

ENIAC Joint Undertaking project

IMPROVE

Implementing Manufacturing science solutions to increase
equiPment pROductiVity and fab pErformance

Förderkennzeichen: 13N10420



Teilvorhaben:

**Erarbeitung von Spezifikationen, Erstellung und Test von Modellen
und Simulationsumgebungen, Koordination des Forums für
Gerätehersteller**

Erfolgskontrollbericht

InReCon AG

Alfred Honold

6. Mai 2013

Projektstart: 1. April 2009
Projektlaufzeit: 39 Monate
Veröffentlichungsrechte: Dieser Schlussbericht ist öffentlich.

Dokumenthistorie

Revision	Datum	Modifikation	Autoren
V0	19.10.12	Template	S. Anger
V1	14.11.12	IMPROVE-Übersichtskapitel, allg. Abschnitte,	S. Anger, M. Schellenberger
V2	26.11.12	Anpassung seitens Projektträger, letzte Korrekturen	L. Heinze, S. Anger, M. Schellenberger
V3	6.5.13	Unternehmensspezifische Ergebnisse und Daten	A. Honold

Inhalt

<i>Kapitel 1 – Übersicht über das Gesamtprojekt im europäischen Kontext</i>	<i>4</i>
1.1 Hintergrund des IMPROVE-Projekts	4
1.2 Arbeitsschwerpunkte und Ergebnisse	5
1.3 Die Beteiligung deutscher Partner am IMPROVE Konsortium	6
1.4 Einschätzung der wirtschaftlichen Auswirkungen.....	8
<i>Kapitel 2 – ENIAC Schlussbericht</i>	<i>9</i>
<i>Kapitel 3 – Erfolgskontrollbericht</i>	<i>10</i>
3.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen.....	10
3.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens	10
3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans.....	12
3.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben.....	13
3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer	13
3.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung	13
<i>Anhang A - Liste der deutschen Projektpartner in IMPROVE</i>	<i>14</i>
<i>Anhang B - Liste der Veröffentlichungen während des Vorhabens</i>	<i>15</i>
<i>Anhang C - Schutzrechtsanmeldungen und Erfindungen.....</i>	<i>16</i>
<i>Berichtsblatt</i>	<i>17</i>
<i>Document Control Sheet (englische Version des Berichtsblattes)</i>	<i>19</i>

Kapitel 1 – Übersicht über das Gesamtprojekt im europäischen Kontext

1.1 Hintergrund des IMPROVE-Projekts

Die Halbleiterindustrie ist eine der Schlüsselindustrien im Hinblick auf den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Wirtschaft insgesamt und somit auch für die Bewahrung des Wohlstands in Deutschland und Europa. Innerhalb der letzten Jahre wurde die IC-Fertigung aus Wettbewerbsgründen allerdings vermehrt aus europäischen Standorten in andere Regionen bevorzugt in Asien verlagert¹. Das IMPROVE-Projekt verfolgte das Ziel, diesem Trend entgegenzuwirken, indem es die Schlüsselherausforderungen der europäischen Halbleiterindustrie gezielt adressierte und **unter dem Oberbegriff der „Manufacturing Science“ Lösungen entwickelte, die die globale Wettbewerbsfähigkeit der herstellenden Unternehmen nachhaltig stärken**. Als die wesentlichen Herausforderungen wurden identifiziert:

- die Zunahme nicht-produktiver Zeit in der Fertigung durch langwierige Messschritte, Rezeptqualifikation und Ausfallzeiten der Geräte;
- der Bedarf an wesentlich verbesserter Gerätezuverlässigkeit, -verfügbarkeit und -auslastung; und
- zunehmende Fertigungsschwankungen wegen der steigenden Zahl von Prozessschritten pro Fertigungsgerät (und umgekehrt).

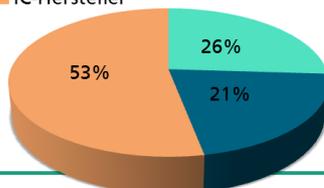
Die wesentlichen Ziele von IMPROVE waren dementsprechend die Verbesserung von Prozessreproduzierbarkeit und Fertigungsqualität, die Steigerung der Geräteeffizienz und die Verkürzung von Durchlaufzeiten.

Dazu wurde explizit ein **kooperativer Ansatz im Rahmen eines ENIAC-Verbundprojekts**² gewählt, um gemeinsam einen breiten Forschungsbereich abdecken und eine weite Anwendbarkeit der entwickelten Lösungen gewährleisten zu können: Teilnehmer im Konsortium waren entsprechend nicht nur die IC-Hersteller selbst, sondern auch Lösungsanbieter (SW-Hersteller, meist KmU), Universitäten und Institute. Die folgende Abbildung fasst wesentliche Kenndaten des Projekts IMPROVE zusammen.

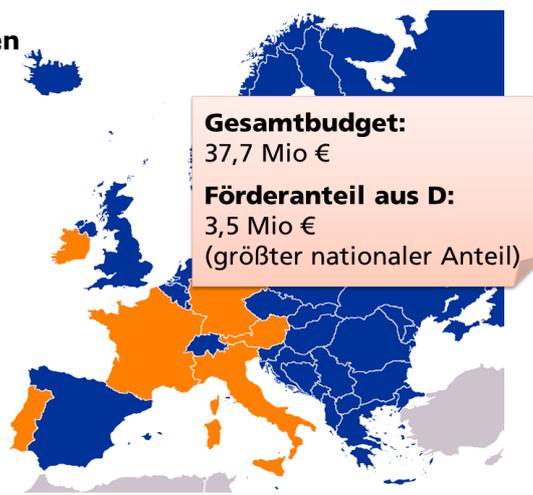
IMPROVE: Wesentliche Daten

- 3.600 Personenmonate
- Laufzeit: 01/2009 – 06/2012
- 35 Partner aus 6 Ländern

■ Univ./Institute ■ Lösungsanbieter
■ IC-Hersteller



© Fraunhofer IISB, 2012



¹ vgl. SEMI white paper "Recommendations to the European Union and National Governments to Increase Europe's Microelectronic Industry Competitiveness", 2008

² Für Informationen zum förderpolitischen Hintergrund und adressierten Förderprogramm vgl. Abschnitt 0

1.2 Arbeitsschwerpunkte und Ergebnisse

Die Arbeiten in IMPROVE konzentrierten sich auf folgende Schwerpunktthemen, um eine verbesserte Kontrolle der Prozessvariabilität, eine Verringerung der Durchlaufzeit und eine erhöhte Effizienz der Fertigungsanlagen zu erreichen:

- Entwicklung von **virtueller Messtechnik** (Virtual Metrology, VM), welche die Prozesskontrolle auf Scheibenebene bei gleichzeitiger Vermeidung standardmäßig durchgeführter Prozessschritte erlaubt.
- Entwicklung von Methoden für die **vorausschauende Wartung** (Predictive Maintenance, PdM) zur Verbesserung der Verlässlichkeit der Fertigungsanlagen bei gleichzeitiger Optimierung der Wartungsintervalle und Erhöhung der Betriebszeit.
- Entwicklung von Konzepten für **anpassungsfähige Produktionspläne**, welche nicht benötigte Messschritte auslassen, während sich die Effizienz der Pläne dynamisch erhöht.

Innerhalb dieser Themen wurden im Rahmen von IMPROVE **innovative Lösungsansätze und Modelle** entwickelt, welche anhand realer Daten für verschiedene Prozessschritte und auf unterschiedlichen Geräteplattformen **in Linien verschiedener IC-Hersteller evaluiert** wurden. Diese Vorgehensweise führte im Ergebnis zur Entwicklung generischer (Software-) Lösungen. Obwohl IMPROVE als Entwicklungsprojekt nicht auf die Bereitstellung kommerziell erhältlicher Lösungen oder Softwarepaketen ausgerichtet war, wurden **zahlreiche technische Erfolge** erzielt, deren Praxistauglichkeit so nachgewiesen wurde, dass die beteiligten Partner aus deren Verwendung einen wirtschaftlichen Nutzen ziehen können. In diesem Zusammenhang sind insbesondere folgende Errungenschaften zu benennen:

- Entwicklung einer gemeinsamen Infrastruktur und eines **fabrikweiten Kommunikationssystems** für eine nachhaltige Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Partnern (das sog. „IMPROVE-Framework“).
- Entwicklung von **virtueller Messtechnik**, d.h. Erstellung von statistischen Modellen und Anwendung entsprechender Prototypen auf reale Fabrikdaten, im Rahmen von verschiedenen Kooperationen zwischen Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie.
- Entwicklung von Modellen für die **Vorhersage des Equipment-Verhaltens** im Rahmen einer engen Zusammenarbeit von Universitäten, Forschungsinstituten und der Industrie.
- Simulationsgestützte Untersuchung, Bewertung und **Anpassung von Produktionsplänen** im Hinblick auf Messumfang und -aufwand.
- Aufbau eines **Equipment Forums** zur Sammlung der Bedarfe der IMPROVE-Partner in Bezug auf zukünftige Geräte, und für den informellen Informationsaustausch mit Nicht-IMPROVE Partnern.

Der **hohe Innovationsgrad** dieser Entwicklungen sowie deren hohe Qualität zeigen sich auch an der großen Zahl der in IMPROVE generierten Fachbeiträge und dem hohen globalen Interesse externer Experten. So wurden im Zusammenhang mit virtueller Messtechnik und vorausschauender Wartung im Rahmen von IMPROVE mehr als 90 Fachbeiträge in Form von Artikeln, Präsentationen oder Postern in Fachzeitschriften und auf Konferenzen veröffentlicht. In Bezug auf die Entwicklung von gemeinsamer Infrastruktur und Kommunikationssystem wurden mehr als 20 Publikationen und Fachvorträge in Zeitschriften und auf Konferenzen publiziert (vgl. dazu Section 2 des ENIAC-Schlussberichts).

1.3 Die Beteiligung deutscher Partner am IMPROVE Konsortium

Die in IMPROVE erzielten technischen Erfolge (s.o.) basieren auf einer breiten Expertise innerhalb des Konsortiums und auf einer engen und intensiven Zusammenarbeit zwischen den Projektpartnern.

Das benötigte spezifische Wissen für die Berücksichtigung aller wesentlichen Aspekte des Lösungsfindungsprozesses (Datensammlung, Modellierung, Bewertung und Implementierung) wurde dabei von Experten aus der Halbleiterfertigungsindustrie, der Software-Entwicklung und dem akademischen Bereich (Institute und Universitäten) bereitgestellt. Das über 30 Partner aus sechs Ländern umfassende Konsortium war dabei wie folgt zusammengestellt³:



Abbildung 1 Übersicht über das IMPROVE Konsortium

³ Die deutschen Partner sind durch Kursiv- und Fettdruck hervorgehoben.

6 europäische Halbleiterfertiger mit 10 Standorten:

LFoundry (Frankreich), INTEL (Irland), **INFINEON** (2x Deutschland, Österreich), AMS (Österreich), Micron (Italien), ST (2x Frankreich, Italien)

2 Institute:

Fraunhofer IISB (Deutschland), CEA-LETI (Frankreich)

10 Lösungsanbieter:

PDF Solutions (Frankreich), Probayes (Frankreich), **Camline** (Deutschland), **ISYST** (Deutschland), **InReCon** (Deutschland), LAM Research (Irland), Lexas Research (Irland), Techno Fittings (Italien), LAM (Italien), Critical Manufacturing (Portugal)

12 Universitäten und akademische Labore:

EMSE-CMP (Frankreich), GSCOP (Frankreich), LTM CNRS (Frankreich), **Universität Augsburg** (Deutschland), **Universität Erlangen** (Deutschland), DCU-Dublin (Irland), UNIPV (Italien), UNIMI (Italien), UNIPD (Italien), CNR-IEIT (Italien), CNR-IMM (Italien), FHWN (Österreich)

Partner aus Deutschland waren in allen Arbeitspaketen vertreten – wesentliche Beiträge der deutschen Partner sind im Folgenden kurz benannt (Details finden sich in den jeweiligen Schlussberichten der Partner):

- AP 1: Survey, Specification, Architecture (Fraunhofer IISB fungierte als AP-Leiter)
Durchführung der Surveys; maßgebliche Entwicklung von HW/SW-Anforderungen und Architekturen für VM, PdM und des IMPROVE-Frameworks; Entwicklung von Modellen und Simulationsumgebungen für ROI Berechnungen.
- AP 2: Virtual Metrology
Entwicklung und Test von VM-Algorithmen in der Fertigungsumgebung von Infineon; Entwicklung eines virtuellen Geräts, um die Modellierung von VM/PdM zu unterstützen; Erfahrungsaustausch und Evaluierung verschiedener Ansätze auf Projektebene.
- AP 3: Predictive Equipment Behaviour
Entwicklung und Test von PdM-Algorithmen in der Fertigungsumgebung von Infineon; Erfahrungsaustausch und Evaluierung verschiedener Ansätze auf Projektebene.
- AP 4: Dynamic Risk Assessment and Control Plan
Entwicklung und Test von PdS-Algorithmen (predictive Sampling) in der Fertigungsumgebung von Infineon; Erfahrungsaustausch und Evaluierung verschiedener Ansätze auf Projektebene.
- AP 5: Software Modelling, Integration in Manufacturing Decision Systems
Umsetzung der Architektur des IMPROVE-Frameworks in einen Software-Demonstrator und Implementierung in IMPROVE-Fabriken (Infineon, ams, Micron).
- AP 6: Equipment Forum (Fraunhofer IISB fungierte als AP-Leiter)
Aufbau einer Datenbank mit Anforderungen an Geräte; Aufbau und Etablierung des Equipment Forums zum formlosen Austausch auch mit Nicht-Projektpartnern; Interesse der beteiligten Partner, das Forum auch über IMPROVE hinaus zu nutzen.

Infineon hatte für den größten Teil der IMPROVE-Laufzeit die Leitung des „Executive Board“ inne und forcierte dort wesentlich die länderübergreifende Zusammenarbeit.

1.4 Einschätzung der wirtschaftlichen Auswirkungen

Die in IMPROVE erzielten technischen Fortschritte resultieren in einem wirtschaftlichen Nutzen für alle beteiligten Partner. Für die beteiligten **Halbleiterfertiger** haben die kooperativen Aktivitäten in IMPROVE zu einer Entwicklung von Lösungsansätzen im Sinne einer **fortschrittlichen Fertigungsstrategie** geführt, die auch in den jeweiligen Fertigungen evaluiert wurden. Die Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten IC-Hersteller im Hinblick auf eine effiziente Fertigung konnte auf diese Weise auch im Vergleich zur asiatischen Konkurrenz entscheidend verbessert werden.

Dies gilt insbesondere auch deshalb, weil die Umsetzung derartiger, fortschrittlicher Hardware- und Softwarelösungen der **Expertise entsprechender Lösungsanbieter** bedarf, welche ebenfalls Teil des IMPROVE Konsortiums waren. Diese profitieren im Gegenzug von den im Rahmen einer bedarfsgerechten Lösungsentwicklung gewonnenen Erfahrungen und den dadurch bestehenden Kontakten, was ihnen potentiell erhöhte Marktanteile und wirtschaftliche Sicherheit einbringt.

IMPROVE Teilnehmer aus dem akademischen Bereich können ihre gestärkte Expertise zukünftig einerseits bedarfsgerecht und nachfrageorientiert in die eigene Forschung und in weitere Kooperationen mit Industriepartnern einbringen. Andererseits können sie basierend auf den IMPROVE-Themen eine bedarfsorientierte Fachkräfteausbildung unterstützen.

Ein weiterer, wesentlicher Nutzen für alle Partner erwächst ferner aus dem innerhalb von IMPROVE gewachsenen Vertrauensgewinn durch die kooperative Herangehensweise und die gemeinsame Entwicklung von Lösungsansätzen. Dies eröffnet die Perspektive für zielführende weitere Kooperationen.

Kapitel 2 – ENIAC Schlussbericht

Als Schlussbericht des oben bezeichneten Vorhabens wird nach Nr. 82 NKBF 98 / Nr. 3.2 BNBEST BMBF 98 der ENIAC Schlussbericht⁴ gemeinsam mit dem vorliegenden Dokument vorgelegt. Dieses Dokument ergänzt den ENIAC Schlussbericht mit einem Erfolgskontrollbericht und entsprechenden Berichtsblättern. Für eine darüber hinausgehende Darstellung wird in diesen beiden Kapiteln ggf. gezielt auf einzelne Abschnitte des ENIAC Schlussbericht verwiesen.

⁴ Hinweis: Im Gegensatz zum vorliegenden deutschen Schlussbericht ist der ENIAC Schlussbericht als „confidential“ gekennzeichnet und nicht zur Veröffentlichung bestimmt!

Kapitel 3 – Erfolgskontrollbericht

3.1 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Das vorliegende Projekt adressierte das in der zweiten Ausschreibung der europäischen Technologieinitiative ENIAC (ENIAC-2009-1) ausgeschriebene Thema/ Unterprogramm „SP8 - Equipment & Materials for Nanoelectronics“ im Bereich moderner Fertigungslinien und „Manufacturing Science“. Entsprechend der Zielstellung dieses Förderprogramms waren die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im IMPROVE-Projekt darauf ausgerichtet, die **Produktivität der europäischen Halbleiterindustrie** zu steigern, um ihre globale Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten und auszubauen. Den identifizierten Schlüsselherausforderungen, die insbesondere in der fortlaufenden Kostenverringerung pro Funktionseinheit, der weiteren Verringerung der Durchlaufzeit von Produkten, der Verbesserung der Reproduzierbarkeit von Prozessen, der Erhöhung der Effizienz von Fertigungsanlagen und der gleichzeitigen Reduzierung der Umweltbelastung bestehen, wurde dementsprechend mit der **Entwicklung fortschrittlicher Fertigungsmethoden** begegnet.

So stellt IMPROVE im Ergebnis **Methoden und Werkzeuge zur besseren Kontrolle der Prozessschwankungen, Verringerung der Durchlaufzeit und Erhöhung der Effizienz der Fertigungsanlagen** bereit, die entsprechend der Forderungen des Förderprogramms eine Erhöhung der Effizienz von Halbleiterfirmen ermöglichen. Konkret handelt es sich dabei um Spezifikationen und Lösungen, d.h. Modelle und Algorithmen für folgende drei Entwicklungsfelder: (1) Virtuelle Messtechnik zur Gewinnung von Produktparametern aus ohnehin vorhandenen Anlagen- und/oder Prozessdaten um separate Messschritte einzusparen. (2) Vorhersage des Verhaltens von Fertigungsanlagen durch die Auswertung von Anlagenparametern um Wartungsintervalle, Anlagenzuverlässigkeit und Betriebszeit zu optimieren. (3) Dynamische Risikobewertung und dynamische Ablaufplanung, um während der Produktion die Risikobewertung für Fehler laufend anzupassen und dementsprechend automatisch den Ablaufplan zu optimieren.

In Übereinstimmung mit den im Förderprogramm formulierten Ansprüchen gehen die genannten Entwicklungen dabei aus einer **engen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern und industriellen Entwicklern** aus den Bereichen der Geräte- und Softwareentwicklung sowie der IC-Herstellung hervor und wurden auch kooperativ auf verschiedenen Fertigungsanlagen implementiert und evaluiert. Der in der Ausschreibung geforderte Ansatz zur Bündelung von Expertisen unterschiedlicher Wissensträger und zur Ausnutzung von Synergien innerhalb eines Interessenclusters wurde dementsprechend in IMPROVE gezielt verfolgt. Die im Rahmen des Projekts entwickelte gute Vertrauensbasis zwischen den einzelnen Partnern bildete die Grundlage für eine intensive vertikale und horizontale Zusammenarbeit, die sich insbesondere in einem **intensiven Wissenstransfer und Datenaustausch** manifestierte.

3.2 Wissenschaftlich-technisches Ergebnis des Vorhabens

Eine wesentliche technische Herausforderung für die deutsche Halbleiterindustrie stellt die **Bewältigung der Anforderungen im Bereich der More-than-Moore-Fertigung** dar, wo deutsche Firmen eine hohe globale Marktrelevanz besitzen. Die kostengünstige Produktion hochqualitativer, nanoskaliger Bauelemente setzt dabei eine **hohe Flexibilität der Fertigung im Hinblick auf Heterogenität und die Bewältigung eines großen Produktmixes** voraus. Das Erreichen einer effizienten More-than-Moore-Fertigung erfordert daher den

Übergang von statischen zu dynamischen, wechselwirkenden Kontrollsystemen und den Einsatz neuer Kontrollmethoden in der Halbleiterfertigung, um den gesteigerten Anforderungen hinsichtlich Geräteausnutzung, Verlässlichkeit, Verfügbarkeit und Prozesskontrolle sowie (zeitlich) optimierter Produktionskontrolle gerecht zu werden.

Die kritische Masse von Vertretern der entsprechenden Branche in IMPROVE ermöglichte es erstmals, diese neuen Kontrollverfahren zu entwickeln und eine Software-Framework-Umgebung zu schaffen, um diese Verfahren in unterschiedlichen Fertigungsumgebungen und damit generisch breit zu entwickeln. Zu den hier entwickelten, die Fertigungseffizienz steigernden Verfahren zählen Virtual Metrology (VM), Predictive Maintenance (PdM), Adaptive Control Plan (ACP), ein Virtuelles Equipment (VE) und ein RoI-Kalkulator. Die Entwicklungen selbst, deren Ergebnisse und die Resultate des erfolgten Assessments der Methoden im realen Fertigungsprozess werden in den folgenden Unterkapiteln näher spezifiziert.

Für InReCon war die in IMPROVE realisierte europaweite Zusammenarbeit mit Hauptakteuren der Halbleiterbranche im Sinne eines gegenseitigen „Gebens und Nehmens“ ein wesentlicher Faktor, der für die Entwicklung der neuen Technologien erst führen konnte. Das Feedback von wichtigen Herstellern mikroelektronischer Schaltkreise hat es erst möglich gemacht, die im Projekt entwickelten Modelle zu einer einigermaßen realistischen Beschreibung der ökonomischen Effekte zu entwickeln.

3.2.1 Entwicklung und Validierung von Modellen zur Bewertung der Investition in VM/PdM

In enger Zusammenarbeit mit Fraunhofer IISB wurde ein Modell entwickelt, mit dem die ökonomischen Effekte der Einführung von Virtual Metrology und Predictive Maintenance berechnet werden kann. Die Berechnung der einzelnen Effekte wurde mit den beteiligten Herstellern von mikroelektronischen Schaltkreisen durchgesprochen. Wichtiges Feedback kam vor allem von Infineon Regensburg und Infineon Dresden. Eine klare Unterscheidung zwischen „Scrap Wafer“ (=verworfenen Scheiben) und Ausbeuteverlusten wurde vor allem auf Anregung von ST Microelectronics eingeführt. Die bei der Einführung solcher Technologie anfallenden Kosten wurden vor allem mit Infineon Regensburg definiert. Das Modell wurde in Excel erstellt und nutzerfreundlich in mehrere Eingabeblätter, Berechnungsblätter und Ergebnisblätter gegliedert. Da die meisten Inputdaten vertrauliche Firmeninformationen sind, wurden für die allgemeine Berechnung bereits veröffentlichte Fabrikdaten von Sematech benutzt.

Das Modell erlaubt die Berechnung von Amortisationszeit sowie „Return on Investment“ pro Jahr sowie den Kapitalbarwert einer Investition in Virtual Metrology und/oder Predictive Maintenance an bestimmten, durch den Nutzer des Modells zu bestimmenden Familien von Prozessgeräten. Es erlaubt auch eine Variation der Eingabeparameter und dadurch eine Sensitivitätsanalyse.

Aufbauend auf eine FMEA, die Fraunhofer IISB mit Infineon Regensburg und FHWN mit austria microsystems durchgeführt hatten, wurde das Modell dahingehend erweitert, dass den möglichen zusätzlichen Erlösen bzw. geringeren Kosten der mögliche Schaden gegenübergestellt wurde, wenn bestimmte Fehler eintreten sollten. Dabei wurden nur die in den beiden FMEA als möglichst wahrscheinliche oder potenziell schädlichste Fehlerursachen berücksichtigt. Das so erweiterte Modell erlaubt somit auch eine Risikoabwägung vor der Entscheidung, die neuen Technologien einzuführen.

Die Modell einschließlich Anwendungserläuterungen wurden den IC Herstellern unter den Projektpartnern zur weiteren Nutzung übergeben und die Nutzung erläutert.

3.3 Fortschreibung des Verwertungsplans

IMPROVE ermöglichte den fab-übergreifenden Austausch von Daten, Erfahrung und Wissen auf breiter europäischer Ebene. Basierend darauf konnte gemeinsam mit den Partnern ein **neuer Stand der Technik in Bezug auf „Manufacturing Science“** erarbeitet und definiert werden, welcher nicht zuletzt auf der 12. Europäischen APCM Konferenz 2012 in Grenoble in breitem Rahmen öffentlich präsentiert wurde. Das Potential der in IMPROVE entwickelten Lösungen geht folglich weit über die ursprünglichen Ziele des Vorhabens hinaus. Daher sollen zunächst einige allgemeine Erfolgsaussichten des Vorhabens nach Projektende thematisiert werden, bevor in den folgenden Unterkapiteln auf die Fortschreibung und Verwertung der konkreten Ergebnisse in den einzelnen Arbeitsgebieten eingegangen wird.

Wie oben bereits angesprochen, reagiert IMPROVE auf die hohen Anforderungen an die deutsche IC-Industrie hinsichtlich neuer Prozessentwicklungen, Produkt-Diversität, Produkt-Mix, Fertigung mit kleinen Losgrößen und Prototypenfertigung mit der Bereitstellung von Lösungsansätzen für den Umgang mit Produkt- und Technologiemix, heterogenen Los- und Losgrößen, Festlegung von Prioritäten innerhalb der Produktion (z.B. für Wartung, Neu- und Weiterentwicklungen, Prozessänderungen, Prototypen-Implementierung, etc.) und effiziente Qualitätskontrolle. **Die in IMPROVE entwickelten Lösungsansätze, mit denen sich diesen Herausforderungen begegnen lässt, sind unabhängig von der Scheibengröße und können somit sowohl in bestehenden Fertigungen eingesetzt als auch im Rahmen zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten berücksichtigt werden.** Diese Methoden ermöglichen einen Übergang von einer reaktiven zu einer vorausschauenden Fertigungsstrategie und führen damit zu einer Effizienzsteigerung in der Produktion. Letztere ist angesichts steigender Kosten für Arbeit, Energie und Rohstoffe für deutsche Unternehmen der Halbleiterwertschöpfungskette im Hinblick auf den Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit und den Erhalt bzw. den Ausbau der Arbeitsplätze zwingend erforderlich. Die zeitnahe Umsetzung der Erkenntnisse aus IMPROVE auf Fabrikebene ist daher notwendig und das artikuliert Ziel des möglichen Nachfolgeprojekts INTEGRATE⁵, welches explizit von dem in IMPROVE aufgebauten Vertrauensverhältnis zwischen den Partnern profitieren kann. Dabei bleibt anzumerken, dass sich die in IMPROVE erzielten Erkenntnisse nicht ausschließlich auf die Halbleiterfertigung beziehen. Ansatzpunkte für darüberhinausgehende Applikationen wurden ebenfalls identifiziert, so dass Erkenntnisse aus IMPROVE durchaus auch zur **Effizienzsteigerung der Fertigung heimischer Unternehmen anderer Branchen** beitragen können.

3.3.1 Entwicklung und Validierung von Modellen zur Bewertung der Investition in VM/PdM

Das Basismodell sowie das erweiterte Modell (einschließlich Schadensberechnung) wurden den Projektpartnern und anderen interessierten Parteien auf mehreren einschlägigen Konferenzen vorgestellt. Die Modelle erhielten ein sehr positives Echo. Die InReCon Consulting GmbH will dieses Werkzeug nutzen, um IC Hersteller vor der Einführung von Virtual Metrology und/oder Predictive Maintenance Technologien zu beraten. Das Modell steht den Projektpartnern als Freeware zur Verfügung. InReCon

⁵ Eingereicht im Rahmen der Ausschreibung der europäischen Technologieinitiative ENIAC (ENIAC-2012-1), Kapitel 8 „Equipment, Materials and Manufacturing“.

glaubt aber, dass vor allem bei der ersten Nutzung eine Begleitung durch einen Berater sinnvoll ist, um die hinter dem Modell stehende Methodik und die Ergebnisse zu verstehen. InReCon kann sich auch vorstellen, das generische Modell den besonderen Ansprüchen einzelner Kunden anzupassen und damit zu einem firmenspezifischen Berechnungsmodell zu machen.

3.3.2 Identifizierte Risiken und deren Bewertung

Das wesentliche Risiko hinsichtlich der weiteren Verwertung der in IMPROVE erzielten Ergebnisse besteht in einer zögerlichen Umsetzung der Ergebnisse. Viele der im projekt erarbeiteten Modelle für Virtual Metrology und Predictive Maintenance stehen noch am Anfang und müssen robuster werden. Sollte diese Weiterentwicklung noch lange dauern, kann das Berechnungsmodell für die wirtschaftliche Bewertung in Vergessenheit geraten.

3.4 Arbeiten, die zu keiner Lösung geführt haben

Keine.

3.5 Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Keine.

3.6 Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung

3.6.1 Ausgabenplanung

InReCon blieb deutlich unter den geplanten Kosten. Durch die Wirtschaftskrise 2008/2009 war das Unternehmen gezwungen, sich deutlich zu verkleinern und konnte damit die Testung von Schnittstellen nicht mehr durchführen. Durch den Einsatz eines sehr erfahrenen Mitarbeiters konnten außerdem die Ziele in begrenzter Zeit erreicht werden.

3.6.2 Zeitplanung

Die ursprünglich geplante Projektdauer von 36 Monaten wurde auf deutscher Ebene um drei Monate auf eine Gesamtprojektlaufzeit von 39 Monaten verlängert. Auf europäischer Ebene wurde das Projekt bei einem drei Monate früheren Projektstart insgesamt um sechs Monate verlängert, um einen gemeinsamen Projektabschluss auf deutscher sowie auf europäischer Ebene zu gewährleisten.

Anhang

Anhang A - Liste der deutschen Projektpartner in IMPROVE

Name (Kurzbezeichnung)	Art	Ansprechpartner
Camline (Camline)	KMU	Josef Bichlmeier Tel: 08137 935 211 Email: josef.bichlmeier@camline.com
Friedrich-Alexander- Universität Erlangen-Nürnberg (FAPS)	Universität/ Labor	Markus Michl Tel: 09131 8528755 Email: michl@faps.uni-erlangen.de
Fraunhofer Gesellschaft e.V. (Fraunhofer)	Institut	Dr. Martin Schellenberger Tel: 09131 761 222 Email: martin.schellenberger@iisb.fraunhofer.de
Infineon Dresden (IFDD)	Großunternehmen	Stefan Jank Tel: 0351 886 2540 Email: stefan.jank@infineon.com
Infineon Regensburg (IFX)	Großunternehmen	Raimund Förg Tel: 0941 202 3810 Email: raimund.foerg@infineon.com
InReCon AG (InReCon)	KMU	Dr. Alfred Honold Tel: 0941 280 88820 Email: alfred.honold@inrecon.de
iSyst Intelligente Systeme GmbH (ISYST)	KMU	Prof. Hans Rauch Tel: 0911 37665 210 Email: hans.rauch@isyst.de
Universität Augsburg (U. Augsburg)	Universität/ Labor	Prof. Dr. Alexander Knapp Tel: 0821 5982180 Email: knapp@informatik.uni-augsburg.de

Anhang B - Liste der Veröffentlichungen während des Vorhabens

M. Koitzsch, A. Honold, „Evaluation of economic effects as the basis for assessing the investment into Virtual Metrology,“ ISMI Manufacturing Week 2010, AEC/APC Symposium, Austin, USA, 2010

M. Koitzsch, A. Honold, “Evaluation of economic effects as the basis for assessing Virtual Metrology Investment,“ in: FUTURE FAB International, vol. 37, pp. 89-92, Mai 2011

M. Koitzsch, A. Honold, G. Kleineidam, H. Noll, A. Nemecek, H. Lebrecht, J. Merhof, M. Michl, „Implementing Virtual Metrology into Semiconductor Production Processes – An Investment Assessment,“ in: Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, Phoenix, USA, 2011

M. Koitzsch, A. Honold, H. Noll, A. Nemecek, “A Calculation Model for the Economic Effects of Implementing Predictive Maintenance Algorithms into Semiconductor Fabrication Lines,“ APC Conference XXIV, Michigan, USA, 2012

M. Koitzsch, A. Honold, H. Noll, A. Nemecek, “Analysis of Risks and Related Damages Due to the Implementation of Virtual Metrology Algorithms into Semiconductor Fabrication Lines,“ APC Conference XXIV, Michigan, USA, 2012

Anhang C - Schutzrechtsanmeldungen und Erfindungen

Im Rahmen des IMPROVE-Projekts wurden Seitens InReCon keine Schutzrechtsanmeldungen durchgeführt.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN geplant	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel IMPROVE - Implementing Manufacturing science solutions to increase equiPment pROductiVity and fab pErformance Teilvorhaben: Definition von Anforderungen an hochproduktive Fertigungssysteme und Erprobung neuer Testmethoden und –werkzeuge zur Qualifizierung von Fertigungslösungen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr. Honold, Alfred	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juni 2012
	6. Veröffentlichungsdatum geplant
	7. Form der Publikation -
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) <i>Angabe der Namen und Adressen der Institutionen, die das Vorhaben durchgeführt haben</i> InReCon AG Von-Henle-Ring 44 93161 Sinzing Inzwischen firmierend als: InReCon Consulting GmbH Gräfinstr. 1 89551 Königsbronn	9. Ber. Nr. Durchführende Institution <i>Ggf. Angabe der internen, von der durchführenden Institution vergebenen Berichtsnummer</i> ---
	10. Förderkennzeichen ^b 13N10420 (ENIAC: JTI Contract Number: 12005)
	11. Seitenzahl 16
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 5
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 2
16. Zusätzliche Angaben ---	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) ---	
18. Kurzfassung 18.1. Derzeitiger Stand von Wissenschaft und Technik Die wesentlichen Herausforderungen für herstellende Unternehmen der Halbleiterindustrie bestehen in	

- der Zunahme nicht-produktiver Zeit in der Fertigung durch langwierige Messschritte, Rezeptqualifikation und Ausfallzeiten der Geräte;
- dem Bedarf an wesentlich verbesserter Gerätezuverlässigkeit, -verfügbarkeit und -auslastung;
- den zunehmenden Fertigungsschwankungen wegen der steigenden Zahl von Prozessschritten pro Fertigungsgerät (und umgekehrt).

18.2. Begründung/Zielsetzung der Untersuchung

Projektziel: Entwicklung von Lösungsansätzen unter dem Oberbegriff der „Manufacturing Science“ für die unter 18.1. genannten Herausforderungen, mit dem Ziel der nachhaltigen Stärkung der globalen Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Unternehmen.

18.3. Methode

Kooperative Herangehensweise im Rahmen eines ENIAC-Verbundprojekts zur Abdeckung eines breiten Forschungs- und Anwendungsbereichs auf den Gebieten der virtuellen Messtechnik, vorausschauenden Wartung und anpassungsfähigen Produktionsplänen.

Vorgehen: Evaluierung der entwickelten Lösungsansätze und Modelle anhand realer Prozessdaten in den Linien verschiedener Hersteller; Beteiligung von InReCon an der Entwicklung von Bewertungsmethoden zur Abschätzung der ökonomischen Effekte der Lösungen.

18.4. Ergebnis

Entwicklung generischer Lösungen mit einem hohen Innovationsgrad für die unter 18.3. genannten Schwerpunktthemen und Nachweis von deren Praxistauglichkeit und wirtschaftlichem Nutzen:

- Entwicklung einer gemeinsamen Infrastruktur und eines fabrikweiten Kommunikationssystems (das sog. „IMPROVE-Framework“)
- Entwicklung von virtueller Messtechnik,
- Entwicklung von Modellen für die Vorhersage des Equipment-Verhaltens
- Simulationsgestützte Untersuchung, Bewertung und Anpassung von Produktionsplänen
- Aufbau eines Equipment Forums

18.5. Schlussfolgerung/Anwendungsmöglichkeiten

- Erzielen eines wirtschaftlichen Nutzens für alle beteiligten Partner
- Schaffung einer Vertrauensgrundlage für potentielle weitere, zielführende Kooperationen der beteiligten Projektpartner
- Identifikation von Ansatzpunkten für über die Halbleiterfertigung hinausgehende Applikationen der entwickelten Lösungsansätze → Ermöglichen von Effizienzsteigerung der Fertigung heimischer Unternehmen anderer Branchen
- Gestärkte fachliche Expertise von InReCon → Einsatz in zukünftigen Beratungen und Dienstleistungen für Industrieunternehmen bei innovativen Neuentwicklungen möglich.

19. Schlagwörter

Halbleiterfertigung, Manufacturing Science, virtuelle Messtechnik (VM), vorausschauende Wartung (PdM), anpassungsfähige Produktionspläne, Modellbildung und Simulation

20. Verlag

21. Preis

Document Control Sheet (englische Version des Berichtsblattes)

1. ISBN or ISSN planned	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title IMPROVE - Implementing Manufacturing science solutions to increase equiPment pROductiVity and fab pErformance Sub-project: Definition of requirements for highly productive manufacturing systems and assessment of new test methods and test tools for the qualification of manufacturing solutions	
4. author(s) (family name, first name(s)) Dr. Honold, Alfred	5. end of project June 2012
	6. publication date planned
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address) InReCon AG Von-Henle-Ring 44 93161 Sinzing Meanwhile incorporated as: InReCon Consulting GmbH Gräfinstr. 1 89551 Königsbronn	9. originator's report no.
	10. reference no. 13N10420 (ENIAC: JTI Contract Number: 12005)
	11. no. of pages 16
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 5
	14. no. of tables
	15. no. of figures 2
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	

18. abstract

18.1. State-of-the-Art

At present, semiconductor manufacturing companies are faced with the following key challenges:

- Increase of non-productive manufacturing time owing to time consuming measurement Steps, recipe qualification and equipment downtime;
- Increased requirements concerning equipment reliability, operational availability and utilization;
- Increased manufacturing fluctuations due to increased amount of processing steps per process equipment (and vice versa).

18.2. Motive and objective of the studies

Aim of the project: Development of solutions and approaches that are consolidated by the generic term “Manufacturing Science” and that are suitable of facing the key challenges named in section 18.1., thus targeting at sustainably strengthening the global competitiveness of the involved parties.

18.3. Method

Cooperative approach within the frame of an ENIAC joint undertaking project in order to cover a broad range of research and development activities and various application fields with respect to virtual metrology (VM), predictive maintenance (PdM) and adaptive control plan (ACP).

Approach: Development of solutions and models in combination with their subsequent evaluation on the basis of real process data obtained in manufacturing lines of various producers; involvement of InReCon in the development of assessment methods for the calculation of the economic effects of the obtained technical solutions.

18.4. Results

Development of generic solutions of high degree of innovation for the main topics mentioned by section 18.3 and proof of their industrial applicability and economic benefit:

- Development of common architectures and a fab-wide framework (called „IMPROVE-Framework“)
- Development of virtual metrology
- Development of models in order to predict equipment behaviour
- Simulation-based examination, evaluation and adaption of production schedules and control plans
- Establishment of an equipment forum

18.5. Conclusions and possible applications

- Achievement of economic benefit for all partners
- Creation of trust and fostering a sense of community in IMPROVE are the basis for expedient collaborations of the project partners, which are potentially realized in the future
- Identification of starting points for further application of the developed solution approaches, thus exceeding exclusive application in semiconductor manufacturing → Enabling the increase of manufacturing efficiency for regional companies belonging to other industrial branches
- Strengthened subject-specific expertise of InReCon → Application in future consulting and service contracts with industrial clients possible at innovative developments

19. keywords

Semiconductor manufacturing, Manufacturing Science, Virtual Metrology (VM), Predictive Maintenance (PdM), Adaptive Control Plan (ACP), modeling and simulation

20. publisher

21. price