

# Operative und finanzielle Bewertung von TETRA-, Tetrapol- und GSM-900-Plattformen für ein digitales BOS-Mobilfunknetz

– Kurzfassung –

Torsten J. Gerpott/Andreas Walter

Duisburg, 15. März 2004

Univ.-Prof. Dr. Torsten J. Gerpott, Inhaber des Lehrstuhls Planung & Organisation, Schwerpunkt Telekommunikationswirtschaft, Universität Duisburg-Essen und Gründungsgesellschafter DIALOG CONSULT GMBH; Andreas Walter, Gesellschafter DIALOG CONSULT GMBH, [www.dialog-consult.com](http://www.dialog-consult.com).

# 1 Ausgangssituation und Ziel der Studie

In Deutschland ist der Aufbau eines bundesweit einheitlichen digitalen Mobilfunknetzes für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)<sup>1</sup> geplant, das die veralteten analogen BOS-Funknetze mittelfristig vollständig ersetzen soll. Die Ausschreibung findet voraussichtlich noch im Laufe des Jahres 2004 statt. Nach aktuellem Informationsstand werden sich voraussichtlich vier Unternehmen bzw. Konsortien mit drei unterschiedlichen technischen Plattformen um den Aufbau des digitalen BOS-Netzes bewerben.

Die erste Plattform, *TETRA* (*Terrestrial Trunked Radio*), wurde Mitte der 1990er Jahre entwickelt und ist ein offener ETSI-Standard für unternehmensinterne Mobilfunknetze in Europa, der später für BOS erweitert wurde. Allerdings befinden sich landesweite BOS-Netze bisher nur in Aufbau-/Testphasen. Zahlreiche Hersteller bieten im Wettbewerb TETRA-Netztechnik und -Endgeräte an. Da jedoch nicht alle Schnittstellen standardisiert wurden, existiert z.T. keine Interoperabilität hinsichtlich der Technik unterschiedlicher Hersteller (z.B. an der Schnittstelle Vermittlung–Basisstation). TETRA wird voraussichtlich von *T-Systems* und *Motorola* für die ZED-Anforderungen für ein landesweites BOS-Netz weiterentwickelt und im bevorstehenden Ausschreibungsverfahren angeboten.

Die zweite Plattform, *Tetrapol*, wurde ursprünglich von *MATRA* als digitales Bündelfunksystem für französische BOS entwickelt und ist inzwischen ein marktreifer Standard, für den zahlreiche Referenzen für landesweite BOS-Netze vorhanden sind. Tetrapol wird von *EADS Telecom* für die ZED-Anforderungen weiterentwickelt und im bevorstehenden Ausschreibungsverfahren voraussichtlich angeboten.

Die dritte technische Alternative ist GSM-BOS-900, bei der die Erweiterung bestehender GSM-Netze unter Nutzung der vorhandenen GSM-Funkinfrastruktur im 900 MHz-Band<sup>2</sup> verfolgt wird. Dazu werden die bereits für die Nutzung von GSM-Netzen durch die europäischen Eisenbahnen standardisierten GSM-ASCI-Funktionali-

- 
- 1 BOS = Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (z.B. Polizei, Bundesgrenzschutz, Zoll, Steuerfahndung). Daneben werden auch Nicht-polizeiliche BOS-Organisationen wie Feuerwehren, Rettungsdienste, Technisches Hilfswerk u.ä. potenzielle Nutzer eines digitalen BOS-Netzes sein. Sofern in diesem Bericht nichts anderes angegeben ist, sind mit dem Begriff „BOS“ auch diese Nicht-polizeilichen BOS-Organisationen gemeint.
  - 2 GSM-BOS-900: Für BOS erweiterte Variante von GSM ASCI (s. Fußnote 3) im Frequenzbereich 900 MHz. Auf die Variante GSM-BOS-450, bei der ein komplett neues Funknetz zur Nutzung des 450 MHz-Bandes aufgebaut werden müsste, wird aufgrund der höheren Investitionen und der funktionellen Parallelität zu GSM-BOS-900 hier nicht gesondert eingegangen.

	TETRA	Tetrapol	GSM-BOS 900
Netzbetriebsoptionen	<ul style="list-style-type: none"> <li>Öffentliche Hand</li> <li>Eigene Betreibergesellschaft</li> <li>DTAG/T-Systems</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Öffentliche Hand</li> <li>Eigene Betreibergesellschaft</li> <li>EADS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eigene Betreibergesellschaft für das BOS-Netzmanagement</li> <li>Vodafone, T-Mobile<sup>a</sup></li> <li>Andere GSM-Netzbetreiber (E-Plus, O<sub>2</sub>)<sup>a</sup></li> </ul>
BOS-Netz Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>In 2 Nachbarländern landesweit im Aufbau: Belgien (Nokia), Niederlande (Motorola)</li> <li>In 4 weiteren Ländern landesweit im Aufbau: Finnland (Nokia), Island, Österreich, Vatikan, Großbritannien (Motorola)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>In 3 Nachbarländern:<sup>b</sup> Frankreich (2 Netze in Betrieb), Tschechien, Schweiz</li> <li>In weiteren Ländern:<sup>b</sup> Mexico, Rumänien, Slowakei, Spanien</li> <li>Bisher keine Referenzen für Tetrapol 2004.IP-Weiterentwicklung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bislang keine Referenzen für GSM-BOS</li> </ul>
Andere Referenzen	<ul style="list-style-type: none"> <li>TETRA-BOS-Pilotnetz in Aachen</li> <li>Unternehmensinterne Netze in Betrieb: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) → U-Bahn, Flughafen Köln (Auswahl)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unternehmensinterne Netze in Betrieb: Berliner Verkehrsbetriebe (BVG) → Bus, BMW, Flughafen Frankfurt/M., Hamburger Verkehrsbetriebe, Eurocai (Auswahl)</li> <li>Bundeswehr</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BOS nutzen teilweise öffentliche GSM-Netze zur Kommunikationsunterstützung</li> <li>GSM-BOS-Demonstrationsnetz in Würzburg</li> <li>GSM-Rail (= ASCI) in Deutschland, MoU von 16 europäischen Bahnbetreibern</li> <li>29 nationale öffentliche GSM-Netze in allen 9 Nachbarländern Deutschlands</li> </ul>

a) Aktuelle Lieferanten für Netzwerk-Komponenten bei Vodafone: Ericsson, Siemens; bei E-Plus: Nokia; bei O<sub>2</sub>: Nokia, Nortel; bei T-Mobile: Alcatel, Lucent, Motorola-Cisco.  
b) Netze sind im taktischen Einsatz, sie werden z.T. derzeit noch weiter ausgebaut.

### Abbildung 1: Netzbetriebsoptionen und Referenzen für die technischen Alternativen eines BOS-Mobilfunknetzes

täten<sup>3</sup> weiterentwickelt. Allerdings existieren weltweit bisher keine Referenzen zur BOS-Eignung von GSM-ASCI. Eine GSM-BOS-Lösung wird derzeit unabhängig voneinander von *T-Mobile Deutschland* und *Vodafone D2* entwickelt<sup>4</sup> und voraussichtlich im bevorstehenden Ausschreibungsverfahren angeboten.

Ein Überblick über die Netzbetriebsoptionen und Referenzen der drei technischen Alternativen gibt Abbildung 1.

Die Ziele dieser Studie, die im Januar/Februar 2004 von Univ.-Prof. Dr. Gerpott und Dipl.-Wirtsch.-Ing. Walter (Universität Duisburg-Essen/DIALOG CONSULT) durchgeführt wurde, bestehen in einer Prüfung der operativen Eignung von TETRA-, Tetrapol und GSM-Lösungen zur Unterstützung der BOS sowie einer überschlägigen Quantifizierung der aus heutiger Sicht für jede der drei Lösungen zu erwartenden Auszahlungen für Netzaufbau und Betrieb. Dazu wurde auf öffentlich verfügbare

3 GSM ASCI (= Advanced Speech Call Items). Erweiterung des GSM-Standards zum Einsatz von GSM als europaweit einheitlichem Betriebsfunksystem für Eisenbahnen, der auch GSM-Rail (GSM-R) genannt wird. ASCI-Leistungsmerkmale sind im Wesentlichen (1) Gruppenkommunikation, (2) Priorisierung und Notrufe sowie (3) Verdrängung. Die ASCI-Leistungsmerkmale stellen nur eine Teilmenge der für ein BOS-Netz geforderten Leistungsmerkmale dar.

4 Im Folgenden sind mit *T-Mobile* bzw. *Vodafone* stets die deutschen Gesellschaften gemeint. Deren GSM-BOS-Konzepte werden in Zusammenarbeit mit den jeweiligen Systemlieferanten entwickelt.

Quellen<sup>5</sup> zurückgegriffen. Eine gezielte Bereitstellung unternehmensinterner Informationen durch potenzielle Hersteller/Betreiber digitaler Funknetze für BOS fand nicht statt. Der vorliegende Text stellt eine Ergänzung einer ausführlichen Präsentationsunterlage dar und sollte mit dieser Unterlage gemeinsam genutzt werden.

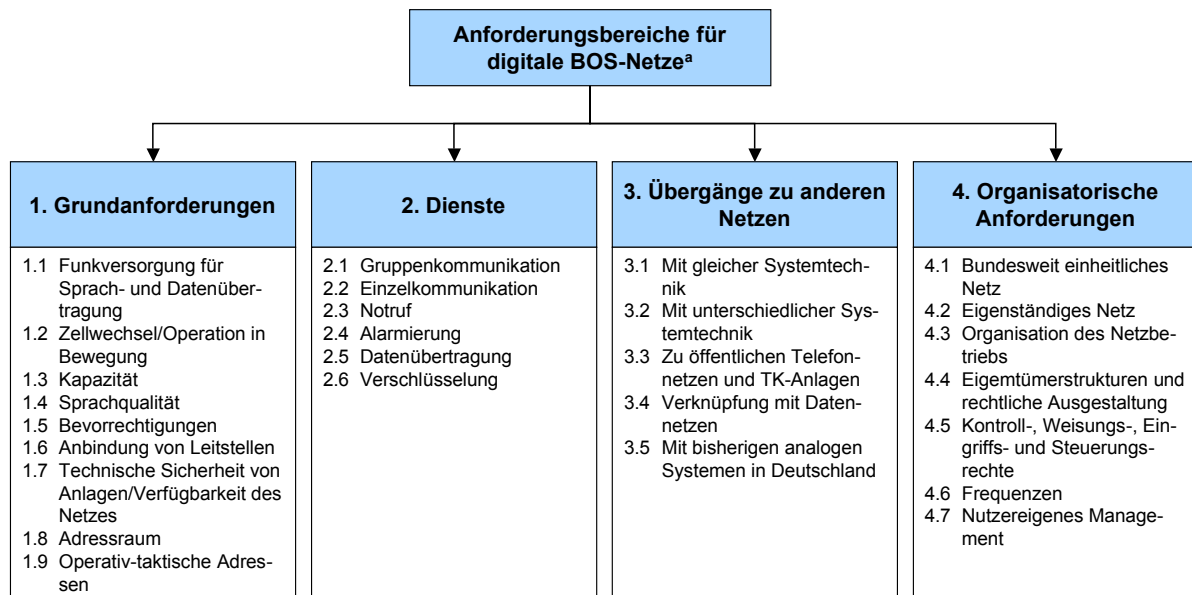
Die Untersuchung beruht auf der Annahme, dass die bisher fixierten ZED-Anforderungen an/-Bewertungskriterien für ein digitales BOS-Netz in Deutschland noch variiert werden könnten, da anderenfalls eine auf GSM-ASCI aufbauende Lösung für BOS aufgrund einzelner K.O.-Kriterien (z.B. Rufaufbauzeit Gruppenruf, Frequenzen) von vorneherein auszuschließen wäre. Zudem sind viele Verhaltensmuster/Anforderungen in der BOS-Praxis eine Konsequenz von Möglichkeiten und Einschränkungen der analogen BOS-Netze, die sich zukünftig u.U. mit einer Aufhebung solcher Einschränkungen sowie der Implementierung völlig neuer Dienste (z.B. Datenübertragung) ändern/verschieben werden (so wird z.B. bei einem flexiblen und leistungsfähigen Gruppenmanagement ein Operieren in kleineren Kommunikationsgruppen erwartet). Ebenfalls werden in dieser Studie nicht die hinlänglich bekannten Argumente angeführt, dass GSM bzw. GSM-ASCI ohne zusätzliche Erweiterungen für die Anforderungen von BOS unzureichend sind. Verglichen werden in dieser Studie ein spezifisches GSM-BOS Konzept von *Vodafone* (über ein *T-Mobile*-Konzept sind Anfang 2004 nur sehr wenige Informationen verfügbar) einerseits und TETRA/Tetrapol als allgemeine technische Plattformen andererseits, die von verschiedenen Betreiberkonsortien im Rahmen der bevorstehenden BOS-Netzausschreibung in spezifischen Varianten angeboten werden dürften.

## 2 Operative Eignung der BOS-Netzvarianten

Die Zentralstelle zur Vorbereitung der Einführung eines bundesweit einheitlichen digitalen Sprech- und Datenfunksystems - Digitalfunk (ZED) hat am 23. Oktober 2003 den Abschlussbericht der Expertengruppe aus Bund und Ländern Gruppe „Anforderungen an das Netz“ (GAN) über Leistungsmerkmale eines Mindeststandards und über die Bewertung der technischen Lösungen veröffentlicht. Die vorliegende Studie orientiert sich hinsichtlich der Struktur der verwendeten operativen Eignungskriterien (s. Abbildung 2) an dem GAN-Dokument. Sie weicht aber aufgrund der Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse bei den Bewertungen teilweise von den GAN ab.

---

5 Die wesentlichen Quellen sind: GAN-Anforderungen der ZED vom 23.10.2003, Walke-Studien zur TETRA/Tetrapol (2000) und GSM-BOS (2003), diverse *Vodafone*-Präsentationen zu GSM-BOS, Finanz- und Analysteninformationen von *T-Mobile* und *Vodafone*, Informationen der ETSI und des Tetrapol-Forums sowie Expertengespräche.



a) Struktur: Zentralstelle zur Vorbereitung der Einführung eines bundesweit einheitlichen digitalen Sprech- und Datenfunksystems - Digitalfunk - (ZED): Abschlussbericht der Expertengruppe aus Bund und Ländern Gruppe „Anforderungen an das Netz“ (GAN) über Leistungsmerkmale eines Mindeststandards und über die Bewertung der technischen Lösungen, 23. Oktober 2003. Die in diesem Dokument zu findenden Bewertungen weichen aufgrund der Berücksichtigung neuerer Erkenntnisse von den GAN-Bewertungen ab.

**Abbildung 2: Anforderungsbereiche für digitale BOS-Netze**

Teilfelder		TETRA	Tetrapol	GSM BOS	Gewichtung
1.	Grundanforderungen	●	●	◐	25%
2.	Dienste	◑	◑	◐	25%
3.	Übergänge zu anderen Netzen	●	●	◐	25%
4.	Organisatorische Anforderungen	●	●	◐	25%
Gesamtbewertung <sup>a</sup>		● 4,7	● 4,7	◐ <sup>b</sup> 3,7	100%

a) Berechnung der Gesamtbewertung: Addition der gewichteten Einzelbewertungen. Ein höherer Zahlenwert bedeutet eine bessere Bewertung.  
 b) Der Barwert der quantifizierbaren operativen Risiken einer GSM-Lösung belaufen sich über einen Zeitraum von zehn Jahren auf rund 370 Mio. EUR.

Legende
● Anforderung voll erfüllt (= 5)
◐ Anforderung nicht erfüllt (= 1)

**Abbildung 3: Gesamtergebnis Bewertung der Erfüllung des operativen ZED-Anforderungskatalogs**

Eine zusammenfassende Bewertung der operativen Eignung der drei technischen Alternativen ist in Abbildung 3 zu finden. Gegenüber der GAN-Bewertung vom Oktober 2003 zeigen sich einerseits bei Tetrapol die größten Verbesserungen. Hier ist nämlich zu erwarten, dass die funktionelle Erweiterung Tetrapol 2004.IP von Anfang an installiert wird und damit wesentliche Schwächen (insb. unterbrechungsfreier Handover bei Zellwechseln sowie Einschränkungen durch den Halb-Duplex-

Modus) von Tetrapol gegenüber TETRA/GSM beseitigen werden. Andererseits hat *Vodafone* als einer von zwei möglichen GSM-BOS-Anbietern sein Konzept signifikant weiterentwickelt, so dass zahlreiche in der Vergangenheit noch offene Anforderungen erfüllt werden. So soll die Leitstellenanbindung durch einen Connectivity-Server-Ansatz gelöst werden, die Frage nach der Netzeigenständigkeit soll durch eine vom öffentlichen GSM-Netzbetrieb abgegrenzte eigenständige Betreibergesellschaft zumindest funktional gelöst sein. Zudem sieht die *Vodafone*-GSM-Lösung hinsichtlich des in GSM nicht vorhandenen Direktmodus jetzt die Verwendung von TETRA/GSM-Dualband-Endgeräten vor, die TETRA für die Direktkommunikation und GSM für die Netzkommunikation verwenden. Nichtsdestotrotz erfüllt die GSM-BOS-Lösung von *Vodafone* einige operative ZED-Anforderungen eher nicht. Die Defizite der alternativen Netzplattformen lassen sich wie folgt erläutern:

1. *Teilfeld Grundanforderungen:* Die Defizite der GSM-BOS-Lösung liegen in diesem Teilfeld in der noch unklaren praktischen Eignung der Leitstellenanbindung. Die in GAN geforderte 99% Ausfallsicherheit (=3,65 Ausfalltage pro Jahr) für ein BOS-Mobilfunknetz ist viel zu tolerant und insbesondere hinsichtlich großflächiger Ausfälle u.E. deutlich zu erhöhen. Eine GSM-BOS-Lösung weist angesichts von Erfahrungen hinsichtlich der technischen Sicherheit/Verfügbarkeit (z.B. 14-stündiger großflächiger GSM-Netzausfall von *T-Mobile*) Defizite bei der Erreichung einer für die BOS-Praxis notwendigen Mindestausfallsicherheit auf.
2. *Teilfeld Dienste:* Hier weist TETRA infolge einer nicht vollumfänglichen Verschlüsselung und nur moderater Datendienstefähigkeiten Defizite auf. Tetrapol bietet allerdings auch in einer langfristigen Perspektive noch geringere Datenübertragungsraten. GSM-BOS weist Stärken im Bereich Datendienste durch die bereits heute funktionierenden GSM-/GPRS-Datenübertragungsbandbreiten auf, hat aber Schwächen im Bereich der Gruppenkommunikation (zu lange Verbindungsaufbauzeiten beim ersten Gruppenruf) sowie bei der Notruf- und Verschlüsselungsfunktionalität. Das Dienstmerkmal Alarmierung wird derzeit von allen Varianten gleich eingeschränkt bedient. Hier herrscht allerdings bei den ausschreibenden Stellen noch große Unklarheit hinsichtlich der Notwendigkeit und Formulierung der genauen Anforderungen.
3. *Teilfeld Übergänge zu anderen Netzen:* Die Defizite von GSM-BOS liegen in der fehlenden Übergangsmöglichkeit in bislang nicht vorhandene gleichartige BOS-Netze in Nachbarländern. Zudem liegt kein Migrationskonzept von analogem auf GSM-BOS-Funk vor. Zwischen TETRA und Tetrapol wurde die netzübergreifende BOS-Kommunikation bereits gezeigt, während hinsichtlich von GSM-BOS hier noch keine Schnittstellen bekannt sind.

4. *Teilfeld Organisatorische Anforderungen:* Die Defizite einer GSM-BOS-Lösung in diesem Bereich sind hauptsächlich systembedingt. Während man im *Vodafone-Ansatz* die rechtliche Eigenständigkeit mittels einer eigenen Betreibergesellschaft formal noch erreichen kann, sind die Anforderungen „Eigenständiges Netz“ und „Frequenzen“ (d.h. Nutzung der europaweit einheitlich für BOS-Mobilfunknetze reservierten  $2 \times 5$  MHz im 400 MHz-Band) von einer GSM-BOS-Lösung materiell nicht erfüllbar. Ein starres Festhalten an diesen Forderungen würde eine GSM-BOS-Lösung deshalb von vorneherein ausschließen. Umgekehrt müssten die Anforderung gelockert werden, um eine GSM-BOS-Lösung zulassen zu können.

Insgesamt liegen die Varianten TETRA und Tetrapol nach unseren Analysen hinsichtlich des Erfüllungsgrades der operativen Anforderungskriterien gleichauf, während GSM-BOS klar den dritten Eignungsrang belegt. Eine Zusammenfassung der quantifizierbaren Schadensdefizite der GSM-Variante ergab in einer Zehnjahresbetrachtung einen Risikobarwert von ca. 370 Mio. EUR.<sup>6</sup> An dieser Stelle sei nochmals darauf hingewiesen, dass das Analyseergebnis den Informationsstand Anfang 2004 widerspiegelt und keine unternehmensinternen Informationen zum tatsächlichen Entwicklungsstand der technischen Alternativen zu Verfügung standen.

### 3 Langfristige organisatorische Nutzungsaspekte

Als langfristige organisatorische Nutzungsaspekte werden die bei den verschiedenen Lösungen hinreichende Frequenzverfügbarkeit, die Implikationen der bevorstehenden Migration von GSM-Netzbetreibern zu UMTS-Netzen für eine GSM-BOS-Lösung und die Netzverfügbarkeits-/ausfallsicherheitsanforderungen und deren Erfüllung durch die drei Alternativen betrachtet.

Eine genauere Betrachtung der *Frequenzverfügbarkeit* findet sich in Abbildung 4. Unabhängig von den ZED-Anforderungen ist anzumerken, dass im GSM-900-Band keine Frequenzen zur exklusiven BOS-Nutzung mehr frei sind (anders als bei dem europaweit standardisierten GSM-Rail, für das einheitlich  $2 \times 4$  MHz reserviert wurden). Auch ist eine Abspaltung eines Teils der  $2 \times 11,8$  MHz, die jeweils *T-Mobile* und *Vodafone* zur Verfügung stehen, angesichts der jeweils über 25 Mio. zu versorgenden „normalen“ GSM-Kunden sowie aufgrund des Netzdesigns und der verstärkten Nutzung von Datendiensten kaum realistisch. Bei TETRA/Tetrapol bestehen auch bei langfristiger Sicht keine erkennbaren Frequenzverfügbarkeitsengpässe.

---

<sup>6</sup> Ermittelt auf Basis eines Rentenbarwertfaktors mit einem Zinssatz von 8%.

	TETRA	Tetrapol	GSM BOS 900 (GSM BOS-Konzept von Vodafone) <sup>a</sup>
<b>Nutzbare Bandbreite (gepaart)</b>	2 x 5 MHz	2 x 5 MHz	• 2 x 5 MHz (TETRA Direktmodus) • 2 x 11,8 MHz (GSM-900, gemeinsam mit privaten Nutzern) <sup>b</sup>
<b>Frequenzlage</b>	Uplink: 380–385 MHz Downlink: 390–395 MHz	Uplink: 380–385 MHz Downlink: 390–395 MHz	Uplink: <sup>b</sup> • 380–385 MHz (TETRA Direktmodus) • 890,2–892,4 MHz (Vodafone GSM-900) • 900,0–906,0 MHz (Vodafone GSM-900) • 910,6–914,2 MHz (Vodafone GSM-900) Downlink: <sup>b</sup> • 390–395 MHz (TETRA Direktmodus) • 935,2–937,4 MHz (Vodafone GSM-900) • 945,0–951,0 MHz (Vodafone GSM-900) • 955,6–959,2 MHz (Vodafone GSM-900)
<b>Erweiterungsoptionen</b>	385–390/395–400, 410–420/420–430, 450–460/460–470, 870–888/915–933	Grundsätzlich Frequenzen zwischen 70 und 520 MHz	• E-GSM 900 (10 MHz, 880,0–889,8 MHz), Nutzung durch Militär und CT1+ • Andere GSM-Varianten erfordern vollständig neue Funktechnik (GSM-400, -700, -850)

- T-Mobile/Vodafone versorgen mit je 17 MHz insgesamt 26,3/24,7 Mio. private Nutzer (Ende 2003)
- T-Mobile/Vodafone konnten ihre Nutzerzahl im Jahr 2003 um insgesamt 1,7/2,0 Mio. steigern
- Die GSM-Netze von T-Mobile und Vodafone zählen weltweit zu den größten GSM-Netzen
- Sowohl T-Mobile als auch Vodafone gehen hinsichtlich der Netzplanung mittelfristig von einem moderaten aber stetigen Nutzerwachstum aus
- Schon heute wechseln die Netzbetreiber in Engpaßsituationen häufig in den Halbrate-Modus

- a) Das GSM BOS-Konzept von Vodafone sieht die Netzkommunikation auf Basis des öffentlichen GSM-900 Netzes vor, während die Direktkommunikation im TETRA-Modus stattfinden soll.
- b) Darüber hinaus verfügt Vodafone für die Nutzung durch private Kunden über 2 x 5,2 MHz GSM-1800-Frequenzen (1752,8-1758,0 und 1847,8–1853,0 MHz). T-Mobile besitzt eine nahezu identische GSM-Frequenzausstattung im 900/1800 MHz-Bereich.

#### Abbildung 4: Analyse der Frequenzverfügbarkeit der drei BOS-Alternativen

Die Frage nach Auswirkungen der ab 2004 angelaufenen UMTS-Vermarktung durch *T-Mobile* und *Vodafone* auf eine GSM-BOS-Lösung lässt sich nicht einheitlich zugunsten oder zuungunsten von GSM-BOS beurteilen. UMTS-Netze werden in Deutschland auch mittelfristig aber nur eine moderate Bevölkerungsabdeckung von 50% und eine geringe Flächendeckung von 10–12% erreichen. Eine Flächendeckung von über 50% ist mit den im Vergleich zu GSM relativ kleinen UMTS-Funkzellen auch langfristig wirtschaftlich nicht vertretbar und zudem keine Lizenzauflage. Auch die Einsparung von Kosten, die für einen langfristigen GSM-Weiterbetrieb anfallen, macht eine Errichtung der notwendigen flächendeckenden UMTS-Zellen wirtschaftlich nicht attraktiv. Zudem sind die GSM-Festverbindungsstrukturen und die Sprach- und -Datenvermittlungskomponenten von GSM und GPRS auch integraler Bestandteil der UMTS-Netze, so dass die UMTS-Netze nicht völlig eigenständig, parallel zu den GSM-Netzen, bestehen können. Von daher werden GSM/GPRS-Netze auch mittel- bis langfristig parallel zu UMTS weiter betrieben werden müssen.

Für eine GSM-BOS-Lösung *vorteilhafte Auswirkungen* der UMTS-Vermarktung sind eine Entschärfung der GSM-Frequenzknappheit insbesondere in den Ballungszentren durch eine stärkere Nutzung der UMTS-Netzstrukturen zumindest für Datenübertragung. Langfristig könnte der Einsatz von breitbandigen mobilen BOS-Datenüber-

		TETRA	Tetrapol	GSM-BOS
<b>Basisstationen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Redundante technische Komponenten</li> <li>• Relaisfunktion bei Netzausfall</li> <li>• Stromausfall</li> <li>• Zugangsschutz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglich/Vorhanden</li> <li>• Ja</li> <li>• Batteriepufferung ca. 4 Std.</li> <li>• Besondere Schutzmaßnahmen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglich/Vorhanden</li> <li>• Ja</li> <li>• Batteriepufferung ca. 4 Std.</li> <li>• Besondere Schutzmaßnahmen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Möglich/Vorhanden</li> <li>• Nicht möglich</li> <li>• Batteriepufferung ca. 4 Std.</li> <li>• Im Rahmen allgemeiner Verkehrsicherungspflichten</li> </ul>
<b>Netztopologien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inter-Switch (Backbone)</li> <li>• Basisstationsanbindung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ringstrukturen geplant</li> <li>• Ringstrukturen geplant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ringstrukturen geplant</li> <li>• Ringstrukturen geplant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ringstrukturen</li> <li>• Sternstrukturen, z.T. kaskadierte BTS-Anbindung</li> </ul>

**Abbildung 5: Maßnahmen zur Sicherung der Netzverfügbarkeit bei drei BOS-Alternativen**

tragungsanwendungen durch UMTS ergänzt werden bzw. ebenfalls auf UMTS migriert werden. Allerdings kann dann nicht mehr auf den GSM-Rail-Funktionen aufgesetzt werden, da GSM-Rail nicht auf UMTS übertragen wird. Aus heutiger Sicht *eher negativ zu bewerten* ist hingegen, dass (1) die (Mit)-Nutzung des GSM-Netzes durch die BOS langfristig teurer wird, da die Relation von BOS-GSM-Nutzern zu normalen GSM-Nutzern für BOS ungünstiger wird, (2) die rechtliche Weiterführung der Netzplattform nach Ablauf der GSM-Lizenzen im Jahre 2009 unklar ist, wenngleich faktisch starke Argumente für eine Verlängerung der GSM-Lizenzen sprechen. Im Fall einer Verlängerung ist allerdings die Höhe der dann zu entrichtenden GSM-Lizenzgebühren ungewiss.

Aus *Sicherheitsüberlegungen* ist die im jüngsten ZED-Dokument geforderte 99%ige operative Verfügbarkeit (= 3,65 Tage Ausfall pro Jahr) für ein BOS-Netz nicht ausreichend, selbst eine Verfügbarkeit von 99,9% entspricht immer noch einer Ausfallzeit von 8 Stunden und 45 Minuten pro Jahr. Im Fall der Nichtverfügbarkeit des Netzes muss zudem auf alternative Kommunikationsmöglichkeiten zurückgegriffen werden können (z.B. Direktmodus, mobile Basisstationen). Während bei den Plattformen TETRA und Tetrapol von vorneherein über umfassende BOS-gerechte Sicherheitskonzepte eine hohe Verfügbarkeit unterstützt wird und diese zudem in der Planungsphase in weitem Ausprägungsbereich festgelegt werden kann, orientiert sich die Verfügbarkeit von öffentlichen GSM-Mobilfunknetzen grundsätzlich stark an wirtschaftlichen Gesichtspunkten und ist zudem durch das bereits gebaute GSM-Netz weitgehend festgelegt. Abbildung 5 vergleicht die Sicherungsvorkehrungen der BOS-Alternativen. Die jüngsten Fälle zeigen zudem, dass ein GSM-Netz über mehrere Stunden und größere (Ballungszentrums-) Flächen ausfallen kann (etwa 14-stündiger *T-Mobile*-Netzausfall im Rhein-Main-Großraum im September 2003).

Bei allen drei Plattformen hängt die *finanzielle Sicherheit* i.S. der Planbarkeit von zu erwartenden Auszahlungen davon ab, inwieweit der Auftraggeber bei einer Betreibergesellschaft feste Zahlungshöhen durchsetzen kann. Hier sind allerdings GSM-

		TETRA	Tetrapol	GSM-BOS
<b>Heimfallregelung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eigene Betreibergesellschaft</li> <li>Eigenes Funknetz</li> <li>Eigenes Backbone-Netz</li> <li>Eigener Frequenzbereich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gegeben</li> <li>Gegeben</li> <li>Richtfunk oder Mietleitungen</li> <li>Gegeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gegeben</li> <li>Gegeben</li> <li>Richtfunk oder Mietleitungen</li> <li>Gegeben</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evtl. möglich</li> <li>Nicht möglich</li> <li>Richtfunk oder Mietleitungen<sup>a</sup></li> <li>Nicht möglich</li> </ul>
<b>Kapazitätserhöhung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Handgeräteversorgung               <ul style="list-style-type: none"> <li>in Ballungszentren</li> <li>Flächendeckend</li> </ul> </li> <li>Inhouse-Versorgung</li> <li>Erhöhung der Teilnehmerzahl<sup>c</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geplant</li> <li>Zahlreiche Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> <li>Zahlreiche Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> <li>Zusätzliche Funkkomponenten in Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geplant</li> <li>Zahlreiche Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> <li>Zahlreiche Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> <li>Zusätzliche Funkkomponenten in Basisstationen erforderlich<sup>b</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorhanden</li> <li>Wenige zusätzliche Basisstationen erforderlich</li> <li>Weitgehend vorhanden</li> <li>Zuordnung weiterer fester Kanäle, Verdrängung „normaler“ GSM-Nutzer</li> </ul>
<b>Mobile Datendienste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schmalbandig (&lt; 15 kbit/s)</li> <li>Mittlere Bandbreiten (15–128 kbit/s)</li> <li>Breitbandig (&gt; 128 kbit/s)</li> <li>Paketorientierte Datendienste</li> <li>Sprach-Daten-Integration (VoIP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorhanden</li> <li>Zukünftig geplant</li> <li>Nicht möglich</li> <li>Vorhanden</li> <li>Nein</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorhanden</li> <li>Nicht möglich</li> <li>Nicht möglich</li> <li>Vorhanden</li> <li>Realisiert (Tetrapol 2004.IP)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vorhanden</li> <li>Vorhanden</li> <li>Nicht möglich (mittelfristig evtl. über UMTS)</li> <li>Vorhanden</li> <li>Nein</li> </ul>

a) Mitbenutzung der seit 1990 aufgebauten Netzstrukturen.

b) Das Verhältnis der Anzahl von TETRA- zu Tetrapol-Basisstationen wird in der vollständigen Version dieser Studie auf Seite 35f. erläutert.

c) Ggf. bei mehreren Gruppen oder mehr Einzelkommunikation.

### Abbildung 6: Langfristige Nutzungsaspekte: Heimfallregelung, Kapazitätserweiterung und Datendiensteausweitung

900-Gesellschafter wegen der Unabwägbarkeit der GSM-Lizenzverlängerungskonditionen nach 2009 in einer schlechteren Ausgangsposition als TETRA-/Tetrapol-Gesellschafter.

Zu den langfristigen Nutzungsaspekten eines BOS-Netzes sind weiterhin die Art der *Heimfallregelung* sowie Möglichkeiten zur *Kapazitätserweiterung* und *Datendiensteausweitung* zu rechnen, die in Abbildung 6 für die drei Plattformen vergleichend dargestellt werden. So ist einerseits eine umfassende Heimfallmöglichkeit aus den o.a. Gründen bei GSM-BOS nicht möglich. Andererseits sind bei GSM-BOS eine bessere Funkversorgung (bei Umrüstung des kompletten Netzes) und höhere Datenübertragungsraten schon heute vorhanden, während diese Leistungsmerkmale bei TETRA und Tetrapol erst mittelfristig darstellbar sein dürften. Allerdings kann eine höhere Leistungsfähigkeit des GSM-Netzes (Flächendeckung und Datendienste) auch einen höheren Nutzungspreis nach sich ziehen.

## 4 Netzaufbau und -betrieb aus finanzieller Sicht

Unabhängig von den Ergebnissen der operativen Eignung werden in diesem Abschnitt die notwendigen Auszahlungen zur Realisierung der BOS-Mobilfunknetzoptionen analysiert und verglichen. Ein fundamentaler Unterschied besteht bei den

Alternativen dahingehend, dass bei TETRA/Tetrapol ein komplettes Mobilfunknetz neu zu errichten ist, während bei GSM-BOS neben den Aufbauinvestitionen für eine BOS-Betreiber-gesellschaft die (Mit-)Nutzung des öffentlichen GSM-Netzes gegen die Zahlung regelmäßiger Nutzungsentgelte geplant ist.<sup>7</sup> Die Höhe der für die Alternativen TETRA und Tetrapol benötigten Investitionen hängt stark von der Anzahl der zu errichtenden Funkzellen ab. Da aus heutiger Sicht keine sichere Aussage über den angestrebten Versorgungsgrad gemacht werden kann, fließt der Faktor absolute Anzahl der Funkzellen in den drei Ausprägungen (1) IBV<sup>8</sup> (Gute Handgeräteversorgung und Gürteltrageweise), (2) IBV ohne Gürteltrageweise und (3) ZED (nur flächendeckende Fahrzeugversorgung, Handfunkgeräte nur in Ballungszentren, keine Inhouse-Versorgung) ein. Da die tatsächlich benötigten Zellenanzahlen auf Basis von Detailplanungen derzeit noch nicht vorliegen, wurde über das Verhältnis zwischen der Anzahl der Zellen bei TETRA und Tetrapol verschiedene Szenarien modelliert. Einschätzungen von Experten rechnen mit 40–50% weniger Zellen bei Tetrapol im Vergleich zu TETRA. Die untersuchten Ausprägungen liegen hier bei 3,33:1 (hoch, theoretisch), 2:1 (realistisch) und 1,5:1 (gering).

Im Übrigen wurden die aus dem ZED-Dokument vom 23.10.2003 angesetzten finanziellen Daten für TETRA zur Auszahlungsquantifizierung herangezogen. Für Tetrapol wurden vergleichbare Daten verwendet, wobei der Preis einer Tetrapol-Basisstation um 10% höher als die Investitionen für eine TETRA-Basisstation angesetzt wurde. Bei GSM hingegen wurde von deutlich geringeren Investitionen im Backbone-Bereich ausgegangen, da das Funknetz bereits vorhanden ist und hier lediglich Software-Aktualisierungen erforderlich sind. Die Kosten des Netzbetriebs für ein großes öffentliches GSM-Netz wurden auf Basis von Finanzinformationen von *T-Mobile* und *Vodafone* geschätzt und fließen in zwei Varianten in die Kalkulationen ein, wobei der Verrechnungspreis in Variante A (preiswert) stärker auf Basis des geringen Verhältnisses von BOS-Kunden zu normalen GSM-Kunden (ca. 3,3 %) und in Variante B (realistisch) stärker auf Basis des Verhältnisses der durch BOS belegten Funkressourcen zu den gesamten Funkressourcen (ca. 10,9%) berechnet wird. Hier muss jedoch beachtet werden, dass hinsichtlich der Festlegung dieses Verrechnungspreises ein großer Spielraum besteht, der die folgenden Ergebnisse signifikant beeinflussen kann.

Abbildung 7 stellt die für die aus der Kombination der beiden Variablen Funkzellenzahl TETRA und Verhältnis der Zahl TETRA-zu-Tetrapol-Zellen resultierenden neun

7 In der Praxis mögliche Private-Partnership-Modelle (Leasing, Mietkauf, z.B. teilweise privatwirtschaftlich finanzierter BOS-Netzaufbau und Abgeltung der privatwirtschaftlichen Vorleistungen durch höhere Nutzungsentgelte für die BOS), die eine ähnliche Zahlungscharakteristik wie bei GSM-BOS auch bei TETRA/Tetrapol ermöglichen, wurden in dieser Studie nicht betrachtet.

8 IBV = Interessenbekundungsverfahren.

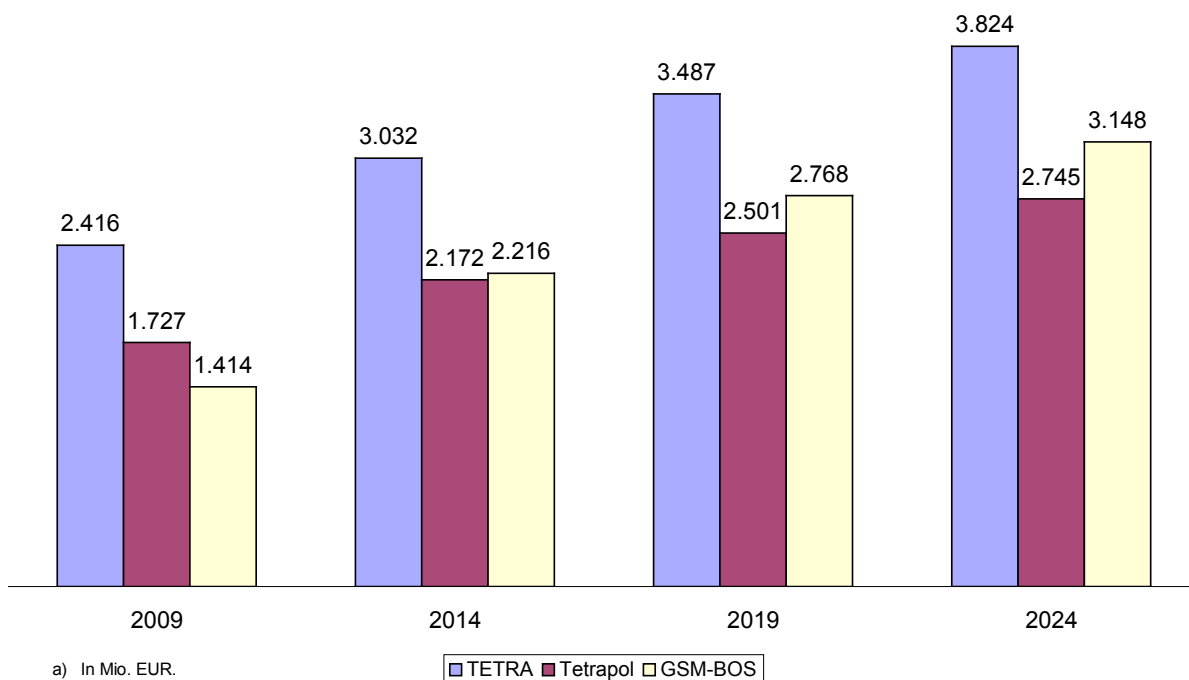
Anforderungs-szenario	Kumulierte diskontierte Gesamtauszahlungen nach 20 Jahren (2024) <sup>a</sup>		
<b>Interessenbe-kundungsver-fahren (IBV)</b>	5.493 (TETRA) <b>2.778 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ①	5.493 (TETRA) 3.647 (Tetrapol) <b>3.148 (GSM-BOS)</b> ②	5.493 (TETRA) 4.374 (Tetrapol) <b>3.148 (GSM-BOS)</b> ③
<b>IBV „ohne Gürteltrage-weise“</b>	3.824 (TETRA) <b>2.236 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ④	3.824 (TETRA) <b>2.745 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ⑤	3.824 (TETRA) <b>3.171 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ⑥
<b>ZED-Anforderungen vom Oktober 2003</b>	2.905 (TETRA) <b>1.937 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ⑦	2.905 (TETRA) <b>2.246 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ⑧	2.905 (TETRA) <b>2.505 (Tetrapol)</b> 3.148 (GSM-BOS) ⑨
a) In Mio. EUR.	<b>3,33 : 1</b>	<b>2,00 : 1</b>	<b>1,50 : 1</b>
	<b>Hoch/Theoretisch</b>	<b>Realistisch</b>	<b>Gering</b>
<b>Verhältnis TETRA- zu Tetrapol-Zellen</b>			

**Abbildung 7: Dynamische Gesamtauszahlungsbetrachtung für die drei alternativen Plattformen und einen realistischen GSM-Netznutzungspreis (Variante B)**

Konstellationen dar und gibt die Barwerte<sup>9</sup> der kumulierten diskontierten Auszahlungen über einen 20-Jahreszeitraum (2005–2024) an. Beim Vergleich von TETRA und Tetrapol ist augenscheinlich, dass die Vorteilhaftigkeit von Tetrapol mit abnehmenden Abdeckungsanforderungen und abnehmenden Zellenverhältnis zunimmt. Die Vorteilhaftigkeit von GSM-BOS ist nur bei zwei Ausprägungsfällen mit großen Zellenzahlen gegeben. In allen anderen sieben Ausprägungsfällen stellt Tetrapol im Vergleich der diskontierten kumulierten Gesamtauszahlungen nach 20 Jahren die günstigste Option dar. Für die niedrigen Zellenzahlen der ZED-Anforderungen wird die GSM-BOS-Lösung sogar ungünstiger als ein TETRA-BOS-Netz.

Führt man die Abbildung 7 zugrundeliegenden Berechnungen mit dem niedrigeren Verrechnungspreis für die GSM-Netznutzung durch (Variante A, hier nicht bildlich dargestellt), schlägt das Ergebnis um und für fast alle Konstellationen wird GSM-BOS die günstigste Option. Lediglich in der Konstellation sieben weist Tetrapol dann noch den niedrigsten Auszahlungsbarwert auf.

<sup>9</sup> Diskontiert mit einem Zinssatz von 8%.



**Abbildung 8: Kumulierte diskontierte Gesamtauszahlungen für die drei alternativen Plattformen bei Konstellation 5 (IBV-Anforderungen ohne Gürteltrageweise und realistisches Nutzungsszenario)**

Betrachtet man die Konstellation 5B (IBV ohne Gürteltrageweise, realistisches Verhältnis von TETRA- zu Tetrapol-Zellenanzahl und realistischer GSM-Netznutzungspreis) im Zeitverlauf (Abbildung 8), dann erkennt man, dass ein GSM-BOS-Netz in den ersten Jahren aufgrund der deutlich geringeren Investitionen günstiger ist und nach zehn Jahren (2014) ungefähr gleich hohe Gesamtauszahlungen verursacht hat. Über zehn Nutzungsjahre hinausgehend wird langfristig die Vorteilhaftigkeit der Tetrapol-Lösung deutlich, wobei Effekte aus der zusätzlich für eine GSM-Lizenzverlängerung an den Staat zu zahlenden Gebühr nicht berücksichtigt sind.

## 5 Fazit

Insgesamt ergibt sich aufgrund unserer Analysen folgendes Bild über die Vor- bzw. Nachteilhaftigkeit einzelner technischer Alternativen. Hinsichtlich des *Erfüllungsgrades der operativen BOS-Anforderungen* weist GSM-BOS größere Defizite als TETRA/Tetrapol auf. In einer *finanziellen Betrachtung* hingegen kann eine GSM-Lösung zwar überwiegend zu vergleichsweise geringen Auszahlungen führen, wenn die Verrechnungspreise für die Mitbenutzung des Funknetzes verbindlich für die gesamte Nut-

zungsdauer des Netzes durch BOS niedrig festgelegt würden. Solche niedrigen Verrechnungspreise sind vor allem dann denkbar, wenn sich eine GSM-BOS-Betreiber-gesellschaft „ihr“ GSM-Funknetz im Wettbewerb aussuchen könnte (*T-Mobile* oder *Vodafone*) und nicht dauerhaft an einen Netzbetreiber gebunden ist. Bei einem Ansatz von höheren GSM-Netznutzungspreisen verursacht die Tetrapol-Lösung in den meisten Konstellationen im Vergleich zu GSM-BOS insgesamt niedrigere Auszahlungen.

Aktuell haben die Terroranschläge in Spanien ein weiteres Mal verdeutlicht, dass BOS über ein leistungsfähiges digitales Mobilfunknetz verfügen müssen, um auch in Extremsituationen ohne Einschränkungen operieren zu können. Für Deutschland hat die vorliegende Studie gezeigt, dass es technische Plattformen gibt, um diesen BOS-Spezialanforderungen gerecht zu werden.