



Hauptseminar Technische Informationssysteme

„Virtuelle Sensoren in der Automation“

Tobias Engelmann
Dresden, 07.Mai 2009

Inhalt

- Motivation, Einordnung von der Thematik
- Konzeptionierung von Virtuellen Sensoren
- Anwendungsbeispiele
- Probleme bei der Anwendung von Virtuellen Sensoren
- Ausblick

Motivation, Einordnung von der Thematik

Definition Virtueller Sensor

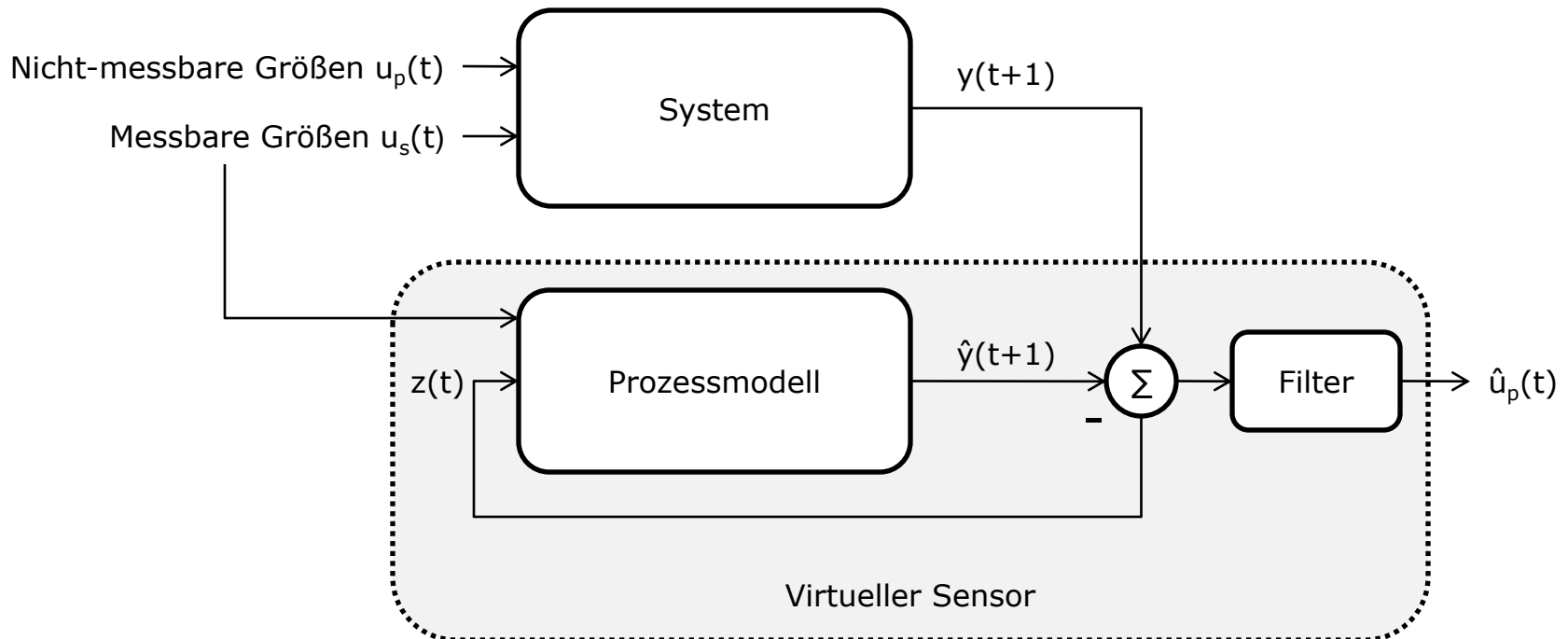
- Softwarekomponente zur Ermittlung von schwer messbaren Prozessgrößen auf Basis einfach messbarer Prozessgrößen auf Basis eines Prozessmodells

Einsatzgebiete und Entscheidungsmerkmale für Virtuelle Sensoren

- Messung von nicht-messbaren Prozess- und Qualitätskenngößen
- Echtzeitanalyse von Prozessgrößen, welche sonst einer Messung/ Analyse mit hoher Totzeit verbunden sind, bspw. Laboranalysen
- Kosteneinsparung durch Ersatz von kostenintensiven Online-Analysatoren
- Gewichtsreduktion und verminderter Wartungsaufwand durch Reduzierung von Bauteilen
- Integration in vorhandene Prozess
- Vorhersage vom Prozessgrößen

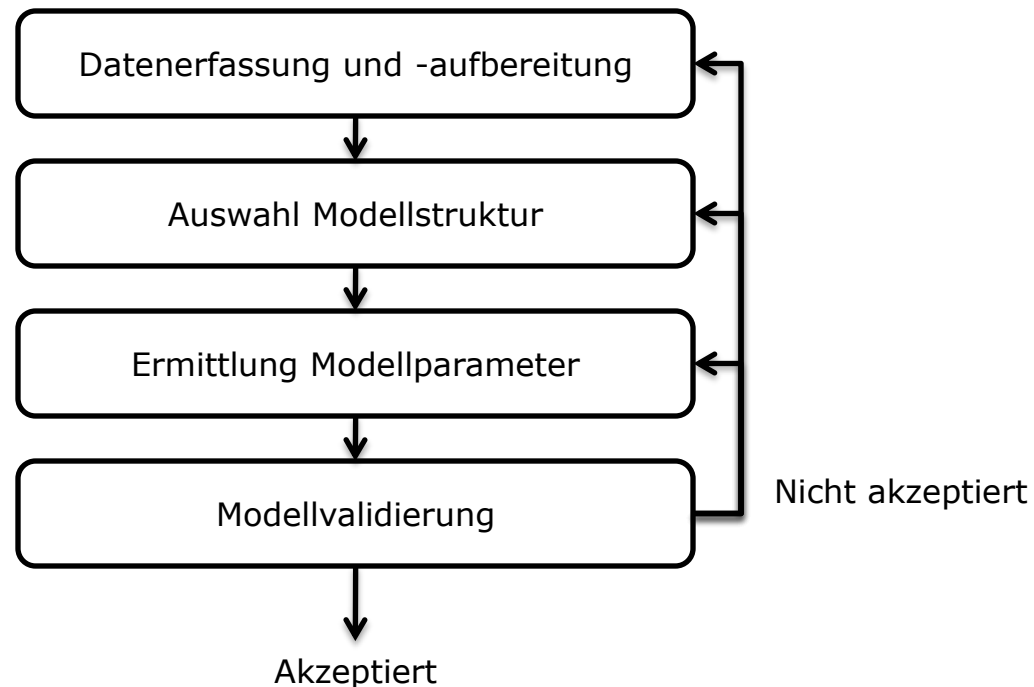
Motivation, Einordnung von der Thematik

Bsp. für die Topologie zur Onlinemessung einer nicht-messbaren Prozessgröße $u_p(t)$



Konzeptionierung von Virtuellen Sensoren

Mehrstufiges Verfahren zur Synthese von Virtuellen Systemen



Konzeptionierung von Virtuellen Sensoren

Datenerfassung- und Auswertung

- Zusammenführung unterschiedlicher Datenquellen
- Auswahl relevanter Messgrößen
- Erkennen von Messfehlern und Ausreißern
- Überprüfung auf Sinnfälligkeit
- Anpassung der Abtastrate
- Datentransformation
- Zeitlich korrekte Zuordnung zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen
- Aufteilung in Trainings- und Validierungsdaten für späteres Training bzw. Parametrisierung der Modellstruktur

Konzeptionierung von Virtuellen Sensoren

Auswahl Modellstruktur

Ansätze für die Modellbildung entsprechend vorhandenem Wissen und Entwicklungsaufwand:

- Theoretische Prozessmodellentwicklung
 - Basierend auf exaktem Prozesswissen und der physikalischen Zusammenhänge
 - Erhöhte Genauigkeit
 - Extrapolationsfähig
 - Hoher Aufwand für Modellbildung
- Empirische Prozessmodellentwicklung
 - Basierend auf historischen Messwerten
 - Gültigkeit nur innerhalb der Grenzen der vorliegenden Messwerte
 - Extrapolation nur in engen Grenzen
 - Geringerer Entwicklungsaufwand

Konzeptionierung von Virtuellen Sensoren

Auswahl Modellstruktur

Statische Modellierung

- Keine Rückkoppelung der Ausgänge
- Direkte Wirkung der Eingänge auf die Ausgänge
- Realisierung durch Feed-Forward-Netzwerke, z.B. Künstliche-Neuronale-Netzwerke, Polynomapproximierung, Proportional-Integral-Beobachter (PI-Beobachter)

Dynamische Modellierung

- Zeitlich unterschiedliche Wirkung von Prozessein- und -ausgängen
- Wirkung von Prozessausgängen auf Netz
- Daten aus laufender Prozessüberwachung zur Optimierung des Modells
- Historische Testdaten müssen über ausreichend dynamische Informationen verfügen
- Realisierung durch rückgekoppelte Netzwerke, z.B. durch Rückgekoppelte Neuronale Netzwerke

Auswahl Modellstruktur

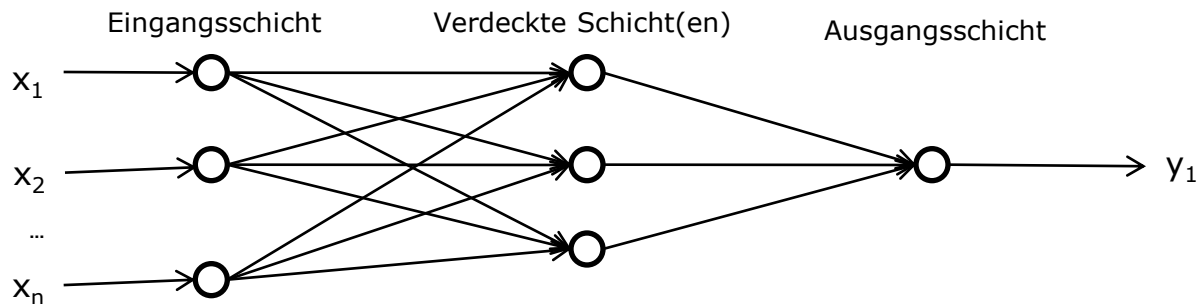
Neuronale Netzwerke zur Prozessmodellierung

Künstliches-Neuronales-Netzwerk

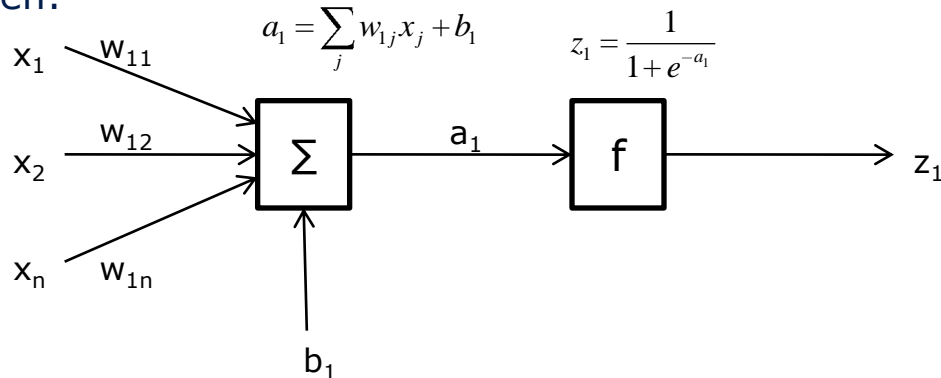
- Basierend auf dem Vorbild der biologischen Informationsverarbeitung von Nervenzellen
- Erkennung von Zusammenhängen aus komplizierten, nichtlinearen, verrauschten Daten
- Geringes systematisches Wissen über das zu lösende Problem notwendig
- Anpassungsfähig
- Realisierung in Soft- und Hardware
- Weitesten Verbreitung in der Anwendung in Form des Multi-Layer-Perceptrons-Netzwerk (MLP)
- Dynamik durch interne oder externe Rückkoppelung

Auswahl Modellstruktur

Prinzipieller Aufbau eines Künstlichen-Neuronalen-Netzwerk am Beispiel eines MLP-Netzes:



Einzelner Knoten:



Ermittlung der Modellparameter, Validierung

Ermittlung der Modellparameter eines KNN

- Bestimmung der Wichtungsfaktoren und Biaswerte in den entsprechenden Schichten des Netzwerkes
- Mathematisches Optimierungsproblem, häufig angewandt: Minimierung der Summe der Fehlerquadrate zwischen den Netzausgängen und der Testdaten
- Einsatz von iterativen und stochastischen Optimierungsverfahren für Parameterbestimmung

Modellvalidierung

- Vergleich der Original-Messdaten mit Modellvorhersage bei gleichen Eingangsdatensätzen
- Einsatz von Hilfsmitteln, z.B. Erstellung von Scatter-Plotten

Anwendungsbeispiel

Adhäsionskoeffizient bei Rad-Schiene-System

Aufgabe

- Rad-Schiene-Kontakt als sicherheitskritisches Element bei Bremsvorgängen
- Adhäsionskoeffizient bestimmt maximal übertragbare Antriebskraft
- Adhäsion abhängig von vielen physikalischen und stochastischen Einflüssen
- Ermittlung der Einflussgrößen durch Beobachtung und Messung

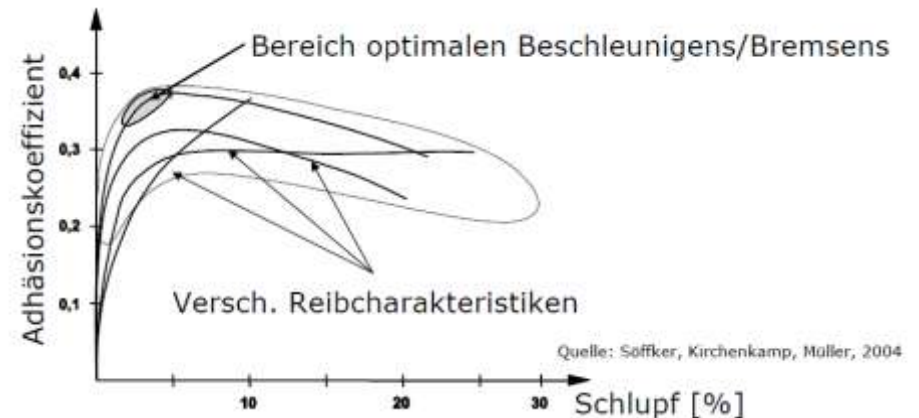
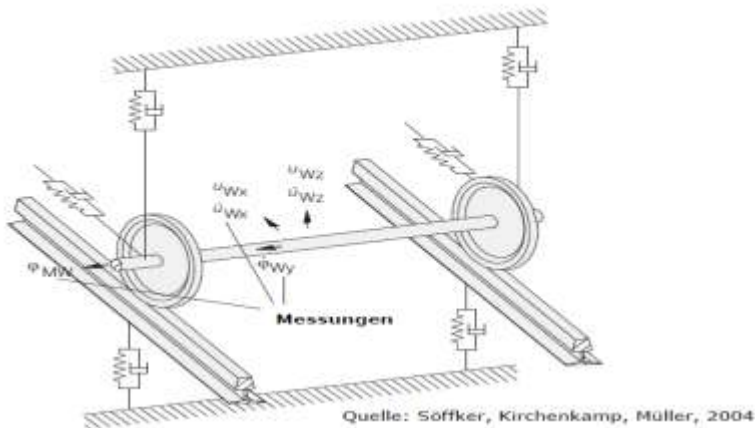
Problem

- Adhäsionskoeffizient ist nicht direkt messbar
- Echtzeiterfassung des Adhäsionskoeffizienten zur optimalen Einstellung der maximalen Antriebskraft und Bremswirkung notwendig

Anwendungsbeispiel

Adhäsionskoeffizient bei Rad-Schiene-System

Physikalisches Modell



Realisierung

- Signalbasierte Diagnose zur Datenermittlung
- Modellbasierte Diagnose für Modellierung des Virtuellen Sensors zur Ermittlung des Adhäsionskoeffizienten

Anwendungsbeispiel

Mittlere Kettenlänge bei Fettalkoholsynthese

Prozessanlage

- Teilprozess der Herstellung von synthetischen Fettalkoholen
- Ausstattung mit digitalem Prozessleitsystem (PLS) und Prozessdaten- Informations- und Management-System (PIMS)
- Archivierung der Laborergebnisse im Labordaten-Informations- und Managementsystem (LIMS)
- Anlage 2 Reaktoren, mehreren Tanks, ca. 160 Messstellen
- Laboranalyse für Produkte und Ausgangsstoffe einmal täglich mit einer Totzeit von 2 – 4 Stunden

Problem

- Einstellung einer gewünschten Kettenlängenverteilung (m -Wert) des Wachstumsprozesses
- Online-Überwachung und Trendermittlung des m -wertes

Anwendungsbeispiel

Mittlere Kettenlänge bei Fettalkoholsynthese

Datensammlung und -aufbereitung

- Einfluss von 25 der rund 160 Messwerten auf die mittlere Kettenlänge bekannt
- Zusammengesetzte Größen durch Variablentransformation aus primären Messgrößen ermitteln (Bspw. hat der Mittelwert der Reaktortemperatur einen höheren Einfluss als exaktes Temperaturprofil)
- Reduktion aufgrund Sensitivitätsuntersuchung, Prozesswissen, statistischen Analysen auf 9 relevante Prozessgrößen

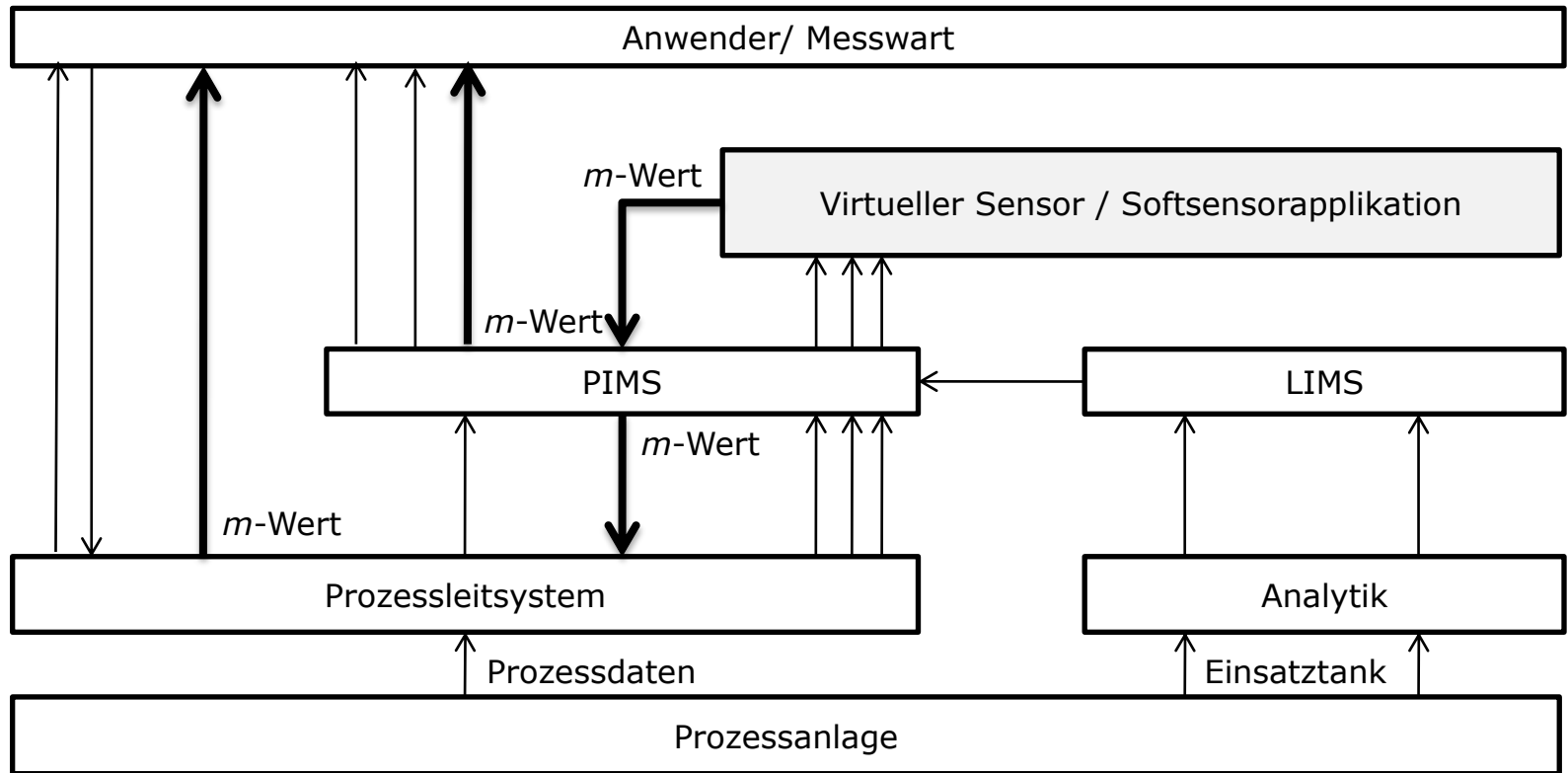
Modellierung

- Modellierung des Prozesses mittels Künstlichen-Neuronalen-Netzwerks
- Modelltraining- und Validierung mit Daten aus dem LIMS

Ergebnis

- Erfolgreicher Einsatz der modellgestützten Messung über 2 Jahre
- Geringe Abweichung des m -Wertes im Vergleich zur Laboranalyse

Anwendungsbeispiel – mittlere Kettenlänge Implementierung, Datenfluss



Probleme bei der Verwendung von Virtuellen Sensoren

- Virtuelle Sensoren: Software von Experten für Experten
- Prozesswissen in allen Bereichen der Synthese von Virtuellen Sensoren
- Zeitaufwändige Entwicklung und Experimente bei der Datenanalyse- und Vorverarbeitung
- Sorgfältige Trennung zwischen Test- und Konditionierungsdaten sowie den Validierungsdaten
- Vielfältige Möglichkeiten bei Topologie des Prozessmodells
- Auftreten und Erkennung einer übertrainierten Prozessmodells (Overfitting)
- Virtuelle Sensoren im allgemeinen kein Ersatz für Online-Analysatoren oder Laboranalysen
- Noch keine Standards und Normen für den Einsatz von Virtuellen Sensoren festgelegt

Ausblick

- Zunehmender Einsatz von geeigneten Entwicklungsumgebungen
- Einsatz universell einsetzbarer Architekturen und entsprechender Lernalgorithmen zur Modellierung beliebiger dynamischer Systeme
- Standardisierung und Normierung von Virtuellen Sensoren

Verfügbare Lösungen

Produkt		Hersteller
Process Insights	SW	Pavilion Technology
Aspen IQ	SW	Aspen Technology
Profit Sensor	SW	Honeywell
Simatic NeuroSystems	HW/ SW	Siemens AG
Presto	SW	IPCOS
RQE ^{Pro}	SW	Shell Global Solutions
...		

Literaturübersicht

- Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 8, Nr. 771, M. SC Resson Woldeab Habtom [1999]:
Dynamic System and Virtual Sensor Modeling Using Neuronal Networks,
- Atp 2005, Heft 9, Rainer Dittmar, FH Westküste, Helge Timm, Sasol Germany, Klaus Rößler, Pavilion Technologies [2005]:
Entwicklung von Softsensoren mit Hilfe Künstlicher Neuronaler Netze
- Siemens [2009]:
Softsensoren auf Basis künstlicher neuronaler Netze: Presto von Ipcos versus Simatic NeuroSystems
- Universität Duisburg-Essen, Lehrstuhl Steuerung, Regelung und Systemdynamik:
Diagnose und Prognose: Modell- und signalbasierte Ansätze zum Einsatz im Antriebsstrang
http://www.autorail.de/Sitzungen/141107/Beitraege/DettmannSoefker_DiagnosePrognose_Folien.pdf
- Edward Wilson, Neural Applications Corporation:
Virtual Sensor Technology for Process Optimization
http://www.intellization.com/files/virtual_sensors_presentation_ISSCAC_97.pdf

Danke.



»Wissen schafft Brücken.«

Auswertung

- Kritik nach Vortrag:
 - Verständliche Beispiele an den Anfang verlagern, Theorie am Anfang war viel zu trocken
 - Weniger Text pro Folie, evtl. mehr anschaulichere Grafiken, dazu dann Erklärungen

- Vorschlag Prof. Kabitzsch: Einteilung in 3 Abschnitte
 1. Ganz einfach beginnen; Unwissende einführen; Fachkundige sollen denken, dass sie mehr wissen
 2. Unwissende sollen was lernen, Fachkundige in ihrem Wissen bestätigen
 3. Gas geben; Fachkundige sollen was lernen; Ehrfurcht gegenüber den Unwissenden erzeugen