





## ANALYSE, PROGNOSE UND REGELUNG VON KOMPLEXEM SYSTEM- UND PROZESSVERHALTEN

Die von uns betrachteten dynamischen Systeme aus den Anwendungsfeldern Energiesysteme, Anlagen- und Maschinenregelung sowie Medizin und Biologie sind oftmals komplex, weil sie ein Netzwerk unterschiedlicher Teilsysteme und Strukturen abbilden.

Diese Systeme sind jeweils mit spezifischen Sensor- und Aktorkonfigurationen ausgestattet. In vielen Fällen müssen wir darum störungsüberlagerte Sensorinformationen berücksichtigen, wenn wir aus Messungen Informationen über das Systemverhalten gewinnen wollen. Überdies liegen uns in der Regel nur unvollständige System- und Strukturbeschreibungen vor.

Typische Aufgabenstellungen sind die Identifikation dynamischer Systemparameter (mittels mathematischer Zustandsschätzer), die Klassifikation des Systemverhaltens (mittels Machine Learning) sowie die Bereitstellung von online-tauglichen Simulationsmodellen zur Systemanalyse, zur Entwicklung von Reglern oder zur Validierung des Verhaltens von elektronischen Steuereinheiten (mit Hardware-in-the-Loop-Ansätzen).

Für die Lösung der Aufgaben greifen wir auf unsere Kernkompetenzen aus der System- und Kontrolltheorie und dem Maschinellen Lernen zurück. Spezialkompetenzen haben wir in den Bereichen differential-algebraische sowie geschaltete Systeme, in der Anwendung sequentieller Monte-Carlo-Ansätze (Partikelfiltermethoden) zur Simulation und Zustandsschätzung stochastischer Prozesse, in der statistischen Lerntheorie sowie im Bereich des Maschinellen Lernens mit tiefen Architekturen (Deep Learning).

### Kontakt

[andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de](mailto:andreas.wirsen@itwm.fraunhofer.de)

[www.itwm.fraunhofer.de/sys](http://www.itwm.fraunhofer.de/sys)



---

## SCHWERPUNKTE

- Energieerzeugung und -verteilung
- Maschinenmonitoring und -regelung
- Biosensorik und Medizingeräte





1 Gesamtsimulation eines Windparks

## UPWARDS – SIMULATION DER PHYSIK VON WINDKRAFTANLAGEN UND ROTORDYNAMIKEN

Das EU-Projekt »UPWARDS – Understanding of the Physics of Wind Turbine and Rotor Dynamics through an Integrated Simulation Framework« startete im April 2018 mit dem Ziel, die Entwicklung größerer und besser ausgelegter Windkraftanlagen zu ermöglichen und damit die Kapazitäten der Windenergie in ganz Europa und dem Rest der Welt zu erhöhen.

Dieses Ziel wird durch die Entwicklung der nächsten Generation von multiphysikalischen Simulationen verfolgt, die auf Windströmung, Turbinenmechanik und deren Zusammenspiel spezialisiert sind. Diese Simulationenwerkzeuge ermöglichen eine kostengünstigere und schnellere Entwicklung von Prototypen für Windkraftanlagen. UPWARDS ist von strategischer Bedeutung für die Zukunft der nachhaltigen Entwicklung in Europa und wird durch ein Konsortium von elf Partnern (Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Universitäten) aus acht Ländern und zwei Kontinenten umgesetzt.

### Auf dem Weg zur effizienteren Windturbine

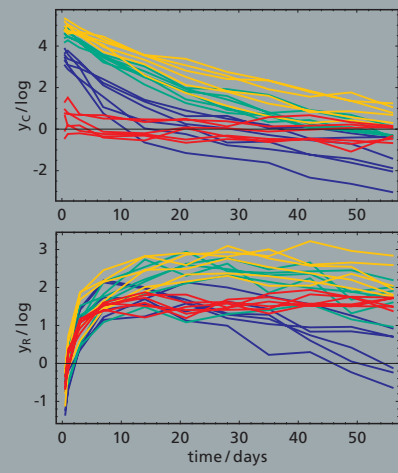
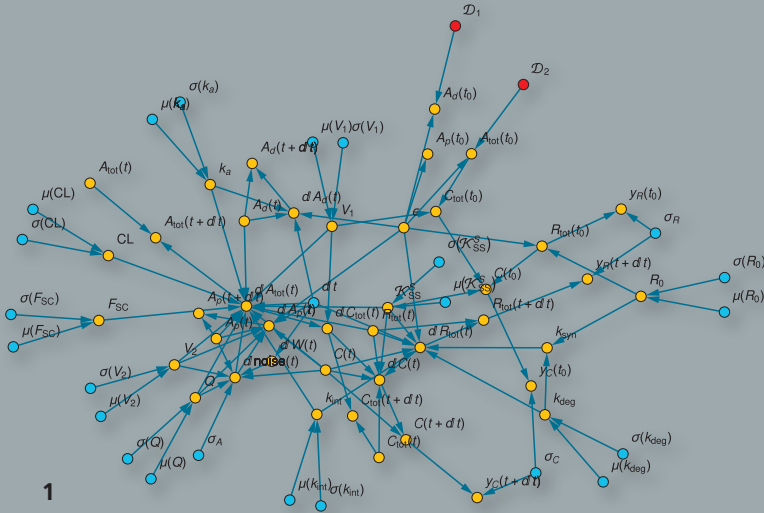
Die wichtigsten Herausforderungen für die Entwicklung größerer und effizienterer Windturbinen sind:

- Turbulenzen, die durch atmosphärische Bedingungen, Gelände oder Nachlauf der Windkraftanlage verursacht werden und zu einer erheblichen Ermüdung der Rotoren führen
- mit zunehmender Rotorgröße steigende Spitzengeschwindigkeiten, die zu mehr Geräuschen führen und so den Onshore-Einsatz behindern
- höhere Biegeanfälligkeit der längeren und schlankeren Rotorblätter, die zu komplexen dynamischen Belastungen führt und bei Statik und Materialqualifizierung berücksichtigt werden muss.

### Mehrnutzen durch Methoden aus Mathematik und Informatik

Das Fraunhofer ITWM entwickelt eine integrierte Simulationsplattform für die einzelnen Softwaremodule; diese simulieren Windkraftanlagen und Windparks hochpräzise, einschließlich Windströmung, vollständig gekoppelter Fluid-Struktur-Interaktion, Systemermüdung sowie Schallausbreitung.

Methoden der Modellreduktion und des High Performance Computing erzeugen präzise Simulationsergebnisse des relevanten Systemverhaltens in geringer Rechenzeit. Mit Verfahren des Maschinellen Lernens werden Zusammenhänge wichtiger Phänomene wie Einström- und Turbinenwind, Rotorgeräusche und Versagen der Verbundwerkstoffe identifiziert, um die Performance der zugehörigen Windturbinen zu optimieren.



## DOSIERUNG, WIRKUNG, RISIKO: MATHEMATIK FÜR DIE ENTWICKLUNG NEUER ARZNEISTOFFE

Mathematische Lernmethoden unterstützen die Entwicklung neuer pharmazeutischer Wirkstoffe. Eine wichtige Frage in diesem Zusammenhang lautet: Wie muss die Dosierung gewählt werden? Denn auch die neue Arznei soll wirken, aber dem Patienten dabei nicht schaden. Hier helfen mathematische Modelle und Lernmethoden, die wir in Zusammenarbeit mit unserem Partnerinstitut FCC in Göteborg weiterentwickeln und in die Anwendung bringen.

Wie ist die Verteilung der Wirkstoffe im Körper und welche Effekte treten an den Wirkorten auf? Diese Frage wird in klinischen Studien erprobt. Einer möglichst großen Patientenanzahl wird der neue Wirkstoff in verschiedenen Dosen verabreicht, und man beobachtet die Krankheitsentwicklung jedes Patienten über eine längere Zeit. Beobachten heißt: Messen von Blutwerten und Körperfunktionen. Aber bei Weitem nicht alle Vorgänge im Körper können direkt gemessen werden.

### Jeder Patient ist anders

Alle Patienten unterscheiden sich durch individuelle Merkmale (männlich/weiblich, Alter), Krankheitsstadien, Dosierungen und Vergabeart des Wirkstoffes (Infusion, Spritze, Einnahme). Jeder Mensch weist innerhalb dieser Gruppen weitere zufällige individuelle Abweichungen auf. Zufällig bedeutet: Nicht alles ist möglich, nur manches ist wahrscheinlich. Der Zufall kann und muss mitmodelliert werden.

Die verabreichte Arznei bewirkt eine Änderung des krankheitsbedingten Zustandes jedes Patienten und jeder Patientin über die Zeit. Diese zeitlichen Entwicklungen wiederum beeinflussen das Risiko des Eintritts eines krankheitsbedingten Ereignisses. Um wirklich beurteilen zu können, wie ein Medikament wirkt, müssen diese komplexen Zusammenhänge verstanden werden.

### Mathematische Modelle meistern die Komplexität

Die komplizierten Wirkzusammenhänge unserer Körper, unsere individuellen Verschiedenheiten, zeitliche Veränderungen und das sich damit ändernde Risiko krankheitsbedingter Ereignisse können mit mathematischen Modellen erfasst werden. Allerdings enthalten diese Modelle zunächst viele unbekannte zeitlich abhängige und konstante Größen. Wir ermitteln diese unbekanntenen Größen aus Messdaten mit neuesten computergestützten mathematischen Lernmethoden (Zustandsfilterung und Parameterschätzung in nichtlinearen dynamischen Modellen mit gemischten Effekten). Letztendlich geben die Ergebnisse Aufschluss über die beste Dosierung und somit beste Wirkungsweise des neuen Wirkstoffes.

1 Komplexe Abhängigkeiten der Größen in einem stochastischen pharmakokinetischen/pharmakodynamischen Modell

2 Zeitliche Entwicklung zweier Stoffkonzentrationen (Wirkstoff und Zielmolekül) im Blutplasma von 24 Patienten, unterteilt in 4 Dosisgruppen zu je 6 Patienten (simulierte Daten). Die Dosisgruppen sind an den unterschiedlichen Farben zu erkennen.





## NEWS AUS DER ABTEILUNG



### FORSCHUNGSSCHWERPUNKT BIOCOMP WIRD FORTGEFÜHRT

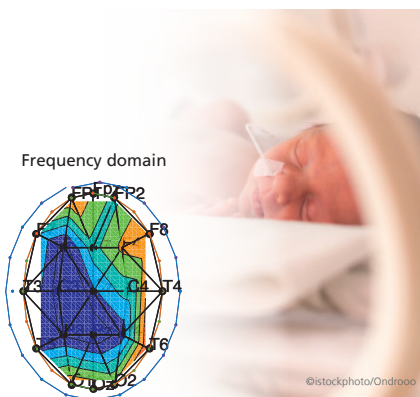
BioComp ist ein Forschungsschwerpunkt des Landes Rheinland-Pfalz, der seit 2014 existiert. Mitglieder unterschiedlicher Fachbereiche der TU Kaiserslautern arbeiten in interdisziplinären Projekten zusammen, um biologische Fragestellungen mithilfe mathematisch/informatischer Methoden zu untersuchen. Unsere Abteilung war seit Beginn an mehreren Projekten beteiligt. Das gilt auch für die Projektphase 2019–2023. In dieser Zeit entwickeln wir eine Software-Infrastruktur zur integrativen Analyse biologischer Daten. Die zu meistern den Herausforderungen reichen dabei von der Prozessierung und Auswertung von Rohdaten bis zur Identifizierung von Beziehungen und Verbindungen innerhalb der Daten.

### THEORIE TRIFFT ANWENDUNG: KL-REGELUNGSTECHNIK-SEMINAR

Seit über zwei Jahren organisiert die Abteilung einmal im Monat das Seminar KL-Regelungstechnik. Was als Zusammenschluss von Arbeitsgruppen aus mehreren Fachbereichen der TU Kaiserslautern und unserer Abteilung mit dem Schwerpunkt Regelungstechnik begann, hat sich im letzten Jahr stark weiterentwickelt. So wurden externe Redner aus der Industrie eingeladen, die über ihre aktuellen Forschungs- und Entwicklungsthemen berichteten, wie z. B. vorausschauende Strategien für den kraftstoffoptimierten Betrieb von Plug-in-Hybrid-Fahrzeugen. Zusätzlich wurde das Portfolio des Seminars um das Thema Machine Learning im Regelungsumfeld erweitert.

### EEG-ANALYSESOFTWARE FÜR FRÜHGEBORENE

Der Entwurf eines »Diagnoseunterstützungssystems für Gesundheitszustand und Reifeprozess von Gehirnen Frühgeborener« war Bestandteil des kürzlich abgeschlossenen BMWi-Projekts Tenecor. Unsere Abteilung entwickelte dafür eine EEG-Analysesoftware; sie ist Bestandteil eines multifunktionalen Monitoringsystems für Frühgeborene. Mit einem neuartigen Ansatz, basierend auf Methoden des Maschinellen Lernens, können nun die verschiedenen altersabhängigen generischen Gehirnzustände und die Zustandsänderungscharakteristika im Zeitverlauf abgeschätzt werden. Auch die komplexe Gehirnreifung wird überwacht. Ein 3D-Diagramm visualisiert anschließend die Daten; damit können Ähnlichkeiten zwischen den Patienten schnell festgestellt werden.





Von vorne, links nach rechts: Dr. Benjamin Adrian, Dr. Alex Sarishvili, Michael Sendhoff, Dr. Andreas Wirsén, Hans Trinkaus, Jens Göbel, Dr. Christian Salzig, Dimitri Morgenstern, Dr. Jan Hauth