

Smarte Konnektoren können mehr als reine Datenkonnektivität

# Demand Side Management bis zur Anlage

R. Ludwig, F. Stetter

**ZUSAMMENFASSUNG** Der Beitrag gibt einen kurzen Überblick zur Einbindung von Maschinen in die Energieflexibilität von Unternehmen, also der Fähigkeit, sich schnell und prozesseffizient an den Energiemarkt anzupassen. Im Fokus steht der „Smart Konnektor“, wie er im Kopernikus-Projekt „SynErgie“ entwickelt und eingesetzt wird. Er stellt die direkte Verbindung zu den Anlagen her und setzt Steuersignale um. Darüber hinaus berechnet er erste Kennzahlen und bietet Möglichkeiten zur Erfolgskontrolle und Fehleranalyse.

## STICHWÖRTER

Informationsmanagement, Automatisierung, Digitalisierung

## Demand side management right down to the plant

**ABSTRACT** The article provides a brief summary of how machines can be integrated to ensure energy flexibility of companies, that means their ability to adapt quickly and process-efficiently to the energy market. The focus is on the „smart connector“, a tool developed and used in the Kopernikus project „SynErgie“. It establishes a direct connection to plants and systems and converts the control signals. It also calculates initial key figures and offers options for monitoring success and analyzing errors.

## 1 Einleitung

Nach Plänen der Bundesregierung soll die Klimaneutralität bis 2045 erreicht werden [1] und bereits im Jahr 2021 stellten die erneuerbaren Energien über 40 % des Bruttostromverbrauchs [2]. Dies hat weitreichende Folgen und birgt sowohl Chancen als auch Gefahren. Die unbestreitbare Volatilität von Solar- und Windenergie bringt Herausforderungen mit sich, wobei vor allem die Netzstabilität abhängig ist vom Gleichgewicht der Stromerzeugung und -nachfrage [3]. Um die Netzstabilität auch bei schwankender Stromerzeugung zu gewährleisten, muss die Nachfrageseite, auch Demand Side genannt, flexibel auf Änderungen reagieren können.

Im Jahr 2016 startete die Bundesregierung das Kopernikus-Projekt „SynErgie“ mit dem Ziel, energieintensive Prozesse in der Industrie zu flexibilisieren und so die Energieaufnahme mit dem Energieangebot zu synchronisieren [4, 5]. Hierzu entstand in den ersten beiden Projektphasen die Energiesynchronisationsplattform. Sie bildet ein Ökosystem, in dem der Energieflexibilitäts-handel über verschiedene Ebenen hinweg automatisiert ausgeführt werden kann [6].

## 2 Die Rolle der Unternehmensplattform und des Smart Konnektor

Wie der Name sagt, ermöglicht die Unternehmensplattform als Teil der Energiesynchronisationsplattform den Unternehmen die Teilnahme am Energieflexibilitätshandel. Auf der modularen, service-basierten Plattform laufen unterschiedliche Services, um die Flexibilitäten des gesamten Unternehmens aus verschiedenen

Quellen aufzunehmen, zusammenzustellen und dem Markt zuzuführen [7]. Für eine einheitliche Ermittlung dieser Flexibilitäten und eine standardisierte Kommunikation innerhalb der Energiesynchronisationsplattform wurde das Energieflexibilitätsdatenmodell (EFDM) entwickelt [8]. Im Kern handelt es sich dabei um einen Satz an Kennzahlen zur Beschreibung von Flexibilitätsräumen und Flexibilitätsmaßnahmen. Das EFDM dient als allgemeingültiges Format, um Flexibilitäten abstrahiert darzustellen.

Einige der Kennzahlen beziehen sich auf den aktuellen Zustand einer Anlage und müssen regelmäßig aus dieser übertragen werden. Dazu wird der Smart Konnektor genutzt. Er bildet die informationstechnische Schnittstelle zwischen der Anlage und der Unternehmensplattform. Durch ihn werden prozessspezifische und individuelle Informationen, die auf der Anlagensteuerung hinterlegt sind oder dort erhoben werden, herstellerunabhängig ausgelesen, teilweise vorverarbeitet und weiteren Diensten, zum Beispiel zur Berechnung der Kennzahlen des Energieflexibilitätsdatenmodells, zur Verfügung gestellt [9]. Diese Daten können in verschiedene Kategorien eingeteilt werden:

- **Prozessdaten:** Sie enthalten Daten über den Status und die Sequenzierung des Prozesses, der auf der Anlage abläuft.
- **Zustandsdaten:** Sie sind die aktuellen Werte der Prozessgrößen und möglicher Speicher. Sie spiegeln den gegenwärtigen Ist-Zustand der Anlage wider.
- **Verbrauchsdaten:** Sie liefern Informationen über den aktuellen Verbrauch von relevanten Rohstoffen.
- **Schnittstellendaten:** Sie beschreiben die Daten der Anlage, die in der Steuerung mit neuen Werten überschrieben werden dürfen, wenn eine Flexibilität erbracht wird. Bevorzugt sollen solche Daten überschrieben werden, die für die HMI (Human-

Machine Interface) gedacht sind, da hier in der Regel mit Eingaben von außen gerechnet wird.

- Anlagenstammdaten: Sie stellen allgemeine, unveränderliche Informationen der spezifischen Anlage zur Verfügung.

Durch die Kategorisierung der Anlageninformationen können diese den Kennzahlen des Energieflexibilitätsdatenmodells leichter zugeordnet und so das aktuelle Flexibilitätspotenzial festgestellt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Smart Konnektor lediglich die Anlageninformationen weitergibt. Flexibilitätsmöglichkeiten aus anderen Quellen, beispielsweise die Planung der Produktion, werden dabei nicht berücksichtigt. Um das Energieflexibilitätsdatenmodell vollständig auszufüllen und das Gesamtpotenzial zu ermitteln, müssen diese Informationen durch andere Mechanismen bereitgestellt werden.

Das reine Identifizieren und Kommunizieren möglicher Flexibilitäten ist nur ein Teil der Kette zum Abgleich von erzeugter zu genutzter Energie. Um eine reale Veränderung des Energieaufnahmeverhaltens einer Anlage zu erreichen, muss ihr Zustand verändert werden. Konkret bedeutet das, dass der Smart Konnektor bidirektional mit der Anlage kommuniziert, beim Umsetzen einer Flexibilität auf deren Steuerung zugreift und die spezifischen Werte ändert [10].

### 3 Bestandteile und Befähigungen des Smart Konnektor

#### 3.1 Maßnahmensyntax

Eine Aufgabe des Smart Konnektor im SynErgie-Kontext ist es, Umsetzungssignale zu zuvor angebotenen Flexibilitäten entgegenzunehmen und diese auf der Zielanlage umzusetzen. Die Herausforderung bei dieser Aufgabe ist, dass für jede Anlage und jede Flexibilität die Umsetzung meist nur indirekt möglich ist: Anlagen haben in der Regel keine direkten Einstellmöglichkeiten, über die festgelegt werden kann, wie viel mehr oder weniger Strom verbraucht werden darf. Daher wurde der Ansatz verfolgt, dass über den Smart Konnektor alle Einstellmöglichkeiten für Rezepte grundsätzlich als Manipulationsmöglichkeiten verwendet werden dürfen, die vom Entwickler vom Steuerungsprogramm auf der Anlage als solche vorgesehen wurden. Zwar ist die verwendete Softwarelösung zur Datenkommunikation mit der Anlagensteuerung je nach Kommunikationsprotokoll in der Lage, gezielt jedes einzelne Byte im Arbeitsspeicher der Steuerung zu überschreiben, jedoch birgt dieses Vorgehen große Gefahren. Grund ist, dass viele Stellen im Programmablauf nicht dafür ausgelegt sind, dass sich interne Variablen, wie beispielsweise fest einprogrammierte Temperaturgrenzen, von außen ändern lassen.

Um mit den für den Smart Konnektor verfügbaren Einstellmöglichkeiten eine Flexibilität umzusetzen, wird eine vereinfachte Form einer Ablauflogik im Smart Konnektor für die jeweilige Flexibilitätsmaßnahme hinterlegt. Diese besteht aus einzelnen Schritten, in denen beispielsweise eine Zahl auf die Anlagensteuerung geschrieben, ein Wert ausgelesen oder auf das Erreichen von einem Sollwert gewartet wird. Mit diesen rudimentären Methoden lassen sich über einfach verständliche Befehle einige Szenarien abdecken. Jedoch hat die abbildbare Komplexität Limitierungen, die umso stärker spürbar sind, je weniger Möglichkeiten die Anlagensteuerungen selbst mit sich bringt. In welcher Form sich komplexere Abläufe vom Smart Konnektor beschreiben lassen, wird aktuell erarbeitet.

#### 3.2 ThreatModel und abgeleitete Maßnahmen

Im Laufe der zweiten Förderphase des SynErgie-Projekts wurde ein ThreatModel erstellt. Dies bedeutet, der Smart Konnektor wurde auf potenzielle Bedrohungen und Risiken untersucht. Ziel dieser Untersuchungen war zum einen die Offenlegung potenzieller Probleme und zum anderen die Definition vorbeugender Maßnahmen. Dabei wurden die meisten Risiken in der Kommunikation zur Anlage und zur Unternehmensplattform erkannt. Für die Kommunikation mit Anlagen wurde analysiert, dass viele Kommunikationsprotokolle in der Theorie keine Möglichkeit zur Verifikation bieten, ob die Daten wirklich von der entsprechenden Anlage kommen, oder ob diese von einer Entität mit bösen Absichten simuliert werden. Die Wahrscheinlichkeit für ein solches Szenario wurde als gering, aber nicht unmöglich eingestuft. Insbesondere der Grundgedanke, dass auf Basis dieser Daten Entscheidungen über den Produktionsablauf gefällt werden sollen, könnte diese Kommunikation für Angreifer interessant gestalten.

Hinzu kommt, dass die andere Richtung, das Schreiben von Daten auf die Steuerung, ebenfalls ein Angriffsvektor ist. Wenn eine Flexibilität nicht korrekt umgesetzt werden kann, weil das Schreiben von Daten verhindert wird, kann das potenziell rechtliche Folgen für das Unternehmen haben. Aktuell werden immer mehr Kommunikationsprotokolle um neue Sicherheitsfunktionen erweitert, welche die Anlagen für das Thema Industrie 4.0 weiter befähigen. Diese neuen Funktionen fokussieren sich in der Regel auf die Verwendung von Zertifikaten, welche eine Manipulation der Kommunikation, ob böswilliger und zufälliger Natur, in vielen Aspekten bereits unterbindet.

Die andere Seite, die Kommunikation zwischen dem Smart Konnektor und einer Unternehmensplattform, ist ebenso primär aufgrund der Übertragung von Informationen, welche zur Entscheidungsfindung dienen, ein Fokus der Risikobewertung. Dabei wurde ermittelt, dass der Einsatz von Technologien zum Verschlüsseln und Signieren der kommunizierten Inhalte von hoher Relevanz sind. Zudem ist es wichtig, dass beide Kommunikationspartner stets sichergehen, dass gesendete Nachrichten korrekt entgegengenommen wurden. Dies ist zum größten Teil bereits durch die Verwendung eines TCP-basierten Kommunikationskanals implementiert. **Bild 1** verdeutlicht Ansatzpunkte, Gefahren und Gegenmaßnahmen.

#### 3.3 Logging, Fehlervermeidung und -suche

Während der Entwicklung des Smart Konnektor wurde definiert, welche Meldungen vom Smart Konnektor zur Fehlersuche und zur Validierung von korrektem Verhalten geloggt werden. Die große Bedeutung eines angemessenen Umfangs von aufgenommenen Ereignissen besteht darin, dass die mitgeschnittenen Meldungen zur Fehlersuche, aber auch zum Beweis eines korrekten Verhaltens verwendet werden können. Wenn im SynErgie-Kontext eine Softwarekomponente wie der Smart Konnektor ein Umsetzungssignal von der Unternehmensplattform bekommt, dieses Signal daraufhin auf die Anlagensteuerung überträgt und es am Ende zu Problemen in der Produktion kommt, kann anhand der Logs beispielsweise evaluiert werden, ob der Smart Konnektor bereits das falsche Umsetzungssignal bekommen hat.

In einem solchen Fall ist es wichtig, dass detailliert genug geloggt wurde, um das beobachtete Verhalten nachvollziehen zu können, zugleich darf der Umfang nicht zu groß sein, sodass die

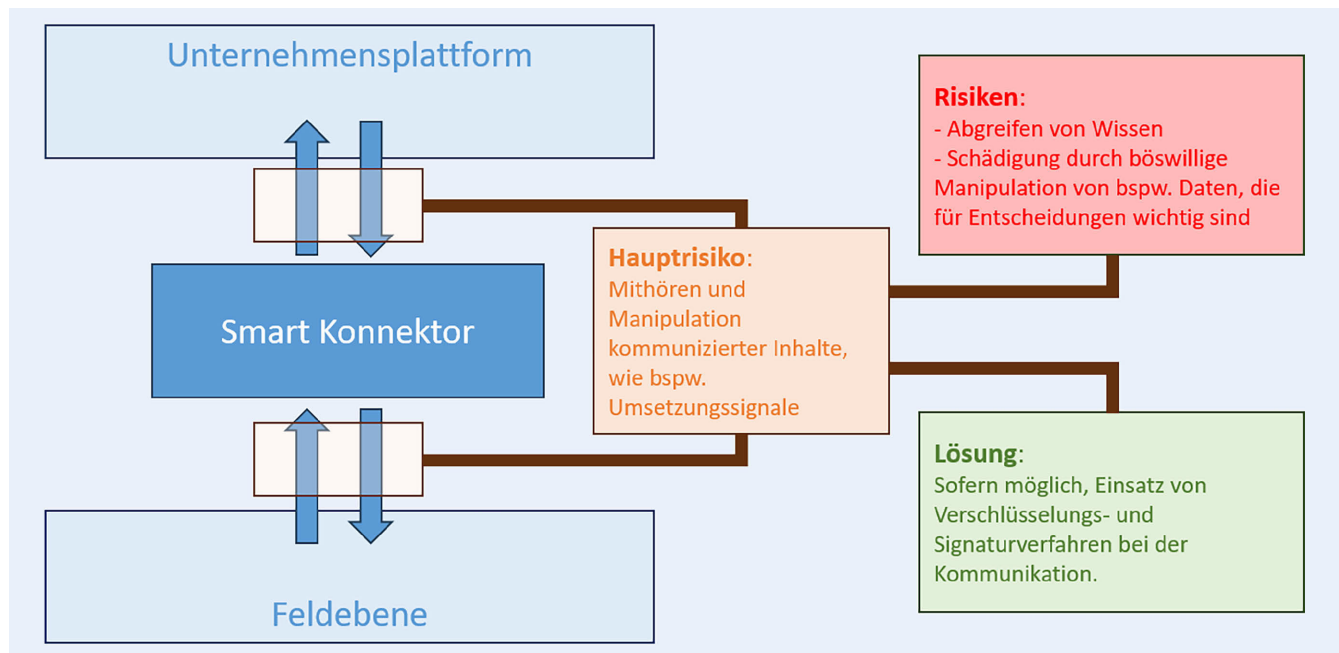


Bild 1. Risikopunkte und Maßnahmen beim Smart Konnektor. Grafik: Fraunhofer IPA

zu verarbeitende Menge an Meldungen die Ursachenforschung nicht blockiert. Die dafür als effektivste angesehene Methodik zur Evaluation der Nützlichkeit von Logmeldungen ist es, bei jeder Meldung, welche geschrieben werden kann, zu hinterfragen, wer von dieser Nachricht profitieren soll. Beispielsweise, ob sie für den Endnutzer oder für den Entwickler gedacht ist und welche Schlüsse aus der Meldung gezogen werden können. Ist bei einer der beiden Fragen die Antwort nicht klar, dann sollte zu dem Zeitpunkt diese Meldung nicht geschrieben werden.

## 4 Herausforderungen und Ausblick

### 4.1 CNC- und Werkzeugmaschinen

Eine in Produktionsbetrieben häufig installierte Art von Maschinen sind Werkzeugmaschinen mit numerischen Steuerungen (NC). Diese weisen die Besonderheit auf, dass nicht nur Logiksignale und Technologievorgaben verarbeitet werden, sondern auch Bahnplanungen zur Erzeugung komplexer Geometrien vorgenommen werden. Während die Maschinenperipherie und Hilfsfunktionen durch eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) oder durch einen SPS-Teil geschaltet werden, werden die achsspezifischen Bewegungsbefehle im NC-Kern generiert. Oft kommen beide Steuerungskomponenten in einem Gehäuse vor. Dabei können sich die Anforderungen an die Rechenleistung und die Taktzeit stark unterscheiden, mitunter laufen die unterschiedlichen Berechnungen sogar in physikalisch getrennten Prozessoren ab.

Um eine solche Maschine in das Flexibilitätsangebot eines Unternehmens einzubinden und die erforderlichen Daten zum Ausfüllen des EFDMS aus NC-gesteuerten Anlagen zu extrahieren, benötigt der Smart Konnektor Zugriffsmöglichkeiten sowohl auf den NC-Kern als auch auf die SPS der Maschine. Allerdings werden die Identifikation und die Umsetzung von Flexibilitätsmaßnahmen durch die direkte Auswirkung von Änderungen der Bahnparameter auf die Qualität der Werkstücke erschwert.

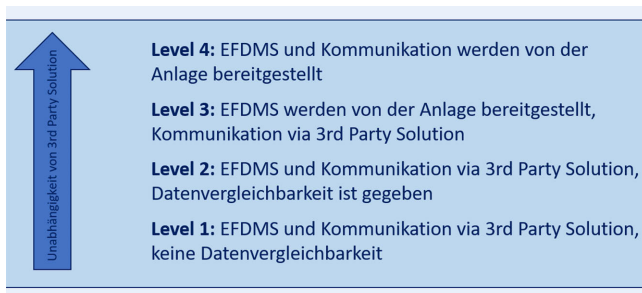
### 4.2 Möglichkeiten zur Einordnung inhärent energieflexibler Anlagen

In Zukunft ist es denkbar, dass Anlagenhersteller und Maschinenbauer Funktionen, die bislang vom Smart Konnektor adressiert werden, direkt in die jeweiligen Steuerungen integrieren. Folgende Einteilung bietet nach Meinung der Autoren eine Möglichkeit, Anlagen nach dem Grad ihrer inhärenten Möglichkeiten zu kategorisieren.

- Level 1: Die Anlage erstellt keine EFDMS und stellt keine Daten bereit, die in ihrem Format dem EFDMS Format ähneln. Eine Drittanwendung muss nicht nur das Format übersetzen, sondern gegebenenfalls auch Daten aus der SPS miteinander verknüpfen. Die Kommunikation mit der Unternehmensplattform läuft ebenfalls über die Drittanwendung.
- Level 2: Die Anlage erstellt keine EFDMS, die Daten liegen aber in einem vergleichbaren Format vor. Die Kommunikation mit der Unternehmensplattform muss über eine Drittanwendung hergestellt werden. Diese Drittanwendung muss das Format der Daten aus der SPS in das EFDMS-Format übersetzen.
- Level 3: Die Anlage erstellt selbst EFDMS, muss aber über eine Drittanwendung die Kommunikation mit der Unternehmensplattform herstellen.
- Level 4: Die Anlage erstellt selbst EFDMS und kann sich ohne Drittanwendung mit der Unternehmensplattform verbinden und entsprechend auch Umsetzungsbefehle von der Unternehmensplattform empfangen und befolgen.

Je höher das Level einer Anlage eingestuft werden kann, desto autonomer ist sie in Bezug auf das Bereitstellen von Energieflexibilität von Drittanwendungen (3rd Party Solution) wie dem Smart Konnektor. **Bild 2** stellt die zunehmende Unabhängigkeit optisch dar.

Aktuell existieren keine Anlagen die die Kriterien für Level 2 oder höher erfüllen. Durch die Möglichkeit zur Einstufung können in Zukunft Anlagen und Steuerungen direkt so angelegt werden, dass sie aufwandsarm in die SynErgie-Architektur einge-



**Bild 2.** Mögliche Unabhängigkeitsstufen zukünftiger Anlagen.  
Grafik: Fraunhofer IPA

bunden werden können. Der Wegfall externer Lösungen und die Möglichkeit zur Standardisierung reduziert den Aufwand und somit auch die Einstiegshürden für Unternehmen, damit diese ihr Flexibilitätspotenzial heben können, und trägt so zur besseren Integration erneuerbarer Energien bei.

#### Literatur

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.): Überblickspapier zur zweiten Novelle des Klimaschutzgesetzes. Stand: 2023. Internet: [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/ueberblickspapier-zur-zweiten-novelle-des-klimaschutzgesetzes.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/klimaschutz/ueberblickspapier-zur-zweiten-novelle-des-klimaschutzgesetzes.pdf?__blob=publicationFile&v=6). Zugriff am 05.02.2024
- [2] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (Hrsg.): Monitoringbericht der Bundesregierung zum Ausbau der erneuerbaren Energien im Strombereich nach § 98 Absatz 3 EEG 2021. Stand: 2022. Internet: [www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-der-bundesregierung-zum-ausbau-der-erneuerbaren-energien.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=1](http://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/monitoringbericht-der-bundesregierung-zum-ausbau-der-erneuerbaren-energien.pdf?__blob=publicationFile&v=1). Zugriff am 05.02.2024
- [3] Bauer, D.; Sauer, A.; Dietrich, R.-U. et al.: Flexibilisierungspotenziale in der Industrie. In: ForschungsVerbund Erneuerbare Energie (Hrsg.): Energy Research for Future – Forschung für die Herausforderungen der Energiewende. Jahrestagung 2019 des ForschungsVerbunds Erneuerbare Energien. Berlin 2019, S. 82–86
- [4] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Kopernikus-Projekte. Was die Kopernikus-Projekte sind, woran sie forschen und wie sie zum Gelingen der Energiewende beitragen. Internet: [www.kopernikus-projekte.de/projekte](http://www.kopernikus-projekte.de/projekte). Zugriff am 05.02.2024
- [5] Bundesministerium für Bildung und Forschung: Projektziel – SynErgie. Stand: 12.10.2021. Internet: [synergie-projekt.de/ueber-synergie/projektziel](http://synergie-projekt.de/ueber-synergie/projektziel). Zugriff am 05.02.2024
- [6] Schilp, J.; Bank, L.; Köberlein, J.: Executive Summary: Konzept der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapiere V4. Stand: 2021. Internet: [publica.fraunhofer.de/bitstreams/66cfc0c-6523-44fb-8a4a-879d22d06b9b/download](http://publica.fraunhofer.de/bitstreams/66cfc0c-6523-44fb-8a4a-879d22d06b9b/download). Zugriff am 05.02.2024
- [7] Gunther, R.; Bauernhansl, T.; Sauer, A. et al.: Konzept der Energiesynchronisationsplattform. Diskussionspapier V3. Stand: 2020. Internet: [www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Projekte/Forschungsprojekte/SynErgie-Diskussionspapier-Aufl.pdf](http://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Projekte/Forschungsprojekte/SynErgie-Diskussionspapier-Aufl.pdf). Zugriff am 05.02.2024
- [8] Buhl, H. U.; Duda, S.; Schott, P.: Energieflexibilitätsdatenmodell der Energiesynchronisationsplattform. Stand: 2021. Internet: [publica.fraunhofer.de/bitstreams/03a6ef8e-8991-4f36-954d-3b945b92e2a8/download](http://publica.fraunhofer.de/bitstreams/03a6ef8e-8991-4f36-954d-3b945b92e2a8/download)
- [9] Ludwig, R.; Schulz, F.: Energieflexible Produktion durch Anlagenkenntnis/Energy-flexible production based on plant knowledge. wt Werkstattstechnik online 111 (2021) 07–08, S. 565–569. Zugriff am 05.02.2024
- [10] Sauer, A.; Abele, E.; Buhl, H. U. (Hrsg.): Energieflexibilität in der deutschen Industrie. Stuttgart: Fraunhofer Verlag 2019



**Dipl.-Ing. Ragnar Lodwig**  
Foto: Fraunhofer IPA

Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA  
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart  
Tel. +49 711 / 970-1390  
[ragnar.lodwig@ipa.fraunhofer.de](mailto:ragnar.lodwig@ipa.fraunhofer.de)  
[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)

#### Fabian Stetter, B.Sc.

DataCoffee GmbH  
Schleithheimerstr. 12, 72160 Horb  
Tel. +49 170 / 1465697  
[fabian.stetter@datacoffee.de](mailto:fabian.stetter@datacoffee.de)  
[www.datacoffee.de](http://www.datacoffee.de)

#### LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)