



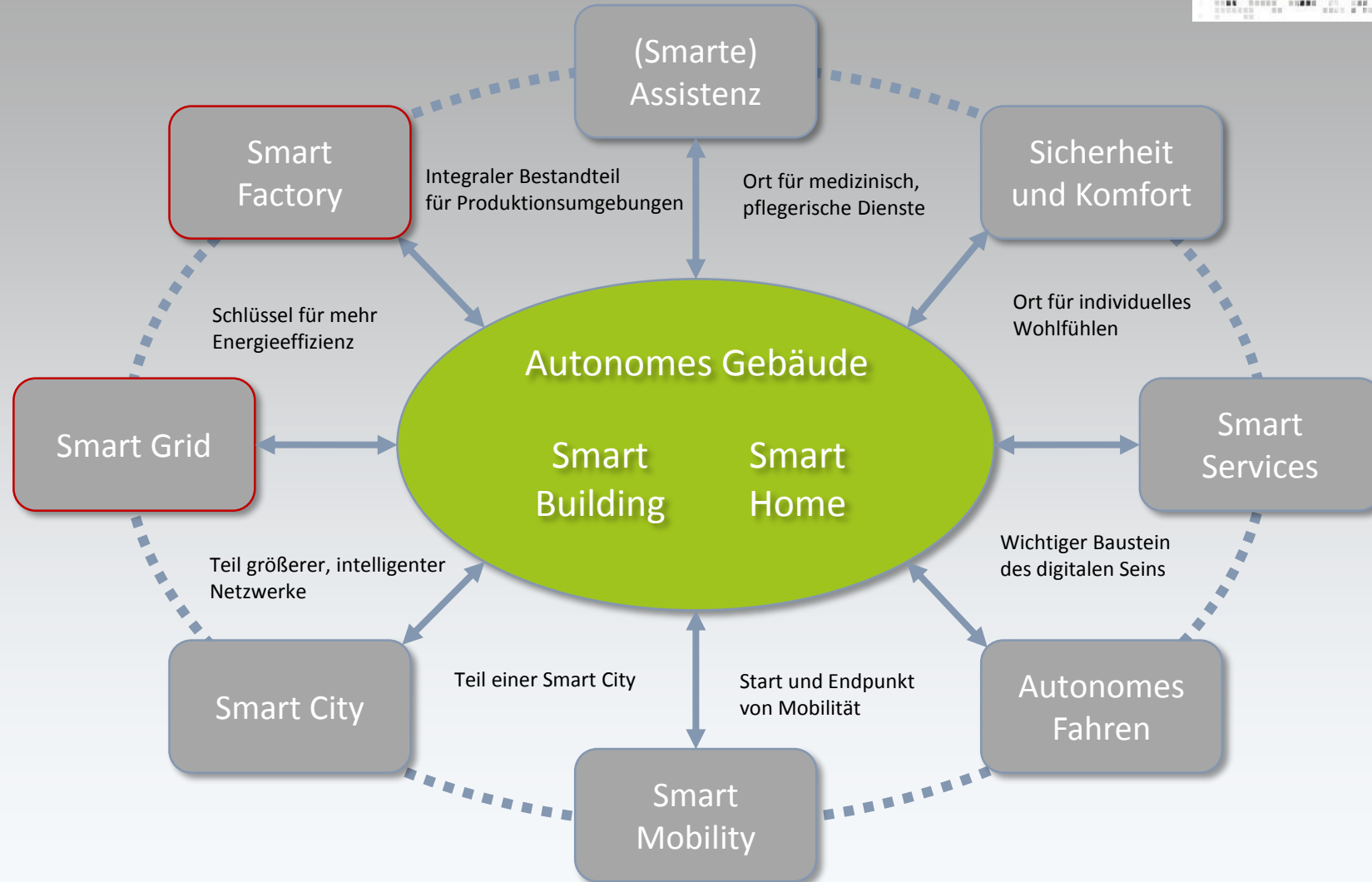
# Autonome (Smarte) Gebäude: Zukünftige Herausforderungen und Chancen

Hilko Hoffmann

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche  
Intelligenz (DFKI) GmbH  
Forschungsbereich Agenten und Simulierte Realität

Campus D3 2  
66123 Saarbrücken  
hilko.hoffmann@dfki.de

# Das autonome Gebäude als zentraler Baustein der digitalen Welt



# Das autonome Gebäude als zentraler Baustein der digitalen Welt



## Autonomes Gebäude als:

- zentraler Baustein bei der **Digitalisierung**
- zentraler Baustein von **Smart Grid**
- wesentlicher Baustein für integrierte Gebäude- **und** Produktionssteuerung (**Smart Factory**)
- Teil einer **Smart City**
- Ausgangs und Endpunkt vernetzter (**smarter**) **Mobilität** und des (**autonomen**) **Fahrens**
- Kernelement bei der **Assistenz und Pflege** der Bewohner
- Ausgangs- und Endpunkt vieler digitaler (**smart**) **Services**
- **User Interface** für viele digitale und/oder hybride Dienste

➤ **der** Ort, in dem viele digitale Dienste und (u.U. autonome) Regelkreise zusammenkommen

# Energieverbrauch Gebäude



- „In der Europäischen Union entfallen **40 Prozent** des Energieverbrauchs auf den Gebäudebestand. Rund 85 Prozent davon für Heizwärme und Warmwasseraufbereitung, 15 Prozent für Strom. Gemeinsam verursachen sie etwa ein Drittel aller CO2-Emissionen.“  
Quelle: ZEIT online: Energiewende – aber richtig  
(<http://www.zeit.de/angebote/zukunftswerkstatt/erdgas/klimaschutzziele/index/seite-2>)
- „Der Trend zu mehr Haushalten, größeren Wohnflächen und weniger Mitgliedern pro Haushalt führt tendenziell zu einem **höheren Verbrauch.**“  
Quelle: Umweltbundesamt 2017 (<http://www.umweltbundesamt.de/daten/private-haushalte-konsum/energieverbrauch-privater-haushalte>)

# Energieverbrauch Gebäude



## Lösungsmöglichkeiten basierend auf Gebäudeautomation

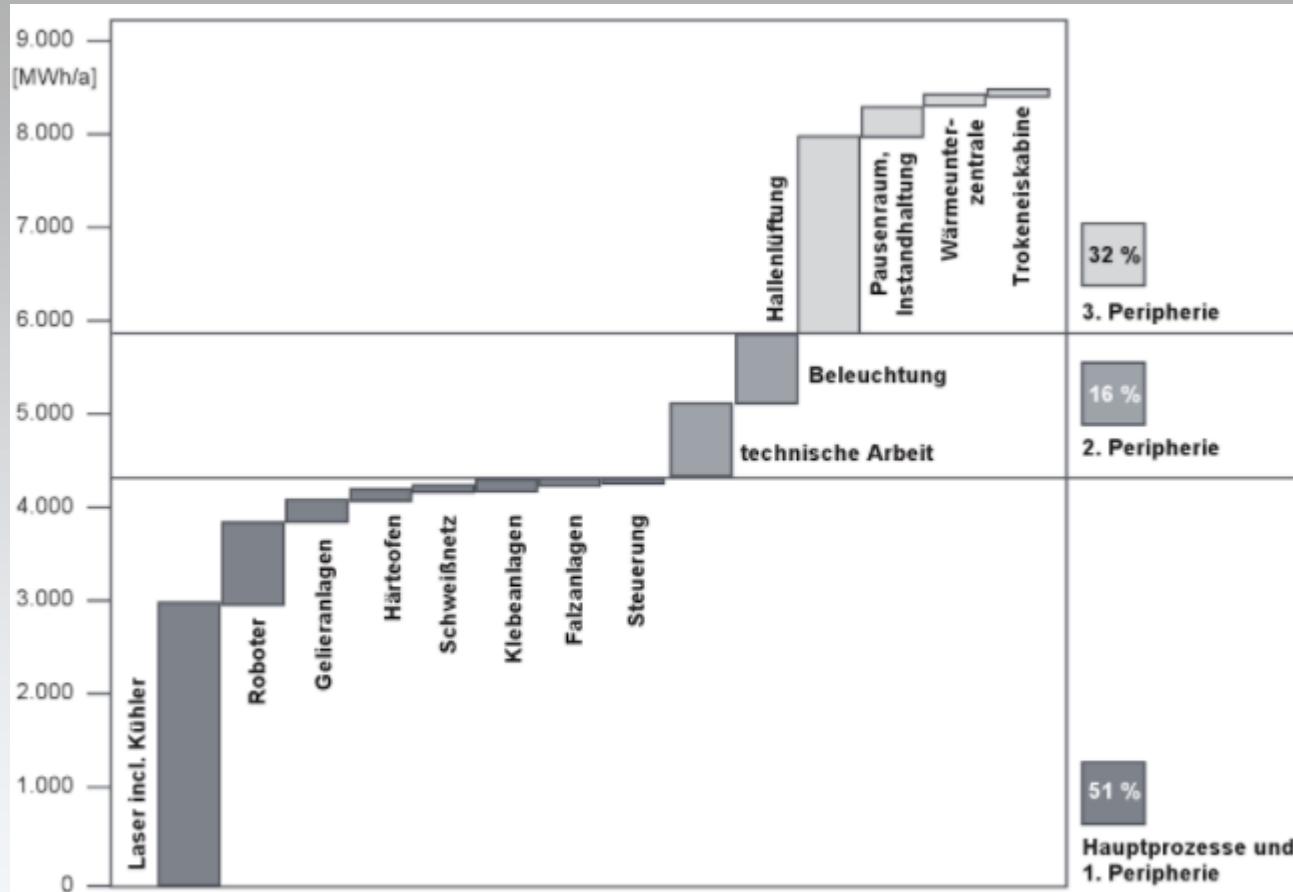
- Gebäude sind maßgebliche Energiesenken und Quellen – hohe Effizienzgewinne sind möglich
- Bessere Steuerung von Energieverbrauch und Erzeugung
- Bessere Nutzung von variablen Energiequellen
- Bei Industriegebäuden Verzahnung von Produktion und Gebäudeautomation

## Aber

- Immer komplexere Zusammenhänge bei der Steuerung
- Kleine Fehlkonfigurationen oder Fehleinschätzungen können immense Folgen haben
- Im Gebäude kommen viele (neue) Einflussfaktoren, Dienste, Anforderungen, etc. zusammen
- Traditionelle Anwendungen kommen an ihre Grenzen durch immer mehr Abhängigkeiten und komplexere Wenn-Dann-Regeln

**-> die Zusammenhänge und Auswirkungen sind vom Menschen kaum mehr durchschaubar**

# Energieverbrauch Gebäude



Gebäudeanteil ~40%

Abb. 8.56 Verbrauchsstrukturanalyse des Karosseriebaus einer Automobilfabrik. (Engelmann 2008)

Quelle: Egon Müller, Jörg Engelmann, Thomas Löffler, Jörg Strauch 2008: Energieeffiziente Fabriken planen und betreiben, Springer

# Smart XX, künstliche Intelligenz, Autonomie



- Smart XX
  - Selbstständiges Ausführen von vordefinierten Vorgängen, scheinbare Intelligenz (heutiges Smart Home, Autopiloten, etc.)
  - Basiert auf festen Regeln, Schwellwerten, etc.
- Künstliche Intelligenz (KI oder AI)
  - „Die Fähigkeit sich Ziele zu setzen, die Umwelt zu erkennen, dies als Wissen zu speichern und auf dieser Basis mit angepassten Mitteln diese Ziele zu erreichen“
  - Feste Regeln werden durch Handlungsvorgaben ersetzt
- Autonomie, autonome Systeme
  - Die Fähigkeit durch Schließen aus zuvor „erlebten“ Situationen auch unbekannte, neue Situationen sinnvoll zu meistern
  - Das maschinelle Lernen steht im Vordergrund

# Künstliche Intelligenz – was ist das eigentlich?



- Eng verwandt mit
  - Verstehen, Abstraktion, Adaptation, Problemlösen, ...
  - Wahrnehmen, Lernen, Wissen, Schließen, Planen, Handeln
  - Bewusstsein, Awareness, Emotion, Logik, Kommunikation, ...
- Mischung aus sehr breitem Raum an Fähigkeiten
  - Logik, Sprache, Emotionen, Raum, ...
- KI-Technologien sind zentral für autonome Systeme – oft werden die Begriffe synonym verwendet



# Künstliche Intelligenz – was ist das eigentlich?



- “Intelligenz” bei Maschinen
- Maschinen (oder digitale Systeme/Dienste) mit „kognitiven“ Fähigkeiten, die wir sonst mit dem Menschen assoziieren - wie etwa „Lernen“ und „Problemlösen“
- Wissenschaft von intelligenten Agenten: „Jegliche Instanz (HW & SW), die ihre Umwelt wahrnehmen und Aktionen ausführen kann, um bestimmte Ziele auf flexiblen, zuvor kaum definierten Handlungspfaden zu erreichen“

# Künstliche Intelligenz – was ist das eigentlich?

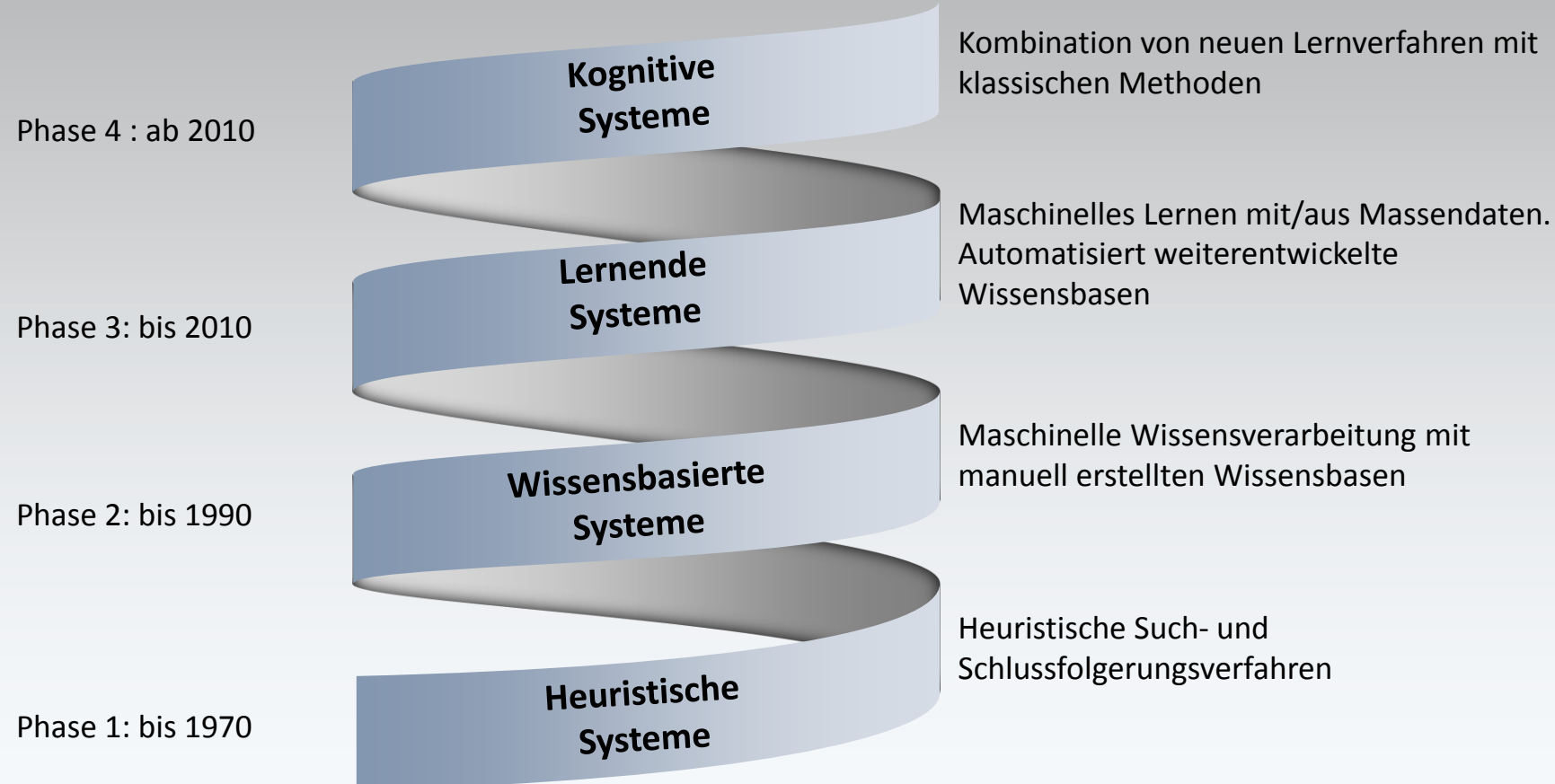


- KI-Technologien
  - Logisches Schließen (regelbasierte Systeme)
    - Verschiedenen Typen von Logik/Algorithmen (Beweistheorie)
    - Aussagenlogik, Higher-Order, Fuzzy, Modal, ...
  - Statistisches Schließen
    - Ableiten von Eigenschaften über Wahrscheinlichkeiten aus Daten
    - Vor allem: Bayessches Schließen
  - Maschinelles Lernen (datengetriebene Verfahren)
    - Lernen und Vorhersagen basierend auf Daten
    - Entscheidungsbäume, Clustering, SVMs, Reinforcement-Learning, ...
  - Deep-Learning (rekursive Mustererkennung)
    - Schichten von gewichteten, non-linearen “Neuronen”
    - Lernen durch “Back-Propagation” von Fehlern im Netzwerk

# Künstliche Intelligenz – was ist das eigentlich?



## Intelligenzgrade und Autonomie

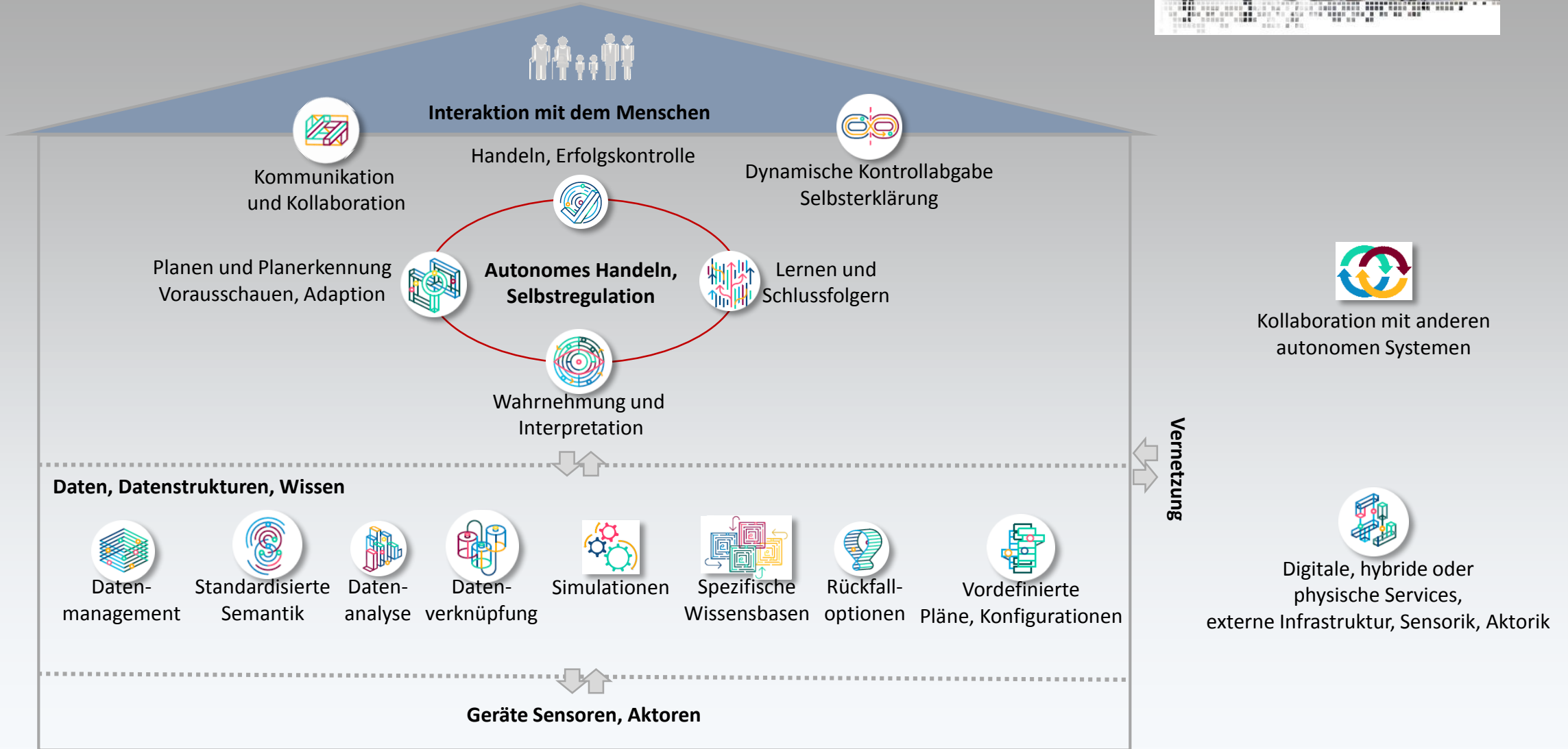


# Kernelemente autonomer Systeme



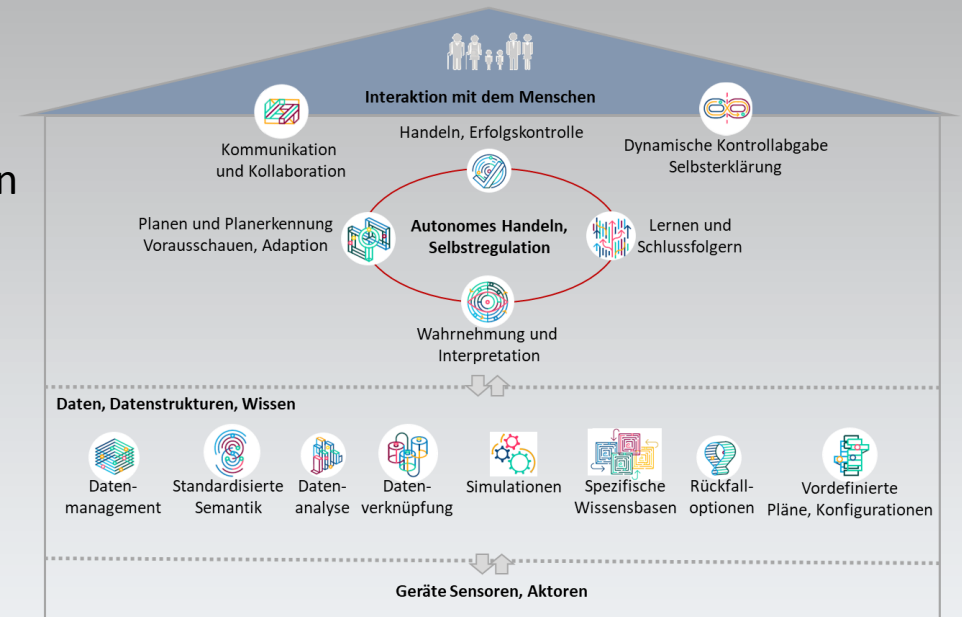
- Wahrnehmen
  - Wie ist die aktuelle (reale und digitale) Situation im und um das Gebäude sowie in den vorhandenen Automationssystemen und Energienetzen?
- Lernen
  - Lerne aus Situationen dazu und adaptiere mit dem neuen Wissen das Handeln
- Wissensrepräsentation
  - Strukturiere, repräsentiere (und kommuniziere) das Modell der Realität (das Wissen)
- Schlussfolgern
  - Ziehe Schlüsse basierend auf dem vorhandenen (gelernten) Wissen und baue daraus in neuen Situationen neue Modelle der Realität
- Planen
  - Untersuche mögliche Handlungsoptionen und treffe die Entscheidung für eine der gefundenen Optionen bzw. gebe die Kontrolle an den Menschen ab, wenn es keinen sinnvollen Handlungsplan gibt
- Handeln
  - Führe den gefundenen Handlungsplan aus

# Kernelemente autonomer Systeme



# Kernaussagen zu autonomen Systemen

- Autonomie und künstliche Intelligenz funktionieren nicht ohne hinreichend viele Daten
- Bisher nebeneinander existierende Datensilos, Anwendungen und Dienste werden zu neuen Anwendungen verknüpft
- Die umfassende Vernetzung ist in den meisten Anwendungsfällen erforderlich
- Maschinelles Lernen ist ein essentielles Element für die Mustererkennung, Modellbildung und Planung
- Mustererkennung (Bsp.: Kindergruppe, Ball, Bus) dient u.a. dem vorausschauenden Planen und Handeln
- Die semantische Beschreibung des Wahrgenommenen ist erforderlich
- Datenschutz und IT-Sicherheit werden immer wichtiger
- Technologien aus dem autonomen Fahren sind nicht ohne weiteres auf Gebäude übertragbar



# Automationsstufen



## Ferngesteuerte Systeme

- Permanente Steuerung und Überwachung durch Menschen
- Schalt- und Regelungsvorgänge werden von Nutzern oder geschlossenen Steuerungen ausgeführt.

## Systeme mit Assistenzfunktion

- Durch Nutzer oder Entwickler konfigurierte Systemsteuerung
- Steuerung erfolgt manuell durch die Nutzer oder zeitgesteuert.

## Teilautomatisierte Systeme

- Können vorgegebene Handlungsabläufe durchführen
- Wenn-Dann-Beziehungen möglich
- Sicherheitskonzepte auf ein Profil begrenzt
- Keine Benutzerrollen definiert

## Teilautonome/Hochautomatisierte Systeme

- Situationspezifisch und zeitlich begrenzte Selbstregulation zur Übernahme von Teilaufgaben in einer Umgebung mit begrenzten Freiheitsgraden
- Kontrollübergabe an Nutzer ggf. in komplexen Situationen notwendig
- Selbstlernend in Teilbereichen

## Autonome Systeme

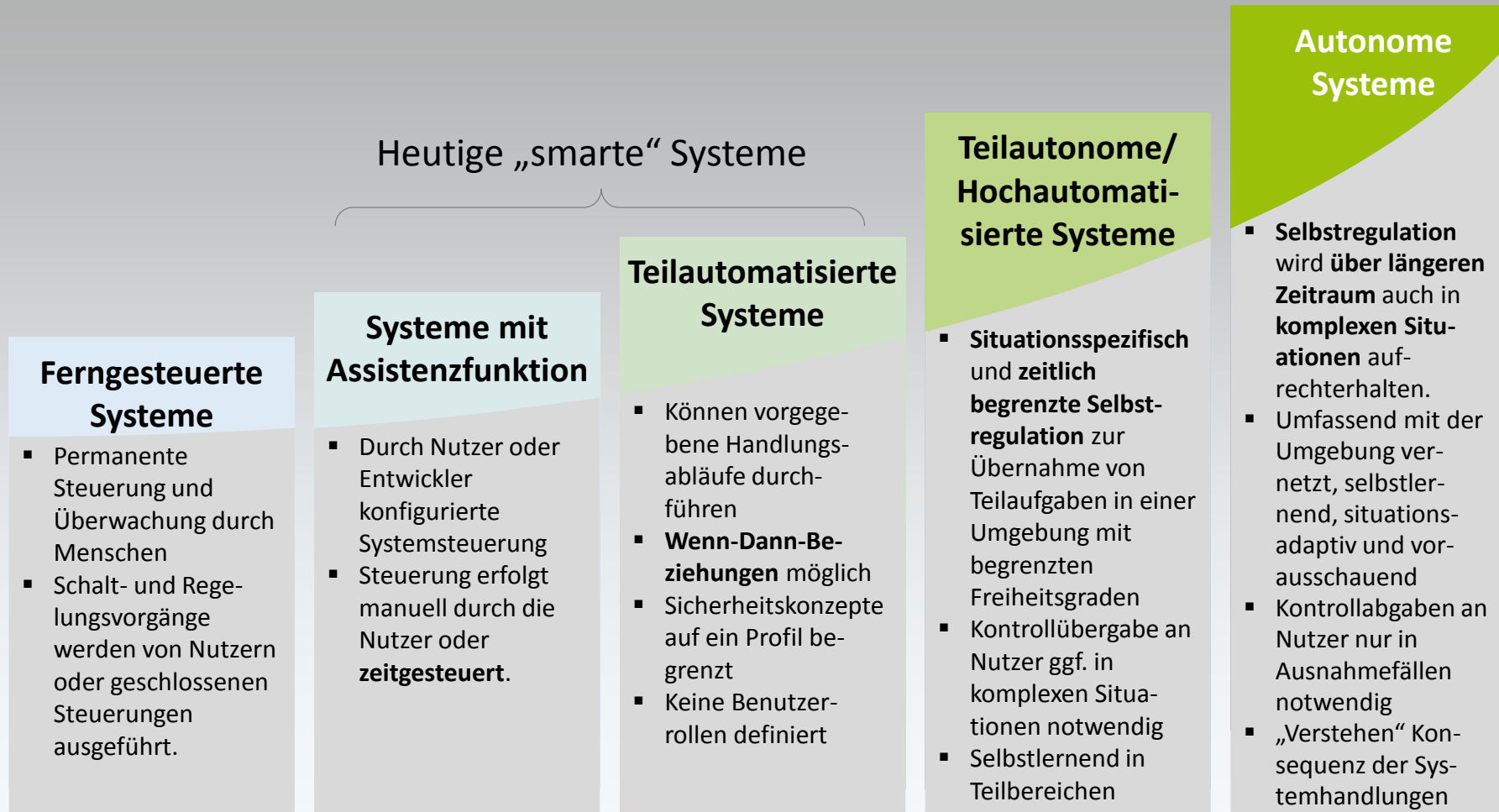
- Selbstregulation wird über längeren Zeitraum auch in komplexen Situationen aufrechterhalten.
- Umfassend mit der Umgebung vernetzt, selbstlernend, situationsadaptiv und vorausschauend
- Kontrollabgaben an Nutzer nur in Ausnahmefällen notwendig
- „Verstehen“ Konsequenz der Systemhandlungen

Quelle: Hightech Forum autonome Systeme

# Automationsstufen



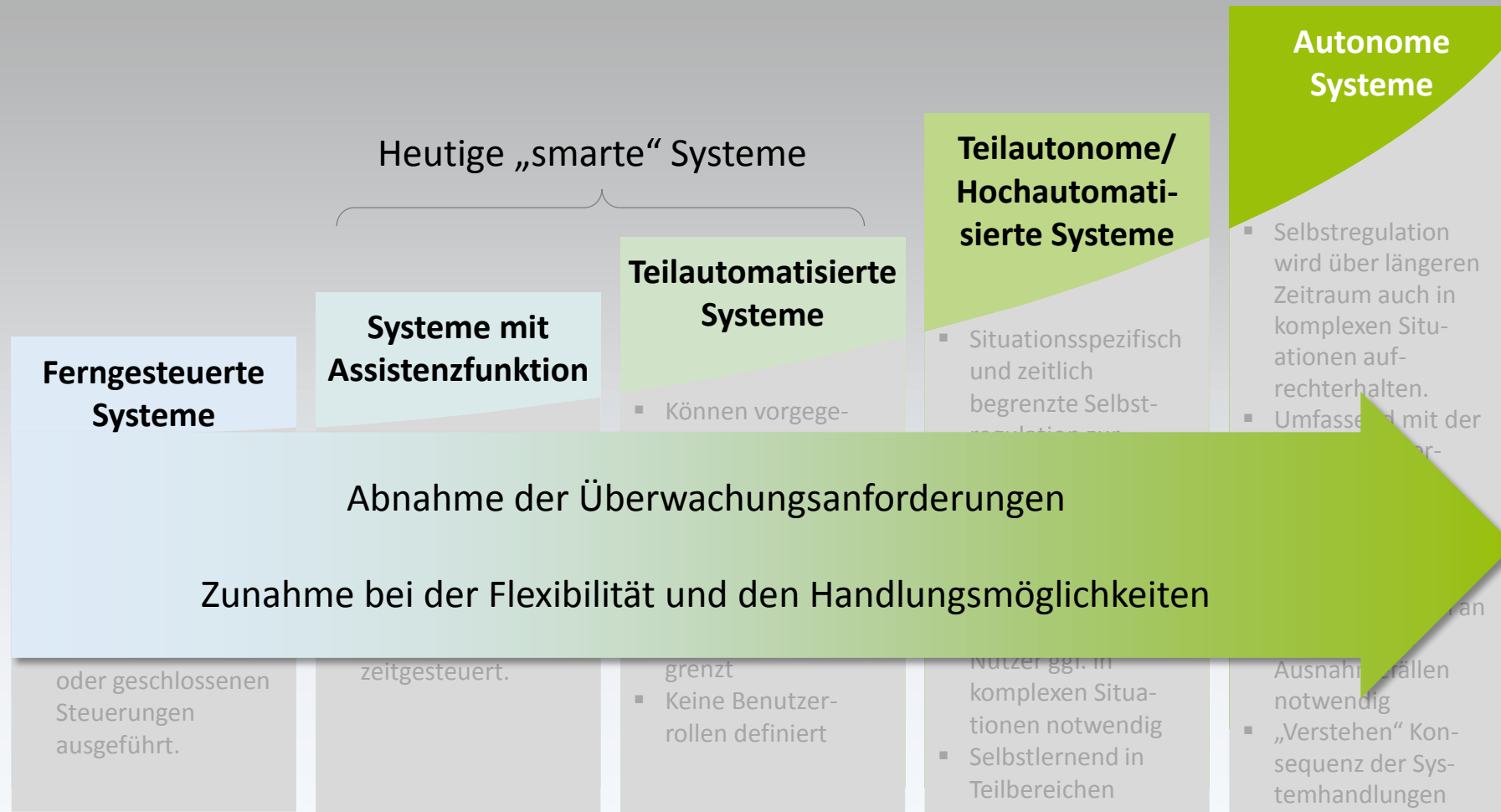
Heutige „smarte“ Systeme



Quelle: Hightech Forum autonome Systeme

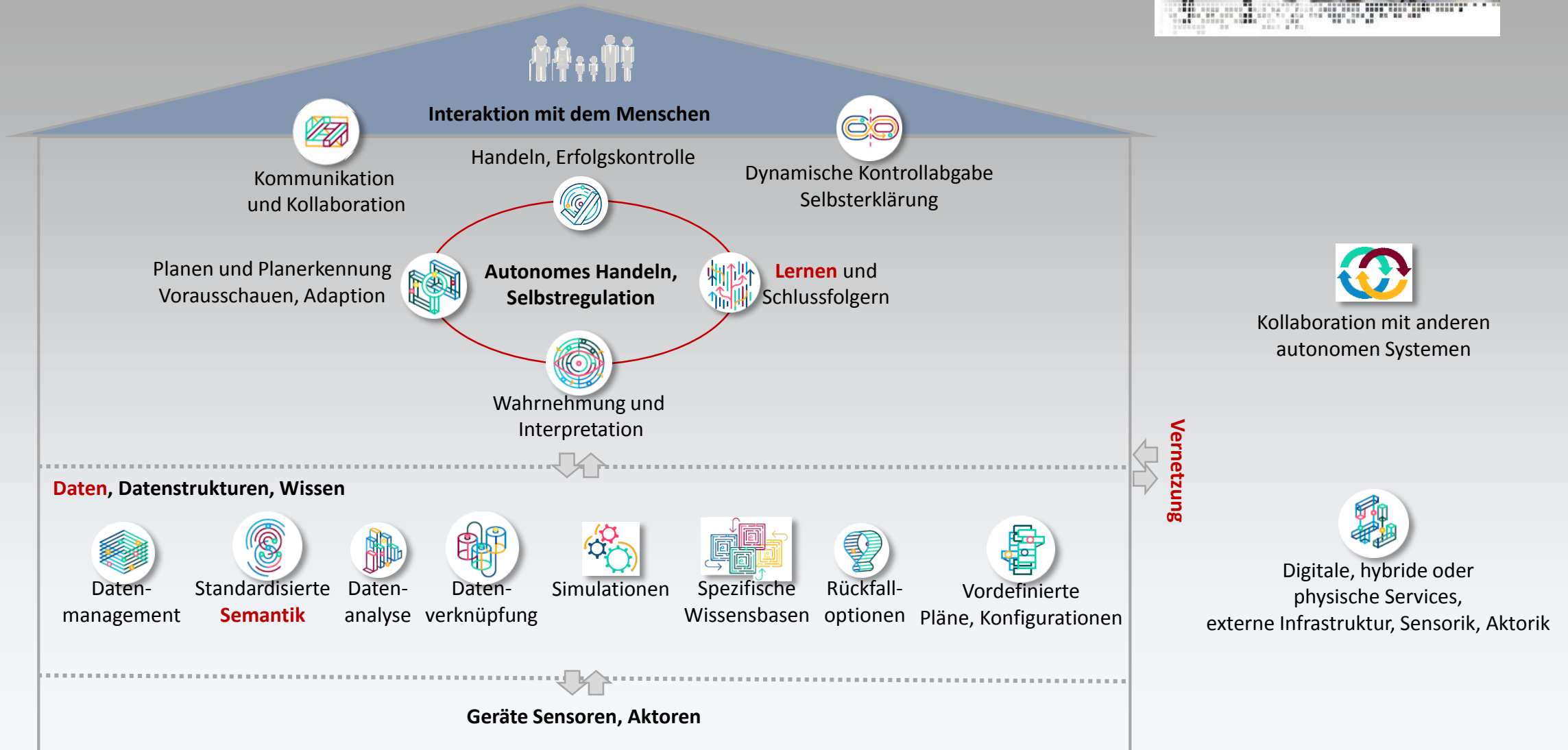


# Automationsstufen



Quelle: Hightech Forum autonome Systeme

# Kernelemente autonomer Systeme



# Voraussetzung: Vernetzung



- Integration vieler heute nicht verbundener Datenquellen und Dienste
- Berücksichtigung von Abhängigkeiten. Beispiel Produktion:
  - Gebäudezustand (Temperaturen, Belegung, Luftgüte, etc.)
  - Bestelleingang (SAP)
  - Terminplan für Produkte bzw. deren Fertigstellung (SAP)
  - Teilelisten (PDM)
  - Fabriksteuerung (MES)
  - Maschinenauslastung und energetischer Zustand (OPCUA)
  - Lokale Photovoltaik (proprietäre Steuerung)
  - Lokale Energiespeicher (proprietäre Steuerung)
  - Zustand im Energienetz (Smart Grid „Dienst“)
  - Energiekosten und deren Vorhersage (Web-Dienst)
  - Wettervorhersage (Web-Dienst)
  - ...

➤ Ergebnis: viele Daten

# Voraussetzung: Semantik



- Semantik hilft bei der maschinenlesbaren Beschreibung und Interpretation eines Datenpunktes
  - Semantik hilft bei der maschinenlesbaren Beschreibung und Interpretation der Zusammenhänge zwischen Datenpunkten
  - Eine (gemeinsame) Semantik sorgt dafür, dass Datenpunkte unterschiedlicher Hersteller und Quellen denselben Messwert auch gleich ausgeben
  - Ontologien werden dazu genutzt, „Wissen“ in digitalisierter und formaler Form zwischen Anwendungsprogrammen und Diensten auszutauschen.
- 
- Trennung von konkreten Geräten, Implementierungen und der Beschreibung der Daten und Zusammenhänge
  - Voraussetzung für Verfahren aus der künstlichen Intelligenz

# Voraussetzung: Maschinelles Lernen und Daten



- Maschinelles Lernen erfordert sehr viele Daten (siehe Vernetzung)
  - Maschinelles Lernen hilft bei der Mustererkennung und somit auch der Vorhersage von Ereignissen
  - Langfristiges Lernen erleichtert die stetige Anpassung des Gebäudeverhaltens
- 
- Flexible und eigenständige Adaption an Rahmenbedingungen, Gewohnheiten, Bedürfnisse, etc. und somit höhere Akzeptanz
  - Dies gilt für Smart Home wie auch Smart Building

# Forschungsfragen (Auswahl)



- Anwendungsszenarien
  - Einfluss von autonomen Gebäuden auf Energienetze, z.B. viele Gebäude reagieren auf Wetteränderung (Temperatursturz)
  - Effizienzuntersuchungen, Einfluss von vorausschauender, autonomer Steuerung
- Was sind die nötigen Daten für autonome Funktionen und welches sind geeignete Lernverfahren?
- Vernetzung, Standards und semantische Interoperabilität
- Interaktionskonzepte und Akzeptanzstudien vor allem bei Smart Home
- Koppelung verschiedener autonomer Systeme, Entscheidungshierarchien im Zusammenspiel verschiedener autonomer Systeme
- Simulation und Zertifizierung von autonomen Gebäuden bzw. ihrer Interaktion mit smarten Energienetzen
- ...

# Zusammenfassung



- **Autonome Gebäude können ein sehr wesentlicher Baustein von Smart Energy sein**
- Gemeinsame Forschungsanstrengungen von Energienetzen, Gebäudeautomation und gegebenenfalls Produktion sind erforderlich
- Gemeinsame Standards (semantische Interoperabilität) sind wünschenswert
- Smart Meter ist bisher lediglich ein besseres Gateway und keine Problemlösung
- Datenschutz und IT-Sicherheit beachten und durchsetzen
- Eine gemeinsame politische und technische Plattform wäre wünschenswert