

Schlussbericht

Verbundvorhaben: **ADRENALIN**

Datengetriebene Intelligente Gebäude: Daten-Sandbox, Datenwettbewerbe und Implementierung: Teilvorhaben: Anwendung von ML und intelligenten Steuerungsalgorithmen als neue Datendienste für den Gebäudesektor zur Reduzierung von CO₂-Emissionen.

26.01.2026

Name des Zuwendungsempfängers	synavision GmbH
Förderkennzeichen:	FKZ 03EI4053
Berichtszeitraum:	01.06.2022- 31.12.2025
Autoren:	Dr.-Ing. Stefan Plesser synavision GmbH Welle 15 33602 Bielefeld

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

1. Kurzdarstellung des Vorhabens

1.1. Aufgabenstellung

Während die Digitalisierung als entscheidender Faktor für die Erschließung des großen Potenzials an Energie-Flexibilität in Gebäuden gilt, stellt ein wesentliches Hindernis die Tatsache dar, dass in den meisten Bestandsgebäuden lediglich die Haupt-Energiezählerdaten verfügbar sind. Die Entwicklung von Datendiensten für Gebäude würde jedoch die Verfügbarkeit zusätzlicher Informationen voraussetzen, wie etwa die Aufschlüsselung des Energieverbrauchs für Heizung und Kühlung. Dies erfordert aktuell die Installation zusätzlicher Sensoren und Submetering-Systeme – Maßnahmen, die entweder aufwendig, kostenintensiv oder beides sind.

Das Hauptziel dieses Projekts war die Entwicklung von ML (Machine Learning) und intelligenten Steuerungsalgorithmen, die neue Datendienste für den Gebäudesektor ermöglichen oder verbessern werden. Im Projekt sollten Algorithmen entwickelt und getestet werden, die so viele Informationen wie möglich aus den vorhandenen Energiemessdaten extrahieren, um die Notwendigkeit und die Kosten von Unterzählern zu vermeiden oder zu begrenzen und so die großflächige Einführung von Datendiensten und intelligenten Steuerungen im bestehenden Gebäudebestand zu ermöglichen.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde,

Als innovative Entwicklungsmethode wurde ein Wettbewerb zur Entwicklung algorithmischer Lösungen umgesetzt, in dem sowohl statische als auch dynamische Systeme untersucht werden. Die drei besten Entwicklungen wurden prämiert und anschließend in realen Software-Demonstratoren umgesetzt.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Zunächst wurden Datensätze gesammelt, um diese bei späteren Wettbewerben einsetzen zu können. Durch die Verwendung einer großen Datenmenge wurde eine Skalierbarkeit und Wiederverwendbarkeit der Algorithmen sichergestellt. Anschließend wurden die Emulatoren (Simulationsumgebung im Rahmen des BOBTEST-Frameworks) für den Wettbewerb vorbereitet. Hierzu wurden die Anforderungen der Software-Umgebungen und der geplanten Anwendungen abgestimmt und vorbereitet.

Im nächsten Arbeitsschritt wurden zum einen die Datenwettbewerbe für die Desegregation der Heiz-, Kühl- und Stromlasten sowie das automatische Labeln der Energiedaten, die auf den statischen Datensätzen beruhen, vorbereitet, bekannt gegeben bzw. verbreitet und veranstaltet. Zum anderen wurde der dynamische Datenwettbewerb zu Smart Controls, welcher basiert auf einer dynamischen Interaktion zwischen den entwickelten Control-Algorithmen und den Gebäudesimulatoren, kompiliert in der webbasierten BOPTTEST-Plattform, vorbereitet. Nach dem Wettbewerb wurden versucht, ausgewählte Algorithmen auf der synavision Plattform als Software-Demonstratoren zu implementieren. Hierfür wurde auf den als am erfolgversprechendsten identifizierten Algorithmen, die sich in den Wettbewerben des AP2 bewährt haben, aufgebaut. Die Algorithmen wurden auf

ausgewählte Gebäudedaten angewendet, die den Gebäuden des Emulators sehr ähnlich sind. Anschließend erfolgte eine Evaluation.

1.4. wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Die Projektidee stammt aus dem Arbeitsplan des Schwerpunktbereichs D „Prädiktive Instandhaltung und Optimierung der Steuerung“ im Rahmen der Mission Innovation IC7 “Affordable Heating and Cooling of Buildings” der COP22 aus dem November 2016¹ sowie aus dem laufenden IEA EBC Annex 81 der Internationalen Energieagentur zu datengetriebenen Smart Buildings.

Ziel des Annex 81 ist es, Methoden zu entwickeln, die die Umsetzung eines nahezu in Echtzeit erfolgenden Open-Data-Austauschs in Gebäuden unterstützen, um so Innovationen zur Steigerung der Energieproduktivität im Bereich der HLK-Dienstleistungen anzustoßen. ADRENALIN baute auf den Arbeiten von Annex 81 auf und entwickelte diese konzeptionell weiter. Darüber hinaus griff ADRENALIN Ideen und Ansätze auf, die bereits bei einem früheren Machine-Learning-Wettbewerb – dem ASHRAE Great Energy Predictor III (GEP III), der 2019 stattfand – verwendet wurden.

synavision hatte zu Projektbeginn bereits umfangreiche Vorarbeiten zum Thema „Big Data“ geleistet, an welche angeknüpft wurde. Weiterhin wurden im Vorfeld bereits die Grundlagen der Plattformarchitektur von syna.portal geschaffen, welche die Ergebnisverwertung aus ADRENALIN in Form eines Softwareprodukts ermöglichen soll.

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Das Projekt ist im Forschungsnetzwerk ERA-Net Smart Energy Systems aufgehängt²; dies mit der Zielstellung, die Kooperation europäischer Akteure in diesem Bereich zu stärken. Im Rahmen des Projekts erfolgte eine Zusammenarbeit mit den folgenden Organisationen:

Name (rechtsverbindlich) Z01	Ort Z04
SINTEF	4760 Trondheim Norwegen
RISE	41756 Göteborg Schweden
Akademiska Hus	41258 Göteborg Schweden
Herrljunga Elektriska	52431 Herrljunga Schweden
Syddansk Universitet	5230 Odense Dänemark
Remoni	8660 Skanderborg Dänemark
Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet	7491 Trondheim Norwegen
IWMAC	7038 Trondheim Norwegen
AES Innovation	06000 Ankara Türkei
National University Singapore	119077 Singapore Singapur
CSIRO	2601 Acton Australien

¹ <https://mission-innovation.net/platform/innovation-community-ic7/> -
:~:text=IC7%20%E2%80%93%20Affordable%20Heating%20and%20Cooling%20of%20Buildings,make%20low-carbon%20heating%20and%20cooling%20affordable%20for%20everyone.

² [ERA-Net Smart Energy Systems: Our Organisation](#)

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

Ziel des Projekts war die Entwicklung und der Test von Algorithmen, die so viele Informationen wie möglich aus den vorhandenen Energiemessdaten extrahieren, um die Notwendigkeit und die Kosten von Unterzählern zu vermeiden oder zu begrenzen und so die großflächige Einführung von Datendiensten und intelligenten Steuerungen im bestehenden Gebäudebestand ermöglichen. Als innovative Entwicklungsmethode wurde ein Wettbewerb zur Entwicklung algorithmischer Lösungen entwickelt, in dem sowohl statische als auch dynamische Systeme untersucht werden.

synavision unterstützte bei der Vorbereitung des Wettbewerbs (insb. durch Datenbereitstellung), der Auswertung der Beiträge und Erprobung und Evaluation der Umsetzung in der Plattform. Die Ergebnisse des Wettbewerbs konnten zwar nicht 1:1 übernommen werden, wurden aber im Rahmen der synvision Skill-Engine weiterentwickelt und technisch erfolgreich implementiert sowie im Verlauf des Projekts in konkreten Gebäuden erprobt wurden.

In diesem Kontext wurden die bewilligten Fördermittel für die Deckung der Personalkosten der technischen Entwicklung eingesetzt.

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Für das Projekt wurden ausschließlich Personalkosten in Höhe von 138.377,94 € für die Jahre 2022 bis 2024 angemeldet. Für 2025 wurden keine Kosten angemeldet.

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit der Förderung war begründet mit den Entwicklungsrisiken. Das Projekt traf auf verschiedene Hindernisse, u.a. bei der Datenbereitstellung. Der Aufwand war notwendig und angemessen, um eine ausreichende Datengrundlage zu schaffen. Das Ergebnis war aus unserer Sicht bedingt nutzbar für die Übertragung in die Praxis. Limitierungen sahen wir insbesondere in der einfachen und robusten Übertragbarkeit.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Die Verwertung der Projektergebnisse erfolgt im Kontext der Weiterentwicklung des synavision-Produktportfolios nach folgendem Schema:

Mit syna.portal hat synavision im Lauf der letzten Jahre eine umfassende Plattform für die Überwachung und Steuerung von Gebäudedaten entwickelt. Die Ergebnisse aus

dem Projekt ADRENALIN werden in die Steuerungskomponente syna.control einfließen, die individuell pro Gebäude als Service gebucht werden kann. syna.control ist eine leistungsstarke KI-gestützte Lösung, die die Steuerung und Optimierung komplexer Gebäude- und Anlagentechnik automatisiert. Dank cloudbasierter, intelligenter Regelung passt syna.control den Betrieb technischer Anlagen in Echtzeit an und setzt erkannte Einsparpotenziale direkt um – ganz ohne manuellen Eingriff. So werden Betriebskosten gesenkt, der Energieverbrauch optimiert und die Nachhaltigkeit verbessert.

Die Markteinführung von syna.control soll wie unten dargestellt erfolgen:

- 2025: nur Demonstratoren u.a. zur bedarfsorientierten Regelung von Anlagen, keine wirtschaftliche Verwertung
- 2026: erste Produkte werden entwickelt, erste Projekte mit Umsatz werden vertraglich vereinbart
- Weitere Entwicklungsschwerpunkte sind generische, robuste und skalierbare Services für Demand-Side-Management bzw. Management von Speicherkapazitäten in Gebäuden.
- 2027: Kommerzieller Roll-out mit entsprechendem Umsatz

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die aktuelle Marktentwicklung zeigt, dass die Kombination aus KI-gestützter Lastprofilanalyse und IoT-Plattformen heute eine präzisere Energieflussanalyse ohne flächendeckendes Submetering ermöglicht. Gebäudeeigentümer setzen zunehmend auf datengetriebene Ansätze, die Kosten senken und die Einführung intelligenter Steuerungen im Gebäudebestand beschleunigen. Verschiedene Anbieter haben skalierbare Energiemanagementsysteme entwickelt, die Submetering teilweise ersetzen, indem sie Daten aus bestehenden Messpunkten intelligent verarbeiten und für Lastmanagement, Heizungsoptimierung und ESG-Reporting nutzen. Die Bestandsaufnahme zeigt, dass die in ADRENALIN entwickelten Algorithmen hoch relevant sind und eine wertvolle Ergänzung für das Produktportfolio von synavision darstellen, wenn die entsprechenden Entwicklungsarbeiten abgeschlossen sind.

2.6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Aus dem Projekt sind folgende Veröffentlichungen hervorgegangen:

2026:

- Ma, Z. G., Tolnai, B. A., & Jørgensen, B. N. (2026). Business Model Innovation in Data Competitions: **Insights from the 2024 ADRENALIN Load Disaggregation Challenge**. In I. Martinac, B. N. Jørgensen, Z. G. Ma, R. Unnpórsson, & C. Bordin (Eds.), *Energy Informatics* (pp. 388–406). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03098-6_25

2025:

- Bengtsson, G. V., Gomez Garcia, R., Sofia Stensson, Amos, M., Akram Hameed, Lien, S. K., Igor Sartori, & Clayton Miller. (2025). **ADRENALIN - Multi-National Time-Series Dataset of Sub-Metered Building Energy Use**. *Data in Brief, in Review*.
- Balázs András Tolnai, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen, Igor Sartori, Surya Venkatesh Pandiyan, Matt Amos, Gustaf Bengtsson, Synne Krekling Lien, Harald Taxt Walnum, Akram Hameed, Jayaprakash Rajasekharan, Rafeal Gomez Garcia: **ADRENALIN: Energy Data Preparation and Validation for HVAC Load Disaggregation in Commercial Buildings**. Nordic Energy Informatics Academy Conference 2025 (accepted, in press)
- Balázs András Tolnai, Rafael Sudbrack Zimmermann, Yangxinyu Xie, Ngoc Tran, Cihat Emre Çeliker, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen, Igor Sartori, Matt Amos, Gustaf Bengtsson, Synne Krekling Lien, Clayton Miller, Akram Hameed: **Advancing Non-Intrusive Load Monitoring: Insights from the Winning Algorithms in the ADRENALIN 2024 Load Disaggregation Competition**. Nordic Energy Informatics Academy Conference 2025 (accepted, in press)
- Balázs András Tolnai, Zhipeng Michael Ma, Bo Nørregaard Jørgensen, Zheng Grace Ma*An: **Automated Domain-Agnostic and Explainable Data Quality Assurance Framework for Energy Analytics and Beyond**. *Information* 2025, 16, 836
- Zheng Grace Ma, Balázs András Tolnai, Bo Nørregaard Jørgensen: **Business Model Innovation in Data Competitions: Insights from the 2024 ADRENALIN Load Disaggregation Challenge**. Nordic Energy Informatics Academy Conference 2025 (accepted, in press)
- Balázs András Tolnai, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen: **Comparison of Three Algorithms for Low-Frequency Temperature-Dependent Load Disaggregation in Buildings Without Submetering**. Nordic Energy Informatics Academy Conference 2025 (accepted, in press)
- Balázs András Tolnai, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen: **Energy Data Collection Protocol: A Case Study on the ADRENALIN Project**. *Energy Informatics : 4th Energy Informatics Academy Conference, EI.A 2024, Kuta, Bali, Indonesia, October 23–25, 2024, Proceedings, Part I*.
- Balázs András Tolnai, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen, Igor Sartori, Clayton Miller, Stephen White, Matt Amos, Gustaf Bengtsson, Akram Hameed: **Lessons Learned from the ADRENALIN Load Disaggregation Challenge**. Nordic Energy Informatics Academy Conference 2025 (accepted, in press)
- Tolnai, B. A., Ma, Z., & Jørgensen, B. N. (2025). **Energy Data Collection Protocol: A Case Study on the ADRENALIN Project**. In B. N. Jørgensen, Z. G. Ma, F. D. Wijaya, R. Irnawan, & S. Sarjiya (Eds.), *Energy Informatics* (pp. 120–135). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-74738-0_9
-

2024:

- Tolnai, B. A., Ma, Z., & Jørgensen, B. N. (2023). **A Scoping Review of Energy Load Disaggregation**. In N. Moniz, Z. Vale, J. Cascalho, C. Silva, & R. Sebastião (Eds.), *Progress in Artificial Intelligence* (pp. 209–221). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49011-8_17

2023:

- Balázs András Tolnai, Bo Nørregaard Jørgensen, Zheng Grace Ma: **A Scoping Review of Energy Load Disaggregation**. *Progress in Artificial Intelligence - 22nd EPIA Conference on Artificial Intelligence, EPIA 2023, Proceedings : 22nd EPIA Conference on Artificial Intelligence, EPIA 2023, Faial Island, Azores, September 5–8, 2023, Proceedings, Part II*
- Balázs András Tolnai, Zheng Grace Ma, Bo Nørregaard Jørgensen: **Standard energy data competition procedure: A comprehensive review with a case study of the ADRENALIN load disaggregation competition**. *Energy Informatics. EI.A 2023 : Third Energy Informatics Academy Conference, EI.A 2023, Campinas, Brazil, December 6–8, 2023, Proceedings, Part I*
- Tolnai, B. A., Ma, Z., & Jørgensen, B. N. (2023). **A Scoping Review of Energy Load Disaggregation**. In N. Moniz, Z. Vale, J. Cascalho, C. Silva, & R. Sebastião (Eds.), *Progress in Artificial Intelligence* (pp. 209–221). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49011-8_17

Eine weitere Publikation zu den Ergebnissen des Wettbewerbs wurde während des Berichtszeitraums erstellt und unter dem Titel „Adrenalin - The smart building control challenge for energy flexible operation“ beim Journal of Building Performance Simulation zur Veröffentlichung eingereicht.

Das Projekt und die Ergebnisse wurden kontinuierlich auf der Website <https://www.adrenalin.energy/> publiziert.