

# Instandhaltungsoptimierung mit genetischen Algorithmen

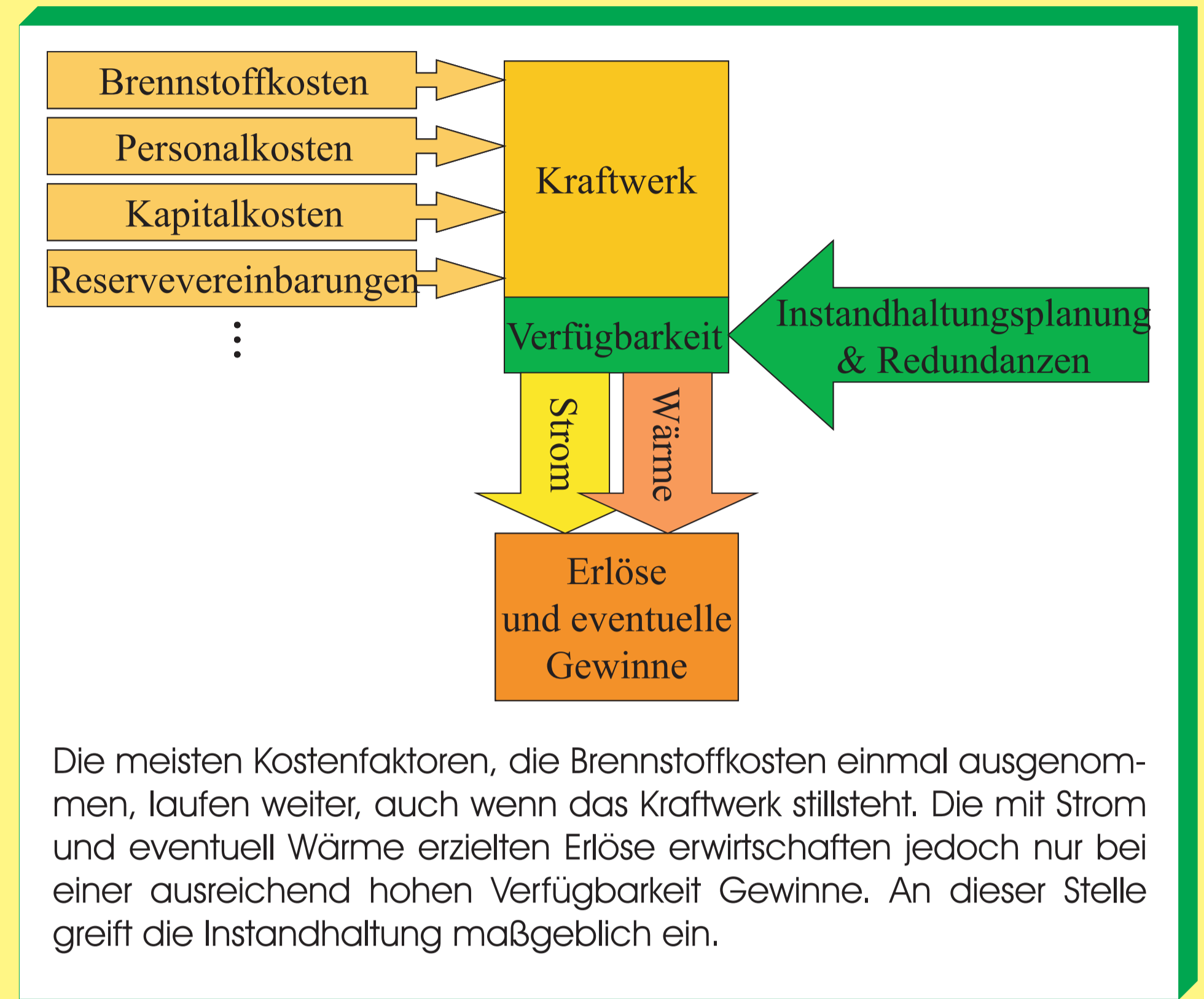
## Motivation:

Im Rahmen des wirtschaftlichen Kostendrucks, der auf den Kraftwerksbetreibern lastet, wird permanent nach neuen Einsparpotentialen gesucht. Bei der Bewertung dieser kann in den meisten Bereichen des Anlagenbetriebs hierbei auf Werte aus dem praktischen Anlagenbetrieb zurückgegriffen werden, um den wirtschaftlichen Nutzen der Einsparpotentiale zu bewerten. Eine Ausnahme hierbei bildet die Instandhaltung.

Ungeachtet der großen Bedeutung, die eine effiziente Instandhaltung für den Kraftwerksbetrieb hat, gibt es kaum messbaren Größen zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit von Planungsmaßnahmen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass nicht eingetretene Ereignisse mit dem realen Geschehen zu vergleichen und bewerten sind. Aufgrund des lediglich stochastisch beschreibbaren Kosten-Nutzen-Verhältnisses der Instandhaltung, ist sie ständig Gegenstand von Einsparüberlegungen.

Die Instandhaltung ist im allgemeinen die drittgrößte Kostenposition nach Brennstoffkosten und Kapitaldienst. Deswegen gibt es hier durchaus das Potential zu Einsparungen. Gleichzeitig ist es natürlich unerwünscht, die Ausfallanzahl und -dauer deutlich steigen zu lassen, da sich mit gesicherten "Futures" die besten Erlöse erzielen lassen.

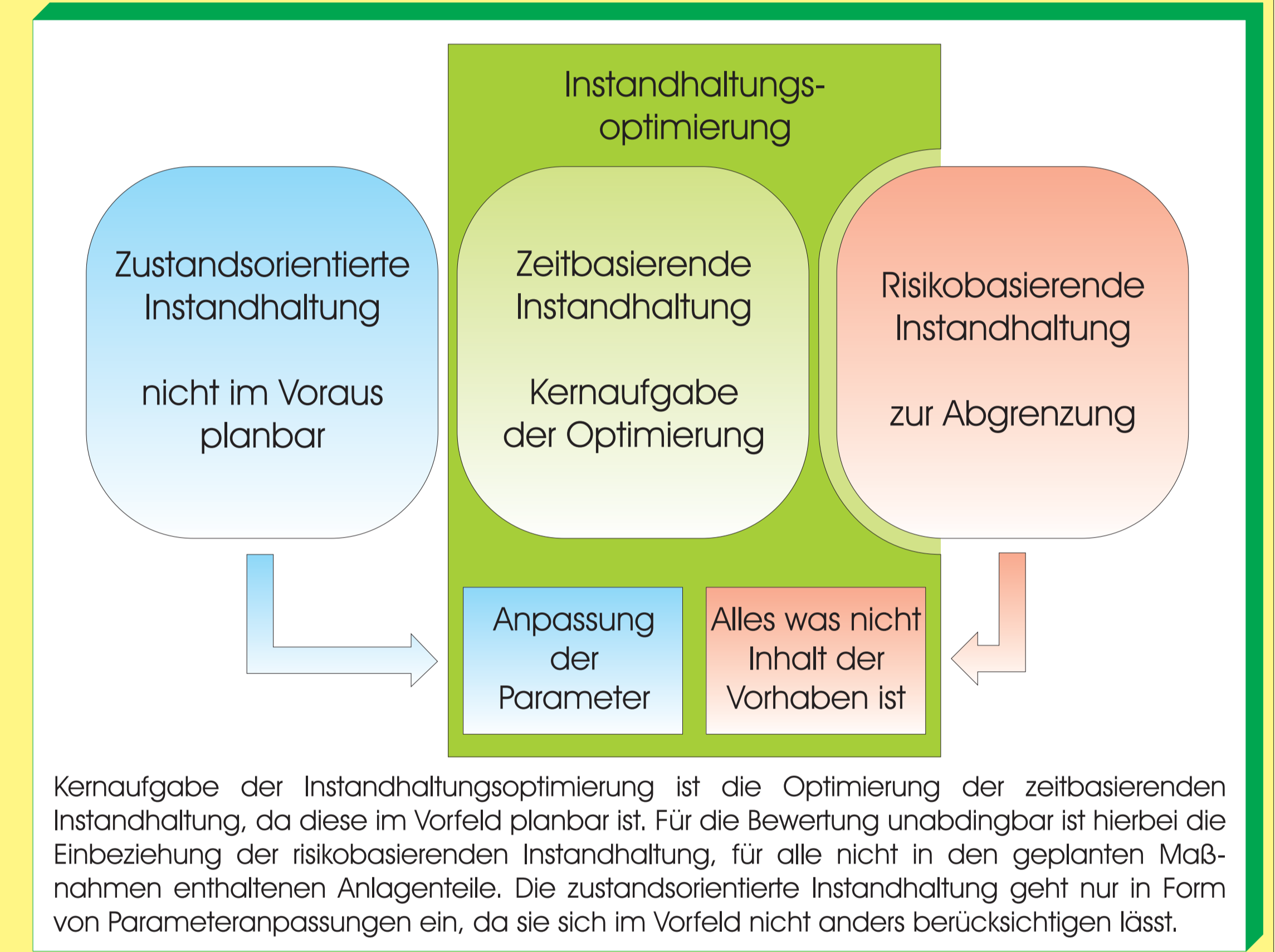
Die laufenden Aufwendungen und planmäßigen Stillstände im Rahmen der Instandhaltung haben den Zweck, plötzliche Ausfälle zu vermeiden. Somit ist die Instandhaltung mehrfach bei der Kostenkalkulation zu berücksichtigen, einmal mit den geplanten Stillstandzeiten, die zu den zufallsbedingten Stillständen hinzukommen, und ein zweites Mal, bei den Ausfallwahrscheinlichkeiten der Komponenten, die auf Grund der besseren Wartung absinken. Unter Einbeziehung dieser Wirkungen gilt es dann noch, die zusätzlichen Kosten der Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten mit den Einsparungen durch das gesenkte Ausfallrisiko zu vergleichen.



## Instandhaltungsplanung:

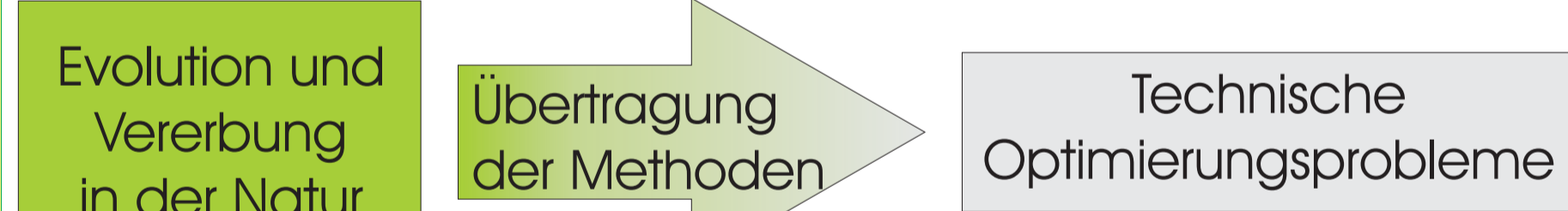
### Einteilung der Instandhaltungsstrategien

Zustandsorientierte Strategie	Zeitorientierte Strategie	Risikoorientierte Strategie
"Überwachung und bedarfsgesteuerte Maßnahmen"	"Langzeitplanung in die Zukunft, ohne zukünftige Messwerte"	"Abwarten bis etwas geschieht, erst dann reagieren"
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Absicherung gegen schnelle Schädigungsverläufe</li> <li>+ bei teuren Komponenten oft sinnvoll</li> <li>- Erfordert genaue Kenntnisse der Komponente / Anlage</li> <li>- technisch manchmal schwer umzusetzen</li> <li>- teure Sensoren und Messtechnik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ langfristig planbar, damit optimierbar</li> <li>+ auch an Stellen einsetzbar, die nicht zu überwachen sind.</li> <li>- keine Betrachtung zwischendurch</li> <li>- Inspektionskosten und Stillstände fallen auch ohne Probleme an</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>+ kein Grund für planmäßige Stillstände</li> <li>+ ohne Störung keine Kosten</li> <li>- nicht sinnvoll bei hohem finanziellem Risiko</li> <li>- nicht sinnvoll bei der Gefahr von größeren Folgeschäden</li> </ul>



## Genetische Algorithmen:

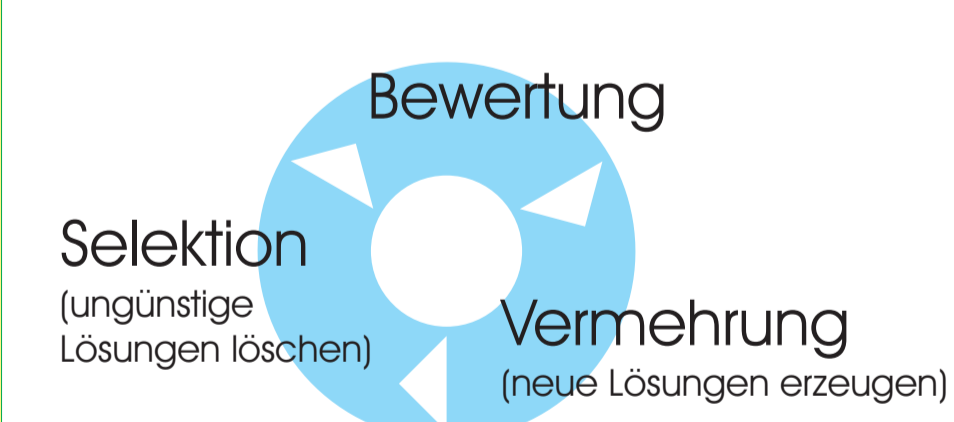
### Grundidee:



### Ursprünge:

Fogel 1966: Evolutionary Programming  
Rechenberg 1973: Evolution Strategy  
Holland 1975: Genetic Algorithms  
(aus Beyer H.G. "The Theory of Evolution Strategies")

### Ablauf:



### Vorteile:

- Keine Ableitungen benötigt
- Ganzzahlige Parameter möglich
- Kann lokale Optima verlassen

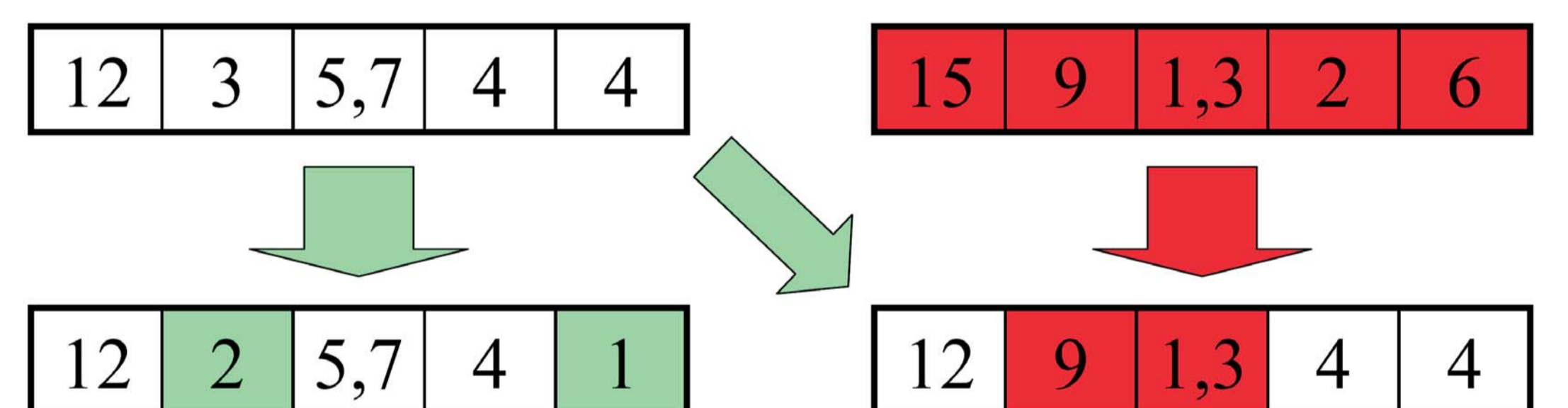
### Nachteile:

- Unbekannte Konvergenzgeschwindigkeit

Die genetischen Algorithmen versuchen die Prinzipien der Evolution auf die Lösungen technischer Probleme zu übertragen. Hierzu werden drei Schritte in einer Schleife wiederholt:

- Bewertung neuer Lösungen**  
Bei der Bewertung neuer Lösungen geht es darum, eine Hierarchie aufzustellen, welche Ansätze besser und welche schlechter sind. Die besseren Ansätze werden bevorzugt zur Erzeugung neuer Lösungen herangezogen und haben im dritten Schritt eine bessere Überlebenschance.
- Erzeugung neuer Lösungen**  
Es werden aus bestehenden Lösungen durch sogenannte Vererbungsoperatoren neue Lösungen erzeugt. Dies funktioniert umso effektiver, je unabhängiger die Parameter der Lösungen von einander sind.
- Löschung schlechter Lösungen**  
Um den Speicherbedarf in einem realistischen Rahmen zu halten, ist es notwendig, schlechte Lösungen wieder zu löschen und den Speicher wieder freizugeben. Durch das Beibehalten der besten bisherigen Lösung ist gewährleistet, dass das Verfahren nicht divergiert.

### Operatoren zur "Vererbung" in genetischen Algorithmen



#### Mutations-Operator:

Bei der Mutation werden zunächst die Werte eines bestehenden Chromosoms kopiert. Anschließend werden einige zufällig ausgewählte Werte zufällig abgeändert. Ein Beispiel ist links zu sehen, das Chromosom wird kopiert und an einigen Stellen abgeändert.

#### Crossover-Operator:

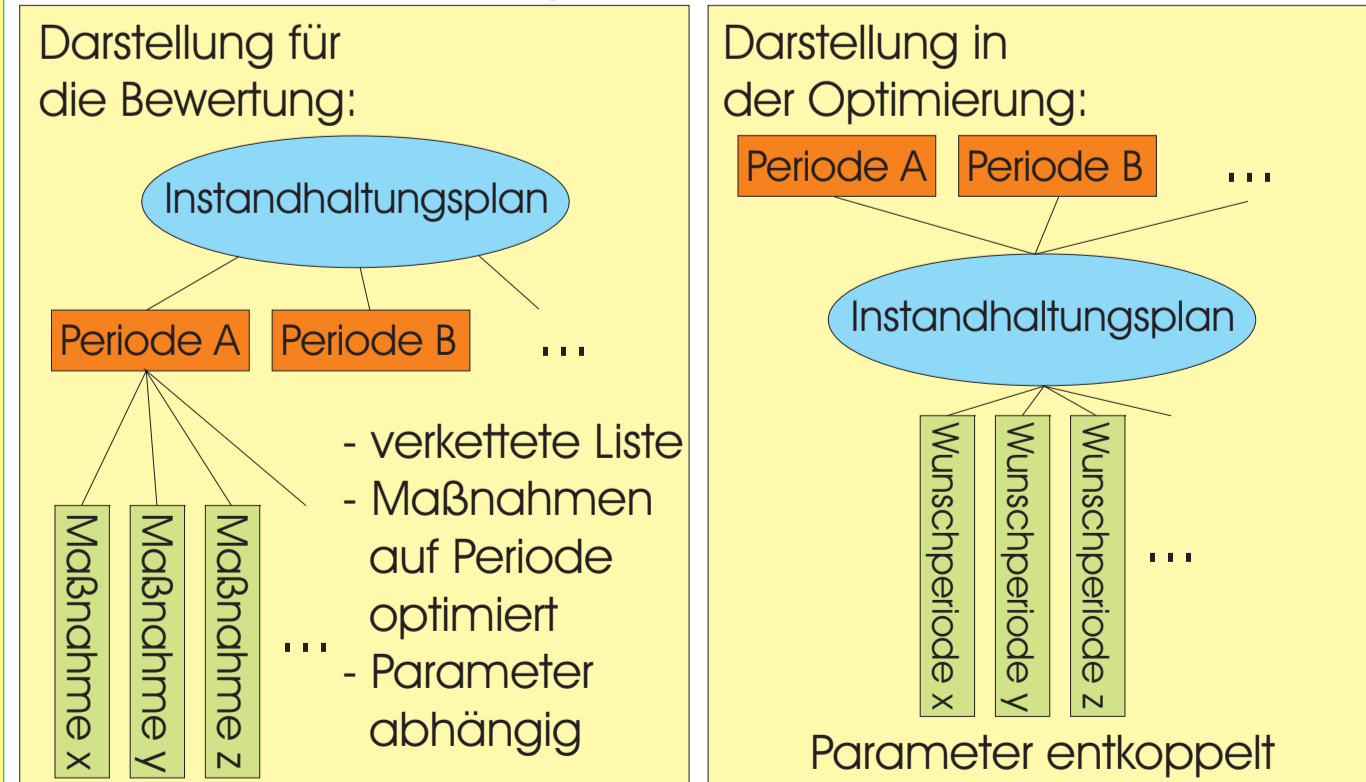
Beim Crossover-Operator wird aus mehreren bestehenden Chromosomen ein neues Chromosom gebildet. Im Beispiel werden die beiden Chromosomen in der oberen Zeile zu dem Chromosom unten rechts kombiniert. Jede Position wird aus einer zufällig ausgewählten Quelle von genau derselben Position kopiert.

## Anwendung auf die Instandhaltung:

### Gegenstand der Optimierung:

- Perioden der Inspektionen und Revisionen
- Inhalte der Instandhaltungsbereiche

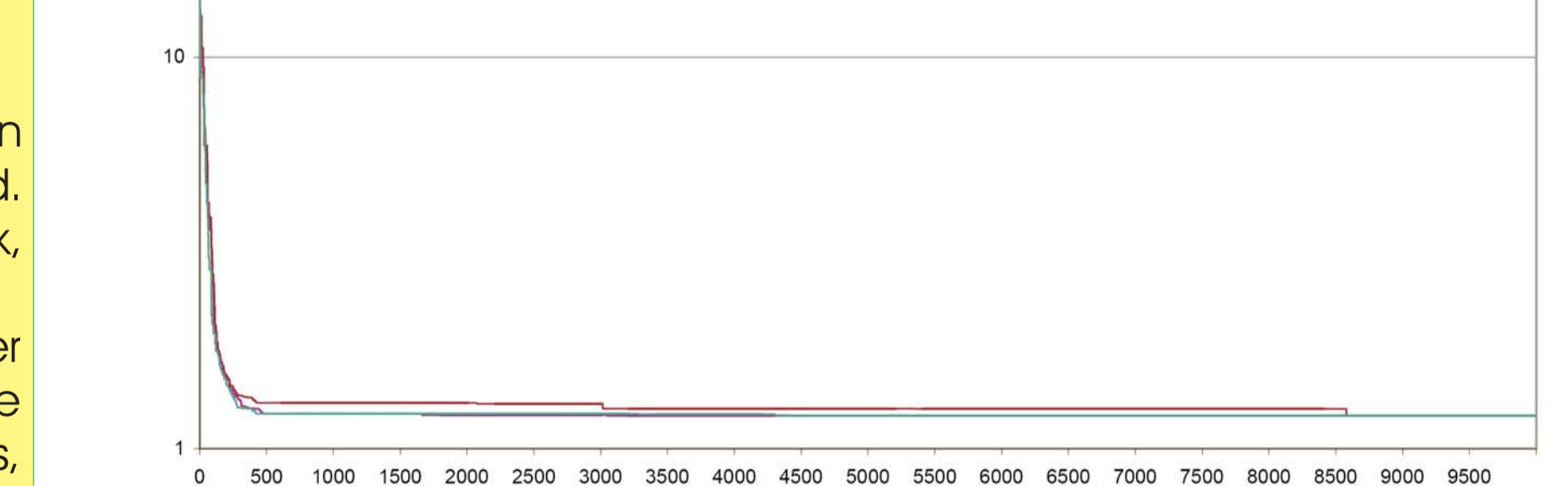
### Hybride Darstellung:



Durch die hybride Darstellung sind die Parameter der Optimierung linear unabhängig und können unabhängig von einander geändert werden. Ohne diese Darstellung sind die Inhalte schon auf die Periodendauer optimiert, womit eine Änderung der Periodendauer zwangsläufig eine Verschlechterung bewirkt.

In der Anwendung der genetischen Algorithmen auf die Instandhaltungsoptimierung gab es ein kleineres Hindernis zu bewältigen, bevor ein funktionierender Optimierungsalgorithmus entstand. Im Wesentlichen geht dieses Hindernis auf eine Eigenschaft des Optimierungsverfahrens zurück, die zufällige Auswahl der Änderungen, bzw. die Zufälligkeit der Rekombination. Auf den ersten Blick handelt es sich hierbei nur um eine automatisch eintretende Eigenschaft der neuen Lösungen, aber bei genauerer Betrachtung ist es auch eine Bedingung. Falls nämlich eine Abhängigkeit zweier Parameter voneinander existiert, so führt eine Änderung des einen Parameters, wenn der zweite bereits auf den jetzigen Wert des Ersten optimiert ist, fast zwingend zu einer Verschlechterung. Somit arbeitet die Optimierung der abhängigen Parameter aufeinander gegen die Optimierung der Gesamtlösung. Um diesem Effekt entgegenzuwirken galt es die Abhängigkeiten der Parameter von einander zu vermeiden, bzw. zu beseitigen. Hierzu wurde die starre Zuordnung der Komponenten und Anlagenbereiche zu den Perioden aufgehoben und durch eine „Wunschperiode“ ersetzt. Praktisch bedeutet dies, dass jede Baugruppe oder Komponente ihren eigenen Wunschperiode besitzt, zu der sie gerne inspiziert würde. Die Wunschperioden werden anschließend auf die nächst stattfindende Periode abgebildet. Durch die Einführung dieser Wunschperioden, die vor der Bewertung noch interpretiert werden, werden die Parameter der Optimierung entkoppelt, das heißt dass Ihre Bedeutung sich unabhängig von anderen Parametern erschließt. Dafür nimmt man in Kauf, dass durch das Interpretieren einige Änderungen nicht beobachtbar sind, da sich Änderungen der Wunschperioden nur dann bemerkbar machen, wenn sich dadurch die Zuordnung zu den realen Perioden ändert. Dies stellt jedoch keinen großen Verlust dar, da die Abhängigkeiten, die an dieser Stelle verloren gehen, genau die sind, die bei der Optimierung ohne Zwischenschritt kontraproduktive unterlagerte Optimierungen von Inhalten auf vorläufige Perioden auslösen.

### Optimierungsdurchläufe und ihre Ergebnisse



Modell: 1000MW Braunkohlekraftwerk

Ergebnis: 1 / 5 / 9 Jahresplan<sup>1</sup>

Verlauf der Optimierungsdurchläufe: Alle Durchläufe das selbe Ergebnis (keinstfalls typisch bei mehreren Optimierungsdurchläufen)

Älterer Version der Testdaten:

- wesentlich mehr und ausgeprägtere Nebenminima
- nicht alle Durchläufe dasselbe Endergebnis
- teilweise in Nebenminimum geendet
- jetziges Problem besonders einfach

<sup>1</sup> Dieser verletzt die Teilbarkeitsregel, da eine feste Vorgabe eine Wartung des Dampferzeugers nach maximal neun Jahren war. Die fünf Jahre sind hierbei bezogen auf die Neunjahresperiode, was bedeutet, dass die zugehörige Maßnahme immer fünf Jahre nach der Neunjahresperiode erfolgt, also aufgerundet in der Mitte. Der Vorteil gegenüber einer teilbaren Planung mit einer Dreijahresperiode ist, dass die Fünfjahresperiode nur einmal innerhalb der Neunjahre eintritt, die Dreijahresperiode würde zweimal eintreten.