

# 1 Einführung Voice over IP (VoIP) allgemein

## 1.1 Überblick

In der Geschichte der Telekommunikation gab es immer wieder Technologiewechsel, die die Netze leistungsfähiger oder kostengünstiger im Aufbau bzw. Betrieb machten. Die vorerst letzte große Revolution liegt in der Einführung von VoIP, bei dem erstmals die klassischen leitungsorientierten Sprachverbindungen (analog o. ISDN) nicht zum Einsatz kommen. Bei einer VoIP-Verbindung wird die Sprache wie im klassischen Netz zunächst digitalisiert (s. PCM/G.711) anschließend ggf. komprimiert <sup>1</sup> und dann auf einzelne IP-Pakete verteilt und zum Ziel transportiert. Dort werden die Daten wieder zurück in ein hörbares Signal umgewandelt.

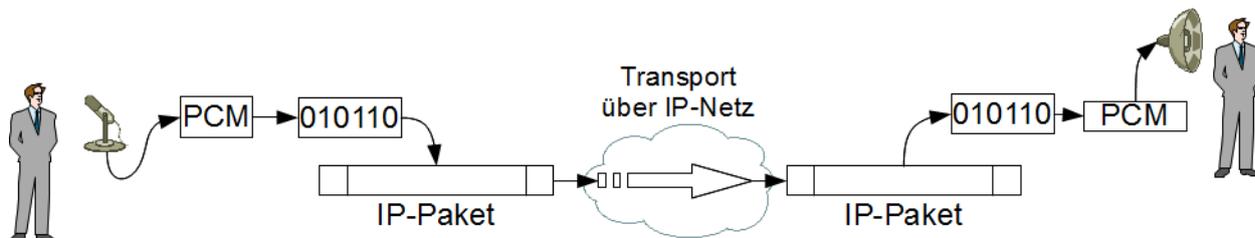


Abbildung 1: Sprachtransport über IP-Netze

Dieser Ansatz wurde bereits in den 90er Jahren (damals ohne Markterfolg) von einigen Herstellern verfolgt. Unter Windows kam beispielsweise das Programm *netmeeting* zum Einsatz. Das größte Hindernis waren damals die **zu geringen Übertragungsraten** bei den Anschlüssen sowie die **nach Minuten abgerechneten Datentarife**. Erst Anfang der 00er konnte dieser Engpass durch die flächendeckende Einführung von DSL <sup>2</sup> und entsprechender **Flatrates** beseitigt werden. Auch im Bereich der Standards für VoIP kam durch die Einführung von SIP <sup>3</sup> Bewegung. Bis dahin galt der **ITU-Standard H.323** <sup>4</sup> als „der VoIP-Standard“. Der Markterfolg für H.323 blieb allerdings aus, da der Standard bereits im kleinsten Aufbau sehr viele Netzkomponenten und die Implementierung eines sehr komplexen Protokolls voraussetzte. SIP hingegen hat sich an den HTTP-Standard angelehnt und sich auf das Wesentliche beschränkt. Unter anderem hat die Reduktion der Komplexität SIP zum großen Durchbruch verholfen. Allerdings hat diese *Einfachheit* auch ihre Tücken, wie in Kapitel 4 weiter unten erläutert wird.

## 1.2 SIP als Basis für moderne VoIP-Netze

Neben SIP gibt es eine Fülle weiterer VoIP-Protokolle. Die folgenden Protokolle zählen zu den wichtigsten bzw. bekanntesten.

Name	Einsatzgebiet
H.323	ITU-Standard keine große Verbreitung; sehr stabil
Skinny	Proprietäres Cisco Protokoll, vor allem in diesen Netzen anzutreffen
Skype	Proprietäres Microsoft Protokoll; ursprünglich von ehemaligen Kazaa Programmierern entwickelt
WhatsApp	Text- und Sprach-Messenger, der SMS in vielen Ländern verdrängt
Teamspeak	Keine Vermittlung möglich; hauptsächlich im Online-Gaming-Bereich eingesetzt

SIP hat sich vor allem auf dem Teilstück zum Kunden und im LAN-Bereich durchgesetzt. Prominente Beispiele für SIP-basierte Soft- und Hardware sind:

- AVM (Fritz!Box), Grandstream (IP-Phones), Cisco (IP-Phones und Server), Snom (IP-Phones)
- Asterisk (TK-Software), OpenSER(SIP-Proxy)

Innerhalb der Carrier-Netze wird SIP zum Teil durch andere Protokolle wie MGCP/Megaco <sup>5</sup> ergänzt. Durch den Einsatz von SIP ergaben sich neue Aufgabenstellungen, die im H.323 bereits gelöst waren. Eines dieser Probleme ist das sogenannte Session-Handling in lokale Netze hinein bzw. daraus heraus (vgl. Kapitel 4.2).

<sup>1</sup>Bekannte Codecs: G.729, GSM, Speex, iLBC, G.726

<sup>2</sup>DSL: Digital Subscriber Line; Digitale Anschlussleitung

<sup>3</sup>SIP: Session Initiation Protocol; Signalierungsprotokoll ähnlich aufgebaut wie HTTP-Standard

<sup>4</sup>H.323: VoIP-Protokoll wurde als IP-basierter Nachfolger für ISDN entwickelt.

<sup>5</sup>MGCP / Megaco: Media Gateway Control Protocol; internes Protokoll zwischen vermittelnden Netzelementen

### 1.3 Netzkomponenten in VoIP-Systemen

Die folgende Abbildung zeigt die einfachste Variante in einem VoIP-Netz bei der die **IP-Phones (Soft- oder Hardphone)** direkt über ein vermittelndes Netzelement (**SIP-Proxy**) miteinander verbunden werden. Die nächste Abbildung zeigt die Anbindung der VoIP-Netze über ein **Media-Gateway** an das klassische Telefonnetz (POTS bzw. ISDN)<sup>6</sup>, womit Telefonate zwischen der alten und der neuen Technologie ermöglicht werden. Ein **ATA**<sup>7</sup> ist ein Adapter, der die Nutzung von analogen oder ISDN-Telefonen am IP-Netz ermöglicht. Er ist vergleichbar mit dem **TA** für analoge Telefone im ISDN-Netz.

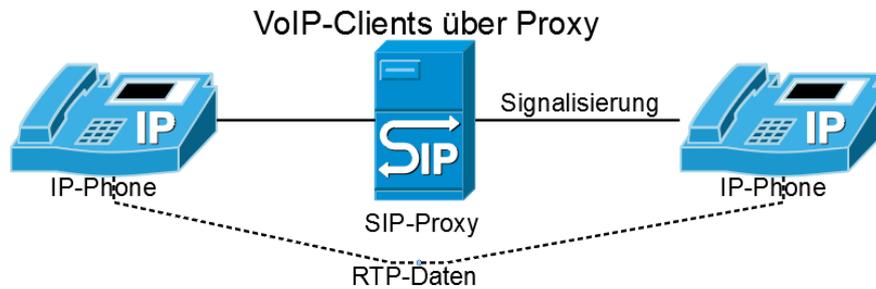


Abbildung 2: Vereinfachter Aufbau eines VoIP-Netz

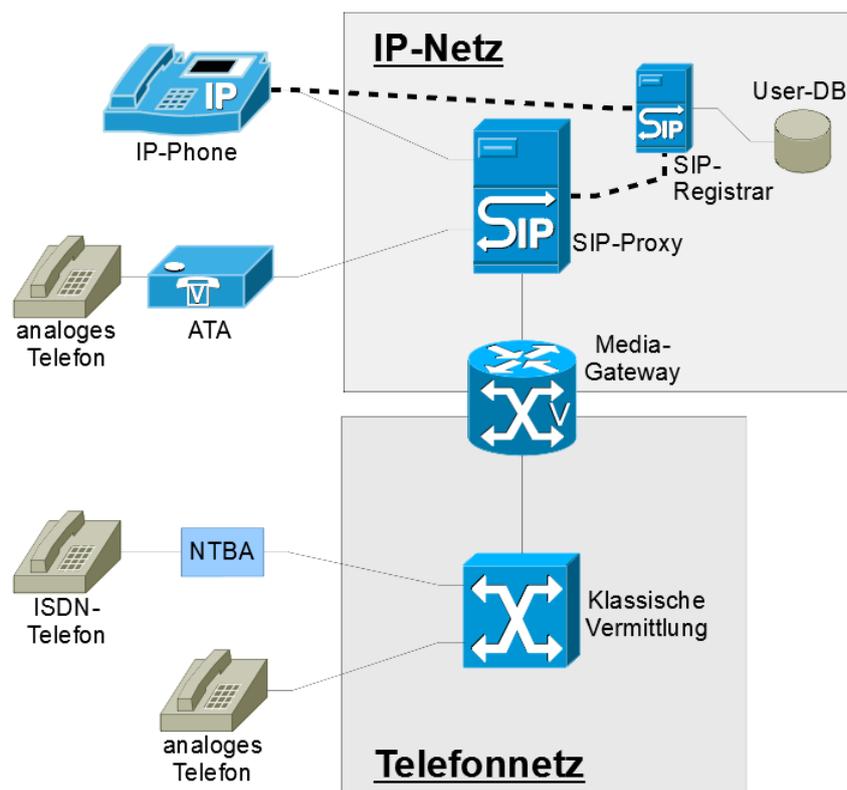


Abbildung 3: Verbindung zwischen VoIP- und klassischen Netzen

<sup>6</sup>POTS: plain old telephone service; analoger Telefonanschluss; ISDN: Integrated Services Digital Network digitales Telefonnetz

<sup>7</sup>ATA: Analog Telephone Adapter; VoIP zu analog Adapter beinhaltet VoIP-Client

## 2 Eigenschaften von SIP

- Standard: IETF<sup>8</sup> RFC<sup>9</sup> 2543
- Protokoll ist ähnlich wie HTTP/SMTP aufgebaut (s. Fehler/Statuscodes)
- User Agent<sup>10</sup> zur Identifikation des Clients
- Authentifikation über username/password notwendig (wegen Ortsungebundenheit)
- Adressierung des Ziels über URI<sup>11</sup> (vgl. HTTP)
- SDP<sup>12</sup> zur Beschreibung der RTP-Inhalte<sup>13</sup> (Was wird wie übertragen?)

### 2.1 VoIP-Verbindungen

#### 2.1.1 Einfacher Auf-/Abbau

Das folgende Bild zeigt den prinzipiellen Verbindungsauf-/abbau direkt zwischen zwei Clients. Dabei wird vorausgesetzt, dass die Clients ihre jeweilige IP-Adresse kennen.

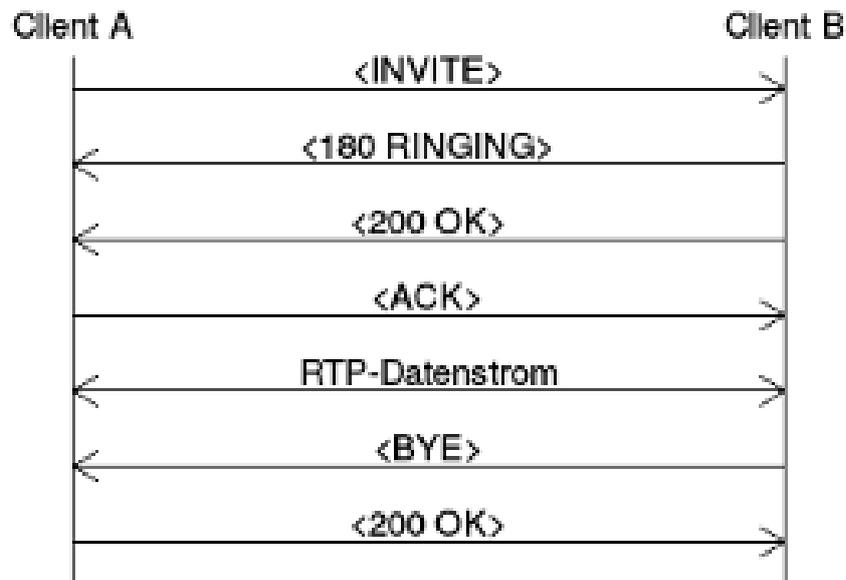


Abbildung 4: Vereinfachter Verbindungsaufbau

Im Normalfall wird allerdings wie bei den klassischen Telekommunikationsnetzen ein vermittelndes Netzelement (Vermittlung) benötigt. Dieses wird in SIP-Netzen **SIP-Proxy**<sup>14</sup> genannt. Weiterhin wird zusätzlich noch ein **Account-Verwaltungsnetzelement** der sogenannte **SIP-Registrar** benötigt. Da anders als im ISDN-Netz **keine ortsgebundenen Anschlüsse** für die Verbindung im VoIP-Netz verwendet werden, ist eine Lokalisation der Nutzer über deren IP-Adresse notwendig. Der Nutzer muss sich also zunächst am Registrar per username/password anmelden, damit er von anderen Teilnehmern über seine Rufnummer erreicht werden kann. In der User-DB werden die folgenden Daten miteinander verknüpft:

- username / password (statisch)
- **Rufnummern** (statisch)
- **IP-Adresse** (temporär)

Innerhalb des VoIP-Core-Netzes werden, wie oben erläutert, andere Protokolle als SIP verwendet (vgl. Kapitel 1.2 und 3.3). Die vollständige Kommunikation mittels SIP-Proxy und Registrar wird in der folgenden Abbildung dargestellt.

<sup>8</sup>IETF: Internet Engineering Task Force; Standardisierungsgremium für Internet-Technologien

<sup>9</sup>RFC: Request For Comments; "Standards", die Internet-Technologien beschreiben

<sup>10</sup>UA: User Agent; Information über Client; vgl Browser UA-Information bei HTTP-Request

<sup>11</sup>URI: Uniform Resource Identifier; Oberbegriff zu URL - Locator und URN - Name

<sup>12</sup>SDP: Session Description Protocol; Definition der RTP Parameter

<sup>13</sup>RTP: Real-time Transport Protocol; Protokoll zur Übertragung von Echtzeitmedien wie Sprache oder Video

<sup>14</sup>SIP-Proxy: Vermittlungsanlage im VoIP-Netz; Vergleiche DIVO bzw. VSt im ISDN-Netz

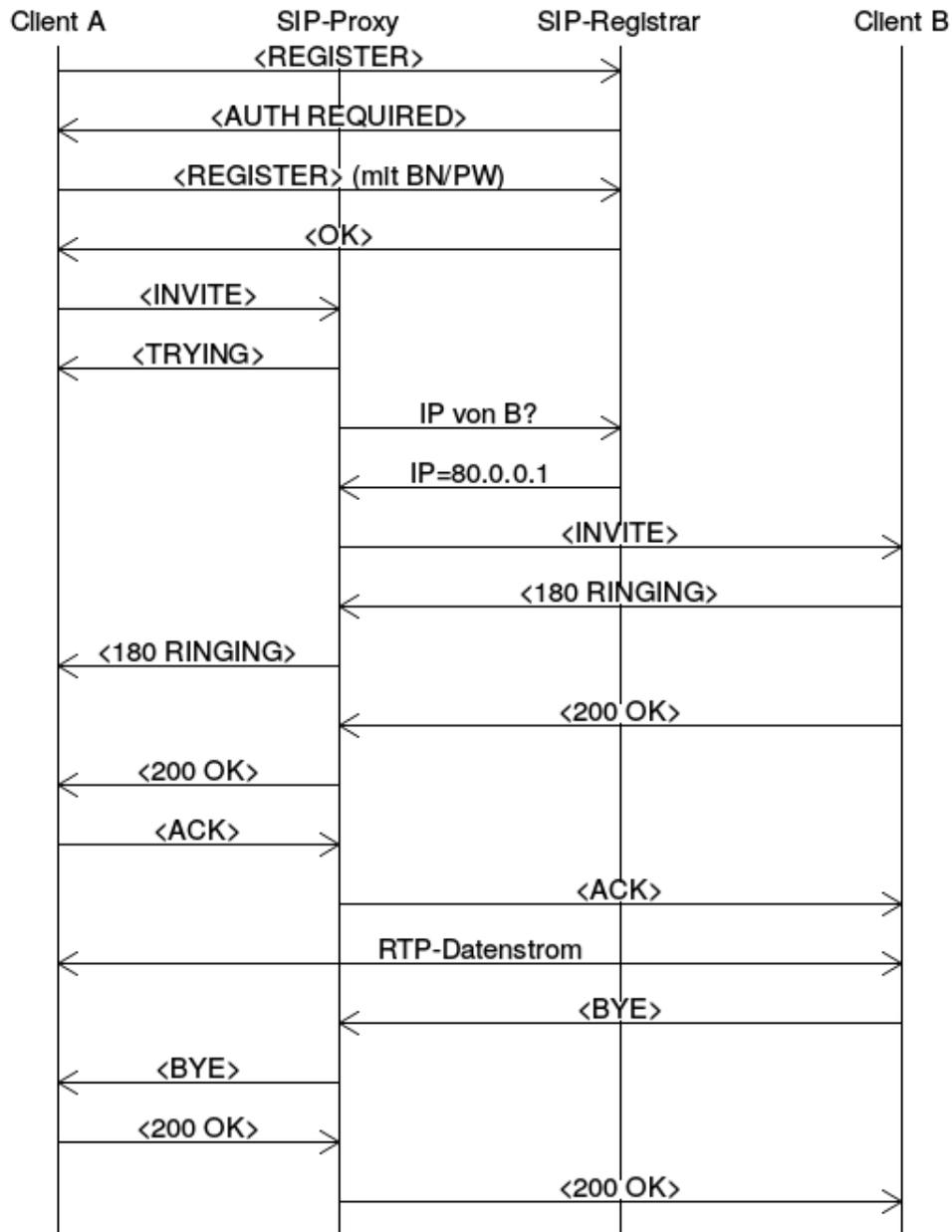


Abbildung 5: Vollständiger Verbindungsauf-/abbau über zentrale Elemente

### 2.1.2 Besonderheit bei SIP-Verbindungen

Gegenüber ISDN gibt es bei VoIP einige Besonderheiten von denen hier exemplarisch das **Reregister** und das **Forking** erläutert werden. Da sich ein VoIP-Client aktiv am Registrar anmelden muss, damit dieser die IP-Adresse speichern kann, ist es notwendig in definierten Zeitabständen die Registrierung zu erneuern (**Reregister**). Hierzu teilt der Registrar per *expire*-Feld dem Client mit, nach welcher Zeit dieser sich erneut registrieren muss. Bleibt die Registrierung aus, markiert der Registrar den betreffenden Client als nicht verfügbar. Die Timer werden in der Regel auf einige Minuten gesetzt, damit der Register-Aufkommen nicht zu groß wird. Dies hat den Nachteil, dass erst relativ spät das System einen Client als nicht verfügbar erkennt. Im ISDN-Netz passiert die innerhalb weniger Sekunden.

Unter **Forking** versteht man das gleichzeitige Signalisieren eines Calls an mehreren VoIP-Clients, die unter unterschiedlichen IP-Adressen erreichbar sind. Eine solche Technik ist im ISDN-Netz auf Grund der festen Zuordnung zwischen Rufnummer und Anschluss nicht realisierbar.

### 3 Das SIP-Protokoll

#### 3.1 Protokollstack

Die folgende Abbildung zeigt die jeweiligen **Protokoll-Stacks von VoIP und ISDN**. Da bei ISDN durch die Verkabelung bereits eine vorkonfigurierte Zuordnung von Rufnummern zu Teilnehmern existiert, ist die zusätzliche Adressierungsebene der Endteilnehmer (IP) überflüssig. Ebenso ist durch die Multiplexstruktur die Zuordnung zu den einzelnen Kanälen (B bzw. D-Kanal) ebenfalls fix. Bei VoIP muss per UDP-Port diese Zuordnung vorgenommen werden. Insgesamt ist ISDN damit das schlankere Protokoll-System. Wenn auch aufwendiger in der Implementierung.

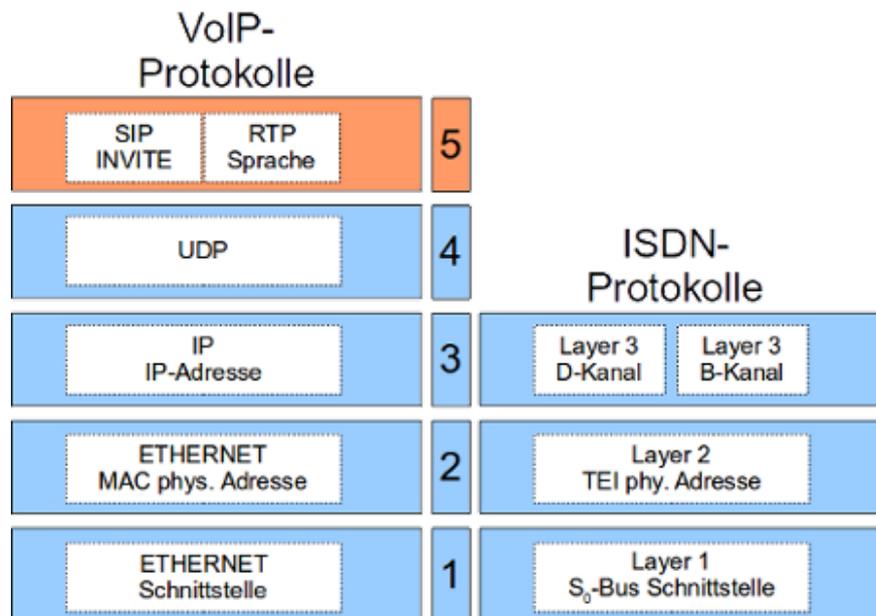


Abbildung 6: VoIP- und ISDN-Protokoll-Stacks

#### 3.2 Aufbau von SIP-Nachrichten

Eine **SIP-Nachricht ist sehr ähnlich einer HTTP-Nachricht** aufgebaut. Es gibt im wesentlichen **Requests und Responses**. In einer request-Nachricht werden Anfragen und teils auch Quittungen (ACK) transportiert. Insbesondere die response-Nachrichten wurden stark an HTTP angelehnt. Die folgende Tabelle zeigt exemplarisch die wichtigsten Nachrichten (vgl. Kapitel 2.1)

Informational<sup>15</sup>

<sup>15</sup>Informational wird manchmal auch als **provisional** bezeichnet.

Code	SIP	HTTP	Request/Response	Klasse / Erläuterung
100	Trying	Continue	Response	Informational
180	Ringing		Response	Informational
200	OK	OK	Response	Success
401	Unauthorized	Unauthorized	Response	Client-Error
404	Not Found	Not Found	Response	Client-Error
	INVITE		Request	Aufbauwunsch
	BYE		Request	Abbauwunsch
	ACK		Request	Quittung
	REGISTER		Request	Anmeldung
	SUBSCRIBE		Request	Presence Management
	NOTIFY		Request	Presence Management

### 3.2.1 request-Nachrichten

Die folgende Tabelle zeigt den prinzipiellen Aufbau einer SIP-request-Nachricht.

Erläuterung	Nachrichtenfelder
Start-Zeile:	Method Request-URI SIP-Version
Message-Header:	Header-Feld
Message-Header:	...
Message-Header:	Header-Feld
Leerzeile:	
Optionale Nutzdaten: z.B. SDP	Message-Body

Als Beispiel soll hier der INVITE-Request genauer untersucht werden.

Bedeutung	Nachrichtenfelder
method URI version	INVITE sip:amy@peng.de SIP/2.0
transport protocol proxy	Via: SIP/2.0/UDP proxy.peng.de
B-Teilnehmer	To: Berny Bernd <a href="mailto:sip:berny@peng.de">sip:berny@peng.de</a>
A-Teilnehmer	From: Amy Amilia <a href="mailto:sip:amy@peng.de">sip:amy@peng.de</a>
Identification	Call-ID:4711@proxy.peng.de
command sequence number	Cseq: 1 INVITE
LEERZEILE (Trenner)	
version: SDP-Version "owner: username session-id version network/IP type source-IP"	v=0 o=sip:amy@peng.de 123123 456456 IN IP4 80.0.0.1
session: Beschreibung	s=Hallo Berny
time: Start Stop	t=0 0
media: Typ Port Formate	m=audio 3000 rtp/avp 0 2
attribute: Type Codec / Rate	a=rtpmap: 0 PCM / 8000
attribute: Type Codec / Rate	a=rtpmap: 2 G721 / 8000

### 3.2.2 response-Nachrichten

Die folgende Tabelle zeigt den prinzipiellen Aufbau einer SIP-response-Nachricht.

Erläuterung	Nachrichtenfelder
Start-Zeile:	SIP-Version Status-Code Reason
Message-Header:	Header-Feld
Message-Header:	...
Message-Header:	Header-Feld
Leerzeile:	
Optionale Nutzdaten: z.B. SDP	Message-Body

Die RINGING-Response als detailliertes Beispiel:

Bedeutung	Nachrichtfelder
version code reason	SIP/2.0 180 RINGING
transport protocol proxy	Via: SIP/2.0/UDP proxy.peng.de
B-Teilnehmer	To: Berny Bernd sip:berny@peng.de
A-Teilnehmer	From: Amy Amilia sip:amy@peng.de
Identification	Call-ID:4711@proxy.peng.de
command sequence number	Cseq: 1 INVITE

### 3.3 Weitere Protokolle im VoIP-Umfeld

Die notwendige Kommunikation zum Verbindungsaufbau findet zwischen den vermittelnden Netzelementen (**Proxy, Registrar, SBC<sup>16</sup>, Media-Gateway, Media-Proxy**) im Normalfall nicht über SIP statt, sondern über andere Protokolle, die auf die Wegefingung optimiert sind. Beispiele für diese Protokolle sind wie bereits erläutert **MGCP** und **Megaco**. Auf eine detaillierte Darstellung dieser Protokolle wird hier verzichtet, da diese Protokolle nur innerhalb der Provider-Netze zum Einsatz kommen und sich damit außerhalb der betrieblichen Strukturen befinden.

## 4 Mögliche Probleme beim Einsatz von VoIP

### 4.1 Priorisierung / Paketverlust

Meist wird VoIP aus Kostengründen parallel zu weiteren Datendiensten auf einer DSL oder ähnlichen Verbindung verwendet. Damit ist zunächst nicht sichergestellt, dass der echtzeitsensitive VoIP-Anteil bei Engpässen immer mit Vorrang behandelt wird. Um dies zu erreichen gibt es mehrere Mechanismen.

- Einsatz von **VLANs** (s. NGN<sup>17</sup> VDSL)
- Übertragung über **ATM<sup>18</sup> VCs<sup>19</sup>** (s. ADSL)
- Nutzung des **TOS-Feldes<sup>20</sup>** in IP-Header

Bei VLAN und ATM ähnelt sich die Vorgehensweise. Hier wird auf Schicht 2 eine Aufteilung der Datenströme vorgenommen. Das bedeutet, der VoIP-Anteil erhält einen eigenen Kanal (VLAN bzw. VC<sup>21</sup>). Dieser Kanal kann dann gegenüber dem Datenkanal priorisiert werden.

### 4.2 NAT-Router-Problem

Ein weiteres Problem kann durch **NAT-Router** entstehen. Das SIP-Protokoll sieht vor, dass die INVITE-Nachricht die IP-Adresse des Absenders enthält. Da aber ein VoIP-Client im lokalen Netz normalerweise mit einer privaten IP-Adresse arbeitet, kennt dieser die öffentliche IP-Adresse des NAT-Routers nicht. Ein NAT-Router tauscht die lokale (private) IP-Adresse durch seine öffentliche (globale) IP-Adresse aus. Das Problem kann durch einen sogenannten **STUN-Server<sup>22</sup>** gelöst werden. Dabei schickt der VoIP-Client eine Art ping-Anfrage an den STUN-Server. Die reply-Antwort enthält die öffentliche IP-Adresse, über die die Anfrage an den STUN-Server gestellt wurde.

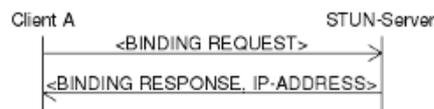


Abbildung 7: STUN-Anfrage

<sup>16</sup>SBC: session boarder controller; vorgelagertes System, fungiert zur Entlastung von Proxy und Registrar

<sup>17</sup>NGN: Next Generation Network; moderne öffentliche Netzstruktur; wird auch als All-IP bezeichnet

<sup>18</sup>ATM: Asynchronous Transfer Mode; Übertragungstechnik; Nachfolgetechnologie zu ISDN

<sup>19</sup>VC: Virtual Channel; Datenkanal im ATM-System; vgl. B-Kanal bei ISDN

<sup>20</sup>TOS: Type of Service; Priorisationsfeld im IP-Header

<sup>21</sup>VC: Virtual Channel; virtueller Kanal vergleichbar mit B-Kanal im ISDN

<sup>22</sup>STUN: Session Traversal Utilities for NAT; Hilfsdienst für VoIP hinter NAT-Routern; alt: simple traversal UDP over NAT



#### 4.4 Jitter / Zeitverzögerung

Echtzeitanwendungen sind sehr empfindlich bezüglich der **Synchronität der einzelnen Bits**. Durch **Jitter** und **unterschiedliche Laufzeiten** können Störungen entstehen. Jitter bedeutet hierbei, dass die Bits nicht exakt erkannt werden können, da die senkrechten Bit-Flanken „verschmieren“. Dies kann soweit führen, dass es zu einem sogenannten Bit-Slip kommt. D.h. die Erkennung eines Bits „rutscht“ in das Zeitfenster des nächsten Bits. Die Folge sind Störgeräusche, weil die Empfangsseite falsche Abtastwerte für die Rekonstruktion des Audio-Signal verwendet. Auf Grund von unterschiedlichen Wegen der IP-Pakete, kann es zu Zeitverzögerungen kommen. Dies äußert sich als Aussetzer. Insbesondere analoge FAX-Geräte reagieren auf die genannten Fehler sehr empfindlich bis hin zum Abbruch der Verbindung. Daher wurde speziell für diesen immer noch weitverbreiteten Anwendungsfall das **T.38**-Protokoll entwickelt. Dieses ist allerdings nicht weitverbreitet.

### 5 Migration von klassischer Telefonie zu VoIP

Die folgende Abbildung zeigt als Ausgangspunkt einen klassischen ISDN-Anschluss. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen jeweils mögliche Migrationszenarien hin zu einem vollständig auf VoIP basierend Anschluss. Es ist zu beachten, dass jeweils individuell und nach wirtschaftlichen, arbeitstechnischen und technischen Gesichtspunkten entschieden werden muss. Es gibt keine „Musterlösung“.

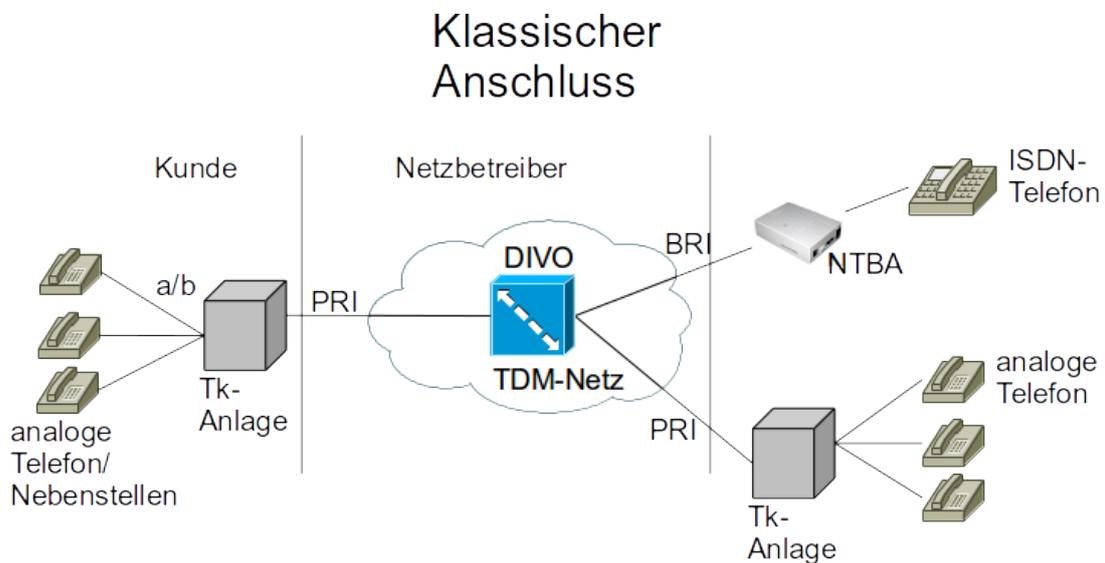


Abbildung 9: Klassischer ISDN-Anschluss

### VoIP-Migration Anschluss an NGN

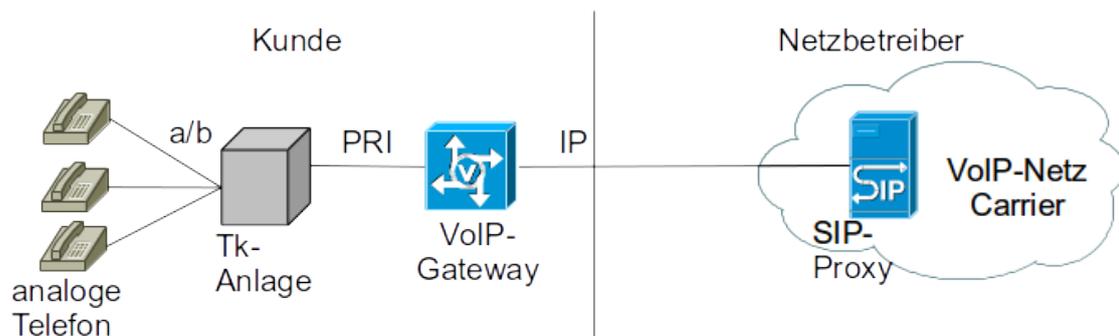


Abbildung 10: Intern alte ISDN-Anlage an NGN angeschlossen

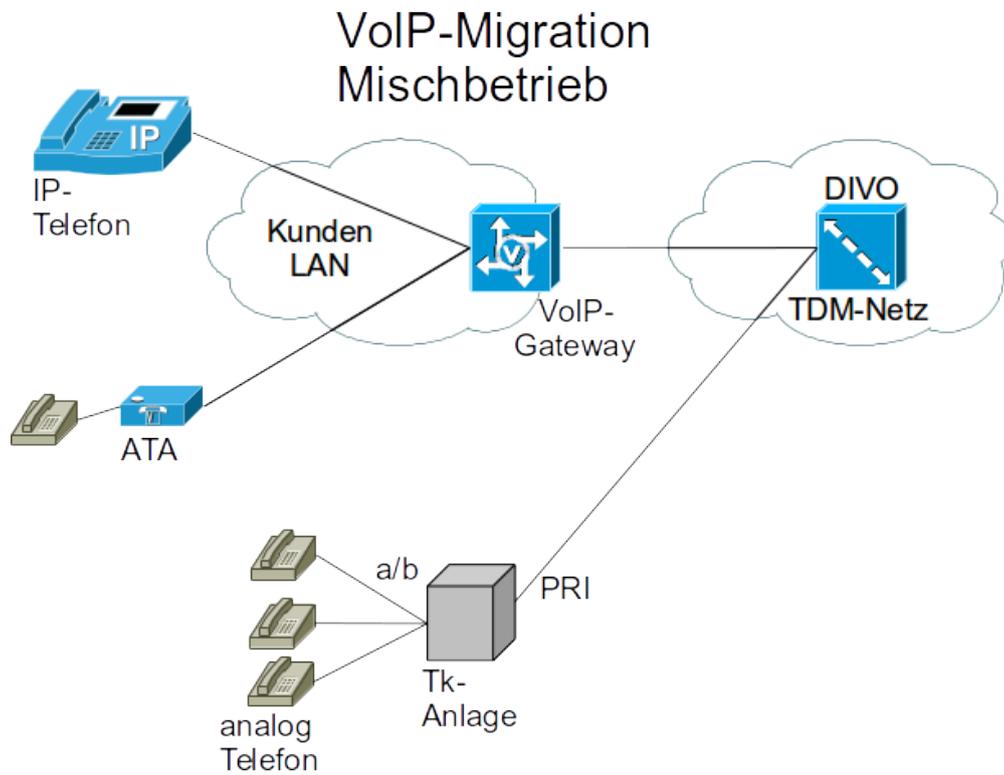


Abbildung 11: Mischbetrieb teils ISDN teils VoIP

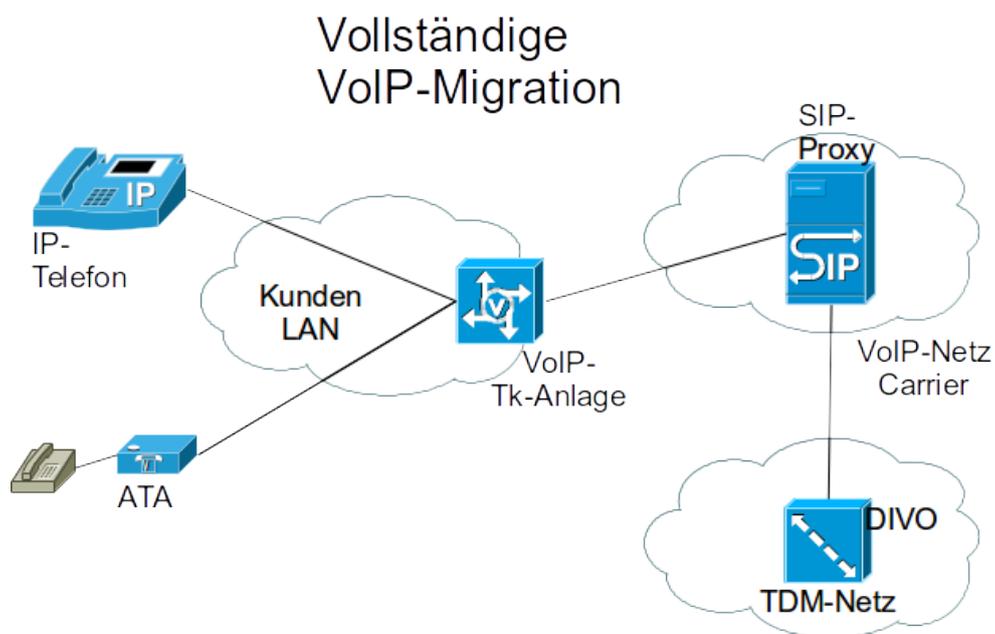


Abbildung 12: Vollständig auf VoIP migriert