



# Verklebungen im maschinellen Tunnelvortrieb

Vergleich und Bewertung von Klassifikationsmethoden- und versuchen

*Sven Schniedermann, M.Sc.*

*Institut für Geomechanik und Untergrundtechnik (GUT) | RWTH Aachen University*

*Akad. Dir. Dipl.-Ing. Martin Feinendegen*

*Institut für Geomechanik und Untergrundtechnik (GUT) | RWTH Aachen University*

*Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler*

*ZAI Ingenieure | Aschaffenburg*

*Dipl.-Geol. André Heim*

*Herrenknecht AG | Schwanau*



# Einleitung

Blockade von  
Fördereinrichtungen



ARGE Katzenbergtunnel, Weh

Erhöhter  
Werkzeugverschleiß



Gefährdung der  
Terminziele

Gefährdung der  
Kostenziele

## Verklebungen in Empfehlungen, Regelwerken, Normen

Empfehlungen zur  
Auswahl von TBM (DAUB)

Empfehlungen und  
Richtlinien für TBM (ITA)

VOB/C

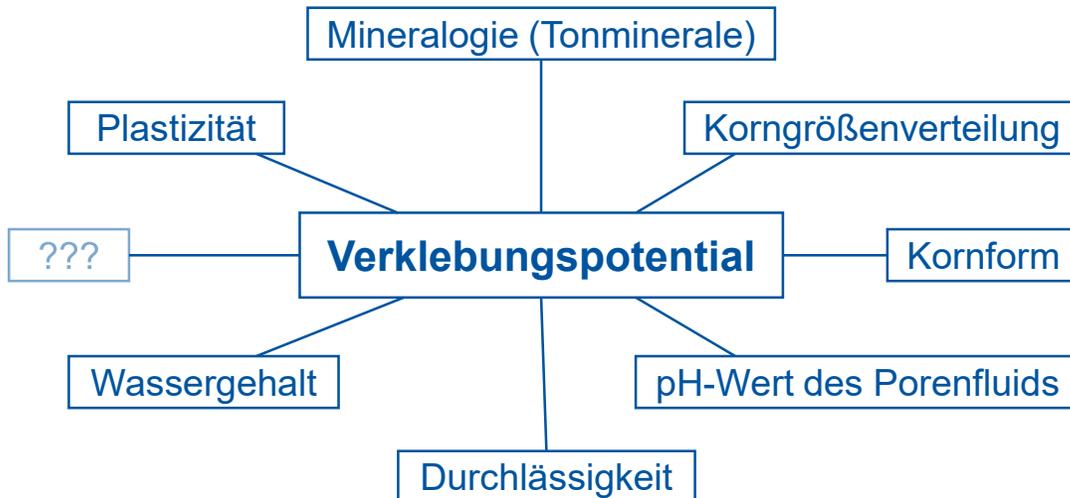
DWA-A 125

Richtlinien Schildvortrieb (ÖVBB)

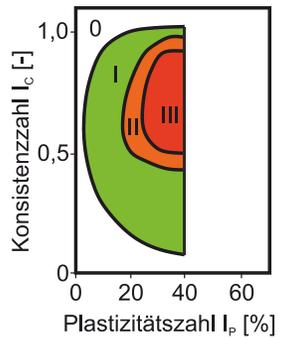
ÖNORM B 2203-2

SIA 198 & SIA 118/198

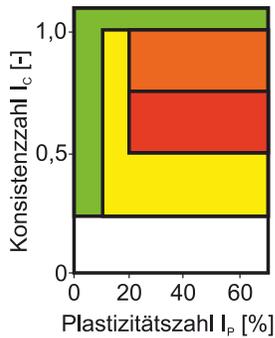
**Empfehlungen zur Bestimmung  
des Verklebungspotentials fehlen**



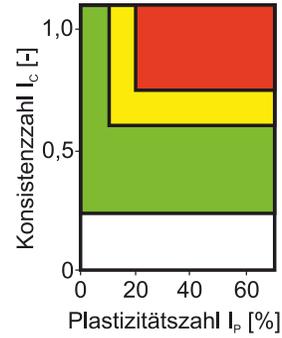
## Diagramme



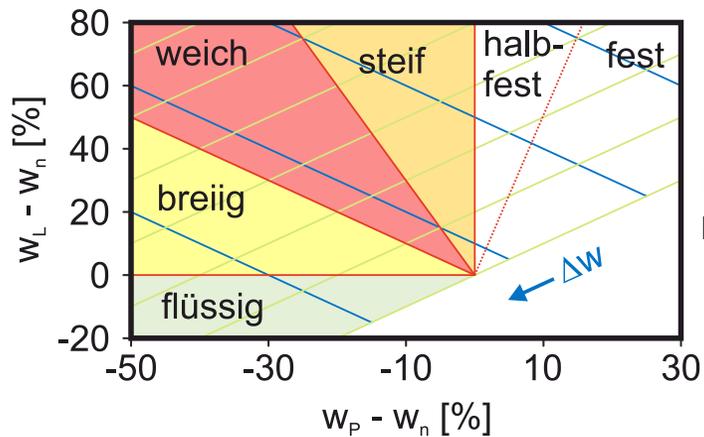
**Erdbau**  
Schlick, 1989



**Hydroschild**  
Thewes, 1999

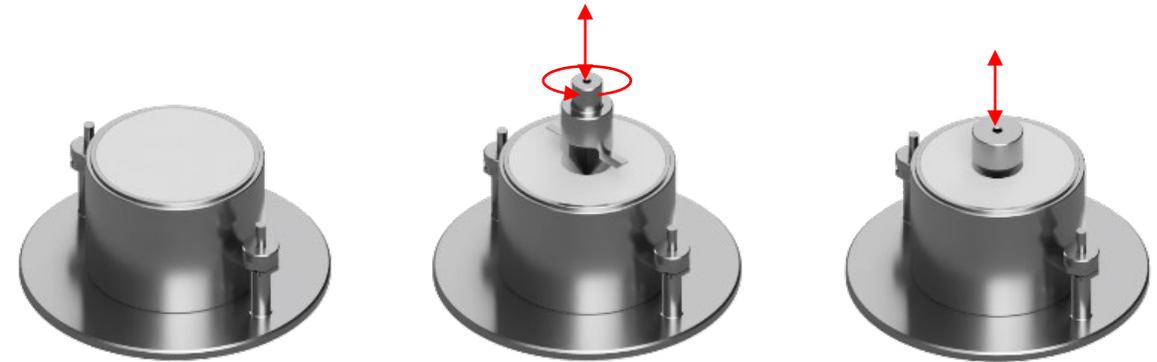


**Offener Modus**  
Hollmann & Thewes, 2013

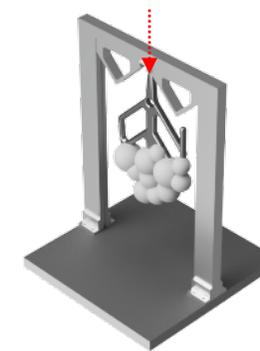


**Universell**  
Hollmann & Thewes, 2014

## Versuche

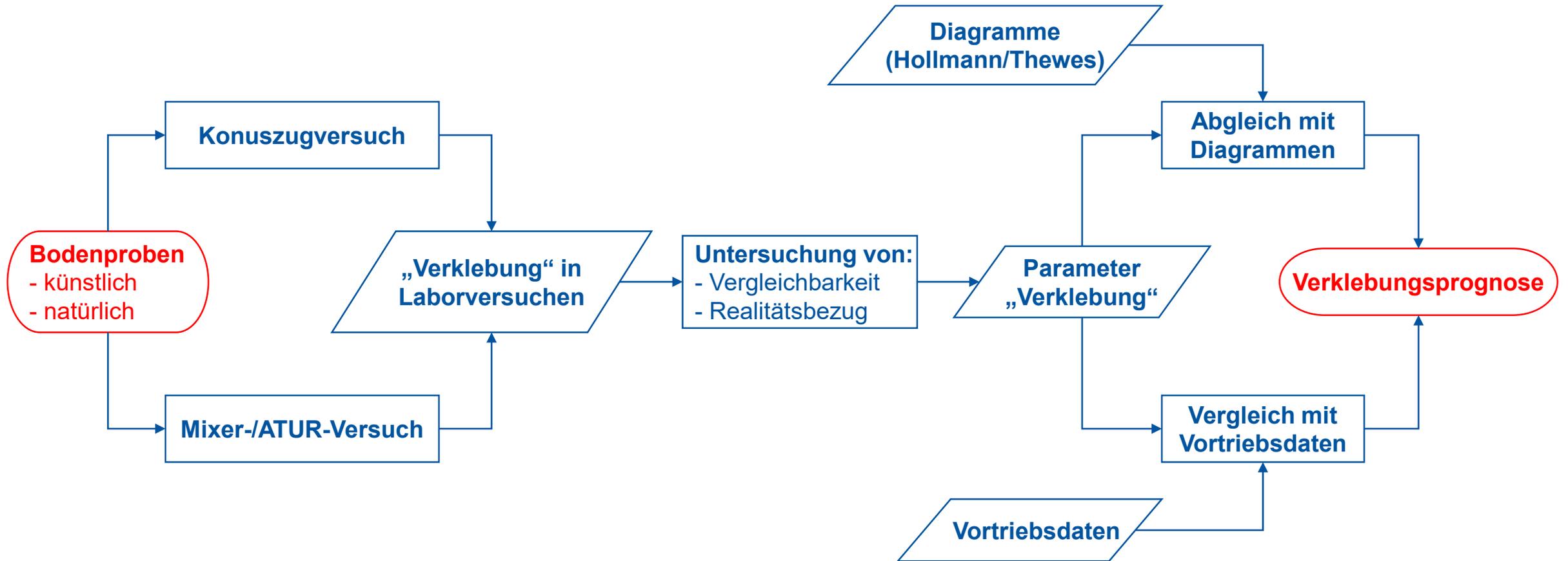


**Konuszugversuch**  
Feinendegen & Ziegler, 2016



**Mixer- /ATUR-Versuch**  
Zumsteg & Puzrin, 2012  
Zumsteg et al., 2016  
de Oliveira, 2019

## Vergleich der Laborversuche, Abgleich mit Diagrammen, Vortriebsdatenanalyse



# Bodenproben

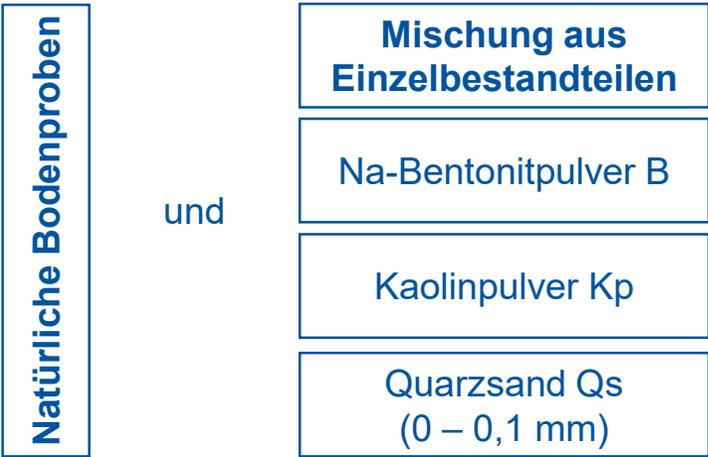


## Tonböden

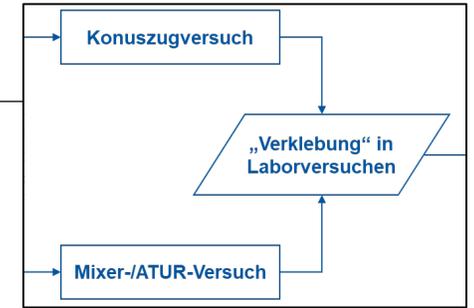


Gruppe der Dreischichtsilikate S/I/M

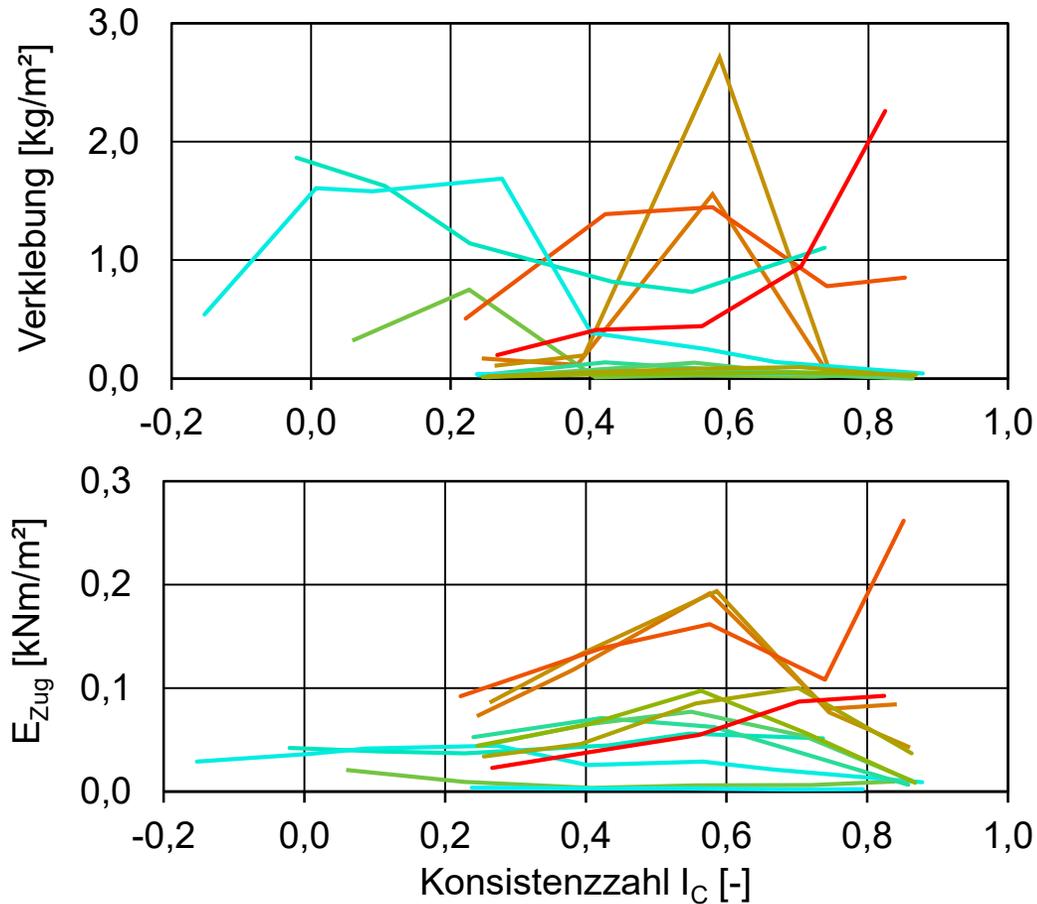
## Verwendete Proben



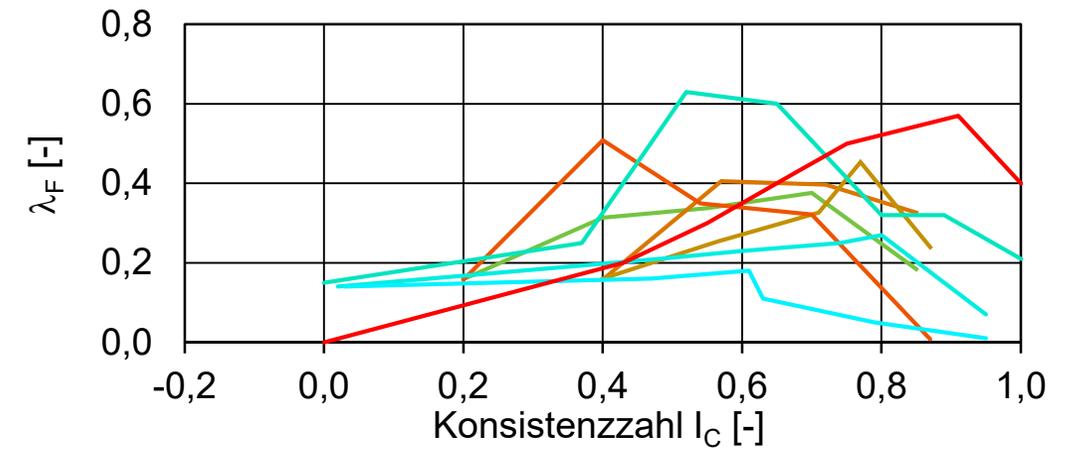
# Versuchsergebnisse



## Konuszugversuch



## Mixer-/ATUR-Versuch



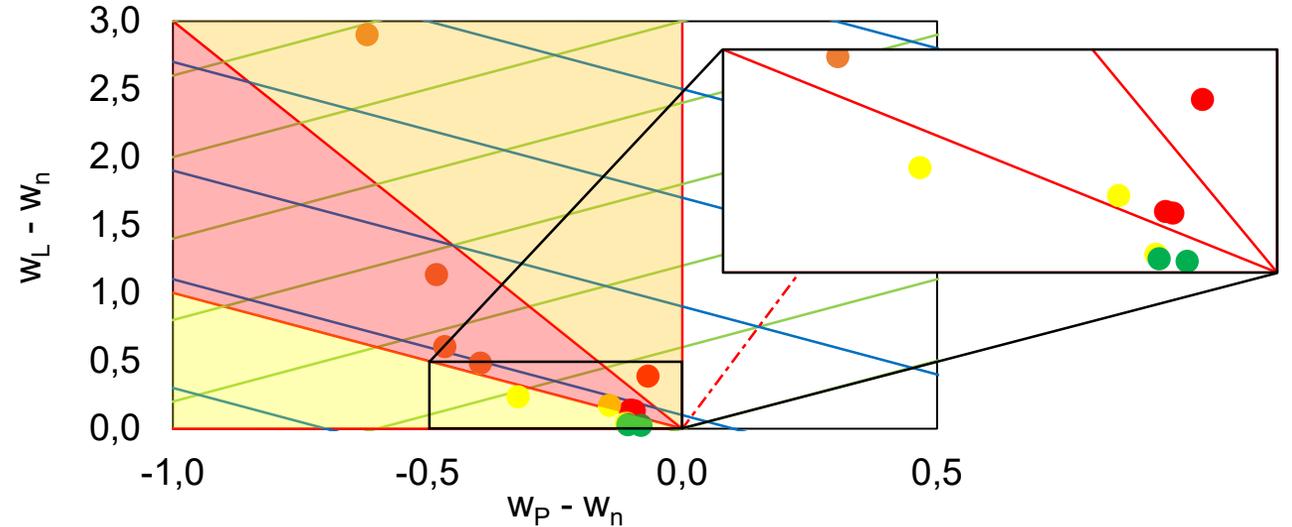
# Ergebnisvergleich

	VarK		ATUR $\lambda_F$
	Konuzugversuch Verklebung	Zugenergie	
Mit Ausreißern [-]	0,55	0,22	0,21
Ohne Ausreißer [-]	0,27	0,13	0,12
Anteil Ausreißer [%]	30	13	9

## Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

- Verklebung hat hohe Variation und viele Ausreißer
- Zugenergie und ATUR auf ähnlichem Level

**Zugenergie**

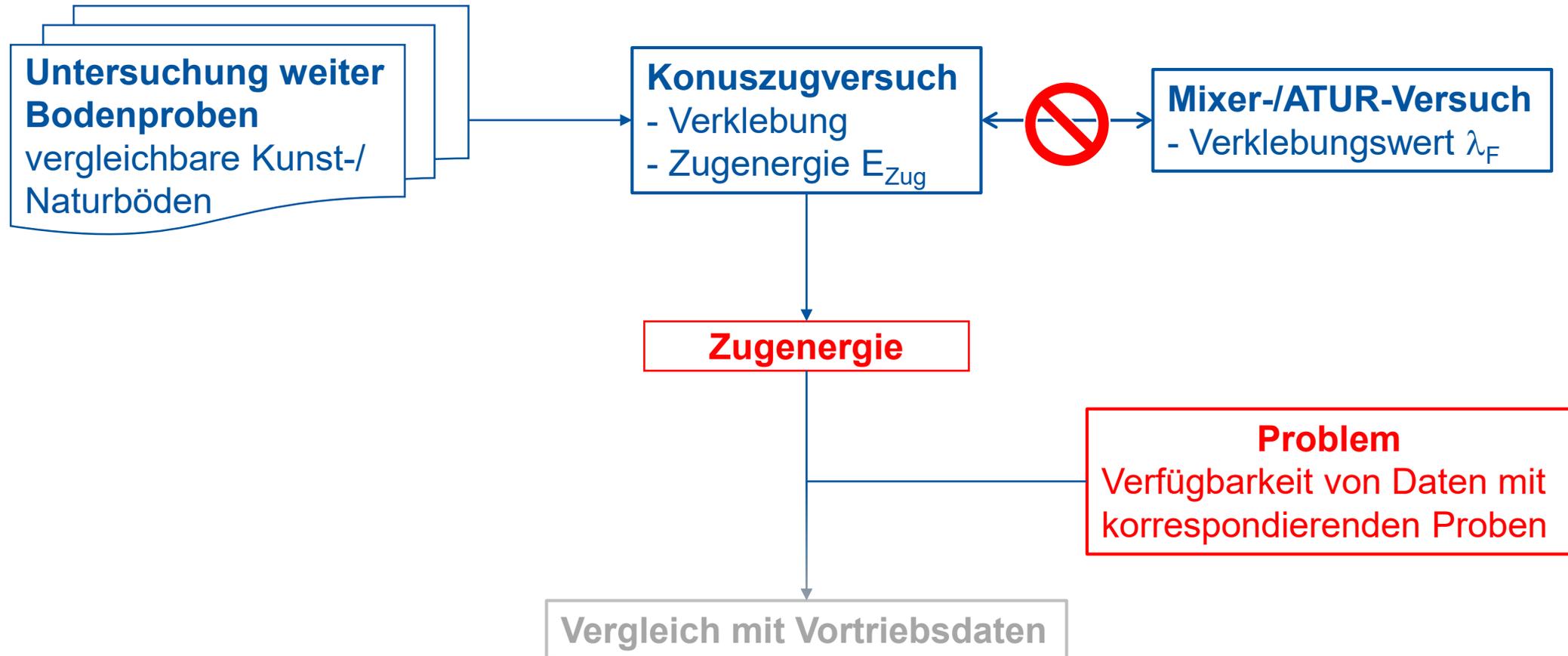


## Zugenergie vs. Universelles Bewertungsschema

- Lage der gruppierten Zugenergiemaxima im universellen Diagramm

**Vergleichbare Einteilung**

# Aussagekraft von Laborversuchen



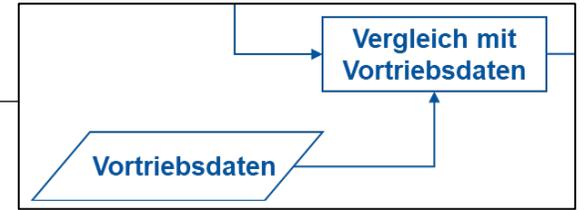
# Vortriebsdaten

Vortriebsdaten

## (Numerische) Daten

- Schneidraddrehmoment  $M_S$
- Vortriebspresenkraft  $F_V$
- Vortriebsgeschwindigkeit  $v_V$
- Förderschneckendrehmoment  $M_{SC}$
- Schaumlanzendruck  $p_{av}$
- ...

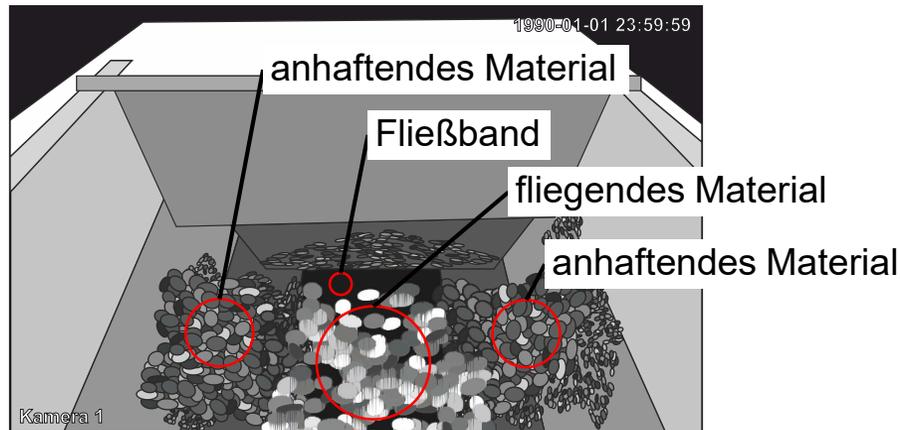
	$M_S$	$F_V$	$v_V$	$M_{SC}$	$E_{Spez}$	$p_{av}$
$M_S$	1,0	0,56	0,48	0,40	0,20	0,50
$F_V$		1,0	-0,21	-0,02	0,53	0,90
$v_V$			1,0	0,60	-0,68	-0,28
$M_{SC}$				1,0	-0,26	-0,04
$E_{Spez}$					1,0	0,54
$p_{av}$						1,0



## Einfluss Steuerung

**Keine direkte Verbindung zwischen Daten und Verklebung**

## Bilddaten



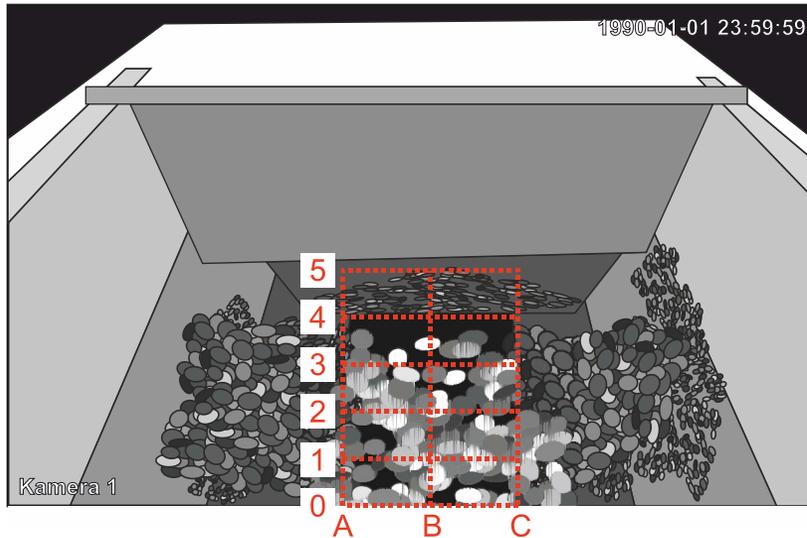
„Materialflugweite“

**Adhäsionskraft Boden - Förderband**

„Pixeländerungen“ in den Randbereichen

**Änderung der Anhaftungen**

## „Materialflugweite“

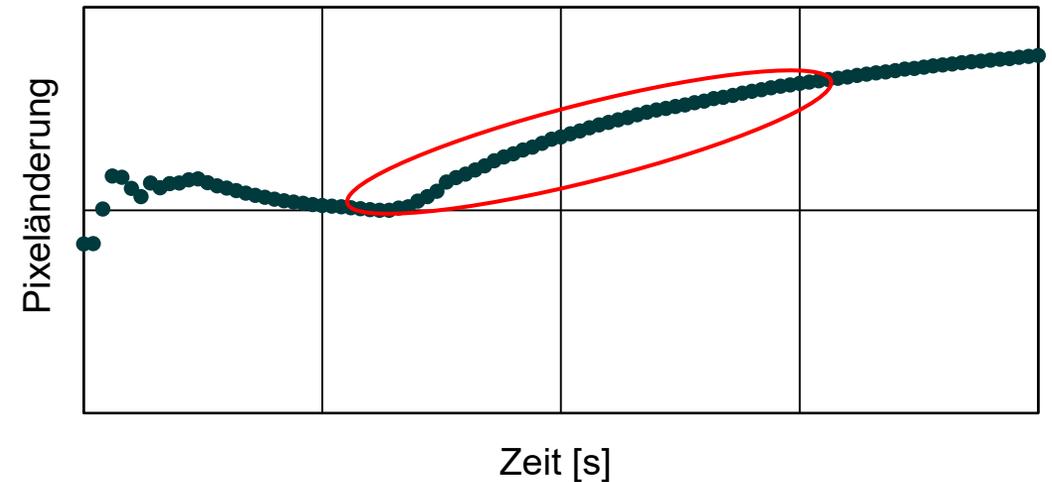
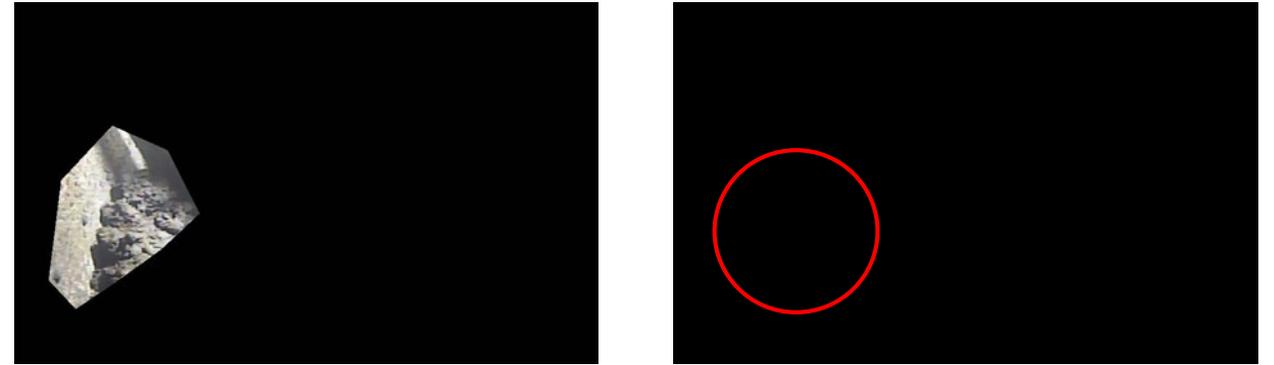


Große Flugweite

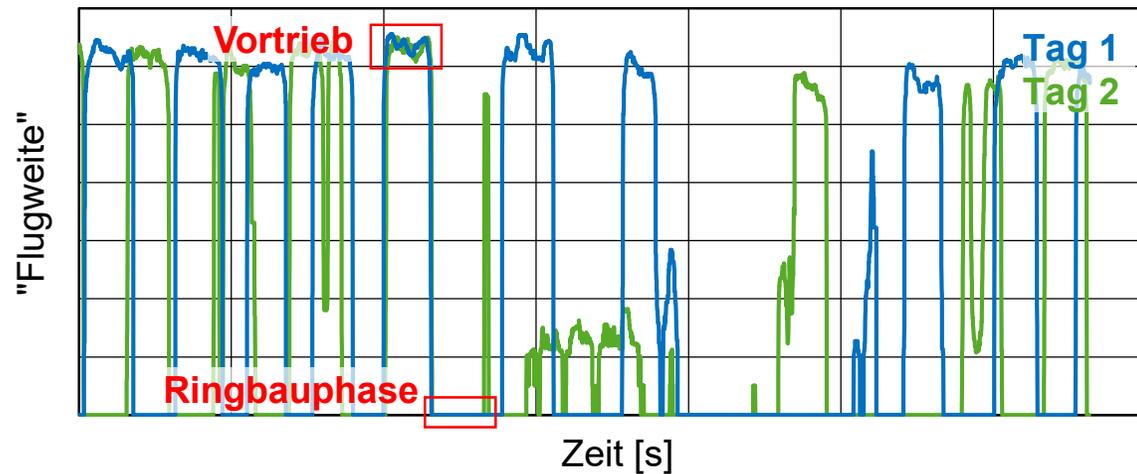
Geringe Adhäsionskraft  
Boden - Fließband

Geringe Verklebungsneigung

## „Pixeländerung“



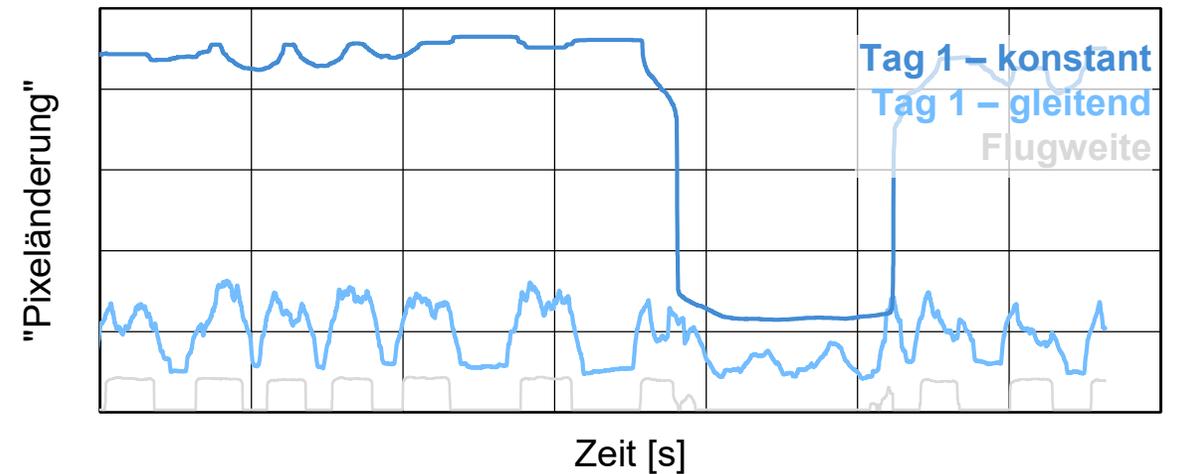
## „Materialflugweite“



- Unterscheidbarkeit der Vortriebsphasen
- Nur geringe Variation im Regelvortrieb eines Tages und zwischen den Tagen

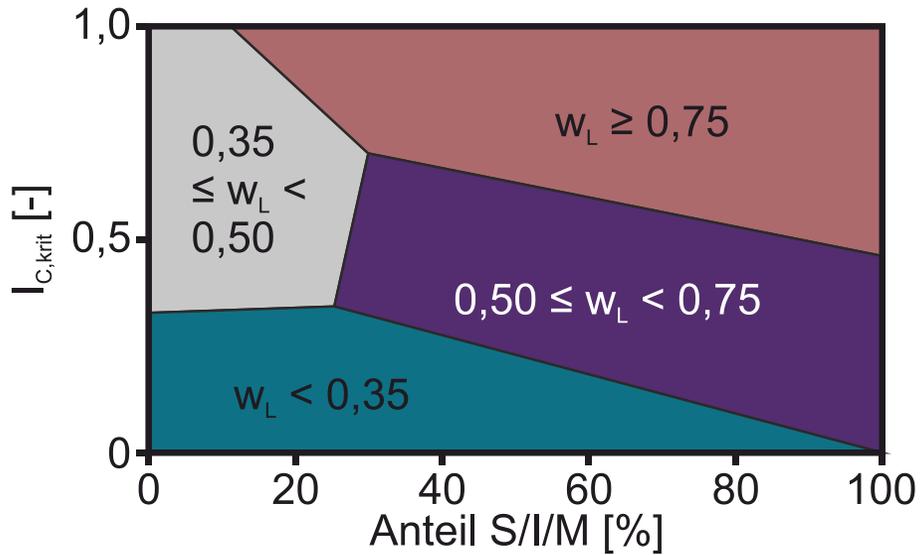
**Problem**  
Verfügbarkeit von Daten mit  
korrespondierenden Proben

## „Pixeländerung“



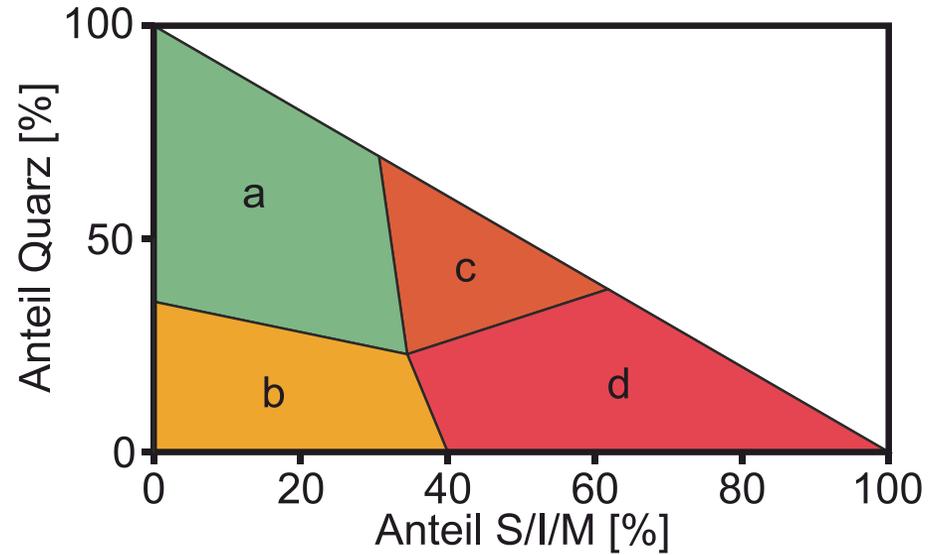
- **Konstanter** Vergleich: Konstant hohes Level (Störung durch: Lichtverhältnisse, Bewegungen)
- **Gleitender** Vergleich: Unterscheidbarkeit der Vortriebsphasen

# Fazit



## Bestimmen des kritischen Konsistenzbereiches

- Abhängig vom S/I/M-Anteil
- Abhängig von der Fließgrenze  $w_L$



## Bewertung der Verklebungsneigung (geringe bis starke Verklebungen)

- Abhängig vom S/I/M-Anteil
- Abhängig vom Quarz-Anteil



# Ausblick

