

»GREEN ICT @ FMD« – KOMPETENZZENTRUM FÜR ÖKOLOGISCH NACHHALTIGE IKT

Optimierung kritischer elektrischer Verbraucher zur Reduktion des CO₂- Fußabdrucks an Halbleiterprozessanlagen

Ein Whitepaper von "HUB 3 - Ressourcen-optimierte Elektronikproduktion"

Lutz Gendrisch (Fraunhofer IMS), Dr. Matthias Baus (Fraunhofer IMS), Dr. Nicolas Schierbaum (Fraunhofer IMS)



Dieses Whitepaper ist Teil des Projekts „Green ICT @ FMD“ – Kompetenzzentrum für ökologisch nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik. Das Projekt wird von der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) durchgeführt und vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) gefördert.

Kompetenzzentrum »Green ICT @ FMD«

c/o Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland FMD
Anna-Louisa-Karsch-Str. 2
10178 Berlin, Deutschland

Ansprechpersonen:

Lutz Gendrisch lutz.gendrisch@ims.fraunhofer.de (HUB 3 Elektronik Produktion)

Dr. Nicolas Schierbaum nicolas.schierbaum@ims.fraunhofer.de (HUB 3 Elektronik Produktion)

www.greenict.de

www.forschungsfabrik-mikroelektronik.de

Veröffentlicht:

03.12.2025

Einleitung

Im Rahmen des Kompetenzzentrums Green ICT @ FMD werden innovative Technologien zur ökologisch nachhaltigen Gestaltung von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) entwickelt. Ein zentrales Element ist eine Ressourcen-optimierte Elektronikproduktion (PRO).

Angesichts von Energiekrisen in Folge politischer Konflikte und dem Klimawandel steht die Industrie vor der zunehmenden Herausforderung ihre Produktionstechnologien neu aufzustellen. Innovative Entwicklungen sollen Unternehmen helfen, besonders energiehungrige elektrische Verbraucher zu identifizieren und durch energieeffiziente Komponenten zu ersetzen. Diese Entwicklungen versprechen nicht nur eine signifikante Verbesserung der Ökobilanz, sondern ermöglichen ebenfalls eine substanzielle Reduktion des CO₂-Fußabdrucks. Das Fraunhofer IMS unterstützt Unternehmen dabei, sich nachhaltig zu transformieren und eröffnet die Möglichkeit, einen positiven ökologischen Einfluss zu erzielen. In diesem Kontext wird der Energieumsatz von Reinraumanlagen betrachtet. Das Verständnis des Energieumsatzes, insbesondere bei energieintensiven Anlagen, ist entscheidend für die Bilanzierung und Optimierung des Energieumsatzes. Ziel ist es, Energiemessungen an bestehenden Einzelanlagen und ihren Komponenten zu ermöglichen, um gezielte Optimierungsmaßnahmen zu implementieren.

In diesem Whitepaper wird der Energieumsatz von Reinraumanlagen in der Standby- und Nutzungsphase analysiert, um die Reduktion des CO₂-Fußabdrucks durch gezielte Optimierungen zu bestimmen. Durch dedizierte Strom- und Spannungsmessungen kann der Energieumsatz einzelner Reinraumanlagen und ihrer Komponenten ermittelt werden. Der Energieumsatz der Reinraumanlagen trägt, neben dem Energieverbrauch für Ressourcen und die allgemeine Reinrauminfrastruktur (Klimatechnik etc.), wesentlich zur Berechnung des CO₂-Fußabdrucks der jeweiligen Prozessschritte bei. Dies ist insbesondere im Hinblick auf den Gesamt-CO₂-Fußabdruck eines Reinraums von großer Bedeutung. Das Fraunhofer IMS betreibt im Rahmen der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) selbst einen über die Jahre gewachsenen ca. 2.000 m² großen Reinraum, der aktuell modernisiert wird. In diesem Zuge hat das Fraunhofer IMS den Energieverbrauch seiner Anlagen mit Energieloggern und integrierten Smartmetern kontinuierlich überwacht. Das aufgebaute Knowhow kann das Fraunhofer IMS jetzt einsetzen, um anderen Unternehmen zu helfen, ihre Anlagen zu analysieren und durch moderne kosteneffizientere Komponenten zu ersetzen.

1. Selektierte, energieüberwachte Anlagen

Aus den Untersuchungen am Fraunhofer IMS zur Rolle kritischer Verbraucher im Reinraum werden hier beispielhaft die Analyse von drei Anlagen aus den Bereichen Metallisierung, Trockenätzen und Galvanik vorgestellt. Die folgende Tabelle zeigt zu den einzelnen Prozessbereichen die passenden Anlagenbezeichnungen:

Prozessbereich	Anlagenbezeichnung
Metallisierung	Endura P5500
Trockenätzen	Centura 5200 Etch System
Galvanik	AUTOGALVANIK Solstice S8

Tabelle 1: Übersicht der energieüberwachten Maschinen aus dem Reinraum vom Fraunhofer IMS

2. Energieüberwachung und Bestimmung kritischer Komponenten

Bei allen drei Anlagen handelt es sich um Maschinen, die an Dreiphasenwechselspannung angeschlossen sind. Um den Energieumsatz zu beurteilen, ist es erforderlich für alle drei Phasen Strom und Spannung zu messen. Die Datenerhebung kann mit Energieloggern oder Smartmetern der entsprechenden Leistungsklasse erfolgen. In einem ersten Schritt werden die Werte am Hauptanschluss abgenommen. Durch einen Vergleich zwischen diesen Messdaten und den Daten aus der Datenbank der einzelnen Prozessschritte kann abgelesen werden, welcher Prozessschritt welchen Energieumsatz aufweist. Bei den oben genannten energieüberwachten Maschinen haben wir ermittelt, dass der größte Energieumsatz unabhängig von den Prozessschritten ist. Das heißt, dass das reine „Eingeschaltet sein“ die meiste Energie erfordert.

In einem zweiten Schritt können die einzelnen Verbraucher in den Anlagen ermittelt und auf die gleiche Art vermessen werden. Um die Ergebnisse zu visualisieren, bieten sich Sankey-Diagramme an.

Im Folgenden wird das Sankey-Diagramm des „Centura 5200 etch system“ gezeigt. Für andere Maschinen lässt sich Entsprechendes darstellen.

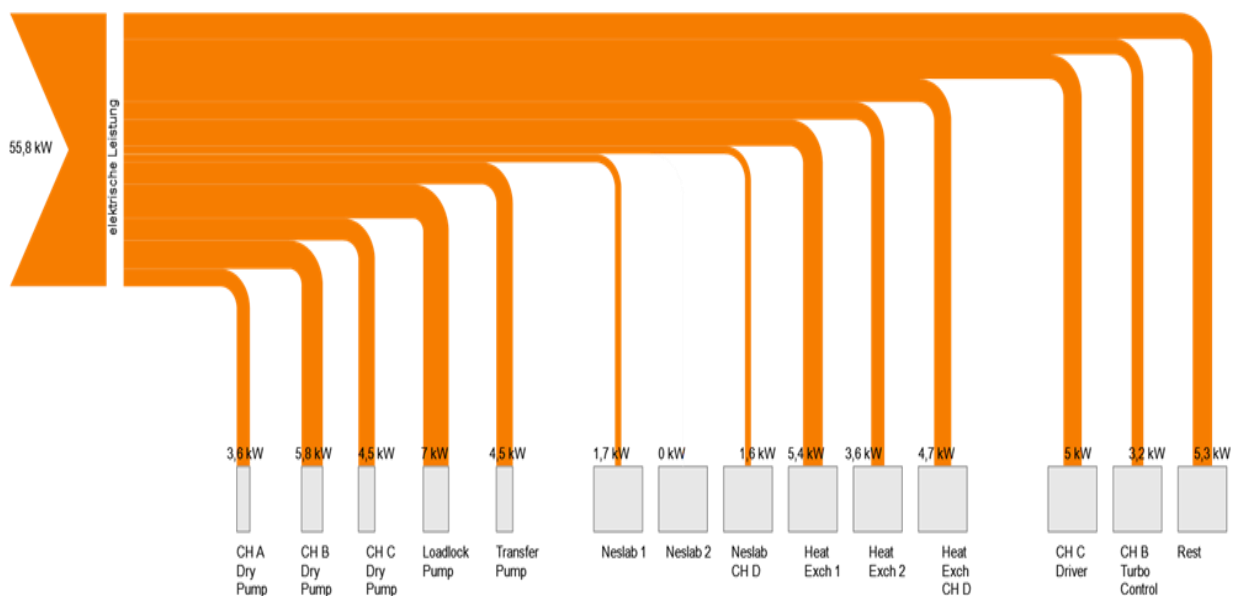


Abbildung 1 Sankey-Diagramm zur Darstellung des Energieverbrauchs einer Trockenätzanlage

Mit Hilfe dieser Art Diagramme lassen sich die Umsätze leicht den entsprechenden Verbrauchern innerhalb der Anlagen zuordnen und visualisieren.

3. Optimierung und Reduktion des CO₂-Fußabdruckes

Im folgenden Schritt können gezielte Maßnahmen zur Reduktion des Energieverbrauchs einzelner Maschinenkomponenten beschlossen werden. Unter Berücksichtigung der Sicherheit für Menschen, Anlage und Prozessschritte können ggf. Komponenten gegen Energieeffizientere getauscht oder Einstellungen optimiert werden. Für einige Verbesserungen ist es notwendig, den Anlagenhersteller mit einzubeziehen. Für den Reinraum vom Fraunhofer IMS hat sich ergeben, dass die Galvanik -zumindest vorerst- nicht weiterbetrachtet wird. Mit einem Energieumsatz von einem zwanzigstel gegenüber dem „etch system“ handelt es sich eher um einen kleinen Verbraucher. Bei der Metallisierungs- und Trockenätzanlage wurden einzelnen Komponenten durch Energieeffizientere ersetzt.

Bei nachfolgenden Analysen der modernisierten Anlagen hat sich gezeigt, dass die Auslastung der Anlage durchaus relevant für die Einsparung ist. Deshalb wird zwischen Forschungsbetrieb (10% Auslastung) und Produktionsbetrieb (90% Auslastung) unterschieden (siehe Tabelle 2).

Modul	Material	Verbrauch aktuell	Reduktionspotential	Reduktion Material	Reduktion CO ₂ -Fußabdruck
Metallisierungsanlage im Forschungsbetrieb	Elektr. Leistung	180 MWh/a	22%	40 MWh/a	16t CO ₂ /a
Trockenätzanlage im Forschungsbetrieb	Elektr. Leistung	488 MWh/a	41%	202 MWh/a	81t CO ₂ /a
Metallisierungsanlage im Produktionsbetrieb	Elektr. Leistung	180 MWh/a	1%	2 MWh/a	1t CO ₂ /a
Trockenätzanlage im Produktionsbetrieb	Elektr. Leistung	488 MWh/a	33%	162 MWh/a	65t CO ₂ /a

Tabelle 2: Einsparpotential für Reinraumanlagen bzgl. Energie und CO₂-Fußabdruck im Forschungs- und Produktionsbetrieb.

Aus der Tabelle 2 kann abgelesen werden, dass durch gezielte Änderungen an nur diesen beiden Anlagen bis zu knapp 100t CO₂ pro Jahr potenziell eingespart werden können.

4. Zusammenfassung

Hintergrund und Zielsetzung

In diesem Whitepaper wird die Arbeit des Kompetenzzentrums „Green ICT @ FMD“ beschrieben, das innovative Technologien für eine ökologisch nachhaltige Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) entwickelt. Ein Schwerpunkt liegt hierbei auf der Ressourcen-optimierten Elektronikproduktion, um den CO₂-Fußabdruck von Halbleiterprozessen und -komponenten zu optimieren und zu reduzieren.

Optimierungskonzept

Während der Modernisierung des Reinraumes werden einfach zu tauschende Anlagenkomponenten gegen Energieeffizientere ausgewechselt und so der CO₂-Fußabdruck weiter reduziert.

Praxiseinsatz und Energieeinsparung

Der Energieumsatz von drei Reinraumanlagen aus unterschiedlichen Prozessbereichen wurden im IMS-eigenen Reinraum energieüberwacht und Einsparpotentiale identifiziert. Mit Umsetzung der Maßnahmen zu diesen Einsparpotenzialen können bis zu knapp 100t CO₂ pro Jahr eingespart werden. Einige dieser Einsparpotenziale lassen sich auf andere Anlagen übertragen und somit der CO₂-Fußabdruck weiter reduzieren. Weitere Einsparpotenziale müssen mit den Anlagenherstellern diskutiert oder auf die zu nutzenden Prozessschritte angepasst werden.

Das Fraunhofer IMS bietet Unternehmen Beratungsdienstleistungen und auch experimentelle Untersuchungen zum Energieverbrauch ihrer Produktionsanlagen an.

Gesamtfazit

Durch gezielte technische Maßnahmen und Monitoring lassen sich signifikante Energie- und CO₂-Einsparungen in der Halbleiterproduktion erzielen.