

## Das Messplatzverschaltungsproblem

---

Version 4.1

Autor: Josef Hübl

Erstellt am: 26.06.2003

Geändert am: 30.06.2006

Von: Josef Hübl (Triple-S GmbH)

## INHALTSVERZEICHNIS

### Seite

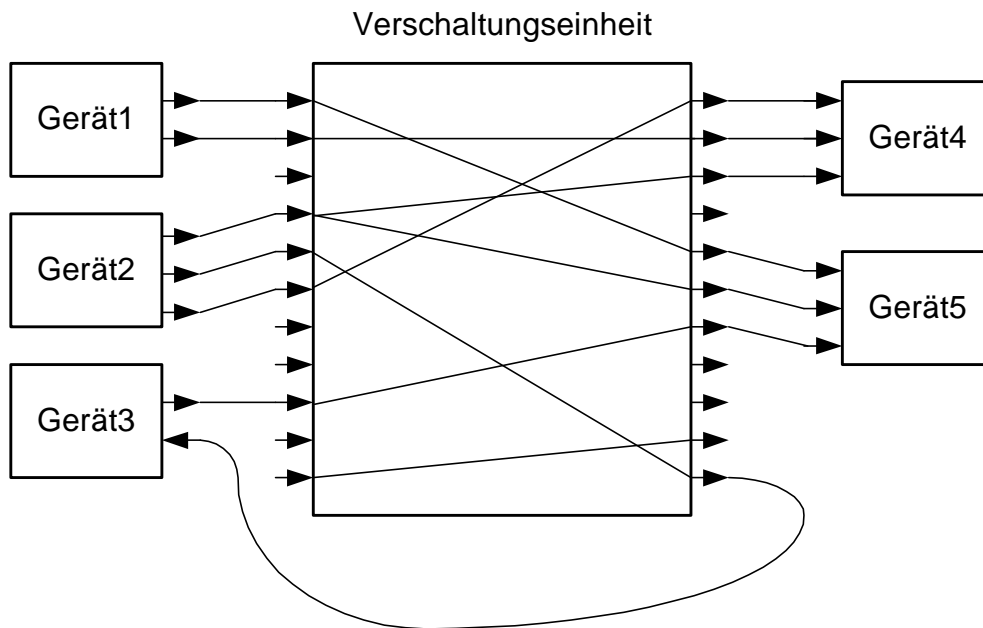
<b>1. ALLGEMEINES .....</b>	<b>3</b>
1.1 DER MESSPLATZ .....	3
1.2 TEST UND TESTSERIE .....	4
1.3 BESCHREIBUNG DES MESSPLATZVERSCHALTUNGSPROBLEMS .....	5
1.4 DIE ELEMENTAREN SCHALTELEMENTE .....	5
1.5 GRUNDSÄTZLICH HERANGEHENSWEISE .....	6
<b>2. DER GRAPHENTHEORETISCHE ANSATZ .....</b>	<b>7</b>
<b>3. MODELLIERUNG DES MESSPLATZES .....</b>	<b>14</b>
3.1 ALLGEMEINES.....	14
3.2 ELEMENTARE SCHALTELEMENTE .....	14
3.2.1 Schließer bzw. Schalter .....	14
3.2.2 nxm-Matrizen .....	15
3.2.3 X-Relais und Benes-Netzwerke.....	15
3.2.4 Pseudo-Relaisbausteine .....	18
3.3 ZUSAMMENGESetzte EINHEITEN.....	19
3.4 IMPLEMENTIERUNGSDetails .....	20
3.4.1 Die Ableitungshierarchie .....	20
3.4.2 Die Basisklassen .....	20
3.4.3 Die Verflachung der Hierarchie.....	22

# 1. Allgemeines

## 1.1 Der Messplatz

Ein Mess- oder Prüfplatz besteht aus zahlreichen Geräten, die über Eingänge Signale aufnehmen und über Ausgänge Signale abgeben können. Der Prüfling selbst kann als eine Teilmenge dieser Geräte angesehen werden. Um einen bestimmten Test durchführen zu können, sind die Geräte auf bestimmte Art und Weise miteinander zu verschalten. Dies kann entweder händisch geschehen, in dem ein Kabel von einem Geräteausgang an einen Geräteeingang gesteckt wird oder softwaretechnisch, wenn über Software konfigurierbare Verschaltungsbausteine dazwischen gesteckt werden. Die Verschaltungsbausteine bilden in ihrer Summe den Kern des Messplatzes. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann dieser Kern als eine Blackbox mit zahlreichen Ein- und Ausgängen gesehen werden, an die die Geräte angeschlossen sind. Nachfolgend sei dieser Kern als die Verschaltungseinheit bezeichnet.

Es ist von zentraler Bedeutung, dass die Verschaltungseinheit die Signale nicht verändert, sondern lediglich von den Eingängen auf keinen, einen oder mehrere Ausgänge weiterleitet. Entsprechend sind die dabei zum Einsatz kommenden Schaltelemente ausschließlich solche, die Verbindungen herstellen, unterbrechen oder vertauschen können. Im Normalfall handelt es sich um Schalter und Relais die zu höherwertigen Schaltmatrizen und Benesnetzwerken zusammengefaßt sein können.



Verkabelung der Geräte eines Mess- bzw. Prüfplatzes mit der Verschaltung.

### Das Messplatzverschaltungsproblem

Im Idealfall ließe es die softwaretechnisch angesteuerte Verschaltungseinheit zu, jedes Eingangssignal auf jeden beliebigen Ausgang weiter zu leiten, gerade so wie es bei händisch gesteckten Verbindungen auf einer Stecktafel möglich wäre. (Vergleichbar zu den Telefonoperatorkonsolen der 50-ger Jahre.)

## 1.2 Test und Testserie

Mit dem Aufbau Mess- oder Prüfplatzes wird je ein Ausgang eines Gerätes mit je einem Eingang der Verschaltungseinheit und je einen Eingang eines Gerätes mit je einem Ausgang der Verschaltungseinheit verkabelt. (Dadurch wird jedem Eingang der Verschaltungseinheit implizit genau eine Eingangssignalart zugeordnet.) Aufbauend auf dieser Verkabelung bestimmt jeder Test eine Zuordnung der Eingangssignale zu den Ausgangssignalen und legt damit implizit eine notwendige Verschaltung fest.

Mit Beginn des Testlaufes beginnen einige Geräte Signale abzugeben, die den Prüfling ansteuern. (Es kann hierbei als normaler Vorgang angesehen werden, dass Eingangssignale nicht mehr händisch erzeugt, sondern softwaretechnisch generiert oder wiedergegeben werden. ) Angeregt durch die Eingangssignale gibt der Prüfling selbst Ausgangssignale ab, die wiederum Eingangssignale für z.B. Mess- oder Steuergeräte sein können.

Soll eine Testserie „gefahren“ werden, so kann beim Übergang von einem zum nächsten Test aufwendiges neues Verschalten notwendig sein, wenn dies händisch geschehen soll. Entsprechend ist es das erklärte Ziel, durch softwaretechnisches Konfigurieren der Verschaltungseinheit die händische Verschaltung ganz oder zumindest weitgehend zu vermeiden. Rein theoretisch wäre es dabei möglich eine Verschaltungseinheit einzusetzen, die es zuläßt jeden Eingang mit jedem Ausgang zu verknüpfen und damit händisches Verschalten komplett überflüssig macht. In der Praxis scheitert dies jedoch entweder an den Kosten für die notwendigen Bausteine oder aber an den physikalischen Grenzen die dabei gelten, da eine Vielzahl von in Serie geschalteten Kontakten das zu übertragenden elektrische Signal erheblich verändern kann.

Nichtsdestotrotz kann ein händisches Verschalten auch dann komplett oder weitestgehend vermieden werden, auch wenn nicht jeder Eingang softwaretechnisch mit jedem Ausgang verschalten werden kann, da aus der unendlichen Vielzahl von denkbaren Testszenarien, sowieso nur eine begrenzte Auswahl von Varianten von Bedeutung ist. Ein Teil des Rationalisierungspotentials liegt also darin die softwaretechnische Verschaltung gerade so flexibel zu halten, das zumindest die beabsichtigten Testaufbauten damit realisiert werden können.

Sollen mehrere Testabläufe nacheinander und weitestgehend automatisiert ausgeführt werden, so besteht ein weiteres Rationalisierungspotential darin, die Tests so in Gruppen zu ordnen, dass nicht nur innerhalb einer Gruppe nicht neu händisch verschaltet werden muss,

---

### Das Messplatzverschaltungsproblem

sondern auch die Änderung an der Verkabelung beim Wechsel der Gruppen möglichst gering ist. Auf diese Art der Optimierung soll hier jedoch nicht weiter eingegangen werden.

## 1.3 Beschreibung des Messplatzverschaltungsproblems

Soll auf einem bestehenden Messplatz, für den mit der Verkabelung der Geräte eine bestimmte Zuordnung der Signalarten zu den Eingängen der Verschaltungseinheit getroffen ist, ein bestimmter Test mit entsprechender Zuordnung der (Eingangs-)Signalarten zu den Ausgängen der Verschaltungseinheit durchgeführt werden, so besteht das Messplatzverschaltungsproblem darin folgende Fragen zu beantworten:

1. Kann die Verschaltungseinheit softwaretechnisch so eingestellt werden, dass die gewünschte Zuordnung zwischen den Ein- und Ausgängen der Verschaltungseinheit erreicht werden kann?
2. Wenn ja: Wie sieht diese Einstellung aus?

Bezogen auf eine Serie von Tests stellt sich die Frage:

Wie müssen die Geräte mit den Ein-/Ausgängen der Verschaltungseinheit verkabelt werden, dass für eine Menge durchzuführender Tests bzw. Signalausgangsvektoren softwaretechnisch eine entsprechende Verschaltung eingestellt werden kann?

## 1.4 Die elementaren Schaltelemente

Das grundlegende Bauelement der softwaretechnischen Verschaltung ist ein Schließer bzw. Schalter der eine Verbindung schließt oder unterbricht. Es kommen jedoch auch Schaltelemente wie zum Beispiel Relais zum Einsatz, die Verbindungen nicht unterbrechen, sondern nur vertauschen können. Entscheidend dabei ist, dass den Ausgängen solcher Schaltelemente immer auch Schließer nachgeordnet sind, so dass als logische Einheit ein Schaltelement entsteht, das eine Verbindung zwischen den Ein- und Ausgängen herstellen, aber auch unterbrechen kann. Würde man diese Forderung fallen lassen, so würde sich die softwaretechnische Lösung des Verschaltungsproblems erheblich verkomplizieren, da es graphentheoretische Lösungen gäbe, derer physikalische Umsetzung jedoch nicht möglich ist.

**Allgemein wird deshalb zunächst gefordert, dass alle elementaren Schaltungselemente eine beliebige Verschaltung bzw. Zuordnung (Relation) zwischen ihren Aus- und Eingängen**

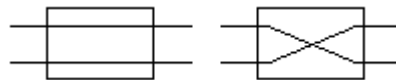
---

### Das Messplatzverschaltungsproblem

herstellen können. Dies bedeutet, dass ein Eingang beliebig vielen Ausgängen oder aber auch keinem Ausgang verschaltet werden kann.

Es ist leicht einzusehen, dass Schließer dieser Bedingung genügen.

Ein ebenso besondere Bedeutung kommt Bausteinen zu, die nur eine injektive (eindeutige) Verschaltung herstellen können. D.h. Ein Eingang kann mit höchstens einem Ausgang verschaltet werden und umgekehrt. Diese Voraussetzung wird von allen Schaltungselementen erfüllt, die eine Vertauschung (Permutation) der Reihenfolge Eingänge realisieren, wenn jedem Ausgang ein Schließer nachgeschaltet ist und beides zusammen als logische Einheit gesehen wird. Dies gilt zum Beispiel für X-Relais, die zwei Verbindungen gekreuzt oder nicht gekreuzt verschalten können und Benes-Netzwerke die eine Permutation von  $2^n$  Eingängen realisieren können.



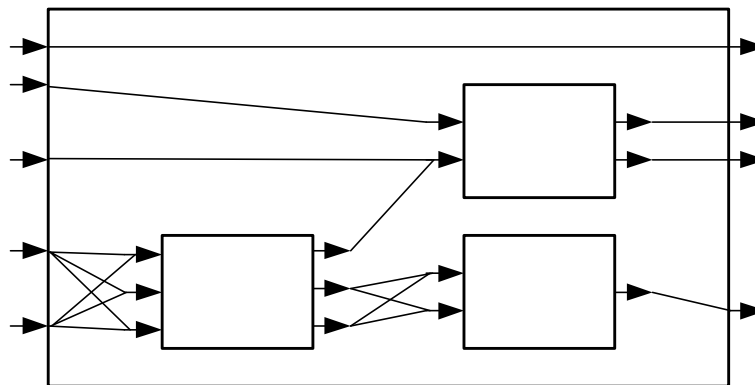
Schaltungszustände eines X-Relais

## 1.5 Grundsätzlich Herangehensweise

In diesem Dokument wird ein Weg skizziert, der aufzeigt wie das Messplatzverschaltungsproblem grundsätzlich gelöst werden kann, wobei in mehreren Stufen vorgegangen wird. Zunächst wird aufgezeigt wie die Verschaltungsstruktur der Verschaltungseinheit des Messplatzes graphentheoretisch als spezieller Graph nämlich ein hierarchisch strukturiertes Subzentrennetzwerk (S-Netz bzw. H-Netz) erfasst werden kann. In einem nächsten Schritt wird das Problem gelöst für Bausteine, die beliebige Relationen verschalten können. Es wird gezeigt, wie für diesen Fall ein graphentheoretischer Algorithmus zum Auffinden „gefärbter Bäume“ verwendet werden kann, um die gesuchte Lösung zu finden bzw. aufzuzeigen, dass es keine solche Lösung gibt. Zum Abschluss wird gezeigt, wie die Lösung für diesen Fall so erweitert werden kann, dass auch Bausteine verwendet werden können, die nur injektive Relationen verschalten können.

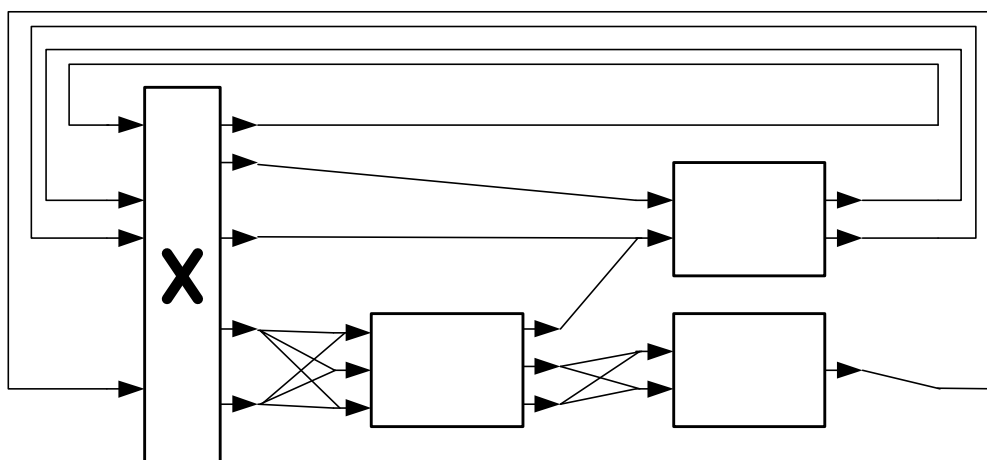
## 2. Der graphentheoretische Ansatz

Es ist naheliegend für die graphische Skizze der Verschaltungseinheit und ihrer Bauelemente als darstellendes Element ein Rechteck zu wählen, dem die Ein- und Ausgänge als zusätzliche Symbole hinzugefügt sind. Nachfolgend wurden dafür Pfeile gewählt, die gleichzeitig die Signalflussrichtung anzeigen.



Beispiel für die interne Struktur einer Verschaltungseinheit

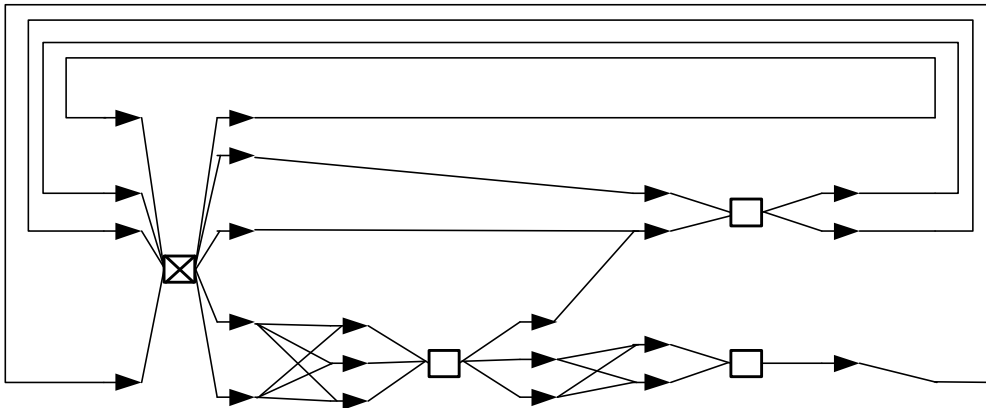
Normaler Weise wird die Verschaltungseinheit als umgebendes Rechteck dargestellt werden, dem äußere Ein- und Ausgänge zugeordnet sind. Aus Gründen der Homogenität macht es jedoch auch Sinn in einer anderen Darstellungsform die Verschaltungseinheit wie alle anderen Bausteine darzustellen und seine besondere Bedeutung durch ein zusätzliches Symbol (x) anzuzeigen.



Homogene Darstellung der Verschaltungseinheit

### Das Messplatzverschaltungsproblem

Werden in dieser homogenen Darstellung die Rechtecke, die die Schaltelemente repräsentierenden verkleinert und die Zuordnung der Ein- und Ausgänge über zusätzliche Verbindungen ausgewiesen, so erhält man einen Graphen, dessen Knotenmenge aus Schaltelementen (Rechtecken) und Ein- und Ausgängen (Pfeilsymbole) besteht.



Der Graph einer Verschaltungseinheit

Dieser Graph hat einige Besonderheiten:

1. In dem Graphen gibt keine gegenläufigen Kanten. Es ist somit ein gerichteter Graph.
2. Es gibt eine Teilmenge von Knoten (die Rechtecke), denen eine besondere Bedeutung zukommt. (Diese werden verallgemeinernd Subzentren genannt.)
3. Jeder Vorgänger eines Subzentrums ist ein Eingang und jeder Nachfolger einer Subzentrums ist ein Ausgang. Ein Subzentrum kann also nur über einen Eingang „betreten“ und nur über eine Ausgang „verlassen“ werden.
4. Zusätzliche Kanten führen immer von einem Ausgang zu einem Eingang.
5. Es gibt ein besonderes Subzentrum. (Dieses wird die Wurzel bzw. engl. Root des Graphen genannt. )

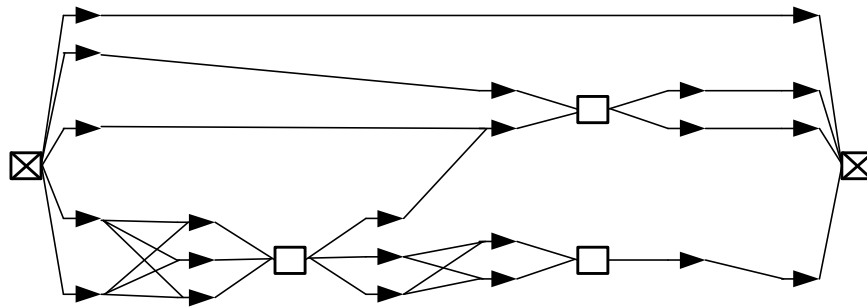
Jeder Graph der diese Besonderheiten hat heißt ein Subzentrennetzwerk oder kurz S-Netz.

Gewöhnlich wird jedoch nicht der (vollständige) Graph eines S-Netzes dargestellt, sondern die Anfangs verwendete normale graphische Darstellung für S-Netze verwendet.

---

## Das Messplatzverschaltungsproblem

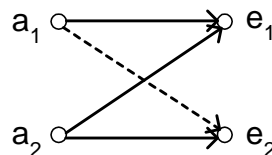




Vereinfachte Darstellung des Graphen eines S-Netzes durch Duplizierung der Wurzel (Root)

Da der Strom auf Leiterbahnen grundsätzlich in beide Richtungen fließen kann, gilt im Graphen einer Verschaltungseinheit für die Verbindungen zwischen den Ein-/Ausgängen das Transitivitätsgesetz, d.h. sind  $a_1, a_2$  zwei Ausgänge und  $e_1, e_2$  zwei Eingänge und existieren die Kanten  $(a_1, e_1)$ ,  $(a_2, e_1)$  und  $(a_2, e_2)$ , so ist auch  $(a_1, e_2)$  eine existierende Kante. (Bildlich kann das Transitivgesetz auch als z-x-Regel dargestellt werden.) Entsprechend heißt ein solches S-Netz (Subzentrennetzwerk) ein transitives S-Netz (Subzentrennetzwerk).

In einem transitiven S-Netz zerfällt die Menge der Ein- und Ausgangsknoten in Gruppen, in denen jeder Ausgang mit jedem Eingang verbunden ist. Das verbindende Kantennetzwerk einer solchen Gruppe heißt auch die transitive Hülle zwischen den Aus- und Eingängen.

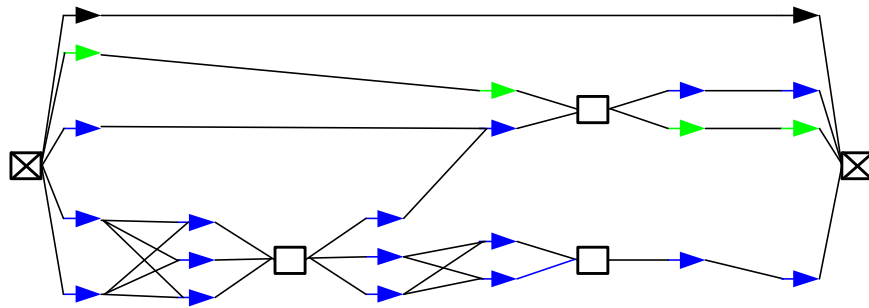


Visualisierung des Transitivitätsgesetzes bzw. der z-x-Regel.

Das Ziel einer Verschaltung in der Verschaltungseinheit ist es bestimmte Eingangssignale auf bestimmte Ausgänge zu verschalten. In der graphischen Repräsentation der Verschaltungseinheit können die verschiedenen Signalarten als unterschiedliche Einfärbung der Aus- und Eingänge dargestellt werden. Da sich die Signalart auf Verdrahtungen einfach nur fortpflanzt, ist es eine Besonderheit des so eingefärbten Graphen, dass Aus- und Eingänge, die über eine Kante verbunden sind, immer dieselbe Farbe besitzen. (Ein derart eingefärbtes S-Netz heißt ein formatiert gefärbtes S-Netz.)

---

## Das Messplatzverschaltungsproblem



Der Graph eines formatiert gefärbten S-Netzes.

Umgekehrt reicht für das Vorliegen einer korrekten Verschaltung noch nicht aus, das S-Netz formatiert gefärbt ist. Vielmehr muss es überdies zu jedem gefärbten äußeren Ausgang auch noch von mindestens einem identisch gefärbten äußeren Eingang einen Pfad zu diesem geben, auf dem allen Aus- und Eingängen dieselbe Farbe zugeordnet ist.

Liegt ein gefärbtes Subzentrennetzwerk vor, so ist aufgrund der Färbung zwischen den Ein- und Ausgängen eines Subzentrum auf natürliche Art und Weise ein Zuordnung (Relation) definiert, in dem jedem Eingang allen gleich gefärbten Ausgänge zugeordnet werden. Ähnlich zum Ausgangsproblem kann also eine passende Verschaltung für die gesamte Verschaltungseinheit nur dann erstellt werden, wenn jeder durch ein Subzentrum repräsentierte Baustein in der Lage ist, die durch die Färbung seiner Ein- und Ausgänge vorgegebene Zuordnung (Relation) auch intern als Verschaltung herzustellen.

Natürlich gibt es nun die Möglichkeit an die Färbung weitere Bedingungen zu knüpfen, so dass die für die Bausteine resultierenden Zuordnungen auch intern verschaltet werden können. Da dies jedoch zu einer unüberschaubaren Komplexität von Regel führen kann, wird „der Spieß umgedreht“. Es werden zunächst nur solche Bausteine zugelassen, die eine beliebige Zuordnung (Relation) verschalten können. Dadurch wird sichergestellt, dass jede formatierte zusammenhängende Färbung einer gültigen Verschaltung entspricht. (Zu einem späteren Zeitpunkt werden auch solche Bausteine zugelassen, die ausschließlich injektive Relationen verschalten können.)

Betrachtet man unter diesen Voraussetzungen die Lösungspfade einer korrekten Verschaltung neu, so kann man folgende 3 Gesetzmäßigkeiten feststellen:

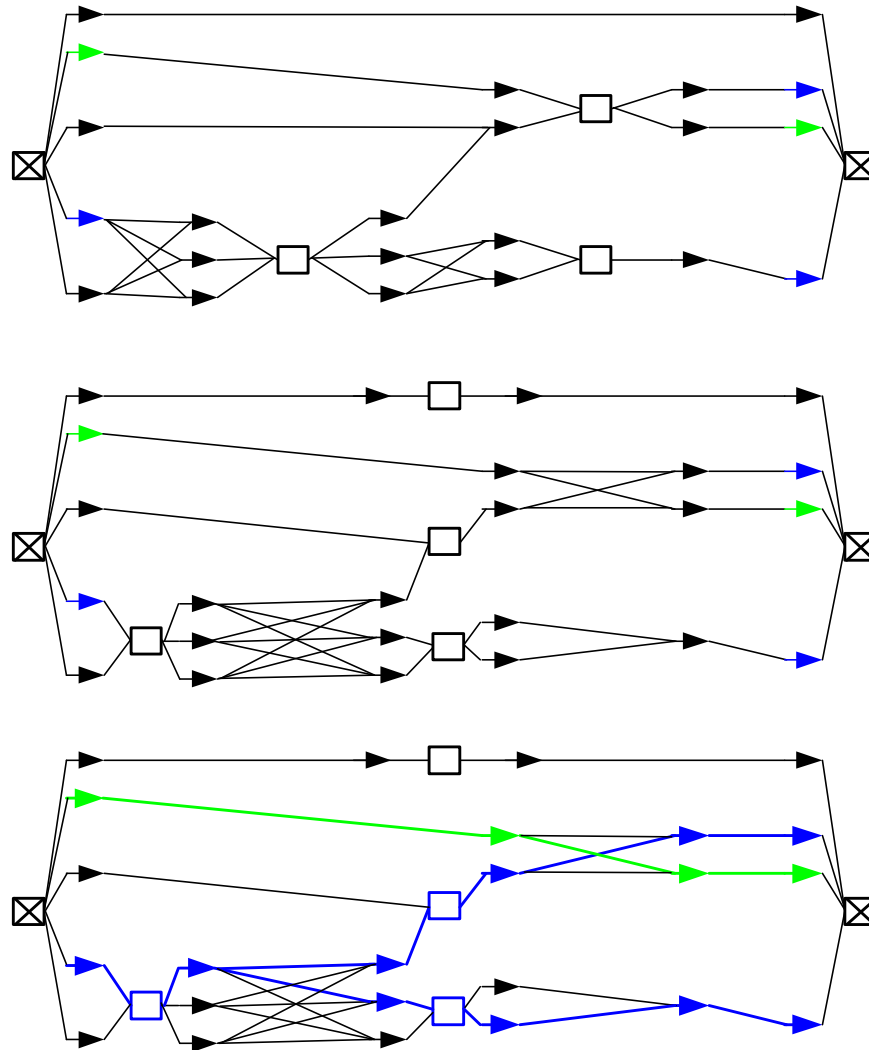
1. Die Pfade definieren eine (Teil-)zuordnung zwischen den Ein- und Ausgängen eines Subzentrum und damit eine Teilmenge aller Kanten von den Ein- zu den Ausgängen eines Subzentrum und somit eine Teilmenge der transitiven Hülle zwischen diesen.
2. Beinhaltet ein Pfad eine Kante von einem Ausgang eines Subzentrums zum Eingang eines anderen Subzentrums, so müssen nicht nur diese beiden dieselbe Farbe besitzen, sondern wegen des Transitivitätsgesetzes auch alle Knoten, die über die transitive Hülle erreichbar sind.

---

## Das Messplatzverschaltungsproblem

3. Gibt es zwei identisch gefärbte Pfade, die sich kreuzen, so kann ausgehend von einem der beiden Eingänge der beiden Teilpfad bis zum Kreuzungsknoten weggelassen werden bzw. durch den anderen Teilpfad ersetzt werden, ohne dass die Verschaltung dadurch inkorrekt werden würde. D.h. o.B.d.A. führt ein an der Lösung beteiligter Pfad vom Ausgangsknoten direkt bis zu einem Eingangsknoten oder endet an einen Knoten eines anderen Pfades, der seinerseits wieder über andere Pfade bis zu einem Eingangsknoten führt. Graphentheoretisch liegt also eine Baumstruktur vor.

Unter diesen Gegebenheiten wird der wahre Lösungsansatz zum Auffinden einer korrekten Verschaltung sichtbar, wenn man von Graphen des gegebenen S-Netzes zum Graphen seines sogenannten transitiven Komplements übergeht. Stark vereinfacht bedeutet dies am gegebenen S-Netz alle Subzentren durch die transitive Hülle aller Kanten von seine Ein- zu seinen Ausgängen und alle transitiven Hüllen von Aus- zu Eingängen durch ein Subzentrum zu ersetzen. (Die vollständige Transformation erfordert es noch Zusatzregeln aufzunehmen, die zum einen garantieren, dass der resultierende Graph wirklich der ein S-Netzes ist und zum anderen das transitive Komplement eines transitiven Komplements wieder identisch zum originalen S-Netz ist.)



Der Übergang vom Graphen eines S-Netzes zum Graphen seines transitiven Komplements und Darstellung der gefärbten Bäume.

Damit kann festgestellt werden, dass jede gültige Verschaltung eines S-Netzes in dessen transitiven Komplement ein Set von gefärbten Bäumen (colored trees) definiert. Unter der gemachten Voraussetzung, dass jeder Baustein jede beliebige Relation verschalten kann gilt aber auch umgekehrt, dass jedes Set von gefärbten Bäumen (colored trees) eine gültige Verschaltung definiert, da die Kanten dieser Bäume für jedes Subzentrum eine Zuordnung (Relation) definieren.

Da das Auffinden von gefärbten Bäumen zu einem gegebenen Graphen ein bekanntes graphentheoretisches Problem mit ebenso bekannten Lösungsalgorithmen ist, ist somit ein graphentheoretischer Lösungsansatz für das Verschaltungsproblem gefunden.

## Das Messplatzverschaltungsproblem

Um auch Schaltbausteine zulassen zu können die statt beliebiger Zuordnungen nur injektive verschalten können, muss der Algorithmus zum Auffinden der gefärbten Bäume lediglich so abgewandelt werden, dass nur in den als „multible“ gekennzeichneten Knoten Pfadverzweigungen auftreten dürfen. Im Normalfall sind alle Knoten als „multible“ gekennzeichnet. Die Eingänge von Schaltbausteinen, die nur injektive Zuordnungen verschalten können, so werden jedoch als nicht „multible“ gekennzeichnet.

Weitere Details zu diesem Lösungsansatz und der erweiterten Variante sind in dem Dokument /1/ „**Graphen, S-Netze und H-Netze**“ beschreiben.

## 3. Modellierung des Messplatzes

### 3.1 Allgemeines

Der Messplatz wird in Form von C++-Objekten bzw. deren Instanzen modelliert. Dabei realisiert jedes Objekt einen zusammengesetzten oder elementaren Baustein, der mit einem Subzentrum in einem hierarchisch strukturierten Subzentrennetzwerk (H-Netze) korrespondiert. Elementare Bausteine sind dabei solche Objekte, die eine eigene Methode `ComputeRelais()` zur Berechnung der inneren Relaiszustände zur Verfügung stellen. Alle anderen Bausteine sind zusammengesetzte Bausteine die entweder Backplanes, Einsteckkarten oder den gesamten Messplatz repräsentieren. Backplanes kommt dabei die besondere Rolle zu, dass sie keine Unterbausteine beinhalten sondern lediglich eine fixe interne Verschaltung (Verdrahtung) modellieren.

Um bei der graphischen Darstellung eine verwirrende Vielzahl von Verbindungen zu vermeiden, werden diese (wie in der Elektrotechnik üblich) zu Mehrfachverbindungen zusammengefaßt, so fern sie parallel laufen. Dabei wird die Anzahl der Verbindungen an der Verbindungslinie angetragen. Sofern Verbindung zwar gebündelt verlaufen aber überkreuzt geführt werden empfiehlt es sich logische Einheiten dazwischen zu setzen, die die gegebenen Vertauschungen intern abhandeln.

### 3.2 Elementare Schaltelemente

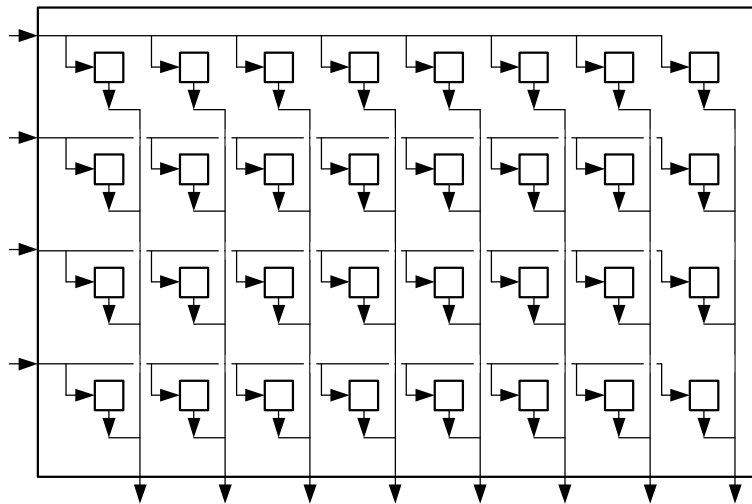
#### 3.2.1 Schließer bzw. Schalter

Schließer bzw. Schalter sind Bauelemente mit je einem Eingang und einem Ausgang, die die Verbindung dazwischen entweder herstellen oder unterbrechen können. Sie gehören sowohl zu der Gruppe der Bausteine, die beliebige Relation als auch nur injektive Relationen verschalten können, da in diesem Fall jede Relation injektiv ist.

Schalter werden in Gruppen auch zu Serien von Schaltern oder komplexeren Bauelementen wie zum Beispiel  $n \times m$ -Matrizen organisiert.

---

#### Das Messplatzverschaltungsproblem



Eine aus Schließern zusammengesetzte 4x8-Matrix.

### 3.2.2 nxm-Matrizen

Ein Set von Schaltern, das in einer nxm-Matrix organisiert ist, kann eine beliebige Relation zwischen den n Ein- und m Ausgängen verschalten. Ist m kleiner als n (z.B. 32x2-Matrix) so dient das Schaltelement primär als Auswahlinstanz. Ist dagegen m größer als n (z.B. 4x8-Matrix) so dient das Schaltelement mehr der Signalverzweigung.

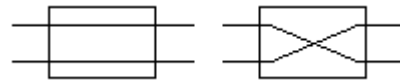
Als logische Einheit gesehen können nxm-Matrizen sowohl als zusammengesetztes als auch als elementare Einheit betrachtet werden, da nxm-Matrizen jede beliebige Relation verschalten können. Da zum einen eine zusammengesetzte nxm-Matrix das Netzwerk um  $n \cdot m$  Subzentren (Schaltelemente) erweitern würde und zum anderen der Algorithmus zur Ermittlung der internen Verschaltung einer beliebigen Relation extrem einfach und performant ist, ist es sinnvoller nxm-Matrizen als elementare Einheiten zu verwalten. Dabei wird das Relais an der Position (i,j) genau dann auf ON geschaltet, wenn es eine Verbindung vom i-ten Eingang zum j-ten Ausgang geben soll.

### 3.2.3 X-Relais und Benes-Netzwerke

Das einfachste Schaltelement, das nur eine Permutation (Vertauschung) der eingehenden Signale realisieren kann ist ein X-Relais (crossbars). Es hat zwei Ein- und zwei Ausgänge und kann die Verbindungen dazwischen kreuzen oder eben nicht.

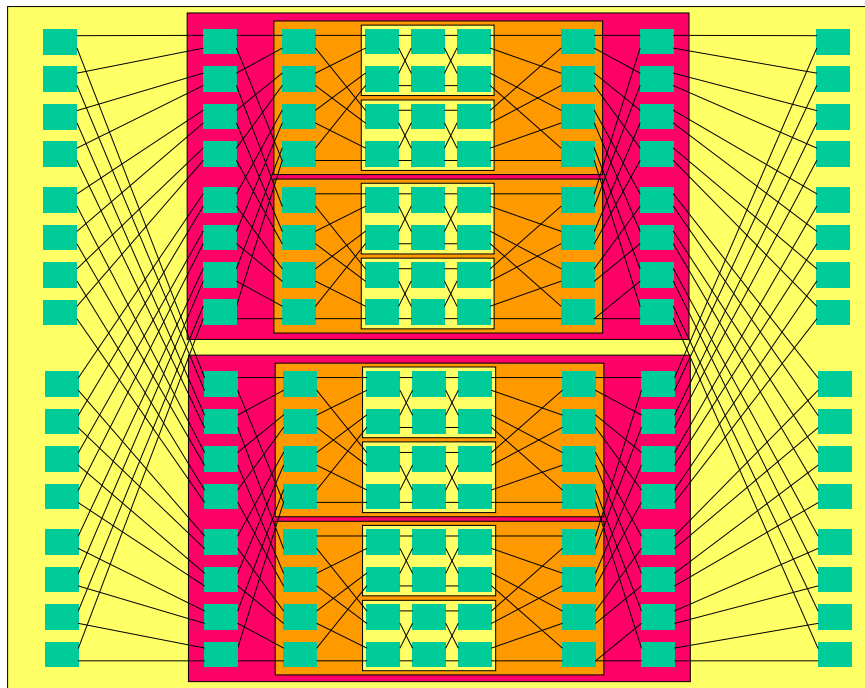
---

## Das Messplatzverschaltungsproblem



Schaltungszustände eines X-Relais

X-Relais können auf besondere Art und Weise zu einer logarithmischen Netzwerkstruktur verschaltet werden, so dass sie eine beliebige Permutation (Vertauschung) von  $2^n$  eingehenden Signale realisieren können. Ein Baustein mit dieser besonderen inneren Struktur heißt ein Benes-Netzwerk. Dabei werden lediglich  $n/2 * ((n/2) - 1)$  X-Relais benötigt, um  $2^n$  Ein- bzw. Ausgänge miteinander verschalten zu können. Der Algorithmus um eine Verschaltung herstellen zu können ist aufgrund der besonderen Struktur der Vernetzung extrem performant.



Inner Aufbau eines 32-iger Benes-Netzwerk (ohne Verbindungen nach aussen)

**Achtung! Weder X-Relais noch Benesnetzwerke können für sich alleine genommen verwendet werden, wenn die in diesem Dokument skizzierten Lösungsalgorithmen für das Verschaltungsproblem verwendet werden sollen, da sie weder beliebige allgemeine noch beliebige injektive Relationen (Zuordnungen) verschalten können. Im besonderen ist es nicht möglich einem Eingang keinen Ausgang oder einem Ausgang keinen Eingang zuzuordnen.**

Dieses Problem kann dadurch umgangen werden, dass Benesnetzwerke in Kombination mit Schließern zu logischen Einheiten kombiniert gesehen werden. Ist zum Beispiel jedem

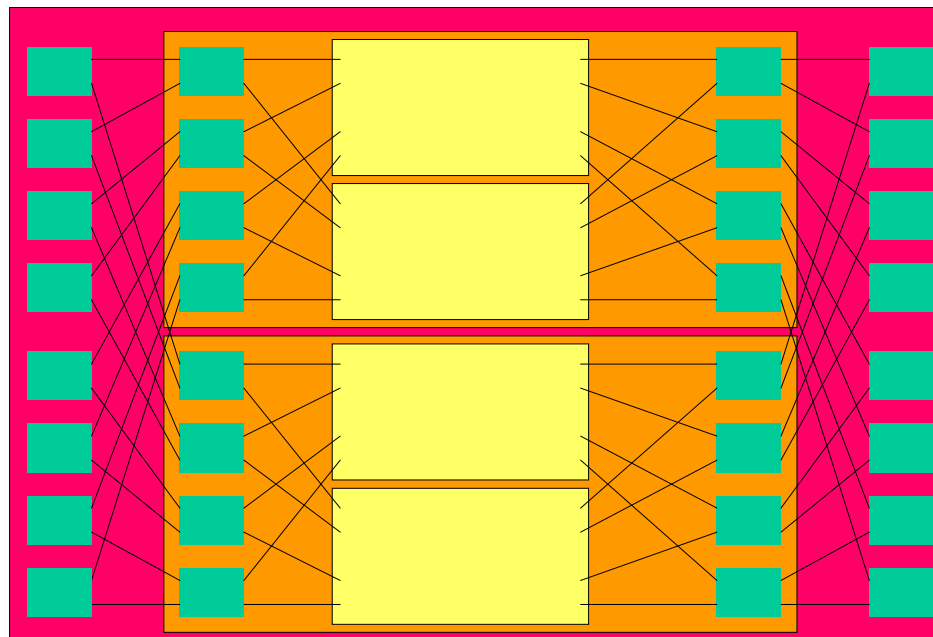
---

## Das Messplatzverschaltungsproblem



Eingang ein Schließer vorgeschaltet oder jedem Ausgang ein Schließer nachgeordnet, so ist dieses logische Schaltelement in der Lage eine beliebige injektive Relation zwischen den Ein- und Ausgängen zu verschalten.

Im Fall des verwendeten 16-er Benes-Netzwerkes wurde eine Verschaltungsvariante gewählt bei der die Schließer in das Zentrum des Benes-Netzwerkes integriert sind bzw. die innersten X-Relais ersetzen. Diese 4x4-Schließermatrizen können nicht nur ebenso wie die 4-er Benes-Netzwerke jede beliebige 4-er Permutation verschalten, sondern auch noch die Verbindung zwischen beliebigen Ein- und Ausgängen unterbrechen.



Variante des 16-er Benes-Netzwerkes (ohne Verbindungen nach aussen)

Im Prinzip kann diese Variante des 16-Benes-Netzwerkes weit mehr als nur eine beliebige injektive Relation zwischen seine 16 Ein- und Ausgängen verschalten. Jedoch wurde der zugehörige Verschaltungsalgorithmus so implementiert, dass sich der elementare Baustein auf diese Funktionalität beschränkt. Dabei werden die Zustände der beiden linken und der beiden rechten Relaisreihen mit dem üblichen Algorithmus für Benes-Netzwerke ermittelt. Aus den Zuständen der fiktiven inneren, aber nicht vorhandenen Relais werden dagegen die Permutationen berechnet, die die inneren 4-er Benes-Netzwerke realisieren würden und als Input dem Verschaltungsalgorithmus für 4x4-Matrizen übergeben.

Sind nicht alle Ein- oder Ausgänge eines Benes-Netzwerkes belegt, so ist der Zustand einiger Relais undefiniert, d.h. es spielt theoretisch keine Rolle, ob das Relais auf ON oder OFF geschaltet wird, da die Verbindung zu den abschließenden Ausgängen durch Schließer

## Das Messplatzverschaltungsproblem

unterbrochen sind. In der Praxis werden diese Relais jedoch immer auf OFF geschaltet, da dadurch die Hardware weniger belastet wird.

## 3.2.4 Pseudo-Relaisbausteine

Die auf dem Messplatz ablaufende Testsoftware (Simulationssoftware) ist über A/D- und D/A -Karten in den Messplatz integriert. Dabei kann die Testsoftware in beliebiger Weise auf alle ein- und ausgehenden Kanäle zugreifen. Sie ist somit in der Lage innerhalb aller eingehenden bzw. aller ausgehenden Kanäle eine beliebige Relation zu realisieren. Da dies beim Suchen der Verschaltung einen wesentlichen Freiheitsgrad verschafft, werden Pseudo-Relaisbausteine mit einer der Anzahl der A/D- bzw. D/A-Kanäle entsprechenden Anzahl von Ein-/Ausgängen in die Messplatzmodellierung integriert. Diese können eine beliebige Relationen können. Um „Pseudo-„Relaisbausteine handelt es sich insofern, als sie keine Relaischaltung definieren, sondern eine Sourcecode-Datei generieren, in der die Zuordnung der Ein- bzw. Ausgänge als Definition von Integer-Konstanten abgelegt ist.

Pseudo-Relaisbausteine werden auch verwendet um die Struktur der Verdrahtung für einen Diagnoseadapter zu ermitteln.

## 3.3 Zusammengesetzte Einheiten

Einsteckkarten sind als zusammengesetzte Einheiten zu behandeln, die neben dem Messplatz selbst eine weitere Hierarchieebene definieren.

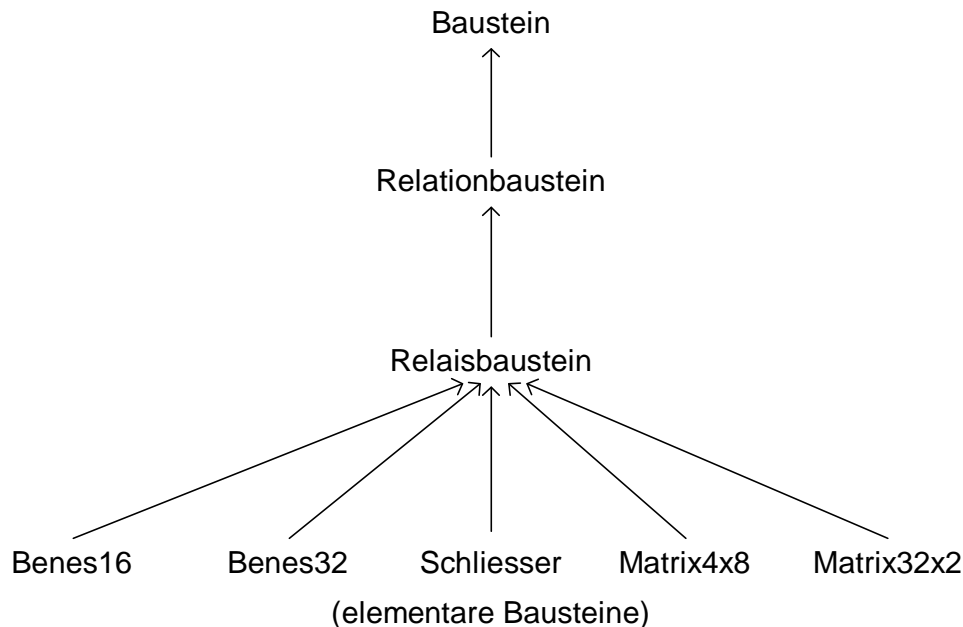
**Achtung!** Grundsätzlich kann der Strom in beide Richtungen durch eine Leitung bzw. ein Relais fließen, so dass eine äußere Kontaktstelle zunächst nicht eindeutig als Eingang oder Ausgang klassifiziert werden kann. Aus diesem Grunde wurde auf der Struktur des Messplatzes eine topologische Sortierung der Art vorgegeben, dass die Signale vom Sitzsteuergerät weg fließen. Für die D/A-Einsteckkarten ergibt sich damit die unerwartete Situation, dass die logischen Eingänge (Ausgänge) entgegen der eindeutigen Stromflussrichtung den physikalischen Ausgängen (Eingängen) entsprechen .

Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass sich bei Einsatz unterschiedlicher zu testender Geräten, (mit eventuell vertauschter Stromflussrichtung auf den Kontaktpins,) die Modellierung des Messplatzes nicht ändert und somit auch nicht je nach zu testendem Gerät nicht angepasst werden muss.

Dabei wird jedoch bewusst in Kauf genommen, dass durch den Übergang mögliche Lösungen für das Verschaltungsproblem von vorne herein ausgeschlossen werden. Dieser Nachteil könnte nur dann umgangen werden, wenn alle Algorithmen auf ungerichtet Graphen umgestellt würden.

## 3.4 Implementierungsdetails

### 3.4.1 Die Ableitungshierarchie



Ableitungshierarchie der Basisklassen und elementaren Bausteine.

Sowohl alle elementaren Bausteine als auch alle zusammengesetzten Bausteine (Schliesser2, Schliesser4, Schliesser8, Schliesser16, Schliesser32, Messkarte, Steuerkarte, Signalkarte, Signalbackplane, Signalmatrix, Powerkarte, Powerbackplane und Messplatz) sind von Relaisbaustein abgeleitet.

Trotz der Namensähnlichkeit von `Benes16` und `Benes32` ist zu beachten, dass es sich bei `Benes16` um eine spezielle Variante von Benes-Netzwerk handelt. Auch, wenn dem nicht so wäre, müssen für funktionsähnliche Familien von Bausteinen (z.B. `MatrixNxM`) mit unterschiedlicher Anzahl von Ein- bzw. Ausgängen immer eigene Klassen implementiert werden. Natürlich können diese von einer gemeinsamen Basisklasse abgeleitet werden, die die gemeinsame Funktionalität zur Verfügung stellt. Im Falle der `NxM`-Matrizen wird diese Funktionalität der Einfachheit halber von der Klasse `Relaisbaustein` zur Verfügung gestellt.

### 3.4.2 Die Basisklassen

Die Basisklasse `Baustein` stellt die grundsätzlichen Mechanismen für das Zusammenspiel von Bausteinen, Unterbausteinen und H-Netzen zur Verfügung. Über den Konstruktor

---

#### Das Messplatzverschaltungsproblem

werden die Anzahl der Ein- und Ausgänge, das H-Netz-Universum, sowie der Owner-Baustein festgelegt. Dabei ist der Owner-Baustein der in der Modellierungshierarchie nächst höherstehende Baustein, der den Baustein als Instanz beinhaltet, zu dem der Konstruktor gehört. Der Konstruktor informiert zum einen über die Methode `AddSubbaustein()` den Ownerbaustein über die Instanz des neuen Unterbausteins und bewirkt zum anderen über die Methode `CheckClassIsoType()` die Zuweisung eines passenden H-Netz-Isomorphietypen aus dem H-Netz-Universum. Dabei ist anzumerken, dass ein H-Netz-Isomorphietyp nur dann neu kreiert wird, wenn noch keine Instanz der abgeleiteten Bausteinklasse angelegt wurde und somit der an den Konstruktor übergebene Parameter `class_isoType` noch keinen gültigen Wert besitzt. Andernfalls, wird dieser H-Netz-Isomorphietyp der vorhandenen Instanzen übernommen. (Der H-Netz-Isomorphietyp ist somit für alle Instanzen einer Bausteinklasse identisch.)

Im engen Zusammenspiel mit dem Konstruktor wird von diesem auch die Methode `BuiltClassIsoType()` aufgerufen. Sie sorgt dafür, dass dem Baustein selbst, sowie allen Unterbausteinen ein passendes Subzentrum (mit Ein- und Ausgängen) zugeordnet wird. Zu anderen fordert sie die über `MakeConnections()` die abgeleitete Bausteinklasse auf, die Verbindungen zwischen den Aus- und Eingängen der Subzentren festzulegen, falls dies nicht schon geschehen ist. Das Festlegen der Verbindungen findet immer in Einheit mit der Kreation eines neuen H-Netz-Isomorphietypen statt.

Die Methode `MakeConnections()` ist für alle elementaren Bausteine eine leere Methode der Basisklasse `Baustein` und wird deshalb nur von den abgeleiteten Klassen für zusammengesetzten Bausteine implementiert. Umgekehrt darf nur im Konstruktor für elementare Bausteinklassen die von der Basisklasse `Baustein` bereitgestellte Methode `SetElementary()` aufgerufen werden.

Alle beteiligten Bausteinklassen sind indirekt von der Basisklasse `Baustein` abgeleitet.

Die Basisklasse `RelationBaustein` ist von `Baustein` abgeleitet und implementiert die Funktionalität zum Verwalten und berechnen der Relationen. Dabei wird über die Membervariable `m_injectiveRelation` entschieden, ob der Baustein nur injektive oder beliebige Relationen realisieren kann. Entsprechend markiert er bei Aufruf der Methode `SetMultipleFlags()` die Eingänge als „multiple“ Knoten, wenn beliebige Relationen realisiert werden können. Über die Methoden `PrepareRelationComputation()`, `DoRelationComputation()` und `FinishRelationComputation()` werden die Relationen berechnet und mit `SetRelationsElementary()` auf die Elementarbausteine verteilt.

Die Basisklasse `RelaisBaustein` ist von `RelationBaustein` abgeleitet und implementiert die Funktionalität zum Verwalten und Ermitteln der konkreten Relaisnummern aus den gefundenen Relationen. Diese Basisklasse wird auch dazu benutzt um die ermittelten einzuschaltenden Relais in eine Verschaltungsdatei einzutragen. Jede Basisklasse zur Modellierung eines zusammengesetzten oder elementaren Bausteins ist von `Relaisbaustein` abgeleitet.

---

## Das Messplatzverschaltungsproblem

### 3.4.3 Die Verflachung der Hierarchie

Die Hierarchie der Bausteininstanzen ist im Code fest zementiert und kann als solche nicht verflacht werden. Da nur das zugehörige H-Netz verflacht werden kann, ist es notwendig bei der Verflachung der zusammengesetzten Bausteine, in genau der Reihenfolge vorzugehen, wie die entsprechenden Objektinstanzen angelegt wurden. Zur einer Methode `Func()` existiert dazu immer auch eine Methode `FuncElementary()`. Letztere ruft für zusammengesetzte Bausteine rekursiv die selbe Methode für alle Unterbausteine auf. Für elementare Bausteine dagegen ruft sie die von diesen implementierte Methode `Func()`. Das heißt bei einem Aufruf von `FuncElementary()` in der obersten Bausteinhierarchie werden letzt endlich nur alle elementaren Baustein angesprochen und dies geschieht zudem genau in der Reihenfolge, wie sie den Subzentren im verflachten H-Netz entsprechen.

Bei der Verflachung der Hierarchie wird somit eine Reihenfolge eingehalten wie sie sich durch rekursive Funktionsaufrufe auf dem Stack widerspiegelt.