



Transport in der Brennstoffaufgabe – Teil 2:
Brennstofftransport

Dipl.-Ing. (FH), M.Sc. Martin Zwiellehner, SAR

Dr.-Ing. Ragnar Warnecke, GKS

Dipl.-Ing. (FH) Florian Grafmans, GKS

Dipl.-Ing. (FH) Volker Müller, GKS

1. Hintergrund / Einleitung
2. Brennstoffaufgabe / Unterschiede
3. Versuche
4. Gleichungssystem / Formel
5. Ergebnisse

Hintergrund

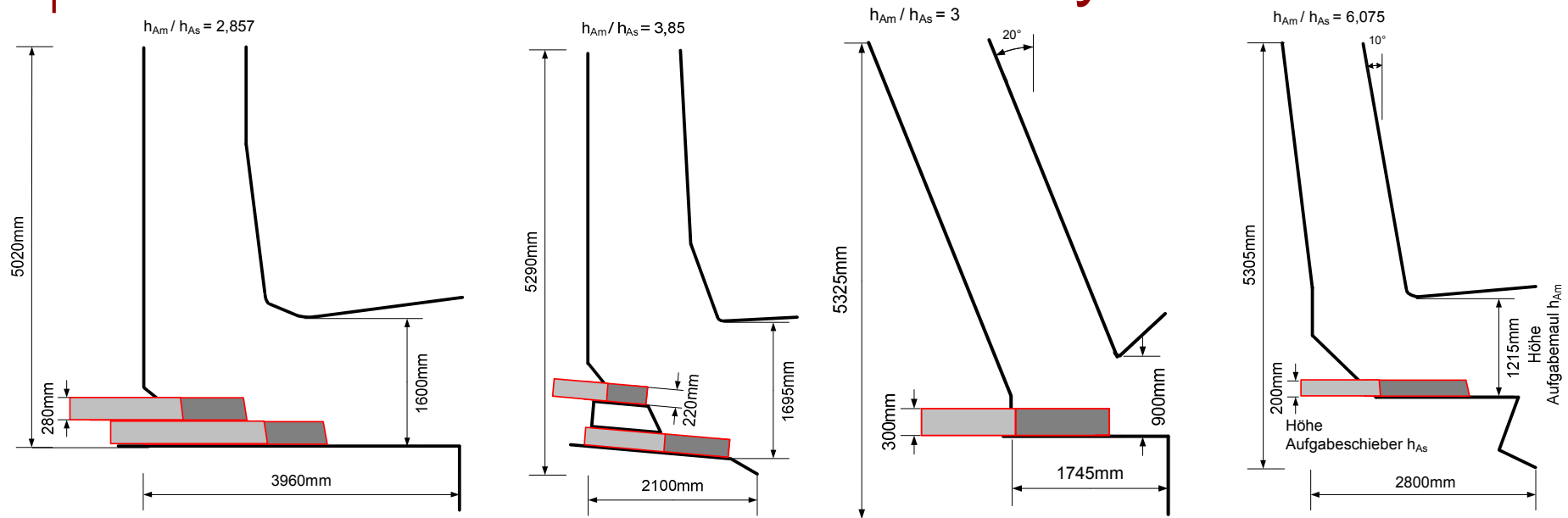


- Ursache liegt im Forschungsvorhaben VOKos begründet.
- Optimierung von Teilmodellen des Feuerungsmodells CombAte gefordert.
- Schwerpunkt = Feststofftransport insbes. Brennstoffaufgabe.
- Randbedingung: Essentiell für Modellierung der Rostfeuerung ist Kenntnis des aufgegebenen Brennstoffmassenstroms.
- Stößelbeschickung ist quasi-kontinuierliche Beschickung, d. h. für exakte Vorhersage muss zeitliche Diskretisierung der Brennstoffaufgabe erfolgen.
- Für bestehende Anlagen ist dies – aufwändig und über Umwege – möglich.
- Ziel = Übertragbarkeit der Modellvorstellung auf andere Anlagen.

Einleitung



Unterschiede in den Beschicksystemen



Wesentliche konstruktive Unterscheidungsmerkmale:

- Einzelkolben- oder Doppelkolbenbeschickung
- Höhe Gesamtkonstruktion
- Neigung Schacht / Trichter
- Höhe Aufgabemaul
- Höhe Aufgabeschieber
- Verhältnis h_{Am}/h_{As}

Wesentliche betriebliche Unterscheidungsmerkmale:

- Hublänge
- Hubposition
- Geschwindigkeit
- bei Doppelkolben: Fahrzyklus

Annäherung an die Problemstellung

- Entscheidend: welches Volumen wird pro Doppelhub gefördert?
- Welche Parameter beeinflussen den Fördervorgang (Sensitivität)?
- Konstruktive und / oder betriebliche Einflussgrößen?
- Wie kommt es zu einer Kompression, d. h. Dichtezunahme?
 - Durch die Eigengewichtskraft und den daraus resultierenden Druck im Aufgabeschacht.
 - Durch von außen aufgeprägte Kräfte (durch den Aufgabeschieber).

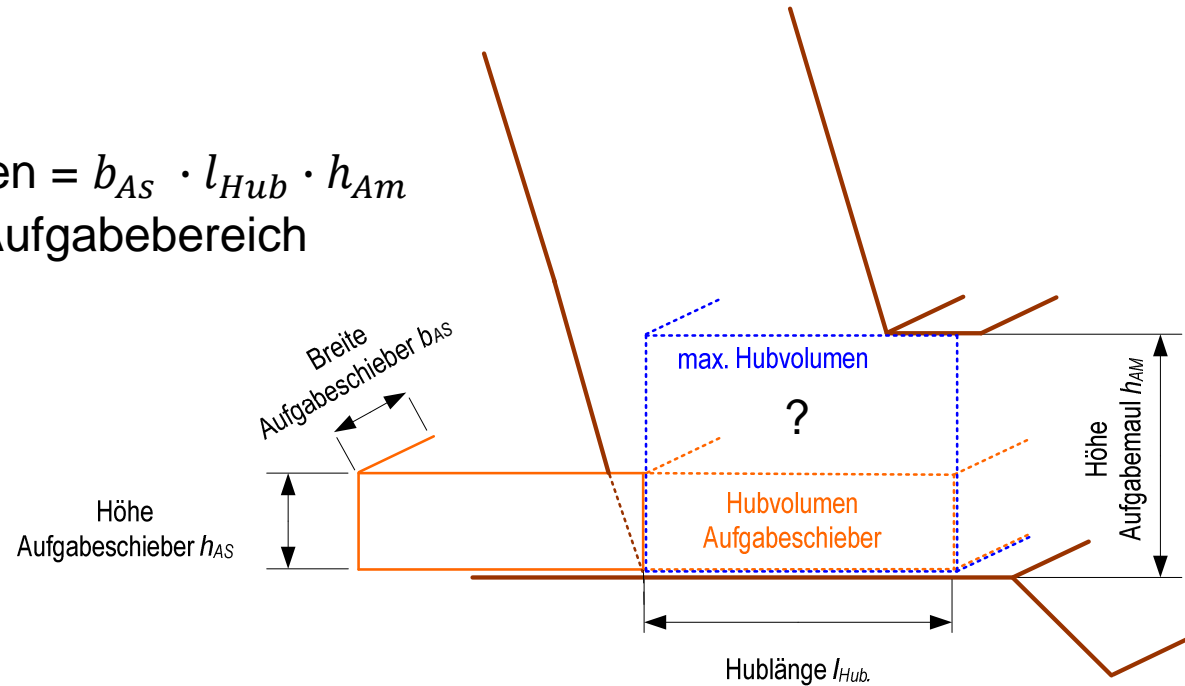
"Einfache" Formel

Mit:

$n_{Dh,As,i}$ = Anzahl Doppelhübe

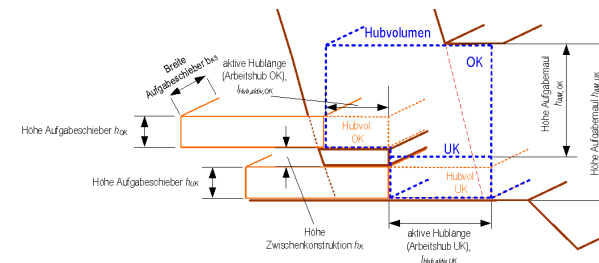
$V_{Dh,As,eff}$ = gefördertes Volumen = $b_{AS} \cdot l_{Hub} \cdot h_{AM}$

$\rho_{BrSt,i}$ = Dichte Brennstoff im Aufgabebereich



$$\dot{m}_{BrSt} = n_{Dh,As} \cdot V_{Dh,As,eff} \cdot \rho_{BrSt} = n_{Dh,As} \cdot (b_{AS} \cdot l_{Hub} \cdot h_{AM}) \cdot \rho_{BrSt}$$

$$\dot{m}_{BrSt,Aufgabe} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J n_{Dh,i,j} \cdot (b_{As,i,j} \cdot l_{Hub,i,j} \cdot h_{Am,i,j}) \cdot \rho_{BrSt,i,j}$$



Anwendung der "einf." Formel

- Betriebsdatenanalyse und -aufbereitung von 50 repräsentativ ausgewählten Verbrennungslinien.

$$m_{Dh,Aufgabe,Kran} = \frac{\sum \dot{m}_{Kran}(x)}{\sum n_{Dh,As}(x)} \quad m_{Dh,Aufgabe,Eingangswaage} = \frac{\sum m_{Eingangswaage}(x)}{\sum n_{Dh,As}(x)}$$

- **Anwendung der Formel zeigt erhebliche Abweichungen zur Realität !**
- Welche Parameter der Formel können nicht stimmen?

$$\dot{m}_{BrSt,i} = n_{Dh,As,i} \cdot V_{Dh,As,eff} \cdot \rho_{BrSt,i} = n_{Dh,As,i} \cdot (b_{As} \cdot l_{Hub} \cdot h_{Am}) \cdot \rho_{BrSt,i}$$

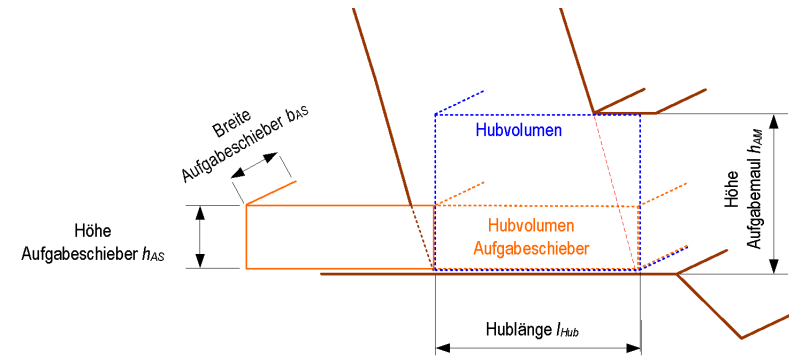


- Identifikation der „Stellschrauben“ → Versuche.

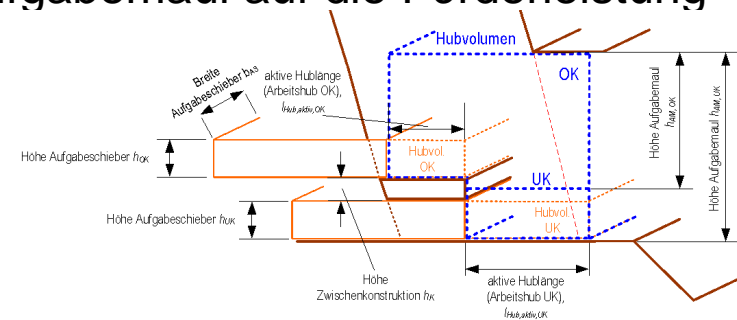
Versuchsprogramm

Untersucht werden muss:

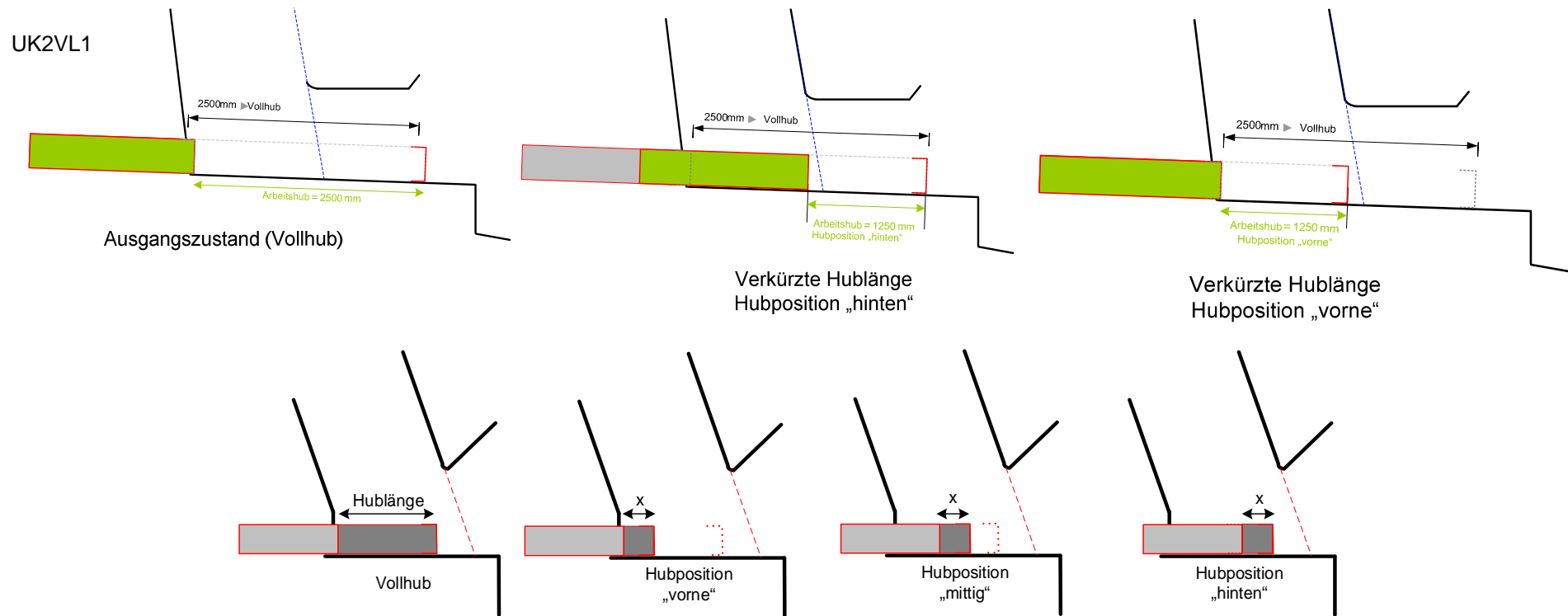
1. Einfluss der Hublänge auf die Förderleistung
2. Einfluss der Hubposition auf die Förderleistung
4. Förderleistung vor dem Aufgabeschieber
5. Förderleistung oberhalb des Aufgabeschiebers
3. Einfluss der Höhen von Aufgabeschieber und Aufgabemaul auf die Förderleistung



6. Besonderheiten der Doppelkolbenbeschickung

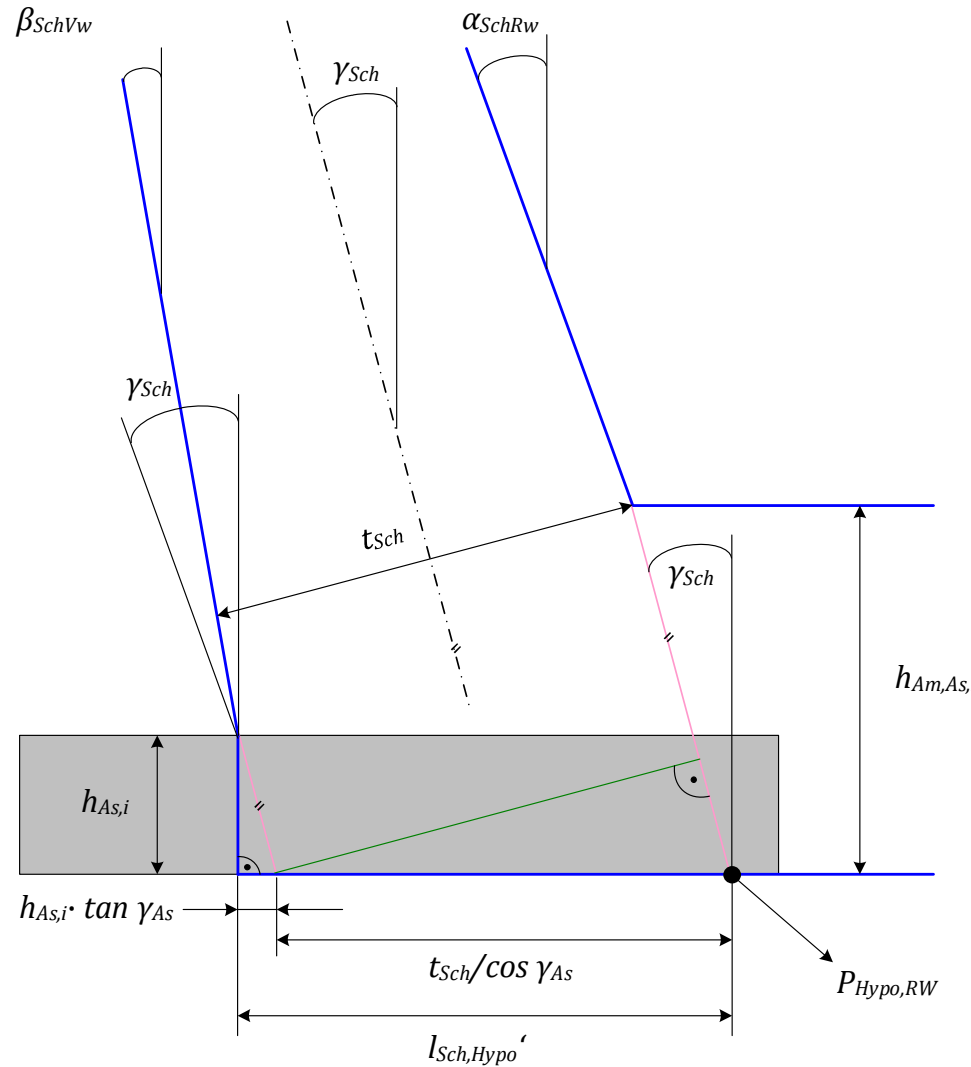


Einfluss der Hublänge u. Hubposition



- Vorhubstrecke = Hublänge * Anzahl der Hübe
- Erwartung: Hublänge ↓ (↑) und Anzahl der Hübe ↑ (↓) → Vorhubstrecke = const.
- Realität sieht jedoch deutlich anders aus!

Einfluss der Hublänge - Erkenntnisse

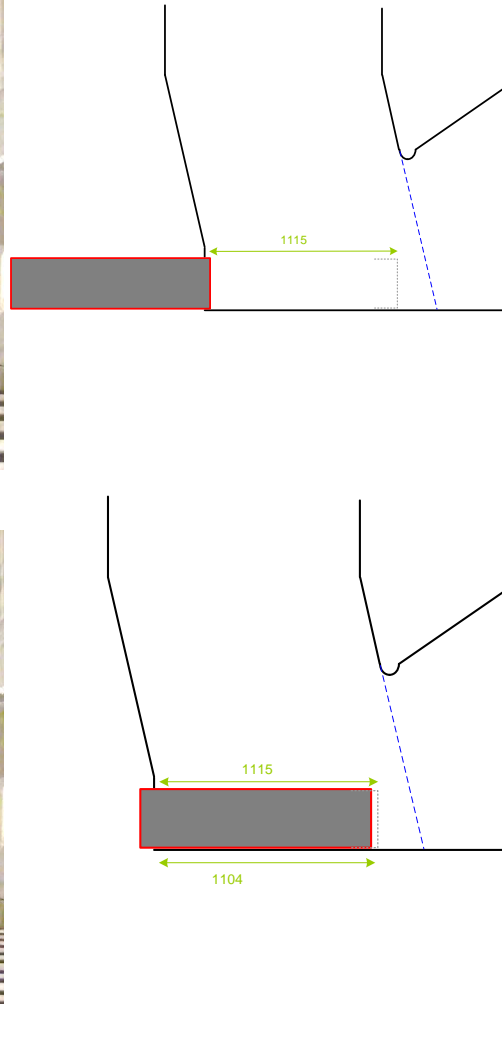
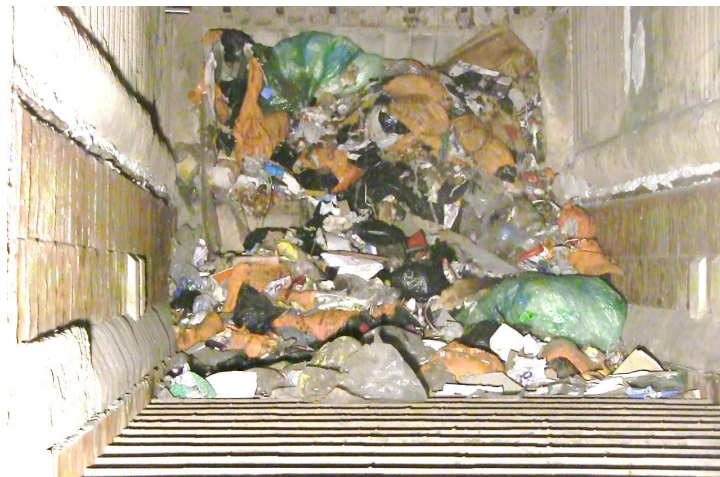


Zwiellehner, M.: Beschreibung des Transports in der Brennstoffaufgabe - Teil 2: Brennstofftransport
 16. VDI-Fachkonferenz "Feuerung und Kessel - Beläge u. Korrosion - in Großfeuerungsanlagen", Hamburg, 30.+31.5.2017

Einfluss der Hublänge (IV)



CH3VL1



Beobachtungen
am Aufgabebereich
(vor dem Anfahren)

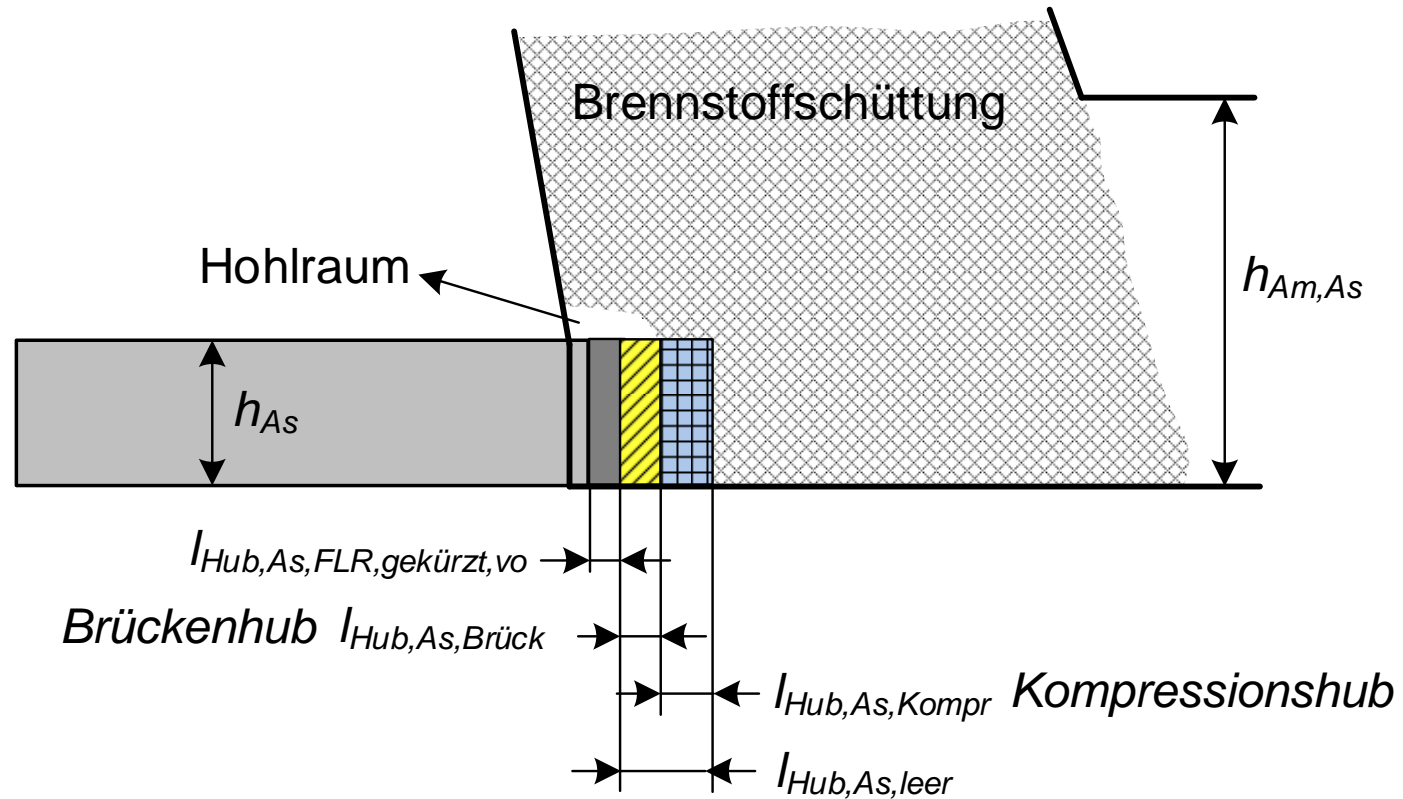
Erkennen der ersten
Bewegung der
Müllschüttung aus
Stellung des
Aufgabeschiebers →
Leerhub

2 Verbrennungslinien
(konstruktiv identisch):
DE20VL1 = ca. 550 mm
CH3VL1 = ca. 600 mm

Einfluss der Hublänge (II)

Minderung der Fördereffektivität durch...

2. den Leerhub:



Einfluss der Hublänge (V)



Beobachtungen am Aufgabetrichter

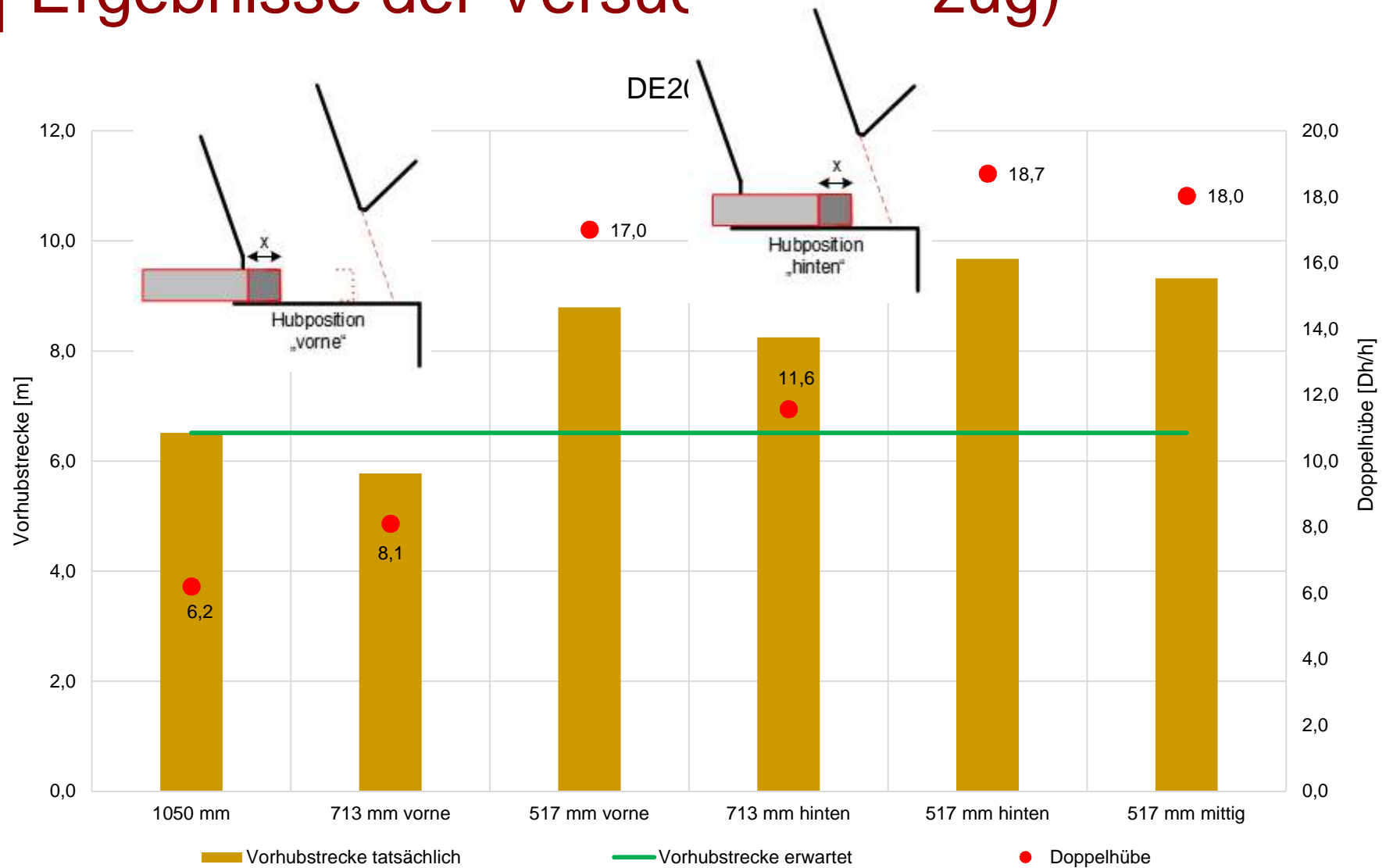
Müllschüttung im Trichter wird (oft) beobachtet - wann rutscht der Müll während des Vorhubes nach → Leerhub (124 mm ± 41 mm, n > 50).

DE20VL1

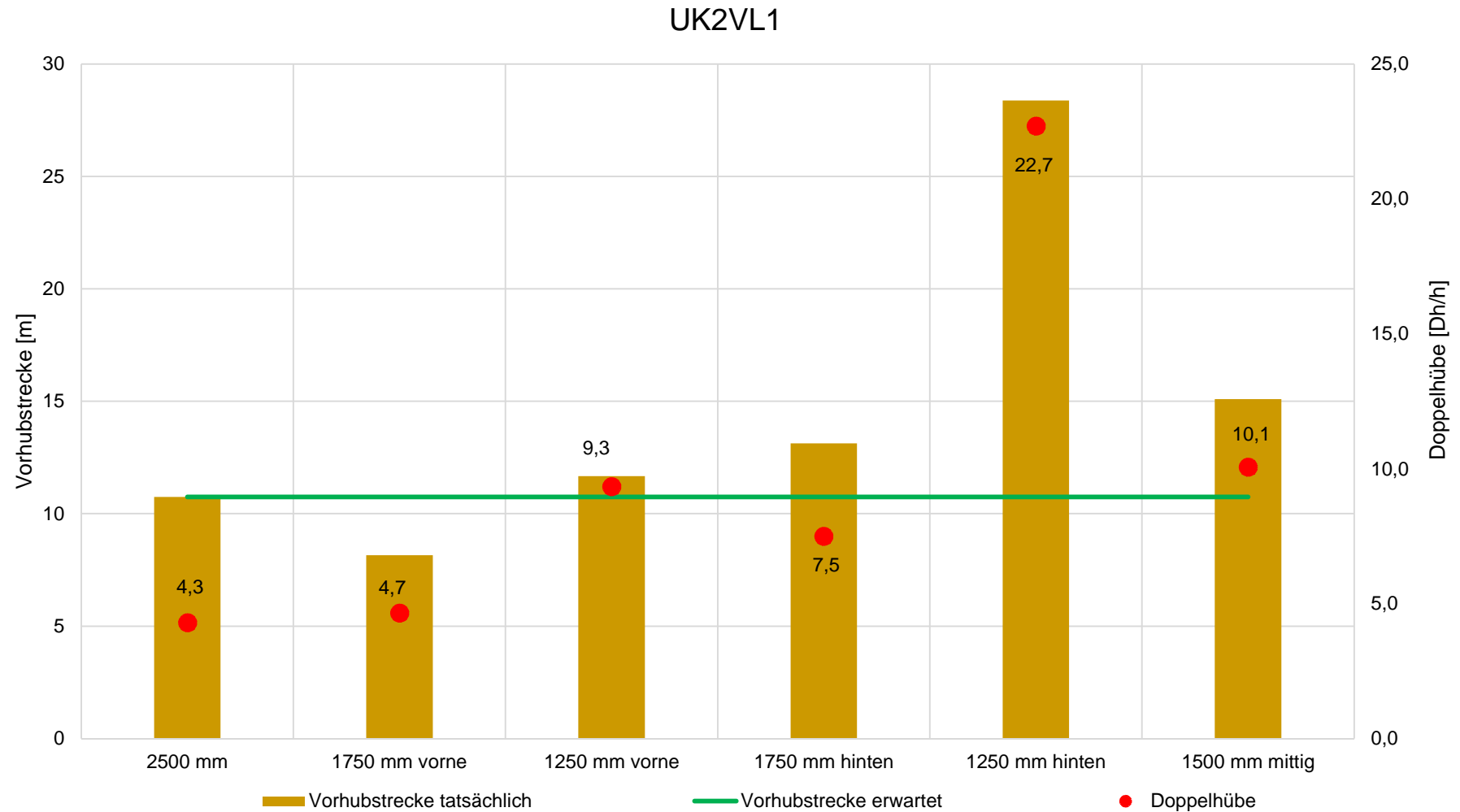
Klingt plausibler, aber warum die Abweichung zu den Versuchen beim Anfahren?



Ergebnisse der Versuche (Δ Hubzug)

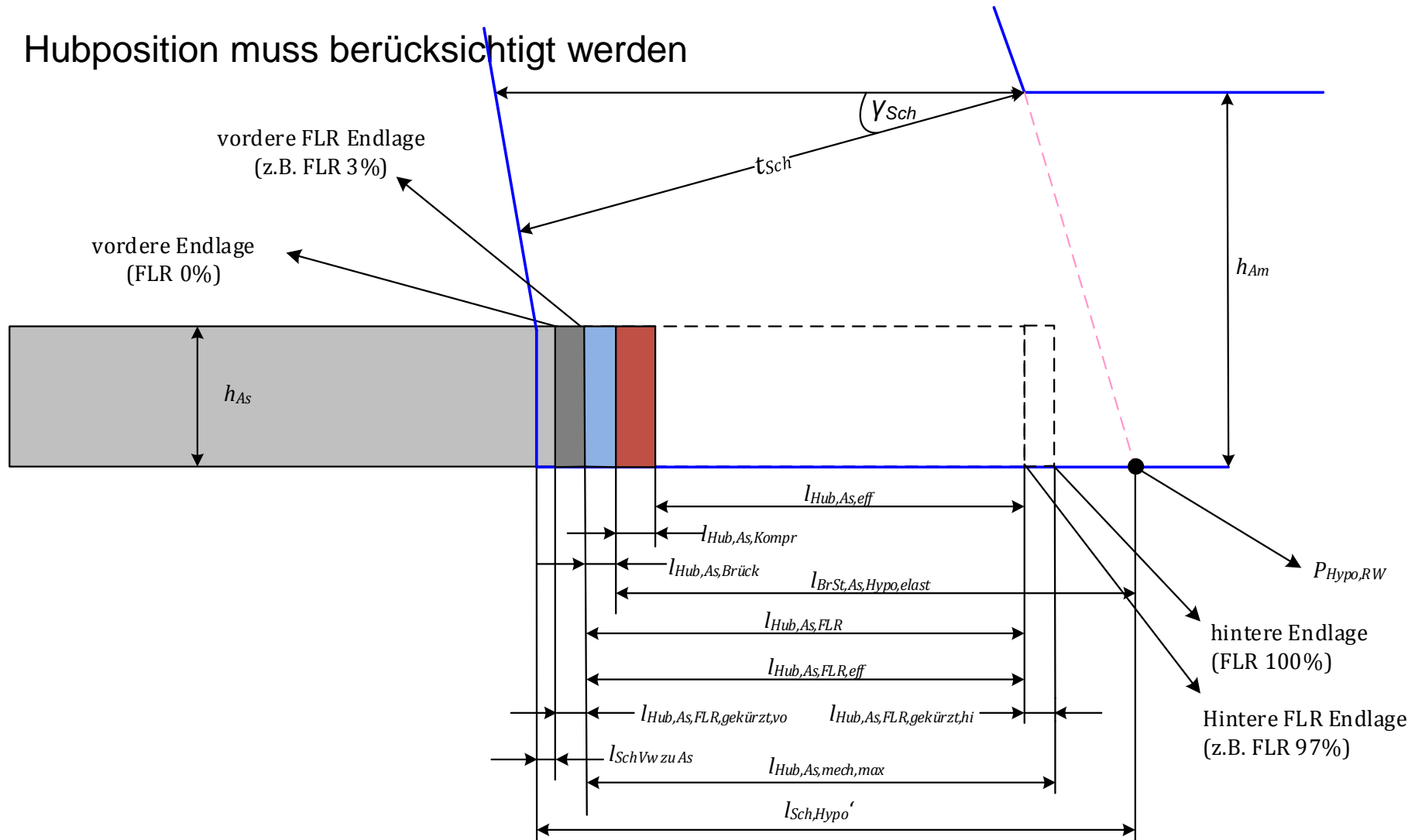


Ergebnisse der Versuche (Auszug)



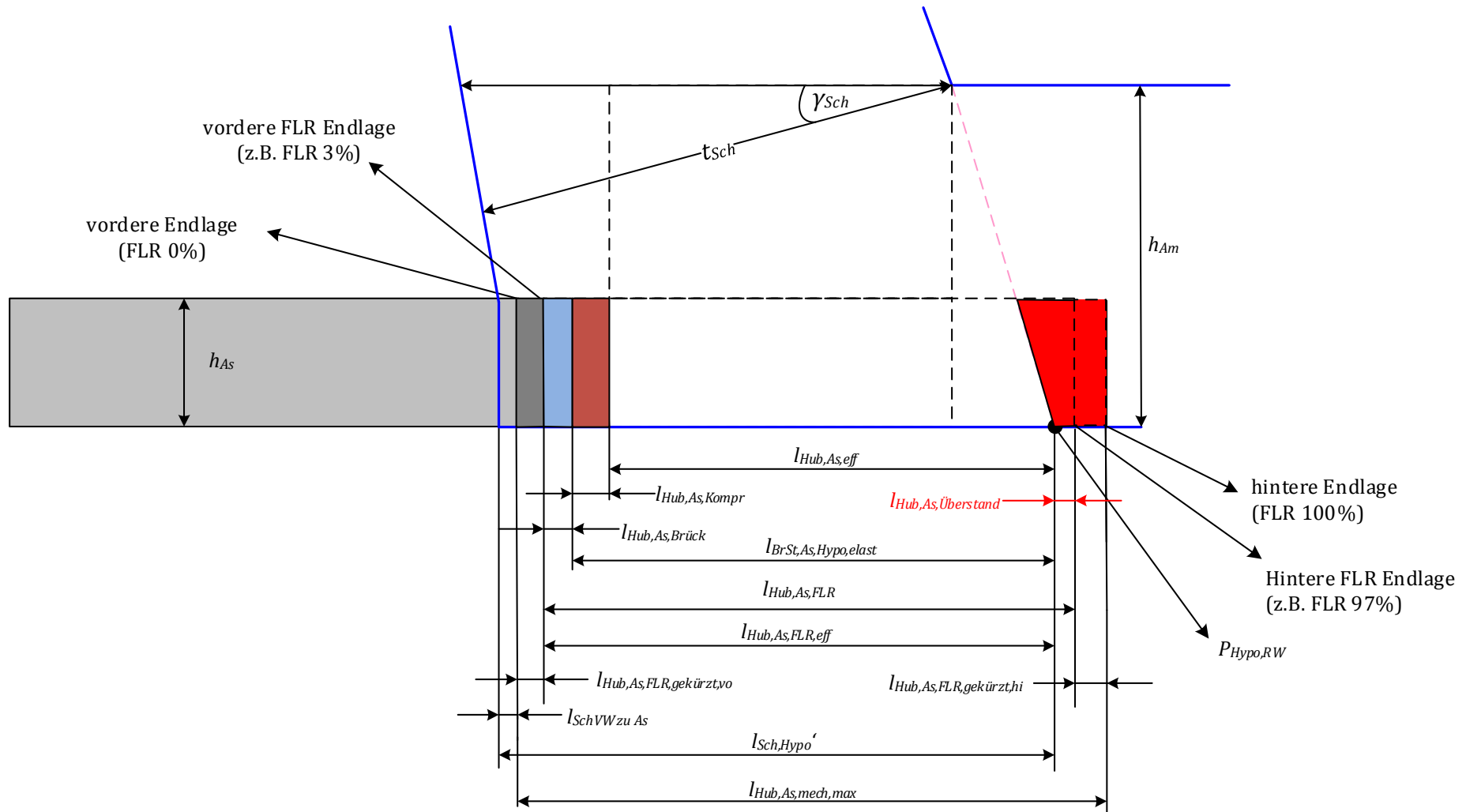
Effektive Hublänge (Fall 1)

Hubposition muss berücksichtigt werden



Zwiellehner, M.: Beschreibung des Transports in der Brennstoffaufgabe - Teil 2: Brennstofftransport
 16. VDI-Fachkonferenz "Feuerung und Kessel - Beläge u. Korrosion - in Großfeuerungsanlagen", Hamburg, 30.+31.5.2017

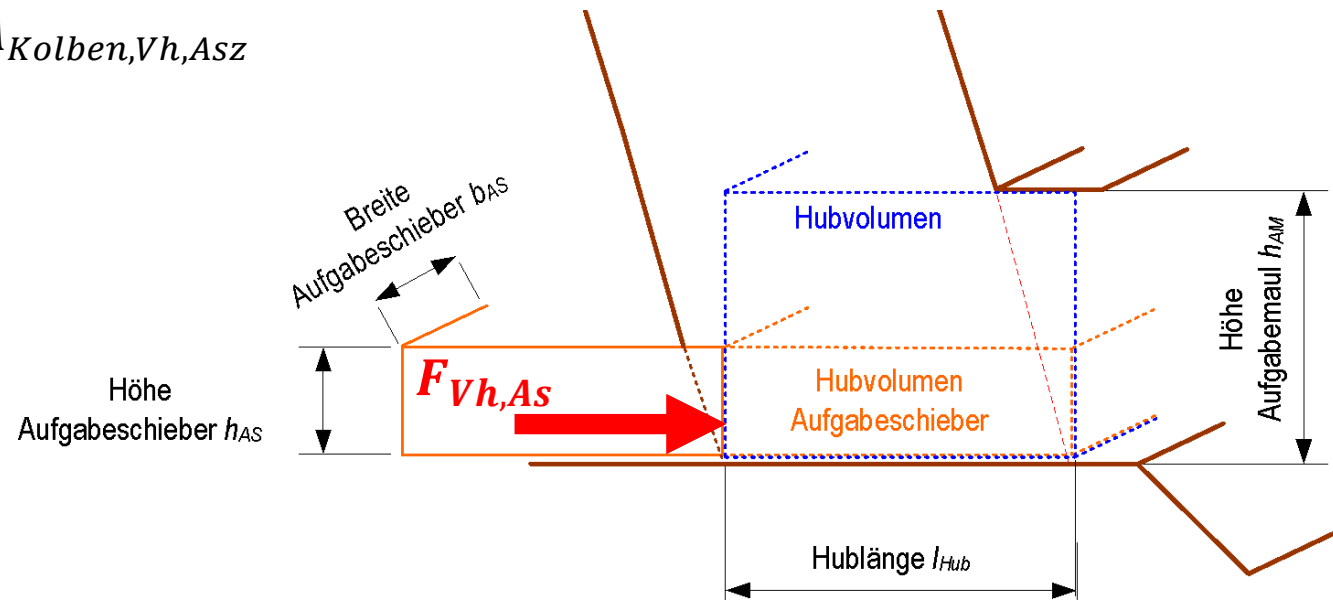
Effektive Hublänge (Fall 2)



Förderleistung vor Aufgabeschieber

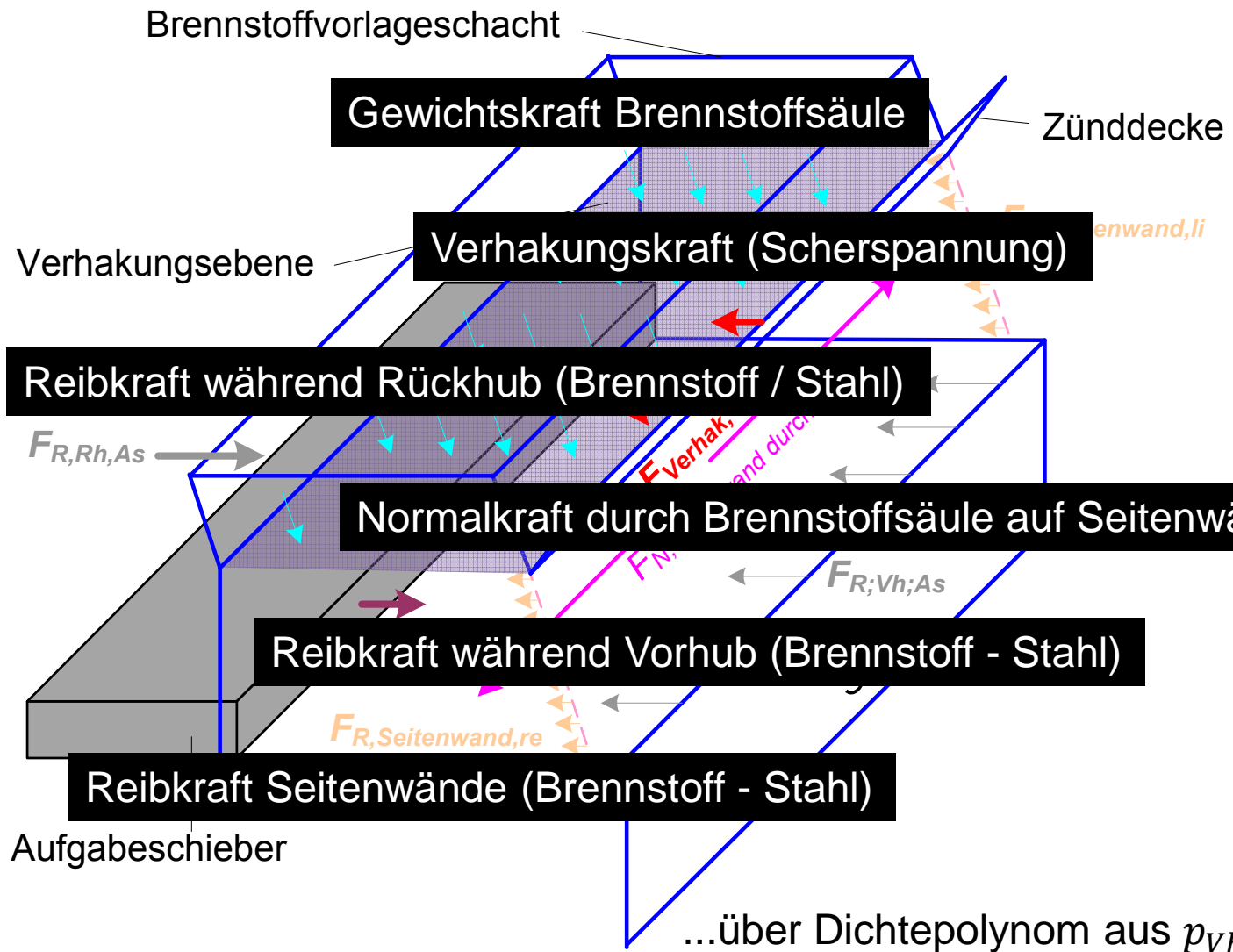
- Annahme: Förderleistung vor Aufgabeschieber = 100 %.
- Gleichmäßige Verdichtung auf gesamter Schieber-Höhe h_{AS} .
- Berechnung der komprimierten Dichte über die Kraft des Schiebers:

$$F_{Vh,As} = n_{Asz} \cdot p_{Vh} \cdot A_{Kolben,Vh,Asz}$$



- p_{Vh} wird in der Regel nicht kontinuierlich gemessen.
- p_{Vh} bzw. $F_{Vh,As}$ muss anhand einer Kräftebilanz bestimmt werden.

Kräftebilanz im Aufgabebereich



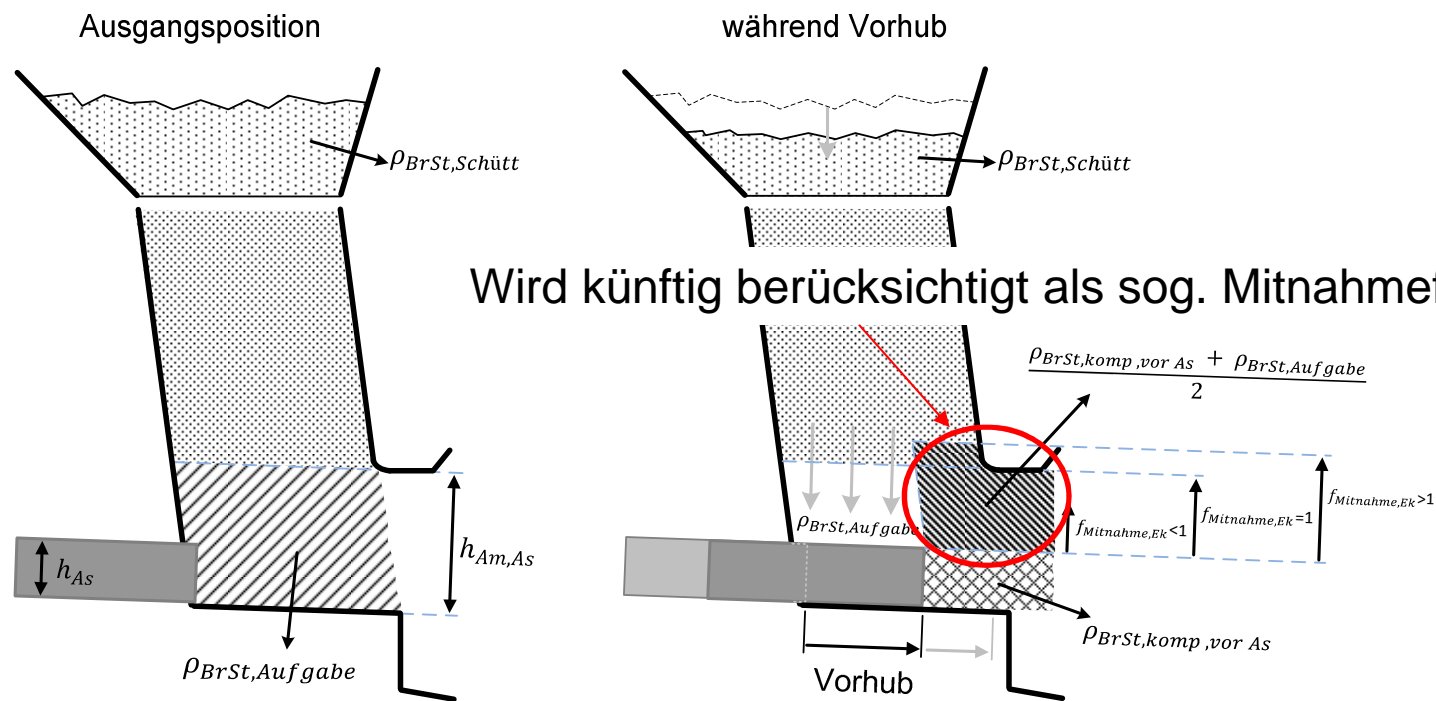
Kräftebilanz:

$$F_{Vh,As} > \sum F_{R,i}$$

$$\sum F_{R,i} = F_{R,ges,Seitenwände} + F_{R,Vh,As} + F_{Verhakungsebene}$$

Förderleistg. *oberhalb* Aufgabeschieber

- Dichte im Aufgabebereich müsste bei 1.400 kg/m^3 liegen, wenn nur das Volumen vom Schieber gefördert werden würde.
 - Beobachtung: Während Vorhub gibt es reproduzierbares Nachrutschen im Trichter.
- Es wird auch ein nennenswertes Volumen oberhalb des Schiebers gefördert.



Bestimmung Mitnahmefaktor

Umfangreiche Versuche an verschiedenen

Anlagen:

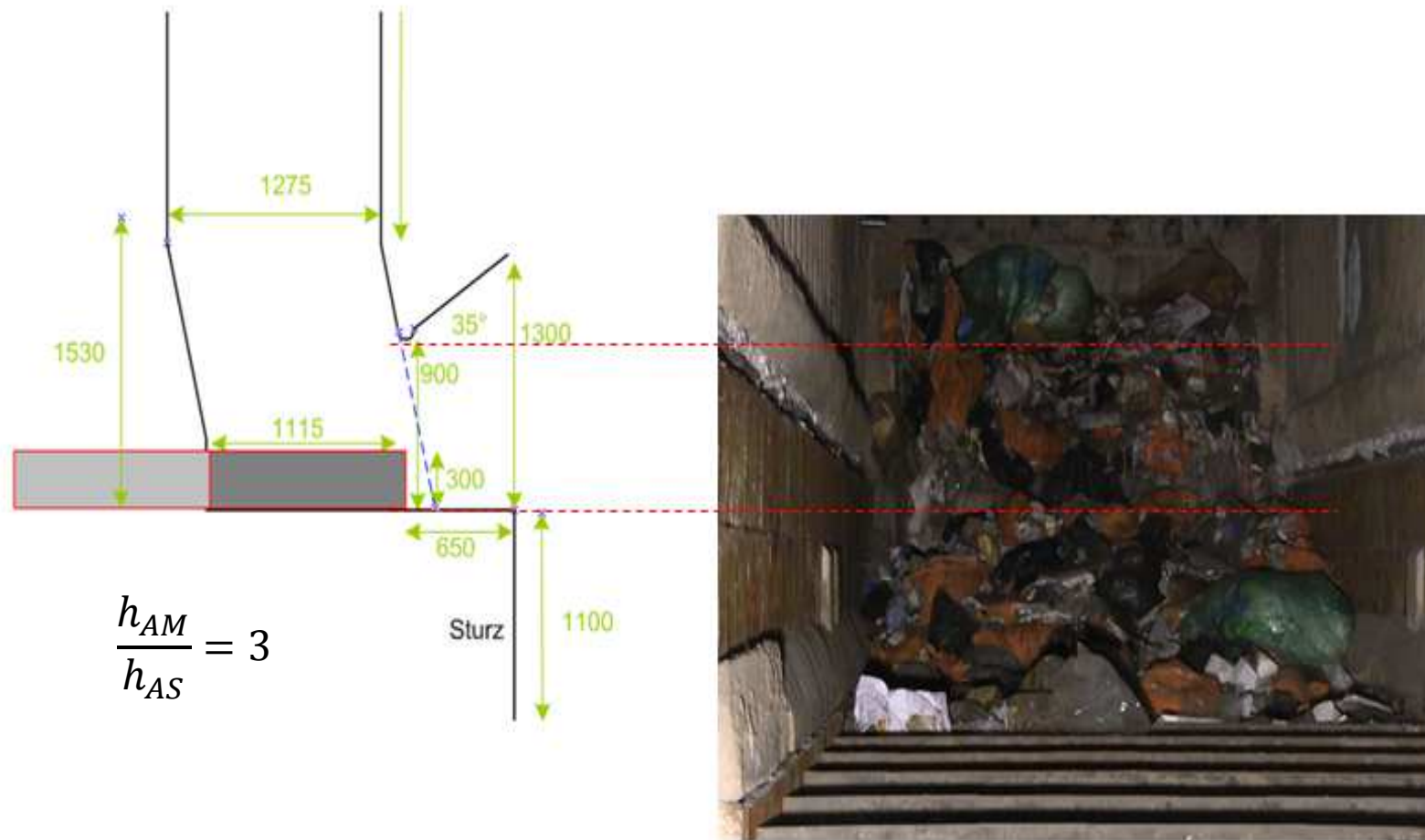
→ Trichterbeobachtungen

→ Videoanalysen



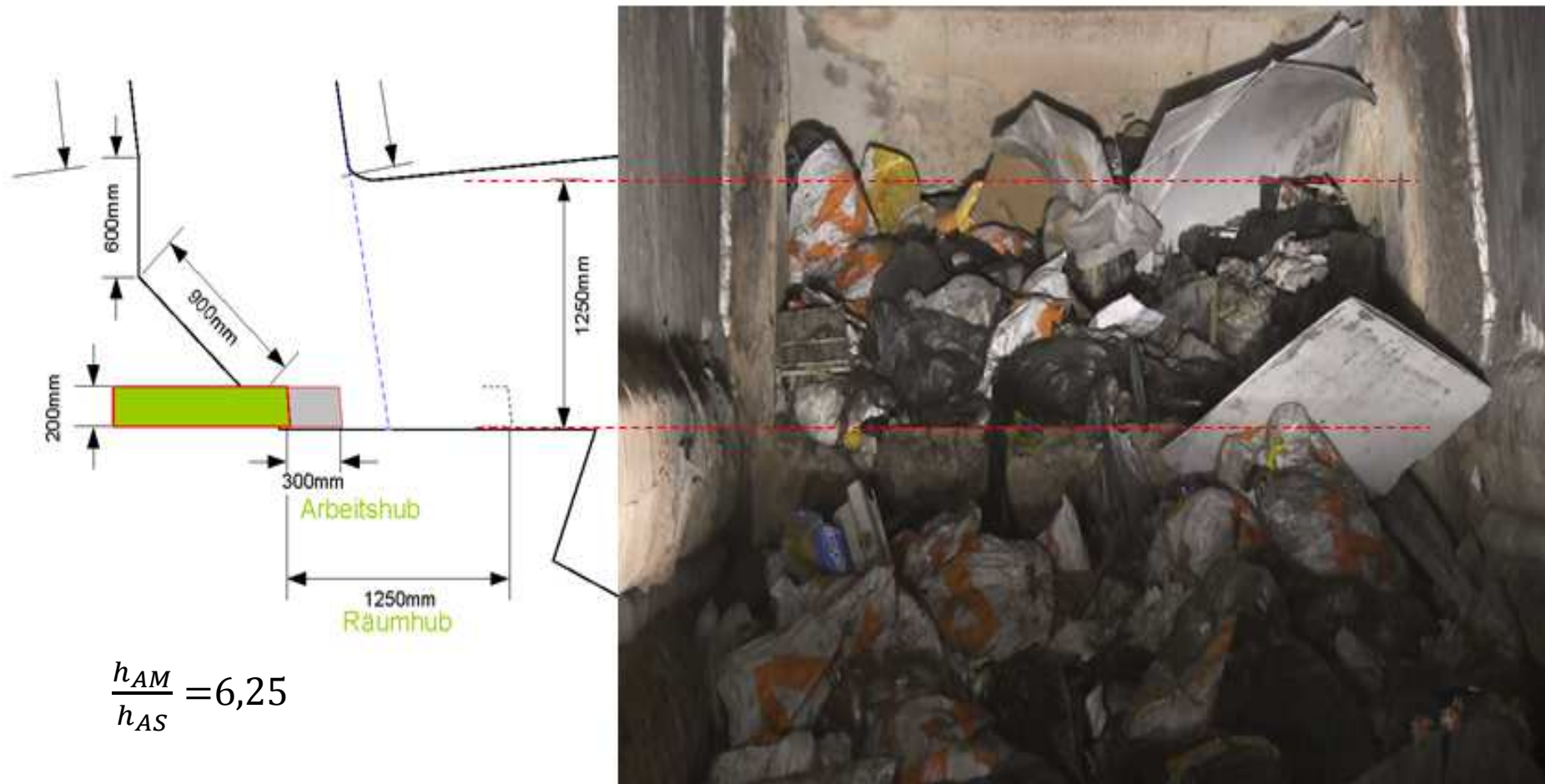
Bestimmung Mitnahmefaktor

Beschickvorgang CH3VL2 (Ausschnitt aus Video)



Bestimmung Mitnahmefaktor

Beschickvorgang CH7VL2 (Ausschnitt aus Video)

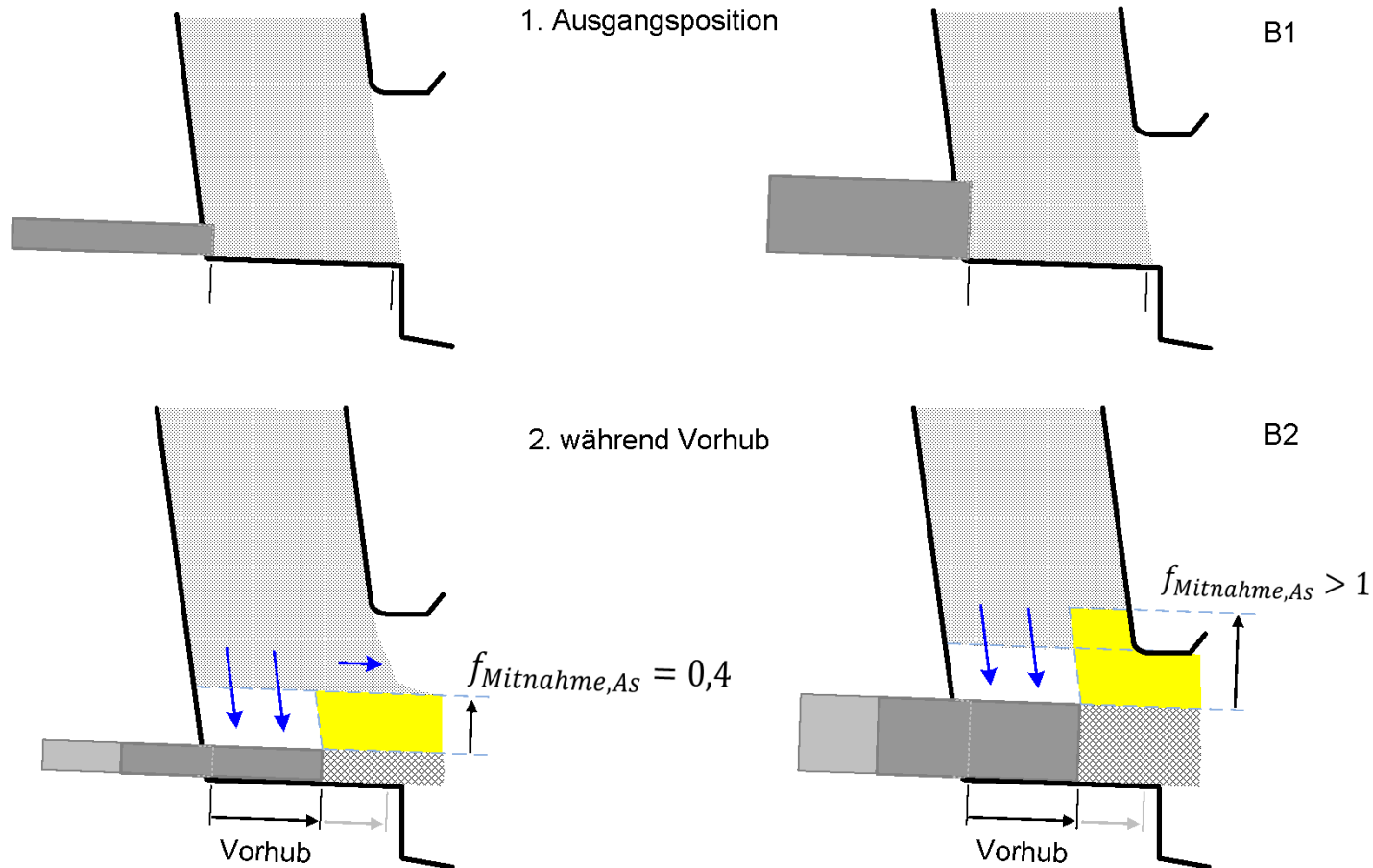


$$\frac{h_{AM}}{h_{AS}} = 6,25$$

Bestimmung Mitnahmefaktor

A: $\frac{h_{AM}}{h_{AS}} > 5$

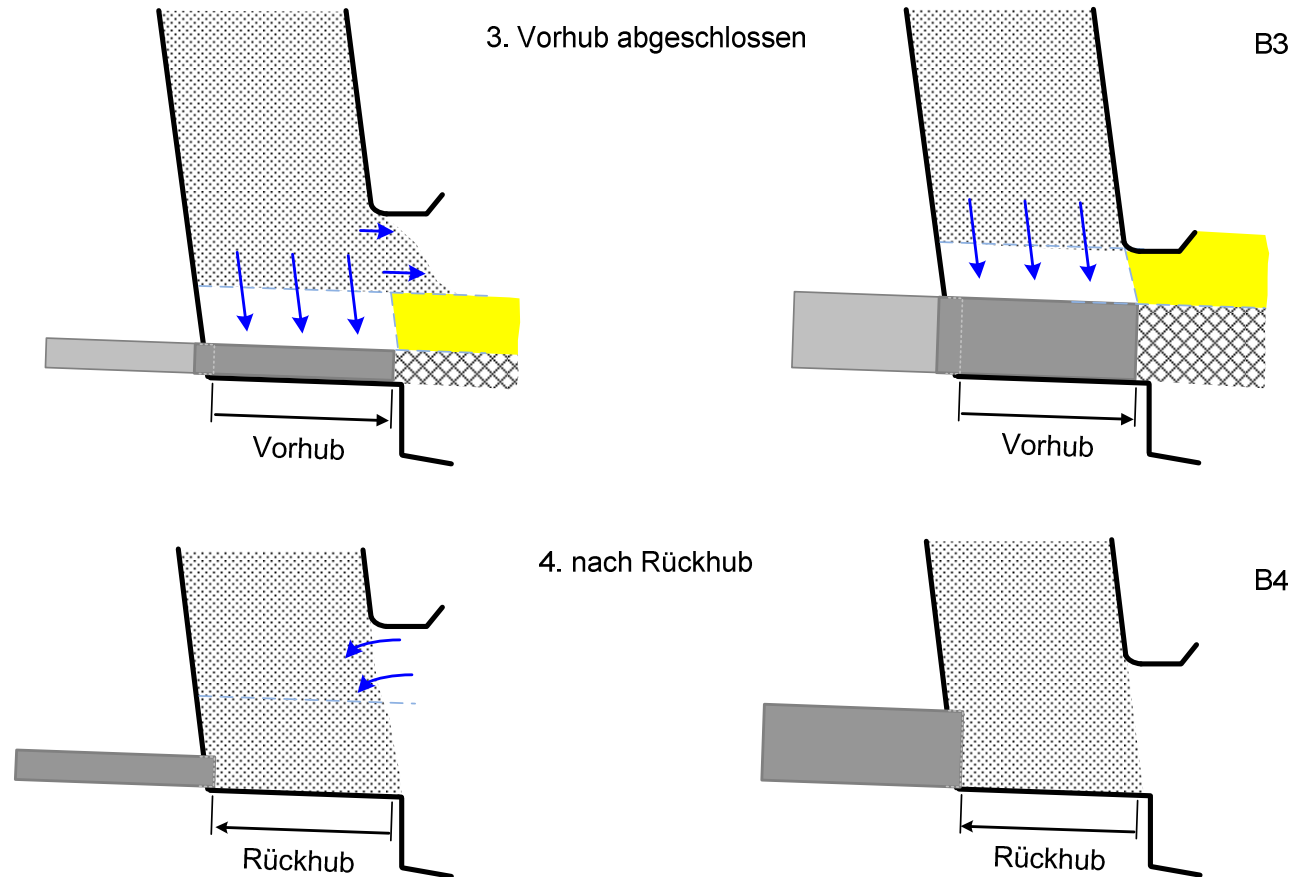
B: $\frac{h_{AM}}{h_{AS}} = \text{min.}$



Bestimmung Mitnahmefaktor

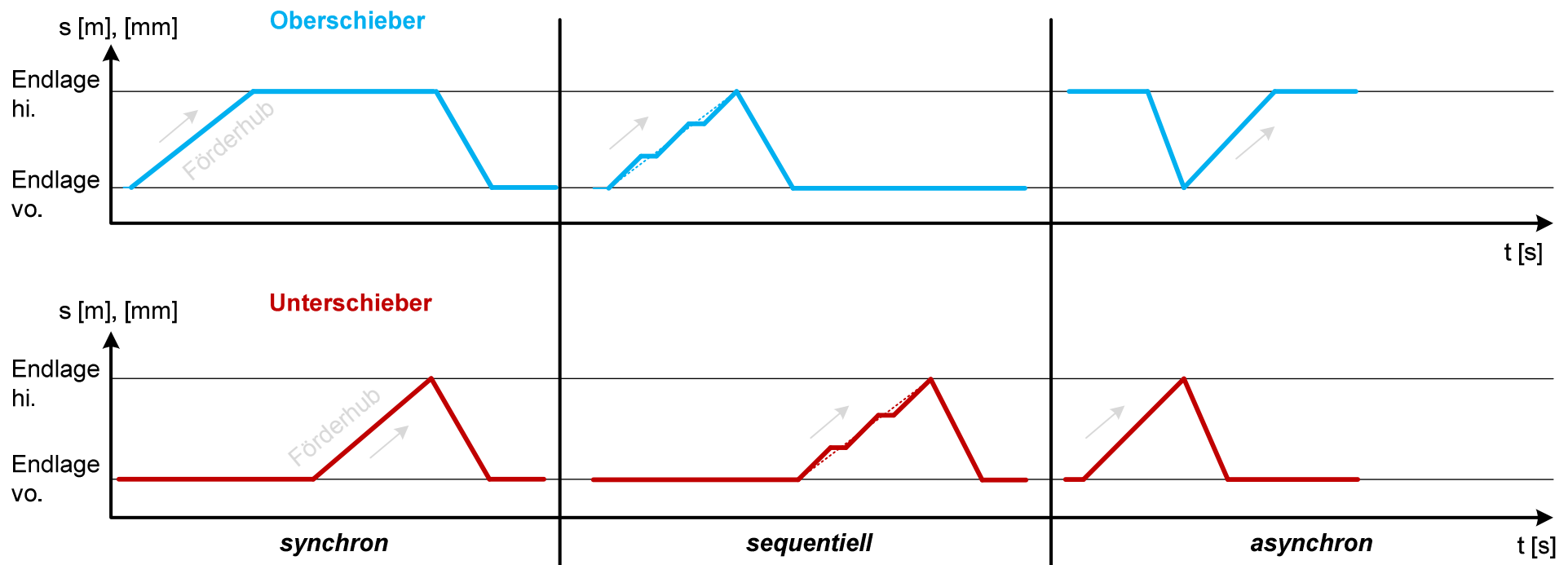
A: $\frac{h_{AM}}{h_{AS}} > 5$

B: $\frac{h_{AM}}{h_{AS}} = \text{min.}$



Besonderheiten der Doppelkolbenbeschickung

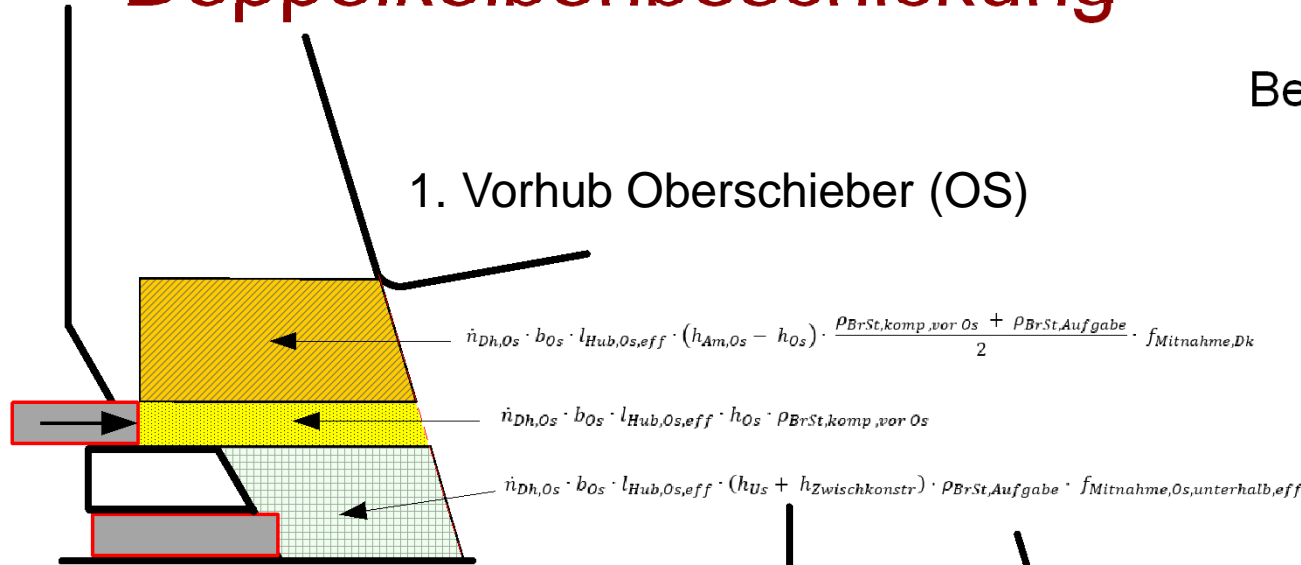
- Gebaut bis ca. 1995; werden aktuell nicht mehr gebaut; mit/ohne Zwischentisch.
- Schieber beeinflussen wechselweise die Dichte im Aufgabebereich.
- Diese Wechselwirkung ist abhängig vom Fahrzyklus.



Besonderheiten der Doppelkolbenbeschickung

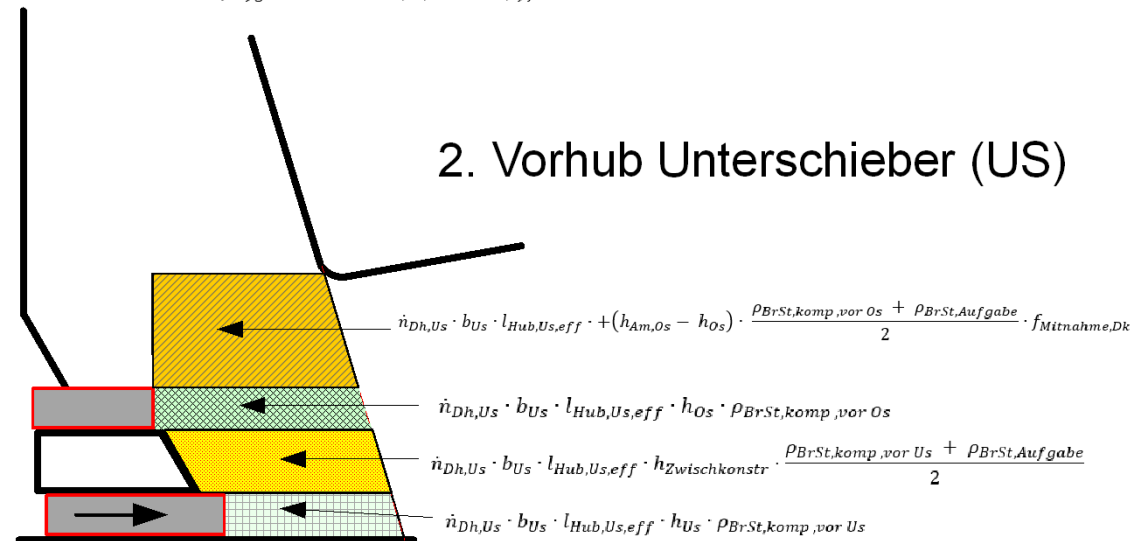
Beispiel synchroner Zyklus

1. Vorhub Oberschieber (OS)



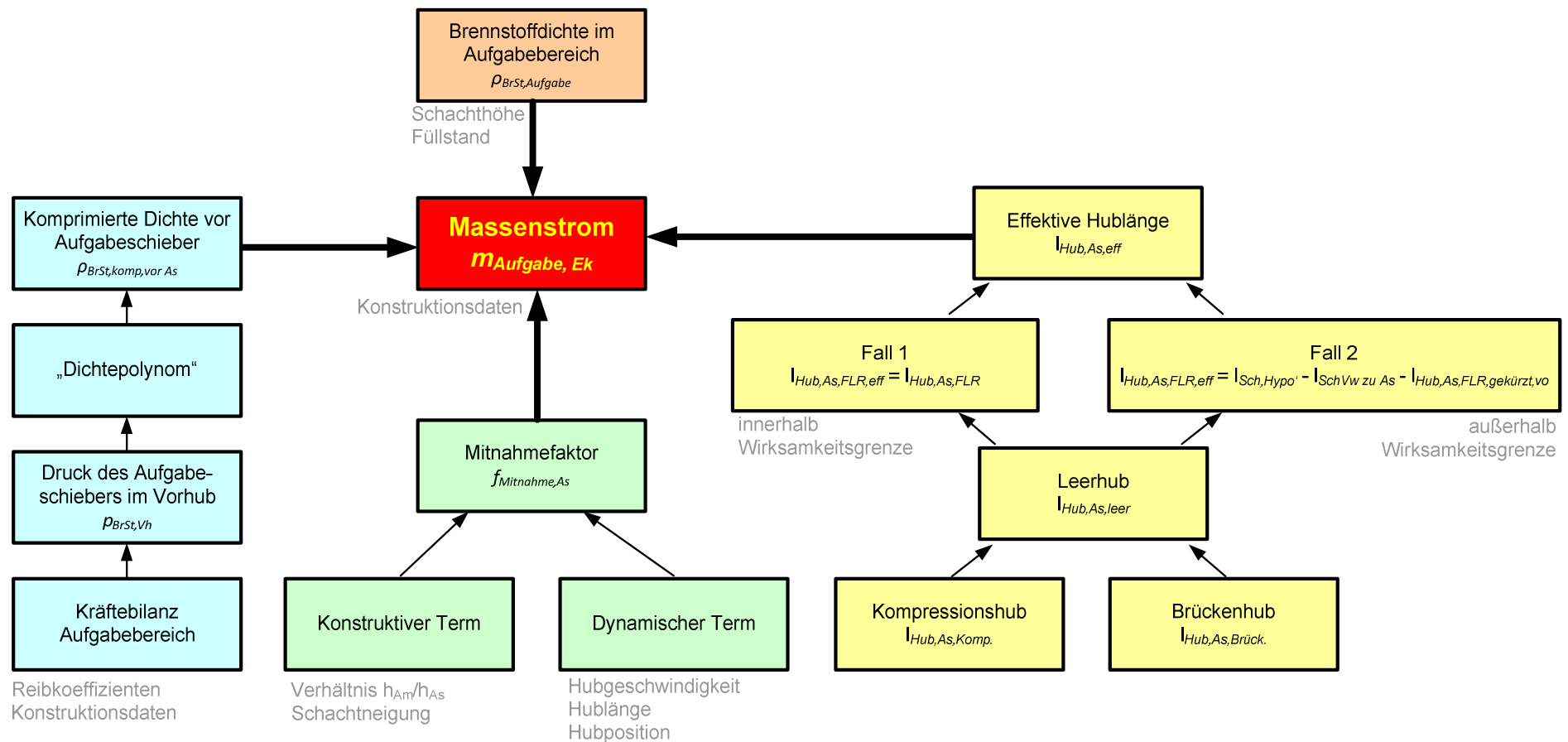
- separater Mitnahmefaktor für OS und US.
- separate Dichten für jede Förderebene.

2. Vorhub Unterschieber (US)

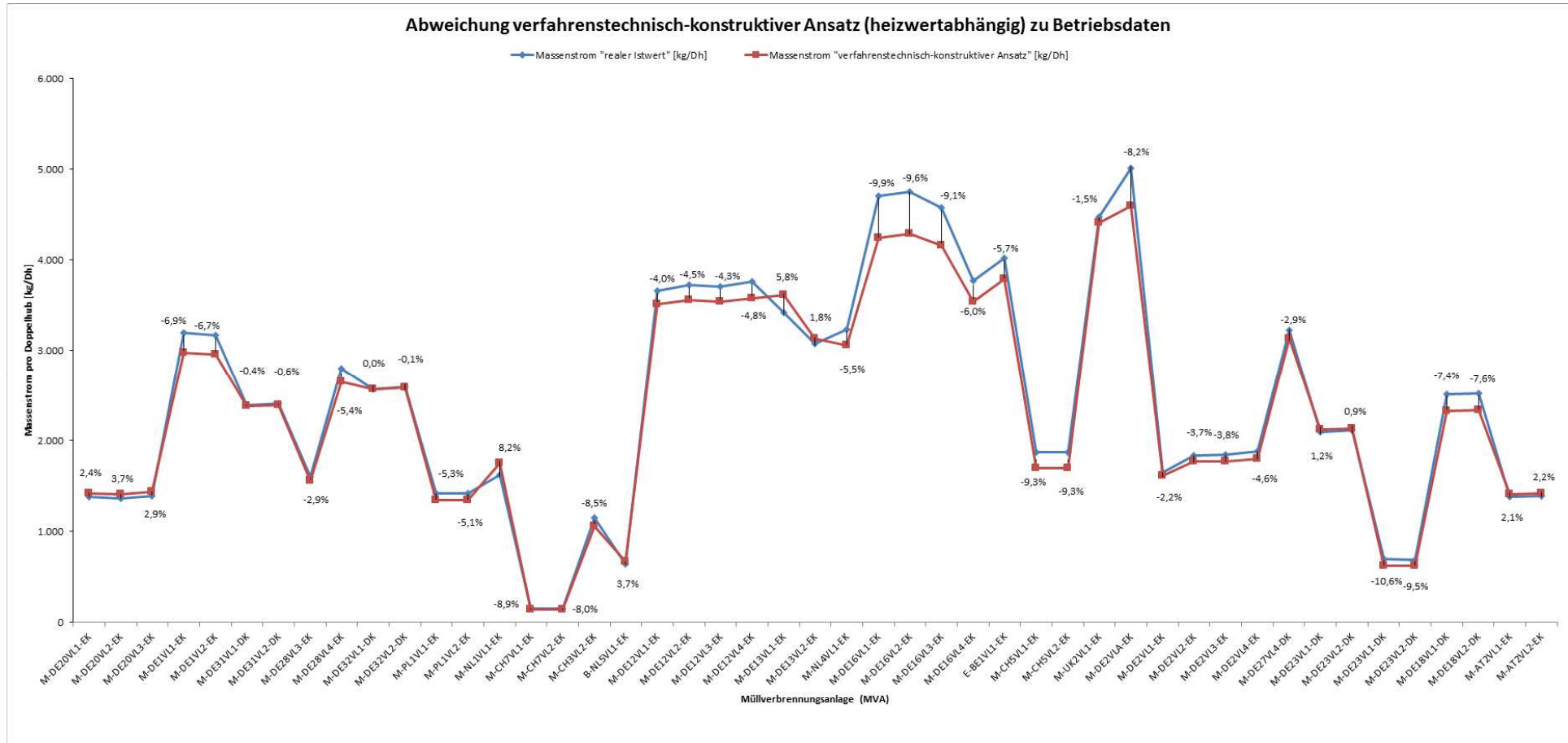


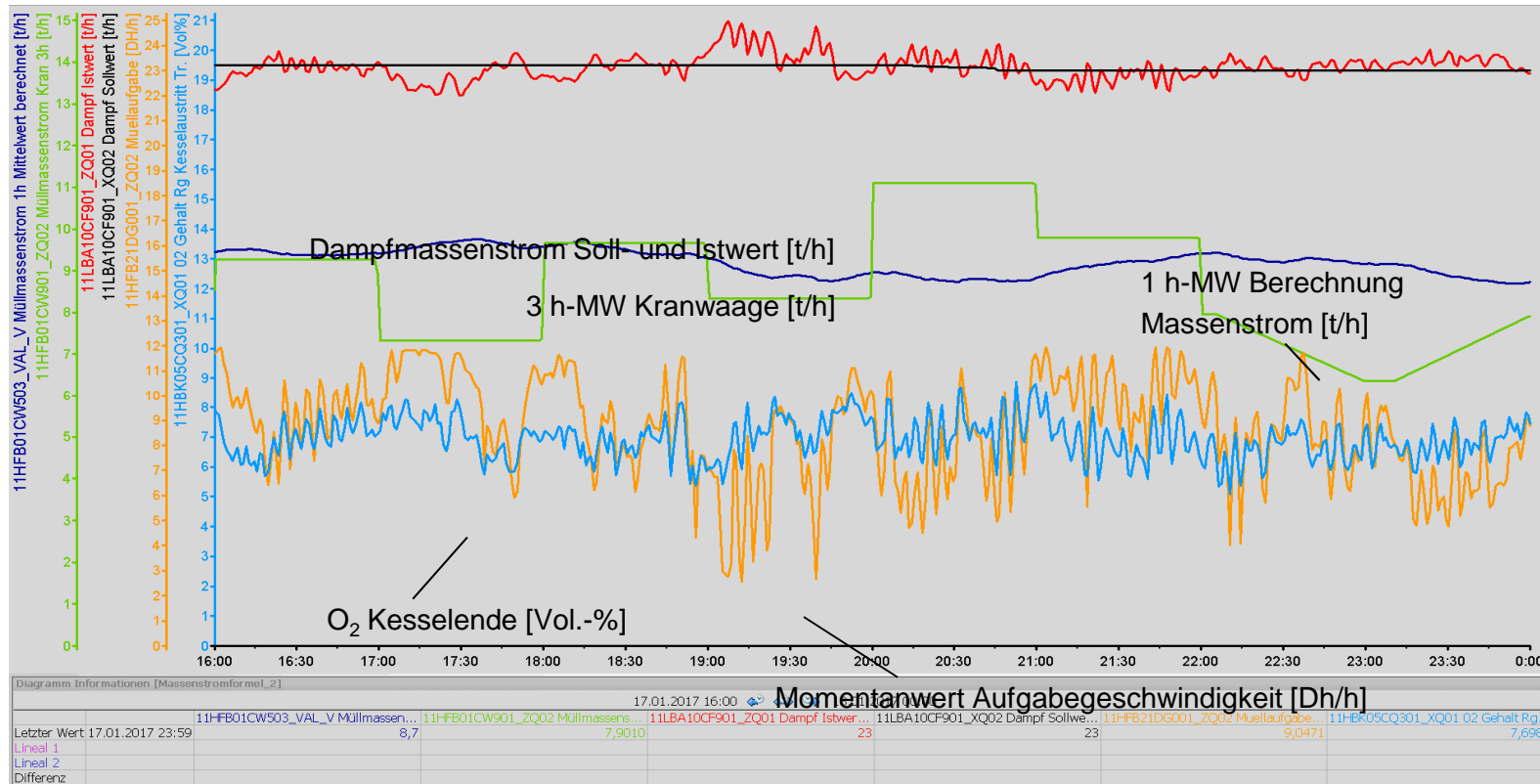
Zusammenfassung

Vereinfachte Darstellung der Zusammenhänge der "Gesamt-Formel" für die Einzelkolbenbeschickung:

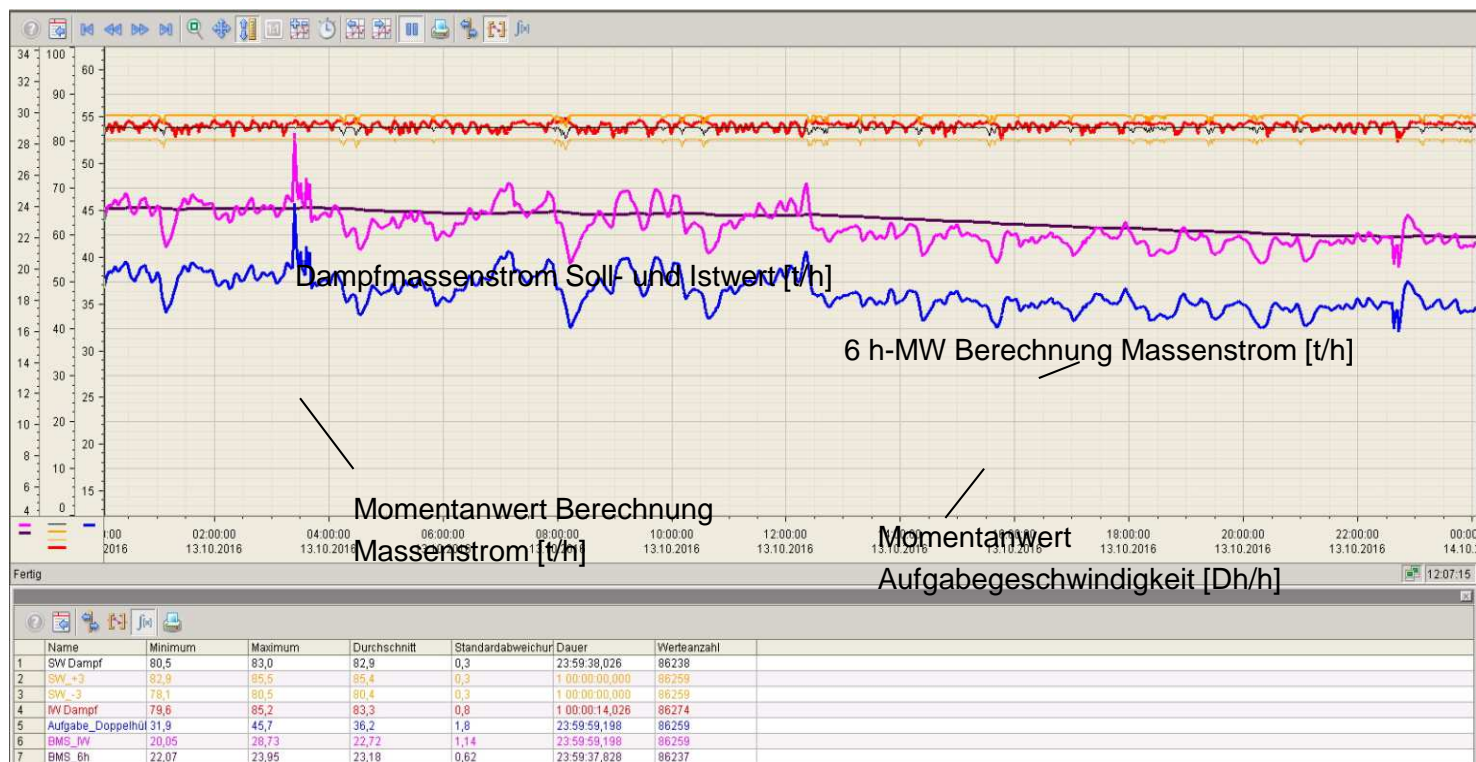


Zusammenfassung



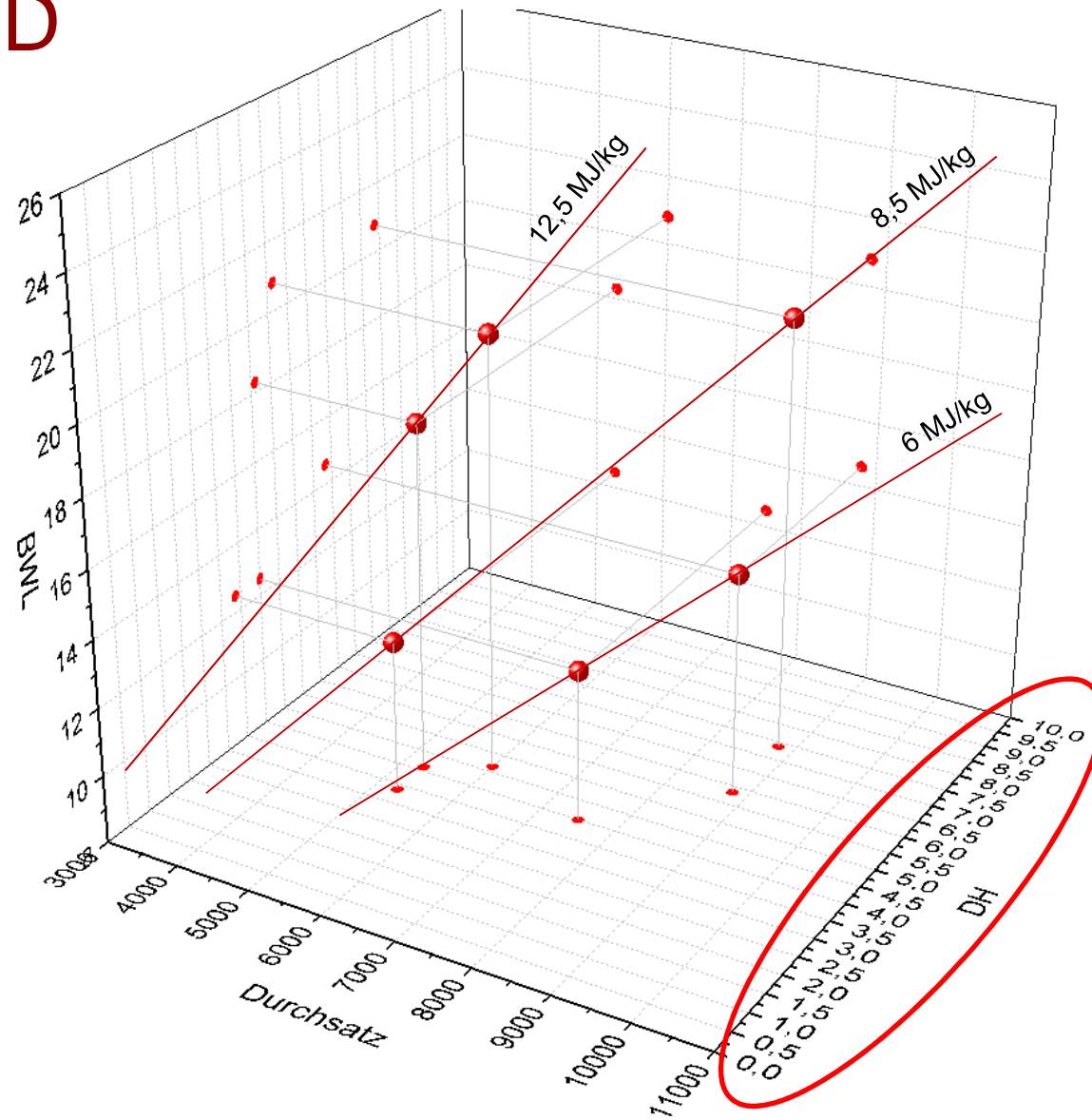


Implementierung der Formel in das Prozessleitsystem liefert echten Mehrwert für die Anlagenfahrer.



- Formel zur Berechnung des Brennstoffmassenstroms funktioniert - an Einzelkolben- und Doppelkolbenbeschickungen.
- Auch vom "Normalzustand" abweichende Situationen wie z. B. veränderte Hublänge oder veränderte Hubposition werden abgebildet
- Punktuell Optimierungspotential, z. B. Bestimmung Füllhöhe im Schacht.
- Dzt. Umsetzung der vorgestellten Methodik in der Feuerungssimulation CombAte.
- Erweiterung der Formel um anlagenspezifische bzw. H_u -abhängige Dichten brachte einen weiteren Zugewinn an Genauigkeit.
- Vorkonfektionierung FLR über das gesamte FLD ist nun möglich.

FLD-3D



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

VDI Wissensforum



Projekträger: Projekträger Jülich PtJ
Ansprechpartnerin: Dr.-Ing. Karen Otten

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung