

ECOSENSE

Multi-scale quantification and modelling of spatio-temporal dynamics of ecosystem processes by smart autonomous sensor networks

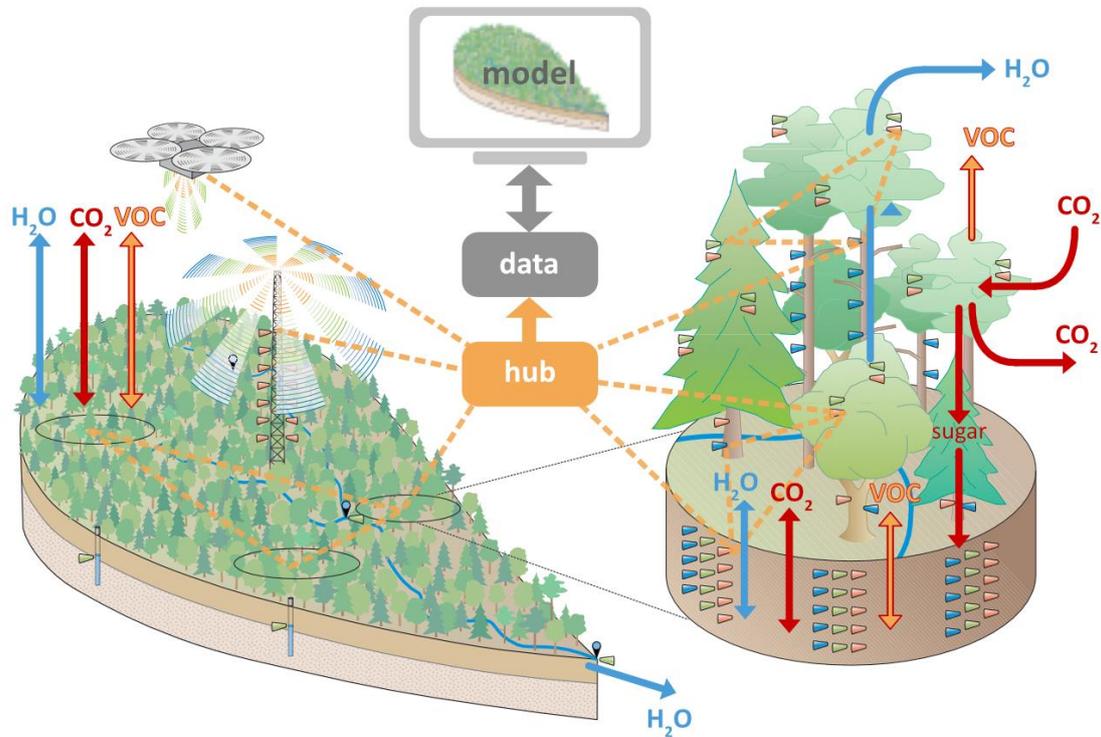


Fig. 1: ECOSENSE next-generation ecosystem research assessment.

Short summary of the research programme

Global climate change threatens ecosystem functioning worldwide. Forest ecosystems are particularly important for carbon sequestration. However, recurrent stresses, such as heat waves, floods, and droughts, increasingly endanger even central European forests, with potentially cascading effects on their carbon sink capacity, drought resilience, and sustainability. Knowledge on the impact on the multitude of processes driving soil-plant-atmosphere interactions within these complex systems is widely lacking and uncertainty about future changes extremely high. Thus, forecasting forest response to climate change will require an improved process understanding of carbon and water cycling across various temporal and spatial scales, from minutes to seasons, from leaves to ecosystem, covering the atmosphere, biosphere, pedosphere and hydrosphere. **Many relevant processes occur at small scales and high spatial heterogeneity and their interactions and feed-back loops can be key players to amplify or dampen a system's response to stress.** Currently, we are lacking the appropriate measuring, data and modelling tools allowing for comprehensive, real time quantification of relevant processes at high spatio-temporal coverage. Moreover, climate impacts are highly unpredictable, and thus future research will require novel mobile, easy deployable, and cost-efficient approaches.

Our **interdisciplinary research project ECOSENSE will investigate all relevant scales in a next generation ecosystem research assessment.** Our vision is to detect and forecast critical changes in ecosystem functioning based on the understanding of hierarchical process interaction. To do so ECOSENSE will develop, implement, and test a new versatile, distributed, cost-effective, autonomous, intelligent sensor network based on novel microsensors tailored to the specific needs in remote and harsh forest environments. They

will measure the spatio-temporal dynamics of ecosystem states and fluxes in a minimally invasive manner in naturally complex structured forests. Measured data will be transferred in real-time into a sophisticated database which can be explored for process analysis, deep learning approaches, and enhanced simulation models for now- and forecasting applications. ECOSENSE will **open new horizons for integrative ecosystem research** by i) **identifying hierarchies and interactions** of abiotic and biotic processes of forest carbon and water exchange, ii) provide a **profound understanding of complex ecosystem responses** to environmental stressors enabling the iii) **prediction of process-based alterations in ecosystem functioning** and sustainability. Our novel **ECOSENSE Toolkit**, tested and validated in controlled climate extreme experiments, and our **ECOSENSE Forest**, will open new horizons for rapid assessment in vast and remote ecosystems.

Zusammenfassung

Der Klimawandel bedroht weltweit Waldökosysteme, welche als Kohlenstoffspeicher eine wichtige regulatorische Funktion im Klimasystem ausüben. Klimaextreme, wie Hitze, Dürre oder Überflutung gefährden zunehmend selbst mitteleuropäische Wälder und beeinträchtigen ihre Kapazität als Kohlenstoffsenken, ihre Resilienz gegen Trockenheit und ihre Nachhaltigkeit. Jedoch sind die Auswirkungen auf komplexe Waldökosysteme mit ihren vielfältigen Prozessen und Interaktionen zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre weitgehend unerforscht. Zukünftige Veränderungen sind daher kaum vorhersagbar. Ein verbessertes Prozessverständnis der Kohlenstoff- und Wasserzyklen ist zwingend erforderlich für präzise Vorhersagen der Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Wälder. **Viele relevante Prozesse finden auf kleinen Skalen bei hoher räumlicher Heterogenität statt, deren Wechselwirkungen und Rückkopplungen die Reaktion auf Stresse verstärken oder dämpfen können.** Eine Analyse dieser Prozesse erfordert skalenübergreifende Ansätze von Wurzeln und Blättern zum Ökosystem, von Minuten zu Jahren, von der Atmosphäre über Biosphäre, Pedosphäre zur Hydrosphäre. Gegenwärtig fehlen geeignete Mess-, Daten- und Modellierungswerkzeuge für eine umfassende Quantifizierung der Prozesse in Echtzeit bei höchster räumlich-zeitlicher Auflösung. Da Klimaextreme kaum vorhersagbar sind, benötigt die Ökosystemforschung neuartige mobile, leicht einsetzbare und kosteneffiziente Ansätze.

Mit dem interdisziplinären Forschungsprojekt ECOSENSE wollen wir alle relevanten Skalen zur Bewertung von Ökosystemen untersuchen. Unsere Vision ist, kritische Veränderungen basierend auf dem Verständnis hierarchischer Prozessinteraktionen zu erkennen und vorherzusagen. Hierzu wird ECOSENSE ein kostengünstiges, verteiltes, autonomes, intelligentes Sensornetzwerk auf der Grundlage neuartiger Mikrosensoren entwickeln und implementieren. Maßgeschneidert auf raue Waldumgebungen werden sie auf minimal invasive Weise die räumlich-zeitliche Dynamik von Ökosystemzuständen und -flüssen in einem natürlichen, komplex strukturierten Wald messen. Die Messdaten werden in Echtzeit in eine hochentwickelte Datenbank übertragen und stehen unmittelbar für Prozessanalysen, Deep Learning und verbesserte Simulationsmodelle für kurz- und mittelfristige Vorhersagen zur Verfügung. ECOSENSE wird **der Ökosystemforschung neue Horizonte eröffnen** durch i) **Identifikation der Hierarchien und Interaktionen** abiotischer und biotischer Prozesse des Kohlenstoff- und Wasseraustauschs im Wald, ii) **ein profundes Verständnis der Auswirkungen von Stressoren** zur Beurteilung komplexer Ökosystemreaktionen und iii) die Vorhersage von prozessbasierten Veränderungen der Funktionsweise und Nachhaltigkeit von Ökosystemen. Das **ECOSENSE Toolkit**, validiert unter kontrollierten Klimastress-Experimenten und in unserem **ECOSENSE Wald**, wird zukünftig eine rasche Beurteilung jedes Ökosystems, auch in abgelegenen Gebieten, ermöglichen.

Participating institutions

Albert-Ludwigs-University Freiburg (ALU), Friedrichstraße 39, 79098 Freiburg
Faculty of Environment and Natural Resources (UNR), Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Chair of Environmental Meteorology, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg
Chair of Biometry and Environmental System Analysis, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Chair of Remote Sensing and Landscape Information Systems, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Chair of Ecosystem Physiology, Georges-Köhler-Allee 053 / 054, 79110 Freiburg
Chair of Soil Ecology, Alte Universität, Bertoldstr. 17, 79098 Freiburg
Chair of Hydrology, Friedrichstraße 39, 79098 Freiburg
Faculty of Engineering (FE), Georges-Köhler-Allee 101, 79110 Freiburg
Department of Microsystems Engineering (IMTEK), Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Laboratory for Design of Microsystems, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Laboratory for Chemistry and Physics of Interfaces, Georges-Koehler-Allee 103, 79110 Freiburg
Laboratory for Electrical Instrumentation and Embedded Systems, Georges-Köhler-Allee 106, 79110 Freiburg
Laboratory for Gas Sensors, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Laboratory for Microactuators, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Department of Sustainable Systems Engineering (INATECH), Emmy-Noether-Straße 2, 79110 Freiburg
Laboratory for Monitoring of Large-Scale Structures @ Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM, Georges-Köhler-Allee 301, 79110 Freiburg
Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
Department of Mechanical Engineering, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
Institute of Microstructure Technology – (IMT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Department of Physics, Wolfgang-Gaede-Str. 1, 76131 Karlsruhe
Institute of Meteorology and Climate Research – (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen (GP) Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen

Beteiligte Institutionen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg (ALU) , Friedrichstraße 39, 79098 Freiburg
Fakultät für Umwelt und Natürliche Ressourcen (UNR) , Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Professur für Umweltmeteorologie, Werthmannstr. 10, 79085 Freiburg
Professur für Biometrie und Umweltanalyse, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Professur für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg
Professur für Ökosystemphysiologie, Georges-Köhler-Allee 053 / 054, 79110 Freiburg
Professur für Bodenökologie, Alte Universität, Bertoldstr. 17, 79098 Freiburg
Professur für Hydrologie, Friedrichstraße 39, 79098 Freiburg
Technische Fakultät (TF) , Georges-Köhler-Allee 101, 79110 Freiburg
Institut für Mikrosystemtechnik (IMTEK) , Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Professur für Konstruktion von Mikrosystemen, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Professur für Chemie und Physik von Grenzflächen, Georges-Koehler-Allee 103, 79110 Freiburg
Professur für Elektrische Messtechnik und Eingebettete Systeme, Georges-Köhler-Allee 106, 79110 Freiburg
Professur für Gassensoren, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Professur für Mikroaktorik, Georges-Köhler-Allee 102, 79110 Freiburg
Institut für Nachhaltige Technische Systeme (INATECH) , Emmy-Noether-Straße 2, 79110 Freiburg
Professur für Monitoring von Großstrukturen @ Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM, Georges-Köhler-Allee 301, 79110 Freiburg
Karlsruher Institut für Technologie (KIT) , Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
Fakultät für Maschinenbau , Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe
Institut für Mikrostrukturtechnik – (IMT), Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Fakultät für Physik , Wolfgang-Gaede-Str. 1, 76131 Karlsruhe
Institut für Meteorologie und Klimaforschung – (IMK-IFU), Garmisch-Partenkirchen (GP) Kreuzeckbahnstraße 19, 82467 Garmisch-Partenkirchen