

**Erhaltungsmanagement der Strassenverkehrsanlagen,  
Generelle Fachkonzepte**

**Système de gestion de l'entretien des  
infrastructures routières,  
Conceptes généraux**

**MSE 99 / 00**

**Autoren:**

**HP. Lindenmann, Dipl. Ing. ETH, IVT, ETH, Zürich  
H. Bär, Dipl. Ing. HTL, Tiefbauamt des Kantons Graubünden, Chur  
Dr. R. Hajdin, Dr.-Ing. ETH, Grob und Partner AG, Winterthur  
C. Morzier, Dipl. Ing. ETH, Strassen – und Brückendepartement, Baudirektion  
des Kantons Freiburg, Freiburg  
Dr. A. Rafi, Dr.-Ing. ETH, RMB, Zürich  
Hr. Scheidegger, Dipl. El. Ing. ETH, vorm. ASTRA, IUB, Bern  
Chr. Scholer, Dipl. Ing. ETH, Tiefbauamt Basel-Landschaft, Liestal  
U. Welte, Dipl. El. Ing. ETH, Amstein + Walthert AG, Zürich**

**Expertenbericht der VSS-Fachkommission 7,  
Erhaltungsmanagement**

**Forschungsauftrag 15/00 auf Antrag der  
Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS)**

**Oktober 2000**

## VORWORT

### 1. Ausgangslage

Die Fachkommission 7, Erhaltungsmanagement der Vereinigung der Schweizerischen Strassenfachleute hat im Rahmen ihrer Expertentätigkeiten den heute aktuellen, grundsätzlichen Stand des Fachgebietes Management der Strassenerhaltung (MSE) zusammengetragen, beurteilt und neue, generelle Lösungsvorschläge für fehlende Grundlagen und vorhandene Mängel erarbeitet.

Die Sichtung und Beurteilung dieser Unterlagen zeigte zwei deutliche Mängel auf. Auf der einen Seite fehlen im MSE eine Begriffssystematik und in weiten Teilen auch die entsprechenden Begriffsdefinitionen. Andererseits bestehen zwar viele Grundlagen zum MSE der Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Ausrüstungen (Elektromechanischen Anlagen), aber es fehlt ihre Integration. Anders ausgedrückt, es existieren keine Grundlagen und keine Konzepte zur Verbindung von Massnahmenfolgen dieser drei Bereiche zu koordinierten Baustellen.

### 2. Generelle Fachkonzepte MSE99/00 der VSS FK 7

Die von Experten im Rahmen der Fachkommission 7 der VSS erarbeiteten generellen Fachkonzepte MSE99/00 zeigen Grundsätze zur Lösung der beiden oben erwähnten Mängel. Sie geben erstmals eine Begriffssystematik und zugehörige Begriffsdefinitionen zum Erhaltungsmanagement, legen einen standardisierten Prozess der MSE-Tätigkeiten fest, der für alle drei Bereiche gleich ist, und zeigen schliesslich ebenfalls erstmals einen vorläufigen, systematisierten Weg des Massnahmenmanagements und der koordinierten Baustellenplanung.

### 3. Bedeutung der generellen Fachkonzepte MSE99/00

Die unter Einbezug von Experten aus den Bereichen Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen, Kunstbauten und der Elektromechanischen Anlagen sowie der Baustellenplanung erarbeiteten Fachkonzepte MSE99/00 stellen die generelle Grundlage zur Vereinheitlichung, Systematisierung und Durchführung aller MSE-Tätigkeiten dar.

Die generellen Fachkonzepte MSE99/00 bilden zudem die Grundlage für sämtliche Normungsarbeiten und für die Festlegung der Forschungstätigkeiten der Fachkommission Erhaltungsmanagement der VSS.

Der Bericht gibt den aktuellen Stand per Ende 1999, anfangs 2000 wieder. Zur Zeit sind wesentliche Forschungsarbeiten zu den offenen Fragen im Gange. Die deutschsprachige Fassung des Berichtes ist nicht in allen Teilen identisch mit der französischen Fassung, weil einzelne Teile im Original in französischer Sprache verfasst wurden.

Die Verfasser

**INHALTSVERZEICHNIS**

	<u>Seite</u>
<b>0 EINLEITUNG</b>	1
<b>I GRUNDLAGEN</b>	3
1. Management der Strassenerhaltung (MSE)	3
1.1 Umfang und Hauptteile	3
1.2 Erhaltung	3
1.3 Abgrenzungen	4
2. Fragestellungen im Erhaltungsmanagement	5
2.1 Grundfragen	5
2.2 Managementfragen (Erhaltungsmanagement)	5
2.3 Optimierung der Massnahmen	7
2.4 Baustellenplanung	8
3. Zielsetzungen	9
3.1 Generelle Zielsetzung im Erhaltungsmanagement (MSE)	9
3.2 Spezifische Ziele des Erhaltungsmanagements	9
3.3 Ziele des Einsatzes von Werkzeugen für die Durchführung des MSE	10
4. Begriffe	11
4.1 Begriffssystematik und Hauptbegriffe	11
4.2 Wichtige Einzelbegriffe	14
4.3 Begriffe aus der Informatik	15
<b>II GENERELLE FACHKONZEPTE</b>	17
5. Fachkonzept Erhaltungsmanagement	17
5.1 Einleitung	17
5.2 Teilbereiche und Zusammenhänge	17
5.3 Tätigkeitsablauf im MSE (MSE-Prozess)	18
5.3.1 Grundsatz	18
5.3.2 Diagnose bzw. Zustandserfassung und -bewertung	18
5.3.3 Massnahmenplanung	20
5.3.4 Wahl der Massnahmen	20
5.4 Kosten	20
5.5 Anforderungen an die Teilsysteme	23
5.5.1 Zerfallszyklen (Zustandsentwicklung)	23
5.5.2 Optimierungsverfahren (Massnahmen)	24
5.5.3 Dringlichkeitsreihung	25
5.5.4 Erhaltungsobjekte (Teilabschnitte)	25
5.5.5 Optimierung und Koordination	26
5.6 Grundanforderungen an die Informatik	26
5.6.1 Anforderungen an die Teilsysteme	26
5.6.2 Struktur der einzelnen Softwareteile	26

6.	Fachkonzept Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen	28
6.1	Grundlagen	28
6.1.1	Ausgangslage	28
6.1.2	Zielsetzungen	28
6.1.3	Inventar	28
6.2	Tätigkeitsablauf (Arbeitsprozess)	29
6.2.1	Arbeitsschritte und Zusammenhänge	29
6.2.2	Zustandserfassung	30
6.2.3	Zustandsbewertung	31
6.2.4	Massnahmenplanung	31
6.2.5	Wahl der Massnahmen	32
6.3	Informatik-Werkzeuge	33
6.3.1	Ausgangslage	33
6.3.2	Datenbank	33
6.3.3	Managementsystem	34
6.3.4	Grundlagen für die Baustellenplanung	34
6.4	Anwendung	35
6.4.1	Gesamtverantwortung	35
6.4.2	Verantwortung für die Ausführung	35
6.4.3	Informationen	36
7.	Fachkonzept Erhaltungsmanagement Kunstbauten	36
7.1	Grundlagen	36
7.1.1	Ausgangslage	36
7.1.2	Zielsetzungen	37
7.1.3	Inventar	37
7.2	Haupttätigkeiten/Tätigkeitsablauf	39
7.2.1	Ablauf der Bauwerkserhaltung	39
7.2.2	Zustandserfassung	40
7.2.3	Zustandsbewertung	41
7.2.4	Massnahmenplanung	43
7.3	Informatik-Werkzeuge	44
7.3.1	Ausgangslage	44
7.3.2	Kunstbautendatenbank	44
7.3.3	Managementsystem	45
7.3.4	Grundlagen für das Massnahmenmanagement und die Baustellenplanung	45
7.4	Anwendung	46
7.4.1	Verantwortungsebenen	46
7.4.2	Informationsbedarf	46
7.4.3	Planung der Erhaltungsmassnahmen	47
8.	Fachkonzept Erhaltungsmanagement von Elektromechanischen Anlagen	47
8.1	Grundlagen	47
8.1.1	Ausgangslage	47
8.1.2	Zielsetzung	48
8.1.3	Inventar	48

---

8.2	Tätigkeitsablauf (Arbeitsprozess)	50
8.2.1	Arbeitsschritte und Zusammenhänge	50
8.2.2	Zustandserfassung	51
8.2.3	Zustandsbewertung	51
8.2.4	Massnahmenplanung	53
8.2.5	Wahl der Massnahmen	53
8.3	Informatik-Werkzeuge	54
8.3.1	Ausgangslage	54
8.3.2	Datenbank	54
8.3.3	Managementsystem	55
8.3.4	Grundlagen für die Baustellenplanung	55
8.4	Anwendung und Einsatz	56
8.4.1	Verantwortungsebenen	56
8.4.2	Funktionsbereiche und Benutzerprozess	56
8.4.3	Planung der Erhaltungsmassnahmen	57
9.	Fachkonzept Massnahmenmanagement und Baustellenplanung	57
9.1	Grundlagen	57
9.1.1	Grundsatz	57
9.1.2	Massnahmenmanagement	59
9.1.3	Baustellenplanung	59
9.2	Informatikwerkzeug Massnahmenmanagement und Baustellenplanung	60
<b>III</b>	<b>ANWENDUNG DES ERHALTUNGSMANAGEMENTS</b>	<b>61</b>
10.	Durchführung des MSE	61
10.1	Anwender Bund, Kantone und Städte	61
10.2	Unterstützung der Managementtätigkeit durch Informatik	61
10.3	Fachliche Aus- und Weiterbildung im MSE	62
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>63</b>

## 0 EINLEITUNG

Das schweizerische Strassennetz besteht aus rund 1600 km Nationalstrassen, 20'000 km Staats- und Kantonsstrassen sowie über 50'000 km Gemeindestrassen.

Die Erhaltung dieses Strassennetzes ist heute und in der Zukunft eine vorherrschende Aufgabe des Gemeinwesens, aber wegen knapper werdenden finanziellen Mitteln eine auch immer schwierigere Aufgabe.

Angesichts steigender Erfordernisse an dieses Strassennetz - mehr Verkehr, grössere Lasten, Erhöhung der Verkehrssicherheit, Vermeidung von Staus und Verminderung der Umweltbelastungen - muss grundsätzlich für die Erhaltung auch innerhalb noch wählbarer Komfortmasse mit grossen finanziellen Aufwendungen gerechnet werden.

International rechnet man allein für die Hauptaufwendungen baulicher Unterhalt und Erneuerung der gesamten Erhaltung mit 1 bis 2 % des Wiederbeschaffungswertes. Trotz teilweiser grosser Anstrengungen wurden in den letzten Jahren wesentlich geringere durchschnittliche Aufwendungen - z.B. Nationalstrassen 1996 knapp 0.4% - zur Erhaltung des Strassennetzes getätigt.

Da das schweizerische Strassennetz heute zu einem grossen Teil dank subtiler Beobachtung und Pflege durch Bund, Kantone und Gemeinden eine gute bis sehr gute Substanz aufweist und das Alter z.B. der Nationalstrassen noch verhältnismässig gering ist, werden sich im Moment die zu geringen Aufwendungen zur Erhaltung noch relativ wenig bemerkbar machen. Dieser gute Zustand der Verkehrsanlagen wird sich aber in absehbarer Zeit bei gleichbleibenden, geringen Aufwendungen vorerst langsam dann aber zunehmend rascher verschlechtern. Werden bestimmte Zeitpunkte der Durchführung von Erhaltungsmassnahmen verpasst, wird der Weg des optimalen Erhaltungsmanagements verlassen. Eine Rückkehr zur optimalen Erhaltungsstrategie ist in der Regel mit grossen Aufwendungen verbunden.

Soll das Strassennetz, auch unabhängig von der Festlegung des zukünftigen Komfortniveaus für die Benützer, langfristig unter der Randbedingung beschränkter finanzieller Mittel erhalten werden, ist zur optimalen Bewirtschaftung der Mittel ein Erhaltungsmanagement unumgänglich.

Zentral für die Durchführung dieses Erhaltungsmanagements sind Werkzeuge, die den einzelnen Verlauf des Zerfalls resp. der Zustandsentwicklung von Bauteilen der Verkehrsanlagen aufzeigen und dazu verschiedene Szenarien von Massnahmen sowie die dazu nötigen Aufwendungen zur langfristigen Erhaltung des Bauteils bekanntgeben. Die Optimierung erfolgt auf der Bauwerksebene oder über mehrere Bauwerke gemeinsam und wird über Teiloptimierungen der Fahrbahnen, der Kunstbauten und der Elektroanlagen erreicht. Die Optimierung wird anhand der finanziellen Aufwendungen der zu bestimmten Zeiten nötigen Erhaltungsmassnahmen und weiterer Zielgrössen durchgeführt.

Die Optimierung zeigt den Weg der optimalen Mittelbewirtschaftung über einen langen Zeitraum auf. MSE-Werkzeuge sind in der Lage, alle Auswirkungen veränderter Mittelszenarien auf den Gesamtzustand mehrerer oder aller Bauwerke im kurz-, mittel- und langfristigen Betrachtungszeitraum darzustellen.

Verschiedenste Studien der jüngsten Zeit bezüglich Notwendigkeit und Zweckmässigkeit des Erhaltungsmanagements prognostizieren neben Vorteilen für die Planung der Erhaltungsmassnahmen auch bedeutende finanzielle Einsparungen durch ein sorgfältiges Management (Erhaltung Fahrbahnen 4%, Erhaltung Kunstbauten 10 %).

Das Management der Strassenerhaltung ist Teil eines umfassenden Strassenmanagements. Dieses Strassenmanagement besteht im wesentlichen aus den Teilen:

- Planungs- und Baumanagement (Neubau)
- Verkehrsmanagement (Betrieb und Verkehrsbeeinflussung)
- Erhaltungsmanagement (Bauliche Erhaltung)

Die vorliegenden, generellen Fachkonzepte betreffen das Erhaltungsmanagement.

Die vorliegenden, generellen Fachkonzepte dienen folgenden Zwecken:

- Aufzeigen der Ziele, die mit dem Erhaltungsmanagement angestrebt werden
- Begriffssystematik, -festlegung und -beschreibung
- Darstellung der Hauptfragen im Erhaltungsmanagement
- Darstellung Ziele des Erhaltungsmanagements (MSE) und Ziele bei der Erhaltung der Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen
- Darstellung Inhalt, Ablauf, Werkzeuge, Hilfsmittel und Beteiligte in den Bereichen Erhaltung Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen
- Hinweise auf Methoden und Verfahren zur Optimierung der Prozesse und Entschiede, wie die Zustandsbewertung, die Massnahmenplanung und die Massnahmenwahl
- Definieren von Zusammenhängen und Gemeinsamkeiten, Anforderungen für das Gesamtmanagement (Optimierung, Koordination)
- Grundlage für verschiedene Normen VSS
- Aus- und Weiterbildung von Fachleuten im Bereich des Erhaltungsmanagements
- Vereinheitlichung von Begriffen, Arbeitsweisen und Hilfsmitteln im MSE

Die vorliegenden, generellen Fachkonzepte behandeln die Einzelbereiche der Erhaltung der Fahrbahnen, der Erhaltung der Kunstbauten und der Erhaltung der Elektromechanischen Anlagen nicht so detailliert, dass damit die Managementtätigkeiten auf einen einzigen Weg fixiert werden. Dies bedeutet, dass zwar Begriffe und Tätigkeitsabläufe vereinheitlicht werden, diese aber bezüglich Methoden und Werkzeuge zur Durchführung der Arbeitsschritte im Management genügend Spielraum für verschiedene Möglichkeiten offen lassen. Die generellen Fachkonzepte zeigen neue Wege im Bereich der Optimierung von Massnahmenfolgen (Baustellenmanagement) und der Koordination von Massnahmen (Planung von Baustellen). Die Verfahren und Methoden in diesem Bereich müssen in der Praxis weiter überprüft werden und sind zu verfeinern. Dazu sind auch verschiedene Forschungsarbeiten im Gang.

## I GRUNDLAGEN

### 1. Management der Strassenerhaltung (MSE)

#### 1.1 Umfang und Hauptteile

Das Management der Strassenerhaltung, kurz auch als Erhaltungsmanagement bezeichnet, befasst sich grundsätzlich mit allen Teilen einer Strassenverkehrsanlage, die dem Verschleiss und der Alterung ausgesetzt sind. Im Wesentlichen sind das die vier Hauptgruppen:

- Fahrbahnen (Fahrbahnoberfläche, Oberbau, Werkleitungen)
- Kunstbauten( Brücken, Tunnel, Stützbauwerke)
- Ausrüstungen (Elektromechanischen Anlagen, Energietransport, Beleuchtung, Lüftung, Steuerungen, Wegweisung, etc.)
- Nebenanlagen Werkhöfe, etc.

Sowohl Abgrenzungen als auch Zuordnungen von Einzelbauteilen resp. Anlageteilen werden nicht abschliessend geregelt. Es besteht auch kein Zwang dazu, weil die Behandlung der Managementfragen von dieser Zuteilung unabhängig ist und schliesslich bei den MSE-Gesamtbetrachtungen alle Teile zusammengeführt werden. Das Management der Strassenerhaltung befasst sich ja grundsätzlich mit der Erhaltung der Strassenverkehrsanlage in ihrer Gesamtheit.

#### 1.2 Erhaltung

Im übergeordneten Sinn umfasst die Erhaltung die Gesamtheit aller Massnahmen an den Strassenverkehrsanlagen zur Überwachung und Sicherstellung der Funktion des Bauwerkes, Bauteils oder Anlageteils. Dies bedeutet (vgl. SN 640 900):

- die dauernde Sicherstellung der Betriebsbereitschaft
- die Aufrechterhaltung der vollen Leistungsfähigkeit
- die Gewährleistung einer hohen Verkehrssicherheit
- ein bestimmtes Mass an Benutzerfreundlichkeit (Komfort)
- die langfristige Sicherstellung der Erhaltung der Substanz als Mittel für die Gewährleistung der Funktion.
- die Gewährleistung der Umweltverträglichkeit

Die dazu nötigen Vorkehrungen und Massnahmen sind:

- der betriebliche Unterhalt von Anlageteilen
- der bauliche Unterhalt (Reparatur, Instandsetzung, Verstärkung) sowie die Erneuerung von Anlageteilen
- die polizeiliche Verkehrsüberwachung und Verkehrsregelung auf bestimmten Anlageteilen

Diese Tätigkeiten können nicht losgelöst und einzeln durchgeführt werden resp. ablaufen, weil einerseits zur Sicherstellung der Zielsetzungen (Anforderungen) eine Vielzahl von Beziehungen zwischen den Tätigkeiten und Massnahmen bestehen und andererseits die Aufgabe keinen abgeschlossenen Zeitpunkt (wie beim Neubau) aufweist. Vielmehr sind alle Tätigkeiten eine Daueraufgabe, die entsprechende Planungen und Realisierungen in grösseren Zeiträumen erfordern. Dies macht sowohl Betrachtungen erforderlich über die Gesamtheit der Anlage, also Fahrbahnen, Kunstbauten, Ausrüstung und Nebenanlagen als auch die koordinierte Planung und Realisierung der Gesamtheit der Erhaltungsmassnahmen. Da heute auch das Erhaltungs-



management engen Begrenzungen der finanziellen Mittel unterzogen ist, ist die Mittelbewirtschaftung zwingend. Voraussetzung dafür ist die laufende Überprüfung und Optimierung der Gesamtkosten (rollende Planung).

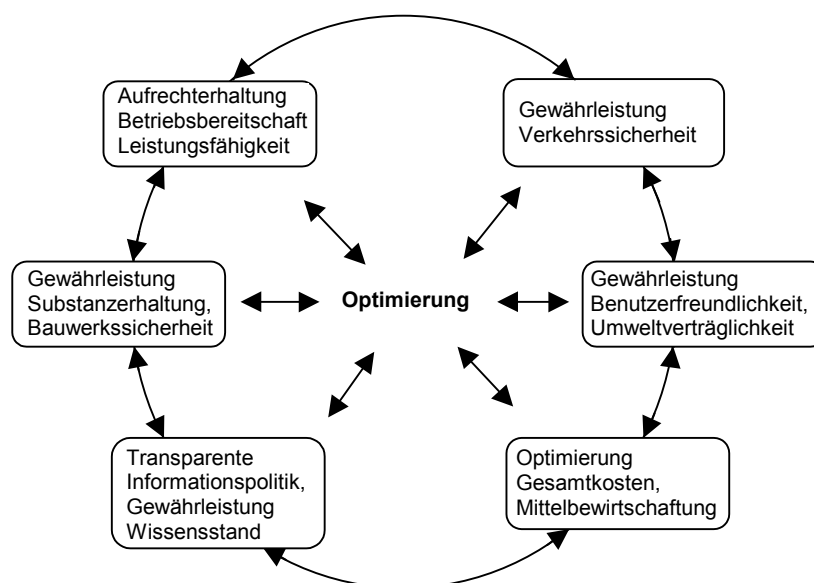


Abb. 1: Zielsetzungen zur Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen

### 1.3 Abgrenzungen

Die vorliegenden generellen Fachkonzepte behandeln:

- den baulichen Unterhalt zur Erhaltung der Fahrbahnen und Kunstbauten
- den betrieblichen Unterhalt und die Werterhaltung über eine bestimmte Dauer der Ausrüstung, vor allem der Elektromechanischen Anlagen

Sämtliche Tätigkeiten und Massnahmen zur Erhaltung von Fahrbahnen und Kunstbauten sind unter Berücksichtigung der Einflüsse des betrieblichen Unterhaltes zu betrachten. Bei den Tätigkeiten und Massnahmen des betrieblichen Unterhaltes der Elektromechanischen Anlagen sind ihre Konsequenzen auf die baulichen Erhaltung zu berücksichtigen.

Der Fachbereich des betrieblichen Unterhaltes von Fahrbahnen und Kunstbauten wird durch die FK 6 der VSS behandelt. Die Abgrenzung kann wie folgt sehr einfach umschrieben werden:

Dienen die betreffenden Tätigkeiten oder Massnahmen vor allem der mittel- und langfristigen Sicherstellung der Funktion und der Erhaltung der Substanz des Anlageteils oder der Gesamtanlage, werden sie dem baulichen Unterhalt für Fahrbahnen und Kunstbauten resp. dem betrieblichen Unterhalt der Elektromechanischen Anlagen zugeordnet (FK 7). Das heisst, dass der betriebliche Unterhalt der Fahrbahnen und Kunstbauten (Reinigung, Pflege, Winterdienst und Kleinreparaturen) von der Fachkommission 6 der VSS behandelt wird.

## **2. Fragestellungen im Erhaltungsmanagement**

### **2.1 Grundfragen**

Die Managementtätigkeiten geben grundsätzlich auf folgende Fragen Auskunft:

- Wo muss wann eingegriffen werden? Das heisst, welche Massnahme ist wann zu treffen um die beste Wirksamkeit (Kosten/Nutzen-Verhältnis) über einem längeren Zeitraum zu erhalten?
- Welche Massnahmen oder Folgen von Massnahmen sind über einen längeren Betrachtungszeitraum wann und wo zweckmässig bzw. wirtschaftlich optimal ?
- Mit welchen Mehraufwendungen ist über einen längeren Betrachtungszeitraum zu rechnen, wenn zeitweise weniger Mittel als die für die wirtschaftlich optimalen Durchführungszeitpunkte der Massnahmen zur Verfügung stehen?
- Welche Mittelverteilung für Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen führt langfristig zur grössten Wirksamkeit der eingesetzten Mittel?

Anhand dieser Grundfragen ergeben sich die eigentlichen Managementfragen.

### **2.2 Managementfragen (Erhaltungsmanagement)**

Basis für die Erstellung und Erarbeitung sämtlicher Hilfsmittel, Werkzeuge, Einrichtungen und Tätigkeiten im Erhaltungsmanagement sind konkrete Fragestellungen. Sie erlauben, einerseits die zur Beantwortung der Fragen nötigen Grundlagen (Daten) festzulegen und andererseits die Anforderungen an Werkzeuge und Hilfsmittel (Normen, Informatik etc.) abzuleiten.

Die konkreten Managementfragen im Bereich der Erhaltung der Fahrbahnen und Kunstbauten stellen sich wie folgt:

- Welche Einzelmassnahmen oder Massnahmenfolgen sind an Objekten oder Teilabschnitten und ganzen Bauwerken zur mittel- und langfristigen Erhaltung der Substanz nötig und möglich (Varianten)?
- Welche Massnahmen oder Massnahmenfolgen sind bezüglich Einzelbauwerk und bezüglich der Gesamtheit der Bauwerke wirtschaftlich optimal (= verursachen langfristig die geringsten Kosten)?
- Welche Auswirkungen auf die Bauwerkszustände ergeben sich mittel- und langfristig, wenn von der wirtschaftlich optimalen Folge von Erhaltungsmassnahmen abgewichen wird?
- Welche Massnahmen oder Massnahmenfolgen sind bei kurzfristig beschränkten Mitteln auszuwählen?

Die Bedeutung des Erhaltungsmanagements im überbauten Gebiet, also bei kommunalen und städtischen Strassennetzen, erfährt gegenüber den hier behandelten Aspekten einerseits wesentliche Ergänzungen und damit andererseits eine Gewichtsverlagerung. Währenddem im Bereich Fahrbahnen die Entwässerungseinrichtungen nicht miteinbezogen werden, bei den Elektromechanischen Anlagen elektrische Werkleitungen integriert sind, spielen weitere Werkleitungen sowie andere Einrichtungen im Trasse der Strasse in kommunalen und städtischen Strassennetzen als Ganzes die für den Unterhalt bestimmenden Grössen.

In den vorliegenden, generellen Fachkonzepten wird der wichtige Teil der Werkleitungen vorerst aus Gründen der Vereinfachung nicht behandelt. Ein systematischer Einbezug von Werkleitungen und weiteren Einrichtungen (z.B. Kabelverteilschächte, Zusammenführungsbauwerke, Pumpwerke, etc.) ist erst dann sinnvoll, wenn Werkleitungskataster ebenfalls in entsprechender elektronischer Form vorhanden sind und

Schnittstellen zu Managementsystemen bestehen. Zurzeit sind vielerorts solche Werkleitungskataster erst im Aufbau.

Für den Bereich der Ausrüstung, vor allem der Elektromechanischen Anlagen, stellen sich folgende Managementfragen:

- Welche Aktivitäten und Massnahmen sind für die Gewährleistung der Betriebssicherheit und zur Werterhaltung über eine bestimmte Dauer der Elektromechanischen Anlagen nötig und möglich (Varianten)?
- Welche Aktivitäten, Massnahmen und -folgen sind bezüglich Anlage und bezüglich Gesamtbauwerk wirtschaftlich optimal (=optimierte Lebenszyklen der Anlagen)?
- Welche Aktivitäten, Massnahmen und -folgen sind zwingend zur Gewährleistung der Betriebssicherheit bei kurzfristig beschränkten Mitteln?

Diese Fragen sind vorerst einzeln je Bereich Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen zu behandeln. Die Kombination von verschiedenen Szenarien der finanziellen Mittel je Bereich führt zu einer Reihe von Varianten als Grundlage für Beurteilungen der Mittelverteilung für den gesamten Erhaltungsbedarf.

Die Verbindung von wirtschaftlich optimalen Folgen von Massnahmen längerer Betrachtungsperioden der drei Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen (Ausrüstung) stellt einen komplexen Prozess dar. Er hat zum Ziel, Grundlagen zu erarbeiten, die zu koordinierten und bzgl. Gesamtaufwand minimierten Massnahmenpaketen aller drei Bereiche führen, die eine zeitlich und örtlich koordinierte Realisierung der Massnahmen ermöglichen. Dazu ist ein eigentliches, laufendes Massnahmenmanagement erforderlich. Unter den Zielfunktionen des langfristig minimalen Finanzaufwandes und der Sicherstellung eines wohl definierten Anlagezustandes (Qualitätsniveau), gilt es schliesslich für die laufende, kurzfristige Baustellenplanung zu realisierenden Massnahmenpakete und Erhaltungsabschnitte abzuleiten (vgl. Kapitel 9).

Die drei Schritte zeigt die folgende Abbildung:

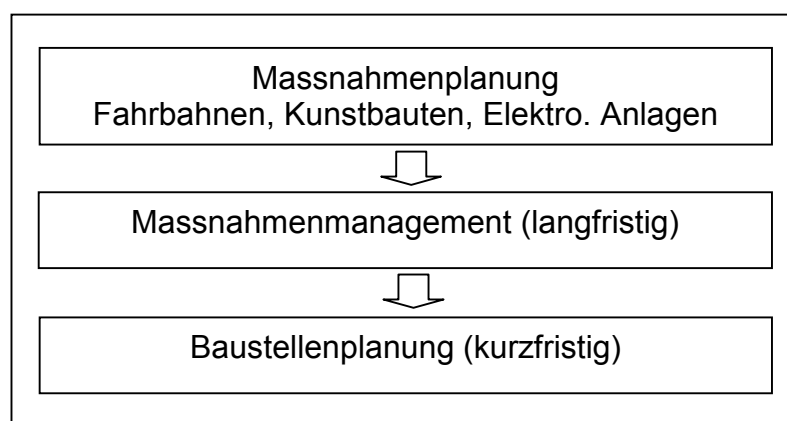


Abb. 2: Genereller Tätigkeitsprozess im Erhaltungsmanagement

### 2.3 Optimierung der Massnahmen

Zur Erreichung der verschiedenen Ziele des Erhaltungsmanagements (MSE) ist eine Optimierung der Massnahmenfolgen von Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischer Anlagen notwendig. Diese Optimierung ist eine anspruchsvolle Aufgabe im Tätigkeitsablauf des gesamten MSE. Es fehlen bis heute die dazu erforderlichen Hilfsmittel und Verfahren.

Die häufigsten Verfahren der Optimierung sind z. B. monetäre Bewertungen und multikriterielle Bewertungen. Nachfolgend sind sie kurz beschrieben:

- Monetäre Bewertung: Diese Methode besteht aus einer monetärem Quantifizierung aller Kriterien, welche zur Optimierung herangezogen werden.
- Multikriterielle Bewertung: Hier werden nebst monetär quantifizierbaren Kriterien auch andere Kriterien berücksichtigt, welche qualitativ und quantitativ (jedoch nicht nur monetär) beschrieben, respektive erfasst werden.

Die Ergebnisse dieses Optimierungsvorganges für längere Betrachtungsperioden bilden die Grundlagen für die Planung von Massnahmenfolgen (siehe Abbildung 3).

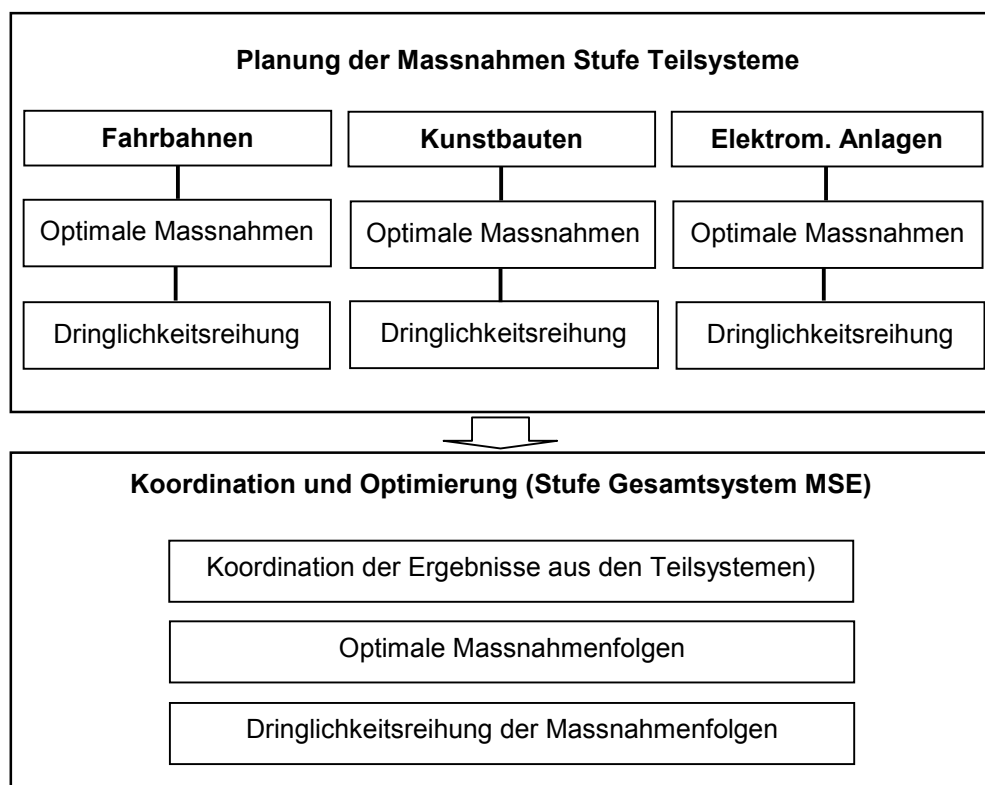


Abb. 3: Optimierung der Massnahmen

## 2.4 Baustellenplanung

Die Planung von Baustellen basiert auf den Grundlagen der optimierten Massnahmenfolgen der einzelnen Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten, und Elektromechanische Anlagen. Anhand dieser Grundlagen können kurzfristige (z.B. für ein Jahr), konkrete Bauprogramme zusammengestellt und die Ausführung geplant werden.

Für die Baustellenplanung werden aufgrund der Grundlagen des Massnahmenmanagements eigentliche Bauprogramme für die kommenden Jahre abgeleitet.

Dabei werden unter Berücksichtigung von Kompromissen bezüglich der optimalen Massnahmen für längere Planungsperioden, Massnahmenpakete zu koordinierten Bauprogrammen zusammengestellt, wo Erhaltungsmaßnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen gleichzeitig und örtlich im gleichen Abschnitt ausgeführt werden können. Die Auswahl erfolgt nach einem Optimierungsprozess mit Zielfunktion langfristig minimierter Gesamtaufwendungen für die bauliche Erhaltung sowie allfälliger, weiterer Kriterien.

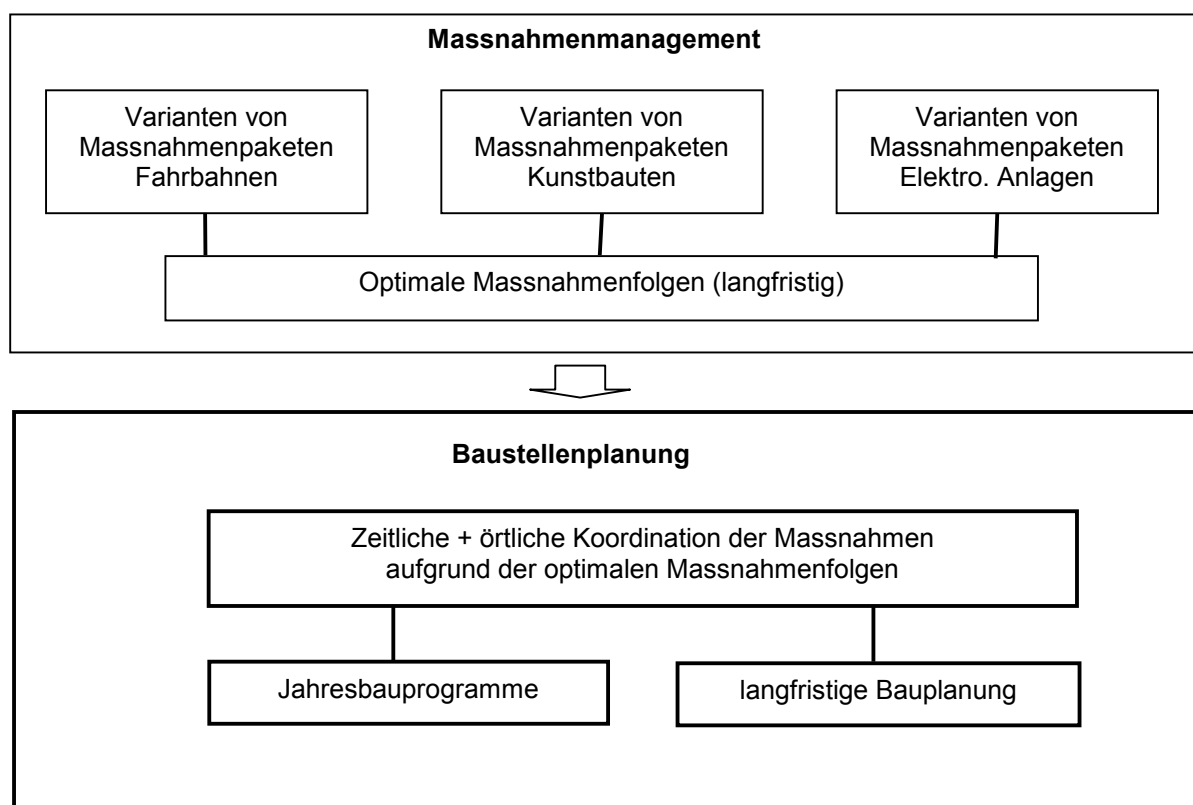


Abb. 4: Planungsvorgehen für koordinierte Baustellen

Vor allem bei starkbelasteten Strassen mit grosser Bedeutung und fehlenden Umgebungsmöglichkeiten (z.B. Nationalstrassen) ist aus Sicherheitsgründen und aus Wirtschaftlichkeitsgründen eine Koordination der Erhaltungsarbeiten an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen nötig. Damit wird das Ziel der Reduktion der Baustellenzahl und der Dauer der Arbeiten über grössere Betrachtungszeiträume angestrebt, so dass sich positive Auswirkungen auf die Sicherheit und die Wirtschaftlichkeit ergeben.

### 3. Zielsetzungen

#### 3.1 Generelle Zielsetzung im Erhaltungsmanagement (MSE)

Das Ziel des Managements der Strassenerhaltung (Fahrbahnen, Kunstbauten, Elektromechanische Anlagen) ist

die Schaffung von Entscheidungsgrundlagen für die Bereitstellung und optimale Bewirtschaftung der finanziellen Mittel für Unterhalt, Betrieb und Erhaltung von Verkehrsanlagen.

Dabei ist das Optimum des Gesamtmitteleinsatzes aller Objekte zwischen Substanzerhaltung, Verkehrssicherheit, Betriebsbereitschaft, Leistungsfähigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Umweltverträglichkeit gesucht.

Zur Erfüllung dieser generellen Zielsetzung bedarf es einer umfassenden Betrachtungs- und Beurteilungsweise auf den verschiedenen Ebenen (Bund, Kantone und Gemeinden, etc.).

Die vorliegenden, generellen Fachkonzepte behandeln primär den Teil der Substanzerhaltung.

Die Übertragung der generellen Zielsetzung im Erhaltungsmanagement auf den Aspekt der Substanzerhaltung führt zu folgenden Zielsetzungen:

- ① Schaffung von Entscheidungsgrundlagen für die optimale Mittelbewirtschaftung der Gesamtheit der Verkehrsanlagen (Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen) zur Realisierung der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen je für die Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen.
- ② Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen zur Wahl der zweckmässigsten Massnahmenfolgen bei zeitweise reduzierten finanziellen Mitteln.
- ③ Aufzeigen der Dringlichkeiten der einzelnen Massnahmenfolgen in den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen auf Netzebene unter Berücksichtigung der Ziele Verkehrssicherheit, Betriebssicherheit und Umweltverträglichkeit usw.

#### 3.2 Spezifische Ziele des Erhaltungsmanagements

Fahrbahnen:

- Langfristige Substanzerhaltung von Oberfläche und Oberbau
- Minimierung des finanziellen Aufwandes für die Gesamtheit der Erhaltungsmassnahmen über einen längeren Zeitraum.

Kunstbauten:

- Langfristige Substanzerhaltung von Bauwerksteilen und des Gesamtbauwerkes
- Erhaltung der Funktionsfähigkeit bestimmter Bauteile innerhalb der technischen Zustandsgrenzen
- Minimierung des finanziellen Aufwandes für die Gesamtheit der Erhaltungsmassnahmen über einen längeren Zeitraum.

Elektromechanische Anlagen:

- Dauernde Gewährleistung der Funktionsbereitschaft aller Anlagen und Einrichtungen
- Werterhaltung mit minimalem Aufwand innerhalb der technischen Zustandsgrenzen
- Optimierung des finanziellen Aufwandes für den Betriebsunterhalt und die Erneuerungskosten
- Minimierung des finanziellen Aufwandes für die Gesamtheit der Erhaltungsmassnahmen über einen längeren Zeitraum

### 3.3 Ziele des Einsatzes von Werkzeugen für die Durchführung des MSE

Für die Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen zur Planung von optimalen Massnahmenfolgen für den Unterhalt und zur Ermittlung von Dringlichkeiten zur Realisierung von Massnahmen werden verschiedene Werkzeuge und Hilfsmittel eingesetzt. Namentlich werden die folgenden heute und in Zukunft verwendet:

- Technische Normen (VSS, SIA, SEV etc.)
- Mess- und Prüfgeräte und -einrichtungen
- Informatik-Werkzeuge wie Datenbanken (DB), und Managementsysteme (MS) und Expertensysteme (ES)

Ziel und Zweck dieser Werkzeuge bestehen einerseits darin, die aufwendigen Arbeiten mit einer Fülle von Daten zweckmässig und wirtschaftlich bewältigen zu können. Andererseits erlauben Hilfsmittel im Bereich der Managementsysteme z.B. Optimierungsaufgaben zu lösen, die kaum manuell bewältigt werden können. Insbesondere auf der Netzebene, wo der Einbezug aller Bauwerke erfolgt, sind solche Werkzeuge und Hilfsmittel für eine objektive Beurteilung unabdingbar.

Normen:

Normen legen Begriffe fest und geben Definitionen von Grössen. Sie zeigen Verfahren und Methoden auf. Einzelne Normen legen auch Prüf- und Messverfahren fest. Normen geben aber auch über Qualitätsvorschriften Auskunft.

Datenbanken:

Datenbanken sind Informatik-Werkzeuge für die Verwaltung von Daten (als Abbild der Informationen über die Realität der Anlagen) und enthalten auch Funktionen für die Darstellung und Verarbeitung dieser Daten zu neuen Informationen.

Sowohl die qualitative Vielfalt und Komplexität als auch die Menge der zu berücksichtigenden Daten verlangt die Verfügbarkeit von Datenbanken.

Managementsysteme:

Managementsysteme werden durch Informatik-Werkzeuge unterstützt, welche aufgrund von Zustandswerten für Bauteile oder Bauwerke und standardisierten Massnahmen zusammen mit angenommenen Zustandsentwicklungen, Varianten von Massnahmenfolgen über lange Betrachtungszeiträume aufzeigen. Mit Hilfe von Kostenansätzen für standardisierte Massnahmen lassen sich die Massnahmenfolgen wirtschaftlich bewerten und optimale Folgen herausfiltern. In der Regel werden dazu Kosten/Nutzen-Verhältnisse untersucht. Damit lassen sich die Gesamtkosten für Massnahmenfolgen auf der Netzebene ermitteln. Diese sind wichtige Entscheidungsgrundlagen und Planungsinstrumente für die Realisierung der Erhaltungsmassnahmen.

## 4. Begriffe

### 4.1 Begriffssystematik und Hauptbegriffe

Die hier verwendete Begriffssystematik ist ein Kompromiss aus den verschiedensten zurzeit gültigen Grundlagen im Bereich des Baus, der Erhaltung und des Betriebs von Verkehrsanlagen. Je nach Zweck und Zielsetzung der Grundlage werden etwas unterschiedliche Begriffe verwendet, die aber im Grundsatz wenig variieren. Eine eigentliche Begriffssystematik, d. h. eine Hierarchie, systematische Gliederung und Einbettung der Begriffe in ein Ganzes fehlte bisher.

Als wichtigste Grundlagen, die Definitionen bzw. zumindest Umschreibungen zu einzelnen Begriffen geben, wurden die folgenden verwendet:

- Verordnung über die Nationalstrassen, Art.2., 18.12.95
- Normen der Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute (VSS), SN640 730, 640 900ff, 640 026
- Normen der Schweiz. Ingenieur- und Architekten (SIA), 469 „Erhaltung von Bauwerken“, von 1997 und 405 „Geoinformationen zu unterirdischen Leitung“ von 1998
- Normen des Schweiz. Elektrotech. Vereins (SEV)
- Begriffe aus der Informatik und aus dem Kostenmanagement
- Begriffe aus dem Verkehrsmanagement
- Management der Strassenerhaltung, Generelles Konzept, ASTRA, 30.10.97

Die folgende Übersicht enthält die Summe aller Tätigkeiten, umschrieben mit einem Sammelbegriff, für die Bereiche Bau, Erhaltung und Betrieb von Verkehrsanlagen.

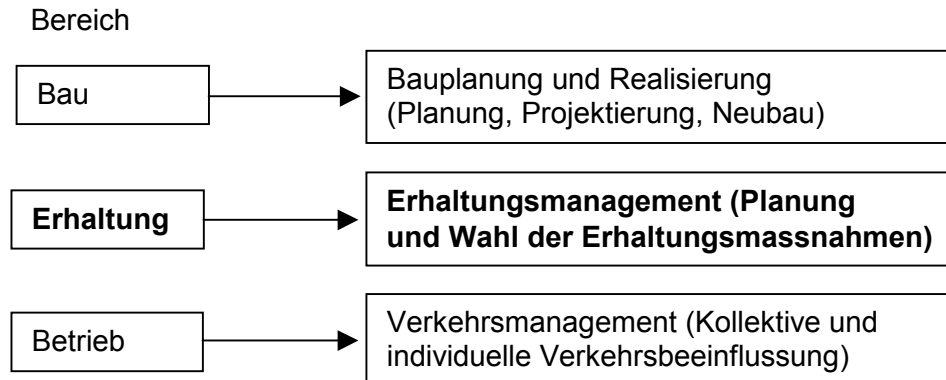


Abb. 5: Sammelbegriffe

Werden die Bereiche Bau, Erhaltung und Betrieb feiner aufgegliedert und die Tätigkeiten zwangsläufig infolge der unterschiedlichen Tätigkeitsarten in die Anlagebereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen unterteilt, resultiert eine übergeordnete Begriffssystematik. Sie enthält die bekannten und in den erwähnten Grundlagen verwendeten Begriffe.



Bau, Unterhalt und Betrieb von Verkehrsanlagen (Begriffssystematik, Tätigkeitsprozesse)

		Trasse (Fahrbahnen)	Kunstbauten	Ausrüstungen	Nebenanlagen
Anlageteil	Tätigkeit				
	BAU	<i>Bauplanung und Ausführung</i> Generelles Projekt Bauprojekt Ausführungsprojekt Neubau	Generelles Projekt Statische Berechnung Ausführungsprojekt Neubau	Energiesystem Apparate / Anlagen Projekte Neubau	Gestaltungskonzept Projekte Neubau
ERHALTUNG	Überwachung Kontrolle	<i>Erhaltungsmanagement</i> Zustandskontrolle Zustandserfassung Zustandsbewertung Kontrollmessungen	Beobachtung Inspektion Kontrolle / Überprüfung Funktionskontrolle	Anlagekontrolle Funktionskontrolle Inspektion Kontrollarbeiten Wartung Mängelbehebung	Anlagekontrolle Wartung Mängelbehebung Instandsetzung Erneuerung
	Betrieblicher Unterhalt	Reinigung, Pflege Winterdienst Kleinreparatur	Instandhaltung		
	Baulicher Unterhalt	Reparaturen Instandsetzung Verstärkung Erneuerung	Instandsetzung Erneuerung	Werterhaltung innerhalb Zustandsgrenzen	
BETRIEB	Verkehrsablauf	<i>Verkehrsmanagement</i> Verkehrsregelung, Dynamische Erfassung Verkehrsablauf			Überwachungszentrale
	Kollektive- Beeinflussung	Informationssystem, Verkehrsleit- und -lenkungssysteme			Beeinflussungszentrale
	Individuelle- Beeinflussung				Individuelle Fahrzeug- Zielführungssysteme

Abb. 6: Begriffssystematik

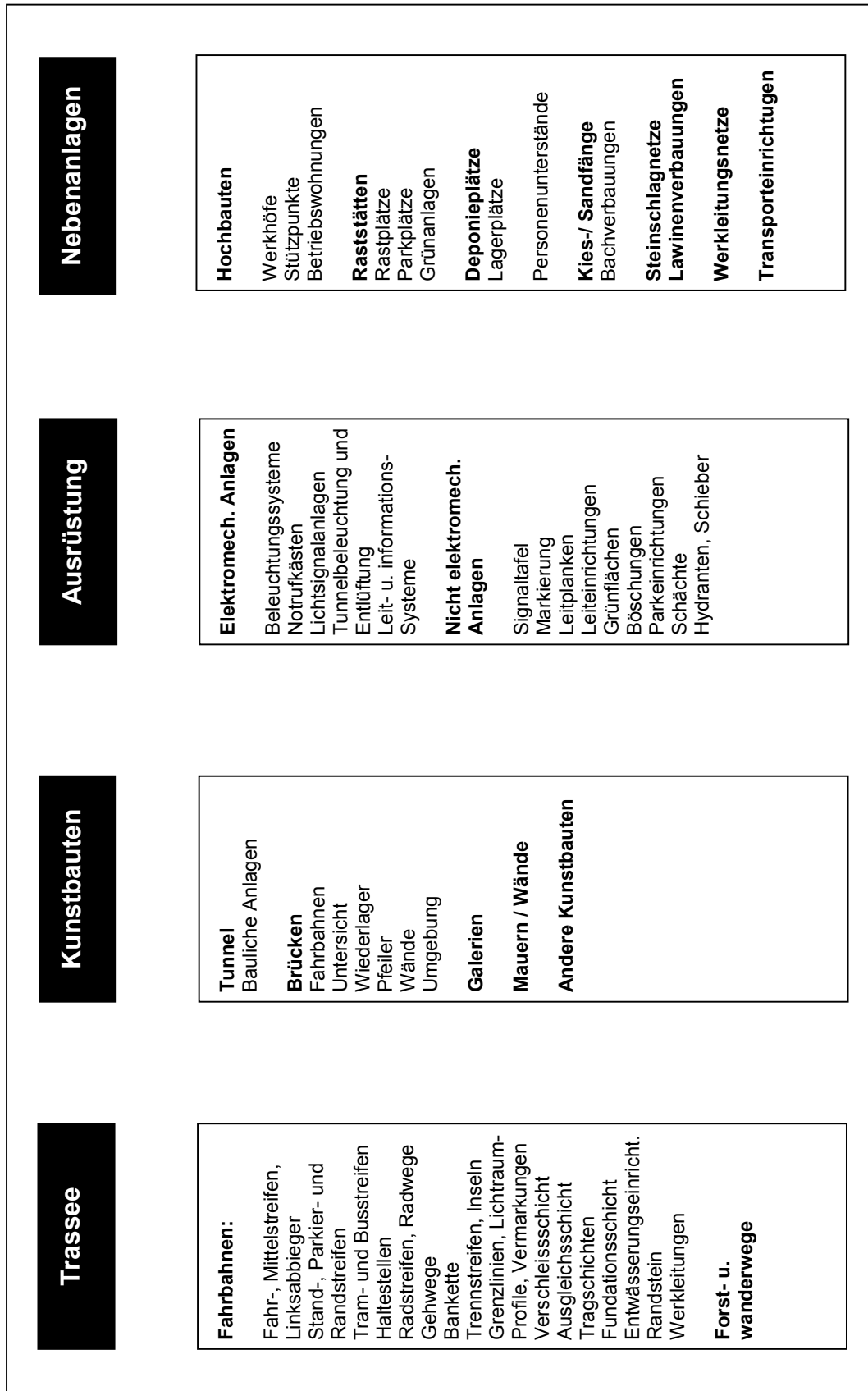


Abb. 7: Teilsysteme und Elemente

Diese Begriffssystematik enthält im Mittelteil den Bereich Erhaltungsmanagement.

Für den logischen Begriff Erhaltungsmanagement wird auch der Begriffe Management der Strassenerhaltung (Strasse als Sammelbegriff für alle Anlageteile) verwendet.

Die Begriffe zum Erhaltungsmanagement werden in den Einzelfachkonzepten zu den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen weiter verwendet und weiter gegliedert.

## **4.2 Wichtige Einzelbegriffe**

Objekt / Teilabschnitt:

Bauwerk, Strassenteilstück oder Element einer Elektromechanischen Anlage für das eine bestimmte Massnahme zu einem bestimmten Zeitpunkt für die langfristige Erhaltung durchgeführt werden muss.

Wiederbeschaffungswert:

Der Wiederbeschaffungswert ist der an einem bestimmten Zeitpunkt geknüpfte Wert der Anlage oder des Anlageteils in Franken, wenn die Anlage zu diesem Zeitpunkt neu erstellt werden müsste.

Substanzwert:

Der Substanzwert ist der an einem bestimmten Zeitpunkt geknüpfte Wert einer Anlage oder eines Anlageteils, beim betreffenden Zustand. Er kann in Franken oder skaliert angegeben werden.

Nutzwert:

Der Nutzwert ist der an einem bestimmten Zeitpunkt geknüpfte Wert einer Anlage oder eines Anlageteils angedrückt im Nutzungspotential. Der Wert ist in der Regel skaliert.

Wirtschaftlich optimale Folgen von Massnahmen (Massnahmenpakete):

Folge von Erhaltungsmassnahmen über einem längeren Zeitraum mit der grössten Wirksamkeit (=maximale Summe Nutzen/Kosten aller Einzelmassnahmen der Massnahmenfolge) und dem geringsten finanziellen Gesamtaufwand.

Optimale Massnahmenfolge:

Folge von Erhaltungsmassnahmen über einem längeren Zeitraum mit der grössten Wirksamkeit unter bestimmten finanziellen Aufwendungen (vorgegebenes Budget).

Massnahmenmanagement:

Das Massnahmenmanagement ist ein Evaluationsprozess der Massnahmenfolgen zur Bestimmung von zweckmässigen Planungsgrundlagen für grössere Zeiträume (z.B. 20 –30 Jahre). Dabei werden Folgen von Erhaltungsmassnahmen aus den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen miteinbezogen. Das Massnahmenmanagement beinhaltet neben dieser Zusammenführung von Erhaltungsmassnahmen einen Optimierungsprozess (wirtschaftliche Optimierung, Zieloptimierung u. a. m).

Baustellenplanung:

Die Baustellenplanung ist die koordinierte Zusammenstellung der Massnahmenfolgen von Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen für die kurzfristige Ausführung (z. B. im nächsten Jahr oder innerhalb der folgenden zwei Jahre).

Die für die Realisierung vorgesehenen Massnahmenfolgen werden anhand der Dringlichkeiten aus den zweckmässigsten Massnahmenfolgen des Massnahmenmanagements bestimmt. Sie können von den wirtschaftlich optimalen Folgen von Massnahmen abweichen.

### 4.3 Begriffe aus der Informatik

Eine Begriffssystematik zu den Informatikbegriffen ist im Rahmen dieser Fachkonzepte deshalb nicht erforderlich, weil sich der vorliegende Bericht nur am Rande mit den Informatikwerkzeugen beschäftigt. Immerhin seien die wichtigsten im folgenden verwendeten Begriffe der Informatik hier für die Belange des Erhaltungsmanagements beschreiben bzw. erläutern.

Informatikwerkzeuge:

Hilfsmittel zur Unterstützung von Arbeitsschritten im Tätigkeitsablauf der Massnahmenplanung des Erhaltungsmanagements.

Datenbanken (DB) (vereinfacht):

Informatikwerkzeug für die Speicherung, Wartung und den Abruf von Daten zur Verwendung für Berechnung oder Darstellungen bei der Massnahmenplanung.

Datenkataloge (DK):

Systematische Zusammenstellung von in den Datenbanken und Managementsystemen (MS) verwendeten Grössen mit Symbol (Code), Attribut, Erläuterung, Format und Wertebereich.

Basisdaten:

Unter den Basisdaten werden folgende Datengruppen verstanden:

- Anlagedaten (Beschreibung Anlageort, Anlageart und –abmessungen etc.)
- Beanspruchungsdaten (Verkehrsbelastung, Gewichtsbelastung etc.)
- Betriebsdaten (von z. B. elektromech. Anlagen)

Zustandsdaten:

Unter Zustandsdaten werden Zustandswerte bestimmter Zustandsgrössen verstanden, die ein Qualitätsmass eines Zustandes beschreiben und für einen bestimmten Zeitpunkt gelten.

Kerndaten:

Minimal erforderliche Daten für die Bearbeitung der Aufgaben im Managementsystem. Es ist ein Datensatz aus Basis- und Zustandsdaten.

Allgemeine Daten (Sockeldaten):

Als Allgemeine Daten (Sockeldaten) werden bestimmte Basisdaten bezeichnet, die identische Ausprägung in den verschiedenen Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Ausrüstung haben (z. B. Ortslage, Eigentümer etc.).

**Managementsystem (MS):**

In der Regel durch Informatikwerkzeuge unterstützter, systematischer Prozessablauf zur Planung der Erhaltungsmassnahmen. Informatikwerkzeuge für die Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Folgen von Massnahmen am Einzelobjekt (Projektebene) und an einer Vielzahl von Objekten (Netzebene). Das Werkzeug ermöglicht weiter die Ermittlung von Varianten von Massnahmenfolgen unter bestimmten finanziellen Voraussetzungen (Budgetszenarien). Managementsysteme werden für die mittel- und langfristige Massnahmenplanung benötigt.

## **II      GENERELLE FACHKONZEPTE**

### **5.      Fachkonzept Erhaltungsmanagement**

#### **5.1    Einleitung**

In den Fachkonzepten werden die fachtechnischen Anforderungen sowohl an die MSE-Tätigkeiten (Tätigkeitsablauf) als auch an die Hilfsmittel zur Durchführung der Tätigkeiten (Informatik-Werkzeuge) aufgrund der Zielsetzung und der im MSE zu beantwortenden Fragen festgesetzt und beschrieben.

Dabei werden nicht nur die Anforderungen im Sinne von Forderungen angegeben, sondern vor allem auch die damit zu erreichende Wirkung (Ergebnisse) festgestellt.

Die Ableitung bzw. Formulierung von Anforderungen und Wirkungsweisen bei MSE-Tätigkeiten und von Hilfsmitteln zu deren Durchführung, sind auf die zukünftigen MSE-Arbeitsweisen (gemäss Bericht Substanzerhaltung der Nationalstrassenwerke, Massnahme 6) in den Verwaltungen sowie auf deren besondere, föderalistische Struktur ausgelegt. Damit werden erhöhte Anforderungen an die Behörden und die MSE-Verantwortlichen bei Bund, Kantonen, Städten und Gemeinden gestellt. Sie sind indessen sowohl zur zielgerichteten Verwendung der finanziellen Mittel zur Substanzerhaltung der Infrastruktur der Verkehrsanlagen als auch zur Verbesserung der Sicherheit der Benutzer zwingend erforderlich.

Die in Einzelteilen anspruchsvolle Materie (Mathematik, Statistik, Materialtechnologie, Informatik) der Fachkonzepte wird hier vereinfacht dargestellt mit dem Zweck, die Philosophie des Erhaltungsmanagements zu vereinheitlichen und allgemein verständlich zu machen. Zur praktischen Umsetzung der fachlichen und informatikbezogenen Anforderungen bedarf es einer weiteren Spezifizierung, die in entsprechenden Detailfachkonzepten zu regeln sind.

#### **5.2    Teilbereiche und Zusammenhänge**

Das Management der Strassenerhaltung MSE kann vereinfacht in sechs Tätigkeits- und Wirkungsbereiche gegliedert werden, die miteinander in verschiedenen Beziehungen stehen.

Es sind dies die in sich geschlossenen, weitgehend unabhängigen Teilsysteme Erhaltungsmanagement Fahrbahnen, Erhaltungsmanagement Kunstbauten, Erhaltungsmanagement Elektromechanische Anlagen und Erhaltungsmanagement Nebenanlagen (vgl. Abb. 8).

Die Tätigkeiten (Prozesse) in den Teilsysteme basieren auf Daten(Teilsystem 5), die aus entsprechenden Datenbanken für Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen entnommen werden und einen einheitlichen, gemeinsamen Teil von Daten (Sockeldaten) enthalten.

Das sechste Teilsystem ist ein System, das auf den Ergebnissen der Teilsysteme Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen basiert und Grundlagen für die Tätigkeiten Massnahmenmanagement und Baustellenplanung bearbeitet bzw. bereitstellt.

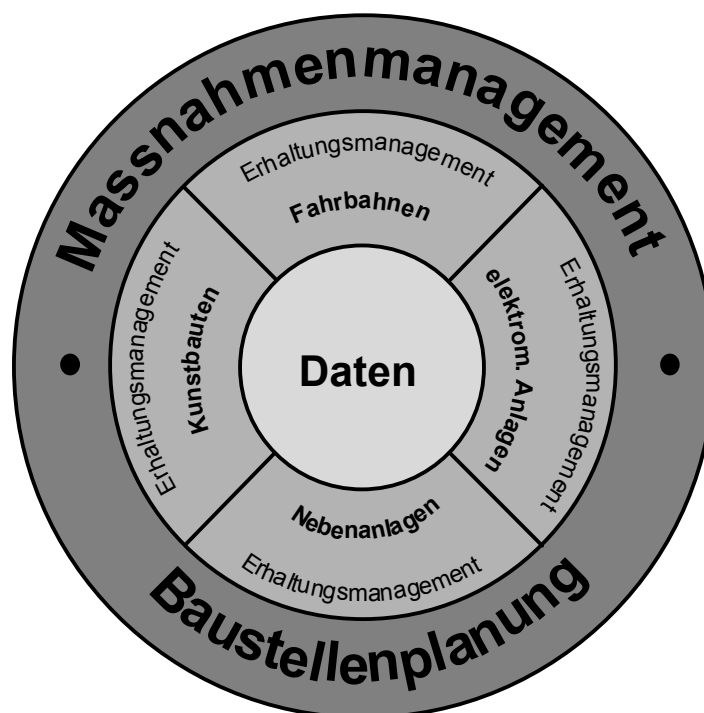


Abb. 8: Teilsysteme des Erhaltungsmanagements

Es enthält einerseits Verfahren zur Optimierung der Massnahmenfolgen der drei Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen für längere Zeiträume (z.B. 20 Jahre Massnahmenmanagement). Andererseits lassen sich bei vorgegebenen finanziellen Mitteln für die Erhaltung Grundlagen für die kurzfristige Baustellenplanung (z.B. für das nächste oder übernächste Jahr) ableiten. Damit können örtlich und zeitlich koordinierten Baustellen gebildet und eine Gesamtplanung der Baustellen über das Netz oder Teilnetz durchgeführt werden.

### 5.3 Tätigkeitsablauf im MSE (MSE-Prozess)

#### 5.3.1 Grundsatz

Zentrale Bedeutung kommt im Erhaltungsmanagement den Tätigkeitsabläufen zu. Diese Tätigkeitsabläufe beschreiben die Einzelschritte und die Verknüpfung der Ergebnisse der einzelnen Arbeitsschnitte. Die Managementtätigkeiten können für alle drei Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen einheitlich umschrieben werden. Die Abfolge dieser Tätigkeiten in einzelnen Arbeitsschritten, ist in der Abbildung 9 dargestellt. Sie werden im folgenden kurz, einzeln beschrieben.

#### 5.3.2 Diagnose bzw. Zustandserfassung und -bewertung

Das Ziel dieser Tätigkeiten besteht darin, den Zustand der Fahrbahnen, des Bauteils oder der Anlage zu erfassen und zu bewerten (visuell, messtechnisch). Die anschließende Analyse erlaubt erste Entscheide, wie z.B. das Treffen von Sofortmassnahmen oder die Anordnung betrieblicher Unterhaltmassnahmen.

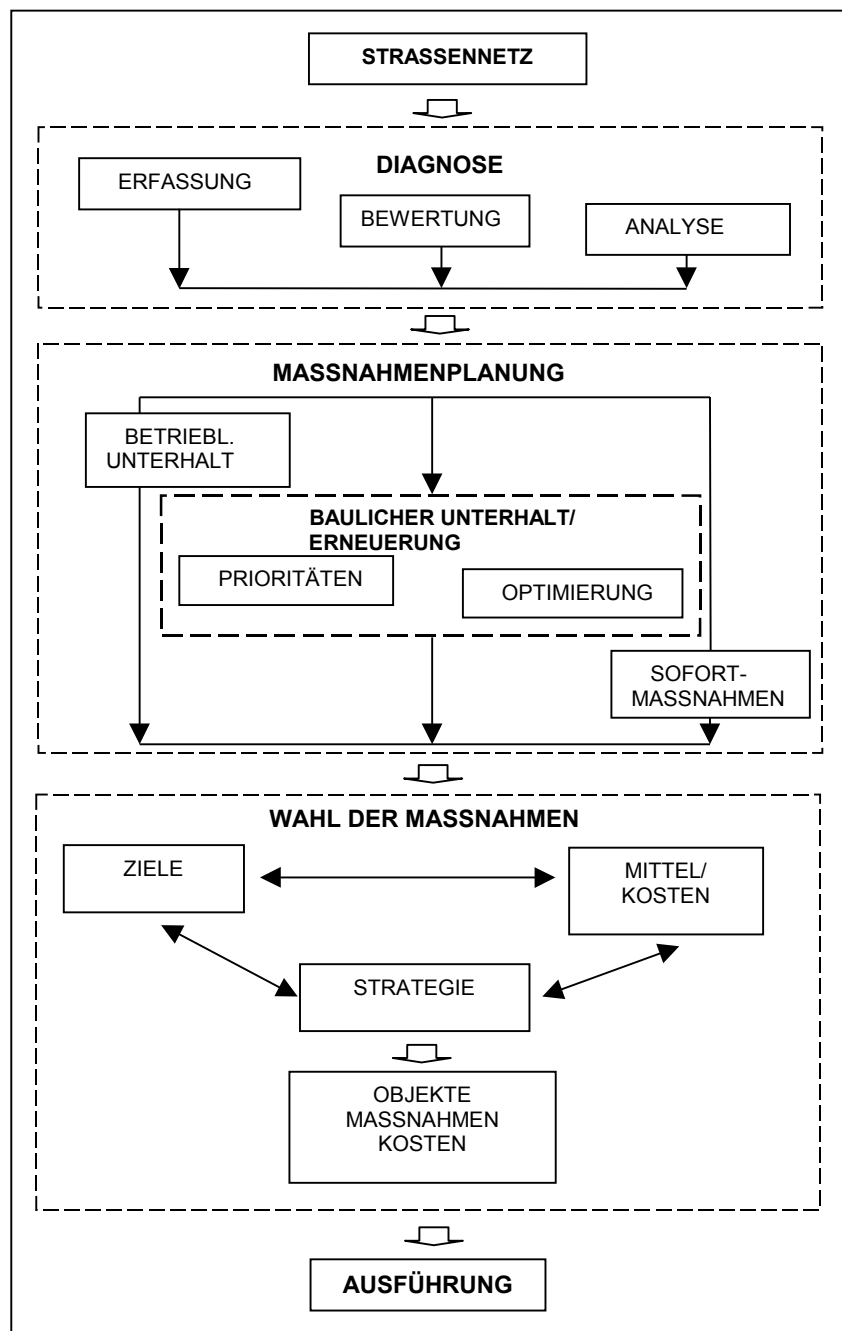


Abb. 9: Genereller Tätigkeitsablauf im Erhaltungsmanagement

Das Resultat der Diagnose ist eine Übersicht über den Zustand der Einzelobjekte. Die Zustände werden in der Regel in dimensionslosen Grössen beschrieben, damit eine einfache Bewertung vorgenommen werden kann (z.B. Indexwerte, Zustandsklasse etc.). Die Analyse der Bewertung ist die Grundlage für die Festlegung von Massnahmen (verschiedene Varianten) und Massnahmenfolgen zur mittel- und langfristigen Sicherstellung der Substanzerhaltung.



### 5.3.3 Massnahmenplanung

Die Massnahmenplanung basiert auf den Ergebnissen der Diagnose. Für die Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen werden verschiedene Verfahren zur Ableitung der wirtschaftlich optimalen Erhaltungsmaßnahmen verwendet. Sie richten sich nach den in den drei Bereichen verwendeten Strategien zur Erhaltung der Substanz.

Während aus der Diagnose Grundlagen für die Ableitung der Sofortmassnahmen und die Festlegung der Massnahmen im betrieblichen Unterhalt rasch vorliegen, müssen die Massnahmen im Bereich baulicher Unterhalt und Erneuerung über die Schritte Prioritäten (Dringlichkeit) und Optimierung ermittelt werden.

Die Festlegung von Prioritäten richtet sich in den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen weitgehend nach den vorgegebenen Sicherheitsanforderungen. Für die Durchführung der Optimierung sind geeignete Verfahren bekannt. Diese Optimierung erlaubt, diejenigen Massnahmen bzw. -folgen zu bestimmen, die mittel- und langfristig zur Substanzerhaltung wirtschaftlich am günstigsten (optimal) sind.

### 5.3.4 Wahl der Massnahmen

Je Teilsystem betrachtet, ist das Resultat der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen die Grundlage für die Wahl der Massnahmen für bestimmte Realisierungszeitpunkte. Dabei lassen sich gleichzeitig auch Dringlichkeiten für die Realisierung aufgrund verschiedener Gesichtspunkte berücksichtigen. Diese beeinflussen die Wahl der Massnahmen und die Ausführungszeitpunkte erheblich.

Nebst den wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen für Abschnitte oder Einzelobjekte fallen Varianten von Massnahmenfolgen an, die unter bestimmten Voraussetzungen ebenfalls zweckmässig sind. Soll eine koordinierte Baustellenplanung unter Berücksichtigung von Massnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen erfolgen, müssen verschiedene Varianten von Massnahmenfolgen (inkl. der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen) aller drei Bereiche einbezogen werden. Unter vorgegebenen Randbedingungen lassen sie sich zu koordinierten Baustellen zusammenfassen, so dass die Arbeiten im gleichen Zeitfenster realisiert werden können.

Entscheidenden Einfluss auf die Formulierung der Varianten haben die je Teilsysteme resp. im Gesamten zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel. Sowohl die Gesamtsumme als auch die Verteilung unter den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen spielt eine wesentliche Rolle bei der Ableitung der Massnahmenfolgen.

## 5.4 Kosten

In diesem Abschnitt wird die Anwendung der Kosten sowohl im Gesamtsysteme MSE, als auch in seinen einzelnen Teilbereichen, sowie die Verfahren zur wirtschaftlichen Vergleichsuntersuchung erläutert.

Die Anwendung der Kosten als einer der bedeutendsten Entscheidungsfaktoren im MSE ist sehr vielfältig. Nachfolgend werden einige Anwendungen erwähnt (Quelle VSS-Forschungsauftrag 21 /99).

- Vergleichsuntersuchungen zwischen Massnahmenvarianten oder alternativen Strategien (auf Basis sowohl betriebswirtschaftlich, als auch gesamtwirtschaftlich relevanter "Zusatzkosten")
- "Whole life costing": Berechnung der Gesamtkosten, bezogen auf ein Objekt und für einen bestimmten, längerfristigen Zeitraum, unter Berücksichtigung einer allgemeinen wirtschaftlichen Entwicklung (ausgedrückt in Höhe des zur Aktualisierung der Kosten anzuwendenden Zinsfusses) und des "Restwertes" der Strassenverkehrsanlage.
- Einfache Kostenberechnung der Massnahmen im Sinne Vor- oder Nachkalkulation (statische Investitionsberchnung auf der Basis von Vollkosten).
- Kennzahlen: Ermittlung von diversen Kennzahlen, in deren Zusammensetzung die Kosten als Komponente beteiligt sind, wie "Lebensdauer / Massnahmenkosten", "Zielertragswert / Massnahmenkosten", etc.
- Controlling: Massnahmenkosten können während der Realisierung (nach Abschluss einer Bauetappe) und nach der vollständigen Durchführung als Teil des Controlling, im Sinne Projektsteuerung (Projektmanagement) verwendet werden. (Daneben werden Zeit, Qualität und andere Merkmale auch herangezogen).
- Benchmarking: Kosten werden als Vergleichsgrösse für Leistungsbeurteilung mehrerer analogen Funktionseinheiten ermittelt, um daraus sowohl (führungs- und organisationsbedingten) Handlungsbedarf zu erkennen, als auch Lernprozesse (auf operativer Ebene) in Gang zu setzen.

Darüber hinaus können Kosten als Kriterium für noch weitere Entscheide im MSE, wie Outsourcing von Funktionen, Prozessen und Tätigkeiten verwendet werden (in der Regel in Kombination mit anderen Kriterien, wie Leistung, Qualität, Sicherheit, etc.).

Die Kosten werden im MSE nach ihren Ursachen differenziert und erfasst. Es sind der bauliche und der betriebliche Zustand der Strassenverkehrsanlage sowie die Baustellen. Die Gesamtkosten lassen sich durch Addition der einzelnen Komponenten aus der genannten Ursachen errechnen. Zudem müssen die Kosten einer bestimmten Strecke (in der Regel) eines Strassenabschnittes zugeordnet werden, so dass die Erhaltungskosten einzelner Anlagen (z.B. eines Notrufkastens) als Kostenkomponente des dazugehörenden Strassenabschnittes berücksichtigt werden.

Grundsätzlich werden die Kosten im MSE und in den einzelnen Teilbereichen insbesondere in der Phase Planung zur Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Massnahmen, bzw. Massnahmenfolgen in Betracht gezogen. Diese Kosten bestehen nicht nur aus den „Massnahmenkosten“, sondern wie bereits dargelegt, beinhalten sie weitere Komponenten und müssen sich auf die gesamte Lebensdauer der betrachteten Objektgruppen beziehen (sogenannte „whole life costs“). Dies ermöglicht einen präzisen und umfassenden Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen den alternativen Massnahmenfolgen durchzuführen.

Die Kosten im Erhaltungsmanagement lassen sich wie folgt gliedern:

Kostenarten	Komponenten		
Objektkosten (Betreiberkosten)	Neubaukosten	Erhaltungskosten	Verwaltungskosten
Strassennutzerkosten (Benutzerkosten)	Fahrzeitkosten	Fahrzeugbetriebskosten	Unfall- und Unfallfolgekosten
Drittkosten	Umweltkosten		Anwohnerkosten

Tab. 1: Kostengliederung im Erhaltungsmanagement

Die Kostenermittlung wird, je nach Bedarf, entweder nach betriebswirtschaftlicher oder nach gesamtwirtschaftlicher Methode erfolgen. Während die betriebswirtschaftliche Methode nur die Objektkosten berücksichtigt, werden bei der gesamtwirtschaftlichen Methode zusätzlich noch die Strassennutzerkosten und (wenn verfügbar) die Drittkosten einbezogen.

Aus der Sicht des MSE, das eine umfassende Problembetrachtung (gemäss den Vorgaben aus dem Zielsystem) anstrebt, ist die gesamtwirtschaftliche Methode zu bevorzugen. Dies gilt für alle Teilbereiche des MSE, welche entsprechend modifizierte Kostenkomponenten in ihre Berechnungen einsetzen.

Es gilt zu beachten, dass bei wirtschaftlichen Vergleichsuntersuchungen entweder nach dem Verfahren der Investitionsrechnung oder nach Bewertungsverfahren vorgegangen werden kann (in bestimmten Fällen werden auch die beiden Verfahren komplementär angewendet).

Die Verfahren der Investitionsrechnung bestehen aus zwei Gruppen, nämlich die statischen und dynamischen Verfahren (siehe Abbildung 10).

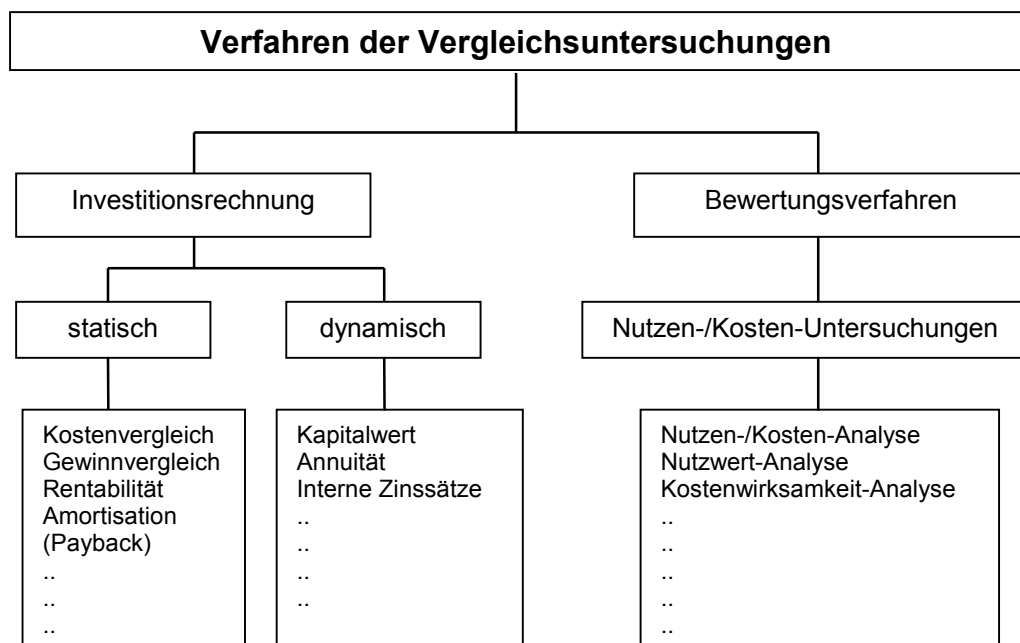


Abb. 10: Gliederung der Verfahren der Vergleichsuntersuchungen

Während für den Vergleich zwischen den Alternativmassnahmen die einfacheren Methoden der statischen Investitionsrechnung, wie Kostenvergleichsrechnung, Amortisationsverfahren (Payback-Verfahren) und Rentabilitätsrechnung (Return on In-

vestment, ROI) anzuwenden sind, müssen Untersuchungen zu den Massnahmenfolgen nach denjenigen der dynamischen Investitionsrechnungen erfolgen (unter Berücksichtigung des Faktors Zeit). Zu ihnen gehören u.a. jene der Kapitalwertverfahren, Methode der internen Zinssätze und Annuitätsverfahren.

Unter den Bewertungsverfahren figurieren diejenigen der Kosten/Nutzen-Analyse, Nutzwertanalyse, sowie Kosten-Wirksamkeitsanalyse. Diese Gruppe beurteilt die alternativen Lösungsvarianten aus einer multidimensionalen Sicht, worunter auch der monetäre Faktor eine der Dimensionen darstellt.

Wie aus der Fachliteratur und der einschlägigen Praxis zu entnehmen ist, haben die beiden Verfahrensgruppen (Investitionsrechnung und Bewertungsverfahren) einander gegenüber gewisse Vor- und Nachteile. Während die Investitionsrechnung (Beurteilung nach monetärem Kriterium) in der Regel einfacher verstanden und akzeptiert wird, ist die Anwendung von multidimensionalen Bewertungsverfahren etwas schwieriger. In der Regel sind im MSE und seinen Teilbereichen beide Methoden (komplementär) anzuwenden.

Dies bedeutet, dass die alternativen Lösungsvarianten zunächst nach einer Methode, in der Regel nach Bewertungsverfahren, untersucht werden und dann eine Auswahl davon, nämlich diejenigen, welche am besten abschneiden, zum zweiten Mal und zwar nach Investitionsverfahren (Wirtschaftlichkeitsvergleich) beurteilt werden und eine Rangfolge erstellt wird.

## **5.5 Anforderungen an die Teilsysteme**

In den folgenden Abschnitten sind die zentralen Entscheidungsfunktionen im MSE-Prozess (Tätigkeitsablauf) auf Stufe der Teilsysteme sowie die an sie gestellten Anforderungen zusammengestellt und beschrieben.

### **5.5.1 Zerfallszyklen (Zustandsentwicklung)**

Im Erhaltungsmanagement sind in allen drei Bereichen der Erhaltung der Fahrbahnen, der Erhaltung der Kunstbauten und der Erhaltung Elektromechanischer Anlagen die Kenntnisse über die Alterungsprozesse für Objekte, Bauteile oder Anlagen von grosser Bedeutung für die Entscheidungsabläufe. Da naheliegenderweise Unterhaltstätigkeiten bereits frühzeitig nach der Erstellung eines Bauwerkes einsetzen müssen, sind die einzelobjektbezogenen Alterungsprozesse weitgehend unbekannt, so dass sie prognostiziert werden müssen. Solche Prognosen dienen u.a. dazu, die geeigneten Erhaltungsstrategien für längere Zeitperioden festzulegen und dazu das Bündel optimaler Erhaltungsmassnahmen abzuleiten.

Zur Prognose der Alterungsprozesse, von denen man im betrachteten Zeitpunkt oft nur kurze Zustandsentwicklungen kennt, werden verschiedenste Methoden und Verfahren herangezogen.

Im Bereich der Fahrbahnen sind aus langjährigen Beobachtungen viele Alterungsprozesse für Beläge bekannt. Sie werden mit Verhaltenskurven beschrieben. Nebst diesen, empirisch hergeleiteten Verhaltenskurven können beim Fehlen von entsprechenden Kenntnissen Survival-Methoden oder Regressionsverfahren (deterministische Ansätze) zur Prognose verwendet werden.

Ein Managementsystem für die Erhaltung von Fahrbahnen muss in der Lage sein, Zerfallszyklen zu berücksichtigen, die sowohl empirisch definiert sind als auch solche, die mit analytisch definierten Funktionen arbeiten.

Im Bereich der Kunstbauten, Bauwerksteile, vorab bei den Brücken, wird aufgrund langjähriger Erfahrungen in Amerika und Kanada für Prognosen der Alterungsprozesse das Verfahren der Markovketten (Probabilistischer Ansatz) angewendet. Mit Markovketten kann die Wahrscheinlichkeit definiert werden, dass ein Bauwerksteil mit einem bestimmten Zustand (Zustandsklasse) nach einem definierten Zeitabschnitt der nächst tieferen Zustandsklasse (schlechterer Zustand) zugeordnet werden muss. Die Kette sagt für mehrere Zeitpunkte entsprechende Wahrscheinlichkeiten voraus. Je besser die bereits erfolgte Zustandsveränderung bekannt ist (Inspektionen), desto genauer sind die Vorhersagen. Empirisch festgehaltene Zustandsveränderungen können bei diesen Verfahren mitberücksichtigt werden.

Ein Managementsystem für die Erhaltung von Kunstbauten muss in der Lage sein, Zerfallszyklen sowohl mit probabilistisch als auch mit deterministisch definierten Verfahren zu verwenden.

Im Bereich der Elektromechanischen Anlagen stellen sich die Fragen der Alterung anders. Sie müssen über die Funktionstüchtigkeit der Anlage oder des Anlageteils beschrieben werden. Das heisst, es geht hier um die Werterhaltung zur Sicherstellung der Funktion über eine bestimmte, je Anlageart sehr unterschiedliche, Dauer. Der Alterungsprozess wird in der Regel über Angaben der Herstellerfirmen des Anlageteils oder Geräts beschrieben. Daneben erscheint im Bereich der Elektromechanischen Anlagen der probabilistische Ansatz zur Beschreibung der Zerfallszyklen ebenfalls geeignet.

Ein Managementsystem für die Erhaltung von Elektromechanischen Anlagen muss in der Lage sein, sowohl Regeln (Herstellerangaben) über die Funktionsfähigkeit/-Lebensdauer von Anlagen im Bereich der Zustandsveränderung zu verwenden als auch probabilistische Verfahren zu berücksichtigen.

### 5.5.2 Optimierungsverfahren (Massnahmen)

Die Suche der Folgen von optimalen Erhaltungsmassnahmen über einen längeren Zeitraum (Betrachtungsperiode) stellt sich vor allem bei den Fahrbahnen und Kunstbauten. Es geht dabei darum, über einen bestimmten Zeitraum jene Folgen von Erhaltungsmassnahmen abzuleiten, die wirtschaftlich die vorteilhaftesten sind. Dabei werden die unter 5.5.1 beschriebenen Zerfallszyklen verwendet. Dies bedeutet, innerhalb der Betrachtungsperiode den grössten Nutzen bei geringstem, finanziellen Aufwand je Unterhaltsabschnitt (Abschnitt mit einheitlicher Massnahme) zu ermitteln. Dazu hat sich bisher sowohl im Bereich der Fahrbahnen als auch der Kunstbauten das Verfahren der inkrementalen Kosten/Nutzenanalyse als geeignet erwiesen. Einfachere Verfahren können auch zum Ziel führen. Die inkrementale Kosten/Nutzenanalyse ist indessen objektiv und kann auch flexibel verwendet werden. Das Verfahren ist auch zusätzlich geeignet für die Beurteilung von Massnahmenfolgen bei verschiedenen, jährlichen Budgetvorgaben. Es ermöglicht zudem, Veränderungen der Zustände der Gesamtheit der Fahrbahnen oder der Kunstbauten aufzuzeigen.

Für die Optimierung der Massnahmenfolgen bei Fahrbahnen wird auch das Verfahren Kosten/Lebensdauer verwendet. Bei diesem Optimierungsverfahren wird für vorgegebene Lebensdauern bestimmter Massnahmen über die Verhältnisse Kosten/Lebensdauer jeweils diejenige Massnahmen mit dem niedrigsten Wert gesucht. In der Grösse Lebensdauer werden die Zerfallszyklen berücksichtigt. Eine weitere Methode zur umfassenden Beurteilung von Folgen von Erhaltungsmassnahmen ist das Verfahren der Bestimmung von Zielerreichungsgraden. Diese Methoden ist heute erst ansatzweise in der Praxis bekannt.

Managementsysteme in den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen müssen in der Lage sein, sowohl wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen für Abschnitte, Objekte oder Anlagen zu bestimmen, als auch Varianten von sinnvollen und zweckmässigen Massnahmenfolgen aufzuzeigen, die unter anderen Bedingungen (z.B. beschränkte finanzielle Mittel) hergeleitet wurden. Nur mit diesen Voraussetzungen ist eine Optimierung zu koordinierten Baustellen überhaupt möglich.

### 5.5.3 Dringlichkeitsreihung

Während die Optimierung in den Teilsystemen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen zu Varianten von Massnahmenfolgen führen (inkl. wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen), muss die Dringlichkeit der Ausführung von Einzelmassnahmen mit anderen Kriterien abgeleitet werden.

Diese Kriterien resp. Bedingungen können in der Regel nicht allgemein festgelegt werden. Sie sind oft stark von den örtlichen Gegebenheiten und bestimmten Forderungen der Betreiber der Verkehrsanlagen abhängig. Objektive Kriterien lassen sich z.B. durch eine funktionelle Bewertung der Strassenabschnitte einbeziehen.

Die Dringlichkeitsreihung in den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen führen je Bereich zu einer zeitlichen Festlegung (Dringlichkeit) der Ausführung der einzelnen Massnahmen.

### 5.5.4 Erhaltungsobjekte (Teilabschnitte)

Die Festlegung von Teilabschnitten oder Objekten, wo eine oder mehrere Erhaltungsmassnahmen einheitlich zum gleichen Zeitpunkt ausgeführt werden können, unterscheidet sich bei den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen stark. In der Praxis werden dazu auch die verschiedensten Methoden und Verfahren eingesetzt.

Notwendigkeit und Bedeutung der Zusammenfassung einzelner Teilabschnitte zu grösseren Erhaltungsabschnitten für die Ausführung von Massnahmen sind bei den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen sehr unterschiedlich. Bei den Fahrbahnen ist die Zusammenfassung zu homogenen Planungsabschnitten sowohl aus ausführungstechnischer Sicht, als auch aus betrieblicher Sicht gefordert. Bei den Kunstbauten hängt die Bildung von sinnvollen Unterhaltsprojekten durch entsprechende Zusammenfassung stark von der Art und vor allem auch von der Grösse des Objektes bzw. der ausführenden Massnahmen ab. Die Instandsetzung z.B. grosser Brücken mit entsprechend langen Bauzeiten passt selten zu einem Erhaltungsabschnitt der Fahrbahnen. Bei den Elektromechanischen Anlagen verhält es sich nochmals anders. Je nach Anlageart und Anlageteil sind die Möglichkeiten der Zusammenfassung von Ausführungszeitpunkten für Erhaltungsmassnahmen sehr unterschiedlich.

Grundsätzlich liefern die Managementsysteme der drei Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen je separat verschiedene Varianten von Massnahmenfolgen. Darin enthalten sind auch unterschiedliche Arten und Längen von Erhaltungsabschnitten (Fahrbahnen, Elektromechanischen Anlagen) resp. Unterhaltsprojekte (Kunstbauten). Werden diese in den Teilsystemen betrachtet bzw. unabhängig realisiert, sind die Erhaltungsabschnitte resp. Unterhaltsprojekte jeweils durch die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen gegeben. Zur Koordination der Erhaltungsmassnahmen der drei Bereiche werden die verschiedenen Varianten der drei Bereiche benötigt.

### 5.5.5 Optimierung und Koordination

Das Teilsystem Optimierung und Koordination zerfällt in die Tätigkeitsbereiche Massnahmenmanagement und Baustellenplanung. Hier wird die zentrale und schwierige Aufgabe der Optimierung und der Koordination der Massnahmenfolgen der Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen bearbeitet. Der Optimierungsprozess sucht Varianten von wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen, die Massnahmen der Fahrbahnen, Massnahmen an Kunstbauten und Massnahmen an Elektromechanischen Anlagen enthalten (Massnahmenmanagement).

Dieses Massnahmenmanagement ist ein Planungsinstrument für grössere Zeiträume und liefert eine Reihe zweckmässiger Varianten von Massnahmenfolgen ohne oder mit Einschränkungen der zugewiesenen finanziellen Mittel.

Durch Anwendung von Dringlichkeiten bzgl. einzelner Massnahmen in den Teilbereichen können die kurzfristig zu realisierenden Massnahmenfolgen gefunden werden (Baustellenplanung).

Die Prozesse Massnahmenmanagement und Baustellenplanung werden im Kapitel 9 näher erläutert.

## 5.6 Grundanforderungen an die Informatik

### 5.6.1 Anforderungen an die Teilsysteme

Aus den technischen Anforderungen an die Teilsysteme und deren Zusammenspiel ergeben sich spezifische Anforderungen, die im Detail in den Teilsystemen beschrieben sind.

Es sind dies generell die Folgenden:

Teilsysteme Fahrbahnen, Kunstbauten, Elektromechanischen Anlagen	Teilsystem Optimierung und Koordination
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Datenübernahme/Übergabe an DB</li> <li>- Verfahren zur Bestimmung von Massnahmenfolgen und Sofortmassnahmen</li> <li>- Verfahren zur Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen</li> <li>- Informationsaustausch mit Gesamtsystem</li> <li>- Einheitliches Raumbezugs -/ Zeitbezugs-system (Sockeldaten)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verfahren zur Optimierung der Massnahmen (Massnahmenmanagement)</li> <li>- Verfahren für die Planung koordinierter Baustellen</li> <li>- Informationsaustausch mit den Teilsystemen</li> <li>- Einheitliches Raum- und Zeitbezugs-system (Sockeldaten)</li> </ul>

Tab. 2: Grundanforderungen an die Informatik

### 5.6.2 Struktur der einzelnen Softwareteile

Die schrittweise Einführung resp. Verwendung von Werkzeugen zur Unterstützung der Managementtätigkeiten in den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen bei den Anwendern, erfordert eine entsprechende Struktur einzelner Softwarewerkzeuge. Während auf der einen Seite langlebige, unabhängige Datenbanken für die drei Einzelbereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen nötig sind, sind Managementsysteme einem starken Entwicklungswandel unterworfen. Sie müssen sowohl laufend auf die Bedürfnisse angepasst werden können, müssen individuelle (kantonale) Eigenschaften berücksichtigen können und sie müssen schliesslich austauschbar (Ersatz) sein.

Datenbanken und Managementsysteme sollen je Bereich Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen eng miteinander kommunizieren können und wo möglich aufeinander abgestimmt sein. Zwischen den Bereichen ist kaum Datenaustausch nötig und sind keine Abhängigkeiten sicherzustellen, mit einer einzigen Ausnahme, der sog. Sockeldaten. In jedem der drei Bereiche ist ein gemeinsamer Teil der sog. Sockeldaten mit identischer Struktur vorhanden. Es sind dies z.B. die Daten des Raumbezuges (Räumliches Basisbezugssystem), der Eigentümer und des Zeitbezuges.

Neben diesen beiden Ebenen der Datenbanken und der Managementsysteme ist eine spätere, dritte Ebene in Betracht zu ziehen, die die sog. Expertensysteme enthält. Diese mit "künstlicher Intelligenz" ausgerüsteten Systeme müssen eng mit den jeweiligen Managementsystemen der drei Bereiche kommunizieren können.

Diese Struktur ist in der folgenden Abbildung, stark vereinfacht, schematisch dargestellt:

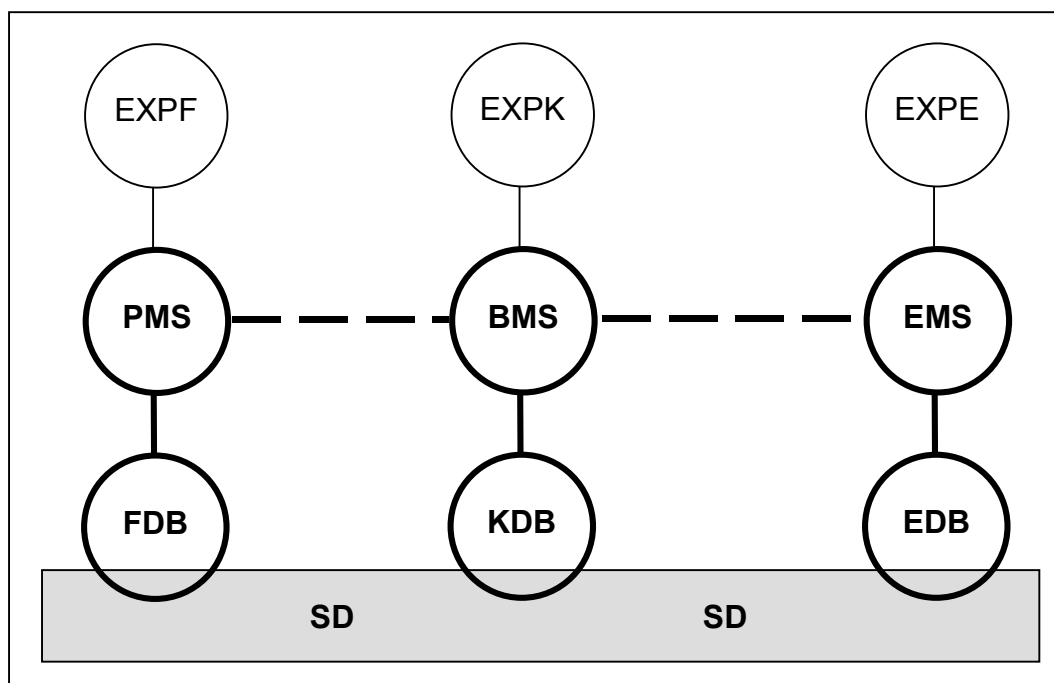


Abb. 11: Struktur der Software-Werkzeuge

EXPF	Expertensystem für Fahrbahnen
EXPK	Expertensystem für Kunstbauten
EXPE	Expertensystem für Elektromechanische Anlagen
PMS	Managementsystem für Fahrbahnen (Pavement Management System)
BMS	Managementsystem für Kunstbauten (Bridge Management System)
EMS	Managementsystem für Elektromechanische Anlagen (Elektromechanical Management System)
FDB	Strassendatenbank
KDB	Kunstbautendatenbank
EDB	Datenbank Elektromechanische Anlagen
SD	Sockeldaten (z.B. gemeinsames räumliches Basisbezugssystem)



Dieser modulare Aufbau ermöglicht den Einsatz verschiedenster Informatikwerkzeuge. Durch entsprechende Schnittstellen kann der erforderliche Datenaustausch gewährleistet werden. Voraussetzung dafür sind einheitliche Datenstrukturen sowie bestimmte Sätze von Daten, die zwingend in den Datenbanken vorhanden sein müssen.

## **6. Fachkonzept Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen**

### **6.1 Grundlagen**

#### **6.1.1 Ausgangslage**

Das Fachkonzept des Managements der Erhaltung der Fahrbahnen bezweckt, wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen zur Erhaltung der Fahrbahnen für längere Betrachtungszeiträume unter vorgegebenen finanziellen Mitteln zu entwickeln und Prioritäten für ihre Realisierung abzuleiten.

Aufgrund einer Zustandserfassung und –bewertung sowie einer einheitlichen Beurteilung (Interventionsgrenzen) werden verschiedene Varianten von Massnahmenfolgen abgeleitet, evaluiert und die optimale Folge gesucht.

Mit dem Erhaltungsmanagement müssen auch Folgen von Alternativmassnahmen hergeleitet werden können, die über begrenzte, kürzere Zeiträume, mit reduzierten, finanziellen Mitteln (Budgets) auskommen.

Das Ergebnis ist eine Liste von Unterhaltsabschnitten bzw. -objekten, die mit einem bestimmten, finanziellen Aufwand realisiert werden können. Zu diesen Objekten müssen nebst den Fahrbahnen weitere Teile der Verkehrsanlagen wie z.B. Böschungen, Entwässerungsanlagen in die Baustellenplanung einbezogen werden.

Die Ergebnisse der Massnahmenplanung stellen Grundlagen für die Koordination von Erhaltungsmassnahmen mit den Bereichen Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen dar.

#### **6.1.2 Zielsetzungen**

Die Ziele des Erhaltungsmanagements der Fahrbahnen sind wie folgt:

- Gewährleistung der Funktionsbereitschaft der Anlagen
- Langfristige Erhaltung der Fahrbahnen und der zugehörigen Anlagen
- Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen über einen längerer Betrachtungszeitraum
- Ermittlung der Prioritäten der Massnahmenfolgen
- Koordinieren der optimalen Erhaltungsmassnahmen mit den Unterhaltsprojekten der Kunstbauten und den Erhaltungsmassnahmen der Elektromechanischen Anlagen.

Nebst dem Hauptziel der Gewährleistung der Funktionsbereitschaft, sind die weiteren Ziele wie Betriebsbereitschaft, Leistungsfähigkeit, Sicherheit, Benutzerfreundlichkeit und Umweltverträglichkeit zu berücksichtigen. Sie werden in der Dringlichkeitsreihung berücksichtigt.

#### **6.1.3 Inventar**

Die Inventarisierung aller Strassen im Netz nach den verschiedenen Typen gibt Aufschluss über Bestand und Wert des Strassennetzes.

Zur systematischen Inventarisierung der Fahrbahnen und der zugehörigen Anlagen wird ein Räumliches Basisbezugssystem (RBBS) oder ein Kilometrierungs- und Strassennamen-System verwendet. Dies erlaubt alle Anlagen einheitlich und eindeutig zu identifizieren und stellt die Voraussetzung für die Führung einer Datenbank mit sämtlichen Objekten resp. Fahrbahnabschnitten dar.

Das Inventar enthält im Minimum:

- Die Liste sämtlicher Strassen
- Die wichtigsten Grössen zur Geometrie und Konstruktion der Anlage
- Die wichtigsten Grössen über die Art der Benützung oder Beanspruchung
- Allgemeines über den Bau und bisherigen Unterhalt
- Den Zustand der Fahrbahn und des Oberbaus

Zusätzlich zur Inventarisierung der Fahrbahnen und zugehörigen Anlagen im Netz, kann eine funktionelle Bewertung durchgeführt werden. Das Ziel der funktionellen Bewertung besteht darin, das Netz vom Gesichtspunkt der Benützung zu strukturieren. Nebst der Ermittlung der Massnahmenfolgen aufgrund der Aufrechterhaltung der Funktionsbereitschaft und Substanzerhaltung kann die funktionale Bewertung für die Bestimmung der Dringlichkeit von Massnahmen verwendet werden.

Bei der funktionellen Bewertung werden die verschiedensten Kriterien wie z.B. Verkehrsbelastung, Strassentyp, Umleitungsmöglichkeiten, klimatische Bedingungen, etc. mitberücksichtigt. Die Auswahl der Kriterien hängt vom Zweck der funktionellen Bewertung ab.

## **6.2 Tätigkeitsablauf (Arbeitsprozess)**

### **6.2.1 Arbeitsschritte und Zusammenhänge**

Das Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen bezweckt, eine wirtschaftlich optimale Wahl der zu realisierenden Unterhaltsmassnahmen über einen längeren Betrachtungszeitraum. Dazu ist eine entsprechende Planung erforderlich.

Diese Planung stützt sich auf ein strukturiertes Vorgehen, das die Erfassung und Bewertung des Fahrbahnzustandes (inkl. zugehörige Elemente) sowie dessen Entwicklung berücksichtigt. Diese Tätigkeiten erlauben, eine Planung von Unterhaltsmassnahmen (Art, Zeitpunkt) je Abschnitt. Zur Wahl der Massnahmen wird eine Optimierung aufgrund wirtschaftlicher Gesichtspunkte über einen längeren Zeitraum vorgenommen. Damit lässt sich die wirtschaftlich optimal Folge der Massnahmen für alle Abschnitte bestimmen. Unter vorgegebenen Budgets für die nächste Unterhaltperiode (z.B. 3-5 Jahre) werden anhand bestimmter Kriterien die Dringlichkeiten der Massnahmen bestimmt. Diese bilden eine Grundlage für die Baustellenplanung (kurzfristig).

Die folgende Abbildung zeigt dieses Vorgehen schematisch:

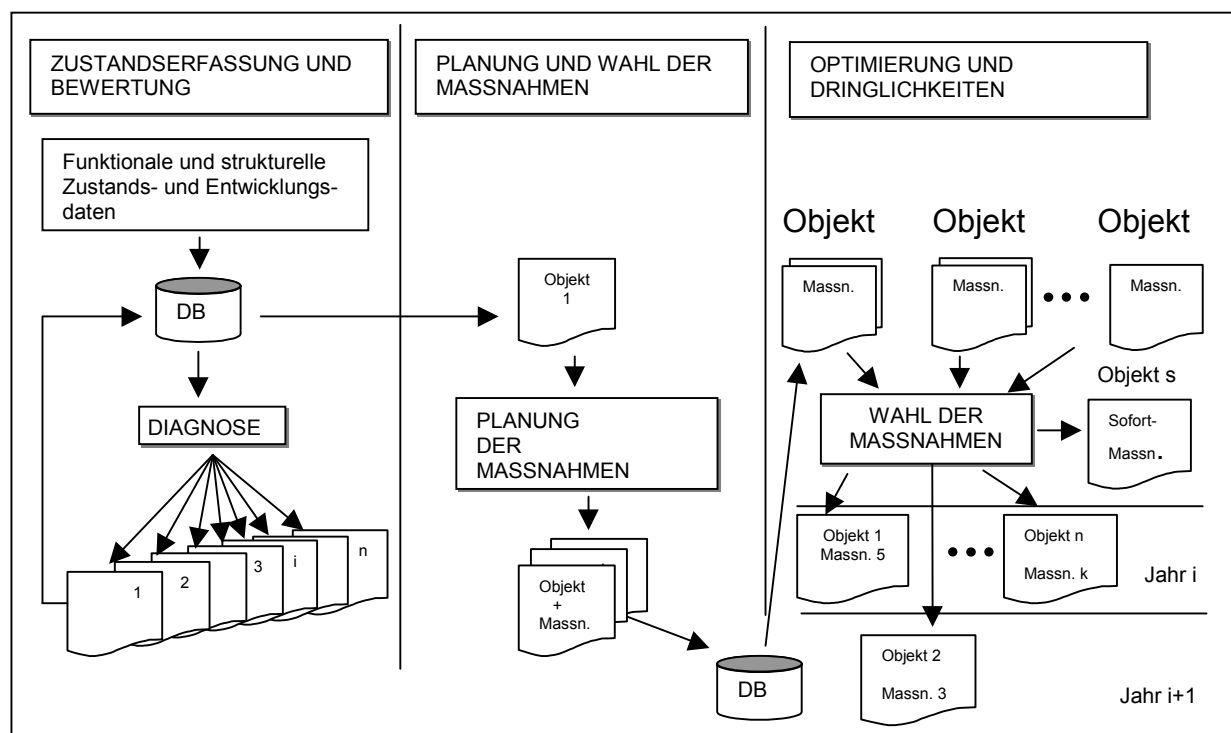


Abb. 12: Vorgehen bei der Planung der Erhaltungsmassnahmen

### 6.2.2 Zustandserfassung

Bei der Zustandserfassung der Fahrbahnen werden sowohl visuelle als auch messtechnische Erhebungen durchgeführt. Die Daten, d.h. die originalen Zustandswerte, fallen je nach Zustandsmerkmalen und Erhebungsart in unterschiedlichen Intervallen (Abschnittslängen) an. Sie werden in der Regel später auf 100 m-Intervalle aggregiert, so dass eine Bewertung und Beurteilung der Zustandswerte für 100-m-Abschnitte gemeinsam für verschiedene Merkmale erfolgen kann.

Bei der visuellen Zustandserfassung werden die Oberflächenschäden der Fahrbahnen (gemäss SN 640 925a und Schadenkatalog) erfasst. Dabei werden die Schäden mit Ausmass und Schwere visuell bewertet und nach Schadensmerkmalsgruppen gewichtet. Die Summe der gewichteten Produkte Ausmass und Schwere gibt eine Masszahl, die massgebend ist für den visuellen Oberflächenzustand.

Die Zustandsmerkmale Längsebenheit, Querebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit werden mit entsprechenden Messsystemen (gemäss SN 640 520, SN 640 510, SN 640 362 und 640 733) erfasst. Sie können im Rahmen von Normwerten einzeln beurteilt werden.

Welche Daten wann erfasst werden müssen, hängt vom Zustand und von der Zustandsentwicklung resp. von den durchgeführten Erhaltungsmassnahmen ab.

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die bei den Fahrbahnen zu erfassenden Zustandsmerkmale:

Zustandsmerkmal	Zustandsgrösse	Masseinheit	Index
Oberflächenschäden	Schadenausmass A	-	I1
	Schadenschwere S	-	
	Gewichtung Schadengruppe G	-	
Längsebenheit	Standardabweichung sw der Winkelwerte W	%	I2
Querebenheit	Mulden- oder Spurrinntiefe T	mm	I3
Griffigkeit	Reibungskoeffizient $\mu$	-	I4
	Blockiertes Messrad auf nasser Fahrbahnen	-	
Tragfähigkeit	Massgebende Deflektion dv	mm/100	I5

Tab. 3: Zustandsmerkmale und Zustandsgrössen

Sowohl die visuellen als auch die messtechnisch erhobenen Zustandswerte haben für ganz unterschiedliche Längen Gültigkeit. Für eine Bewertung z.B. im Netz werden sie zu sog. homogenen Abschnitten zusammengefasst oder zu 100m-Intervallen aggregiert. Für die Massnahmenplanung auf Projektebene werden die originalen Zustandswerte verwendet.

### 6.2.3 Zustandsbewertung

Je nach Zweck der Zustandsbewertung erfolgt sie auf Netzebene oder Projektebene.

Für die Bewertung auf Netzebene ist eine Bewertung mit dimensionslosen Indices geeignet, die auch Gegenüberstellungen verschiedener Abschnitte erlaubt. Auf Projektebene werden in der Regel die originalen Zustandswerte der visuellen oder/und messtechnischen Erfassung direkt verwendet.

Die Bewertung erfolgt mittels Indices gemäss Norm SN 640 925a. Für Zustandsgrössen, für die kein Bewertungsmassstab in der Norm vorhanden ist, sind die Transformationen neu zu bestimmen.

Die Zustandsbewertung erfolgt sowohl mit visuellen als auch messtechnisch ermittelten Zustandswerten. Die Bewertung muss heute noch einzeln je Zustandsgrösse vorgenommen werden. Methoden für eine Gesamtbewertung unter Berücksichtigung aller Indices sowie ein Bewertungsmassstab fehlen zurzeit. Entsprechende Forschungen sind im Gange.

### 6.2.4 Massnahmenplanung

Grundlagen für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen je Objekt (Strassenabschnitt) bilden in erster Linie die Zustandswerte und deren Entwicklung. Die Massnahmenplanung erstreckt sich über einen längeren Zeitraum für jedes Objekt.

Zusammen mit dem momentanen Zustand des Abschnittes und einer prognostizierten Entwicklung dieses Zustandes können für die Erhaltung verschiedene Massnahmenfolgen von standardisierten Einzelmassnahmen in Betracht gezogen und evaluiert werden. Diese Varianten von Massnahmenfolgen werden dann einer Kosten-/Wirksamkeitsprüfung unterworfen und die wirtschaftlich optimale Folge bestimmter Massnahmen zur langfristigen Substanzerhaltung ermittelt.

Über die Summe aller Abschnitte bzw. Objekte können damit die nötigen finanziellen Mittel zur Erhaltung eines bestimmten Qualitätsmasses (Netzzustand) bestimmt werden.

Die Massnahmenfolgen können durch die Höhe der zur Verfügung stehenden finanziellen Mittel und durch die Festlegung von bestimmten, einzuhaltenden Unterhaltstrategien verändert werden. Die für die Sicherheit und Betriebsbereitschaft Verantwortlichen haben damit verschiedene Steuerungsinstrumente zur Verfügung, mit denen die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen aufgrund besonderer örtlicher Umstände laufend angepasst werden können (rollende Planung). Um die zu ganz verschiedene Zeiten anfallenden Kosten miteinander in Beziehung setzen zu können, wird das Hilfsmittel des Diskontierens eingesetzt.

Management-Systeme müssen in der Lage sein, kurzfristige Änderungen im Programm der Massnahmenfolgen zu berücksichtigen und die daraus folgenden, neuen wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen, zu bestimmen. Sie müssen schliesslich auch fähig sein, die Konsequenzen in der Zustandsentwicklung bei starken und länger dauernden Abweichungen von den wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen aufzuzeigen.

Der Katalog der Massnahmen enthält verschiedenste, bauliche Massnahmen zu den Massnahmengruppen:

- Reparaturen
- Instandsetzung
- Verstärkung
- Erneuerung (inkl. Veränderung)

Die heutige Erhaltungspraxis tendiert zu einer Vereinheitlichung von Unterhaltsmassnahmen. Es bestehen bereits Kataloge standardisierten Massnahmen zu den erwähnten Bereichen. Entsprechende Normierungen sind in Ausarbeitung.

### 6.2.5 Wahl der Massnahmen

Das Resultat der Massnahmenplanung ist eine Summe von Einzelmassnahmen (Massnahmenfolgen) für bestimmte Realisierungszeitpunkte je Abschnitt resp. je Objekt. Unter den vorgegebenen Bedingungen (jährliche Budgets, Erhaltungsstrategie) sind diese Massnahmenfolgen über einen mittleren bis längeren Zeitraum optimiert. Die Wahl der Massnahmen richtet sich demzufolge in erster Linie nach der Optimierung und in zweiter Linie nach den finanziellen Mitteln. Äussere Faktoren können die Realisierungszeitpunkte einzelner Massnahmen wesentlich beeinflussen.

Die Liste der Massnahmenfolgen bildet die Grundlage für die Koordination und Optimierung mit den Unterhaltsprojekten der Kunstbauten (vgl. 7.2.4) und der Arbeitspläne für den Unterhalt der Elektromechanischen Anlagen (vgl. 8.2.4).

Die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen für die Einzelabschnitte der Fahrbahnen können schliesslich zusätzlich einer Dringlichkeitsreihung unterworfen werden.

Damit können Prioritäten für einzelne Baustellen bzw. Standorte abgeleitet werden.

Im Massnahmenmanagement bzw. der Baustellenplanung werden die Realisierungszeitpunkte der Massnahmen der drei Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen, dort wo eine Zusammenlegung wirtschaftlich Vorteile bietet und sich die Baustellenzahl und Dauer gesamthaft über einen längeren Betrachtungsraum vermindern lässt, koordiniert und optimiert.

## 6.3 Informatik-Werkzeuge

### 6.3.1 Ausgangslage

In den folgenden Abschnitten werden die grundsätzlichen Anforderungen an die Informatikwerkzeuge beschrieben, die einerseits das Erhaltungsmanagement der Fahrbahnen unterstützen und andererseits Grundlagen für die koordinierte Planung der Ausführung der Massnahmen zusammen mit den Bereichen Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen liefern.

Dabei werden folgende Teile unterschieden:

- Datenbank (DB)
- Managementsystem (MS)
- Schnittstellen zur Übergabe der für das Baustellenmanagement und die Baustellenplanung nötigen Grundlagen der Fahrbahnen

In den folgenden Abschnitten werden diese Teile näher beschrieben.

### 6.3.2 Datenbank

Für die Datenbank sind folgende Anforderungen zentral:

1. Benutzerorientierte Datenbank, welche Basis- und Zustandsdaten der Fahrbahnen enthält, um einerseits Zustandsbeurteilungen durchzuführen und andererseits dem Managementsystem die zur Massnahmenplanung erforderlichen Grundlagen zuzuliefern.
2. Die Basis- und Zustandsdaten sind wenn möglich systematisch nach dem RBBS-Prinzip (Räumliches Basisbezugssystem) zu verwalten. Dabei sind die sogenannten Sockeldaten, welche identische Informationen, die auch in den Bereichen Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen verwendet werden, besonders zu kennzeichnen und in der gleichen Struktur wie in den anderen Bereichen festzulegen.
3. Die Datenbank enthält mindestens folgende Datengruppen:
  - Basisdaten
    - Basisbezugssystem zur einheitlichen Identifizierung aller Daten (Raumbezug)
    - Geometrie und Nutzung der Fahrbahnen
    - Fahrbahnaufbau
  - Zustandsdaten
    - Fahrbahnzustand (Zeitbezug)
    - Fahrbahnreparatur
    - Durchgeführte Erhaltungsmassnahmen (Instandsetzung, Verstärkung, Erneuerung, Veränderung)
4. Die Datenbank enthält folgende Einzelwerkzeuge zur Verwaltung der Daten:
  - Auswerteeinheit zur selektiven Darstellung von Daten in Tabellen und Grafiken
  - Selektionseinheit zum Abruf von originalen Daten (z.B. Zustandsdaten) oder aggregierten Daten, mit bestimmten Raumbezug bzw. Zeitbezug
  - Schnittstelle zum Export von in Managementsystemen benötigten Daten
  - Kontrolleinheit zur Plausibilitätsprüfung von Eingabedaten.

### 6.3.3 Managementsystem

An das Managementsystem (Informatik-Werkzeug) sind folgende Anforderungen gestellt:

1. Das Managementsystem liefert Entscheidungsgrundlagen für die Massnahmenplanung. Darunter fallen in erster Linie:
  - Wirtschaftlich optimale Massnahmenfolgen der Erhaltung je Einzelobjekt über längere Zeiträume. Basis für die Optimierung ist ein Kosten/Wirksamkeitsvergleich (verschiedene Algorithmen)
  - Varianten für Massnahmenfolgen bei zeitweise beschränkten, finanziellen Mitteln für den Unterhalt; Auswirkungen Mittelbegrenzung auf die Zustandswerte und deren Entwicklung
  - Vorschläge für die Zusammenfassung von Ausführungszeitpunkten einzelner Massnahmen aufgrund von Dringlichkeiten
  - Bereitstellung der Grundlagen für eine Koordination der Unterhaltsmassnahmen mit denjenigen bei Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen
2. Die im Managementsystem benötigten Daten werden einerseits durch die Datenbank (DB) geliefert. Andererseits enthält es selber eine interne Datenbank mit spezifisch benötigten Daten (z.B. Katalog der standardisierten Erhaltungsmassnahmen).
3. Das Managementsystem muss fähig sein, Daten aus verschiedener Herkunft (Struktur) aufnehmen zu können.
4. Das Managementsystem soll folgende Werkzeuge enthalten:
  - Beschrieb Zustandsklassen und Zustandsentwicklung
  - Verhaltensfunktionen für die Schadenentwicklung (Zerfallszyklen)
  - Massnahmenkatalog (standardisierte und individuelle Massnahmen mit Einheitskosten und Wirkungsgrad)
  - Berechnungsalgorithmen für die Bestimmung von wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen je Objekt (Abschnitt) oder von Massnahmenfolgen bei beschränkten Finanzmitteln
  - Anzeige der Auswirkungen auf die Entwicklung des Fahrbahnzustandes bei beschränkten finanziellen Mitteln
  - Finanzbedarf für alle Varianten der Massnahmenfolgen für die Summe der Erhaltungsmassnahmen
  - Auswerteeinheit für die Darstellung der Ergebnisse in Tabellen, Grafiken und Plänen

### 6.3.4 Grundlagen für die Baustellenplanung

Das Erhaltungsmanagement (Fahrbahnen) liefert für längere Betrachtungszeiträume optimierte Massnahmenfolgen für die Erhaltung aller Strassenabschnitte.

Diese Ergebnisse bilden zusammen mit den Ergebnissen der Massnahmenplanungen Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen Grundlage für das Massnahmenmanagement und die Baustellenplanung.

Diese Koordination hat vor allem eine Bedeutung bei wichtigen und stark belasteten Strassen (z.B. Nationalstrassen), weil damit langfristig die Baustellenzahl und die Dauer der Baustellen reduziert werden.

## 6.4 Anwendung

Grundsätzlich werden zwei Verantwortungsebenen unterschieden:

- Gesamtverantwortung
- Verantwortung für die Ausführung

### 6.4.1 Gesamtverantwortung

Die Rolle der politischen Behörde besteht darin, die zu erreichenden Ziele, namentlich was den Zustand des Netzes anbelangt, festzulegen, und die erforderlichen Mittel zum Erreichen der Ziele zur Verfügung zu stellen.

Die Rolle der Verwaltung besteht darin, Entscheidungsgrundlagen für die politische Behörden zu erarbeiten, die verfügbaren Mittel auf optimale Weise einzusetzen, um die festgelegten Ziele zu erreichen.

### 6.4.2 Verantwortung für die Ausführung

Zum Verantwortungsbereich Management der Strassenerhaltung gehören die Arbeitsschritte Diagnose (Zustandserfassung und -bewertung, Analyse), die Massnahmenplanung, die Wahl der Massnahmen sowie die Ausführung der Massnahmen.

Das vorliegende Fachkonzept befasst sich mit diesen Teilen, ausgenommen der Ausführung.

Zur Verwirklichung des MSE werden verschiedene Organisationsebenen definiert:

- die Aufbauorganisation, d.h. die Verteilung der Aufgaben und Kompetenzen in der Verwaltung
- die Ablauforganisation, d.h. die Planung und die laufende Kontrolle der Fristen und Kosten



### 6.4.3 Information

Zur Unterstützung des MSE sind folgende Informationen notwendig:

Art	Inhalt	Ziele	Bestimmt für
Allgemeine Informationen	Art, Ausmass, Hierarchie, Wichtigkeit der Strassenverbindung	<ul style="list-style-type: none"> <li>den Politikern die Probleme der Strasse darstellen</li> <li>das "Image" der Strassen in den Medien pflegen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>politische Behörden, Medien</li> <li>Verwaltung</li> <li>Verkehrspolizei</li> <li>Strassenverbände (TCS, ACS, usw.)</li> <li>Verkehrsteilnehmer</li> </ul>
Informationen über die Projekte und Baustellen	Ziel, Art, Ausmass, Termine und Ablauf der Erhaltungsmassnahmen	<ul style="list-style-type: none"> <li>den Einfluss der Qualität des Strassennetzes zeigen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>politische Behörden, Medien</li> <li>Verwaltung</li> <li>Verkehrspolizei</li> <li>Strassenverbände (TCS, ACS, usw.)</li> <li>Verkehrsteilnehmer</li> </ul>
Informationen über den Zustand	Gegenwärtiger oder prognostizierter Zustand des Strassennetzes, Zustandsentwicklung, Ursachen, voraussichtliche Dauer der Betriebsbereitschaft	<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Verständnis der Bürger für die kurz- und langfristige Betriebsbereitschaft der Strassenverbindungen erlangen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>politische Behörden, Medien</li> <li>Verwaltung</li> <li>Verkehrspolizei</li> <li>Strassenverbände (TCS, ACS, usw.)</li> <li>INFO Strasse (Radio)</li> <li>Verkehrsteilnehmer</li> </ul>

Tab. 4: Informationen zur Unterstützung des MSE

## 7. Fachkonzept Erhaltungsmanagement Kunstbauten

### 7.1 Grundlagen

#### 7.1.1 Ausgangslage

Das Fachkonzept EMK soll aufzeigen, wie Kunstbauten in Zukunft wirtschaftlich optimal erhalten werden können, so dass Funktionstüchtigkeit und Betriebssicherheit für den Benutzer gewährleistet sind. Unter Kunstbauten werden folgende, strassenverkehrsbezogenen Bauwerksarten verstanden:

Brücken, Galerien, Tunnel, Durchlässe, Stützbauwerke, Schutzbauwerke.

Es gilt also, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln die Bauwerkserhaltung so zu planen und durchzuführen, dass die finanziellen Mittel ein Maximum an Nutzen bringen.

Die Massnahmenplanung für die Einzelaspekte richtet sich nach der Norm SIA 469 (1997) "Erhaltung von Bauwerken". Beim Einbezug einer grossen Zahl von Kunstbauten in eine langfristige Erhaltungsplanung ist eine Informatik-Unterstützung unerlässlich. Es werden sowohl eine Datenbank als auch ein Managementsystem für die systematische Durchführung dieser Planungen gebraucht.

Diese Werkzeuge unterstützen den wirtschaftlich optimalen Einsatz der finanziellen Mittel über mittlere bis grössere Zeiträume. Gesucht sind schliesslich die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen an der Summe der Bauwerke über einen längeren

Betrachtungszeitraum. Dabei ist zwischen jenen Massnahmen zu unterscheiden, die koordiniert mit Unterhaltsmassnahmen an Fahrbahnen und an Elektromechanischen Anlagen auszuführen sind und jenen, die wirtschaftlich optimal unabhängig realisiert werden müssen (vgl. 7. 3. 4).

Damit wird der Finanzbedarf für die gesamten Erhaltungsmassnahmen im Bereich der Kunstbauten und die erforderliche Erhaltungsstrategie über längere Betrachtungszeiträume ersichtlich. Sie müssen jährlich mit den zur Verfügung stehenden Budgets und den Besonderheiten der Realisierungsmöglichkeiten verglichen werden. Daraus ergibt sich die kurzfristige Festlegung der Massnahmenrealisierung.

### 7.1.2 Zielsetzung

Das Management der Strassenerhaltung bezweckt eine optimale Bewirtschaftung der Strassen, d.h. ihre grösstmögliche Verfügbarkeit bei möglichst kleinen Gesamtkosten. Entscheidend ist dabei eine wirtschaftlich optimale Erhaltung.

Gegenwärtig erfolgt das Erhaltungsmanagement der Kunstbauten von Kanton zu Kanton unterschiedlich. In der Regel werden die Inspektionen in einem Fünfjahreszyklus durchgeführt. Aufgrund der Anforderungen (insbesondere Nutzungsanforderungen) und der Zustandsbeurteilung werden die aus technischer Sicht notwendigen baulichen Erhaltungsmassnahmen vorgeschlagen und die Dringlichkeit und der Mittelbedarf der Erhaltungsmassnahmen abgeschätzt. Auf diese Weise erhält man den Mehrjahresplan für den mittelfristigen Finanzbedarf.

Das Ergebnis dieses Vorgehens ist keineswegs schlecht. Die angespannte wirtschaftliche Situation des Bundes und der Kantone macht es jedoch im Bereich der Bauwerkserhaltung erforderlich, neue Wege zu beschreiten.

Die Kunstbauten sollen in der Zukunft wirtschaftlich optimal erhalten werden. Es gilt die Bauwerkserhaltung so zu planen und durchzuführen, dass die begrenzten finanziellen Mittel ein Maximum an Nutzen bringen. Dazu wird ein optimales Erhaltungsmanagement mit einer Massnahmenplanung angestrebt, wie sie in der Norm SIA 469 (1997) "Erhaltung von Bauwerken" festgelegt ist. Die in der Norm SIA 469 für ein Einzelbauwerk beschriebene Planung ist bei der grossen Anzahl von Kunstbauten ohne EDV-Unterstützung praktisch nicht zu bewältigen.

Ein Informationssystem muss die Verantwortlichen des Bundes und der Kantone beim Erhaltungsmanagement wirkungsvoll unterstützen. Neben der bestehenden Kunstbauten-Datenbank und dem in Entwicklung stehenden Werkzeug zur Massnahmenplanung wird das Informationssystem noch weitere EDV-Instrumente oder Software-Module enthalten, aber nicht alle Tätigkeiten des Erhaltungsmanagement der Kunstbauten sind zwingend mit einem EDV-Instrument zu unterstützen. Die Entwicklung und Einführung des Informationssystem wird in Schritten erfolgen.

### 7.1.3 Inventar

Die Informationen über die Kunstbauten sind heute in den Bauwerksdokumentationen der kantonalen Tiefbauämter und zum Teil auch in den Kunstbauten-Datenbanken vorhanden. Die wichtigsten Informationen über die Kunstbauten und den Strassenverkehr bilden die Grundlage für das Management der Erhaltung der Kunstbauten und müssen in einer systematisch auswertbaren Form vorliegen.

Der Grossteil der kunstbautenbezogenen Informationen ist in der Kunstbauten-Datenbank vorhanden oder vorgesehen, während die Informationen über das Strassennetz Bestandteile der Strassendatenbank sein werden. Die eigentliche

Bauwerksdokumentation wird auch in Zukunft neben der Kunstbauten–Datenbank bestehen bleiben.

Zur einheitlichen und eindeutigen Identifikation von Bauwerken und Bauwerksteilen wird ein Ordnungssystem von Substanzdaten verwendet, das auf den drei Ebenen Bauwerk, Bauwerksteil und Segment alle nötigen Grunddaten enthält.

Diese Daten enthalten im Bereich Bauwerksdaten auch die sogenannten Sockeldaten, die identisch mit jenen bei Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen sind. Es sind dies vor allem die Daten zur örtlichen Identifikation und Lage des Bauwerkes.

Der Kern der Daten sind die Bauwerksdaten. Die folgende Abbildung zeigt schematisch den Aufbau der Bauwerksdaten, wie sie in einem Managementsystem benötigt werden.

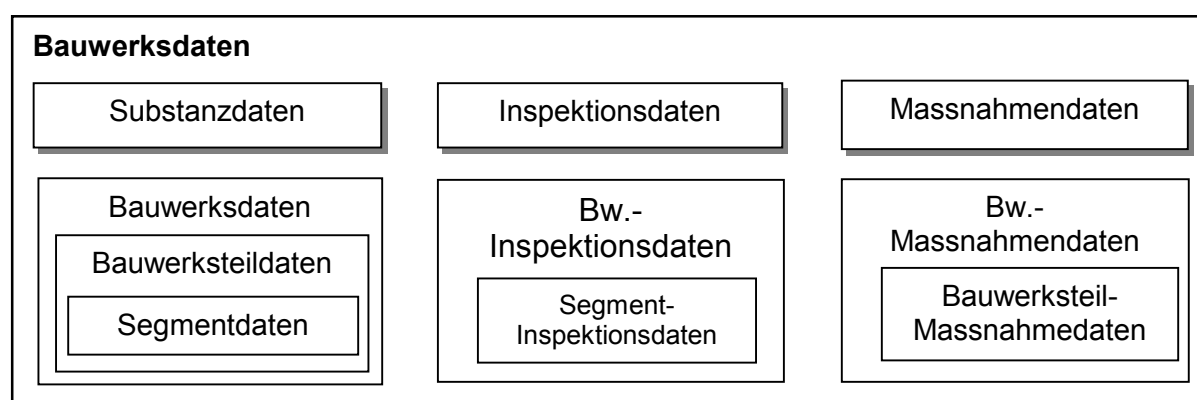


Abb. 13: Überblick über die Bauwerksdaten

Der Bereich der Substanzdaten umfasst Daten zum Bauwerk als Ganzes, zu seinen Bauwerksteilen und zu den Segmenten. Dabei kann das Bauwerk beliebig viele Bauwerksteile aufweisen und ein Bauwerksteil wiederum in ein oder mehrere Segmente unterteilt sein.

Während die Bauwerksdaten vor allem allgemeine Daten (Identifikation, Lage, Erstellungsjahr, Bauwerks–Ersatzkosten) enthalten, sind die Bauwerksteildaten und die Segmentdaten jene Daten, die direkt sowohl für die Zustandserfassung und –bewertung als auch für die Massnahmenplanung gebraucht werden. Diese enthalten sowohl die Beschreibung des Bauwerksteils als auch die Abmessungen (Ausmass) der Segmente.

Die zweite Gruppe sind die Inspektions- oder auch als Überwachungsdaten bezeichneten Daten. In diesen Bereich fallen alle Daten, welche im Zusammenhang mit Inspektionen oder Messungen an Bauwerken stehen. Nebst den allgemeinen Daten zur Bauwerks–Inspektion (Datum, Foto, Dringlichkeit etc.) und Daten aus Messungen am Bauwerk (Datum, Verhalten, Messwerte etc.) sind die Daten zur Segment–Inspektion die wichtigsten Daten. Letzere enthalten die Angaben zu dem festgestellten Schäden (Schadenprozess und Schadenausmass in Zustandsklassen).

Die dritte Gruppe sind die Massnahmendaten, die sowohl die Daten zu ausgeführten Massnahmen bezogen auf das ganze Bauwerk enthalten (Art, Datum, Kosten) als auch die Bauwerksteil–Massnahmendaten. Im zweiten Fall werden die getroffenen Massnahmen beschrieben (standardisierte Massnahmen), die Einheitskosten angegeben sowie auch die Wirkung der Massnahmen festgehalten.

## 7.2 Haupttätigkeiten / Tätigkeitsablauf

### 7.2.1 Ablauf der Bauwerkserhaltung

Die nachstehende Abbildung zeigt den prinzipiellen Ablauf der Bauwerkserhaltung, welche die grosse Bedeutung der Erhaltungsplanung veranschaulicht. Die Erhaltungsplanung liefert Entscheidungsgrundlagen für das weitere Vorgehen sowohl bei einem einzelnen Bauwerk als auch bei Bauwerkspopulationen (z.B. Kunstbauten eines Kantons, Kunstbauten der schweizerischen Nationalstrassen).

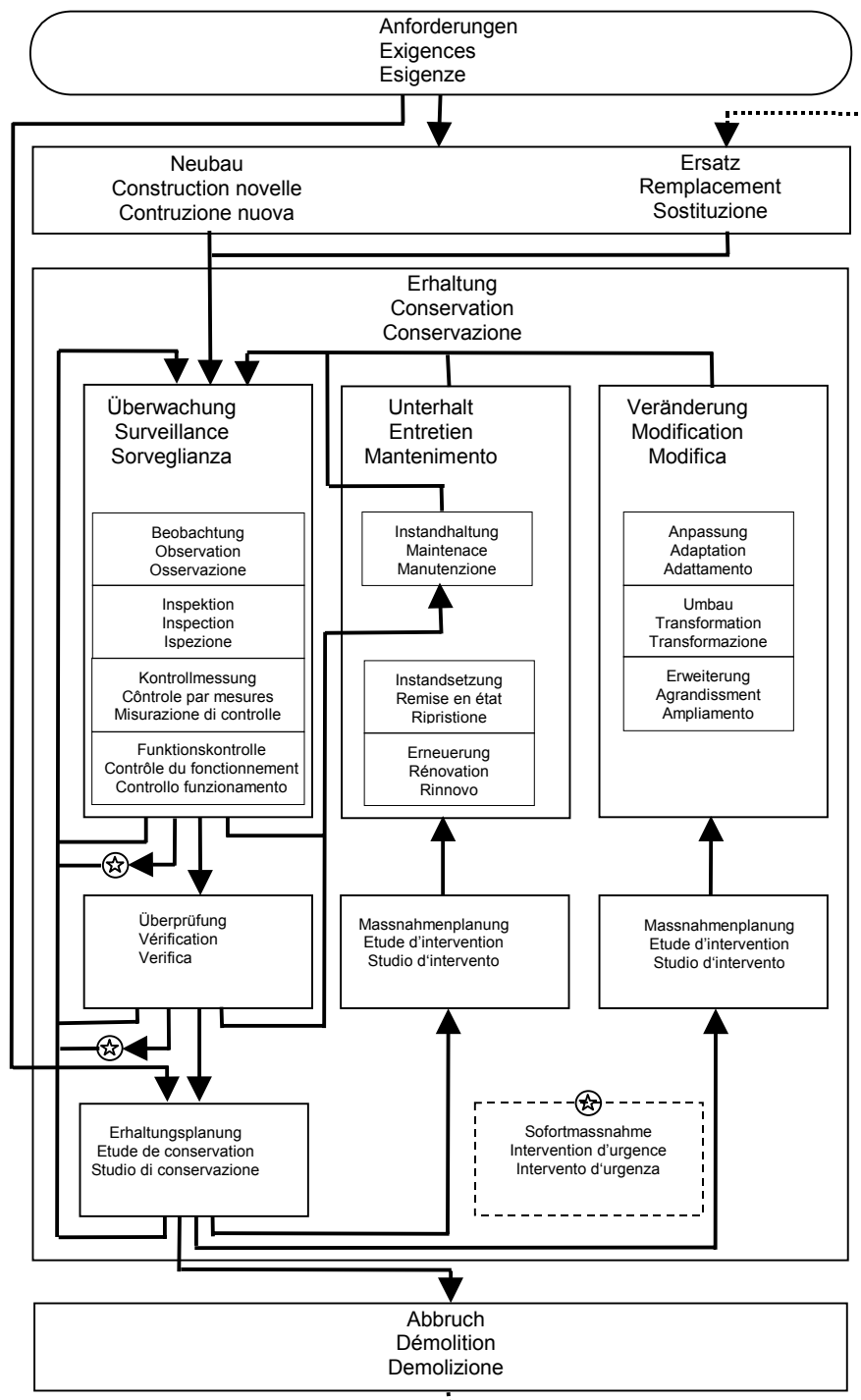


Abb. 14: Ablaufschema der Bauwerkserhaltung nach Norm SIA 469

### 7.2.2 Zustandserfassung

Die Datenerfassung erfolgt so, dass die benötigten Informationen in systematisch auswertbarer Form vorliegen. Dazu werden die Bauwerke (Kunstbauten) in Bauwerksteile gegliedert, welche einer begrenzten Anzahl Bauteiltypen zugeordnet sind (Typenregel). Dementsprechend sind die Informationen über die Kunstbauten gegliedert in:

- bauwerksbezogene Daten
- bauwerksteilbezogene Daten

Die Informationen können auf verschiedenste Weise direkt genutzt werden, beispielsweise in den Bereichen Inventar, Überwachung und Überprüfung, baulicher Unterhalt (Instandsetzung und Erneuerung), Veränderung usw. Zum anderen Teil bilden diese Informationen die Grundlage für das Kunstbauten-Management, dessen Kernstück die Massnahmenplanung ist.

Zu den bauwerksbezogenen Daten gehören:

- Identifikation und Beschrieb des Bauwerks (Inventardaten)
- durchgeführte Überwachungstätigkeiten mit Zustandsbewertung
- ausgeführte Unterhalts- und Veränderungsmassnahmen

Zu den bauwerksteilbezogenen Daten gehören:

- Identifikation und Beschrieb der Bauwerksteile entsprechend der gewählten Bauwerksgliederung
- Resultate aus Überwachungstätigkeiten und Überprüfungen, insbesondere Zustandsbewertung mit Schadenausmass und vorherrschenden Schadenprozessen
- ausgeführte Erhaltungs- und Veränderungsmassnahmen samt deren Kosten

Die verkehrs- und umgebungsbezogenen Informationen sind von übergeordneter Bedeutung. Für die Erhaltung der Kunstbauten sind verkehrsbezogene Informationen wichtig wie:

- Verkehrsmengen, Ganglinien und Verkehrszusammensetzung
- Strassenkapazität bei jedem Bauwerk mit:
  - gesamter Fahrbahnbreite
  - reduzierter Fahrbahnbreite
  - verringerter Anzahl Fahrstreifen
- Umfahrungsmöglichkeiten und Umleitungslänge bei Sperrung des betrachteten Bauwerks

Zu den umgebungsbezogenen Informationen gehören:

- Schutzzonen
- Gefahrenzonen
- Spezielle, geologische Zonen

Die bauwerks- und die bauteilbezogenen Daten sowie die verkehrs- und umgebungsbezogenen Daten werden in der Kunstbauten-Datenbank, erfasst. Teilweise entsprechen sie den Sockeldaten.

Bei Inspektionen und Überprüfungen wird der Bauwerkszustand erfasst mit Aufnahme der Schäden und deren Ausmass sowie Bewertung von Bauwerk und Bauwerksteilen. Um den Aufwand der Zustandserfassung zu reduzieren, wird bei den Inspek-

tionen der Zustand mit einfachen Mitteln erfasst und bewertet, währenddem er bei den selteneren Überprüfungen eingehend beurteilt wird. Die Überprüfungen liefern präzisere und zuverlässigere Informationen über den Zustand und das Verhalten des Bauwerks.

Die Ergebnisse der Inspektionen und der Überprüfungen werden in Berichten (bei Inspektion z.B. Kurzberichte mit ausgefüllten Checklisten), die Hauptresultate in der Kunstbauten–Datenbank festgehalten.

#### - Zustandserfassung bei Inspektionen

Die Durchführung der Inspektionen erfolgt in der Regel visuell, zerstörungsfrei und mit einfachen Mitteln. Die Inspektionen lassen sich gliedern in:

- Hauptinspektionen
- Zwischeninspektionen
- Sonderinspektionen

Hauptinspektionen sind feste Bestandteile der Überwachung. Sie werden periodisch durchgeführt und erstrecken sich über das gesamte Bauwerk. Die zeitlichen Abstände der Hauptinspektionen betragen bei Brücken und ähnlich beanspruchten Kunstbauten in der Regel fünf Jahre.

Zwischeninspektionen ermöglichen die Verfolgung des Verhaltens in engeren zeitlichen Abständen. Sie werden zwischen den Hauptinspektionen angeordnet und beschränken sich in der Regel auf ausgewählte Teile des Bauwerks. Sie werden bei Bedarf veranlasst, den im Rahmen der Überwachung gewonnenen Erkenntnissen angepasst und, falls nicht mehr erforderlich, wieder eingestellt.

Sonderinspektionen werden dann angeordnet, wenn das Bauwerk aussergewöhnlichen Einwirkungen ausgesetzt war.

#### - Zustandserfassung bei Überprüfung

Die Überprüfung ist vor allem dann erforderlich, wenn aufgrund der Überwachung eine ungenügende Sicherheit vermutet oder wenn eine Instandsetzung, Erneuerung oder Veränderung des Bauwerks in Erwägung gezogen wird. Eine Überprüfung ist auch bei wesentlichen Nutzungsänderungen zwingend.

Bei der Überprüfung wird der Bauwerkszustand anhand der Ergebnisse der Überwachung (Inspektionen, Kontrollmessungen) und anhand allfälliger vertiefter Untersuchungen (z.B. statische Überprüfung) beurteilt.

### 7.2.3 Zustandsbewertung

Aufgrund der bei Inspektionen und Überprüfungen festgestellten Schäden und Schadenausmasse wird der Zustand von Bauwerk und Bauwerksteilen bewertet.

Die Bauwerke werden in Bauwerksteile unterteilt. Für die Massnahmenplanung werden davon nur die für die Erhaltung kostenbestimmenden Bauwerksteile benötigt. Das sind jene Bauwerksteile, deren Erhaltung erfahrungsgemäss etwa 80% der Erhaltungskosten bewirkt. Die funktionsbestimmenden Bauwerksteile lassen sich aufgrund der durchgeführten Untersuchungen in eine begrenzte Anzahl Bauteiltypen einordnen (Typenregeln).

Die Zustände der Bauwerksteile aufgrund der Inspektionen werden durch Normierung mit einer Skala 1 bis 5 bewertet. Damit lässt sich ein einheitsneutraler Massstab über die unterschiedlichsten Bauwerksteile und somit auch für das ganze Bauwerk anwenden.

Die Klassierung ist wie folgt:

Zustands- klasse	Zustandsbewertung	Allgemeiner Beschrieb
1	gut	keine/geringfügige Schäden
2	annehmbar	unbedeutende Schäden
3	schadhaft	bedeutende Schäden
4	schlecht	grosse Schäden
5	alarmierend	dringliche Massnahmen

Tab. 5: Zustandsklassen

Zur Bewertung der in Bauwerksteile/Segmente gegliederten Bauwerken werden Kataloge zur Beschreibung der Schäden mit zugehöriger Bewertung nach Zustandsklassen verwendet. Dabei werden folgende Gruppen von Schäden unterschieden:

- Korrosion an Stahlbeton und Betonstahl
- Frostschäden an Beton infolge Ausspülung
- Schäden am Mauerwerk
- Schäden an Belag und Abdichtung
- Schäden bei Fahrbahnübergängen
- Schäden an Brückenlagern

Diese Schadenkataloge als Grundlage der Bewertung sind ähnlich den Schadenkatalogen, wie sie zur visuellen Zustandsbewertung von Fahrbahnen (SN 640925a) verwendet werden.

Die Zustandsentwicklung von Bauteilen desselben Bauteiltyps verläuft für verschiedene Bauwerke bei vergleichbaren äusseren Bedingungen ähnlich. Der Einfluss der äusseren Bedingungen (Umwelteinflüsse) lässt sich mittels Korrekturfaktoren berücksichtigen (Einflussfaktoren).

Die Zustandsentwicklung wird auch als Schadenprozess bezeichnet. Im Bereich der Kunstbauten werden Schadenprozesse heute üblicherweise durch Zerfallsmatrizen (Modell für die Zustandsentwicklung) beschrieben.

Die für die Ermittlung der in einem längeren Betrachtungszeitraum aufgrund eines bestimmten vorhandenen Schadenbildes und dessen Entwicklung nötigen Massnahmen können mit Hilfe von probabilistischen Prognoseverfahren bestimmt bzw. vorausgesagt werden. Geeignet dazu sind die Verfahren der Markovketten. (Diese werden in ähnlicher Weise auch zur Beschreibung der Zerfallszyklen bei Elektromechanischen Anlagen verwendet).

Mit Markovketten wird die Wahrscheinlichkeit definiert, dass ein Bauteil mit einem bestimmten Schaden (Schadentyp) von einer höheren Zustandsklasse nach einer gewissen Zeit in eine tiefere übergeht. Die Kette sagt für mehrere Zeitpunkte entsprechende Wahrscheinlichkeiten voraus. Selbstverständlich bedarf es für diese Vorhersage in der Regel mehrere, vorgängig durchgeführte, Inspektionen mit zugehöriger Feststellung der tatsächlichen Schäden resp. der jeweiligen Zustandsklassen. Je besser die Ausgangsdaten der periodischen Inspektionen (z.B. alle 5 Jahre) sind, desto genauere Vorhersagen lassen sich anstellen.

Bei Bedarf muss auch eine Bewertung der funktionellen Anforderungen der Kunstbauten vorgenommen werden. Es wird dabei festgestellt, ob und wie weit die funktionellen Eigenschaften (Fahrbahnbreite, lichte Höhe, Tragfähigkeit, Sichtverhältnis-

se usw.) den gegenwärtigen und zu erwartenden Anforderungen (insbesondere Nutzungsanforderungen) des Strassenverkehrs genügen.

#### 7.2.4 Massnahmenplanung

Die Herleitung wirtschaftlich optimaler Massnahmenfolgen zur Erhaltung der Bauwerke erfolgt über mehrere Stufen, vereinfacht lassen sich zwei Hauptschritte beschreiben, nämlich einerseits die Bestimmung der aufgrund der vorhandenen und prognostizierten Schadenbilder nötigen Massnahmen auf der Bauwerksteilebene. Andererseits geht es im zweiten Schritt um das Planen und Optimieren von Erhaltungsprojekten für einen festgelegten Betrachtungszeitraum unter gesamtwirtschaftlichen Aspekten, also unter Berücksichtigung der Auswirkung auf den Verkehr.

Im ersten Schritt werden Massnahmenkataloge verwendet, die je Bauwerksteil (Typ) bestimmte Massnahmen für bestimmte Schadenszustände (beschrieben durch bestimmte Zustandsklassen) definieren. Damit lassen sich über längere Betrachtungszeiträume verschiedene Varianten von Massnahmenfolgen anwenden. Die "standardisierten" Massnahmen werden dabei über die heute bekannten Einheitskosten monetarisiert. Um die damit zu ganz verschiedenen Zeiten anfallenden Kosten miteinander in Beziehung setzen zu können, müssen die anfallenden Kosten auf einen fixen Zeitpunkt diskontiert werden.

Aus den verschiedenen Varianten für Massnahmenfolgen können nun optimale Massnahmenfolgen für jede Zustandsklasse und dazu die langfristigen Kosten bestimmt werden. Bei diesem Vorgang handelt es sich um das Lösen eines linearen Gleichungssystems unter der Zielfunktion minimaler Kosten der Massnahmenfolgen. Dazu werden entsprechende mathematische Verfahren eingesetzt. Unterhaltungsprojekte für ein ganzes Bauwerk können nun aus den optimalen Massnahmenfolgen an den einzelnen Bauteilen zusammengesetzt werden.

Dies führt zu einem bestimmten Finanzbedarf (wirtschaftlich optimale Massnahmenfolge).

Oft interessieren aber auch Massnahmenfolgen – zumindest über kürzere Zeiträume – bei beschränkt zur Verfügung stehenden Mitteln. Das Verfahren erlaubt auch die Bestimmung solcher Massnahmenfolgen. Die gleiche, minimale Massnahmenfolge ist dann jene, wo nur dann Massnahmen ergriffen werden, wenn jeweils Zustandsklasse 5 erreicht ist.

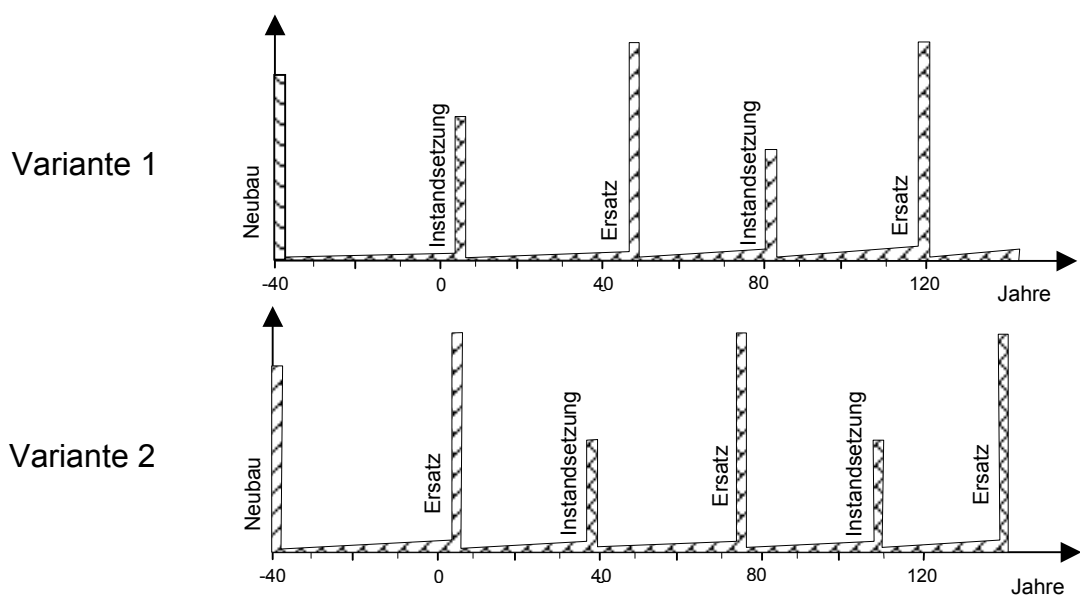


Abb. 15: Kostenprofile von Erhaltungsvarianten (Beispiele)



Im zweiten Schritt geht es um die Zusammenstellung von sinnvollerweise koordiniert ausgeführten Massnahmen bei verschiedenen Bauwerken zu sogenannte Unterhaltsprojekten. Dabei lassen sich ebenfalls verschiedene Massnahmenfolgen für mehrere Bauwerke zu Varianten zusammenstellen.

### 7.3 Informatik–Werkzeuge

#### 7.3.1 Ausgangslage

In den folgenden Abschnitten werden die grundsätzlichen Anforderungen an Informatik–Werkzeuge beschrieben, die einerseits das Erhaltungsmanagement der Kunstbauten unterstützen und andererseits Grundlagen für die koordinierte Planung der Ausführung der Massnahmen zusammen mit den Bereichen Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen liefern.

Dabei werden folgende Teile unterschieden:

- Kunstbautendatenbank
- Kunstbauten–Managementsystem
- Schnittstellen zum Massnahmenmanagement und zur Baustellenplanung (Übergabe der für die Baustellenplanung nötigen Unterhaltsprojekte)

#### 7.3.2 Kunstbautendatenbank

Die Kunstbautendatenbank ist eine Datenbank, die sämtliche, über längere Zeitabschnitte erfassten und gesammelten, Daten verwaltet.

Zentrale Aufgabe der Datenbank ist die Fähigkeit, einerseits ihren Inhalt dem Benutzer in geeigneten Formen aufzeigen zu können. Dabei handelt es sich um Teilmengen von Daten die tabellarisch und graphisch abrufbar sein müssen. Andererseits muss die Datenbank Zugriffe von aussen erlauben, so dass bestimmte Daten entnommen und im Managementsystem für Berechnungen etc. gebraucht werden können.

Die Kunstbautendatenbank soll folgende drei Teilwerkzeuge enthalten, die auf die Aufgaben eines Kunstbauten–Managements zugeschnitten sind. Dabei wird grundsätzlich unterschieden in

- Bauwerksbezogene und bauwerksteilbezogene Daten, die Daten zur Kunstbaute enthalten, und
  - Verkehrsbezogene Daten, die die Benützung der Kunstbaute betreffen.
1. Dreiteilige Datenbank für die Bereiche Substanzdaten, Inspektionsdaten und Massnahmendaten. Der Kern der Substanzdaten bilden die Beschreibungen der Bauwerksteile sowie die Abmessungen der Segmente. Die wichtigsten Daten der Inspektion sind die Angaben zu den festgestellten Schäden mit Schadensausmass, Schadensprozess und Festlegung der Zustandsklasse. Bei den Massnahmendaten sind vor allem geplante resp. ausgeführte Massnahmen, deren Kosten (Einheitskosten) sowie bei ausgeführten Massnahmen deren Wirksamkeit festgehalten.
  2. Die im Bereich der Substanzdaten abgelegten, allgemeinen Informationen zum Bauwerk wie Identifikation, Lage, Geometrie enthalten die sogenannten Sockel-daten mit identischen Informationen, die auch in den Bereichen Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen verwendet werden. Sie sind besonders zu kennzeichnen und in der gleichen Struktur wie in den anderen Bereichen festzulegen.

3. EDV- gestützte Datenerfassung im Bereich der Inspektion (Überwachungsdaten) insbesondere der Segment-Inspektion und der Eingabe der Segmentschäden vor Ort.

### 7.3.3 Managementsystem

An das Managementsystem (Informatik-Werkzeug) sind folgende Anforderungen gestellt:

1. Das Managementsystem liefert Entscheidungsgrundlagen für die Planung von wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen auf Bauwerksteilebene und Bauwerksebene zur Erhaltung der Funktionstüchtigkeit der Kunstbaute über längere Betrachtungszeiträume.
2. Die im Managementsystem benötigten Daten liefert die Kunstbautendatenbank. Das Managementsystem muss fähig sein, Daten verschiedener Herkunft (Struktur) aufzunehmen und zu verarbeiten.
3. Das Managementsystem soll folgende Werkzeuge enthalten:
  - Schadenkatalog (Beschrieb der Zustandsklassen für die einzelnen Schadenprozesse)
  - Zerfallsmatrizen für Schadenprozesse (z.B. Markov)
  - Massnahmenkatalog (standardisierte Massnahmen mit Einheitskosten und Wirkungsgrad)
  - Berechnungsalgorithmus für die Bestimmung der optimalen Massnahmenfolgen je Bauwerksteil
  - Funktionen zur Optimierung der Massnahmenfolgen auf Bauwerksebene
  - Anzeige des Finanzbedarfs zur Realisierung der optimierten Massnahmenfolgen
  - Anzeige der Auswirkungen auf die Entwicklung des Bauwerkszustandes bei beschränkten finanziellen Mitteln.
4. Das Managementsystem macht Vorschläge zur Zusammenfassung von Unterhaltmassnahmen an verschiedenen Objekten im gleichen Streckenzug.

### 7.3.4 Grundlagen für das Massnahmenmanagement und die Baustellenplanung

Das Kunstbauten-Managementssystem erarbeitet grundsätzliche Massnahmenpakete für die Erhaltung der Kunstbauten.

Da vor allem bei stark belasteten Strassen (z.B. Nationalstrassen) Erhaltungsmassnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen wo möglich koordiniert werden sollen, muss das Kunstbautenmanagement je Bauwerk Saniierungsabläufe und Zeitbedürfnisse genau angeben können. Diese Angaben sind für die gemeinsame Baustellenplanung insbesondere deshalb wichtig, weil die Kunstbauten, vorab Brücken und Tunnel, die zeitlich kritischen Wege bei der Realisierung der Erhaltungsmassnahmen bilden.

Diese Angaben bilden die Grundlagen für die Entscheide, ob die im Stassentrassee liegenden Baustellen mit Kunstbauten koordiniert mit den Unterhaltmassnahmen an Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen ausgeführt werden können. Dies führt zu zwei Gruppen von Kunstbauten:

- Kunstbauten, die in gemeinsame "Baustellen" mit den Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen eingegliedert werden können und
- Kunstbauten, die eigene "Baustellen" festlegen, wo sich allfällige ebenfalls nötige Massnahmen an Fahrbahnen und Elektromechanischen Anlagen unterordnen (und zeitlich je nach Bauablauf angeordnet werden können).

Das Kunstbauten-Managementssystem liefert die Grundlagen für diese Einteilung.

## 7.4 Anwendung

### 7.4.1 Verantwortungsebenen

Für die Kunstbauten sind beim Bund und in den Kantonen verschiedene Verantwortungsebenen zuständig:

- Politische Instanzen:
  - Bundesrat und Regierungsräte als Exekutiven
  - National-, Stände- und Kantons- bzw. Grossräte als Legislativen
- Verwaltungen:
  - Bundesamt für Strassen und Kantonale Tiefbauämter
  - Fachstellen der Ämter beim Bund und den Kantonen, d.h. Brückeningenieurere, deren Inspektoren und Mitarbeiter
  - Betrieb, Werkhöfe
  - Polizei

An Informationen über Kunstbauten sind ausserdem folgende Stelle interessiert:

- Planungsbüros
- Unternehmer
- Forschungsstellen
- Fachverbände VSS und SIA
- Medien

### 7.4.2 Informationsbedarf

- Bedürfnisträger

Zuständig für das Kunstbauten-Management sind die Fachstellen in den Ämtern. Die kantonalen Fachstellen und deren Mitarbeiter sind in der Regel auch die Anwender des Kunstbauten-Managements. Sie sind verantwortlich für die Validierung der gespeicherten Daten, für deren Interpretation und für die Weitergabe der Informationen an den Betrieb, die Polizei und die übergeordneten Stellen.

Im weiteren pflegen die kantonalen Fachstellen Kontakte zu den Fachverbänden, zu Forschungsstellen und Experten und Informationsaustausch zu Gebieten der Strassenerhaltung.

Die für die Kunstbauten Verantwortlichen bereiten die Managemententscheide für die Strassen vor. Verlangt werden verdichtete, aufbereitete Informationen wie Zustand der Kunstbauten, Geldmittel und deren Verteilung, Zustandsprognosen und Finanzbedarf.

- Anwender

Die Anwender eines Managementsystems haben folgende Hauptbedürfnisse an Informationen:

- Inventar:
  - Stamminformationen über Bauwerke und Bauwerksteile
- Strassennutzung:
  - Strassenkapazität und Umfahrungsmöglichkeiten
  - Behinderungen
  - Routen für Ausnahmetransporte, Befahrbarkeit durch Ausnahmetransporterwachungsplanung
- Inspektionen:
  - Zustandserfassung
- Überprüfungen:
  - Zustandsbewertung der Bauwerke und Bauwerksteile
  - Zustandsentwicklung
  - Ergebnisse von Kontrollmessungen
- Unterhalt:
  - Instandhaltungsplanung
  - Instandsetzungsplanung
  - Ausgeführte Instandsetzungen
- Veränderung:
  - Planungsunterlagen Veränderungen
  - Ausgeführte Veränderungen
- Finanzen, Erhaltungsplanung:
  - Langfristiger Finanzbedarf
  - Szenarien
  - Massnahmenprogramm
  - Budgetvorschläge

### 7.4.3 Planung der Erhaltungsmassnahmen

Die zentrale und koordinierte Planung der Erhaltungsmassnahmen im Bereich der Kunstbauten erfolgt im Tiefbauamt. Hier werden die Bedürfnisse der einzelnen Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen separat geplant und soweit nötig und sinnvoll koordiniert.

Im Falle der Koordination geht es um die Planung von Massnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen über einen längeren Betrachtungszeitraum, die sich in einzelnen, grösseren und zusammengefassten Baustellen erledigen lassen. Da die Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen über diese Zeiträume im Rahmen der einzelnen Managementprozesse der drei Bereiche bereits sichergestellt wird, ist eine gemeinsame Plattform für eine kostengünstige Baustellenplanung gewährleistet. Mit dem Werkzeug Massnahmenmanagement werden die Koordinationsbedürfnisse und –möglichkeiten einerseits technisch überprüft, andererseits eine Einordnung aller Massnahmen in einen Realisierungsplan "koordinierte Baustelle" unter der Bedingung der Kostenoptimierung vorgenommen.

## 8. Fachkonzept Erhaltungsmanagement von Elektromechanischen anlagen

### 8.1 Grundlagen

#### 8.1.1 Ausgangslage

Das Fachkonzept EMS soll aufzeigen, wie allgemeine Unterhalts- und Wartungsarbeiten so in Arbeitspakete gefasst werden können, dass die Aufrechterhaltung der Betriebssicherheit, Betriebsbereitschaft, Leistungsfähigkeit, usw. für den Benutzer dauernd gewährleistet und laufend verbessert werden kann.

Es gilt also, mit den zur Verfügung stehenden Mitteln die Sicherheit für Verkehrsteilnehmer und Personal zu gewährleisten und die technisch bedingten Nutzungsdauern wirtschaftlich zu optimieren.

Dabei müssen sich die Massnahmen, soweit sie für eine koordinierte Ausführung zusammen mit baulichen Erhaltungsmassnahmen an Kunstbauten und Fahrbahnen geeignet sind, in eine gemeinsame Baustelle eingliedern lassen.

Voraussetzung für die Bildung von sowohl mit den Bereichen Kunstbauten und Fahrbahnen koordinierte als auch unabhängige Arbeitspakete ist eine gute Kenntnisse des aktuellen Anlagezustandes. Die darauf aufgebaute Massnahmenplanung zeigt die grundsätzlich erforderlichen Erhaltungsmassnahmen des baulichen Unterhalts und der Erneuerung. Gesucht sind schliesslich die wirtschaftlich optimierten Massnahmenfolgen über einen längeren Betrachtungszeitraum. Dabei ist zwischen jenen Massnahmen zu unterscheiden, die koordiniert mit Erhaltungsmassnahmen an Fahrbahnen und Kunstbauten auszuführen sind und jenen, die wirtschaftlich optimal, unabhängig davon ohne Einschränkung der Sicherheitsanforderungen, realisiert werden können.

Damit wird der Finanzbedarf für die gesamten Erhaltungsmassnahmen im Bereich der Elektromechanischen Anlagen sowie die erforderliche Unterhaltsstrategie ersichtlich.

Für die Durchführung dieser Tätigkeiten ist der Einsatz von Informatik-Werkzeugen sinnvoll, die diese Anforderungen erfüllen. Zudem sollen solche Werkzeuge fähig sein, bei zeitweise beschränkten finanziellen Mitteln (Budgets) die besten, vorübergehend anzuwendenen, Alternativen für die Realisierung geeigneter Massnahmenfolgen unter solchen Bedingungen aufzuzeigen.

### 8.1.2 Zielsetzung

Die Ziele des Erhaltungsmanagements der Elektromechanischen Anlagen sind wie folgt:

- Die Gewährleistung der Funktionsbereitschaft aller Anlagen in den Objekten
- Die Auslösung und Unterstützung der Inspektionen und Anlagekontrollen
- Die Werterhaltungsplanung mit dem Ziel, die technischen Anlagen mit minimalem Aufwand innerhalb der technischen Zustandsgrenzen zu erhalten
- Die Bereitstellung von Anlagen-Informationen als Grundlage für die kontinuierliche Verbesserung der Erhaltungsmassnahmen
- Reduktion der Betriebs- und Erneuerungskosten
- Die Koordination der sinnvollerweise zusammen mit Erhaltungsmassnahmen an Fahrbahnen und Kunstbauten zu realisierenden Massnahmen.

### 8.1.3 Inventar

Die Gesamtheit der Elektromechanischen Anlagen enthält eine grosse Vielfalt unterschiedlicher Anlagen, Apparaten, Einrichtungen, Ausrüstungen usw. im Umfeld der Verkehrsanlagen (vgl. Abb.).

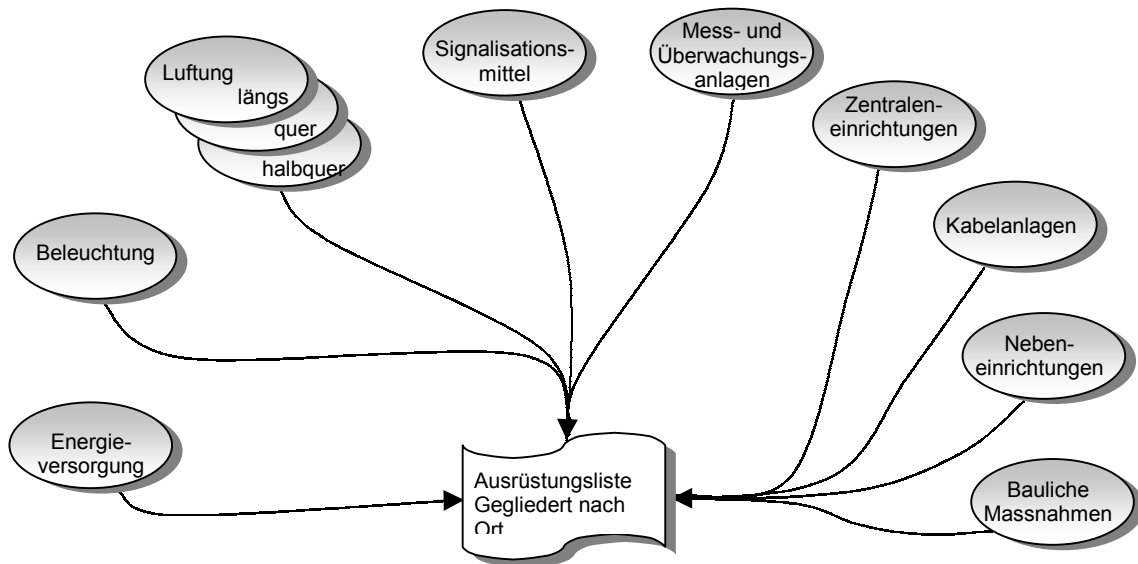


Abb. 16: Ausrüstungsliste (Beispiel)

Ein systematisch zu betreibendes Erhaltungsmanagement der Elektromechanischen Anlagen unter Einbezug dieser Vielfalt von Einzelanlagen bedarf eines einheitlichen und eindeutigen Kennzeichnungssystems. Als für diesen Bereich zweckmässiges System wird die sog. „Kennzeichnungssystematik gemäss DIN 6779-1“ (AKS-Code) verwendet.

Der generelle Aufbau des AKS- Codes enthält grundsätzlich bis zu fünf Informationsblöcke (Ort, Anlage, Betriebsmittel, Anschluss, Schema), mit denen das Inventar der Anlagen(teile) eindeutig bezeichnet werden kann. Die Aufgliederung der fünf Informationsblöcke kann beliebig gewählt werden. Die Anzahl Blöcke richtet sich nach dem Bedarf aus der Arbeits- oder Massnahmenplanung.

Das Beispiel zeigt die Anwendung des AKS im Bereich Elektromechanischer Anlagen:

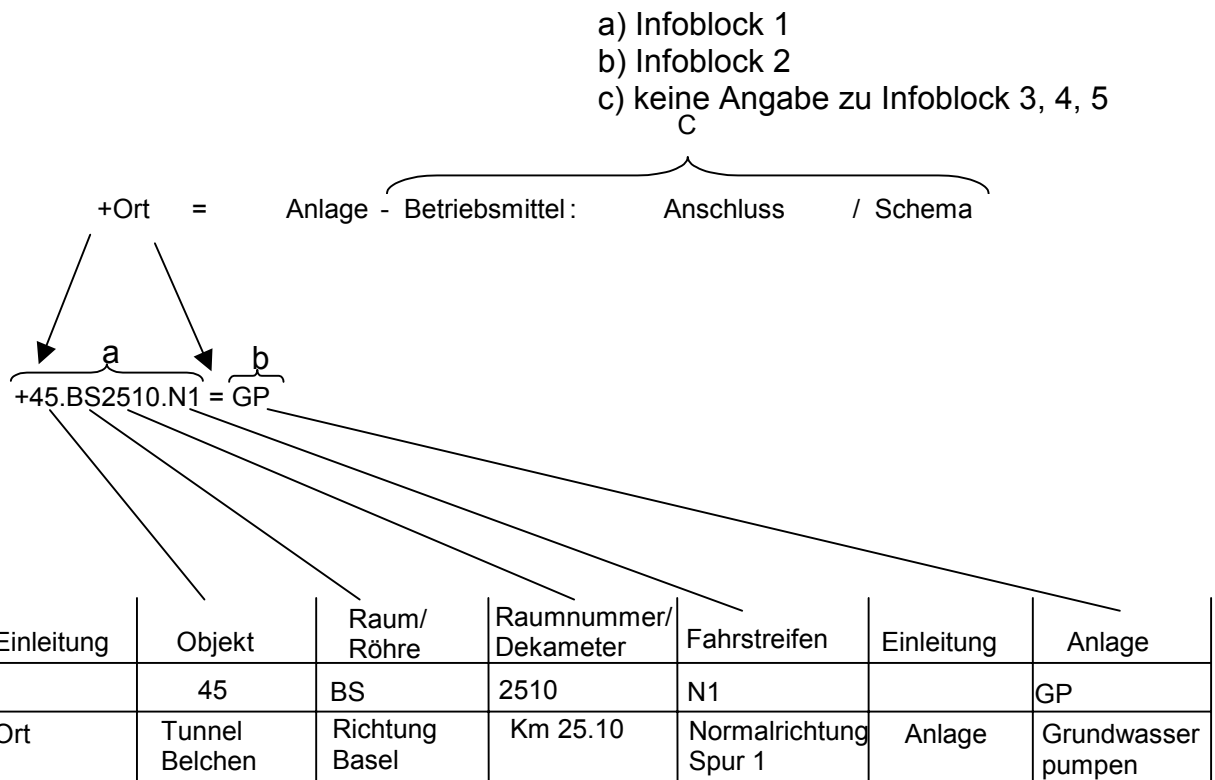


Abb. 17: Beispiel für eine AKS- Definition

Die Definition sämtlicher Anlagen im AKS–Code erfordert eine einmalige, sorgfältige Inventarisierung aller Anlagen nach dem AKS–Ordnungsprinzip. Dieses Inventar stellt das eigentliche räumliche Bezugssystem dar und ist Grundlage für die Strukturierung der Daten in einer entsprechenden Datenbank.

Besondere Bedeutung für die Erhaltungsplanung, namentlich für die Bestimmung wirtschaftlich optimaler Massnahmenfolgen, kommt dem Einbezug des Kriteriums Nutzung der Anlagen im Bereich Elektromechanischer Anlagen zu. Die Nutzung der verschiedenen Anlagen muss durch eine Risikobewertung nach Auswirkungen wie Schadenfolgen, Einfluss auf die Verkehrssicherheit, Einfluss auf die Betriebssicherheit beschrieben werden. Diese Bewertung im Rahmen der Inventarisierung bildet den Schlüssel zur Bestimmung derjenigen Massnahmen, die bezüglich Durchführung der Erhaltungsmaßnahmen unabhängig sind resp. derjenigen Massnahmen, die sich zusammen mit Massnahmenfolgen an den Fahrbahnen und Kunstbauten koordiniert realisieren lassen.

## 8.2 Tätigkeitsablauf (Arbeitsprozess)

### 8.2.1 Arbeitsschritte und Zusammenhänge

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Arbeitsschritte im Erhaltungsmanagement der Elektromechanischen Anlagen (innerer Kreis) sowie die weiteren Zusammenhänge.

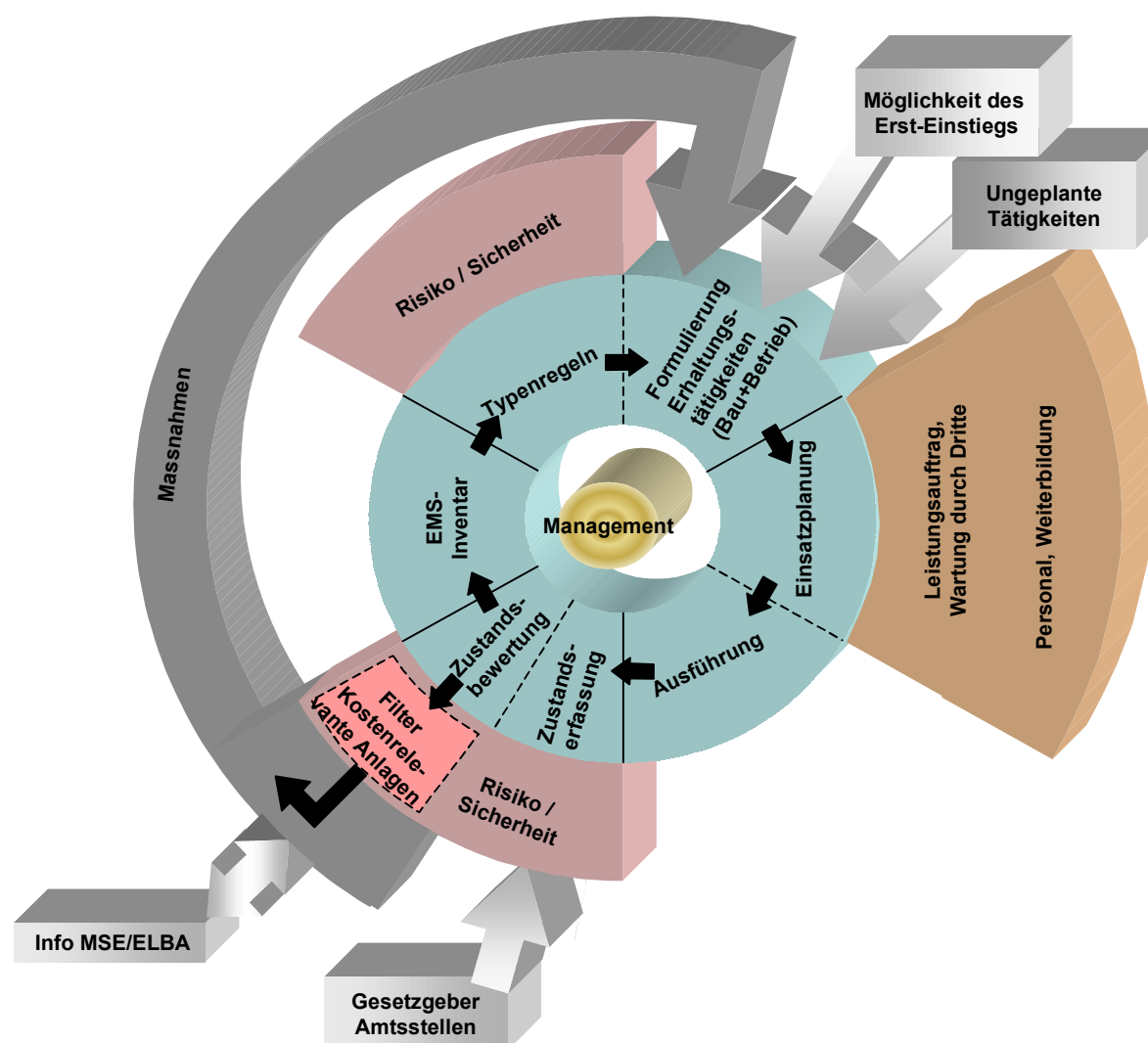


Abb. 18: Arbeitsschritte und Zusammenhänge im EMS

Auf die einzelnen Arbeitsschritte sowie die wichtigsten in diesen Schritten anzuwendenden Regeln und Verfahren wird in den folgenden Abschnitten näher eingegangen. Sie stellen gleichsam die Anforderungen an ein systematisch durchgeführtes Erhaltungsmanagement im Bereich der Elektromechanischen Anlagen dar.

### 8.2.2 Zustandserfassung

Auch im Bereich der Elektromechanischen Anlagen sind verschiedenste Daten als Grundlagen für das Management zu erfassen, die der Identifikation der Objekte dienen. Dies erfolgt, wie in Ziffer 8.1.3 näher erläutert, im Rahmen der Inventarisierung mittels AKS. Andererseits geht es im Erhaltungsmanagement im ersten Tätigkeitsblock der Diagnose (vgl. generelles Fachkonzept) um die Zustandserfassung und -bewertung.

Um eine grosse Datenflut zu vermeiden, werden nur typenregelkonforme Erhaltungstätigkeiten definiert. Es sollen demzufolge auch nur erhaltungsrelevante Zustandsdaten erfasst werden. Das EMS-Instrument soll deshalb nur die Erfassung von Anlagedaten und -kenngrossen ermöglichen, die für die Zustandsbewertung relevant sind. Die so erfassten Daten sollen grundsätzlich grafisch dargestellt werden, so dass daraus eine typenbezogene Aussage abgeleitet werden kann.

Typenregeln sind u.a. dazu da, Zustände von verschiedenen Aggregaten durch gleiche Tätigkeiten zu erfassen, so dass Erhaltungsstrategien zum Beispiel am gleichen Ort zusammengefasst und zeitlich verknüpft werden können. Es müssen indessen gleichwohl bei allen Einzelanlagen Zustandserfassungen durchgeführt werden.

Wie bereits in Ziffer 8.1 dargelegt, geht es im Bereich der Elektromechanischen Anlagen darum, anhand einer Risiko-Triage jene Anlagen von anderen zu unterscheiden, bei denen durch Ausfall, Störung etc. eine grosse Schadenfolge oder Ersatz, verbunden mit hohen Kosten, zu erwarten ist. Die so ausgewählten Anlagen werden einer systematischen und regelmässigen Zustandserfassung und -bewertung zugeführt. Dabei sind die entscheidenden Kenngrossen festzulegen, die regelmässig erfasst und bewertet werden müssen. Die Zustandsbeschreibung durch Kenngrossen wird im Hinblick auf die Ausfallswahrscheinlichkeit definiert. Dazu werden Methoden wie Zuverlässigkeitsbaum und Markovketten eingesetzt. Die weiteren Grössen werden einem weniger strengen Erfassungs- und Bewertungsrhythmus unterzogen und häufig erst bei Anzeichen von Störungen, also nur bei Bedarf, kontrolliert.

### 8.2.3 Zustandsbewertung

Im Erhaltungsmanagement der Elektromechanischen Anlagen erfolgt grundsätzlich eine Verknüpfung der Erhaltungstätigkeiten (Unterhaltmassnahmen) mit der Zustandsbewertung. Dies bedeutet, dass die Zustandserfassung (Datenerhebung) immer über eine Zuordnung zu einer bestimmten Typenregel erfolgt. Dies äussert sich so, dass in der Regel aufgrund eines Satzes von Kenngrossen (Graphen) die Bewertung vorgenommen wird. Dazu wird i.A. die Methode des Radialdiagramms verwendet (Graphische Auswertung). Mittels graphischer Darstellung von Kenngrossen erfolgt die Zustandsbewertung.

Für die Bewertung des Zustandes werden die erhobenen Werte (Erfassung) für die Kenngrossen (z.B.) als einzelne Strahlen dargestellt. Damit eine Vergleichbarkeit der Kenngrossen überhaupt möglich wird, werden die Werte der Kenngrossen „normalisiert“ und zwar zwischen einem „Soll-Minimum = 3 und einem Soll-Maximum = 1. Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel eines solchen Radialdiagrammes.



Das Radialdiagramm ist eine von verschiedenen Möglichkeiten, dem Betrachter eine Bewertungs-Hilfe in Form einer übersichtlichen Verknüpfung der Kenngrößen zu geben. Die Länge der Strahlen gibt die Kenngrößen-Werte an; das Soll-Minimum und das Soll-Maximum den vom Anlagenbetreiber gewünschten Ideal-Bereich. Liegen beispielsweise alle 5 Kenngrößen auf dem Soll-Maximum (oder Minimum), ergibt sich ein regelmäßiges Fünfeck und damit eine ausgeglichene Bewertung des Zustandes. Befinden sich einzelne Kenngrößen im Minimum-Bereich, andere im Soll-Maximum oder darüber, ergibt sich eine ausgesprochene "Schieflage" des Fünfeckes. Daraus lässt sich mit einem Blick auf einen „Instabilen“ Zustand schließen. Es ist sogar denkbar, dass sich gewisse Formen und Muster hinsichtlich des Zustands ableiten lassen.

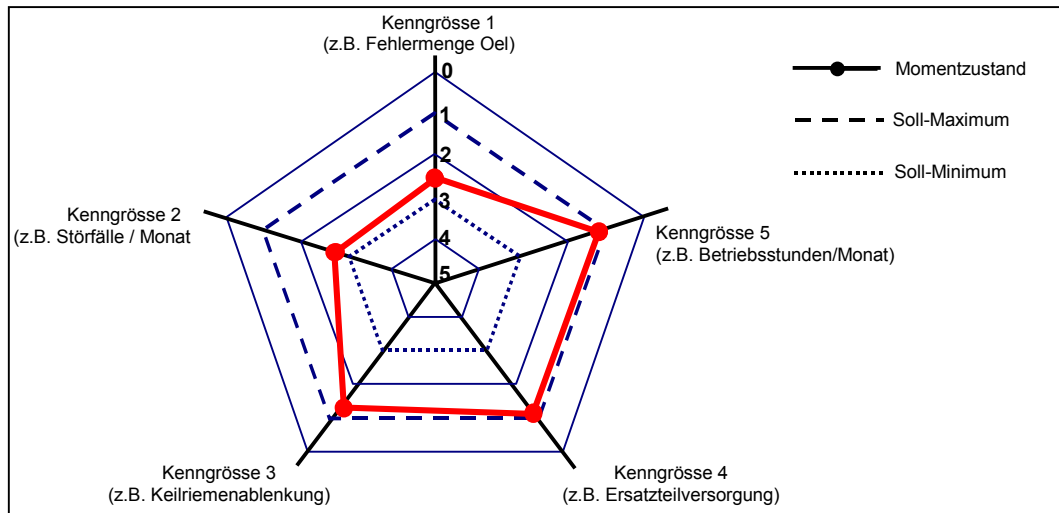


Abb. 19: Zustandsbild als Radialdiagramm

Für eine abschliessende Zustandsbeurteilung sind jedoch zusätzliche Informationen zu berücksichtigen, die im Diagramm nicht ersichtlich sind, wie z.B.:

- Unterschiedliche Gewichtung der Kenngrößen
- Zeitpunkte der Zustandserfassung
- Entwicklungstrend der Kenngrößen
- Messgenauigkeit

Einen Teil dieser Informationen liefert die Darstellung „Zeitreihe“, die die zeitliche Entwicklung einer Zustandskenngröße über einen bestimmten Zeitraum aufzeigt. Dabei sind die Grenzen des Sollwert-Bereichs sichtbar. Diese Zeitreihe erlaubt eine Beurteilung des Verlaufes der Kenngröße durch Vergleich mit Normverläufen.

Die nachstehende Abbildung zeigt den Verlauf der Zustandskenngröße als Zeitreihe und zeigt auch die Grenzen für die Zustandsbeurteilung (Bewertung).

Die Bewertung soll zusammen mit diesen beiden Hilfsmitteln letztlich aber bewusst subjektiv - unter Berücksichtigung des Fachwissens des Anlagebetreibers - vorgenommen werden. Das Instrument des Radialdiagrammes erlaubt immerhin die Vornahme einer einheitlichen auf die Zustandsklassen 1 und 2 normierte Bewertung, wie sie in den Bereichen Fahrbahnen (Indexierung) und Kunstbauten (Zustandsklassen) analog verwendet wird.

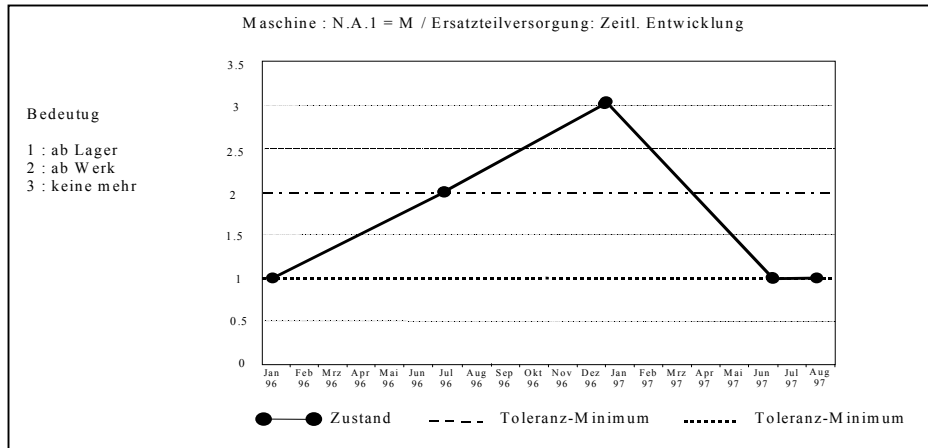


Abb. 20: Zeitreihe einer Zustandskenngröße

### 8.2.4 Massnahmenplanung

Erste Grundlage für die Massnahmenplanung für die Erhaltung ist das Inventar aller Anlagen, Aggregate, Einrichtungen etc. der Elektromechanischen Anlagen. Es liegt in Form einer sog. Ausrüstungsliste vor. Durch Verknüpfung der Ausrüstungsliste mit den typisierten Erhaltungsarbeiten (Typenregeln) für die Wartung, den Unterhalt und die Erneuerung entsteht die Massnahmenplanung. Anhand der Zustandsbewertung können die Arbeiten nach Notwendigkeit und Dringlichkeit in Arbeitsprogramme (Massnahmenfolgen) umgesetzt werden.

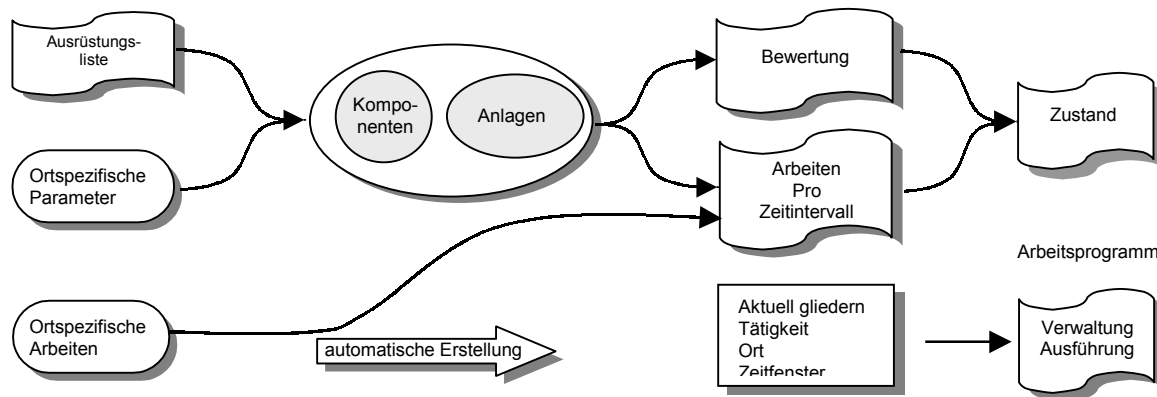


Abb. 21: Ablauf der Massnahmenplanung

Einmal erarbeitete Pläne, Programme und Typenregeln sind einem laufenden Wandel unterworfen und müssen periodisch angepasst werden. Einerseits findet eine Optimierung und Verfeinerung aufgrund von zusätzlichem Wissen oder gemachten Erfahrungen in der Praxis statt, andererseits ändern die Strategien und Randbedingungen im Laufe der Zeit und führen zu einem Anpassungsbedarf.

### 8.2.5 Wahl der Massnahmen

Die Arbeitspläne (Massnahmenplanung) enthalten nun alle Massnahmen, die aus Sicht des Bereiches Erhaltung der Elektromechanischen Anlagen in einem bestimmten Zeitraum zu bestimmten Zeitpunkten realisiert werden müssen. Diese Massnahmen sind über diesen Zeitraum wirtschaftlich optimiert.

Wie unter Ziffer 8.1.1 festgestellt, fallen darunter Massnahmen deren Realisierung unabhängig von anderen Arbeiten an Fahrbahnen und Kunstbauten sind, aber auch solche Massnahmen, die direkt und indirekt mit Tätigkeiten an Fahrbahnen und Kunstbauten zusammenhängen.

Die zweite Kategorie von wirtschaftlich optimierten Massnahmenfolgen sind nun in das Massnahmenmanagement bzw. die Baustellenplanung so aufzunehmen, dass sie mit Arbeiten an Fahrbahnen und Kunstbauten koordiniert werden können. Damit lassen sich Baustellenzahl und Dauer der Baustellen optimieren.

### **8.3 Informatik–Werkzeuge**

#### 8.3.1 Ausgangslage

In den folgenden Abschnitten werden die grundsätzlichen Anforderungen an Informatik–Werkzeuge beschrieben, die einerseits das Erhaltungsmanagement der Elektromechanischen Anlagen unterstützen und andererseits Grundlagen für die koordinierte Planung der Ausführung der Massnahmen zusammen mit den Bereichen Fahrbahnen und Kunstbauten liefern.

Dabei werden folgende Teile unterschieden:

- Datenbank (DB)
- Managementsystem (EMS)
- Schnittstellen zum Massnahmenmanagement und zur Baustellenplanung (Übergabe der für die Baustellenplanung nötigen Arbeitspakete)

In den folgenden Abschnitten werden diese Teile behandelt.

#### 8.3.2 Datenbank

Für die Datenbank sind folgende Anforderungen zentral:

1. Benutzerorientierte Datenbank, welche Basis- und Zustandsdaten der Elektromechanischen Anlagen enthält, um bei genügend vorhandenen Datenmengen daraus optimale Erhaltungsstrategien ableiten zu können.
2. Die Basisdaten sind systematisch nach dem AKS–Prinzip zu verwalten. Dabei sind die sogenannten Sockeldaten, welche identische Informationen die auch in den Bereichen Fahrbahnen und Kunstbauten verwendet werden, besonders zu kennzeichnen, und in der gleichen Struktur wie in den andern Bereichen festzulegen.
3. EDV–gestützte Datenerfassung, Zustandsmessungen und -beobachtungen vor Ort, unter Verwendung von tragbaren Computern.  
Auslegung einer entsprechenden Schnittstelle zur direkten Kommunikation.
4. Die Datenbank soll folgende Teilwerkzeuge enthalten, die auf die Aufgaben des Managementsystems zugeschnitten sind:  
EM–Inventar mit hierarchischen Beziehungen (AKS), Basisdaten und Zustandsdaten:
  - Ort (Objekt, Räume)
  - EM–Typ (Gliederung der Elektromechanischen Anlagen und Aggregate etc.)
  - Kenngrössen Zustand (Zustandsmessung)
  - Werte (Plausibilitätsprüfung der Eingabedaten).

### 8.3.3 Managementsystem

An das Managementsystem (Informatik–Werkzeug) sind folgende Anforderungen gestellt:

1. Das Managementsystem liefert Entscheidungsgrundlagen für die Massnahmenplanung, die wirtschaftlich optimalen Arbeitspakete (Realisierung der geplanten Massnahmen) enthalten und die Betriebsbereitschaft sicherstellen.
2. Die im Managementsystem benötigten Daten liefert die Datenbank. Das Managementsystem muss fähig sein, Daten aus verschiedener Herkunft (Struktur) aufzunehmen und zu verarbeiten.
3. Das Managementsystem soll folgende Werkzeuge enthalten:
  - Typenregeln (vorgegebene, periodische Erhaltungsaktivitäten pro EM–Typ)
  - Pendenzen (Information zu geplanten resp. durchgeführten Erhaltungsmaßnahmen)
  - Erfassungsprofile (Bestimmung der relevanten Kenngrößen für die Erarbeitung der Pendenzen aufgrund der Zusammenhänge Typenregeln und Kenngrößen).  
Die Erfassungsprofile sind somit die zentralen Bindeglieder zwischen der Datenbank und dem Managementsystem.
  - Auftragspakete: Enthält Informationen zu einzelnen entsprechend zu zusammengestellten Paketen von mehreren Pendenzen, welche von einer Arbeitsgruppe auszuführen sind. Dies sind die Hauptresultate des MS-Werkzeuges.
4. Das Managementsystem kennzeichnet jene Arbeitspakete, die abhängig sind und zusammen mit Massnahmen an den Fahrbahnen oder Kunstbauten auszuführen sind. Unabhängige Massnahmenpakete sind gesondert zu kennzeichnen.

Diese Anforderungen werden durch Definition eines entsprechenden Datenmodells für die Datenbank und für das Managementsystem sowie den notwendigen Datenaustausch zwischen diesen beiden Teilen formuliert resp. sichergestellt.

### 8.3.4 Grundlagen für die Baustellenplanung

Das Managementsystem erarbeitet grundsätzlich Massnahmenpakete (Arbeitspakete) für die Erhaltung und die Erneuerung von Elektromechanischen Anlagen. Dabei werden zwei Arten von Arbeitspaketen unterschieden:

1. **Abhängige Arbeitspakete:** Arbeitspakete, die in ihrer Realisierung zusammen mit Massnahmenfolgen der Fahrbahnen oder/und Kunstbauten geplant und durchgeführt werden müssen. Sie enthalten somit Grundlagen für die Baustellenplanung. Es sind dies bereits wirtschaftlich optimierte Pakete, die bezüglich Massnahmen räumlich und zeitlich über einen bestimmten längeren Betrachtungszeitraum fixiert sind.
2. **Unabhängige Arbeitspakete:** Arbeitspakete, deren Durchführung unabhängig von Arbeiten an Fahrbahnen oder Kunstbauten sind. Es sind Massnahmen, die sich mehrheitlich nach dem Bedarf zur Sicherstellung der Betriebsbereitschaft richten und zeitlich kaum in die Baustellenplanung einordnen lassen.

Das Managementsystem muss die Übergabe der abhängigen Arbeitspakete zur Baustellenplanung sicherstellen können.

## 8.4 Anwendung und Einsatz

### 8.4.1 Verantwortungsebenen

Die Verantwortungs- oder Führungsebenen können mit einem Regelkreis dargestellt werden. Im Erhaltungsmanagement ist es generell wichtig, die bestehenden Organisations-Strukturen zu beachten, denn Erhaltung hat immer mit Organisation zu tun. Der Aufbau eines Erhaltungs-Managements kann sogar zu einer Veränderung von bestehenden Organisationen führen.

Die Abhängigkeiten der einzelnen Aktivitäten sowie der Informationsfluss kann als Regelkreis dargestellt werden. Aktivitäten führen zu neuen Erkenntnissen, die wiederum die Aktivitäten beeinflussen können. Es zeigt sich, dass es sinnvoll ist, zwischen den Führungsebenen Tiefbauamt, Werkhof und Arbeitsgruppe zu unterscheiden (vgl. nachfolgende Abbildung).

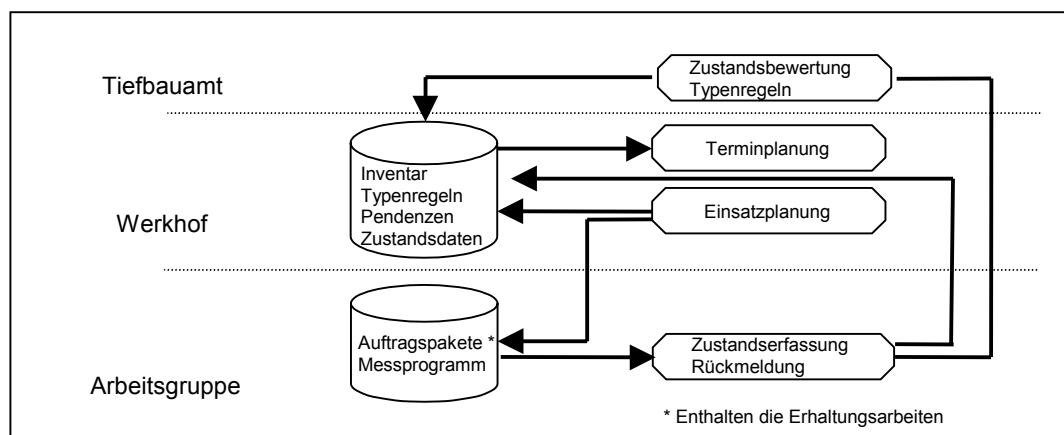


Abb. 22: Regelkreise in der Erhaltung

### 8.4.2 Funktionsbereiche und Benutzerprozess

Der realisierte Funktionsumfang lässt sich – in Analogie zum bereits beschriebenen Regelkreis - in drei Schwerpunkte gliedern:

- Überwachungsstrategien- Tiefbauamt:  
Mittels periodischen statischen Auswertungen soll der Zustand der Elektromechanischen Anlagen ermittelt sowie die „Richtigkeit“ der Typenregeln überprüft werden.
- Disposition- Werkhof:  
Die Workstation auf Werkhof-Ebene übernimmt beim gegenwärtigen Datenumfang noch die zentrale Rolle. Auf dieser Plattform findet das Pedenzenmanagement, die Auftragspaketbildung, die Auftragsübergabe an die tragbaren PC's sowie die Verarbeitung der Erledigungsrückmeldungen mit den erfassten Zustandsmessungen statt.
- Zustandsmessungen und –beobachtungen, Erhaltungsarbeiten:  
Auf den tragbaren PC's werden die zugewiesenen Auftragspakete bis zur Rückmeldung in einer kleinen Auftragsdatenbank gespeichert. Die „Lebensdauer“ eines Auftragspaketes beginnt mit der Auftragsübergabe und endet mit der Rückmeldung.

### 8.4.3 Planung der Erhaltungsmassnahmen

Die zentrale und koordinierte Planung der Erhaltungs- und Erneuerungsmassnahmen im Bereich der Elektromechanischen Anlagen erfolgt im Tiefbauamt. Hier werden die Bedürfnisse der einzelnen Bereiche Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen soweit nötig koordiniert resp. für die Bereiche separat geplant.

Im Falle der Koordination geht es um die Planung von Massnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen über einen längeren Betrachtungszeitraum, die sich in einzelnen, grösseren und zusammengefassten Baustellen erledigen lassen. Da die Bestimmung der wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen über diese Zeiträume im Rahmen der einzelnen Managementprozesse der drei Bereiche bereits sichergestellt wird, ist eine gemeinsame Plattform für eine kostengünstige Baustellenplanung gewährleistet. Mit dem Werkzeug Massnahmenmanagement werden die Koordinationsbedürfnisse und –möglichkeiten einerseits technisch überprüft, andererseits eine Einordnung aller Massnahmen in die Baustellenplanung vorgenommen.

## **9. Fachkonzept Massnahmenmanagement und Baustellenplanung**

### **9.1 Grundlagen**

#### 9.1.1 Grundsatz

Das Teilsystem Koordination und Optimierung übernimmt die auf das einheitliche, räumliche Basisbezugssystem bezogenen Varianten von Massnahmenfolgen für den Unterhalt aus den Teilsystemen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen. Diese dienen einerseits als Grundlagen für eine Optimierung über längere Zeiträume, also eine langfristige Planung der zur Erhaltung der Strassenverkehrsanlage nötigen Massnahmen. Andererseits wird hier eine Koordination der Massnahmen zu in zweckmässigen Baustellen zusammengefassten Folgen von Massnahmen durchgeführt (mehrere Varianten). Die Liste dieser Massnahmenfolgen ist die Basis des Massnahmenmanagements. Aus dieser Liste werden die konkret an bestimmten Zeitpunkten auszuführenden Massnahmen (kurzfristig) ausgewählt und zu Baustellen zusammengesetzt (Baustellenplanung).

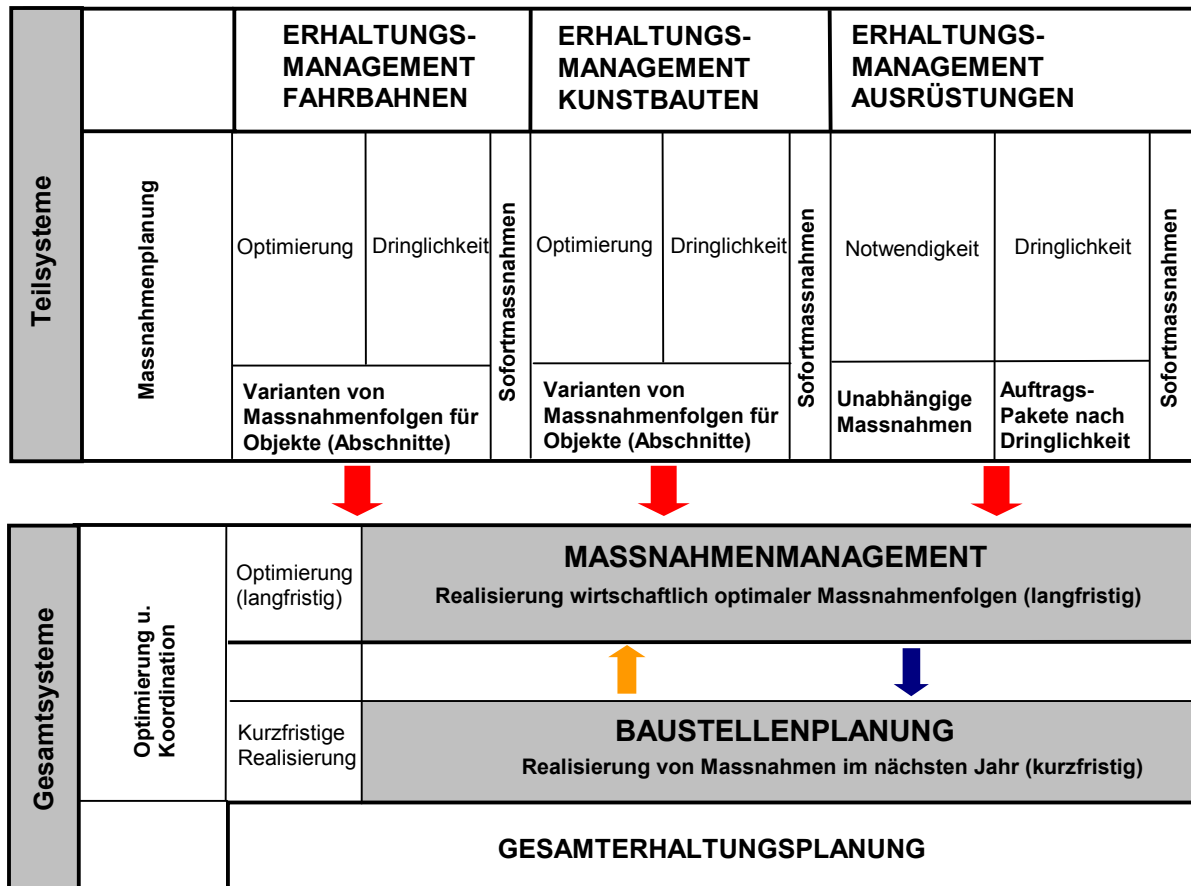


Abb.23: Prozesse des Massnahmenmanagements und der Baustellenplanung

Wie die Abbildung zeigt, liefern die drei Teilsysteme je für sich zwei Hauptresultate, nämlich einerseits eine wirtschaftlich optimale Folge von Erhaltungsmassnahmen für einen längeren Betrachtungszeitraum. Andererseits erarbeiten die Managementsysteme Vorschläge für verschiedene Möglichkeiten (Varianten) von Massnahmenfolgen. Letztlich werden die sofort zu realisierender Massnahmen bestimmt, die direkt feste Bestandteile der Baustellenplanung bilden.

Werden die Teilsysteme für sich betrachtet, müssten die wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen realisiert werden. Dies führt je Teilsystem zu bestimmten Realisierungszeitpunkten festgelegter Erhaltungsmassnahmen. Diese starren Massnahmenfolgen passen in der Regel nicht zueinander und lassen sich nur in Ausnahmefällen einfach koordinieren resp. aufeinander abstimmen. Deshalb müssen verschiedene Massnahmenfolgen unter Einschluss der optimalen Folge für die Optimierung und Koordination über längere Zeiträume zur Verfügung stehen (Baustellenmanagement). Im Baustellenmanagement wird ein Reihe von Massnahmenfolgen zur Erhaltung aller Teile der Verkehrsanlage für grössere Zeiträume verwaltet. Dieses bildet laufend die Planungsgrundlage für mittelfristige Bauprogramme und für die kurzfristige Planung. Die Baustellenplanung wird im weiteren durch die Dringlichkeitsreihung der einzelnen Massnahmen, die zu realisierenden Sofortmassnahmen sowie allfällige weitere äussere Bedingungen mitbestimmt.

Am Schluss des Prozesses stehen ein örtlich und zeitlich koordiniertes Paket von Erhaltungsmassnahmen an Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen.

### 9.1.2 Massnahmenmanagement

Grundsätzlich ist ein Zusammenführen der Massnahmenfolgen aus den Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen zu gemeinsamen Massnahmenfolgen möglich. Die Optimierung kann nach verschiedenen Verfahren vorgenommen werden. Es lassen sich Optimierungsverfahren nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten und Optimierungsverfahren nach ausgewählten Zielkriterien (allenfalls unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit) anwenden.

Die Erprobung des Einsatzes und der Zweckmässigkeit von Optimierungsverfahren für diese Problemstellung ist heute noch im Gange und nicht abgeschlossen. Neue Erkenntnisse von SMALL (USA, 1999) zeigen, dass durch den Einsatz von geeigneten Optimierungsverfahren ein grosser Nutzen erwartet werden kann.

Zurzeit stehen zwei Verfahren in Prüfung, die wirtschaftliche Optimierung mit inkrementalen Kosten-/Nutzen-Analysen und das Optimierungsverfahren, das Zielkriterien kombiniert verwendet. Im zweiten Fall werden die Massnahmenkosten, die Nutzerkosten, die Sicherheit, die Mobilitätseinschränkungen (Stau etc.), die Umwelt, die Qualität des Zustandes und die Bedeutung der Anlage im Netz berücksichtigt.

Ein ähnlicher Ansatz wie das zweite Optimierungsverfahren wird zur Zeit auch im Kanton Graubünden erprobt.

Der Einsatz von solchen Optimierungsverfahren bildet einen Kernbestandteil des Massnahmenmanagements.

Das Ergebnis der Optimierung ist die Liste von verschiedenen Varianten von Massnahmenfolgen mit Einschluss einer optimalen Variante. Sie bildet die Grundlage für die Baustellenplanung.

### 9.1.3 Baustellenplanung

Die konkrete Zusammenstellung von Massnahmenpaketen aus den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen ist eine Koordination von zusammenpassenden Teilen der einzelnen Massnahmenfolgen. Sie führt für einen langen Strassenzug oder einen Netzteil zu einer Anzahl von Baustellen, die kurzfristig (z.B. im nächsten Jahr) ausgeführt werden können. Diese Zusammenstellung wird aufgrund von Dringlichkeitsanforderungen auf der Basis der Optimierung der Massnahmenpakete ausgewählt. Die tatsächlich realisierten Massnahmen werden in der Folge wieder als Grundlagen im Massnahmenmanagement für die nächstfolgende Optimierung und Koordination eingesetzt.

Dieser interaktive Prozess ist der Kern des Massnahmenmanagements und wird immer bei Änderungen in den Dringlichkeiten, Änderungen bei der Massnahmenplanung und bei Änderungen in der Ausführung neu durchgeführt werden müssen.



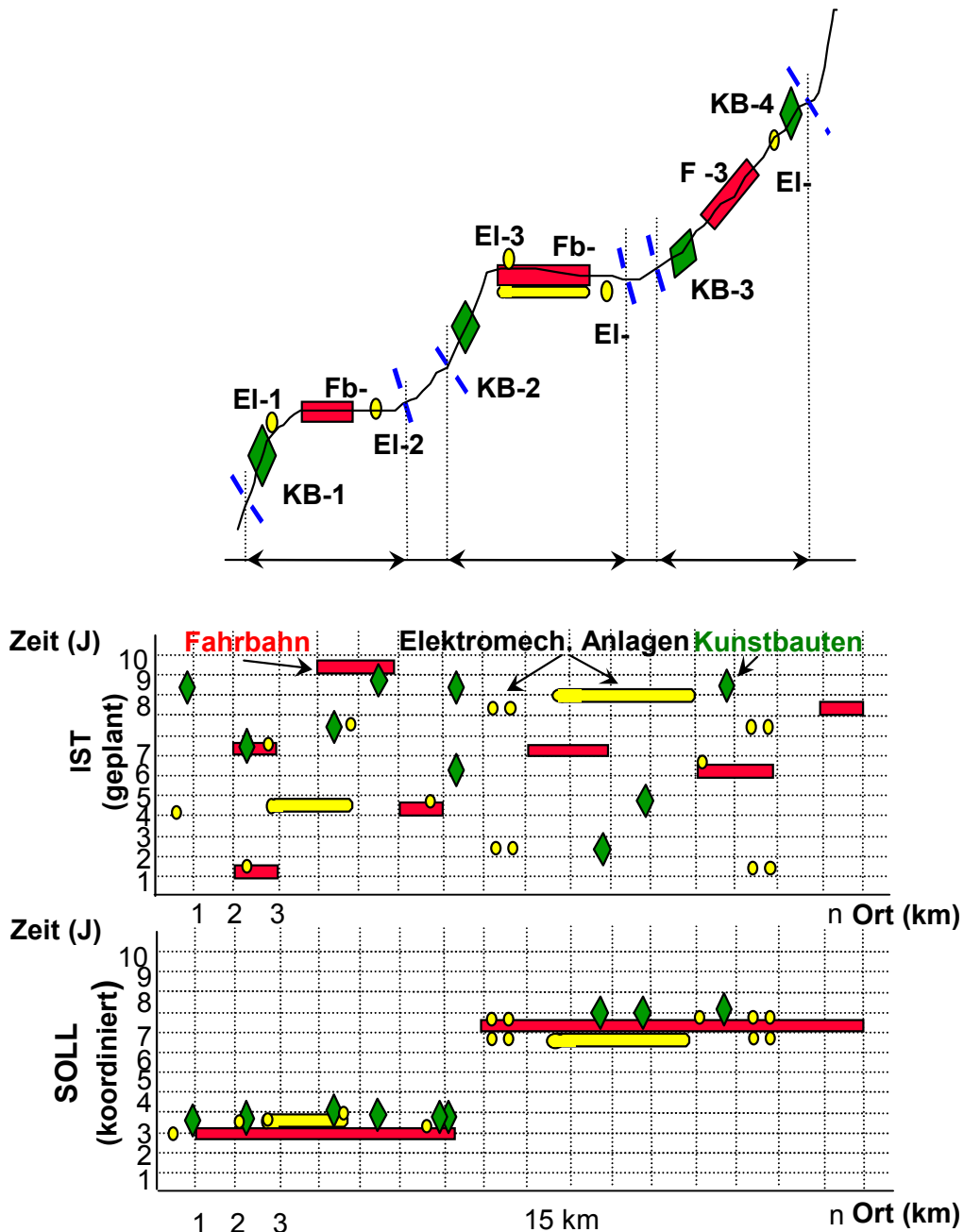


Abb.24: Bildung von Baustellen durch koordinierte Zusammenführung der Massnahmenfolgen aus den MSE-Teilbereichen

Auf diese Weise lassen sich koordinierte Baustellen bilden und damit die Baustellenzahl und die Gesamtdauer der Ausführung der Erhaltungsmassnahmen über längere Zeiträume reduzieren sowie die Gesamtkosten minimieren.

Dabei muss oft von den wirtschaftlich optimalen Massnahmenfolgen in den Einzelbereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen abgewichen werden.

## 9.2 Informatikwerkzeug Massnahmenmanagement und Baustellenplanung

Während für die Bestimmung von Massnahmenfolgen in den drei Bereichen Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen Informatikwerkzeuge zur Unterstützung vorhanden sind, fehlen sie im Bereich Massnahmenmanagement und Baustellenplanung weitgehend. Die Baustellenplanung erfolgt heute intuitiv aufgrund

von Erfahrung und Geschick durch Bauherr und Unternehmer. Ein systematisches Massnahmenmanagement mit Baustellenplanung wurde bis anhin nicht durchgeführt. Es ist jedoch die Grundvoraussetzung für die Optimierungen und Koordination von Erhaltungsmassnahmen für Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanische Anlagen. Entsprechende Informatik-Werkzeuge zur Unterstützung dieser Aufgabe sind nötig.

### **III ANWENDUNG DES ERHALTUNGSMANAGEMENTS**

#### **10. Durchführung des MSE**

##### **10.1 Anwender Bund, Kantone und Städte**

Das Erhaltungsmanagement für Strassenverkehrsanlagen ist Aufgabe der öffentlichen Hand. Diese Aufgabe wird umso komplexer und umfangreicher, je grösser das Strassennetz ist. Mit dem gleichzeitig wachsenden Umfang der für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen nötigen finanziellen Aufwendungen steigt die Bedeutung der Managementfunktion, weil das Optimierungs- und Koordinationspotential rasch zunimmt.

Die Kantone und grossen Städte sind die grössten Verwalter von Strassennetzen und damit Hauptanwender des Erhaltungsmanagements. Das kantonsübergreifende Nationalstrassennetz ist als Ganzes infolge der relative einheitlichen Struktur ebenfalls ein wichtiges Einsatzfeld des Erhaltungsmanagements.

Während bei den kantonalen Strassennetzen die wirtschaftliche Optimierung der Massnahmenfolgen im Vordergrund steht, ist bei den Nationalstrassen zunehmend neben der wirtschaftlichen Optimierung die koordinierte Ausführung von Unterhaltmassnahmen zur Reduktion der Zahl der Baustellen von Bedeutung. Im überbauten Gebieten stellt sich die Managementaufgabe nochmals anders. Hier beeinflussen heute weitgehend die Erhaltungs- und Ausbauanforderungen der Werkleitungen die Managementaufgabe.

##### **10.2 Unterstützung der Managementtätigkeit durch Informatik**

Die Unterstützung der Tätigkeiten im Erhaltungsmanagement durch Informatikhilfsmittel und Informatikwerkzeuge ist heute Standard. Die Entwicklung von zweckmässigen Hilfsmitteln ist zurzeit voll im Gang.

Während die Entwicklung von Datenbanken für die Fahrbahnen, Kunstbauten und Elektromechanischen Anlagen praktisch abgeschlossen ist, steht zurzeit die Erprobung von Managementsystemen im Vordergrund. Informatikwerkzeuge für das Massnahmenmanagement (Optimierung) und die Baustellenplanung (Koordination) bestehen noch nicht, da zurzeit die Grundlagen dafür erst bereitgestellt werden. Sie werden in Zukunft ein ganz wichtiger Bestandteil zur Unterstützung der Managementaufgaben werden. Die Entwicklung von intelligenten Expertensystem steht am Anfang.

Aufgrund der raschen Entwicklung im Bereich von Informatikwerkzeugen, vorab bei Managementsystemen, ist nur der modulare Einsatz von geeigneten Informatikwerkzeugen beim Erhaltungsmanagement auf Dauer zweckmässig. Dies gewährleistet eine hohe Flexibilität für die Ablösung von spezifischen Informatiktools durch neue Produkte. Dies betrifft die Managementsysteme. Datenbank sollen im Verlaufe der Zeit möglichst unverändert bleiben, auch wenn sie bzgl. Informationstechnik im Mo-

ment veraltet erscheinen. Informatikwerkzeuge für das Massnahmenmanagement (Optimierung) und die Baustellenplanung (Koordination) bestehen noch nicht, da zurzeit die Grundlagen dafür erst bereitgestellt werden. Sie werden in Zukunft ein wichtiger Bestandteil zur Unterstützung der Managementaufgaben werden. Damit kommt auch der Erarbeitung von Schnittstellen grosse Bedeutung zu.

### **10.3 Fachliche Aus- und Weiterbildung im MSE**

Die Entwicklung im Bereich des Erhaltungsmanagement ist zur Zeit derart rasant, dass grosse Anstrengungen zur Aus- und Weiterbildung im diesem Fachgebiet nötig sind. Da die Aufgaben im Erhaltungsmanagement in absehbarer Zeit die bekannten Tätigkeiten des Neubaus, wo ein grosser Erfahrungsschatz vorhanden ist, ablösen werden, ist die Weiterbildung der Ingenieure und Fachleute heute von enormer Bedeutung. Sie muss auf allen Ebenen gefördert werden.

**LITERATURVERZEICHNIS**

- [1] Alain Jeanneret, Laurent Mouvet, Paul Breitenstein, Alain Koenig; **“Gestion et contrôle des coûts pour la réalisation d’infrastructures de transport, Kostenmanagement für Verkehrsbauten“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), EPFL, Heft 336, April 1995, Lausanne
- [2] Alexander Nellen, Mathias Blumer, Beat Jenni; **“Recyclingmischgut mit hohem Anteil Asphaltgranulat“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Schweizerische Mischgutindustrie SMI, Rothenburg, Heft 412, Juli 1998
- [3] André Banz, Dr. Simon F. Bailey; **“Erhebung von Daten an Strassenbrücken zur Festlegung von aktualisierten Lastfaktoren“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne (EPFL), Construction métallique (ICOM), Heft 532, Aug. 1998, Lausanne
- [4] Andrea Bassetti, Dr. Simon F. Bailey, André Banz; **“Lastfaktoren für Eigenlast und Auflast zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken“**, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne (EPFL), Februar 1998
- [5] AUSTRROADS, Australian road transport and traffic; **“Strategy for Structures Research and Development“**, Sydney, 1994
- [6] AUSTRROADS, Australian road transport and traffic; **“Strategy for Traffic Management Research and Development“**, Sydney, 1997
- [7] AUSTRROADS, Australian road transport and traffic; **“Strategy for Pavement Research and Development“**, Sydney, 1995
- [8] Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées; **“Gestion de l’entretien de la route“**, Ministère de l’Equipement, des Transports et du Tourisme, 1994, Paris
- [9] Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bundesamt für Verkehr (BAV), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Schweizerische Bundesbahnen (SBB); **“Empfehlung für die Überwachung und Hinweise für den Neubau“**, 1998, Bern
- [10] Bundesamt für Strassen (ASTRA); **“Management der Strassenerhaltung“** Generelles Konzept, Standbericht Nr. 1 + Nr. 2, Okt. 1997, Bern
- [11] Bundesministerium für Bauten und Technik; **“Dringlichkeitsreihung, Kriterium Verkehrssicherheit“**, 1972, Wien
- [12] C. Menn, P. Brenni, T. Keller, L. Pellegrinelli; **“Zustandsermittlung, Zustandsbeurteilung und Verstärkung bei Stahlbetonbrücken, Teil 1: Verbindung von altem und neuem Beton“**, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich, Heft 505, Jan. 1993
- [13] Canton de Fribourg; **“Système de gestion de l’entretien (SGE)“**, Proposition pour une méthode de priorisation des objets, Bureau des Autoroutes, Département des Ponts et Chaussées, Dez. 1996, Freiburg

- [14] Chr. Rosenthaler, C. Marschal, S. Pinese, Ph. Mattenberger, J. –Chr. Jaermann; **“STRADA-DB: Strassendatenbanken für das MSE, Pilotapplikation Strada-DB/RE-A: Benutzer-Handbuch“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Rosenthaler + Partner AG, EPFL-DGC, Ecublens, INSER Consultants SA, Heft 340, Okt. 1995
- [15] Dr. A. Rafi; **“Einführung des Konzeptes Management der Strassenerhaltung (MSE) für das National- und Kantonsstrassennetz Graubünden“**, Phase: Zustandsbewertung des gesamten Strassennetzes, Dez. 1998, Zürich, Chur
- [16] Dr. A. Rafi; **“Einführung des Konzeptes Management der Strassenerhaltung (MSE) für das National- und Kantonsstrassennetz Graubünden“**, Phase: Massnahmenplanung und Dringlichkeitsreihung, Dez. 1998, Zürich, Chur
- [17] Dr. A. Rafi; **“Management der Strassenerhaltung, Grundlagen, Thesen, Strategien“**, 1985, Zürich
- [18] Dr. A. Rafi; **“Management der Strassenerhaltung (MSE)“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH Zürich, Heft 234, Jan. 1992
- [19] Dr. A. Rafi; **“Entwicklung einer Methodik zur Dringlichkeitsreihung von Erhaltungsmassnahmen der Strassen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH Zürich, Heft 152, Jun. 1988
- [20] Dr. C. Raab, Dr. M. N. Partl; **“Methoden zur Beurteilung des Schichtenverbundes von Asphaltbelägen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), EMPA, Heft 442, 1999, Dübendorf
- [21] Dr. Ch. Molzer, Prof. Dr. K. Felsenstein, Prof. Dr. R. Viertl, Prof. Dr. J. Litzka, A. Vycudil; **“Statische Methoden zur Auswertung von Strassenzustandsdaten“**, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Strassenforschung, Heft 499, 2000, Wien
- [22] Dr. R. Hajdin, Dr. J. Grob; **“Massnahmenplanung für die Erhaltung von Kunstbauten, Phase 2: Grobkonzept“** Tiefbauamt des Kantons Aarau, Departamento del Territorio, Ticino
- [23] Dr. Christian Molzer, Johann Litzka; **“Auswertung und Analyse der Zustandserfassung 1995, österreichisches Bundesstrassennetz“**, ISTU, 1997, Wien
- [24] Dr. E. P. Small; **“Bridge Management in the United States“**, US department of Transportation, federal Highway Administration, Office of Infrastructure R & D, 1999
- [25] Dr. Franz-Josef Dauber, Manfred Luig, Gregor Speer; **“Untersuchung von Möglichkeiten zur Nutzung der BAB-Knotennummerierung für logistische Zwecke“**, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 687, 1994, Bonn
- [26] Dr. J. Rübensam, F. Schulze; **“Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Management der Strassenerhaltung“**, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 712, 1994, Bonn

- [27] Dr. Jean-Pierre Jenni, Holinger AG; **“Stand der Technik bei der flächenhaften Erfassung des baulichen Zustandes von Tunnelbauwerken“**, SIA-Fachgruppe für Untertagebau (FGU), Dez. 1990, Aarau
- [28] Dr. M. Hussain-Khan, J. D. Burnat, B. Collaud; **“Système informatisé de gestion des chaussées, Rechnergestütztes Management der Fahrbahnerhaltung“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Office des routes cantonales, Canton de Neuchâtel, Heft 390, Juli 1997
- [29] Dr. Mukhtar Hussain-Khan, Jean-Daniel Burnat et Bernard Collaud; **“Etude exploratoire préalable à un travail de recherche sur un système de gestion des chaussées“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Office des routes cantonales, Service des ponts et chaussées, Heft 294, 1993, Neuchâtel
- [30] Dr. R. Hajdin, Dr. J. Grob; **“Massnahmenplanung für die Erhaltung von Kunstbauten, Phase 2: Grobkonzept“**, Tiefbauamt des Kantons Aargau, 1995
- [31] E. Stahel, M. Blumer; **“Langzeitverhalten von erneuerten Fahrbahnbelägen“** Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Heft 435, 1999
- [32] Ernst Basler und Partner; **“Zweckmässigkeit und Effizienz der Unterhaltsbaustellen auf Nationalstrassen“**, Bericht der Kommission, Bundesamt für Strassen (ASTRA), Nov. 1995, Bern
- [33] Ernst Basler und Partner; **“Management der Strassenerhaltung“**, Standbericht Nr. 1, Bericht der Kommission, Bundesamt für Strassen (ASTRA), 1995, Bern
- [34] Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik; **“Auswertung von Langzeitbeobachtungsdaten zur Beantwortung von Fragestellungen des Managements der Strassenerhaltung“**, Bundesministerium für Verkehr, Heft 712, 1995, Bonn
- [35] Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik; **“Typisierung von Schadenbildern im Kontext mit den Ergebnissen der Zustandserfassung und –bewertung auf Bundesstrassen“**, Heft 801, 2001, Bonn
- [36] Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen; **“Deutscher Strassen- und Verkehrskongress“**, Düsseldorf, 1996
- [37] French Ministry of Public Works Transport and Turism; **“French expertise in road maintenance“**, Institut des sciences et des techniques de l'équipement et de l'environnement pour le developpement, 1993, Paris
- [38] G. Maerschalk; **“Erhaltungsbedarf für Bundesstrassen, Landes- und Kommunalstrassen“**, Forschungsgesellschaft für Strassen und Verkehrswesen, 1999, München
- [39] G. Maerschalk; **“Planung von Erhaltungsmassnahmen und der Mittelverwendung im Rahmen eines Pavement-Management-Systems (PMS)“**, Strassen + Autobahn, Heft 11/97, 1997

- [40] Hannes Wüest, Markus Schweizer, Michèle Fark, Mathias Arioli, Urs Rey; **“Erhaltung der Staatstrassen im Kanton Zürich: Massnahmen und Finanzbedarf, 1993-2015, Empfehlungen“**, Vereinigung Kantonal-zürcherischer Strassenbau-Unternehmungen, (VKZSU), Wüst & Partner, Jun. 1994, Zürich
- [41] Hans Knöpfel, Dr. Herbert Notter, Alfred Reist, Urs Wiederkehr; **“Kostengliederung im Bauwesen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Institut für Bauplanung und Baubetrieb, ETH Zürich, Heft 195, Juli 1990
- [42] I. Scazziga; **“Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), IVT, ETH Zürich, Heft 320, Dez. 1993
- [43] I. Scazziga; **“Beobachtung des Verhaltens ausgewählter Strassenabschnitte“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), IVT, ETH Zürich, Heft 365, Jan. 1996
- [44] I. Scazziga; **“Erfahrungsbilanz in der Anwendung der Norm SN 640 925, Ausarbeitung der Grundlagen für eine Anpassung der Gewichtungen und der Bewertungsskala“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Viagroup AG/SA, Heft 392, April 1997
- [45] I. Scazziga; **“Situationsanalyse zum Thema Management der Strassenerhaltung, Empfehlungen zum weiteren Vorgehen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), VIACONSULT AG, Heft 312, März 1994
- [46] Ingenieurbüro W. + J. Rapp AG; **“Transyt 8 / Pretans, Modell Programmsystem für die Optimierung von Signalplänen von stätischen Strassennetzen“**, Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI), Heft 112, Apr. 1986
- [47] Jean-Daniel Zuffrey, Daniel Monsch, Ivan Scazziga; **“Entwicklung von Verhaltensmodellen als Grundlage eines programmierten Erhaltungskonzeptes“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), IVT, ETH Zürich, Heft 196, Jul.1990
- [48] M. Blumer, E. Stahel, R. Werner; **“Management der Strassenerhaltung (MSE), Entwicklung Massnahmen und Strategiemodell Betonstrassen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Expertenteam Strassenerhaltung (ESTE), Heft 434, März 1999
- [49] M. Blumer, E. Stahel; **“Management der Strassenerhaltung (MSE) Entwicklung Massnahmen-Strategie- und Kostenmodell“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Heft 357, Feb. 1996
- [50] M. Ladner; **“Systematische Auswertung von Schäden an Brücken“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), EMPA, Zentralschweizerisches Technikum Luzern ZTL, Heft 319, Dez. 1994, Dübendorf, Horw
- [51] M. Ladner; **“Systematische Auswertung von Schäden an Brücken“**, EMPA, Abteilung Massivbau, Okt. 1994, Dübendorf

- [52] Marcel Bourquin, Laurent Mouvet; **“Gestion et contrôle des coûts pour la réalisation d’infrastructures de transport, Partie 1: Structuration des coûts”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Progiplan S. A. Lausanne, Heft 238, März 1992
- [53] Marcel Bourquin, Laurent Mouvet; **“Kostenmanagement für Verkehrsbauten, Teil 1: Baukostenstruktur”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Progiplan SA, Heft 249, Juni 1992
- [54] O. Neubauer; **“Kälteverhalten von bituminösen Bindemitteln”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Eidg. Materialprüfungs und Versuchsanstalt (EMPA), Heft 90, Okt. 1984, Dübendorf
- [55] Pavement and Structure Management System; **“Summary of the results of the RIMES questionnaire, Rimes Infrastructure Maintenance Evaluation Study”**, University of Birmingham (UK), COWI Consulting Engineers (DK), Scetauroute (FR), Pavement Management Services Ltd. (IRL), Finna (FI), Nov. 1998
- [56] Prof. A. –G. Dumont, J. –C. Turtschy, E. Simond; **“Caractéristiques d’une formulation de référence pour les bétons bitumineux”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Laboratoire des voies de circulation (LAVOC), EPFL, Heft 396, Feb. 1998
- [57] Prof. A. Schmuck; **“Zur Bedeutung wirtschaftlich orientierter Entscheidungen in der Strassenerhaltung”**, Strassen + Autobahn, Heft 8/97, 1997
- [58] Prof. D.A. Grivas; **“Expert system for pavement maintenance management”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Laboratoire des voies de circulation (LAVOC), de l’Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, Rensselaer Polytechnic Institute, Department of Civil & Environmental Engineering, Tory, New York, Heft 328, Juni 1994
- [59] Prof. Dr. Eberhard Schubert, Achmin Hize; **“Managementsystem Brückenerhaltung, 3. Stufe”**, Forschungsbericht Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 746, 1997, Bonn
- [60] Prof. Dr. Ernst-Ulrich Hiersche, Siegfried Knepper; **“Vergleichsmessungen zwischen dem Stuttgarter Reibungsmesser und der Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine im Hinblick auf ihre Einsatzmöglichkeiten im Rahmen des Managements der Strassenerhaltung”**, Institut für Strassen- und Eisenbahnwesen, Universität Karlsruhe, 1989
- [61] Prof. Dr. K.H. Schulze †, Jürgen Dames; **“Griffigkeitserhöhende Behandlungen bestehender bituminöser Deckschichten”**, Institut für Landverkehrswege der Technischen Universität Berlin, Forschungsbericht Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 244, 1977
- [62] Prof. Dr. Léopold Pflug; **“Relevé de la fissuration des superstructures routières, Rissaufnahme von Strassenbelägen”**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Institut de Mesure d’Analyse des Contraintes (IMAC), EPFL, Heft 343, Nov. 1995



- [63] Prof. Dr. Robin, Eberhard Schubert, Herman Kraft, Egbert Kessler; **“Entwicklung eines Managementssystems für die Brückenerhaltung unter Berücksichtigung einer objektbezogenen Bedarfsermittlung“**, Forschungsbericht Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 681, 1994, Bonn
- [64] Prof. F. Golay, R. Oggier, M. Gilgen; **“Systèmes de repérage spatial données routières“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Heft 452, Mai 2000
- [65] Prof. M. Rotach, F. Hoppler, H. Bruderer, M. Mötteli; **“Siedlung, Verkehrsangebot, Verkehrsnachfrage“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), IVT, ETH Zürich, Heft 129, Dez. 1986
- [66] Prof. W. Wilk, Prof. Dr. G. Tsohos; **“Zustandsbewertung und Schadenmodelle von Zementbetonbelägen; Beitrag der Schweiz zum Forschungsprojekt C.O.P.E.S. (Concrete pavement Evaluation System) der USA“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Betonstrassen AG, Wildegg, Heft 366, März 1996
- [67] R. Tapio, V. Männistö; **“Système de surveillance des performances des routes“**, Comité AIPCR de la Gestion des Routes (C6), PIARC Committee on Road Management (C6), 1997
- [68] Steffi Klinghammer, Thomas Huber, Dr. Mattias Nagel; **“Methodenstudie zur Verbesserung des Prognoseinstrumentarismus für die langfristige Erhaltung der Bundesfernstrassen“**, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 743, 1997, Bonn
- [69] Swiss Federal Office of Highways, Berne, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD); **“Strain measurements in bituminous layers“**, Heft 103, 1985, Bern, Paris
- [70] The World Bank; **“Staff appraisal report, russian federation, highway rehabilitation and maintenance project“**, Dez. 1993, Moscow
- [71] Tiefbauamt des Kantons Zürich; **“Baulicher Unterhalt und Erneuerung, Systemvorschlag für eine Modellrechnung“**, Jul. 1999
- [72] Tiefbauamt des Kantons Zürich; **“Baulicher Unterhalt und Erneuerung, Preisanalyse für die massgebenden Bau-Kosten“**, Jul. 1999
- [73] U. Welte; **“Management der Erhaltung Elektromechanischer Ausrüstung von Strassenverkehrsanlagen, Relevanz von Kenngrössen“**, Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Amstein + Walthert, Heft 457, 1998
- [74] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 735a, Reparatur von Betonbelägen“**, 1996
- [75] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 736a, Instandsetzung und Verstärkung“**, 2000
- [76] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 730b, Kopfnorm; Massnahmenkonzept“** 1998
- [77] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Erhaltung von bituminösen Belägen; **“SN 640 731a, Reparatur bituminöser Beläge“**, 1993

- [78] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Erhaltung von bituminösen Belägen; **“SN 640 732, Instandsetzung bituminöser Beläge“**, 1993
- [79] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), Erhaltung von bituminösen Belägen; **“SN 640 733b, Oberbauverstärkung von Fahrbahnen in bituminöser Bauweise aufgrund von Deflektionsmessungen“**, 1997
- [80] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 510b, Griffigkeit, Messverfahren“**, 1987
- [81] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 511b, Griffigkeit, Bewertung“**, 1984
- [82] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 520a, Ebenheit, Prüfung der Geometrie“**, 1977
- [83] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 521b, Ebenheit, Qualitätsanforderungen“**, 1995
- [84] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 900, Grundsätze MSE“**, 1989
- [85] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 901, Ziel-system“**, 1990
- [86] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 902, MSE: Leitfaden zur Einführung“**, 1991
- [87] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 940, Grundsätze, Katalog für Strassendaten“**, 1993
- [88] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 941, Raumbezug“**, 1993
- [89] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 942, Geometrie und Nutzung des Strassenraums“**, 1993
- [90] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 943, Fahrbahnaufbau“**, 1995
- [91] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 944, Fahrbahnzustand“**, 1996
- [92] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 945, Fahrbahnreparatur“**, 1997
- [93] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 925a, Zustandserfassung und Bewertung von Strassen“**, 1997
- [94] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 9230, Gesamtbeurteilung des Zustandes von Kunstbauten“**, 1989
- [95] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 909, Strassendatenbanken, Grundlagen“**, 1990
- [96] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 910, Räumliches Basisbezugssystem für Strassendatenbank“**, 1989
- [97] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 911, Betriebsnetze für Strassendaten“**, 1991

- [98] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 912, Leitfaden für die Einführung einer Kunstbautendatenbank“**, 1992
- [99] Vereinigung Schweizerischer Strassenfachleute (VSS); **“SN 640 920, Beschilderung und Markierung der Bezugspunkte“**, 1989
- [100] W. Burger, P. Sulten, R. Kretz; **“Die Ersterfassung und –bewertung des Fahrbahnzustandes der Bundesautobahnen“**, Darmstadt
- [101] World Road Association; **“Système de surveillance des performances des routes, rapport final“**, Comité AIPCR de la Gestion des Routes, 1997, Finland