

Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 3

bast

Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen

von

Hermann Wirtz
Karl Moritz

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Verkehrstechnik Heft V 3

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht Ergebnisse aus ihrer Arbeit, vor allem Forschungsvorhaben, in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A – Allgemeines
B – Brücken- und Ingenieurbau
F – Fahrzeugtechnik
M – Mensch und Sicherheit
S – Straßenbau
V – Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Am Alten Hafen 113-115, D-2850 Bremerhaven 1, Telefon (04 71) 460 93-95, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BASt-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 84 601:
Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von
Taumittelsprühanlagen

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-5060 Bergisch Gladbach 1
Telefon (0 22 04) 4 30
Telefax (0 22 04) 4 38 32

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-2850 Bremerhaven 1
Telefon (04 71) 460 93-95
Telefax (04 71) 427 65

ISSN 0943-9331

ISBN 3-89429-313-6

Bergisch Gladbach, April 1993

Kurzfassung – Abstract – Résumé

Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von Taumittelsprühanlagen

Die Taumittel-Sprühanlage (TMS) auf der A45 (Sauerlandlinie) ist mit ca. 6 km die längste in Deutschland. Die Anlage liegt zwischen 285 m und 412 m über NN und damit in einem klimatisch kritischen Bereich, in dem sich im Winter oft die Fahrbahnzustände durch Übergänge von Regen in Schnee und/oder positiven in negative Temperaturen sehr schnell ändern. Dies führte zu zahlreichen glättebedingten Unfällen und anhaltenden Staus. Um diese zu verringern wurde im Winter 1984/85 die TMS in Betrieb genommen.

Nach dem Einbau der TMS sind die Unfälle aufgrund winterlicher Straßenverhältnisse im Streckenbereich der Anlage insgesamt um mehr als die Hälfte zurückgegangen. Eine besonders starke Absenkung von 85 Prozent war bei den Unfällen mit Leichtverletzten zu beobachten. Gegenüber der Absenkung von 60 Prozent bei den Unfällen mit leichtem Sachschaden sanken die Unfälle mit schwerem Sachschaden nur um 25 Prozent.

Mit den Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde der Nachweis der Wirtschaftlichkeit dieser Taumittel-Sprühanlage erbracht. Für die Planung weiterer Anlagen sowohl zur Entschärfung von Glatteisfallen wie auch zur Unterstützung des konventionellen Winterdienstes auf besonders durch Winterglätte und starken Schneefall gefährdeten Streckenabschnitten werden individuelle Wirtschaftlichkeitsabschätzungen empfohlen.

Effectiveness and economy of de-icing chemicals spreading devices

The de-icing chemicals spreading device (TMS) installed along A45 (Sauerland autobahn) has a length of about 6 km and is the longest installation of its kind in Germany. The device has been installed at an altitude ranging from 285 m to 412 m above datum, i.e. within a climatically critical region. In the winter season, road conditions often change rapidly which is due to the transition from rain to snow or from positive to negative temperatures. A large number of accidents caused by slippery road conditions have been the result and long traffic delays

as a consequence. In order to improve this situation, the spreading device has been installed and became operative in the winter of 1984–85.

After the installation of the spreading device, accidents in wintry road conditions decreased by more than 50 % on this autobahn segment. The accidents involving slight injuries decreased by an even greater degree, by 85 %. Compared with a decrease of 60 % in the accidents involving slight material damage, those involving heavy material damage decreased by only 25 %.

Studies undertaken by the Federal Highway Research Institute (BAST) have confirmed the economy of the de-icing chemicals spreading device. For the planning of further installations of this kind both to combat black ice and support conventional winter maintenance measures on sections known to be subject to black ice formation or heavy snowfall, cost-benefit analyses for each individual case in question are recommended.

Efficacité et rentabilité des installations de ré-pandage pour produits antigel

L'installation de ré-pandage pour produits de dégel située (TMS) sur l'autoroute fédérale A 45 (Sauerlandlinie) est avec une longueur de 6 km la plus longue existant en Allemagne fédérale. Cette installation est située à une altitude de 285 m à 412 m au-dessus du niveau de la mer. C'est donc un domaine critique du point de vue climatique, car en hiver, les conditions de la route sont soumises à de brusques changements, dus à la variation de la pluie à la neige et/ou de températures négatives à positives. Il en résultaient nombre d'accidents imputables au verglas et à des embouteillages continues. Pour remédier à cette situation, la TMS est entrée en service dans l'hiver 1984/85.

Suite à la mise en service de la TMS, le nombre des accidents survenus sur la section en question et imputables aux conditions routières hivernales a baissé en tout de plus de la moitié. Une réduction particulièrement marquée (85 %) a été observée pour les accidents corporels légers. Une réduction de 60 % des accidents matériels légers s'est opposée à une réduction de 25 % seulement des accidents matériels graves.

A base d'études effectuées par l'Institut fédéral de recherches routières (BASt), la rentabilité de cette installation de répandage pour produits antigel a pu être prouvée. Pour la conception d'autres installations permettant de réduire le risque causé par les pièges de verglas et de soutenir le service hivernal conventionnel sur les sections fortement dangereuses en raison du verglas et de la neige, il est recommandé de soumettre chaque cas particulier à une évaluation de rentabilité.

Inhalt

1	Vorbemerkung	7	3.2	Nutzen	24
2	Taumittelsprühanlage A 45	7	3.2.1	Nutzen im Wirkungsbereich	
2.1	Charakteristik der Anlage	7		Verkehrssicherheit	25
2.1.1	Allgemeines, Zweck der Anlage	7	3.2.1.1	Darstellung der Unfallsituation	25
2.1.2	Technische Einzelheiten	7	3.2.1.2	Ermittlung der Unfallkosten	25
2.2	Betriebserfahrungen	8	3.2.2	Nutzen im Wirkungsbereich	
2.2.1	Betriebssicherheit	8		Verkehrsablauf	29
2.2.1.1	Technische Probleme an der		3.2.2.1	Kfz-Betriebskosten des	
	Steuerungsanlage	9		Verkehrsteilnehmers	29
2.2.1.2	Technische Probleme an der		3.2.2.2	Zeitkosten des Verkehrs-	
	Hydraulikanlage	9		teilnehmers	31
2.2.1.3	Umbau der TMS im Jahre 1987.	10	3.2.3	Gesamtnutzen	32
2.2.2	Auswirkungen auf den		3.3	Gegenüberstellung von Kosten	
	Winterdienst	10		und Nutzen	32
2.2.3	Verkehrssicherheit	11	3.3.1	Gegenüberstellung der Barwerte	
				von Kosten und Nutzen.	32
			3.3.2	Kontrollrechnung mit der	
				vereinfachten Barwertmethode.	32
3	Kosten-Nutzen-Analyse	11			
3.1	Kosten	13			
3.2	Nutzen	13			
3.3	Gegenüberstellung der Barwerte				
	von Kosten und Nutzen.	14			
4	Wertung	14			
4.1	Erreichen des Einsatzzieles.	14			
4.2	Verbesserungsvorschläge für				
	bestehende Anlagen und				
	Anregungen für die Planung				
	neuer Anlagen	14			
4.3	Einsatzkriterien für				
	Taumittel-Sprühanlagen	16			
5	Zusammenfassung	17			
6	Ausblick	18			
7	Literatur	19			
	Anhang (Kapitel 3 Langfassung)				
3	Kosten-Nutzen-Analyse	20			
3.1	Kosten	21			
3.1.1	Investitionskosten	21			
3.1.2	Laufende Kosten	21			
3.1.2.1	Kosten für Taumittel	21			
3.1.2.2	Energiekosten	22			
3.1.2.3	Personalkosten	22			
3.1.2.4	Fahrzeugkosten	23			
3.1.2.5	Reparaturkosten	23			
3.1.3	Sonderkosten.	23			
3.1.4	Zusammenstellung der				
	Kosten-Barwerte	24			

1 Vorbemerkung

In der Bundesrepublik Deutschland waren bisher sechs Taumittel-Sprühanlagen (TMS) in Betrieb. Eine siebte, neu konzipierte, wurde im Winter 90/91 auf der BAB A 30 bei Rheine auf der Brücke über den Dortmund-Ems-Kanal installiert. Die Anlagen unterscheiden sich wesentlich hinsichtlich ihrer Größe, ihrer Lage im Netz, des topografischen und klimatischen Umfeldes und auch hinsichtlich des vorrangigen Einsatzzieles. Der Bundesminister für Verkehr (BMV) hat die Inbetriebnahme der bisher größten und aufwendigsten Anlage auf der BAB A 45 (Sauerlandlinie) im Winter 1984/85 zum Anlaß genommen, die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) mit einer begleitenden Wirksamkeitsanalyse zu betrauen, in der im wesentlichen die Wirtschaftlichkeit und die Witterungskonformität der Anlagen untersucht werden sollen (Schreiben StB 27/38.58.30 – 20/27109 Va 84).

Die Betriebserfahrungen mit den bislang installierten Anlagen zeigen ein uneinheitliches Bild. Dies ist durch den Einsatzzweck der Anlagen und die damit verbundene Erwartungshaltung der Betreiber bedingt; aber auch die spezifischen topografischen und klimatischen Bedingungen sowie die jeweiligen individuellen Merkmale einer Anlage beeinflussen in erheblichem Maße deren Wirksamkeit. Daraus wird deutlich, daß jede TMS einer sorgfältigen Vorabanalyse und Planung der baulichen Ausbildung bedarf. Der Bundesminister hat daher die Bereitstellung weiterer Mittel für neue TMS sowie bauliche und betriebliche Änderungen an bestehenden Anlagen von dem Ergebnis der begleitenden Wirksamkeitsuntersuchung der BASt abhängig gemacht. In einem Zwischenbericht (1988) wurden Betriebserfahrungen mit vier der damals bestehenden Anlagen beschrieben und zusammengefaßt. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der größten bestehenden TMS wird in diesem Bericht vorgelegt.

Die längste bislang in Deutschland gebaute TMS ist mit einer Länge von ca. 6 km die Anlage auf der A 45 (Sauerlandlinie), deren Bau diese Untersuchung initiiert hat. Aufgrund der speziellen verkehrlichen, klimatischen und anlagebedingten Verhältnisse ist sie als Versuchsanlage anzusehen.

Die zur Erstellung des Berichtes verfügbaren und verwendeten Unterlagen sind im Anhang zusammengestellt.

2 Taumittelsprühanlage A 45

2.1 Charakteristik der Anlage

2.1.1 Allgemeines, Zweck der Anlage

Die Bundesautobahn A 45 (Sauerlandlinie) führt, aus Richtung Dortmund kommend, auf die Höhe des Sauerlandes. Sie steigt dabei von 100 m über NN auf eine Höhe von 532 m über NN an. Allein in dem Streckenabschnitt zwischen Hagen und Lüdenscheid überwindet die Strecke einen Höhenunterschied von ca. 200 m, davon 127 m im Bereich der ca. 6 km langen TMS (von 285 bis 412 m über NN). Zwischen diesen Höhenlagen kommt es zu deutlichen klimatischen Unterschieden. Bei etwa 250 m über NN ändern sich im Winter oft kurzfristig die Fahrbahnzustände durch Übergänge von Regen in Schnee und/oder von positiven zu negativen Temperaturen. Diese topografisch bedingten klimatischen Veränderungen führten zu zahlreichen glättebedingten Unfällen. LKW ohne Winterrüstung konnten die Steigung auf der festgefahrenen Schneedecke nicht überwinden. Oft rutschten sie quer zur Fahrbahn und blockierten dadurch die Strecke ganz oder teilweise.

Aufgrund dieser Unfälle und Verkehrsbehinderungen ergaben sich Staus bis zu 10 km Länge, die bis zu 3 mal pro Winter auftraten und bis zu 3,5 Stunden anhielten. Dies verursachte rund 320 000 DM durchschnittliche Staukosten pro Jahr. Die A 45 hatte vor dem Bau der TMS in dem Streckenabschnitt zwischen Hagen und Lüdenscheid ein tägliches Verkehrsaufkommen von ca. 45 000 Kfz mit einem LKW-Anteil von 18 Prozent.

Zur Verringerung der hohen Unfall- und Stauzahlen wurde 1984 eine TMS eingebaut, die erstmals im Winter 1984/85 in Betrieb genommen wurde. Für die TMS wurde der Streckenabschnitt zwischen Kilometer 37,58 und 43,75 gewählt. Darin sind 4 Talbrücken mit einer Gesamtlänge von 1366 m enthalten.

Ziel der Maßnahme sollte es sein, durch rechtzeitige Sprühungen bei plötzlichen Schneefällen den Schnee bis zum Eintreffen der Räumfahrzeuge räumfähig zu halten und die Bildung von Schneeglätte durch eine festgefahrene Schneedecke zu vermeiden.

2.1.2 Technische Einzelheiten

Die TMS (System Boschung [02]) unterteilt sich in sechs Abschnitte, die von Dortmund kommend

durchnumeriert sind: Abschnitt I umfaßt die Talbrücken (TB) Kattenohl und Brunsbecke sowie das dazwischenliegende Stück. Abschnitt II erstreckt sich über ca. 2 km bis zum Beginn der TB Sürenhagen. Die TB selbst stellt den Abschnitt III dar. Das Zwischenstück bis zur TB Eichelbleck, Länge ca. 1,2 km, ist der Abschnitt IV, die TB selbst Abschnitt V. Abschnitt VI beinhaltet das restliche Stück der Anlage mit einer Länge von ca. 1,4 km.

Auf einer Länge von 6170 m sind in Fahrtrichtung Frankfurt (3 Fahrstreifen) sowohl auf dem Mittelstreifen als auch auf dem Seitenstreifen unter den Schutzplanken Sprühventile angebracht. In Fahrtrichtung Dortmund (2 Fahrstreifen) wurden die Talbrücken mit Sprühventilen auf Mittel- und Seitenstreifen ausgerüstet und in die TMS integriert.

Der Abstand zwischen den Sprühventilen beträgt 16 m bei einer Steigung von $> 2\%$ und 24 m bei einer Steigung von $< 2\%$. Die Düsenköpfe sind so angeordnet, daß ihre Sprühzonen sich überlappen und so eine gleichmäßige Verteilung des ausgebrachten Taustoffes über drei (bzw. zwei) Fahrstreifen gewährleistet ist. Die 455 Ventile decken eine Fläche von ca. 80 000 m² ab. Jedes Ventil erreicht einen Sprühdurchsatz von 1,3 l pro Sekunde. Die Sprühzeit ist auf 1 oder 2 sec einstellbar.

In jedem der sechs Teilstücke befindet sich eine Meßstelle der Glättemeldeanlage (GMA), die mit der Steueranlage der TMS verbunden ist. Der Sprühvorgang kann sowohl automatisch durch die Steueranlage ausgelöst werden als auch manuell durch das Personal der Autobahnmeisterei (AM) vorgenommen werden. Dies geschieht entweder über eine Leitung aus der AM oder unmittelbar an der Pumpstation der TMS. Am Steuergerät sind in der AM ein Protokollschreiber und ein Personal-Computer zur Darstellung der Meßstellendaten angeschlossen.

Die GMA löst bei den Alarmstufen 2 und 3 der GMA Sprühungen aus. Diese Alarmstufen haben folgende Inhalte:

- „Alarmstufe 2“ bedeutet, daß sich bei einer weiteren Temperaturabsenkung auf der Fahrbahn Glätte bilden wird. ($\Delta T = -2^\circ\text{C}$).
- „Alarmstufe 3“ bedeutet aktuelle Glättebildung auf der Fahrbahn.

Die Sprühdüsen werden nacheinander entgegen der Fahrtrichtung des Verkehrs aktiviert. Die Steuerung erfolgt über 13 verschiedene, nach definierten Kriterien zusammengestellte Sprühprogramme, die

von einem Rechner koordiniert werden und einzeln zu- oder abschaltbar sind. Sechs dieser Sprühprogramme entsprechen den sechs Streckenabschnitten. Zum Testen der Anlage stehen drei Sonderprogramme zur Verfügung.

Die TMS war ursprünglich mit 4 Vorratstanks von insgesamt 32 000 l Fassungsvermögen für flüssigen Taustoff ausgerüstet. Die Anlage wurde 1989 auf 6 Tanks mit einem Gesamtvolumen von 48 000 l vergrößert.

Insgesamt wurden ca. 14 000 m Druckleitungen aus Kunststoff (PE) mit einem Durchmesser von 1,5 Zoll verlegt. Eine Hochdruck-Kreiselpumpe aus rostfreiem V4A-Stahl, die von einem Elektromotor mit einer Leistung von 11 kW angetrieben wird, fördert das Taumittel mit einer Förderleistung von 150 l/min bei einem Förderdruck von 10–14 bar. Der Druck in der Anlage liegt bei 8–10 bar.

Als Taustoff wurde anfänglich eine Lösung mit einem Anteil von 33/34 % und später 25 % CaCl₂-Schuppen (77–80 %) eingesetzt (Gefrierpunkt -30°C). Eine Sprühzeit von 1 sec ergibt ca. 520 g CaCl₂ pro Sprühventil. Bei gleichmäßiger Verteilung über die Fahrbahn entspricht dies ca. 3 g/m². Seit 1989 wird 22–23 %ige NaCl-Lösung verwendet. Hier ergibt sich ein Durchgang von ca. 380 g NaCl pro sec und Sprühventil, was einer Beaufschlagung von ca. 2,2 g/m² entspricht.

Grund für die Verringerung der Konzentration der CaCl₂-Lösung und letztlich für den Taustoffwechsel war die hygroskopische Eigenschaft des CaCl₂. Durch die Anlagerung von Wassermolekülen am Salzkristall auf ansonsten trockener Fahrbahn kam es immer wieder zu Schmierglätte, die vereinzelt zu Unfällen führte.

2.2 Betriebserfahrungen

2.2.1 Betriebssicherheit

Die verkehrlichen und klimatischen Besonderheiten führten zu einer Störungsanfälligkeit sowohl in der Steuerungsanlage als auch im hydraulischen Teil, die aufgrund fehlender Erfahrung beim Hersteller und Betreiber nicht vorhersehbar war. Deshalb wurde die TMS zur Erhöhung der Funktionssicherheit im Jahre 1987 mit einem Kostenaufwand von 960 000 DM umgebaut. Dadurch konnten die Störungen auf ein Mindestmaß reduziert werden.

Bei der Bewertung der Höhe der Umbaukosten ist zu berücksichtigen, daß eine Anlage in der Größenordnung der Anlage auf der BAB A 45 bis dahin

weltweit einzigartig war und auch heute noch ist. Bereits im Zwischenbericht [04] wurde darauf hingewiesen, daß aufgrund der Länge der Anlage und der großen Höhenunterschiede im Bereich der Anlage insbesondere Dichtigkeitsprobleme mit den Kunststoff-Druckrohrleitungen für das Taumittel auftraten, die auf den großen zu überwindenden Höhenunterschied und die temperaturbedingten Längenänderungen dieser Leitungen zurückzuführen sind. Insbesondere aber traten Beschädigungen an den Leitungen und Sprühdüsen durch verlorene Ladung und umherfliegende Fahrzeugteile (Radkappen) in einem Umfang auf, der aufgrund der vorliegenden Erfahrungen mit den bis dahin installierten, wesentlich kürzeren Anlagen in dem beobachteten Umfang nicht vorhersehbar waren (Einzelheiten hinsichtlich der aufgetretenen Störungen werden in den folgenden Abschnitten dargestellt.). Vor allem wurde der Umbau der Anlage dazu benutzt, sie dem inzwischen fortgeschrittenen Stand der Technik anzupassen, und sie damit wesentlich betriebssicherer zu machen.

2.2.1.1 Technische Probleme an der Steuerungsanlage

Die Steuerungsanlage umfaßt die elektrischen und elektronischen Bauteile, die gesamte Verkabelung und die Meßstellen der GMA im Bereich der TMS.

Im Winter 1984/85 traten Probleme an den Kabelabgriffdosen auf. Diese Dosen enthalten die Ansteuerungselemente für die Sprühventile. Durch schlechte Abdichtung an den Kabeleinführungen sowie durch das, bei Störungen zwangsläufig notwendige, Öffnen der Dosen auch bei ungünstigen Wetterbedingungen (Feuchte, Sprühhahnen, Regen) konnten Feuchtigkeit und Sole eindringen. Die Steuerplatinen oxydierten und lösten dadurch Kurzschlüsse aus, die in einigen Fällen zum Totalausfall einzelner Streckenabschnitte führten. Durch Vergießen der Kabelabgriffdosen mit Silikon konnte Abhilfe geschaffen werden.

Durch Unfall- und andere Verkehrseinwirkungen wurden häufig die Kabel der Steuerleitungen angeschnitten oder aus den Kabelabgriffdosen herausgerissen. Die Fehlersuche erwies sich in diesen Fällen als schwierig. Es kam zu Totalausfällen über längere Zeiträume.

Die Steuerleitungen waren an den Versorgungsrohren für die Sole befestigt. Auf dem Seitenstreifen waren die Rohre auf den Distanzholmen der Schutzplanken verlegt worden, während sie auf dem Mittelstreifen dicht über den Erdboden geführt und an den

Schutzplankenpfosten befestigt wurden. Wegen der schlechten Überwachungsmöglichkeit und der hohen Kosten wurde auf das Verlegen der Zuleitungen ins Erdreich verzichtet. Es bestand die Ansicht, daß ein ausreichender Schutz gegen Unfallschäden durch die Schutzplanken gegeben sei.

Die sechs Meßstellen der GMA lösten in den ersten Betriebsjahren häufig Fehlsprühungen aufgrund Alarmstufe 3 aus. Auf den in 2 m Höhe angebrachten Niederschlagssonden bildeten sich durch Sprühhahnen Salzkrusten. Diese hygroskopischen Ablagerungen nahmen unter entsprechenden Luftfeuchtigkeitsverhältnissen Feuchtigkeit auf und täuschten dadurch der Sonde das Meßergebnis „Niederschlag“ vor. Diese Meldung erfolgt solange, bis die relative Luftfeuchte unter einen bestimmten Schwellwert absank. Dann erfolgte die Meldung „Niederschlagsende“. Wenn in Verbindung mit Niederschlagsende eine Fahrbahnbelagstemperatur von $< 0^{\circ}\text{C}$ registriert wird, so ergibt sich für die Alarmlogik die Alarmstufe 3, welche die Sprühung auslöst. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Niederschlagssonden in ca. 4 bis 5 m Höhe installiert. Hierdurch wurde eine wesentliche Verbesserung erreicht.

2.2.1.2 Technische Probleme an der Hydraulikanlage

Die Hydraulikanlage besteht aus der Pumpanlage, den Vorratsbehältern und den Taumittelversorgungsleitungen mit den Sprühventilen.

Die Hauptversorgungsleitungen bestehen aus dem Kunststoff Polyethylen (PE). Sie sind durch jahreszeitlich bedingte Temperaturschwankungen großen Dehnungs- und Schrumpfkraften ausgesetzt. Geht man von einer Verlegetemperatur von 15°C und einer Temperaturschwankung von $\pm 35^{\circ}\text{C}$ aus, so ergibt sich für PE-Rohr auf 100 m eine Längenveränderung von ± 700 mm. Aufgrund fehlender Erfahrung war der Hersteller der Ansicht, daß diese Kräfte und Bewegungen durch eine feste Verspannung der Leitungen mit den Stützpfosten und Distanzholmen der Schutzplanken kompensiert werden könnte. Tatsächlich konnten die Dehn- und Schrumpfprozesse dadurch nur wenig abgemildert werden. Dies hatte zur Folge, daß an den Verschlußteilen der Armaturen häufig Undichtigkeiten auftraten. Zum Teil lösten sich die Rohrleitungen gänzlich aus den Verschraubungen. 1989 wurden deshalb vor und hinter den stark belasteten Bauteilen der Hauptversorgungsleitungen in der gesamten TMS 101 Dehnungsbögen eingefügt.

Durch unsachgemäße Montage (Angabe des Herstellers) lösten sich einige Schlauchverbindungen zwischen dem Hauptrohr und den Ventilen. Starke mechanische Belastungen durch Schneewurf beim Räumen führten zum Bruch mehrerer Schlauchnippel. Zusätzliche Halterungen sollten dies verhindern.

Die Hauptleitung im Mittelstreifen war durch Unfälle stark gefährdet, da durch Verdrehen der Schutzplanken-Stützpfosten die daran befestigten scharfkantigen Schlauchklemmen in den Schlauch einschritten.

Die Kammerventile erfüllten aufgrund des Druckanstieges im Gefällebereich die an sie gestellten Anforderungen nicht. Bei Schäden an den Versorgungsleitungen konnten größere Mengen Sole auslaufen.

An der Pumpanlage riß einmal durch Druckstöße die Rücklaufleitung zwischen Pumpe und Vorratsbehälter ab. Die Druckverhältnisse sind durch Gefälle bis zu 4 % im Streckenbereich sehr unterschiedlich und müssen daher durch Druckminderventile angepaßt werden. Diese rein mechanischen Ventile unterlagen wiederholt Funktionsstörungen. Die Druckstöße konnten reduziert, nicht jedoch ganz beseitigt werden.

Im April 1986 bildete sich durch auslaufendes Tausalzmittel ein Schmierfilm auf der Fahrbahn, der mehrere Unfälle verursachte. Laut Polizeibericht betrug der Sachschaden 200 000 DM. Im Bereich der Unfallstelle hatte sich ein Verbindungsschlauch zu den Ventilen von der Schlauchtülle der Hauptversorgungsleitung gelöst. Durch neue Anbohrschellen mit eingeschweißter Tülle und einer zweiten Schlauchschelle konnte eine sichere Verbindung geschaffen werden.

Im Zuge der Nachrüstung mit Dehnungsbögen wurde 1989 eine Trennung zwischen der Steueranlage einerseits und der Pumpanlage mit den Vorratsbehältern andererseits vorgenommen. Die elektronischen Steuerungsteile im Gebäude bei der Rastanlage Rölveder Mühle, die sich bisher im gleichen Raum mit den Sole-Behältern befanden, wurden in einem neu angebauten, separaten Raum untergebracht. Die durch die hohe Luftfeuchte im Sole-Vorratslager entstandenen Probleme waren damit beseitigt. Außerdem wurde zur Übertragung der Steuerdaten eine Doppelader der AUSA-Fernmeldeleitung genutzt. Dadurch wurde eine getrennte Datenübertragung zwischen TMS und GMA erreicht.

2.2.1.3 Umbau der TMS im Jahre 1987

Nach den Erfahrungen der ersten drei Winter stellte sich heraus, daß die TMS den Betriebsanforderungen nicht gerecht wurde. Aufgrund der Einmaligkeit der Versuchsanlage kam es immer wieder zu nicht voraussehbaren Störungen. Anfänglich wurden diese Funktionsstörungen mit verschiedenen kleineren Einzelmaßnahmen behoben, die aber nicht in allen Fällen zum gewünschten Erfolg führen konnten. Um die Störungen nachhaltig und wirksam zu reduzieren und die Fehlerursachen zu beseitigen, wurde die große Umbaumaßnahme geplant und durchgeführt.

Über 90 % der Teil- und Totalausfälle der Anlage waren auf mechanische Schäden an den Steuerkabeln – vor allem auf dem Mittelstreifen – durch Unfälle zurückzuführen.

Jahr	85	86	87	88	89	90	91
Fahrtrichtung Dortmund	3	6	11	15	5	6	2
davon Unbekannte	1	—	9	9	2	1	1
Fahrtrichtung Frankfurt	13	4	13	11	7	2	2
davon Unbekannte	8	—	6	6	1	1	1

Tab. 1: Anzahl der Unfälle mit Schäden an der TMS (9)

Aus diesen Gründen wurden beide Steuerleitungen, – sowohl die aus dem Mittelstreifen als auch die aus dem Seitenstreifen – die bisher an der Tausalzmittelleitung auf den Schutzplanken befestigt waren, in das Erdreich auf dem Seitenstreifen in Fahrtrichtung Frankfurt verlegt. Die bisherigen Kabelabgriffdosen wurden entfernt und die notwendigen gedruckten Schaltungen für die Ansteuerung der Sprühventile in zehn Steuerkästen zusammengefaßt, die im Streckenbereich verteilt wurden. Durch diese beiden Maßnahmen wird die Hauptsteuerleitung vor äußerer Einwirkung geschützt und die Fehlersuche wesentlich vereinfacht.

Insgesamt wurden 33 000 m Erdkabel für die Hauptsteuerleitungen und 90 600 m Kabel zu den Ventilanschlüssen neu verlegt. Die Ventilanschlußkabel mußten zum Teil weiterhin oberirdisch verlegt werden. Beschädigungen dieser Steuerkabel führen aber nur zu Ausfällen der jeweiligen Einzelventile.

2.2.2 Auswirkungen auf den Winterdienst

Die TMS auf der A45 soll sowohl Reif-, Eis- und Schneeglätte auf den Talbrücken in Fahrtrichtung

Dortmund und auf der Steigung in Fahrtrichtung Frankfurt bekämpfen bzw. verhindern als auch den konventionellen Winterdienst unterstützen, der auf dem bis zu 4 % steilen Streckenanstieg besonders intensiv durchgeführt werden muß. Hier soll bei plötzlichen und intensiven Schneefällen der Schnee räumfähig gehalten sowie vor allem vermieden werden, daß sich auf der ansteigenden Fahrbahn eine festgefahrene Schneedecke bildet, so daß die Steigung wegen des dann geringen Kraftschlußbeiwertes insbesondere von Lkw ohne Winterausrüstung nicht mehr genommen werden kann. Resultierende Staus behindern auch die Winterdienst-Einsatzfahrzeuge.

Die TMS kann und soll den herkömmlichen Winterdienst nicht ersetzen, sondern nur ergänzen. Normale Winterdienstesätze werden entsprechend der Witterung in den angrenzenden Streckenbereichen wie üblich anfallen.

Nach Auffassung des Betreibers ist die gesunkene Zahl der Unfälle bei winterlichen Straßenverhältnissen im Bereich der TMS auf deren Einsatz zurückzuführen. Sie ist ein wesentliches Hilfsmittel, die Verkehrsteilnehmer gegen überraschende Glätte zu schützen.

Ein großer Vorteil der Anlage zeigte sich bei Schneefall. Nach automatisch oder manuell ausgelösten Sprühungen ließ sich der Schnee deutlich besser räumen. Festgefahrene Schneedecken ergaben sich nicht. Mit dem konventionellen Winterdienst ist die zuständige Meisterei selbst in Verbindung mit der GMA nicht in der Lage, bei plötzlich auftretender Glätte rechtzeitig Abhilfe zu schaffen. Dies erklärt sich schon durch den langen Anfahrtsweg der Einsatzfahrzeuge von der AM her, die ziemlich weit von der TMS am Südenende ihres Streckenabschnitts auf der Höhe liegt.

2.2.3 Verkehrssicherheit

Betrachtet man über den Zeitraum von 1980–1990 die jährlichen Unfallzahlen des Streckenabschnittes zwischen Hagen und Lüdenscheid, so ergibt sich ein Anstieg von ca. 25 %. Diese Steigerung ergibt sich in erster Linie aus dem gestiegenen Verkehrsaufkommen von ca. 44 %. Wurde 1980 an Werktagen noch ein durchschnittliches tägliches Verkehrsaufkommen von 42 634 Fz gezählt, so lag es 1990 laut Jahresauswertung bereits bei 61 498 Fz [12]. Die Unfälle aufgrund winterlicher Bedingungen haben sich nach der Installation der TMS im Schnitt um 50 % reduziert. Die Tabelle 2 zeigt die Anzahl und die prozentuale Absenkung der Unfälle innerhalb der einzelnen Unfallgruppen der RAS-W und zusätzlich der beteiligten Schwer- und Leichtverletzten [09]. Bei der folgenden Kosten-Nutzen-Rechnung wird unterstellt, daß der Rückgang dieser Unfallzahlen durch die TMS bewirkt wurde.

3 Kosten-Nutzen-Analyse

Dieses Kapitel stellt die Kosten und Nutzen der TMS lediglich in einer gekürzten Fassung dar, die sich im wesentlichen darauf beschränkt, die Endergebnisse beider Komponenten gegenüberzustellen. Eine Langfassung dieses Kapitels mit genauerer Aufgliederung der einzelnen Kosten und Nutzen sowie der Darstellung der Rechenwege befindet sich im Anhang dieser Arbeit. Die Numerierung der Tabellen ist in beiden Kapiteln identisch, daraus erklären sich die Lücken in der Numerierung der Tabellen in dieser Kurzfassung.

Die vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die gesamtwirtschaftliche Beurteilung einer Einzelmaßnahme. Bei einer TMS liegt der Nutzen im we-

Veränderung der Unfallsituation im Bereich der TMS Lüdenscheid	Zahl der Unfälle mit Schwerverletzten	Zahl der Schwerverletzten	Zahl der Unfälle mit Leichtverletzten	Zahl der Leichtverletzten	Zahl der Unfälle mit schwerem Sachschaden	Zahl der Unfälle mit leichtem Sachschaden
vor Einbau	8	11	10	15	10	71
Jahresmittel /5	1,6	2,2	2	3,4	2	14,2
nach Einbau	5	6	2	6	9	34
Jahresmittel /6	0,8	1	0,3	1	1,5	5,7
Absenkung in %	50	54,5	85	66,7	25	59,9

Tab. 2: Veränderung der Unfallsituation im Bereich der TMS

sentlichen in den Bereichen Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer.

Schon aus der Aufgabenstellung, die der Installation der Anlage zugrundeliegt, ergibt sich, daß betriebliche Einsparungen nur in geringem Umfang zu erwarten sind, weil – darauf sei noch einmal ausdrücklich hingewiesen – die TMS den herkömmlichen Winterdienst nicht ersetzen, sondern nur ergänzen kann. Im Gegenteil: Es ergeben sich Kosten für das Vorhalten und den Betrieb der Anlage. Auch Einsparungen an Taustoff sind nicht zu erwarten. Die Anzahl der Winterdienstesätze kann nicht reduziert werden. Allenfalls ergibt sich ein Nutzen aus der möglichen Reduzierung von Einsatzbereitschaft und Wegekosten, der nur unzureichend quantifiziert werden kann.

Eine besondere Schwierigkeit dieser Kosten-Nutzen-Analyse liegt darin, daß sie vor Ablauf der Nutzungsdauer erstellt werden muß. Sie stellt also ein Zwischenergebnis dar. Für die Kostenseite steht dafür ein Zeitraum von 7 Jahren (1985–1991) zur Verfügung.

Dies muß vor allem bei der Einsetzung der Investitionskosten berücksichtigt werden. Sie werden für die volle Nutzungsdauer investiert und abgeschrieben.

Für eine Kosten-Nutzen-Betrachtung nach sieben Jahren dürfen demzufolge nur sieben Fünftel der Investitionen auf der Kostenseite zu Buche schlagen, wenn man von einer Nutzungsdauer der Anlage von 15 Jahren ausgeht. Eine solche Nutzungsdauer wurde nach sorgfältiger Abwägung mit dem Betreiber der Anlage unter Berücksichtigung ihrer Besonderheiten für die Kosten-Nutzen-Analyse zugrundegelegt.

Das gleiche gilt für die im Jahre 1986 angefallenen Sonderkosten von 200 000 DM. Nach Behebung des Schadens und den daraus resultierenden Verbesserungen und Sicherungen der Anlage kann nach menschlichem Ermessen davon ausgegangen werden, daß ein solcher Schadensfall innerhalb der Nutzungsdauer der TMS nicht mehr auftreten wird. So kann die Schadenssumme auf die gesamten 15 Jahre umgelegt werden. Deshalb werden auch hier nur sieben Fünftel angesetzt.

Auf der Nutzenseite kann in einigen Fällen nur auf Daten der letzten sechs Jahre seit Bestehen der Anlage zurückgegriffen werden. Dieser Zeitraum muß mit einem gleichen Zeitraum vor Installation der Anlage verglichen werden, denn aus der Differenz ergibt sich der Nutzen. Auf der Nutzenseite ist es des-

	Jahre vor Installation					Jahr 0					Jahre nach Installation				
	Kostenseite														
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
Investitionen	–	–	–	–	–	–	–	—	e	0	e	0	0	0	0
Taustoff	–	–	–	–	–	–	–	—	e	e	e	e	e	e	e
Energie	–	–	–	–	–	–	–	—	e	e	e	e	e	e	e
Personal	–	–	–	–	–	–	–	—	d	d	d	d	d	d	d
Reparaturen	–	–	–	–	–	–	–	—	e	e	e	e	e	e	e
Sonderkosten	–	–	–	–	–	–	–	—	0	e	0	0	0	0	0
	Nutzenseite														
Unfälle	d	d	e	e	e	e	e	—	e	e	e	e	e	e	d
Kfz-Betriebskosten	d _e	d _e	d _e	e	d _e	d _e	d _e	—	0	0	0	0	0	0	0
Zeitverlustkosten	d _e	d _e	d _e	e	d _e	d _e	d _e	—	0	0	0	0	0	0	0

e = exakt ermittelte Werte

d = Durchschnittswerte

d_e = durch Extrapolation ermittelte Durchschnittswerte

— = Jahr Null

– = Keine Werte

0 = Werte gleich Null

Tab. 3: Übersicht über die Art der zur Verfügung stehenden Daten

halb unumgänglich, einige Zahlen durch Durchschnittswerte zu ersetzen. Für die Zeit vor 1984 müssen die Zahlen größtenteils extrapoliert werden.

Die Tabelle 3 zeigt übersichtlich, für welche Jahre die Beträge exakt ermittelt werden konnten, für welche Jahre Durchschnittswerte eingesetzt werden mußten und für welche Jahre die Zahlen extrapoliert wurden.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird die Kapitalwertmethode gewählt. Nach diesem Verfahren werden sämtliche Kosten und Nutzen der TMS durch Auf- oder Abzinsung auf den Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Investition – 1984 – vergleichbar gemacht.

Die so ermittelten Beträge sind die Barwerte. Der Kapitalwert einer Investition ergibt sich als Differenz zwischen der Summe der Barwerte auf der Kostenseite und der Summe der Barwerte auf der Nutzenseite. Die Abzinsung erfolgt mit dem Kalkulationszinsfuß von 3 Prozent [10].

Auf der Kostenseite bereitete die Ermittlung der einzelnen Barwerte keine großen Schwierigkeiten. Auf der Nutzenseite wird der Nutzen der Anlage generell durch das Gegenüberstellen der Verkehrssituationen aus vergleichbaren Zeiträumen vor und nach dem Einbau der Anlage abgeleitet. Aus dieser Zeit stehen aber nicht für jedes Jahr exakte Daten zur Verfügung, so daß die Ergebnisse ihrem Charakter nach mehr oder weniger genaue Schätzwerte darstellen.

Um in der Kosten-Nutzen-Analyse keine Genauigkeit vorzutauschen, die eine Schätzung nicht leisten kann, wird auf eine Rechnung mit Nachkommastellen grundsätzlich verzichtet und die Summen aller Kosten- und Nutzengruppen sowie die Endbeträge der gesamten Kosten und Nutzen werden auf volle Tausender gerundet.

Kostenart	Barwert
Einmalige Kosten	
Investitionskosten	1 437 000,- DM
Sonderkosten	88 000,- DM
Laufende Kosten	
Taumittelkosten	199 000,- DM
Energiekosten	15 000,- DM
Personalkosten	246 000,- DM
Reparaturkosten	162 000,- DM
Gesamtkostenbarwert	2 147 000,- DM

Tab. 4: Zusammenstellung der Kosten-Barwerte

3.1 Kosten

Die Gesamtkosten setzen sich aus einmaligen Kosten und laufenden Kosten zusammen. Nach Abzinsung ergeben sich daraus die in Tabelle 4 zusammengestellten Barwerte.

3.2 Nutzen

Der Nutzen einer TMS besteht darin, durch ihre Wirkung in anderen Bereichen Kosten einzusparen. Diese Wirkungsbereiche sind im Wesentlichen Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer [03]. Die sich hieraus ableitenden Nutzen lassen sich in einem allgemeinen Zielkatalog zusammenfassen:

Verkehrssicherheit:

Nutzen durch weniger Unfalltote
 Nutzen durch weniger Unfallverletzte
 Nutzen durch weniger Unfallschäden

Verkehrsablauf:

Nutzen durch Vermeidung von Staus,
 d. h. Nutzen durch Verringerung der Betriebskosten
 Nutzen durch Verkürzung der Reisezeiten

Umweltschutz:

Nutzen durch Verringerung der Schadstoff-Emission
 Nutzen durch Verringerung der ausgebrachten Salzmenge
 Nutzen durch Verringerung des Treibstoffverbrauchs

Verkehrsteilnehmer:

Nutzen durch Verkürzung der Wartezeiten
 Nutzen durch Verringerung der Streßbelastung.

Die Nutzen in den Wirkungsbereichen Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer – das sei hier bereits vorweggenommen – werden in dieser Nutzenrechnung nicht monetär bewertet. Einen volkswirtschaftlichen Nutzen, beispielsweise durch die Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der damit verbundenen Reduzierung von Schadstoff-Emission oder durch die Verringerung der Streßbelastung, wird für diese Bereiche niemand in Zweifel stellen. Sie sollen hier aber nur als „Sekundärnutzen“ aufgezeigt werden. Eine genaue monetäre Bewertung kann zwar diese Kosten-Nutzen-Analyse wesentlich positiver präsentieren, aber die dazu erforderlichen Untersuchungen sprengen den Rahmen dieser Arbeit.

Nutzenart	Barwerte
Unfallkosten-Einsparung	1 786 000,- DM
Kfz-Betriebskosten-Einsparung	155 000,- DM
Zeitkosten-Einsparung	2 091 000,- DM
Gesamtnutzenbarwert	4 032 000,- DM

Tab. 5: Zusammenstellung der Nutzen-Barwerte

3.3 Gegenüberstellung der Barwerte von Kosten und Nutzen

Bisherige Kosten	Bisheriger Nutzen
2 147 000,- DM	4 032 000,- DM

Tab. 6: Gegenüberstellung der Barwerte von Kosten und Nutzen

Der Gesamtbarwert des Nutzens übersteigt nach einem Betrachtungszeitraum von sieben Jahren nach Einbau der TMS den Barwert der bis dahin angefallenen Kosten um 1 885 000 DM. Der Wirtschaftlichkeitsfaktor der Anlage Nutzen/Kosten beträgt für diesen Betrachtungszeitraum also demnach 1,88, das sind aufgerundet:

$$F_w = 1,9.$$

4 Wertung

4.1 Erreichen des Einsatzzieles

Durch den Betrieb der TMS sollte auf der A 45 zwischen Hagen und Lüdenscheid die Zahl der Unfälle um 50 Prozent gesenkt und die Zahl der Staus verringert werden. Diese Zielvorstellungen konnten in vollem Umfang realisiert werden.

Tabelle 2 auf Seite 11 zeigt die Entwicklung des Unfallgeschehens im Bereich der Anlage, wenn der Unfallrückgang als Auswirkung der TMS angesehen wird. Insgesamt ereigneten sich in den fünf Jahren vor Einbau der Anlage dort 99 Unfälle, was einem Durchschnitt von 19,8 Unfällen/Jahr entspricht. In den sechs Jahren nach der Installation kam es zu 50 Unfällen, was ein jährliches Mittel von 8,33 Unfällen/Jahr darstellt. Setzt man diese beiden Mittelwerte in Relation, so ergibt sich eine Absenkung der Unfälle von 57,9 Prozent.

Staus aufgrund liegengebliebener Lkw, die bei winterlichen Bedingungen die Steigung nicht überwinden konnten, wurden nicht mehr registriert.

Die Frage, ob durch die Umbaumaßnahme im Jahr

1987 die Gefährdung der Anlage durch Unfallschäden gesunken ist, kann nicht zufriedenstellend beantwortet werden. In den Jahren 1985 und 1986 wurde die TMS insgesamt in 26 Fällen durch Unfälle geschädigt; in den Jahren 1987 bis 1991 insgesamt 74mal. Dies entspricht im ersten Zeitraum einem Jahresdurchschnitt von 13 und im zweiten einem solchen von 14,8. Der sich hier ergebende Anstieg von ca. 12 Prozent erklärt sich möglicherweise aus dem Anstieg des DTV von 1985 auf 1990 um 22 Prozent. Die unterschiedlichen prozentualen Anstiege deuten auf einen relativen Rückgang der Unfallschäden hin.

Die deutliche Abnahme der mittleren Rechnungsbeträge für die Behebung von Unfallschäden an der TMS nach 1987 ist zum einen darauf zurückzuführen, daß die kostenintensiven Reparaturarbeiten an den elektronischen Bauteilen nach der Umbaumaßnahme weitgehend entfielen, zum anderen wurde ab 1987 eine andere Firma mit den Reparaturarbeiten an der Anlage beauftragt. Reparatur- und Wartungsarbeiten sollten – wenn möglich – ausgeschrieben werden.

4.2 Verbesserungsvorschläge für bestehende Anlagen und Anregungen für die Planung neuer Anlagen

Die in diesem Bericht beschriebenen Ausfälle der Anlage waren vor allem auf ihre ursprüngliche Konzeption zurückzuführen. Hier ist insbesondere die Führung von Steuerungs- und Hauptversorgungsleitungen im durch Unfälle gefährdeten Verkehrsbereich zu nennen.

Einige Verbesserungen in der Steuerungsanlage und im hydraulischen Bereich wurden bereits vorgenommen. Hier sind aber Grenzen hinsichtlich des Aufwandes gesetzt. Es müssen derzeit z. B. die Störungen im hydraulischen Anlagenteil durch Unfälle hingenommen werden. Hierdurch entsteht ein hoher Unterhaltungsaufwand, der aber teilweise durch Versicherungszahlungen ausgeglichen wird. Die bestehende Anlage sollte weiterbetrieben werden, wobei hydraulische Komponenten, wie Ventile usw. bei Ausfall durch geeignetere Armaturen zu ersetzen sind. Bei Abschreibung kompletter Anlagenteile muß ggf. über den Ersatz durch neuere Anlagentechnologien nachgedacht werden. Hierbei sind die Erfahrungen mit den bestehenden TMS zu berücksichtigen.

Bei Ergänzungen und Austauscharbeiten, vor allem

aber bei der Planung von Neuanlagen sind nach den gewonnenen Erfahrungen folgende wesentliche Punkte zu berücksichtigen:

- Die Versorgungs- und Steuerleitungen sollten außerhalb unfallgefährdeter Bereiche geführt werden, möglichst unterirdisch oder auf der verkehrsabgewandten Seite der Schutzplanken.
- Es sollten grundsätzlich ausreichende Kapazitätsreserven für Steuerleitungen und Datenübertragungsleitungen im Anlagenbereich bereits im Planungsstadium vorgesehen werden, damit später notwendige Ergänzungen und Änderungen ohne großen Aufwand möglich sind.
- Verwendung von Material, [bzw. Einbau entsprechender Vorrichtungen (Dehnungsbögen)], das in der Lage ist, die auftretenden großen Temperaturschwankungen und die damit verbundenen Längendehnungen aufzunehmen.
- Verwendung der neuen Unterflur-Sprühsteller mit schnell auswechselbaren Ventilen, die am Fahrbahnrand oder in der Mitte im Belag deckungsgleich vergossen werden und die gegen Druckbelastung durch Schwerverkehr und Abscheren durch den Schneeflug unempfindlich sind.
- Behebung von Teilausfällen durch Ersatzmaßnahmen, bis Reparatur erfolgt. Die schnelle Abtrennung geschädigter Teile sollte möglich sein, damit die Betriebsfähigkeit auch im Schadensfall aufrecht erhalten werden kann.
- Einbau hochwertiger Materialien (rostfreier V4A-Stahl etc.), die den Umwelteinflüssen standhalten. Verzinktes Eisen ist bei Verwendung von CaCl_2 -Lösung stark korrosionsgefährdet und sollte deshalb nicht verwendet werden.
- Die Niederschlagsdetektoren sollten vor salzhaltigem Sprühnebel bzw. Spritzwasser z. B. durch Installation in ausreichender Höhe geschützt werden, um Fehlauflösungen aufgrund des Spritzwassers bzw. der Hygroskopizität von abgelagertem Salz zu vermeiden. Ggf. sind neuartige optische Systeme zur Erkennung von Niederschlag zu verwenden.
- Aus dem gleichen Grund sollten die elektronischen Bauteile der Anlagensteuerung möglichst außerhalb des Spritzwasser-Sprühnebelbereichs installiert werden oder – soweit dies nicht möglich ist – in den Schaltkästen in Straßennähe versiegelt werden. Möglichst nur passive Bauteile (ohne Energieversorgung) im und nahe dem Verkehrsraum unterbringen.
- Je Ventilschrank sollte immer nur eines der Ventile sofort sprühbereit sein, während der Rest der Anlage in drucklosem Stand-by-Betrieb verharrt. Zur Vermeidung von Umweltschäden ist für größtmöglichen Auslaufschutz zu sorgen.
- Bei längeren Anlagen ($> 250 \text{ m}$), besonders in größeren Streckenabschnitten, müssen sowohl für den hydraulischen als auch für den steuerungstechnischen Anlagenteil Prüfmöglichkeiten vorgesehen sein.
- Bei Anlagen von $> 500 \text{ m}$ Länge ist ein Aufteilen der Strecke in Sektoren mit eigener Meßstation Pumpe und Steuerung sinnvoll, insbesondere dann, wenn zugleich große Höhenunterschiede überwunden werden müssen.
- Bei Anlagen in Steigungsstrecken muß die Vorratshaltung und Einspeisung für Taumittel am tiefsten Punkt erfolgen. Dadurch wird eine natürliche Auslaufsicherung bei mechanischen Beschädigungen erreicht. Für gleichmäßige Druckbeaufschlagung der Sprühventile sind technische Vorkehrungen zu treffen.
- Im Bereich der Vorratshaltung sind geeignete bautechnische Maßnahmen zu treffen, die im Schadensfall das unkontrollierte Ausfließen von Taumittel in die Umgebung verhindern.
- Der Baustein Glättemeldeanlage muß so ausgelegt sein, daß der Betreiber die Möglichkeit hat, die Auslösekriterien den streckenspezifischen klimatischen Bedingungen jederzeit anpassen zu können. Der Hersteller sollte ein Grundprogramm liefern, daß vom Betreiber aufgrund von Erfahrungswerten leicht modifiziert werden kann.
- Schon bei der Wahl der Standorte der Meßstellen sollten die thermischen Bedingungen der unmittelbaren Umgebung berücksichtigt werden. Eine Beratung durch den Wetterdienst sollte in die Planung einfließen. Jede Meßstelle sollte mit einem Gefrierpunktsensor ausgerüstet sein. Eine Erweiterung der Glättemeldeanlage mit zusätzlichen Meßstellen außerhalb der automatischen Steuerung der TMS (als Entscheidungshilfe für den konventionellen Winterdienst) muß grundsätzlich möglich sein.
- Die gleichzeitige Darstellung und Protokollierung der Betriebszustände der TMS, der Sprühungen und der auslösenden Parameter der Glätteismeldeanlagen-Meßstellen auf dem Bildschirm sollte dazu genutzt werden, auch die Wartungs- und Überwachungsfreundlichkeit der Anlage entscheidend zu verbessern.

4.3 Einsatzkriterien für Taumittel-Sprühanlagen

Alle Erfahrungen mit der TMS auf der Sauerlandlinie A 45 sowie mit den weiteren Anlagen im Bundesgebiet, die sich hinsichtlich ihrer Größe, Lage im Netz, des topografischen und klimatischen Umfeldes und auch hinsichtlich des vorrangigen Einsatzzieles unterscheiden, haben gezeigt, daß die Anlagen nach Überwindung von anlaufbedingten Schwierigkeiten und Störungen im Großen und Ganzen die Erwartungen der Betreiber erfüllen [04].

Taumittel-Sprühanlagen sollen als Anlagen des stationären Winterdienstes den üblichen mobilen Winterdienst wirkungsvoll unterstützen und ergänzen sowie dessen Wirksamkeit verbessern, indem sie kurzfristig erforderliche, lokal begrenzte Winterdienstesätze an besonders glättegefährdeten Punkten ersetzen bzw. konventionelle Präventiv-Maßnahmen überflüssig machen. Daß TMS zur Bekämpfung von Glättefallen geeignet sind, wurde im Zwischenbericht von 1988 nachgewiesen; daß sie auch unter Kosten-Nutzen-Gesichtspunkten eine wirkungsvolle Investition darstellen können, hat diese Untersuchung über einen längeren Beobachtungszeitraum gezeigt.

Zur Ableitung von Einsatzkriterien wird in der folgenden Tabelle versucht, ihre Eignung in Abhängigkeit unterschiedlicher Wettersituationen darzustellen. Dabei wird der (notwendige) Systembaustein GMA getrennt bewertet, da er eine eigene Nutzenkomponente auch für den konventionellen Winterdienst besitzt.

Aus der Tabelle 7 wird deutlich, daß Taumittel-Sprühanlagen den Winterdienst erleichtern und ergänzen, nicht aber ersetzen können. Insbesondere Schneefälle größerer Ergiebigkeit müssen aus Gründen des Umweltschutzes zunächst geräumt werden, bevor die verbleibende Restglätte mit Taustoffen beseitigt wird. Zweck einer TMS kann nur sein, fallenden Schnee räumfähig zu halten und ein Festfahren zu vermeiden.

Wesentliche Zielrichtung aller Aktivitäten des Winterdienstes ist

- zum einen die Sicherstellung der Befahrbarkeit der Straßen und damit der Aufrechterhaltung der Verkehrsfunktion
- und zum anderen die Gewährleistung einer ausreichenden Verkehrssicherheit auch bei winterlichen Wetterbedingungen.

Die genannten Faktoren bilden die Basis für die Entscheidung zum Einsatz von TMS.

Winterglatte Fahrbahnen können vor allem den Verkehrsablauf und die Verkehrssicherheit insbesondere an sogenannten „Glätteisfallen“ nachhaltig beeinträchtigen, weil dort die

- Glättebildung nur auf kurzen Abschnitten auftritt,
- vom Verkehrsteilnehmer nicht erkannt wird
- und dadurch ein situationsangepaßtes Verhalten erschwert wird.

TMS sollten aber nicht nur auf einzelne, relativ kurze Streckenabschnitte beschränkt werden. Sie kön-

Wintersituation	Einsatzkriterien	
	TMS	GMA
großflächige Reifbildung, überfrierende Nässe	schnelle Verfügbarkeit bei eintretender Glätte, Vermeidung präventiver Streueinsätze	Unterstützung von Einsatzentscheidungen
Regen/Eisregen auf unterkühlter Fahrbahn	Soforthilfe bei rechtzeitigem Erkennen durch die Glättemeldeanlage	Witterungsinformationen für WD über Niederschlagsbeginn und -ende
Schneefall geringer Ergiebigkeit bei Temperaturen um den Gefrierpunkt	Vermeiden der Ausbildung einer Eisdecke durch festgefahrenen Schnee und von Präventiveinsatz	Unterstützung von Einsatzentscheidungen
Schneefall großer Ergiebigkeit	Sulzighalten des Schnees bis zum Eintreffen der Räumfahrzeuge	Unterstützung der Einsatzentscheidung bei Schneehöhenmessung
Lokal begrenzte Glättebildung (Glätteisfallen)	Vermeidung von Sondereinsätzen	Verminderung erforderlicher Kontrollfahrten

Tab. 7: Einsatzkriterien von TMS und GMS

nen auch auf hochbelasteten Streckenabschnitten mit hohem Schwerverkehrsanteil

- im Bereich von längeren und/oder größeren Steigungs- und Gefällestrecken
- und zur Vermeidung glättebedingter Verkehrsstauungen

eingesetzt werden.

Mit den letztgenannten Strecken ist in vielen Fällen der Übergang von der „relativ kurzen“ Ausstattung von einzelnen Glatteisfallen (etwa < 1 km) auf mittelgroße bis große Anlagen (> 1 km) gegeben. Sie sollten vorwiegend in solchen Bereichen installiert werden, in denen aufgrund der topografisch/klimatischen Gegebenheiten ohnehin ein besonders intensiver Winterdienst erforderlich ist.

TMS, die aufgrund der vorstehenden Einsatzkriterien installiert werden, können bei Vorliegen entsprechender Umstände präkurativ zur Erleichterung der Schneeräumung eingesetzt werden. Aus Gründen des Umweltschutzes sollten die Anlagen auf keinen Fall dazu verwendet werden, gefallenen Schnee durch größere Mengen an Sprühmitteln wegzutauen.

Noch mehr als beim Einsatz an Glatteisfallen ergibt sich hier die Notwendigkeit, eine solche Anlage besonders sorgfältig zu planen und dabei nicht nur physikalisch-technische Aspekte in die Betrachtung einzubeziehen. Besondere Aufmerksamkeit ist dem Gesichtspunkt zu widmen, daß durch den Einsatz der TMS nicht eine Verlagerung der zu beseitigenden Problematik in die benachbarten Streckenabschnitte stattfindet. Bei Auffahrten aus dem Flachland in die Mittelgebirgsregion etwa wäre zu prüfen, ob nur der besonders steile Bereich des Anstiegs oder die gesamte Steigungsstrecke ausgerüstet werden muß.

Vor der Entscheidung zum Bau einer TMS sollten die Erfahrungen der Straßenbauverwaltung und des Straßenmeisters durch entsprechende Beobachtungen und Messungen verifiziert werden. Bei größeren Anlagen sollte möglichst eine Wärmekartierung (thermal mapping) des geplanten Bereichs der TMS und seiner Nachbarabschnitte bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen erfolgen.

Von besonderer Bedeutung für die witterungskonforme Funktion der Anlagen ist die optimale Anordnung der Meßsonden des Systembausteins Glättemeldeanlage. Hier wurde bislang empfohlen, auf die Erfahrungen der Anlagenhersteller zurückzugreifen. Z. Zt. läuft bei der BAST eine Untersuchung

über praxisgerechte Anforderungen an Glättemeldeanlagen, die auch Untersuchungen zur Anordnung der Boden- und meteorologischen Sonden im Fahrbahnquerschnitt einschließt. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sollten in die „Vorläufige betriebstechnische Anforderungen an Glättemeldeanlagen (für den Einsatz auf Straßen)“ einfließen.

Nach Abschluß dieser Arbeit kann auch beim Bau neuer TMS auf die dort gewonnenen Erkenntnisse zurückgegriffen werden. Dennoch muß die Auswerte- und Entscheidungslogik von GMA und TMS programmierbar gestaltet sein, um sie den ortsspezifischen Systemparametern möglichst gut anpassen zu können.

5 Zusammenfassung

Die Taumittelsprühanlage auf der A 45 (Sauerlandlinie) ist mit ca. 6 km die längste in Deutschland. Die Anlage liegt zwischen 285 m und 412 m über NN und damit in einem klimatisch kritischen Bereich, in dem sich im Winter oft die Fahrbahnzustände durch Übergänge von Regen in Schnee und/oder positive in negative Temperaturen sehr schnell ändern. Dies führte zu zahlreichen glättebedingten Unfällen und anhaltenden Staus. Um diese zu verringern, wurde im Winter 1984/85 die TMS in Betrieb genommen.

Auf der ansteigenden Fahrbahn in Richtung Frankfurt wurde die gesamte Strecke sowohl an den Schutzplanken auf dem Seitenstreifen wie auch auf dem Mittelstreifen mit Sprühventilen ausgerüstet. Auf der absteigenden Fahrbahn in Richtung Dortmund wurden lediglich die Talbrücken in die Anlage einbezogen. Eine mit der TMS kombinierte Glättemeldeanlage liefert die Daten über Temperatur und Zustand der Fahrbahn direkt an die elektronische Steueranlage und einen in der Autobahnmeisterei installierten PC. Die Sprühung kann sowohl automatisch als auch manuell ausgelöst werden.

Aufgrund unfallbedingter Beschädigung der Steuerkabel und technischer Probleme an Hydraulik und Steuerung kam es in den ersten Jahren häufig zu Teil- und Totalausfällen der Anlage. Deshalb wurde 1987 die Anlage umgebaut. Dabei wurde der größte Teil der Steuerkabel ins Erdreich verlegt.

Die TMS kann den herkömmlichen Winterdienst, der auf der bis zu 4 %igen Steigung besonders intensiv durchgeführt wird, nicht ersetzen, sondern nur unterstützen. Der Einsatz der Anlage bietet we-

sentliche Vorteile bei plötzlich auftretender Glätte. Vor allem wird vermieden, daß sich bei plötzlichen und starken Schneefällen auf der Fahrbahn eine festgefahrene Schneedecke bildet, so daß die Steigung insbesondere von Lkw nicht mehr bewältigt werden kann. Hier ist der konventionelle Winterdienst auch in Verbindung mit der GMA nicht in der Lage, rechtzeitig Abhilfe zu schaffen.

Nach dem Einbau der Anlage sind die Unfälle aufgrund winterlicher Straßenverhältnisse im Streckenbereich der TMS insgesamt um mehr als die Hälfte zurückgegangen. Eine besonders starke Absenkung von 85 Prozent war bei den Unfällen mit Leichtverletzten zu beobachten. Gegenüber der Absenkung von 60 Prozent bei den Unfällen mit leichtem Sachschaden sanken die Unfälle mit schwerem Sachschaden nur um 25 Prozent. Es wird angenommen, daß der Rückgang der Unfallzahlen als Wirkung der TMS zugerechnet werden kann.

Eine Kosten-Nutzen-Analyse führt unter den getroffenen Annahmen zu einem positiven Ergebnis. Den bisherigen Gesamtkosten von 2 147 000 DM steht ein bisheriger Gesamtnutzen von 4 032 000 DM gegenüber. Dies entspricht einem Wirtschaftlichkeitsfaktor von $F_w = 1,88$.

Aus den bisherigen Erfahrungen mit dieser als Pilotanlage anzusehenden TMS ergeben sich eine Fülle von Anregungen für den Umbau bereits bestehender Anlagen, vor allem aber für Neuinstallationen. Dabei haben sich zwei wichtige Punkte herauskristallisiert: Zum einen sollten TMS möglichst immer aus voneinander unabhängigen Teilstücken bestehen, so daß bei einer Störung nie die ganze Anlage ausfällt, sondern immer nur das betroffene Teilstück. Zum anderen ist eine Form der Installation anzustreben, die eine Beschädigung durch Unfälle weitgehend unmöglich macht, z. B. durch in das Erdreich verlegte Taumittel-Leitungen und Steuerkabel oder in die Fahrbahn eingelassene Sprühdüsen. Hier haben sich durch den technischen Fortschritt Möglichkeiten ergeben, die 1984 bei Einbau der TMS noch nicht zur Verfügung standen.

6 Ausblick

Nach siebenjähriger Betriebsdauer der Versuchsanlage A 45 Lüdenscheid und mit den Erfahrungen aus den sechs kürzeren Anlagen, die im Bundesgebiet in Betrieb sind, kann die Installation von weiteren Taumittel-Sprühanlagen für die Zukunft sowohl

aus Gründen der Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Straßennetzes und der Verkehrssicherheit bei winterlichen Witterungsbedingungen empfohlen werden, wenn sich aus individuellen Kosten-Nutzen-Schätzungen ihre Wirtschaftlichkeit ableiten läßt.

Durch Taumittelsprühanlagen lassen sich Unfallschwerpunkte bei winterlichen Verhältnissen deutlich entschärfen und Verkehrsbehinderungen vermeiden; plötzlich auftretender Eisglätte kann wirksam begegnet werden. Bei schnell und heftig einsetzendem Schneefall kann der Schnee durch Sprühungen der TMS bis zum Eintreffen der Räumfahrzeuge räumfähig gehalten und damit Schneeglätte vermieden werden. Es darf jedoch aus Umweltgründen gerade im Falle größerer Schneemengen nicht angestrebt werden, den konventionellen Winterdienst (Räumen) durch TMS zu ersetzen.

Taumittelsprühanlagen tragen insbesondere dazu bei, in extremen Situationen den Winterdienst zu beschleunigen. Einsparungen können daher nur langfristig dadurch erwartet werden, daß vorsorgliche Winterdienstesätze, Einsatzbereitschaften sowie zusätzlicher Kontrollaufwand unterbleiben. Die Verringerung der Anzahl dieser Maßnahmen stellt ein zusätzliches Nutzenpotential besonders in Fällen dar, in denen die Meisterei von dem exponierten Streckenabschnitt relativ weit entfernt liegt. Im Rahmen dieser Untersuchung wurde dieser Aspekt nicht bewertet. Die Kosten für Installation, Betrieb und Unterhaltung einer solchen Anlage werden durch Einsparungen an vermiedenen Unfall- und Staukosten bei gesamtwirtschaftlicher Betrachtungsweise gedeckt, wie der ermittelte Kosten-Nutzen-Faktor von weit über eins ausweist.

Für jede TMS wird immer eine individuelle Planung nötig sein. Es steht nicht zu erwarten, daß in Zukunft an Problemstellen wie Brücken und Steigungen kurzerhand eine „Standard-TMS“ installiert werden kann und damit das Problem beseitigt ist. Die TMS muß nicht nur auf die jeweilige spezielle Verkehrsproblematik ausgerichtet sein, sie muß auch auf das topografische und klimatische Umfeld eingestellt sein. Dazu wird eine sorgfältige Vorabanalyse des anstehenden Problems und der Eignung einer TMS zu seiner Lösung vor Installation einer solchen Anlage empfohlen.

Die beim Betrieb der bislang bestehenden Anlagen gemachten Erfahrungen, die in den vorstehenden Empfehlungen zusammengefaßt sind, haben beim Betreiber und vor allem beim Hersteller zu Verbesserungen geführt, die beim Bau der neuesten Anla-

ge auf der A 30 bei Rheine (Brücke über den Dortmund-Ems-Kanal) bereits weitestgehend realisiert sind. Zukünftige, auch längere, Anlagen werden also von Erkenntnissen aus den bisher installierten TMS insofern profitieren, als daß bereits erkannte Fehler und Mängel nicht mehr auftreten, keine „Kinderkrankheiten“ mehr ausgemerzt werden müssen. Die Umsetzung der mit der Pilotanlage auf der Sauerlandlinie gewonnenen Erkenntnisse können dazu beitragen, den Aspekt „Wirtschaftlichkeit“ noch zu verbessern.

Zusammenfassend wird festgestellt, daß aufgrund der Untersuchungen der Bundesanstalt für Straßenwesen zur Wirksamkeit dieser Taumittel-Sprühanlagen positive Einflüsse auf das Unfallgeschehen angenommen werden können. Die Kosten-Nutzen-Analyse führte ebenfalls zu einem positiven Ergebnis. Der Bau weiterer Anlagen sowohl zur Entschärfung von Glatteisfallen wie auch zur Unterstützung des konventionellen Winterdienstes auf besonders durch Winterglätte und starken Schneefall gefährdeten größeren Streckenabschnitten kann empfohlen werden. Vor jeder Installation ist allerdings eine sorgfältige Problemanalyse und eine Abschätzung des Nutzenpotentials im Verhältnis zu den zu erwartenden Investitions- und Betriebskosten durchzuführen.

Literatur

- [01] Bundesanstalt für Straßenwesen: Kostensätze zur Bewertung von Unfällen 1983 bis 1990, Bergisch Gladbach, Februar 1992
- [02] BOSCHUNG: Technische Beschreibung 1991
- [03] BREITENSTEIN, J.: Wirksamkeit von Taumittel-Sprühanlagen; Vortrag April 1985
- [04] BREITENSTEIN, J., MORITZ, K.: Wirksamkeit von Taumittelsprühanlagen; Zwischenbericht Dezember 1988
- [05] HEIDEMANN, D., HOTOP, R.: Verteilung der Pkw-Geschwindigkeiten im Netz der Bundesautobahnen – Modellmodifikation und Aktualisierung. Straße und Autobahn, Jahrgang 41, Heft 3, (1990)
- [06] KUTTER, M.: Landschaftsverband Westfalen-Lippe, Schreiben vom 9. 12. 1991
- [07] Landschaftsverband Westfalen-Lippe; Nutzen/Kosten-Relation der TMS Lüdenscheid, Beilage zum Antrag an den BMV (1984)
- [08] NIEBRÜGGE, L.: Bericht über Planung, Bau und Betrieb der TMS auf der A 45 im Bereich Hagen – Lüdenscheid. (Vortrag)
- [09] PRIESNITZ, N.: Unfallbeobachtungen von 1979 bis 1991. Persönliche Mitteilung vom 11. 02 1992
- [10] Richtlinien für die Anlage von Straßen, Teil: Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen; Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen 1986
- [11] Statistische Jahrbücher 1979 bis 1991
- [12] Straßenverkehrszählungen 1980, 1985 und 1990 an der Zählstelle Lüdenscheid-Nord
- [13] Verkehrsunfälle, Reihe 7 der Fachserie 8 Verkehr, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1977–1990
- [14] ZACKOR, H., SCHWENZER, G.: Beurteilung einer situationsabhängigen Geschwindigkeitsbeeinflussung auf Autobahnen. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik, Heft 532, Bundesminister für Verkehr, Forschungsbericht, Bonn 1986

Anhang

3 Kosten-Nutzen-Analyse (Langfassung)

Die Langfassung dieses Kapitels enthält zusätzlich zu den Angaben in der Kurzfassung eine differenziertere Aufgliederung der einzelnen Nutzen- und Kostenkomponenten sowie eine exakte Darstellung sämtlicher Rechenwege. Der besseren Lesbarkeit wegen ist der Text hier unverändert beibehalten worden, auch wenn sich dadurch Wiederholungen ergeben.

Die vorliegende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist die gesamtwirtschaftliche Beurteilung einer Einzelmaßnahme. Bei einer TMS liegt der Nutzen im wesentlichen in den Bereichen Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer.

Schon aus der Aufgabenstellung, die der Installation der Anlage zugrundeliegt, ergibt sich, daß betriebliche Einsparungen nur in geringem Umfang zu erwarten sind, weil – darauf sei noch einmal ausdrücklich hingewiesen – die TMS den herkömmlichen Winterdienst nicht ersetzen, sondern nur ergänzen kann. Im Gegenteil: Es ergeben sich Kosten für das Vorhalten und den Betrieb der Anlage. Auch Einsparungen an Taustoff sind nicht zu erwarten. Die Anzahl der Winterdiensteinsätze kann nicht reduziert werden. Allenfalls ergibt sich ein Nutzen aus der möglichen Reduzierung von Einsatzbereitschaft und Wegekosten, der nur unzureichend quantifiziert werden kann.

Eine Schwierigkeit dieser Kosten-Nutzen-Analyse liegt darin, daß sie vor Ablauf der Nutzungsdauer erstellt werden muß. Sie stellt also ein Zwischenergebnis dar. Für die Kostenseite steht dafür ein Zeitraum von 7 Jahren (1985–1991) zur Verfügung.

Dies muß vor allem bei der Einsetzung der Investitionskosten berücksichtigt werden. Sie werden für die volle Nutzungsdauer investiert und abgeschrieben. Für eine Kosten-Nutzen-Betrachtung nach sieben Jahren dürfen demzufolge nur sieben Fünftel der Investitionen auf der Kostenseite zu Buche schlagen, wenn man von einer Nutzungsdauer der Anlage von 15 Jahren ausgeht. Eine solche Nutzungsdauer wurde nach sorgfältiger Abwägung mit dem Betreiber der Anlage unter Berücksichtigung ihrer Besonderheiten für die Kosten-Nutzen-Analyse zugrundegelegt.

Das gleiche gilt für die im Jahre 1986 angefallenen

Sonderkosten von 200 000 DM. Nach Behebung des Schadens und den daraus resultierenden Verbesserungen und Sicherungen der Anlage kann nach menschlichem Ermessen davon ausgegangen werden, daß ein solcher Schadensfall innerhalb der Nutzungsdauer der TMS nicht mehr auftreten wird. So kann die Schadenssumme auf die gesamten 15 Jahre umgelegt werden. Deshalb werden auch hier nur sieben Fünftel angesetzt.

Auf der Nutzenseite kann in einigen Fällen nur auf sechs Jahre seit Bestehen der Anlage zurückgegriffen werden. Dieser Zeitraum muß mit einem gleichen Zeitraum vor Installation der Anlage verglichen werden, denn aus der Differenz ergibt sich der Nutzen. Auf der Nutzenseite ist es deshalb unumgänglich, einige Zahlen durch Durchschnittswerte zu ersetzen. Für die Zeit vor 1984 müssen die Zahlen größtenteils extrapoliert werden.

Die Tabelle 9 zeigt übersichtlich, für welche Jahre die Beträge exakt ermittelt werden konnten, für welche Jahre Durchschnittswerte eingesetzt werden mußten und für welche Jahre die Zahlen extrapoliert wurden.

Zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit wird die Kapitalwertmethode gewählt. Nach diesem Verfahren werden sämtliche Kosten und Nutzen der TMS durch Auf- oder Abzinsung auf den Zeitpunkt unmittelbar vor Beginn der Investition – 1984 – vergleichbar gemacht (Tabelle 8).

Jahr	Aufzinsungsfaktor	Jahr	Abzinsungsfaktor
1977	1,238	1985	0,971
1978	1,201	1986	0,943
1979	1,165	1987	0,915
1980	1,130	1988	0,888
1981	1,096	1989	0,863
1982	1,063	1990	0,837
1983	1,031	1991	0,813

Tab.8: Auf- und Abzinsungsfaktoren auf das Bezugsjahr 1984

Die so ermittelten Beträge sind die Barwerte. Der Kapitalwert einer Investition ergibt sich als Differenz zwischen der Summe der Barwerte auf der Kostenseite und der Summe der Barwerte auf der Nutzenseite. Die Abzinsung erfolgt mit dem Kalkulationszinsfuß von 3 Prozent [10].

Auf der Kostenseite bereitete die Ermittlung der ein-

	Jahre vor Installation				Jahr 0				Jahre nach Installation						
	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
	Kostenseite														
Investitionen	-	-	-	-	-	-	-	—	e	0	e	0	0	0	0
Taumittel	-	-	-	-	-	-	-	—	e	e	e	e	e	e	e
Energie	-	-	-	-	-	-	-	—	e	e	e	e	e	e	e
Personal	-	-	-	-	-	-	-	—	d	d	d	d	d	d	d
Reparaturen	-	-	-	-	-	-	-	—	e	e	e	e	e	e	e
Sonderkosten	-	-	-	-	-	-	-	—	0	e	0	0	0	0	0
	Nutzenseite														
Unfälle	d	d	e	e	e	e	e	—	e	e	e	e	e	e	d
Kfz-Betriebskosten	d _e	d _e	d _e	e	d _e	d _e	d _e	—	0	0	0	0	0	0	0
Zeitverlustkosten	d _e	d _e	d _e	e	d _e	d _e	d _e	—	0	0	0	0	0	0	0

- e = exakt ermittelte Werte
d = Durchschnittswerte
d_e = durch Extrapolation ermittelte Durchschnittswerte
— = Jahr Null
- = Keine Werte
0 = Werte gleich Null

Tab. 9: Übersicht über die Art der zur Verfügung stehenden Daten

zeln Barwerte keine großen Schwierigkeiten. Auf der Nutzenseite wird der Nutzen der Anlage generell durch das Gegenüberstellen der Verkehrssituationen aus vergleichbaren Zeiträumen vor und nach dem Einbau der Anlage abgeleitet. Aus dieser Zeit stehen aber nicht für jedes Jahr exakte Daten zur Verfügung, so daß die Ergebnisse ihrem Charakter nach mehr oder weniger genaue Schätzwerte darstellen.

Um in der Kosten-Nutzen-Analyse keine Genauigkeit vorzutauschen, die eine Schätzung nicht leisten kann, wird auf eine Rechnung mit Nachkommastellen grundsätzlich verzichtet, und die Summen aller Kosten- und Nutzengruppen sowie die Endbeträge der gesamten Kosten und Nutzen werden auf volle Tausender gerundet.

3.1 Kosten

Die Gesamtkosten pro Jahr setzen sich aus einmaligen Kosten und laufenden Kosten zusammen.

3.1.1 Investitionskosten

Erstellung der Anlage einschließlich Nebenarbeiten, Kosten für Hochbau (Fertigarage), Energiezuführung, Erdarbeiten, thermographische Vermessung der Brückenbauwerke und Ausrüstung der Strecke mit Schutzplanken [08]

2 200 000,— DM

960 000,— DM Umbaukosten im Jahre 1987 [08], abgezinst auf 1984 + 878 400,— DM

Summe des Investitionskosten-Barwertes 3 078 400,— DM

davon sieben Fünfzehntel aufgerundet 1 437 000,— DM

3.1.2 Laufende Kosten

3.1.2.1 Kosten für Taumittel

Die Kosten für Taumittel werden durch zwei Größen beeinflusst: den Verbrauch, der von der Intensität des Winters abhängig ist, und den Preis für die verwendete Salzlösung (CaCl₂ oder NaCl).

Winterperiode	Verbrauch in t	Kosten in DM	Barwerte in DM	Medium
1984/85	451	56 659,-	55 016,-	CaCl ₂
1985/86	386	54 263,-	51 170,-	CaCl ₂
1986/87	140	18 480,-	16 909,-	CaCl ₂
1987/88	183	22 875,-	20 313,-	CaCl ₂
1988/89	229	27 709,-	23 913,-	CaCl ₂
1989/90	248	15 376,-	12 870,-	NaCl
1990/91	456	23 712,-	19 278,-	NaCl
Summe:	2 093	219 074,-	199 469,-	
gerundet:		219 000,-	199 000,-	

Tab. 10: Jährliche Taumittelkosten und -verbrauch incl. Schadensverluste und Probesprühungen nach [06] und deren Barwerte

3.1.2.2 Energiekosten

Die Energiekosten ergeben sich aus dem Stromverbrauch zum Betreiben und Beheizen der Anlage.

Winterperiode	Energieabnahme in kWh	Kosten in DM	Barwert in DM
1984/85	1 609	1 016,-	987,-
1985/86	2 978	1 963,-	1 851,-
1986/87	2 846	1 961,-	1 794,-
1987/88	3 372	2 410,-	2 140,-
1988/89	3 079	2 270,-	1 959,-
1989/90	3 092	2 902,-	2 430,-
1990/91	4 540 * ¹	4 268,-	3 470,-
Summe:	21 516	16 790,-	14 631,-
gerundet:		17 000,-	15 000,-

*¹ Der ca. 50%ige Anstieg des Verbrauchs von 1989/90 auf 1990/91 ist zum größten Teil darauf zurückzuführen, daß seit Anfang 1990 der separate Raum für die Steueranlage mit einer elektrischen Nachtspeicherheizung geheizt wird.

Tab. 11: Jährliche elektrische Energieabnahme und -kosten nach [06] und deren Barwerte

3.1.2.3 Personalkosten

Da die Personalkosten für die Anlage in den vergangenen Jahren nie exakt von den bei normalem Meistereibetrieb anfallenden Personalkosten getrennt erfaßt wurden, stehen hier keine genauen jährlichen Daten zur Verfügung. Es kann nur ein jährlicher Durchschnittsbetrag errechnet werden:

Zur Betreuung der Anlage ist keine volle Arbeitskraft notwendig. Ein Straßenwärter mit einer elektrotechnischen Ausbildung betreut die Anlage. Dieser Mitarbeiter benötigt nach eigener Einschätzung etwa 65 Prozent seiner Arbeitszeit zur Wartung und Betreuung der TMS. Pro Arbeitsstunde werden

Jahr	Kostensatz	Kosten pro Monat	Kosten pro Jahr	Barwerte
1985	33,—	2 937,-	35 244,-	34 222,-
1986	33,50	2 982,-	35 784,-	33 744,-
1987	36,50	3 249,-	38 988,-	35 674,-
1989	40,—	3 560,-	42 720,-	37 935,-
1990	40,—	3 560,-	42 720,-	36 867,-
1991	38,—	3 382,-	40 584,-	33 969,-
	38,50	3 427,-	41 124,-	33 434,-
Summe:			277 164,-	245 845,-
gerundet:			277 000,-	246 000,-

Tab. 12: Personalkosten und deren Barwerte in DM

nach Angabe des Betreibers die Kostensätze der Schadenersatzrichtlinien des LWL in Ansatz gebracht. In diesem Betrag sind Kleinteile und Betriebsstoffe enthalten. Dieser Stundensatz unterlag im Laufe der Jahre einigen Schwankungen nach oben und unten. Die durchschnittliche monatliche Arbeitszeit von 137 Stunden entstammt den Personalkostensätzen für Wirtschaftlichkeitsberechnungen des Bundesministers des Innern (Stand 1985/86) und stimmt mit dem vom Betreiber angenommenen Wert überein.

Rechnung: 137 Monatsstunden * 0,65 = 89 h/Monat

3.1.2.4 Fahrzeugkosten

Zur Anfahrt und zum Transport von Werkzeugen und Teilen wird ein VW-Transporter benutzt. Eine genaue Kostenzuweisung ist allerdings nicht möglich, weil der Kleinlaster in den meisten Fällen kombiniert eingesetzt wird und gleichzeitig noch zur Erledigung anderer Aufgaben im Streckenbereich dient. Es war nicht notwendig, zur Betreuung und Wartung der Anlage ein zusätzliches Fahrzeug anzuschaffen. Deshalb werden die Fahrzeugkosten vernachlässigt.

3.1.2.5 Reparaturkosten

In Folge von Unfällen entstanden immer wieder Schäden an der TMS. Soweit der Verursacher bekannt war, wurde dessen Haftpflichtversicherung für die Regulierung des Schadens bemüht. In vielen Fällen konnten die Schädiger allerdings nicht ermittelt werden. Die Kosten für diese Reparaturen müssen vom Betreiber getragen und unmittelbar der Anlage zugeschlagen werden. Um auch hier einen Vergleich ziehen zu können, wurde von der AM Lüdenscheid der durchschnittliche Rechnungsbetrag für die Behebung von Unfallschäden im Verlauf der Jahre festgestellt. Vor dem Umbau wurde die Herstellerfirma Boschung mit den Instandsetzungsarbeiten betraut, danach die Gesellschaft für Verkehr und Technik (GVT) aus Hagen. Im Umbaujahr 1987 waren beide Firmen zu etwa gleichen Teilen mit den Reparaturen beauftragt.

Summe der Schäden durch Unbekannte: 52 932,- DM
 Rechnung: 52 932,- DM : 7 Jahre
 Durchschnittliche jährliche Reparaturkosten der von Unbekannten verursachten Schäden 7 562,- DM

Die Tabelle 13 soll nur dazu dienen, einen ersten allgemeinen Überblick zu vermitteln. (Aus betriebswirtschaftlicher Sicht wirken sich die Entschädigungszahlungen der Versicherungen kostenmindernd für den Betreiber aus. Für die gesamtwirtschaftliche Rechnung ist diese Zahlung allerdings nur eine Umverteilung. Deshalb müssen in dieser Kosten-Nutzen-Analyse die Unfallschäden an der TMS als Kosten in voller Höhe erfaßt werden.)

Jahr	Kosten in DM	Abzinsungsfaktor	Anzahl der Jahre	Barwert
1985	34 281,-	0,971	1	33 287,-
1986	27 000,-	0,943	2	25 461,-
1987	36 517,-	0,915	3	33 413,-
1988	29 551,-	0,888	4	26 241,-
1989	22 671,-	0,863	5	19 565,-
1990	18 742,-	0,837	6	15 687,-
1991	10 262,-	0,813	7	8 343,-
Summe:	179 024,-			161 997,-
gerundet:	179 000,-			162 000,-

Tab. 14: Reparaturkosten [09] und deren Barwerte

3.1.3 Sonderkosten

Im Jahr 1986 entstand durch auf die Fahrbahn ausgelaufenes Taumittel ein zusätzlicher Unfallschaden von 200 000 DM. Dieser Betrag muß, zum Barwert abgezinst auf 1984, auf der Kostenseite voll als Sonderkosten zu Buche schlagen.

Barwert: 200 000,- DM * 0,943 = 188 600,- DM
 davon sieben Fünfzehntel 88 013,- DM
 Barwert gerundet 88 000,- DM

Jahr	1985	1986	Umbau				
			1987	1988	1989	1990	1991
Gesamtschäden an der TMS in DM	34 281	27 000	36 517	29 551	22 671	18 742	10 262
Schäden an der TMS d. Unbk. in DM	17 007	—	14 514	9 776	2 971	3 398	5 266
Mittlerer Rechnungsbetrag	2 142	2 700	1 521	1 136	1 889	2 342	2 565

Tab. 13: Unfallschäden an der TMS in DM/Jahr [09]

3.1.4 Zusammenstellung der Kosten-Barwerte

Kostenart	Barwert
Eimalige Kosten	
Investitionskosten	1.437.000,- DM
Sonderkosten	88.000,- DM
Laufende Kosten	
Taumittelkosten	199.000,- DM
Energiekosten	15.000,- DM
Personalkosten	246.000,- DM
Reparaturkosten	162.000,- DM
Gesamtkostenbarwert	2.147.000,- DM

Tab. 15: Zusammenstellung der Kosten-Barwerte

3.2 Nutzen

Der Nutzen einer TMS besteht darin, durch ihre Wirkung in anderen Bereichen Kosten einzusparen. Diese Wirkungsbereiche sind im Wesentlichen Verkehrssicherheit, Verkehrsablauf, Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer [03]. Die sich hieraus ableitenden Nutzen lassen sich in einem allgemeinen Zielkatalog zusammenfassen:

Verkehrssicherheit:

- Nutzen durch weniger Unfalltote
- Nutzen durch weniger Unfallverletzte
- Nutzen durch weniger Unfallsachschäden

Verkehrsablauf:

- Nutzen durch Vermeidung von Staus, d. h.
- Nutzen durch Verringerung der Betriebskosten
- Nutzen durch Verkürzung der Reisezeiten

Umweltschutz:

- Nutzen durch Verringerung der Schadstoff-Emission
- Nutzen durch Verringerung der ausgebrachten Salzmenge
- Nutzen durch Verringerung des Treibstoffverbrauchs

Verkehrsteilnehmer:

- Nutzen durch Verkürzung der Wartezeiten
- Nutzen durch Verringerung der Streßbelastung.

Die Nutzen in den Wirkungsbereichen Umweltschutz und Verkehrsteilnehmer – das sei hier bereits vorweggenommen – werden in dieser Nutzenrechnung nicht monetär bewertet. Einen volkswirtschaftlichen Nutzen, beispielsweise durch die Verringerung des Treibstoffverbrauchs und der damit verbundenen Reduzierung von Schadstoff-Emission oder durch die Verringerung der Streßbelastung, wird für diese Bereiche niemand in Zweifel stellen. Sie sollen hier aber nur als „Sekundärnutzen“ aufgezeigt werden. Eine genaue monetäre Be-

Unfallkategorie nach RAS-W *1	79/80		80/81		81/82		82/83		83/84		85/86		86/87		87/88		88/89		89/90		90/91	
	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D	F	D
SP	1	-	1	3	1	-	-	1	-	1	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	2	-
Schwerverletzte	1	-	1	5	1	-	-	1	-	2	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	2	-
Leichtverletzte										1					3							
LP	2	-	-	1	2	1	1	1	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Leichtverletzte	3	-	-	2	2	2	1	2	2	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	2	-
SS	1	-	3	1	-	-	2	3	-	-	1	3	1	1	2	1	-	-	-	-	-	-
LS	10	4	9	8	8	4	4	11	9	4	8	2	-	8	4	8	-	-	-	1	1	2

*1 Auf die Unfallzahlen aus dem Einbauwinter 84/85 wurde hier verzichtet, weil die Anlage in dieser Winterperiode nicht durchgängig und nicht fehlerfrei gearbeitet hat.

- SP = Unfall mit schwerem Personenschaden
- LP = Unfall mit leichtem Personenschaden
- SS = Unfall mit schwerem Sachschaden
- LS = Unfall mit leichtem Sachschaden
- F = Fahrtrichtung Frankfurt
- D = Fahrtrichtung Dortmund

Tab. 16: Unfallsituation im Streckenabschnitt der TMS [09]

wertung könnte zwar diese Kosten-Nutzen-Analyse wesentlich positiver präsentieren, aber die dazu erforderlichen Untersuchungen würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

3.2.1 Nutzen im Bereich Verkehrssicherheit

Der Nutzen im Bereich Verkehrssicherheit wird hier ermittelt, indem die jährlichen Unfälle in einem Zeitraum von sieben Jahren vor und nach Installation der Anlage monetär bewertet und auf das Jahr 1984 auf- bzw. abgezinst werden. Die positive Differenz der Barwerte dieser beiden Zeiträume ergibt den Barwert des Nutzens durch vermiedene Unfälle. Da für die Zeit vor Einbau der TMS lediglich Unfalldaten für fünf Jahre und für den Zeitraum nach der Installation nur Daten für sechs Jahre zur Verfügung stehen, werden für die fehlenden Jahre Durchschnittswerte angenommen.

3.2.1.1 Darstellung der Unfallsituation

Die Unfälle aufgrund winterlicher Verhältnisse (Schnee- und Eisglätte) im Bereich der TMS Lüdenscheid stellen sich in den fünf Wintern vor Einbau der Anlage und in den sechs Wintern danach wie folgt dar: (Siehe Seite 24, Tabelle 16)

3.2.1.2 Ermittlung der Unfallkosten

Zur Ermittlung der Unfallkosten auf der TMS-Strecke wurden diese Zahlen mit den Unfallkostensätzen bewertet. Diese Kostensätze wurden für das Jahr

1983 erstmalig von der BAST ermittelt. Sie finden deshalb hier auch für frühere Unfälle Anwendung. Dieser Umstand wird natürlich bei der Aufzinsung zur Ermittlung des Barwertes berücksichtigt.

Die von der AM angelieferten Unfalldaten beziehen sich jeweils auf eine Wintersaison. Um aber später die Nutzenseite mit der Kostenseite vergleichen zu können, müssen die Unfallkosten je Kalenderjahr ermittelt werden. Würde man jetzt die Zahlen der einzelnen Winter einfach zur Jahreswende auseinanderdividieren, so stünden für das erste Halbjahr 79 und das zweite Halbjahr 91 keine Daten zur Verfügung. Um hier zu einer einheitlichen Regelung zu finden, wurde wie folgt vorgegangen: Die Unfallkosten einer Wintersaison werden der ersten Jahreszahl zugeschlagen. Also beispielsweise die Kosten für den Winter 79/80 dem Jahr 79. Bei der monetären Bewertung werden allerdings die Sätze der zweiten Jahreszahl in Ansatz gebracht, da in diesem Jahr die meisten Monate der Wintersaison liegen.

Um einen Zeitraum von sieben Jahren vor und nach Installation der Anlage vergleichen zu können, werden für die Jahre 1977, 1978 und 1991 Durchschnittswerte in die Rechnung eingesetzt.

Wendet man die Kostensätze aus Tabelle 17 auf die Unfallzahlen der Tab. 16 an, ergeben sich die folgenden Unfallkosten für die Winter 1979/80 bis 1990/91:

Jahr	Personenschäden		Sachschäden		
	SV	LV	UPS	UsSS	UISS
1983	50 000	3 800	49 400	28 900	5 200
1984	51 000	4 000	51 900	30 400	5 500
1985	52 000	4 400	52 800	30 900	5 500
1986	54 000	4 600	53 700	31 500	5 600
1987	56 000	4 900	55 300	32 400	5 800
1988	57 000	5 000	57 400	33 700	6 000
1989	60 000	5 300	59 500	34 900	6 200
1990	63 000	5 600	62 100	36 500	6 500

Personenschäden: SV = Schwerverletzte

LV = Leichtverletzte

Sachschäden: UPS = Unfälle mit Personenschaden

UsSS = Unfälle mit schwerem Sachschaden

UISS = Unfälle mit leichtem Sachschaden

Tab. 17: Kostenansätze zur Unfallschäden-Bewertung in DM [01]

Errechnung der Unfallkosten in DM vor Einbau der Anlage

Winter 79/80 für 1979 mit den Unfallkostensätzen von 83^{*2}

1 Unfall mit		
1 Schwerverletzten	1 x 50 000 =	50 000,-
+ Sachschaden	1 x 49 400 =	49 400,-
+ 2 Unfälle mit		
3 Leichtverletzten	3 x 3 800 =	11 400,-
+ Sachschaden	2 x 49 400 =	98 800,-
+ 1 Unfall mit schwerem		
Sachschaden	1 x 28 900 =	28 900,-
+ 14 Unfälle mit leichtem		
Sachschaden	14 x 5 200 =	72 800,-
Unfallkosten 1979		311 300,-

Winter 82/83 für 1982 mit den Unfallkostensätzen von 83^{*2}

1 Unfälle mit		
1 Schwerverletzten	1 x 50 000 =	50 000,-
+ Sachschaden	1 x 49 400 =	49 400,-
+ 2 Unfälle mit		
3 Leichtverletzten	3 x 3 800 =	11 400,-
+ Sachschaden	2 x 49 400 =	98 800,-
+ 5 Unfälle mit schwerem		
Sachschaden	5 x 28 900 =	144 500,-
+ 15 Unfälle mit leichtem		
Sachschaden	15 x 5 200 =	78 000,-
Unfallkosten 1982		432 100,-

Winter 80/81 für 1980 mit den Unfallkostensätzen von 83^{*2}

4 Unfälle mit		
6 Schwerverletzten	6 x 50 000 =	300 000,-
+ Sachschaden	4 x 49 400 =	197 600,-
+ 1 Unfall mit		
2 Leichtverletzten	2 x 3 800 =	7 600,-
+ Sachschaden	1 x 49 400 =	49 400,-
+ 4 Unfälle mit schwerem		
Sachschaden	4 x 28 900 =	115 600,-
+ 17 Unfälle mit leichtem		
Sachschaden	17 x 5 200 =	88 400,-
Unfallkosten 1980		758 600,-

Winter 83/84 für 1983 mit den Unfallkostensätzen von 84

1 Unfälle mit		
2 Schwerverletzten	2 x 51 000 =	102 000,-
+ 1 Leichtverletzter	1 x 4 000 =	4 000,-
+ Sachschaden	1 x 51 900 =	51 900,-
+ 2 Unfälle mit		
2 Leichtverletzten	2 x 4 000 =	8 000,-
+ Sachschaden	2 x 51 900 =	103 800,-
+ 13 Unfälle mit		
leichtem		
Sachschaden	13 x 5 500 =	71 500,-
Unfallkosten 1983		341 200,-

Winter 81/82 für 1981 mit den Unfallkostensätzen von 83^{*2}

1 Unfall mit		
1 Schwerverletzten	1 x 50 000 =	50 000,-
+ Sachschaden	1 x 49 400 =	49 400,-
+ 3 Unfälle mit		
4 Leichtverletzten	4 x 3 800 =	15 200,-
+ Sachschaden	3 x 49 400 =	148 200,-
+ 12 Unfälle mit leichtem		
Sachschaden	12 x 5 200 =	62 400,-
Unfallkosten 1981		325 200,-

^{*2} Im Jahre 1983 wurden zum ersten Mal Unfallkostensätze ausgerechnet. Sie finden deshalb hier auch für frühere Unfälle Anwendung. Dies wurde natürlich bei der Aufzinsung auf das Vergleichsjahr 1984 berücksichtigt.

Errechnung der Unfallkosten in DM nach Einbau der Anlage

Winter 85/86 für 1985 mit den Unfallkostensätzen von 86

4 Unfälle mit schwerem Sachschaden	4 x 31 500 =	126 000,-
+ 10 Unfälle mit leichtem Sachschaden	10 x 5 600 =	56 000,-
Unfallkosten 1985		182 000,-

Winter 86/87 für 1986 mit den Unfallkostensätzen von 87

1 Unfall mit 1 Leichtverletzten	1 x 4 900 =	4 900,-
+ Sachschaden	1 x 55 300 =	55 300,-
+ 2 Unfälle mit schwerem Sachschaden	2 x 32 400 =	64 800,-
+ 8 Unfälle mit leichtem Sachschaden	8 x 5 800 =	46 400,-
Unfallkosten 1986		171 400,-

Winter 87/88 für 1987 mit den Unfallkostensätzen von 88

3 Unfälle mit 4 Schwerverletzten	4 x 57 000 =	228 000,-
+ 3 Leichtverletzten	3 x 5 000 =	15 000,-
+ Sachschaden	3 x 57 400 =	172 200,-
+ 3 Unfälle mit schwerem Sachschaden	3 x 33 700 =	101 100,-
+ 12 Unfälle mit leichtem Sachschaden	12 x 6 000 =	72 000,-
Unfallkosten 1987		588 300,-

Im Winter 1988/89 für 1988 wurden keine Unfälle registriert.

Winter 89/90 für 1989 mit den Unfallkostensätzen von 90

1 Unfall mit leichtem Sachschaden	1 x 6 500 =	6 500,-
Unfallkosten 1989		6 500,-

Winter 90/91 für 1990 mit den Unfallkostensätzen von 90

2 Unfälle mit 2 Schwer- verletzten	2 x 63 000 =	126 000,-
+ Sachschaden	2 x 62 100 =	124 200,-
+ 1 Unfall mit 2 Leichtverletzten	2 x 5 600 =	11 200,-
+ Sachschaden	1 x 62 100 =	62 100,-
+ 3 Unfälle mit leichtem Sachschaden	3 x 6 500 =	19 500,-
Unfallkosten 1990		343 000,-

Bewertung für die Kontrollrechnung

Winter 79/80 bis 83/84 mit den Unfallkostensätzen von 90

8 Unfälle mit 11 Schwer- verletzten	11 x 63 000 =	693 000,-
+ 1 Leichtverletzter	1 x 5 600 =	5 600,-
+ Sachschaden	8 x 62 100 =	496 800,-
+ 10 Unfälle mit 14 Leichtverletzten	14 x 5 600 =	78 400,-
+ Sachschaden	10 x 62 100 =	621 000,-
+ 10 Unfälle mit schwerem Sachschaden	10 x 36 500 =	365 000,-
+ 71 Unfälle mit leichtem Sachschaden	71 x 6 500 =	461 500,-
Unfallkosten 1979 bis 1983		2 721 300,-

Winter 85/86 bis 89/90 mit den Unfallkostensätzen von 90

5 Unfälle mit 6 Schwerverletzten	6 x 63 000 =	378 000,-
+ 3 Leichtverletzte	3 x 5 600 =	16 800,-
+ Sachschaden	5 x 62 100 =	310 500,-
+ 2 Unfälle mit 3 Leichtverletzten	3 x 5 600 =	16 800,-
+ Sachschaden	2 x 62 100 =	124 200,-
+ 9 Unfälle mit schwerem Sachschaden	9 x 36 500 =	328 500,-
+ 34 Unfälle mit leichtem Sachschaden	34 x 6 500 =	221 000,-
Unfallkosten 1985 bis 1990		1 395 800,-

Winterperiode	reale Unfallkosten	Jahr	vergleichbare Unfallkosten	Barwert
		1977	433 680,- *	447 124,-
		1978	433 680,- *	447 124,-
1979/80	311 300,-	1979	311 300,-	320 950,-
1980/81	758 600,-	1980	758 600,-	782 117,-
1981/82	325 200,-	1981	325 200,-	335 281,-
1982/83	432 100,-	1982	432 100,-	445 495,-
1983/84	341 200,-	1983	341 200,-	351 777,-
Summe:	2 168 400,-		3 035 760,-	3 129 868,-
1984/85	Einbaujahr	1984	Einbaujahr	Einbaujahr
1985/86	182 000,-	1985	182 000,-	176 722,-
1986/87	171 400,-	1986	171 400,-	161 630,-
1987/88	588 300,-	1987	588 300,-	538 290,-
1988/89	0,-	1988	0,-	0,-
1989/90	6 500,-	1989	6 500,-	5 610,-
1990/91	343 000,-	1990	343 000,-	287 091,-
		1991	215 200,- *	174 958,-
Summe:	1 291 200,-		1 506 400,-	1 344 306,-
Differenz:			1 529 360,-	1 785 562,-
rund			1 530 000,-	1 786 000,-

* = Durchschnittswert

Tab. 18: Darstellung der Unfallkosten und Barwerte in DM

Die Summe der Barwerte der jährlichen Unfallkosten vor Einbau der Anlage beträgt: 3 129 868,- DM

Die Summe der Unfallkosten-Barwerte nach Einbau der Anlage beträgt: 1 344 306,- DM

Daraus errechnet sich ein Kapitalwert von aufgerundet 1 786 000,- DM

Diese Differenz entspricht einer Unfallkosten-Absenkung von 57 Prozent

Bei der Bewertung der ermittelten Absenkung der Unfallkosten ist die allgemeine Entwicklung der Unfallzahlen zu berücksichtigen, da insbesondere in den letzten Jahren extrem milde Winter zu registrieren waren. Einige charakteristische Veränderungen zeigt die Tabelle 19: Die Gesamtzahl aller Außerortsunfälle mit Personenschaden ist im betrachteten Zeitraum nach Installation der Anlage gegenüber dem Vorher-Zeitraum um 2,4 Prozent gefallen, auf den Autobahnen dagegen um 23,3 Prozent gestiegen. Die milder gewordenen Winter finden ihren Niederschlag in einem Rückgang um rund 25 Prozent bei allen winterglattebedingten Unfällen mit Personenschaden und um rund 26 Prozent bei denjenigen auf Autobahnen.

Andererseits ist davon auszugehen, daß sich relativ milde Winter in der exponierten Lage der Taumittelsprühanlage (Anstieg zum Hochsauerland) nicht so stark bemerkbar machen wie in der mittleren Höhenlage der umgebenden Netze bzw. des Gesamtnetzes. Das heißt, mit sinkender Winterlichkeit ist deshalb nicht zwingend eine entsprechende Entwicklung der Unfallzahlen im Bereich der TMS verbunden. Im Gegenteil könnte bei sonst milder Winterwitterung eine plötzlich im Bereich der TMS auftretende Glättebildung infolge des Überraschungsmomentes ein höheres Gefahrenpotential darstellen.

Zudem dürfte schon aufgrund der geringen Gesamtzahlen (7 Unfälle in 7 Jahren) der statistische Nachweis nicht gelingen, ob und in welchem Umfang der beobachtete Rückgang entweder der TMS oder der Winterstrenge zuzurechnen ist. Ein solcher Nachweis kann auch bei aufwendigerer statistischer Analyse wahrscheinlich nicht erbracht werden, da es unmöglich sein dürfte, eine echte Referenzstrecke zu finden. Es wird daher angenommen, daß der beobachtete Rückgang der Unfallzahlen und damit auch der Unfallkosten der TMS zugerechnet werden kann.

Bei der Betrachtung dieses Sachverhaltes ergibt sich die Frage, welche jährlichen Durchschnittsko-

	Unfälle				
	Außerorts Gesamt	BAB Gesamt	Schnee und Eis		
			Außerorts	BAB	TMS
1977-1983	809 179	109 484	82 831	10 032	18
1985-1991	789 509	134 962	62 182	7 443	7
Veränd. in %	- 2,4	+ 23,3	- 25	- 26	- 61 (- 57)

Tab. 19: Unfälle mit Personenschaden nach [13] und [09]

sten für Unfälle heute (1990) erwartet werden müßten, wenn die Anlage nicht installiert worden wäre.

Durch die Beantwortung dieser Frage kann gleichzeitig der obige Barwertvergleich einmal überprüft werden, denn das prozentuale Verhältnis muß gleich bleiben, egal ob wir uns am Jahr 1990 oder am Jahr 1984 orientieren.

Deshalb werden einmal sowohl die Unfälle vor der Einrichtung der TMS als auch die aus den Jahren danach mit den aktuellsten Kostensätzen (von 1990) bewertet und daraus der Jahresdurchschnitt ermittelt. Dabei ergeben sich folgende Werte:

Angenommene durchschnittliche jährliche Unfallkosten vor Einbau der Anlage
 2 721 300,- : 5 Jahre = 544 500,- DM

Angenommene durchschnittliche jährliche Unfallkosten nach Einbau der Anlage
 1 395 800,- : 6 Jahre = 232 633,- DM

Vergleicht man die zu erwartenden jährlichen Unfallkosten von 544 500 DM, die nach den derzeit gültigen Unfallkostensätzen jährlich entstehen würden, wenn die TMS nicht eingebaut worden wäre, mit dem heutigen Jahresdurchschnitt von 232 633 DM nach Einbau der Anlage, dann ergibt sich aus diesem Vergleich eine Kostenersparnis von 311 867 DM im Jahr, was einer Kostenabsenkung von 57,3 Prozent entspricht. Dieses Ergebnis bestätigt das Resultat der Barwertmethode. (Rechnung siehe Anhang)

3.2.2 Nutzen im Wirkungsbereich Verkehrsablauf

Der Nutzen im Wirkungsbereich Verkehrsablauf besteht in erster Linie aus eingesparten Staukosten. Die Staukosten setzen sich zusammen aus den Veränderungen der Betriebs- und der Zeitkosten. Diese Veränderungen lassen sich mit Hilfe der in der RAS-W aufgezeigten Rechenmethoden ermitteln.

Aufgrund der unter Punkt 2.1.1 dargestellten Problematik traten auf der A45 durchschnittlich dreimal pro Winter Verkehrsstaus auf, die eine Länge bis zu

10 km erreichten und im Mittel 3,5 Stunden anhielten. Der Volkswirtschaft entstanden damit hohe Verluste durch Fahrzeug- und Personenzeitkosten.

Grundlage für die Ermittlung der Staukosten ist das DTV. Betrachtet man die Verkehrsentwicklung auf der A 45 anhand der Daten aus den Straßenverkehrszählungen von 1980, 1985 und 1990 an der Zählstelle Lüdenscheid-Nord, so ergibt sich folgendes Bild:

Die Steigerung des DTV im Verlauf von 1980 bis 1990 Jahren entspricht 44,2 Prozent. Für die weitere Betrachtung wurden die DTV_w -Werte für die Jahre 1977 bis 1983, vom vorgegebenen Zählwert der 1980er Verkehrszählung [12] ausgehend, linear extrapoliert.

Jahr	DTV_w	DTV_u	DTV_s
1980	42 634	47 655	46 165
1985	45 855	51 858	45 242
1990	61 498	63 298	59 727

DTV_w = an normalen Werktagen

DTV_u = an Urlaubstagen

DTV_s = an Sonntagen

Tab. 20: Ergebnisse der Straßenverkehrszählungen [12]

3.2.2.1 Kfz-Betriebskosten des Verkehrsteilnehmers

Der Nutzen aus der Veränderung der Betriebskosten ergibt sich aus der Differenz der Betriebskosten bei normaler Durchschnittsgeschwindigkeit für alle Fahrzeuge ($V_1 = 90$ km/h) und langsamem Stautempo ($V_2 = 5$ km/h) [08].

Bei der hier angenommenen $V_1 = 90$ km/h handelt es um einen gerundeten Wert, der wie folgt zustande gekommen ist: Für Pkw wird eine Normalgeschwindigkeit von 105 km/h und für Lkw von 85 km/h zugrundegelegt ([14], S. 14). Bei einem Lkw-Anteil von 15 Prozent errechnet sich daraus eine durchschnittliche Normalgeschwindigkeit von 102 km/h pro Fahrzeug. Davon werden für eine 3–4 prozentige Steigung 18 km/h abgezogen [05].

Fahrzeuggruppe	Fahrzeugleistungsbezogene Betriebskosten [DM/(100 km x Kfz)]
	bei $V > V_{min}$
P	$B_P = BGW_P + \left(\frac{100}{V^{0,7}} + 0,59 \cdot e^{0,017 \cdot V} - 0,3 \right) \cdot e \left(9,7 - \frac{(V-120)^2}{1950} \right) \cdot \left(0,015 + \frac{5}{100} \right) \cdot BK_b$
L	$B_L = BGW_L + \left(\frac{57}{V^{0,4}} + 1,30 \cdot e^{0,020 \cdot V} - 2,8 \right) \cdot e \left(21,0 - \frac{(V-80)^2}{471} \right) \cdot \left(0,008 + \frac{5}{100} \right) \cdot BK_d$
Z	$B_Z = BGW_Z + \left(\frac{148}{V^{0,4}} + 0,40 \cdot e^{0,035 \cdot V} - 4,8 \right) \cdot e \left(28,6 - \frac{(V-75)^2}{280} \right) \cdot \left(0,008 + \frac{5}{100} \right) \cdot BK_d$
B	$B_B = BGW_B + \left(\frac{148}{V^{0,4}} + 0,40 \cdot e^{0,035 \cdot V} - 4,8 \right) \cdot e \left(28,6 - \frac{(V-75)^2}{280} \right) \cdot \left(0,008 + \frac{5}{100} \right) \cdot BK_d$

mit

BGW = Betriebskostengrundwert für die einzelnen Fahrzeuggruppen

BGW_P = 15,50 DM/(100 km · Kfz)

BGW_L = 25, – DM/(100 km · Kfz)

BGW_Z = 48, – DM/(100 km · Kfz)

BGW_B = 80, – DM/(100 km · Kfz)

BK = Kosten für Vergaserkraftstoff (b) und Dieselmkraftstoff (d)

BK_b = 0,77 DM/l

BK_d = 0,75 DM/l

V [km/h] = Geschwindigkeit

s [%] = Längsneigung

Tab. 21: Fahrleistungsbezogene Betriebskosten B der Fahrzeuggruppen (Tab. 11 aus RAS-W)

Dies ergibt eine neue Durchschnittsgeschwindigkeit von 84 km/h pro Fahrzeug. Dieser Wert wurde nach oben auf 90 km/h aufgerundet, weil auf dreistreifigen Richtungsfahrbahnen Lkw als „Störfaktor“ weniger stark in Erscheinung treten und weil die Strecke im Bereich der Taumittelsprühanlage nicht durchgängig eine Steigung von mehr als 3 Prozent aufweist.

Die Betriebskosten werden mit Hilfe der in der RAS-W ([10], S. 17, Tab. 11) angegebenen Formeln berechnet und setzen sich aus den in erster Näherung geschwindigkeitsunabhängigen Betriebskostengrundwerten (BGW) und den geschwindigkeitsabhängigen Kraftstoffverbrauchskosten zusammen, d. h. die indirekten Steuern und die Kraftfahrzeugsteuern werden ausgeklammert.

Die Betriebskostendifferenz (B_N) zwischen B₁ bei V₁ = 90 km/h und B₂ bei V₂ = 5 km/h stellt sich für die einzelnen Fahrzeuggruppen der RAS-W wie folgt dar:

Fahrzeuggruppen	Betriebskosten bei 90 km/h = B ₁	Betriebskosten bei 5 km/h = B ₂	Differenz (B _N)
P	2,41 DM	4,51 DM	2,10 DM
L	5,45 DM	5,81 DM	0,36 DM
Z	13,06 DM	14,18 DM	1,12 DM
B	16,26 DM	17,38 DM	1,12 DM

P = Personenkraftwagen

L = Lastkraftwagen

Z = Zugmaschinen

B = Busse

Tab. 22: Betriebskosten in DM/Kfz x 10 km

Die in die Rechnung eingeflossenen BGW der 1986 erschienenen RAS-W repräsentieren den Stand von 1985. Dies muß später bei der Ermittlung des Barwertes berücksichtigt werden.

Die prozentuale Zusammensetzung des Verkehrs stellt sich für die Jahre 1980, 1985 und 1990 anhand der Ergebnisse der Zählstelle Lüdenscheid-Nord, wie folgt dar:

Fahrzeuggruppen	1980	1985	1990
P	80,6	78,8	82,7
L	7,5	8,0	6,0
Z	11,4	12,6	10,8
B	0,5	0,6	0,5

P = Personenkraftwagen

L = Lastkraftwagen

Z = Zugmaschinen

B = Busse

Tab. 23: Prozentuale Zusammensetzung des Verkehrs im TMS-Bereich nach [12]

Bildet man mit Hilfe der B_N je Fahrzeuggruppe aus Tabelle 22 und der prozentualen Zusammensetzung des Verkehrs aus Tabelle 23 einen Mittel-B_N aller Fahrzeuggruppen für 1 Kfz auf 10 km Staulänge pro Stunde und leitet daraus die gesamten B_N ab, so ergeben sich für die Jahre 1980, 1985 und 1990 folgende Mittelwerte: 1980 = 1,86 DM, 1985 = 1,83 DM und 1990 = 1,89 DM. In der folgenden Vergleichsrechnung sind die Mittelwerte von 1980 und 1990, die ja dem Preisstand von 1985 entsprechen, auf 1980 abgezinst bzw. auf 1990 aufgezinnt worden.

Rechnung:	1980	1985	1990
Mittelwert DM/(h * 10 Kfz)	1,61	1,83	2,20
* Kfz/h in einer Fahrtrichtung	1 184	1 275	1 708
Staukosten pro Stunde (DM)	1 906	2 333	3 758
* 3,5 Stunden (DM)	6 672	8 166	13 152
* 3 Staus pro Winter (DM)	20 016	24 499	39 455

Tab. 24: Kfz-Betriebskosten-Vergleich der Zählungsjahre

Der Endbetrag in der Spalte 1990 gibt die Antwort auf die Frage: In welchem finanziellen Umfang würden heute (1990) Kfz-Betriebskosten entstehen, wäre die Anlage nicht gebaut worden.

Der Barwert des Nutzens durch Einsparung von Betriebskosten wird analog der in Tabelle 24 vorgestellten Rechnung mit einem auf das Jahr 1984 verzinsten Mittelwert (1,78 DM) errechnet. Berücksichtigt werden nur die 7 Jahre vor Einbau. Weil danach keine derartigen Staus mehr aufgetreten sind, wurde mindestens diese Summe eingespart. Wegen des wachsenden Verkehrsaufkommens wird die tatsächliche Einsparung erheblich darüberliegen.

Jahr	DTV	DTV/h u. Fahrbahn	Barwert
1977	37 227	1 034	19 325,-
1978	38 948	1 082	20 223,-
1979	40 750	1 132	21 157,-
1980	42 634	1 184	22 129,-
1981	44 518	1 236	23 101,-
1982	46 486	1 291	24 129,-
1983	48 541	1 348	25 194,-
Summe:			155 258,-
gerundet:			155 000,-

Tab. 25: Barwert des Nutzens durch Betriebskosteneinsparung

3.2.2.2 Zeitkosten des Verkehrsteilnehmers

Die Zeitkostensätze wurden der RAS-W ([10], S. 18, Tab. 12) entnommen, die 1986 erschien und den Stand von 1985 darstellt. Danach sind folgende Zeitkostensätze pro einzelnes Kfz und Stunde an Werktagen zugrundegelegt:

Fahrzeug- gruppe:	Zeitkostensatz RAS-W Stand 1985	Zeitkostensatz RAS-W auf 1984 abgezinst
Personenwagen	7,- DM	6,80 DM
Lastwagen	30,- DM	29,13 DM
Zugmaschinen	42,- DM	40,78 DM
Busse	90,- DM	87,39 DM

Tab. 26: Zeitkostensätze der RAS-W [10] und deren Barwerte

Mit den abgezinsten Zeitkostensätzen für 1984 und der anteiligen Zusammensetzung des Verkehrs laut Ergebnis der Verkehrszählung des Jahres 1980 an der Zählstelle Lüdenscheid-Nord (Tab. 23) wurde für die Fahrzeug- und Personenkosten ein mittlerer Zeitkostensatz von 12,75 DM/h x Kfz (13,13 DM ohne Abzinsung) errechnet. Mit diesem Durchschnittswert können die Barwerte der Nutzen durch eingesparte Zeitkosten für die Jahre 1977 bis 1983 errechnet werden.

Eine monetäre Kosten-Bewertung für den Zeitraum nach Einbau der Anlage entfällt auch hier, da erhöhte Zeitkosten aufgrund der in Kapitel 2.1.1 beschriebenen winterlichen Verhältnisse in den Jahren nach Installation der Anlage nach Auskunft des Betreibers nicht mehr entstanden sind.

Zur endgültigen Ermittlung der Staukosten muß zunächst der Zeitverlust festgestellt werden. Dabei werden, wie schon bei der Ermittlung der Betriebskosten, die gleichen Durchschnittsgeschwindigkeiten pro Fahrzeug, unabhängig von der Fahrzeugart, zugrundegelegt:

Staulänge: 10 km
 Durchfahrzeit bei $v = 90$ km/h = 7 Minuten
 Durchfahrzeit bei $v = 5$ km/h = 2 Stunden
 Zeitdifferenz = 1 Stunde, 53 Minuten

Dies entspricht einer Dezimalzahl von 1,88 Stunden.

Um die Rechenmethode zur Ermittlung der jährlichen Zeitkosten vorzustellen, wird zunächst als Beispiel der Barwert des Jahres 1980 errechnet: Das DTV des Jahres 1980 betrug 42 634 Kfz/24 h (siehe Tabelle 10). Davon entfallen auf die Bergstrecke in Richtung Frankfurt die Hälfte aller Fahrzeuge.

$42 634 \text{ Kfz}/24 \text{ h} : 2 = 21 317 \text{ Kfz}/24 \text{ h}$.

Um die stündliche Belastung zu ermitteln, wird entsprechend der Tagesganglinie mit dem Divisor 18 weitergerechnet:

$21 317 : 18 = 1184 \text{ Kfz}/\text{h}$.

Dieses Ergebnis wird mit einer durchschnittlichen Staudauer von 3,5 Stunden multipliziert:

$1184 \text{ Kfz}/\text{h} \times 3,5 \text{ h} = 4144 \text{ Kfz}$.

4144 vom Stau betroffene Kraftfahrzeuge haben jeweils einen mittleren Zeitverlust von 1 Stunde und 53 Minuten (entspricht 1,88 h):

4144 x 1,88 h – 7791 Stunden.

Daraus ergeben sich Kosten von:

7791 h x 12,75 DM/h = 99 332,- DM pro Stau.

In einem Winter entstanden im Schnitt drei Staus:

99 332 DM x 3 = 297 995 DM.

Dieser Betrag entspricht dem Zeitkosten-Barwert für den Winter bzw. das Jahr 1980. Die folgende Tabelle 27 zeigt die Zeitkosten-Barwerte für die Jahre 1977 bis 1983:

Jahr	DTV	DTV/h u. Fahrbahn	Barwert
1977	37 227	1 034	260 242,-
1978	38 948	1 082	272 323,-
1979	40 750	1 132	284 907,-
1980	42 634	1 184	297 995,-
1981	44 518	1 236	311 083,-
1982	46 486	1 291	324 925,-
1983	48 541	1 348	339 271,-
Summe:			2 090 746,-
gerundet:			2 091 000,-

Tab. 27: Barwert des Nutzens durch Zeitkosteneinsparung
Hier stellt sich die Frage, wie hoch dieser Betrag heute (1990) wäre, wenn die TMS nicht installiert worden wäre.

Dazu wird das heutige DTV von 61 498 Kfz/24 h zugrunde gelegt. Die oben aufgeführte Rechnung verändert sich wie folgt:

61 498 Kfz/24 h : 2 = 30 749 Kfz/24 h
 30 749 Kfz/24 h : 18 = 1 708 Kfz/h
 1 708 Kfz/h x 3,5 = 5 979 Kfz
 5 979 Kfz x 1,88 h = 11 240 Stunden
 11 240 Stunden x 15,30 DM (aufgezinst) = 171 932 DM
 171 932 DM x 3 Winter = 515 796 DM
 gerundet: 516 000 DM

3.2.3 Gesamtnutzen

Nutzenart	Barwerte
Unfallkosten-Einsparung	1 786 000,- DM
Kfz-Betriebskosten-Einsparung	155 000,- DM
Zeitkosten-Einsparung	2 091 000,- DM
Gesamtnutzenbarwert	4 032 000,- DM

Tab. 28: Zusammenstellung der Nutzen-Barwerte

3.3 Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen

3.3.1 Gegenüberstellung der Barwerte von Kosten und Nutzen

Bisherige Kosten	Bisherige Nutzen
2 147 000,- DM	4 032 000,- DM

Tab. 29: Gegenüberstellung der Barwerte von Kosten und Nutzen

Der Gesamtbarwert des Nutzens übersteigt nach einem Betrachtungszeitraum von sieben Jahren nach Einbau der TMS den Barwert der bis dahin angefallenen Kosten um 1 885 000 DM. Der Wirtschaftlichkeitsfaktor der Anlage Nutzen/Kosten beträgt zu diesem Zeitpunkt also demnach 1,88, das sind aufgerundet:

$$F_w = 1,9.$$

3.3.2 Kontrollrechnung mit der vereinfachten Barwertmethode

Bei der vereinfachten Barwertmethode werden für die einzelnen Kosten- und Nutzenkomponenten Jahresdurchschnitte ermittelt. Bei der Barwertberechnung wird unterstellt, daß der Jahresdurchschnitt der Kosten bzw. Nutzen jeweils über den gesamten Nutzungszeitraum in gleicher Höhe anfällt.

Der Barwert (B) für den gesamten Nutzungszeitraum ergibt sich dann als Produkt aus Jahresdurchschnitt (A) und einem Barwertfaktor (bf), der sich nach folgender Formel errechnet:

$$bf = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad i = \frac{\text{Zinssatz in \%}}{100} \quad n = \text{Jahre}$$

$$bf = \frac{(1+0,03)^{15} - 1}{0,03(1+0,03)^{15}} = 11,938$$

Die folgende Tabelle stellt die jährlichen Durchschnittsbeträge der einzelnen Kosten- und Nutzenkomponenten nebeneinander. Auf der Nutzenseite ergibt sich der Nutzen aus der Einsparung von Betriebskosten aus einem Drittel der Summe der Beträge für die Jahre 1980, 1985 und 1990. Bei den Einsparungen der Zeitkosten wurde der Betrag für 1980 als Durchschnittswert angenommen. Die sich daraus ergebenden Ungenauigkeiten müssen hier mangels exakterer Daten in Kauf genommen werden.

Jährliche Durchschnittskosten		Jährlicher Durchschnittsnutzen	
Abschreibung	210 667,-	Unfallkosten	218 480,-
Taumittelkosten	31 296,-	Betriebskosten	27 447,-
Energiekosten	2 399,-	Zeitkosten	297 995,-
Personalkosten	39 595,-		
Reparaturen	25 575,-		
Sonderkosten	13 333,-		
Summe:	322 865,-	Summe:	543 922,-
gerundet:	323 000,-	gerundet:	544 000,-

Tab. 30: Jährliche Durchschnittskosten und -nutzen

Ermittlung der Barwerte nach der vereinfachten Barwertmethode:

$$323\,000 \text{ Kostendurchschnitt} \times 11,938 = 3\,855\,974 \text{ DM}$$

$$544\,000 \text{ Nutzendurchschnitt} \times 11,938 = 6\,494\,272 \text{ DM}$$

Wirtschaftlichkeitsfaktor – 1,68.

Hier ergibt sich im Vergleich mit der Kapitalwertmethode ein Unterschied im Wirtschaftlichkeitsfaktor von 0,2. Dieser ist darauf zurückzuführen, daß die für die vereinfachte Barwertrechnung zugrundegelegten Zahlen insbesondere auf der Nutzen-seite nur grob überschlägig ermittelt werden konnten. Aber auch bei dieser vereinfachten Rechnung liegt der Wirtschaftlichkeitsfaktor deutlich im positiven Bereich.

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe „Verkehrstechnik“

V1: Leitfaden Parkraumkonzepte
von H. P. Appel, R. Baier und A. Wagener
132 Seiten, 1993
Kann kostenfrei bei der BAST, Bergisch Gladbach,
angefordert werden.

V2: Langzeitwirkung von Streusalz auf die Um-
welt
von H.-G. Brod
168 Seiten, 1993 DM 37,00

V3: Wirksamkeit und Wirtschaftlichkeit von
Taumittelsprühanlagen
von H. Wirtz und K. Moritz
36 Seiten, 1993 DM 20,00

Zu beziehen durch:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, Am Alten Hafen 113-115
D-2850 Bremerhaven 1
Telefon (04 71) 4 60 93-95, Telefax (04 71) 4 27 65