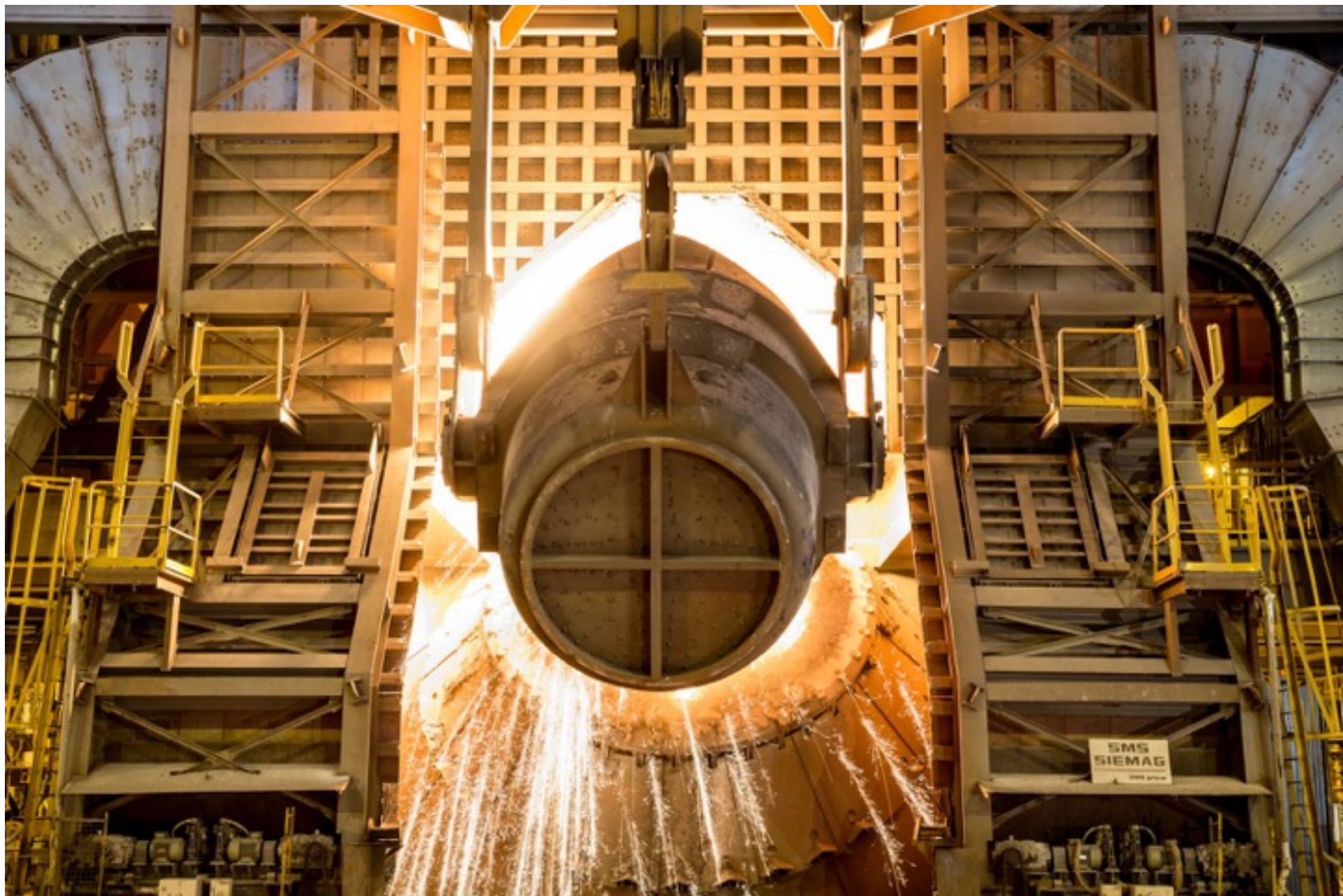
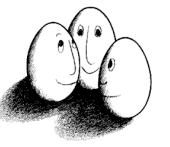


Cyber Industrial Systems: Legacy Systems, Concurrency and Spacetime

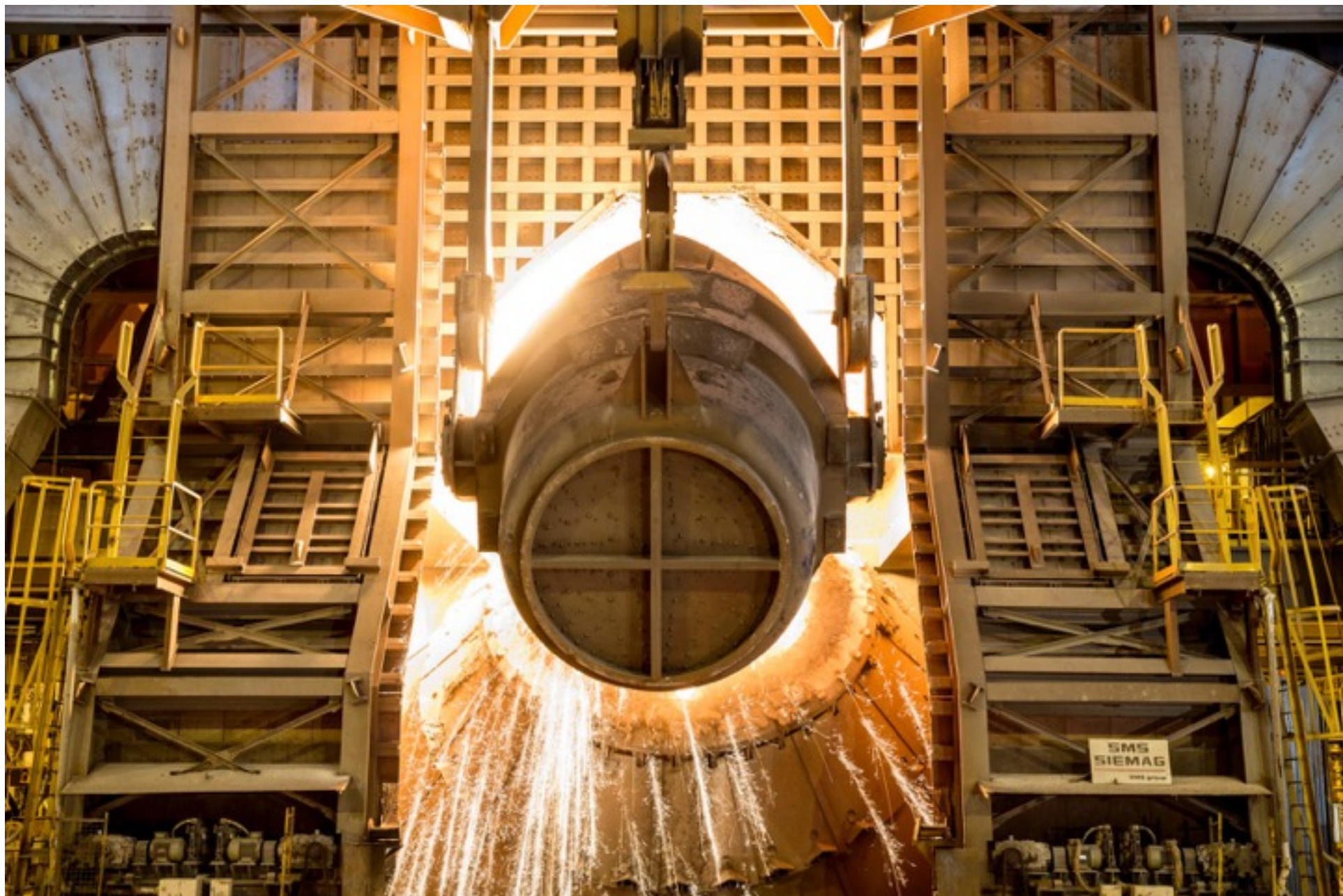
Hendrik Blom



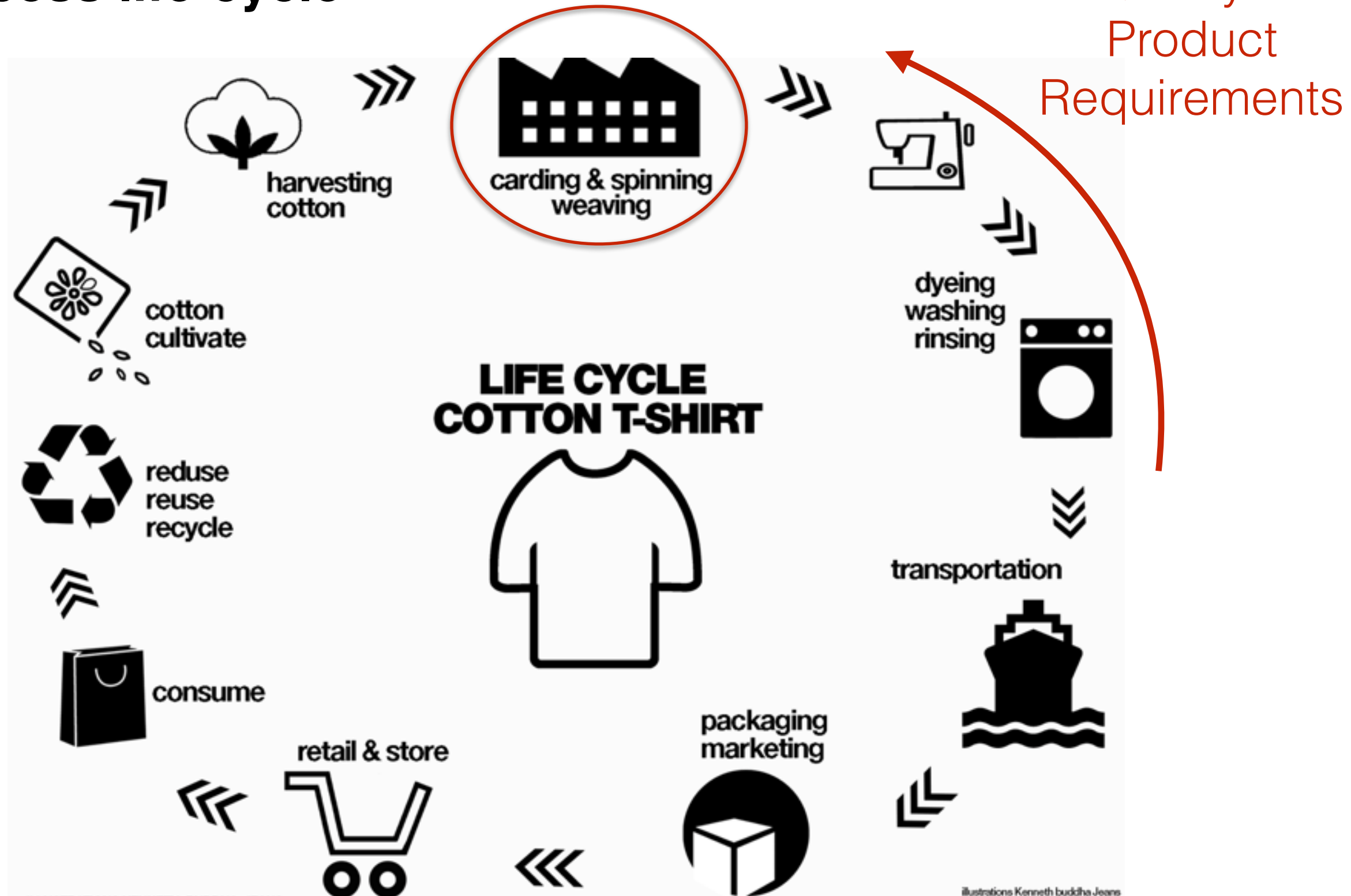


BOF Endpunktvorhersage mittels der Anwendung von Datenmodellen in Echtzeit

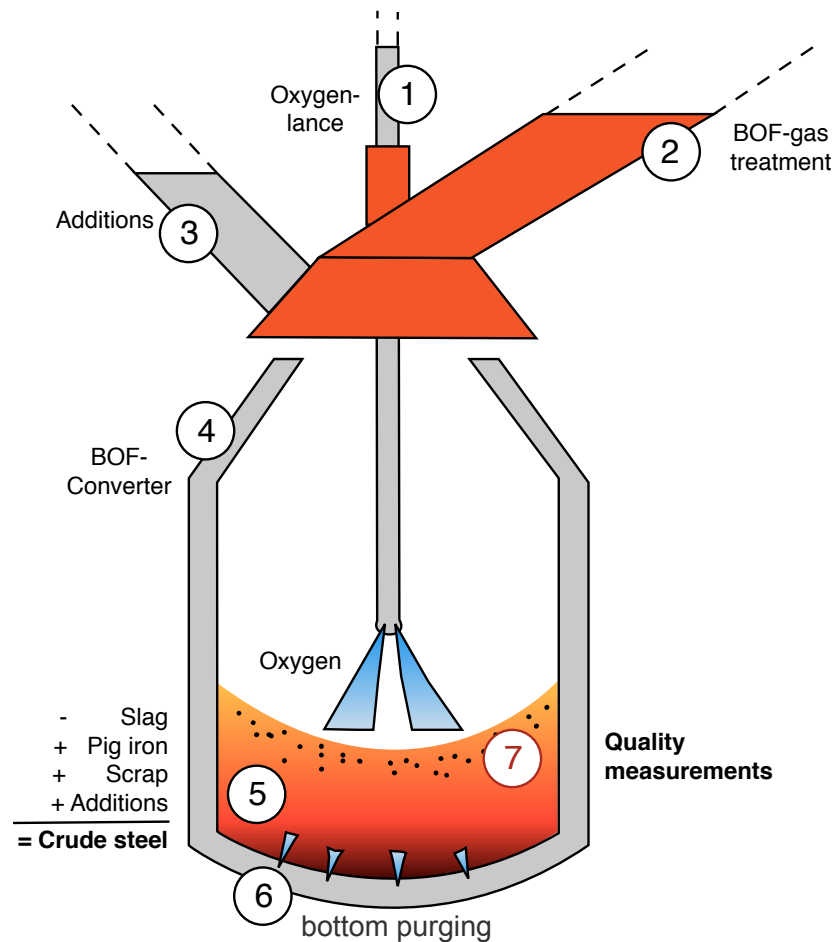
Hendrik Blom



Process life-cycle



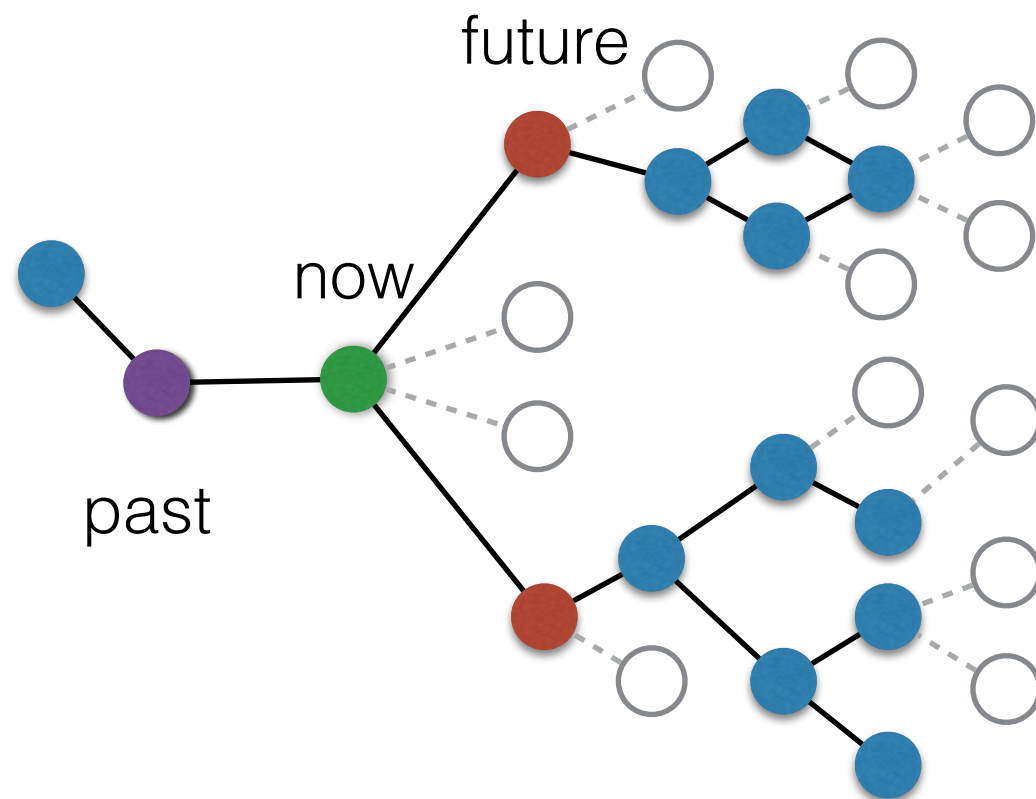
Executor



Executor = Appliance

- + Analytics
- + Middleware
- + DB
- + Server
- + **Local Ressources**
 - + Sensor + Control hardware
 - + Process hardware
- + **Shared local Ressources**
 - + Sensor + Control hardware
 - + Process hardware
- + **Shared Ressources**
 - + Process chain
 - + ...
 - + Earth
 - + Universe ;-)

Ziel: Wähle die nachhaltigste Konfiguration

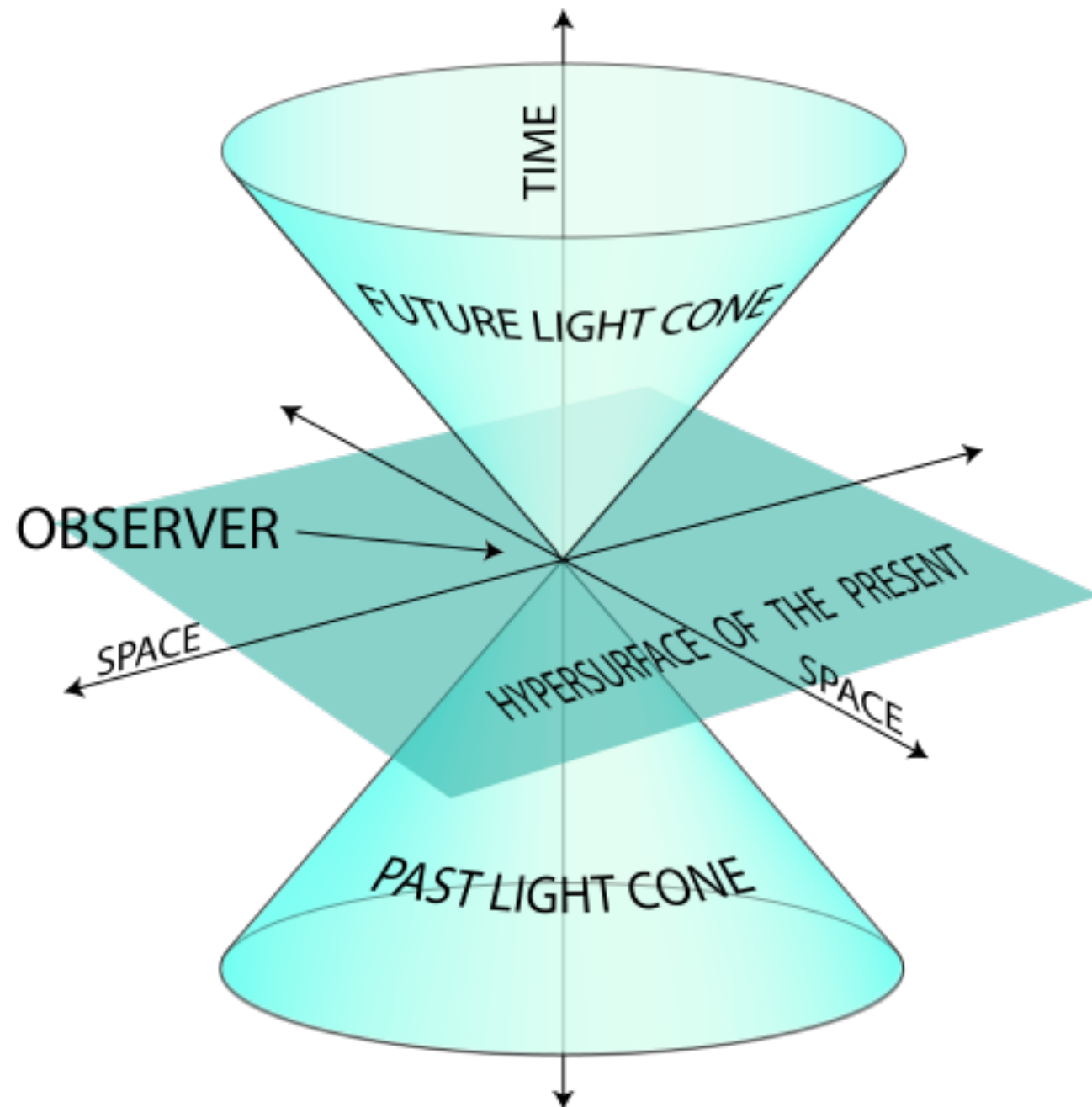


$$c^* = \arg \max_{c \in \mathcal{C}_{\mathcal{E}}} \mathbb{E}_t [\mathcal{E}_c(p)]$$



**KEEP
CALM
AND
COLLECT
MORE DATA?**

Live Process



nanosecond = Chronon

▶ $(2^{64})/10^9/3600/24/365 = 585 \text{ years}$

store 99 Sensors + time (long or double)

▶ $((2^{64}) * 8 * 100) / 1024^7 = 14.76 \text{ Zettabytes}$

=> **25.2 Exabytes / a**

=> **799.53 Gigabyte/s**

in Reality 20kHz

▶ $20000 * 100 * 8 = 16 \text{ Megabyte/s}$

=> *505 Terabyte/a*

=> every ~6 days a new disk (8 TB)

more common 1kHz

$1000 * 100 * 8 = 800 \text{ Kilobyte/s}$

=> *25.25 Terabyte/a*

=> every ~116 days a new disk (8 TB)

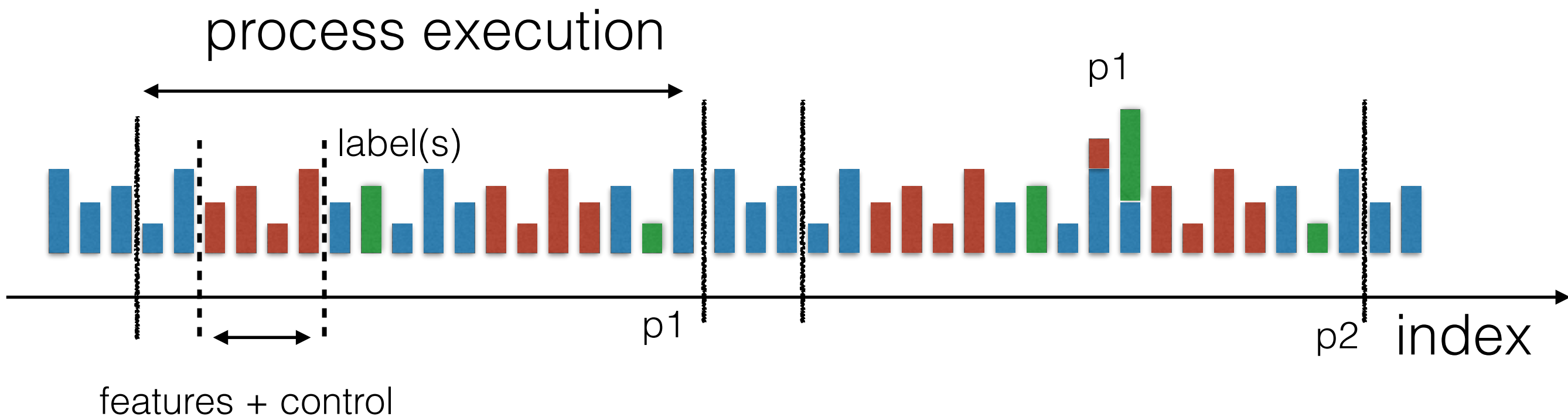
BOF: sparse + compressed data

~400 Gigabyte/a

=> every ~20 years a new disk (8TB)

Big Data ?

Process



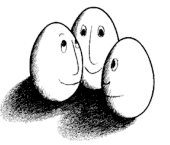
Big Data ?

index starts with 0 at the beginning of execution

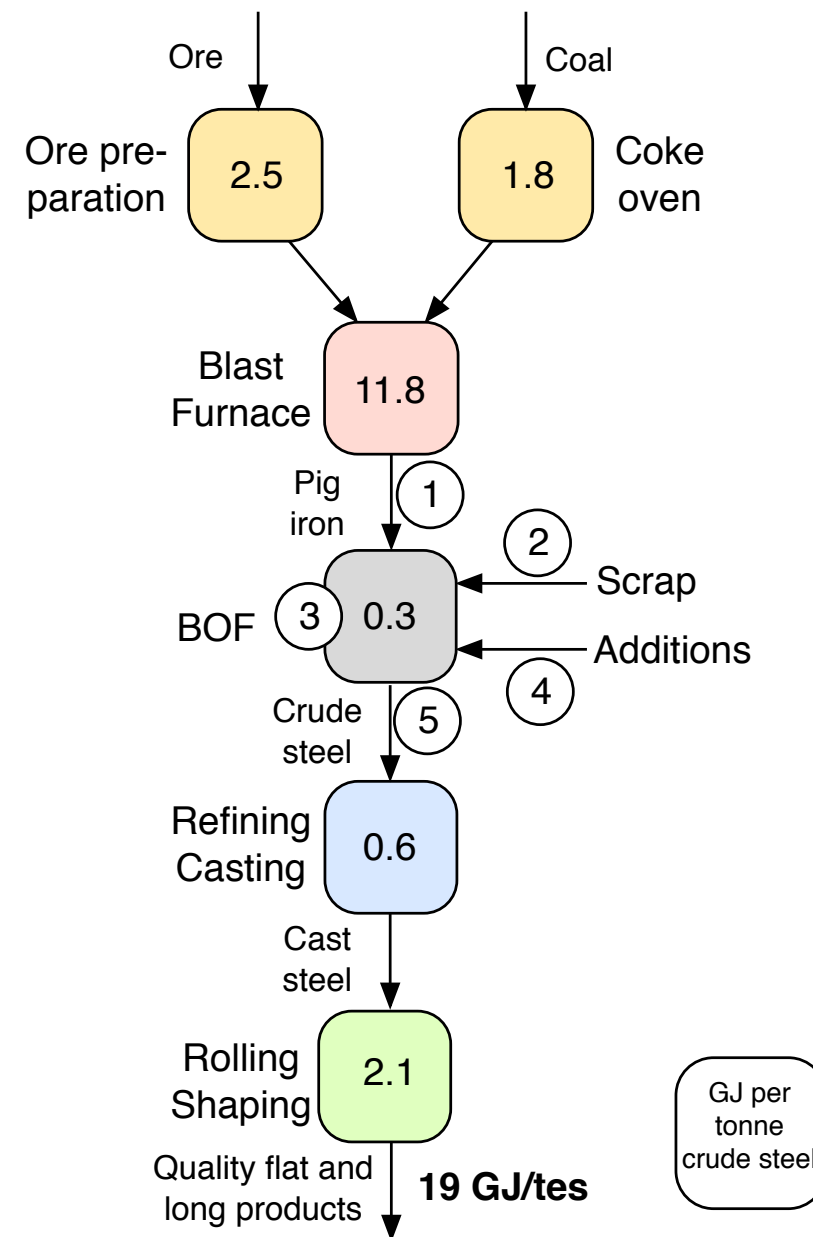
Indexrate $I_r = \frac{\theta_p}{\theta_e} \frac{i}{i} \hat{=} \frac{p_t}{\mathcal{A}_c(p_t)} \frac{s \text{ (real-time)}}{s \text{ (processing-time)}}$

- ▶ $I_r < 0.3$ small Data
- ▶ $I_r \leq 1$ **mid-size Data**
- ▶ $I_r > 1$ Big Data

- ▶ This includes Volume, Velocity, Variety (Synchronization)
- ▶ Depends on the appliance $\mathcal{A}_c(p_t)$

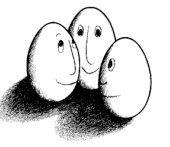


BOF Route

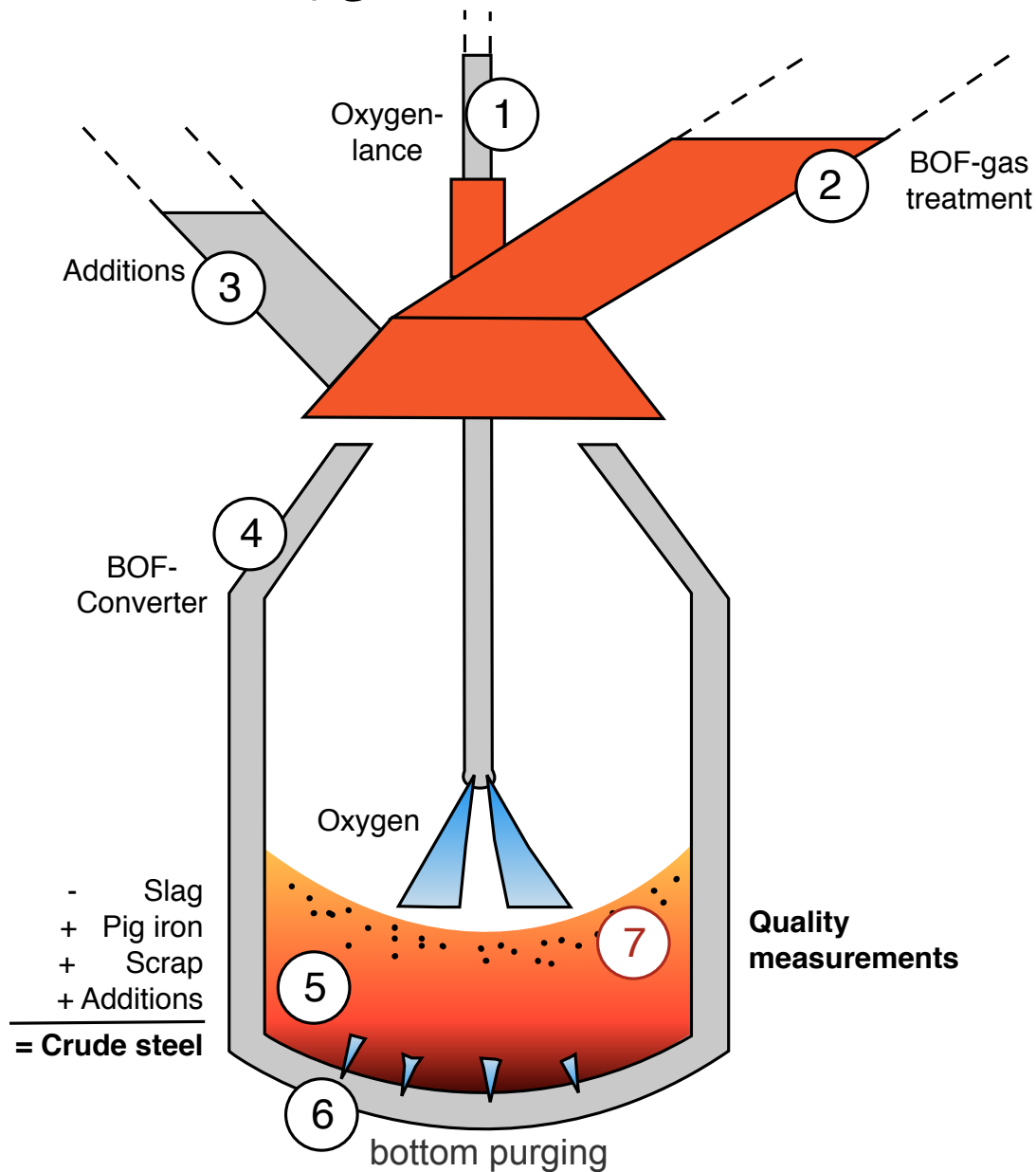


**Primary energy consumption for a integrated primary steel mill
(3-5 million tonnes per year).**

De Beer, J., Worrell, E., Blok, K.: Future technologies for energy-efficient iron and steel making. Annual review of energy and the environment 23(1), 123–205 (1998)

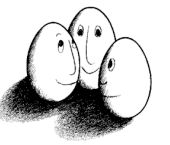


Basic Oxygen Furnace Converter

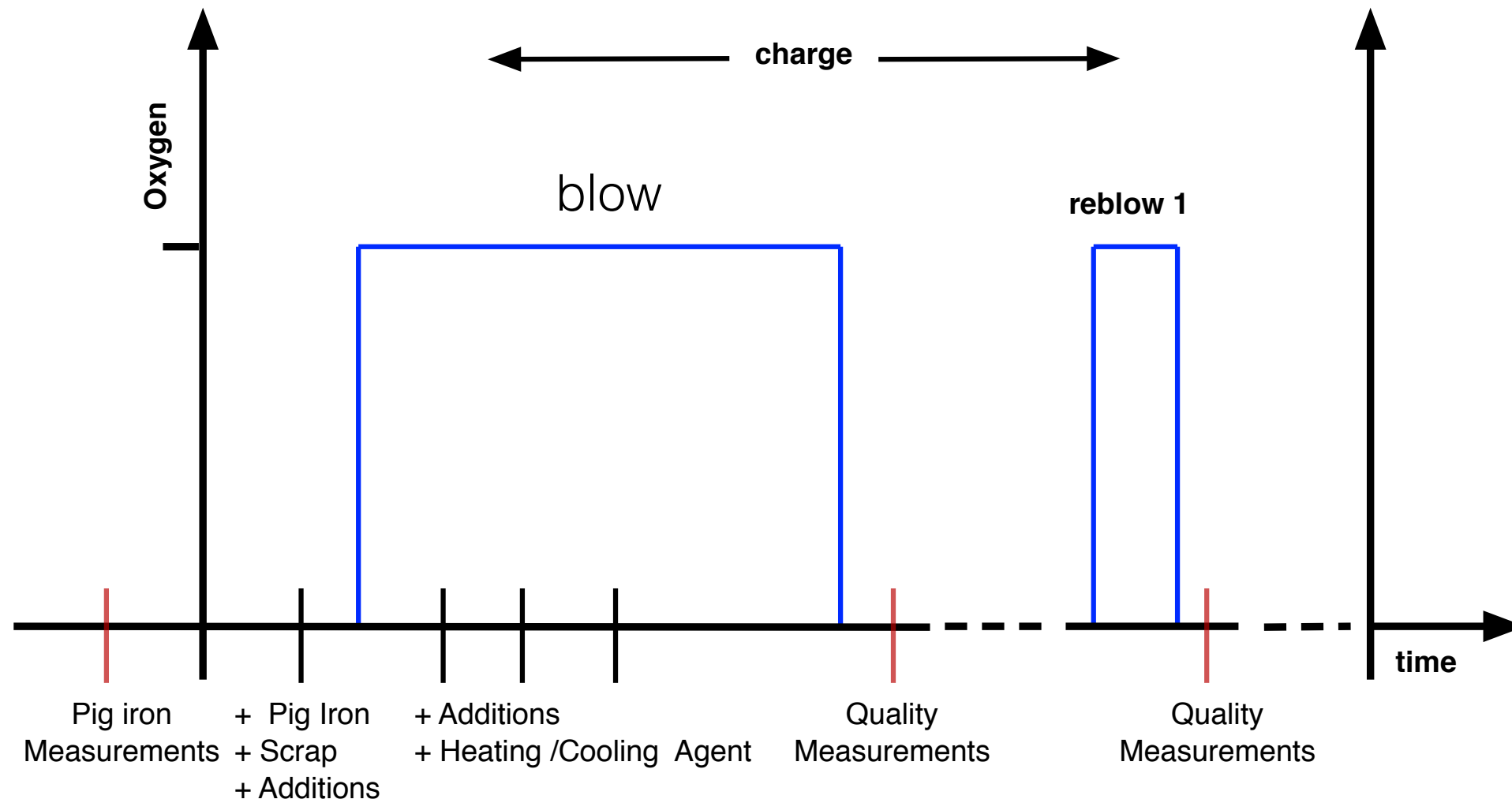


Prozessziele

- ▶ Erreichen der vorgegebenen Qualitätsmerkmale
- ▶ Reduzierung von Nach- bzw. Überblasen
- ▶ Reduzierung des Materialeinsatzes

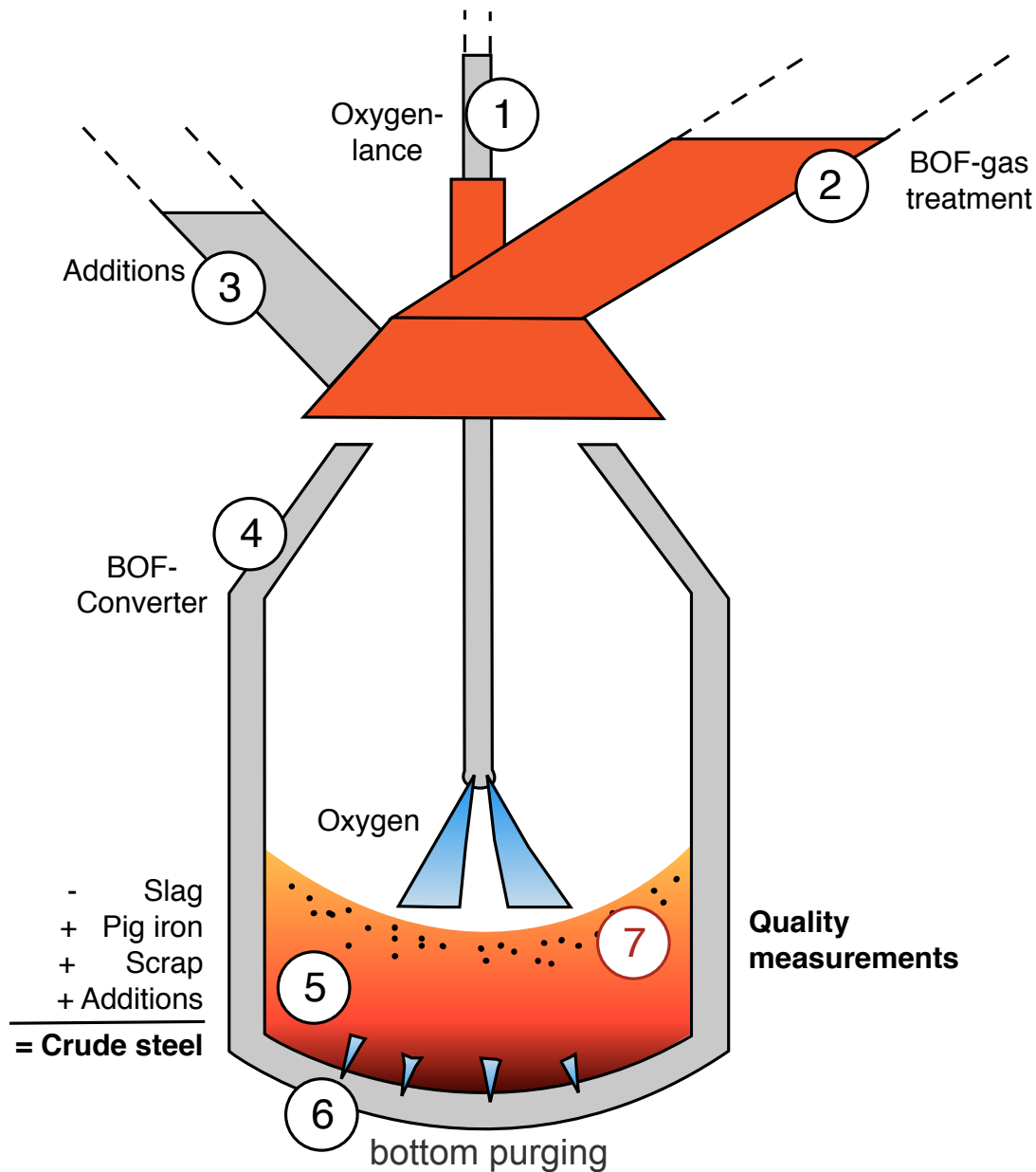
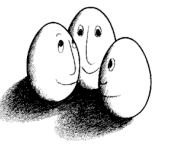


BOF Charge



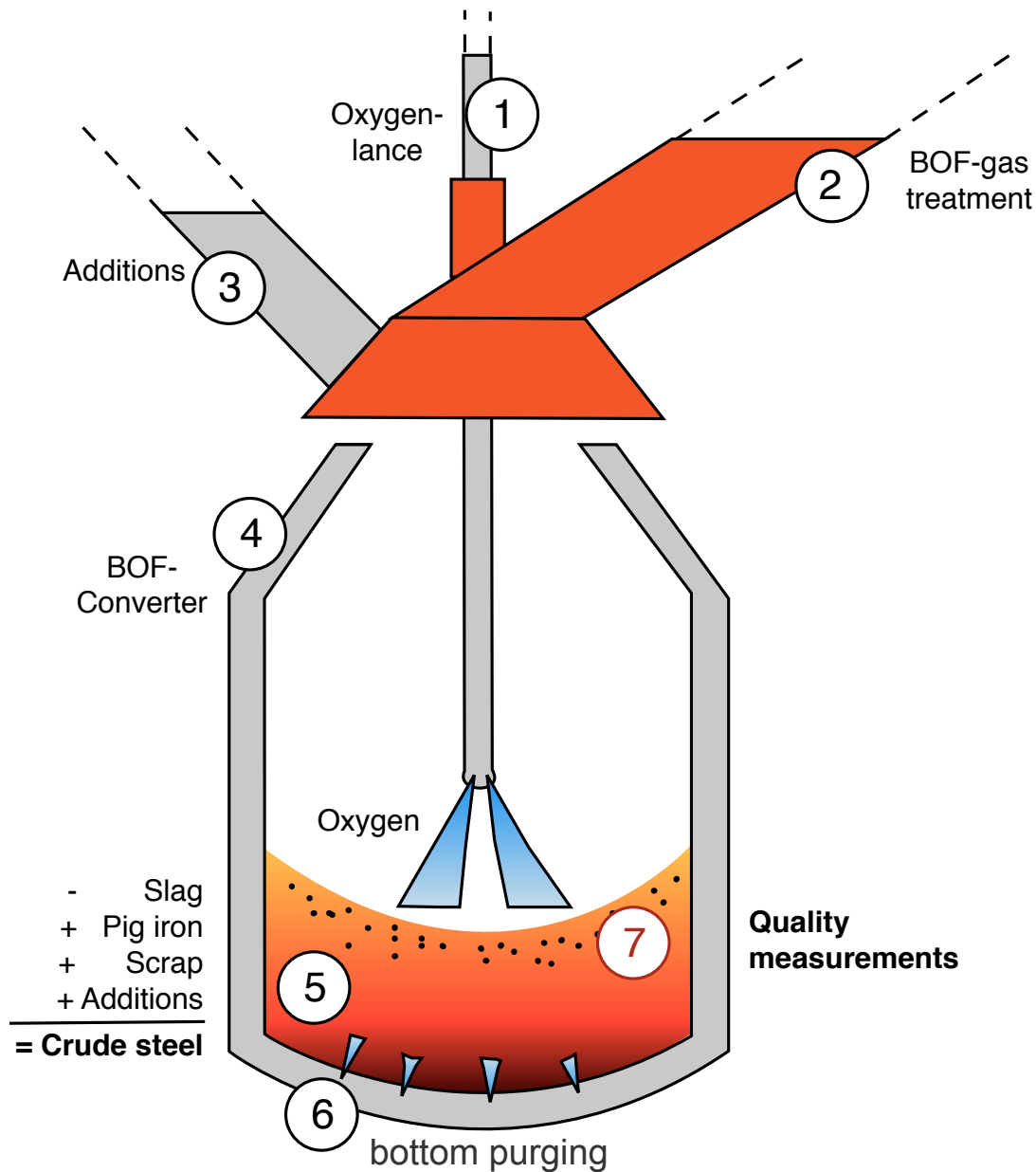
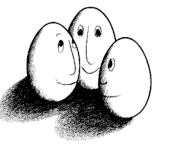
Problem

- ▶ Qualität kann nur* nach Beendigung bzw. Unterbrechung des Prozesses ermittelt werden!
- ▶ Während des Prozesses sind nur Sekundärinformationen verfügbar!



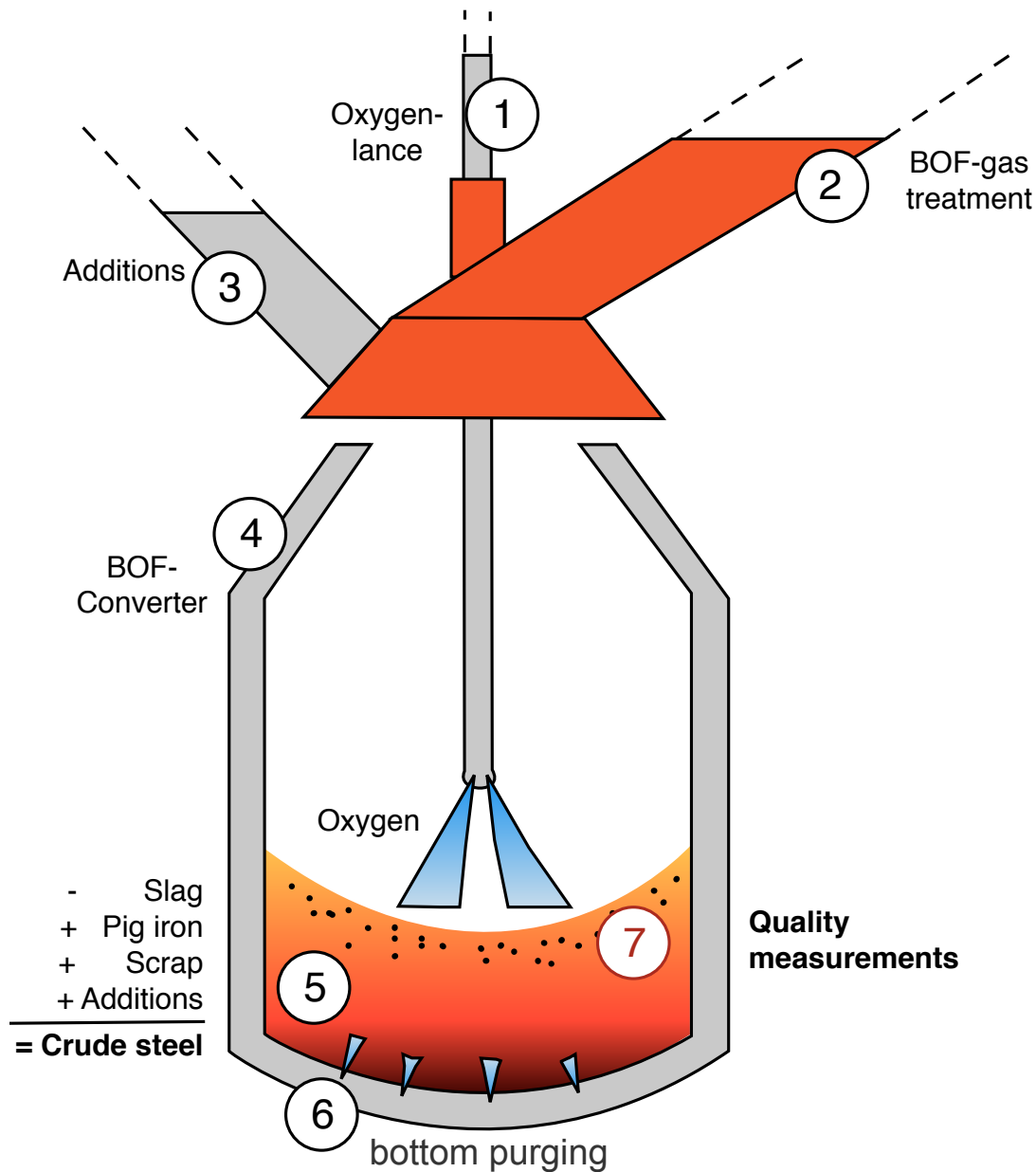
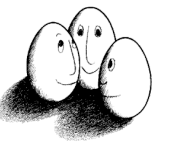
Konverterzustand

- ▶ Starke Abhängigkeit des Prozessverlaufs und -ergebnisses vom **Zustand** des Konverters
 - ▶ Feuerfest
 - ▶ Sauerstofflanze
 - ▶ Bodenspülung
 - ▶ Sensoren
 - ▶ Abgas-Behandlung



Eingangsmaterialien

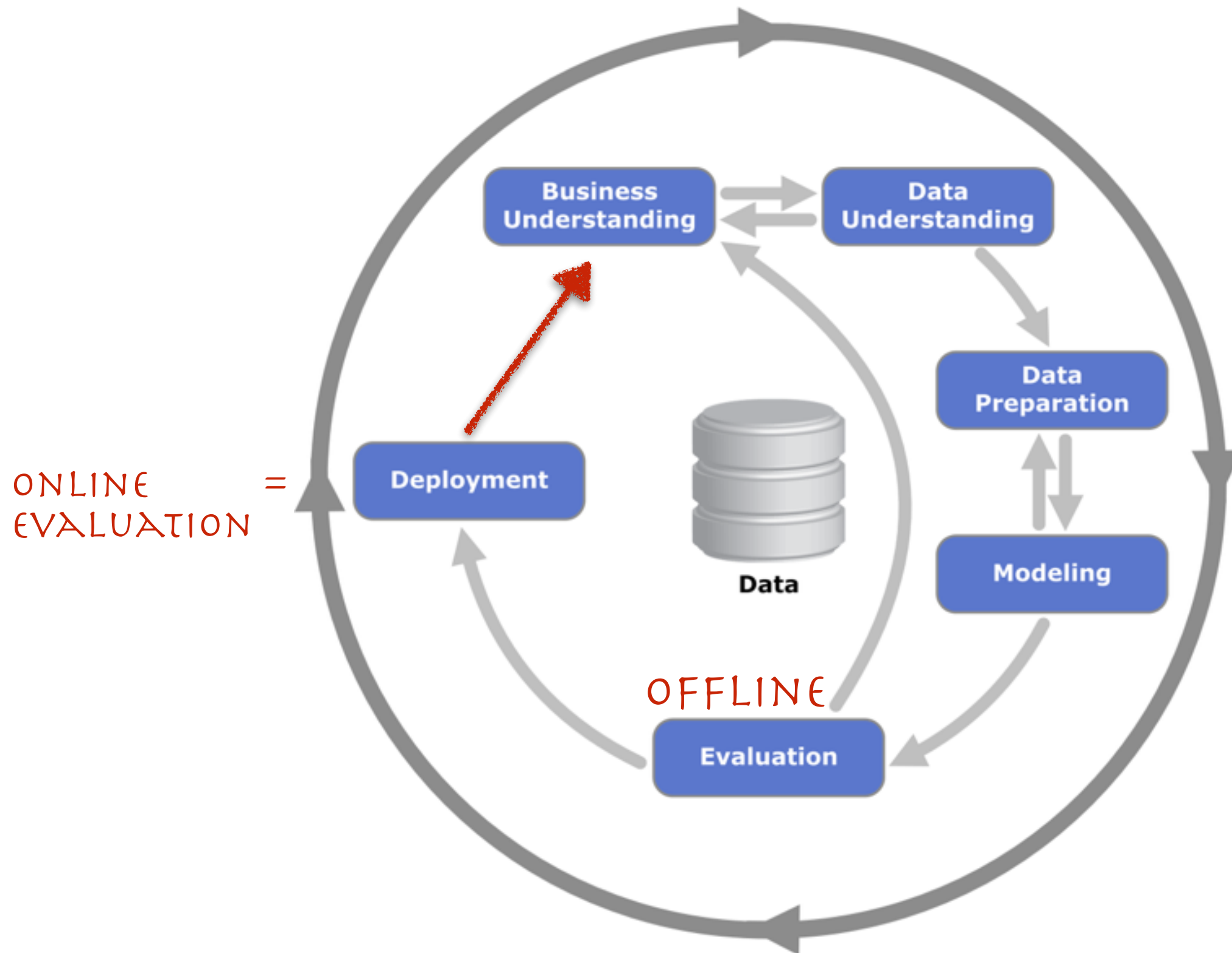
- ▶ Starke Abhängigkeit des Prozessverlaufs von der **Variabilität & unbekannten Eigenschaften** der Eingangsmaterialien
 - ▶ Roheisen
 - ▶ Schrott
 - ▶ Zuschläge bzw. Heiz & Kühlmittel

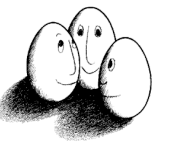


Prozessverhalten

- ▶ Starke Abhängigkeit des Prozessergebnisses vom **Prozessverlauf**
 - ▶ Zeitpunkt und Menge von Zuschlägen
 - ▶ Aufschmelzen des Schrotts
 - ▶ Bodenspülung
 - ▶ Lanzenfahrt

Continuous (Model) Deployment



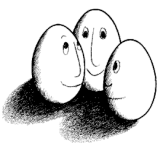


Ansatz $f_i(x_{i1}, \dots, x_{in}) = \hat{y}_i$

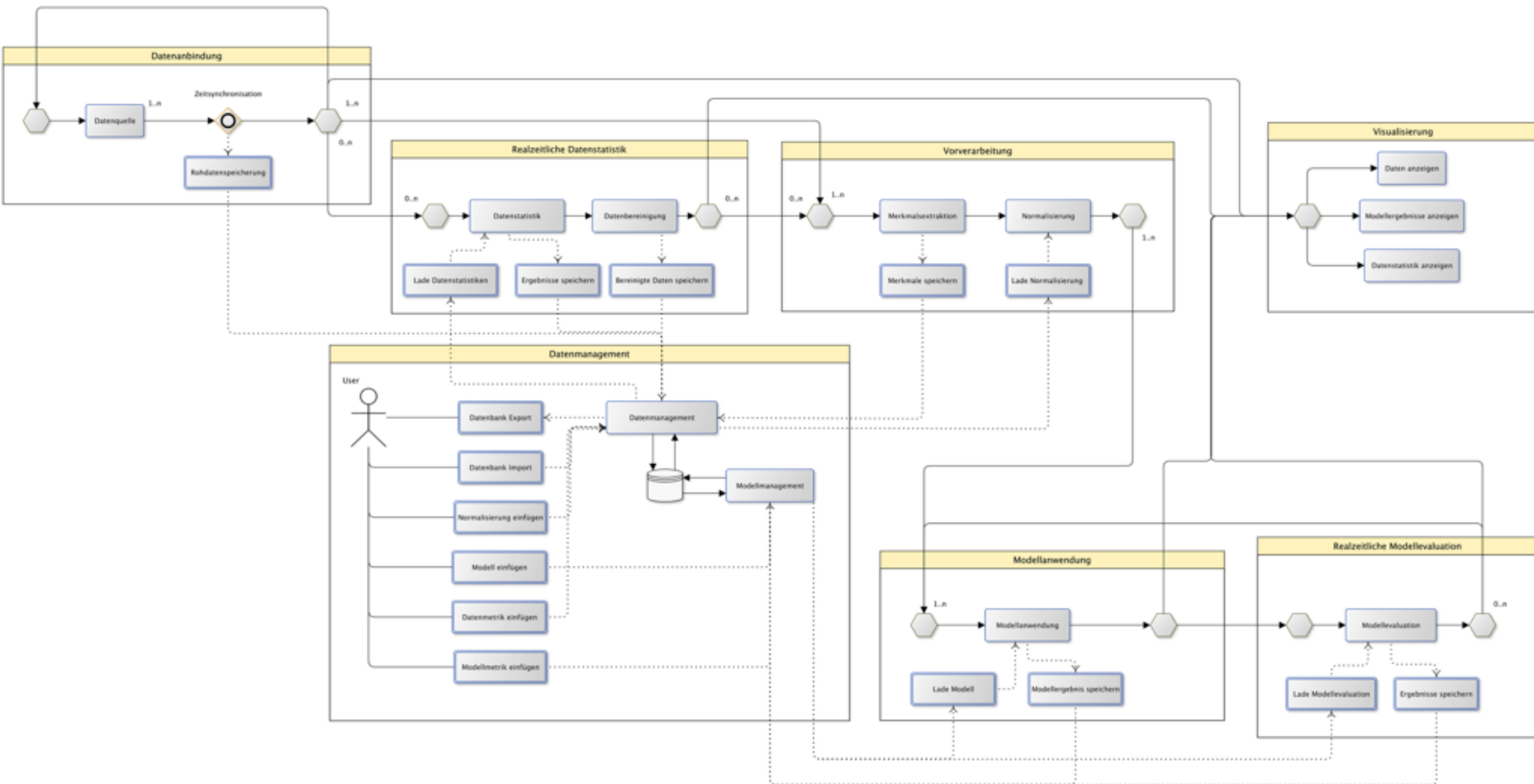
- ▶ Erstellung von Vorhersagemodellen für jedes Qualitätsmerkmal y_i basierend auf historischen Daten von beliebigen Sensoren
- ▶ Anwendung der Vorhersagemodelle in Echtzeit
- ▶ Ableiten von Handlungsempfehlungen in Echtzeit

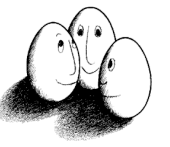
Aufgaben

- ▶ Möglichst genaue und frühe Vorhersage
- ▶ Umsetzung mit möglichst geringen Aufwand für
 - ▶ den Schmelzer bzw. Benutzer
 - ▶ den Betrieb der Datenanalyse
- ▶ Gleichzeitiger Betrieb und Weiterentwicklung



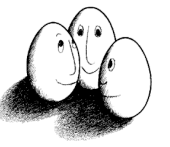
Architektur





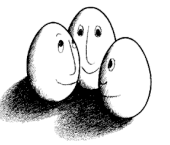
Anforderungen

- ▶ Minimale “Rüstzeiten” um verlässliche Modelle erstellen zu können
 - ▶ initiale Datensammlung
 - ▶ Datensammlung nach konstruktiver Veränderung
 - ▶ Datensammlung nach dem Einsatz neuer Eingangsmaterialien
 - ▶ Datensammlung nach Einsatz neuer Sensoren
- ▶ Auswahl bzw. Installation geeigneter Sensoren



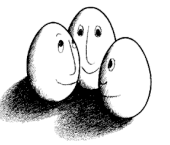
Anforderungen

- ▶ Modelle müssen einfach und schnell aktualisiert werden können
- ▶ Schnelle Einbindung von neuen Sensoren und Datenquellen
- ▶ Robustheit gegenüber Sensorausfällen
- ▶ Minimale Datenlatenz
- ▶ Einfache Selektion von “ähnlichen” historischen Chargen

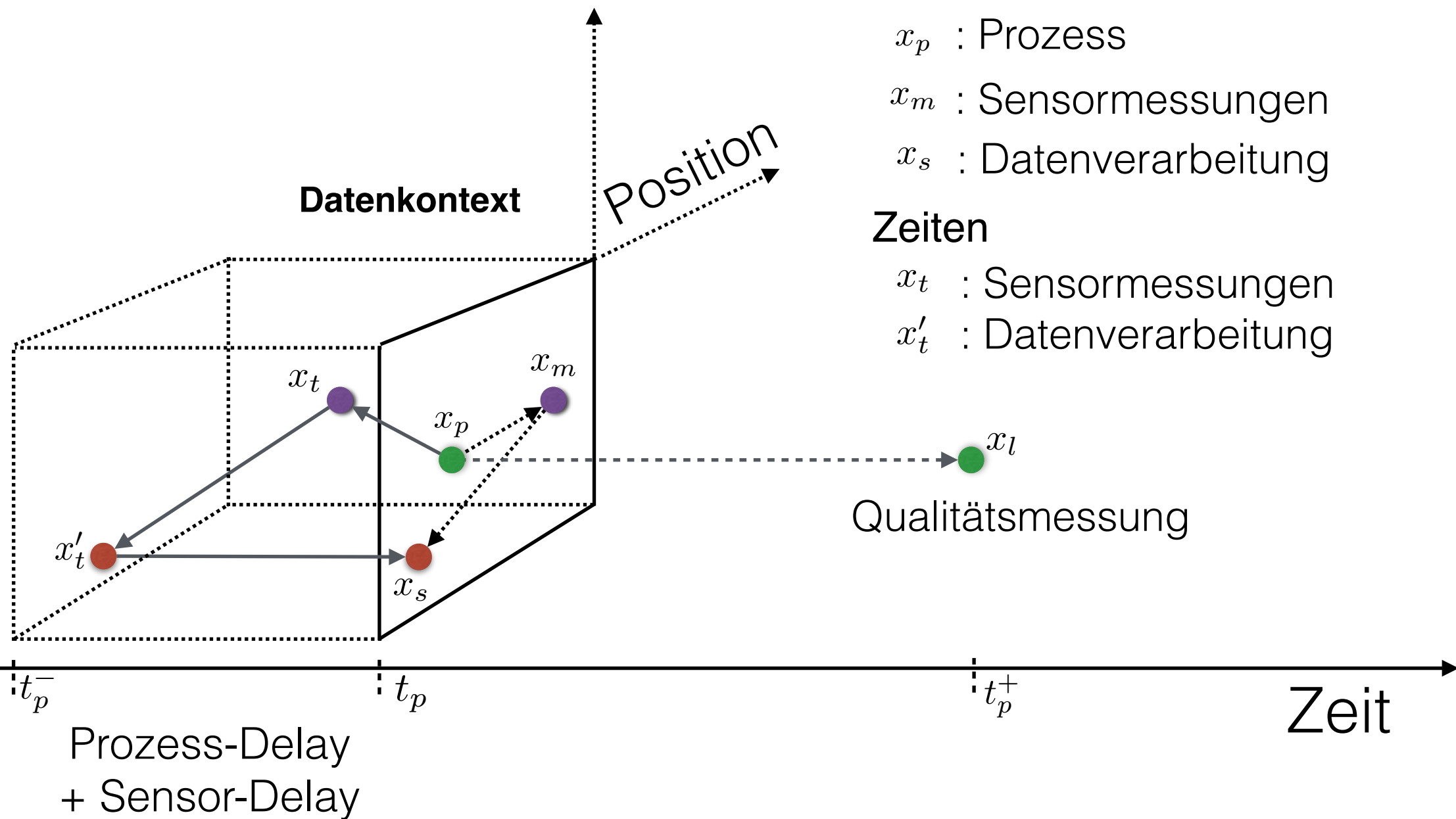


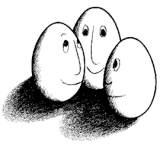
Probleme Datenversorgung

- ▶ Zeitliche Verzögerung von Sensormessungen
- ▶ Sensoren falsch positioniert oder nicht vorhanden
- ▶ Events werden bzw. können nicht gesendet werden
- ▶ Kein direkter Zugriff auf Prozessautomation
- ▶ Abnutzung von Sensoren und Messsystemen
- ▶ Unbekanntes Ausfallrisiko von Sensoren



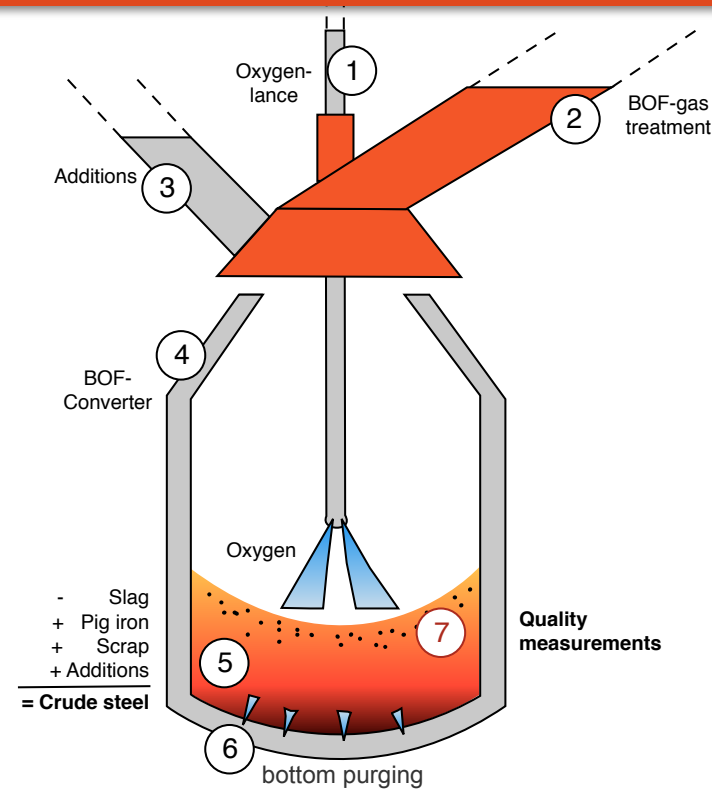
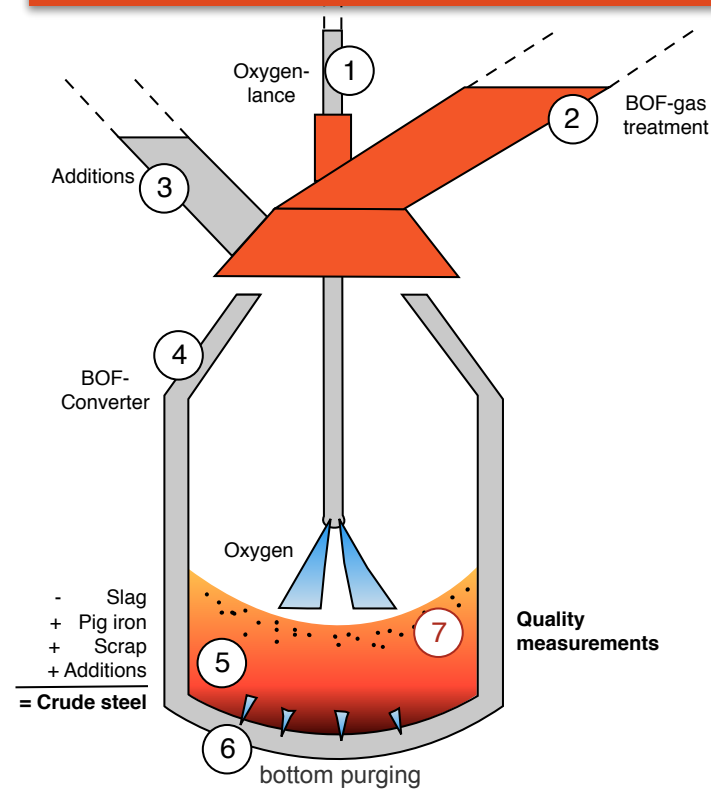
Zeitverzögerte Daten

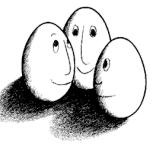




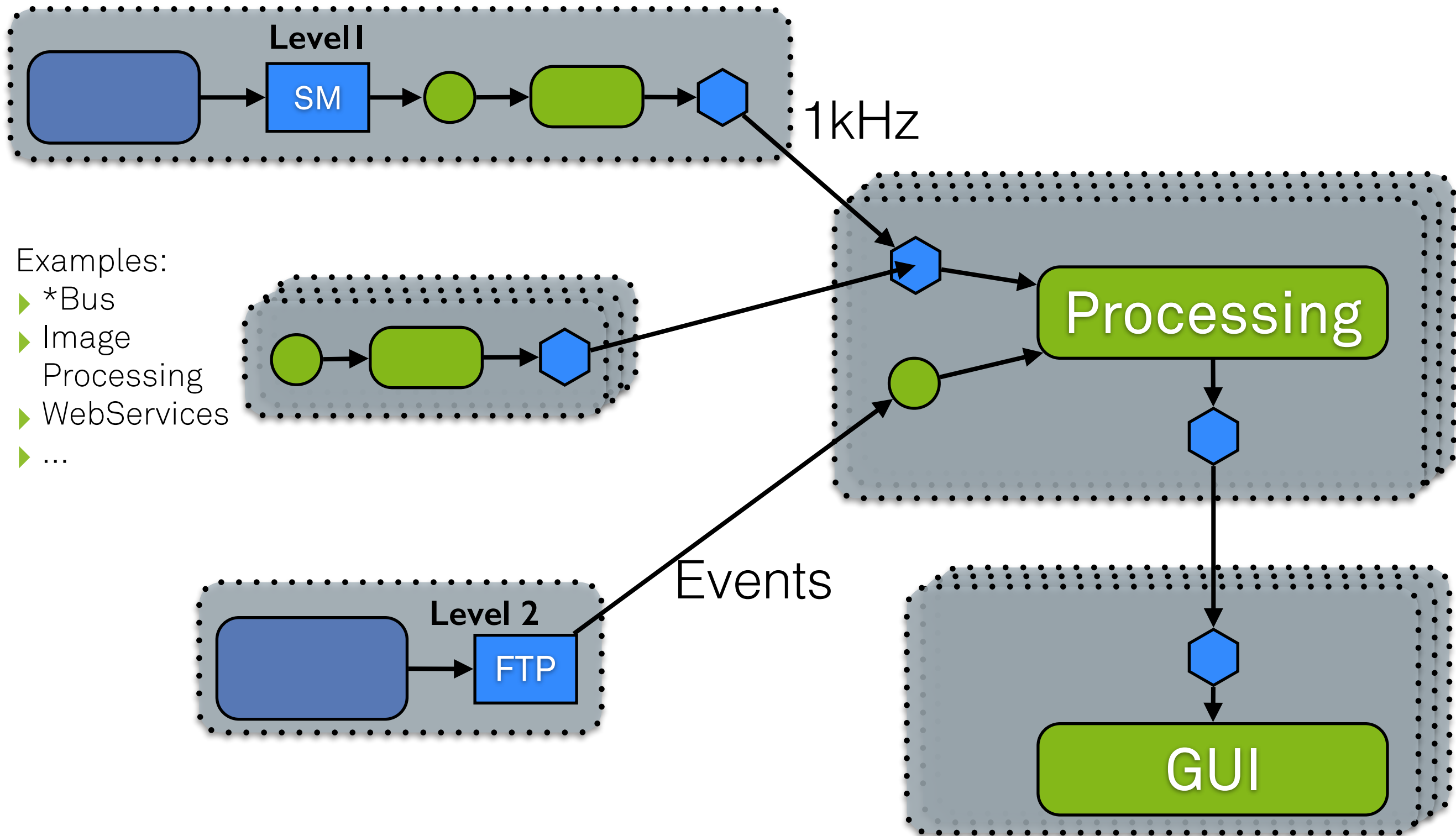
Geteilte Ressourcen und Sensoren

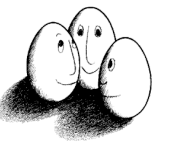
BOF-Gas-Behandlung + weitere zentrale Systeme





Datenversorgung

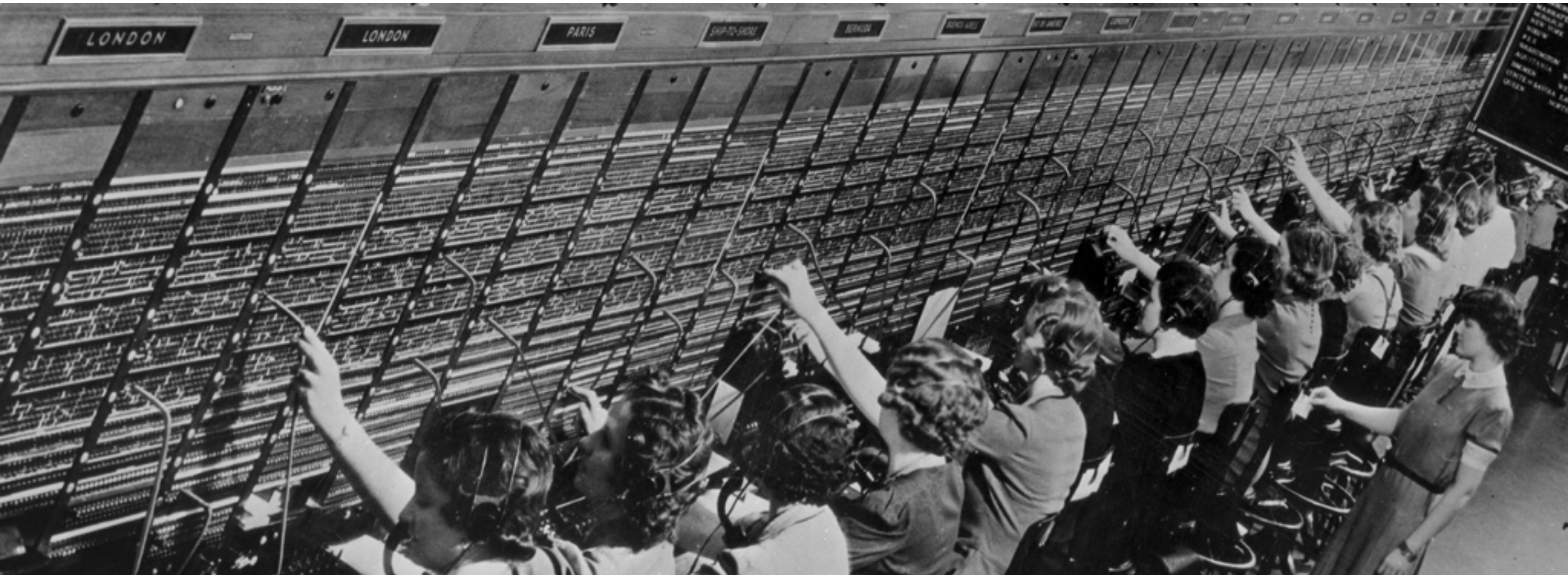


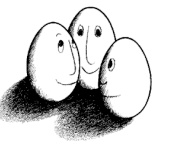


Datenmanagement

- ▶ Sparsifizierte und komprimierte
Speicherung aller Daten
(~300 GB pro Konverter pro Jahr)
- ▶ Synchrones und asynchrones Playback
der Daten (Stahlwerk im Büro)
- ▶ Selektion von Chargen anhand von
Meta-Daten
- ▶ Distanz-basierte Selektion von Chargen
(Clustering)

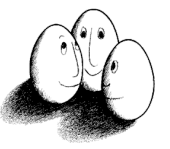
Modelmanagement





Modellmanagement

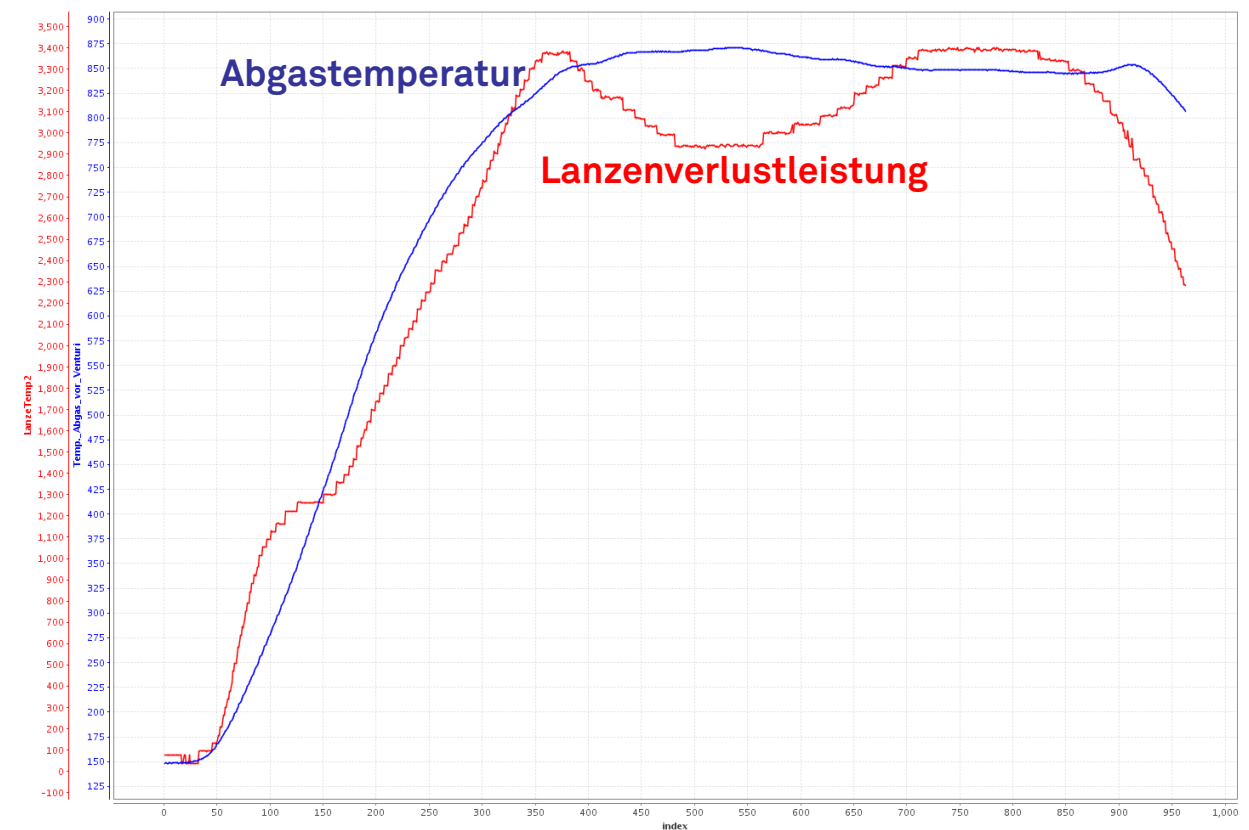
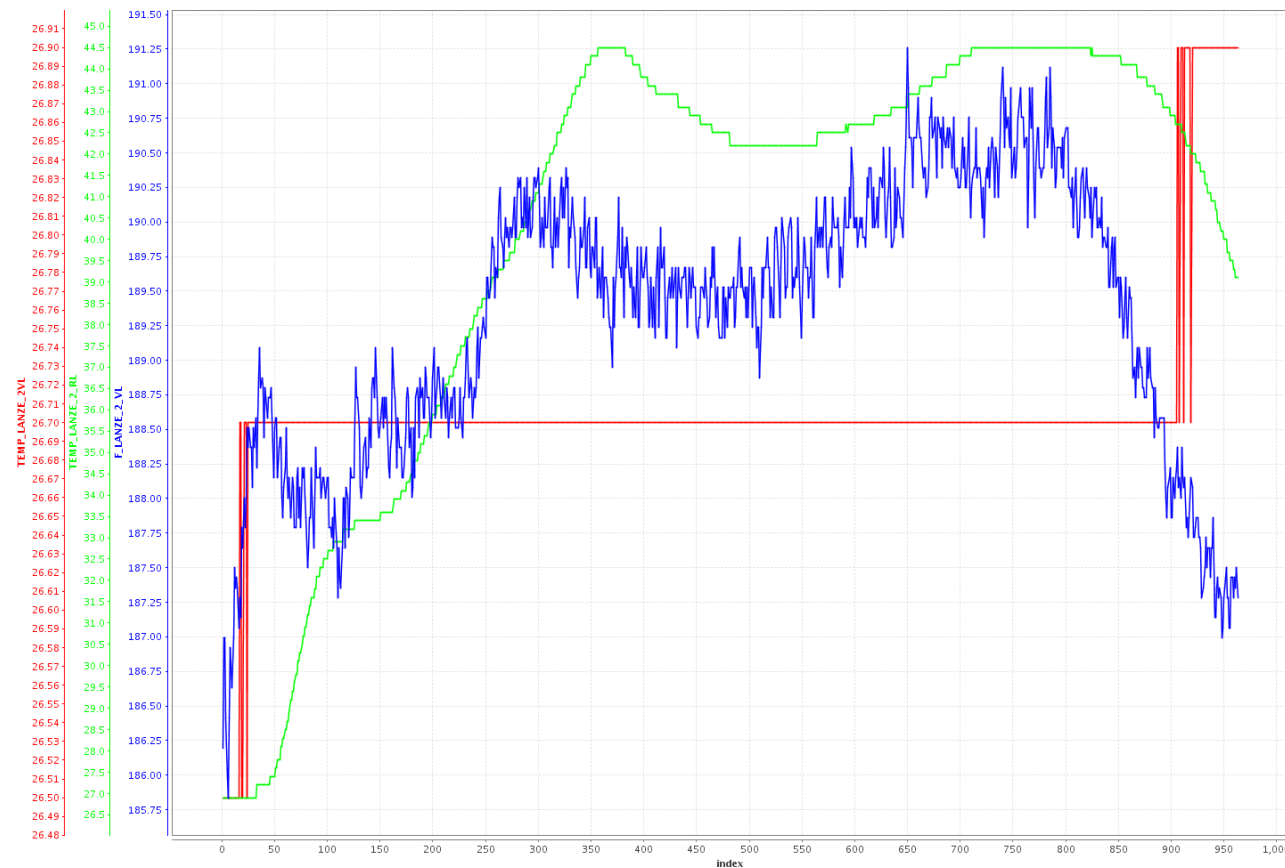
- ▶ Automatisches erstellen von Modellen anhand einer Auswahl von Merkmalen und Chargen
- ▶ Speicherung von Modellen und zugehörigen Ergebnissen
- ▶ Einfache Anwendung und Austausch von Modellen
- ▶ Paralleler Betrieb von mehreren Modellen
- ▶ Vorbereitung für autonomes Modellmanagement (Learn-Predict Cycles)



Geeignete Rohdaten erzeugen

Kombination von Zeitreihen

- Lanzenrücklauftemperatur, Durchflussrate Kühlwasser, Lanzenvorlauftemperatur werden kombiniert zur Lanzenverlustleistung.

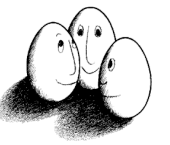


Event-Erkennung

- Aufschmelzen des Schrotts
- ...

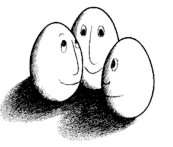
Einsatz neuer Sensoren

- Audio-Sensoren
- Kamerasysteme
- ...

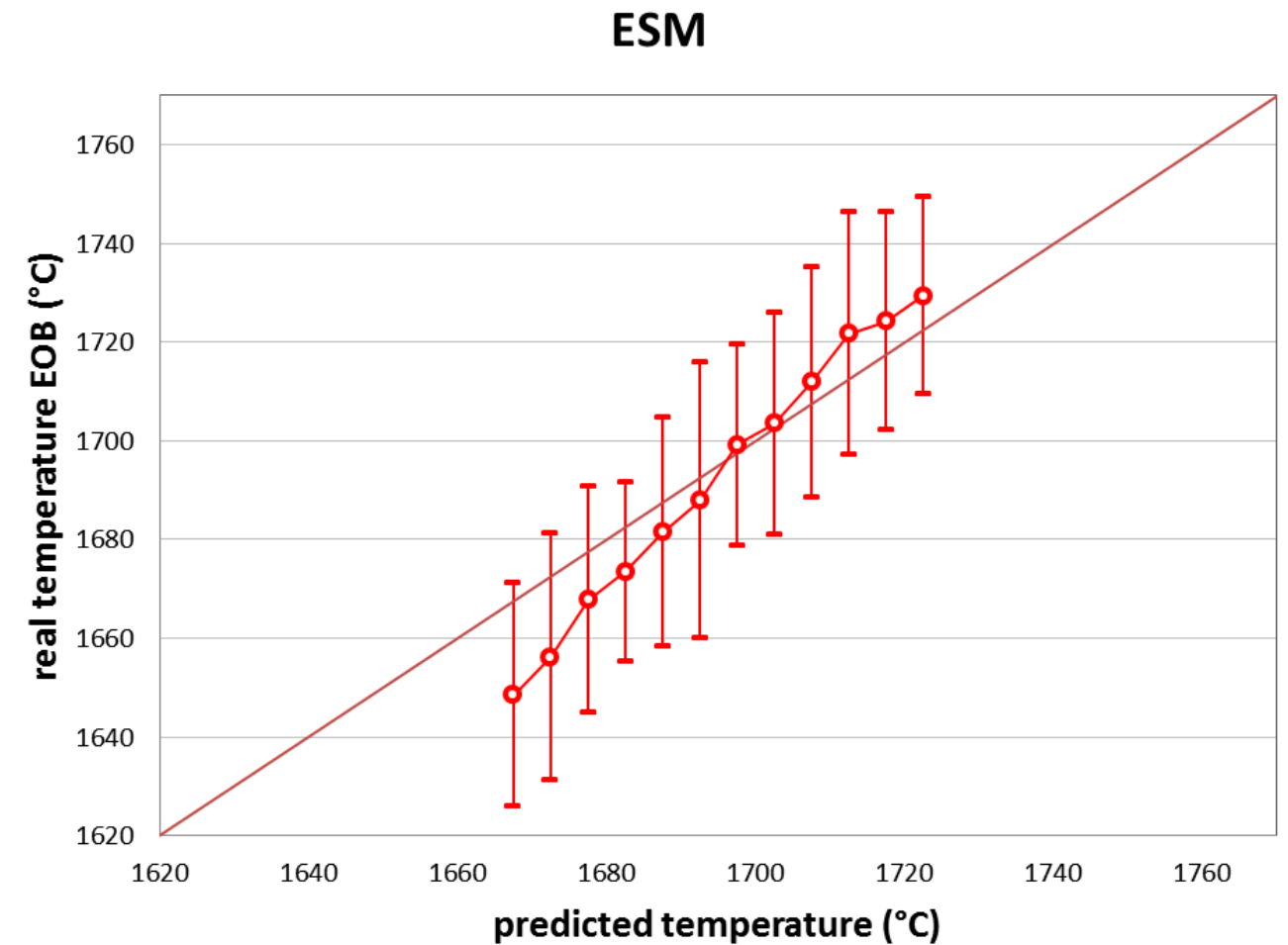
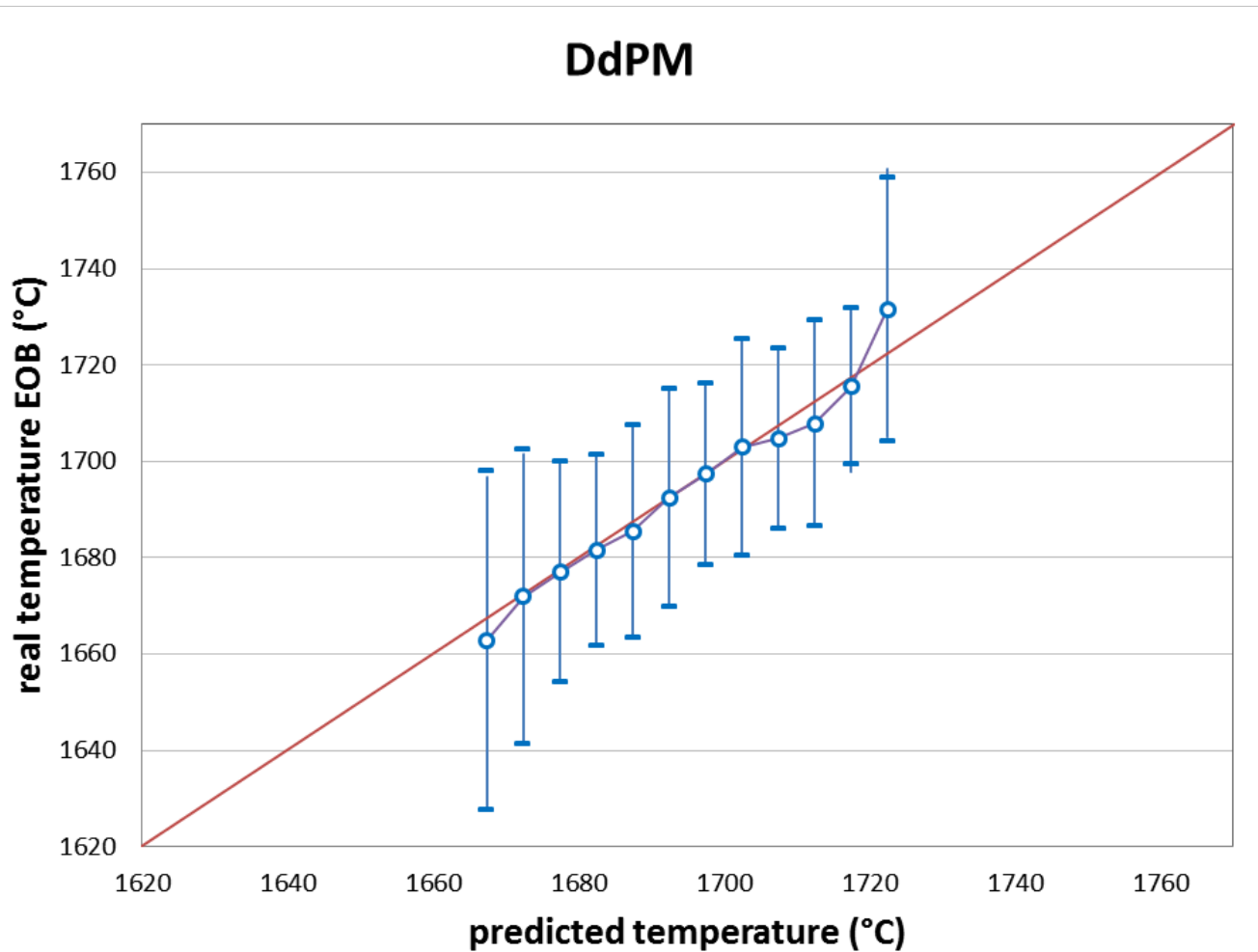


Geeignete Merkmale + Modelle erzeugen

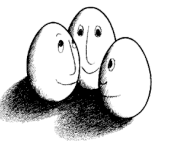
- ▶ Vorverarbeitung ist der aufwändigste Schritt
- ▶ Merkmale müssen offline und online identisch sein
- ▶ Qualität der Merkmale muss auf mehreren Ebenen evaluiert werden können
- ▶ Modelle müssen nicht-lineare Zusammenhänge darstellen können
- ▶ Ausfallrisiko der Sensoren in Modellevaluation integrieren



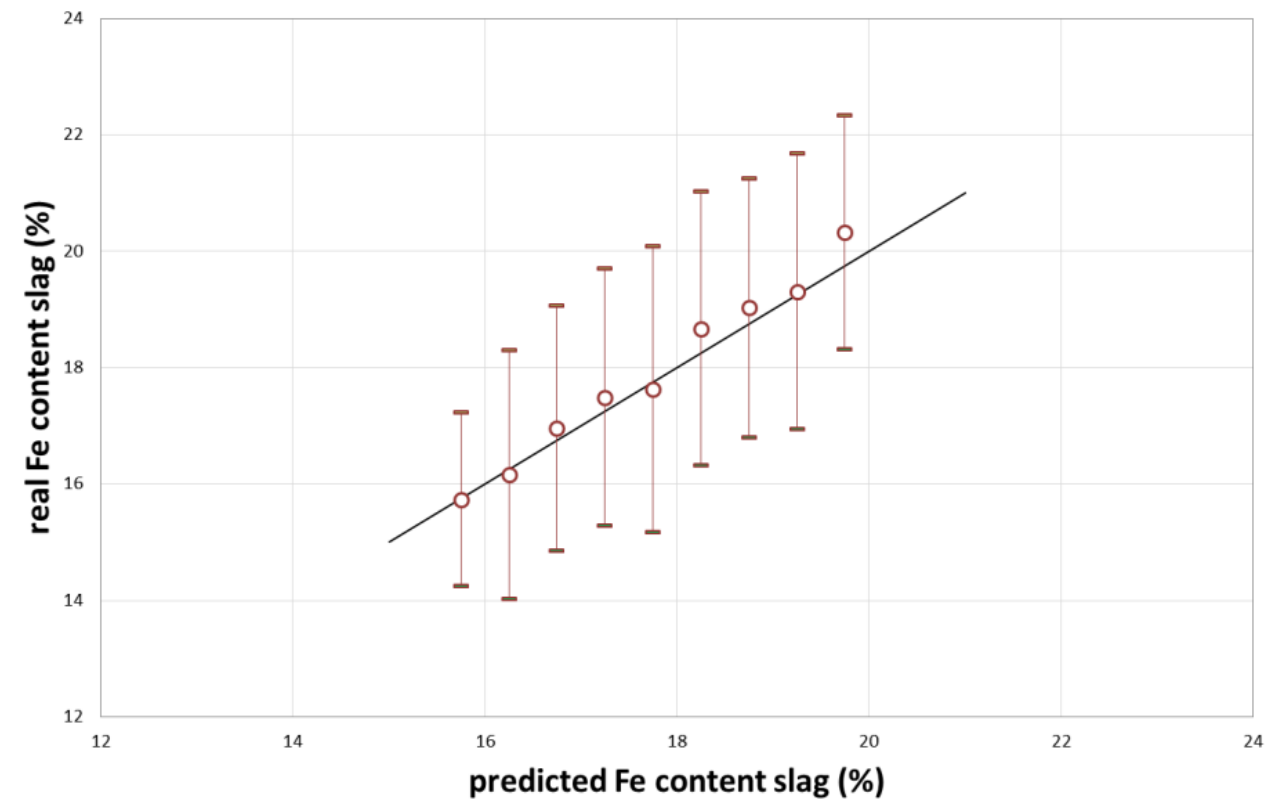
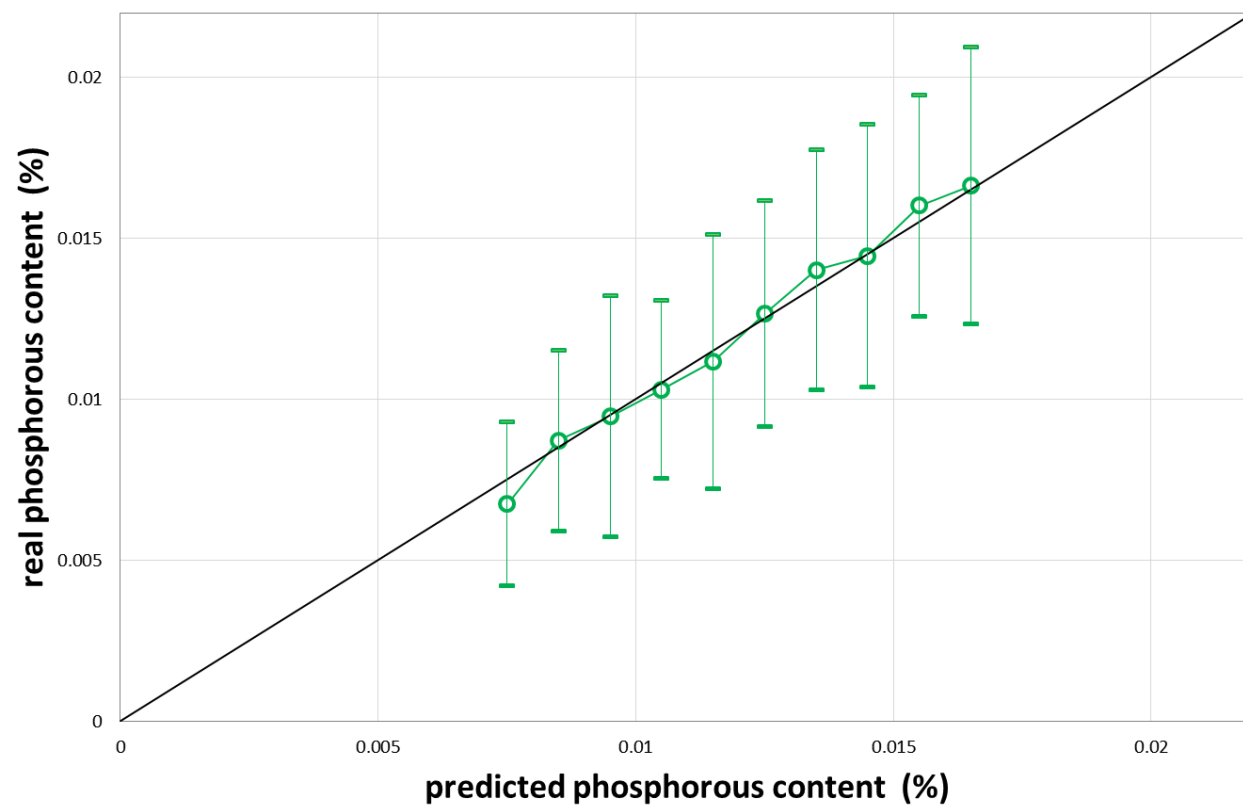
Ergebnisse



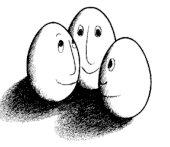
900 aufeinanderfolgende und ungefilterte Chargen



Ergebnisse



900 bzw. 700 aufeinanderfolgende und ungefilterte Chargen



Fragen?

hendrik.blom@tu-dortmund.de

