Zuverlässigkeitsoptimierung von Pumpensystemen in der chemischen Industrie

Vorstellung eines Verfahrens zur Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose

2. Jahrestagung

Maintenance in der chemischen Industrie

11. – 12. April 2011, Pullman Berlin Schweizerhof

Dipl.-Kffr. Britta Kohlmann

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik
Abteilung Instandhaltungslogistik

Fraunhofer IML

Agenda

- Das Fraunhofer IML und die Abteilung Instandhaltungslogistik
- Das Forschungsprojekt ReMain
  - Ausgangssituation und Zielstellung
  - Lösungsweg
  - Projektpartner
  - Förderung
- Verfahren zur Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose
  - Zielstellung und Entwicklungsansatz
  - Ergebnisse der Programmierung
  - Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem
  - Nutzen des Verfahrens

© Fraunhofer IML

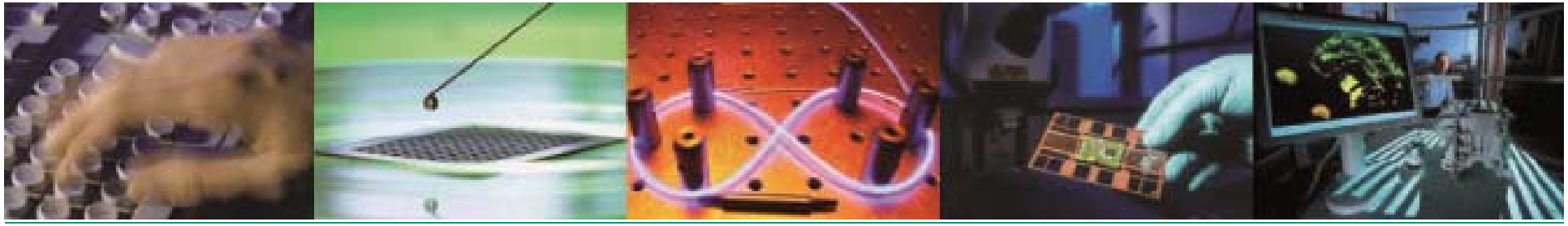
Agenda

- Das Fraunhofer IML und die Abteilung Instandhaltungslogistik
- Das Forschungsprojekt ReMain
  - Ausgangssituation und Zielstellung
  - Lösungsweg
  - Projektpartner
  - Förderung
- Verfahren zur Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose
  - Zielstellung und Entwicklungsansatz
  - Ergebnisse der Programmierung
  - Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem
  - Nutzen des Verfahrens

© Fraunhofer IML

Die Fraunhofer-Gesellschaft
Daten und Fakten

- Mehr als 80 Forschungseinrichtungen, davon 60 Fraunhofer-Institute
- 18 000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung
- 1,6 Milliarden Euro Forschungsvolumen jährlich,
  davon 1,3 Mrd € im Leistungsbereich Vertragsforschung
  - 2/3 dieses Leistungsbereichs werden mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten erwirtschaftet
  - 1/3 wird von Bund und Ländern als Grundfinanzierung beigesteuert
- Internationale Niederlassungen sorgen für Kontakt zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen



© Fraunhofer IML

Fraunhofer
IML

DAS FRAUNHOFER IML, Dortmund

Das Fraunhofer IML
Daten und Fakten

- Gegründet 1981
- 190 Wissenschaftler/-innen
- 200 Studententische Mitarbeiter/-innen
- 19 Mio. € Umsatz, davon 50% Aufträge aus der Wirtschaft
- Außenstellen und Projektzentren in
  Cottbus, Frankfurt am Main, Hamburg, Prien / Chiemsee
- Kooperationen mit HSG St. Gallen (Schweiz), Georgia Tech (USA),
  Lissabon (Portugal), Shanghai (China), Rio de Janeiro (Brasilien)

© Fraunhofer IML

Fraunhofer IML

Das Fraunhofer IML
Die Fachbereiche

BEREICH MATERIALFLUSSSYSTEME

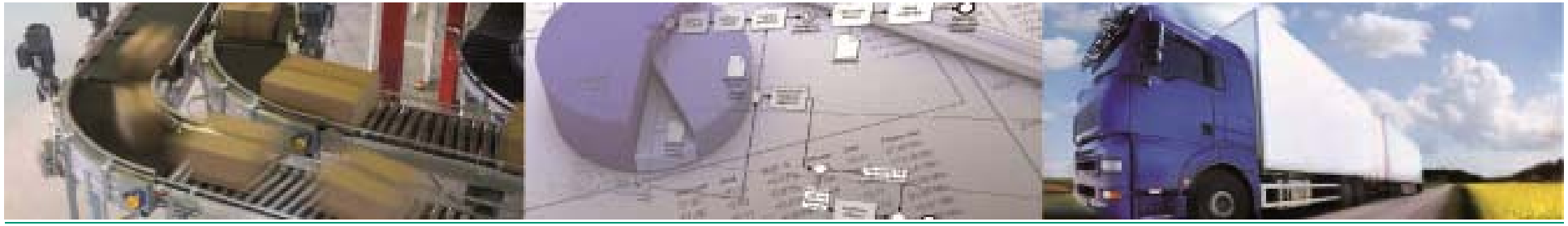
Qualitätsmanagement und Organisationssysteme,
Intralogistik- und -IT Planung,
Autonome Transportsysteme,
Maschinen und Anlagen,
Verpackungs- und Handelslogistik,
Software Engineering

BEREICH UNTERNEHMENSLOGISTIK

Unternehmensplanung,
Supply Chain Engineering,
Produktionslogistik,
Instandhaltungslogistik,
Unternehmensentwicklung
International

BEREICH LOGISTIK, VERKEHR UND UMWELT

Umwelt und Ressourcenlogistik,
Verkehrslogistik,
Health Care Logistics,
Projektzentrum Flughafen,
Projektzentrum Verkehr, Mobilität und Umwelt,
Center für Maritime Logistik und Dienstleistungen



© Fraunhofer IML

Fraunhofer IML

Das Fraunhofer IML
Die Abteilung Instandhaltungslogistik

VERBESSERUNG DER PROZESSE IN DER INSTANDHALTUNG

Auswahl von Instandhaltungs-strategien

Risikobasierte Instandhaltung

TPM

Diagnose- und Prognoseverfahren

VERBESSERUNG DER PROZESSE IM ERSATZTEILWESEN

Strategien für Beschaffung, Disposition, Lagerhaltung

Zentrale und dezentrale Lagerhaltung

Barcode und RFID

E-Commerce

FABRIK- UND LAGERPLANUNG

Materialfluss- und Layoutentwicklung

Automatisierungs-konzepte

Feinplanung und Realisierungsbegleitung

Ausschreibung Gebäude, Lager- und Fördertechnik

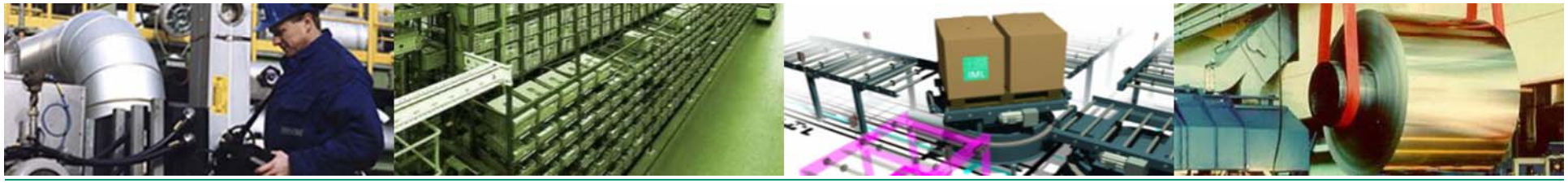
FREMDVERGABE VON DIENSTLEISTUNGEN

Identifikation relevanter Prozesse und Kennzahlen

Ausschreibung und Angebotsbewertung

Vertragsgestaltung

Realisierungsbegleitung



© Fraunhofer IML

Fraunhofer IML

Agenda

- Das Fraunhofer IML und die Abteilung Instandhaltungslogistik
- Das Forschungsprojekt ReMain
  - Ausgangssituation und Zielstellung
  - Lösungsweg
  - Projektpartner
  - Förderung
- Verfahren zur Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose
  - Zielstellung und Entwicklungsansatz
  - Ergebnisse der Programmierung
  - Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem
  - Nutzen des Verfahrens

© Fraunhofer IML

Das Forschungsprojekt ReMain
Ausgangssituation und Zielstellung

Ausgangssituation

- Pumpensysteme sind die treibende Kraft in vielen Prozessanlagen der Industrie
- Der Ausfall einer Pumpe kann den Stillstand der gesamten Anlage zur Folge haben
- Die Aufwendungen für die ungeplante Instandhaltung verursachen hohe Kosten

Zielstellung

- Zuverlässige Zustandsdiagnose und Ableitung restlebensdauerbezogener Betriebs- und Instandhaltungsstrategien
  - ⇨ Optimierung der Betriebsweise
  - ⇨ Optimierung der Instandhaltung

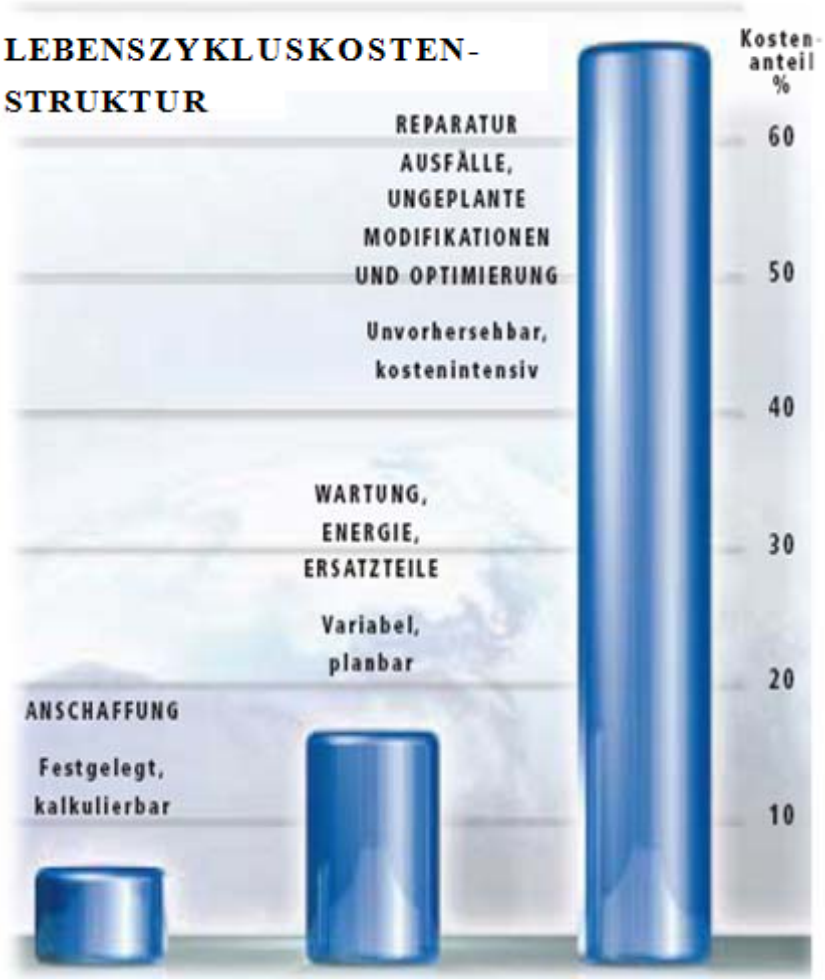


Abbildung: Prof. H. Schuler, BASF AG, VDMA-Pumpenanwenderforum 2004

© Fraunhofer IML

Das Forschungsprojekt ReMain
Lösungsweg

Phase 1

Systematische Bestandsaufnahme
und Vorbereitung der Versuche

Phase 2

Datenerfassung und Begleitung der Instandhaltung an 100 Pumpen

Laborversuche

Validierung mit Archivdaten

Diagnose-/ Prognosemodelle

Kombination der Modelle zu Verfahren

Phase 3

Validierung der Verfahren im laufenden Betrieb

Optimierung der Instandhaltung

Phase 4

Fertigstellung Abschlussbericht

© Fraunhofer IML

Fraunhofer IML

Das Forschungsprojekt ReMain
Projektpartner

KSB
Hersteller von Pumpen: Wissenslieferant zu Konstruktion, Anwendungsgebieten und Diagnose von Pumpen

Infracor
Instandhalter von 15.000 Pumpensystemen im Industriepark Marl: Wissenslieferant zum Thema Instandhaltung

Evonik Stockhausen
Betreiber im Industriepark Marl mit mehr als 7.000 Pumpensystemen: Bereitstellung der Infrastruktur für das Projekt

i-for-t
Hersteller intelligenter Sensoren: Umsetzung neuartiger Merkmale in Sensoren

Q-DAS
Softwarehaus für statistische Qualitätssicherung: Bereitstellung von Methoden zur Entwicklung und Validierung der Modelle aus den Daten

TU Kaiserslautern
Langjährige Forschung an Pumpendiagnose: Wissenschaftliche Begleitung mit Schwerpunkt Durchführung von Laborversuchen

Fraunhofer IML
Langjährige Forschung an nachhaltiger Instandhaltung: Wissenschaftliche Begleitung mit Schwerpunkt Optimierung der Instandhaltung

Siemens
(nicht gefördert)

Hersteller von Automatisierungskomponenten: Bereitstellung von Prozessmesstechnik

© Fraunhofer IML

Das Forschungsprojekt ReMain
Förderung

Das ReMain-Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Weitere Informationen und den Abschlussbericht finden Sie auf der Projekthomepage unter www.remain.server.de.

GEFÖRDERT VOM

Bundesministerium für Bildung und Forschung

BETREUT VOM

Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA)

© Fraunhofer IML

Agenda

- Das Fraunhofer IML und die Abteilung Instandhaltungslogistik
- Das Forschungsprojekt ReMain
  - Ausgangssituation und Zielstellung
  - Lösungsweg
  - Projektpartner
  - Förderung
- Verfahren zur Pumpenüberwachung und Zustandsdiagnose
  - Zielstellung und Entwicklungsansatz
  - Ergebnisse der Programmierung
  - Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem
  - Nutzen des Verfahrens

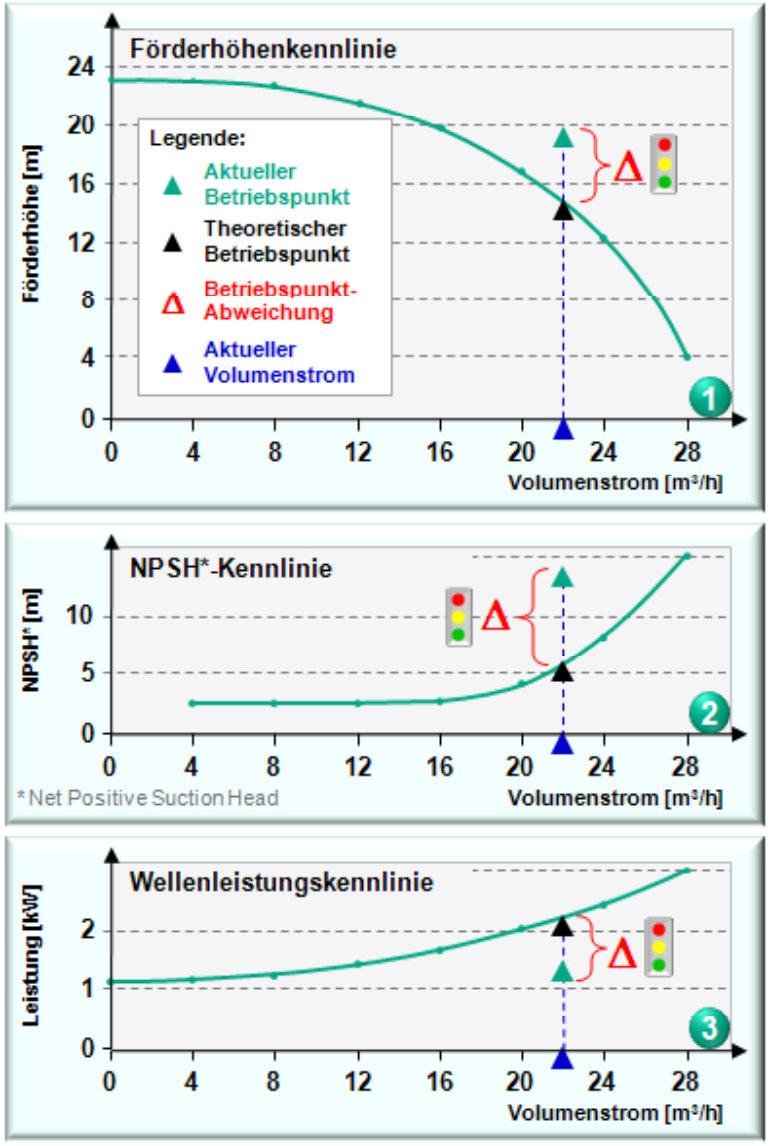
© Fraunhofer IML

Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Zielstellung

- Berechnung der aktuellen Betriebspunkte der Pumpen über die installierte Prozessmesstechnik
- Vergleich der aktuellen Betriebspunkte mit den theoretischen Betriebspunkten über die spezifischen Pumpenkennlinien
- Detektion von Abweichungen zum theoretischen Leistungsspektrum der Pumpen
- Visualisierung der Abweichungen über eine Ampelanimation

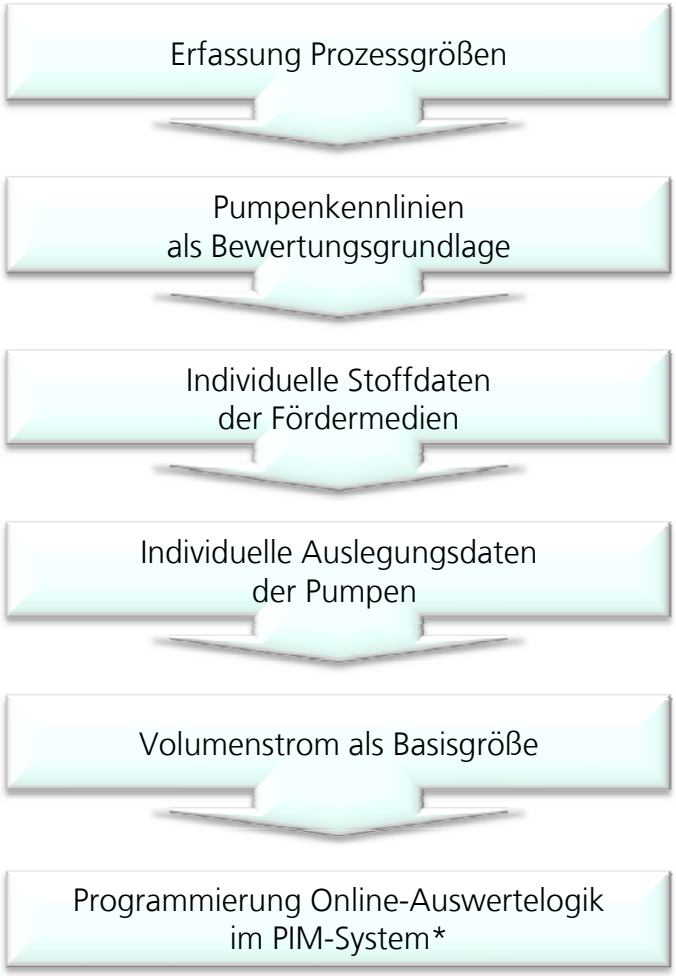
1. Vergleich der aktuellen Förderhöhe mit der theoretischen Förderhöhe
2. Vergleich des aktuellen Abstands vom Siedepunkt des Fördermediums mit dem vom Hersteller geforderten Mindestabstand
3. Vergleich des aktuellen Leistungsbedarfs an der Pumpenwelle mit der theoretischen Wellenleistung



Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Entwicklungsansatz

- Erfassung und Verrechnung der Prozessgrößen
  (Druck Saug-/ Druckseite, Durchfluss- bzw. Fördermenge, Temperatur Fördermedium, Motorwirkleistung)
- Ermittlung der Regressionsgleichungen aus den Pumpenkennlinien
  (Förderhöhen-, NPSH- und Wellenleistungskennlinie)
- Berücksichtigung der individuellen Stoffdaten
  (Dichte, Viskosität und Dampfdruckkurve der Fördermedien)
- Berücksichtigung der Auslegungsdaten
  (Drehzahl, Laufraddurchmesser etc.)
- Berechnung des Volumenstroms als Basisgröße
  (inkl. Mindestmenge und sonst. Förderströme)
- Programmierung einer Online-Auswertelogik im PIM-System* zur Erkennung von Abweichungen



* Prozessinformationsmanagementsystem

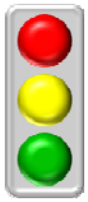
© Fraunhofer IML

Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Ergebnisse der Programmierung

- Zu jeder Pumpe werden acht Informationen visualisiert:
  - Laufmeldung
    (Pumpe ein/aus)
  - Volumenstrom [m³/h]
  - Fördergrad [%]
  - Diff. Förderhöhe [m]
    Förderhöhe [%]
  - Diff. Wellenleistung [kW]
    Wellenleistung [%]
  - Diff. NPSH [m]

Ampelanimation

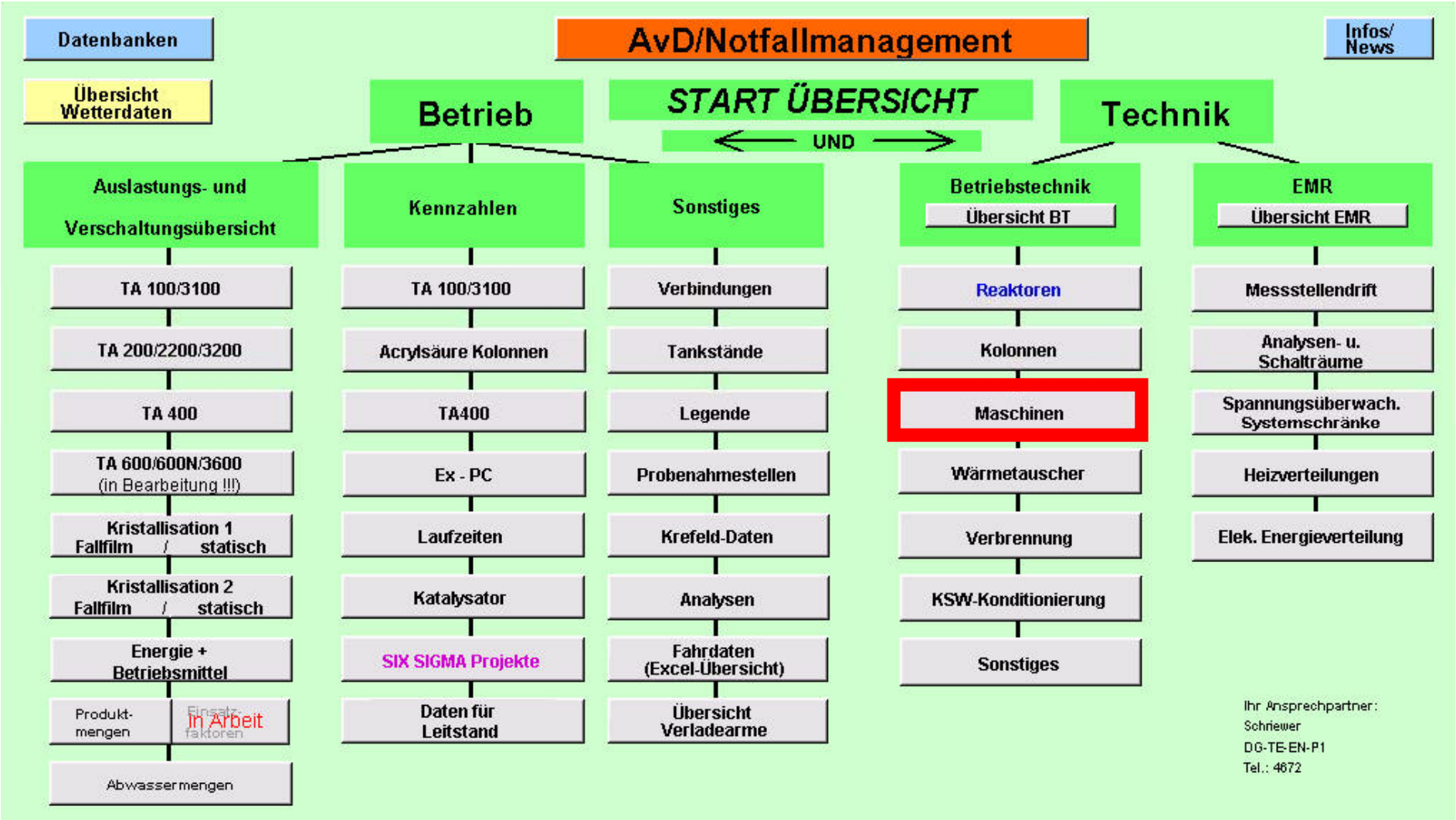


- Rest: Weitere Größen, die im Verfahren verwendet, aber nicht visualisiert werden

Laufmeldung :	1
LaufmeldungR :	0
Temperatur_grdC:	82,00001
Dichte_kg_m3:	963
Druck_Druckseite_bara:	4,47258018302917
Druck_Saugseite_bara:	1,58196728277206
Dampfdruck_bara:	0,554667517006823
Ende_links_m3_h :	34,2679127725857
Ende_rechts_m3_h :	752
Min_Menge_kg_h :	33000
Foerdermenge_kg_h:	412105,692075022
Volumenstrom_m3_h :	427,9394517913
Volumenstrom100proz_m3_h :	581
Foerdergrad_%:	73,6556715647676
DN_Saugseite_mm :	350
DN_Druckseite_mm :	300
Geschw_Saugseite_m_s:	1,2361582731525
Geschw_Druckseite_m_s:	1,6825487606798
dH_Pumpe_m:	30,5981128487695
dH_Stroem_m:	6,64058642090592E-02
dH_Messungen_m:	1
Foerderhoehe_akt_m:	31,6645187129786
Foerderhoehe_Hersteller_m:	31,8364598830055
Foerderhoehe_Differenz_m:	-0,171941170026965
Foerderhoehe_proz:	99,4599237143237
Wirkleistung_akt_kW:	48,91201
Nennleistungmotor_kW:	58
Motorlast_proz :	84,3310454796101
MWGO_proz :	97,1097169361849
MWGU_proz :	59,6254948014184
HPWG_proz :	94,6
Motorwirkungsgrad_proz:	94,6783079328486
Wellenleistung_akt_kW:	46,309060014862
Wellenleistung_Hersteller_kW:	44,3690722850786
Wellenleistung_Differenz_kW:	1,93998772978335
Wellenleistung_proz:	104,372387408325
npsh_vorhanden_m:	10,8743146339669
npsh_benoetigt_m:	2,79107783017159
npsh_Differenz_m:	8,08323680379529

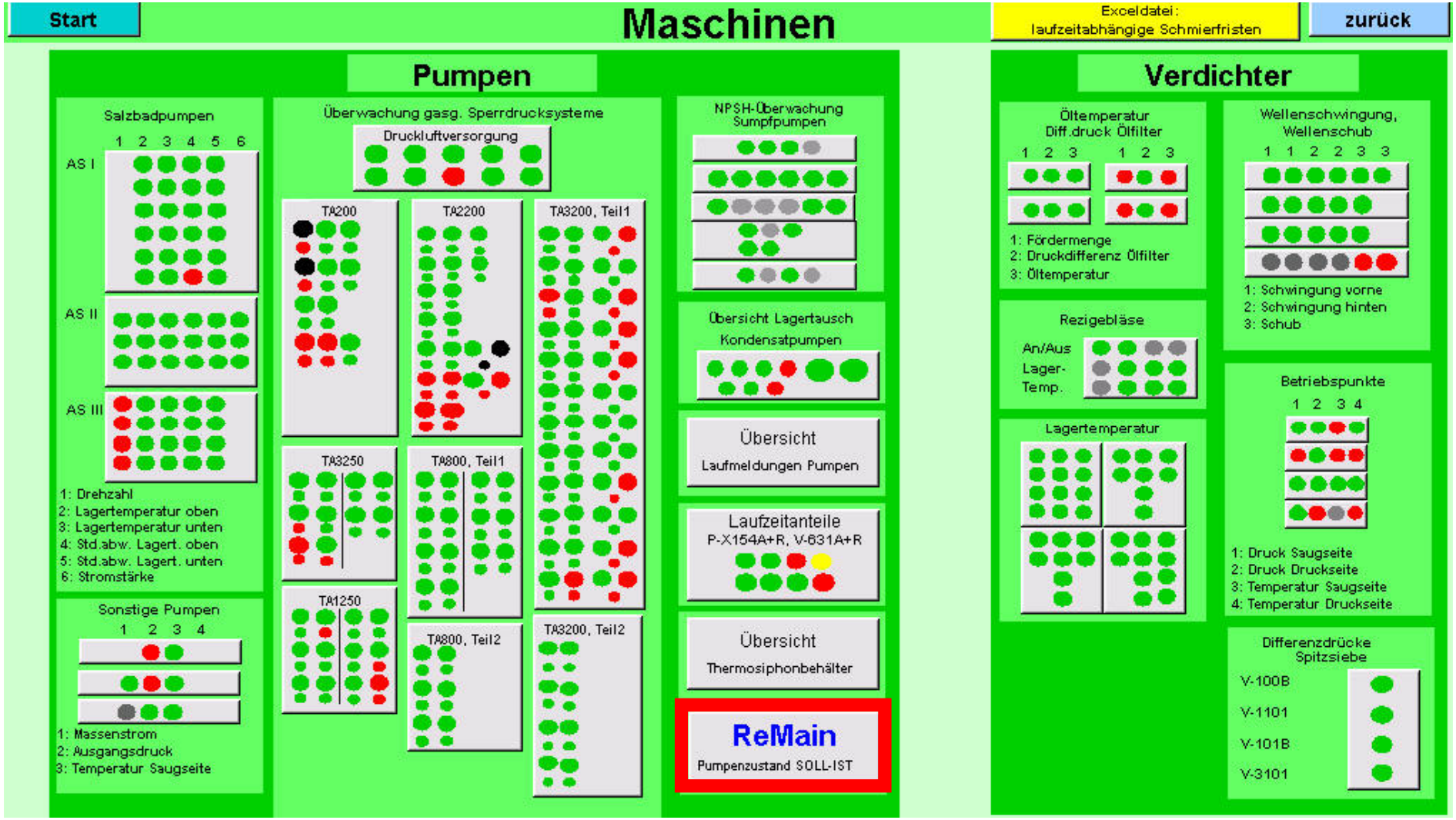
Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem

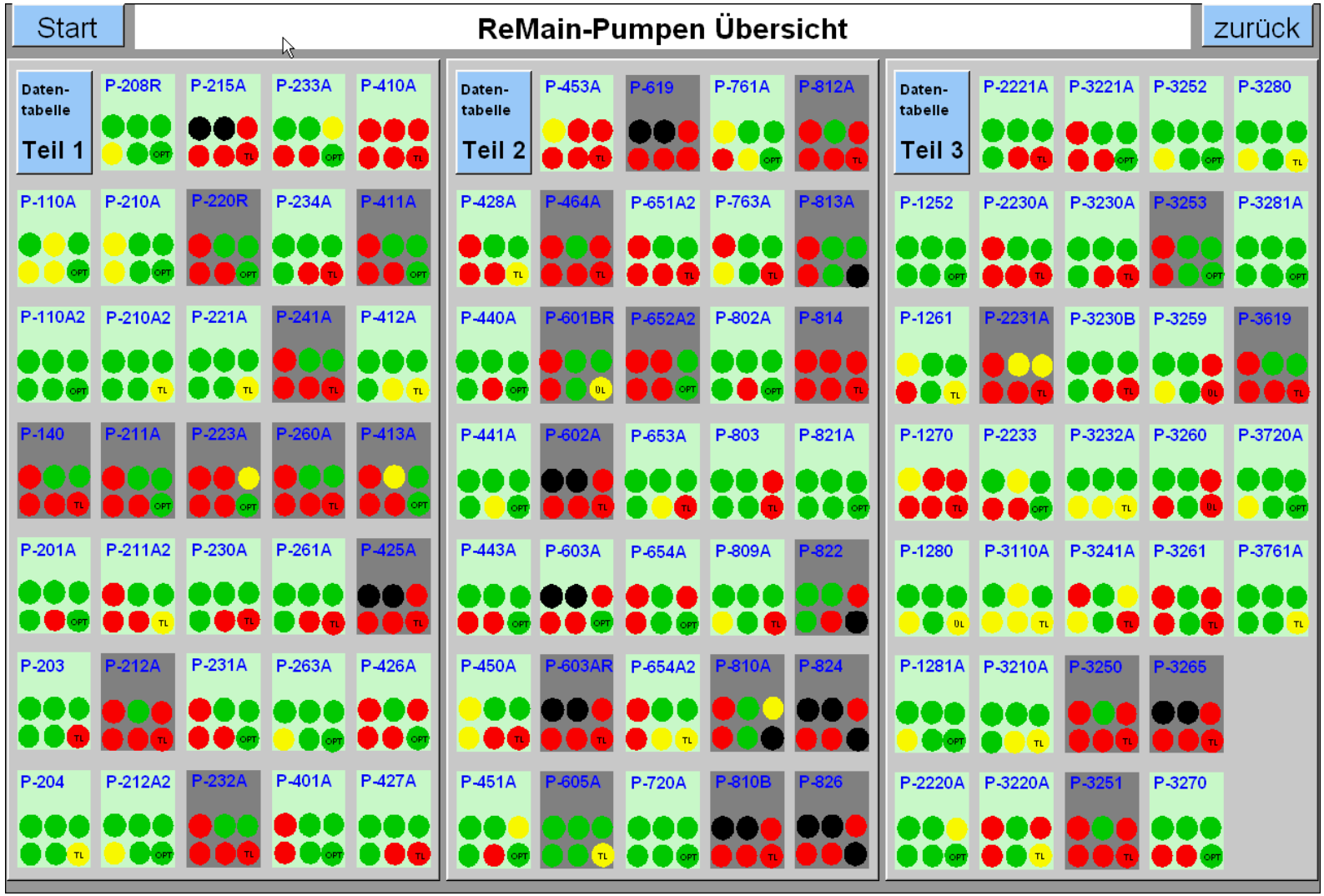


Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem

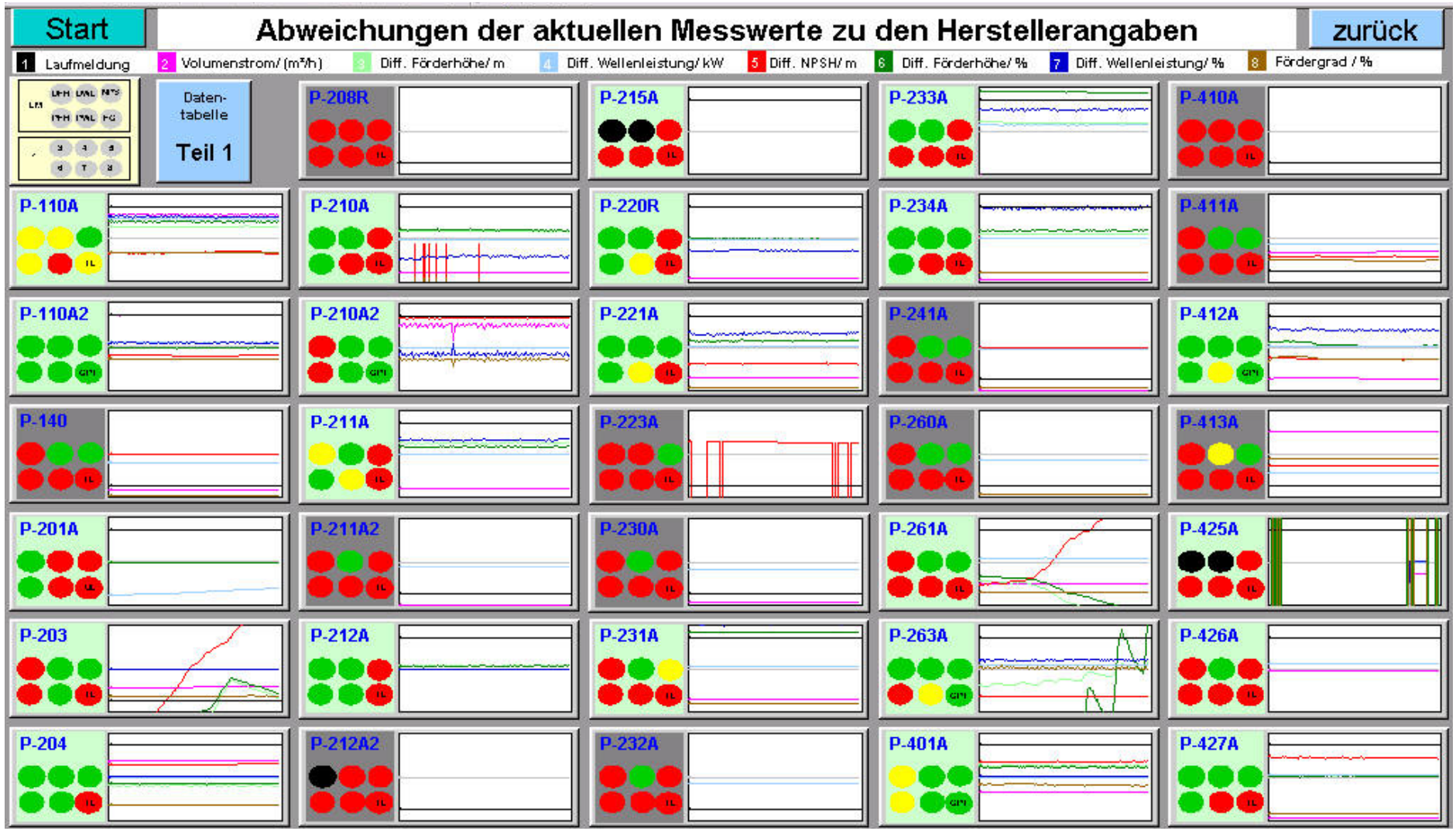


Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem

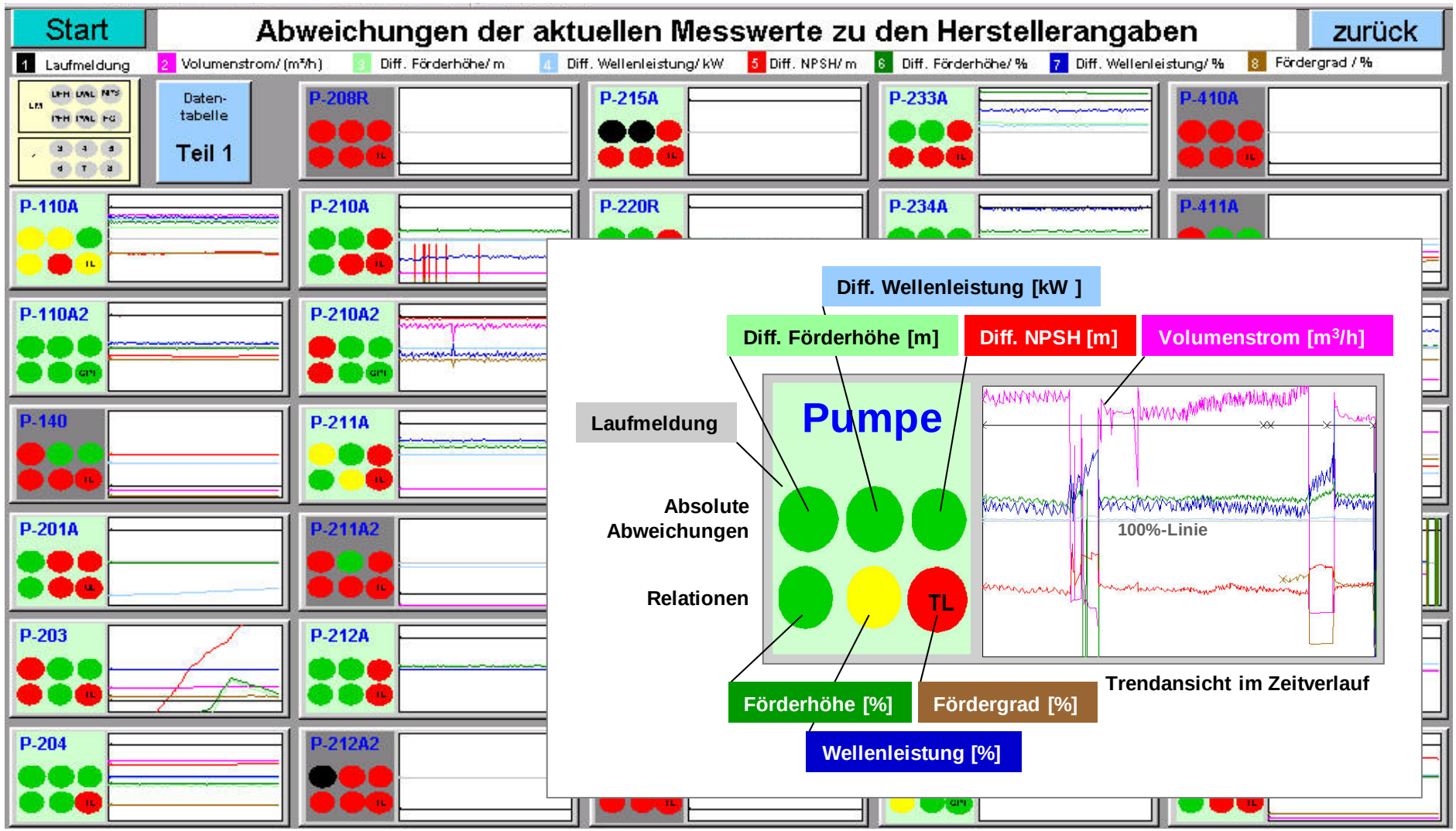


Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem



Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem



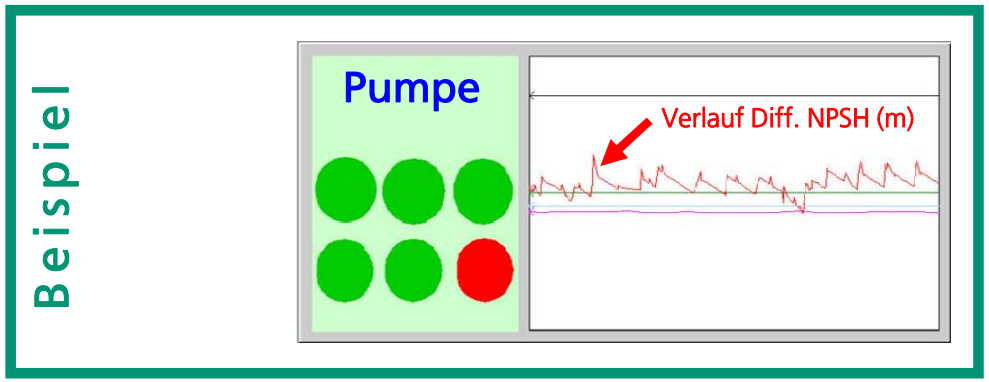
Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

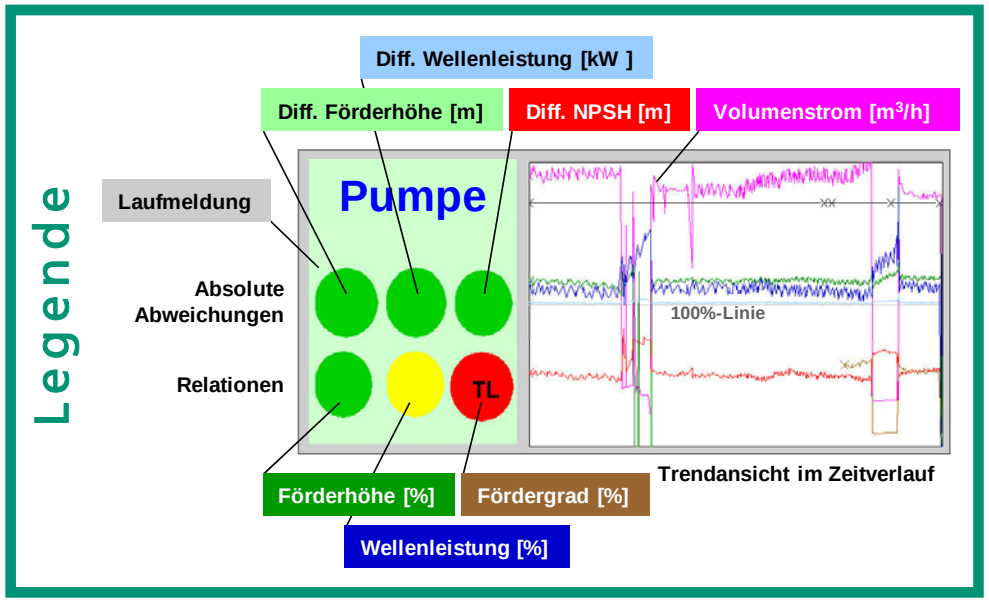
Visualisierung im Prozessinformationsmanagementsystem

Start | **Übersicht ReMain Pumpendaten Teil 1** | zurück

	Laut-meldung	P-Saugseite —		P-Druckseite —		delta P bar	Temperatur °C	Wirkleistung kW	Fördergrad %	Volumen. m³/h	NPSHA m	Diff NPSH m	Diff Förderh. m	Diff Förderh. %	Diff Wellenl. kW	Diff Wellenl. %
P-110A		-0,190	bar	2,868	bar	3,058	19,7	48,1	87,8	374,7	8,2	5,4	4,6	110,8	9,3	125,8
P-110A2		0,564	bar	3,462	bar	2,899	81,6	48,6	72,7	422,3	10,9	8,1	-0,3	99,2	2,0	104,5
P-140		0,021	bar	-0,005	bar	-0,026	20,0	0,0	5,1	2,7	10,9	10,3	-45,7	1,5	-3,6	0,0
P-201A		-0,210	bar	3,382	bar	3,592	18,6	12,0	99,2	125,9	8,3	4,7	-0,0	99,9	-5,9	63,8
P-203		5,211	bar	5,201	bar	-0,010	21,6	3,4	36,0	8,2	60,9	60,2	-47,0	1,9	0,0	100,3
P-204		0,415	bar	4,997	bar	4,582	19,6	6,7	36,8	20,2	13,8	13,1	-3,9	92,0	0,0	100,2
P-208R		0,156	bar	3,505	bar	3,349	26,2	15,5	100,3	124,4	11,9	8,2	4,3	112,1	0,0	100,1
P-210A		-0,083	bar	3,371	bar	3,453	55,4	2,7	-1000,0	3,5	8,9	-992,1	3,2	109,5	-0,6	78,2
P-210A2		0,710	bar	-0,012	bar	-0,722	80,8	4,6	70,2	21,6	16,2	15,8	-41,1	-18,7	-0,2	96,4
P-211A		-0,236	bar	5,840	bar	6,077	12,2	3,9	54,5	7,5	8,2	7,6	6,0	110,4	0,3	111,1
P-211A2		0,723	bar	0,669	bar	-0,053	4,8	0,0	-1000,0	0,5	18,2	-982,8	-61,7	0,7	-2,3	0,0
P-212A		-0,238	bar	3,774	bar	4,013	12,2	10,2	-1000,0	-15,2	8,0	-993,0	2,1	104,4	-0,0	99,5
P-212A2		0,715	bar	0,638	bar	-0,078	4,8	0,0	-1000,0	~	19,4	-981,6	3088692,8	-0,0	-3746,1	0,0
P-215A		0,078	bar	3,319	bar	3,242	18,4	1,6	-1000,0	-1111,0	12,0	-989,0	640190093	216,0	-32656895	0848,0	0,0
P-220R		-0,295	bar	3,256	bar	3,551	51,6	2,7	-1000,0	1,8	7,0	-994,0	-0,6	98,4	-0,4	99,8
P-221A		-0,265	bar	4,095	bar	4,360	37,2	4,5	9,9	5,0	7,6	6,9	4,0	109,7	0,6	110,7
P-225A		-0,075	bar	0,735	bara	0,810	51,6	0,0	-1000,0	0,0	8,9	-992,1	-13,7	-8,3	-22,3	0,0
P-230A		-0,283	bar	-0,254	bar	0,029	51,2	0,0	-1000,0	1,5	7,5	-993,5	-35,8	3,5	-3,5	0,0
P-231A		5,198	bar	7,182	bara	1,985	18,0	5,1	22,0	5,1	60,8	60,1	-39,0	21,4	1,4	150,4
P-232A		-0,055	bar	-0,025	bar	0,030	49,8	0,0	-1000,0	-0,0	9,5	-991,5	-36,1	3,5	-2,7	0,0
P-233A		-0,813	bar	1,427	bara	2,240	49,8	16,5	-1000,0	0,0	1,8	-999,2	4,2	144,9	3,0	125,0
P-234A		0,057	bar	2,577	bar	2,520	~	1,1	23,7	1,3	10,6	10,3	2,3	109,2	0,3	137,5
P-241A		0,040	bar	0,038	bar	-0,003	16,8	0,0	10,6	0,6	10,7	9,9	-28,6	3,3	-0,8	0,0
P-260A		2,987	bar	2,922	bar	-0,065	70,5	0,0	12,1	1,8	39,3	38,9	-34,9	1,0	-2,6	0,0
P-261A		5,208	bar	4,180	bar	-1,028	21,4	5,8	32,0	7,6	60,5	59,7	-61,3	-17,1	1,9	157,6
P-263A		-0,017	bar	1,390	bara	1,408	70,5	21,6	102,6	1012,3	9,3	4,2	-0,3	94,2	1,7	109,2
P-401A		0,267	bar	4,593	bar	4,326	18,4	2,9	74,1	8,9	14,2	13,5	4,3	109,1	0,0	100,2
P-410A		-0,785	bar	-0,130	bar	0,655	99,4	0,0	-1000,0	-1111,0	-3,2	-1004,2	-124,2	7,1	-238,5	0,0
P-411A		-0,243	bar	-0,213	bar	0,030	20,2	0,0	82,0	10,7	7,0	6,1	-38,6	3,5	-2,1	0,0
P-412A		-0,049	bar	3,397	bar	3,446	20,2	2,3	55,9	4,2	8,0	7,6	1,4	104,0	0,3	121,9
P-413A		0,037	bar	0,011	bar	-0,026	99,1	0,0	38,2	22,5	8,4	7,5	-74,4	0,9	-7,9	0,0
P-425A		0,079	bar	3,353	bar	3,273	21,7	2,0	-1000,0	-1111,0	9,6	-991,4	135922246	56,0	-24002275	28,0	0,0
P-426A		0,470	bar	5,333	bar	4,863	20,8	5,3	137,7	13,5	16,3	14,8	29,4	204,4	2,3	197,8
P-427A		0,836	bar	5,225	bar	4,389	3,2	2,8	17,3	1,1	14,4	14,1	0,5	101,4	1,0	173,1

Nutzen des Verfahrens: Anwendungsbeispiel





Schritt 1: Abweichungen erkennen

- Verlauf Diff. NPSH (m): sinkender NPSH-vorhanden-Wert

Schritt 2: Abweichungen interpretieren

Erhöhte Kavitationsgefahr, mögliche Ursachen:

- zugesetzter saugseitiger Filter
- zu niedriger Füllstand im Vorlagebehälter etc.

Schritt 3: Maßnahmen planen und einleiten

- Filterwechsel
- Füllstand im Vorlagebehälter erhöhen etc.

Verfahren zur Überwachung und Diagnose von Kreiselpumpen

Nutzen des Verfahrens: Überwachung, Diagnose und Prognose

Diagnose Betriebszustand	Diagnose Bauteilzustand	Prognose Restlebensdauer
Erkennen, Überwachen und Vermeiden nicht bestimmungsgemäßer Betriebsweisen, z. B. ▪ Unzulässige Kavitation ▪ Teillast/ Überlast ▪ Sonstige Belastungsgrößen (Anzahl Starts/ Stops etc.)	Erkennen des technischen Zustands bestimmter Pumpenbauteile, z. B. ▪ Laufradschäden ▪ Wellendichtungsschäden ▪ Lagerschäden	Prognose der verbleibenden Restlebensdauer der Pumpe aufgrund der historischen Betriebsweise und der Bauteilzustände

Verlängerung der Pumpenlebensdauer

Nutzen des Verfahrens: Zusammenfassung

- Grenzwertüberwachung
  - Alarmsystem über Ampelanimation
- Frühzeitiges Erkennen von nicht bestimmungsgemäßen Betriebsweisen und Fehlzuständen über
  - kontinuierlichen Soll/ Ist-Vergleich: Vergleich der aktuellen Betriebspunkte mit den Herstellerkennlinien (theoretische Betriebspunkte)
- Überwachung und Auswertung von Trendverläufen
  - Überwachung von Belastungskenngrößen im Zeitverlauf und Auswertung von Trendverläufen
- Planung und rechtzeitiges Einleiten von Gegenmaßnahmen
  - Korrektur der nicht bestimmungsgemäßen Betriebsweise und Fehlzustände mithilfe betrieblicher Maßnahmen und Maßnahmen der Instandhaltung
- Schaffung von Transparenz
  - Nachweis darüber, wie die Pumpe betrieben wurde
- Aufbau einer Belastungshistorie
  - Potenzial: Zukünftig können Rückschlüsse auf den Zustand und die Restlebensdauer der Pumpe (Schadensdiagnose und -prognose) gezogen werden

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Kffr. Britta Kohlmann

Fraunhofer-Institut für Materialfluss
und Logistik
Abteilung Instandhaltungslogistik

Fraunhofer
IML