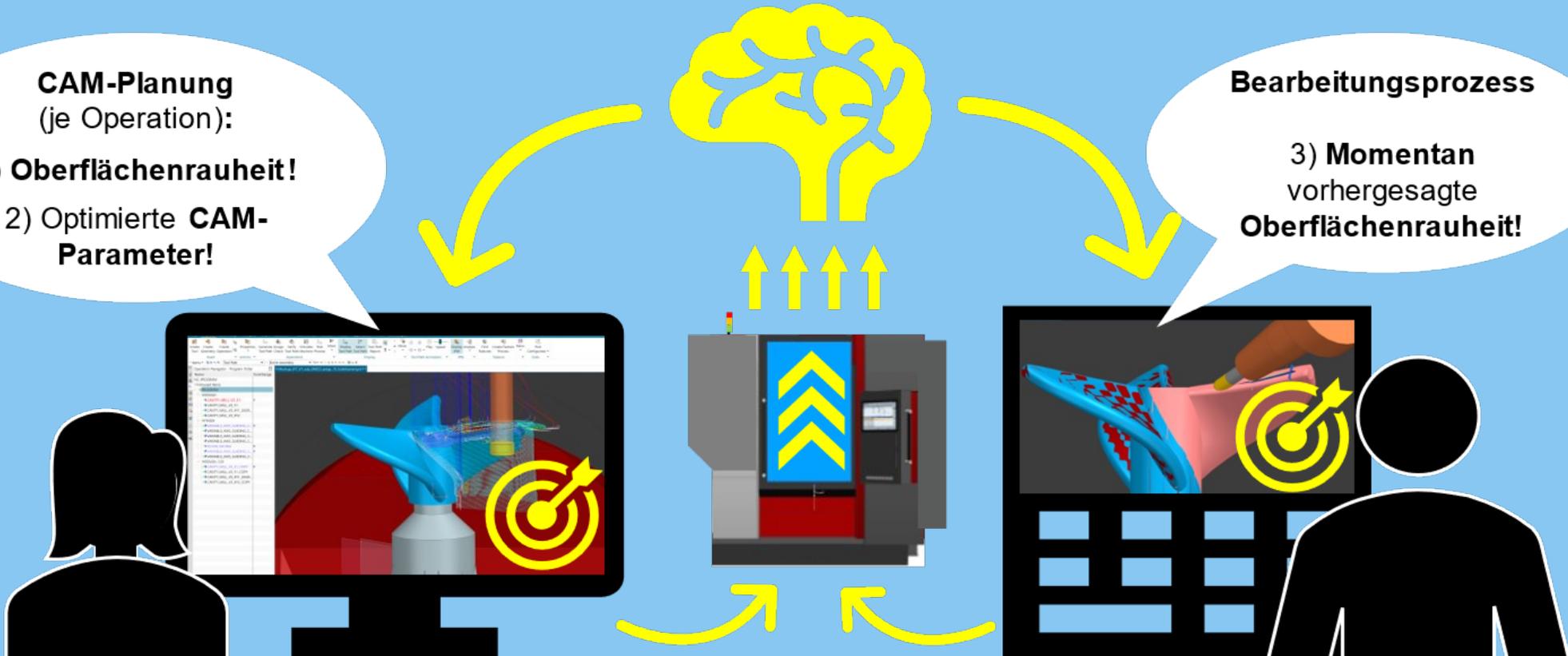


CAM-Planung
(je Operation):
1) **Oberflächenrauheit!**
2) Optimierte **CAM-Parameter!**

Bearbeitungsprozess
3) **Momentan**
vorhergesagte
Oberflächenrauheit!

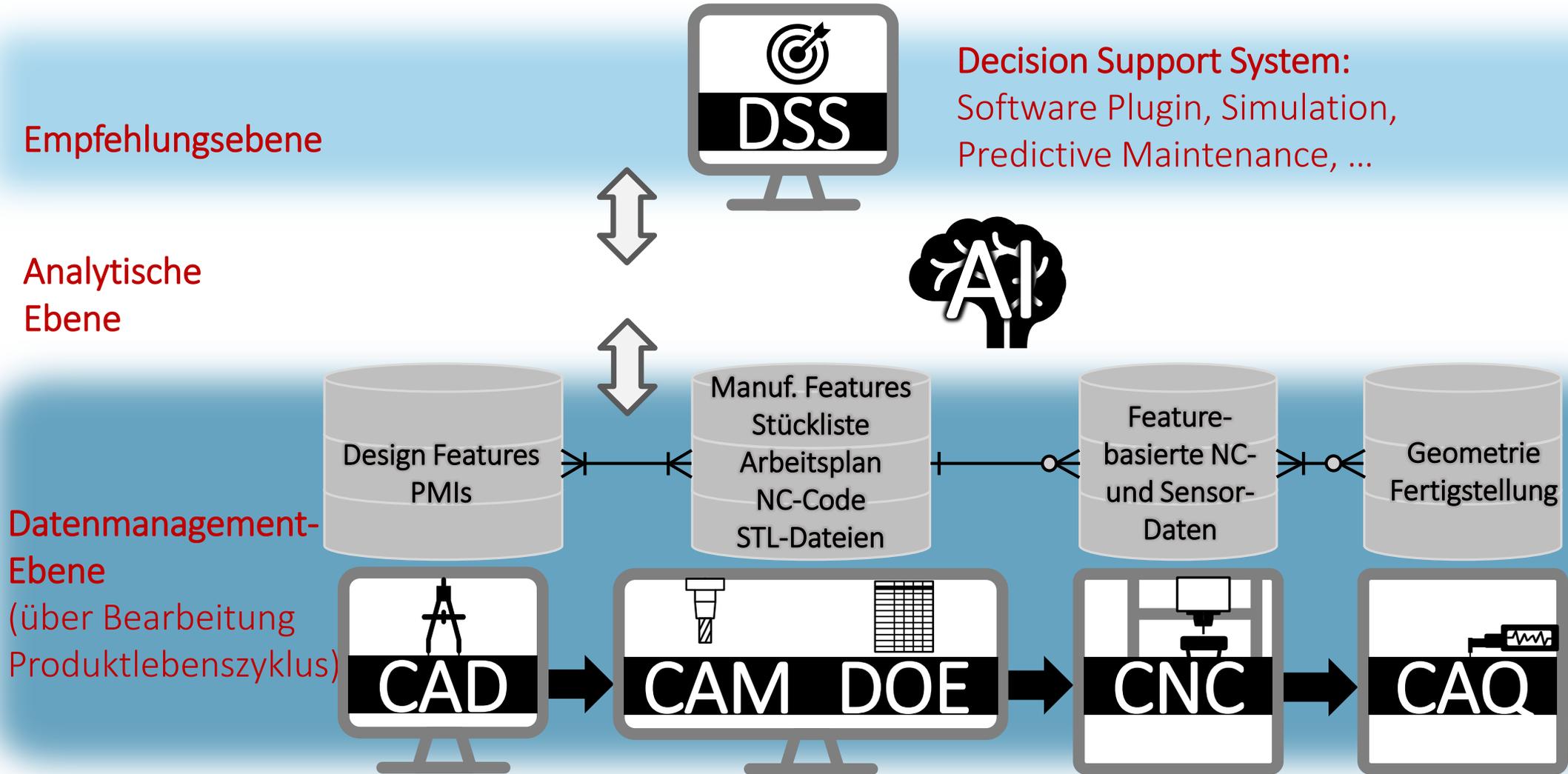


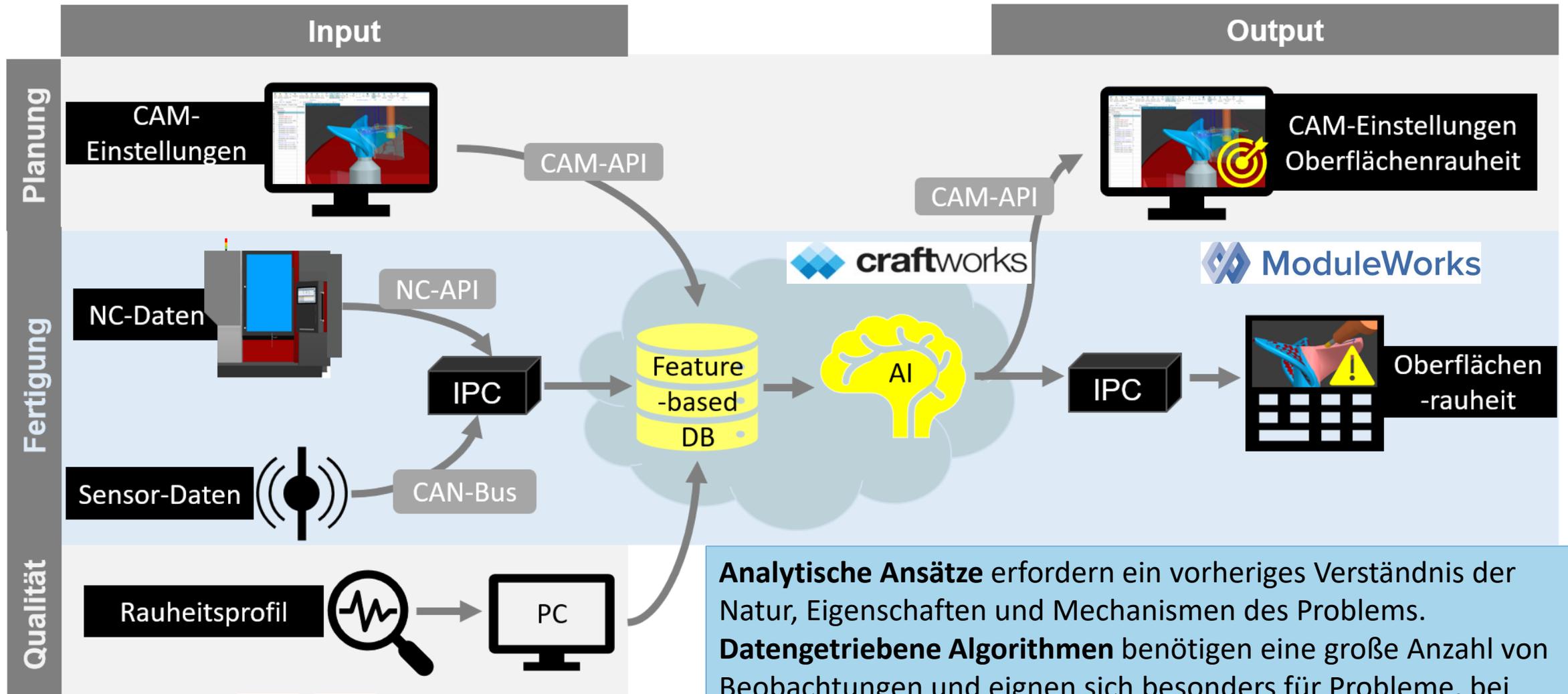
**Development of Self-Learning
NC-Programming System for Data-Driven
Surface Prediction and Adaptive Cutting
Parameter Optimization**



Institute of Production Engineering and Photonic Technologies
Univ.Prof. DI Dr.techn. habil. Friedrich Bleicher

Kilian Köppl, craftworks GmbH
Denys Plakhotnik, ModuleWorks GmbH
Emna Slimane, IFT



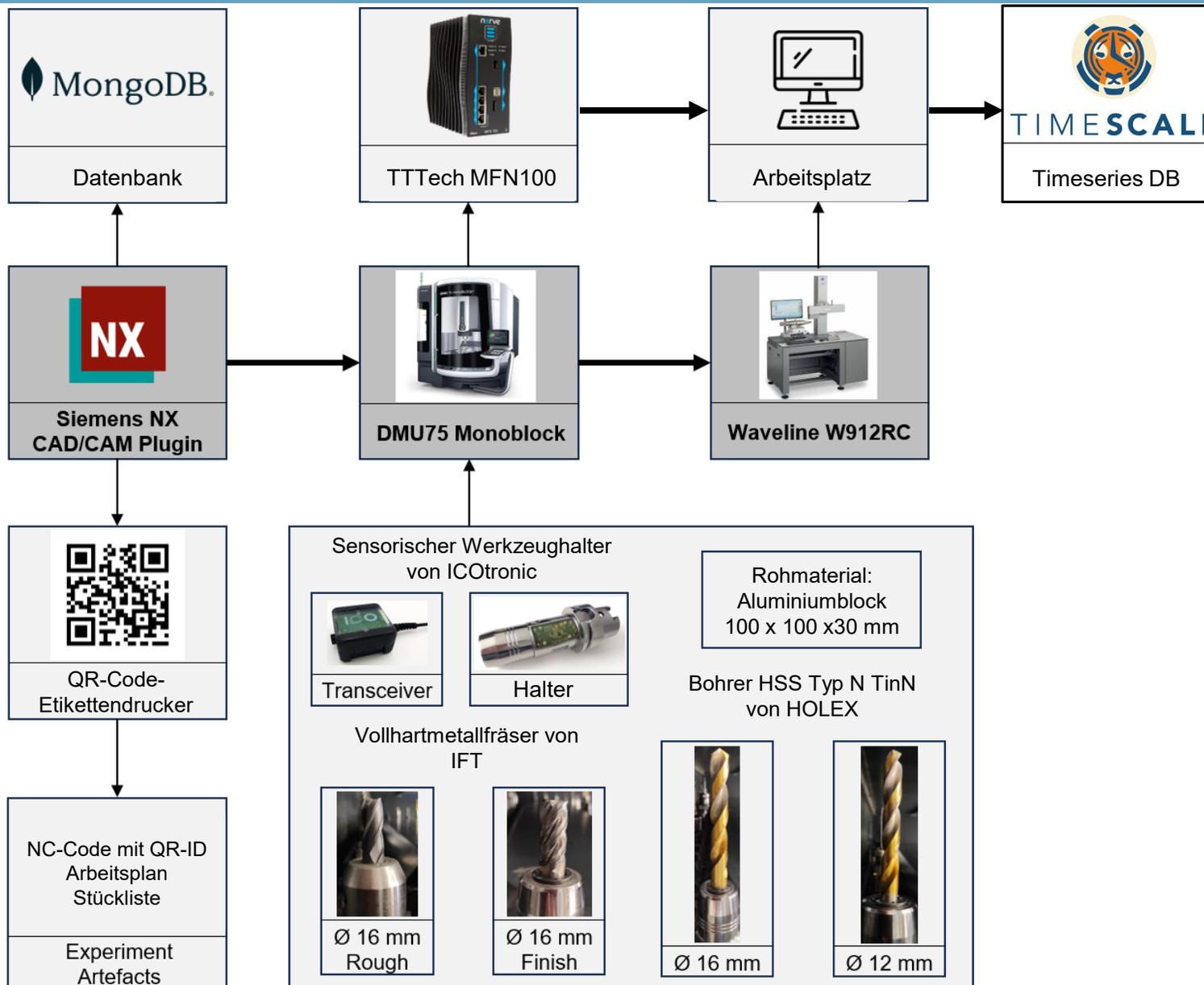


Analytische Ansätze erfordern ein vorheriges Verständnis der Natur, Eigenschaften und Mechanismen des Problems.
Datengetriebene Algorithmen benötigen eine große Anzahl von Beobachtungen und eignen sich besonders für Probleme, bei denen die **Beziehungen** zwischen den Variablen noch **nicht formal festgelegt** wurden

Planungsdaten gespeichert in der **Dokumentendatenbank** → (ID aus QR-Code, NC-Code, STL-Files, Stückliste, Arbeitsplan, Schnitttiefe, Spindeldrehzahl, ...)

CAD/CAM System mit API für Datenexport. Makro-Variablen werden an den NC-Code weitergegeben und während der Fertigung in die NC geschrieben → Die Makrovariablen werden gespeichert, um Fertigungsmerkmale für die Datenkorrelation zu unterteilen.

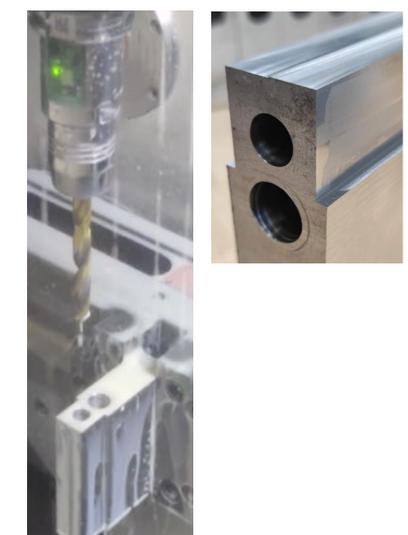
QR-Code für Teileverfolgung →

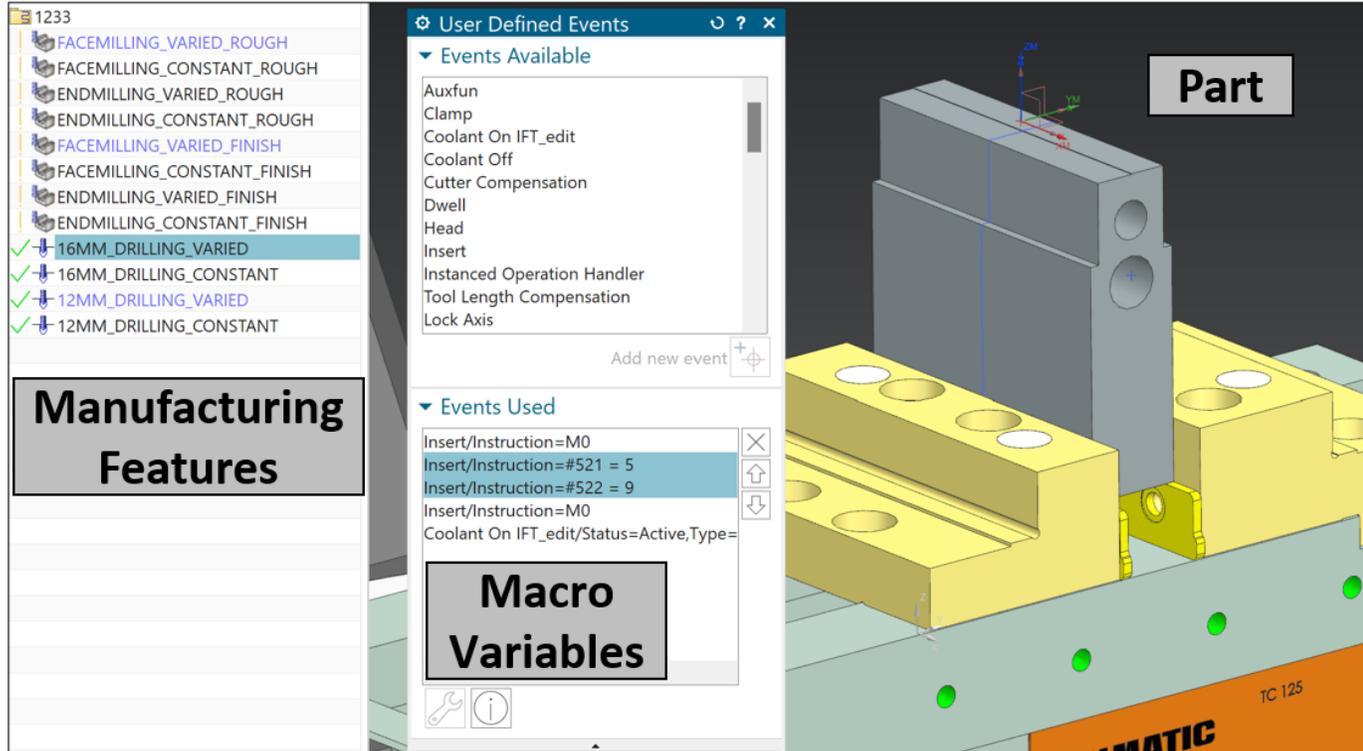


← Prozess- und Qualitätsdaten in Zeitseriendatenbank gespeichert (Position, Rauheit, Spindeldrehzahl, ...)

← Gerät zur taktilen Rauheitsmessung

Teil während und nach der Fertigung





```
(16MM_DRILLING_VARIED , TOOL : DRILL_16MM_S  
N652 T115 M106 ( DRILL_16MM_STH )  
N654 T115 ( DRILL_16MM_STH )s|  
N656 M0  
N658 #521 = 5  
N660 #522 = 9  
N662 M0  
N664 G54  
N666 G0 G90 A-90. C270.  
N668 M68  
N670 G68.2 X0. Y0. Z0. I90. J90. K180.  
N672 G53.1  
N674 M8  
N676 G17 X0. Y36. S1114 M3  
N678 G43 Z60. H1  
N680 Z53.  
N682 G94 G1 Z20.097 F140.  
N684 G4 X1.  
N686 G0 Z53.
```

Manufacturing feature (Fertigungsmerkmale):

- Ein oder mehrere Bearbeitungsfeatures
- Geometrie-information.
- Nicht-geometrische Eigenschaften für weitere Fertigungsprozesse.

Feature Technologie:

- Ursprünglich nur in der Produktionsplanung
- Verwaltung von Informationen über den gesamten Produktlebenszyklus durch Integration von CAD, computer aided production planning (CAP), CAM und FEM.

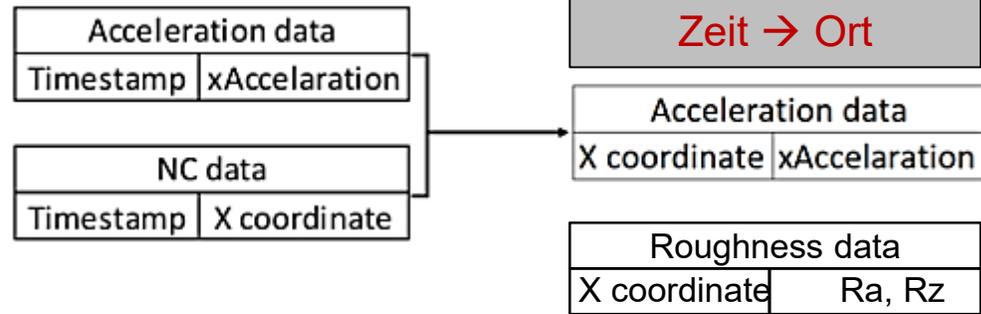
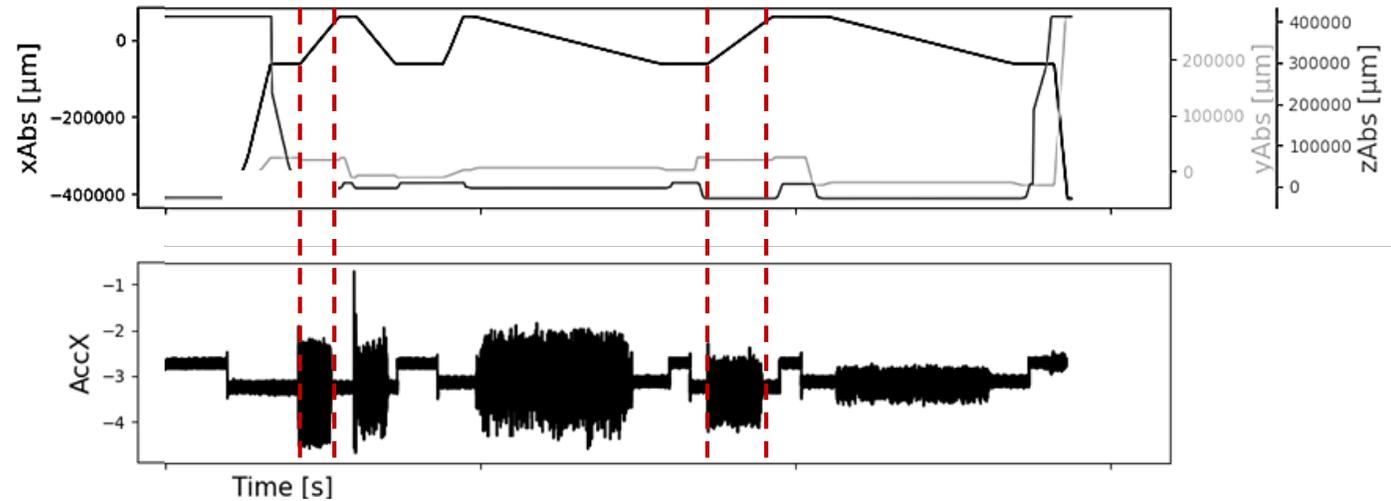
1. Merkmal



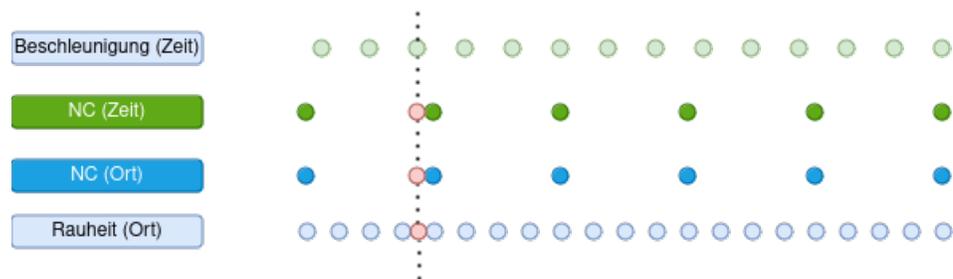
2. Merkmal



X Koordinate + Beschleunigung über die Zeit



1. Zusammenführen der Datenquellen
2. FFT der Beschleunigungsdaten
3. Mittlere Rauheit für jedes Sample



MLOPs und Modelbereitstellung

Daten- und Modelpipelines

ML Tools

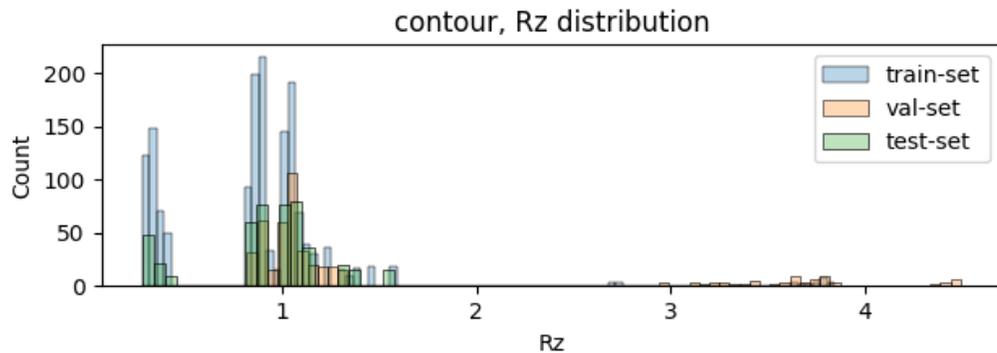
dmlc
XGBoost OPTUNA

Kedro

navio

mlflow™

1. Trainings-, Validierungs- und Testset
2. **"Stratified Split"**: Verteilung der Rauheitswerte (**Rz**) über alle Datensets gleich
3. **"Data Leakage"** vermeiden:
 - Jedes Experiment wird mit gleichen Parametern wiederholt
 - Samples aus dem gleichen Experiment dürfen nur im gleichen Datensplit vorkommen

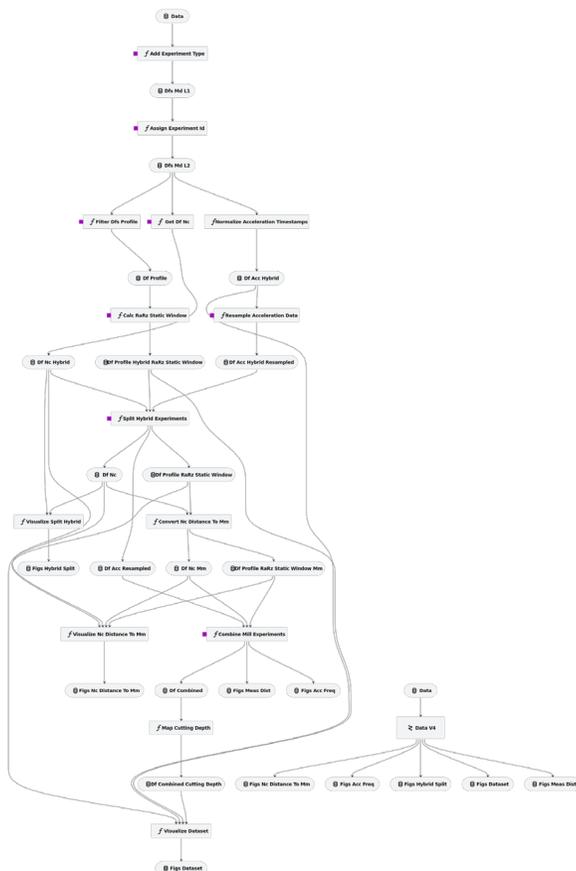


MLOPs und Modelbereitstellung

Daten- und Modelpipelines

ML Tools





MLOPs und Modelbereitstellung

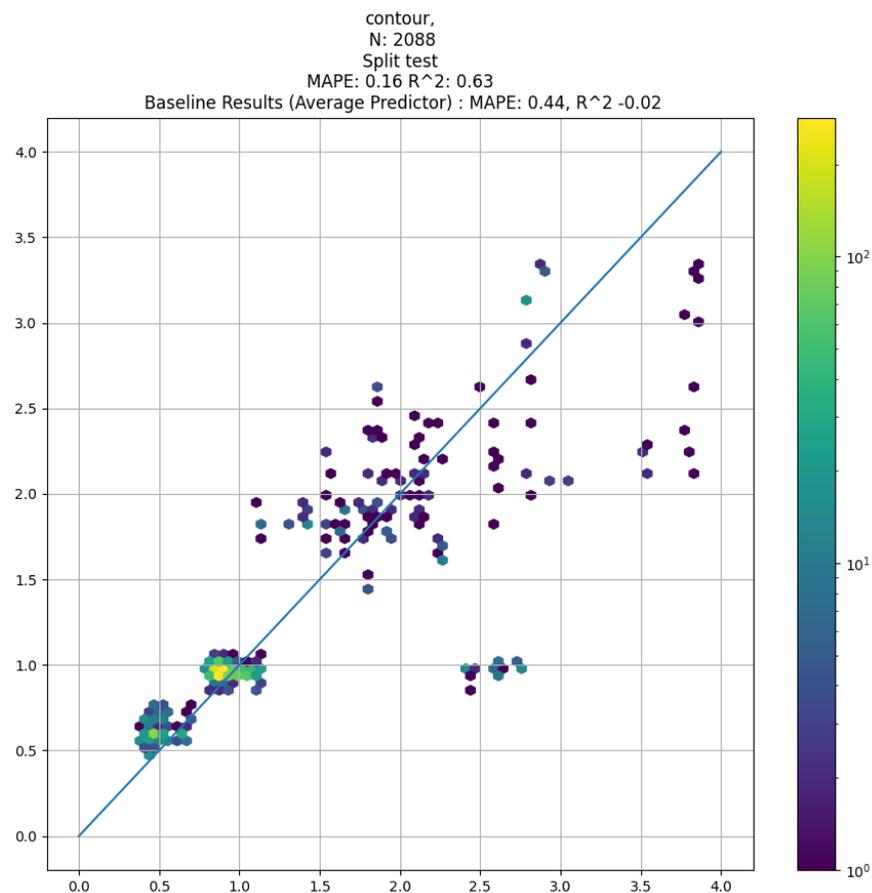
Daten- und Modelpipelines

ML Tools



1. Boosted Decision Tree Model
2. Finale Modelfeatures:
 - Operationsparameter (Vorschub, Drehzahl,...)
 - Spektrum der Spindel- Beschleunigung
3. Rauheitswerte sind sehr ungleich verteilt:
Vorhersage des Logarithmus der Rauheit
4. Hyperparameter werden mit Optuna getuned





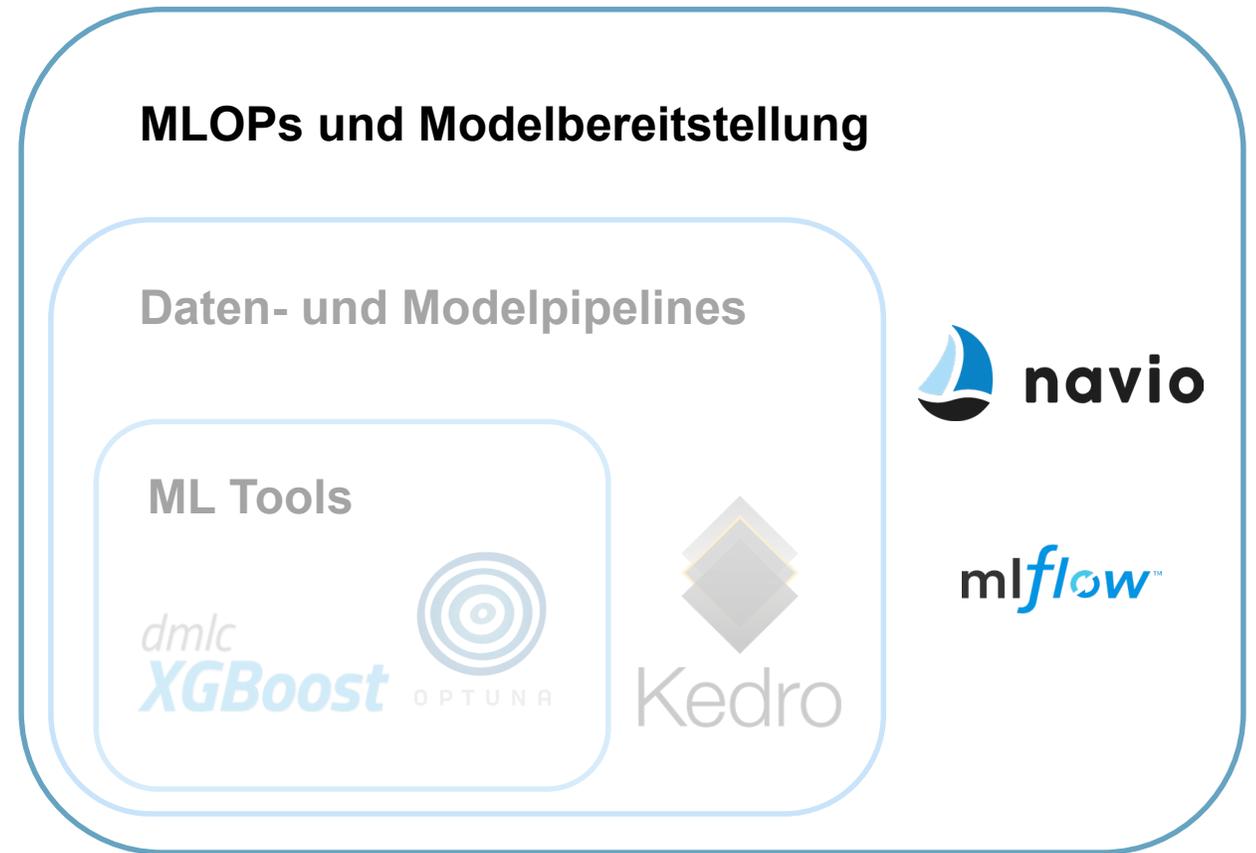
MLOPs und Modelbereitstellung

Daten- und Modelpipelines

ML Tools



1. Vergleich von Trainingsabläufen mit **mlflow**
2. Finales Model wird über **navio** bereitgestellt (craftworks MLOPs platform)
3. Modelle können über **REST API** angesprochen werden





Use cases

Roughness Prediction

Other

All datasets

All edge devices

Upload / Explore Datasets (0)

Create / Manage Models (4)

Integrate / Monitor Deployments (3)

View / Organise Clients (10)

View / Organise Edge devices (0)

New model

Roughness Prediction

+ Add description

New deployment

fa90741ab1b14392b5b9a3b9a1dec096

Assigned models

navio_model_fa90741ab1b14392b5b9a3b9a1dec096

0 requests/seven days

Success

Monitoring

API Integration

Traffic orchestration

navio_model_080b0fcabd894a48b32d3f4ccac34cc

Assigned models

navio_model_080b0fcabd894a48b32d3f4ccac34cc

0 requests/seven days

Success

Monitoring

API Integration

Traffic orchestration

navio_model_d159078081034ee1bbf60a77d07708a6

Assigned models

navio_model_d159078081034ee1bbf60a77d07708a6

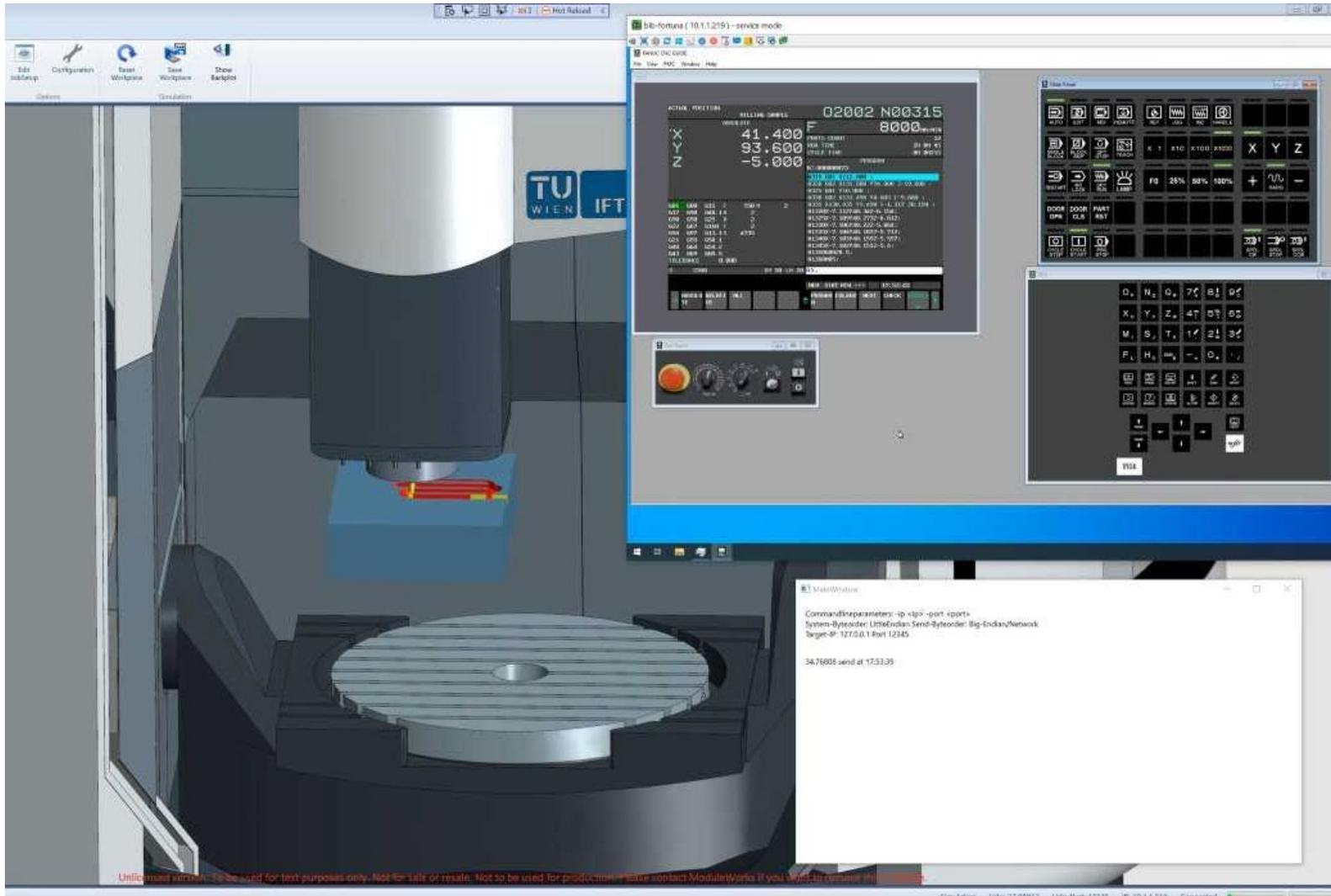
2 requests/seven days

Success

Monitoring

API Integration

Traffic orchestration

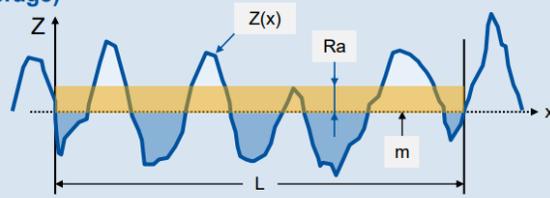


Visualisierung der Rauheit mit bunten Flecken auf dem "in-process workpiece" Simulation.

Ra value (roughness average)

... is the roughness average from the sums of all profile deviations.

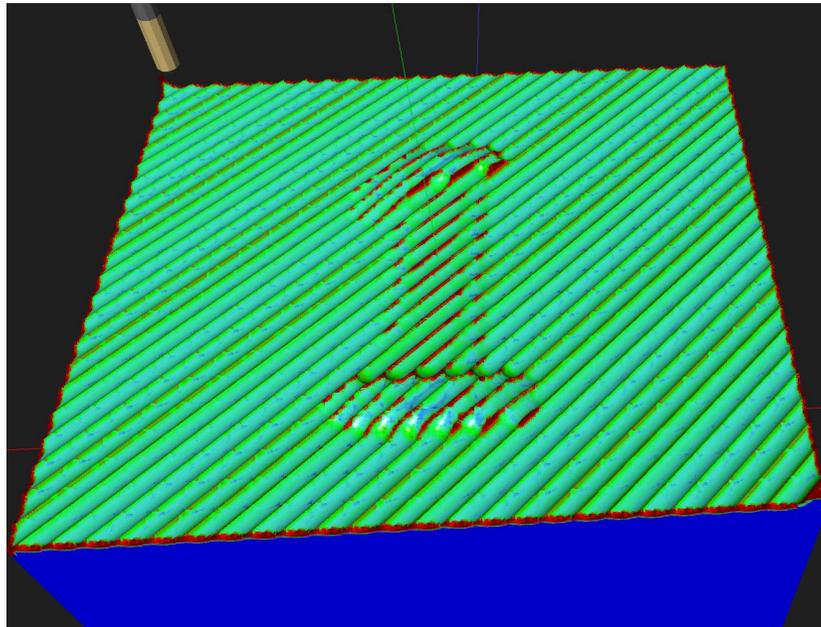
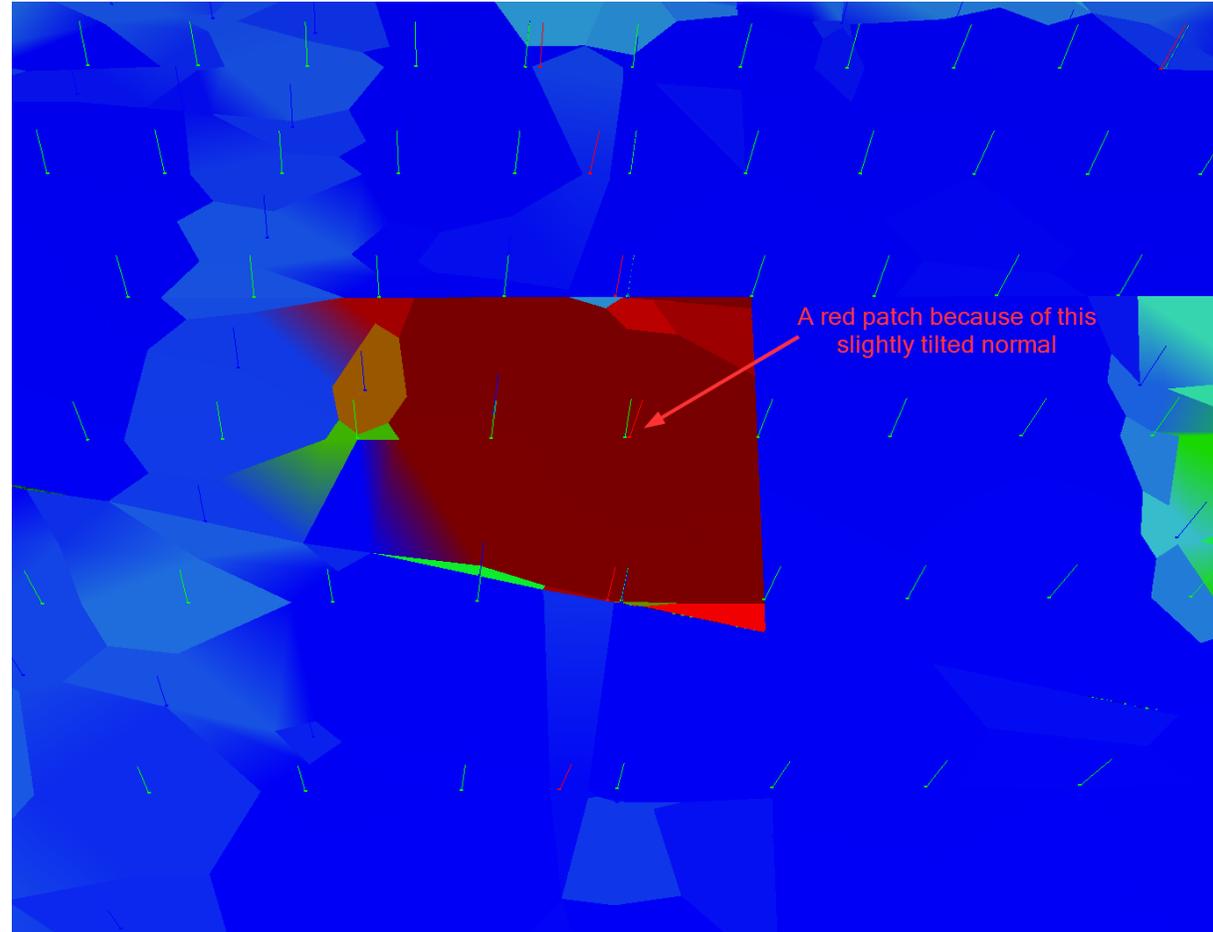
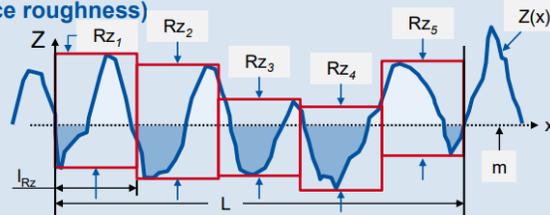
$$Ra = \frac{1}{L} \int_0^L |Z(x)| dx$$



Rz value (average surface roughness)

... is the average of the five individual roughness depths Rz_i from the five individual measuring sections l_{Rz} .

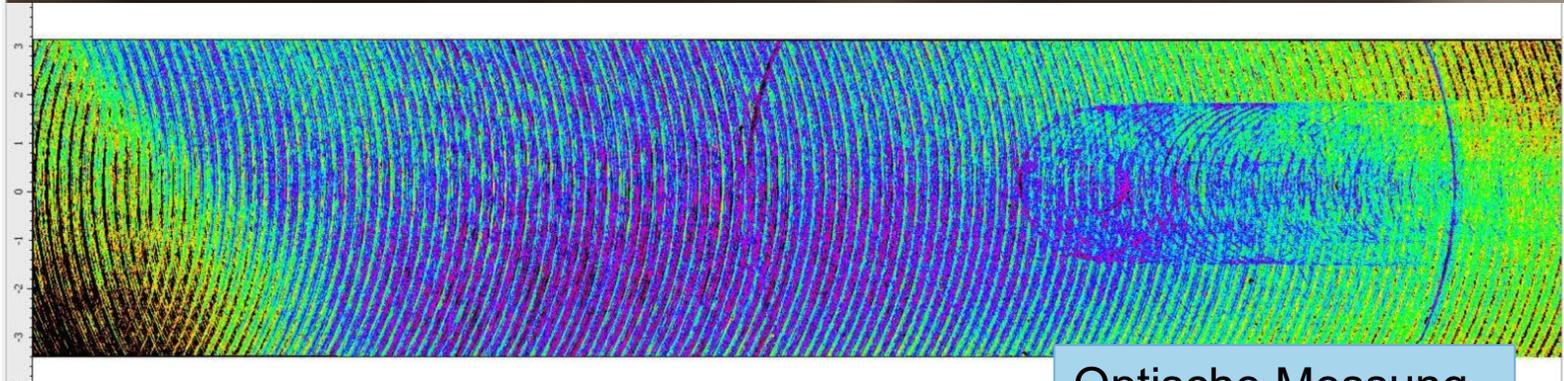
$$Rz = \frac{1}{5} * \sum_{i=1}^5 Rz_i$$



- Rauheit kann mit verschiedenen Statistiken beschrieben werden
- Um Rauheitsprofil zu beschreiben, braucht man sehr hohe Auflösung
- „Engineering data“ kann nicht immer interpretierbar sein



- Bunte Bilder sind nicht immer hilfreich
- Es gibt Überlappungen zwischen Fräsbahnen
- Gleiche Rauheiten können anders aussehen



Optische Messung

- Menschen möchten „realistische“ Abbildungen, die mehr Info geben können

SurfAlce Parameters

80.000	r (mm)
200.000	length (mm)
0.100	feedrate (m/s)
300.000	spindle speed (rpm)

Interpolation Parameters

0.224	main path step
-------	----------------

Inserts

72.000	-4.000	0.000	insert #1
-5.000	33.000	0.000	insert #2
6.000	6.000	0.000	insert #3

Insert Traces

all	0 points	0.000000 length	To 3D
insert #1	46477 points	235867.372813 length	To 3D
insert #2	46477 points	109379.330667 length	To 3D
insert #3	46477 points	28746.595804 length	To 3D
interpolated main path	46477 points	10408.415908 length	To 3D

Plot

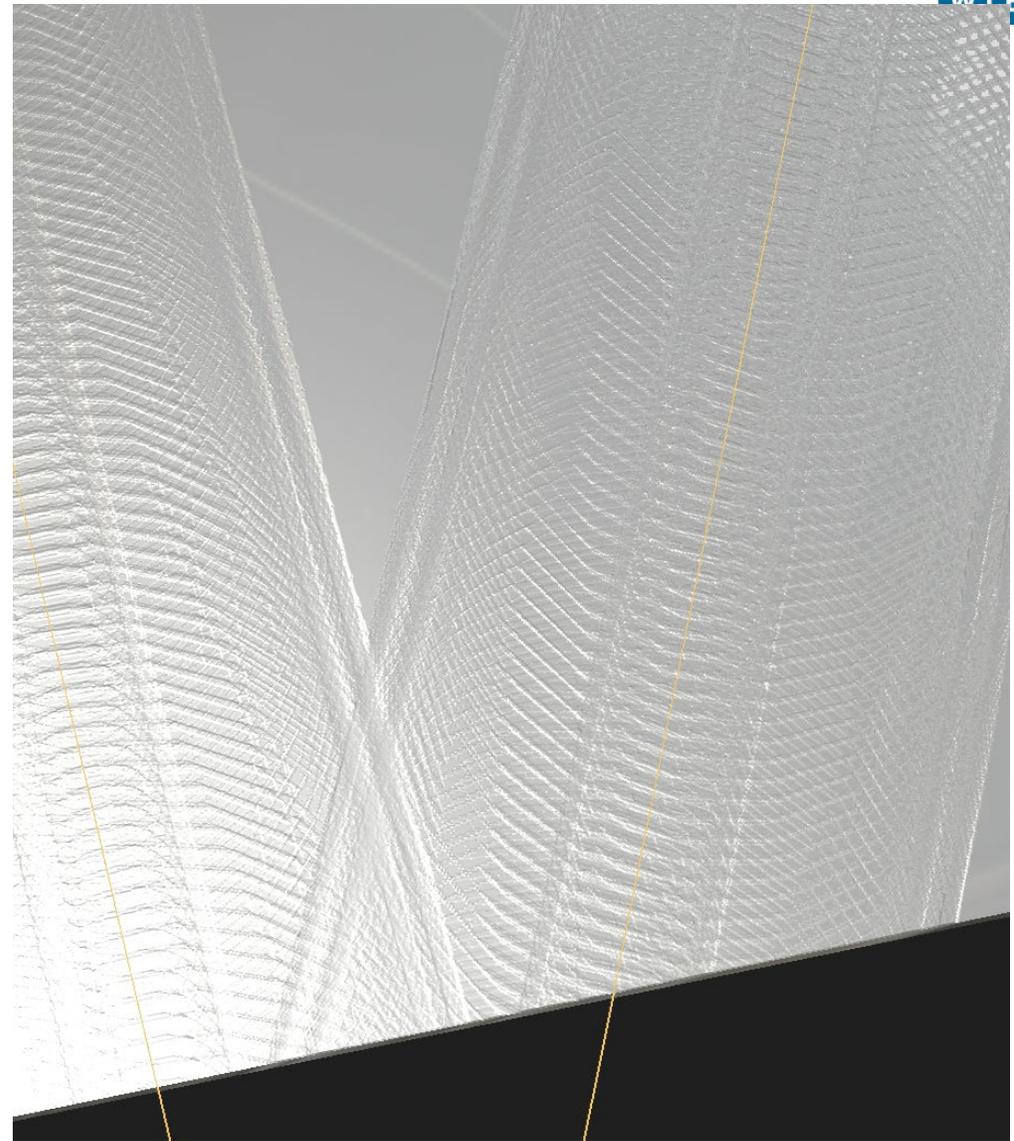
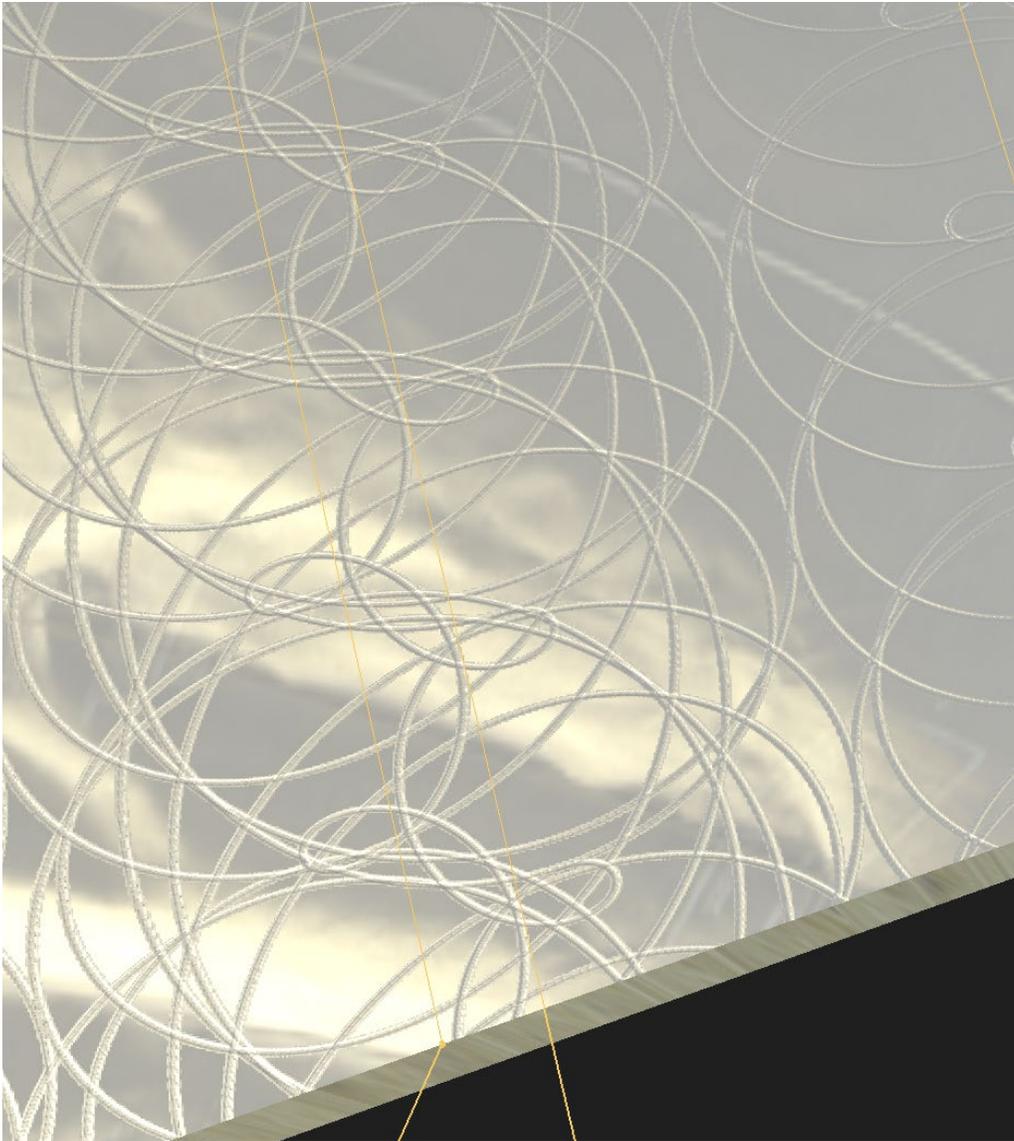
Clear Fit 23 points in main tool path, length: 10408.415915

Toolpath

Legend:

- main
- main p
- all
- all p
- insert #1
- insert #1 p
- insert #2
- insert #2 p
- insert #3
- insert #3 p
- interpolated main path
- interpolated main path p

- Prototypische Software, um das Rattern und andere Prozesseigenschaften auf einer Fräsbahn zu mappen



- Rendering mit dem schader-basierten Technologie