

Modellierung diskreter Produktionsprozesse mittels zeit- und fuzzybewerteter höherer Petri-Netze

Prof. Dr.-Ing. habil.

Wolfgang Fengler

Technische Universität Ilmenau

Fakultät Informatik und Automatisierung

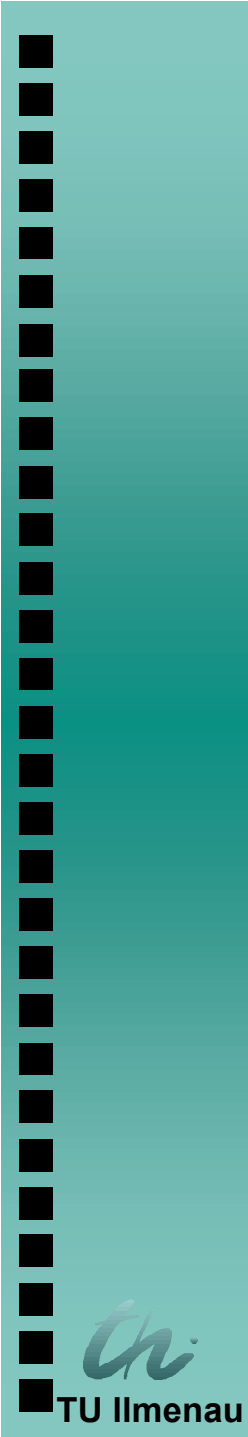
Institut für Theoretische und Technische Informatik

Fachgebiet Rechnerarchitekturen

e-mail: wfengler@theoinf.tu-ilmenau.de



Schwerpunkte

- 
- 1. **Einleitung**
2. Grundlegendes über Petri-Netze
3. Petri-Netze in der
Produktionsmodellierung
4. Anwendung an einem Beispiel
5. Zusammenfassung und Ausblick

Zielstellung

- Weiterentwicklung formaler grafischer Beschreibungsmittel zur Modellierung von Produktionsprozessen
- Untersuchungen zu Analyse, Simulation, Synthese
- Gewinnung quantitativer Kenngrößen für die Planung und Entscheidungsfindung
- Unterstützung von:
 - Strukturierten Daten
 - Hierarchischen Modellstrukturen
 - Unscharfen Einflußfaktoren und Regeln

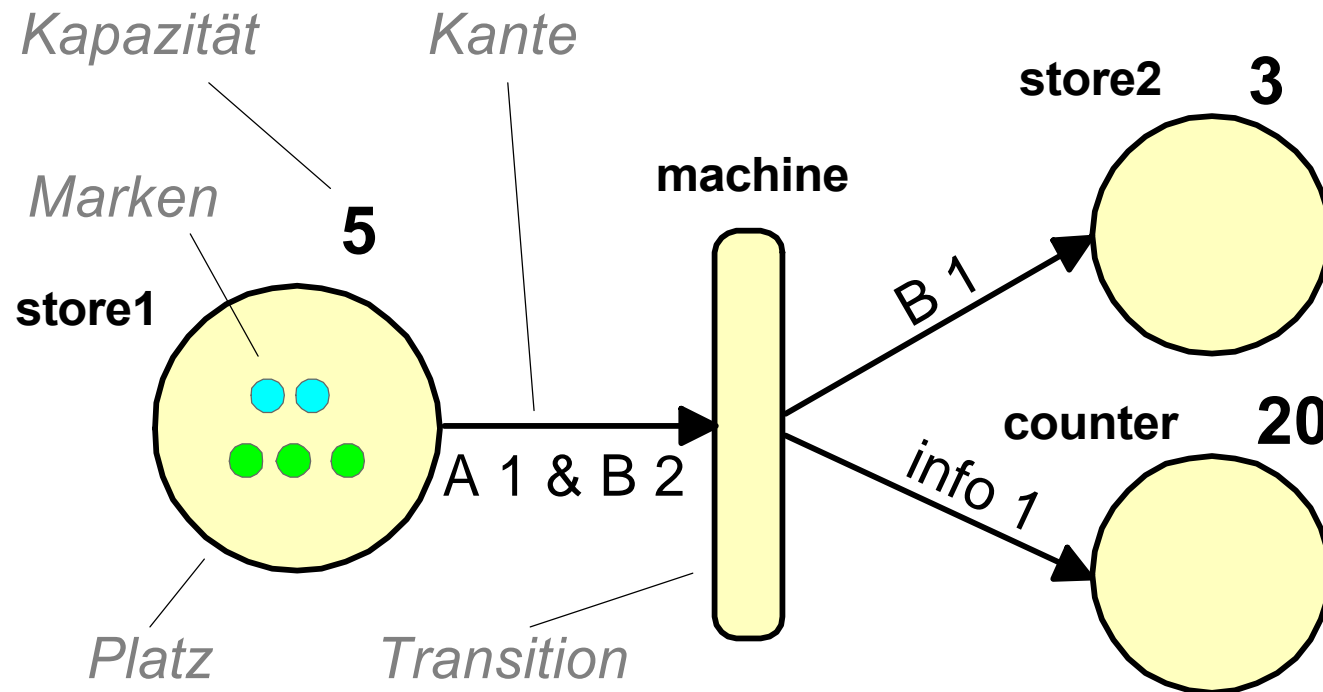
Spezielle Anforderungen an die Methode

- Formalisierte Darstellung, analysierbar mit mathematischen Verfahren
- Übersichtlichkeit und Strukturiertheit
- Beziehungspunkte zu akzeptierten Darstellungsmitteln
- Werkzeugunterstützung für Modellentwurf, Simulation und Analyse

Schwerpunkte

1. Einleitung
- 2. **Grundlegendes über Petri-Netze**
3. Petri-Netze in der Produktionsmodellierung
4. Anwendung an einem Beispiel
5. Zusammenfassung und Ausblick

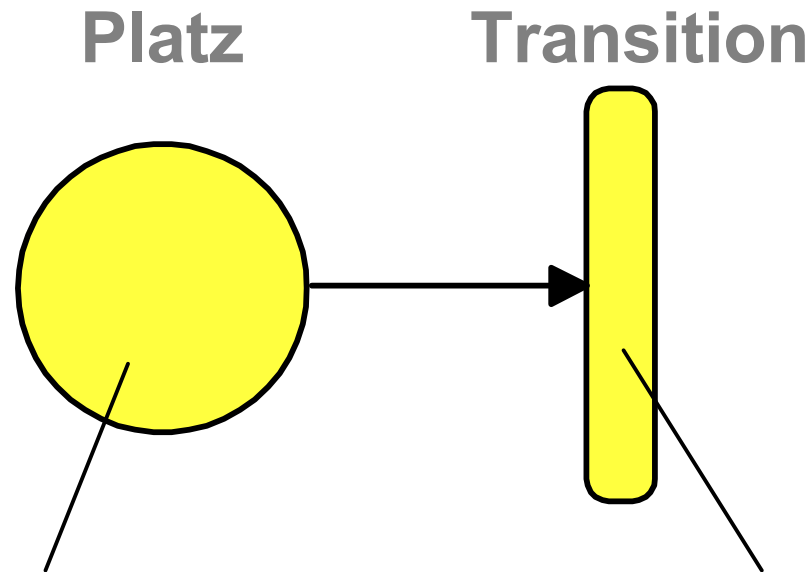
Elemente eines gefärbten Petri-Netzes



Vorbedingung

Nachbedingung

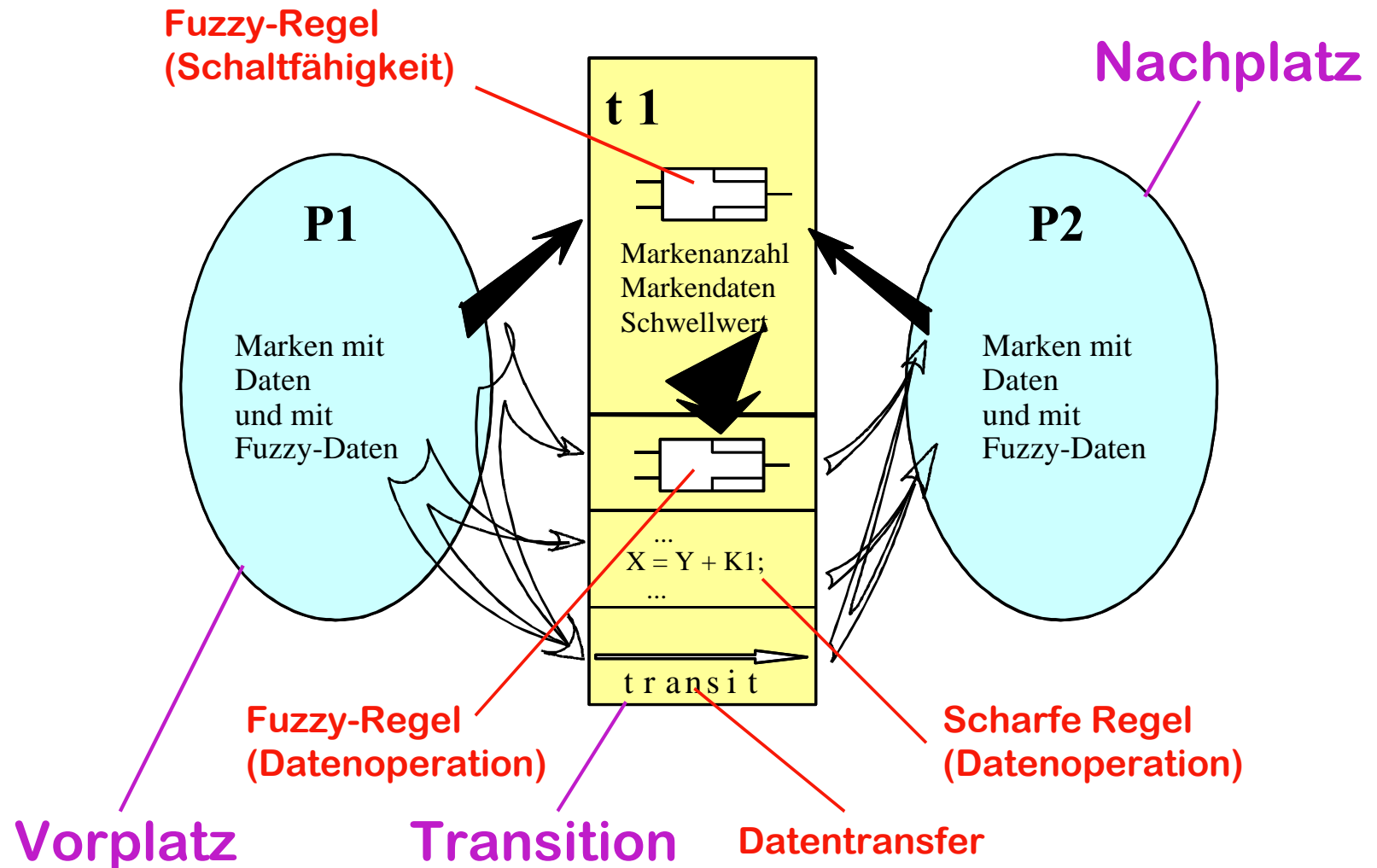
Zusätzliche Funktionen zur Interpretation von Petri-Netz-Elementen



w_d : Datenfunktion
 w_y : Ausgabefunktion
 w_{ap} : Aktionsfunktion

w_x : Bewertungsfunktion
 w_t : Zeitfunktion
 w_{at} : Aktionsfunktion
 w_{ft} : Fuzzyfunktion

Operationen an einer Fuzzy-Transition



Schwerpunkte

1. Einleitung
2. Grundlegendes über Petri-Netze
- **3. Petri-Netze in der Produktionsmodellierung**
4. Anwendung an einem Beispiel
5. Zusammenfassung und Ausblick

Aspekte der Modellbildung mit Petri-Netzen

➤ Ressourcennetz

- Abbildung der Fertigungsressourcen
- z.B. Maschinen, Arbeitsplätze, Transportsysteme

➤ Auftragsnetz

- Darstellung der Arbeitspläne
- Enthält Arbeitsgänge in technologischer Reihung mit Zeiten und Maschinenzuordnung

➤ Steuernetz

- Darstellung des Maschinenbelegungsplanes
- Steuert die Reihenfolge von Aufträgen an jeweils einer Bearbeitungsstation

Integration zum Gesamtnetz

- Alle Teilnetze sind miteinander assoziiert, sie erscheinen als lokale Aspekte eines strukturierten Gesamtnetzes.
- Die Grundstruktur wird durch das Ressourcennetz vorgegeben.
- Durch Überlagerung des Auftragsnetzes wird der Weg der unterschiedlichen Teiletypen fixiert.
- Durch Konfliktanalyse werden die noch zu treffenden Steuerentscheidungen lokalisiert und als Komponenten des Steuernetzes implementiert.

Auftretende Arten von Konflikten

- ‚Äußere‘ Konflikte:
 - Konkurrenz mehrerer Transitionen um dieselbe Ressource
 - z.B. Konkurrenz mehrerer Transportvorgänge um dieselbe Transporteinrichtung

- ‚Innere‘ Konflikte:
 - Konkurrenz unterschiedlicher Marken um dieselbe Transition
 - z.B. Konkurrenz unterschiedlicher Teiletypen um dieselbe Fertigungsstation

Verwendung von Attributierungen (1)

➤ Zeitattribute:

- *Zeitdauern* für den Zeitverbrauch von Arbeitsgängen und für die Belegungszeiten der Arbeitsstationen
- *Verzögerungen* für Wartezeiten, während derer konkurrierende Zugriffe möglich sein sollen

➤ Prioritäten:

- Implementierung von Aspekten des Steuernetzes (priorisierte Konfliktlösung)
- Auflösung von Mehrdeutigkeiten im Auftragsnetz

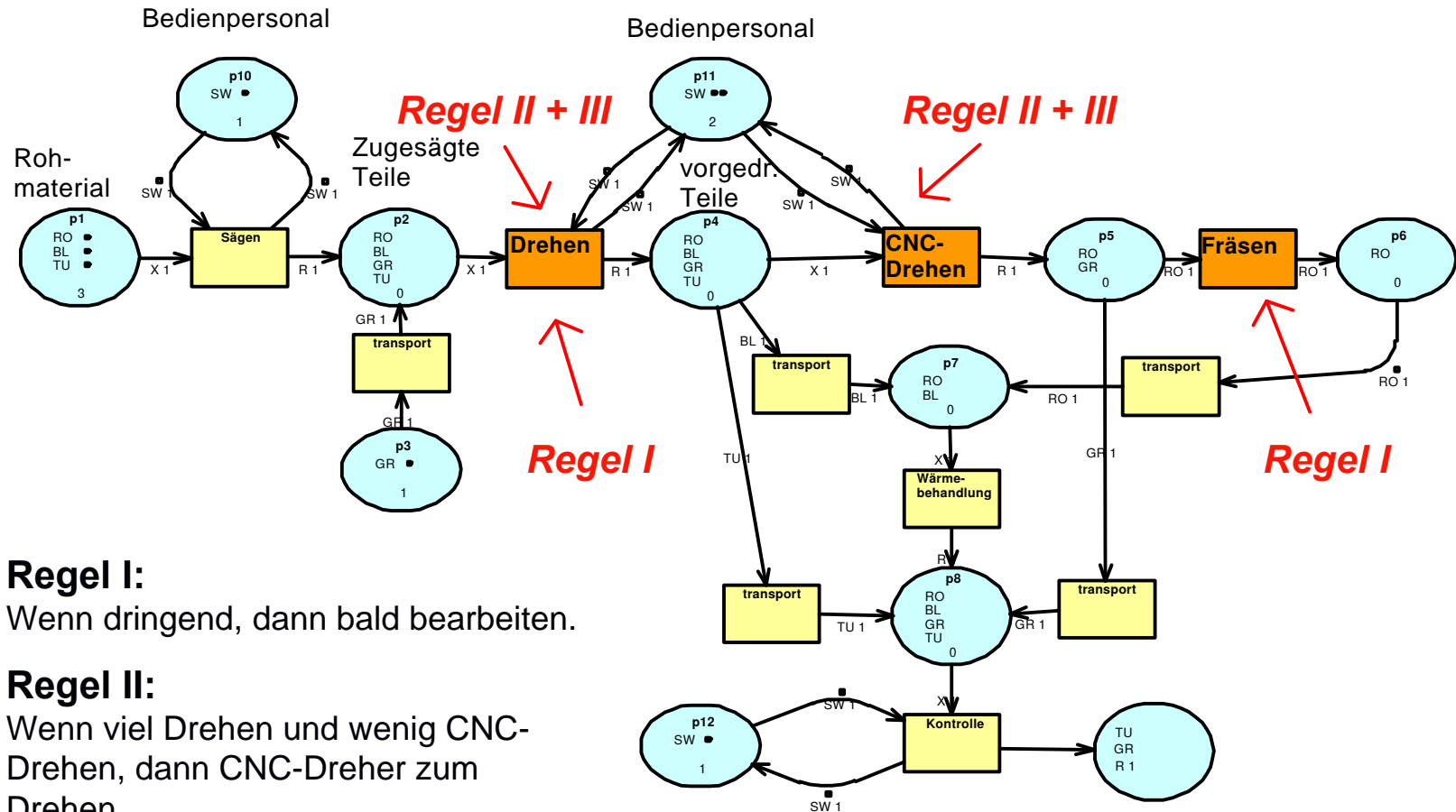
Verwendung von Attributierungen (2)

- **Wahrscheinlichkeiten:**
 - Realisierung eines zufälligen Stimulus bei Fehlen einer konkreten Auftragsliste
 - Darstellung statistisch schwankender Prozeßzeiten (bei Notwendigkeit)
 - Vorläufige Implementierung von noch nicht endgültig definierten Entscheidungen im Steuernetz (stochastische Konfliktlösung)

Fuzzy-Bewertungsfunktionen

- Farbbezogene Fuzzy-Funktion:
 - Unterschiedlich z.B. für unterschiedliche Teiletypen
 - Markenauswahl aus gleichfarbigen Marken (aber mit unterschiedlichen Datenattributen), wenn kein Konflikt vorliegt
 - Berechnung von Fuzzy-Attributen für die Marken auf den Nachplätzen
- Nicht farbbezogene Fuzzy-Funktion:
 - Löst innere Konflikte an einer Transition
 - Steuert die Markenauswahl aus Marken unterschiedlicher Farben
 - z.B. für die Auswahl des dringlichsten Auftrages (Konfliktlösung im Steuernetz)

Beispielnetz mit Fuzzy-Regeln



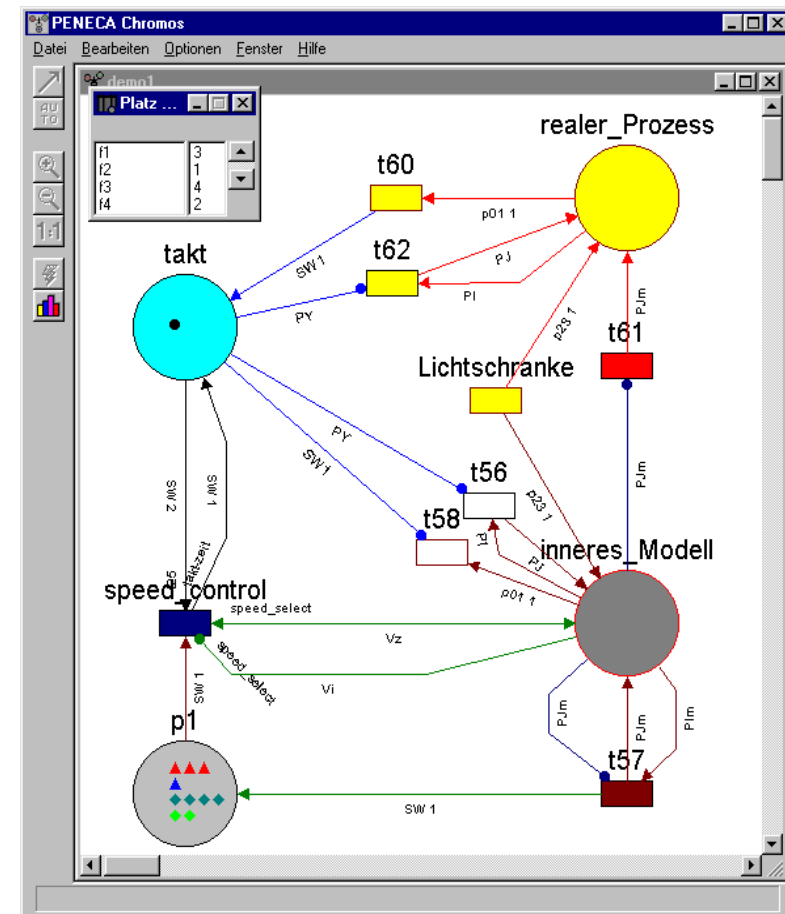
Regel I:
Wenn dringend, dann bald bearbeiten.

Regel II:
Wenn viel Drehen und wenig CNC-Drehen, dann CNC-Dreher zum Drehen.

Regel III:
Wenn dringend, dann qualifizierter Bediener.

Experimentelles Tool „PENECA Chromos“

- Editieren gefärbter Petri-Netze
- Simulation
- Statistische Auswertung
- Exportschnittstellen
 - für Analyse (INA-Format)
 - für Dokumentation (Metafile)
- Attributierungs-Schnittstellen
 - Funktionsrufe auf Basis der Skriptsprache Tcl (mit Anbindung an eine Fuzzy-Bibliothek)



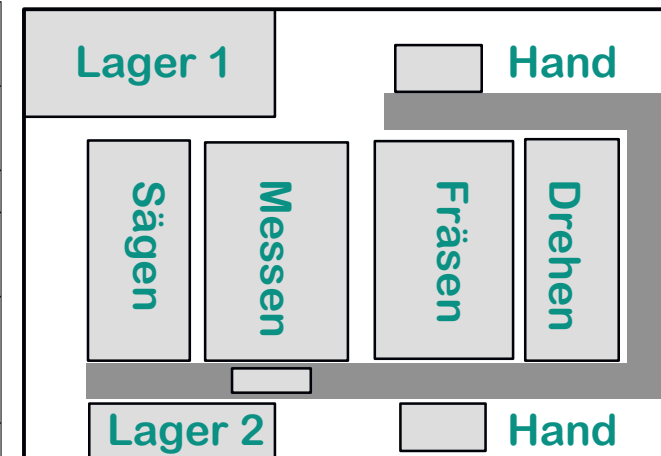
Schwerpunkte

1. Einleitung
2. Grundlegendes über Petri-Netze
3. Petri-Netze in der Produktionsmodellierung
- 4. **Anwendung an einem Beispiel**
5. Zusammenfassung und Ausblick

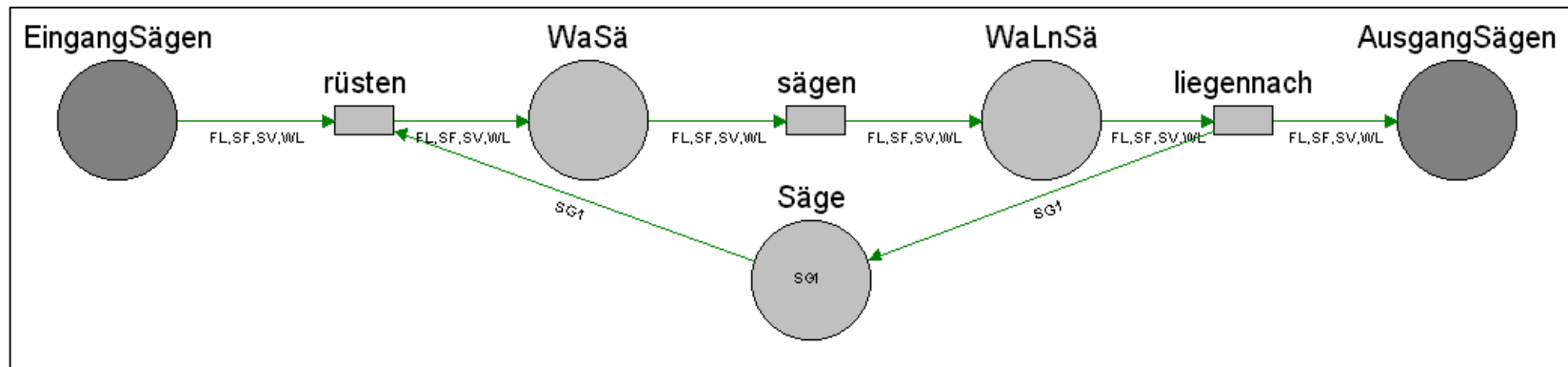
Beispiel: Integriertes Fertigungs- und Montagesystem am WZL Aachen

- ▶ Zielsetzungen der Modellierung:
 - Optimierung des Anlagenlayouts
 - Planung der Fertigungsabläufe
 - Prognose von Durchsatzgrößen

Teiletyp	Losgröße	Arbeitsgangfolge	Rohstoff	Rohstoffmenge
Schachfigur	1	Sägen – Drehen – Abspannen	Rohre	1
Flöte	5 ... 30	Sägen – Drehen – Abspannen	Rohre	1 ... 6
Welle	1	Sägen – Drehen – Fräsen - Abspannen	Rohre	1
Getriebegehäuse	1	Aufspannen1 – Fräsen1 – Abspannen1 – Aufspannen2 – Fräsen2 – Abspannen2	Unbearbeitete Getriebegehäuse	1
Stövchen	1	Sägen – Fräsen – Abspannen	Rohre	1

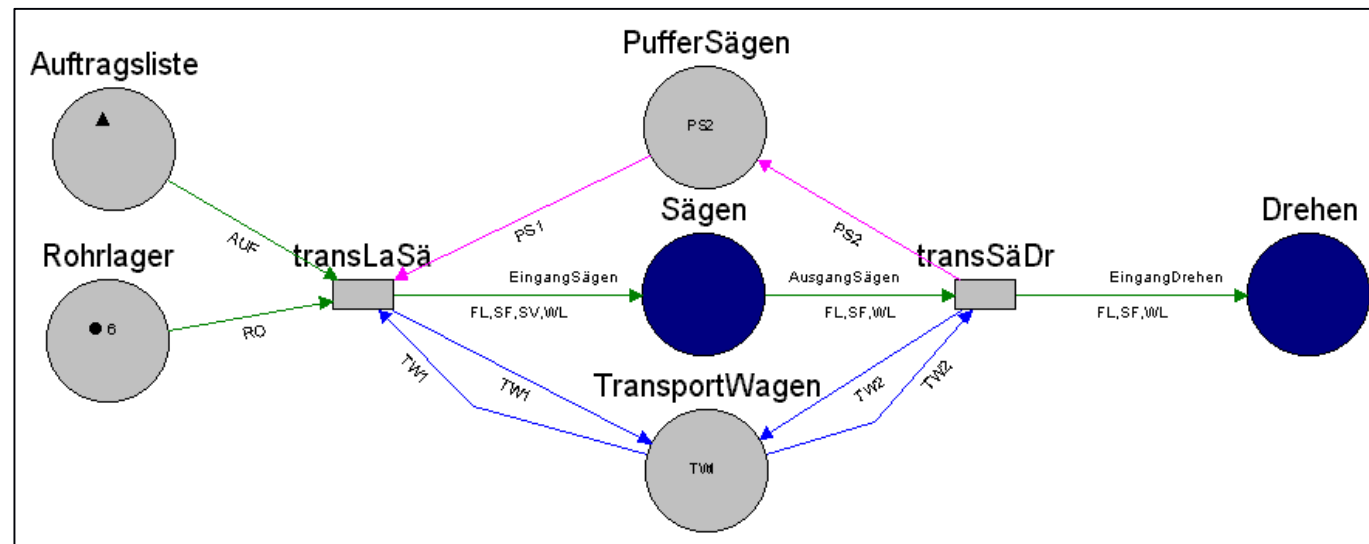


Beispiel einer Bearbeitungsstation: Unternetz „Sägen“



- Aspekte des Ressourcennetzes:
 - Ressourcenplatz „Säge“ (Belegungsanzeige)
 - Eingangs- und Ausgangsplatz
- Aspekte des Auftragsnetzes:
 - Reihenfolge „rüsten“ - „sägen“ - „liegennach“
 - Zeiten für die einzelnen Schritte (abhängig vom Teiletyp)

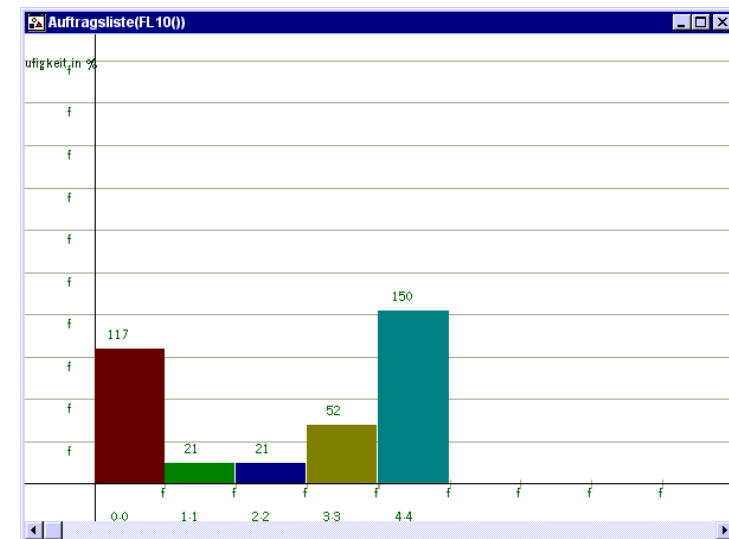
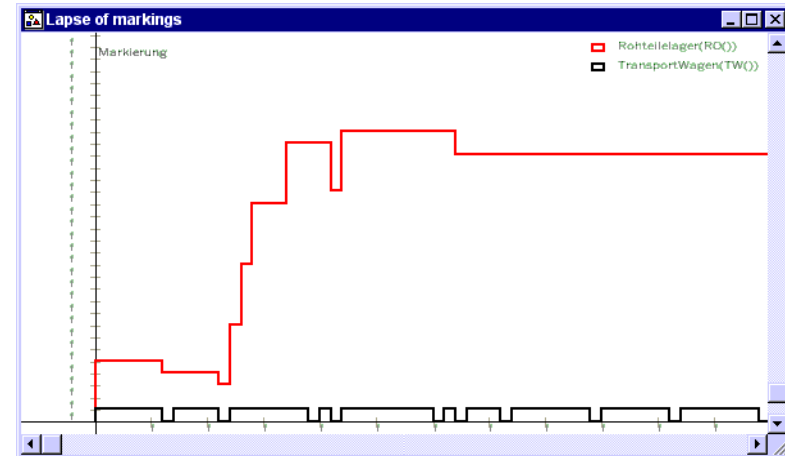
Prinzip der Eingliederung in das Gesamtsystem



- Aspekte des Ressourcennetzes:
 - z.B. Transport zur Säge benötigt Transportwagen
- Aspekte des Auftragsnetzes:
 - z.B. nach Sägen folgt Drehen (für dargestellten Teiletyp)
- Aspekte des Steuernetzes:
 - z.B. Priorisierung von Aufträgen in „transLaSä“

Statistische Auswertung

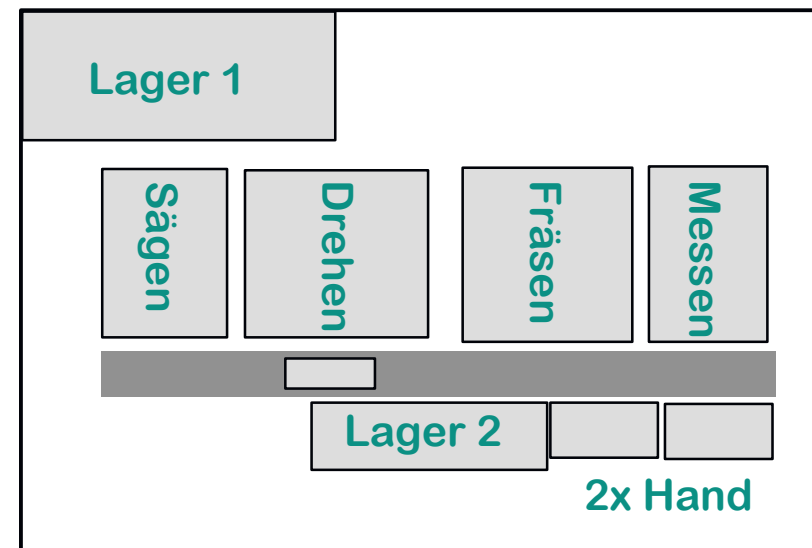
- ▶ Zeitdiagramme:
 - Verlauf der Markenanzahl in den Plätzen
 - Beispiel rechts: Lagerbestand (rot), Transporter (schwarz).
- ▶ Histogramme:
 - Häufigkeit von Markierungen
 - Beispiel rechts: Häufigkeit von 0/1/2/3/4 Marken der Farbe „FL10“ im Platz „Auftragsliste“.
- ▶ Statistikwerte:
 - z.B. Durchschnitte, Minima, Maxima usw. von Markierungen, Markierungsänderungen und Schaltvorgängen



Resultate zum Beispielsystem

- Die Durchsatzzahlen wurden gemessen (siehe Tabelle rechts).
- Die Sägezelle ist ein Engpaß.
- Das Transportsystem ist (gegen die Erwartung) kein Engpaß.
- Das Einsteuern zu vieler Getriebegehäuse senkt den gesamten Durchsatz.
- Ein geändertes Anlagenlayout (siehe Bild rechts) verkürzt die Transportzeiten.

Produkt / Schritte	Ca. 30000	Ca. 90000
Schachfigur	37	79
Stövchen	37	83
Welle	46	101
Flöten 5	49	104
Flöten 10	36	88
Flöten 15	37	93
Flöten 20	20	76
Flöten 25	34	87
Flöten 30	38	91
Getriebe	244	634



Schwerpunkte

1. Einleitung
2. Grundlegendes über Petri-Netze
3. Petri-Netze in der Produktionsmodellierung
4. Anwendung an einem Beispiel
- **5. Zusammenfassung und Ausblick**

Ergebnisse

- Die grundsätzliche Eignung der entwickelten Petri-Netz-Klasse für die Modellierung von Produktionsprozessen wurde gezeigt.
- Die Erfordernisse der Einzel- und Kleinserienfertigung werden unterstützt.
- Die Ableitung relevanter Aussagen zur Optimierung des Prozesses ist möglich.
- Kontakte mit einigen Firmen wurden aufgebaut:
 - UNICOR GmbH Haßfurt und Suhl
 - DECKEL MAHO Seebach GmbH
 - Technische Glaswerke Ilmenau GmbH

Weitere Aufgaben

- Verringerung des Einarbeitungsaufwandes auf Anwenderseite durch intelligente Front-Ends
- Beschleunigung des Simulationsvorganges durch Reimplementierung des Simulator-Kernes
- Vollständige Integration der Fuzzy-Attributierungen und weitere Untersuchungen zu deren Anwendbarkeit
- Untersuchungen mit weiteren Beispielen und Vergleich mit anderen Methoden