einer Suspension von Fasern in einem wässrigen Medium, analog zur Papierherstellung. Das Grundprinzip umfasst die Herstellung einer homogenen Faserdispersion, deren gleichmäßige Aufbringung auf ein Formsieb sowie die anschließende Entwässerung, Pressung und Trocknung. Die wässrige Umgebung ermöglicht ein effektives Mischen der Fasern, verbessert die strukturelle Homogenität und minimiert im Vergleich zu Trockenverfahren die Staubentwicklung sowie die Freisetzung lungengängiger Fasern (Russell 2007; Hubbe und Koukoulas 2016).

Aus ökologischer Sicht stellt die Wet-laid-Technologie eine energiearme Alternative zu Schmelzprozessen dar, da die Formgebung bei niedrigen Temperaturen stattfindet. Dieser Ansatz trägt somit zur Reduzierung von CO₂-Emissionen, zur Verringerung des Primärrohstoffverbrauchs und zur Schließung des Materialkreislaufs von Bauisolierungen im Rahmen einer Kreislaufwirtschaft bei. Das Projekt entwickelt gleichzeitig das Konzept des Upcyclings, bei dem Abfallmaterial in ein Produkt mit höherem funktionellem und ästhetischem Wert verwandelt wird (Deng u. a. 2018; ROCKWOOL 2025; Faizal u. a. 2025).

Verbindung mit der Kunst

Eine Plattform, auf der dieser Ansatz langfristig präsentiert wird, ist die Lucca Biennale Cartasia, die alle zwei Jahre in der Stadt Lucca stattfindet. Im Kontext dieser Ausstellung kann das Prinzip der Faserdispersion in einem wässrigen Medium und die anschließende Formgebung auf einem Sieb als das materielle und technologische Fundament einer Vielzahl ausgestellter Werke verstanden werden. Das Wet-laid-Verfahren wird sowohl bei industriell hergestellten Papierplatten für monumentale öffentliche Installationen als auch bei individuellen künstlerischen Techniken des Handschöpfens angewendet (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Die Arbeit von Kyoko Ibe setzt sich direkt mit nasser Pulpe auseinander und nutzt Transparenz, Lichtdurchlässigkeit und Schichtung als Instrumente der räumlichen Zeichnung, während die Arbeiten von Pavel Piekar die strukturelle Spur von Fasern betonen, die durch kontrollierte Sedimentation in einem nassen Bad geformt wurden. Im breiteren Kontext der zeitgenössischen Kunst wird das strukturelle Potenzial nassgeformter Materialien auch von Michelangelo Pistoletto untersucht, dessen Installationen aus industriell hergestelltem Papier und Karton mit der Spannung zwischen materieller Vergänglichkeit und der Monumentalität der Form arbeiten. Obwohl die Technologie hier nicht explizit thematisiert wird, leiten sich die Eigenschaften von Papier – wie Homogenität, Druckfestigkeit und die Möglichkeit der Schichtung – von den Prinzipien der klassischen Nassherstellung ab (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Neben künstlerischen Installationen zeigt die Design-Sektion der Biennale auch Projekte, die Verbundpapierplatten und Vliesstoffstrukturen nutzen, die durch modifizierte Wet-laid-Technologie hergestellt wurden. Hierbei ermöglicht die Kombination von Cellulose- und Synthetikfasern die Schaffung leichter Membranen, räumlicher Elemente und architektonischer Module. Dieser Kontext präsentiert das Wet-laid-Verfahren gleichzeitig als technologisches Werkzeug, als Materialexperiment und als Mittel zur Entwicklung neuer Formen des räumlichen und materialorientierten Schaffens (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Fazit

Die künstlerische Dimension des Projekts ist nicht bloß applikativ; sie fungiert als experimenteller Raum zum Testen des Materialverhaltens, der visuellen Qualitäten und des räumlichen Potenzials der resultierenden Strukturen. Die künstlerische Praxis dient hier als eine Form der Materialforschung, die es ermöglicht, Materialeigenschaften in Maßstäben, Kontexten und Belastungszuständen zu untersuchen, die über standardmäßige Laborprüfungen hinausgehen.

Das Projekt etabliert somit einen interdisziplinären Rahmen, der Werkstofftechnik, Umwelttechnologie und künstlerische Forschung verbindet. Das Ergebnis soll eine neue Kategorie strukturell variabler Fasermaterialien aus recycelten mineralischen Ressourcen sein, die die Möglichkeiten für deren technische, architektonische und künstlerische Anwendungen erweitert und gleichzeitig zu einer nachhaltigen Bewirtschaftung von Bauabfällen beiträgt.

Literatur

- [1] Chao Deng u. a. „Environmentally friendly and breathable wet-laid hydroentangled non-wovens for personal hygiene care with excellent water absorbency and flushability“. In: *Royal Society Open Science* 5.4 (2018), S. 171486. DOI: [10.1098/rsos.171486](https://doi.org/10.1098/rsos.171486). URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171486>.
- [2] M. Faizal u. a. „Circular solutions for the built environment: thermal insulation from upcycled waste“. In: *International Journal of Research and Innovation in Social Science* 9.10 (2025), S. 6659–6673. DOI: [10.47772/IJRIS.2025.909000543](https://doi.org/10.47772/IJRIS.2025.909000543). URL: <https://rsisinternational.org/journals/ijriss/articles/circular-solutions-for-the-built-environment-thermal-insulation-from-upcycled-waste/>.
- [3] Martin A. Hubbe und Alexandros A. Koukoulas. „Wet-laid nonwovens manufacture – chemical approaches using synthetic and cellulosic fibers“. In: *BioResources* 11.2 (2016), S. 5500–5552. DOI: [10.15376/biores.11.2.5500-5552](https://doi.org/10.15376/biores.11.2.5500-5552). URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/wet-laid-nonwovens-manufacture-chemical-approaches-using-synthetic-and-cellulosic-fibers/> (besucht am 26.03.2026).

-
- [4] Interreg Europe. *Policy brief on sustainable construction*. 2024. URL: <https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/2024-03/Policy%20brief%20on%20Sustainable%20construction.pdf> (besucht am 07. 12. 2025).
- [5] Lucca Biennale Cartasia. *Lucca Biennale Cartasia*. 2026. URL: <https://www.luccabiennalecartasia.com/en> (besucht am 02. 03. 2026).
- [6] ROCKWOOL. *Rockwool UK Recycling Brochure*. URL: <https://www.rockwool.com/siteassets/rw-uk/downloads/brochures/rockwool-uk-recycling-brochure.pdf> (besucht am 07. 12. 2025).
- [7] Stephen J. Russell, Hrsg. *Handbook of Nonwovens*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. ISBN: 978-1-85573-603-0.
- [8] Jan Trejbal u. a. „New possibilities for recycling of mineral wool separated from thermal insulation waste“. In: (2022). DOI: 10.14311/app.2022.34.0122. URL: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8123/6334/> (besucht am 07. 12. 2025).

Český překlad

Úvod

Recyklace minerálních vln (skleněných a čedičových) představuje významnou technologickou a ekologickou výzvu v kontextu přechodu na oběhové hospodářství. V Evropě ročně vzniká přibližně 2,5–2,8 milionu tun tohoto odpadu, přičemž míra recyklace demoličních materiálů zůstává dlouhodobě pod hranicí 10–20 %. Minerální vlny tvoří významnou část stavebního a demoličního odpadu; jejich efektivní materiálové využití je však omezeno především kontaminací omítkou, maltou a kovovými částicemi, logistickou náročností a vysokou energetickou náročností tradičních procesů (Interreg Europe 2024; Trejbal et al. 2022).

Současné metody recyklace jsou často založeny na přetavování při teplotách nad 1500 °C nebo na mechanickém zpracování, které materiál degraduje na nízkohodnotná plniva. Z těchto důvodů je značná část demoličních minerálních vln nadále skládkována, a to i přesto, že některé evropské země zavádějí omezení či zákazy skládkování. Tato situace zvyšuje potřebu rychlého vývoje alternativních technologií s vyšší přidanou hodnotou (Interreg Europe 2024; Trejbal et al. 2022).

Popis problému

Tento projekt se zaměřuje na vývoj a experimentální ověření nového přístupu k materiálovému využití odpadních minerálních vln (skleněných a čedičových) formou upcyklace pomocí technologie mokrého kladení (wet-laid), která je analogická výrobě papíru. Cílem je vytvořit technologickou platformu integrující principy materiálového inženýrství, environmentálních věd a umělecké praxe, která umožní transformaci stavebního odpadu ve strukturálně i vizuálně hodnotný vláknitý materiál.

Proces mokrého kladení představuje metodu formování vláknitých vrstev ze suspenze vláken ve vodním médiu. Základní princip spočívá v přípravě homogenní disperze vláken, jejím rovnoměrném nanášení na formovací síto, následovaném odvodněním, lisováním a sušením. Vodní prostředí umožňuje efektivní mísení vláken, zlepšuje strukturální homogenitu a snižuje prašnost i uvolňování respirabilních vláken ve srovnání se suchými metodami (Russell 2007; Hubbe a Koukoulas 2016).

Z ekologického hlediska představuje technologie wet-laid nízkoenergetickou alternativu k procesům tavení, jelikož formování probíhá při nízkých teplotách. Tento přístup přispívá ke snižování emisí CO₂, nižší spotřebě primárních surovin a uzavírání materiálového cyklu stavebních izolací v rámci oběhového hospodářství. Projekt současně rozvíjí koncept upcyklace, kdy je odpadní materiál transformován na produkt s vyšší funkční i estetickou hodnotou (Deng et al. 2018; ROCKWOOL 2025; Faizal et al. 2025).

Spojení s uměním

Platformou, prostřednictvím které je tento přístup dlouhodobě prezentován, je Lucca Biennale Cartasia, konaná každé dva roky ve městě Lucca. V kontextu této výstavy lze princip disperze vláken ve vodním médiu a jejich následné formování na sítu chápat jako materiálový a technologický základ široké škály vystavených děl. Proces mokrého kladení se uplatňuje jak u průmyslově vyráběných papírových desek používaných pro monumentální instalace, tak v individuálních uměleckých technikách ruční výroby papíru (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Tvorba Kyoko Ibe pracuje přímo s mokrou buničinou a využívá transparentnost, propustnost světla a vrstvení jako nástroje prostorové kresby, zatímco díla Pavla Piekara zdůrazňují strukturální stopu vláken formovaných řízenou sedimentací v mokré lázni. V širším kontextu

současného umění zkoumá strukturální potenciál materiálů vzniklých mokrou cestou také Michelangelo Pistoletto, jehož instalace z průmyslově vyráběného papíru a lepenky pracují s napětím mezi pomíjivostí materiálu a monumentálností formy. Ačkoliv zde technologie není explicitně tematizována, vlastnosti papíru – jako homogenita, pevnost v tlaku a možnost vrstvení – vycházejí z principů klasické mokré výroby (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Kromě uměleckých instalací se v designové sekci bienále objevují také projekty využívající kompozitní papírové panely a netkané struktury vyrobené modifikovanou technologií wet-laid. Kombinace celulózových a syntetických vláken umožňuje tvorbu lehkých membrán, prostorových prvků a architektonických modulů. Tento kontext představuje mokré kladení současně jako technologický nástroj, materiálový experiment i prostředek pro rozvoj nových forem prostorově a materiálově orientované tvorby (Lucca Biennale Cartasia 2026).

Závěr

Umělecká dimenze projektu není pouze aplikovaná; funguje jako experimentální prostor pro testování materiálového chování, vizuálních kvalit a prostorového potenciálu výsledných struktur. Umělecká praxe zde slouží jako forma materiálového výzkumu, která umožňuje zkoumat vlastnosti materiálu v měřítkách, kontextech a zátěžových podmínkách přesahujících standardní laboratorní testování.

Projekt tak vytváří mezioborový rámec spojující materiálové inženýrství, environmentální technologie a umělecký výzkum. Výsledkem má být nová kategorie strukturálně variabilních vláknitých materiálů z recyklovaných minerálních zdrojů, která rozšíří možnosti jejich technického, architektonického a uměleckého využití, zároveň i přispěje k udržitelnému nakládání se stavebním odpadem.

Literatura

- [1] Chao Deng et al. „Environmentally friendly and breathable wet-laid hydroentangled nonwovens for personal hygiene care with excellent water absorbency and flushability“. In: *Royal Society Open Science* 5.4 (2018), s. 171486. DOI: 10.1098/rsos.171486. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsos.171486>.
- [2] M. Faizal et al. „Circular solutions for the built environment: thermal insulation from upcycled waste“. In: *International Journal of Research and Innovation in Social Science* 9.10 (2025), s. 6659–6673. DOI: 10.47772/IJRIS.2025.909000543. URL: <https://rsiinternational.org/journals/ijriss/articles/circular-solutions-for-the-built-environment-thermal-insulation-from-upcycled-waste/>.
- [3] Martin A. Hubbe a Alexandros A. Koukoulas. „Wet-laid nonwovens manufacture – chemical approaches using synthetic and cellulosic fibers“. In: *BioResources* 11.2 (2016), s. 5500–5552. DOI: 10.15376/biores.11.2.5500-5552. URL: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/wet-laid-nonwovens-manufacture-chemical-approaches-using-synthetic-and-cellulosic-fibers/> (cit. 26.03.2026).
- [4] Interreg Europe. *Policy brief on sustainable construction*. 2024. URL: <https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/2024-03/Policy%20brief%20on%20Sustainable%20construction.pdf> (cit. 07.12.2025).
- [5] Lucca Biennale Cartasia. *Lucca Biennale Cartasia*. 2026. URL: <https://www.luccabiennalecartasia.com/en> (cit. 02.03.2026).
- [6] ROCKWOOL. *Rockwool UK Recycling Brochure*. URL: <https://www.rockwool.com/sitesassets/rw-uk/downloads/brochures/rockwool-uk-recycling-brochure.pdf> (cit. 07.12.2025).

- [7] Stephen J. Russell, ed. *Handbook of Nonwovens*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2007. ISBN: 978-1-85573-603-0.
- [8] Jan Trejbal et al. „New possibilities for recycling of mineral wool separated from thermal insulation waste“. In: (2022). DOI: [10.14311/app.2022.34.0122](https://doi.org/10.14311/app.2022.34.0122). URL: <https://ojs.cvut.cz/ojs/index.php/APP/article/view/8123/6334/> (cit. 07. 12. 2025).

Creating Colors through Plasma Deposition

Erzeugung von Farben durch Plasmaabscheidung

Tvorba barev pomocí plazmové depozice

Ing. Martin Šetina

- EN:** *Thin-film development by plasma methods, Fiber-optic sensing, CXI TUL, Department of Advanced Materials*
- DE:** *Dünnschichtentwicklung durch Plasmamethoden, Faseroptische Sensorik, CXI TUL, Institut für fortgeschrittene Materialien*
- CZ:** *Vývoj tenkých vrstev plazmovými metodami, Vláknoř-optická sensorika, CXI TUL, Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie*

Keywords (EN): plasma deposition, PACVD, PVD, thin films, optical properties, structural colors, interference effects, art and science, artificial intelligence

Schlüsselwörter (DE): Plasmaabscheidung, PACVD, PVD, dünne Schichten, optische Eigenschaften, strukturelle Farben, Interferenzeffekte, Kunst und Wissenschaft, künstliche Intelligenz

Klíčová slova (CZ): plazmová depozice, PACVD, PVD, tenké vrstvy, optické vlastnosti, strukturní barvy, interferenční efekty, věda a umění, umělá inteligence

Color is traditionally associated with pigments and the chemical composition of materials. Modern materials engineering, however, enables the generation of color through entirely different mechanisms, namely the interaction of light with thin films in the nanometer-to-micrometer thickness range. These so-called structural colors arise from the interference, absorption, and scattering of light, offering new possibilities not only for technical applications but also for art and design.

This contribution focuses on the generation of color effects using plasma-based deposition techniques, specifically physical vapor deposition from solid targets (PVD) and plasma-assisted chemical vapor deposition (PACVD). In PVD processes such as magnetron sputtering, atoms are physically ejected from a solid target and subsequently condense on a substrate. In practice, this approach is often combined with reactive gases or chemical precursors activated in plasma, for example by radio-frequency (RF) discharge at the deposition electrode. Both methods enable precise control of film thickness, composition, and structure, which is essential for tailoring optical properties.

The origins of these technologies can be traced to the mid-twentieth century, when they were developed primarily for protective and functional coatings intended to improve hardness, wear resistance, and other surface properties. Over time, it became evident that suitable combinations of materials and deposition parameters could also produce pronounced optical effects, including iridescence, color gradients, and metallic appearances. Many of these effects are inspired by natural structures, such as butterfly wings or peacock feathers, in which color originates from micro- and nanostructural features rather than pigments.

By selecting target materials (e.g., Ti, Cr, Al, Cu, and Ag) and controlling the reactive atmosphere (e.g., nitrogen or oxygen), it is possible to form colored compounds such as TiN, CrN, oxides, and metallic films with characteristic optical responses, including plasmonic coloration in Cu- and Ag-based systems. PACVD processes further allow the deposition of films from chemical precursors such as HMDSO or hydrocarbons (e.g., CH₄ and C₂H₂), resulting in amorphous carbon (DLC) or organosilicon coatings with distinctive optical properties.

The optical behavior of these films depends not only on their chemical composition but also critically on film thickness and refractive index. Interference phenomena lead to the selective enhancement or suppression of specific wavelengths, resulting in colors that may vary with the viewing angle. By combining multiple layers or gradient structures, complex visual effects can be achieved, finding applications in architecture, product design, jewelry, and contemporary art.

At the same time, it is important to recognize the physical and technological limitations of plasma-based deposition. Not all materials are compatible with vacuum or plasma environments, and not all objects can be coated effectively. Porous, organic, or temperature-sensitive materials (e.g., textiles, fur, or certain polymers) may degrade, outgas, or inhibit the formation of continuous and adherent films. Consequently, visually attractive effects achieved on ideal substrates, such as polished steel, cannot always be transferred to arbitrary objects.

In recent years, artificial intelligence and machine-learning methods have begun to play an increasingly important role in thin-film design and optimization. These approaches facilitate the analysis of large experimental datasets, the prediction of relationships between process parameters and resulting film properties, and the acceleration of the search for desired optical effects. In artistic contexts, such tools may also support the systematic exploration and refinement of visual outcomes.

This contribution is based on the author's experimental work with plasma deposition technologies and presents selected examples of color-forming thin films prepared by PVD and PACVD. Particular attention is devoted to the relationships between process parameters (pressure, gas composition, power, and substrate bias) and optical properties, as well as to the possibilities and practical limitations of the approach.

The intersection of science and art in this context lies in the transformation of a technological process into a medium of visual expression. Plasma deposition therefore represents not only an industrial technology but also a tool for creating new forms of color grounded in physical principles, with boundaries that are clearly defined yet open to creative exploration.

References

- [1] Shuichi Kinoshita and Shinya Yoshioka. „Structural colors in nature: The role of regularity and irregularity in the structure“. In: *Chemical Reviews* 108.5 (2008), pp. 1877–1906.
- [2] Akhlesh Lakhtakia and Russell Messier. *Sculptured Thin Films: Nanoengineered Morphology and Optics*. Bellingham: SPIE Press, 2005.
- [3] Donald M. Mattox. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. 2nd ed. Oxford: William Andrew Publishing, 2010.
- [4] Milton Ohring. *Materials Science of Thin Films*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 2002.
- [5] John Robertson. „Diamond-like amorphous carbon“. In: *Materials Science and Engineering R: Reports* 37.4–6 (2002), pp. 129–281.

Deutsche Übersetzung

Farbe wird traditionell mit Pigmenten und der chemischen Zusammensetzung von Materialien in Verbindung gebracht. Die moderne Werkstofftechnik ermöglicht es jedoch, Farben durch völlig andere Mechanismen zu erzeugen – nämlich durch die Wechselwirkung von Licht mit dünnen Schichten im Nanometer- bis Mikrometerbereich. Diese sogenannten strukturellen Farben entstehen durch Interferenz, Absorption und Streuung des Lichts und bieten neue Möglichkeiten nicht nur für technische Anwendungen, sondern auch für Kunst und Design.

Dieser Beitrag konzentriert sich auf die Erzeugung von Farbeffekten mithilfe plasmabasierter Abscheidungsverfahren, insbesondere der physikalischen Gasphasenabscheidung von Feststofftargets (PVD) und der plasmagestützten chemischen Gasphasenabscheidung (PACVD). Bei PVD-Prozessen wie dem Magnetronputtern werden Atome physikalisch von einem festen Target herausgeschlagen und kondensieren anschließend auf einem Substrat. In der Praxis wird dieser Ansatz häufig mit reaktiven Gasen oder chemischen Vorstufen (Precursoren) kombiniert, die im Plasma aktiviert werden, beispielsweise durch eine HF-Entladung an der Abscheidungselektrode. Beide Methoden ermöglichen eine präzise Kontrolle über Schichtdicke, Zusammensetzung und Struktur, was für die Abstimmung der optischen Eigenschaften von entscheidender Bedeutung ist.

Die Ursprünge dieser Technologien reichen bis in die Mitte des 20. Jahrhunderts zurück, als sie primär für Schutz- und Funktionsschichten entwickelt wurden, etwa zur Verbesserung der Härte oder Verschleißfestigkeit. Im Laufe der Zeit zeigte sich, dass geeignete Kombinationen von Materialien und Abscheidungsparametern auch ausgeprägte optische Effekte hervorrufen können, darunter Irisieren, Farbgradienten und metallische Optiken. Diese Effekte sind oft von natürlichen Strukturen inspiriert, wie Schmetterlingsflügeln oder Pfauenfedern, bei denen die Farbe eher durch die Mikro- und Nanostruktur als durch Pigmente entsteht.

Durch die Auswahl von Targetmaterialien (z. B. Ti, Cr, Al, Cu, Ag) und die Steuerung der reaktiven Atmosphäre (z. B. Stickstoff oder Sauerstoff) ist es möglich, farbige Verbindungen wie TiN, CrN, Oxide oder metallische Schichten mit charakteristischen optischen Reaktionen (einschließlich plasmonischer Färbung bei Cu und Ag) zu bilden. PACVD-Prozesse erlauben die Abscheidung von Schichten aus chemischen Vorstufen wie HMDSO oder Kohlenwasserstoffen (z. B. CH₄, C₂H₂), was zu amorphem Kohlenstoff (DLC) oder siliziumorganischen Beschichtungen mit einzigartigen optischen Eigenschaften führt.

Das optische Verhalten dieser Schichten hängt nicht nur von ihrer chemischen Zusammensetzung ab, sondern entscheidend auch von der Dicke und dem Brechungsindex. Interferenzeffekte führen zu einer selektiven Verstärkung oder Unterdrückung bestimmter Wellenlängen, was zu Farben führt, die je nach Betrachtungswinkel variieren können. Durch die Kombination mehrerer Schichten oder Gradientenstrukturen lassen sich komplexe visuelle Effekte erzielen, die in der Architektur, im Produktdesign, im Schmuckdesign und in der zeitgenössischen Kunst Anwendung finden.

Gleichzeitig ist es wichtig, die physikalischen und technologischen Grenzen der Plasmaabscheidung zu erkennen. Nicht alle Materialien sind mit Vakuum- oder Plasmaumgebungen kompatibel, und nicht alle Objekte lassen sich effektiv beschichten. Poröse, organische oder temperaturempfindliche Materialien (z. B. Textilien, Pelze oder bestimmte Polymere) können degradieren, ausgasen oder die Bildung kontinuierlicher und haftender Schichten verhindern. Folglich sind visuell ansprechende Effekte, die auf idealen Substraten (wie polierten Stahlproben) erzielt werden, nicht immer auf beliebige Objekte übertragbar.

In den letzten Jahren haben künstliche Intelligenz und Methoden des maschinellen Lernens eine zunehmende Rolle beim Design und der Optimierung von Dünnschichten übernommen. Diese Ansätze ermöglichen die Analyse großer experimenteller Datensätze, die Vorhersage von

Beziehungen zwischen Prozessparametern und den resultierenden Schichteigenschaften sowie die beschleunigte Suche nach gewünschten optischen Effekten. Im künstlerischen Kontext können solche Werkzeuge die systematische Abstimmung visueller Ergebnisse unterstützen.

Dieser Beitrag basiert auf den experimentellen Arbeiten des Autors mit Plasmaabscheidungs-technologien und präsentiert ausgewählte Beispiele für farbgebende Dünnschichten, die mittels PVD und PACVD hergestellt wurden. Die Zusammenhänge zwischen den Prozessparametern (Druck, Gaszusammensetzung, Leistung, Substratbias) und den optischen Eigenschaften werden ebenso diskutiert wie die Möglichkeiten und praktischen Grenzen des Ansatzes.

Die Schnittstelle von Wissenschaft und Kunst liegt in diesem Kontext darin, einen technologischen Prozess in ein Medium für den visuellen Ausdruck zu verwandeln. Die Plasmaabscheidung stellt somit nicht nur eine industrielle Technik dar, sondern auch ein Werkzeug zur Schaffung neuer Formen von Farben auf der Grundlage physikalischer Prinzipien – mit klar definierten, aber kreativ nutzbaren Grenzen.

Literatur

- [1] Shuichi Kinoshita und Shinya Yoshioka. „Structural colors in nature: The role of regularity and irregularity in the structure“. In: *Chemical Reviews* 108.5 (2008), S. 1877–1906.
- [2] Akhlesh Lakhtakia und Russell Messier. *Sculptured Thin Films: Nanoengineered Morphology and Optics*. Bellingham: SPIE Press, 2005.
- [3] Donald M. Mattox. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. 2. Aufl. Oxford: William Andrew Publishing, 2010.
- [4] Milton Ohring. *Materials Science of Thin Films*. 2. Aufl. San Diego: Academic Press, 2002.
- [5] John Robertson. „Diamond-like amorphous carbon“. In: *Materials Science and Engineering R: Reports* 37.4–6 (2002), S. 129–281.

Český překlad

Barva je tradičně spojována s pigmenty a chemickým složením materiálů. Moderní materiálové inženýrství však umožňuje vytváření barev prostřednictvím zcela odlišných mechanismů – konkrétně interakcí světla s tenkými vrstvami o tloušťce v řádu nanometrů až mikrometrů. Tyto takzvané strukturní barvy vznikají interferencí, absorpcí a rozptylem světla, což otevírá nové možnosti nejen pro technické aplikace, ale také pro umění a design.

Tento příspěvek se zaměřuje na generování barevných efektů pomocí depozičních technik založených na plazmatu, konkrétně fyzikální depozice z plynné fáze z pevných terčů (PVD) a plazmatem podporované chemické depozice z plynné fáze (PACVD). Při procesech PVD, jako je magnetronové naprašování, jsou atomy fyzicky vyráženy z pevného terče a následně kondenzují na substrátu. V praktických aplikacích se tento přístup často kombinuje s reaktivními plyny nebo chemickými prekurzory aktivovanými v plazmatu, například vysokofrekvenčním (RF) výbojem na depoziční elektrodě. Obě metody umožňují přesnou kontrolu tloušťky, složení a struktury vrstvy, což je zásadní pro ladění optických vlastností.

Počátky těchto technologií sahají do poloviny 20. století, kdy byly vyvíjeny především pro ochranné a funkční povlaky zvyšující tvrdost a odolnost proti opotřebení. Postupem času se ukázalo, že vhodné kombinace materiálů a depozičních parametrů mohou vytvářet také výrazné optické efekty, včetně iridescence (měňavosti), barevných gradientů a metalického vzhledu. Tyto efekty jsou často inspirovány přírodními strukturami, jako jsou motýlí křídla nebo paví pera, kde barva vzniká spíše díky mikro- a nanostruktuře než působením pigmentů.

Volbou materiálů terče (např. Ti, Cr, Al, Cu, Ag) a řízením reaktivní atmosféry (např. dusíku nebo kyslíku) je možné vytvářet barevné sloučeniny, jako jsou TiN, CrN, oxidy nebo kovové vrstvy s charakteristickou optickou odezvou, včetně plazmonického zbarvení u Cu a Ag. Procesy PACVD umožňují depozici vrstev z chemických prekurzorů, jako je HMDSO nebo uhlovodíky (např. CH₄, C₂H₂), což vede ke vzniku amorfního uhlíku (DLC) nebo organokřemičitých povlaků s jedinečnými optickými vlastnostmi.

Optické chování těchto vrstev závisí nejen na jejich chemickém složení, ale také zásadním způsobem na tloušťce vrstvy a indexu lomu. Interferenční jevy vedou k selektivnímu zesílení nebo potlačení určitých vlnových délek, což má za následek vznik barev, které se mohou měnit v závislosti na úhlu pohledu. Kombinací více vrstev nebo gradientních struktur lze dosáhnout komplexních vizuálních efektů nacházejících uplatnění v architektuře, produktovém designu, šperkařství a současném umění.

Zároveň je však důležité si uvědomit fyzikální a technologická omezení plazmové depozice. Ne všechny materiály jsou kompatibilní s vakuovým nebo plazmovým prostředím a ne všechny objekty lze efektivně povlakovat. Porézní, organické nebo na teplotu citlivé materiály (např. textilie, kožešiny nebo některé polymery) mohou degradovat, odplyňovat nebo bránit tvorbě souvislých a přilnavých vrstev. V důsledku toho nejsou vizuálně atraktivní efekty dosažené na ideálních substrátech (například leštěné oceli) vždy přenositelné na libovolné předměty.

V posledních letech začínají v návrhu a optimalizaci tenkých vrstev hrát stále významnější roli umělá inteligence a metody strojového učení. Tyto přístupy umožňují analýzu rozsáhlých experimentálních datových souborů, predikci vztahů mezi procesními parametry a výslednými vlastnostmi vrstev a urychlují hledání požadovaných optických efektů. V uměleckém kontextu mohou tyto nástroje podpořit systematické ladění vizuálních výsledků.

Tento příspěvek vychází z autorovy experimentální práce s technologiemi plazmové depozice a představuje vybrané příklady barevně aktivních tenkých vrstev připravených metodami PVD a PACVD. Diskutovány jsou vztahy mezi procesními parametry (tlak, složení plynu, výkon, předpětí substrátu) a optickými vlastnostmi, stejně jako možnosti a praktická omezení tohoto přístupu.

Průsečík vědy a umění v tomto kontextu spočívá v proměně technologického procesu v médium vizuálního vyjádření. Plazmová depozice tak představuje nejen průmyslovou technologii, ale také nástroj pro vytváření nových forem barev založených na fyzikálních principech – s jasně vymezenými, avšak kreativně využitelnými hranicemi.

Literatura

- [1] Shuichi Kinoshita a Shinya Yoshioka. „Structural colors in nature: The role of regularity and irregularity in the structure“. In: *Chemical Reviews* 108.5 (2008), s. 1877–1906.
- [2] Akhlesh Lakhtakia a Russell Messier. *Sculptured Thin Films: Nanoengineered Morphology and Optics*. Bellingham: SPIE Press, 2005.
- [3] Donald M. Mattox. *Handbook of Physical Vapor Deposition (PVD) Processing*. 2. vyd. Oxford: William Andrew Publishing, 2010.
- [4] Milton Ohring. *Materials Science of Thin Films*. 2. vyd. San Diego: Academic Press, 2002.
- [5] John Robertson. „Diamond-like amorphous carbon“. In: *Materials Science and Engineering R: Reports* 37.4–6 (2002), s. 129–281.

Planar Rule-Based Design of Modular Lighting Objects

Planare regelbasierte Gestaltung modularer Lichtobjekte

Návrh modulárních světelných objektů založený na plošném konstrukčním systému

Söhnke Vetter

EN: *University of the Arts Bremen, Germany*

DE: *Hochschule für Künste Bremen, Deutschland*

CZ: *Vysoká škola umění v Brémách, Německo*

Keywords (EN): lighting design, modular structures, planar construction, rule-based design, material behavior

Schlüsselwörter (DE): Leuchtendesign, modulare Strukturen, planare Konstruktion, regelbasiertes Design, Materialverhalten

Klíčová slova (CZ): design svítidel, modulární struktury, planární konstrukce, pravidly řízený design, chování materiálu

Introduction

This contribution presents a design approach for modular lighting objects developed entirely from planar construction principles. Rather than deriving form from a predefined three-dimensional geometry, the process begins with a two-dimensional layout in which geometric relationships, proportions, and connection elements are specified.

The resulting objects emerge through the assembly of identical laser-cut components that interlock to form self-supporting structures. Although the construction is fully defined within the plane, the final spatial configuration is not explicitly modeled in advance but arises through the interaction of the established parameters.

Planar construction system

The design process is based on a parametric sketch environment (see Fig. 1), in which all components are constructed as congruent parts. Within this system, relationships between line segments, angles, and connection points are defined.

A key aspect of the design is the configuration of the interlocking elements, typically circular or ring-shaped openings distributed along elongated strips. Their size, spacing, and relative positioning determine how the individual components connect and how forces are distributed throughout the assembled structure.

Because all relevant information is encoded within the two-dimensional layout, the construction simultaneously serves as a fabrication drawing, enabling direct material production with minimal intermediate steps.

Parameter-driven form emergence

A central observation of this work is that variations in the progression of connection-element sizes directly influence the resulting spatial geometry.

If the dimensions of the elements remain constant, the assembled structure tends toward cylindrical configurations. When the elements gradually increase in size along the length of a strip, conical forms emerge. The specific character of these forms depends on the nature of the progression.

The following relationships are based on empirical observation and should be understood as general tendencies:

Linear growth produces straight conical profiles (cf. Fig. 2), whereas accelerating (exponential) growth tends to generate inward-curving, concave profiles. Conversely, decelerating growth typically results in outward-curving, convex geometries.

Through these relationships, global form characteristics can be influenced indirectly through local parameter adjustments within the planar construction system.

Surface Organization and Visual Patterns

Beyond overall geometry, the arrangement of connection elements determines the visual organization of the surface.

Depending on their alignment, the assembled structures may exhibit continuous, wave-like trajectories that appear to flow across the object (see Fig. 3). These perceived paths do not correspond to the orientation of the structural elements themselves but emerge from the relative positioning of the connection points.

Alternatively, offset arrangements generate scale-like surface patterns without continuous directional flows. This demonstrates how distinct visual orders can arise from the same constructive logic through relational modifications within the planar system.

Light, Layering, and Material Behavior

The objects are defined not only by their external silhouette but also by internal layering effects that become visible when illuminated. Overlapping components generate shifting patterns of light and shadow, revealing structural relationships that remain concealed in the unlit state.

As the size of the connection elements increases, the degree of overlap between adjacent components changes, affecting both the density of the structure and the resulting light distribution. Adjustments to strip width can be used either to compensate for or to emphasize these effects, although such modifications may also influence the overall form.

Prototyping and process

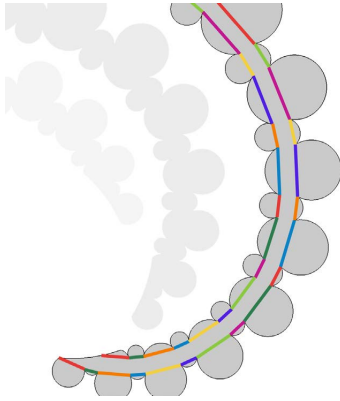
Because the spatial outcome is not entirely predetermined, physical prototyping plays an essential role in the design process. Early iterations are used to evaluate structural feasibility and determine the number of components required.

Over time, empirical observations enable increasingly reliable predictions, allowing the process to evolve from exploratory experimentation toward controlled variation within the rule-based system.

Conclusion

The presented approach demonstrates how spatial lighting objects can be generated from planar rule systems without relying on predefined three-dimensional models. Form emerges through the interaction of geometric parameters, material properties, and assembly logic.

The method provides a framework in which control and openness coexist: while the construction is precisely defined, the resulting form retains a degree of variability shaped by both formal rules and material behavior.



Detail of a planar construction. Colored lines indicate equal-length connections.



Schichtlicht No. 100, polypropylene (unlit).



Schichtlicht No. 88, polypropylene (lit).

References

- [1] Neri Oxman. „Material-Based Design Computation“. PhD thesis. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [2] Helmut Pottmann et al. *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press, 2007. ISBN: 978-1-934493-04-5.

Deutsche Übersetzung

Einleitung

Dieser Beitrag stellt einen Designansatz für modulare Leuchtobjekte vor, der vollständig aus planaren Konstruktionsregeln entwickelt wird. Anstatt die Form aus einer vordefinierten dreidimensionalen Geometrie abzuleiten, beginnt der Prozess mit einem zweidimensionalen Layout, in dem geometrische Beziehungen, Proportionen und Verbindungselemente definiert werden. Die resultierenden Objekte entstehen durch den Zusammenbau identischer, lasergeschnittener Komponenten, die ineinandergreifen und selbsttragende Strukturen bilden. Während die Konstruktion in der Ebene vollständig spezifiziert ist, wird die endgültige räumliche Form vorab nicht explizit modelliert, sondern entfaltet sich durch das Zusammenspiel der definierten Parameter.

Planares Konstruktionssystem

Der Designprozess basiert auf einer parametrischen Skizzenumgebung (siehe Abb. 1), in dem alle Elemente als kongruente Teile konstruiert werden. Innerhalb dieses Systems werden Beziehungen zwischen Liniensegmenten, Winkeln und Verbindungspunkten hergestellt. Eine Schlüsselrolle spielt die Gestaltung der ineinandergreifenden Elemente, bei denen es sich typischerweise um kreis- oder ringförmige Öffnungen handelt, die entlang langgestreckter Streifen verteilt sind. Ihre Größe, ihr Abstand und ihre relative Positionierung bestimmen, wie die einzelnen Teile miteinander verbunden werden und wie die Kräfte innerhalb der zusammengebauten Struktur verteilt sind. Da alle relevanten Informationen im zweidimensionalen Layout kodiert sind, fungiert die Konstruktion gleichzeitig als Fertigungszeichnung, was eine direkte Materialproduktion mit minimalen Zwischenschritten ermöglicht.

Parametergesteuerte Formentstehung

Eine zentrale Beobachtung dieser Arbeit ist, dass Variationen im Größenverlauf der Verbindungselemente die resultierende räumliche Form direkt beeinflussen.

Bleibt die Größe der Elemente konstant, tendiert die zusammengebaute Struktur zu zylindrischen Konfigurationen. Nehmen die Elemente entlang der Länge eines Streifens an Größe zu, entstehen konische Formen. Der spezifische Charakter dieser Formen hängt von der Art des Wachstums ab. Die folgenden Beziehungen basieren auf empirischen Beobachtungen und dienen als allgemeine Tendenzen:

Lineares Wachstum erzeugt gerade, konische Profile (vgl. Abb. 2), während ein beschleunigtes (exponentielles) Wachstum tendenziell zu nach innen gekrümmten, konkaven Profilen führt. Ein verlangsamtes Wachstum führt eher zu nach außen gekrümmten, konvexen Geometrien. Durch diese Beziehungen können globale Formeigenschaften indirekt durch lokale Parameterdefinitionen innerhalb der planaren Konstruktion beeinflusst werden.

Oberflächenorganisation und visuelle Muster

Über die Gesamtform hinaus definiert die Anordnung der Verbindungselemente die visuelle Organisation der Oberfläche. Je nach ihrer Ausrichtung können die zusammengebauten Strukturen kontinuierliche, wellenförmige Trajektorien aufweisen, die über das Objekt zu laufen scheinen (siehe Abb. 3). Diese wahrgenommenen Pfade entsprechen nicht der Richtung der Strukturelemente selbst, sondern ergeben sich aus der relativen Positionierung der Verbindungspunkte. Alternativ erzeugen versetzte Anordnungen schuppenartige Oberflächenmuster ohne kontinuierliche Richtungsverläufe. Dies zeigt, dass aus derselben konstruktiven Logik durch relationale

Verschiebungen innerhalb des planaren Systems unterschiedliche visuelle Ordnungen entstehen können.

Licht, Schichtung und Materialverhalten

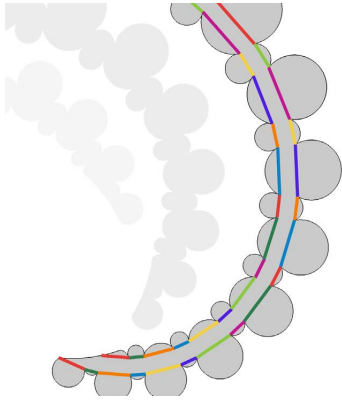
Die Objekte werden nicht nur durch ihre äußere Silhouette definiert, sondern auch durch interne Schichtungseffekte, die bei Beleuchtung sichtbar werden. Überlappende Elemente erzeugen wechselnde Licht- und Schattenmuster und offenbaren strukturelle Beziehungen, die im unbeleuchteten Zustand verborgen bleiben. Mit zunehmender Größe der Verbindungselemente verändert sich der Grad der Überlappung zwischen benachbarten Komponenten, was sich sowohl auf die Dichte der Struktur als auch auf die resultierende Lichtverteilung auswirkt. Anpassungen der Streifenbreite können genutzt werden, um diese Effekte auszugleichen oder hervorzuheben, obwohl solche Modifikationen die Form beeinflussen können.

Prototyping und Prozess

Da das räumliche Ergebnis nicht vollständig vorherbestimmt ist, spielt das physische Prototyping eine wesentliche Rolle im Designprozess. Frühe Iterationen bewerten die strukturelle Machbarkeit und die Anzahl der erforderlichen Komponenten. Im Laufe der Zeit ermöglichen empirische Beobachtungen zuverlässigere Vorhersagen, sodass sich der Prozess von explorativen Experimenten hin zu kontrollierten Variationen innerhalb des regelbasierten Systems verschieben kann.

Fazit

Der vorgestellte Ansatz zeigt, wie räumliche Lichtobjekte aus planaren Regelsystemen generiert werden können, ohne auf vordefinierte dreidimensionale Modelle angewiesen zu sein. Die Form entsteht durch das Zusammenspiel von geometrischen Parametern, Materialeigenschaften und der Montagelogik. Diese Methode bietet einen Rahmen, in dem Kontrolle und Offenheit koexistieren: Während die Konstruktion präzise definiert ist, behält die resultierende Form ein gewisses Maß an Variabilität, das sowohl durch Regeln als auch durch das Materialverhalten geprägt ist.



Detail einer planaren Konstruktion. Farbige Linien weisen auf gleichlange Verbindungen hin.



Schichtlicht Nr. 100, Polypropylen (unbeleuchtet).



Schichtlicht Nr. 88, Polypropylen (beleuchtet).

Literatur

- [1] Neri Oxman. „Material-Based Design Computation“. Diss. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [2] Helmut Pottmann u. a. *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press, 2007. ISBN: 978-1-934493-04-5.

Český překlad

Úvod

Tento příspěvek představuje designový přístup k modulárním světelným objektům, který vychází výhradně z plošných (planárních) konstrukčních pravidel. Namísto odvozování formy z předem definované trojrozměrné geometrie začíná celý proces ve dvourozměrném uspořádání, v němž jsou definovány geometrické vztahy, proporce a spojovací prvky.

Výsledné objekty vznikají sestavením identických, laserem vyřezávaných komponentů, které do sebe zapadají a vytvářejí samonosné struktury. Přestože je konstrukce plně definována v rovině, výsledná prostorová forma není předem explicitně modelována, ale vzniká prostřednictvím vzájemného působení definovaných parametrů.

Planární konstrukční systém

Proces návrhu je založen na parametrickém skicovacím prostředí (viz obr. 1), v němž jsou všechny prvky konstruovány jako shodné díly. V rámci tohoto systému jsou definovány vztahy mezi úsečkami, úhly a spojovacími body.

Klíčovou roli zde hraje návrh vzájemně propojitelných prvků, obvykle kruhových nebo prstencových otvorů rozmístěných podél podlouhlých pásků. Jejich velikost, rozteč a vzájemná poloha určují způsob propojení jednotlivých dílů i rozložení sil v sestavené struktuře.

Protože jsou všechny relevantní informace zakódovány ve dvourozměrném uspořádání, funguje konstrukce současně jako výrobní výkres, což umožňuje přímou výrobu s minimálním počtem mezikroků.

Parametricky řízený vznik formy

Ústředním poznatkem této práce je skutečnost, že změny v postupném zvětšování spojovacích prvků přímo ovlivňují výslednou prostorovou formu.

Pokud zůstává velikost prvků konstantní, sestavená struktura směřuje k válcovým konfiguracím. Jestliže se velikost prvků postupně zvětšuje podél délky pásku, vznikají kuželovité formy. Jejich konkrétní charakter závisí na způsobu růstu.

Následující vztahy vycházejí z empirického pozorování a představují obecné tendence:

Lineární růst vytváří rovné kuželové profily (srov. obr. 2), zatímco zrychlující se (exponenciální) růst vede zpravidla k dovnitř zakřiveným, konkávním profilům. Naopak zpomalující se růst obvykle vytváří vně zakřivené, konvexní geometrie.

Prostřednictvím těchto vztahů lze globální charakteristiky formy nepřímo ovlivňovat lokálním nastavením parametrů v rámci planární konstrukce.

Organizace povrchu a vizuální vzory

Uspořádání spojovacích prvků neurčuje pouze celkový tvar, ale také vizuální organizaci povrchu.

V závislosti na jejich rozmístění mohou sestavené struktury vykazovat plynulé, vlnovité trajektorie, které zdánlivě procházejí celým objektem (viz obr. 3). Tyto vnímané linie neodpovídají směru samotných konstrukčních prvků, ale vznikají na základě vzájemné polohy spojovacích bodů.

Přesazené uspořádání naopak vytváří šupinovité povrchové struktury bez souvislých směrových linií. Ukazuje se tak, že ze stejné konstrukční logiky mohou prostřednictvím relačních změn v rámci planárního systému vznikat odlišné vizuální řády.

Světlo, vrstvení a chování materiálu

Objekty nejsou definovány pouze svou vnější siluetou, ale také efekty vnitřního vrstvení, které se projeví při osvětlení. Překrývající se prvky vytvářejí proměnlivé vzory světla a stínu a odhalují strukturální vztahy, jež zůstávají v neosvětleném stavu skryté.

S rostoucí velikostí spojovacích prvků se mění míra překrytí sousedních komponentů, což ovlivňuje hustotu struktury i výslednou distribuci světla. Tyto efekty lze vyvažovat nebo naopak zdůrazňovat úpravou šířky pásků, takové zásahy však mohou současně ovlivnit celkovou formu objektu.

Prototypování a proces

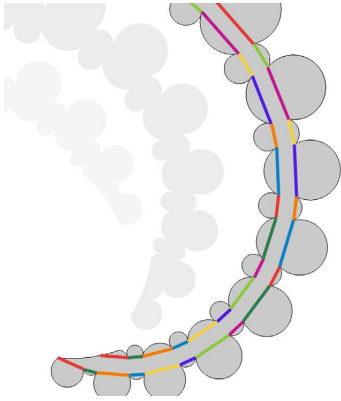
Vzhledem k tomu, že výsledná prostorová podoba není zcela předem určena, hraje fyzické prototypování v procesu návrhu zásadní roli. Rané iterace slouží k ověření konstrukční proveditelnosti a stanovení potřebného počtu komponentů.

Postupně získávané empirické poznatky umožňují stále spolehlivější předvídání výsledků, díky čemuž se proces může posouvat od průzkumného experimentování ke kontrolovaným variacím v rámci systému založeného na pravidlech.

Závěr

Představený přístup ukazuje, jak lze generovat prostorové světelné objekty z planárních systémů pravidel bez nutnosti využívat předem definované trojrozměrné modely. Forma vzniká prostřednictvím interakce geometrických parametrů, materiálových vlastností a logiky sestavení.

Tato metoda nabízí rámec, v němž koexistují kontrola a otevřenost: zatímco konstrukce je přesně definována, výsledná forma si zachovává určitou míru variability utvářenou jak souborem pravidel, tak chováním materiálu.



Detail planární konstrukce. Barevné linie označují spojení stejné délky.



Schichtlicht č. 100, polypropylen (nerozsvíceno).



Schichtlicht č. 88, polypropylen (rozsvíceno).

Literatura

- [1] Neri Oxman. „Material-Based Design Computation“. Dis. pr. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [2] Helmut Pottmann et al. *Architectural Geometry*. Exton: Bentley Institute Press, 2007. ISBN: 978-1-934493-04-5.

Physics that paints: Surface tension as an artist 's tool
Physik, die malt: Oberflächenspannung als Werkzeug des Künstlers
Fyzika, která maluje: Povrchové napětí jako nástroj umělce

Ing. Karolína Voleská, Ph.D.

EN: *The Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovations, Technical University of Liberec*

DE: *Institut für Nanomaterialien, Fortschrittliche Technologien und Innovationen, Technische Universität Liberec*

CZ: *Institut pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Technická univerzita v Liberci*

Keywords (EN): Surface tension, interfacial physics, soap films, material behavior, generative processes, experimental aesthetics, scientific visualization, art–science interaction

Schlüsselwörter (DE): Oberflächenspannung, Grenzflächenphysik, Seifenfilme, Materialverhalten, generative Prozesse, experimentelle Ästhetik, wissenschaftliche Visualisierung, Interaktion zwischen Wissenschaft und Kunst

Klíčová slova (CZ): povrchové napětí, mezioborová fyzika, mýdlové filmy, chování materiálů, generativní procesy, experimentální estetika, vědecká vizualizace, interakce vědy a umění

Surface tension is a physical phenomenon arising from the cohesive forces between molecules in a liquid. At first glance, it appears to be a purely scientific concept; however, its visual and symbolic potential has also made it a source of artistic inspiration. At the intersection of science and aesthetics, surface tension reveals how physical laws can become generative principles for visual expression.

Visual art frequently works directly with liquid materials such as paint, ink, or water. Surface tension significantly influences their behavior—whether liquids form continuous films, spread into organic patterns, or contract into discrete droplets. Artists can deliberately exploit these effects, for example in paint-pouring techniques or experimental photography, where transient moments of droplet deformation are captured just before breakup.

A particularly compelling manifestation of surface tension is the phenomenon of soap bubbles. These structures arise from a thin liquid film stabilized by surface tension. Soap bubbles exhibit iridescent color shifts, constantly changing geometries, and delicate, ephemeral forms that fascinate not only scientists and children, but also artists. Their brief existence emphasizes transience as a central aesthetic and conceptual theme in art.

The physical principles of soap bubbles have also inspired specific artistic techniques. In bubble painting, pigments are added to a soap solution, which is then foamed and transferred onto paper or canvas. When the bubbles burst, they leave behind irregular, finely textured imprints resembling abstract compositions. Because the process is partly governed by chance, it introduces randomness as a creative principle, echoing experimental practices in modern and contemporary art.

Method of creation

The technique is relatively simple: paint is mixed with a soap solution, bubbles are generated, and then transferred onto a surface. This can be done in several ways—for example by blowing through a straw, pressing foam onto paper, or allowing bubbles to fall onto the surface from above.

Each bubble produces a circular, finely textured imprint. Overlapping forms generate complex, organic compositions. The resulting patterns often resemble microscopic structures or planetary surfaces, reflecting how surface tension organizes pigment into thin, curved films.

Historically, artists and photographers have also been inspired by soap bubbles and their physical properties. In particular, they have sought to capture:

- iridescent interference patterns on the bubble surface
- the moment immediately before rupture
- deformations caused by air currents



Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Soap Bubbles (1733–34), oil on canvas

Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Soap Bubbles (1733–1734), oil on canvas

This work captures:

- the optical play of light on a thin liquid film
- the transience of the moment
- the tension between reality and illusion

Beyond its visual qualities, surface tension also carries a symbolic dimension. It can be understood as a fragile equilibrium of forces—a state of tension at the edge of stability, where transformation can occur at any moment. In this sense, it becomes a metaphor for emotional states, interpersonal relationships, or social systems poised between stability and change.

The relationship between art and surface tension demonstrates that even seemingly abstract physical phenomena can possess strong aesthetic and conceptual significance. In this context, art does not merely illustrate scientific principles, but extends them into new expressive forms that engage both sensory perception and intellectual reflection.

References

- [1] C. V. Boys. *Soap-Bubbles and the Forces Which Mould Them*. Mineola, NY: Dover Publications, 2010. ISBN: 978-0-486-49600-4.
- [2] Cyril Isenberg. *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. New York: Dover Publications, 1978. ISBN: 978-0-486-23756-0.
- [3] Andrea Prosperetti. *The Physics of Gas and Vapor Bubbles*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. ISBN: 978-1-107-01219-2.
- [4] F. Ronald Young. *Fizzics: The Science of Bubbles, Droplets, and Foams*. Princeton: Princeton University Press, 2002. ISBN: 978-0-691-09004-8.

Deutsche Übersetzung

Die Oberflächenspannung ist ein physikalisches Phänomen, das durch die Anziehungskräfte zwischen den Molekülen einer Flüssigkeit entsteht. Auf den ersten Blick erscheint sie als rein wissenschaftliches Konzept; ihr visuelles und symbolisches Potenzial zieht jedoch auch Künstler an. Gerade an der Schnittstelle von Wissenschaft und Ästhetik entsteht eine interessante Verbindung, bei der physikalische Gesetze zur Inspirationsquelle werden.

Die bildende Kunst arbeitet häufig mit Flüssigkeiten – Farbe, Tinte oder Wasser. Die Oberflächenspannung beeinflusst das Verhalten dieser Materialien: ob sie eine zusammenhängende Oberfläche bilden, sich in organische Formen ausbreiten oder sich zu kleinen Tropfen sammeln. Künstler können dieses Phänomen gezielt nutzen, beispielsweise bei Pouring-Techniken oder in der experimentellen Fotografie, wo sie den Moment der Verformung eines Tropfens kurz vor seinem Zerfall festhalten.

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel für die Verbindung von Kunst und Oberflächenspannung ist die Entstehung von Seifenblasen. Diese entstehen durch eine dünne Flüssigkeitsschicht, deren Stabilität durch die Oberflächenspannung aufrechterhalten wird. Seifenblasen erzeugen schillernde Reflexionen, wechselnde Formen und feine Strukturen, die nicht nur Kinder, sondern auch Künstler und Wissenschaftler faszinieren. Ihre kurze Existenz betont die Vergänglichkeit des Augenblicks – ein Thema, das in der Kunst seit langem präsent ist.

Das Prinzip der Seifenblasen inspirierte auch eine Maltechnik, die Blasen verwendet. Einer Seifenlösung wird Farbstoff zugesetzt, die Mischung wird aufgeschäumt, und die entstehenden Blasen werden auf Papier oder Leinwand übertragen. Beim Zerplatzen hinterlassen sie unregelmäßige, fein strukturierte Abdrücke, die an abstrakte Kompositionen erinnern. Die entstehenden Bilder sind weitgehend unvorhersehbar und eröffnen dem Zufall als kreativem Prinzip Raum – ähnlich wie bei anderen experimentellen Kunstrichtungen.

Methoden der Gestaltung

Das Grundprinzip ist einfach: Man fügt einer Seifenlösung Farbe hinzu, erzeugt Blasen und drückt diese anschließend auf Papier. Durch das Blasen mit einem Strohhalm entstehen Blasencluster, die auf dem Papier platzen (direktes Blasen auf das Papier, Erzeugen von Blasen in einem Becher und anschließendes Aufdrücken auf die Oberfläche oder Herabfallenlassen der Blasen von oben).

Jede Blase hinterlässt einen kreisförmigen, fein strukturierten Abdruck. Durch Überlagerungen entstehen abstrakte, beinahe „organische“ Kompositionen.

Das Ergebnis erinnert häufig an mikroskopische Strukturen oder Planeten – gerade weil die Oberflächenspannung die Farbe in dünnen Filmen organisiert.

Auch Maler und Fotografen der Vergangenheit ließen sich von Seifenblasen und insbesondere von deren physikalischen Eigenschaften inspirieren. Künstler arbeiten häufig mit der Tatsache, dass eine Blase nur für kurze Zeit existiert, was sie zu einem starken Symbol macht.

Besonders festzuhalten versuchen sie:

- schillernde Interferenzmuster auf der Oberfläche von Seifenblasen,
- den Moment unmittelbar vor dem Zerplatzen,
- Verformungen, die durch Luftströmungen verursacht werden.



Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Seifenblasen (1733–1734), Öl auf Leinwand

Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Seifenblasen (1733–1734), Öl auf Leinwand

zeigt:

- Lichtbrechung in einem dünnen Film,
- die Vergänglichkeit des Augenblicks,
- den Kontrast zwischen Realität und Illusion.

Neben ihrem visuellen Aspekt besitzt die Oberflächenspannung auch eine symbolische Dimension. Sie steht für ein empfindliches Gleichgewicht zwischen Kräften, für Spannung an der Grenze zur Instabilität – einen Moment, in dem sich das Ganze jederzeit verändern kann. Dieses Prinzip kann als Metapher für menschliche Emotionen, zwischenmenschliche Beziehungen oder gesellschaftliche Situationen verstanden werden, die sich an einem Wendepunkt befinden.

Die Verbindung von Kunst und Oberflächenspannung zeigt somit, dass selbst scheinbar abstrakte physikalische Phänomene eine tiefe Ästhetik und Bedeutung besitzen können. Kunst illustriert hier die Wissenschaft nicht lediglich, sondern entwickelt ihre Prinzipien zu neuen Formen weiter, die sowohl die Sinne als auch den Geist ansprechen.

Literatur

- [1] C. V. Boys. *Soap-Bubbles and the Forces Which Mould Them*. Mineola, NY: Dover Publications, 2010. ISBN: 978-0-486-49600-4.
- [2] Cyril Isenberg. *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. New York: Dover Publications, 1978. ISBN: 978-0-486-23756-0.
- [3] Andrea Prosperetti. *The Physics of Gas and Vapor Bubbles*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. ISBN: 978-1-107-01219-2.
- [4] F. Ronald Young. *Fizzics: The Science of Bubbles, Droplets, and Foams*. Princeton: Princeton University Press, 2002. ISBN: 978-0-691-09004-8.

Český překlad

Povrchové napětí je fyzikální jev vznikající v důsledku přitažlivých sil mezi molekulami kapaliny. Na první pohled se jedná o čistě vědecký koncept, jeho vizuální a symbolický potenciál však zároveň přitahuje umělce. Právě na pomezí vědy a estetiky vzniká zajímavé propojení, v němž se fyzikální zákony stávají zdrojem vizuální inspirace.

Výtvarné umění často pracuje s kapalinami, jako jsou barvy, inkoust či voda. Povrchové napětí zásadně ovlivňuje jejich chování – zda vytvoří souvislou vrstvu, rozprostřou se do organických tvarů, nebo se naopak shluknou do jednotlivých kapek. Umělci mohou tento jev záměrně využívat například v technikách lití barev nebo v experimentální fotografii, kde zachycují okamžiky deformace kapky těsně před jejím rozpadem.

Obzvláště výrazným příkladem propojení umění a povrchového napětí je fenomén mýdlových bublin. Ty vznikají díky tenké vrstvě kapaliny, jejíž stabilita je udržována právě povrchovým napětím. Bubliny vytvářejí duhové interference, proměnlivé tvary a jemné struktury, které fascinují nejen děti, ale i umělce a vědce. Jejich krátká existence navíc zdůrazňuje pomíjivost okamžiku – téma, které se v umění objevuje napříč historií.

Princip mýdlových bublin inspiroval také specifické výtvarné techniky. Do mýdlového roztoku se přidá barvivo, směs se napění a vzniklé bubliny se přenášejí na papír nebo plátno. Po prasknutí zanechávají nepravidelné, jemně strukturované otisky připomínající abstraktní kompozice. Výsledné obrazy jsou do značné míry nepředvídatelné, čímž otevírají prostor náhodě jako tvůrčímu principu, podobně jako v některých experimentálních uměleckých směrech.

Metody tvorby

Základní princip je jednoduchý: do mýdlového roztoku se přidá barva, vytvoří se bubliny a ty se následně otiskují na papír. Bubliny lze vytvářet různými způsoby – například foukáním brčkem, přenášením pěny na papír nebo necháním bublin dopadat shora.

Každá bublina zanechává kruhový, jemně strukturovaný otisk. Jejich překrýváním vznikají abstraktní, téměř organické kompozice. Výsledné tvary často připomínají mikroskopické struktury nebo planetární povrchy, protože povrchové napětí organizuje barvu do tenkých, zakřivených filmů.

Historicky se mýdlovými bublinami a jejich fyzikálními vlastnostmi inspirovali také malíři a fotografové. Zajímala je zejména jejich efemérní povaha, která z bubliny činí silný symbol.

Fascinovalo je především zachycení:

- duhových interferenčních vzorů na povrchu bublin
- okamžiku těsně před jejich prasknutím
- deformací způsobených prouděním vzduchu



Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Mýdlové bubliny (1733–34), olej na plátně

Jean-Baptiste-Siméon Chardin – Mýdlové bubliny (1733–1734), olej na plátně

který zachycuje:

- lom světla na tenké vrstvě kapaliny
- pomíjivost okamžiku
- kontrast mezi realitou a iluzí

Kromě vizuální stránky má povrchové napětí také symbolický rozměr. Představuje křehkou rovnováhu sil, napětí na hranici stability – stav, kdy se celek může kdykoli proměnit. Tento princip lze chápat jako metaforu lidských emocí, mezilidských vztahů nebo společenských situací balancujících na prahu změny.

Propojení umění a povrchového napětí ukazuje, že i zdánlivě abstraktní fyzikální jevy mohou mít silný estetický a významový potenciál. Umění zde vědu pouze neilustruje, ale rozvíjí její principy do nových forem, které oslovují jak smysly, tak lidské myšlení.

Literatura

- [1] C. V. Boys. *Soap-Bubbles and the Forces Which Mould Them*. Mineola, NY: Dover Publications, 2010. ISBN: 978-0-486-49600-4.
- [2] Cyril Isenberg. *The Science of Soap Films and Soap Bubbles*. New York: Dover Publications, 1978. ISBN: 978-0-486-23756-0.
- [3] Andrea Prosperetti. *The Physics of Gas and Vapor Bubbles*. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. ISBN: 978-1-107-01219-2.
- [4] F. Ronald Young. *Fizzics: The Science of Bubbles, Droplets, and Foams*. Princeton: Princeton University Press, 2002. ISBN: 978-0-691-09004-8.

When the Surface Speaks: The Hidden Power of Finishes in Art

Wenn die Oberfläche spricht: Die verborgene Kraft von Oberflächenbehandlungen in der Kunst

Když povrch promlouvá: Skrytá síla povrchových úprav v umění

Ing. Karolína Voleská, Ph.D.

EN: *The Institute for Nanomaterials, Advanced Technologies and Innovation, Technical University of Liberec*

DE: *Institut für Nanomaterialien, Fortschrittliche Technologien und Innovationen, Technische Universität Liberec*

CZ: *Institut pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Technická univerzita v Liberci*

Keywords (EN): surface treatments, artistic expression, gloss, reflection, optical effects, material aesthetics, visual perception, contemporary art, surface design, light interaction

Schlüsselwörter (DE): Oberflächenbehandlungen, künstlerischer Ausdruck, Glanz, Reflexion, optische Effekte, Materialästhetik, visuelle Wahrnehmung, zeitgenössische Kunst, Oberflächen-gestaltung, Lichtinteraktion

Klíčová slova (CZ): povrchové úpravy, umělecký výraz, lesk, odraz, optické efekty, materiálová estetika, vizuální vnímání, současné umění, povrchový design, interakce se světlem

Surface treatments play a crucial role in art. They are not only used to protect materials, but also significantly contribute to the visual effect, texture, and overall expression of an artwork. One of their key functions is the ability to enhance gloss, depth, and visual richness. By working with light, reflection, and surface structure, artists can strongly influence how a viewer perceives a piece.

Glossy surfaces, achieved for example through varnishes, polishes, or glazes, can intensify color perception and increase visual depth. Light reflects from these surfaces, creating a sense of vibrancy and dimensionality. A typical example is traditional shellac polish on wood, which produces an almost mirror-like finish while simultaneously revealing the natural grain of the material. Similarly, in painting, glazing techniques allow artists to layer transparent colors and achieve subtle transitions as well as optical depth.

Beyond traditional gloss, contemporary art also explores more complex surface effects. Artists often work with contrasts between matte and glossy areas, creating dynamic compositions that shift depending on viewing angle and lighting conditions. In some cases, special finishes such as metallic or pearlescent coatings are used, which interact with light and produce shifting chromatic effects.

An interesting development is the use of modern technologies such as hydrophobic coatings.

Hydrophobic coatings represent a compelling intersection of technology and aesthetics in contemporary art. Their primary function is to protect surfaces from water and moisture; however, within an artistic context, they extend beyond purely functional use and become a medium of visual expression.

Traditionally, hydrophobic layers are used to protect outdoor artworks such as sculptures, murals, or architectural elements. They prevent water penetration into materials, thereby reducing degradation, mold formation, and frost damage. As a result, they extend the lifespan of artworks and help preserve their original appearance.

In contemporary artistic practice, however, hydrophobic treatments are also used as an active component of the creative process. Artists experiment with contrasts between hydrophobic and absorbent surfaces, creating works that respond to the presence of water. Images or patterns may appear only when it rains or when the surface becomes wet, as water adheres selectively to treated areas. This principle introduces variability and interactivity, where the artwork is perceived differently depending on environmental conditions.

Hydrophobic coatings thus expand the possibilities of artistic expression. They not only serve a protective function but also enable artists to incorporate natural phenomena, such as water, directly into the structure and behavior of the artwork. In this sense, they represent a contemporary medium that combines functionality with new aesthetic and conceptual approaches.

One of the most well-known examples of hydrophobic art is the Rainworks project (rain-activated street art) by Peregrine Church. It uses hydrophobic coatings applied to sidewalks: when it rains, texts, drawings, or messages appear; when dry, they remain completely invisible.

Surface treatments are therefore not merely a final stage of artistic production, but an active means of artistic expression. Through gloss, reflection, and optical effects, they can fundamentally shape the atmosphere and visual impact of an artwork.



Peregrine Church – Rainworks. Street art using a hydrophobic coating that appears only when it rains.

References

- [1] Max Doerner. *The Materials of the Artist and Their Use in Painting*. New York: Viking Press, 1991. ISBN: 0-670-83701-6.
- [2] Mark David Gottsegen. *The Painter's Handbook*. New York: Watson-Guption, 2006. ISBN: 978-0-8230-3496-3.
- [3] Charles Harrison and Paul Wood. *Art in Theory 1900–2000: An Anthology of Changing Ideas*. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. ISBN: 978-0-631-22708-3.

Deutsche Übersetzung

Oberflächenbehandlungen spielen in der Kunst eine entscheidende Rolle – sie dienen nicht nur dem Schutz des Materials, sondern vor allem der visuellen Wirkung, der Textur und dem Gesamtausdruck eines Kunstwerks. Einer ihrer wichtigsten Aspekte ist die Fähigkeit, einem Werk Glanz, Tiefe und visuelle Attraktivität zu verleihen. Durch den gezielten Einsatz von Licht, Reflexionen und Oberflächenstrukturen können Künstler maßgeblich beeinflussen, wie ein Betrachter ein Werk wahrnimmt.

Glänzende Oberflächen, die beispielsweise durch Lacke, Polituren oder Glasuren entstehen, können Farben verstärken und ihnen eine größere Intensität verleihen. Das Licht wird von diesen Oberflächen reflektiert und erzeugt den Eindruck von Tiefe und Lebendigkeit. Ein typisches Beispiel ist die traditionelle Schellackpolitur auf Holz, die einen nahezu spiegelartigen Effekt erzeugt und gleichzeitig die natürliche Maserung des Materials hervorhebt. Ebenso ermöglicht die Lasurtechnik in der Malerei das Schichten transparenter Farben und das Erzeugen subtiler Übergänge sowie optischer Tiefe.

Neben klassischem Glanz nutzt die zeitgenössische Kunst auch spezielle visuelle Effekte. Künstler arbeiten häufig mit Kontrasten zwischen matten und glänzenden Bereichen und schaffen dadurch dynamische Kompositionen, die sich je nach Blickwinkel und Lichtverhältnissen verändern. In einigen Fällen werden spezielle Beschichtungen wie metallische oder perlmuttartige Oberflächen eingesetzt, die auf Licht reagieren und wechselnde Farbeffekte erzeugen.

Eine interessante Entwicklung ist die Nutzung moderner Technologien wie hydrophober Beschichtungen.

Hydrophobe Beschichtungen stellen eine spannende Verbindung von Technologie und Ästhetik in der zeitgenössischen Kunst dar. Ihre Hauptfunktion besteht darin, Oberflächen vor Wasser und Feuchtigkeit zu schützen; im künstlerischen Kontext gehen sie jedoch über die rein praktische Anwendung hinaus und werden zu einem Mittel visuellen Ausdrucks.

Traditionell werden hydrophobe Schichten vor allem zum Schutz von Kunstwerken im Außenbereich eingesetzt, beispielsweise bei Skulpturen, Wandgemälden oder architektonischen Elementen. Sie verhindern das Eindringen von Wasser in das Material und reduzieren dadurch Alterungsprozesse, Schimmelbildung oder Frostschäden. Auf diese Weise verlängern sie die Lebensdauer von Kunstwerken und helfen, deren ursprüngliches Erscheinungsbild zu bewahren.

In der zeitgenössischen Kunst werden hydrophobe Behandlungen jedoch auch als aktiver Bestandteil des kreativen Prozesses genutzt. Künstler experimentieren mit dem Kontrast zwischen hydrophoben und absorbierenden Oberflächen und schaffen Werke, die auf den Kontakt mit Wasser reagieren. Ein Bild oder Muster kann erst bei Regen oder nach dem Benetzen der Oberfläche sichtbar werden, da Wasser nur an bestimmten Stellen haftet. Dieses Prinzip bringt ein Element von Wandelbarkeit und Interaktivität mit sich, bei dem die Wahrnehmung des Kunstwerks von den Umweltbedingungen abhängt.

Hydrophobe Beschichtungen erweitern somit die Möglichkeiten künstlerischen Ausdrucks – sie schützen nicht nur, sondern ermöglichen es Künstlern auch, mit Naturphänomenen wie Wasser zu arbeiten und diese in das Wesen des Kunstwerks einzubeziehen. In diesem Sinne stellen sie ein modernes Werkzeug dar, das Funktionalität mit neuen ästhetischen und konzeptionellen Ansätzen verbindet.

Eines der bekanntesten Beispiele für den Einsatz hydrophober Beschichtungen in der Kunst ist das Projekt Rainworks (regenaktivierte Straßenkunst) von Peregrine Church: Dabei werden hydrophobe Beschichtungen auf Gehwegen verwendet. Bei Regen erscheinen Texte, Zeichnungen oder Botschaften, im trockenen Zustand sind sie vollständig unsichtbar.

Oberflächenbehandlungen sind daher nicht nur die letzte Phase des künstlerischen Schaffens, sondern ein aktives Werkzeug des künstlerischen Ausdrucks. Durch Glanz, Reflexionen und

optische Effekte können sie die Atmosphäre und visuelle Wirkung eines Kunstwerks grundlegend prägen.



Peregrine Church – Rainworks. Straßenkunst mit hydrophober Beschichtung, die nur bei Regen sichtbar wird.

Literatur

- [1] Max Doerner. *The Materials of the Artist and Their Use in Painting*. New York: Viking Press, 1991. ISBN: 0-670-83701-6.
- [2] Mark David Gottsegen. *The Painter's Handbook*. New York: Watson-Guption, 2006. ISBN: 978-0-8230-3496-3.
- [3] Charles Harrison und Paul Wood. *Art in Theory 1900–2000: An Anthology of Changing Ideas*. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. ISBN: 978-0-631-22708-3.

Český překlad

Povrchové úpravy hrají v umění zásadní roli. Neslouží pouze k ochraně materiálu, ale významně ovlivňují vizuální efekt, texturu a celkový výraz uměleckého díla. Jedním z jejich klíčových aspektů je schopnost dodat dílu lesk, hloubku a vizuální přitažlivost. Práce se světlem, odrazy a strukturou povrchu umožňuje umělcům zásadně ovlivnit způsob, jakým divák dílo vnímá.

Lesklé povrchy vytvářené například laky, leštěním nebo glazurami mohou zvýraznit barevnost a dodat jí větší intenzitu. Světlo se od těchto povrchů odráží a vytváří dojem hloubky a živosti. Typickým příkladem je tradiční šelaková politura na dřevě, která vytváří téměř zrcadlový efekt a zároveň zvýrazňuje přirozenou kresbu materiálu. Podobně v malířství umožňuje glazování vrstvení transparentních barev a dosahování jemných přechodů i optické hloubky.

Vedle tradičního lesku pracuje současné umění také se specifickými vizuálními efekty. Umělci často využívají kontrast mezi matnými a lesklými plochami, čímž vytvářejí dynamické kompozice, které se mění v závislosti na úhlu pohledu a světelných podmínkách. V některých případech se používají speciální povrchové úpravy, například metalické nebo perleťové nátěry, které reagují na světlo a vytvářejí proměnlivé barevné efekty.

Zajímavým směrem vývoje je využití moderních technologií, například hydrofobních povlaků.

Hydrofobní povlaky představují zajímavé propojení technologie a estetiky v současném umění. Jejich hlavní funkcí je ochrana povrchů před vodou a vlhkostí, v uměleckém kontextu však přesahují čistě praktické využití a stávají se prostředkem vizuálního vyjádření.

Tradičně se hydrofobní vrstvy používají především k ochraně uměleckých děl umístěných v exteriéru, například soch, nástěnných maleb nebo architektonických prvků. Zabraňují pronikání vody do materiálu, čímž omezují degradaci, vznik plísní nebo poškození mrazem. Tím prodlužují životnost uměleckých děl a pomáhají zachovat jejich původní vzhled.

V současném umění se však hydrofobní úpravy využívají také jako aktivní součást tvůrčího procesu. Umělci experimentují s kontrastem mezi hydrofobními a savými povrchy a vytvářejí díla reagující na kontakt s vodou. Obraz nebo vzor se může objevit pouze při dešti nebo po navlhčení povrchu, protože voda ulpívá pouze na specifických místech. Tento princip zavádí prvek proměnlivosti a interaktivity, kdy je vnímání díla závislé na podmínkách prostředí.

Hydrofobní povlaky tak rozšiřují možnosti uměleckého vyjádření. Nejenže chrání materiál, ale zároveň umožňují pracovat s přírodními jevy, jako je voda, a integrovat je přímo do samotné podstaty díla. V tomto smyslu představují moderní nástroj spojující funkčnost s novými estetickými a konceptuálními přístupy.

Jedním z nejznámějších příkladů využití hydrofobních povlaků v umění je projekt Rainworks (street art aktivovaný deštěm) autora Peregrina Churcha. Tento projekt využívá hydrofobní úpravy na chodnících: při dešti se objevují texty, kresby nebo sdělení, zatímco za sucha jsou zcela neviditelné.

Povrchové úpravy tedy nejsou pouze závěrečnou fází tvorby, ale aktivním prostředkem uměleckého vyjádření. Prostřednictvím lesku, odrazů a optických efektů zásadně ovlivňují atmosféru i vizuální působivost uměleckého díla.



Peregrine Church – Rainworks. Pouliční umění využívající hydrofobní povlak, které se objeví pouze během deště.

Literatura

- [1] Max Doerner. *The Materials of the Artist and Their Use in Painting*. New York: Viking Press, 1991. ISBN: 0-670-83701-6.
- [2] Mark David Gottsegen. *The Painter's Handbook*. New York: Watson-Guption, 2006. ISBN: 978-0-8230-3496-3.
- [3] Charles Harrison a Paul Wood. *Art in Theory 1900–2000: An Anthology of Changing Ideas*. Oxford: Blackwell Publishing, 2003. ISBN: 978-0-631-22708-3.

Symmetry and Its Breaking: Why Perfect Order Needs Imperfection

Symmetrie und Symmetriebrechung: Warum perfekte Ordnung Unvollkommenheit braucht

Symetrie a její narušení: Proč dokonalý řád potřebuje nedokonalost

Johannes Winhard, M.Sc.

EN: *Chemnitz University of Technology, Germany*

DE: *Technische Universität Chemnitz, Deutschland*

CZ: *Technická univerzita v Chemnitz, Německo*

Keywords (EN): symmetry, symmetry breaking, imperfection, complexity, texture, pattern formation

Schlüsselwörter (DE): Symmetrie, Symmetriebrechung, Unvollkommenheit, Komplexität, Textur, Musterbildung

Klíčová slova (CZ): symetrie, narušení symetrie, nedokonalost, komplexita, textura, tvorba vzorů

Symmetry is one of the most fundamental concepts in science, mathematics, and art. It is commonly associated with order, stability, and beauty, and can be defined mathematically as invariance under transformations such as reflection, rotation, or translation. Idealized systems – including perfect spheres, crystals, and geometric patterns – embody this principle and serve as important models in scientific thought. In reality, however, perfect symmetry is rarely observed. Natural systems, ranging from biological organisms to material structures, invariably exhibit irregularities, imperfections, and deviations from idealized forms.

This apparent contradiction leads to a deeper insight: it is precisely the breaking of symmetry that gives rise to structure, complexity and diversity. Symmetry breaking describes the process by which a system transitions from a highly ordered, symmetric state into one of several possible asymmetric configurations. Although the underlying physical laws remain symmetric, the realized state is not. This principle can be observed across a wide range of phenomena, including mechanical instabilities, crack formation, and pattern development.

The talk explores how small perturbations – often random and unavoidable – can determine the evolution of a system and lead to the emergence of structured forms. Using computational simulations inspired by pattern formation processes, it is demonstrated how uniform systems can develop complex arrangements through minimal fluctuations. These structures, when perceived visually, manifest as texture: a rich, spatial variation that bridges scientific description and aesthetic experience.

Building on this, the presentation establishes a connection to artistic practice. While symmetry has long been associated with harmony and balance, artists rarely employ perfect symmetry. Instead, they deliberately introduce variations, distortions, and irregularities to create visual interest and tension. In this context, texture becomes a key concept, representing the perceptible outcome of underlying structural processes.

Ultimately, the talk argues that symmetry alone does not produce meaning or aesthetic value. Rather, it is the interplay between order and its disruption that shapes both natural phenomena and artistic expression. By linking mathematical principles, physical processes, computational models, and visual perception, the presentation offers an interdisciplinary perspective on how imperfection becomes a source of structure, texture and beauty.

Deutsche Übersetzung

Symmetrie ist eines der grundlegendsten Prinzipien in Wissenschaft, Mathematik und Kunst. Sie wird mit Ordnung, Stabilität und Schönheit assoziiert und kann mathematisch als Invarianz unter Transformationen wie Spiegelung, Rotation oder Translation beschrieben werden. Idealisierte Systeme – perfekte Kugeln, Kristalle oder geometrische Muster – verkörpern dieses Konzept und dienen als zentrale Modelle im wissenschaftlichen Denken. Eine solche perfekte Symmetrie ist in der realen Welt jedoch selten anzutreffen. Natürliche Systeme, von biologischen Organismen bis hin zu Materialstrukturen, weisen Abweichungen, Unregelmäßigkeiten und Unvollkommenheiten auf.

Dieser scheinbare Widerspruch führt zu einer tieferen Erkenntnis: Gerade der Bruch von Symmetrie bringt Struktur, Komplexität und Vielfalt hervor. Die Symmetriebrechung beschreibt den Prozess, durch den ein System von einem hochgeordneten, symmetrischen Zustand in eine von mehreren möglichen asymmetrischen Konfigurationen übergeht. Obwohl die zugrunde liegenden physikalischen Gesetze symmetrisch bleiben, ist es der realisierte Zustand nicht. Dieses Prinzip lässt sich bei einer Vielzahl von Phänomenen beobachten, darunter mechanische Instabilitäten, Rissbildung und Musterentwicklung.

Der Vortrag untersucht, wie kleine Störungen – die oft zufällig und unvermeidbar sind – die Entwicklung eines Systems bestimmen und zur Entstehung strukturierter Formen führen können. Mithilfe von Computersimulationen, die von Musterbildungsprozessen inspiriert sind, wird demonstriert, wie gleichförmige Systeme durch minimale Fluktuationen komplexe Anordnungen entwickeln können. Diese Strukturen manifestieren sich bei visueller Wahrnehmung als Textur: eine reiche, räumliche Variation, die eine Brücke zwischen wissenschaftlicher Beschreibung und ästhetischer Erfahrung schlägt.

Darauf aufbauend stellt die Präsentation eine Verbindung zur künstlerischen Praxis her. Während Symmetrie seit langem mit Harmonie und Ausgewogenheit assoziiert wird, setzen Künstler selten perfekte Symmetrie ein. Stattdessen führen sie bewusst Variationen, Verzerrungen und Unregelmäßigkeiten ein, um visuelles Interesse und Spannung zu erzeugen. In diesem Kontext wird Textur zu einem Schlüsselbegriff, der das wahrnehmbare Ergebnis zugrunde liegender struktureller Prozesse darstellt.

Letztlich wird in dem Vortrag argumentiert, dass Symmetrie allein weder Bedeutung noch ästhetischen Wert erzeugt. Vielmehr ist es das Zusammenspiel von Ordnung und deren Störung, das sowohl Naturphänomene als auch den künstlerischen Ausdruck prägt. Durch die Verknüpfung von mathematischen Prinzipien, physikalischen Prozessen, Computermodellen und visueller Wahrnehmung bietet die Präsentation eine interdisziplinäre Perspektive darauf, wie Unvollkommenheit zu einer Quelle von Struktur, Textur und Schönheit wird.

Český překlad

Symetrie je jedním z nejzákladnějších principů ve vědě, matematice a umění. Je spojována s řádem, stabilitou a krásou a matematicky ji lze popsat jako invarianci vůči transformacím, jako jsou zrcadlení, rotace nebo translace. Idealizované systémy – dokonalé koule, krystaly či geometrické vzory – tento princip ztělesňují a slouží jako významné modely vědeckého myšlení. V reálném světě se však s takto dokonalou symetrií setkáváme jen zřídka. Přírodní systémy, od biologických organismů až po materiálové struktury, vykazují odchylky, nepravidelnosti a nedokonalosti.

Tento zdánlivý rozpor vede k hlubšímu poznání: je to právě narušení symetrie, co dává vzniknout struktuře, komplexnosti a rozmanitosti. Narušení symetrie popisuje proces, při kterém systém přechází z vysoce uspořádaného, symetrického stavu do jedné z několika možných asymetrických konfigurací. Přestože podkladové fyzikální zákony zůstávají symetrické, výsledný realizovaný stav nikoli. Tento princip lze pozorovat u široké škály jevů, včetně mechanických nestabilit, tvorby trhlin a vývoje vzorů.

Příspěvek zkoumá, jak malá narušení – často náhodná a nevyhnutelná – mohou určovat vývoj systému a vést ke vzniku strukturovaných forem. Pomocí počítačových simulací inspirovaných procesy tvorby vzorů je demonstrováno, jak se v jednotných systémech mohou prostřednictvím minimálních fluktuací vyvinout komplexní uspořádání. Tyto struktury se při vizuálním vnímání projevují jako textura: bohatá prostorová variace, která překlenuje vědecký popis a estetickou zkušenost.

Na základě toho prezentace navazuje spojení s uměleckou praxí. Zatímco symetrie byla dlouho spojována s harmonií a rovnováhou, umělci dokonalou symetrii využívají málokdy. Namísto toho záměrně zavádějí variace, deformace a nepravidelnosti, aby vytvořili vizuální zajímavost a napětí. V tomto kontextu se textura stává klíčovým konceptem, který představuje vnímatelný výsledek základních strukturálních procesů.

Příspěvek v konečném důsledku argumentuje tím, že symetrie sama o sobě nevytváří význam ani estetickou hodnotu. Je to spíše souhra mezi řádem a jeho narušením, co formuje jak přírodní jevy, tak umělecké vyjádření. Propojením matematických principů, fyzikálních procesů, počítačových modelů a vizuálního vnímání nabízí tato prezentace interdisciplinární pohled na to, jak se nedokonalost stává zdrojem struktury, textury a krásy.

Efficiency as an Aesthetic Principle: Soap Films between Art and Science

Efficiency as an Aesthetic Principle: Soap Films between Art and Science

Efektivita jako estetický princip: mýdlové filmy na pomezí umění a vědy

Johannes Winhard, M.Sc.

EN: *Chemnitz University of Technology, Germany*

DE: *Technische Universität Chemnitz, Deutschland*

CZ: *Technická univerzita v Chemnitz, Německo*

Keywords (EN): soap films, minimal surfaces, surface energy, thermodynamic optimization, architectural design

Schlüsselwörter (DE): Seifenfilme, Minimalflächen, Oberflächenenergie, thermodynamische Optimierung, Architekturoentwurf

Klíčová slova (CZ): mýdlové filmy, minimální povrchy, povrchová energie, termodynamická optimalizace, architektonický design

Soap bubbles are often perceived as playful, fragile, and ephemeral. Yet beneath their shimmering surfaces lies a precise thermodynamic logic: soap films spontaneously organize into configurations that minimize surface energy. What appears as beauty is, in fact, the visible manifestation of physical optimization.

This presentation explores soap films as a compelling interface between art and science. Beginning with a concise introduction to surface tension and energy minimization, it revisits the pioneering observations of Joseph Plateau, who demonstrated that soap films form minimal surfaces governed by strict geometric principles. According to Plateau's laws, films meet in threes at angles of 120° , while edges converge in tetrahedral configurations. These angles are not aesthetic choices but thermodynamic necessities.

Through live demonstrations using brass wireframes—tetrahedra, cubes, and more complex polyhedral geometries—these otherwise invisible principles become tangible. When immersed in a soap solution, the frames generate internal film structures that spontaneously reorganize into minimal surfaces. The resulting geometries echo molecular arrangements, such as the tetrahedral structure of methane, revealing profound connections between chemistry, geometry, and physics.

The presentation then expands from individual films to bubble clusters and foams, illustrating how local energy minimization can produce global geometric order. Interfaces flatten, angles stabilize, and complex structures emerge without centralized control. Soap bubbles thus provide valuable models for understanding processes of organization in materials science, biology, and related fields.

The connection to art and architecture becomes particularly evident in the work of Frei Otto, who employed soap-film models to develop lightweight tensile structures. By allowing physical systems to compute optimal forms, Otto translated thermodynamic efficiency into architectural elegance. A miniature soap-film model inspired by his methods will be demonstrated live, illustrating how nature's optimization processes can inform human design.

Framed by the central thesis that efficiency itself generates aesthetic form, the presentation argues that perceptions of harmony and balance may ultimately be rooted in physical law. Soap films reveal that structural optimization, material economy, and geometric clarity are not merely technical achievements but also sources of aesthetic experience.

Through a combination of scientific explanation and performative experimentation, this contribution invites reflection on how invisible thermodynamic forces shape both natural phenomena and cultural artifacts. Soap bubbles thus emerge not as trivial playthings but as ephemeral sculptures in which physics becomes visible—and efficiency becomes beauty.

Deutsche Übersetzung

Seifenblasen werden oft als spielerisch, fragil und vergänglich wahrgenommen. Doch hinter ihren schimmernden Oberflächen verbirgt sich eine präzise thermodynamische Logik: Seifenfilme organisieren sich spontan in Konfigurationen, die die Oberflächenenergie minimieren. Was uns als Schönheit erscheint, ist in Wirklichkeit die sichtbare Manifestation physikalischer Optimierung.

Dieser Vortrag untersucht Seifenfilme als eine kraftvolle Schnittstelle zwischen Kunst und Wissenschaft. Beginnend mit einer prägnanten Einführung in die Oberflächenspannung und Energieminimierung lässt der Vortrag die grundlegenden Beobachtungen von Joseph Plateau Revue passieren, der zeigte, dass Seifenfilme minimale Oberflächen bilden, die strengen geometrischen Regeln unterliegen. Nach den Plateau'schen Regeln treffen Filme zu dritt im Winkel von 120° aufeinander und Kanten konvergieren in tetraedrischen Konfigurationen. Diese Winkel sind keine ästhetischen Entscheidungen, sondern thermodynamische Notwendigkeiten.

Durch Live-Demonstrationen mit Messingdrahtgestellen - Tetraedern, Würfeln und komplexeren polyedrischen Geometrien - werden diese unsichtbaren Prinzipien sichtbar gemacht. Wenn sie in eine Seifenlösung getaucht werden, erzeugen die Rahmen interne Membranen, die sich selbst zu minimalen Oberflächen organisieren. Die resultierenden Formen spiegeln molekulare Geometrien wider, wie etwa die tetraedrische Anordnung im Methan, und offenbaren tiefe Verbindungen zwischen Chemie, Geometrie und Physik.

Die Präsentation erweitert den Blickwinkel von einzelnen Filmen hin zu Blasenclustern und Schäumen und veranschaulicht, wie lokale Energieminimierung zu einer globalen geometrischen Ordnung führt. Grenzflächen flachen ab, Winkel stabilisieren sich und komplexe Strukturen entstehen ohne zentrales Design. Seifenblasen werden so zu Modellen für das Verständnis von Organisation in den Materialwissenschaften, der Biologie und darüber hinaus.

Die Brücke zu Kunst und Architektur wird besonders im Werk von Frei Otto deutlich, der Seifenfilmmodelle nutzte, um leichte Flächentragwerke zu entwickeln. Indem er physikalische Systeme die optimalen Formen berechnen ließ, übersetzte Otto thermodynamische Effizienz in architektonische Eleganz. Ein von seinen Methoden inspiriertes Miniatur-Seifenfilmmodell wird live demonstriert, um zu zeigen, wie die Optimierungsprozesse der Natur das menschliche Design leiten können.

Anhand der zentralen These, dass Effizienz selbst ästhetische Form erzeugt, argumentiert der Vortrag, dass unsere Wahrnehmung von Harmonie und Ausgewogenheit in physikalischen Gesetzen verwurzelt sein könnte. Seifenfilme zeigen, dass strukturelle Optimierung, minimaler Materialeinsatz und geometrische Klarheit nicht nur technische Errungenschaften, sondern Quellen ästhetischer Erfahrung sind.

Durch eine Kombination aus wissenschaftlicher Erklärung und Experimenten lädt dieser Beitrag dazu ein, darüber nachzudenken, wie unsichtbare thermodynamische Kräfte sowohl Naturphänomene als auch kulturelle Artefakte formen. Seifenblasen erweisen sich somit nicht als triviales Spielzeug, sondern als vergängliche Skulpturen, in denen Physik sichtbar wird - und Effizienz zu Schönheit.

Český překlad

Mýdlové bubliny jsou často vnímány jako hravé, křehké a pomíjivé. Za jejich třpytivým povrchem se však skrývá přesná termodynamická logika: mýdlové filmy se spontánně organizují do konfigurací, které minimalizují povrchovou energii. To, co se nám jeví jako krása, je ve skutečnosti viditelným projevem fyzikální optimalizace.

Tato prezentace zkoumá mýdlové filmy jako silné rozhraní mezi uměním a vědou. Přednáška začíná stručným úvodem do povrchového napětí a minimalizace energie a připomíná zásadní pozorování Josepha Plateaua, který dokázal, že mýdlové filmy tvoří minimální povrchy řízené přísnými geometrickými pravidly. Podle Plateauových zákonů se filmy setkávají ve trojicích pod úhlem 120° a hrany se sbíhají v tetraedrických konfiguracích. Tyto úhly nejsou estetickými rozhodnutími, ale termodynamickými nutnostmi.

Prostřednictvím živých demonstrací s využitím mosazných drátěných rámců – čtyřstěnů, krychlí a složitějších polyedrických geometrií – se tyto neviditelné principy stávají viditelnými. Při ponoření do mýdlového roztoku rámy vytvářejí vnitřní filmové struktury, které se samy reorganizují do minimálních povrchů. Výsledné tvary odrážejí molekulární geometrii, jako je například tetraedrické uspořádání nacházející se u metanu, což odhaluje hluboké souvislosti mezi chemií, geometrií a fyzikou.

Prezentace dále expanduje od jednotlivých filmů ke shlukům bublin a pěnám a ilustruje, jak lokální minimalizace energie vede k globálnímu geometrickému řádu. Rozhraní se zplošťují, úhly se stabilizují a komplexní struktury vznikají bez centrálního plánování. Mýdlové bubliny se tak stávají modely pro pochopení organizace v materiálových vědách, biologii a dalších oborech.

Most k umění a architektuře je zvláště patrný v díle Freie Otta, který využíval modely mýdlových filmů k vývoji lehkých tahových struktur. Tím, že nechal fyzikální systémy počítat optimální tvary, přeložil Otto termodynamickou efektivitu do architektonické elegance. Naživo bude předveden miniaturní model mýdlového filmu inspirovaný jeho metodami, který ukáže, jak mohou procesy přírodní optimalizace vést lidský design.

Prezentace, zarámovaná ústřední tezí, že efektivita sama o sobě generuje estetickou formu, argumentuje tím, že naše vnímání harmonie a rovnováhy může mít kořeny ve fyzikálních zákonech. Mýdlové filmy ukazují, že strukturální optimalizace, minimální spotřeba materiálu a geometrická jasnost nejsou pouze technickými úspěchy, ale zdroji estetického zážitku.

Prostřednictvím kombinace vědeckého vysvětlení a performativního experimentování tento příspěvek zve k zamyšlení nad tím, jak neviditelné termodynamické síly formují přírodní jevy i kulturní artefakty. Mýdlové bubliny se tak neprojevují jako triviální hračky, ale jako pomíjivé sochy, v nichž se fyzika stává viditelnou – a efektivita se stává krásou.