

Swarm Intelligence als Strategie zur Lösung reaktiver Planungsprobleme in Wertschöpfungsketten

Projektvorhaben

Menno Heeren

PuK2003, 15. September 2003

Gliederung

- **Einleitung**

- Motivation
- Reaktive Planung / Problemstellung

- **Swarm Intelligence**

*Swarm Intelligence als Strategie
zur Lösung
reaktiver Planungsprobleme
in Wertschöpfungsketten*

- **Swarm Intelligence**

- Grundlagen & Begriffsbildung
- Wegewahl im Allgemeinen

- **Lösungsansatz**

- Abbildung - Metapher
- Algorithmischer Lösungsansatz
- Wegewahl im Besonderen

- **Beispiel-Szenario**

Einleitung: Motivation

- **Aufbau standortübergreifender Wertschöpfungsnetze**

- Steigerung und Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit
- Lagerbestandssenkungen, reduzierte Durchlaufzeiten, etc.

- **Planungsprozesse zu integrieren und zu optimieren**

- Unternehmensintern sowie werksübergreifend
- Koordination nicht nur innerbetrieblich sondern auch:
 - die Bereiche der externen Geschäftspartner (Kunden, Lieferanten,...)

- **Management der Wertschöpfungskette**

- Basis: ein integriertes Informationssystem
- unternehmensübergreifende Planung
- Verarbeitung unvorhersehbar auftretender Ereignisse

Einleitung: Reaktive Planung

- **Notwendigkeit zur reaktiven Planung**

- Unternehmensübergreifende enge Verzahnung wertschöpfender Prozesse
- Sicherung hoher Reaktions- und Anpassungsfähigkeit

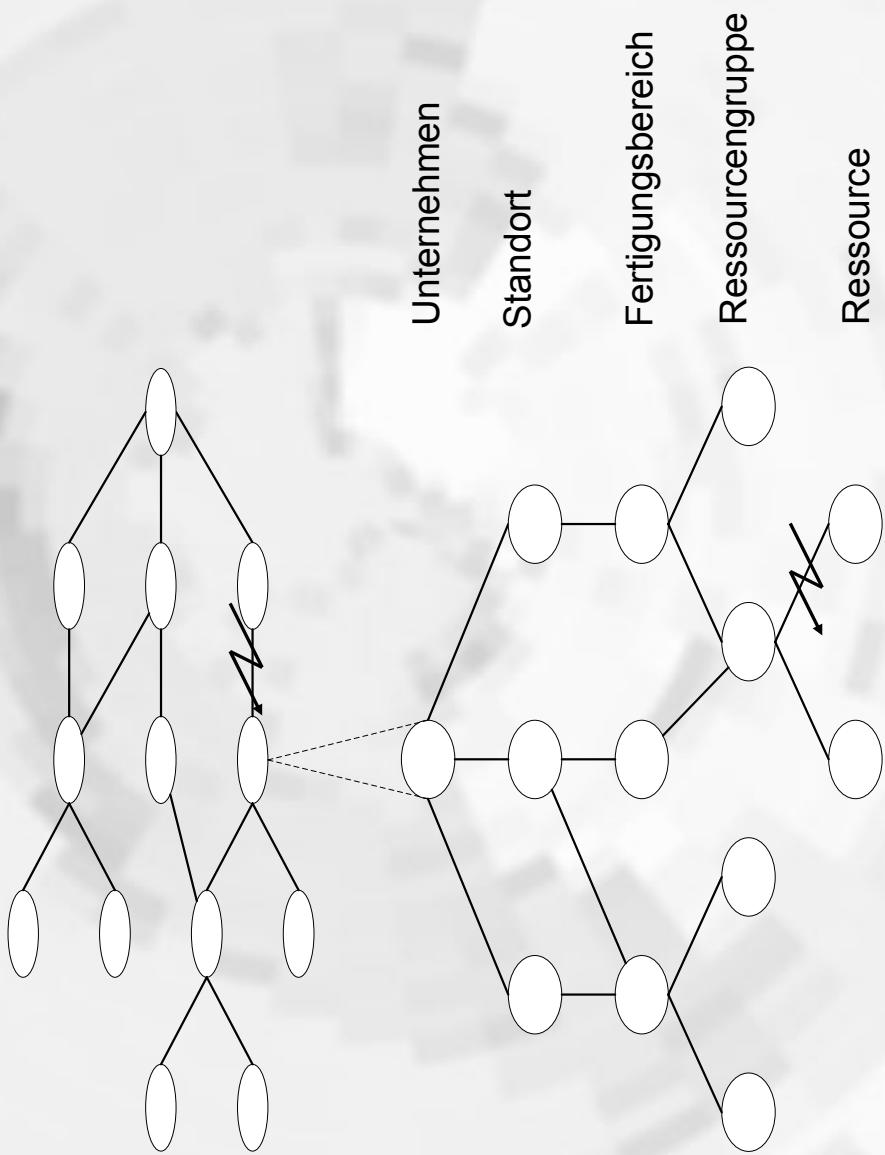
- **Ursachen der reaktiven Planung**

- hoch dynamische Planungsumgebungen
- Ereignisse verursachen Änderungen in der Planungsumgebung
(z.B.: Auftragsänderung, Ressourcenausfall, ...)
- ... erstellter Plan nicht mehr durchführbar !!!
⇒ Plankorrektur
 - schnelle Reaktion mit möglichst wenig Änderungen
 - die Qualität des Planes nicht verschlechtern

Wertschöpfungsketten: Problemstellung

Vom Lieferanten zum Verbraucher

Lieferant - Fertigung - Verteilung - Einzelhandel - Verbraucher



Swarm Intelligence : Begriffsbildung

Swarm Intelligence (SI):

SI ist die Eigenschaft eines Systems, wobei die kollektive Verhaltensweisen von einfachen Agenten, die lokal mit ihrer Umgebung wechselwirken, kohärente globale Muster zur Emergenz bringen.

Definition nach P. Arabshahi

Swarm Intelligence : Grundlagen

Swarm Intelligence - Eigenschaften (I):

- „**Swarm Intelligence**“ wird das kollektive Verhalten genannt, welches aus einer Gruppe sozialer Insekten entsteht.
- Flexibilität gegenüber Änderungen
- Robustheit gegenüber Ausfällen
- Selbstorganisation:
 - Schwärme arbeiten ohne zentrale Kontrollinstanz
 - Handeln nach lokalem Entscheidungskalkül
 - Positives Feedback
 - Negatives Feedback

Swarm Intelligence : Grundlagen

Swarm Intelligence - Eigenschaften (II):

- Koordinierung ergibt sich aus verschiedenen Interaktionen zwischen Individuen in der Kolonie
- Obwohl die Interaktionen rel. primitiv sein können, führen sie zu effizienten Lösungen für schwierige Probleme
- Stigmmergie als grundlegendes Konzept der Koordination
 - Umwelt bestimmt die Aktivitäten des Individuums
 - Die Aktivitäten des Individuums verändert die Umwelt
 - Wechselwirkung führt zu koordinierter Erfüllung einer Aufgabe des Schwarmes

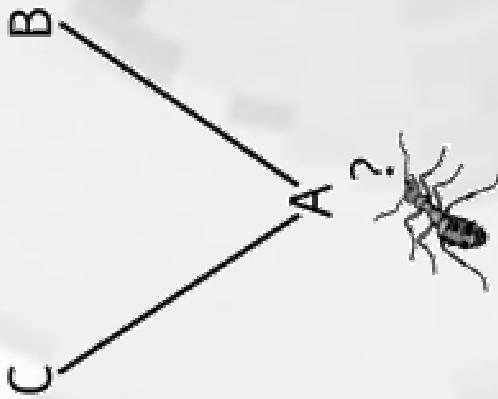
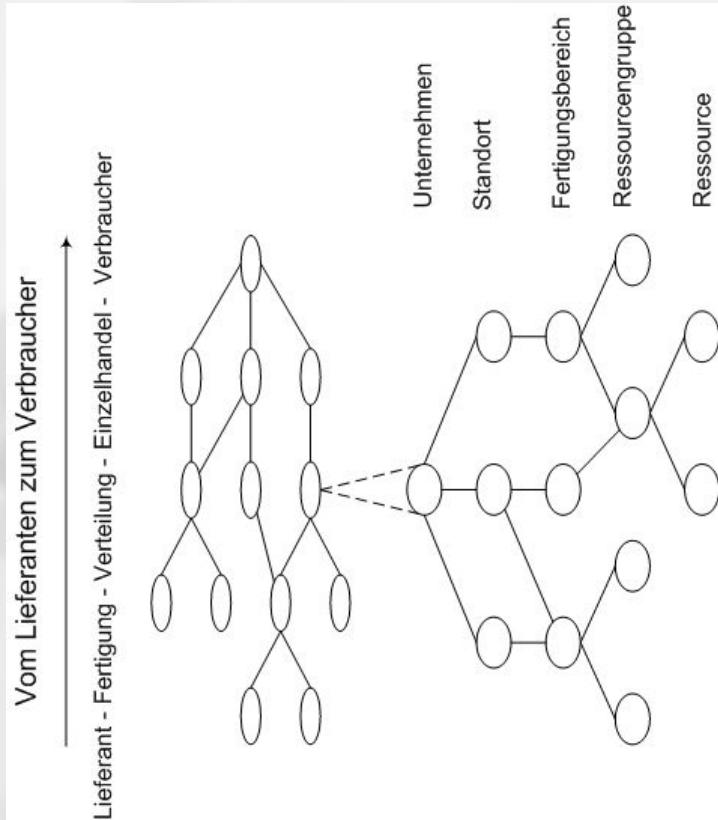
Swarm Intelligence : Grundlagen

Swarm Intelligence - Eigenschaften von Individuen:

- ⇒ einfache Agenten
 - begrenzte kognitive Fähigkeiten
 - Folgt „einfachen“ Regeln
 - Flexibilität
 - Anpassungsfähigkeit (Verhaltensadaptation)
 - Individuen-spezifische Wahrnehmungs- und Modifikationsmöglichkeiten der lokalen Umwelt

Swarm Intelligence : Wegewahl im Allg.

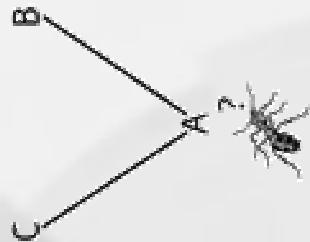
- **Schwarmerhalten in einem Graphen**



- Markerobjekte sind Bestandteil der Umwelt
- Markerobjekte beeinflussen die Wegewahl eines Schwarmteilnehmers

Swarm Intelligence : Wegewahl im Allg.

- Konventionelle Wegewahl eines ST


$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [n_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in AL} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [n_{ij}]^\beta}$$

Im Markerobjekt enthaltene Informationen (u.a.):

Intensität der Spur : $\tau_{ij}(t)$

Sichtbarkeit von j aus i : $\eta_{ij} = 1 / d_{ij}$

Spuraktualisierung : $\Delta \tau_{ij}(t, t + n)$

$$\tau_{ij}(t + n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t, t + n)$$

Lösungsansatz: Schwarm als Metapher



Grundgedanke

Nutzbarmachung der Schwarmfähigkeit, Störungen in der Organisation des Schwarmes sehr schnell ausgleichen zu können.

Die wesentlichen Bestandteile des Bildes

- Umwelt
- Schwarm
- Schwarmteilnehmer
- ...

Lösungsansatz: synthetische Umwelt

• Aufbau einer synthetischen Umwelt

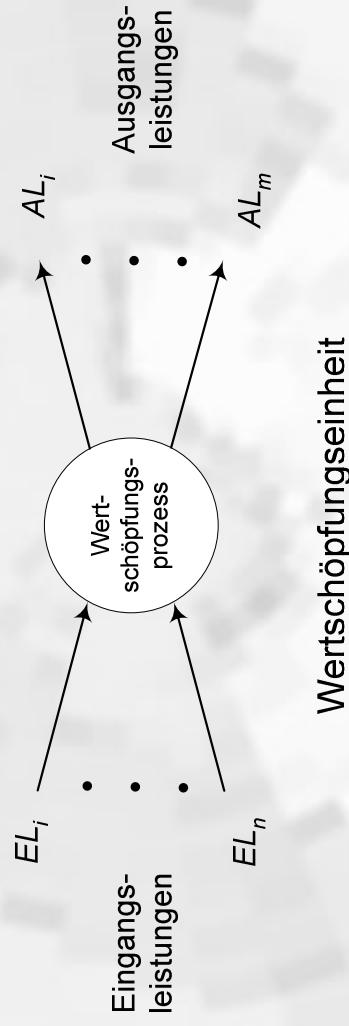
- Umgebung, in der sich der Schwarm bewegen kann
 - Besitzt Interaktionsmöglichkeiten
 - * Zustandswahrnehmung
 - * Zustandsmanipulation (~ Transformation der Umwelt)
 - * ...
 - Eigentransformationsmechanismen
 - * Zustandstransformationen durch „Eigenleben“
- *funktionale Abbildung*

Synthetische Umwelt : Die WSK

• **Abbildung der Wertschöpfungskette (WSK)**

⇒ wesentlicher Bestandteil der synt. Umwelt

– Wertschöpfungseinheit (WSE) als zentrales Element



– Konfiguration der WSK durch die Abhängigkeiten zwischen den WSE
→ **strukturelle Abbildung**

Synthetische Umwelt : Die WSE

• **Abbildung der Wertschöpfungseinheit (WSE)**

⇒ Bestandteil der WSK



– Eingangsleistungen (EL)

- * Repräsentieren materielle u. immaterielle Güter
- * Sind AL anderer oder derselben WSE
- * können mit diskreten Werten quantifiziert werden
- * sind abhängig in Raum und Zeit
- * n-Tupel bestimmt $EL = (Menge, Preis, Raum, Zeit, \dots)$

– Ausgangsleistungen (AL)

- * siehe EL
- * ...

Synthetische Umwelt : Der WSP

- **Wertschöpfungsprozess (WSP)**

- * Transformationsprozesse
- * event. weitere Wertschöpfungsketten (global / lokal)
- * Planungsproblematik wie bisher ...

- **Integration der Markerobjekte
(n-Dimensionale Digitale Pheromonspur)**

⇒ Grundlage - Konzept der Stigmmergie

- * Koordination einer großen Anzahl von Individuen
- * Verhalten des Individuums wird bestimmt durch die aktuelle Konfiguration seiner lokalen Umwelt
- * Die wiederum durch die Aktivitäten der Individuen verändert wird

Synthetische Umwelt : Markerobjekt

• Markerobjekt

- * Basis zur Kommunikation durch Markierungen in der synth. Umwelt
- * Eigenschaften:
 - Aggregation von Informationen unterschiedlicher Attribute
 - Verflüchtigung zum Vergessen veralteter Informationen
- * Aufbau abgeleitet aus dem n-Tupel für EL und AL
 L eistung $L = (Menge, Preis, Raum, Zeit, \dots)$
- * Berücksichtigung von Attributaggregationen
- * Informationen zur Entscheidungsunterstützung

Lösungsansatz: (Schwarm-) teilnehmer

Der Schwarm als eine Menge einfacher Agenten
⇒ „Einfache“ Agenten

- begrenzte kognitive Fähigkeiten
- Folgt „einfachen“ Regeln
- Flexibilität
- Anpassungsfähigkeit (Verhaltensadaptation)
- Individuen-spezifische Wahrnehmungs- und Modifikationsmöglichkeiten der lokalen Umwelt
- Unterschiedliche Kommunikationsmechanismen (indirekt / direkt)

Algorithmischer Lösungsansatz

Ziel: Informationsauffbereitung zur schnellen Entscheidungsfindung

- **Konditionierung der Wertschöpfungskette**

⇒ als Grundlage zur Auswahl von Wertschöpfungsalternativen

- Durch Bewertung der Handlungsalternativen
- Bewertung erfolgt in Relation zur Zielvorgabe (Zeit, Kosten, ...)
- Berücksichtigt alle zu untersuchenden Kriterien
- Voraussetzung für die Güte der Bewertung

Algorithmischer Lösungsansatz

Wegewahl und Spuraktualisierung werden erweitert

- Wegewahl:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [n_{ij}]^\beta}{\sum_{j \in AL} [\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [n_{ij}]^\beta} \cdot \lambda$$

Wie kann λ gestaltet werden ?

Algorithmischer Lösungsansatz

λ setzt sich zusammen aus:

- Die relative Bedeutung einer Kante:
 ϖ
- Häufigkeit und Stärke der Schwankungen:
 ζ
- Durchschnittswert φ über einen Zeitraum δt

$$\lambda = \varpi_{ij}^\gamma \cdot \zeta_{ij}^\delta \cdot \varphi_{ij}^\varepsilon$$

Algorithmischer Lösungsansatz

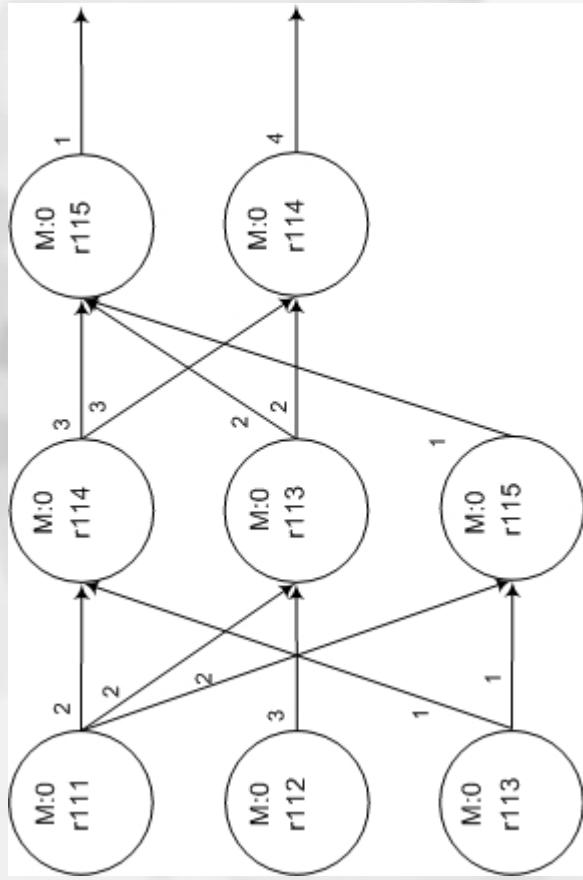
- Spuraktualisierung / Marker-Update:

- Durch spezielle Schwärme im Bereich der bereits „gut“ konditionierten WSK nach Handlungsalternativen suchen
- Ergebnisse als zusätzlicher Term in der Marker-Update-Funktion

$$\tau_{ij}(t+n) = (1-\rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta \tau_{ij}(t, t+n) + s \cdot \Delta \tilde{\tau}_{ij}^s(t, t+n)$$

Beispiel-Szenario

Wertschöpfungsnetz für Produkt P



Beispiel-Szenario

Konditionierung:

- *erster Schritt:*
WSK ermitteln

- *zweiter Schritt:*

Bewertung der bisher ermittelten WSK

- *dritter Schritt*

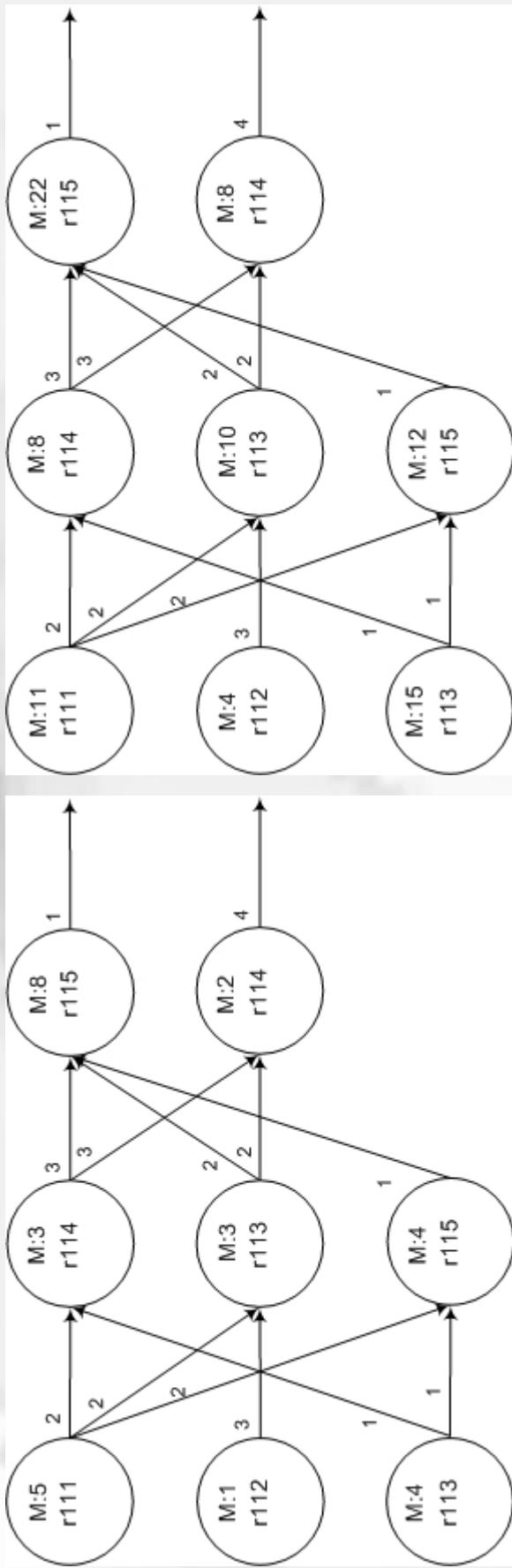
Aktualisierung der Markerobjekte

- *vierter Schritt*

erneut WSK ermitteln
(unter Berücksichtigung der vorherigen Konditionierung)

Beispiel-Szenario

Zustandsveränderung der Markerobjekte durch die Konditionierung

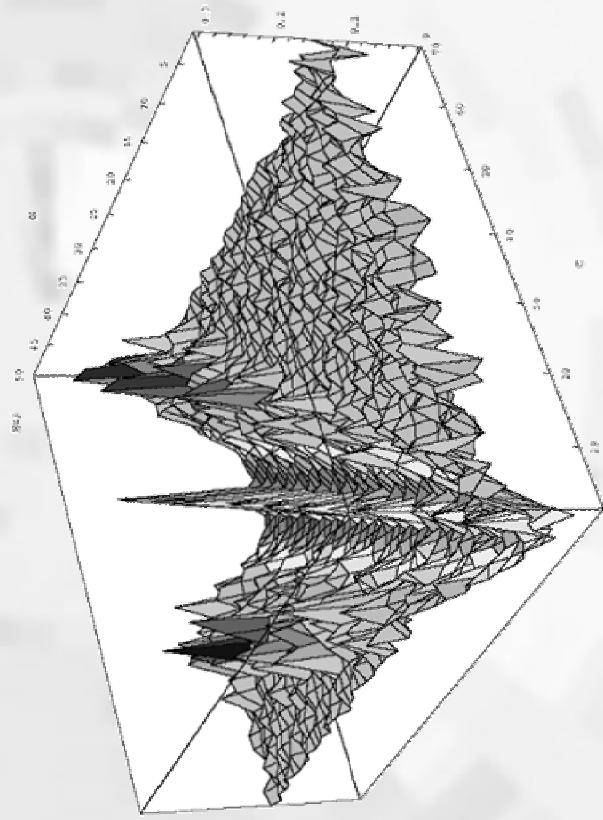


Zustand der MO nach 8 ZE

Zustand der MO nach 12 ZE

Beispiel-Szenario

- Schwarmbasierende Konditionierung erstellt ein Abbild des aktuellen Zustandes des Wertschöpfungsnetzes
- Suche innerhalb des kond. Wertschöpfungsnetzes nach einer von Gradienten gebildeten Neigungslinie mit dem stärksten Gefälle
- Handlungsalternativen sind sofort ersichtlich



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!