

**Klarstellung zum Ergebnis der ergänzenden Studie  
von Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke:  
„Aufwand im bundesweiten TETRA-Funknetz  
für die Realisierung des Funkruf-Dienstes“**

mit Stand: 27. September 2001

## **1. Ausgangssituation**

Nachdem die ursprünglich für die Mitglieder der AG „Technik“ in der PG „Digitalfunk“ bestimmte Ausarbeitung des PTI vom 26. Oktober 2001 „Betrachtungen zum Standortbedarf für Basisstationen in einem bundesweiten digitalen Funknetz der BOS“ auch an die jeweiligen Mitglieder des A luK und des UA FEM gegangen war, erhielt das Polizeitechnische Institut (PTI) die Information, dass Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke vom Lehrstuhl für Kommunikationsnetze an der RWTH Aachen bereits im Auftrag der Zentralen Polizeitechnischen Dienste eine Studie über den „Aufwand im bundesweiten TETRA-Funknetz für die Realisierung des Funkruf-Dienstes“, Stand: 27. September 2001, erstellt hat.

In dieser Studie kommt Prof. Walke zu dem Schluss, dass für die Realisierung des Funkruf-Dienstes im bundesweiten TETRA-Netz ein Mehraufwand an Basisstationen von etwa 30 % erforderlich ist. Weil sich diese Aussage nicht im Einklang mit den Ergebnissen der o.g. Ausarbeitung des PTI befindet, sollen in dieser Klarstellung die festgestellten Unterschiede genauer beleuchtet werden.

## 2. Pfadverluste und Funkreichweiten für eine Pager-Versorgung

Prof. Walke geht in seiner ergänzenden Studie vom 27. September 2001 von den gleichen Randbedingungen aus wie in der ersten Studie vom 15. Dezember 2000 (z.B. Antennenhöhen der Basisstationen 40 m über Grund). Auf der Seite 11 berechnet er dann die Link Budgets einer Abwärtsstrecke zu einem TETRA-Pager für die Ausbreitungsgebiete Innenstadt und Umland bei Verwendung rundstrahlender Antennen und differenziert dabei weiterhin zwei unterschiedliche Versorgungswahrscheinlichkeiten von 95 % und 98 %. Während in einem Sprechfunknetz ein Versorgungsgrad von 95 % akzeptabel erscheint, wird man für die Funkalarmierung vermutlich eher einen Versorgungsgrad von 98 % sichergestellt wissen wollen. Der höhere Versorgungsgrad erfordert nach Walke allerdings die Berücksichtigung eines um ca. 3 dB höheren Pfadverlustes.

Betrachtet werden soll nur der Versorgungsgrad 95 %, von dem auch in der ersten Studie und in den bisherigen Betrachtungen ausgegangen worden ist. Hierfür werden maximal nutzbare Pfadverluste auf der Funkstrecke von 123 dB für die Innenstadt und 125,4 dB für Umlandbereiche ermittelt.

Die gleichen Werte für die Pfadverluste bei der Funkalarmierung finden sich auch in der Anlage 4.1 der Ausarbeitung des PTI vom 26. Oktober. Obwohl Prof. Walke anstatt 25 Watt (44 dBm) wieder 40 Watt (46 dBm) Sendeleistung der Basisstationen zugrunde legt, wird dieser Gewinn kompensiert durch höher angesetzte Verluste im Link Budget. Die sich ergebenden nutzbaren Pfadverluste sind daher zufällig gleich.

Wie jedoch schon in der ersten Ausarbeitung des PTI ausgeführt worden ist, kann eine genauere Berechnung ohnehin erst dann vorgenommen werden, wenn verlässliche Daten zum „Empfangssystem Pager“ vorliegen.

Ausgehend von den genannten nutzbaren Pfadverlusten kommt Prof. Walke in seiner Studie für eine Pager-Versorgung zu den gleichen Funkreichweiten, wie sie auch in der Ausarbeitung des PTI zu finden sind (vergleiche Tabelle 3.4 auf Seite 13 der Walke-Studie mit Anlage 4.1 der Ausarbeitung des PTI). Diese theoretischen Funkreichweiten betragen für die vier von Walke definierten Ausbreitungsbereiche:

- Innenstadt, Suburban: 2,871 km
- Innenstadt, Rural: 4,751 km
- Umland, Suburban: 3,372 km
- Umland, Rural: 5,578 km

### 3. Erforderlicher Bedarf an Standorten für Basisstationen

Bis hierher besteht noch grundsätzliche Übereinstimmung, doch beim nächsten Schritt geht Prof. Walke von einem gedanklich falschen Ansatz aus. Es geht nicht darum, den Gesamtbedarf an Basisstationen für ein eigenständiges Funkrufnetz auf TETRA-Basis zu ermitteln, sondern es geht darum, ausgehend von einem fiktiven Sprech- und Datenfunknetz (siehe heutige Anlage 1) den zusätzlichen Mehrbedarf an TETRA-Basisstationen zu bestimmen, der für eine bundesweit flächendeckende Pager-Versorgung erforderlich wäre. Dieser Mehrbedarf an Basisstationen darf daher nicht aus dem Bedarfsunterschied zwischen dem fiktiven Sprech- und Datenfunknetz (3.986 Standorte) und einem reinen Funkrufnetz (5.231 Standorte) errechnet werden!

Prof. Walke rechnet für alle Ausbreitungsbereiche mit den theoretischen Funkreichweiten zur Pager-Versorgung, so, als ob ausschließlich Pager zu betrachten wären. Die Tatsache, dass in den Innenstadtbereichen mit Inhouse-Versorgung für Handfunkgeräte aufgrund der geringeren Reichweiten der Aufwärtsstrecke bereits mehr Standorte für Basisstationen erforderlich sind, berücksichtigt Walke an dieser Stelle nicht. Deshalb kommt Walke für das reine Funkrufnetz auf einen Gesamtbedarf von 5.231 Standorten für Basisstationen in der Bundesrepublik Deutschland. Wie aus der Anlage 2 zu dieser Klarstellung ersichtlich ist, lässt sich der genannte Standortbedarf rechnerisch auch exakt nachvollziehen.

Demgegenüber hat das PTI bei Anwendung gleicher Berechnungsmethoden einen Gesamtbedarf von 6.095 Standorten zur Pager-Versorgung in der Bundesrepublik ermittelt. Dieser höhere Standortbedarf ergibt sich daraus, dass für die Innenstadtbereiche mit Inhouse-Versorgung der dort festgestellte Bedarf als feste Größe unangetastet bleibt, auch wenn in diesen Bereichen für eine Pager-Versorgung eine geringere Anzahl an Basisstationen ausreichend wäre.

Betrachtet werden folglich nur die Umlandbereiche ohne Inhouse-Versorgung (siehe heutige Anlage 3). Dabei werden die Funkreichweiten für die Aufwärtsstrecke von Handfunkgeräten (Anlage 1) verglichen mit den in diesen Bereichen geringeren Reichweiten für die Abwärtsstrecke zu einem TETRA-Pager (Anlage 2). Die Unterschiede bei den Reichweiten führen zu Unterschieden in der Größe der versorgten Zellflächen und schließlich zu unterschiedlichen Standortzahlen für Basisstationen. Die Differenz der ermittelten Standortzahlen entspricht dann genau dem erforderli-

chen Mehrbedarf für eine flächendeckende Pager-Versorgung in dem zu betrachtenden Sprech- und Datenfunknetz.

#### **4. Ergebnis**

Ausgehend von den von Prof. Walke selbst errechneten 3.986 Basisstationen für ein TETRA-Sprechfunknetz in der Bundesrepublik, in dem eine Inhouse-Versorgung nur in den Innenstadtbereichen erreicht wird, ergibt sich für eine bundesweit flächendeckende Pager-Versorgung in diesem Fall ein Mehrbedarf von 2.109 Basisstationen. Zusammen beläuft sich der Gesamtbedarf dann auf 6.095 Standorte!

Prozentual ausgedrückt beträgt der Mehrbedarf nach dieser Rechnung – bezogen auf 3.986 Basisstationen für das Sprechfunknetz – bereits über 50 %. Betrachtet man ausschließlich die Umlandbereiche, in denen ja der Mehrbedarf wegen der dort fehlenden Inhouse-Versorgung für Handfunkgeräte eigentlich auch entsteht, dann bedeuten zusätzliche 2.109 Basisstationen – bezogen auf benötigte 2.214 Basisstationen für das Sprechfunknetz – sogar einen Mehrbedarf von 95 %.

#### **Anmerkung:**

An dieser Stelle muss noch einmal ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass die Angaben zu den benötigten Standorten für Basisstationen keine absoluten Zahlen sein können. Die Angaben sollen nur einen generellen Anhaltspunkt geben und dienen in erster Linie als „Größenordnung“ für Vergleichsbetrachtungen.

Bei einer Funknetzplanung wären sowohl die topographischen Gegebenheiten eines Landes als auch solche Gebiete zu berücksichtigen, in denen man z.B. niemanden alarmieren muss und in denen man auch definitiv keine Funkabdeckung für Handfunkgeräte braucht (z.B. in den Tiefen des Schwarzwaldes oder Bayerischen Waldes oder auf dem wirklich „platten Land“).

Grundsätzlich gilt jedoch die Aussage, dass für den Funkruf-Dienst der Mehrbedarf an Basisstationen in dem Maße zurückgeht, wie für Handfunkgeräte im Funknetz zunehmend eine Inhouse-Versorgung realisiert wird!

gez.: Horst Beckebanze

**Link-Budget, Funkreichweite und Anzahl der Standorte in Deutschland, berechnet für die Aufwärtsstrecke mit einem TETRA-Handfunkgerät:**

**Es dürfen nur Zahlenwerte in den grünen Feldern verändert werden!**

<b>I. Berechnung des Link-Budget</b>		<b>Werte nach Prof. Walke</b>	
<b>Inhouse-Versorgung nur in den Innenstadtbereichen! (etwa 6 % der Fläche der BRD)</b>			
		<b>Innenstadt:</b>	<b>Umland:</b>
Sendeleistung Handfunkgerät	1 Watt =	30 dBm	30 dBm
Antennengewinn Handfunkgerät		-3 dB	-3 dB
Körperverlust		-5 dB	-5 dB
Gebäudeverlust		-10 dB	0 dB
Schwundreserve		-15 dB	-12,6 dB
Antennengewinn Basisstation		8 dB	8 dB
Antennenkabelverluste Basisstation		-2 dB	-2 dB
Verlust Filter/Verteiler Basisstation		-3 dB	-3 dB
Diversitätsgewinn Basisstation		3 dB	3 dB
	Verbleib:	3 dBm	15,4 dBm
Empfänger-Empfindlichkeit Basisstation		-115 dBm	-115 dBm
maximal nutzbarer Pfadverlust auf der Funkstrecke:		118 dB	130,4 dB

**II. Berechnung der Funkreichweiten (R)**

Frequenz	f = 392 MHz	Es werden die genannten Formeln nach Okumura/Hata angewendet!
Antennenhöhe Basisstation	h <sub>B</sub> = 40 m	
Antennenhöhe Handfunkgerät	h <sub>M</sub> = 1,5 m	

	Fläche Kreis:	nach Walke:	Fläche Hexagon:
<b>a) Innenstadt, Suburban, Inhouse-Versorgung</b> R <sub>SA</sub> = 2,055 km --->	13,26 km <sup>2</sup>	11,94 km <sup>2</sup>	10,97 km <sup>2</sup>
<b>b) Innenstadt, Rural, Inhouse-Versorgung</b> R <sub>RA</sub> = 3,400 km --->	36,31 km <sup>2</sup>	32,68 km <sup>2</sup>	30,03 km <sup>2</sup>
<b>c) Umland, Suburban, <u>keine</u> Inhouse-Versorg.</b> R <sub>SA</sub> = 4,711 km --->	69,73 km <sup>2</sup>	62,76 km <sup>2</sup>	57,67 km <sup>2</sup>
<b>d) Umland, Rural, <u>keine</u> Inhouse-Versorgung</b> R <sub>RA</sub> = 7,795 km --->	190,90 km <sup>2</sup>	171,81 km <sup>2</sup>	157,87 km <sup>2</sup>

**III. Berechnung der erforderlichen Zahl an Standorten für Basisstationen**

<b>Fläche der BRD: 356.601 km<sup>2</sup></b>		Standorte:	Standorte:	Standorte:
<u>davon:</u>				
a)	5,82% 20.739 km <sup>2</sup>	1.564	1.737	1.891
b)	0,32% 1.143 km <sup>2</sup>	31	35	38
c)	7,37% 26.267 km <sup>2</sup>	377	419	455
d)	86,50% 308.452 km <sup>2</sup>	1.616	1.795	1.954
100,00%	356.601 km <sup>2</sup>	<b>Gesamtzahl: 3.588</b>	<b>3.986</b>	<b>4.338</b>

**Link-Budget, Funkreichweite und Anzahl der Standorte in Deutschland, berechnet für die Abwärtsstrecke zu einem TETRA-Pager**

**I. Link-Budget für eine Pager-Versorgung**

Prof. Walke hat als maximal nutzbaren Pfadverlust auf der Funkstrecke für die Innenstadt 123 dB und für Umlandbereiche 125,4 dB errechnet (Verwendung rundstrahlender Antennen, Versorgungsgrad 95%).

	Innenstadt:	Umland:
maximal nutzbarer Pfadverlust auf der Funkstrecke:	123 dB	125,4 dB

**II. Funkreichweiten (R) und Zellflächen**

Ausgehend von den o.g. Werten ergeben sich die nachstehenden Funkreichweiten:

Frequenz	f = 392 MHz	Es werden die genannten Formeln nach Okumura/Hata angewendet!
Antennenhöhe Basisstation	$h_B = 40$ m	
Antennenhöhe Pager	$h_M = 1,5$ m	

**a) Innenstadt, Suburban, Pager-Versorgung**

$R_{SA} = 2,871$  km --->

**b) Innenstadt, Rural, Pager-Versorgung**

$R_{RA} = 4,751$  km --->

**c) Umland, Suburban, Pager-Versorgung**

$R_{SA} = 3,372$  km --->

**d) Umland, Rural, Pager-Versorgung**

$R_{RA} = 5,578$  km --->

Fläche Kreis:	nach Walke:	Fläche Hexagon:
25,90 km <sup>2</sup>	23,31 km <sup>2</sup>	21,42 km <sup>2</sup>
70,91 km <sup>2</sup>	63,82 km <sup>2</sup>	58,64 km <sup>2</sup>
35,72 km <sup>2</sup>	32,15 km <sup>2</sup>	29,54 km <sup>2</sup>
97,75 km <sup>2</sup>	87,97 km <sup>2</sup>	80,84 km <sup>2</sup>

**III. Standortbedarf für Basisstationen zur Pager-Versorgung**

<b>Fläche BRD:</b>	<b>356.601 km<sup>2</sup></b>	Standorte:	Standorte:	Standorte:
davon:				
a) 5,82%	20.739 km <sup>2</sup>	801	890	968
b) 0,32%	1.143 km <sup>2</sup>	16	18	19
c) 7,37%	26.267 km <sup>2</sup>	735	817	889
d) 86,50%	308.452 km <sup>2</sup>	3.156	3.506	3.816
100,00%	356.601 km <sup>2</sup>	<b>Gesamtzahl: 4.708</b>	<b>5.231</b>	<b>5.693</b>

## Mehrbedarf an Basisstationen, wenn Paging sichergestellt werden soll:

1. Wenn **bundesweit** eine **flächendeckende Inhouse-Versorgung** sichergestellt wird, werden für Paging keine zusätzlichen Basisstationen benötigt!
2. Wenn eine **Inhouse-Versorgung** nur in den **Innenstadtbereichen** sichergestellt wird, benötigt man eine Verdichtung der Basisstationen im Umlandbereich, und zwar:

### 2.1 Reichweiten und Zellflächen

**Es müssen nur die Umlandbereiche betrachtet werden!**

#### Reichweiten in Umlandbereichen für HRT. uplink

c) Umland, Suburban, keine Inhouse-Versorgung

$$R_{SA} = 4,711 \text{ km}$$

d) Umland, Rural, keine Inhouse-Versorgung

$$R_{RA} = 7,795 \text{ km}$$

#### Reichweiten in Umlandbereichen zu Pagern. downlink

c) Umland, Suburban, Pager-Versorgung

$$R_{SA} = 3,372 \text{ km}$$

d) Umland, Rural, Pager-Versorgung

$$R_{RA} = 5,578 \text{ km}$$

#### Zellflächen:

Kreis:	Walke:	Hexagon:
69,72 km <sup>2</sup>	62,75 km <sup>2</sup>	57,66 km <sup>2</sup>
190,89 km <sup>2</sup>	171,80 km <sup>2</sup>	157,86 km <sup>2</sup>
35,72 km <sup>2</sup>	32,15 km <sup>2</sup>	29,54 km <sup>2</sup>
97,75 km <sup>2</sup>	87,97 km <sup>2</sup>	80,84 km <sup>2</sup>

### 2.2 Standorte für Basisstationen in der BRD

Fläche Umland, Suburban: 26.267 km<sup>2</sup>

Fläche Umland, Rural: 308.452 km<sup>2</sup>

	Standorte:	Standorte:	Standorte:
Anzahl Basisstationen <u>ohne</u> Inhouse-Versorgung Suburban:	377	419	456
Anzahl Basisstationen <u>ohne</u> Inhouse-Versorgung Rural:	1.616	1.795	1.954
<b>Summen:</b>	<b>1.993</b>	<b>2.214</b>	<b>2.409</b>
Anzahl Basisstationen für <u>Pager</u> -Versorgung Suburban:	735	817	889
Anzahl Basisstationen für <u>Pager</u> -Versorgung Rural:	3.156	3.506	3.816
<b>Summen:</b>	<b>3.891</b>	<b>4.323</b>	<b>4.705</b>
<b>Mehrbedarf an Basisstationen:</b>	<b>1.898</b>	<b>2.109</b>	<b>2.295</b>

Hinzu kommen die bereits berechneten 3.986 Standorte für ein TETRA-Funknetz in der Bundesrepublik. Insgesamt ergibt sich somit folgender Gesamtbedarf:

<b>Gesamtbedarf an Basisstationen:</b>	<b>5.486</b>	<b>6.095</b>	<b>6.633</b>
--	--------------	--------------	--------------