



[VON DATEN ZU WISSEN]

Die Power der Information entschlüsseln: Wie wir Komplexität zähmen und im Datenspiel gewinnen

Warum Information eine neue Dimension ist, die Schranken beseitigt, das Zeug zum Game-Changer hat, die Tür zu einer neuen Epoche aufstößt und uns verheißungsvolle Wettbewerbsvorteile bietet

Autor: Marco Schmid, 2023



#Energieeffizienz #Zeiteffizienz #IoT #Raum #Zeit #Daten #Information #Wissen #Netzwerke #Graphen

Es ist Anfangs 2023. Die Katze «Künstliche Intelligenz» (KI) ist aus dem Sack und in Form eines intelligent wirkenden, grossen Sprachmodells bei uns Menschen angekommen. Ein noch selten dagewesener Hype und Boom um dieses Thema beginnt. Das Interessante daran ist die Art und Weise, wie wir Menschen darauf reagieren. Die Debatten sind greifbar und lassen niemanden kalt. Die Emotionen gehen teilweise hoch. Drei Lager kristallisieren sich heraus. Die einen von uns wehren sich dagegen oder entwickeln sogar Ängste. Andere sind sich sicher: KI – das wird nix ... Die aus der dritten Gruppe begrüßen es, erkennen Chancen und fragen sich: Welche Fähigkeiten brauche ich, um meine natürliche mit der künstlichen Intelligenz zu verbinden? Was könnte ein menschlicher Geist in Teamarbeit mit einer so leistungsfähigen Technologie alles erreichen? Dieses Paper bietet Antworten, warum derzeit bei KI im Allgemeinen und bei grossen Sprachmodellen im Speziellen die Post abgeht und welchen Platz wir einnehmen können.

Inhalt

1	Ein Labor und Schutzraum für neue Dimensionen	5
2	Die Rennstrecke als Escape Room.....	6
3	Startlinie: Komplexität einordnen und Netzwerke verstehen	7
4	Pole-Position: Dimensionen und Wendepunkte verstehen	10
5	Startsignal: Daten aus Raum und Zeit sammeln	13
6	Haarnadelkurve: Die Informationsdimension verstehen	15
7	Zielgerade: Information, Raum und Zeit beherrschen	19
8	Ziellinie: Wissen in Action.....	25
9	Der Grand-Prix: Der Schlüssel zur neuen Dimension	29
10	Zurück im Alltag: Die Nadel im Heuhaufen finden.....	31
11	Workshop-Bereich (*Sternchenaufgaben*)	34
11.1.	Workshop ❶ Zusammenhang der Dimensionen Raum, Zeit und Information auf der Rennstrecke	34
11.2.	Workshop ❷ Forschungen rund um die Informationsdimension	37
11.3.	Workshop ❸ Herleitung Theorie und Python-Code des Rennstrecken-Graphen	38
12	Literaturverzeichnis	41
13	Autor.....	42

Vorwort

Spulen wir etwas zurück. Es ist Dezember 2018. Am Embedded-Software-Engineering Kongress (ESE) in Sindelfingen/DE entpuppt sich ein Impulsvortrag von Henning Butz zu «Digitaler Transformation» als hoffnungsvoller Weckruf für unsere Gesellschaft [7]. Er erklärt anschaulich das Tor zu einer neuen Epoche und dass der Schlüssel dazu in der Erweiterung unserer Denk- und Handlungsfreiheitsgrade um eine weitere, neue Dimension liegt. Eine Dimension, die sich im physikalischen Sinne jenseits von **Raum** und **Zeit** befindet: **Information**. Der Fortschritt in diese Welt des Wissens wird demjenigen gelingen, der sich dieser Dimension öffnet und sie produktiv beherrscht. Bewährte Methoden und Techniken der auslaufenden Industrieepoche stoßen bei der Bewältigung komplexer Aufgaben im Datenraum erkennbar an ihre Grenzen.

Es ist März 2020. Schmid Elektronik hat wie immer die Flüge nach Indianapolis, USA, gebucht. Da findet jeweils der Auftakt zur Rennsaison des Shell Eco-marathon statt [1]. Entscheidendes geschieht, als Corona diese Rennen von einem Augenblick auf den anderen ausfallen lässt. Wir schwenken notgedrungen auf virtuelle Rennen um und stossen da auf den Schlüssel zur Informationsdimension: eine mathematische Sprache zum Verständnis des Wesens der Dinge und ihren Beziehungen. Dieser Schlüssel öffnet uns nun das Tor zu einer Welt, in der aus Renndaten einfach und elegant Wissen gewonnen werden kann. Auf die Rennstrecke dürfen wir nicht, aber wir können die bestehenden Daten nutzen und daraus Erkenntnisse schöpfen. Der neu gewonnene Freiheitsgrad verspricht eine messbar höhere Zeit- und Energieeffizienz (Kapitel 7). Nach dem Wiederaufnehmen der physischen Rennen im Jahr 2022 werden wir die Ergebnisse tatsächlich teilweise im zweistelligen Prozentbereich verbessern!

Es ist April 2020 und ich befinde mich wie jeder andere in der kollektiven Zwangspause. Ich denke nach und mir wird klar: ich bin über die letzten Jahre dank Email, Internet und anderen Ablenkungen etwas oberflächlich geworden und steige jeden Tag sogar freiwillig in ein Datenflut-Hamster-rad ein. Mit «Deep Work» suche ich nach Antworten und stosse dabei auf einen verheißungsvollen Ratschlag [4]. Drei Fähigkeiten seien im «neuen Neu» von unschätzbarem Wert: 1.) kreativ mit intelligenten Maschinen arbeiten können, 2.) komplexe Probleme zügig meistern und 3.) auf Spitzenniveau und in hoher Qualität produzieren und liefern.

Diese drei Geschichten haben eines gemeinsam: da geschieht gerade etwas Großes, Bedeutendes! Ein Innovationsprojekt dient Henning Butz [7][8] und mir seit 2018 als Entwicklungsplattform für die hier zugrunde liegenden Theorien, Methoden und Verfahren. Diese wurden Jahr für Jahr im professionellen Umfeld einer Rennstrecke und im operativen Betrieb eines mittelständischen Unternehmens getestet und validiert. Die Ergebnisse werden hier vorgestellt.

Einführung

Diese drei Geschichten vermitteln eine Botschaft. Daten sind das Rohöl im kommenden Wissenszeitalter. Gleichzeitig überrollt uns Komplexität und eine Datenflut. Beides verschüttet und blockiert das wirklich Wichtige - unsere Kreativität und Erkenntnis. Die Widersprüche könnten nicht grösser sein. Hand aufs Herz: waren es nicht wir selber, die zu diesem Dilemma selbst die wesentlichen Beiträge geliefert haben? Wir haben uns doch Komplexität wie etwa die Transport-, Energie- und Informationsnetze geschaffen. Letztere erzeugen direkt die Datenflut. Am Beispiel der sozialen Medien füttern wir den Datenmoloch sogar freiwillig. Dummerweise ist unser Gehirn im Gegensatz zu KI weder für die Datenflut noch für Komplexität ausgelegt. Aber: Einen Verstärkerchip im Hirn wollen wir nicht und auch keinen Stecker im Hinterkopf à la Matrix!

Und jetzt, Game Over? Nein! Denn als Alternative können wir unseren Blickwinkel auf das Problem verändern. Diese Transformation wirkt für unser Gehirn wie ein «Verstärker» und wir können ihn uns selbst erarbeiten. Wie das funktioniert und was die Vorteile sind, wird hier vorgestellt. Mehrere Praxisbeispiele für eine nachhaltige Energie-, Mobilitäts- und Klimazukunft zeigen die sich bietenden Chancen auf. Zuerst schauen wir uns allgemeine Themen für die Gesellschaft, Firmen und Teams an. Dann beginnen wir konkret bei uns Menschen und wie sich die oben genannte, neue Dimension bei einer alltäglichen Informationsrecherche zu unserem Vorteil entpuppt.

Bevor wir beginnen, möchte ich den «Elefanten im Raum» aus dem Weg räumen:

KI wird uns nicht unsere Jobs wegnehmen. Eher werden Menschen, die KI und damit die Informationsdimension zu nutzen wissen, eine noch nie dagewesene Steigerung ihrer Produktivität erleben und sich damit entscheidende Wettbewerbsvorteile aneignen. Deshalb ist die gute Nachricht: Wenn wir die Natur hinter dem aktuell entstehenden KI-Hype verstehen und uns die nötigen und machbaren Fähigkeiten aneignen, werden wir das alles gelassen zur Kenntnis nehmen können.

Dieser Beitrag soll zu Ruhe, Tiefe, Überblick und Kompetenz führen. Die Erkenntnisse werden in Form einer anschaulichen Escape-Room-Story praxisorientiert vermittelt. Es gibt mehrere Möglichkeiten, das Whitepaper zu lesen. Möchtest du dir in Kürze einen Überblick verschaffen, dann schlage ich dir das Executive Summary auf der nächsten Seite und die Schlüsselerkenntnisse in den grauen Kästen am Ende jedes Kapitels vor. Bist du vor allem an konkreten Anwendungen interessiert, dann springe direkt zu Kapitel 8, Seite 25: «Wissen in Action». Kapitel 1 und 2 erklären den Escape-Room-Setup, bevor es in Kapitel 3 an die Startlinie geht und konkret wird.

Executive Summary:

Wir beginnen mit zentralen Fragen: was ist überhaupt Komplexität, wie ordne ich sie ein und wo liegt der Zusammenhang zur Datenflut? Warum hat das mit gesellschaftlichen Umbrüchen und Wendepunkten zu tun? Was wäre, wenn wir Komplexität zähmen, indem wir sie ganzheitlich verstehen und sogar beherrschen könnten? Was, wenn sich die Datenflut umgehend in produktives Wissen transformieren liesse? Die Antworten zu diesen drängenden Fragen finden wir in einem gedanklichen Escape Room im Format einer Rennstrecke:

Mit diesen Fragen gehen wir an die **Startlinie** der Rennstrecke. Dank einem allgemeinen Grundverständnis zu Dimensionen sichern wir uns die **Pole-Position**. Dann fällt der **Startschuss**, wir fahren los durch Raum und Zeit und erzeugen Daten. Diese bringen uns ins nächste Level. Wir nähern uns der **Haarnadelkurve** und schmieden den Schlüssel, um aus Daten Wissen zu gewinnen. Da gehen wir auf Tuchfühlung mit einer neuen, die Physik ergänzenden Dimension aus der Informationswissenschaft, welche bereits die Bausteine der KI befeuert hat (Neuronale Netzwerke). Auf der **Zielgeraden** nutzen wir diesen Dimensions-Schlüssel «hands-on» und erkennen, dass komplexe Aufgaben und die Datenflut aus einer neuen Perspektive heraus auf elegante Art gelöst werden können. So gelangen wir auf die Ebene der **Ziellinie**. Dort geben uns praktische Beispiele Antworten, wie sich die Welt des Wissens anfühlt und wie wir uns in dieser Dimension bewegen können. Auf der Rennstrecke haben wir bisher mehrere Schlüssel geschmiedet, die uns von einem Level zum nächsten gebracht haben. Nach der Ziellinie nehmen wir den begehrten **Grand Prix** entgegen: den letzten Schlüssel einer mathematischen Sprache zum Verständnis für das Wesen der Dinge und ihren oft dynamischen Beziehungen sowie ihrer Beherrschung. Mit ihm öffnen wir das Tor zur neuen Dimension. Mit diesen Antworten treten wir aus dem Escape Room aus und wenden das Gelernte bei einer ganz konkreten Aufgabe an.

Der Schlüssel zur neuen Dimension nutzt die Graphentheorie, welche später in diesem Beitrag genauer erklärt wird. Das macht uns den Weg frei zu relevantem Wissen mit ungeahnten Vorteilen für die Gesellschaft, ein Unternehmen, ein Team und den Menschen: trotz der Energiekrise frieren wir nicht, wir schützen uns im pazifischen Sturm, können uns wirksam gegen Cyberangriffe verteidigen, stabilisieren die Lieferketten unserer Produkte, sagen unserem Datenflut-Hamsterrad ade, organisieren uns optimal im Team, finden auf smarte Weise neue Kunden und fahren mit nur einem Liter Treibstoff in den Italien-Urlaub. Alles mit derselben, hier vermittelten Methode und dem gleichen Verfahren! Diese Beispiele sind real und zeigen, dass diese Dimension vom Kleinen bis ins Große funktioniert, sehr nützlich ist und dass wir «es» schaffen!

Wer sich in der neuen Dimension bewegen kann, wird nicht hilflos in der Datenflut herumstochern, in der Hoffnung, dort auf eine Goldader der Erkenntnis zu stoßen, sondern er wird sie beherrschen und komplexe Aufgaben mit heute noch unauflösbaren Netzen vielschichtig verbundener Komponenten zügig, exakt und eindeutig mit höchster Effizienz lösen können.

Zu guter Letzt wenden wir das Gelernte bei einer Recherche an und suchen die Nadel im Heuhaufen. Zuerst verkleinern wir ihn, grenzen die Suche ein und verschaffen uns einen Überblick. Dann erkennen wir dank Sparring mit einem grossem Sprachmodell (Chat-GPT) Analogien und Muster und finden besagte Nadel. Zuletzt bewahren wir sie in einem zweiten Gehirn auf – gut organisiert und jederzeit abrufbar.

1 Ein Labor und Schutzraum für neue Dimensionen

Die erwähnten Herausforderungen – die zunehmende Komplexität verwobener Systeme, eine Datenflut und gesellschaftliche Umbrüche und Wendepunkte - verlangen nach der Denk- und Handlungsweise einer den Raum und die Zeit ergänzenden neuen Dimension. Obwohl schon seit langem daran geforscht wird, fehlen heute noch immer anerkannte Prinzipien und eine allgemein gültige Theorie und Wissenschaft. Der hier vorgestellte Lösungsansatz erweitert die traditionelle Physik und die allgemeine Systemtheorie um Errungenschaften der Informations- und der Datenwissenschaft wie etwa der Netzwerktheorie. Eine ideale Umgebung führt uns nun schrittweise an das Problem und seine Lösung heran:

Wir betreten gedanklich einen **Escape Room** (→[Wikipedia](#)). Wie funktioniert er? Eine Gruppe verlässt für eine Stunde den Alltag, tritt in einen für sie unbekanntem Raum ein und macht sich zuerst neugierig mit der Umgebung vertraut. Dabei erhält sie eine knifflige Aufgabe, die einer allein wohl nicht lösen könnte. Dazu braucht es die Kreativität und Talente aller und die Gruppe löst die Gesamtaufgabe in mehreren Schritten. Der besondere Reiz: die Lösungen sind häufig nicht offensichtlich oder bekannt, sondern entstehen spontan, intuitiv und durch Probieren. Nach jedem Schritt gibt es einen Schlüssel und dieser führt die Gruppe zum nächsten Level oder in einen neuen Raum, bis am Schluss der «Grand-Prix» wartet.

Bei unserem Escape Room ist es ähnlich und es dauert etwa eine Lesestunde. Er dient erstens als **Labor** und zweitens als **Schutzraum**. Als Labor ist er eine Experimentierplattform, die uns gedanklich hilft, vergangene, ausgetretene Pfade zu verlassen und bewußt Neuland zu betreten. Als Schutzraum schottet er uns vom Lärm, den Störungen und dem bedeutungslosen Rauschen der Welt da draußen ab. So können wir uns gemeinsam auf das Wesentliche konzentrieren:

- Die **Aufgabe**: die Herausforderung eines ganzen Themenstraußes aus Komplexität, Datenflut und Wendepunkten meistern.
- Die **Lösung**: eine neue Dimension mit neuen Freiheitsgraden und Handlungsspielräumen.

Und so funktioniert unser Escape Room: Vor jedem neuen Level erwartet uns in diesem grauen, blau umrahmten Kasten folgende Aufgabe:



Schlüsselerkenntnis schmieden:

Wir schmieden nach und nach geeignete Schlüssel, die uns die Wege zu neuen und erweiterten Erkenntnisräumen, bzw. -ebenen erschließen. Der letzte Schlüssel wird uns das Tor zur neuen Dimension öffnen. Bei diesem Schlüssel handelt es sich um eine grafische Beschreibung der gelernten Erkenntnisse. Das Bild 13 auf Seite 29 zeigt den fertigen Schlüsselkopf.

Nächster Escape Room Level:

Direkt nach jedem Schlüsselschmieden erreichen wir den nächst höheren Level oder einen neuen Raum.

Lassen wir den Alltag nun hinter uns und treten in den **Escape Room** ein...

2 Die Rennstrecke als Escape Room

Nach dem Eintreten in den Raum befinden wir uns mitten auf einer **Rennstrecke**. Als erstes machen wir uns ganz entspannt mit der Umgebung vertraut. Was erkennen wir um uns herum?



Bild 1 | Der Shell Eco-marathon ist eine Plattform für Studententeams, die sich mit den energieeffizientesten Fahrzeugen der Welt auf der Rennstrecke messen [1-3]

- Die Community hinter dieser Rennstrecke besteht aus 10'000 hochmotivierten Studierenden aus dem STEM-Bereich (Science, Technology, Engineering, Mathematics), welche jährlich 500 Fachhochschulen und Universitäten aus 50 Ländern vertreten und sich im Wettkampf auf der Rennstrecke messen (Bild 1). Sie unterstützt eine **nachhaltige Mobilitäts- und Energiezukunft**. Konkret schafft der Rekordhalter die Strecke von London nach Rom und zurück vergleichsweise mit nur einem (!) Liter Treibstoff oder 10kWh elektrischer Arbeit. Die Ergebnisse dieser **Ökorennen** sind also wichtig für unser Leben und haben für die Mobilitätszukunft dieser Welt eine immense Bedeutung.
- Wir finden ein typisches **komplexes System** mit mehreren Rennformaten vor. Das Ökorennen ist von Vision, Zielen, Professionalität, Innovation, Dynamik, vielen Beteiligten, Spitzentechnologie und Spirit geprägt und verbindet Menschen aus allen Teilen der Welt.
- Ein **Wendepunkt** kündigt sich an: Bis zum Jahr 2019 fanden die Rennen nur physisch statt. Innerhalb einer Saison gab es jeweils drei regionale Events - jeder auf einem anderen Kontinent. In den Jahren 2020 und 2021 gab es keine physischen Rennen, also schwenkten wir während dieser Zeit auf eine «virtuelle» Liga um. Auf ganz natürliche Art und Weise entwickelten wir so über zwei Jahre ein praktisches Verständnis für die hier vorgestellte, neue Dimension: aus (Renn-) Daten Wissen gewinnen, um so die Energieeffizienz und die Streckenleistung zu steigern. Die vergangene Saison im Jahr 2022 fand wieder auf den Asphalt der Rennstrecke statt. Da sammelten wir erste Erfahrungen mit der neuen Dimension und verbesserten die Ergebnisse teilweise im zweistelligen Prozentbereich. Das ermutigte uns, diesen Ansatz auch zuhause im betrieblichen KMU-Alltag zu nutzen und fingen mit Data-Dashboarding für die Führung und die Qualitätsüberwachung an.

Als Gesellschaft, Firma, Team und Mensch ist es heute von Vorteil, eine anpassungsfähige Strategie zu haben, konsequent Ziele zu erreichen und dabei gleichzeitig auf die eigenen Energiereserven zu achten. Genau das vermittelt der Escape Room «Rennstrecke»! Er lockt uns aus der Komfortzone heraus, wird zur spielerischen «Sandbox» und dient als praktisches Gedankengerüst, um den Schlüssel zur neuen Dimension zu schmieden und damit neue Level zu erreichen.



Erster Escape Room Level:

Los geht's: Anschnallen und an die **Startlinie!**

3 Startlinie: Komplexität einordnen und Netzwerke verstehen

Was ist Komplexität überhaupt, wie ordnen wir sie ein? Ein möglicher Weg dazu führt z.B. über das Cynefin-Framework (→ [Wikipedia](#)). Im Labor des Escape Rooms gehen wir hingegen neue Wege und ordnen Komplexität durch die Ausprägung der zwei Dimensionen Raum und Zeit ein (Bild 2):

- Der **Raum** umfasst geometrische Strukturelemente (Komponenten) und ihre Beziehungen zueinander.
- Die **Zeit** beschreibt die Dynamik der Komponenten und ihrer Relationen als Systemverhalten.

Das spannt eine Ebene auf, die ein System als «**einfach**», «**kompliziert**», «**dynamisch**», oder «**komplex**» einstuft (Bild 2, links). Die Tabelle 1 (nächste Seite) zeigt drei typische Themenbereiche mit je einem Beispiel dazu. Der Begriff «komplex» im nordöstlichen Quadranten leitet sich aus dem lateinischen «plectere» ab und bedeutet so viel wie verwoben, vielschichtig, umfassend und zusammenhängend. Das weist bereits auf **Netzwerke** und auf die in diesem Beitrag beschriebenen Praxisbeispiele und deren Herausforderungen hin. Diese betreffen insbesondere dynamische Veränderungen ganzer Netzwerkstrukturen als wesentliche Ursache für die Datenflut. Damit stellen uns Aufgaben aus dem nordöstlichen Quadranten „KOMPLEXITÄT“ immer vor äußerst grenzwertige Herausforderungen, denn: «steckst du drin, guckst du nicht drauf!».

Während anspruchsvolle Aufgaben in den drei übrigen Quadranten immer aus dem erweiterten Blickwinkel mindestens einer der bekannten Dimensionen, Raum und/oder Zeit, gelöst werden können, ist dies bei hochkomplexen Aufgaben, insbesondere aus der nordöstlichsten Ecke nicht mehr möglich. Wie die Grafik in Bild 2 nahelegt, ist hier ein Perspektivenwechsel in eine neue, höhere Dimension erforderlich. Wir gehen davon aus, dass dies die Informationsdimension ist. Es stellt sich die Frage: wie gelangen wir in diese Dimension und damit zu einem Blick aus dieser Position auf Raum und Zeit?

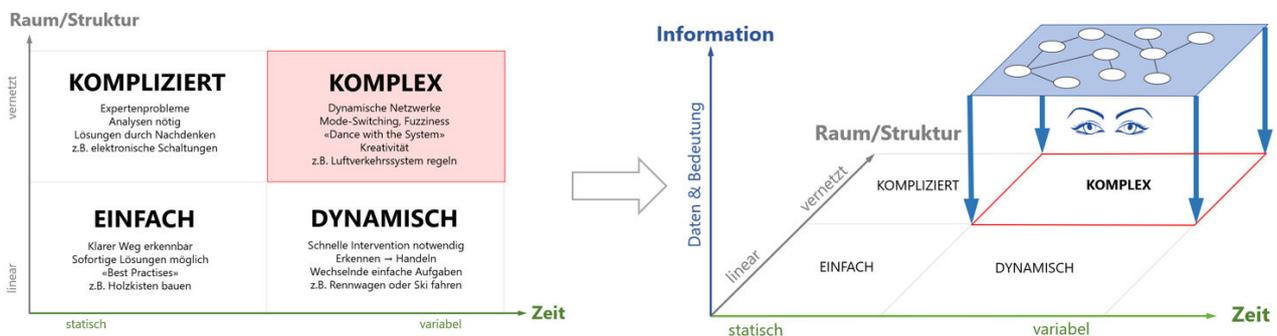


Bild 2 | Einordnen eines Systems in Raum und Zeit (links) und eine neue «Sicht» auf komplexe Systeme aus der Informationsdimension heraus (rechts).

	Geschäftsmodelle	Projekte/Produkte	Rennstrecke
Einfach	Eine einfach verständliche Marktleistung, etwa ein smarterer Sensor	Ein klassisches, nach aussen geschlossenes Embedded-System mit Microcontroller & IO, welches eine deterministische Aufgabe erfüllt	Ein Energiesensor zum Messen von flüssigem Treibstoff, elektrischer Arbeit oder Wasserstoffgas
Kompliziert	Ein kombinierter Leistungsmix aus Engineering, Produktion und Produkten aus einer Hand als komfortables Rundum-Sorglospaket	Ein System mit vielen Komponenten wie zB das kompakte Solarkraftwerk «Sonnenblume» mit über 150 Sensoren & Aktoren, verbunden über ein adaptives I/O-Netzwerk [5].	Ein Renn-Telemetriesystem mit zahlreichen Hardwaremodulen und einem vielschichtigen Software-Stack
Dynamisch	Ein disruptives Geschäftsmodell à la Silicon Valley, das einen schlecht bedienten Markt auf den Kopf stellt (Startup)	Ein akustisches Messnetzwerk mit mehreren Knoten zur Vermessung von Pipelineschwingungen 1000m unter dem Meeresspiegel [6].	Ein einzelnes Rennfahrzeug bei einer Testfahrt auf der Rennstrecke, mit unterschiedlichen Manövern gefahren.
Komplex	Systeme und Leistungen anbieten, die ganzheitlich und nachhaltig eine «Grand Challenge» lösen, z.B. eine energieneutrale Wohngemeinschaft der Zukunft.	Eine Rennstrecke mit internetfähigen Fahrzeugen und Rennteams, die sich auf drei Kontinenten in mehreren Wettbewerbsformaten miteinander messen [1-3].	Die zwei Rennformate «Ökomarathon» und «Weltmeisterschaft», bei denen Dutzende von Rennfahrzeugen auf jedem Meter im Optimum von höchster Energieeffizienz und kürzester Fahrzeit betrieben werden.

Tabelle 1 | Drei Themenbereiche mit einfachen, komplizierten, dynamischen und komplexen Systemen



Bild 3 | Einfache, komplizierte, dynamische und komplexe Systembeispiele im Kontext der Rennstrecke

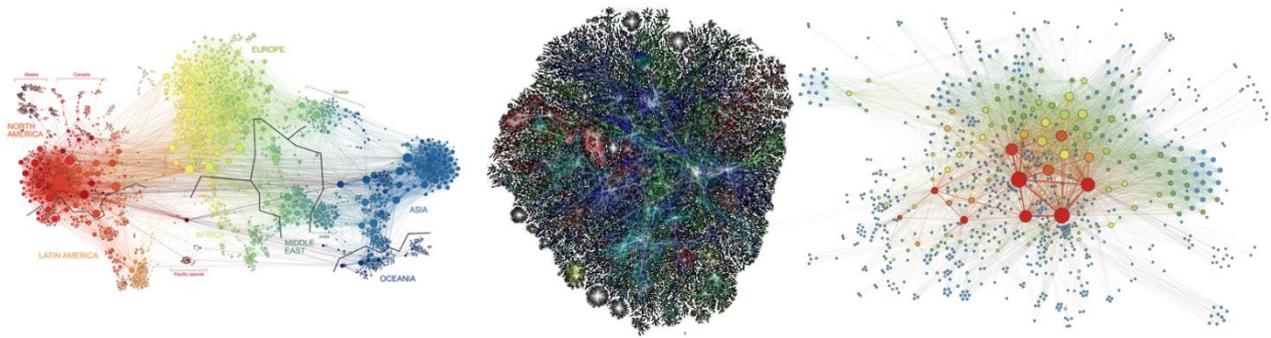


Bild 4 | Beispiele komplexer Systeme: Flugverkehr (links), Internet (Mitte), soziales Netz (rechts)

Ein weiteres Beispiel eines komplexen Systems sind soziale Netzwerke wie Facebook oder LinkedIn (Bild 4 rechts). Gut erkennbar die vielen Mitglieder und deren Beziehungen sowie einzelne Cluster und Beeinflusser. Ebenfalls komplex das Netz der weltweiten Flugverbindungen, vor allem auch der zeitliche Verlauf der Flüge (Bild 4 links). Vergleichen wir diese zwei Systeme miteinander, so zeigt sich bereits eine Gemeinsamkeit: es handelt sich um Netzwerke mit entstehender Datenflut. Das trifft besonders auf das Internet und das World-Wide-Web zu (Bild 4 Mitte).

Komplexe Systeme wie der hier beschriebene Anwendungsfall der Rennstrecke stellen viel mehr dar als die bloße Summe ihrer Komponenten wie das etwa bei einfachen oder komplizierten Systemen der Fall ist (Bild 3, Tabelle 1 rechte Spalte). Das überfordert uns Menschen. Unser Gehirn und unsere Sinne sind nicht für Vernetzung und Rückkopplungen ausgelegt. Kommt jetzt noch eine Datenflut dazu, verlangt dies nach neuen Freiheitsgraden.



Schlüsselerkenntnis schmieden:

Gemäss der Systemtheorie besteht ein **System** aus **Komponenten** und ihren **Verbindungen**. Ein **komplexes System** besteht aus vielen Komponenten und vielen Verbindungen und erfährt zudem eine **fliessende Veränderung** (Dynamik). Die in diesem Beitrag behandelten **komplexen Systeme** haben eine Gemeinsamkeit mit **Netzwerken**, denn auch diese haben viele Elemente und viele Verbindungen. Diese Netzwerke, vor allem das Internet, das World-Wide-Web und soziale Netzwerke, erzeugen eine immense **Datenflut**. Beim vorliegenden **Ökorennen** handelt es sich um ein derartiges komplexes System. Deshalb nutzen wir es als ideales, anschauliches Gedankengerüst.

Nächster Escape Room Level:

Mit der Erkenntnis, dass eine bestimmte Gruppe komplexer Systeme und Netzwerke zusammengehören, dass dies uns überfordern kann – steckste drin, kuckste nicht drauf - und wir dazu den Freiheitsgrad einer neuen Dimension brauchen, schnappen wir uns die Pole-Position ...

4 Pole-Position: Dimensionen und Wendepunkte verstehen

Seit einigen Jahren spüren und sehen wir bereits die Vorboten¹ für epochale gesellschaftliche **Umbrüche**, d.h. einen historischen **Wendepunkt**, wie vom Mittelalter zur Neuzeit. Welche Rolle dabei neue Dimensionen spielen und auf die Gesellschaft und den Menschen wirken, erklärte uns Henning Butz bereits im Jahr 2018 in seinem ESE-Vortrag [7]: Bei epochalen Übergängen in unserer westlichen Gesellschaft handelt es sich um ein Phänomen, welches sich ziemlich exakt alle 300 Jahre wiederholt. Diese Übergänge sind erstens geprägt durch einen Zusammenbruch der bestehenden Ordnungen und Systeme sowie durch ein spontanes Aufschwingen chaotischer, impulsgesteuerter Zustände. Genau das erleben wir derzeit und spüren die Konsequenzen von oft unerklärlichen Veränderungen, geopolitischen Unruhen, Krisen und Naturkatastrophen. Zweitens beschleunigen neue Technologien und disruptive Geschäftsmodelle den Übergang in die neue Epoche. Das entwickelt gerade jetzt eine Sprengkraft, welche unsere Welt buchstäblich in kleinste Teile (Bits) zerlegt und individualisiert, was eine immense **Datenflut** erzeugt. Drittens erweitern sich die Freiheitsgrade und das bietet gleichzeitig eine Lösung für diese Probleme. Es handelt sich dabei um eine die Gesellschaft nachhaltig verändernde, neue **Dimension**. Sie ermöglicht neue Handlungsoptionen für jeden, der diese Dimension² verstehen und beherrschen kann.

Was sind Dimensionen überhaupt? Sie ähneln physikalischen Feldern, sind also unsichtbar und zeigen sich uns nur durch ihre Wirkung oder ihr «Substrat» (Grundmaterial), also eine Ausprägung, die unseren Sinnen meldet: «Hey, da ist was!». Diese Dimensionen sind Träger von Strukturen (Lage und Form, Dynamik, Bedeutung), welche unsere Welt formen. Über Metriken (→ [Wikipedia](#)) können diese Strukturen mathematisch beschrieben und manipuliert werden. So eröffnen die Dimensionen jeweils zusätzliche Freiheitsgrade und Handlungsspielräume, um die Strukturbausteine unserer Welt verständlich, beherrschbar und damit für unser Leben und unseren Fortschritt nutzbar zu machen.

Diese drei Dimensionen bilden eine Einheit, «ein Kontinuum» (siehe auch Workshop ①):

- **Raumdimension**: sie erreichte uns im Epochenwechsel um das Jahr 1400 herum und brachte damals die Menschheit von der Scheibe auf die Kugel. Die Raum-Dimension enthält alle möglichen Formen und Lagen dieser Welt und ist wahrnehmbar über ihr Substrat: die Ausdehnung und Weite. Darin beschreiben wir mittels einer Koordinaten-Metrik die Form und Lage konkreter Strukturen. Diese lassen sich transformieren. So machten wir uns die Raumdimension nutzbar, erzielten neue Ansichten wie etwa die Navigation und erreichten damals in der Renaissance buchstäblich neue Ufer in fernen Welten, jenseits der früher als unbezwingbar geltenden Ozeane. Im Kontext unserer Rennstrecke beschreiben erstens Polarkoordinaten (GPS) die Lage und zweitens kartesische Koordinaten die Form der Fahrzeuge in der Ausdehnung und Weite der Raumdimension. Beides wird auf die Ebene von Tablets oder Smartphones projiziert.

¹ Pandemie, Bauteilknappheit, Strommangel, Cyberkriminalität, Krieg, Klimaerwärmung, Inflation

² Hier werden nur diejenigen Dimensionen behandelt, die in der Gesellschaft angekommen sind und im privaten und geschäftlichen Alltag genutzt werden.

- **Zeitdimension:** sie führte 300 Jahre später im nächsten Epochenwechsel circa 1700 durch das Beschleunigen der Arbeitsprozesse zu einer noch nie dagewesenen Produktivitätssteigerung und katapultierte unsere Gesellschaft mit Volldampf in die Industriezeit. Das Substrat der Zeitdimension ist die fließende Veränderung. Darin sind alle möglichen Dynamiken eingebettet. Über die Metrik der Frequenzen können die dynamischen Vorgänge in der Zeit skaliert und beschrieben werden. Spektralanalysen im Frequenzbereich vermitteln tiefe Erkenntnisse dynamischer Zeitvorgänge, etwa Schwingungseigenschaften. Mittels Spektraltransformationen können diese nahezu beliebig zu unserem Nutzen manipuliert werden. Auf unserer Rennstrecke beschreiben Frequenzen die Dynamiken der Konstruktionen und Antriebstechnik der Fahrzeuge in der fließenden Veränderung der Zeitdimension. Erneut vergehen 300 Jahre...
- **Informationsdimension:** sie tangiert heute unsere Gesellschaft mit globaler Vernetzung, Digitalisierung und disruptiven Geschäftsmodellen. Der Wechsel in die neue Wissens Epoche steht bevor und da wartet eine neue Dimension: die Information mit Daten als ihr Substrat. Information ist der Träger aller Muster und Bedeutungen dieser Welt, die sich in diesen Daten strukturieren. Über Metriken, welche die Bindungen/Beziehungen zwischen den Daten betreffen, können Muster und Bedeutung skaliert werden. Ohne diese Strukturierung sehen wir nur eine Datenflut, die dem Trinken aus dem Feuerwehrschauch ähnelt: du wirst nass, bleibst aber trotzdem durstig. Transformatoren übersetzen Bedeutung in Wissen und letztendlich Nutzen. Auf der Rennstrecke ist der Nutzen ein niedriger Energieverbrauch, eine möglichst geringe Fahrzeit und maximale Sicherheit auf jedem gefahrenen Meter. Er wird in den Daten und Zuständen angelegt und in ein optimales Fahrprofil (Geschwindigkeit, Spur) transformiert.

Die **Informationsdimension** ist seit einiger Zeit Gegenstand der Forschung (Workshop ②). Die Arbeiten mehrerer Experten werden in nicht allzu langer Zeit zu verständlichen Prinzipien, Theorien und einer anerkannten Wissenschaft als Grundlage für diese Dimension führen.

Im Labor und Schutzraum unseres Escape Rooms verbinden wir nun die Punkte der Kernaussagen der im Workshop ② genannten Pioniere. Damit offenbart sich für die Informationsdimension ein verheissungsvoller Lösungsraum mit 6 verknüpften Schlüsselthemen: **Netzwerktheorie**, **Informationstheorie** und **Informationsverarbeitung** (Computing). Dazu kommt **Dynamik**, **Chaos** und **Evolution** (Bild 5). Das führt uns zur Erkenntnis, dass die Informationsdimension wie Raum und Zeit etwas ganz Natürliches ist! Die Natur wird demnach zu unserer Lehrmeisterin, es gelten neue Regeln und eine Vorhersage wird vom Prinzip her schwierig. Dies trug zusammen mit der Quantenmechanik dazu bei, die optimistische Sichtweise von einem Newtonschen Uhrwerk-Universum des neunzehnten Jahrhunderts, das auf seinem vorhersehbaren Weg tickt, bewusst zu hinterfragen. Im Escape Room dürfen wir also diese ausgetretenen Pfade getrost einmal verlassen und neue Wege beschreiten.

In einem Vogelschwarm erkennen wir Dynamik und Chaos, aber auch Ordnung. Die Vögel scheinen zu jeder Zeit und an jedem Ort genau informiert zu sein, wie sie fliegen sollen. Messungen zeigen darüber hinaus, dass der Vogelschwarm etwa auf Kursänderungen oder Ausweichmanöver deutlich schneller reagiert, als es dem einzelnen Vogel in seiner minimalen Reaktionszeit möglich wäre. Das legt den Schluss nahe, dass der Schwarm über ein gemeinsames Feld (Rupert Sheldrake, → [Wikipedia](#)) oder über eine höhere Dimension (Henning Butz) verbunden ist und sich darüber austauscht. Ein ähnliches Phänomen lässt sich bei der Evolution des Internets

und des World-Wide-Web beobachten. Laufend entstehen neue Knoten und bilden sich weitere Cluster, was die Komplexität erhöht und die Datenflut steigert. Beide Beispiele demonstrieren eine Einheit aus Raum, Zeit und Information.

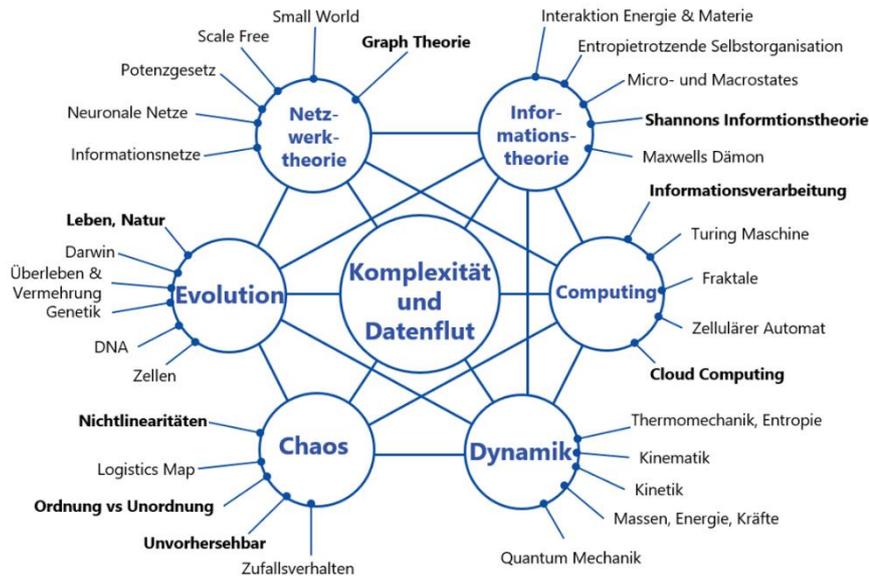


Bild 5 | Herkunft, Hintergrund und Geschichte von sechs Themenbereichen als Fundament zum Beherrschen von Komplexität und einem Zusammenhang mit Information und Netzwerken.



Schlüsselerkenntnis schmieden

Dimensionen und gesellschaftliche **Umbrüche** stehen erfahrungsgemäss in einem direkten Zusammenhang. Das zeigte sich schon beim Übergang vom Mittelalter in die Renaissance, als die Welt mit der **Raumdimension** von einer Scheibe zur Kugel wurde. Oder als sie beim Übergang in die Neu-/Industriezeit mit der **Zeitdimension** die Dynamik entdeckte. Aktuell treten wir mit einer neuen Dimension in die Wissens epoche ein. Diese Dimension kann Komplexität und die Datenflut zähmen. Wir finden sie jedoch nicht, wie erwartet, in der klassischen oder modernen Physik, sondern bei der **Netzwerk- und Informationstheorie, Informationsverarbeitung, Zustandsexplosion, Fuzzyness, Chaos und Evolution**. Kurz: bei **komplexen Systemen**. Der Weg zum Verständnis der **Informationsdimension** führt erstens über die Ähnlichkeiten zwischen natürlichen, technischen und sozialen Netzen. Dimensionen geben uns zweitens eine Art «göttlichen Blick». Die **Koordinatentransformation** des Raumes ermöglicht die Projektion von Körpern auf ebene Flächen und so können wir die Welt und Objekte von allen Seiten unmittelbar betrachten. Die **Zeittransformation** erlaubt uns, einen Blick in die Zukunft zu werfen (Modellierung und Simulation). Die **Informationsdimension** hilft uns, das Wesen der Dinge mit ihren Beziehungen zu verstehen und kann Raum und Zeit beeinflussen. **In der Summe hat Information die Qualität einer Dimension und sie ist die Wurzel des gerade jetzt entstehenden Booms künstlicher Intelligenz im Allgemeinen und Bild-/Sprachmodellen im Speziellen.**

Nächster Escape Room Level:

Von der Theorie in die Praxis: Nach dem Startsignal sammeln wir zuerst einmal reale Daten und erschliessen im übernächsten Level der Haarnadelkurve mit der Informationsdimension deren Potentiale ...

5 Startsignal: Daten aus Raum und Zeit sammeln ...

Die Startflagge fällt. Wir sind jetzt mitten im Rennen, fahren durch Raum & Zeit der Rennstrecke und produzieren Daten, viele Daten. **Wie entstehen Daten vor Ort und wie werden sie transportiert?** In unserem Anwendungsfall verbindet ein Telemetrie-System von Schmid Elektronik die Fahrzeuge übers IoT (Internet of Things) mit der Informationsebene. Das Embedded-System eines Onboard-Computers dient dabei als «Portal» zwischen der physischen Raum-Zeit-Welt und der virtuellen Informations-Daten-Welt. Smarte Energie- und Bewegungssensoren und ein GPS-Signal liefern Zustandsdaten aus Motorraum und Cockpit und der Onboard-Computer sendet im Sekundentakt Datenpakete an das IoT (Bild 6, links).

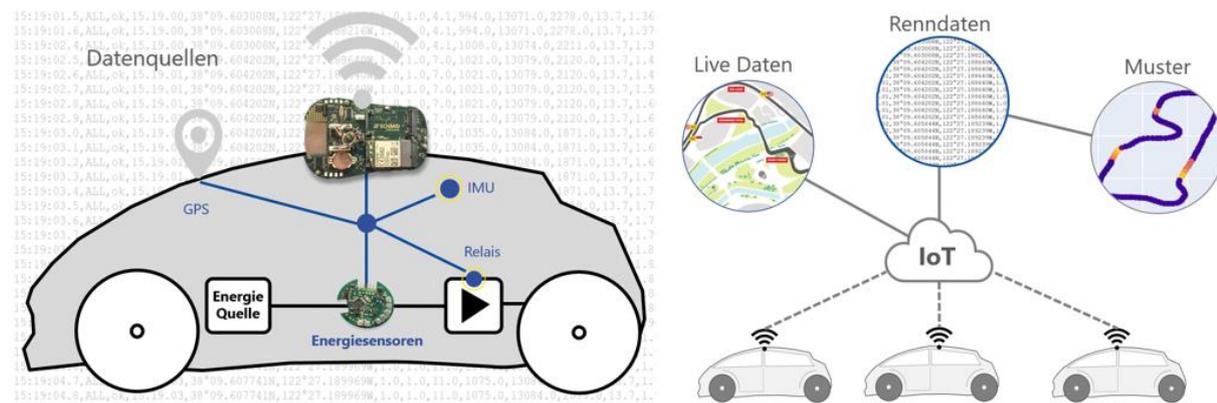


Bild 6 | Sensoren erfassen im Fahrzeug Zustandsdaten (links). Diese gelangen über ein Telemetriesystem ins IoT (Internet of Things).

Perspektivenwechsel von der physischen in die virtuelle Ebene: Das IoT nimmt die Zustandsdaten entgegen, transformiert sie laufend in Performance-Muster und visualisiert das Ergebnis – live (Bild 6, rechts)! Auf einer Rangliste und digitaler Streckenkarte kann das mitfiebernde Publikum in Echtzeit verfolgen, wie sich das Rennen entfaltet, sowohl auf lokalen Bildschirmen, als auch dank Live-Feeds auf sozialen Medien. Das spannende Kopf-an-Kopf-Rennen zwischen Verbrennungsmotor, Wasserstoffantrieb und Elektromobil entfesselt besonders auf den letzten hundert Metern alle Emotionen und reisst die Zuschauer von ihren Sitzen. Live Daten machen richtig Spass, aber da ist noch viel mehr: Diese Daten sind eine regelrechte Fundgrube für Wissen, das die Energieeffizienz und Streckenperformance steigern kann!

Was sind Daten überhaupt und welche Bedeutung enthalten sie? Daten sind das Rohöl der modernen Wissensgesellschaft und als Rohstoff an sich wertlos. Erst wenn wir ihre Struktur kennen und eine Transformationstechnik anwenden, entfalten sich ihre Potentiale. Beim Rohöl sind das etwa Treib- oder Kunststoffe, bei den Daten sind es «Muster» und «Bedeutung». Die Informationsdimension dient ähnlich einer Radiowelle als «Träger» («Carrier») von Daten. Aus der Perspektive der Rennstrecke heraus betrachtet, zeigen räumliche Daten wie GPS-Koordinaten die exakte Spur für jede gefahrene Runde und die Qualität, wie der Fahrer die Kurven anfährt (Bild 7 links). Mehr nicht! Zeitliche Daten wie der elektrische, flüssige oder gasförmige Energiefluss quantifizieren den Energieverbrauch pro Runde (Bild 7 rechts). Was hingegen wirklich und wo auf der Strecke passiert, bleibt uns noch verborgen...

So richtig Interessant wird es erst, wenn wir die Daten aus der Raum- und Zeitdimension zu einem Performancemuster zusammenführen und damit das Renn-Szenario für alle gefahrenen Runden

gleichzeitig auslegen. Jetzt offenbaren sich wertvolle Erkenntnisse. Wir lernen nun, warum wir in den einzelnen Runden wieviel Energie verbrauchen. Diese Bedeutung und das Wissen, wie Kurven optimal zu befahren sind, führt zu höherer Energieeffizienz und wird zum Wegweiser zur Informationsdimension (Bild 7 Mitte).

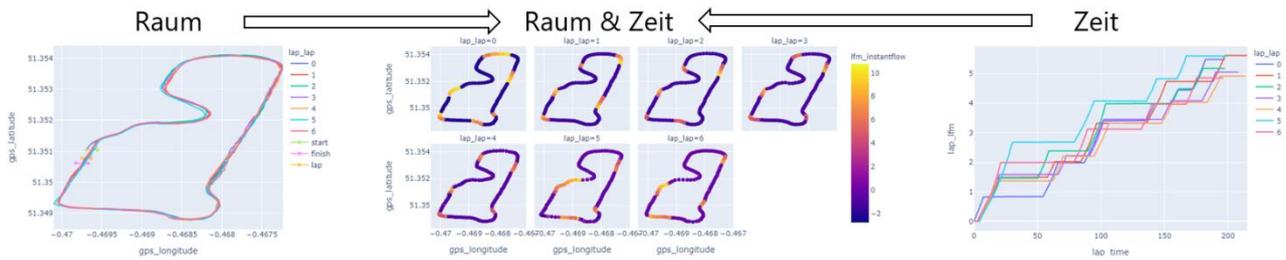


Bild 7 | Analysen von Renndaten in Raum (GPS-Trajektorien, links) und Zeit (Energieverbrauch, rechts) liefern wertvolle Grundlagen zur Energieeffizienz einer gefahrenen Runde. Kombinieren wir Daten aus Raum und Zeit zu einem Performancemuster (Mitte), so gibt's neue Erkenntnisse für eine bessere Fahrstrategie.

Nach jedem Rennen werden die Fahrzeit und der Energieverbrauch optimiert, und zwar von Saison zu Saison, von Event zu Event, von Rennen zu Rennen und von Runde zu Runde. In den Kontext der Wirtschaft übersetzt, hiesse dies eine Effizienzsteigerung von Jahr zu Jahr, von Quartal zu Quartal und von Arbeitswoche zu Arbeitswoche.



Schlüsselerkenntnis schmieden

Was bisher geschah: Wir haben im Escape Room **Komplexität** im Kontext der **Raum-** und **Zeitdimension** eingeordnet und sie in Verbindung mit **Netzwerken** gebracht. Das ist ein neuer Lösungsansatz, um Komplexität zu verstehen und zu beherrschen. Ob er grundsätzlich bei allen komplexen Systemen zum Ziel führt, müssen weitere Analysen und Anwendungen zeigen. Für die in diesem Beitrag betrachteten Anwendungen führt die Methode zum Ziel, wie wir im Folgenden sehen werden.

In den letzten 900 Jahren fanden in der westlichen Gesellschaft alle 300 Jahre historische **Umbrüche** und **Wendepunkte** statt, ausgelöst durch disruptive Veränderung im Zusammenhang einer neuen Dimension: im Mittelalter die Raum- und in der Renaissance die Zeitdimension. Heute steht uns wieder ein solcher Wendepunkt bevor. So entstand die Hypothese, dass **Information** die Qualität einer Dimension hat, der Träger von Daten ist und damit jedem, der sie versteht und beherrscht, neue Freiheitsgrade bietet.

Das führte uns zur **Informationstheorie** und zur Schlussfolgerung, dass natürliche, technische, soziale und informationsbasierende Systeme auf dieser Welt ähnlich funktionieren und Netzwerk-Charakter haben. Ein typisches Beispiel dazu ist das World-Wide-Web mit der zunehmenden **Datenflut** als Konsequenz. Die Informationsdimension trägt in diesem Beispiel Renndaten, und diese enthalten eine Fülle von Mustern und Bedeutung. Aber erst wenn die für den Kontext meiner Anwendung relevante Bedeutung aus den Daten isoliert werden kann, entfalten sich ihre Potentiale. Ansonsten sind Daten wertlos.

Nächster Escape Room Level:

Genau darum geht es im nächsten Level. Wir haben nun viele Daten gesammelt, sehen aber den Wald vor lauter Bäumen nicht mehr! Wie können wir diese Flut strukturieren und daraus Erkenntnisse gewinnen? Dazu gehen wir in die Schlüsselschmiede und besorgen uns das Netzwerk-Werkzeug, wie eingangs erwähnt. Wie dies genau funktioniert, erfahren wir nun in der Haarnadelkurve der Informationsdimension...

6 Haarnadelkurve: Die Informationsdimension verstehen

Wir verlassen in unserem Escape Room nun die uns vertraute, physische Ebene der bekannten Raum- und Zeitdimension und betreten die Informationsebene. Wie beschreiben wir in der **Informationsdimension** das Wesen der Dinge mit ihren Beziehungen als Muster und Bedeutung? Wie transformieren wir aus einer scheinbar unendlichen Datenflut **Bedeutung** in entscheidungsrelevantes **Wissen** und nutzen so die Potentiale dieser Dimension?

Als Sir Isaac Newton damals der Apfel auf den Kopf und die Schwerkraft ins Gehirn fiel, stand er vor ähnlichen Fragen. Er brauchte ein Vokabular und mathematische Grundlage für die Zusammenhänge und physikalischen Bewegungsgleichungen und Energiebilanzen von Raum, Zeit, Massen, Energien und Kräften. So entstand die Infinitesimalrechnung dx/dt als Grundlage für Differentialgleichungssysteme (DGL's). Was wir nun brauchen, ist das Äquivalente dazu: eine **mathematische «Sprache»**, um komplexe Systeme mit ihren zahlreichen Komponenten, deren dynamischen Beziehungen und der entstehenden Datenflut in der Informationsdimension beschreiben und beherrschen zu können. Die traditionelle Physik hilft uns da nicht weiter. Auch die moderne Physik mit ihren mehrdimensionalen Strings und der Quantentheorie sind das falsche Vokabular, um Komplexität und die Datenflut erklär- und lösbar zu machen. Deshalb wählen wir im Escape Room erneut einen neuen Weg:

Zielführender scheint uns eine mathematische Sprache, mit welcher Netzwerke, respektive das **«Wesen der Dinge»** ausgedrückt werden kann: **Graphen** im Allgemeinen und **Wissensgraphen** im Speziellen. Wissensgraphen sind mit semantischen Verbindungen angereicherte Graphen. Die Geschichte der Graphen geht auf das Jahr 1736 zurück, als der Schweizer Leonhard Euler das «Königsberger Brückenproblem» löste (→ [Wikipedia](#)). Mit der Erkenntnis, dass nur die Verbindungen selbst relevant sind, legte Euler den Grundstein zur Graphentheorie und ihrer Mathematik. Damit kommen wir zur mathematischen «Sprache» für die Informationsdimension, den **Graphen** und den **Graphen-Transformatoren**.

① **Graphen als mathematische Sprache für Netzwerke beschreiben die verborgene, kontext-bezogene Bedeutung in Daten und sind auch die Fabrik der KI (Neuronale Netze)**

Graphen beschreiben generell das Wesen von Dingen und ihren Beziehungen [13]. Sie bestehen aus **Knoten** – den Dingen – und **Kanten**, also den Beziehungen zwischen diesen Dingen. Man kann sich die Knoten als Substantive in Sätzen vorstellen, und die Beziehungen als Verben, die den Knoten einen Kontext geben. Der einfache Graph mitten in Bild 8 beschreibt etwa die einfache Story einer Paarbeziehung. Sie ergibt sich hauptsächlich aus den Beziehungen, also den Kanten. Darüber hinaus ist das Fahrzeug in der Produktstruktur des Herstellers Teil eines weiteren, übergeordneten Graphen. Auch die zwei Menschen sind wiederum nur ein Teil ihres individuellen sozialen Netzwerkes. Damit nimmt die Anzahl der Knoten und Kanten zu und die Story wird grösser und grösser. Auf diese Weise steigt einerseits der Informationsgehalt, andererseits auch die Datenmenge.

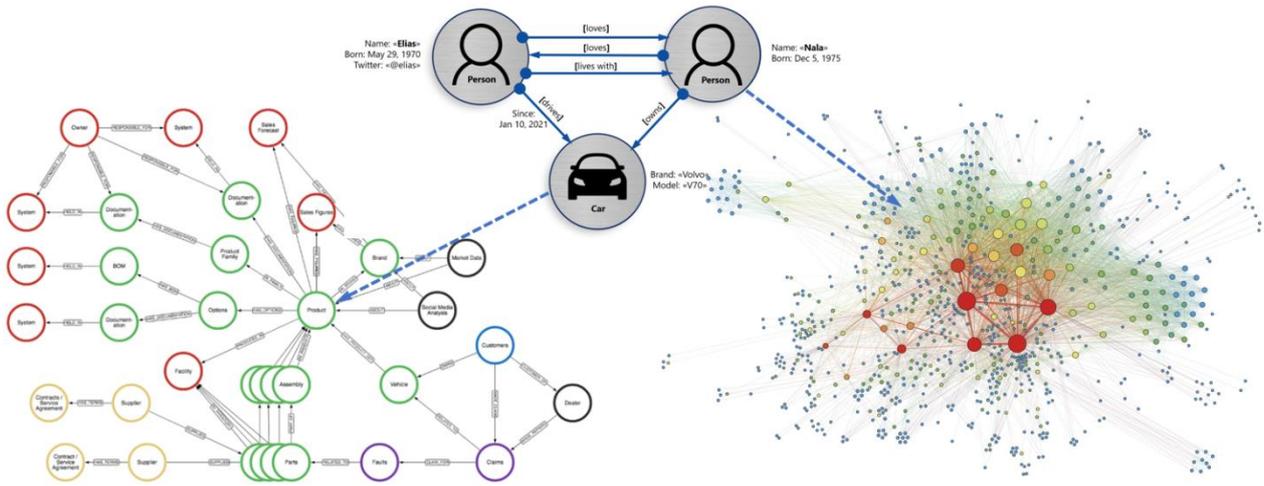


Bild 8 | Mitte: der einfache Wissensgraph einer Paarbeziehung. Beide Menschen sind Teil eines komplexen Wissensgraphen ihres sozialen Netzwerkes (rechts). Das Fahrzeug hingegen ist Teil des Graphen der Produktstruktur des Herstellers (links).

Die Beschreibung von Beziehungen zwischen den Daten mittels Graphen ist erst die halbe Miete. Wir wollen nämlich unabhängig vom Umfang Erkenntnisse gewinnen, die nicht sofort offensichtlich sind. Dies ist die Domäne der Graphen-Transformatoren. Die Basis dazu sind Matrizen als mathematische Beschreibung der Graphen. Und damit liegt das Äquivalente zu Newtons Infinitesimalrechnung auf dem Tisch!

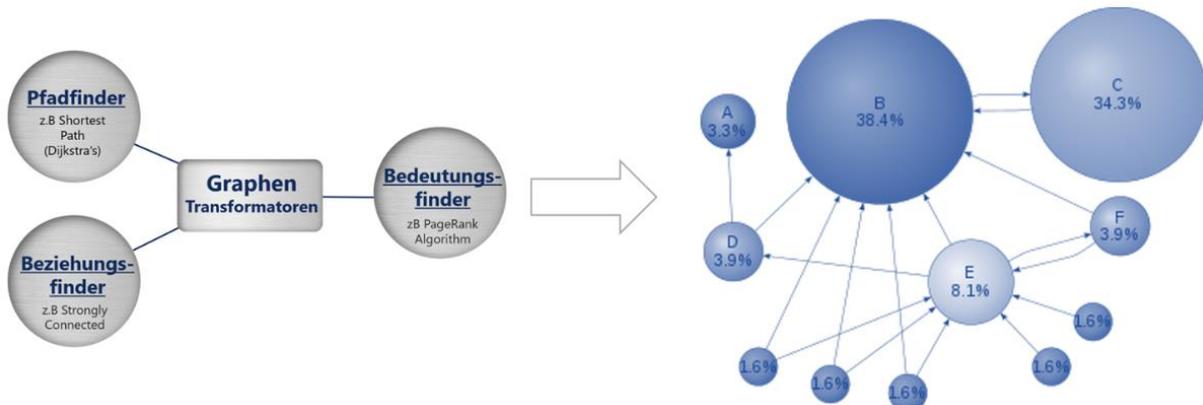


Bild 9 | Graphen-Transformatoren gewinnen aus der beschriebenen Bedeutung Nutzen und damit lässt sich die Realität von Raum und Zeit manipulieren. Sie lassen sich in drei Arten unterteilen (links). Den VIP unter den Bedeutungsfindern nutzen wir unbewusst jeden einzelnen Tag: Googles PageRank-Algorithmus (rechts).

2 Graphen-Transformatoren übersetzen diese Bedeutung in Nutzen

Es gibt Dutzende von Standard-Transformatoren (Bild 9) [14]. Mit ihnen können wir Graphen abfragen, visualisieren oder in Softwarecode einbetten. Im Prinzip geht es dabei immer um die rechnergestützte Transformation von Daten- und Zustandsrelationen in Muster und Bedeutung, die dann intelligent verarbeitet zu direktem Nutzen wird. Die Graphen werden mathematisch als Matrizen beschrieben. Folglich sind viele dieser Transformationen Matrizenoperationen. Wir unterscheiden zwischen drei Arten von Graphen-Transformatoren, gehen hier aber nur auf diejenigen zwei näher ein, die wir später noch brauchen:

- Googles PageRank-Algorithmus ist der bekannteste unter den zahlreichen **Bedeutungsfindern**. Er sucht Webseiten ab, erstellt daraus die Google-Matrix, bestimmt im Kontext der Suche die bedeutendsten Websites und liefert die für uns relevanten Treffer. Wir werden an der «Ziellinie» erkennen, dass sich ein PageRank auch ausserhalb von Google nutzen lässt, etwa beim Verstehen des Europäischen Gas-Netzwerks. Seit 2012 greift Google auf Wissensgraphen und deren schnelle Transformation zurück. Tippen wir heute Begriffe in das Suchfenster, führt uns die Suchmaschine an ihrem Wissensgraphen entlang und bietet von sich aus Vorschläge, die helfen, unsere Suche zu präzisieren. Hier ein paar Beispiele von Fragen, die im Dezembers 2022 eingetippt wurden und welche Antworten von Google kamen:

Unsere Frage	Googles Vorschlag:
«Was ist ein...»	«...Goldvreneli, Risiko, Term?»
«Was ist eine...»	«...Gretchenfrage, Rezession, Nukleare Fusion?»
«Was ist eine Dimension?»	Beziehung einer Grösse zu den Grundgrössen des Masssystems in der Physik, z.B. die Ausdehnung eines Körpers!
«Wo befindet sich...»	«...die Tüfelsschlucht, die Leber, der Blinddarm, das Herz?»
«Warum...»	«...ist der Himmel blau, die Banane krumm, fliegt ein Flugzeug, ist die Schweiz so reich oder warum machst du dir so nen Kopf?»
«Wie alt ist...»	«...Wednesday, die Schweiz, Lionel Messi, Ronaldo?»
«Wie alt ist Barack Obama?»	«61 Jahre!»

- Einen **Pfadfinder** lernen wir hands-on im nächsten Level kennen. Pfadfinder werden etwa in der Luftfahrt eingesetzt (Bild 4). Das weltweite Luftverkehrsnetz besteht aus tausenden Flughafenknoten, die hoch konzentrierte Verbindungen zu anderen Flughafenknoten aufrechterhalten. Ein gewaltiges Netzwerk mit vielen Subnetzen! Wissensgraphen und Transformatoren können schwerwiegende Ereignisse, Überlastungen und Verspätungen voraussehen, wie es mit traditionellen Ansätzen nie innerhalb der gewünschten Zeit möglich wäre. Graphen-Transformatoren zeigen genau hier ihre Stärke, da es sich bei Netzwerken um exponentielle Komplexität handelt. Antworten zu Fragen, ob ich direkt von A nach B fliegen kann oder wie viele Aussen-Verbindungen Flughafen C hat, könnte wohl mit traditionellen Mitteln gelöst werden, aber schon hier zeigt sich eine dramatische Ineffizienz der Rechenzeit gegenüber Graphen-Transformatoren. Die folgende Frage markiert jedoch das Ende der traditionellen Fahnenstange. Nehmen wir an, wir planen unseren Sommerurlaub, wollen ab unserem üblichen Flughafen verreisen und haben 5 mögliche Destinationen im Kopf. Wir wollen auf der Reise höchstens zweimal umsteigen. Bei 5 oder 10 Flughäfen können traditionelle Ansätze noch mithalten. Bei 1000 Flughäfen hingegen werden unsere Enkel pensioniert sein, bevor der Algorithmus die Lösung ausspuckt. Ein Graphen-Transformator (siehe nächstes Kapitel) hingegen liefert das Ergebnis sekundenschnell [15].
- **Beziehungsfinder** sind selbsterklärend für jeden, der ein soziales Netzwerk wie Linked-In pflegt.

Graphen-Transformatoren bieten einen wirkungsvollen Ansatz zur Berechnung vernetzter Daten, da ihre mathematischen Berechnungen speziell auf die Architektur von Netzwerken und die Verarbeitung von Beziehungen ausgerichtet sind. Sie beschreiben Schritte zur Verarbeitung eines Graphen, um dessen allgemeine Eigenschaften oder spezifischen Größen zu ermitteln. Auf der Grundlage der Mathematik der Graphentheorie nutzen Graphen-Transformatoren die Beziehungen zwischen den Knoten und können so die Organisation und Dynamik komplexer Systeme einfach erfassen. Netzwerkwissenschaftler nutzen das, um verborgene Informationen aufzudecken, Hypothesen zu testen und Vorhersagen über das Verhalten zu treffen.

Wie wir an der Ziellinie erkennen werden, haben Graphen und Graphen-Transformatoren ein weitreichendes Potential für verschiedene praktische Anwendungen, um natürliche, künstliche und soziale Systeme verstehen und beherrschen zu können.



Schlüsselerkenntnis schmieden:

Graphen

Graphen beschreiben für einen spezifischen Kontext dessen innere Beziehungen und strukturieren so die Muster und Bedeutung als Relation von Daten und Zuständen. Das hilft uns, das Wesen der Dinge zu verstehen. Sie gehen folgenden Fragen nach: was ist relevant, welche Einflüsse sind am grössten und wo entsteht Wirkung? Es handelt sich um eine Art «Medium», das amorphes Wissen anwendungsbezogen in eine Struktur überführt. Ein Graph kann leicht eine reale kleine oder auch grosse Welt mit den Einflussgrössen und deren Wechselwirkungen abbilden und neuralgische Punkte sichtbar machen. Graphen sind für uns Menschen lesbar, können dank Matrizenschreibweise auch vom Computer verstanden werden und ermöglichen so eine schnelle Rechen-Transformation. Das zähmt Komplexität, reduziert die Datenflut und wird damit zu einem praktischen «Übersetzer» für unser Gehirn.

Graphen-Transformatoren

Graphen-Transformatoren übersetzen die Beziehungsgraphen in Bedeutung, welche im Kontext der konkreten Anwendung in direkten Nutzen verwandelt werden kann. Oder anders formuliert: ich stelle eine Frage an den Graphen und erhalte dazu die am besten passende Antwort. Die heisst beispielsweise für die Rennteams: auf jedem gefahrenen Meter die maximale Energieeffizienz und gleichzeitig die minimale Fahrzeit erreichen und dabei jederzeit sicher sein.

Nächster Escape Room Level:

Lenken wir nun auf die Zielgerade ein und lernen anhand eines konkreten Beispiels und in hands-on-Manier, einen realen Graphen zu entwickeln und darauf einen Graphen-Transformator anzuwenden...

7 Zielgerade: Information, Raum und Zeit beherrschen

Wie erstelle ich konkret einen Graphen und wende Graphen-Transformationen an? Wie funktioniert die Informationsdimension im Alltag? Wie spielt sie mit der Raum- und Zeitdimension zusammen? Wie wird die Informationsebene an allen Orten und zu jeder Zeit verfügbar? Wie entsteht in der physischen Ebene Nutzen? Die Antworten finden wir auf der Rennstrecke anhand dieses Beispiels: energieeffizient, zügig und gleichzeitig sicher fahren zu können (Bild 10).

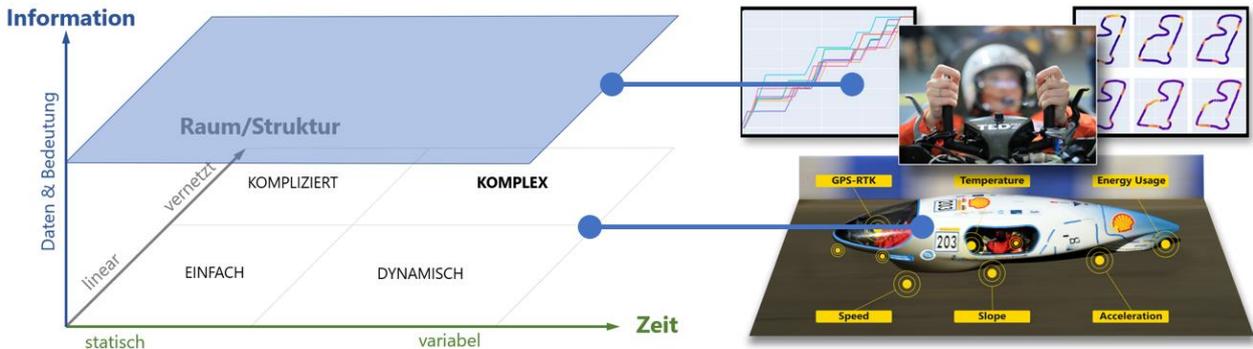


Bild 10 | Renndaten aus Raum und Zeit (rechts) werden live in die Informationsebene gespielt (links), dort transformiert und in Form neuer fahrstrategischer Stellgrößen (Wissen) zurück in die Realität gespiegelt. Das hilft dem «wissenden» Rennfahrer, an jedem Ort im Raum und zu jeder Zeit «Eins» mit der Rennstrecke zu sein und der Energie Richtung zu geben. Wenn also der nicht-vektoriellen Energie eine Richtung gegeben wird, entsteht eine fast magische «Wirkung» (Impuls * Länge = $\text{kg m}^2\text{s}^{-1}$), d.h. purer Nutzen!

Die Theorie hinter jeder Autofahrt und auch auf der Rennstrecke ist die Fahrdynamik: das längs- und querseitige Führen eines Fahrzeuges auf einer Strecke, z.B. im Kontext eines Rennens. Sie ist seit langem bekannt und dazu gibt es zahlreiche Referenzliteratur. Diese folgt den üblichen Energieerhaltungssätzen und berücksichtigt Trägheits-, Reibungs-, Steigungs- und thermodynamische Widerstände (Staudruck, Motor) → Workshop ③.

► Was wir damit erhalten: Newtons bekannte physikalische Formeln und Differentialgleichungen, die zu lokaler Optimierung führen, etwa beim Befahren einer Steigung oder einer Kurve.

► Was wir stattdessen wollen: energieeffizient, zügig und sicher eine längere Wegstrecke mit Steigungen, Gefällen, Kuppen und Kurven gesamtoptimal befahren. In vorausschauender Weise soll die kinetische und potentielle Energie des Fahrzeuges zu jeder Zeit und an jedem Ort bestmöglich genutzt werden. Diese «Bedeutung», also die «Strukturgröße» in der Informationsdimension, hiesse in diesem Kontext:

- Kriterien**
1. **Reduzieren des Energieverbrauchs**: energieeffizient fahren und so wenig Treibstoff wie möglich verbrauchen!
 2. **Verringern der Fahrzeit**: schnell und dynamisch sein, damit der Vorsprung auf die Konkurrenz gehalten werden kann!
 3. **Gewährleisten der Sicherheit**: gefährliche Beschleunigungen und Geschwindigkeiten an kritischen Stellen vermeiden!

Zielfunktion minimaler Energieverbrauch bei minimaler Fahrzeit und maximaler Fahrsicherheit = die «Bedeutung» für den Fahrer!

Solche Mehrzieloptimierungen unter Miteinbezug fördernder und hemmender Einflussfaktoren³, garantiertem Optimum und überschaubarer Komplexität ist mit traditionellen Methoden eine nicht zu unterschätzende Knacknuss! Wie liesse sich dies eleganter mit den **Graphen** und **Graphen-Transformatoren** der **Informationsdimension** lösen? Statt dem Kombinieren physikalischer Zusammenhänge, strukturieren wir mit einem Graphen die Beziehung (Zielfunktion) zwischen den Zuständen und Daten und gewinnen dank Transformation die Lösung:

Ein Graph beschreibt die Muster und die Bedeutung in den Daten/Zuständen	
Knoten	Anstelle von Differentialgleichungssystemen diskretisieren wir Raum und Zeit in einem Zustandsraum und lösen das in kleinen Iterationen auf. Konkret gibt es entlang der Fahrroute eine Anzahl von Streckenpunkten, die als Weg-Stützstelle dienen. An jeder dieser Stützstellen gibt es wiederum mehrere mögliche Geschwindigkeiten. Der Zustandsraum enthält alle möglichen Orte in der Raumdimension und alle möglichen Geschwindigkeiten in der Zeitdimension der Rennstrecke. Jeder dieser Fahrzeugzustände wird mit einem Knoten repräsentiert. Das ergibt über den gesamten Zustandsraum ein Netz aus Weg-Geschwindigkeits-Knoten (Bild 11).
Kanten	Wenn diese Knoten über Kanten verbunden werden, entsteht ein Graph. Im Netz unserer Zustandsknoten bedeutet jede Kante die «Kosten» einer Geschwindigkeitsdifferenz über die Distanz zwischen zwei Wegstützstellen. Diese Kosten sind die gewichtete Summe der einzelnen Terme der Zielfunktion: Energie-Effizienz, Fahrzeit und Sicherheit (Bild 12).
Die Graph-Transformation übersetzt Muster und die Bedeutung in Wissen/Nutzen	
Das Ergebnis: ein Kantenzug vom Start- zum Endknoten. Er bietet die minimale Gesamtsumme (=minimale Kosten) aller Kantengewichte. Die Lösung: der Graphen-Transformator «Kürzeste-Weg-Problem», etwa der Dijkstra-Pfadfinder (Bild 13).	

Tabelle 2 | Aufbau und Transformation des Graphen

Anlehnend an das Gelernte in der «Haarnadelkurve», gehen wir beim Beschreiben und Lösen in folgenden zwei Schritten vor:

- ➊ Die Beziehungen von Fahrzuständen in Raum und Zeit mit einem **Graphen** beschreiben. Dazu bestimmen wir die **Knoten** und berechnen die **Kanten** (Bild 11, 12).
- ➋ **Transformieren** dieses Graphen in konkretes Wissen und Nutzen (Bild 13)

³Steigungen und Gefälle, Bodenbeschaffenheit bei Trockenheit und Nässe (Reibungskoeffizient), Wind: Richtung und Stärke, Fahrzeugdynamik: Masse & Trägheit, Fahrzeugdesign: Schwerpunkt, Aerodynamik und Reifenbeschaffenheit

1 Ein Graph beschreibt die Beziehungen von Fahrzuständen in Raum & Zeit

Die Knoten: Ein Zustandsraum spannt die gefahrenen Positionen und mögliche Geschwindigkeiten auf (Bild 11, links). In diesen Raum wird ein Gitter aus Knoten gelegt. Jeder dieser Knoten entspricht einem Fahrzeugzustand aus aktueller Streckenposition und einer Geschwindigkeit. Das legt die Basis für sämtliche Entscheidungen: das Fahrzeug von der Start- bis zur Ziellinie von einem Zustand in den nächsten überführen. Die beiden dafür benötigten Stellgrößen sind die Geschwindigkeitsdifferenzen und die Betriebsarten.

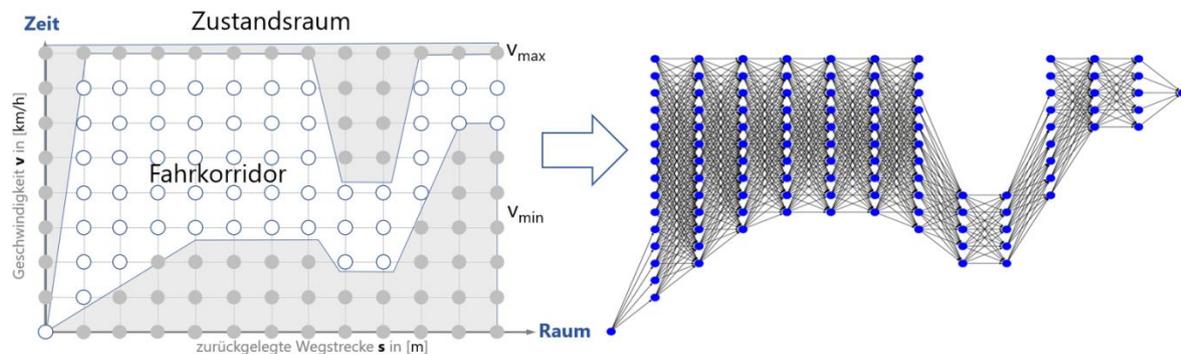


Bild 11 | Diskretisieren von Raum (zurückgelegte Wegstrecke) und Zeit (Geschwindigkeit) in einem Zustandsraum (links). Definieren der Knoten als Fahrzeugzustände (rechts).

Dieser Zustandsraum wird zuerst auf sicher befahrbare Knoten begrenzt. Entlang der Wegstrecke gibt es unterschiedliche Maximalgeschwindigkeiten v_{\max} , z.B. beim Befahren von Kurven, aufgrund der Beschaffenheit der Fahrbahnoberfläche oder bei eingeschränkten Sichtverhältnissen, etwa vor Kuppen. Das ergibt im Bild die obere, graue Hüllkurve. Die untere Hüllkurve beschreibt die Minimalgeschwindigkeiten v_{\min} , welche die Rennleitung vorgibt. Zwischen diesen Hüllkurven entsteht der weisse **Fahrkorridor** als Lösungsraum mit gültigen und sicheren Fahrzuständen. Damit sind die Knoten unseres Graphen komplett (Bild 11, rechts). Es handelt sich um einen gerichteten Graphen: jeder Knoten einer Wegstützstelle ist über Kanten mit den Knoten der nachfolgenden Wegstützstelle verbunden. Wenden wir uns nun diesen Kanten zu.

Die Kanten: Sie erhalten individuelle Gewichte und entsprechen Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen je zwei Wegstützstellen. Im Hinblick auf die Zielgrößen Energieverbrauch, Fahrzeit und Sicherheit verursacht dies Kosten. Diese Kosten sind die Basis für jede einzelne Entscheidung, wie das System, bzw. das Fahrzeug von einem Zustand in den nächsten geführt werden soll. Der gesamte Weg vom Start- bis zum Endknoten führt über den kürzesten Weg (= minimale Summe der Gewichte aller beteiligten Kanten) also derjenige mit den geringsten Kosten.

Die Optimierungsvariable ist die Fahrzeug-Geschwindigkeit im Streckenverlauf. Die Zielgrößen sind die Fahrtdauer «T» und der Energieverbrauch «E». Beide sollen gleichzeitig minimiert werden und stehen damit in Konkurrenz: keine der beiden Zielgrößen lässt sich verbessern, ohne dadurch die jeweils andere zu verschlechtern. Das führt zur minimierenden, mit w_T und w_E gewichteten Zielfunktion: die gewichtete Summe der Fahrzeit- und Energiekosten:

$$F(T,E) = w_T * T + w_E * E \rightarrow \min$$



Bild 12 | Eingrenzen ungültiger Folgezustände aufgrund extremer Beschleunigungen (links) und Berechnen der Kantengewichte mit den Entscheidungskosten (rechts).

Das Ergebnis der berechneten Knoten und Kanten ist ein Graph, der die Anwendung der Transformation vom Anfangs- in den Endzustand ermöglicht. Herleitung siehe Workshop **3**.

2 Transformieren des Graphen in konkretes Wissen & Nutzen

Der vorliegende Graph beschreibt das Rennstreckenproblem eindeutig und vollständig und garantiert ein globales Optimum. Die Knoten beschreiben die Fahrzeugzustände und die Kanten die Kosten, die auch Steigungen, Gefälle, enge Kurvenradien, Wind und Bodenhaftung berücksichtigen.

Als Graphen-Transformator dient der Dijkstra-Pfadfinder. Er liefert den kostenminimalen Weg durch diesen Graphen und bietet dem Fahrer die passenden Stellgrößen. Er erhält damit eine Art stufenlosen Drehschalter, mit dem er die konkurrierenden Zielgrößen nach eigenem Ermessen gewichten kann. Gedanklich stelle man sich drei Hauptpositionen vor:

1. **ECO:** **verbrauchsoptimaler Modus.** Das Fahrprofil zielt auf minimalen Energieverbrauch ab und der Kantenzug wird sich im Fahrkorridor am Geschwindigkeitsminimum orientieren.
2. **SPORT:** **fahrzeitoptimaler Modus.** Das Fahrprofil verlangt nach möglichst kurzer Fahrzeit und folgt daher dem Geschwindigkeitsmaximum.
3. **COMBI:** **kombinierter Modus.** Eine Mischung aus verbrauchs- und fahrzeitoptimaler Gewichtung, was die Vorteile der **ECO**- mit der **SPORT**-Welt verbindet.

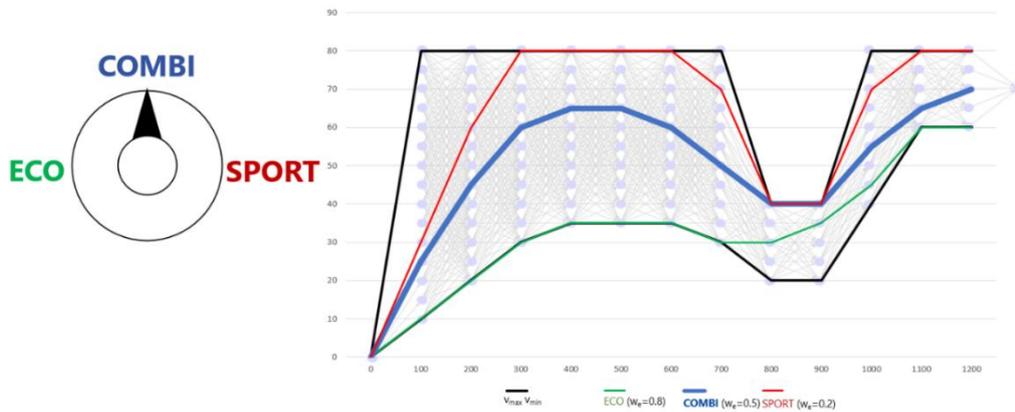


Bild 13 | Transformieren des Graphen in mehrere mögliche Geschwindigkeitsprofile.

In einem ersten Schritt liesse sich vor dem Rennen passend zum Rennfahrer und seinem Fahrzeug ein individuelles Geschwindigkeitsprofil berechnen. Dieses merkt er sich und wendet es auf der Strecke an. Es berücksichtigt die Fahrzeugparameter, die Umgebungsvariablen und die Streckentopologie. Auch lässt es sich mühelos an die Art des Rennens (Marathon, Meisterschaft) und an den Stil und die Erfahrung des Rennfahrers anpassen. Im sparsamen Ökomarathon wird **ECO** gewählt, in der schnellen Meisterschaft **SPORT**. Aggressive, sichere Fahrer favorisieren den **SPORT**-Modus. Energiebewusste, vorsichtige oder lernende Fahrer wählen die Nähe zu **ECO**. Der **COMBI**-Modus bietet die Vorteile beider Welten. Unabhängig von dieser Wahl ist dank des Fahrkorridors an jedem Ort und zu jeder Zeit die Sicherheit gewährleistet.

Dieses konkrete Beispiel der Informationsdimension und ihrer Kombination mit Raum und Zeit liesse sich für diesen Anwendungsfall beliebig erweitern:

1. **Geschwindigkeitsregler:** Die Position und die Geschwindigkeit des Fahrzeuges werden auf jedem gefahrenen Meter über GPS-Daten erfasst und in die Informationsebene gespielt. Diese Ist-Daten werden mit dem Fahrkorridor abgeglichen, der momentan kürzeste Kantenzug über eine erneute Graph-Transformation berechnet, die Stellgröße ins Fahrzeug zurückgespiegelt und der Fahrer ist jederzeit und überall über die optimale Geschwindigkeit informiert.
2. **Smarte Fahrmanöver:** Der Fahrer kann bei intelligenten Manövern, besonderen Fahrsituationen, Grenzfällen oder beim Überholen stufenlos und in Echtzeit zwischen **ECO**, **COMBI** und **SPORT** wählen. In diesen Fällen werden die Kantengewichte und das Geschwindigkeitsprofil in der Informationsebene laufend neu berechnet.
3. **Wetterfestigkeit:** Der Fahrkorridor lässt sich dynamisch dem Wetter anpassen. Einsetzender Regen verändert die Reibung zwischen Rad und Strecke, was die maximalen Geschwindigkeiten für das Befahren einer Kurve reduziert. Das Ändern der Windrichtung verändert im Berechnungsmodell den Windwiderstand.
4. **Kurven «on-the-edge» fahren:** Das Befahren der Kurven gilt im Rennsport als «heiliger Gral». Es wäre denkbar, individuelle Fahrkorridore zu berechnen, passend zur Querposition des Fahrzeuges auf der Strecke. Je nachdem, wie eine Kurve genommen wird – innen mit kleinen oder aussen mit grossen Radien – ändern sich die Geschwindigkeitsgrenzen entsprechend.



Schlüsselerkenntnis schmieden:

Im Anwendungsfall der Rennstrecke erzeugten wir gerade «hands-on» einen Graphen mit Knoten und Kanten und lernten, wie ein Graphen-Transformator zu Wissen und zu einem Wettbewerbsvorteil führt. Auch lernten wir den fundamentalen Unterschied zwischen dem traditionellen Vorgehen mit den Newtonschen Kraftgesetzen und Bewegungsgleichungen und dem Vorgehen in der Informationsdimension kennen. Das gibt uns jetzt einen «neuen Blick» auf die Mechanismen und Zustandsübergänge der realen Welt.

Ausserdem müssen wir die mathematischen Gesetze und Formeln in einem ersten Schritt gar nicht zwingend kennen. Der (Wissens-) Graph mit den Zuständen (Knoten) und den Wechselwirkungen (Kanten) dröselst das für uns auf.

Je mehr Bedeutung und Wissen wir dem System zuführen, desto höher steigt dessen Nutzungs- und sein Wirkungsgrad. Je genauer wir etwa die zugrunde liegenden physikalischen Modelle der drei Antriebstypen (Verbrennungsmotor, Elektromotor, Wasserstoffantrieb) ausführen, das Wetter miteinbeziehen oder auch dynamische Fahrmanöver ermöglichen, desto höher steigt die Energieeffizienz und der Energie-Nutzungsgrad. Im Klartext heisst das: Je mehr datenbasiertes Wissen das System besitzt, desto besser wird **die im System verteilte («freie») Energie** (bspw. (Rücken-)Wind, Gefälle, Solarenergie, Rekuperationsenergie etc.) genutzt.,

Zentral ist dabei folgender Punkt: Wenn wir in der Informationsebene aus den Beziehungen zwischen den Daten Bedeutung gewinnen, können wir die physische Ebene in Raum und Zeit manipulieren und so deutlich höhere Energie-Nutzungsgrade erzielen.

Nächster Escape Room Level:

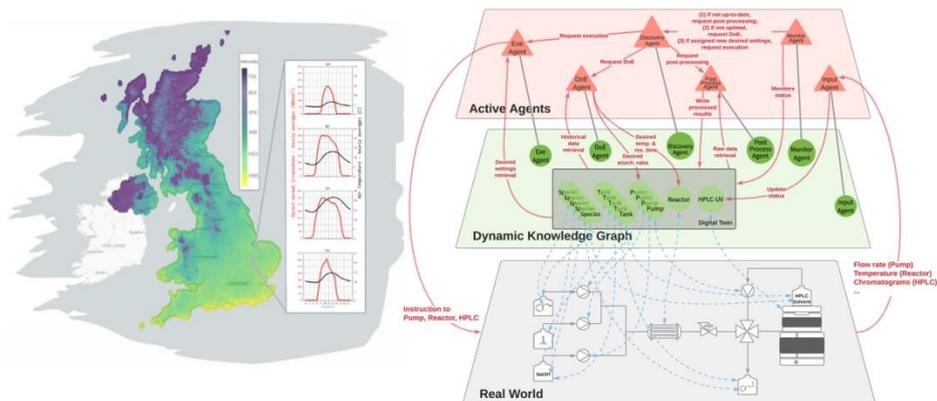
Nach dem Kennenlernen der Informationsdimension und ihrer Verbindung zu Raum und Zeit im konkreten Anwendungsbeispiel der Rennstrecke nähern wir uns endlich der Ziellinie. Dort erkennen wir anhand von realen Beispielen, wie sich die Welt des Wissens ausserhalb der Rennstrecke anfühlen könnte...

8 Ziellinie: Wissen in Action

Dank der Theorie und Praxis der Wissensgraphen verstehen wir nun das Wesen der Dinge mit ihren Beziehungen. Darüber hinaus haben wir mit einem Transformator Bedeutung in Wissen übersetzt. Wie unser Anwendungsfall der Rennstrecke gezeigt hat, kann dieses Wissen wiederum in den Dimensionen Raum und Zeit zur kreativen Gestaltung, Manipulation und Nutzung der dort gültigen Strukturgrößen Lage, Veränderung (Fortschritt) und Energie herangezogen werden. Damit erreichen wir die Ziellinie und erfahren anhand von sieben Beispielen, was in der Welt des Wissens möglich ist.

1. Digitaler Zwilling der Welt als Chance für eine nachhaltige Klimazukunft

Eine Schar Datenwissenschaftler untersucht derzeit, wie Wissensgraphen mit Zugang zu live Datenquellen zu einem digitalen Zwilling der Energiewelt eines ganzen Landes führen kann. Dieser Zwilling bricht bisherige Datensilos auf, ermöglicht ein domänenübergreifendes Zusammenarbeiten und Zusammenführen kollektiven Wissens und soll damit den Weg zur Energiewende ebnen [16].

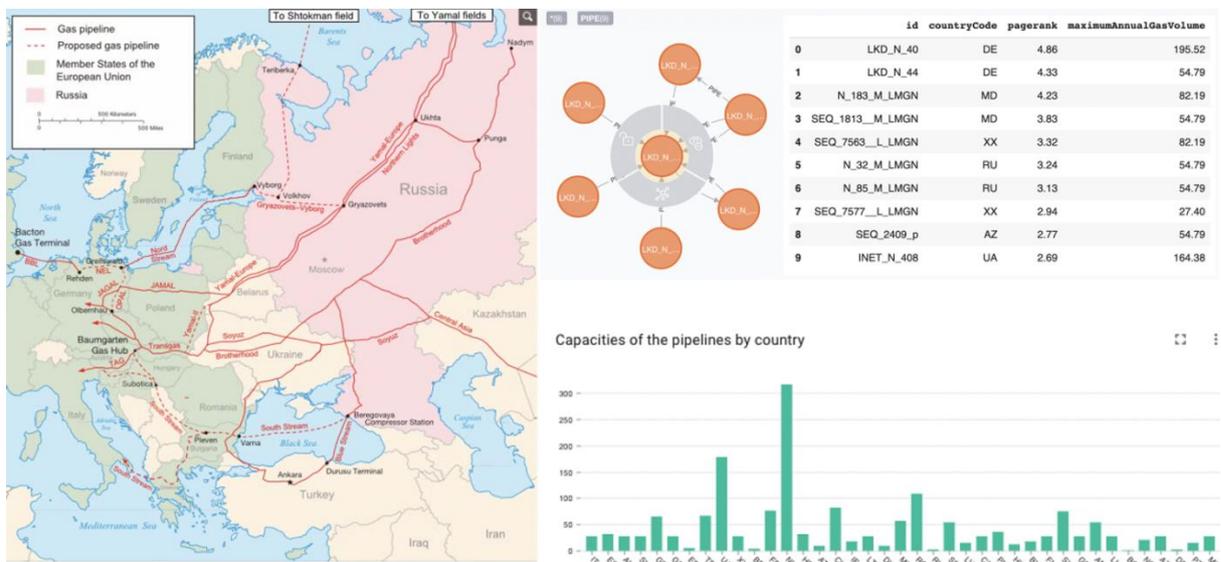


2. Steigern der Widerstandsfähigkeit einer Insel gegenüber Klimakatastrophen

Die Insel Dominica leidet zunehmend unter den Konsequenzen des Klimawandels. Sie ist etwa heftigen Stürmen ausgesetzt. Der Sturm «Maria» im Jahr 2017 zerstörte damals fast 90% der kritischen Insel-Infrastruktur und der größte Teil der Bevölkerung hatte beim Wiederaufbau 4 Monate lang keine Elektrizität im Haus. Dominica ist sehr erfahren, wenn es darum geht, mit extremen Wetterbedingungen umzugehen. Einen großen Sturm pro Jahr konnte man wegstecken. Heute gibt es jedoch Hunderte kritischer Wetterbedingungen in unterschiedlichen Eskalationsstufen und das verlangte nach einer deutlichen Verbesserung der eigenen Widerstandsfähigkeit. So entstand ein Wissensgraph, der alle kritischen Knoten des Landes wie Kraftwerke, Spitäler, Wasserspeicher und Abwasseranlagen zusammenfügte. Die Beziehungen unter den Knoten zeigte deren Abhängigkeiten und beantwortete Fragen zur Fehlerkette. Muß etwa das Kraftwerk im Nordosten aufgrund einer Flut dort gedrosselt werden? Welchen Impact hat dies auf das Spital im Süden? Der Wissensgraph verband nun diese Silos und das führte zu einem neuen Verständnis der Beziehungen zwischen der kritischen Infrastruktur und nicht nur das. Es ließen sich für jede einzelne Phase und für unterschiedliche Wetterkatastrophen vorbeugende Notfallpläne schmieden, um dann im Falle eines Falles jederzeit und an jedem Ort die richtige Information zu haben und das Richtige zu tun [19].

3. Die Bedeutung des europäischen Gasnetzes

Die Ukraine-Invasion gefolgt von der Reaktion der westlichen Welt wird einen Einfluss auf Europas zukünftigen Energiemix haben. Man will vom russischen Gas weg. Also gilt es, das Gasnetzwerk, in dem Gas von einem Punkt zum anderen fließt, zu verstehen. Die Knoten bestehen aus Quellen, Kompressoren, Speichern und Kraftwerken. Die Kanten sind die Gaspipelines, d.h. der Energiefluss. Von beiden sind die GPS-Koordinaten und Energieflüsse bekannt und das Netz läßt sich in einen Wissensgraphen überführen. Wichtige Fragen lassen sich nun dank Graphen-Transformatoren schnell, exakt und eindeutig beantworten. Wie viele Knoten gibt es und wie ist die Infrastruktur auf sie verteilt? Ergebnis: es sind über 5000 Knoten, davon sind 310 Kraftwerke, 297 Speicher und 109 Grenzübergänge. Die relevantesten Knoten mit dem grössten Gaskonsum lassen sich mit PageRanking finden. Der Kritischste heisst «LKD_N_40» und befindet sich in Deutschland. Der «Influencer», also der populärste Knoten mit den meisten Verbindungen, läßt sich ebenso elegant bestimmen wie die Knoten mit den kürzesten Verbindungen. Auch wird klar, wo die Cluster und Gas-Verbindungsunkte zwischen den Ländern liegen und das spielt bei der Energieverteilung in Europa eine essentielle Rolle. Dieser Wissensgraph und die Graphen-Transformatoren bieten nun ein gut verständliches Bild über das Wesen des Europäischen Gasnetzes, was bei strategischen Schachzügen hilfreich sein kann [17].

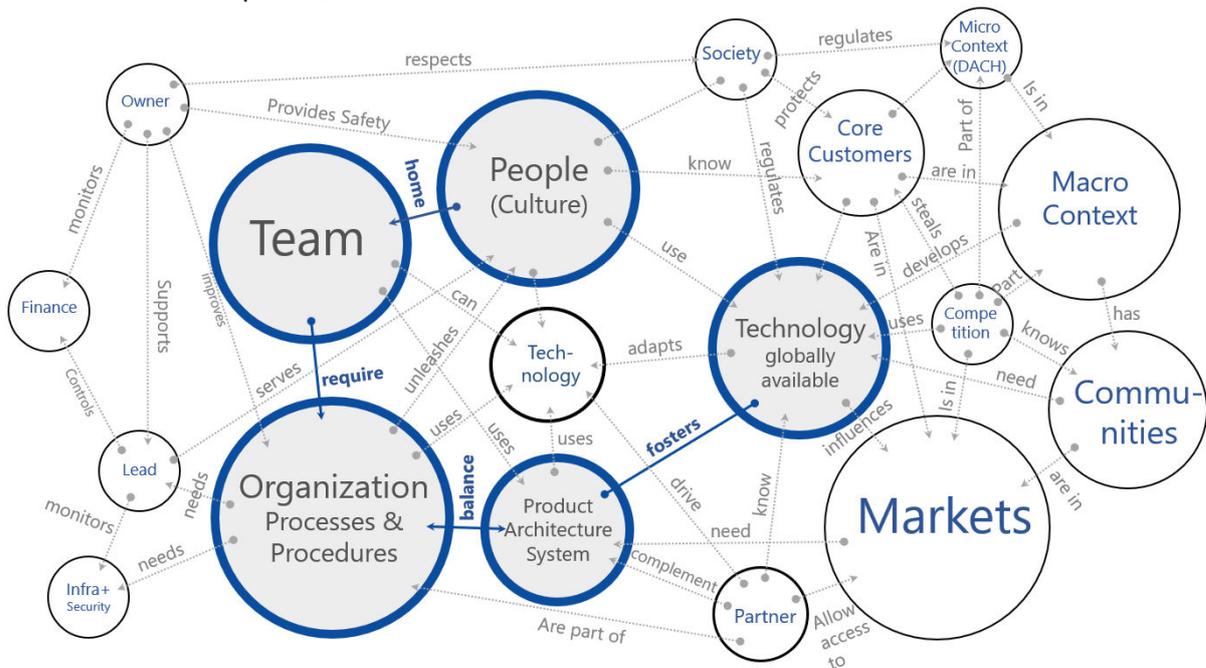


4. Kundengewinnung auf dem virtuellen «Golfplatz» der Kleine-Welt-Netzwerke

Eine interessante Eigenschaft der Kleine-Welt-Netzwerke: wir können jeden Menschen auf dieser Welt über eine handvoll Kontakte erreichen! Wir folgen einfach dem Weg des «Freundes unseres Freundes». Alles ist miteinander verbunden und jeder Mensch auf dieser Welt ist im Durchschnitt über sechs oder weniger soziale Verbindungen vom Anderen entfernt [11]. Das heißt, wenn wir dieser Kette folgen, können wir theoretisch jeden in maximal sechs Schritten erreichen! Zum Beispiel den CEO einer Firma, die wir als Kunden gewinnen wollen. Diese Theorie ist nun dank Wissensgraphen und -transformatoren produktiv nutzbar und nicht nur das: Wissensgraphen enthalten weitere Kontextattribute, die mit einer Entität, beispielsweise einem Kunden verbunden sind. Es ist zu erwarten, daß dies bei der Neukundengewinnung im Vertrieb und beim Networking neue Wege und Potentiale (Nutzen) eröffnet.

5. Wie verändere ich mein Team oder meine Firma in eine zukunftsfähige Form?

Solche Transformationen müssen achtsam geschehen, denn das geht an das Herz und die Nieren einer Firma oder eines Teams! Mit einem Wissensgraphen identifizierte Schmid Elektronik sämtliche Bereiche und Interessensgruppen sowie deren Beziehungen untereinander und zum Mikro- und Makro-Umfeld. Dann wählten wir die fünf relevantesten Knoten aus. Nach dem Spiegelprinzip von Produkt und Organisation (invertiertes Conway-Gesetz) veränderten wir die starre Abteilungspyramide in ein dezentrales, flaches und dynamisches Team-Netzwerk. Der Wissensgraph für die Aufbau- und Ablauforganisation sowie der kontextuellen Relationen zwischen beiden diente während dem steinigen Aufstieg als Karte und Kompaß [3].

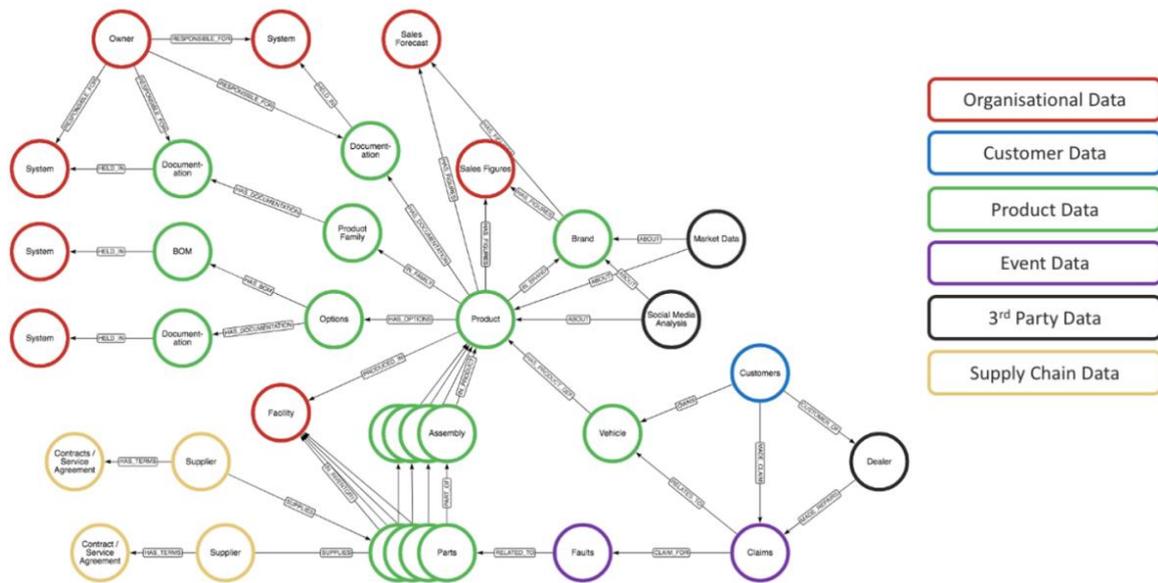


6. Wirksame Selbstverteidigung der IT gegen gefährliche Cyberangriffe

Seit der Pandemie 2020 nahm dieses Risiko im Zuge der beschleunigten Digitalisierung zu. Die bis heute meistens nach bestem Wissen und Gewissen installierten Mechanismen bieten zu wenig Schutz gegen die immer stärkeren Bedrohungen aus den Tiefen des Netzes. «Live Wissensgraphen» sollen uns helfen, kollektives Wissen, das kontinuierlich erweitert wird, anzupapfen, um jederzeit wirksam gegen Bedrohungen gewappnet zu sein. Der Graph zeigt auf, welche aktuellen Angriffsmuster verwendet werden. Er wird laufend erweitert und damit können wir noch mehr Daten erhalten, noch mehr Wissen extrahieren und aus einem bestimmten Blickwinkel heraus etwa die Trends beim Social Engineering besser verstehen. Je tiefer wir in unsere Daten eintauchen, desto genauere Erklärungen gibt es. Das Ziel ist es, jederzeit eine zuverlässige Cybersicherheit zu haben und «Out-Of-The-Box» zu denken, denn die Angreifer werden das mit Sicherheit tun [20]!

7. Smartes 360° Produktmanagement mit Stabilisierung der Lieferkette

Rund um Produkte gibt es mehrere Datenquellen, die oft in Silos gefangen sind. Dazu gehören etwa Produktdaten mit Dokumentation, Prozessen, Verfahren, Produktvarianten, Produkthierarchie mit Stücklisten und Operationsplänen sowie Lieferketten. Erweitert wird das ganze durch telemetrische Ereignisdaten. Ergänzend kommen Logistik-, Organisations- und Kundendaten dazu. Ein Wissensgraph führt zu einer gesamtheitlichen 360° Sicht über das Produkt, seine Herstellung, Garantiefälle, Kundenfeedback, Qualitätssicherung und Lieferkettenstabilität. Das steigert die Effizienz und Robustheit des Produktmanagements [18].



Schlüsselerkenntnis schmieden:

Diese sieben konkreten Beispiele aus dem Alltag belegen, wie aus Zustandsdaten und ihren Relationen Wissen generiert werden kann und dies der Gesellschaft, einer Firma oder einem Team Vorteile bringt. Bei einigen Beispielen handelt es sich um «Grand Challenges», mit denen die Menschheit derzeit konfrontiert ist, etwa eine nachhaltige Mobilitäts-, Energie- und Klimazukunft. Es scheint fast sicher, dass die Energiewende in der Informationsdimension stattfinden wird!

Nächster Escape Room Level:

Wir haben nun die Ziellinie überfahren und erhalten unseren wohlverdienten Grand-Prix: den Schlüssel zur neuen Dimension...

9 Der Grand-Prix: Der Schlüssel zur neuen Dimension

Unser letzter Schlüssel ist geschmiedet (Bild 13)! Er öffnet uns alle Wege zu Erkenntnissen, welche wir bisher im Escape Room gewonnen haben. Diese Wege haben uns zu Dimensionen geführt, in denen spezifische Transformationen einen «göttlichen Blick» erlauben: Erstens können wir die physische 3D-Welt (Erdkugel) durch Koordinatentransformation auf eine 2D-Ebene (flächentreue Weltkarte) projizieren und sie so mit einem Blick von allen Seiten betrachten. Das wäre sonst nur aus einer vierten **Raumdimension** möglich. Zweitens können wir durch Simulation dynamische Prozesse vorhersagen und mittels Frequenztransformation nicht nur ihre verborgene Dynamik erkennen, sondern diese auch beliebig manipulieren und für die Zukunft vorherbestimmen (**Zeitdimension**). Drittens können wir das Wesen der Dinge im Zustands- und Datenraum beschreiben, als Muster erkennen und durch Graphen-Transformation deren Bedeutung verstehen und produktiv nutzen (**Informationsdimension**). Mit dieser erweiterten Wahrnehmung aus der Datenperspektive im neuen Freiheitsgrad der Informationsdimension lassen sich Vorgänge in Raum und Zeit auf der Informationsebene abstrahieren und virtualisieren. Damit besteht die Chance, dass wir die eingangs adressierten komplexen Systeme zähmen und die Datenflut reduzieren können.

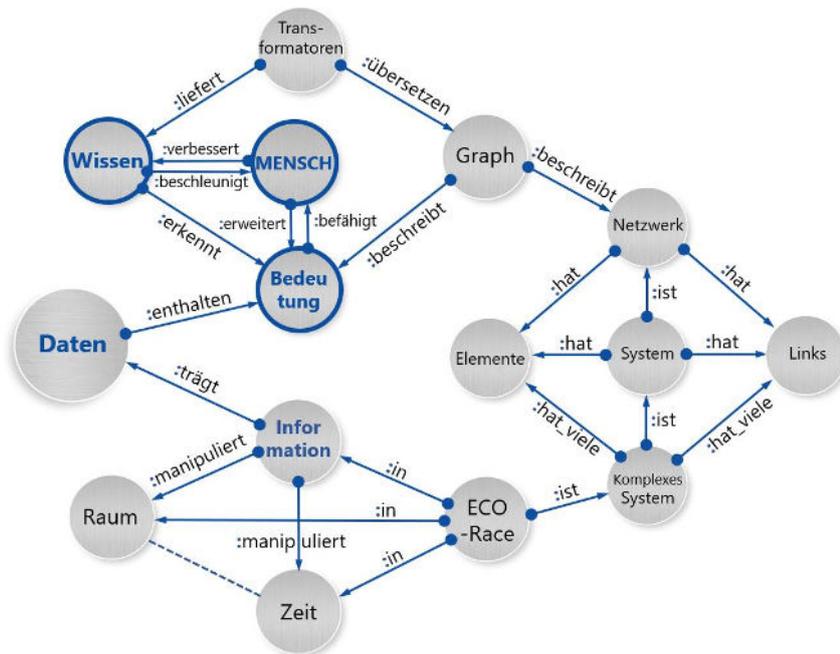


Bild 13 | Das ist unser auf der Rennstrecke geschmiedete Schlüssel zur neuen Dimension

Relevant bei diesem Schlüssel sind vor allem die verstärkenden **Rückkopplungen**, die im Bereich Wissen und Bedeutung den mentalen Zustand von Mensch und Team verbessern. Ein Beispiel ist der in Bild 13 fett umrandete Wirkungskreislauf **Mensch-Empowerment** vs. **Bedeutung** und vs. **Wissen**: die **Bedeutung** befähigt ein zunehmendes **menschlich-mentales Empowerment**, was im Gegenzug dazu führt, dass sich die **Wahrnehmung von Bedeutung** (sprich die Menge der erkennbaren Muster) im riesigen Datenozean zunehmend erweitert. Das wiederum verbessert die **Wissensbasis**: je schärfere und je mehr Muster ich erkenne und deren Bedeutung ich verstehe, desto mehr «weiss» ich, wodurch sich das **Mensch-Empowerment** beschleunigt. Im Übrigen zeigt das Beispiel, wie aus einem Wirkungskreislauf (gerichtete Energie = Wirkung, s. Kapitel 7) unaufhörlich **Nutzen** entsteht.

Wir haben nun den Kern der Informationsdimension freigelegt. Auch haben wir ihre Mechanismen in Methoden und Verfahren übersetzt und im konkreten Beispiel der Rennstrecke hands-on eingesetzt. Der Escape Room diente uns als Labor und Schutzraum zum Verstehen der neuen Dimension. Weitere Beispiele an der Ziellinie zeigten uns, daß die Informationsdimension ganz allgemein dazu dienen kann, Komplexität verständlich und beherrschbar zu machen. Und das ohne «Chip im Kopf» oder «Matrix-Stecker» im Nacken! Sondern mit den fünf Sinnen, über die wir schon heute verfügen und dem, was sich zwischen unseren Ohren befindet. Das ermächtigt uns jetzt, entspannt und wissend an komplexe Problemstellungen und an die Datenflut heranzugehen. Dank der Informationsdimension und ihren Methoden werden wir Raum, Zeit und Materie in Zukunft unvergleichlich besser nutzen als heute.



Bild 14 | Dieser Schlüssel öffnet uns nun das Tor in einen Raum von Potentialen, deren Grenzen und Chancen noch gar nicht absehbar sind.

Wir erhalten damit ein ganzheitliches Systemverständnis für das Wesen der Dinge und lernen durch dieses Wissen nicht nur unseren, sondern allen Energien Richtung und Ziel zu geben, genauso wie es die Rennfahrer im Ökorennen tun. So maximieren wir Nutzen und werden dabei eine alle Erwartungen übertreffende Effizienz erfahren, sowohl bei technischen, wie auch bei betrieblichen Prozessen. Damit erfüllen wir – ganz nebenbei – das elementare Grundprinzip der Magie: Mittels Information (einer «Zauberformel») Energie und Materie gezielt und wirkmächtig einzusetzen und so Game-Changer zu erschaffen, die Unheil («Dämonen») abwenden und förderlichen Kräften den Weg frei machen, denn:

«**Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic**», sagte bereits Arthur C. Clarke.



Neuer Escape Room Level:

Wir haben dank unseres geschmiedeten Schlüssels das Tor zur neuen Dimension und damit zur Welt des Wissens geöffnet. Hättest du Lust, sie bei einer typischen Aufgabe, einer Informationsrecherche, zu testen? Damit treten wir nun aus dem Escape Room aus und lassen uns den Vorteil der neu gewonnenen Kraft vor Augen führen...

10 Zurück im Alltag: Die Nadel im Heuhaufen finden

«**Hilfe, ich ertrinke in Information!**». Wer von uns hat diesen verzweifelten Satz nicht schon gehört oder selbst geäußert, wenn er gefühlte Tonnen von Text oder Websites durchhackern muß, um beispielsweise innerhalb einer Recherche zu neuem Wissen zu kommen? Was wäre, wenn wir jegliche Datenflut umgehend in produktives Wissen transformieren könnten, um zügig die berühmte Nadel im Heuhaufen zu finden? Die Wettbewerbsvorteile klingen verheissungsvoll: kürzere Time-to-Knowledge und kürzere Time-to-Market! Die folgenden digitalen Dienste hinter dieser Aufgabe - unter anderem das Sprachmodell Chat-GPT (Generative Pretrained Transformer) oder Googles Bard, aber auch die anderen «üblichen Verdächtigen» - stammen aus der Informationsdimension und sind real: Sie gewinnen aus Daten Bedeutung und transformieren sie in direktes Wissen. Eine Info-Recherche könnte in Zukunft so aussehen:

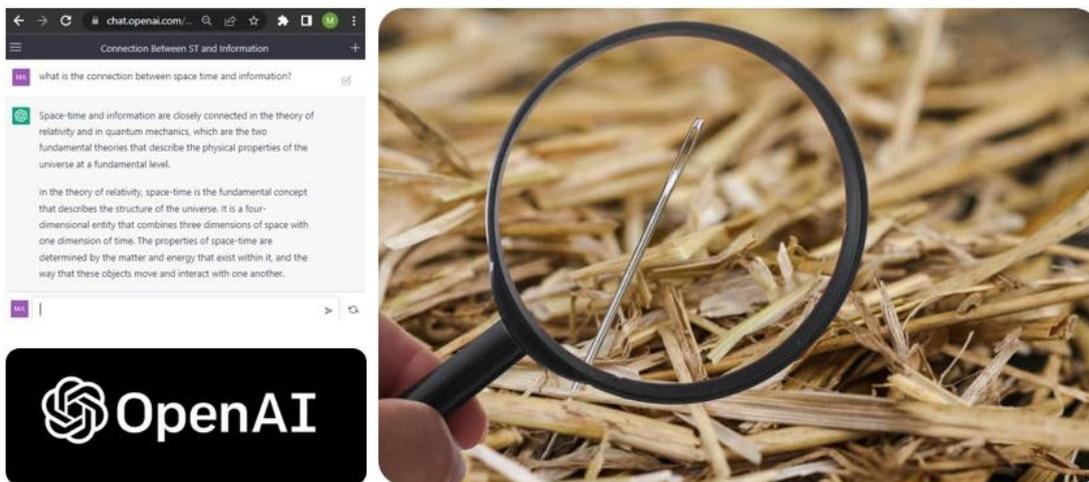


Bild 15 | Die Nadel im Heuhaufen über mehrere Stufen finden

1 **Den «Heuhaufen» verkleinern**

Als erstes verkleinern wir den unendlich grossen «Daten-Heuhaufen» auf ein überblickbares «Häufchen», welches mit grosser Wahrscheinlichkeit die begehrte Nadel enthält. Beispiel:

Heuhaufen verkleinern durch...	Konkrete Beispiele angewendet in diesem Whitepaper
<p>Mit guten Fragen Antworten erhalten (Prompt Engineering) Dank Karte eine Übersicht verschaffen</p>	<p>Wir löchern den Chatbot mit den wichtigsten und dringendsten Fragen zu den für uns relevanten Themen und erhalten von ihm Konzepte, Begriffe und Hintergrundinformationen. Beispiele beim Erstellen dieses Whitepapers: «Was ist Information?», «Was ist ein Wissensgraph?» oder «Was ist Komplexität?».</p> <p>Daraus wird Mindmap-Code für andere Dienste (z.B. Mermaid) erstellt und so eine übersichtliche Karte gewonnen, die das Suchfenster eingrenzt. So entstand nach und nach die nützliche Mindmap zum Thema «Komplexität» in Kapitel 4.</p>

Datenflut reduzieren und die Suche eingrenzen	Aus den vorhandenen Quellen über Graphen in Kapitel 6 benötigte es für die Knoten und Kanten eine kurze und prägnante, einfach gehaltene Zusammenfassung auf maximal einem A4-Blatt.
Google-Suchbegriffe schärfen	Den physikalischen Formeln als Grundlage für den Workshop ③ fehlte ein passendes Bild. Instruktion an den Bot: «Finde mir ein Bild im Internet welches die Formeln, die du mir soeben geliefert hast, grafisch darstellt.» Antwort: «Ich kann das Internet nicht absuchen, aber versuche es doch mit folgenden Stichworten: Fahrdynamik Vektor Diagramm.» Bingo!

Ergänzend oder alternativ dazu könnten wir mit dem Filterdienst «Scholarcy» umfassende Texte auf wenige, dafür relevante Seiten konzentrieren und erhalten auf 2-3 A4-Seiten eine Einführung, eine Zusammenfassung, ein Fazit, Schlüsselkonzepte, wissenschaftliche Highlights, vergleichende Analysen, einen Literaturverweis und eine Konformitätsprüfung. So geschehen bei Mark Burgess Buch «Smart Spacetime». Das 500-Seitige Werk wurde auf wenigen A4-Seiten heruntergedampft und das wichtigste Kapitel isoliert.

② Die Nadel finden

Nun haben wir also einen deutlich reduzierten Heuhaufen und können den digitalen Bot-Assistenten als «Sparringpartner» nutzen, um darin über Analogien die besagte Nadel zu isolieren.

Nadeln finden mit...	Konkrete Beispiele angewendet in diesem Whitepaper
Zusatzinformation beschaffen	Für die Themen in Kapitel 4 und 7 brauchte es Referenzliteratur. Deshalb die Frage an ihn: «Welches sind die relevantesten Bücher zum Thema Raum, Zeit und Information?». Weitere Frage: «Welche Bücher gibt es zum Thema Fahrdynamik in Autorennen?». Und: «Wie macht man Fahrzeuge energieeffizient?»
Analogien und Muster in unterschiedlichen Domänen finden, Out-of-the-Box-Denken fördern und Zusammenhänge entdecken, auf die wir nie kommen würden (Connect the Dots)	Die intuitiv gewonnenen Hypothesen in Kapitel 4 mussten auf den Prüfstand. Die Fragen an den Bot: «Was ist die Verbindung zwischen Raum, Zeit und Information?», «Welchen Zusammenhang gibt es zwischen Komplexität, Netzwerken und Graphen?», oder: «Könnte Information als 5.Dimension angesehen werden und warum?». Die Bot-Antworten auf diese Fragen erhärteten die Hypothese.

Ausführbaren Software-Code generieren lassen

Sobald die Nadel konkret wird, lassen wir uns Code für einen ausführbaren Prototypen erstellen (Excelmakro, Python, Matlab, LabVIEW, etc). So geschehen bei der ersten Version des Rennstreckengraphen in Workshop ③. Zweitens liessen wir uns die Grundkonzepte für Fahrdynamik mitsamt den Formeln auflisten und dann in ausführbaren Python-Code übersetzen.

Wichtig: was wir als Menschen in diesem Sparring von den gelieferten Ideenskizzen, Vorschlägen und Antworten des Sprachmodells halten, bleibt immer noch uns überlassen! Die Antworten müssen für uns plausibel klingen und ein «Aha» auslösen, sonst locken sie uns ggf auf eine falsche Fährte. Chat-GPT kann bei seinen Äusserungen nämlich smart und verführerisch sein und auch mal daneben liegen... Am besten verhalten wir uns genauso, wie wenn wir Antworten von einem externen Berater, einem Politiker oder einem Orakel erhalten würden und behandeln sie nicht als zuverlässige Fakten, sondern als Muster, die unseren Horizont erweitern.

③ Die «Nadeln» aufbewahren

Die gefundenen Nadeln wollen wir nun – jederzeit abrufbar – in einem zweiten «Gehirn» aufbewahren. Obsidian gehört zu diesen sogenannten PKGs: Personal Knowledge Graphs. Wissen wird in einer Markdown-Sprache schnell und einfach in WIKI-manier erfaßt und vernetzt. Die vielen Verbindungen funktionieren dann ähnlich wie in unserem Gehirn. Die gefundenen «Nadeln» werden zu Knoten (Neuronen), die «feuern», wenn's interessant wird! Das «Feuern» verbindet die «befeueren» Knoten zu Assoziationsmustern. Das wiederum befeuert ganzheitliches Systemdenken und wir erkennen Zusammenhänge und sehen das ganz große Bild. Je grösser dieses Netz wird, desto geringer wird der Aufwand, neue Erkenntnisse zu gewinnen und neues Wissen zu entdecken:

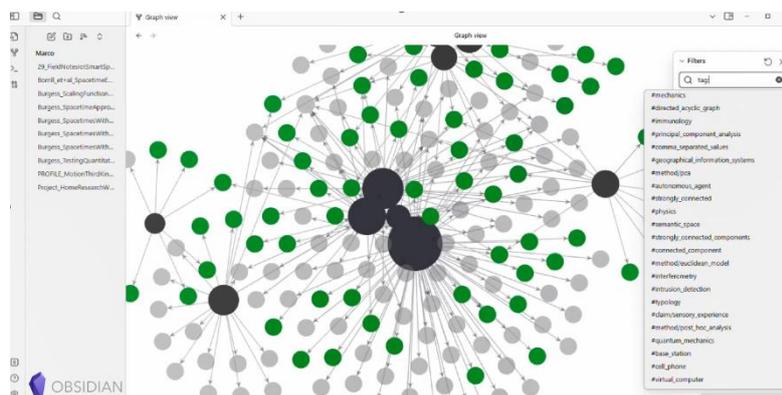
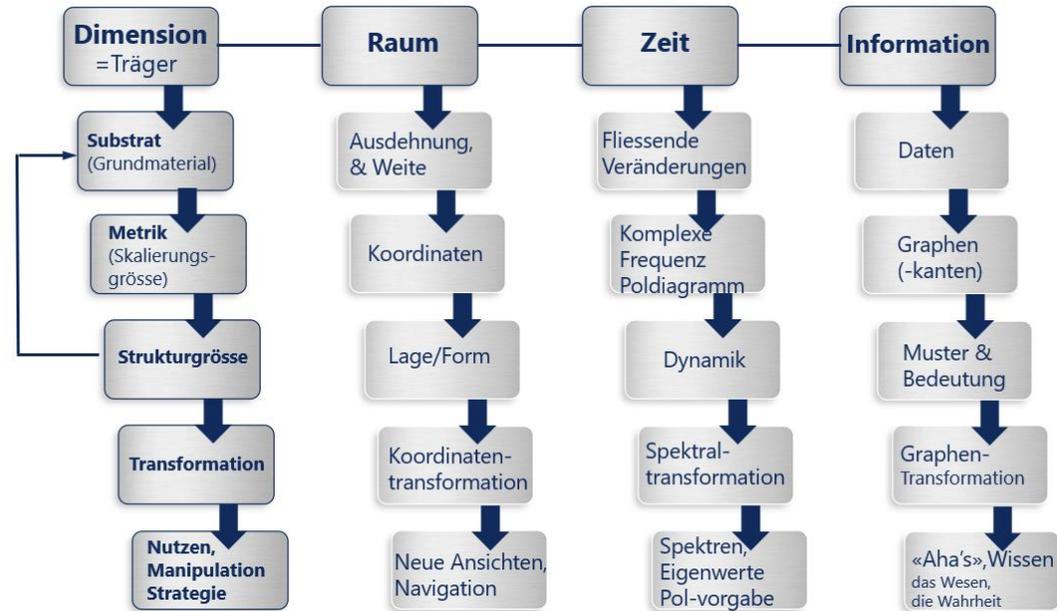


Bild 16 | Die «Wissens-Nadeln» im zweiten Gehirn (Obsidian) aufbewahren

Dieses kleine Recherchebeispiel zeigt, wie sich unsere natürliche mit der künstlichen Intelligenz der Informationsdimension nahtlos verzahnt. Das kann nun ungeahnte Innovationen, Kräfte und Potentiale entfalten und dir so das begehrte Tor zur Wissens epoche öffnen. Welche Herausforderungen löst du nun damit? Welche Energien wirst du mit deiner Magie entfesseln, um damit den Weg in eine neue, vermutlich freiere, bestimmt aber bessere Welt einzuschlagen? Bitte sende deine Antwort an marco.schmid@schmid-elektronik.ch, ich freue mich drauf!

11 Workshop-Bereich (*Sternchenaufgaben*)

11.1. Workshop 1 Zusammenhang der Dimensionen Raum, Zeit und Information auf der Rennstrecke



Diese «Kacheln» stammen aus Henning Butz' Werk [7] und zeigen den Zusammenhang zwischen den drei Dimensionen «Raum», «Zeit» und «Information»:

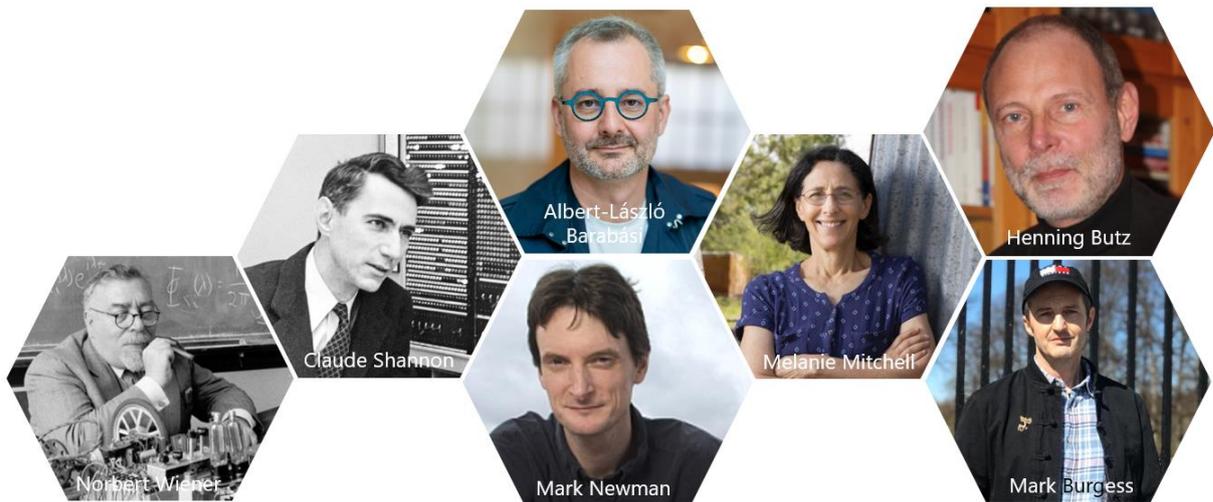
Im Folgenden dient die Rennstrecke des Shell Eco-marathon als Demonstrator, der diese theoretischen Zusammenhänge praxisorientiert veranschaulicht. Die in diesen Ökorennen erzielte, fast «magische» Energieeffizienz wird einerseits durch die extreme Leichtbauweise der Fahrzeuge sowie dank maximaler Effizienz ihrer Antriebe ermöglicht. Dies alleine erklärt die verschwindend geringen Verbrauchswerte jedoch nicht...

Der Trick hinter dem minimalen Energiekonsum liegt in der Strategie, alle Daten der Streckenbeschaffenheit, des Geländes, des Fahrzeugzustandes sowie der meteorologischen Bedingungen samt freier Energien (Wind, Gefälle, etc) in kurzen Abständen zu erfassen, zu verarbeiten und dem Rennfahrer für eine zeit- und energieminimale Fahrzeugführung interpretierbar zu präsentieren. Dieses gezielte Hinzufügen von Wissen führt zu einer maximalen Nutzung ALLER Energien im System (Energieeffizienz + Maximierung des Nutzungsgrades aller latenten Energien im System).

Dimension (Träger)	Die Raumdimension verbessert die Navigation		Die Zeitdimension optimiert den Antriebsstrang	
Substrat (Grundmaterial)	Ausdehnung und Weite	Beispiel: der Verkehrsraum einer abgesteckten Rennbahn	Fließende Veränderung	Beispiel: die Energieflüsse im Antrieb eines Rennfahrzeuges
Metrik (Beschreibungs- oder Skalierungsgrösse)	Koordinaten	Polarkoordinaten Kartesische Koordinaten	Komplexe Frequenz & Eigenwerte	Modellierung des Elektroantriebs über ein Differential- Gleichungssystem (DGL). Daraus entsteht die Systemmatrix. Ihre Koeffizienten sind gleichbedeutend mit den Beziehungen zwischen den Zustandsvariablen des Systems und den Kanten eines Graphen (Siehe nächste Seite «Informationsdimension»)
Strukturgrösse	Lage & Form	Lage der Rennfahrzeuge Form der Rennfahrzeuge 3D-Karte der Fahrbahn	Dynamik	Wechselbeziehungen zwischen den elektromagnetischen Energieflüssen im E-Motor einerseits und der Kinematik der mechanischen Komponenten des Antriebs, des Fahrzeugs, sowie der Kinetik des Fahrzeugs im Bewegungsraum, andererseits.
Transformation	Koordinaten- transformation & Algorithmen	Detektieren der Start-/Ziellinie, aus GPS-Daten die gefahrenen Runden isolieren, aus GPS-Daten Fahrdistan- zen berechnen (Haversine-Funktion), Optimieren der Fahrtrajektorien	Spektral- Transformation	Die Transformation erfolgt aus dem DGL-System (respektive aus den Koeffizienten der Systemmatrix) der Anordnung und Ausle- gung des Antriebes: Energiequelle, Inverter, Motor, etc. Optimie- rung der Energieflüsse, Harmonisierung von Antriebs- und Fahrdy- namik, Vermeidung von Energiependelungen und Kraftkonflikten
Manipulation Nutzen Strategien	Neue Ansichten Navigation	Übersicht, wo sich die Fahrzeuge befinden, Positionsanzeige auf den Smartphones, Tablets und Leinwänden, geglättete GPS-Trajektorien, Anzahl gefahrener Runden, exakte Rundendistanzen, Qualität der gefahrenen Kurven	Spektren Regelung, Prädiktion	Die beobachtete dynamische Schwingung des Antriebs wurde durch Transformation in der Metrik «Frequenz» in komplexe Eigenwerte (Eigenfrequenzen und Eigendämpfung) zerlegt und dadurch sicht- und messbar gemacht. Mit dem erhaltenen Polplan erkennen wir, welcher Eigenwert zu kritischen Resonanzen führt und das kann optimiert werden. Die Strategie dazu: Verschieben der kritischen Eigenwerte, damit im Antrieb so wenig Energieverlust wie möglich entsteht

Dimension (Träger)	Information	Die Rennstrecke aus dem Kontext des Fahrers gesehen:
Substrat (Grundmaterial)	Daten	Wir beginnen vorerst mit bedeutungslosen Echtzeit-Renndaten (Zuständen). Diese sagen zunächst nichts aus und bleiben solange bedeutungslos, bis sie auf einen Kontext bezogen werden, z.B. die Fahrersicht mit Zeit- und Energieeffizienz. Alternativ könnte der Kontext aus Sicht des Streckenwartes oder der Rennleitung gesehen werden. In diesem anderen Kontext hätten die gleichen Daten eine völlig andere Bedeutung, bspw. Rennregeln und Sicherheit.
Metrik (Beschreibungs- oder Skalierungsgröße)	Graphen	Dann bringen wir diese Daten in einem Kontextmodell der Rennsituation speziell für den Fahrer in eine Beziehung zueinander. Dieses Kontextmodell ist der Graph. Er spannt ein Zustandsgitter aus Raum (gefahrte Strecke) und Zeit (Geschwindigkeiten) auf und beschreibt das Rennstreckenproblem vollständig. Er stellt die Bezüge her zwischen beispielsweise dem <u>Wind und den Fahrzeugkräften</u> oder der <u>Geschwindigkeit und dem Fahrbahngradienten und dem Energieverbrauch</u> oder der <u>Geschwindigkeit und der zurückgelegten Strecke</u> . Das führt uns zu Mustern als «Vorboten» für die Bedeutung. Die Kanten des Graphen sind am relevantesten, denn sie führen das alles zusammen. In diesem Beispiel ist das Mass der Bedeutung die «Kosten», die zwischen Wechslen verschiedener Fahrzeugzustände entstehen. Interessanter Zusammenhang: Die Knoten- und Kantenstruktur des Graphen ist vergleichbar mit den Koeffizienten in der Systemmatrix eines Differentialgleichungssystems der Zeitdimension.
Strukturgröße	Muster	«Regen», «Fahrbahn nass», «Wind 10m/s von vorne», «Asphalt glatt gefahren», «Fahrzeug im Gefälle», «enge Kurve in Sicht» etc stehen in einer Beziehung zueinander und werden bspw. in Reibungskoeffizienten oder Energiegewinne/-verluste übersetzt, was relevant für die Fahrzeuge ist.
	Bedeutung	Ich will so wenig Treibstoff wie möglich verbrauchen und den Vorsprung auf die Konkurrenz halten. Und Sicherheit geht vor, denn «Mein Fahrzeug nimmt im Gefälle Fahrt auf», aber «Es wird durch den Wind gebremst» und «Die Bodenhaftung ist gering»: Vorsicht in der Kurve!
Transformation	Graphen Transformation	Der Graphentransformator «Dijkstra» ist nun in der Lage, dieses komplexe Beziehungsgeflecht direkt in Nutzen zu übersetzen (bspw. nutzen latenter Energie «Gefälle», «Rückenwind» etc.). Er liefert uns einen Plan der Wechselwirkungen und möglichen Fahrzuständen, respektive der Wechsel von einem Fahrzeugzustand in den nächsten. Das entspricht dem «Polplan» der Eigenwerte für ein dynamisches System. Völlig analog zu den Vorgängen in der Zeitdimension wird auch hier, erst nachdem der «Plan der Wechselwirkungen oder Fahrzuständen» auf dem Tisch liegt, ausgehend vom aktuellen Bedeutungsmuster eine Fahrstrategie für den nächsten Zeit- und Streckenabschnitt festgelegt. An deren Ende wird erneut ein aktualisiertes Bedeutungsmuster der dann möglichen Fahrzustände aus dem veränderten Graphen berechnet.
Manipulation Nutzen Strategien	Wissen, «Aha's» Das Wesen Die Wahrheit	Aus der Transformation erhält der Rennfahrer das Wissen, was an jedem Ort und zu jeder Zeit zu tun ist: entweder Fahrt halten, bremsen, beschleunigen, Ausweichmanöver, Überholen, etc. Diese Information erweitert seine Sinne, er wird «Eins» mit der Rennstrecke und fährt dank einer smarten Rennstrategie zum Sieg, was Energieeffizienz, Streckenleistung und Sicherheit miteinbezieht.

11.2. Workshop 2 Forschungen rund um die Informationsdimension



- **Norbert Wiener**, Kybernetiker, fand das Fundament der komplexen Systeme in der Verbindung zwischen der Biologie und den Ingenieurwissenschaften (1948). Wir sollten uns demnach weniger auf die traditionelle Physik, sondern stattdessen auf Rückkopplungen, Information, Kommunikation, Regelungen und Zielfunktionen konzentrieren [9].
- **Claude Shannon**, ist der Vater der mathematischen Grundlagen der Informationstheorie (1948) und nutzte dazu den Begriff der Entropie aus der Physik (thermodynamische Zustandsgrösse) [10].
- **Albert-László Barabási**, Netzwerk-Koryphäe, erklärt in «Linked» die einzigartige Netzwerkstruktur der «Kleinen Welten» und dass diese sowohl in natürlichen als auch in menschengemachten Netzwerken zu finden und sich ähnlicher sind, als wir denken [11, 2014].
- **Mark Newman**, Physiker am Santa-Fe Institut für Komplexität, unterstreicht, dass alles auf dieser Welt verbunden zu sein scheint und verblüfft ebenfalls mit Ähnlichkeiten zwischen technischen, natürlichen und sozialen Netzwerken [12, 2002]. Er baute die Brücke zwischen komplexen Systemen und Netzwerken, die damit zur «Struktur» solcher Systeme werden.
- In ihrem empfehlenswerten Buch «Complexity – a Guided Tour» definiert die Forscherin **Melanie Mitchell** (vom gleichen Institut) komplexe Systeme wie folgt [9, 2002]: «Ein System, in dem große Netze von Komponenten ohne zentrale Steuerung und mit einfachen Funktionsregeln ein kollektives Verhalten, eine hochentwickelte Informationsverarbeitung und eine Anpassung durch Lernen oder Evolution hervorbringen. Daraus entstehen nicht vorhersehbare, selbstorganisierende Verhaltensweisen.» Als Hintergrund und Geschichte sieht sie direkte Verbindungen zur Informationstheorie, Computer- und Datenwissenschaften, Dynamik, Chaos und Evolution (Bild 5).
- **Henning Butz**, Physiker und Systemingenieur von ASES (Advanced Systems Engineering Solutions) stellte schon 2018 die Hypothese auf, dass Information eine Bezugsgrösse ist und die Qualität einer neuen Dimension hat [7]. In seiner inspirierenden Keynote an der ESE2022 «Daten sind nichts – Bedeutung ist alles. Dazwischen steht nur eine Transformation.» erhärtete er diese Hypothese und setzte damit einen dimensionalen Schlussstein [8].
- **Mark Burgess** ist Physiker und Computerwissenschaftler. In «Smart Spacetime» sieht er, genauso wie Henning Butz, einen Zusammenhang zwischen den Dimensionen Raum, Zeit und Information. Er betrachtet diese Einheit speziell aus Sicht elektronischer Embedded-Systeme. Interessant sind die anschaulichen Skalierungseffekte: Die Raumdimension skaliere von Atomen zum Universum, die Zeitdimension von Sekundenbruchteilen zu Lichtjahren und die Informationsdimension von Bits zu Bedeutung [10, 2019].

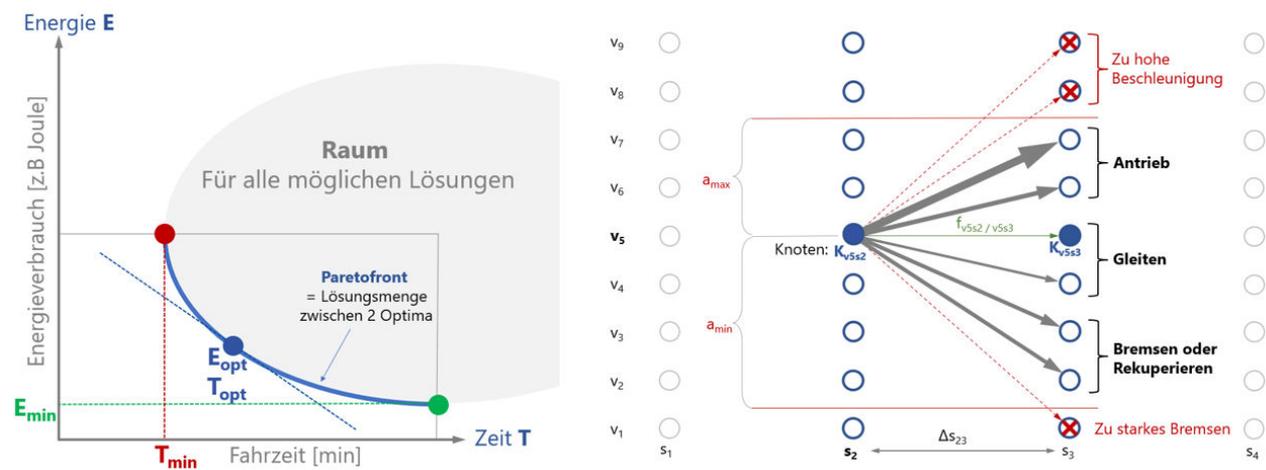
11.3. Workshop 3 Herleitung Theorie und Python-Code des Rennstrecken-Graphen

Die Mehrzieloptimierung aus Kapitel 7 führt zur minimierenden und mit w_T und w_E gewichteten Zielfunktion mit den Fahrzeit- und Energiekosten:

$F(T,E) = w_T * T + w_E * E$ → min = Bedeutung!	$F(T,E)$ Zu minimierende Zielfunktion $F()$ des Gesamtproblems T Gesamte Fahrzeit. Sie kann aus der Distanz zwischen den Wegstützstellen und Geschwindigkeitsdifferenzen berechnet werden. w_T Gewichtung der Fahrzeit: $\{0...1\}$ E Gesamter Energieverbrauch aller drei Betriebsarten: Antrieb, Gleitfahrt oder Bremsen. w_E Gewichtung des Energieverbrauchs: $\{0...1\}$
Dabei gilt: $w_T + w_E = 1$, dh wenn $w_E = 0.8$, dann ist $w_T = 0.2$	

Die Menge aller theoretisch möglichen Lösungen dieser Zielfunktion $F(T,E)$ spannt einen Raum zwischen der **Fahrzeit T** und dem **Energieverbrauch E** auf (Bild unten links, grauer Bereich). Diese Zielfunktion ist linear und kann in diesem Raum als Gerade dargestellt werden, die den Raum entlang des blauen Bereiches tangiert. Die Wahl der Gewichte w_T und w_E ändert die Steigung dieser Geraden. Ein extrem fahrzeitoptimales Gewicht (= möglichst schnell sein!) führt zu einer Senkrechten durch den roten Punkt T_{min} . Ein extrem verbrauchsoptimales Gewicht (= möglichst sparsam sein!) führt zu einer Horizontalen durch den grünen Punkt E_{min} . Dazwischen liegt die blaue, Paretofront genannte Linie und etwa der Punkt E_{opt} / T_{opt} bietet die Vorteile beider Welten.

Mit dem Fahrkorridor sind die Eckdaten definiert und mit der Fahrzeit und dem Energieverbrauch die Variablen der Zielfunktionalen bekannt. Nun kann die Berechnung der einzelnen **Kantengewichte** erfolgen (Bild unten rechts).



Im konkreten Graphen-Szenario (Bild rechts) des Knotenzustands K_{v5s2} - Geschwindigkeit v_5 am Ort s_2 - sind die einzelnen Kantengewichte zu den Folgeknoten zu bestimmen. Diese Kanten repräsentieren die einzelnen Kosten, die bei der Entscheidung vom Zustand K_{v5s2} zu den Folgezuständen K_{v1s3} getroffen wird. Die Änderung von v_5 auf v_{1-4} oder v_{6-9} hat Beschleunigungen zur Folge. Man erkennt, dass aus dem Zustand K_{v5s2} die Folgezustände oberhalb der Maximalbeschleunigung a_{max} und unterhalb der maximalen Verzögerung a_{min} (negativ!) nicht erreicht werden können. Das grenzt die Knoten für den Folgezustand ein: $a_{min} \leq a_i \leq a_{max}$. Dadurch entfallen die drei Folgeknoten K_{v1s3} , K_{v8s3} und K_{v9s3} , gekennzeichnet mit einem «X».

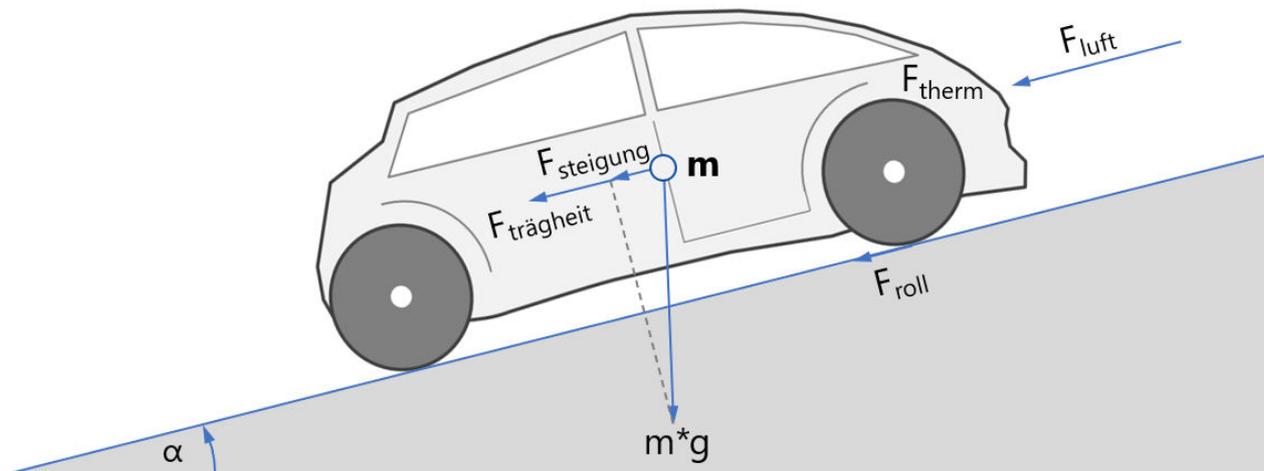
Die gewichtete Summe der Zielfunktion für den Zustandsübergang eines einzelnen Fahrmanövers und damit das Kantengewicht zwischen zwei Knoten ist:

$$\mathbf{f} = \mathbf{w}_T * \mathbf{f}_t + \mathbf{w}_E * \mathbf{f}_e$$

Die einzelnen Gewichtungen (\mathbf{w}_T , \mathbf{w}_E) sind bekannt. Die zwei Variablen für die Entscheidung des Zeitbedarfs \mathbf{f}_t und dem Energieverbrauch \mathbf{f}_e dieses konkreten Zustandsüberganges sind:

- $\mathbf{f}_t = \mathbf{f}(\Delta t)$, beim aktuellen Knoten: $\mathbf{f}(\Delta t_{s23})$
 - \mathbf{f}_t sind die Kosten des Zeitbedarfs für die Entscheidung des Manövers.
 - Die Fahrzeit Δt ergibt sich bei konstanter Beschleunigung aus der Distanz zwischen den Wegstützstellen Δs_{23} sowie der jeweiligen Geschwindigkeit bei der ersten und zweiten Stützstelle \mathbf{v}_{s2} und \mathbf{v}_{s3} zu:
 $\Delta t_{s23} = \Delta s_{23} / \bar{v}_{s23} = 2 * \Delta s_{23} / (v_{s2} + v_{s3})$.

- $\mathbf{f}_e = \mathbf{f}(\Delta e)$, beim aktuellen Knoten: $\mathbf{f}(m, a_{s23}, F_{roll}, F_{trägeit}, F_{luft}, F_{steigung}, F_{therm})$
 - \mathbf{f}_e sind die Kosten des Energieverbrauchs für die Entscheidung des Manövers.
 - Zuerst ist eine Fallunterscheidung in eine der drei Betriebsarten nötig: Antrieb, Gleiten oder Bremsen, respektive Rekuperieren. Beispiel Antrieb: zum Erreichen der erforderlichen Geschwindigkeitsdifferenz Δv_{s23} muss der Motor ein positives Moment auf den Antriebsstrang weitergeben.
 - Der daraus resultierende Energieverbrauch wird modellbasiert mit den bekannten Kräfte- und Energiebilanzen berechnet. Die wichtigsten Beiträge sind:
 - **m**: Fahrzeugmasse
 - **a**: Beschleunigung zwischen den Wegstützstellen Δs_{23} und der Geschwindigkeitszunahme Δv_{s23} : $a_{s23} = (v_{s3}^2 - v_{s2}^2) / (2 * \Delta s_{23})$
 - **F_{roll}**: Rollwiderstände (Reibungsverluste, «-»)
 - **F_{trägeit}**: Trägheitswiderstände (Trägheitskräfte, «+/-»)
 - **F_{luft}**: Luftwiderstände (Windkräfte, «+/- »)
 - **F_{steigung}**: Steigungswiderstände (Energiepotentiale, «+/- »)
 - **F_{therm}**: Thermodynamische Verluste (Staudruck, Kreisprozess, ... «-»)



Python Code (ausgeführt im Jupyterlab der Anaconda-Suite):

```
[1]: import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import pandas as pd

#Change factors for different weighting
factor_speed = 0.4
factor_efficiency = 0.6

config = pd.read_csv("track_config.csv", sep=';')
```

```
[2]: #Generating Graph
G = nx.DiGraph()

G.add_node(0,v=0)

coordinate_set_dict = {0: (0,0)}

for x in range(1, len(config.index)):
    for v in range(config.loc[x, "vmin"], config.loc[x, "vmax"]+1, 5):
        node_name = config.loc[x, "s"]*100+v
        G.add_node((node_name), v=v)
        coordinate_set_dict[(node_name)] = (x, v)
        for vold in range(v-30,v+31,5):
            if G.has_node(config.loc[x-1, "s"]*100+vold):
                cost_econ = (max(v-vold+10,0)/20)*(v/100)
                cost_speed = 1-v/120
                G.add_edge((config.loc[x-1, "s"]*100+vold), (config.loc[x, "s"]*100+v), weight=(factor_speed*cost_speed+factor_efficiency*cost_econ))
```

```
[3]: #getting a result
nodelist = nx.dijkstra_path(G, 0, config.loc[len(config.index)-1][ "s"]*100+config.loc[len(config.index)-1][ "vmin"])

outputlist = []
for i in range(len(config.index)):
    outputlist.append(G.nodes[nodelist[i]]["v"])

output = pd.DataFrame(outputlist)
output.rename(columns={0:"v optimal"}, inplace = True)
print(output)
output.to_csv("Output_profile.csv", sep=';')
```

```
v optimal
0      0
1     10
2     20
3     30
4     35
5     40
6     40
7     40
8     40
9     40
10    50
11    60
12    65
13    70
```

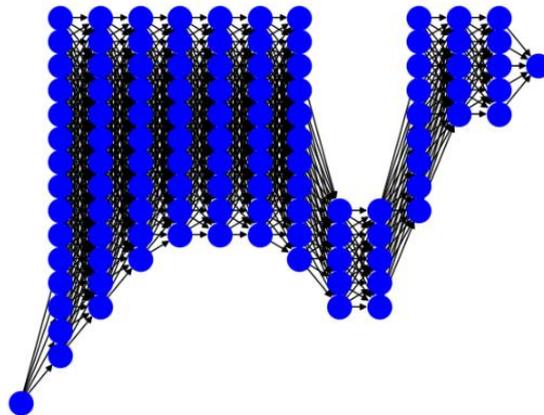
```
[5]: #Additional possible outputs
# Uncomment them by removing the ""

#Generate Adjacency Matrix

matrix = nx.to_pandas_adjacency(G)
matrix.to_csv("AdjMatrix.csv", sep=';')

#Draw Graph

nx.draw(G, pos=coordinate_set_dict, with_labels = False, node_color='blue')
plt.show()
```



12 Literaturverzeichnis

1. Marco Schmid: Von London nach Rom und zurück mit nur 1 Liter Benzin – wenn Energiebewusstsein dank Software so richtig cool wird, Keynote ESE 2017
2. Marco Schmid: Die Rennstrecke als Versuchslabor für KMU 4.0, Vortrag ESE 2018 (Speaker Award)
3. Marco Schmid: Was Teams vom Silicon Valley, asiatischer Kampfkunst und KI lernen können, Vortrag ESE 2019 (Speaker Award)
4. Cal Newport: DEEP WORK. Piatkus, 2016
5. Schmid Elektronik: Sonnenblume – [dank Solarkonzentration zu 80% Wirkungsgrad.](#)
6. Marco Schmid, Harald Månun: 1000m below the Waves: Synchronized Sampling of Autonomous Units Through Sound – Monitoring Gas Extraction in the Norwegian Sub Sea is a Worlds first, Whitepaper, 2008.
7. Henning Butz: Durch Digitale Transformation zur Fünften Dimension, Vortrag ESE 2018
8. Henning Butz: Daten sind Nichts – Bedeutung ist Alles. Dazwischen steht nur eine Transformation, Keynote ESE 2022
9. Melanie Mitchell: Complexity – a guided tour, Oxford University Press, 2009
10. Mark Burgess: Smart Spacetime: How information challenges our ideas about space, time, and process, x̄tAxis press, 2019
11. Albert-László Barabási: Linked, Basic Books, 2002
12. Mark Newman: Networks – 2nd Edition, Oxford University Press, 2018
13. Filippo Menczer: A first course in Network Science, Cambridge University Press, 2020
14. Mark Needham & Amy E.Hodler: Graph Algorithms, O’Reilly Media Inc, 2021
15. Max Hilsdorf: [Using Graph Theory to Efficiently Solve Data Science Problems](#), Towards, Data Science, 2021.
16. Jethro Akroyed et al: [Universal Digital Twin – A Dynamic Knowledge Graph](#), Cambridge University Press, 2021.
17. Ali Emre Varol: [European Natural Gas Network via Knowledge Graph](#), Medium.com, 2022.
18. Joe Deneau: [Graphs in Automotive and Manufacturing: Unlock New Value from Your Data](#), Neo4j-Papers, 2021.
19. Oliver Smith, [Island Nations turning to Knowledge Graphs to become Climate-Resilient](#), Medium.com, 2022.
20. Adamantios-Marios Berzovitis: [How to Have a Cybersecurity Graph Database on Your PC](#), Neo4j-Papers, 2021.
21. Marco Schmid: «Wissensgraphen als Superkraft für unser Gehirn», Keynote ESE 2022

13 Autor



Marco Schmid, marco.schmid@schmid-elektronik.ch,

Tel: +41 71 969 35 90, Ing. FH Systemtechnik, B.Sc. / Unternehmer

Der Systemingenieur in mir hat eine Leidenschaft für Embedded-Systems, IOT-Dinge, Minimum Viable Products, Netzwerke, Graphen und Datenwissenschaft.

Gerne betrete ich Neuland und eine nachhaltige Mobilitäts- und Energiezukunft liegt mir sehr am Herzen. Mein konkreter Beitrag dazu: dreimal im Jahr verlasse ich meinen Schreibtisch, wechsele meine Rolle und arbeite im technischen Team des Shell Eco-Marathons ehrenamtlich mit. Dort mache ich mir bei der Inspektion der Fahrzeuge die Hände schmutzig, inspiziere Spitzentechnologie unter den Motorhauben der energieeffizientesten Rennwagen der Welt und treibe daten- und wissensbasierte Rennen voran.

Als Unternehmer genieße ich das Privileg, das Leadership-Team eines 47-köpfigen Schweizer Familien-KMU mit cooler DNA und pfiffigen Leuten zu coachen.

Das Verständnis für entgegengesetzte und aufeinander bezogene Kräfte kam aus meinen früheren Erfahrungen in asiatischen Kampfkünsten.

Netzwerke – team-, firmen-, länder- und Kontinent übergreifend - spielen in meinem geschäftlichen Leben eine zentrale Rolle.

Sir Richard Branson gehört zu meinen motivierenden Vorbildern, weil er «Game Changer» erschaffen hat, Mensch geblieben ist und MitarbeiterInnen an erster Stelle sieht.

Seit einiger Zeit fesselt mich die Vision, dank dem hier gefundenen Schlüssel zur Informationsdimension neue Realitäten und coole Innovationen und vielleicht sogar einen Game-Changer zu schaffen. In einem ersten Schritt ist mir hingegen wichtig, dieses Wissen mit der Community zu teilen und damit einen kleinen Beitrag zu einer besseren Welt zu leisten.