



Picture source: <https://www.fertigung.de/assets/images/4/fertigungshalle-3fa8bbd4.jpg>

Final Project:

TUFactory

**Vereinfachte Simulation
einer Produktion in einer
Fertigungshalle**

Wintersemester 2021/22

Ausgangssituation

TUFactory ist ein produzierendes Unternehmen mit einer Fertigungshalle, die mit diversen Maschinen ausgestattet wurde um eine Vielzahl von Prototypen herzustellen. Zu den Maschinen zählt eine Drehmaschine, eine Fräsmaschine und eine Schleifmaschine. Jedes Teil muss bestimmte Arbeitsschritte durchlaufen. Um die vom Kunden gewünschte Qualität einzuhalten, werden alle Teile nach ihrer Produktion natürlich auf ihre Qualität überprüft. Ziel ihrer Simulation ist eine Auslastungs- und Durchlaufanalyse um die Vorgänge während der Fertigung darstellen zu können.

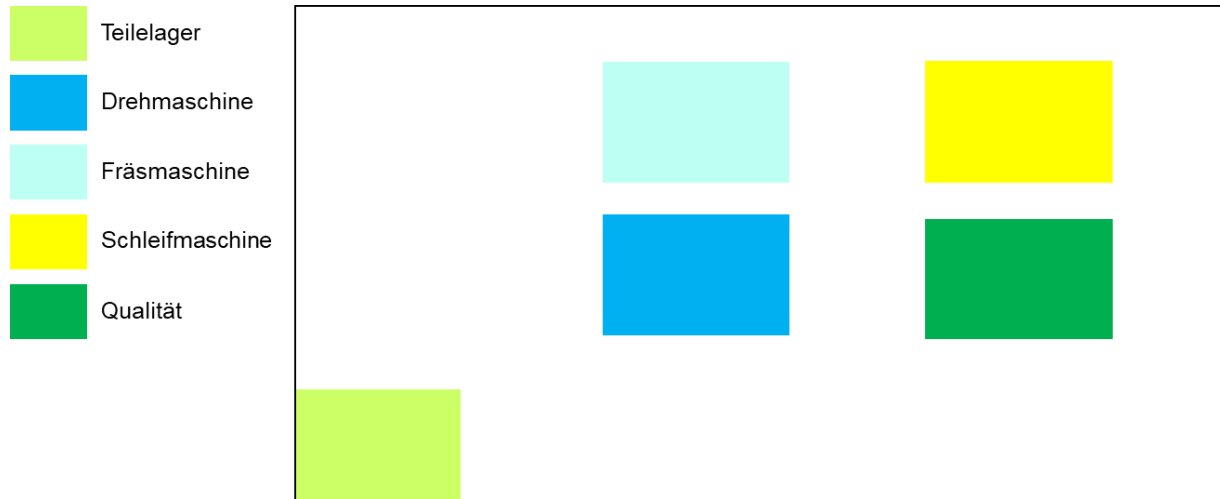
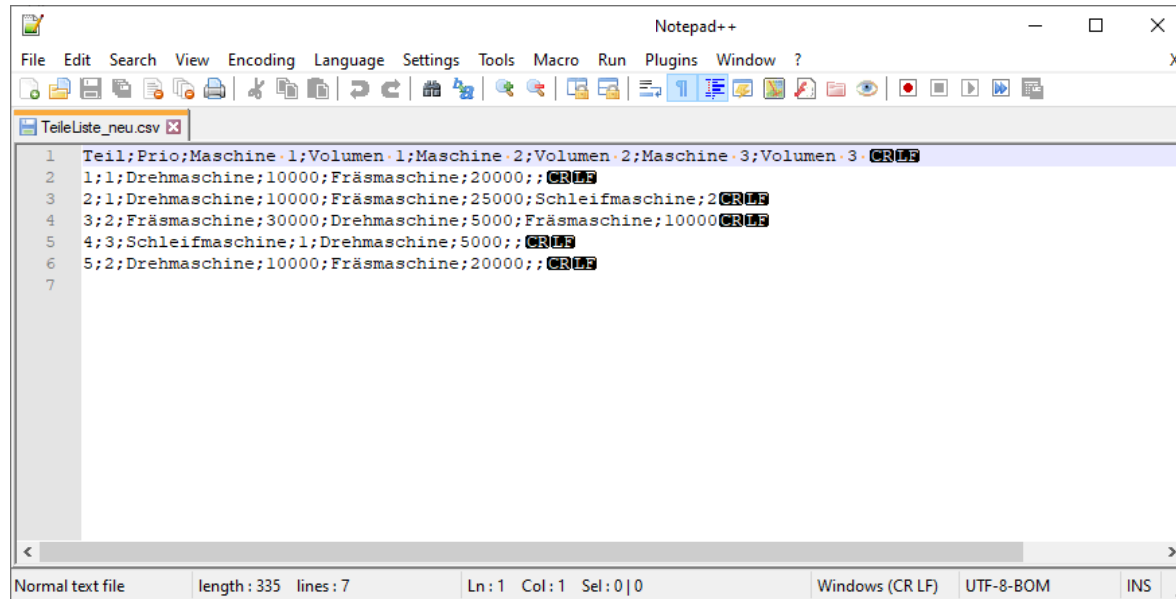


Abbildung 1: Grundriss der Fertigungshalle und Maschinen

Ausgangssituation

Um die Ergebnisse der Simulation vergleichbar zu machen, bekommen Sie folgende Inputdaten:

- Eine csv-Datei mit den abzuarbeitenden Teilen und deren vereinfachte Arbeitsschritte
- Maschinendaten



```
1 Teil;Prio;Maschine.1;Volumen.1;Maschine.2;Volumen.2;Maschine.3;Volumen.3.CRLF
2 1;1;Drehmaschine;10000;Fräsmaschine;20000;;CRLF
3 2;1;Drehmaschine;10000;Fräsmaschine;25000;Schleifmaschine;2.CRLF
4 3;2;Fräsmaschine;30000;Drehmaschine;5000;Fräsmaschine;10000.CRLF
5 4;3;Schleifmaschine;1;Drehmaschine;5000;;CRLF
6 5;2;Drehmaschine;10000;Fräsmaschine;20000;;CRLF
7
```

Abbildung 2: csv-Datei mit Testdatensätzen

Veranschaulichung anhand eines Beispiels

Teil	Prio	Maschine1	Volumen1	Maschine2	Volumen2	Maschine3	Volumen3
1	1	Drehmaschine	10000	Fräsmaschine	20000		

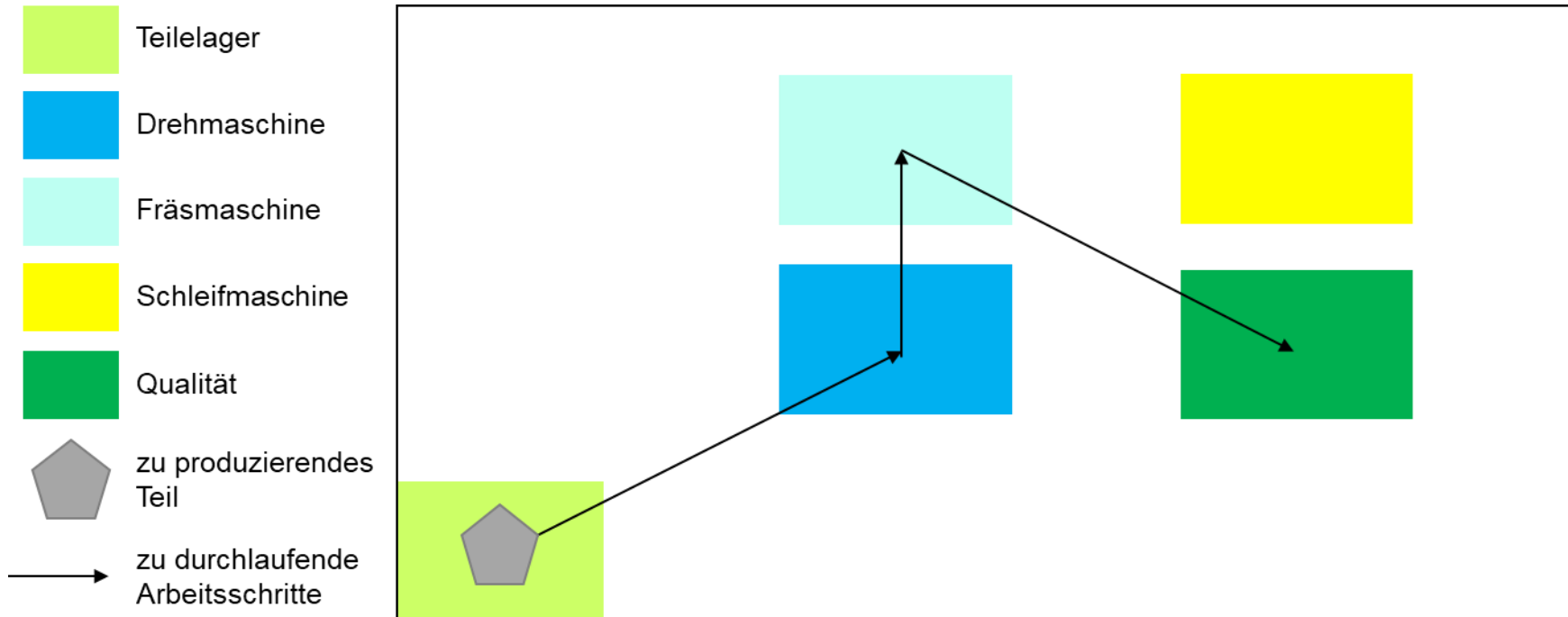


Abbildung 2: Zu durchlaufende Arbeitsschritte anhand eines Beispiels

Grundidee

Folgende Schritte werden durch das Programm abgearbeitet:

1. Einlesen der zu produzierenden Teile:

Mithilfe der eingelesenen Daten werden Objekte der Klasse Part erstellt und die benötigten Daten wie der Bearbeitungsablauf, die zu bearbeitenden Volumen und die Priorität übergeben.

2. Erstellen der Verwaltungsklasse:

Maschinen und die zu fertigenden Teile müssen in einer Verwaltungsklasse zugeteilt werden. Alle Objekte, außer die Fertigungsteile, sollen im Programm erstellt werden und dann der Verwaltungsklasse (eigenständige Klasse `ManagementClass`) zugeteilt werden.

3. Simulation:

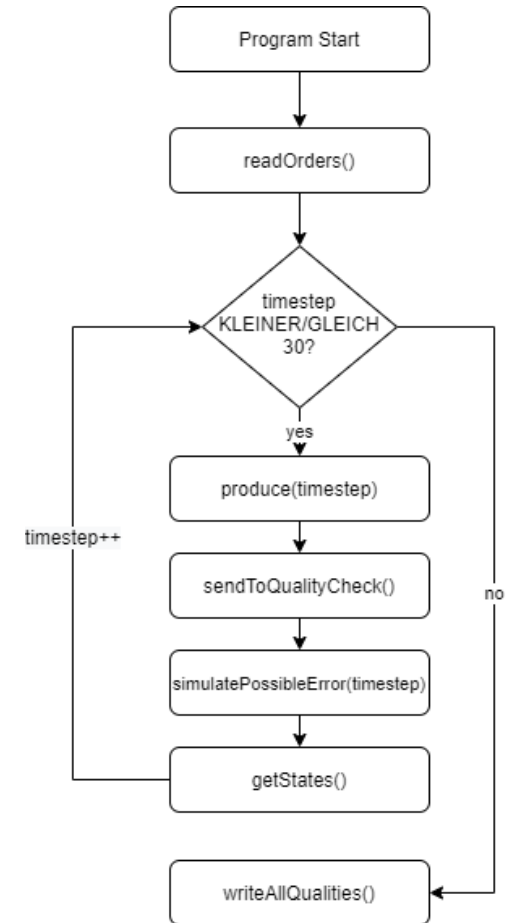
Eine Simulation umfasst 30 Minuten (=Zeiteinheiten). Währenddessen sollen folgende Befehle ausgeführt werden:

1. Teile sollen den Maschinen zugewiesen und „bearbeitet/gefertigt“ werden.
2. Sobald ein Teil fertig ist, muss es zum Qualitätscheck.
3. Um Maschinenausfälle zu simulieren, soll in jedem Zeitschritt eine Ausfallwahrscheinlichkeit ausgewertet werden und dadurch gegebenenfalls Maschinen ausfallen.
4. Am Ende jedes Durchlaufes soll der Status aller Teile ausgegeben werden.

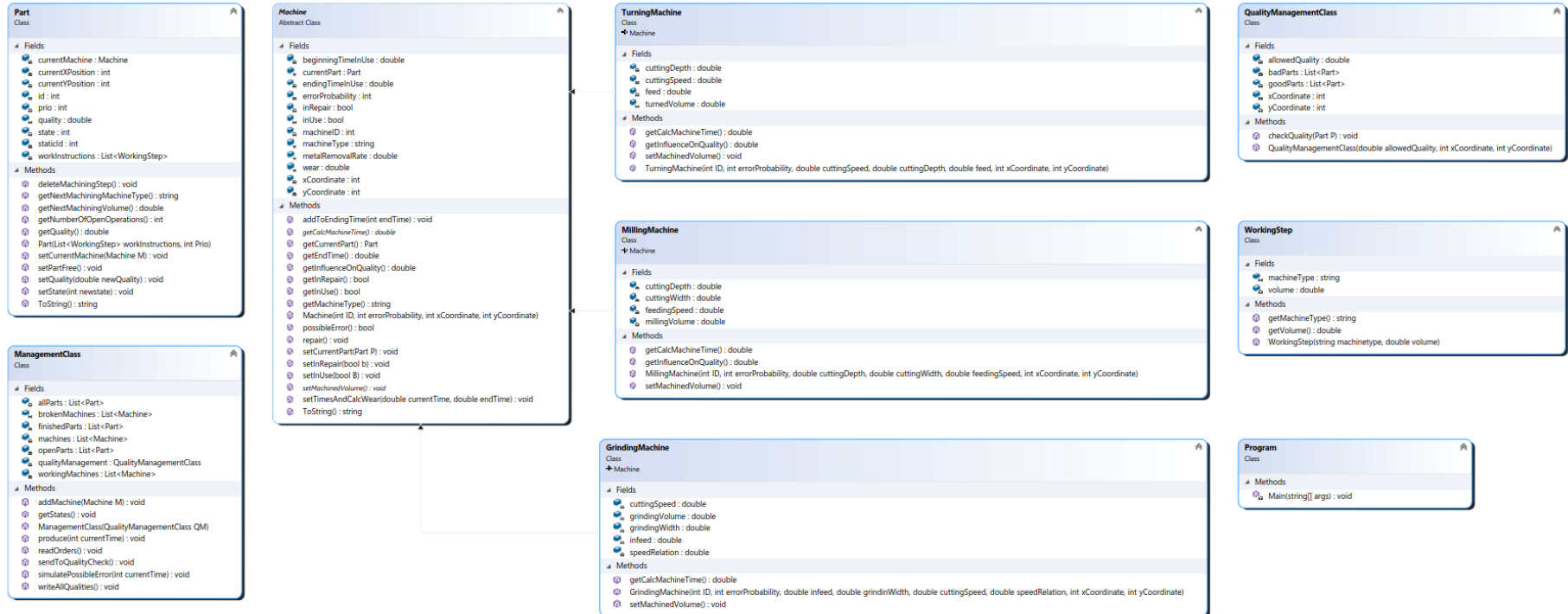
Programmablauf

KLASSE: Program

- Hier erstellen Sie eine Drehmaschine, eine Fräsmaschine, eine Schleifmaschine, ein Qualitätsmanagementobjekt und ein Objekt der Klasse ManagementClass.
- Fügen Sie die Maschinen und das Qualitätsmanagement der ManagementClass hinzu und gehen Sie im Program mit Ihrer Simulation wie im Flowchart dargestellt vor:



Entwurf der Klassenstruktur (eine größere Version ist im TC zu finden)



Klassenbeschreibung

KLASSE: WorkingStep

Attribute:

<code>machineType</code>	String, der die Art der Maschine beschreibt (z.B. „Drehmaschine“)
<code>volume</code>	Volumen, das in dem Bearbeitungsschritt abzuarbeiten ist

Methoden:

<code>getMachineType</code>	Gibt die Maschinentyp (z.B. „Drehmaschine“) zurück
<code>getVolume</code>	Gibt das Volumen zurück

Klassenbeschreibung

KLASSE: Part (1/2)

Attribute:

<code>workInstructions</code>	Liste mit Arbeitsschritten
<code>id</code>	Fortlaufende ID des Teils (Hinweis: verwenden Sie nicht die im csv-file vorhandene Teilenummer als ID)
<code>staticId</code>	Statische ID zur Erstellung der Teile-ID
<code>currentMachine</code>	Maschine, bei der sich das Teil gerade befindet
<code>quality</code>	Ein Qualitätswert zwischen 0-100
<code>prio</code>	Priorität des Teils, siehe csv
<code>state</code>	Variable welche den Produktionsstatus des Teils definiert <ul style="list-style-type: none"> 1 → Halbzeug 2 → Bearbeitung begonnen/in Bearbeitung 3 → Fertiges Teil 4 → Qualität geprüft: Gutteil 5 → Qualität geprüft: Ausschuss
<code>currentXPosition</code>	X-Koordinate des Standortes des Teils
<code>currentYPosition</code>	Y-Koordinate des Standortes des Teils

Klassenbeschreibung

KLASSE: Part (2/2)

Methoden:

`setCurrentMachine`

Weist dem Teil die Maschine (=currentMachine) zu, auf der es aktuell bearbeitet wird.

`setPartFree`

Setze *currentMachine* = null.

`getNumberOfOpenOperations`

Gibt die Anzahl der noch offenen Arbeitsschritte zurück.

`setState`

Setzt den neuen Status.

`ToString`

Überschreibt die ToString-Methode zur Ausgabe von ID und Status.

`getNextMachiningMachineType`

Gibt die nächste Maschine aus, die in der Bearbeitung vorgesehen ist.

`getNextMachiningVolume`

Gibt das nächste Volumen aus, das in der Bearbeitung vorgesehen ist.

`deleteMachiningStep`

Löscht den zuletzt getätigten Arbeitsschritt aus der Liste *workInstructions*.

`getQuality`

Ausgabe der Qualität des Teils.

`setQuality`

Weist der Qualität des Teils einen neuen Wert zu.

Klassenbeschreibung

Abstrakte KLASSE: Machine (1/2)

Attribute:

machineID	Fortlaufende MaschinenID
machineType	Maschinentyp (=z.B. „Drehmaschine“).
inUse	True wenn benutzt, false wenn frei.
beginningTimeInUse	Zeitpunkt, wenn Maschine anfängt ein Teil zu bearbeiten.
endingTimeInUse	Zeitpunkt, wenn Maschine mit der Teilebearbeitung fertig sein wird.
errorProbability	Fehlerwahrscheinlichkeit (für Kontrolle = 0, ansonst ca. 5%).
wear	Abnutzung der Maschine in %.
currentPart	Teil in der Maschine.
metalRemovalRate	Zeitspanvolumen (Volumen, das pro min abgetragen wird) in [mm ³ /min].
xCoordinate	X-Koordinate des Standorts der Maschine.
yCoordinate	Y-Koordinate des Standorts der Maschine.
inRepair	True wenn die Maschine gerade repariert wird, false wenn nicht.

Klassenbeschreibung

Abstrakte KLASSE: Machine (2/2)

Methoden:

ToString

Überschreibt die ToString-Methode und gibt MaschinenTyp und ID zurück.

getMachineType

Gibt den Maschinentyp zurück.

getInUse

Gibt Attribut *inUse* zurück.

setInUse

Setzt *inUse*.

abstract getCalcMachineTime

Abstrakte Methode zum Berechnen und Zurückgeben der benötigten Zeit.

setTimeAndCalcWear

Setzt die Anfangs- und geplante Endzeit der Maschine bei Bearbeitung und berechnet zusätzlich die entstehende Abnutzung:

$$\text{wear} + (\text{endTime} - \text{currentTime}) / 20$$

getEndTime

Gibt die *endingTimeInUse* zurück.

getCurrentPart

Gibt das bearbeitete Teil zurück.

setCurrentPart

Weist der Maschine ein Teil zu.

possibleError

Gibt zurück, ob die Maschine einen Fehler hat. Dieser entsteht entweder

a) zufällig, oder

b) wenn die Abnutzung $\geq 75\%$ ist.

virtual getInfluenceOnQuality

Berechnet und gibt den Einfluss der Maschine auf die Qualität des Teils zurück (standardmäßig 0).

abstract setMachinedVolume

Setzt das zu bearbeitende Volumen des aktuellen Teils.

addToEndingTime

Erhöht die *endingTimeInUse* um einen Wert.

repair

Setzt den Abnutzungswert auf 0.

setInRepair

Setzt den Reparaturstatus (TRUE oder FALSE).

getInRepair

Gibt den Reparaturstatus zurück.

Klassenbeschreibung

KLASSE: TurningMachine : Machine

Attribute:

turnedVolume	zu drehendes Volumen
cuttingSpeed	Schnittgeschwindigkeit v_c
cuttingDepth	Schnitttiefe v_p
feed	Werkzeugvorschub f

Methoden:

getInfluenceOnQuality	Berechnet und gibt den neuen Qualitätswert zurück: <i>wear/45</i>
setMachinedVolume	Setzt das zu bearbeitende Volumen des Bauteils basierend auf den Teiledaten.
getCalcMachineTime	Berechnet die Bearbeitungszeit (Aufrunden!) für das Teil und gibt diese zurück: <i>turnedVolume/metalRemovalRate</i>



Bildquelle: <https://www.elmag.at/media/catalog/product/cache/1/smallimage/600x600/040ec09b1e35df139433887a97daa66f/6/1/616efc35-51ba-491e-964f-6089a6b88f36.jpg>

Klassenbeschreibung

KLASSE: MillingMachine : Machine

Attribute:

millingVolume

zu fräsendes Volumen

cuttingWidth

Arbeitseingriff a_e

cuttingDepth

Schnitttiefe a_p

feedingSpeed

Vorschubgeschwindigkeit v_f

Methoden:

getInfluenceOnQuality

Berechnet und gibt den neuen Qualitätswert zurück:

wear/50

setMachinedVolume

Setzt das zu bearbeitende Volumen des Bauteils basierend auf den Teiledaten.

getCalcMachineTime

Berechnet die Bearbeitungszeit (Aufrunden!) für das Teil und gibt diese zurück:

millingVolume/metalRemovalRate



Bildquelle: <https://industrytoday.com/wp-content/uploads/2020/06/cnc-milling-machines.jpg>

Klassenbeschreibung

KLASSE: GrindingMachine : Machine

Attribute:

grindingVolume

infeed

grindingWidth

cuttingSpeed

speedRelation

zu schleifendes Volumen

Vorschub a_e

Schleifscheibenbreite b (= konst 50mm)

Schnittgeschwindigkeit v_{fc}

Geschwindigkeitsverhältnis q

Methoden:

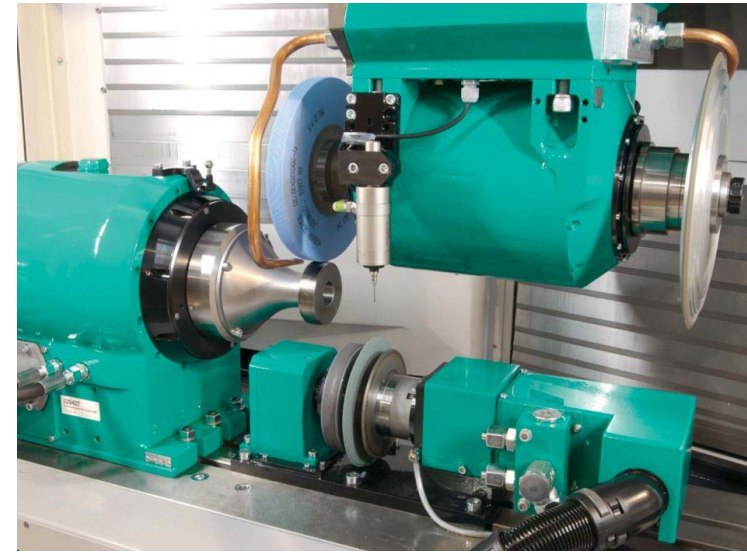
setMachinedVolume

getCalcMachineTime

Setzt das zu bearbeitende Volumen des Bauteils basierend auf den Teiledaten.

Berechnet die Bearbeitungszeit (Aufrunden!) für das Teil und gibt diese zurück:

grindingVolume/metalRemovalRate



Bildquelle: <https://www.fertigung.de/assets/images/1/schneeberger-gemini-schleifmaschine-arbeitsraum-3f285891.jpg>

Klassenbeschreibung

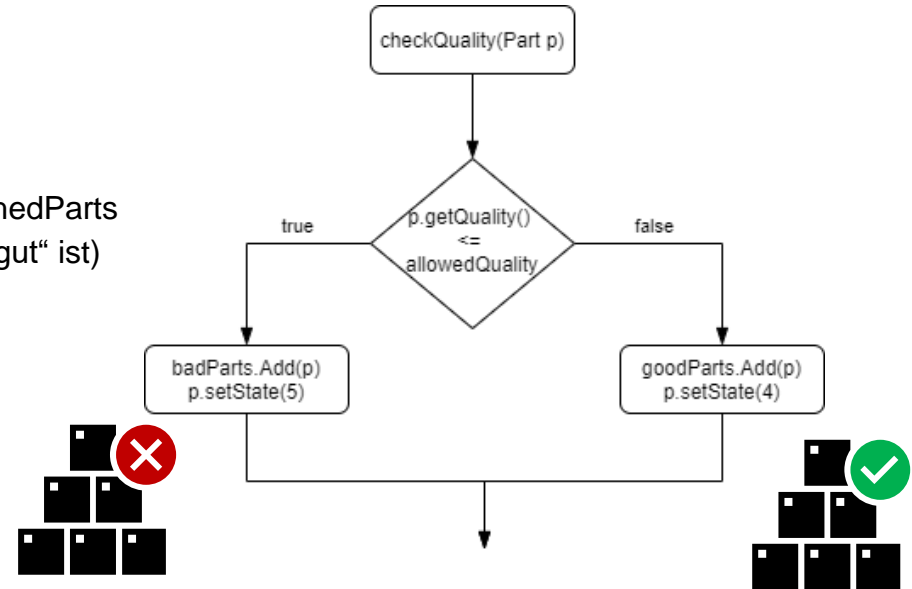
KLASSE: QualityManagementClass

Attribute:

allowedQuality	Minimal erlaubte Qualität in %
goodParts	Alle Gutteile
badParts	Alle Ausschussteile
xCoordinate	X-Koordinate des Standorts
yCoordinate	Y-Koordinate des Standorts

Methoden:

checkQuality	Überprüft, welches Teil in der Liste finishedParts die Qualitätsanforderungen erfüllt („gut“ ist) und welches ein Ausschussteil ist. (Min Quality 0,95)
--------------	--



Klassenbeschreibung

KLASSE: ManagementClass (1/2)

Attribute:

<code>machines</code>	Liste aller Maschinen, die im Werk vorhanden sind.
<code>workingMachines</code>	Liste aller funktionierenden Maschinen, die im Werk vorhanden sind.
<code>brokenMachines</code>	Liste aller kaputten Maschinen, die im Werk vorhanden sind.
<code>allParts</code>	Liste aller Teile (aus csv einlesen).
<code>openParts</code>	Liste aller Teile, die produziert werden müssen .
<code>finishedParts</code>	Liste aller gefertigten Teile .
<code>qualityManagement</code>	Objekt der Qualitätsprüfungsklasse, im Konstruktor zu übergeben.

Methoden:

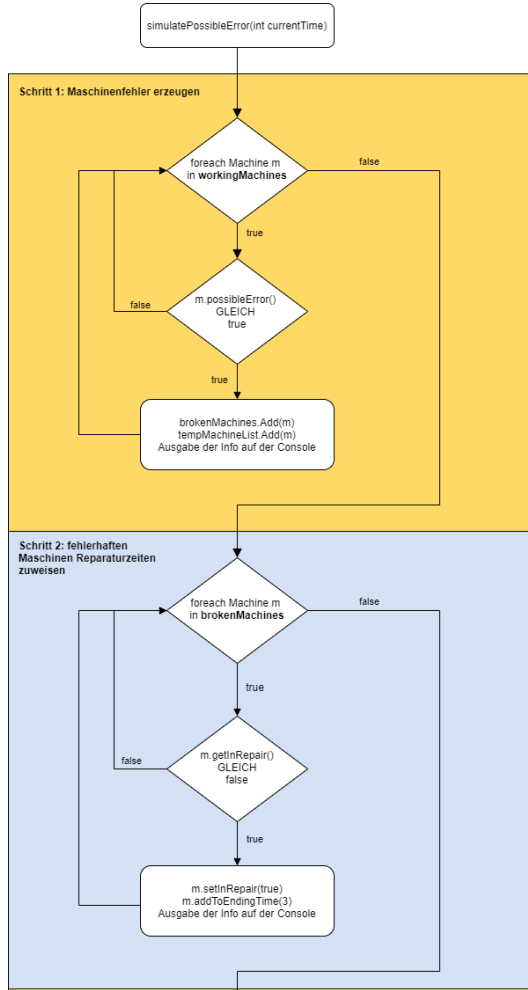
<code>addMachine</code>	Fügt eine Maschine zu <i>machines</i> und <i>workingMachines</i> hinzu.
<code>readOrders</code>	<p>Liest aus der csv-Datei alle benötigten Daten aus und erstellt alle zu produzierenden Teile (<i>allParts</i>).</p> <p>Hinweis: Wenn Sie eine Liste kopieren und dann die Ursprungsliste löschen, werden auch die Elemente in ihrer neuen Liste gelöscht. Fügen Sie die Elemente ihrer neuen Liste entweder mithilfe einer Schleife hinzu oder verwenden Sie z.B. den Listenkonstruktor, indem Sie die „alte Liste“ an den Konstruktor der neuen Liste übergeben und somit eine Kopie erstellen.</p> <pre>List<string> quelle = new List<string>() { "A", "B", "C" }; List<string> koppelteListe = new List<string>(quelle);</pre>

Klassenbeschreibung

KLASSE: ManagementClass (2/2)

<code>produce</code>	Methode, die alle offenen Teile durchgeht und checkt, ob eine Maschine frei ist um die Teile zuzuweisen. Wenn ja, wird das Teil einer Maschine übergeben und somit „produziert“. Weiters wird hier auch überprüft, ob ein Teil fertig ist und die Maschine wieder „frei“ ist. Siehe auch FlowChart ab Seite 21.
<code>sendToQualityCheck</code>	Alle fertigen Bauteile werden der Qualitätsüberprüfung in der Qualitätsstelle unterzogen.
<code>getStates</code>	Gibt für alle Teile den Status auf der Console aus.
<code>simulatePossibleError</code>	Führt für alle funktionierenden Maschinen die „possibleError“-Methode aus und setzt die Maschine gegebenenfalls auf „Fehler“. Prüft, welche Maschinen fertig repartiert sind und gibt die Maschinen wieder zum Produzieren frei. Siehe auch FlowChart ab Seite 18.
<code>writeAllQualities</code>	Ausgabe der Qualität aller Teile auf der Console.

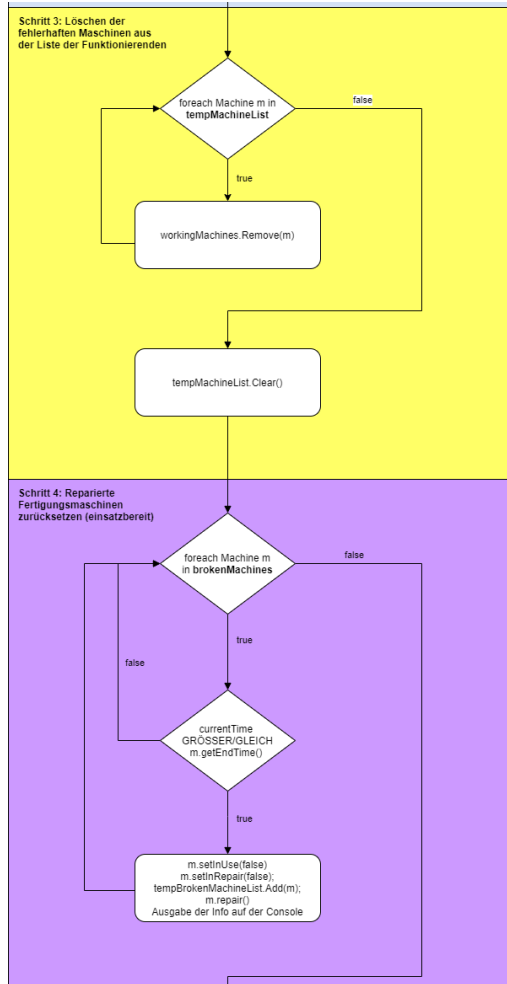
FlowChart: SimulatePossibleError (1/3)



Schritt 1: Führen Sie für alle funktionierenden Maschinen die Methode *possibleError()* aus um einen Fehler oder eine Wartung zu generieren. Fügen Sie fehlerhafte Maschinen den Listen hinzu.

Schritt 2: Um Maschinen zu reparieren, überprüfen Sie zuerst, ob sich diese nicht bereits in Reparatur befinden. Wenn dies nicht der Fall ist, sollen die Maschinen repariert werden und somit drei Minuten später mit der Reparatur/Wartung UND der Fertigstellung des Teils fertig sein.

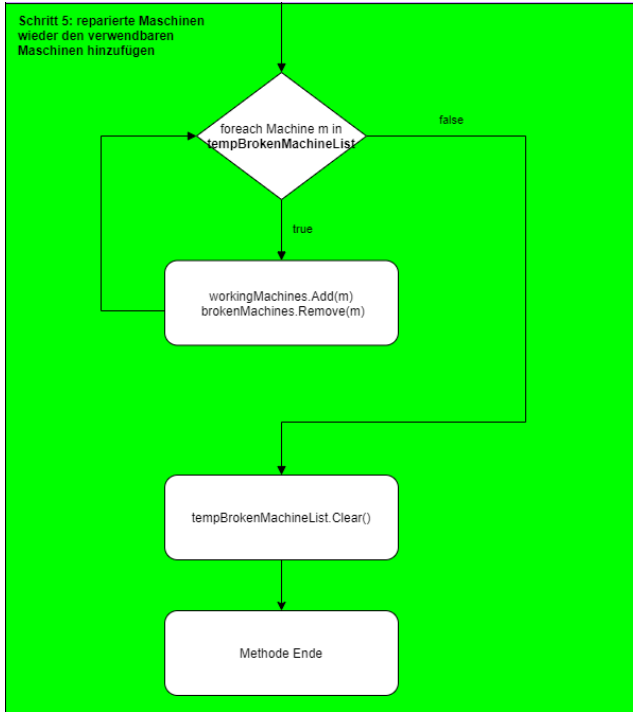
FlowChart: SimulatePossibleError (2/3)



Schritt 3: Da innerhalb von foreach-Schleifen (Schleifen generell) keine Elemente aus einer Liste gelöscht werden dürfen, muss man das Löschen über temporäre Listen gestalten. Hier werden nur die fehlerbehafteten Maschinen aus der Liste der funktionierenden Maschinen gelöscht.

Schritt 4: Wenn die Zeit abgelaufen ist und Maschinen wieder einsatzfähig sind, müssen sie freigestellt werden. Das heißt: nach Ablauf der Reparaturzeit und der zugewiesenen Bearbeitungszeit des Teils in der Maschine, ist die Maschine wieder einsatzfähig und repariert.

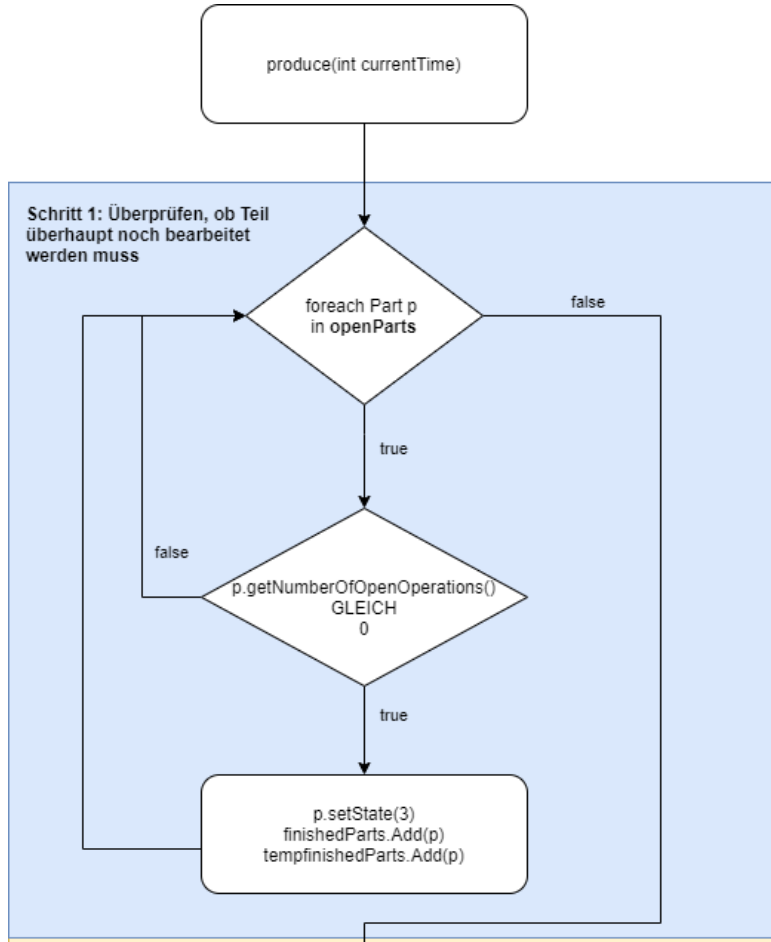
FlowChart: SimulatePossibleError (3/3)



Schritt 5: Ähnlich wie Schritt 2, nur mit dem Zusatz, dass Maschinen auch zu *workingMachines* hinzugefügt werden.

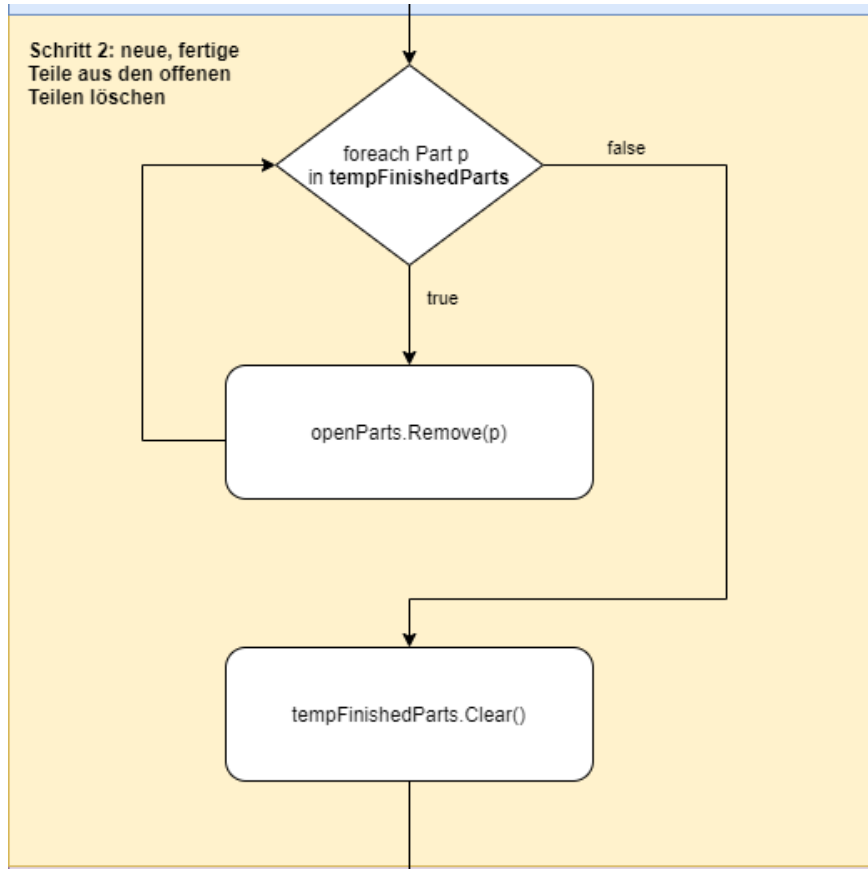
Tipp: Setzen Sie Breakpoints nach jedem Schritt um so einfach zu Debuggen.

FlowChart: produce (1/4)



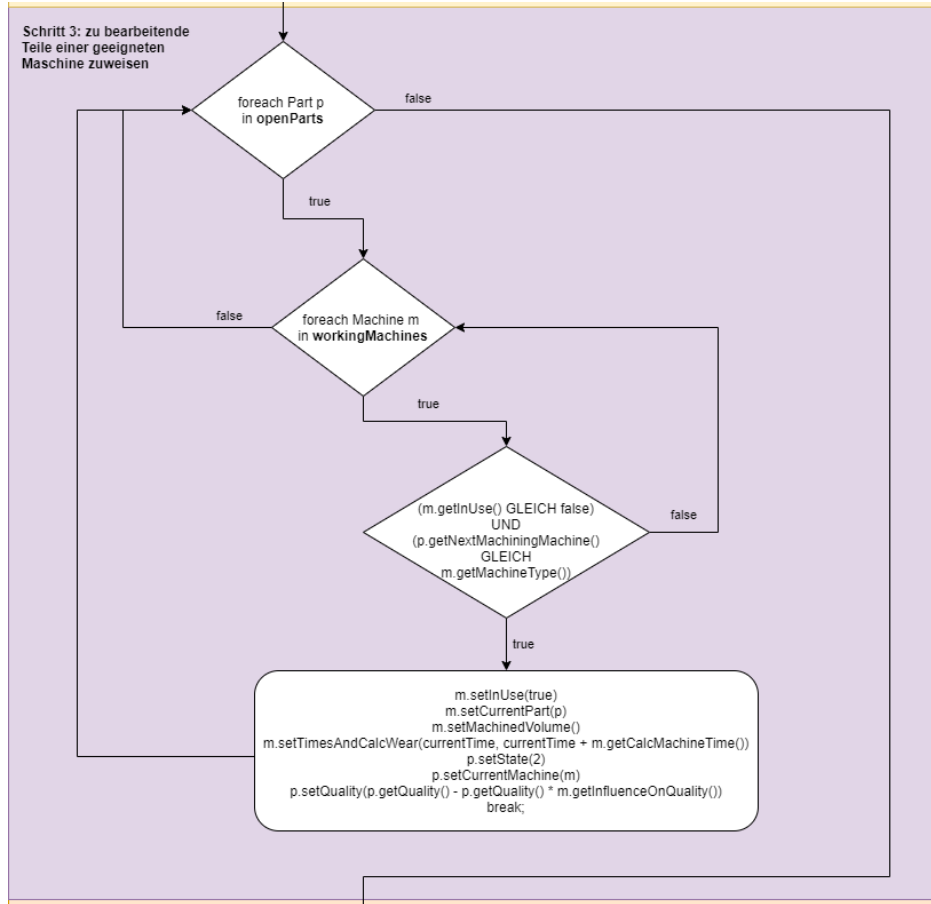
Schritt 1: Teile, die schon fertig sind, müssen nicht neu bearbeitet werden und können gleich zu den fertigen Teilen hinzugefügt werden.

FlowChart: produce (2/4)



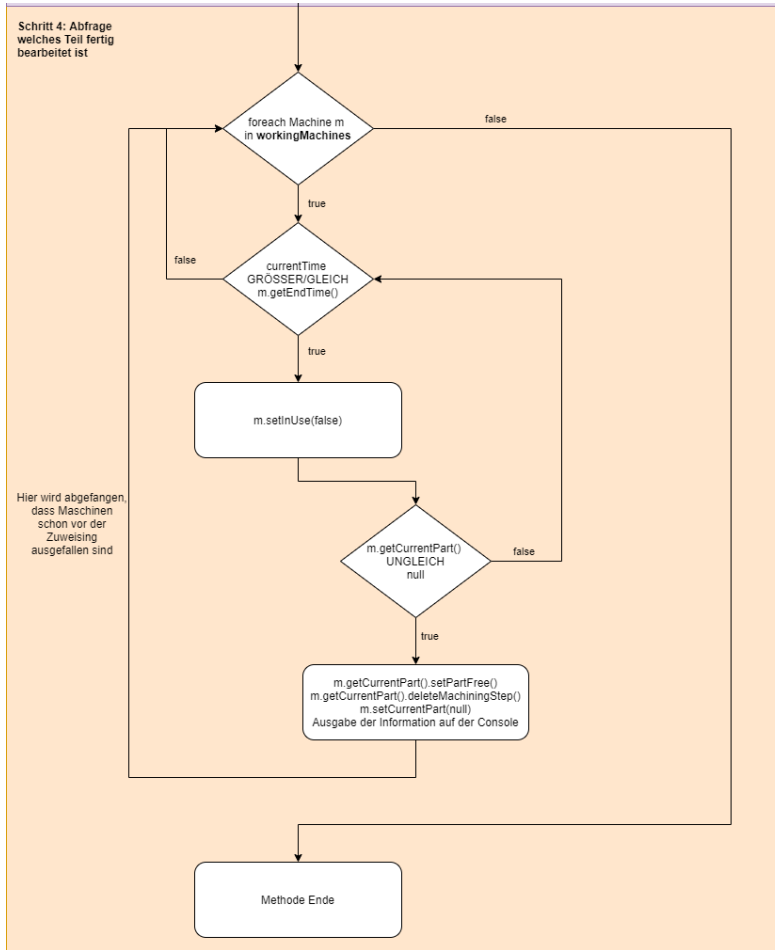
Schritt 2: Aufgrund des Schleifendurchlaufs darf man die Liste nicht in der Schleife verändern, sondern muss dies in einem eignen Vorgang machen. Dies geschieht hier mit den fertigen Teilen, die von den offenen „entfernt“ werden.

FlowChart: produce (3/4)



Schritt 3: Zu fertigende Teile müssen den richtigen Maschinen zugewiesen werden. Daher läuft man alle Teile und dann alle Maschinen durch um eine geeignete und freie Maschine zu finden. Wenn eine Maschine ein Teil bearbeitet, wird sie „besetzt“, ihr ein Teil zugewiesen, die Bearbeitungszeit (aufgrund des zu bearbeitenden Volumens) berechnet und die Qualität des Teils bei Bearbeitung verändert. Das Schlüsselwort „break“ am Ende ist nur eine Beschleunigung, da ich nachdem ich eine Maschine gefunden habe nicht alle weiteren Maschinen durchlaufen muss.

FlowChart: produce (3/4)



Schritt 4: Maschinen, die mit der Bearbeitung eines Teils fertig sind, werden hier freigesetzt. Das heißt, dass die Bearbeitungszeit vorbei ist und der Zeitpunkt am Ende der Bearbeitung den aktuellen übersteigt.

Vor Freigabe der Maschinen muss überprüft werden, ob überhaupt ein Teil zugewiesen ist, da die Möglichkeit besteht, dass eine Maschine ausfällt, bevor sie ein Teil bearbeitet. Wichtig ist, dass bei einem Teil nach seiner Bearbeitung der gerade durchgeführte Bearbeitungsschritt (erster in der Liste der Arbeitsschritte) gelöscht wird, da sonst Schritt 1 nie greifen wird.

Auswertungen und Konsolenausgaben

In jedem Schritt sollen folgende Informationen auf der Konsole ausgegeben werden:

- Zeit
- Benachrichtigungen über Fehler/Wartung
- Zuweisung von Teilen zu Maschinen
- Status aller Teile

```

Microsoft Visual Studio Debug Console
***** TIME: 0*****
Part 1 mit state 2 wird in Maschine Drehmaschine : 1 bearbeitet.
Part 3 mit state 2 wird in Maschine Fräsmaschine : 2 bearbeitet.
Part 4 mit state 2 wird in Maschine Schleifmaschine : 3 bearbeitet.
Part 1 state: 2
Part 2 state: 1
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1
***** TIME: 1*****
Part 1 state: 2
Part 2 state: 1
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1
***** TIME: 2*****
Part 1 state: 2
Part 2 state: 1
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1
***** TIME: 3*****
Drehmaschine : 1 ist jetzt wieder frei und bereit zum Bearbeiten neuer Teile.
Schleifmaschine : 3 ist jetzt wieder frei und bereit zum Bearbeiten neuer Teile.
Part 1 state: 2
Part 2 state: 1
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1
***** TIME: 4*****
Part 2 mit state 2 wird in Maschine Drehmaschine : 1 bearbeitet.
Part 1 state: 2
Part 2 state: 2
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1
***** TIME: 5*****
Part 1 state: 2
Part 2 state: 2
Part 3 state: 2
Part 4 state: 2
Part 5 state: 1

```

Kontrolle

Letzter Zeitschritt: Ergebnis ohne Fehler bei Maschinen!! → Fehlerwahrscheinlichkeit = 0

```
***** TIME: 30*****  
Part 1 state: 2  
Part 2 state: 2  
Part 3 state: 2  
Part 4 state: 4  
Part 5 state: 2  
Part 1 state: 2 Qualität: 0,9689194666666667  
Part 2 state: 2 Qualität: 0,9933333333333333  
Part 3 state: 2 Qualität: 0,9737288888888889  
Part 4 state: 4 Qualität: 0,9911111111111112  
Part 5 state: 2 Qualität: 0,9877777777777778
```

Angaben zu Maschinen und Qualitätsabteilung:

	errorProbability	cuttingSpeed	cuttingDepth	feed		xCoordinate	yCoordinate
Drehmaschine	0	75	0.5	0.1		10	10

	errorProbability	cuttingDepth	cuttingWidth	feedingSpeed		xCoordinate	yCoordinate
Fräsmaschine	0	5	25	20		0	10

	errorProbability	infeed	grindingWidth	cuttingSpeed	speedRelation	xCoordinate	yCoordinate
Schleifmaschine	0	0.02	50	30	80	20	0

	allowedQuality
Qualitätsabteilung	0.95

Vereinfachungen

- Alle Teile aus dem selben Material
- Nur eine Art von Schleifen (Längs-Umfangs-Außenrundscheifen)
- Unendlich große Puffer bei den Maschinen
- Konstante Werte:
 - Schleifscheibenbreite $b = 50\text{mm}$ für Schleifen
 - $a_e = 25\text{ mm}$ für Fräsen
 - $a_p = 5\text{ mm}$ für Fräsen

Richtwerte Maschinendaten: Drehen

**Richtwerte für Zustelltiefen, Vorschübe und Schnittgeschwindigkeiten¹⁾
beim Drehen mit HSS-E-Drehmeißeln (nach Herstellerangaben)**

Werkstoff	Härte HB ²⁾	a_p in mm; f in mm/U; v_c in m/min											
		a_p	f	v_c	a_p	f	v_c	a_p	f	v_c	a_p	f	v_c
Stahl unlegiert	150	0,5	0,1	75	3	0,5	50	6	1,0	35	10	0,7	32
Automatenstähle	180	0,5	0,1	90	3	0,5	60	6	1,0	40	10	0,7	36
C-Stähle, unlegiert, gegläht	150	0,5	0,1	75	3	0,5	50	6	1,0	35	10	0,7	32
C-Stähle, unlegiert, vergütet	210	0,5	0,1	70	3	0,5	30	6	1,0	25	8	0,6	22
Stähle, legiert, gegläht	180	0,5	0,1	75	3	0,5	50	6	1,0	35	10	0,7	32
Stähle, legiert, vergütet	<250	0,5	0,1	70	3	0,5	30	6	1,0	25	8	0,6	20
Stähle, legiert, gegläht	200	0,5	0,1	70	3	0,5	30	6	1,0	25	8	0,6	22
Stähle, legiert, vergütet	>250	0,5	0,1	50	3	0,5	30	6	1,0	20	8	0,6	16
Stahlguss	-	0,5	0,1	60	3	0,5	40	6	1,0	30	10	0,7	26
Gusseisen mit lamellarem Graphit, Temperguss	275	0,5	0,1	40	3	0,5	25	6	1,0	15	10	0,8	15
Gusseisen mit globularem Graphit	225	0,5	0,1	30	3	0,5	20	6	1,0	12	10	0,8	10

Quelle: Frischherz, Adolf Ing. (2010): *Tabellenbuch für Metalltechnik*, Schulbuch Nr.77, Verlag Jugend & Volk GmbH

Richtwerte Maschinendaten: Schleifen (Längs-Umfangs-Außenrundscheifen)

Richtwerte für Geschwindigkeitsverhältnis q beim Schleifen

Werkstoff	Längs-Umfangsschleifen		Planschleifen				Spitzenlos Schleifen	Trennschleifen
	Außenrund-	Innenrund-	Längs-Umfangs-	Längs-Seiten-	Seiten-Segment-	Seiten-Topf-		
Stahl	125	80	80	50	50	50	125	45
Gusseisen	100	65	63	40	40	40	80	80
Cu, Cu-Legierung	90	55	50	30	32	32	50	80
Al, Al-Legierung	50	32	32	20	20	20	50	–
Hartmetall	100	60	115	115	115	115	–	45

Bei Stahl unlegiert, legiert, ungehärtet, gehärtet.

Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten v_c in m/s beim Schleifen

Schleifverfahren	Stahl	Gusseisen	Hartmetall	Al	Al-Legierung	Cu, Cu-Leg.
Längs-Umfangs-Außenrundscheifen	30	25	8	20	18	30
Längs-Umfangs-Innenrundscheifen	25	25	8	20	18	25
Längs-Umfangs-Planschleifen	30	30	10	20	18	25
Längs-Seiten-Planschleifen	25	25	8	20	18	18
Trennschleifen	45...80	45...80	8...20	–	–	–

Richtwerte für Vorschübe und Zustellungen beim Schleifen

Schleifverfahren		Längs-Umfangs-Planschleifen		Längs-Umfangs-Außenrundscheifen		Längs-Umfangs-Innenrundscheifen		Quer-Umfangs-Außenrundscheifen	
Werkstoff		Stahl	Gusseisen	Stahl	Gusseisen	Stahl	Gusseisen	Stahl	Gusseisen
a_s mm	Schruppen	0,02...0,1	0,015...0,035	0,02...0,03	0,01...0,03	0,02...0,06	0,003...0,007	0,003...0,005	0,003...0,005
	Schlichten	0,0025...0,01	0,003...0,01	0,005...0,01	0,002...0,005	0,004...0,01	0,002...0,004	0,002...0,004	0,002...0,004

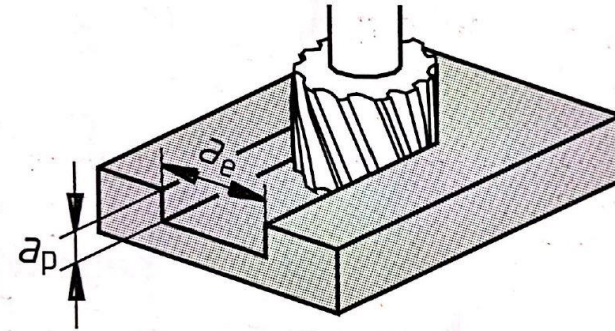
$b_s = 50$ mm (siehe Klassenbeschreibung)

Quelle: Frischherz, Adolf Ing. (2010): *Tabellenbuch für Metalltechnik*, Schulbuch Nr.77, Verlag Jugend & Volk GmbH

Richtwerte Maschinendaten: Fräsen

Richtwerte für Schnittgeschwindigkeiten¹⁾ beim Fräsen,
Fräser HSS, HSS-PVD, HSS-PM-PVD²⁾ (nach Herstellerangaben)

Werkstoff	Härte HB ³⁾	HSS v_c in m/min
Stahl, C = 0,05 % ... 0,10 %	< 150	14...24
Stahl, C = 0,10 % ... 0,55 %	150...250	10...16
Stahl, C = 0,55 % ... 0,85 %	250...350	12...20
Rostfreier Stahl, austenitisch	180...330	12...15
Rostfreier Stahl, ferritisch, martensitisch, ferritisch-austenitisch	200...260	8...12
Rostfreier Stahl, legiert > 5 %, Duplex	230...260	5...10
Gusseisen mit Lamellengraphit	180...220	14...22
Gusseisen mit Kugelgraphit	160...380	20...28
Hartguss	< 270	12...20
Aluminiumlegierungen < 5 % Si	120	70...150
Aluminiumlegierungen 5 % bis 10 % Si	130	30...65
Aluminiumlegierungen > 10 % Si	130	26...44
Kupfer	-	50...100
Kupferlegierungen, kurzspanend	-	50...100
Kupferlegierungen, langspanend	-	50...100
Cu/Al/Ni-Legierungen	-	12...20
Cu/Al/Fe-Legierungen	-	10...12
Magnesium und Legierungen	-	50...210
Nickel	-	20...35
Nickellegierungen	< 250	8...12
Nickellegierungen	> 250	5...6
Titan	-	20...26
Titanlegierungen	-	8...20
Kunststoffe	-	52...105
Verbundstoffe	-	15...30



$$a_e = 25 \text{ mm}$$

$$a_p = 5 \text{ mm}$$

Quelle: Frischherz, Adolf Ing. (2010): *Tabellenbuch für Metalltechnik*, Schulbuch Nr.77, Verlag Jugend & Volk GmbH

Formeln zur Berechnung der Bearbeitungszeit

Drehmaschine:

$$\text{metalRemovalRate} = \text{cuttingSpeed} * \text{cuttingDepth} * \text{feed} * 1000$$

Fräsmaschine:

$$\text{metalRemovalRate} = \text{cuttingDepth} * \text{cuttingWidth} * \text{feedingSpeed}$$

Schleifmaschine:

$$\text{metalRemovalRate} = \text{infeed} * \text{grindingWidth} * \text{cuttingSpeed} / \text{speedRelation}$$

