

**Studie communicatiemiddelen voor slimme meters  
(VREG 2006/0192)**

**mei 2007**

**K.U.Leuven - ESAT/ELECTA**

Geert Deconinck, David Bekaert, Pieter Jacqmaer, Tom Loix, Tom Rigole, Bart Verbruggen  
Kasteelpark Arenberg 10, bus 2445  
3001 Leuven-Heverlee  
Geert.Deconinck@esat.kuleuven.be

## Samenvatting

Slimme meters voor elektriciteit en gas vereisen tweewegscommunicatie om meetgegevens door te sturen en om commando's en parameters te ontvangen.

In dit rapport vertrekken we van de vereisten die een slimme meter aan de communicatieinfrastructuur oplegt om een idee te krijgen van de hoeveelheid gegevens die moet uitgewisseld worden en de bijbehorende tijdsvereisten. Enerzijds is het van belang naar de toekomst toe om te bepalen hoeveel extra informatie (bijvoorbeeld over power quality of over 5-minutenverbruik) – naast de meetregisters – doorgestuurd moet worden, vermits dit een keuze voor breedband- of smalbandmedia impliceert. Anderzijds betekenen strikte realtime-eisen (het binnen een bepaalde tijdspanne bereiken van een groep meters, bijvoorbeeld om lasten af te schakelen) een voorkeur voor media die broadcasting ondersteunen.

De communicatiemedia worden in drie categorieën ingedeeld: communicatie over het elektriciteitsnet (power line carrier), communicatie over telefoonlijn en kabelinfrastructuur (ADSL, tv-distributiekabel) en draadloze communicatie (mobilofonie, RF, PMR). Voor elk van deze mogelijke communicatiemedia bespreken we de technische achtergrond, de geschiktheid voor slimme metertoepassingen en de situatie in Vlaanderen. Dit rapport geeft tevens een overzicht van mogelijke media voor communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter en presenteert enkele praktijkervaringen met slimme meters.

Heel wat technische en niet-technische eigenschappen bepalen uiteindelijk welk communicatiemiddel optimaal is voor de uitbouw van een slimme-meterinfrastructuur.

Als men in de toekomst van elke slimme meter kwartierverbruiken en uitgebreide power quality gegevens wil opvragen is een significant hogere bandbreedte vereist dan wanneer alleen de maandelijkse uitlezing belangrijk is. Dit wijst naar internetgebaseerde oplossingen of mobilofonie van de 3<sup>de</sup> generatie (UMTS) als geschikte communicatieinfrastructuur.

Wanneer binnen een bepaalde tijdspanne een groep meters bereikt moet worden (realtime-eisen) is het nodig dat het medium broadcasting ondersteunt. Dit impliceert oplossingen als PLC en RF, of andere draadloze oplossingen (PMR, GSM, UMTS).

Wanneer de kostprijs van de communicatiemiddelen een belangrijke parameter is, verdienen PLC/RF of bestaande internetoplossingen de voorkeur.

Daarnaast hebben de media in eigen beheer het voordeel van onafhankelijkheid ten opzichte van partijen die extern aan de energiemarkt zijn, zoals telecomoperatoren of internet service providers. Dit wijst naar PLC en RF als geschikte communicatiemiddelen.

Qua flexibiliteit en betrouwbaarheid voldoen alle communicatiemedia aan de eisen van slimme-meter toepassingen.

## Inhoudsopgave

<b>Samenvatting</b> .....	<b>i</b>
<b>Inhoudsopgave</b> .....	<b>ii</b>
<b>Figurenlijst</b> .....	<b>iv</b>
<b>Tabellenlijst</b> .....	<b>v</b>
<b>Acroniemenlijst</b> .....	<b>vi</b>
<b>1 Methodologie van de studie en scope</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Vereisten vanuit de slimme meter aan het communicatiemedium</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1 Slimme meter</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2 OSI-model</b> .....	<b>3</b>
<b>2.3 Van slimme meter naar datacenter</b> .....	<b>3</b>
2.3.1 Rechtstreekse inbelverbinding	5
2.3.2 Continue breedbandverbinding over internet	5
2.3.3 Continue breedbandverbinding (punt-tot-punt)	6
2.3.4 Continue breedbandverbinding over VPN	6
<b>2.4 Hoeveelheid data per slimme meter</b> .....	<b>7</b>
<b>2.5 Tijds- en betrouwbaarheidsaspecten</b> .....	<b>8</b>
<b>2.6 Aspecten van informatiebeveiliging</b> .....	<b>9</b>
<b>2.7 Situatie in Vlaanderen</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Communicatiemedia</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1 Communicatie over het elektriciteitsnet</b> .....	<b>12</b>
3.1.1 Bandbreedtes	12
3.1.2 Protocols	13
3.1.3 Bereikbaarheid en betrouwbaarheid	14
3.1.4 Uitbating en toegankelijkheid	14
3.1.5 Flexibiliteit en toepasbaarheid	14
3.1.6 Kostprijs	14
<b>3.2 Communicatie via telefoonlijn en kabelinfrastructuur</b> .....	<b>15</b>
3.2.1 Smalbandverbinding over een analoge of digitale telefoonlijn	15
3.2.2 Breedbandverbinding over de telefoonlijn (DSL)	18
3.2.3 Breedbandverbinding over de kabel	22
<b>3.3 Draadloze communicatie</b> .....	<b>25</b>
3.3.1 Mobiele communicatie van de 2 <sup>de</sup> en 3 <sup>de</sup> generatie	25
3.3.2 Niet gelicentieerde radiocommunicatie (RF)	34
3.3.3 PMR systemen	36
3.3.4 WiMAX	41
<b>4 Onderlinge communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter</b> .....	<b>43</b>
<b>4.1 Kabel</b> .....	<b>43</b>
4.1.1 RS232 en varianten	43
4.1.2 USB	44
4.1.3 M-bus	45
<b>4.2 Draadloos</b> .....	<b>45</b>
4.2.1 Infrarood	45
4.2.2 RF	45
4.2.3 Bluetooth	45
4.2.4 Zigbee	46
4.2.5 WiFi	46

4.3	<b>Communicatie tussen meters onderling</b> .....	<b>46</b>
<b>5</b>	<b>Praktijkervaringen</b> .....	<b>48</b>
5.1	<b>Bestaande slimme energiemeters en hun communicatieaspecten</b> .....	<b>48</b>
5.1.1	Landys & Gyr	48
5.1.2	Echelon	48
5.1.3	Itron	49
5.1.4	Ampy Metering	49
5.1.5	Kamstrup	49
5.1.6	Xemex	50
5.1.7	Görlitz AG	50
5.1.8	Cyplex	50
5.1.9	Enermet	50
5.1.10	Iskraemeco	51
5.1.11	Plextek	51
5.2	<b>Relevante ervaringen uit het buitenland</b> .....	<b>51</b>
5.2.1	Italië – Enel SpA: “Telegestore”	51
5.2.2	Vattenfall Eldistribution AB, Zweden	52
5.2.3	Continuon, Nederland: “InfoStroom”	53
5.2.4	Oxxio, Nederland	53
5.2.5	Roskilde en Hillerød, Denemarken	53
5.2.6	Elektromed, Turkije	54
5.2.7	Pacific Gas & Electric Company, California, USA	54
<b>6</b>	<b>Kostprijsberekening</b> .....	<b>55</b>
<b>7</b>	<b>Samenvatting en besluit</b> .....	<b>62</b>
<b>8</b>	<b>Appendices</b> .....	<b>64</b>
8.1	<b>Appendix: GSM-details</b> .....	<b>64</b>
8.1.1	Uitgebreide beschrijving van het GSM-systeem	64
8.1.2	Overzicht van GSM-verkeer in Vlaanderen	69
8.2	<b>Appendix: UMTS-details</b> .....	<b>71</b>
8.2.1	Gedetailleerde beschrijving van UMTS-aspecten	71
8.2.2	Informatiebeveiliging bij UMTS	73
8.2.3	Multicasting, broadcasting en MBMS	74
8.3	<b>Appendix: TETRA-details</b> .....	<b>76</b>
8.4	<b>Appendix: WiMAX-details</b> .....	<b>77</b>
8.5	<b>Appendix: parameters voor de kostprijsberekening</b> .....	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Referenties</b> .....	<b>82</b>

## Figurenlijst

Figuur 1: OSI referentiemodel voor communicatie en netwerkprotocols .....	3
Figuur 2: toegang voor betrokken partijen volgens NTA8130 [2] .....	4
Figuur 3: toegangsnetwerk tot het backbone netwerk .....	5
Figuur 4: inbelverbinding .....	5
Figuur 5: breedbandinternet .....	6
Figuur 6: punt-naar-punt breedbandverbinding .....	6
Figuur 7: breedband VPN .....	6
Figuur 8: communicatie over het elektriciteitsnet .....	12
Figuur 9: overzicht PLC-band regulering .....	13
Figuur 10: ADSL infrastructuur .....	18
Figuur 11: frequentiebanden POTS en ADSL up- en downstream .....	18
Figuur 12: enkele populaire ADSL-protocolstapels [35] .....	19
Figuur 13: vereenvoudigde protocol stapel voor VoDSL [39] .....	20
Figuur 14: kabelinfrastructuur [8] .....	22
Figuur 15: frequentiebanden gebruikt op de kabel [8] .....	23
Figuur 16: DOCSIS protocolstapel voor breedbandinternet [43] .....	24
Figuur 17: GPRS-systeem .....	28
Figuur 18: hiërarchische UMTS-celstructuur .....	30
Figuur 19: dekking 3G, EDGE en GPRS in het Proximus-netwerk [46] .....	32
Figuur 20: dekking 3G, EDGE en GPRS in het Mobistar-netwerk [42] .....	32
Figuur 21: benodigde hoeveelheid data voor controle en metering met SMS [52] .....	34
Figuur 22: dekking van het Entropia-netwerk .....	39
Figuur 23: fixed wireless .....	41
Figuur 24: communicatiekosten per meter voor de verschillende communicatiemedia .....	57
Figuur 25: geschatte kosten per meter over de tijdshorizon .....	58
Figuur 26: GSM-netwerkelementen .....	64
Figuur 27: GSM-netwerkgebieden .....	66
Figuur 28: authenticatie en encryptie bij GSM .....	69
Figuur 29: aantal SIM-kaarten in België .....	70
Figuur 30: mobilofonie: dichtheid per 100 inwoners in de landen van de EU (okt. 2005) .....	70
Figuur 31: Aantal actieve GSM-abonnees en penetratiegraad in België .....	70
Figuur 32: evolutie van aantal verstuurd SMS'jes in België (in duizendtallen) .....	71
Figuur 33: UTRAN radio-interface (UMTS Terrestrial Radio Access Network) .....	71
Figuur 34: het volledige UMTS-systeem .....	72
Figuur 35: protocollen in het core-netwerk bij UMTS .....	72
Figuur 36: UMTS authenticatie .....	73
Figuur 37: UMTS encryptie .....	74
Figuur 38: unicasting .....	74
Figuur 39: multicasting .....	75
Figuur 40: 3G-knooppunten die beïnvloed worden door MBMS .....	75
Figuur 41: mogelijkheden van MBMS .....	76
Figuur 42: vergelijking tussen WiFi en WiMAX .....	78
Figuur 43: authenticatie bij WiMAX .....	78
Figuur 44: data-encryptie bij WiMAX .....	79
Figuur 45: sleuteluitwisseling bij WiMAX .....	79

## Tabellenlijst

Tabel 1: samenvatting hoeveelheid uitgewisselde data per slimme meter .....	8
Tabel 2: samenvatting tijds- en data-aspecten per meter.....	9
Tabel 3: benodigde bandbreedte om een hoeveelheid data in een bepaalde tijd uit te lezen....	11
Tabel 4: PLC banden .....	13
Tabel 5: overzicht van verschillende DSL varianten [38].....	19
Tabel 6: bandbreedte en modulatie bij EDGE .....	29
Tabel 7: karakteristieken van TETRA.....	38
Tabel 8: A.S.T.R.I.D. prijzen [60].....	40
Tabel 9: protocols voor seriële verbinding .....	43
Tabel 10: klassen bij Bluetooth .....	46
Tabel 11: geschatte kosten per meter over de tijdshorizon.....	58
Tabel 12: prijselementen bij de communicatiemedia.....	61
Tabel 13: samenvattende tabel communicatiemedia.....	63
Tabel 14: geschiedenis van GSM.....	64
Tabel 15: GSM karakteristieken .....	67
Tabel 16: DCS-1800.....	68
Tabel 17: vergelijking systeemarchitectuur TETRA en GSM.....	77

## Acroniemenlijst

3GPP	third generation partnership project
A.S.T.R.I.D	all-round semi-cellular trunking radio communication system with integrated dispatching
ADSL	asynchronous digital subscriber line
AES	advanced encryption standard
AK	authentication key
AMM	automatic meter management
AMR	automatic meter reading
AoC	advice of charge
ATM	asynchronous transfer mode
AUC	authentication center
BBRAS	broadband remote access server
BIPT	Belgisch instituut voor postdiensten en telecommunicatie
BM-SC	broadcast/multicast service center
BS	base station
BSC	base station controller
BSS	base station system
BTS	base transceiver station
CBC	cipher block chaining
CBS	cell broadcast service
CDMA	code-division multiple access
CGI	cell global identity
CHAP	Challenge Handshake Authentication Protocol
CLIP	calling line identification presentation
CLIR	calling line identification restriction
CO	central office
COSEM	companion specification for energy metering
CRC	cyclic redundancy check
CS	circuit-switched
CSD	circuit-switched data
CTS	centrale toegang server
CUG	closed user group

DCS	digital cellular system
DLMS	distribution line message specification
DOCSIS	data over cable service interface specification
DQPSK	differential quadrature phase shift keying
DSL	digital subscriber line
DSLAM	digital subscriber line access multiplexer
DSSS	direct-sequence spread spectrum
DTMF	dual-tone multifrequency
DVB	digital video broadcast
EAP	extensible authentication protocol
EDGE	enhanced data rates for GSM evolution
EGPRS	enhanced general packet radio service
EIR	equipment identity register
EN	European norm
FDD	frequency division duplex
FDMA	frequency division multiple access
FHSS	frequency hopping subscriber station
FSK	frequency shift keying
GERAN	GSM/EDGE radio access network
GGSN	gateway GPRS support node
GIWU	GSM interworking unit
GMSC	gateway mobile services switching center
GMSK	gaussian minimum shift keying
GPRS	general packet radio service
GSM	global system for mobile communications
HLR	home location register
HMAC	keyed-hash message authentication code
HNP	host negotiation protocol
HSCSD	high-speed circuit-switched data
HSDPA	high speed downlink packet access
HS-DSCH	high-speed downlink shared channel
ICT	informatie- en communicatietechnologie
IEC	international electrotechnical commission
IGMP	internet group membership protocol



IMEI	international mobile subscriber identity
IMSI	international mobile subscriber identity number
IMT	international mobile telecommunications
IP	internet protocol
ISDN	integrated services digital network
ISI	inter-system interface
ISM	industrial, scientific and medical
ISP	internet service providers
ITU	internationale telecommunicatie-unit
kbps	kilobit per seconde
KEK	key encryption key
KiB	kibibyte
LAI	location area identity
LPR	low power radio
MAC	medium access control
MBMS	multimedia broadcast and multicast service
Mbps	megabit per seconde
MCS	modulatie- en codeerschema's
MiB	mebibyte
MPLS	multiprotocol label switching
MS	mobile station
MSC	mobile services switching center
MSISDN	mobile subscriber integrated services digital network
MS/LS	middenspanning/laagspanning
MXE	message center
NCW	netto contante waarde
NHH	non-half-hour
NTA	Nederlandse technische afspraak
OBIS	object identification system
OFDM	orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	orthogonal frequency division multiple access
OMC	operations and maintenance center
OSI	open system interconnection
OSS	operation and support system

PAMR	public access mobile radio
PBX	private branch exchange
PDA	pitch detection algorithm
PLC	power line carrier
PLMN	public land mobile network
PLT	power line telecommunication
PMR	professional mobile radio
POTS	post office telephone service
PPP	punt tot punt protocol
PPPoE	PPP over ethernet protocol
PS	pakket switched
PSK	phase shift keying
PSTN	public switched telephone network
QAM	quadrature amplitude modulation
QoS	quality of service
QPSK	quadrature phase shift keying
RF	radio frequency
RSVP	resource reservation protocol
SA	security association
SAID	security association identification number
SDMA	space division multiple access
SDSL	symmetric digital subscriber line
SGSN	serving GPRS support node
SIM	subscriber identity module
SMS	short message service
SRP	session request protocol
SS	subscriber station
TCP	transmission control protocol
TDMA	time division multiple access
TEK	transport encryption key
TETRA	terrestrial trunked radio
TMSI	temporary international mobile identity number
UMTS	universal mobile telecommunications system
USB	universal serial bus

USBOTG	universal serial bus on the go
UTP	unshielded twisted pair
UTRAN	UMTS terrestrial radio access network
VDSL	very high bit rate digital subscriber line
VLR	visitor location register
VoDSL	voice over digital subscriber line
VoIP	voice over internet protocol
VPN	virtuele private network
W-CDMA	wideband code division multiple access
WiFi	wireless fidelity
WiMAX	world interoperability for microwave access
WLAN	wireless local area network
WLL	wireless in the local loop
WMAN	wireless metropolitan area networks
XML	extensible markup language

## **1 Methodologie van de studie en scope**

Deze studie omvat de evaluatie van potentieel geschikte communicatiemiddelen voor een slimme-meterinfrastructuur voor elektriciteit en gas in Vlaanderen.

De communicatiemedia zijn in drie categorieën in te delen: communicatie over het elektriciteitsnet, communicatie over telefoon- en kabelnet en draadloze communicatie. Voor elk van de onderzochte communicatiemiddelen in deze drie categorieën wordt een beschrijving gegeven van de stand van de technologie (industriële ontwikkelingen en trends) en van de state-of-the-art (wetenschappelijke ontwikkelingen en potentieel). Hierbij wordt ingegaan op protocols, communicatie-eigenschappen, flexibiliteit, interoperabiliteit met andere communicatiesystemen, links met communicatienormen, enz. Voor elk communicatiemiddel wordt de geschiktheid ervan voor slimme-meterfunctionaliteit nagegaan (betrouwbaarheid, analyse van betrokken partijen) en de situatie in Vlaanderen behandeld (dekking, kostprijs voor installatie en uitbating van het communicatiemiddel, trends).

Buiten de scope van de studie vallen de slimme meters voor elektriciteit en gas zelf, en de ICT-infrastructuur die noodzakelijk is om de gegevens op te vragen, te aggregeren, te verwerken of door te sturen.

Deze tekst is gebaseerd op de best beschikbare kennis binnen de onderzoeksgroep, hetgeen uiteraard geen mogelijke fouten uitsluit.

Dit rapport heeft de volgende structuur. In hoofdstuk 2 worden de eisen afgeleid die de slimme-meterfunctionaliteit aan het communicatiemiddel stelt. Hoofdstuk 3 gaat in detail in op de drie categorieën: communicatie over het elektriciteitsnet (3.1), bedrade communicatie (3.2) en draadloze communicatie (3.3). Hoofdstuk 4 gaat dieper in op de onderlinge communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter. In hoofdstuk 5 komen voorbeelden aan bod van communicatieondersteuning bij bestaande slimme meters, samen met enkele relevante buitenlandse ervaringen. In hoofdstuk 6 wordt een model voor kostprijsberekening voorgesteld. Hoofdstuk 7 bevat de samenvattende tabel met het besluit.

## 2 Vereisten vanuit de slimme meter aan het communicatiemedium

### 2.1 Slimme meter

Voor deze studie wordt de volgende definitie van een slimme meter gehanteerd [1].

*Een slimme meter is een elektriciteits- of gasmeter met tweewegscommunicatie, die minimaal volgende functies ondersteunt:*

- *doorsturen van meterstand (meetregisters) op aanvraag en periodiek doorsturen van de meterstand (meetregisters)*
- *uitschakelen/inschakelen en reduceren van de elektriciteitslevering en uitschakelen/inschakelen van de gaslevering van op afstand (kan gebruikt worden als budgetmeter indien communicatie met een systeem van voorafbetaling)*
- *meerdere meetregisters (registreren van het verbruik in verschillende tariefperiodes)*
- *van op afstand aanpassen van tarieven/tariefperiodes (meetregisters)*
- *van op afstand firmware upgraden, programmeren of toevoegen van nieuwe functies aan de meter*
- *op aanvraag doorsturen van een diagnose spanningskwaliteit/toestand net en automatisch doorsturen van eventueel fraudealarm*

*Er mag uitgegaan worden van een maandelijks periodieke uitlezing en één extra jaarlijkse uitlezing op aanvraag.*

*Indien beide aanwezig zijn, kan de communicatie met de gasmeter mogelijk via de elektriciteitsmeter verlopen.*

Dit is in grote lijnen in overeenstemming met de Nederlandse Technische Afspraak (NTA) 8130 “Basisfuncties voor de meetinrichting voor elektriciteit, gas en thermische energie voor kleinverbruikers” van het Nederlands Normalisatie-instituut [2]. Daarnaast verwacht [2] expliciet dat slimme meters de maximale doorlaatwaarde voor een groep gebruikers collectief (niet enkel individueel) kan verminderen of hen geheel kan afschakelen (bijvoorbeeld in zogenaamde Code Rood situaties waarbij het elektriciteitsverbruik snel verminderd moet worden). Naast het ogenblikkelijk uitlezen van de meetregisters moeten deze ook op een vooraf bepaald tijdstip opgeslagen kunnen worden om later te worden uitgelezen.

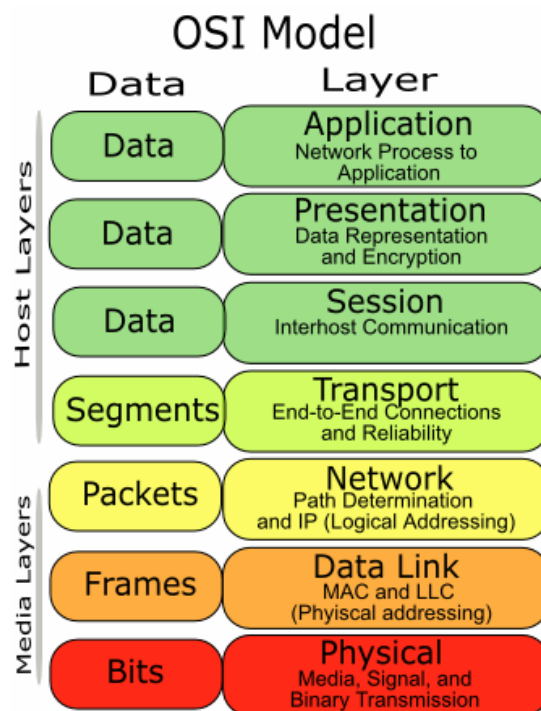
In het Nederlandse document wordt expliciet een onderscheid gemaakt tussen de afzonderlijke *meetinstrumenten* voor elektriciteit, gas, water en warmte enerzijds en de *meetinrichting* anderzijds die het geheel van de meetinstrumenten bevat met modules voor lokale, externe en onderlinge communicatie en opslag van gegevens. In voorliggend rapport wordt met *slimme meter* deze laatste meetinrichting bedoeld en is het irrelevant of dit een meetinstrument met deze geïntegreerde functionaliteit, dan wel of dit uit meerdere afzonderlijke modules bestaat.

Volgens NTA 8130 worden voor communicatie drie poorten voorzien. Een eerste poort P1 dient als lokale communicatiepoort voor de aangeslotene, de tweede poort P2 voor lokale communicatie tussen verschillende meters en de meterbus of meterinterface. Een derde poort P3 zorgt voor directe, externe toegang tot de meter.

Een slimme meter wordt dus niet alleen gebruikt voor occasionele AMR (Automatic Meter Reading) maar voor tweerichtings AMM (Automatic Meter Management).

## 2.2 OSI-model

Het Open System Interconnection (OSI) model is een referentiemodel dat toont hoe de functionaliteit van netwerkprotocols opgesplitst kan worden in lagen [3, 4] (Figuur 1). Hierbij kan een hogere laag de functionaliteit van een lagere laag gebruiken zonder exact te weten hoe deze geïmplementeerd is. Dit laat ook interoperabiliteit toe tussen verschillende media en netwerktypes. In deze studie wordt een duidelijk onderscheid gemaakt tussen de gebruikte communicatiemedia (fysisch netwerk, modulatie en datalink – OSI lagen 1 en 2) en het netwerkprotocol (OSI laag 3). De nadruk ligt vooral op de onderste twee lagen die voor fysieke modulatie en fysieke adressering zorgen. Dit impliceert de manier waarop de toegang tot het fysieke medium geregeld is (MAC-medium access control). De derde laag is uiteraard belangrijk voor de mogelijkheden en de flexibiliteit van het systeem, maar is in wezen onafhankelijk van de lagere lagen (en vice versa).



*Figuur 1: OSI referentiemodel voor communicatie en netwerkprotocols*

Als men bijvoorbeeld met het IP-protocol werkt op netwerkniveau, en elke slimme meter zijn eigen IP-adres geeft, dan kan beproefde internettechnologie gebruikt worden (IP-routers, en protocols zoals TCP, MPLS, RSVP,...). Op deze manier kan de toegang tot de IP-backbone van geval tot geval geëvalueerd worden, zoals nu met internettoegang het geval is.

## 2.3 Van slimme meter naar datacenter

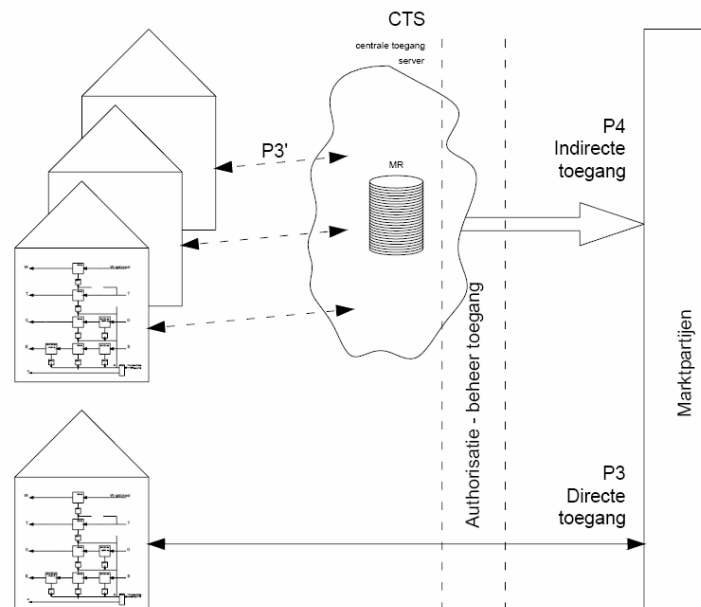
De gegevens van de slimme meter moeten terechtkomen in de datacentra van de belanghebbenden. Hierbij zijn er ruwweg twee mogelijkheden.

- Er wordt een centraal datacentrum gebruikt dat alle gegevens van de slimme meters verzameld, die dan ter beschikking gesteld worden van betrokken partijen.
- Ofwel kan elke betrokken partij rechtstreeks communiceren met de slimme meter om de benodigde data te bekomen of acties te initiëren.

De eerste optie is gunstig om de totale hoeveelheid data die gecommuniceerd wordt te beperken, maar heeft als nadeel dat interactieve tweewegscommunicatie complexer wordt. De tweede optie is minder gestructureerd maar eenvoudiger voor interactieve communicatie.

Beide mogelijkheden sluiten elkaar niet uit en kunnen eventueel ook samen gebruikt worden.

Ook in de NTA8130 [2] worden deze twee opties opengelaten voor de verwerking van de data door externe partijen: alles via een gezamenlijke database (CTS – centrale toegang server), of met directe toegang tot de meetinrichting (Figuur 2).



Figuur 2: toegang voor betrokken partijen volgens NTA8130 [2]

De keuze van de fysische laag voor de communicatie (communicatiemedium) vanaf de slimme meter wordt in de NTA8130 [2] hierbij expliciet vrij gelaten, afhankelijk van de lokale mogelijkheden (dit is de belangrijkste scope van voorliggend rapport). De bovenliggende lagen in de OSI-protocolstapel worden in de NTA8130 [2] wel vastgelegd: voor het communicatieprotocol wordt DLMS/COSEM en voor de objectvoorstelling OBIS voorgesteld (IEC 62056 voor elektriciteit [5], EN 13757-1 voor gas, water en warmte [6]). Wanneer de marktpartijen via de centrale toegangsserver communiceren, gebeurt dat via internet met het XML protocol [7] en OBIS objectvoorstellingen [5]. De NTA stelt dat de communicatie met open protocollen tot stand moet komen om zo alle spelers op de markt te laten participeren en tot toestellen te komen waarvan de werking niet wordt beperkt door verschillen tussen verschillende fabrikanten.

Voor verschillende communicatiemiddelen zullen deze (logisch) directe verbindingen van de slimme meter naar de centrale database of van de slimme meter naar de datacentra van betrokken partijen in de praktijk *niet* steeds als een *directe fysische* verbinding gerealiseerd worden, maar als combinatie van fysische verbindingen.

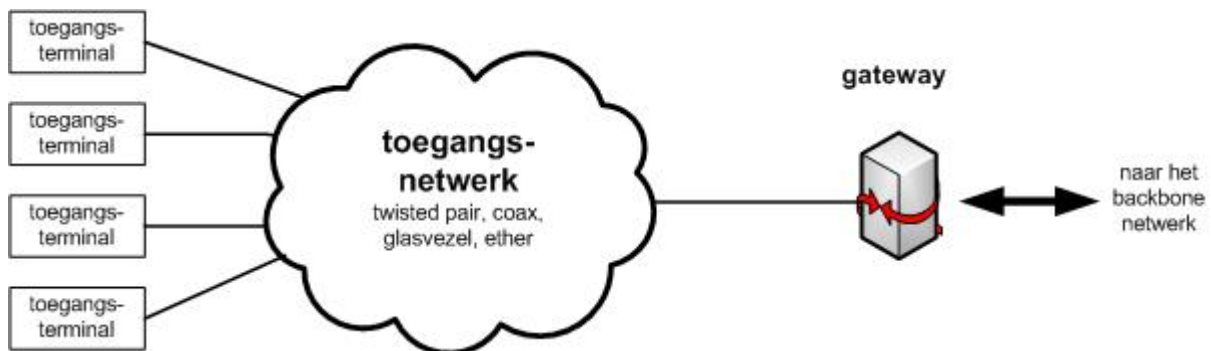
Er zijn verschillende mogelijkheden.

- Directe verbinding: bij bvb. inbellen van de slimme meter via telefoonlijn of GSM verbinding naar de centrale database of naar een betrokken partij of omgekeerd.
- Men maakt deels gebruik van een eigen, tussenliggende communicatie-infrastructuur, met *concentratoren* of *aggregatoren* die de gegevens van een aantal slimme meters per geografisch of elektrisch gebied verzamelen bvb. bij communicatie over het elektriciteitsnetwerk of bij draadloze communicatie zoals RF of PMR (cfr. infra).
- Men maakt deels gebruik van een tussenliggende communicatie-infrastructuur van derden, bvb. bij ADSL, waarbij via ISP's (Internet Service Providers) de verbinding over het internet verloopt.

Daarbij kunnen deze mogelijkheden ook gecombineerd worden. Zo kan men vanaf de concentratoren gebruik maken van directe verbindingen via geleasede lijnen of van de infrastructuur van derden (via het internet).

De fysische communicatiemedia worden in hoofdstuk 3 uitgewerkt, waarbij de focus ligt op het communicatiemiddel vanaf de slimme meter, het zogenaamde toegangsnetwerk (*access network*). Dit is complementair met het *backbone* netwerk waarlangs de verdere communicatie kan verlopen bvb. na de concentratoren. Dit toegangsnetwerk heeft immers de grootste impact omdat het elke gebruiker betreft (maar het vereist slechts een lage bandbreedte, cfr. infra), terwijl het eventuele *backbone* netwerk een veel hogere capaciteit nodig heeft maar veel minder uitgebreid is.

Hierbij gaat de vergelijking op met de internetarchitectuur (Figuur 3), waarbij ongeveer 70% van kost van internetinfrastructuur zou in de toegangsnetwerken zou zitten [8].



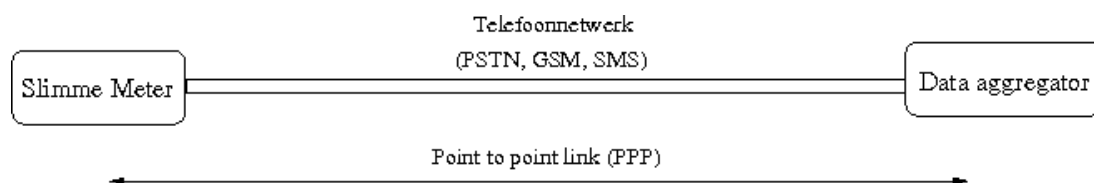
Figuur 3: toegangsnetwerk tot het backbone netwerk

Voor wat de slimme meter betreft, geeft dit de volgende mogelijkheden.

### 2.3.1 Rechtstreekse inbelverbinding

Een eerste mogelijke topologie is deze waarbij de partij die wil communiceren met de slimme meter een tijdelijke verbinding opzet tussen een dataconcentrator (server die de verantwoordelijk is voor een bepaalde regio) en een slimme meter (Figuur 4). De traditionele telefoonverbinding is hiervan het beste voorbeeld, maar ook nieuwere technologieën zoals SMS kunnen hiervoor gebruikt worden (hoewel dan eerder van een half-duplex verbinding kan gesproken worden). Een punt tot punt protocol zoals PPP is een ideaal protocol voor dergelijke verbindingen. De meetgegevens kunnen rechtstreeks in PPP-frames doorgestuurd worden.

Elke slimme meter moet toegang hebben tot een telefoonnetwerk en de beheerder moet een aantal callcenters voor de dataconcentratoren/aggregatoren opzetten. Het tussenliggende communicatienetwerk wordt volledig beheerd door een derde partij.



Figuur 4: inbelverbinding

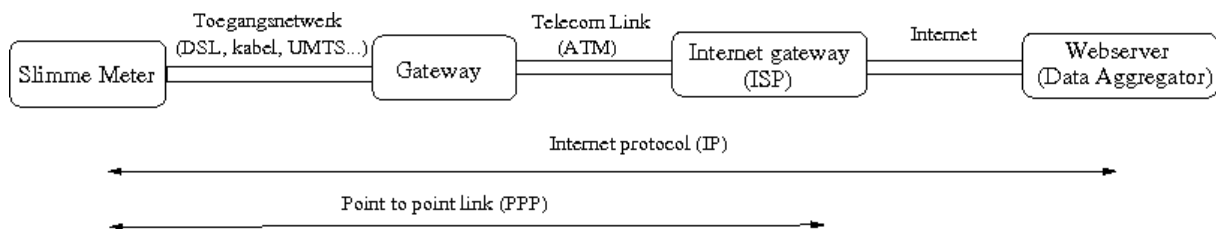
### 2.3.2 Continue breedbandverbinding over internet

Bepaalde technologieën voor toegangsnetwerken laten een continue breedbandverbinding toe met een gateway van de telecommunicatieoperator (Figuur 5). De data wordt in deze



standaardimplementatie van breedbandinternet doorgestuurd naar een internet gateway van de internetprovider. Bij het gebruik van het publieke internet plaatst de beheerder die met de meters wil communiceren een aantal webservers waar de slimme meters zich kunnen registreren. Vervolgens kunnen zowel de slimme meters als de webservers verbindingen opzetten over TCP/IP om gegevens uit te wisselen. De kwaliteit van de verbindingen (zoals een gegarandeerde minimale bandbreedte en/of maximale vertraging) is moeilijk te garanderen bij een dergelijke implementatie.

De beheerder moet een aantal webservers met hoge bandbreedte installeren en elke meter moet (liefst continu) toegang hebben tot internet.

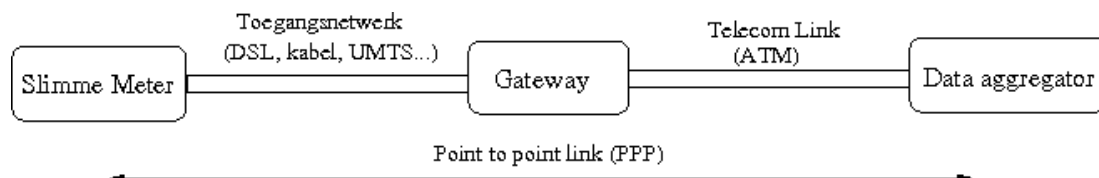


Figuur 5: breedbandinternet

### 2.3.3 Continue breedbandverbinding (punt-tot-punt)

Een alternatieve implementatie voor de continue breedbandverbindingen is om de meterdata vanaf de gateway niet via een internet-gateway te sturen maar rechtstreeks naar een regionale data-aggregator van de beheerder (Figuur 6). Voordeel hierbij is dat het publieke internet vermeden wordt en de beheerder meer controle heeft over de datastromen. De verschillende regionale data-aggregatoren kunnen vervolgens hun data over een breedbandkanaal naar een globale aggregator sturen.

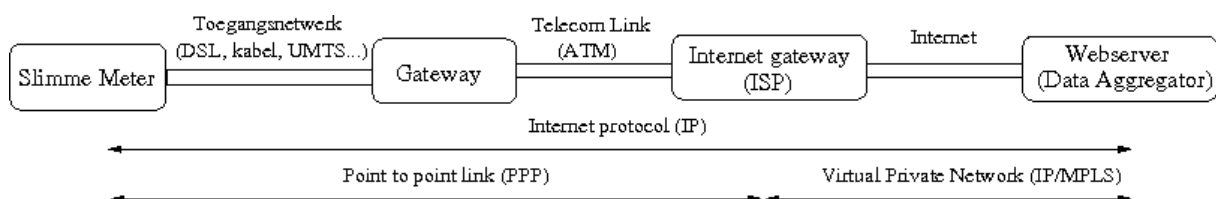
Een kleine variante hierop zullen we zien we bij het gebruik van power line carrier (PLC), waarbij de netbeheerder zelf het toegangsnetwerk beheert. De eerste gateway, die bij ADSL of kabelnetwerken eigendom is van de telecommunicatieoperator, wordt hier beheerd door de netbeheerder en kan als data-aggregator dienen.



Figuur 6: punt-naar-punt breedbandverbinding

### 2.3.4 Continue breedbandverbinding over VPN

Tot slot kan *virtueel private netwerk* technologie (VPN) gebruikt worden over internet om toch kwaliteitgaranties (o.a. gegarandeerde minimale bandbreedte en/of maximale vertraging) te geven aan IP datastromen (Figuur 7). Dit kan door *multiprotocol label switching (MPLS)* dat circuitgebaseerde communicatie over IP mogelijk maakt. De meeste internetproviders in België bieden reeds dergelijk VPN diensten aan bedrijven aan.



Figuur 7: breedband VPN

## 2.4 Hoeveelheid data per slimme meter

In wat volgt, wordt de hoeveelheid gegevens geschat, die uitgewisseld worden tussen de slimme meter en een betrokken partij.

Hiervoor maken we gebruik van intervallen (*minimum, typisch, maximum*) om de sensitiviteit tegenover de verschillende parameters te kunnen inschatten.

De belangrijkste parameters die gecommuniceerd moeten worden zijn de **meetregisters**, die het verbruik weergeven. Wat het aantal meetregisters betreft, voorziet NTA8130 [2] minimaal 4 gegevens die in een slimme elektriciteitsmeter opgeslagen worden (verbruik en opwekking van elektriciteit tijdens normaal- en laagtariefperiode) die zowel in Wh (via lokale poort) als in kWh (via externe poort) uitgelezen moeten kunnen worden; een gasmeter heeft slechts 1 telwerk dat zowel in dm<sup>3</sup> (via lokale poort) als in m<sup>3</sup> (via externe poort) uitgelezen moet kunnen worden; een watermeter heeft hetzelfde telwerk als een gasmeter; een meter voor thermische energie tenslotte heeft 2 telwerken (warmte en koude), uit te lezen in MJ (via lokale poort) en in GJ (via externe poort). Daarenboven moeten in de meetinrichting minstens 13 periodieke tussenstanden, telkens met datum en tijdsstempel bijgehouden worden. Als de 4 soorten meters aanwezig zijn, zijn er dus minimum  $8 \cdot 13 = 104$  tellerstanden en evenveel tijdsgegevens nodig. Deze externe poorten zijn relevant voor onze studie.

De communicatie via de lokale poort is er immers voor de meetinrichting zelf, waarbij gegevens elke 10 s uitgelezen moeten kunnen worden, en er minimum 960 waarden (met een interval van minimum 15 min) opgeslagen moeten kunnen worden; dit komt neer op 10 dagen detailinformatie.

Voor wat het monitoren van de **spanningskwaliteit** betreft, verwacht [2] dat volgende gegevens worden bijgehouden.

- aantal onderbrekingen korter dan 3 min (voor 3-fasige aansluitingen: per fase)
- voor onderbrekingen langer dan 3 min: het begin- en eindmoment (voor 3-fasige aansluitingen: per fase)
- over- en onderspanningen volgens EN50160:2000 [9].

Ook voor de andere toestellen (gas, warmte) zijn parameters vastgelegd. Dit levert ruwweg enkele tientallen waarden op.

Voor onze studie veronderstellen we dat er minimum 128 ( $2^7$ ) meetregisters aanwezig zijn. Wanneer ook informatie over de spanningskwaliteit wordt opgeslagen, kan dit oplopen tot 65536 ( $2^{16}$ ), zeker als er power quality informatie gedetailleerder moet opgeslagen worden. We gebruiken als realistische waarde 1024 ( $2^{10}$ ) meetregisters. Een meetregister is typisch 32 byte (van min. 8 tot max. 256) groot om de waarde en de tijdsgegevens op te slaan.

Om de meetregisters uit te lezen wordt er dan typisch 32 KiB (= 32 kibibyte is 32768 byte [10]<sup>1</sup>) (min. 1 KiB – max. 16 MiB) aan ruwe data doorgegeven.

Daarnaast moeten de boodschappen ook gegevens bevatten om unieke identificatie mogelijk te maken (cfr. EAN-nummer van de meter), moeten berichten versleuteld worden, moet redundantie toegevoegd worden om foutcorrectie toe te laten en is er overhead door het gebruik van de communicatieprotocollen waardoor de hoeveelheid data toeneemt. Anderzijds kan men door compressietechnieken de door te sturen hoeveelheid data beperken. We kunnen ruwweg aannemen dat deze beide aspecten elkaar compenseren.

---

<sup>1</sup> In dit document volgen we de standaard IEC 60027-2 voor de voorstelling van de prefixen bij de eenheden. Hierbij wijzen k (kilo,  $10^3$ ), M (mega,  $10^6$ ), G (giga,  $10^9$ ), T (tera,  $10^{12}$ ) op de decimale voorvoegsels en Ki (kibi,  $2^{10}$ ), Mi (mebi,  $2^{20}$ ), Gi (gibi,  $2^{30}$ ), Ti (tebi,  $2^{40}$ ) op de binaire voorvoegsels.

Wat de grootte van de boodschappen betreft die bij de slimme meter aankomen (**commando's** om uitlezing te initiëren, op afstand instellen van **parameters** zoals doorlaatwaarden, tariefperiodes of tarieven) veronderstellen we dat die typisch 1 KiB groot zijn (min. 512 byte, max. 16 KiB). Op het ogenblik dat de **firmware** moet geüpgraded worden, kan dit sterk oplopen (max. 512 KiB).

Bij de andere uitgaande berichten (**alarmen**, zoals signaleren van vermoede fraude, foutmeldingen na zelfdiagnose) kunnen we dezelfde orde-grootte verwachten als bij de inkomende boodschappen (typisch 1 KiB, min. 512 byte, max. 16 KiB).

Tabel 1 vat de hoeveelheid uitgewisselde data per slimme meter samen

soort	minimum	typisch	maximum
uitlezen meetregisters	1 KiB	32 KiB	16 MiB
inkomende boodschappen	0,5 KiB	1 KiB	16 KiB 512 KiB (firmware upgrade)
andere uitgaande boodschappen	0,5 KiB	1 KiB	16 KiB

*Tabel 1: samenvatting hoeveelheid uitgewisselde data per slimme meter*

## 2.5 Tijds- en betrouwbaarheidsaspecten

Voor verschillende functies van de slimme meter is het van belang dat de respons van de slimme meter op een commando binnen een aanvaardbare tijd plaats vindt. Voor de verschillende functies nemen we het volgende als richtwaarden.

- Doorsturen van meetregisters op aanvraag: deze gegevens moeten kunnen *opgeslagen* worden binnen de 5 min (min. ogenblikkelijk, max. 1 h) nadat de aanvraag verstuurd is. Ze kunnen daarna uitgelezen worden; dit uitlezen is niet tijdskritisch, maar wel is een antwoord binnen de 10 min (min. ogenblikkelijk, max. 2 h) wenselijk. We veronderstellen 1 dergelijke aanvraag per meter per jaar [1].
- Periodiek doorsturen van de meetregisters: dit is niet tijdskritisch. We veronderstellen eveneens dat een antwoord binnen de 10 min (min. ogenblikkelijk, max. 2 h) wenselijk is. Typisch gebeurt dit eens per maand [1].
- Uitschakelen/inschakelen of reduceren van de energielevering. Dit lijkt het meest tijdskritisch, de reactie moet komen binnen de 5 min (min. ogenblikkelijk, max. 1 h) nadat de aanvraag verstuurd is. We veronderstellen 1 dergelijke aanvraag per meter per jaar.
- Van op afstand aanpassen van tarieven/tariefperiodes: niet tijdskritisch<sup>2</sup>; uitvoering is wenselijk binnen de 10 min (min. ogenblikkelijk, max. 2 h). We veronderstellen 2 dergelijke aanvragen per meter per jaar.
- Van op afstand firmware upgraden, programmeren of toevoegen van nieuwe functies aan de meter: niet tijdskritisch. We veronderstellen 1 dergelijke aanvraag per meter per 5 jaar.
- Op aanvraag doorsturen van een diagnose spanningskwaliteit/toestand net: niet tijdskritisch, maar wel is een antwoord binnen de 10 min (min. ogenblikkelijk, max. 2 h) wenselijk. We veronderstellen 2 dergelijke aanvragen per meter per jaar.
- Automatisch doorsturen van eventueel fraudealarm: niet tijdskritisch, maar wel is deze actie binnen de 10 min (min. ogenblikkelijk, max. 2 h) wenselijk. We veronderstellen 1 dergelijke melding per meter per 5 jaar.

<sup>2</sup> Uiteraard is het starten van een bepaalde tariefperiode wel tijdskritisch. Dit kan echter autonoom in de meter gebeuren zonder communicatie.

Tabel 2 vat deze tijds- en data-aspecten per meter samen. Dit geeft totaal een dataverkeer per jaar per meter van typisch 420 KiB (min. 15 KiB, max. 208 MiB). Het is duidelijk dat het doorsturen van de meetregisters hierin de belangrijkste rol speelt.

functie	tijdkritisch	min. respons	typ. respons [min]	max. respons [h]	aantal per jaar	hoeveelheid data per keer (min/typ/max)
<b>commando</b> registreren meetregisters	ja	ogenblikkelijk	5	1	1	0,5 KiB 1 KiB 16 KiB
doorsturen <b>meetregisters</b> (periodiek + op aanvraag)	nee	ogenblikkelijk	10	2	13 (12+1)	1 KiB 32 KiB 16 MiB
<b>commando</b> dimmen energielevering	ja	ogenblikkelijk	5	1	1	0,5 KiB 1 KiB 16 KiB
aanpassen <b>parameters</b>	nee	ogenblikkelijk	10	2	2	0,5 KiB 1 KiB 16 KiB
upgraden <b>firmware</b>	nee				0,2	0,5 KiB 1 KiB 512 KiB
doorsturen <b>alarmen</b>	nee	ogenblikkelijk	10	2	0,2	0,5 KiB 1 KiB 16 KiB

*Tabel 2: samenvatting tijds- en data-aspecten per meter*

Een belangrijk aspect dat de responstijd bepaalt, is het feit of een commando slechts door een dan wel door een ganse groep meters moet beantwoord worden. In het laatste geval is de responstijd hoger omdat niet alle antwoorden tegelijk verwerkt kunnen worden.

Of de tijdsvereisten vervuld worden, heeft te maken met de opbouw van de communicatie-architectuur (gecentraliseerd versus hiërarchisch), met de aard van het communicatiemedium (ondersteuning van broadcasting versus multicasting versus unicasting), met het gekozen protocol (bvb. ontvangstbevestigingen), en met de betrouwbaarheid en beschikbaarheid ervan.

Vermits deze tijds- en betrouwbaarheidsaspecten niet onafhankelijk van het communicatiemedium beschouwd kunnen worden, worden ze expliciet behandeld in hoofdstuk 3.

## 2.6 Aspecten van informatiebeveiliging

Informatiebeveiliging is een ander belangrijk aspect van de communicatie. Verschillende facetten verdienen aandacht.

- Confidentialiteit: de uitgewisselde data mag niet aan niet-betrokkenen onthuld worden. Via versleuteling (encryptie) kan de vertrouwelijkheid gewaarborgd worden.
- Integriteit: de data mag niet onterecht veranderd worden. O.a. via handtekenen van de data door de slimme meter kan integriteit gewaarborgd worden.
- Authenticatie en autorisatie zijn noodzakelijk om de toegangscontrole van partijen tot de data te beperken tot wat toegelaten is.

Deze aspecten zijn echter onafhankelijk van een gekozen communicatiemedium te realiseren, in de hogere lagen van het OSI-model. Zelfs als het communicatiemedium niet expliciet beveiligd is, kan men toch door de gepaste maatregelen in het protocol tussen de slimme meter en het datacenter van een betrokken partij de informatie-uitwisseling veilig kan maken (end-to-end beveiliging). Dit is te vergelijken met de beveiliging van bankverrichting van bij cliënten thuis over internet (via paswoorden of smartcards), of met het thuiswerken via VPN over internet op bedrijfsnetwerken.

Zo kan bvb. aan de meetgegevens door een *smartcard* in de meter een *message authenticator* toegevoegd worden, zodat integriteit van de meetgegevens verzekerd wordt. Op deze manier worden zowel klant als beheerder beschermd tegen het vervalsen van de meetgegevens. Daarnaast kunnen de meetgegevens ook geëncrypteerd worden met een sleutel die zich op de smartcard bevindt, om de confidentialiteit (o.a. privacy) te garanderen. Of gegevens geëncrypteerd moeten worden hangt mede af van het communicatiemedium dat gebruikt wordt, aangezien encryptie voor een niet onbelangrijke overhead en meerkost kan zorgen. Bij *gedeelde* media, zoals radiosignalen, UMTS, power line carrier (PLC) of tv-distributiekabel, is encryptie aan te raden omdat andere gebruikers van hetzelfde medium gebruik maken (encryptie gebeurt bij de meeste protocols nu al standaard). Bij niet-gedeelde media zoals telefoonkabels hoeft dit niet, aangezien niemand zonder actief in te grijpen de informatiestroom kan afluisteren. Een andere optie is steeds op applicatieniveau de gevoelige gegevens te encrypteren.

Sinds december 2006 is er ook een koninklijk besluit in verband met de informatiebeveiliging van gegevens afkomstig van meetinstrumenten om hun integriteit, oorsprong, tijdstip, vertrouwelijkheid en niet-weerlegbaar karakter te waarborgen ‘op een aan het doel aangepast niveau’ [11].

## 2.7 Situatie in Vlaanderen

In Vlaanderen zijn per 1 december 2006 ongeveer 3,06 miljoen elektriciteitsmeters (EAN's), waarvan 2,58 miljoen huishoudelijke. Er zijn ongeveer 1,63 miljoen gasmeters (EAN's), waarvan 1,44 miljoen huishoudelijke [12]. Per eindverbruiker is er normaliter slechts 1 slimme meter die met de nutsbedrijven communiceert zelfs al omvat dit verschillende energievormen (elektriciteit, gas, ...). Per distributienetbeheerder (DNB) zijn dat typisch enkele tienduizenden tot enkele honderdduizenden slimme meters [12]. Deze meters zijn ruwweg verspreid over Vlaanderen zoals de bevolking, met een grotere dichtheid in de stedelijke gebieden en een lagere in de landelijke. In deze studie veronderstellen we dat alle gegevens voor Vlaanderen gecentraliseerd worden<sup>3</sup>, en er dus *3 miljoen slimme meters* te behandelen zijn.

Als men de gegevens van Tabel 1 en Tabel 2 combineert, krijgt men een idee van de hoeveelheid gegevens die uitgewisseld wordt, en wat dat als eisen stelt naar bandbreedte.

- Het uitlezen van de meetregisters per slimme meter vereist dat op jaarbasis ongeveer typisch 0.5 MiB (min. 15 KiB – max. 250 MiB) aan ruwe data wordt doorgegeven. Dit is verwaarloosbaar tegenover de huidige internettrafiek waarbij een individuele gebruiker ongeveer 1 GB per maand mag transfereren, afhankelijk van het gekozen abonnement.
- Toch genereert het uitlezen van de meetregisters van alle slimme meters in Vlaanderen op jaarbasis typisch ongeveer 1,28 TB aan ruwe data (min. 4 GB, max. 654 TB).
- Wanneer het datacenter naar *alle* slimme meters een boodschap moet sturen binnen het uur, heeft die hiervoor slechts 1,2 ms ter beschikking als er geen multicasting of parallelle

---

<sup>3</sup> Als dat niet zo is, dan omvat deze analyse de worst-case situatie.

(groeps)communicatie ondersteund wordt, hetgeen onrealistisch is. Wanneer een dataconcentrator dit naar 1000 aangesloten meters doet, zijn er 3,6 s ter beschikking. Dit betekent dat een hiërarchische opbouw met dataconcentratoren nodig is, dan wel op een of andere wijze broadcasting moet ondersteund worden.

- Wanneer de meetregisters (typisch 32 KiB) uitgelezen moeten worden in typisch 10 min is een bandbreedte van 437 bps (=32 KiB x 8 bit/byte / 600 s) nodig. In Tabel 3 worden tevens de minimale en maximale waarden berekend.
- Wanneer in een concentrator de gegevens van 1024 slimme meters bewaard worden, geeft dat 32 MiB aan data (min. 1 MiB, max. 16 GiB). Als een concentrator deze data in 5 min<sup>4</sup> allemaal moet opvragen, geeft dat 0,3 s per slimme meter of een benodigde bandbreedte van 895 kbps (min. 28 kbps, max. 458 Mbps). Dat zijn onrealistische waarden. Als deze in 10 h opgevraagd moeten worden, geeft dat 35 s per slimme meter of een bandbreedte van typisch 74 kbps (min. 2,3 kbps, max. 38 Mbps). Wanneer slechts 100 meters per concentrator bediend worden, zijn de eisen uiteraard een ordegrootte minder streng.
- Als er een communicatiekanaal van 100 kbps ter beschikking is, dan duurt het 2185 h of 3 maand<sup>5</sup> om de typische meetregisters van alle 3 miljoen slimme meters in Vlaanderen sequentieel uit te lezen (min. 70 uur, max. 130 jaar<sup>6</sup>).

Zoals uit Tabel 3 blijkt heeft elke slimme meter nood aan een communicatiekanaal met minimaal een bandbreedte van enkele tientallen bps. Als er een grotere bandbreedte ter beschikking is, kan er meer informatie doorgestuurd of sneller gereageerd worden.

Tijd Data	5 s (min.)	10 min (typ.)	2 uur (max.)
1 KiB	1,6 kbps	14 bps	1.1 bps
32 KiB	52 kbps	437 bps	36 bps
16 MiB	27 Mbps	224 kbps	19 kbps

*Tabel 3: benodigde bandbreedte om een hoeveelheid data in een bepaalde tijd uit te lezen*

In Nederland werd door CTM ook een inschatting gemaakt van de hoeveelheid verstuurd data en de impact op de communicatienetwerken [13]. De hoeveelheid data per meetpunt wordt minimalistisch ingeschat als 50 byte (10 voor de meterstand, 5 voor de datum, 5 voor de tijd, 10 als reserve, en 20 voor een foutmelding), daarnaast is er 0,5 KiB overhead per bericht. Dit is o.i. onvoldoende voor alle meetregisters volgens [2]. CTM veronderstelt slechts twee meetpunten per huishouden. Afhankelijk van de samplefrequentie waarmee de meetdata opgeslagen (van maandelijks tot elke 5 min) en van de uitleesfrequentie waarmee de data worden opgevraagd (van maandelijks tot elke 5 min), varieert de hoeveelheid uitgewisselde data per slimme meter per jaar van 13 KiB tot 116 MiB. Dit ligt in dezelfde grootteorde als onze resultaten.

<sup>4</sup> Dit is de helft van de tijd die in Tabel 2 te vinden is, de andere helft is dan om de info van de concentrator naar het datacentrum te versassen.

<sup>5</sup> Uiteraard zitten hierin enkele grove benaderingen: alle meters worden onmiddellijk na elkaar sequentieel uitgelezen en de bandbreedte wordt volledig benut. De grootteordes blijven echter indicatief.

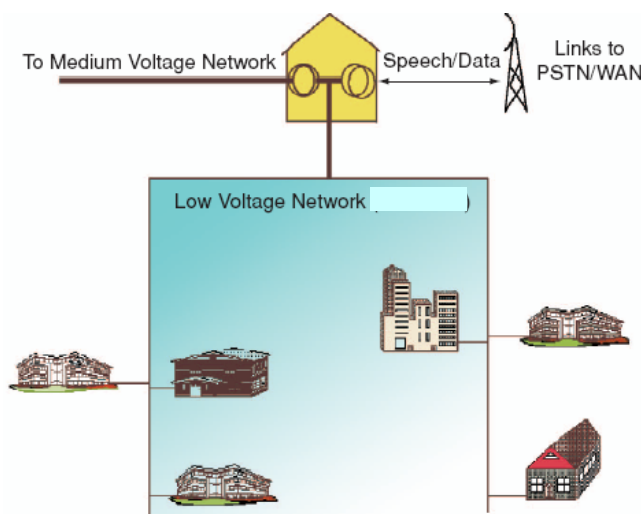
<sup>6</sup> Deze lange tijdsduur betekent ook dat bepaalde combinaties niet realistisch zijn: als men heel veel meetdata (bv power quality data) wil gaan opvragen bij heel veel meters, zal het heel lang duren...

### 3 Communicatiemedia

In dit hoofdstuk worden drie categorieën van communicatiemedia behandeld: communicatie over het elektriciteitsnet, bedrade communicatie en draadloze communicatie.

#### 3.1 Communicatie over het elektriciteitsnet

Power line carrier (PLC), ook soms power line telecommunication (PLT) genoemd, is datacommunicatie via het elektriciteitsnet [14-16]. De digitale data wordt bovenop een draaggolf met hoge frequentie gemoduleerd. Het wordt al heel lang gebruikt met een lage bandbreedte om bijvoorbeeld straatlantaarns aan en uit te schakelen, tweevoudig-uurtariefmeters bij particulieren om te schakelen, enz.



*Figuur 8: communicatie over het elektriciteitsnet*

In elk huis staat er een modem die communiceert met *dataconcentrators* die meestal in de middenspanning/laagspanning (MS/LS) onderstations staan (Figuur 8). Hier bevindt zich de transformator die de spanning transformeert, meestal naar 230/400 V.

De afstand van deze distributietransformator tot een huis is typisch maximaal een 400 m. In een stedelijk gebied verdeelt elke distributietransformator vermogen gemiddeld een 400-tal huishoudens [17]. In meer landelijke gebieden is dit dikwijls minder.

Normaal gezien kan PLC communicatie niet passeren voorbij de MS/LS transformator. Technologie om de barrière van de distributietransformator te overbruggen bestaat; bepaalde transceivers kunnen signalen door de transformator over een afstand van een 15 km verzenden [18].

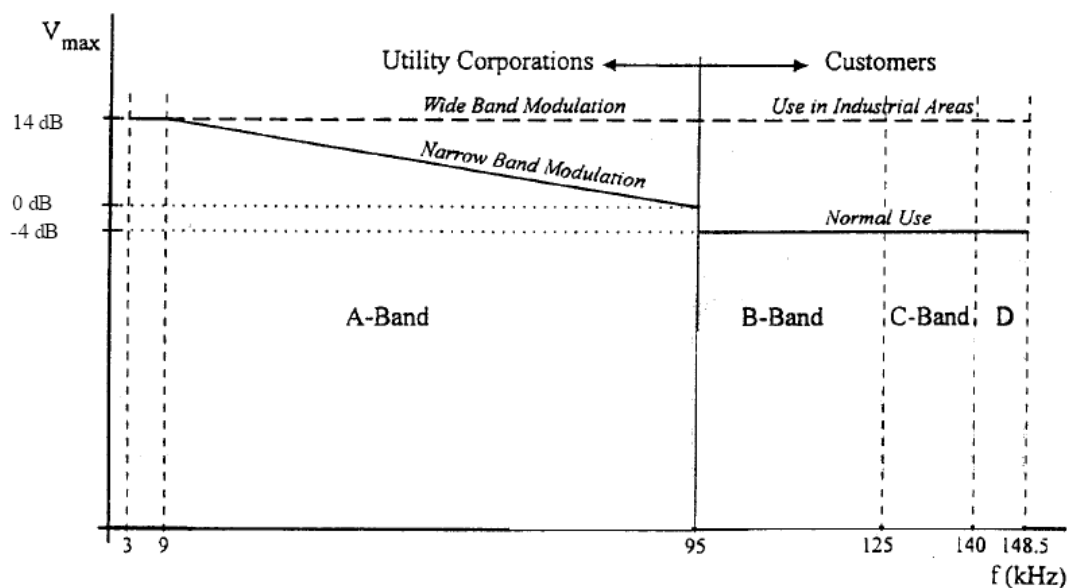
Door het inzetten van *repeaters* wordt de betrouwbaarheid vergroot.

Vanaf de *dataconcentrators* zijn verschillende soorten communicatiemiddelen mogelijk (middenspanning-PLC, GPRS, internet, ...).

##### 3.1.1 Bandbreedtes

PLC technologie kan gegroepeerd worden in twee categorieën: kleine (met een transmissiesnelheid vanaf enkele tientallen bps) en grote bandbreedte (met een transmissiesnelheid tot Mbps). Grote bandbreedte wordt de dag van vandaag (experimenteel) gebruikt voor breedbandinternetverbindingen over het elektriciteitsnet op een frequentie tussen 2 MHz en 80 MHz. Bij deze frequenties treden significante signaalverzwakking en verstoringen op.

PLC frequenties onder de 500 kHz worden gebruikt voor lage bandbreedte toepassingen. In Europa is deze frequentieband gereguleerd door CENELEC (EN 50065-1) [19] (Figuur 9 en Tabel 4). De bandbreedte gereserveerd voor PLC loopt van 3 tot 148,5 kHz.



Figuur 9: overzicht PLC-band regulering

A band	3 kHz – 95 kHz	Nutsbedrijven
B band	95 kHz – 125 kHz	Vrij toegankelijk, geen access protocol
C band	125 kHz – 140 kHz	Toegankelijk via een CSMA protocol
D band	140 kHz – 148,5 kHz	Vrij toegankelijk, geen access protocol

Tabel 4: PLC banden

Voor metering wordt meestal gebruik gemaakt van de A band – zijnde smalband PLC –, daar dit de beste afweging vormt tussen bandbreedte en signaalverzwakking. De andere banden worden eerder gebruikt voor korte afstand toepassingen, zoals communicatie binnenshuis.

Het maximaal toegelaten signaalvermogen bedraagt 5 mW en haalt snelheden tot 144 kbps over afstanden tot 500 m [15]. In de praktijk kan de bandbreedte een stuk lager zijn en kunnen hogere afstanden overbrugd worden. Een typische waarde is 200 byte/min (30 bps) en afstanden tot 15 km [18].

Aangezien de beschikbare bandbreedte beperkt is, wordt er in Europa gewerkt aan een nieuwe standaard die PLC-frequenties tot 30 MHz toelaat. Er wordt ook onderzoek gedaan om met PLC technologie een breedbandverbinding te maken met het internet. Het “Open PLC European Research Alliance”, OPERA [20] voorziet transmissiesnelheden tot 200 Mbps.

### 3.1.2 Protocols

Verschillende modulatie technieken zijn mogelijk. Zowel *frequency shift keying* (FSK), *code-division multiple access* (CDMA) als *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) zijn in de literatuur al aangehaald als mogelijke modulatie technieken [15, 21]. Voor lage kost toepassingen met een lage transmissiesnelheid (zoals metering) is FSK een goede oplossing. Voor datasnelheden tot 1Mbps is CDMA aangeraden. Voor nog hogere datasnelheden wordt meestal gekeken naar OFDM.



### 3.1.3 *Bereikbaarheid en betrouwbaarheid*

PLC is een interessant communicatiemiddel voor smart metering, aangezien zowel elektrische energie als data dezelfde weg volgen. Daarom is PLC overall inzetbaar waar een elektriciteitsmeter hangt.

Doordat het laagspanningsnet, zoals eerder gezegd, eerder korte afstanden vanaf de middenspanningstransformator omvat, is de communicatie tussen de dataconcentrator in het onderstation en de meter in het huishouden normaal geen probleem. Mocht de afstand toch een probleem opleveren, dan kunnen de dataconcentratoren ook op een andere plaats in het laagspanningsnetwerk geplaatst worden dan in de onderstations.

Aangezien gas en elektriciteit vaak op dezelfde plaats het huis binnenkomen, is smart metering voor gas ook mogelijk via PLC. Slechts in het zeldzame geval waar er een gasaansluiting is zonder een elektriciteitsaansluiting, is een PLC niet inzetbaar voor slimme gasmeter.

Wat betrouwbaarheid betreft, voorzien de communicatieprotocollen heruitzending van de informatie tot ze ontvangen is. Dit kan een grote invloed op de totale tijd nodig voor het doorsturen van gegevens van slimme meters in een bepaald gebied [22, 23]. [23] vermeldt een betrouwbaarheid tussen 98% (richting concentrator – meter) en 99.5% (richting meter – concentrator) voor PLC communicatie zonder heruitzending. Bij de laagste communicatiesnelheden is de betrouwbaarheid het grootst. Volgens [24] heeft PLC een *hoge* databetrouwbaarheid (tegenover een *zeer hoge* betrouwbaarheid voor telefonie).

Bij bepaalde vormen van stroomstoringen (vb kabelbreuk) valt ook de communicatie weg. Daarnaast is het niet steeds evident om bij problemen de oorzaak ervan te vinden [25].

### 3.1.4 *Uitbating en toegankelijkheid*

Het communicatiemiddel van PLC is het elektriciteitsnet zelf, dus gebeurt de uitbating typisch door de netbeheerder. Toegang tot het communicatiemiddel voor de marktpartijen verloopt via de netbeheerder. In principe is er communicatie mogelijk tussen elk paar PLC terminals (slimme meters). In praktijk verloopt de meeste communicatie van en naar de dataconcentrator.

### 3.1.5 *Flexibiliteit en toepasbaarheid*

Het communicatiekanaal is voor derden niet toegankelijk en is in eigen beheer van de netbeheerder. De beperking ligt in de transfercapaciteit (bandbreedte) van het medium, dat aan de lage kant is als er veel of frequent data moet doorgestuurd worden.

Uit productspecificaties van enkele fabrikanten blijkt dat alle gevraagde functionaliteit voor slimme meters via PLC mogelijk is. Daarnaast is het ook mogelijk om niet enkel gas en elektriciteit te managen, maar ook bvb. water. Als bijkomend voordeel voor de netbeheerders geldt dat slimme meters ondersteuning kunnen bieden bij het opvangen van netproblemen. Zo kunnen de meters van Echelon [26] (type gebruikt door ENEL in Italië) kunnen aan *remote load control* om bij dreigende tekorten lasten gecontroleerd af te schakelen en daarna geleidelijk aan terug op te nemen.

### 3.1.6 *Kostprijs*

In een studie van SenterNovem [27] worden de kosten specifiek voor het gebruik van PLC als communicatiemiddel geraamd op €15 per PLC modem. Er is één modem nodig per huishouden. De kosten van een dataconcentrator liggen tussen de €750 en €2000, waarbij de maximale capaciteit van de dataconcentrator ligt rond de 1000 meters. In deze studie wordt

tevens een abonnement van €1,75/maand gerekend, met een communicatiekost van €0,06/min, waarbij gemiddeld 2 min/dag per slimme meter nodig zijn.

Wanneer het PLC-communicatiemedium in eigen beheer is, vallen deze variabele kosten weg, of kunnen ze als kosten voor onderhoud van het communicatienetwerk bekeken worden.

In een studie van Sustainability First [25] komt de kostprijs op £17-20 (€25-30) per modem per meter (inclusief dataconcentrator, met typisch 1 per 20 à 80 meters).

### **3.2 Communicatie via telefoonlijn en kabelinfrastructuur**

We maken onderscheid tussen een smalbandverbinding over de telefoonlijn en een breedbandverbinding over telefoonlijn of kabel.

#### **3.2.1 Smalbandverbinding over een analoge of digitale telefoonlijn**

Bij analoge telefonie en Integrated Services Digital Network (ISDN) (digitaal) wordt een verbinding opgezet over het traditionele telefoonnetwerk (PSTN – Public Switched Telephone Network) tussen twee communicerende partijen, in dit geval tussen een slimme meter en de server van de beheerder. Hierbij moeten beide partijen een telefoonaansluiting hebben met bijhorend telefoonnummer. Er is uiteraard een modem nodig om datatransmissie over dit kanaal mogelijk te maken.

De datatransmissiecapaciteit is in de orde van grootte van 56 kbps duplex met analoge modem en 64 of 128 kbps duplex bij ISDN. Voor het doorsturen van enkel kilobyte meetgegevens zijn deze technologieën meer dan voldoende. Het opzetten van een verbinding over het telefoonnetwerk neemt wel een korte tijd in beslag.

##### *3.2.1.1 Aansluiten van de meter bij de klant*

In België heeft praktisch elke woning de mogelijkheid tot een aansluiting op het telefoonnetwerk door middel van een UTP-kabel (unshielded twisted pair). Normaal zijn twee paar per woning voorzien. Exacte cijfers van het percentage huisgezinnen dat toegang heeft tot het telefoonnetwerk zijn moeilijk te vinden, maar cijfers over bestaande telefoonaansluitingen spreken boekdelen: per 100 Belgen zijn er 45 aansluitingen op een vaste telefoonlijn [28]. We kunnen stellen dat deze technologie meer dan 99% van alle meters in België kan bereiken. Een huidige trend is evenwel een aantal mensen hun aansluiting op een vaste lijn opzeggen of niet activeren, hoewel in de meeste gevallen de mogelijkheid op aansluiting blijft bestaan.

Het publieke, geschakelde telefoonnetwerk (telefoonkabel-UTP) bevindt zich niet noodzakelijk dicht bij de elektriciteits- of gasmeter in huis, waardoor een extra bekabelde of draadloze verbinding nodig is.

Hoewel de nodige infrastructuur voor handen is, moet er ook nog een telefoonaansluiting aanwezig zijn. We overlopen de mogelijke gevallen.

Als een analoge aansluiting aanwezig is, kan de modem van de slimme meter hierop aangesloten worden. Dit heeft als nadeel dat er slechts eenrichtingsverkeer mogelijk is. Enkel de slimme meter kan de beheerder opbellen. Indien de beheerder de meter zou opbellen, begint de gewone telefoon bij de gebruiker te rinkelen, met gelijkaardige comfortproblemen als wanneer een fax en een telefoontoestel dezelfde lijn delen. Omdat dit een onaanvaardbare last is voor de klant, laat deze technologie dus enkel het doorsturen van periodieke meterstanden toe. Een oplossing voor dit probleem is een 'twin-line switch' [29-32]. Dit is een apparaat dat op de binnenkomende telefoonlijn geïnstalleerd wordt en een gewone telefoonoproep van een faxoproep kan onderscheiden. De switch kan bij een inkomende

oproep doorverbinden met het gepaste apparaat (fax, modem, telefoon). Het onderscheiden van de faxoproep en gewone oproep gebeurt aan de hand van een extra analoge toon die door de fax doorgestuurd wordt.

Een andere oplossing is het voorzien van een extra analoge telefoonaansluiting voor de slimme meter. Een tweede analoge aansluiting kan gemaakt worden indien nog een ongebruikte UTP kabel over is. Indien nog geen telefoonaansluiting aanwezig is (wat vooral bij jonge gezinnen meer en meer het geval is), moet uiteraard ook een nieuwe verbinding gemaakt worden. De vaste kost voor het in dienst stellen van een telefoonaansluiting bedraagt ongeveer €140 bij installatie van een enkele lijn of €180 bij installatie van een duo-lijn [33]; de maandelijkse abonnementskost bedraagt ongeveer €17,5 (Belgacom ‘standaard’), €6,85 (Belgacom ‘discovery’) en is gratis bij Tele2 [34]. Deze prijzen variëren echter sterk, zowel van operator tot operator als in de tijd. De prijzen zijn gebaseerd op de particuliere prijzen te vinden op de respectievelijke websites.

De laatste optie is het gebruik van de digitale ISDN lijn. Bij ISDN heeft men twee 64kbps kanalen ter beschikking, die men onafhankelijk van elkaar kan gebruiken voor telefoongesprekken en/of dataoverdracht. Het is ook mogelijk om met een enkele ISDN lijn meerdere telefoonnummers te hebben (tot 6 bij standaard ISDN-2). Voor elke ISDN-telefoon of -modem kan men de nummers instellen die geldig zijn voor dat specifieke apparaat. Hierbij blijft de beperking wel gelden dat maximaal twee gesprekken tegelijkertijd gevoerd kunnen worden (of één enkel datatransmissiekanaal van 128kbps). Indien men met ISDN zou werken, krijgt de slimme meter zijn eigen telefoonnummer, zodat de klant geen hinder ondervindt bij het opbellen van de meter. De installatie en in dienststelling voor een ISDN lijn bedraagt ongeveer €180; de maandelijkse abonnementskost voor een standaard ISDN-2 bedraagt €37,27; per bijkomend oproepnummer betaalt men €1,8 extra [33]. Bij het berekenen van de totale kostprijs moet men echter nog rekening houden *met kortingen per volume en kortingen op meerjarige abonnementen*. Daarnaast is ook duidelijk te zien dat de installatie en abonnementskost vaak sterk afhankelijk zijn van wat al aanwezig is. Voorts kunnen de kosten sterk variëren van operator tot operator.

### 3.2.1.2 Protocolstapel bij modemverbindingen

De protocols bij internettoegang via de modem zijn typisch: *IP* (OSI laag 3) – *PPP*<sup>7</sup> (OSI laag 2) - *fysische modulatie* (OSI laag 1). De fysische laag is afhankelijk van het type inbelverbinding (bitrate, analoog/digitaal) en zorgt voor een communicatiekanaal tussen twee partijen. Het point-to-point protocol (PPP) verzorgt de verbinding tussen twee partijen met als belangrijkste functies wederzijdse authenticatie<sup>8</sup> en encryptie, wat het ideaal maakt voor een inbelverbinding. Daarnaast zorgt PPP ook voor de toegang tot het communicatiemedium en het inpakken van de data van het hogere netwerkprotocol in frames (=datapakketjes) van variabele grootte. Afhankelijk van de implementatie kan men al dan niet IP gebruiken als netwerkprotocol.

### 3.2.1.3 Infrastructuur nodig bij beheerder

De beheerder die de meters uitleest moet onbemande callcentra hebben, die aangesloten zijn op telefoonlijnen met hoge capaciteit. De callcentra kunnen via een *servicenummer* (bvb. 0800-nummer) door de individuele meters opgebeld worden. Het aantal callcentra en de

---

<sup>7</sup> Point-to-point protocol: RFC 1661

<sup>8</sup> CHAP - Challenge Handshake Authentication Protocol: RFC 1994

capaciteit van de lijnen is afhankelijk van de snelheid waarbij men de meters wil uitlezen en de vereiste betrouwbaarheid van het systeem bvb. bij uitval van een lijn met hoge capaciteit.

Men communiceert tussen server en meter over (bijvoorbeeld) PPP en belt zo meter na meter op. Een andere optie is een aantal inbelpunten als toegangspunt (*gateway*) tot een (eigen) netwerk te laten fungeren waar een netwerkprotocol zoals IP op draait. Deze laatste optie zou erg sterk lijken op het internet van eind de jaren '90. Hierbij zou de toegangsserver ook in staat moeten zijn de slimme meter op te bellen, daar het onmogelijk is telefoonverbindingen continu open te laten.

#### 3.2.1.4 *Uitbater communicatiekanaal*

Sinds de vrijmaking van de telecommunicatiemarkt, moet Belgacom zijn infrastructuur delen met andere operatoren die diensten over het telefoonnetwerk kunnen aanbieden. Voorbeelden van alternatieve operatoren zijn Tele2/Versatel, Scarlet en Mobistar. Hoewel sommige van deze alternatieve operatoren een eigen 'backbone' telefoonnetwerk (breedband glasvezelnetwerken) uitbaten, blijven ze grotendeels afhankelijk van het bestaande telefoonnetwerk over UTP van Belgacom om de thuisgebruiker met hun eigen netwerk te verbinden.

#### 3.2.1.5 *Kostprijs*

De kostprijs komt neer op de prijs van een (extra) telefoonaansluiting per meter (éénmalig), de kost van een abonnement (jaarlijks) en de kost om een kortstondige verbinding op te zetten per uitlezing van de meterstand. De beheerder moet ook een aantal inbelcentra hebben met zogenaamde '*servicenummers*' met hoge capaciteit (die meerdere gelijktijdige verbindingen toelaten, bvb. ISDN-30) hebben om de nodige verbindingen tot stand te brengen. Vaak kan de eigenaar van een servicenummer van een voordelig tarief genieten om verbindingen tot stand te brengen. Het aantal inbelcentra dat nodig is, is afhankelijk van het aantal meters dat men simultaan wil uitlezen. Uiteraard is dit functie van de tijd die nodig is om een enkele meter uit te lezen (opzetten verbinding, authenticatie en datatransmissie)<sup>9</sup> en de frequentie waarmee men de tellers wil uitlezen (wekelijks, maandelijks...).

#### 3.2.1.6 *Betrouwbaarheid*

De betrouwbaarheid van het telefoonnetwerk is zeer hoog; het is een oude technologie die zijn betrouwbaarheid bewezen heeft [24]. Het telefoonnetwerk blijft ook werken bij een stroompanne, wat interessant kan zijn voor het automatisch melden van een lokale stroompanne. Voorwaarde hierbij is uiteraard dat de modem en slimme meter voorzien zijn van een autonome voeding.

#### 3.2.1.7 *Toepasbaarheid voor slimme meters*

Analoge of digitale PSTN-inbelverbindingen kunnen alle vereisten aan die aan de slimme-meterinfrastructuur gesteld worden.

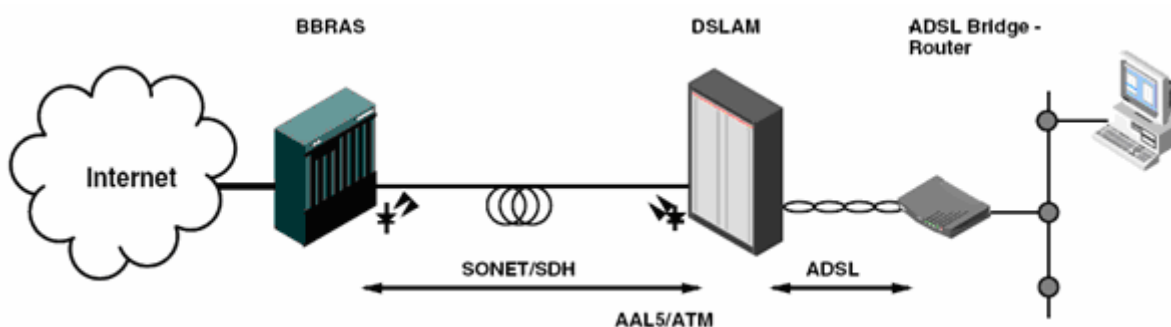
Functies waarbij eenzelfde boodschap snel naar vele meters moet gestuurd worden zijn uiteraard beperkt door het gebrek aan multicasting of broadcasting mogelijkheden. De snelheid waarmee meters kunnen bereikt worden, is afhankelijk van het aantal en de capaciteit van de telefoonlijnen van de beheerder.

---

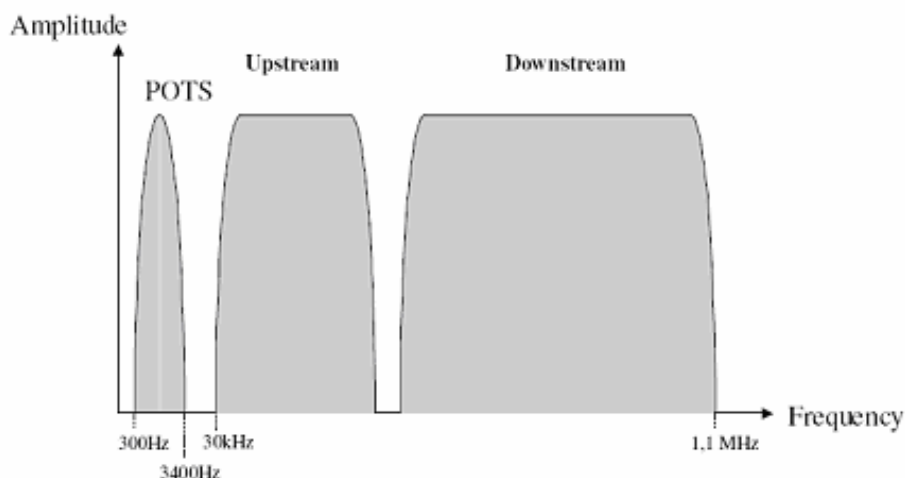
<sup>9</sup> Inbellen, synchronisatie en authenticatie bij een analoge of digitale modem duurt al snel enkele tientallen seconden, transmissie van een aantal meetregisters slechts enkele seconden.

### 3.2.2 Breedbandverbinding over de telefoonlijn (DSL)

De *Digital Subscriber Line (DSL)* technologie levert een breedbandverbinding over een klassieke telefoonlijn (UTP) vanaf een ADSL modem of router naar een ‘*DSL access multiplexer*’ (DSLAM) in de *central office (CO)* van de telecomprovider op het andere einde van de UTP-kabel (Figuur 10). De winst in transmissiecapaciteit over UTP t.o.v. POTS of ISDN wordt geboekt door het gebruik van een hogere en bredere frequentieband. Analoge telefonie werkt in de frequentieband van 300 tot 3400 Hz, terwijl ADSL in de frequentieband van 30 kHz tot 1,1 MHz werkt (Figuur 11). De afstand tussen de DSL modem en de DSLAM is beperkt tot enkele kilometers (Tabel 5, bvb. 3 km) door de sterke afzwakking van het hoogfrequente DSL-signaal over UTP. Vanaf de DSLAM wordt ATM communicatie gebruikt tot bij de breedband access server (BBRAS) die internettoegang verschaft [35].



Figuur 10: ADSL infrastructuur



Figuur 11: frequentiebanden POTS en ADSL up- en downstream

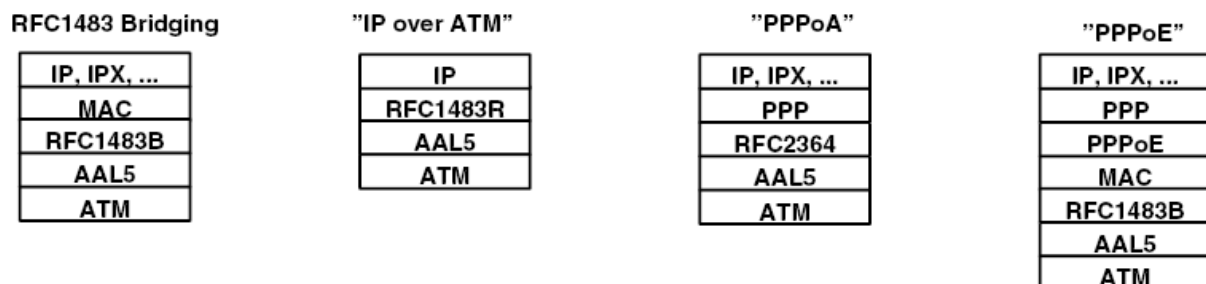
Afhankelijk van het feit of de bandbreedte van de up- en downlink verschillend of gelijk zijn, spreekt men over ADSL (Asymmetric DSL) [36, 37] of SDSL (Symmetric DSL). De nieuwere versies omvatten ADSL2 en VDSL, waarbij grotere transmissiesnelheden behaald worden door het gebruik van steeds hogere modulatiefrequenties. Hierdoor vermindert het signaalbereik, waardoor de *central office* steeds dichterbij de eindgebruiker moet komen. Tabel 5 geeft een overzicht van de meest voorkomende DSL-varianten.

	ADSL	HDSL	VDSL	
Bits/second	1,5 to 9 Mbps downstream 16 to 640 kbps upstream	1,544 or 2,048 Mbps	13 to 52 Mbps downstream 1,5 to 2,3 Mbps upstream	to 19,2 Mbps
Mode	Asymmetric	Symmetric	Asymmetric	Symmetric
Copper pairs	1	2	1	
Range (24-gauge UTP)	3,7 to 5,5 km	3,7 km	1,4	0,3 to 1,5 km

Tabel 5: overzicht van verschillende DSL varianten [38]

### 3.2.2.1 DSL protocolstapel voor IP en VoDSL

De typische protocolstapel waarover DSL werkt is vrij uitgebreid, en verschilt ook van implementatie tot implementatie. Enkele van de meest populaire protocolstapels voor breedbandinternet (IP) zijn te zien in Figuur 12. De lagen die gebruikt worden zijn afhankelijk van de diensten die men wenst over de ADSL verbinding. Het basisprotocol waarop elke protocolstapel gebaseerd is, is ATM (Asynchronous Transfer Mode). ATM is een circuit-gebaseerd protocol, wat betekent dat een gegarandeerde QoS<sup>10</sup> kan geleverd worden tussen de twee partijen waartussen een ATM verbinding opgezet wordt. De ATM *cellen* (=datapakketjes van gelijke grootte) kapselen datapakketjes in die door de ADSL-modem naar de breedbandinternettoegang verstuurd worden. ATM wordt zowel tussen de modem en DSLAM en tussen de DSLAM en de BBRAS gebruikt (Figuur 10).



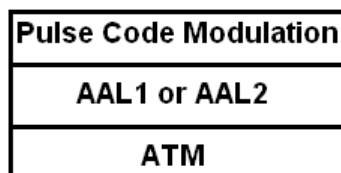
Figuur 12: enkele populaire ADSL-protocolstapels [35]

In de eenvoudigste uitvoering "IP over ATM" worden IP-pakketjes (=datapakketjes van variabele grootte) ingekapseld in ATM cellen, volgens protocols RFC1483 en AAL5.

De meest gangbare implementatie vandaag de dag is PPPoE (PPP over Ethernet) protocol. Hierbij worden (functioneel gezien) twee lagen toegevoegd aan het meest eenvoudige protocol "IP over ATM" namelijk PPP en Ethernet. PPP zorgt voor een punt-tot-punt abstractie zoals we kennen van de oudere analoge modemtechnologie. Elke gebruiker wordt geautoriseerd bij de ISP via dit PPP protocol. PPP kan, zoals in elke PPP implementatie, naast authenticatie ook voor encryptie zorgen. Communicatie tussen de computer en de ADSL modem gebeurt over een Ethernet protocol, waarbij een Ethernet verbinding tot stand gebracht wordt tussen de lokale ADSL modem en de ISP-router. Protocol PPPoE zet PPP frames om in Ethernet frames (MAC). Protocols RFC1483B en AAL5 kapselen Ethernetframes in in ATM cellen.

<sup>10</sup> Quality of Service, een maat voor de kwaliteit van een communicatielink betreffende beschikbare bandbreedte, vertraging (latency) en variabiliteit op de vertraging (jitter).

Bij breedbandinternet toepassingen verzorgt de DSL-router communicatie met een breedband-internettoegangspunt over een ATM netwerk. In principe kan de bandbreedte van het DSL kanaal (al dan niet gedeeltelijk) ook voor andere toepassingen gebruikt worden. Een voorbeeld hiervan is het aanbieden van telefonie over DSL (zoals in België door Scarlet aangeboden wordt). Deze laatste technologie wordt ‘*Voice over DSL*’ (*VoDSL*) genoemd. Ze toont aan hoe DSL ook andere diensten kan leveren naast breedbandinternet. De protocolstapel ziet er heel anders uit bij VoDSL dan bij IP-datadiensten [39], maar blijft gebaseerd op ATM (Figuur 13). Dergelijke toepassingen van DSL zijn compatibel met de IP-datatoepassingen en kunnen er parallel mee werken.



Figuur 13: vereenvoudigde protocol stapel voor VoDSL [39]

Eén enkele ADSL verbinding bestaat uit verschillende (modulatie-)kanalen ofwel van het type ‘*interleaved*’, ofwel van het type ‘*fast*’. De ‘*interleaved*’ kanalen verdelen bits van een datastroom over verschillende frames zodat typische *burst errors* beter kunnen opgevangen worden door codering. ‘*Fast*’ kanalen maken geen gebruik van interleaving, wat de kans op niet-gecorrigeerde fouten groter maakt, maar waardoor de data ook iets sneller kan afgeleverd worden. Het eerste type kanalen is ideaal voor dataoverdracht, terwijl het tweede type vooral gebruikt wordt bij soft-realtime toepassingen zoals video-on-demand en voice over DSL. Er worden dan ook verschillende ATM-circuits opgesteld voor elk type kanaal dat gebruikt wordt.

### 3.2.2.2 Datatransmissiecapaciteit

De bandbreedte voor de xDSL-technologie is als volgt:

- ADSL: 2-8 Mbps downstream / 256-640 kbps upstream
- SDSL: 1,5-5,6 Mbps upstream en downstream
- VDSL: 55 Mbps downstream / 15 Mbps upstream

### 3.2.2.3 Bereikbaarheid

Breedbanddiensten over PSTN (voornamelijk ADSL) zijn tegenwoordig vrijwel overal verkrijgbaar in België, tenzij de afstand tot de *central office* meer dan 3 à 5 km bedraagt (zoals in sommige landelijke gebieden). In de nabije toekomst neemt de penetratie in principe enkel toe, waarbij ook steeds meer SDSL en VSDL verkrijgbaar wordt. Het huidige aantal breedbandaansluitingen in België over ADSL bedraagt ongeveer 800.000 abonnees bij Belgacom en een 100.000-tal bij de andere operatoren. SDSL en VDSL vertegenwoordigen (voorlopig) slechts een klein deel van deze markt.

### 3.2.2.4 Uitbater communicatiekanaal

Net zoals bij telefonie is Belgacom eigenaar van het grootste deel van het netwerk bij de gebruikers thuis [33]. De vroegere monopolist is ook hier verplicht zijn netwerk ter beschikking te stellen van concurrenten die gelijkaardige diensten aanbieden. Voorbeelden op de Belgische markt zijn Tele2/Versatel [34, 40], Scarlet [41] en Mobistar [42].

### 3.2.2.5 *Betrouwbaarheid*

De basis telefonie-infrastructuur waar gebruik van gemaakt wordt, is een zeer betrouwbaar geheel. Daarnaast komt de bijkomende apparatuur voor de ADSL-infrastructuur en volgt een tweede infrastructuur na de ADSL-modem, hetgeen eventueel een andere operator of infrastructuureigenaar impliceert. Beschikbaarheid van ADSL netwerken bij thuisgebruikers ligt in de buurt van 99 %.

### 3.2.2.6 *Kostprijs*

Om de slimme meter over ADSL laten communiceren is een modem nodig. Prijzen voor dergelijke modems variëren van €50 tot €100. Elke ADSL klant dient dergelijke modem te kopen of te huren. De activeringskost voor particulieren voor internet over ADSL bedraagt typisch €25 en de installatiekost €25 tot €130. Daarnaast is er ook nog een maandelijkse abonnementskost te betalen die varieert van €6 tot €60, afhankelijk van de snelheid en het volume. Deze prijzen zijn gebaseerd op de prijs die Belgacom aan de particulier aanrekent specifiek voor breedbandinternet [33]. Kosten voor slimme meters die in grote aantallen geïnstalleerd worden en slechts een kleine bandbreedte nodig hebben kunnen hiervan vrij sterk afwijken. De prijzen kunnen ook variëren van provider tot provider.

Er wordt door de telecomprovider ook een kost aangerekend voor differentiatie van de DSL-informatiestroom (om een VPN op te zetten of om informatie over ATM naar servers/routers van de beheerder te sturen).

Daarnaast zijn aan de kant van de beheerder een aantal servers nodig, die ofwel over internet, ofwel over een specifiek netwerk (ATM, IP...) met de meters communiceren.

Indien bij de klant al een ADSL-verbinding aanwezig is, kan hiervan meestal geen gebruik gemaakt worden door de meter. Ten eerste zou de meter moeten aangepast worden als de gebruiker zijn internetverbinding opgeeft, wat voor extra kosten en complicaties zorgt. Daarnaast zijn de meeste ADSL-modems er niet op voorzien om met meerdere apparaten te communiceren. Een speciale modem zou dus toch nog nodig zijn om de data van de meter en die van de internetverbinding te multiplexen (er kan namelijk maar een DSL-modem over één enkele telefoonlijn communiceren).

### 3.2.2.7 *Toepasbaarheid voor slimme meters*

De bandbreedte van een DSL-kanaal is veel groter dan wat nodig is om meterstanden uit te lezen of voor de andere slimme-meterfuncties. Het is dus weinig zinvol zijn om de volledige bandbreedte van de DSL-verbinding bij een gebruiker voor te behouden voor de slimme meter, wat trouwens niet compatibel is met de huidige DSL-gebruikers. Er zijn twee opties.

- Een eerste optie bestaat erin via het publieke internet te gaan, en zo de standaard implementatie van ADSL te gebruiken zoals we deze de dag van vandaag aantreffen. Hierbij wordt men afhankelijk van ISP's die internettoegang verlenen aan DSL-klanten. De beheerder heeft zelf geen controle over de IP informatiestroom.
- Een andere optie bestaat erin een deel van de DSL-bandbreedte te reserveren voor de slimme meters, zoals dit nu gebeurt voor telefonie over DSL (VoDSL) of digitale televisie over de telefoonkabel. Waar normaal de DSL-data over een ATM-netwerk naar een internettoegangspunt gestuurd wordt, kan een ATM-circuit opgezet worden naar een gateway van de netbeheerder. Als netwerklaag kan IP gebruikt worden. Voordeel hiervan is dat de datastroom voor meters en internet volledig (logisch) ontkoppeld zijn en elkaar niet kunnen beïnvloeden. Er kunnen ook garanties qua QoS geboden worden.
- Een tussenoplossing, die ook gebruik maakt van differentiatie van IP verkeer, bestaat erin de internetinfrastructuur van bestaande providers te gebruiken, maar hierop virtuele private



netwerken (VPN) te implementeren. VPN's maken gebruik van MPLS (multiprotocol label switching) om IP-pakketten over circuits te versturen, waardoor QoS garanties kunnen gegeven worden. Op deze manier worden pakketten van het VPN virtueel onafhankelijk van ander IP-verkeer gerouteerd, alsof ze over een apart netwerk gestuurd worden.

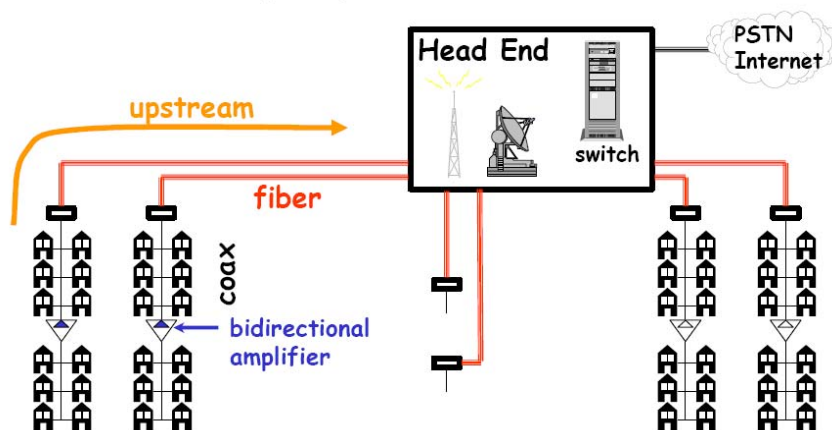
Bij DSL-modems zoals die nu gebruikt worden kan de verbinding enkel opgezet worden door de klant. Als we willen dat de beheerder om het even wanneer communiceert met de meter, moet deze verbinding continu open staan.

### 3.2.3 Breedbandverbinding over de kabel

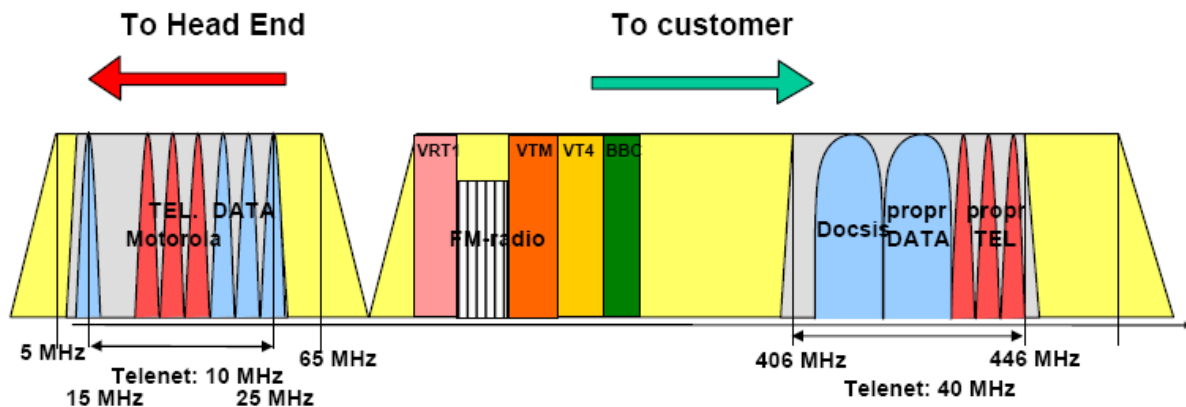
Een *breedbandverbinding over de kabel* duidt meestal op de coaxiale kabel die het televisiesignaal in de huiskamer brengt. De meest voorkomende toepassing die gebruik maakt van digitale datatransmissie over de kabel is breedbandinternet. Net zoals bij DSL, zou men ervoor kunnen opteren internet als medium te gebruiken. Ook worden vaak parallel met de breedbandinternetverbinding andere diensten over de kabel aangeboden, met meest in het oog springende voorbeelden digitale TV en telefonie (cfr. DSL). Op gelijkaardige manier als bij DSL kan een klein deeltje van de bandbreedte gebruikt worden om de communicatiecapaciteit te voorzien voor slimme meters.

#### 3.2.3.1 Infrastructuur, modulatie en toegangsregeling medium

De kabel is een communicatiekanaal dat gedeeld wordt tussen alle gebruikers op een kablesegment. Dit heeft tot gevolg dat de beschikbare bandbreedte moet verdeeld worden tussen de verschillende eindgebruikers en dat sommige gebruikers elkaar kunnen afluisteren. De boomstructuur van dit communicatiekanaal zorgt ervoor dat speciale protocols nodig zijn om de toegang tot het communicatiemedium te regelen. De fysische infrastructuur is te zien op Figuur 14. Traditioneel bestond in deze infrastructuur slechts eenrichtingsverkeer van data, namelijk van de 'Head End' naar de eindgebruikers toe. Hierbij worden televisie- en radiosignalen via een *broadcast* naar de eindgebruikers gestuurd (point-to-multipoint). Om communicatie in beide richtingen mogelijk te maken, was het nodig de bandbreedte in twee frequentiebanden op te splitsen en zo de versterking van zowel upstream als downstream op de kabel mogelijk te maken (Figuur 15).



Figuur 14: kabelinfrastructuur [8]



Figuur 15: frequentiebanden gebruikt op de kabel [8]

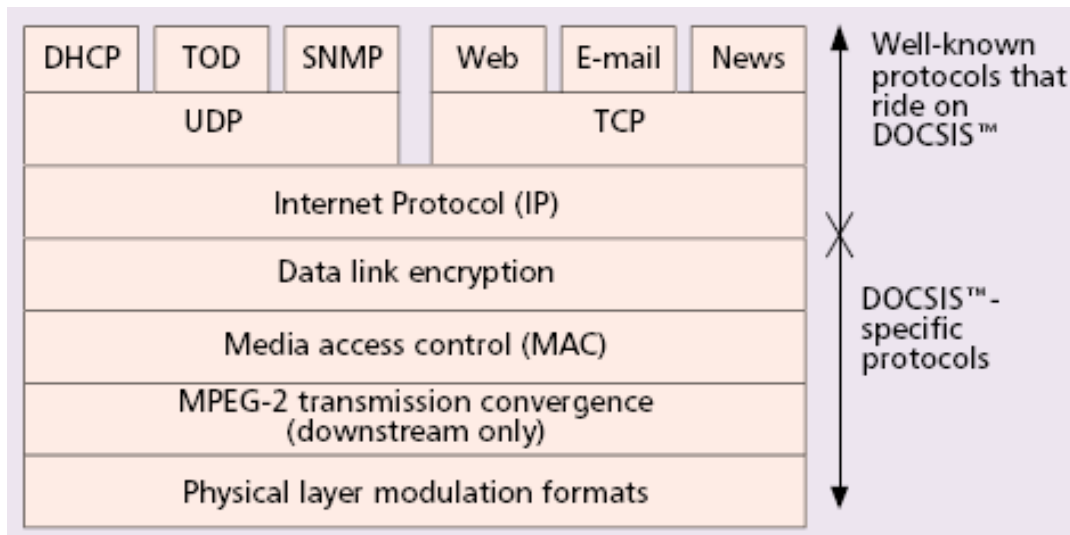
Zowel het modulatieschema als de toegang tot het communicatiemedium (Medium Access Control) worden gespecificeerd in de *Euro-DOCSIS* standaard (Data Over Cable Service Interface Specification) [43]. De protocolstapel die gebruikt wordt bij DOCSIS is te zien in Figuur 16. We gaan eerst in op de DOCSIS specifieke protocollen.

- Fysische modulatie: (64/256QAM Quadrature Amplitude Modulation downstream en QPSK-Quadrature Phase Shift Keying + 16QAM upstream)
- MPEG-2 transmissie: Wordt enkel bij downstream communicatie gebruikt. Data wordt ingekapseld in MPEG-2 frames. Dit laat toe dat de DOCSIS datastroom gemultiplexed wordt met MPEG-2 audio en video.
- Medium access control: meerdere modems bij eindgebruikers kunnen tegelijkertijd proberen data te zenden wat tot botsingen van boodschappen en dus verloren bandbreedte leidt. Door de typische boomstructuur van kabelnetwerken zouden vele van deze botsingen niet gedetecteerd blijven door de zender. Daarom is een speciaal medium toegangsprotocol nodig om botsingen te vermijden. DOCSIS gebruikt hiervoor *time division multiple access (TDMA)* waarbij elke zender een tijdslot toegewezen krijgt waarbinnen hij mag zenden.
- Data link encryption: de kabel is een gedeeld medium, wat voor problemen kan zorgen wat privacy betreft. Daarom wordt op datalink niveau de data geëncrypteerd om afluisteren van de datastroom tegen te gaan.

De protocols die bovenop deze DOCSIS protocols geïmplementeerd worden, zijn afhankelijk van de applicatie waar de kabel voor gebruikt wordt. Figuur 16 toont de protocolstapel voor breedbandinternet, waarbij IP op netwerkniveau gebruikt wordt. (De DOCSIS-specifieke protocols komen overeen met de OSI lagen 1 en 2).

Sinds het DOCSIS 1.1 protocol kunnen *QoS garanties* gegeven worden aan verschillende toepassingen die via dezelfde modem een internetverbinding hebben. Pakketten kunnen geordend worden volgens prioriteit of 'service flows' kunnen opgezet worden met gegarandeerde QoS.

Tot slot biedt DOCSIS 1.1 ook ondersteuning voor *Internet Group Membership Protocol (IGMP)* en *IP multicast*. IP multicast (met IGMP als ondersteuning) laat toe dat een groep ontvangers met een speciaal IP adres geadresseerd worden, zonder dat dit pakket meermaals dient verstuurd te worden. DOCSIS maakt hierbij gebruik van de intrinsieke point-to-multipoint structuur van de kabel om IP-multicast efficiënter te implementeren. Typische toepassingen hiervoor zijn video broadcasting over IP of online gaming.



Figuur 16: DOCSIS protocolstapel voor breedbandinternet [43]

### 3.2.3.2 Datatransmissiecapaciteit

De typische bandbreedte over kabel bedraagt downstream 38-52 Mbps en upstream 10 Mbps.

### 3.2.3.3 Uitbater communicatiekanaal

Sinds 2002 is Telenet [44] de enige operator en aanbieder van kabeldiensten in Vlaanderen, nadat het deze activiteiten van de gemengde intercommunales overnam. Telenet bezit tegenwoordig een sterk uitgebouwd glasvezelnet als backbone voor zijn telefonie- en internetdiensten. Interkabel/Indi beheren de kabelnetwerken die eertlang aan de zuivere intercommunales toebehoorden.

### 3.2.3.4 Bereikbaarheid

Vrijwel elke Belgische woning heeft de mogelijkheid een aansluiting op de kabel te nemen, zodat het aantal bereikbare meters boven de 95% ligt. Als we naar het aantal breedbandaansluitingen in België over de kabel kijken, komen we op een 560.000 aansluitingen [44].

In vele woningen komt de kabel niet noodzakelijk het huis binnen dicht bij de aansluiting van gas en elektriciteit. Hierdoor kan binnenshuis extra bekabeling of een draadloos systeem nodig zijn.

### 3.2.3.5 Betrouwbaarheid

Er zijn weinig betrouwbaarheidsgegevens ter beschikking, maar we schatten deze gelijkaardig in als breedbandverbindingen over de telefoonlijnen hierboven.

### 3.2.3.6 Kostprijs

Om de slimme meter met het kabelnetwerk te verbinden is een kabelmodem nodig. Prijzen voor dergelijke modems variëren van €20 tot €100 (of meer voor speciale modellen) [44]. Telenet leent deze modem gratis uit aan zijn klanten. Activeringskost voor internet over de kabel bedraagt €50 en de installatiekost €40 tot €75. Daarnaast is er ook nog een maandelijkse abonnementskost te betalen van €17. Dit zijn prijzen die door Telenet aan de particulier aangerekend worden specifiek voor breedbandinternet. Kosten voor slimme meters die in

grote aantallen geïnstalleerd worden en slechts een kleine bandbreedte nodig hebben kunnen hiervan vrij sterk afwijken.

Daarnaast kan in sommige gevallen reeds een verbinding aanwezig zijn. Hiervan kan enkel gebruik gemaakt worden als het metering systeem over het internet werkt, mits toevoeging van een hub/switch voor de bestaande kabelmodem. Het nadeel hier is wel dat, wanneer de klant zijn internetabonnement opgeeft, de slimme meter opnieuw moet geïnstalleerd worden met een nieuwe communicatiemodule.

Daarnaast zijn aan de kant van de beheerder een aantal servers nodig, die ofwel over internet (standaard internet of een VPN), ofwel over een specifiek netwerk (ATM, IP...) met de meters communiceren.

### *3.2.3.7 Toepasbaarheid voor slimme meters*

De bandbreedte van een kabelmodem is veel groter dan wat nodig is om meterstanden uit te lezen of voor de andere slimme-meterfuncties die gespecificeerd werden. Het is echter vrij eenvoudig om een extra modem op de kabel te plaatsen die een kleinere bandbreedte gebruikt dan standaard breedbandinternet, aangezien de kabel van nature een gedeeld kanaal is. Verder kunnen we op twee manieren communicatie verzorgen tussen de slimme meter en de beheerder.

- Een eerste optie bestaat erin via het publieke internet te gaan en zo de standaard implementatie van internet over de kabel te gebruiken. Hierbij wordt men afhankelijk van een ISP (Telenet) die de internettoegang verzorgt. De beheerder zelf heeft geen controle over IP informatiestromen.
- Een andere optie zou erin bestaan een deel van de data van de slimme meters rechtstreeks naar een server van de beheerder (over ATM) of naar een toegangspunt van een specifiek netwerk (ATM/IP) van de beheerder te sturen.
- Een tussenoplossing bestaat erin de internetinfrastructuur van bestaande providers te gebruiken, maar hierop virtuele private netwerken (VPN) te implementeren. VPN's maken gebruik van MPLS (multiprotocol label switching) om IP-pakketten over circuits te routeren, waardoor QoS garanties kunnen gegeven worden. Op deze manier worden pakketten van het VPN virtueel onafhankelijk van ander IP-verkeer gerouteerd, net alsof ze over een apart netwerk gestuurd zouden worden.

Bij kabelmodems zoals die nu gebruikt worden kan de verbinding enkel opgezet worden door de klant. Als we willen dat de beheerder om het even wanneer communiceert met de meter, moet deze verbinding continu open staan.

## **3.3 Draadloze communicatie**

Eerst wordt mobiele telefonie van de 2<sup>de</sup> en de 3<sup>de</sup> generatie beschreven en geëvalueerd voor slimme meter toepassingen. Daarna komen andere radiofrequente technieken aan bod: niet-gelicentieerde radio (RF), PMR (Tetra) en nieuwe technieken zoals WiMAX.

### **3.3.1 Mobiele communicatie van de 2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> generatie**

#### *3.3.1.1 Circuitgeschakelde mobiele communicatie van de 2<sup>de</sup> generatie*

##### 3.3.1.1.1 Beschrijving van het GSM systeem

GSM (Global System for Mobile Communications) is een standaard [45] voor digitale, mobiele telefonie van de 2<sup>de</sup> generatie.

Het is gebaseerd op TDMA (time division multiple access), waarbij verschillende gebruikers gedurende een korte tijd (timeslot) toegang hebben tot het draadloze medium en dus tegelijkertijd bellen. De in Europa gebruikte frequenties bevinden zich rond de 900 en 1800 MHz.

De communicatie gaat van het toestel van de eindverbruiker naar de GSM-mast (BTS - base transceiver station). Per BTS zijn enkele tientallen tot honderden kanalen ter beschikking zodat enkele honderden gesprekken tegelijk mogelijk zijn.

Van de BTS gaat het (via glasvezel of straalverbinding) naar een BSC (base station controller) die meerdere BTS beheert, waarna die via het telecommunicatienetwerk de correspondent kan bereiken.

Met GSM kan zowel spraak, fax als data verstuurd worden. De overdrachtsnelheid voor spraak is in de orde van 10-20 kbps.

Bij het versturen van data verstuurd via GSM spreekt men over CSD (circuit-switched data of circuitgeschakelde communicatie). CSD maakt een verbinding voor de duur van de dataoverdracht. De snelheid voor dataverkeer komt op 9,6 kbps. Er wordt meestal gefactureerd naargelang de duur van de verbinding, vermits dit de capaciteitsbenutting van het GSM-netwerk reflecteert. Het maximum aantal gelijktijdige gebruikers per cel is gelimiteerd tot 992 (= 124 frequenties x 8 TDMA-slots). Dit is het theoretisch maximum aantal gelijktijdige gebruikers per cel. In de praktijk is dit aantal veel kleiner. Proximus bijvoorbeeld beschikt over een licentie voor 60 frequenties in de 900 MHz-band. Deze frequenties worden typisch niet van cel tot cel herbruikt maar van cluster tot cluster. Een cluster is een verzameling van een aantal cellen, typisch zeven. Dit laat een maximum aantal gelijktijdige gebruikers per cel toe van  $60 \times 8 / 7 = 68$  als er verondersteld wordt dat er in elke cel evenveel GSM-gebruikers zijn. Per cluster is het maximum aantal gelijktijdige gebruikers  $60 \times 8 = 480$ . Bij een tekort aan capaciteit kunnen cellen opgedeeld worden in kleinere subcellen met elk een eigen basisstation.

Circuitgeschakelde communicatie (zoals CSD en GSM) staat in tegenstelling tot pakketgeschakelde communicatie (zoals GPRS, cfr. infra).

In appendix 8.1 wordt het GSM systeem uitgebreid beschreven.

#### 3.3.1.1.2 Gebruik van GSM voor slimme meters

Er zijn ongeveer 10 miljoen SIM-kaarten in omloop in België, en de dekkingsgraad is 98 à 99%. Gelet op deze dekkingsgraad, het feit dat miljoenen gebruikers bediend kunnen worden en de beschikbare datatransmissie snelheid (9.6 kbps), kunnen we stellen dat GSM zeker geschikt is als communicatiemiddel voor slimme meters. Het nadeel is de tijd nodig voor het opzetten van verbinding, van de orde grootte van één of enkele seconden.

Multicast is in het oorspronkelijk GSM-systeem niet mogelijk, enkel broadcast met Cell Broadcast Service (CBS). Broadcast betekent dat een bericht naar alle gebruikers binnen eenzelfde geografisch gebied gezonden wordt die dit bericht allemaal ontvangen. Bij multicast wordt een bericht naar één of meerdere ontvangers gezonden. Niet alle, maar een bepaalde groep van gebruikers in het geografisch gebied, ontvangen het bericht. Bij CBS worden de berichten verstuurd in blokken die men pagina's noemt. Elke pagina kan tot 93 alfanumerieke karakters bevatten. Tot 15 pagina's kunnen samen genomen worden om een bericht (van 1395 karakters) te vormen.

Sinds 2002 wordt in de werkgroep Third Generation Partnership Project (3GPP) gewerkt aan efficiëntere broadcast/multicast manieren in mobiele GSM/WCDMA-netwerken. Dit leidde tot de ontwikkeling van MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service), een systeem

dat broadcast en multicast van mobiele multimedia-toepassingen (mobiele radio/TV) op een efficiënte manier toelaat in GSM/GPRS/UMTS-netwerken.

De beschikbaarheid van GSM-netwerken is hoog. Zo garandeert Proximus een beschikbaarheid van 98% voor het voltooiën van oproepen, en van 99% voor het verzenden van SMS'jes en van 98% voor GPRS [46].

#### 3.3.1.1.3 HSCSD

HSCSD (High-Speed Circuit-Switched Data) is een uitbreiding op CSD (Circuit Switched Data) bij het versturen van data over GSM. Net zoals bij GSM wordt er gewerkt met circuitschakelingen waarlangs informatie getransporteerd wordt. Dit betekent dat er wordt gefactureerd op basis van de gebruikte tijd van de oproep en niet, zoals bij GPRS, op basis van de hoeveelheid data. Men kan de datasnelheid ten opzichte van die van GSM verhogen tot 28.2 kbps door gebruik te maken van 2 TDMA-tijdslots voor de binnenkomende data en 2 voor de buitengaande data. Bij gebruik van compressie en filters kan de snelheid verhoogd worden tot 57.6 kbps. Worden alle 8 de tijdslots van een TDMA-frame gebruikt, dan bedraagt de maximale snelheid 115 kbps. Het hangt van de netwerkkoperator af of er daadwerkelijk 8 tijdslots gebruikt mogen worden. HSCSD is gebaseerd op het GSM-systeem. Voor de uitbouw ervan hoeft enkel de software van de GSM-architectuur vervangen te worden en niet de hardware. HSCSD wordt echter niet veel gebruikt en het aantal mobiele telefoons dat ervoor geschikt is, is beperkt.

#### 3.3.1.1.4 HSCSD situatie in Vlaanderen

In België biedt enkel Base HSCSD aan met een maximale datasnelheid van 43.2 kbps. De dekking is hetzelfde als voor het gewone GSM-netwerk van Base [47].

### 3.3.1.2 *Pakketgeschakelde mobiele communicatie van de 2<sup>de</sup> generatie*

#### 3.3.1.2.1 GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) is een standaard [48] bedoeld om data te versturen maar verschilt van de GSM-technologie voor dataverkeer. Een essentieel verschil is dat GPRS-communicatie *pakketgeschakeld* verloopt in plaats van circuitgeschakeld. Dit wil zeggen dat er geen exclusieve verbinding moet worden gemaakt waarover enkel communicatie kan worden gevoerd tussen toestel A en netwerkelement B, maar dat toestel A enkel datapakketten zendt/ontvangt wanneer dat nodig is, die elk op zich een eigen weg afleggen over het netwerken. Een gebruiker is als het ware continu on-line, maar verbruikt slechts communicatiecapaciteit wanneer effectief gegevens verstuurd worden (in tegenstelling met GSM). Een GPRS-gebruiker betaalt zijn provider dan ook per data-eenheid en niet per tijdseenheid vermits dit de capaciteitsbenutting van het GSM-netwerk reflecteert. Hij betaalt daarenboven ook een abonnement.

Een praktisch verschil is uiteraard de bandbreedte. De praktische bandbreedte van GPRS is 4 maal groter dan die van data over GSM en 1.5 maal groter dan die van HSCSD maar vormt slechts 1/10 van de praktische bandbreedte die UMTS vooropstelt. GPRS is dus duidelijk een 2.5G technologie: het is slechts een eerste stap in de richting van een (3G) breedband draadloos internet.

In principe is het mogelijk om met GPRS een bandbreedte te behalen van 171 kbps. Deze bandbreedte moet in het algemeen echter gedeeld worden tussen verschillende gebruikers die toegang verwerven tot het gedeelde medium door de techniek van Slotted-ALOHA.

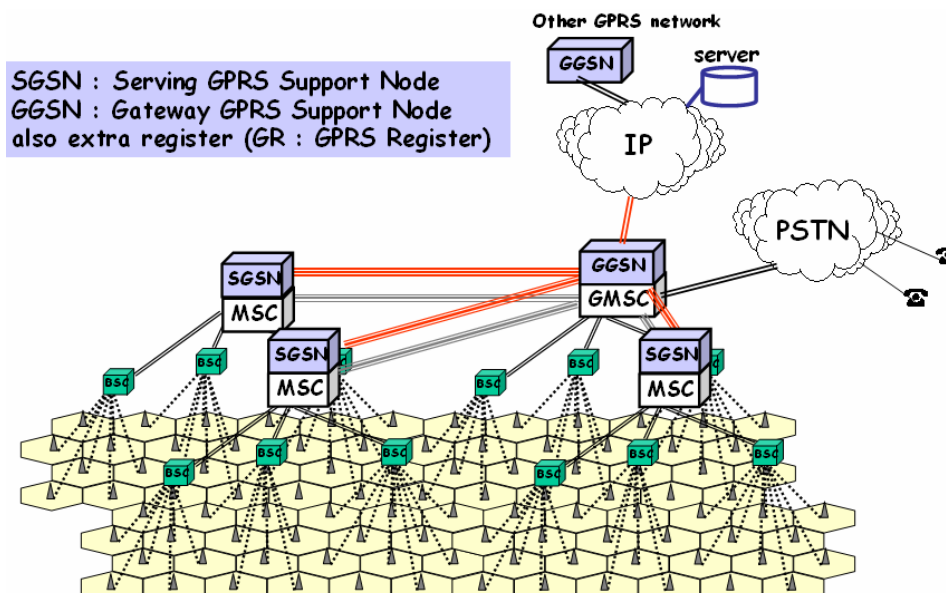
De communicatie in elk van beide richtingen verloopt over 1 tot 4 TDMA-tijdslots. De snelheid binnen 1 dergelijk slot hangt af van de gebruikte coderingstechniek en is een

afwegen tussen foutcorrectie en snelheid. CS-4 levert 21.4 kbps per timeslot op, terwijl met het in België gebruikte CS-2 een snelheid van 13.4 kbps bereikt wordt. Voor 4 slots bedraagt de snelheid bij CS-2 dus 53.6 kbps.

De GPRS klassen A, B of C duiden op het vermogen van het mobiel toestel. Klasse A betekent dat het toestel volledig simultaan verbonden kan zijn met GPRS en GSM diensten. Klasse C betekent dat slechts één van de twee diensten tegelijk kan gebruikt worden en dat er manueel moet worden gewicht. Bij klasse B wordt er ook slechts een dienst tegelijk gebruikt maar er wordt automatisch gewicht. Bij een binnenkomende GSM oproep wordt het GPRS-verkeer stilgelegd en na de oproep wordt het automatisch terug hernomen.

Een GPRS multislot-klasse definieert het aantal tijdslots dat voor download is voorzien, het aantal tijdslots dat voor upload is voorzien en het aantal actieve slots - dit is het aantal slots dat tegelijk uit beide categorieën kan worden gebruikt - voor een bepaald toestel. De eerste telefoon-georiënteerde GPRS-toestellen hadden een multislot-klasse 2 (2+1+3), wat betekent dat de 2 downlink en 1 uplink slots steeds tegelijk kunnen worden gebruikt. De Audiovox RTM-8000 Compact Flash Card, de meest gangbare GPRS-kaart voor PDA's, heeft multislot-klasse 8 (4+1+5), wat erg asymmetrisch is. In de nieuwe PDA's met geïntegreerde GPRS of in GPRS PC Cards wordt vaak gebruik gemaakt van multislot-klasse 10 (4+2+5), wat betekent dat er maximaal bijvoorbeeld 4 slots down en 1 up ofwel 3 slots down en 2 up kunnen gebruikt worden. De hoogste multislot-klasse is 12 (4+4+5) en beschikt ook maar over 5 actieve slots.

Het GPRS-systeem herbruikt zoveel mogelijk componenten van de GSM-architectuur. GPRS maakt eveneens gebruik van de BTS en BSC van de GSM-architectuur maar vereist binnen de infrastructuur van de mobiele operator ook een SGSN (Serving GPRS Support Node) die zorgt voor netwerktoegang terwijl gebruikers mobiel zijn en een GGSN (Gateway GPRS Support Node) die zorgt voor een verbinding met internet. Een SGSN is equivalent aan het MSC bij GSM, met dit verschil dat de SGSN bedoeld is voor GPRS dataverkeer (Figuur 17). Een GGSN komt overeen met de GMSC.



Figuur 17: GPRS-systeem

### 3.3.1.2.2 GPRS situatie in Vlaanderen

GPRS-diensten worden in Vlaanderen aangeboden door Proximus [46], Mobistar [42] en Base [47]. Proximus biedt een dekking van 99,9% en laat datasnelheden toe tot 54 kbps. Mobistar dekt meer dan 99%. De dekking van Base is moeilijk terug te vinden in de literatuur.

De beschikbaarheid van GPRS is groot. Proximus garandeert een beschikbaarheid van 98% voor GPRS.

### 3.3.1.2.3 EDGE

EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution) is net zoals GPRS gebaseerd op pakketgeschakelde transmissie. Het is een uitbreiding van GPRS en wordt daarom soms EGPRS genoemd (Enhanced GPRS). Het werkt dus eveneens op bestaande GPRS-netwerken. Men haalt een hogere snelheid door een andere codering- en modulatietechniek (8-Phase Shift Keying). Hiermee zijn datasnelheden mogelijk tot 384 kbps.

EDGE vereist geen hardware of software aanpassingen in het core-netwerk van GSM. Echter, de basisstations moeten aangepast worden. Ook is nieuwe hard- en software nodig in de mobiele terminals om de nieuwe modulatie- en codeerschema's te ondersteunen. EDGE gebruikt 9 modulatie- en codeerschema's (Tabel 6). Voor de bovenste vijf schema's wordt 8-Phase Shift Keying gebruikt, en voor de onderste Gaussian Minimum Shift Keying. Met 8-PSK komt een symbool met 3 bits overeen terwijl met GMSK een symbool met 1 bit overeenkomt. Op die manier wordt de effectieve bitsnelheid ten opzichte van GSM verdrievoudigd. EDGE gebruikt, net zoals GPRS, een adaptatiealgoritme die de modulatie- en codeerschema's (MCS) aanpast aan de kwaliteit van het radiokanaal en dus de bitsnelheid en robuustheid van datatransmissie. Via incrementele redundantie vermijdt EDGE dat corrupte pakketten opnieuw verzonden moeten worden en is foutcorrectie mogelijk.

Moduleer- en codeerschema (MCS)	Snelheid (kbps)	Modulatie
MCS-1	8.8	GMSK
MCS-2	11.2	GMSK
MCS-3	14.8	GMSK
MCS-4	17.6	GMSK
MCS-5	22.4	8-PSK
MCS-6	29.6	8-PSK
MCS-7	44.8	8-PSK
MCS-8	54.4	8-PSK
MCS-9	59.2	8-PSK

*Tabel 6: bandbreedte en modulatie bij EDGE*

EDGE kan datasnelheden tot 236.8 kbps aan (als vier TDMA-slots worden gebruikt) en het theoretische maximum is 473.6 kbps (met 8 TDMA-tijdslots) en voldoet daarom aan de ITU (International Telecommunications Union) vereisten voor een 3G netwerk. Gewoonlijk wordt het echter bij een 2.75G ingedeeld.



### 3.3.1.2.4 EDGE situatie in Vlaanderen

In België is EDGE door Mobistar geïntroduceerd in Brussel en Antwerpen. Thans dekt het meer dan 99 procent van de Belgische bevolking. Als toepassing is het mogelijk om naar Kanaal Z en het Franstalige Canal Z te kijken via het GSM-toestel. Ook nieuwsbeelden van de nationale of internationale actualiteit, sport, cultuur en uitzonderlijke gebeurtenissen kunnen gedownload worden.

Het netwerk van Base heeft vanaf eind juni 2006 een volledige EDGE upgrade gekregen. De dekking bedraagt meer dan 98%. Ook Proximus ondersteunt EDGE maar de dekking bedraagt slechts 4.3% van de populatie. Proximus laat een maximale snelheid toe van 160 kbps.

### 3.3.1.3 *Mobiele communicatie van de 3<sup>de</sup> generatie*

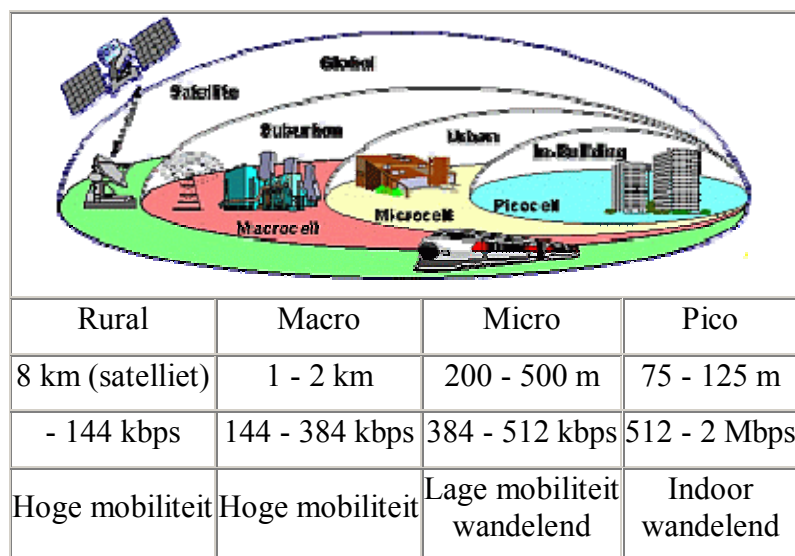
#### 3.3.1.3.1 UMTS

UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) is een 3<sup>de</sup> generatie mobiel communicatiesysteem. De International Telecommunication Union (ITU) definieerde de IMT-2000-standaard (International Mobile Telecommunications) voor 3G. IMT-2000 is een verzameling van compatibele standaarden waarvan UMTS er één is.

UMTS [49] is meestal gebaseerd op W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Net zoals SDMA, FDMA en TDMA, is CDMA een techniek om meerdere gebruikers toegang te geven tot een gedeeld medium. Het is meestal gebaseerd op spreadspectrum-modulatie. Dit bestaat in twee varianten: Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), waarbij gebruik wordt gemaakt van orthogonale codes om het signaal van meerdere gebruikers uit te spreiden in de volledige frequentieband en Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Bij FHSS wordt interferentie niet vermeden, maar wel beperkt tot een kleine tijdsduur omdat de informatie doorgestuurd wordt met een draaggolf waarvan de frequentie discrete veranderingen vertoont die bepaald worden via een pseudorandom sequentie. W-CDMA maakt geen gebruik van FHSS maar wel van DSSS. De radiokanalen zijn 5 MHz breed. Twee basismodes worden ondersteund voor duplex: FDD en TDD (met 15 slots per radioframe).

In appendix 8.2 worden meer details van het UMTS-systeem besproken.

Voor een optimale netwerkopbouw wordt gewerkt met een hiërarchische celstructuur van macro-, micro- en picocellen (Figuur 18).



*Figuur 18: hiërarchische UMTS-celstructuur*

De macrocellen worden gebruikt om een wide area netwerk op te zetten en geven de mobiele gebruiker een maximale datasnelheid van in ieder geval 144 kbps en mogelijk 384 kbps. De afstand tussen de basisstations ligt hierbij in de orde van grootte van 1 à 2 km. De mobiliteit van de gebruiker mag hier groot zijn (wagen, trein). Om in stedelijke gebieden meer capaciteit te kunnen bieden, wordt gebruik gemaakt van microcellen, waarbij de basisstations in de orde van grootte van 200 - 500 meter uit elkaar staan. De datasnelheid is in ieder geval 384 kbps en mogelijk 512 kbps. De snelheid van de gebruiker is hier maximaal loopsnelheid. De picocellen zullen in huis worden gebruikt waarbij datasnelheden tot mogelijk 2 Mbps kunnen worden aangeboden. De basisstations liggen hierbij in de orde van grootte van 75-125 meter uit elkaar. Hier geldt dat de gebruiker slechts op wandeltempo mag bewegen. De FDD mode zal worden gebruikt om een basisnetwerk van macro en microcellen op te zetten. Voor de picocellen kan gebruik worden gemaakt van de TDD frequenties, omdat de hoge datasnelheden vooral in één richting (richting de gebruiker) nodig zijn.

### 3.3.1.3.2 UMTS situatie in Vlaanderen

De veiling van UMTS licenties in België aan de netwerkoperatoren was verbonden aan de verplichting om een bepaalde dekking te hebben. Het Koninklijk Besluit van 18 januari 2001 regelt dit. Artikel 3 stelt:

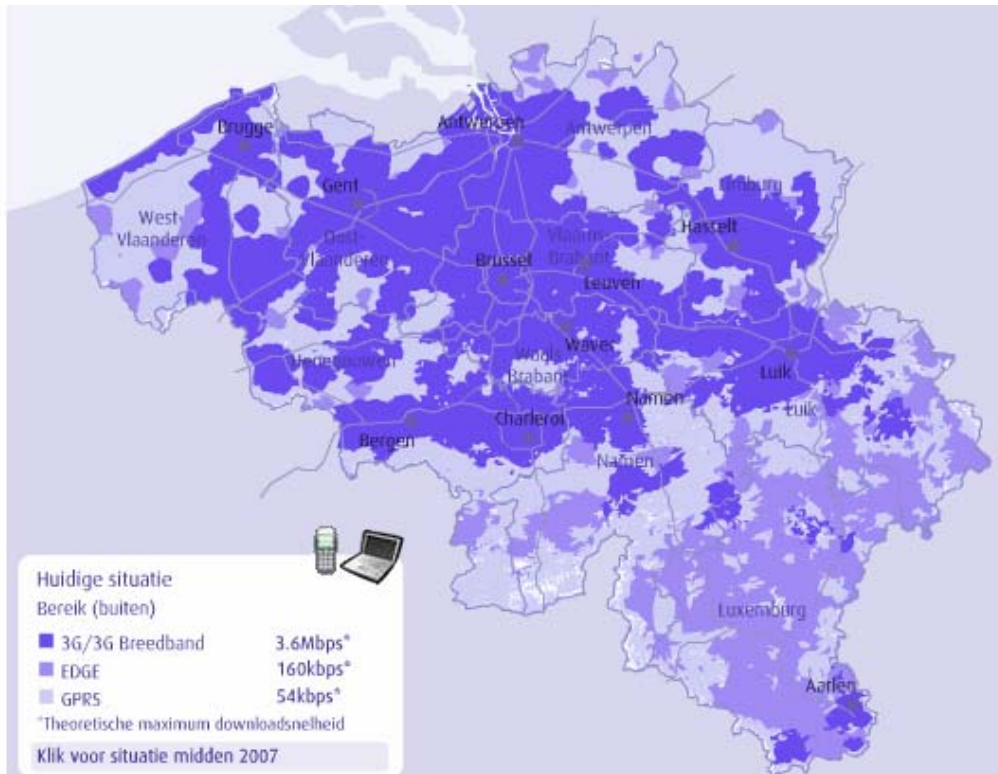
“Art. 3. § 1. De ontplooiing van het radio-elektrisch netwerk van de derde generatie van de 3G-operator beantwoordt, te rekenen vanaf de datum van kennisgeving van de vergunning, minstens aan de volgende dekkingsgraden van de bevolking in België op de verschillende tijdstippen:

- na drie jaar: 30 %;
- na vier jaar: 40 %;
- na vijf jaar: 50 %.

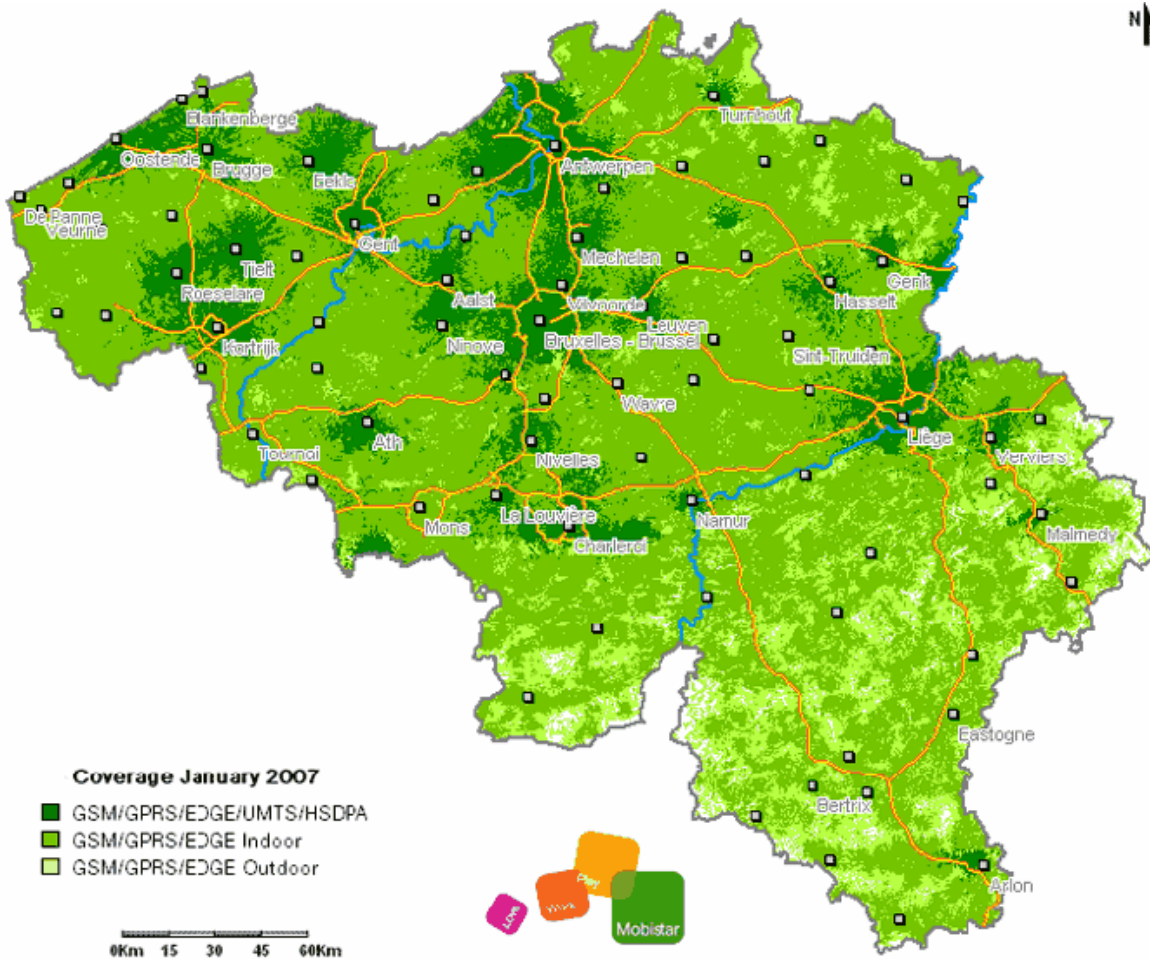
Bij het einde van het zesde jaar geldt een streefnorm. De beoogde ontplooiing van het radio-elektrisch netwerk van de derde generatie van de 3G-operator na zes jaar, te rekenen vanaf de datum van kennisgeving van de vergunning, is 85 %. De na te streven dekkingsgraad kan om gegronde redenen herzien worden.”

Base, Proximus en Mobistar hebben alle UMTS-licenties verworven in 2001 voor de totale som van 18,2 miljard BEF.

De UMTS-dienst wordt door alle drie de operatoren commercieel aangeboden. De dekking van UMTS is ongeveer 80% in het Proximus-netwerk (Figuur 19 [46]) en 50% in het Mobistar-netwerk (Figuur 20 [42]). Base heeft problemen gekend met het verkrijgen van bouwvergunningen voor de basisstations en ontwikkelt EDGE als alternatief voor UMTS. Informatie over de UMTS dekking van Base is moeilijk te vinden. Een Base-persbericht stelt: “BASE verbindt zich ertoe om tegen 2007 een UMTS-dekking hebben van 40% (zoals de licentie het vereist), en blijft de UMTS-strategie aanhouden om niet de eerste in de markt te moeten zijn.



Figuur 19: dekking 3G, EDGE en GPRS in het Proximus-netwerk [46]



Figuur 20: dekking 3G, EDGE en GPRS in het Mobistar-netwerk [42]

### 3.3.1.3.3 HSDPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) is een protocol voor mobiele telefonie dat gebaseerd is op UMTS en hogere datasnelheden toelaat. Huidige HSDPA-systemen ondersteunen snelheden van 1.8 Mbps (zoals Mobistar en Base), 3.6 Mbps (zoals Proximus), 7.2 Mbps en 14.4 Mbps in de downlink. In de toekomst worden snelheden tot 28.8 Mbps en hoger mogelijk [50].

HSDPA realiseert deze hogere snelheid door een nieuw W-CDMA of TD-CDMA kanaal te gebruiken: high-speed downlink shared channel (HS-DSCH) dat op een andere manier werkt als de bestaande CDMA kanalen en dat gebruikt wordt voor downlink communicatie.

HSDPA wordt door de drie Belgische telecomoperatoren ondersteund. Het is een software-upgrade van UMTS-systemen en vereist geen nieuwe hardware-infrastructuur.

### 3.3.1.4 *Onderzoek naar de geschiktheid van de 2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> generatie mobiele communicatiesystemen voor slimme meters*

In dit deel evalueren we de mogelijkheden van de mobiele communicatiesystemen GSM, GPRS, EDGE, HSCSD, UMTS en HSDPA voor smart metering.

#### 3.3.1.4.1 Bereikbaarheid

Om een gas- of elektriciteitsmeter via mobiele systemen te laten communiceren met een server die meetgegevens ontvangt en/of commando's zendt naar de meter, moet de meter een zender-ontvanger bezitten en een SIM-kaart (Subscriber Identity Module) (USIM genoemd voor UMTS). De SIM-kaart maakt het mogelijk om de abonnee te scheiden van de apparatuur (de meter). Als de meter vervangen wordt, laat dit toe het abonnement te bewaren of omgekeerd, de meter te bewaren als het abonnement verandert.

Verder moet er een abonnement genomen worden bij een aanbieder van mobiele communicatie. Dit is momenteel Proximus, Base of Mobistar in Vlaanderen.

Momenteel zijn er ongeveer 10 miljoen SIM-kaarten in omloop in België. Als alle slimme meters in Vlaanderen ermee uitgerust worden, is dat dus een substantiële verhoging van het aantal SIM-kaarten.

GSM en GPRS hebben praktisch een volledige dekking in Vlaanderen. Binnen, in huizen of kelders kan de dekking echter minder zijn. Enkel door Proximus wordt EDGE niet goed gedekt. Dit maakt GSM, GPRS en EDGE interessante technologieën om over gans Vlaanderen gebruikt te worden voor metering. UMTS zal dit op termijn ook zijn als de dekking vergroot.

#### 3.3.1.4.2 Geschiktheid voor slimme-meterfunctionaliteit en flexibiliteit

Cellulaire communicatie is geschikt voor alle vooropgestelde vereisten voor slimme meters. De tijd om een verbinding op te zetten bij UMTS bedraagt minder dan één seconde tot enkele seconden, maar is ongeveer één derde van de tijd om een GSM-connectie te maken [51].

Onderzoek wijst uit [52] dat smart meters ook kunnen gecontroleerd worden en uitgelezen worden met SMS-Cell Broadcasts (CB) resp. SMS-Point-to-Point (PP). SMS-PP is maximaal 160 karakters lang (140 bytes) en SMS-CB beslaat maximaal 15 pagina's van elk 82 bytes. In een schakelcentrum kunnen SMS'jes aan een tempo van 2500/s verwerkt worden. De lengte van een boodschap voor controle van een microgenerator werd onderzocht en de lengte van de boodschap met de meetgegevens in. Elke nacht werden de tarieven per half uur doorgestuurd voor de volgende dag en werd eenvoudige controle-informatie doorgestuurd. Eveneens wordt er iedere nacht de verbruikte hoeveelheid elektriciteit (op ieder half uur) en de gegenereerde

hoeveelheid doorgestuurd. De grootte van de berichten wordt getoond in Figuur 21. We kunnen besluiten dat een berichtje niet groter is dan enkele kilobytes.

TABLE 1–SMS-CB MESSAGE FROM CENTRAL CONTROL SUBSTATION

No. of Octets	Data content	Comments
48	Tariff rates for next 24 hours	At half-hourly intervals
36	Sunshine forecast for next 24 hours	Can vary from cell to cell
8	Times for CHP despatch	Can vary from cell to cell
4	Times and durations for simple load control	Can vary from cell to cell
2	Closedown time	If required for distribution network maintenance
1	Checksum	To verify message is correct on receipt

TABLE 2–SMS-PP MESSAGE FROM LOCAL CONTROL SUBSYSTEM TO CENTRAL CONTROL

No. of Octets	Data content	Comments
1	Status of generator	Includes confirmation of receipt of broadcast
10	Settings of CHP heating	On/off times, thermostat setting
48	kWh generated or exported in last 24 hours	Half-hourly measurement
48	kWh consumed or imported in last 24 hours	Half-hourly measurement
1	Checksum	To verify message is correct on receipt

Figuur 21: benodigde hoeveelheid data voor controle en metering met SMS [52]

#### 3.3.1.4.3 Kosten

De kosten voor smart-meting met GSM/GPRS/UMTS bedragen volgens [53] €100 per meter in totaal: €40 (meter), €40 (installatie), €10 (communicatie), €10 (centraal systeem). De kostprijs voor een GSM/GPRS modem per meter wordt in een andere referentie [27] geschat op €20 jaar en de kost van het abonnement is eveneens €20 per jaar. Dit brengt de kost voor meter plus communicatie op €40 per jaar.

#### 3.3.1.4.4 Betrokken partijen

De uitbater van het communicatiemedium is een van de mobiele operatoren, Proximus, Base of Mobistar. Zij zijn de enige die GSM- of UMTS-frequenties in licentie hebben en dus de dienst kunnen uitbaten. Base loopt achterop met het realiseren van de nodige UMTS-dekking en er werd even gevreesd dat de UMTS-licentie zou afgenomen worden. Er is dus een kans dat in de toekomst Base geen UMTS-dienst zal uitbaten.

#### 3.3.1.4.5 Betrouwbaarheid

De cellulaire systemen zijn minder betrouwbaar dan vaste telefonie. Het systeem is uitgebouwd voor een gemiddeld verkeer. Wordt deze capaciteit overschreden, dan worden extra verbindingen geweigerd. GSM laat 992 gebruikers toe (voor de drie operatoren samen) in een cellencluster (cfr. supra). GPRS laat er meer toe, omdat de capaciteit niet wordt vastgelegd per gebruiker maar door de pakketschakeling gedeeld wordt onder alle gebruikers. Echter hoe meer gebruikers, des te trager de datatransmissie verloopt. Door de bredere band (5 MHz i.p.v. 200 kHz), de toepassing van CDMA en de mogelijkheid om pakketgeschied berichten door te sturen, zal bij UMTS het aantal gebruikers kunnen toenemen en de datasnelheid hoog kunnen blijven.

Alle mobiele communicatietechnieken hebben zeer goede foutcodering die de berichten beschermt tegen verstoring en verkeerde ontvangst. De informatiebeveiliging van GSM, GPRS en EDGE vertoont enkele kleinere problemen die niet optreden op bij UMTS.

### 3.3.2 *Niet gelicentieerde radiocommunicatie (RF)*

Bij de niet gelicentieerde radiocommunicatie spreken we over radiofrequente (RF) communicatie die niet aan licenties onderworpen is. Het frequentieplan van het BIPT [54] omvat deze frequenties. Veelal maakt men gebruik van de ISM band (industrial, scientific and medical), vooral op de frequenties rond 433 MHz of 2.4 GHz.

Short-range (<100 m) LPR (Low Power Radio), waarbij de communicatie gerealiseerd wordt tussen een meter en een voorbijpasserende meteropnemer wordt niet beschouwd omdat dit niet alle slimme-meteractiviteiten toelaat.

Medium-range (<8 km) Low Power Radio vereist de invoer van een volledige antenne infrastructuur. Hierbij wordt een draadloze verbinding bijvoorbeeld op 433 MHz met frequentiehopping gelegd vanaf de slimme meter naar een plaatselijke antenne waaraan een dataconcentrator gekoppeld is. Daarom wordt dit ook soms *fixed network radio* of *fixed line radio* genoemd, in tegenstelling tot mobiele netwerktoegang. Afhankelijk van het uitgestraalde vermogen kan een grotere afstand overbrugd worden. Over het algemeen is het vermogen kleiner dan 1 W en is de propagatieverzwakking omgekeerd evenredig met de vierde macht van de afstand (zoals bij mobiele communicatie systemen) en afhankelijk van obstakels die in de stralingsweg staan [55]. Zoals bij power line carrier moet hierbij dus ook een tussenliggend niveau van dataconcentrators met antennes uitgebouwd worden. Het voordeel is wel dat dit communicatiemedium volledig in het beheer kan zijn van de betrokken partij.

De betrouwbaarheid van draadloze RF communicatie is *hoog* volgens [24], tegenover een *zeer hoge* databetrouwbaarheid voor klassieke telefonie.

Medium-range LPR wordt aangewend bij smart metering in Californië en Zweden (Vattenfall en E.ON Elnat) bij meer dan 10 miljoen meters [25].

Als communicatieprotocol tussen concentrator en meter kan gekozen worden voor DNP (Distributed Network Protocol) [55]. DNP is een vrij, gestandaardiseerd communicatieprotocol dat ontworpen is met het oog op een goede compatibiliteit tussen verschillende communicatiemediën en –netwerken. Een goede inleiding tot DNP is te vinden in [56]. DNP is een serieel protocol dat op de datalinklaag van het OSI-model gesitueerd is. Verschillende meetapplicaties laten tegenwoordig toe DNP-pakketten over TCP/IP te transporteren. De communicatiemediën kunnen sterk verschillen: DNP kan over telefoonkabel, glasvezel of radio werken. Er wordt gebruik gemaakt van adressering (65520 verschillende adressen beschikbaar) en multicast en broadcast zijn mogelijk. Per 16 databytes worden 2 bytes Cyclische Redundantie Check (CRC) toegevoegd om transmissiefouten te detecteren. Datasnelheden zijn afhankelijk van afstand en frequentie maar zijn in het algemeen meer dan enkele kilobits per seconde en kunnen zo groot worden als 19200 kbps of groter [57].

### 3.3.2.1 *Kostprijs*

De kostprijs van Medium-range Low Power Radio wordt geschat op €25–29 [25] voor een meter, inclusief de kosten voor dataconcentrator. Als de prijs voor communicatie hierbij wordt opgeteld, worden de kosten geschat op €54–91. De kosten die hierbij nog niet zijn inbegrepen zijn:

- De installatiekosten, inclusief kosten voor controle en probleemverhelping, geschat op €29–44 per meter.
- De kosten voor de uitbouw van de datainfrastructuur om alle meetgegevens te ontvangen, verwerken en op te slaan, geschat op €22–37.
- De kostprijs voor het plaatsen van een display die gegevens in verband met elektriciteits- en gasverbruik toont en die goed zichtbaar is in de woning en verbonden is met de slimme meter. Deze kost wordt geschat op €41–66.

De totale kostprijs van een slimme meter met Low Power Radio komt dan op €146–238, of op €105–172 als de prijs van de display niet wordt meegerekend.

Een belangrijke opmerking in verband met de prijzen van Low Power Radio is dat in vergelijking met mobiele systemen, de communicatiekost van LPR veel lager is. Deze kost wordt op ongeveer de helft van de communicatiekost van mobiele systemen geschat [58]. De

reden hiervoor is dat de communicatie niet via een derde partij (de provider) moet gebeuren maar gebeurt binnen de niet-gelicenseerde frequentieband. Dit is evenzeer het geval bij Power Line Carrier maar nu omdat de communicatie verloopt over een eigen medium, de elektriciteitsleidingen en er geen beroep moet gedaan worden op een derde partij. Bovendien vermindert de eenheidskost van de meter ten opzichte van die met mobiele communicatiemogelijkheden omdat er geen echte modem nodig is maar enkel circuits met een transceiverfunctionaliteit.

De prijs van een Low Power Radio netwerk met 20000 radio ontvangstpunten wordt geschat op 103 miljoen euro [58], inclusief de prijs van een datacentrale en de jaarlijkse werkingskost.

### 3.3.2.2 *Bereikbaarheid*

LPR is een zeer interessant communicatiemiddel voor smart metering, omwille van de lage kostprijs van het systeem omdat er geen tussenkomst van een derde partij nodig is. Een vereist is wel dat een communicatiesysteem wordt uitgebouwd door de elektriciteitsmaatschappijen die van de smart metering willen gebruik maken. Dit communicatiesysteem bestaat uit concentratoren en antennes en werkt op niet-gelicenseerde frequenties. Mits een voldoende groot aantal concentratoren kan gans Vlaanderen bestreken worden.

### 3.3.2.3 *Uitbating en toegankelijkheid*

Communicatie bij LPR gebeurt met radiogolven in niet-gelicenseerde banden dus zal de uitbating typisch gebeuren door de netbeheerder die een antennenetwerk moet uitbouwen. Toegang tot het communicatiemiddel voor de marktpartijen zal verlopen via de netbeheerder. In principe is er communicatie mogelijk tussen elk paar LPR-terminals. In praktijk zal echter de meeste communicatie verlopen van en naar de dataconcentrator, net zoals bij PLC.

## 3.3.3 *PMR systemen*

### 3.3.3.1 *Beschrijving van P(A)MR systemen*

PMR Private (Professional) Mobile Radio is een verzamelnaam voor gelicenseerde, mobiele radio-systemen. PMR is een mobiel radiosysteem waarbij elke groep van gebruikers een aparte frequentie krijgt. Een walkietalkie is een voorbeeld van PMR. De Europese standaard PMR466 (1999) werkt in de gelicenseerde 446 MHz band en gebruikt 8 kanalen van elk 12.5 kHz. De eerste PMR-systemen lieten geen communicatie met andere netwerken toe, maar dit is ondertussen al veranderd in de nieuwere systemen. PMR is ideaal geschikt voor on-site communicatie of communicatie over korte afstanden.

PAMR (Public Access Mobile Radio) is een veelgebruikte, speciale vorm van PMR. Bij PAMR delen verschillende groepen gebruikers dezelfde frequenties (terwijl in het algemeen bij PMR elke groep van gebruikers een eigen frequentie kan krijgen). Bij PAMR wordt de dienst gedeeld door meerdere groepen en zijn er contacten buiten de eigen groep mogelijk. Concreet wordt dezelfde frequentie door verschillende groepen gebruikt. PMR en PAMR boden vroeger voordelen door hun lage kost maar als het uitgebouwde netwerk groter en complexer wordt, en door de prijsdalingen bij cellulaire netwerken bieden ze niet steeds meer een prijsvoordeel. Typische gebruikers van het PMR-systeem zijn:

- transport (trein, bus, vrachtvervoer, taxi,...) (20%),
- on-site (bouwwerven, bedrijfsterreinen) (20%),
- openbare veiligheidsdiensten (politie, brandweer, ziekenwagens...) (15%),
- PAMR (10%),
- nutsbedrijven (reparateurs, meteropnemers voor elektriciteit, gas, water) (2-3 %),
- andere openbare diensten (douane, gezondheidsdiensten).



PMR heeft verschillende voordelen tegenover cellulaire systemen (GSM, GPRS, UMTS).

- Betrouwbaarheid: dit is dikwijls de topprioriteit van PMR. Cellulaire systemen geven geen garantie op QoS (Quality of Service).
- Mogelijkheid om spraak en data door te sturen.
- Mogelijkheid om communicatie op te zetten die volledig lokaal werkt (zonder BTS of dispatch-station) of die dat niet is. Dispatching is niet mogelijk bij cellulaire systemen; directe mode evenmin. Deze directe mode vergroot de betrouwbaarheid van PMR. Ook als de elektriciteit van de basisstations uitvalt, is directe communicatie nog altijd mogelijk.
- Flexibeler realiseren van point-to-multipoint (broadcast)-oproepen en group calls in vergelijking met het GSM-systeem.
- Snellere opzetting van de verbinding (push-to-talk: een oproep kan gedaan worden zonder een nummer te hoeven drukken/draaien.). PMR-oproepen duren over het algemeen maar een of twee zinnen (15-20 s) terwijl cellulaire oproepen langer duren (gemiddeld 120 s).
- Goede dekking van de oppervlakte.
- De standaarden specificeren enkel de externe interfaces van het systeem en niet de inwendige structuur ervan. Dit laat een flexibiliteit toe waardoor het mogelijk is het systeem gemakkelijk uit te breiden en verder te ontwikkelen.
- Bij de moderne systemen is het mogelijk om met andere netwerken (andere PMR-netten, telefonie, internet) te communiceren.
- Oproepen kunnen een bepaalde prioriteit krijgen en het is mogelijk alle communicatie van de lagere klassen stil te leggen.
- Informatiebeveiliging gebeurt end-to-end terwijl bij GSM-systemen de encryptie tussen de mobiele terminal en de Base Station Controller gebeurt.

Er zijn nog enkele andere verschilpunten tussen cellulaire systemen en PMR.

- Cellulair kan een heel grote capaciteit aan met een beperkt aantal frequenties en gebruikt daarvoor zeer veel basisstations en kleine cellen (enkele honderden meters tot enkele kilometers in straal). PMR heeft een kleinere capaciteit maar grotere cellen (enkele tientallen kilometers in straal). De boodschappen zijn ook korter. Bovendien wordt het GSM-net uitgebouwd voor het gemiddelde verkeer. Het PMR-systeem wordt uitgebouwd voor maximale verkeersintensiteit.
- De kostenverrekening gebeurt per oproep op basis van de gebruikte tijd. Bij PMR rekent men veelal een vaste kost (flat rate prijzen) aan, voor het gebruiken van de infrastructuur.

De communicatie kan in verschillende modes gebeuren.

- Directe punt-tot-punt mode: zoals bij walkietalkies. De verbinding bestaat tussen twee mobiele terminals zonder tussenkomst van een BTS en is enkel voor korte afstanden geschikt. De afstand wordt bepaald door de vermogenklasse van het mobiel apparaat.
- Dispatching mode: er is een Base Station (BS) nodig. De communicatie tussen twee terminals verloopt via een dispatch-station. Er zijn dan minstens twee frequenties nodig: een voor de uplink (terminal-to-dispatch) en een voor de downlink (dispatch-to-terminal). Deze laatste communicatie wordt door alle terminals ontvangen, maar adressering is mogelijk. Een verbinding met andere netwerken is mogelijk via het dispatch-station.
- Talkthrough. Het bereik wordt uitgebreid door gebruik van BS's. Een terminal kan communiceren met een andere terminal die niet in zijn bereik ligt door te communiceren met een BS binnen zijn bereik, die dan de communicatie doorgeeft naar de tweede terminal.
- Simulcasting. Voor de bestrijking van een groot oppervlak. Hiervoor zijn meerdere basisstations nodig die alle verbonden zijn met een controlestation waar de dispatch-dienst plaats vindt. Via dit controle station worden het PMR-netwerk verbonden aan externe



netwerken zoals het PSTN-net. Alle basisstations sturen hetzelfde signaal uit (= simulcasting).

- Cellulair systeem. Een grote capaciteit (veel gebruikers) wordt gehaald door een cellulair systeem uit te bouwen waarbij een basisstation een cel bedient en de verschillende basisstations met elkaar verbonden zijn via een schakelstation. Alle schakelstations zijn verbonden met een centraal controle station waar de dispatch-dienst gevestigd is. Dit systeem is cellulair en dus te vergelijken met het GSM-systeem. Het blijft echter wel eenvoudiger dan GSM omdat het typisch minder gebruikers bedient.

### 3.3.3.2 TETRA als PAMR-systeem

Tetra (Terrestrial Trunked Radio) is een PAMR-systeem (Public Access Mobile Radio) [59].

TETRA is het meest recente en ontwikkelde PMR-systeem (meer bepaald PAMR), en dus focussen we er van nu af aan op. Enkele technische gegevens zijn opgesomd in Tabel 7.

Afstand tussen draaggolven	25 kHz (8 keer kleinere bandbreedte dan GSM)
Frequentie	411-429 MHz
Modulatiemethode	$\pi/4$ -DQPSK (2 constellaties van elk vier symbolen (2 bits/symbool), waarvan de assen 45 graden verdraaid zijn en waartussen wordt afgewisseld)
Toegang tot het gedeelde medium	TDMA met 4 slots/draag golf
Spraakcoder	Algebraic Code Excited Linear Prediction
Spraakdatarate	Uit encoder: 4.56 kbps; na kanaalcodering: 7.2 kbps (3 klassen: klasse 2 is best beschermd met CRC en 8/18-convolutiecode, klasse 1 is beschermd met een 2/3-convolutiecode, klasse 0 is niet beschermd)
Bitrate per draaggolf	36 kbps
Datarate	7.2 kbps per tijdslot
Maximale datarate	28.8 kbps (voor vier tijdslots)
Maximale datarate voor de beschermde data	19.2 kbps
Spectrale efficiëntie	1.44 b/Hz (36 kbps per 25 kHz) tgo. GSM: 1.35 b/Hz (270 kbps per 200 kHz)

Tabel 7: karakteristieken van TETRA

In appendix 8.3 worden meer detailgegevens van TETRA toegelicht.

### 3.3.3.3 Situatie in Vlaanderen

#### 3.3.3.3.1 A.S.T.R.I.D.

In België bestaat een TETRA-radiocommunicatienetwerk dat een nationale radiodekking voorziet voor alle Belgische hulp- en veiligheidsdiensten. Het systeem heeft als naam A.S.T.R.I.D., dat een afkorting is van *All-round Semi-cellular Trunking Radio communication system with Integrated Dispatching* [60].

De NV A.S.T.R.I.D. is een telecomoperator voor alle Belgische hulp- en veiligheidsdiensten. A.S.T.R.I.D. staat in voor de uitbouw, het beheer en het onderhoud van een nationaal radionetwerk voor spraak- en datatransmissie, op initiatief van de federale en lokale overheden. Het waarborgt een optimale gesprekskwaliteit.

In het raam van het binnenlands veiligheidsbeleid van de Staat is het A.S.T.R.I.D.-netwerk ook bestemd voor privé-organisaties die hulpverlening verzorgen of die bij hun taken die deel uitmaken van de openbare dienstverlening of te maken krijgen met problemen inzake openbare veiligheid: privé-ambulancediensten, ziekenhuizen, het openbaar vervoer, nutsbedrijven, geldtransporteurs, bewakingsfirma's, enz. Al deze organisaties kunnen ook gebruik maken van de voordelen van het A.S.T.R.I.D.-netwerk volgens de door de Minister bepaalde voorwaarden.

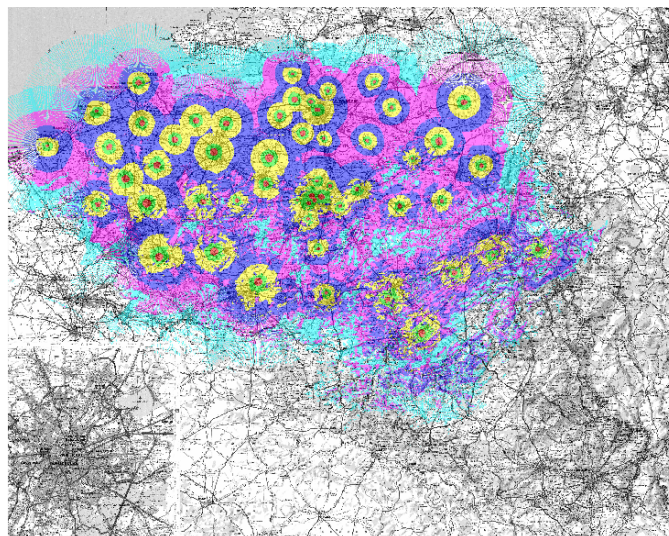
#### 3.3.3.3.2 Mobitex

Naast het A.S.T.R.I.D. systeem is er het Mobitex-systeem van RAM Mobile Data [61]. Dit is een PAMR-systeem dat zowel local als wide area is. Het heeft een landelijke dekking in de Benelux. De beschikbaarheid is 99.9%. Er worden garanties gegeven met betrekking tot quality of service. De snelheden die dit netwerk biedt in vergelijking met GPRS zijn echter laag. RAM laat een maximale snelheid toe van 8 kbps en biedt een effectieve datasnelheid van 4.8 kbps (cfr. GPRS: 54 kbps). Mobitex is een pakketgeschakelde, smalbandige, data-only technologie van Ericsson. Het is gericht op de professionele gebruiker. PMobitex wordt gezien als zeer betrouwbaar en op dit moment zijn de QoS-garanties hoger dan bij andere mobiele datacommunicatie systemen.

Dergelijk Mobitex netwerk wordt in Nederland gebruikt om meters bij grootverbruikers uit te lezen met een maximale vertraging van 20 s. Deze toepassing werkt in het algemeen op vijf minutenbasis voor het bepalen van eventuele onbalans in de levering of afname van energie. Tevens wordt dit netwerk gebruikt voor het monitoren van decentrale warmtekrachtkoppelinginstallaties en windmolenparken.

#### 3.3.3.3.3 Entropia

Vandaag de dag is Entropia Networks NV [62] met zijn eigen trunked radionetwerk een belangrijke operator in commerciële draadloze spraak- en datacommunicatie in België. Entropia biedt diensten aan over haar eigen netwerk (Figuur 22) maar doet ook installaties, onderhoud en herstellingen van private netwerken.



*Figuur 22: dekking van het Entropia-netwerk*

### 3.3.3.4 Onderzoek naar de geschiktheid van PMR voor slimme meters

#### 3.3.3.4.1 Bereikbaarheid

Veel PMR-netwerken hebben een lokale omvang die niet groter is dan een bedrijfsterrein. Het is echter perfect mogelijk om een systeem uit te bouwen dat het ganse Vlaamse grondgebied omvat. Een voorbeeld hiervan is het A.S.T.R.I.D.-netwerk, het Mobitex-net en het net van Entropia. Het bereik van een basisstation is groot (tientallen km) en dus kan er met een beperkt aantal masten (minder dan bij GSM) gans Vlaanderen bestreken worden. Als via TETRA de communicatie met smart meters verzorgd zou worden, zal TETRA enkel daarvoor gebruikt worden, en niet voor bijvoorbeeld telefonie.

#### 3.3.3.4.2 Geschiktheid voor slimme-meterfunctionaliteit en flexibiliteit

Hoewel de datasnelheid van TETRA (TETRA: 7.2 kbps/TDMA-frame) kleiner is dan die van WiMAX, UMTS, GPRS en zelfs GSM, is het toch mogelijk TETRA te gebruiken voor smart metering. Hoe meer gebruikers, hoe kleiner de bandbreedte elke gebruiker zal krijgen door het toegangprotocol van Slotted-ALOHA en hoe kleiner zijn datasnelheid.

#### 3.3.3.4.3 Betrokken partijen

Een stroom- of gasleverancier kan beroep doen op de diensten van een TETRA-provider (die zijn licenties bij het BIPT heeft bekomen) en gebruik maken van het netwerk van deze provider. Het Mobitex-netwerk of het net van Entropia zijn hiervoor geschikt. Volgens de beheersovereenkomst komt A.S.T.R.I.D. niet voor smart metering in aanmerking. A.S.T.R.I.D. biedt wel commercieel diensten aan maar enkel aan bedrijven die dat nodig hebben voor de openbare veiligheid.

Een andere mogelijkheid is dat men (meteringbedrijf, leverancier, overheid, ...) zijn eigen netwerk uitbouwt.

#### 3.3.3.4.4 Kosten

Als er gebruik wordt gemaakt van een netwerk dat gans Vlaanderen omvat, kan de prijs voor TETRA duurder uitvallen dan voor een bestaand mobiel communicatiesysteem zoals GSM of GPRS. Onderhandelingen met de operator moeten gedaan worden om zekerheid te geven.

Voor TETRA via A.S.T.R.I.D. (voor Mobitex en Entropia werden geen gegevens teruggevonden) biedt Tabel 8 een overzicht van de kostprijs. SDS staat voor Short Data Service, berichtjes van maximaal 120 alfanumerieke karakters. De prijs van TETRA is ongeveer vier maal zo hoog als de prijs van GSM/GPRS (€50, zie hiervoor).

<i>abonnement</i>	<i>prijs per jaar (excl. btw)</i>	<i>maximale hoeveelheid data per dag</i>	<i>tarief voor overschrijding</i>
long data	€212	200 KiB long data	€0,005/KiB
SDS + Long data	€226	200 KiB long data; onbeperkte SDS	€0,005/KiB
<i>prijzen van oproepen naar andere netten</i>	<i>vast gedeelte</i>	<i>piek</i>	<i>dal</i>
PSTN (nationaal)	€0,074	€0,074/min	€0,049/min
GSM (nationaal)	€0,124	€0,347/min	€0,186/min

Tabel 8: A.S.T.R.I.D. prijzen [60]

### 3.3.3.4.5 Betrouwbaarheid

TETRA is een systeem dat zeer betrouwbaar is. De dekking is zeer goed. Zelfs in kelders en binnenin gebouwen is dit het geval, daar waar GSM of UMTS minder bereik heeft. Het opzetten van de verbinding gaat tien keer sneller dan bij GSM/UMTS. Ontvangstbevestigingen kunnen geïmplementeerd worden en het systeem laat werking in prioriteitsklassen toe waarbij de communicatie gestopt kan worden van de lagere klassen ten voordele van die van de hogere klassen.

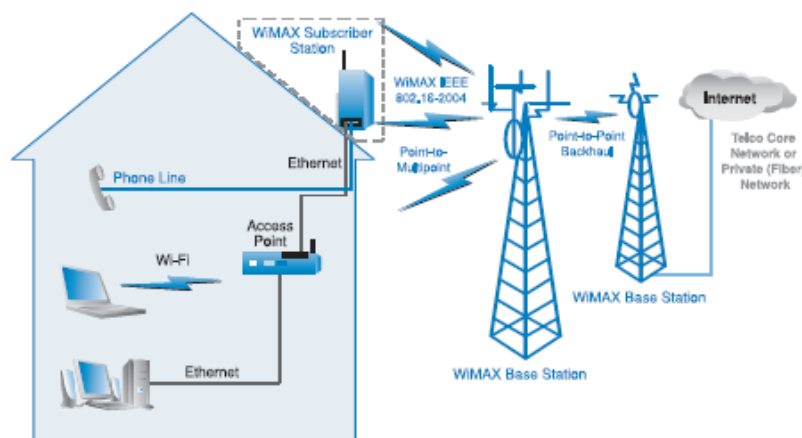
Kanaalcodering voor foutdetectie en –correctie gebeurt standaard en er is de mogelijkheid om tussen minstens vier encryptiealgoritmen (Tetra Encryption Algorithm TEA 1 - 4) te kiezen.

## 3.3.4 WiMAX

### 3.3.4.1 Beschrijving van het WiMAX systeem

WiMAX is een communicatietechnologie van de vierde generatie. Het zal op korte tot middellange termijn draadloze breedbandinternettoegang toelaten als complement van WiFi (IEEE 802.11), en aangestuurd door de non-profitorganisatie WiMAX (World Interoperability for Microwave Access). Een enkele antenne is, dankzij het bereik van 10 tot 50 km, voldoende om een hele stad toegang tot internet te bieden. WiMAX kan gebruikt worden om wireless netwerken te creëren op campussen en in stedelijke gebieden (zogenaamde Wireless Metropolitan Area Networks - WMAN), door WiFi hotspots te verbinden met het internet en een draadloze extensie te leveren voor laatste kilometer tot bij de gebruikers thuis (= “fixed wireless”) (Figuur 23). Tegelijk kunnen locaties waar breedband schaars is, ontsloten worden. Omdat de kosten en complexiteit van WiMAX hoog zijn, zal het in de eerste plaats facilitair zijn waar het fixed wireless betreft, en slechts ondersteunend rond WiFi-hotspots.

Dikwijls werkt WiMAX in de gelicentieerde 2.5 GHz of 3.5 GHz-banden en in de vrije 5.8 GHz-band. WiMAX in ongelicentieerde banden gebruikt TDD, en in gelicentieerde banden wordt TDD of FDD gebruikt als duplexmethode. De WiMAX IEEE 802.16a-standaard heeft een bereik tot 50 km en een maximale datatransmissiesnelheid tot 100 Mbps.



*Figuur 23: fixed wireless*

In appendix 8.4 worden een aantal bijkomende aspecten van WiMAX toegelicht.

### 3.3.4.2 Situatie in Vlaanderen

In Vlaanderen zal WiMAX wellicht door een aantal kleinere operatoren worden gebruikt om rechtstreeks te concurreren met kabel of DSL. Clearwire biedt nu reeds een abonnement aan van €28,99 per maand (inclusief modem) voor een downloadsnelheid van 1 Mbps en 128 kbps

voor uploads. De firma heeft ook een abonnement van €38,99 per maand (inclusief modem) voor een downloadsnelheid van 3 Mbps en 256 kbps voor uploads [63]. Momenteel is de dienst alleen verkrijgbaar in Brussel en Leuven. Andere steden zouden later volgen. In de toekomst zullen waarschijnlijk meerdere concurrenten op de markt komen die dan licenties voor bepaalde frequentiebanden zullen aanvragen bij het BIPT of die beslissen te werken in ongelicentieerde banden.

### 3.3.4.3 *Onderzoek naar de geschiktheid van WiMAX voor Smart Metering*

#### 3.3.4.3.1 Bereikbaarheid

Om een gas- of elektriciteitsmeter via WiMAX te laten communiceren met een server die meetgegevens ontvangt en/of commando's zendt naar de meter, moet de meter een modem bezitten. De modem bevat meestal de antenne. Verder moet er een abonnement genomen worden bij een aanbieder van WiMAX. Voorlopig zijn er nog niet veel providers. De technologie is nog te recent en voorlopig volstaat WiFi in combinatie met bijvoorbeeld ADSL of kabel voor de particulier. WiMAX biedt echter een omvangrijke capaciteit. De technologie is nog te nieuw om al vergelijkingen te maken met bestaande systemen.

#### 3.3.4.3.2 Kosten

Het systeem is nog te nieuw om gegevens te verzamelen hierover. Er is voorlopig maar 1 aanbieder in Vlaanderen en de prijzen voor particulieren zijn €29 of €39/maand. Om een schatting te maken van de prijzen voor smart metering via WiMAX, zijn onderhandelingen met de aanbieder nodig en moeten de schaalvoordelen ten gevolge van massa-aankoop ingerekend worden.

#### 3.3.4.3.3 Betrouwbaarheid

De betrouwbaarheid van WiMAX is beter dan die van WiFi. De standaard werkt met een grant-request toegang protocol dat, in tegenstelling tot WiFi, geen botsingen toelaat en daarom de beschikbare bandbreedte efficiënter gebruikt. Geen botsingen betekent immers geen heruitzending en dus een beter gebruik van de bandbreedte. OFDMA, die de bandbreedte per gebruiker variabel maakt, zorgt ervoor dat gebruikers langer verbonden blijven. Omdat kanalen gebruikt worden die smaller zijn dan de vaste 20 MHz van WiFi, kunnen gebruikers bediend worden die lagere datasnelheden verbruiken zonder dat bandbreedte verbruikt wordt.

De standaard laat toe om Quality of Service (QoS) te bieden aan klanten. Dit betekent dat aan kritische processen een gegarandeerde throughput kan aangeboden worden terwijl voor minder kritische gebruikers slechts een best-effort dienst wordt aangeboden aan goedkopere prijs. Met QoS is het dus mogelijk aan de service-noden van de individuele gebruiker te voldoen.

WiMAX biedt ook efficiënte meervoudige toegang: als er gebruikers bijkomen, moeten zij de totale bandbreedte delen en zal hun individuele throughput afnemen. Deze afname is echter lineair en minder dramatisch dan de afname bij WiFi waar niet-lineaire effecten spelen.

Al de vorige eigenschappen laten toe dat een WiMAX-systeem schaalbaar is tot grote capaciteit en dat er dus veel gebruikers (meters) kunnen bediend worden. De service-level van de metering kan via QoS ook ingesteld worden.

WiMAX heeft een goede foutcodering die de berichten beschermd tegen verstoring en verkeerde ontvangst.

## 4 Onderlinge communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter

Als de elektriciteitsmeter reeds op afstand wordt uitgelezen en geregeld, is het interessant om voor de gasmeter dezelfde communicatie-infrastructuur te kunnen gebruiken. Om hiertoe te komen, moet er een communicatie voorzien worden tussen de gas- en elektriciteitsmeter.

Dit principe kan uitgebreid worden naar andere nutstoepassingen (water, stoom, warmte, koeling, etc.).

Hiertoe kan de elektriciteitsmeter als master optreden, die de waarden van de gasmeter instelt en uitleest, afhankelijk van wat hij krijgt doorgestuurd. De elektriciteitsmeter kan de gasmeterstand bijvoorbeeld als een virtueel meetregister doorsturen. Als alternatief is een aparte meetinrichting, een master, die zowel de elektriciteit- als gas- en andere meters beheert.

Veel bandbreedte is voor de communicatie tussen de meters niet nodig, vermits het over kleine databursts gaan (zoals periodiek uitlezen van een meterstand of aanpassingen doorsturen naar de meter). In de NTA8130 [2] zijn geen richtlijnen voor deze communicatie via poort P2 gegeven.

Verschillende communicatiemedia zijn mogelijk om de connectie tussen de gas- en elektriciteitsmeter te realiseren. Deze kunnen opgesplitst worden in draadloos en via kabel.

### 4.1 Kabel

Het gebruik van een kabel als communicatiemiddel tussen de gas- en elektriciteitsmeter is eenvoudiger dan de draadloze variant en vereenvoudigt de beveiliging. Er moet een extra kabel getrokken worden, wat nadelig kan zijn als de meters zich niet in dezelfde ruimte bevinden.

#### 4.1.1 RS232 en varianten

De meest gebruikte protocols bij het gebruik van seriële kabels zijn in Tabel 9 terug te vinden.

	RS232	RS423	RS422	RS485
differentiele sturing	nee	nee	ja	ja
max. aantal zenders/ontvangers	1/1	1/10	1/10	32/32
modes	half duplex full duplex	half duplex	half duplex	half duplex
netwerktopologie	punt-tot-punt	multidrop	multidrop	multipoint
max. afstand	15 m	1200 m	1200 m	1200 m
max snelheid bij 12/1200 m	20/1 kbps	100/1 kbps	10/0,1 Mbps	35/0,1 Mbps

*Tabel 9: protocols voor seriële verbinding*

Zoals in Tabel 9 is aangegeven kan RS232 enkel gebruikt worden voor punt-tot-punt connecties, wat uitbreiding naar andere meters bemoeilijkt. De bandbreedte van dit type connecties is zeker aanvaardbaar voor het beoogde doel.

### 4.1.2 USB

USB is een standaard voor een seriële bus en kan verschillende toestellen met verscheidene functionaliteiten met een host verbinden. Hierbij kan elk toestel verschillende functies hebben en op die manier ook gedefinieerd zijn bij de host als verschillende functionele eenheden. Oorspronkelijk was USB ontworpen om seriële en parallelle interfaces aan de PC te vervangen en tot een standaard te komen. Aan de verschillende functionele eenheden wordt een of meerdere pipes toegekend, die zorgen voor de datatransfer tussen deze eenheid en de host. De datatransfer gebeurt in pakketten van variabele lengte met een bepaalde maximale lengte ( $2^n$ ).

Als een functionele eenheid met de host wordt verbonden geeft de host deze een uniek 7-bits adres op de bus. De host pollt de bus, zodat een toestel niets kan verzenden zonder toestemming van de host.

Met USB is het dus duidelijk mogelijk om verschillende meters aan te sluiten aan een host. In het geval van slimme meters, kan deze host bijvoorbeeld geïntegreerd worden in de elektriciteitsmeter.

De bandbreedte van USB heeft drie mogelijkheden.

- Low speed: snelheden tot 1.5 Mbps.
- Full speed: snelheden tot 12 Mbps, full speed USB toestellen verdelen de bandbreedte onderling volgens first come first serve, wat tot gevolg heeft dat de bus op zijn limiet kan stuiten.
- High speed: snelheden tot 480 Mbps.

De beschikbare bandbreedte bij het gebruik van USB is aanzienlijk hoger dan bij RS-232 en anderen.

USB integreert ook een 5 V voeding, met een maximale stroom van 100 mA per toestel. Op deze manier kan een gasmeter die via USB verbonden is met de elektriciteitsmeter, hier bijvoorbeeld ook langs gevoed worden.

USB toestellen kunnen enkel data versturen naar de host indien deze daar om vraagt. Dit zorgt ervoor dat indien men dit zou implementeren in een slimme-meteromgeving, de meters downstream van de host, niet autonoom data kunnen doorsturen. De volledige controle zal dus gebeuren vanuit de host-meter.

USB kan ook gebruikt worden in een 'point to point' implementatie, indien men gebruik maakt van USB on the go (USB OTG). Bij USB OTG, kunnen alle toestellen een connectie tot stand brengen, zonder toestemming van een host. Elk toestel kan als het ware beslissen de functie van host op zich te nemen op een gegeven moment. USB OTG maakt gebruik van twee nieuwe protocollen, SRP (Session Request Protocol) en HNP (Host Negotiation Protocol). Bij SRP hebben meerdere toestellen controle over het moment van data-overdracht, wat tot een betere benutting van vermogen kan leiden. Bij HNP kunnen toestellen hun rol als host of randapparaat daadwerkelijk onderling gaan uitwisselen, waardoor elk toestel de mogelijkheid heeft om de controle over data-overdracht over te nemen. Bij USB OTG moet wel gedefinieerd worden welk toestel voor de stroomvoorziening zorgt. USB OTG is volledig backward compatibel, waarbij een USB OTG toestel verbonden met een ander USB toestel zich eenvoudigweg als host of randapparaat zal gedragen, afhankelijk van de verbonden toestellen. USB OTG is enkel gedefinieerd voor 'point to point' connecties, waardoor slechts 2 toestellen kunnen verbonden worden.

Vanuit het slimme meters-standpunt is een positieve eigenschap van USB OTG dat toestemming van de host om gegevens te verzenden niet meer nodig is, maar daartegenover staat de beperking dat slechts 2 meters kunnen verbonden worden.

### **4.1.3 M-bus**

De M-bus of Meter-bus (EN 13757) is een standaard ontwikkeld voor het op afstand uitlezen van meters [6]. De M-bus laat toe dat meerdere toestellen verbonden worden met dezelfde kabel, maakt uitbreiding mogelijk (bijvoorbeeld voor het toevoegen van een extra meter), is robuust en heeft een minimale kost en vermogenverbruik [64].

De M-bus wordt gedefinieerd op verschillende OSI-lagen: fysische laag, datalink-, netwerk- en applicatielaag. De M-bus maakt gebruik van 'central allocation logic', waarbij een master een vraag van een slave krijgt om de bus te gebruiken en hierop beslist of dit toegestaan is. Fysisch bestaat de M-bus uit een twee-aderige kabel, die een maximale lengte toelaat van 350 m, overdrachtsnelheid van 300 tot 9600 bps en tot 250 slaves. Indien mogelijk kan de slave gevoed worden vanuit de bus, in dit geval moet de slave automatisch overschakelen op een batterijvoeding als de bus faalt. De datalink is een half-duplex asynchrone seriële transmissie met een master-slave structuur. De applicatielaag is gedefinieerd in EN1434-3 voor een warmtemeter, maar kan ook toegepast of uitgebreid worden voor andere meters.

## **4.2 Draadloos**

### **4.2.1 Infrarood**

Infrarood is een technologie die reeds lang bestaat voor kortafstandscommunicatie tussen elektronische toestellen. Interferentie wordt beperkt vermits infrarood niet door muren dringt, maar deze eigenschap zorgt er ook voor dat er een zichtbare connectie moet zijn tussen zender en ontvanger, wat in de praktijk betekent dat de meters zich in dezelfde ruimte moeten bevinden. Infraroodcommunicatie maakt meestal gebruik van de IrDA standaard en heeft een bandbreedte van 24 kbps tot 160 Mbps.

### **4.2.2 RF**

RF is de benaming die meestal gebruikt wordt voor radiocommunicatie in de niet-gelicentieerde banden (bijvoorbeeld 433 MHz). In tegenstelling tot de RF van hoofdstuk 3.3.2, kan men hier gebruik maken van kleinere vermogens (orde mW) waarmee kleinere afstanden tot enkele tientallen meter overbrugd worden. Dit is ook het type radiocommunicatie dat gebruikt wordt voor afstandbediening van wagensloten, garagedeurenopeners, etc. Er zijn heel wat oplossingen op de markt, maar de communicatie is niet echt gestandaardiseerd.

### **4.2.3 Bluetooth**

Bluetooth zorgt voor kortafstandscommunicatie tussen toestellen zoals GSM's, laptops, toetsenbord, muis en printers. Bluetooth is ontworpen voor korte afstand en laag vermogengebruik. Beiden zijn afhankelijk van de gebruikte klasse (Tabel 10). Bluetooth heeft een bandbreedte tot 2,1 Mbps, heeft de mogelijkheid om encryptie te gebruiken als beveiliging en kan door muren dringen. De setup van Bluetooth is eenvoudiger dan deze van WiFi en het verbruik ligt lager.



Klasse	Maximum vermogen (mW/dBm)	Bereik
1	100 mW (20 dBm)	~100 m
2	2.5 mW (4 dBm)	~10 m
3	1 mW (0 dBm)	~1 m

*Tabel 10: klassen bij Bluetooth*

#### 4.2.4 Zigbee

Zigbee is een draadloze standaard die lager in energieverbruik is dan Bluetooth en WiFi en is voornamelijk gebruikt wordt in sensoren. Zigbee is geschikt voor netwerken waar een groot deel van de communicatie uit kleine pakketjes bestaat en waar geen hoge bandbreedte nodig is. Zigbee heeft bij 2.4 GHz een bandbreedte van 250 kbps en bij 868 MHz 20 kbps. Het bereik ligt typisch tussen 10 en 75 m, afhankelijk van vermogenoutput en omgeving. Zigbee is geschikt om lange tijd stand-by te staan, waarbij slechts 3  $\mu$ A verbruikt wordt. Dit maakt Zigbee geschikt om te werken op batterijvoeding die slechts zelden moet vervangen worden.

#### 4.2.5 WiFi

WiFi (IEEE 802.11 a/b/g) of draadloos Ethernet is ontwikkeld voor mobiele computer toepassingen en wordt nu gebruikt voor velerlei toepassingen. Hieronder vallen het draadloos uitbouwen van een netwerk, maar ook VoIP toepassingen en om andere elektronica te connecteren (DVD spelers, tv's,...). WiFi zorgt er bijgevolg voor dat communicatie binnen het TCP/IP netwerk eenvoudig kan verlopen. WiFi heeft ook een vrij hoge bandbreedte (tot 54 Mbps), is universeel verspreid en heeft een bereik tot enkele tientallen meter binnenshuis. WiFi wordt veel gebruikt en door zijn relatief grote bereik kan congestie op bepaalde kanalen voorkomen en is interferentie mogelijk. Daarenboven moet data die draadloos verzonden wordt steeds beveiligd worden, via encryptie (WPA of VPN). De prijs van WiFi is door populariteit sterk aan het dalen, maar het vermogenverbruik is redelijk hoog, hetgeen een elektrische voeding van elke zender vereist.

### 4.3 Communicatie tussen meters onderling

Wanneer de meters zich dicht bij elkaar bevinden, is deze via seriële kabel verbinden een eenvoudige en goedkope oplossing. RS-485 of USB lijkt hier aangewezen vermits deze met verschillende slaves kunnen werken zodat naast de elektriciteits- en gasmeter ook andere apparaten eenvoudig kunnen verbonden worden. M-bus is een andere optie.

Wanneer de meters zich echter niet in dezelfde ruimte bevinden en er in het gebouw geen voorzieningen zijn om eenvoudig een extra kabel bij te leggen, kan men voor een draadloze oplossing opteren. Hiervoor is Zigbee interessant, vanwege het lage energieverbruik (wat eventueel werking op batterijen mogelijk maakt aan de kant van de gasmeter). De beperkte bandbreedte is geen probleem, vermits de communicatie voornamelijk zal bestaan uit korte databursts. Het bereik levert ook geen problemen en er moet geen zichtbaar pad zijn tussen zender en ontvanger. TCP/IP mogelijkheden maken het ook bij het gebruik van Zigbee mogelijk om andere apparaten te verbinden. Er zal uiteraard een beveiliging moeten aanwezig zijn. Deze beveiliging kan bij firmware updates ook veranderd worden om fraude te voorkomen.

Een logische aanpak is om de slimme meters te voorzien van een standaard interface, wat massaproductie toelaat. Indien de meters niet via een seriële kabel kunnen verbonden worden

kan hierop een overgang voorzien worden om naar een draadloos protocol (vb. Zigbee) over te gaan, die dan de plaats van de kabel kan innemen.

Best is om een protocol overeen te komen, zodat iedere slimme meter zich hier aan houdt, ongeacht van wat gekozen wordt als fysische communicatiemedium. Zo kiest men in het Nederlands InfoStroom project ([65], cfr. infra) voor M-bus communicatie tussen huishoudelijke elektriciteitsmeters en externe toestellen opteert.

DLMS/COSEM (IEC 62056) is een internationale standaard [5] voor een protocol om meters uit te lezen en is ontworpen om over eender welk medium (fysische laag) gebruikt te kunnen worden. DLMS en COSEM kunnen ook afzonderlijk van elkaar gebruikt worden.

Distribution Line Message Specification (DLMS) [65] is een applicatielaag specificatie, ontworpen voor communicatie tussen energiemeters en een computeromgeving. Later is dit Device Language Message Specification geworden, met ondersteuning voor uitlezen op afstand, beheren op afstand en andere services met betrekking tot meters [66].

Companion Specification for Energy Metering (COSEM) is een interface model voor communicerende meters. De communicatie verloopt aan de hand van objecten. Meters worden gezien als logische toestellen met elk een eigen identificatienaam en informatie opgeslagen in interface objecten. Toegang tot deze informatie gebeurt via associatie-objecten. De informatie in de interface-objecten is geordend in attributen die de karakteristieken voorstellen als waarden. Deze waarden kunnen aangepast worden met methoden die de interface-objecten bevatten. Verschillende interfaceobjecten met gelijkaardige karakteristieken vormen een interface class weergegeven met de class\_id en versie. De 'logical name', de 'class\_id' en de versie geven weer welke informatie een interface-object aanbiedt en dit op een producentonafhankelijke wijze. Dit geheel kan aangesproken worden met behulp van de DLMS applicatielaag, die de informatie omzet in series van bytes en ze verzendt.

## 5 Praktijkervaringen

### 5.1 Bestaande slimme energiemeters en hun communicatieaspecten

Deze sectie geeft een overzicht van een aantal producenten van slimme energiemeters, waarbij bondig wordt ingegaan op hun producten met de nadruk op de communicatieaspecten.

#### 5.1.1 Landys & Gyr

De Zwitserse firma Landys & Gyr [67] is een van de grootste spelers op de wereldmarkt van energiemeters. Hun productgamma omvat niet enkel elektriciteitsmeters, maar ook gas-, water- en verwarmings- en koelingsenergiemeters. Ook bieden ze de optie om aan telemetering te doen, met de Landys & Gyr FAG. Hiermee worden de metergegevens eens per minuut serieel (volgens het IEC 870-5-102 protocol) uitgelezen en doorgestuurd naar een bepaalde meetcentrale. Ook prepaymentmeters behoren tot het productgamma.

De hoge precisiemeter ZxQ202, die volgens de website vooral voor grote verbruikers bedoeld is, meet een groot aantal energie-, spannings- en stroomparameters en kan deze, mits installatie van een gepaste communicatiemodule, doorsturen via Ethernet (TCP/IP), GSM/GPRS, RS232, RS485 of PSTN. De meter is steeds uitgerust met een optische poort (IEC 62056-21 standaard, tot 9.6 kbps bit rate en met het DLMS protocol) en een RS485 interface (ISO 8482, tot 57.6 kbps bit rate, afhankelijk van de buslengte en het aantal aangesloten meters).

Vooralsnog zijn de meters voor de residentiële meters niet uitgerust met AMR opties, terwijl dit bij de industriële en commerciële meters (zeker de hoge precisiemeter) wel het geval is. Bij deze meters is het mogelijk om met verschillende communicatiemediën te werken en kan er dus eventueel ook van communicatiemedium worden veranderd. Dit houdt geen ingrijpende veranderingen aan de meter zelf in, vermits de communicatiemodules vrij eenvoudig op de meter kunnen worden aangesloten. Ook wordt getracht om de compatibiliteit met reeds geïnstalleerde meetapparatuur te verzekeren.

#### 5.1.2 Echelon

Echelon [26] ziet zijn producten op vlak van energiemeting en AMR reeds toegepast in verschillende projecten (bijvoorbeeld Enel (Italië) en Vattenfall (Zweden)). Hun gamma omvat elektriciteitsmeters (een- en driefasig, zowel residentieel, commercieel als industrieel), dataconcentratoren en software voor de communicatie met de meters en concentratoren.

De elektriciteitsmeters meten naast actieve en reactieve energie en vermogen ook de voornaamste Power Quality grootheden en laten meerdere tarieven toe. De meters kunnen via power line carrier gegevens uitwisselen met de dataconcentratoren. De EM-1021 en EM-1023 meter kunnen ook met tot 4 M-bus apparaten gekoppeld worden (bijvoorbeeld een slimme gas- of watermeter). Er is bidirectionele communicatie mogelijk, waarbij de meterstand kan worden uitgelezen, de verbruiker van op afstand kan worden af- en aangeschakeld, een maximaal af te nemen stroomwaarde kan worden ingesteld,... In principe kan een gas- en/of watermeter worden gekoppeld met de elektriciteitsmeter (via M-bus) en kunnen ook deze gegevens worden doorgestuurd. De PLC communicatiemodule is geïntegreerd in de meter, zodat niet van communicatiemedium veranderd kan worden.

De dataconcentratoren kunnen via een TCP/IP-capabel Wide Area Network, zoals GSM/GPRS, CDMA, PLC en Ethernet, communiceren met de servers in de meetcentrale,

waarop de NES (Networked Energy Services) software is geïnstalleerd. De dataconcentrator kan met tot 1024 energiemeters of 4096 M-bus toestellen worden gekoppeld.

Echelon werkt in het kader van hun NES VAR programma, waarbij aan de netbeheerders de keuzevrijheid wordt gegeven tussen verschillende leveranciers van slimme energiemeters en AMR oplossingen, nauw samen met bedrijven als Telvent [68], Görlitz [69], Ferranti, Strom B-Systems, EVB en Eltel.

### **5.1.3 Itron**

Itron [70] is een producent van elektriciteitsmeters en de nodige communicatiehardware en – software voor het implementeren van AMR. Het gamma aan energiemeters strekt zich uit van enkelfasige meters voor residentiële toepassingen tot geavanceerde driefasige meters voor het meten van energiestromen in centrales, onderstations of op grote industriële sites. Alle meters zijn uitgerust met technologie die AMR toelaat.

De endpoints kunnen gebruikt worden voor zowel elektriciteits-, gas- als watermeters en dienen voor de communicatie tussen meter en leverancier. Deze endpoints zijn compatibel met de meeste bestaande meters (dus ook deze van andere producenten). Verschillende types communicatie tussen meter en leverancier zijn mogelijk: radiocommunicatie, GSM/GPRS, PSTN, Ethernet en Mobile Collection System (waarbij een voertuig rondrijdt en via radiocommunicatie de meterdata ontvangt). Het is mogelijk om van communicatiemedium te veranderen zonder ingrijpende aanpassingen aan de meter.

### **5.1.4 Ampy Metering**

Ampy Metering [71] produceert elektriciteitsmeters (een- en driefasig, voor residentiële, commerciële en industriële toepassingen, ook prepaymentmeters) en voorziet ook in AMR, via PLC. Hiermee is het ondermeer mogelijk om van op afstand meetgegevens (zowel met betrekking tot het energieverbruik – elektriciteit, maar ook gas en water - als tot Power Quality) uit te lezen, een klant af- of aan te schakelen en meerdere kostentarieven in te stellen. De dataconcentrator wisselt gegevens uit met een Regional Controller (software die op de meetserver draait) via radiocommunicatie of het telefoonnetwerk. De PLC communicatiemodule is geïntegreerd in de meter. Voorlopig werkt Ampy niet met andere communicatiemedia.

### **5.1.5 Kamstrup**

De Deense firma Kamstrup [72] produceert een heel gamma energiemeters, waarmee het elektriciteits-, gas-, water- en verwarmings- of koelingsverbruik kunnen worden bepaald. Naast de meters zelf levert het bedrijf ook de communicatiehardware waarmee de meterstanden automatisch en van op afstand kunnen worden doorgegeven en waarmee eventueel ook data kunnen worden teruggestuurd naar de meters. Tenslotte heeft het bedrijf een aantal softwareprogramma's op de markt waarmee het verbruik kan worden opgeslagen en uitgelezen.

Verschillende communicatietechnieken zijn beschikbaar en compatibel met de energiemeters: radiocommunicatie, GSM/GPRS, power line carrier, TCP/IP Ethernet en M-bus. De communicatiemodules kunnen eenvoudig worden aangesloten op de meter, waardoor veranderen van communicatiemedium snel en eenvoudig kan worden uitgevoerd.

Met de Kamstrup 162, 382 en 351 heeft het bedrijf drie types elektriciteitsmeters op de markt, geschikt voor respectievelijk eenfasige aansluitingen, driefasige aansluitingen en driefasige (kleine tot middelgrote) industriële aansluitingen. Voorlopig is enkel de Kamstrup 351 uitgerust voor meer dan twee tarieven.

### **5.1.6 *Xemex***

Het Antwerpse bedrijf Xemex [73] heeft met de CrediTalk een digitale energiemeter ontwikkeld voor het meten van het verbruik van elektriciteit, gas en water. De communicatie tussen klant en de leverancier gebeurt met een in de meter geïntegreerde GSM-module, die automatisch de verbruiksgegevens doorstuurt naar een centrale databank. Daarnaast is er de mogelijkheid voor communicatie via een draadloze RF-verbinding op 433 MHz [74].

### **5.1.7 *Görlitz AG***

Görlitz AG [69] produceert een vrij breed gamma aan energiemeters, geschikt voor residentiële, commerciële en industriële verbruikers. Ook werkt het samen met Echelon voor het ontwikkelen van slimme energiemeters.

De Emetrion IQ is een vierkwadrantsmeter op maat van de industriële en commerciële gebruiker. De meter meet de voornaamste elektrische grootheden per fase en is beschikbaar in nauwkeurigheidsklasse 0.5S of 1S. De meter biedt uitgebreide interval- en geheugenmogelijkheden.

Een ander metertype geproduceerd door Görlitz is de eerder vermelde EM-1021 en EM-1023, welke ondermeer gebruikt kunnen worden in het NES-systeem van Echelon. Deze meters gebruiken zoals reeds vermeld steeds PLC communicatie.

De Emetrion Plus is vooral geschikt voor residentiële en kleine commerciële verbruikers. De meter bevat een geïntegreerde Bluetooth/WLAN adapter die de verbinding tussen de meter en handheld toestellen of RF dataconcentratoren verzorgt. Ook kan gebruik gemaakt worden van een GSM om via Bluetooth of SMS verbruiksgegevens te verzenden of nieuwe tarieven te downloaden.

Automatische uitlezing is mogelijk met een GSM/GPRS data modem. WLAN en Bluetooth interfaces zijn aanwezig voor uitgebreidere netwerkmogelijkheden en eenvoudige verandering van communicatiemedium. De communicatieaansluiting is hot-pluggable, zodat de werking van de meter niet onderbroken dient worden bij een dergelijke aanpassing.

### **5.1.8 *Cyplex***

De Cyplex Packetiser [75] is een geavanceerd telemetrietoestel dat verbonden kan worden met een slimme elektriciteits-, gas- of watermeter met RS-232-uitgang of met een traditionele meter met pulsuitgang. Het toestel stuurt de meetgegevens door via GPRS (klasse B, tot 85.6 kbps), data calls (circuitgeschakelde data, asynchroon tot 9.6 kbps of HSCSD tot 28.8 kbps) of per SMS waarbij het 2000 bytes in 1 SMS van 135 karakters comprimeert.

De Packetiser werd reeds gebruikt in enkele projecten, waaronder het verderop vermelde project in Victoria, Australië en een project rond het meten van het waterverbruik in Maleisië.

### **5.1.9 *Enermet***

Enermet [76] beschikt over een reeks slimme energiemeters geschikt voor residentiële, commerciële en industriële verbruikers. Ook worden verschillende communicatiemedia gebruikt voor het verzenden van verbruiksgegevens en tariefinstellingen. Voor de E120-meter kan bijvoorbeeld gekozen worden tussen GSM/GPRS, LAN/WAN, PSTN en laagspannings- en middenspannings-PLC. De communicatiemodules zijn geïntegreerd in de meter en kunnen dus niet vervangen worden door een ander type. Enermet heeft ook enkele meters (bijvoorbeeld de E130, E131 en E420) zonder geïntegreerde communicatiemodule. Deze meters kunnen eenvoudig met een communicatiemodule naar keuze worden uitgerust en ook

eventuele veranderingen op dit vlak zijn snel en zonder ingrijpende aanpassingen aan de meter uit te voeren.

De E120-meters meten zowel elektriciteit, gas of water. Niet enkel de spanning en stroom worden gemeten, er kunnen ook power quality gerelateerde grootheden worden gemeten.

Enermet werkt samen met Echelon voor wat betreft de meters met PLC communicatie.

### **5.1.10 Iskraemeco**

Iskraemeco [77] produceert een reeks eenfasige en driefasige elektriciteitsmeters en data loggers, die gebruik maken van GSM/GPRS communicatie voor het verzenden en ontvangen van data.

Het productgamma gaat van eenvoudige eenfasige meters, met of zonder mogelijkheid tot automatische uitlezing of tariefwijziging, over meters met 2 tot 4 verschillende tariefmetingen, belastingsprofiel en logboek tot volledige AMR systemen voor residentiële en industriële toepassing. De toestellen met communicatiemogelijkheden zijn uitgerust met een geïntegreerde GSM/GPRS module. Het is mogelijk om gas- en waterverbruiksmeters via M-bus aan te sluiten.

### **5.1.11 Plextek**

De Plextek Radio Remote Metering and Monitoring Unit is een systeem ontwikkeld door Plextek [58] voor BCN Data Systems Ltd. in het Verenigd Koninkrijk. Het maakt gebruik van niet-gelicenseerde RF communicatie via smalbandige fasemodulatie op een gerandomiseerde tijds- en frequentiebasis. De bandbreedte bedraagt 100 kHz. Bitsnelheden tot 2 kbps zijn mogelijk en de pakketjes zijn 32 tot 64 bytes groot. Het basisstation heeft een capaciteit van verschillende duizenden terminals afhankelijk van de datathroughput vereisten. De draaggolffrequenties bevinden zich in de band 183.5 MHz tot 184.5 MHz omdat dit de band is in het VK die voor meteruitlezing vanop afstand beschikbaar is.

## **5.2 Relevante ervaringen uit het buitenland**

In het buitenland werd het idee van een slimme meter op verschillende plaatsen reeds geïmplementeerd en getest. De bedoeling van dit gedeelte is een overzicht te geven van enkele buitenlandse projecten, met een bondige beschrijving van de technische karakteristieken (in de eerste plaats de communicatie-aspecten).

### **5.2.1 Italië – Enel SpA: “Telegestore”**

In 2000 begon Enel SpA, het verticaal geïntegreerde bedrijf in Italië, met een project waarbij hun volledige klantenbestand (ongeveer 27 miljoen klanten) werd uitgerust met slimme energiemeters [78]. Het betreft hier meters met bidirectionele communicatie-interface, geavanceerde energiemeet- en managementmogelijkheden en een geïntegreerde en via software stuurbare schakelaar (waarmee Enel bijvoorbeeld de klant kan afschakelen indien deze zijn rekeningen niet betaalt). Er zijn op dit moment 15 controlecentra, verspreid over Italië, die elk de gegevens van een bepaalde verzameling concentratoren verwerken en beheren. Een dergelijk controlecentrum zou tot 3 miljoen meters kunnen beheren.

Met dit systeem is het (onder andere) mogelijk om:

- Gebruiksgegevens van een bepaalde meter uit te lezen (ondermeer actieve en reactieve energie en vermogen, RMS-waarden van stroom en spanning en arbeidsfactor, alsook Power Quality metingen).

- Een klant remote aan- of afschakelen van het net (kan ook manueel gebeuren aan de meter).
- Een defect aan of uitval van de elektriciteitslevering detecteren.
- Het niet toegelaten gebruik van elektriciteit detecteren of controleren.
- De maximale hoeveelheid elektrische energie die een klant op elk ogenblik kan verbruiken aanpassen.
- Op afstand de tarifiering aan te passen (bijvoorbeeld van krediet naar prepaid of van *flat-rate* naar *multi-tariff*).

Voor de communicatie wordt gebruik gemaakt van PLC over het laagspanningsnet, met de PLT-22 PLC-technologie van Echelon Corporation en de metertechnologie van Ampy Automation Digilog. De meters dragen hun gegevens via PLC over naar een Echelon dataconcentrator, die op zijn beurt de data via TCP/IP of GSM doorstuurt naar de Enel servers. De Echelon dataconcentratoren kunnen in principe ook werken met een ander communicatiesysteem of –protocol (bijvoorbeeld GSM, PSTN, GPRS, CDMA,...). Elke dataconcentrator kan tot 1024 energiemeters (of 4096 M-bus toestellen of meters) beheren. Voor de communicatie tussen de meters en de concentratoren wordt een CENELEC A-band PLC kanaal met automatische herhalingsfunctie gebruikt. De dataconcentrator herkent automatisch nieuw aangesloten meters of reeds bestaande meters die door een dynamische netwerktopologieverandering plots op een andere concentrator worden aangesloten.

Enel SpA schat de kosten van het invoeren van de 30 miljoen slimme meters bij zijn klanten op 2.1 miljard euro), terwijl de jaarlijkse besparing door het gebruik van deze meters op 500 miljoen euro wordt geraamd. De kosten per geïnstalleerde meter zouden net onder 70 euro liggen. Hiervan zou een 10% voor de communicatie zijn.

### 5.2.2 *Vattenfall Eldistribution AB, Zweden*

In Zweden zijn er verschillende projecten in verband met slimme energiemeters, waarbij ook verscheidene communicatiemedia en –protocollen worden gebruikt, mede door de Zweedse wet die elektriciteitsleveranciers verplicht om maandelijks de actuele meterstand af te lezen (Statens Energimyndighet, 2002).

Een eerste project, waarvan de contracten in juni 2003 werden getekend, richt zich op het zuidwesten van Zweden. De energiemeters worden geleverd door Actaris en zijn van het type ACE 4000 RF, het CustCom collectiesysteem is van de firma Senea. De communicatie tussen meter en dataconcentrator gebeurt met radiocommunicatie (RF), verloopt volgens het DLMS/COSEM protocol en is bidirectioneel. De dataconcentratoren communiceren via GSM met de centrales, die uiteindelijk het beheer van de gegevens op zich nemen. Er zijn op dit moment ongeveer 1300 concentratoren geïnstalleerd. Elke concentrator kan in principe met 1000 meters communiceren, hoewel de praktijk in Zweden uitwees dat het werkelijke aantal kleiner is. Nu zijn er gemiddeld 80 meters verbonden met 1 concentrator.

Een tweede project startte in juli 2004 en betrof het invoeren van een systeem met slimme energiemeters in het centrum van Zweden, in samenwerking met Iskraemeco. Hier communiceren de MT 351 en ME 351 energiemeters met de dataconcentratoren via power line carrier. Het gebruikte protocol is DLMS/COSEM. Als concentrator wordt de P2LPC van Iskraemeco gebruikt. De communicatie tussen de concentratoren en de centrales gebeurt met GPRS. Op dit ogenblik zijn er in het kader van dit project reeds 100.000 meters geïnstalleerd.

Bij het derde project, waarvan de contracten in december 2005 werden ondertekend, worden over het volledige grondgebied van Zweden slimme energiemeters ingevoerd. De leverancier van de meters is Telvent [68] (Echelon), die eveneens PLC gebruikt voor het verzenden en

ontvangen van data tussen de energiemeter en de dataconcentrator. Ook hier gebeurt de communicatie tussen concentrator en centrale via GPRS. Momenteel zijn er ongeveer 110.000 Echelon energiemeters geïnstalleerd en is het contract met Telvent in januari 2007 verlengd en uitgebreid, waardoor in de toekomst mogelijk tot 700.000 slimme meters van Echelon worden geïnstalleerd in Zweden.

### **5.2.3 Continuon, Nederland: “InfoStroom”**

De Nederlandse netbeheerder Continuon [79] zette in 2006 een pilootproject rond AMR op in samenwerking met Metripoint. Hierbij worden vanaf de tweede helft van 2006 10000 slimme meters geplaatst in Arnhem, 15000 meters in Alphen-aan-de-Rijn en 25000 meters in Friesland.

Bij het Metripoint systeem wordt de gasmeter verbonden met een slimme elektriciteitsmeter, waardoor niet enkel het elektriciteits-, maar ook het gasverbruik van op afstand kan worden uitgelezen [65]. De communicatie tussen gas- en elektriciteitsmeter verloopt via M-bus. Dit zorgt er onder meer voor dat de bestaande infrastructuur eenvoudig kan uitgebreid worden als men watermeters of andere toestellen mee wil aansluiten. In Nederland is het zo dat de gas- en elektriciteitsmeter meestal op het zelfde bord hangt. Dit zorgt er voor dat een seriële connectie tussen beiden voor de hand ligt. Er wordt gebruik gemaakt van het Echelon PLC systeem voor de communicatie over het distributienet tussen meter en dataconcentratoren in het middenspanningsstation om de data door te sturen. Van concentratoren naar de centrale server wordt gebruik gemaakt van GPRS [80].

### **5.2.4 Oxxio, Nederland**

In 2006 startte Oxxio op de Nederlandse energiemarkt met een project rond het invoeren van slimme energiemeters en het automatisch doorsturen van verbruiksgegevens. Hiervoor wordt samengewerkt met IBM, dat de IT-zijde van het project verzorgt.

De communicatie tussen meter en centrale gebeurt met GPRS, waarbij de technologie van KPN wordt gebruikt. De meteropstelling bestaat uit een elektriciteits- en gasmeter, die met draadloze RF communicatie hun data doorgeven aan de GPRS communicatiemodule.

### **5.2.5 Roskilde en Hillerød, Denemarken**

Twee Deense nutsbedrijven werken sinds 2005 samen met meterproducent Kamstrup voor het invoeren van AMR in Denemarken. Hierbij worden de gegevens van het elektriciteits-, warmte- en waterverbruik van 59.000 klanten van twee verschillende nutsbedrijven doorgestuurd.

De gebruikte communicatiemedia en -protocollen verschillen enigszins afhankelijk van de grootte van de woning (eengezinswoning of appartement) en de verbruikte energiesoorten (water, verwarming en elektriciteit). Voor de meting van het elektriciteitsverbruik worden de Kamstrup 382 en de Kamstrup 351/A gebruikt, voor het meten van het waterverbruik de Multical 41 en voor het meten van de hoeveelheid warmte-energie de Multical CDE.

In een woning met elektriciteits-, verwarmings- en wateraansluiting sturen de warmte- en de watermeter via radiocommunicatie (RF) hun gegevens door naar de (slimme) elektriciteitsmeter, die op zijn beurt alle verbruiksgegevens via radiocommunicatie naar de Kamstrup GSM Modem 5 module stuurt. Deze module verzendt de data via GPRS naar de servers bij Kamstrup, waar de gegevens worden doorgestuurd naar de nutsbedrijven. Het gaat hier telkens om bidirectionele communicatiepaden.



In een woning met enkel water- of verwarmingsaansluiting wordt (bidirectionele) radiocommunicatie tussen de meters en de Kamstrup RF Concentrator gebruikt voor het overdragen van data. De RF Concentrator stuurt zijn data door naar de servers via een GSM Modem 5 (GPRS).

In appartementsgebouwen wordt typisch een GSM Modem 5 module gebruikt voor de bidirectionele GPRS communicatie met de Kamstrup servers. De elektriciteitsmeters communiceren met deze GSM module via PLC, terwijl de verwarmings- en watermeters hun gegevens doorsturen via RF.

### ***5.2.6 Elektromed, Turkije***

In 2004 zorgde Elektromed voor het invoeren van meer dan 1 miljoen slimme energiemeters (voor het verbruik van elektriciteit, gas en water) met een prepaymentsysteem in Turkije. De communicatie tussen meter en dataconcentrator gebeurt met PLC.

### ***5.2.7 Pacific Gas & Electric Company, California, USA***

In juli 2006 gaf de Californische energieraad de toestemming om te starten met een project waarin 9.3 miljoen verbruikers van gas en elektriciteit zullen worden uitgerust met een slimme energiemeter, die elk uur metingen doorstuurt en toelaat om verschillende tarieven in te stellen (zomer/winter, dag/nacht, piek/dalmoment,...). Het gaat hier om 5.1 miljoen elektriciteitsverbruiksmeters en 4.2 miljoen gasverbruiksmeters.

Voor de communicatie tussen elektriciteitsmeter en dataconcentrator wordt geopteerd voor power line carrier, waarbij wordt samengewerkt met Wellington Energy Inc. De gasmeters worden uitgerust met een radiocommunicatiemodule, waarmee de meterdata kunnen worden doorgestuurd naar een centraal beheerpunt.

Dit project is van start gegaan in de herfst van 2006 en zal vermoedelijk in 2011 voltooid zijn.

## 6 Kostprijsberekening

Verschillende studies proberen de kosten en de baten van smart metering in te schatten [25, 27, 78, 81, 82]. Uit deze studies blijkt enerzijds dat het communicatiemedium slechts een beperkte rol speelt in het globale kostenplaatje van smart metering, maar anderzijds ook dat de onzekerheid op de kostprijzen een niet te verwaarlozen invloed heeft.

We brengen in dit hoofdstuk de kostprijsgegevens uit vorige hoofdstukken samen met die van de andere studies. Deze kostprijzen zijn onder te verdelen in eenmalige kosten (communicatiemodule in slimme meter, investeringen in tussenliggende apparatuur zoals concentratoren, etc.) en recurrente kosten (abonnements- en gesprekskosten).

In de SenterNovem studie [27] worden 3 communicatiemedia bestudeerd: PLC, GSM/GPRS, en communicatie via een reeds bestaande internetverbinding<sup>11</sup>. Als relevante prijsgegevens vindt men daar het volgende.

- De jaarlijkse kosten voor een draadloze GSM/GPRS modem per huishouden worden geschat op €20 (variërend van €8 tot €60). Deze parameter met zijn grote onzekerheid heeft de op één na belangrijkste invloed op het resultaat uitgedrukt in netto contante waarde (NCW) (na de verwachte prijsverlaging voor elektriciteit t.g.v. van het gemakkelijker van leverancier veranderen waarvan de onzekerheid een nog sterkere invloed op het NCW-resultaat heeft). Daarnaast zijn er €20 abonnementskosten<sup>12</sup>.
- Als de communicatie via PLC verloopt, rekent men op €1500 (van €750 tot €2000) per concentrator, en 1 concentrator per 100 huishoudens (tot 1000 huishoudens), en op €15 per PLC modem. Men veronderstelt dat er 2 belminuten per dag per meter nodig zijn à €0,06/min. Daarnaast is er een abonnement van €1,75/maand.
- Als de communicatie via een bestaande internetverbinding verloopt, zijn er geen extra variabele kosten en houdt de studie enkel rekening met de meerprijs van de IP-communicatie-eenheid (€10) en extra installatietijd (€12,5).
- Tenslotte wordt een inschatting van de backbone ICT-infrastructuur ingeschat op eenmalig €150000 per server, waarbij er 1 server per 20000 huishoudens (van 10000 tot 50000 huishoudens) nodig is, naast een onderhoudskost van 15% hiervan per jaar. Daarnaast zijn er de eenmalige transitiekosten van de aanpassing van bedrijfsprocessen en dergelijke (M€5).

Uit deze studie blijkt dat GSM/GPRS de duurste weg is, terwijl gebruik maken van een bestaande verbinding het goedkoopste is. Bij de kosten/baten analyse van SenterNovem veronderstelt een expertinschatting voor het referentiescenario dat 40% van de communicatie via PLC, 40% via internet en 20% via GSM gebeurt, met een NCW van M€1200, berekend over 50 jaar [27]. Wanneer alles via PLC verloopt is de NCW M€1500; wanneer alles via bestaande internetverbindingen loop is de NCW M€1600. Als alles echter via GSM-communicatie verloopt, is de NCW €0.

Ook de Britse studie [25] is zeer voorzichtig in de prijsbesluiten; deze luiden: *“The choice of communications technology has a significant impact on costs. Power line carrier (PLC), fixed network radio and low power radio (LPR) tend currently to be significantly cheaper than GSM. The use of fixed telephone lines tends to be considered too expensive compared to other options.”* Per slimme meter rekent deze studie dat GSM zowat £35-40 (€51-59) per meter

---

<sup>11</sup> Zoals bij internet over een ADSL- of kabelverbinding.

<sup>12</sup> Het is onduidelijk of dit ook de kosten van het dataverkeer omvat, maar waarschijnlijk is dit het geval.

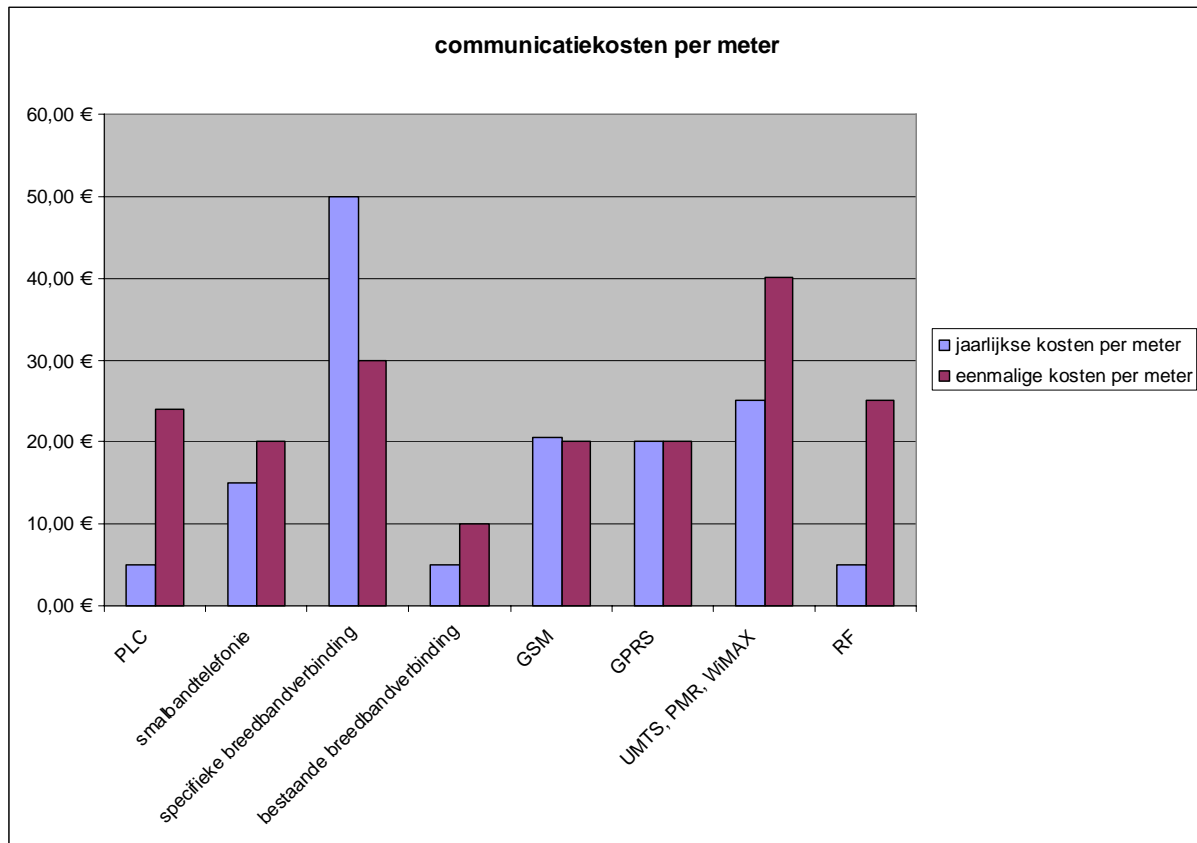
kost. Voor PLC en fixed line radio rekent men op £17-20 (€25-30), dataconcentrator inbegrepen. Daarnaast zijn er ongeveer £20-30 (€30-45) installatiekosten per meter. De uitrol van de rest van de ICT-infrastructuur wordt ingeschat op £15-25 (€22-38) per meter. De operationele en onderhoudskosten van de communicatieinfrastructuur wordt op £5-10 (€7-15) per meter geschat.

In Tabel 12 op bladzijde 61 worden de verschillende prijselementen samengebracht. De prijzen zijn geschatte volumeprijzen en moeten met de dienstenleveranciers geverifieerd worden.

In vergelijking met de Nederlandse en Britse studie is deze studie bijkomend gebaseerd op volgende veronderstellingen.

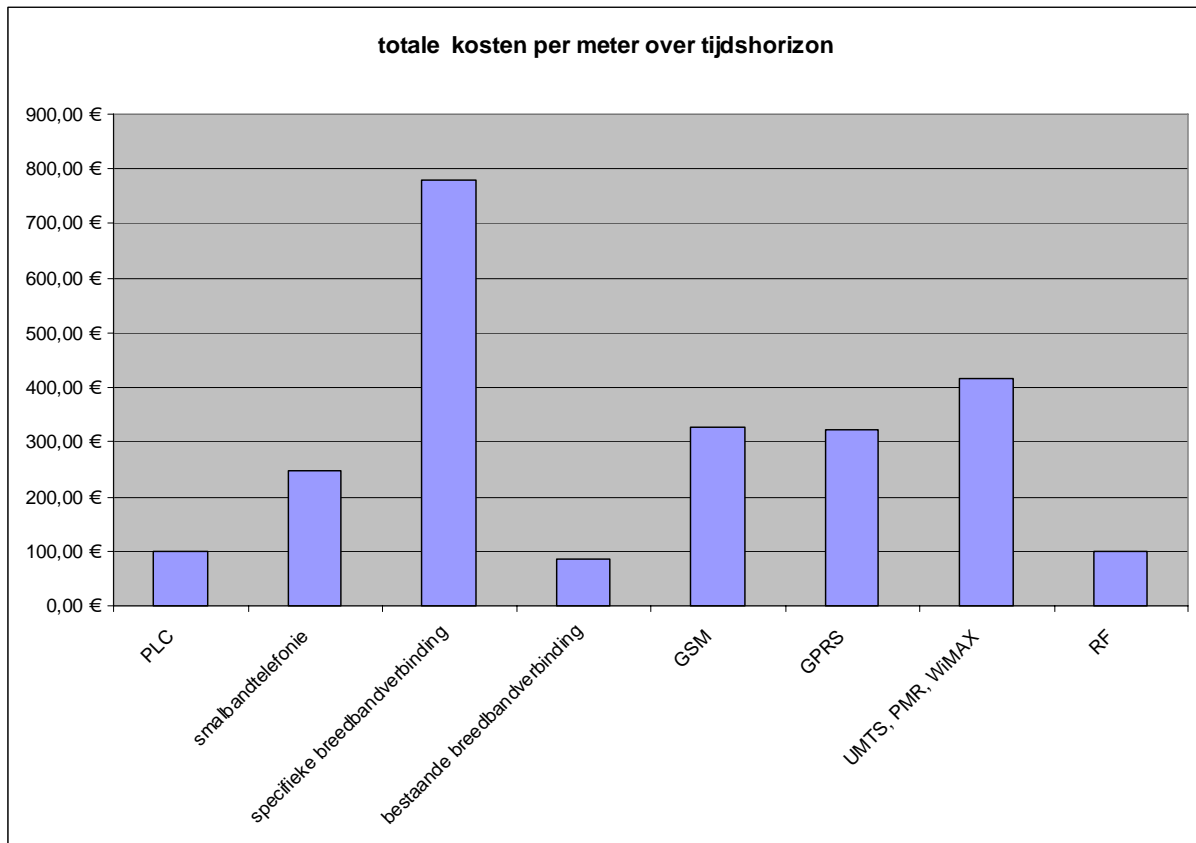
- De tijdshorizon is 15 jaar. Dit komt overeen met de verwachte levensduur van de slimme meters.
- In de kostprijsberekening is de backbone ICT-infrastructuur niet meegerekend, maar wel de dataconcentratoren.
- Bij breedbandverbinding is er een onderscheid gemaakt tussen enerzijds gebruik maken van een *bestaande* breedbandverbinding en anderzijds een *specifieke* breedbandverbinding. Deze laatste is een breedbandverbindinginfrastructuur waarvan het toegangsnetwerk door een externe telecomoperator speciaal voor de slimme meter is opgezet, met eigen modem en dataconcentratoren.
- PLC is in eigen beheer, zodat er geen abonnementskosten zijn. Er wordt wel een operationele kost van €5/jaar per slimme meter gerekend.
- De prijzen voor de nieuwste technologieën (UMTS, PMR, WiMAX) zijn gelijk genomen, omwille van de onzekerheid.

Figuur 24 presenteert voor de verschillende communicatiemedia een overzicht van de jaarlijkse en eenmalige kosten per meter.



*Figuur 24: communicatiekosten per meter voor de verschillende communicatiemedia*

Als we over een tijdshorizon van 15 jaar kijken (dit is ongeveer de verwachte levensduur van de slimme meters), levert dat een kostprijs per meter op zoals weergegeven in Figuur 25 en in Tabel 11. Hieruit blijkt dat communicatie gebaseerd op bestaande breedbandverbindingen het goedkoopst is, van kortbij gevolgd door PLC of RF. Dit wordt gevolgd door smalbandtelefonie en GSM/GPRS. Het gebruik van een specifieke breedbandverbinding valt het duurst uit.



*Figuur 25: geschatte kosten per meter over de tijdshorizon*

PLC	€99,00
smalbandtelefonie	€245,89
specifieke breedbandverbinding	€780,00
bestaande breedbandverbinding	€85,00
GSM	€328,55
GPRS	€321,56
UMTS, PMR, WiMAX	€416,25
RF	€100,00

*Tabel 11: geschatte kosten per meter over de tijdshorizon*

<b>Communicatie via</b>	<b>Kostprijselementen per slimme meter</b>	<b>Kostprijselementen in backbone netwerk</b>	<b>Operationele kosten</b>
Power line carrier	PLC modem	Dataconcentratoren (1 per 500) <i>Backbone communicatie- infrastructuur tussen dataconcentratoren en datacentra</i>	In eigen beheer
	€20 modem	6000 concentratoren à €2000	€5/meter/jaar
Smalbandverbinding over telefoonnetwerk	Analoge of digitale telefoniemodem Verbinding meter – telefoonlijn	Concentratoren (call servers) (1 per 75000) <i>Backbone communicatie- infrastructuur tussen call servers en datacentra</i>	Abonnement telefonie Afrekening per communicatieduur
	€15 modem + €5 installatie	40 concentratoren à €2500	€15/meter/jaar + €0,05/min
Specifieke breedbandverbinding over ADSL of over (tv-)distributiekabel	ADSL- of kabelmodem Verbinding meter – kabel	Dataconcentratoren (1 per 500) <i>Backbone infrastructuur vanaf ADSL central office of kabel head end tot aan datacentra</i>	Breedbandabonnement (incl. verbruik)
	€20 modem + €5 installatie	6000 concentratoren à €2000	€50/meter/jaar
Gebruik maken van bestaande breedbandverbinding, over ADSL, (tv-)distributiekabel of anders	Aansluiting op bestaande internetinfrastructuur via IP	<i>Via infrastructuur van ISP (internet service providers)</i>	Meerverbruik data
	€10 installatie		€5/meter/jaar

<b>Communicatie via</b>	<b>Kostprijs-elementen per slimme meter</b>	<b>Kostprijs-elementen in backbone netwerk</b>	<b>Operationele kosten</b>
GSM en circuitgeschakelde communicatie van 2 <sup>de</sup> generatie mobiele telefonie	GSM modem	Concentratoren (call servers) (1 per 75000) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen call servers en datacentra</i>	Abonnement mobiele telefonie Afrekening per communicatieduur
	€20 modem	40 concentratoren à €2500	€20/meter/jaar + €0,10/min
GPRS en pakketgeschakelde communicatie van 2 <sup>de</sup> generatie mobiele telefonie	GPRS modem	Concentratoren (dataservers) (1 per 75000) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen dataservers en datacentra</i>	Abonnement mobiele data Afrekening per dataverbruik
	€20 modem	40 concentratoren à €2500	€20/meter/jaar + €0,25/MiB
UMTS en 3 <sup>de</sup> generatie mobiele telefonie	UMTS modem	Concentratoren (dataservers) (1 per 75000) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen dataservers en datacentra</i>	Abonnement mobiele data Afrekening per dataverbruik
	€40 modem	40 concentratoren à €2500	€25/meter/jaar + €0,20/MiB
Niet gelicentieerde RF	RF modem	Dataconcentratoren & antennes (1 per 500) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen dataconcentratoren en datacentra</i>	In eigen beheer
	€20 modem	6000 concentratoren à €2500	€5/meter/jaar

<b>Communicatie via</b>	<b>Kostprijs-elementen per slimme meter</b>	<b>Kostprijs-elementen in backbone netwerk</b>	<b>Operationele kosten</b>
PMR	PMR modem	Dataservers (1 per 75000) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen dataservers en datacentra</i>	Abonnement PMR Afrekening per dataverbruik
	€40 modem	40 concentratoren à €2500	€25/meter/jaar + €0,20/MiB
WiMAX	WiMAX modem	Concentratoren (dataservers) (1 per 75000) <i>Backbone communicatie-infrastructuur tussen dataservers en datacentra</i>	Abonnement WiMAX Afrekening per dataverbruik
	€40 modem	40 concentratoren à €2500	€20/meter/jaar + €0,20/MiB

*Tabel 12: prijselementen bij de communicatiemedia*

In de bovenstaande tabel en in de prijsvergelijkingen wordt de kostprijs voor de backbone communicatieinfrastructuur niet meegerekend (*cursief* gedrukt in Tabel 12, zie ook scope in hoofdstuk 1). De volledige lijst van parameters is in appendix 8.5 terug te vinden.



## 7 Samenvatting en besluit

In Tabel 13 worden de verschillende aspecten van de communicatieinfrastructuur voor slimme meters samengevat. De verschillende kolommen bevatten de grote klassen van communicatiemedia, waarbij voor internet via de kabel een verder onderscheid gemaakt is tussen de uitbouw van een *specifiek* breedbandnetwerk (S) en het gebruik van *bestaande* breedbandnetwerken (B). Voor de rijen in de tabel hebben volgende overweging geleid tot de waarderingen.

- *Bereikbaarheid*: dit geeft aan welk percentage van de meters kan bereikt worden. De beperkende factoren hierbij zijn de beperkte dekking van draadloze mobilofonienetwerken en de onbeschikbaarheid van kabel- of ADSL infrastructuur in bepaalde landelijke gebieden.
- *Kostprijs*: omvat de kostprijs van installatie en uitbating, zoals in hoofdstuk 6 uitgewerkt.
- *Uitbating*: omvat de partij die het communicatiemiddel uitbaat.
- *Toegang*: omvat de mogelijkheid voor marktpartijen tot toegang tot het communicatiemiddel.
- *Geschiktheid*: omvat de geschiktheid voor de functies die vermeld worden bij de definitie van de slimme meter. Alle communicatiemedia zijn voor deze basisfuncties geschikt, maar wanneer geavanceerdere functies vereist zijn (zoals meer weergeven van gedetailleerde power quality informatie) hebben media met een hogere bandbreedte meer mogelijkheden. Power line carrier en RF hebben daarnaast de mogelijkheid om een groep meters tegelijk te bereiken – bijvoorbeeld voor afschakelen – en zo realtime-eisen te vervullen.
- *Flexibiliteit*: omvat het aanpassen van functies in de slimme meter naargelang de behoefte, en is gebaseerd op een combinatie van *geschiktheid* en *uitbating*.
- *Betrouwbaarheid*: omvat elementen van de beschikbaarheid van het communicatiemedium en het effect van de betrokkenheid van externe partijen en van nieuwe technologie.

De uiteindelijke keuze voor een communicatiemiddel voor slimme meters heeft vooral te maken met de technische en niet-technische eisen die men aan het gebeuren stelt.

Als men in de toekomst van elke slimme meter kwartierverbruiken en uitgebreide power quality gegevens wil opvragen is een significant hogere bandbreedte vereist dan wanneer alleen de maandelijkse uitlezing belangrijk is. Dit wijst naar internetgebaseerde oplossingen of mobilofonie van de 3<sup>de</sup> generatie (UMTS) als geschikte communicatieinfrastructuur.

Wanneer binnen een bepaalde tijdspanne een groep meters bereikt moet worden (realtime-eisen) is het nodig dat het medium broadcasting ondersteunt. Dit impliceert oplossingen als PLC en RF, of andere draadloze oplossingen (PMR, GSM, UMTS).

Wanneer de kostprijs van de communicatiemiddelen een belangrijke parameter is, verdienen PLC/RF of bestaande internetoplossingen de voorkeur.

Daarnaast hebben de media in eigen beheer het voordeel van onafhankelijkheid ten opzichte van partijen die extern aan de energiemarkt zijn, zoals telecomoperatoren of internet service providers. Dit wijst naar PLC en RF als geschikte communicatiemiddelen.

Qua flexibiliteit en betrouwbaarheid voldoen alle communicatiemedia aan de eisen van slimme-meter toepassingen.

	<i>power line carrier</i>	<i>kabel</i>		<i>draadloos</i>			
		<i>internet</i>	<i>telefoon</i>	<i>GSM, GPRS</i>	<i>UMTS</i>	<i>RF</i>	<i>PMR</i>
<i>bereikbaarheid</i>	100%	S: 95% B: 60%	98%	+ 99%	60%	100%	100%
<i>kostprijs</i>	medium	S: zeer hoog B: medium	medium tot hoog	hoog	hoog	medium	hoog
<i>uitbating</i>	eigen beheer	S: telecom-uitbater B: ISP	telefonie-operator	mobilofonie-operator	mobilofonie-operator	eigen beheer	eigen beheer of PMR-operator
<i>toegang</i>	via communicatie-uitbater	rechtstreeks	rechtstreeks	rechtstreeks	rechtstreeks	via communicatie-uitbater	rechtstreeks of via communicatie-uitbater
<i>applicatie-geschiktheid (bandbreedte)</i>	functies met lage bandbreedte	functies met hoge bandbreedte	functies met medium bandbreedte	functies met medium bandbreedte	functies met hoge bandbreedte	functies met lage bandbreedte	functies met medium bandbreedte
<i>applicatie-geschiktheid (realtime)</i>	functies met realtime-eisen	functies met (S) / zonder (B) realtime-eisen	functies zonder realtime-eisen	functies zonder realtime-eisen	functies met realtime-eisen	functies met realtime-eisen	functies met realtime-eisen
<i>flexibiliteit</i>	medium	hoog	medium tot hoog	medium tot hoog	hoog	medium	medium tot hoog
<i>betrouwbaarheid</i>	hoog	medium tot hoog	zeer hoog	hoog tot zeer hoog	medium tot hoog	hoog	zeer hoog

Tabel 13: samenvattende tabel communicatiemedia

## 8 Appendices

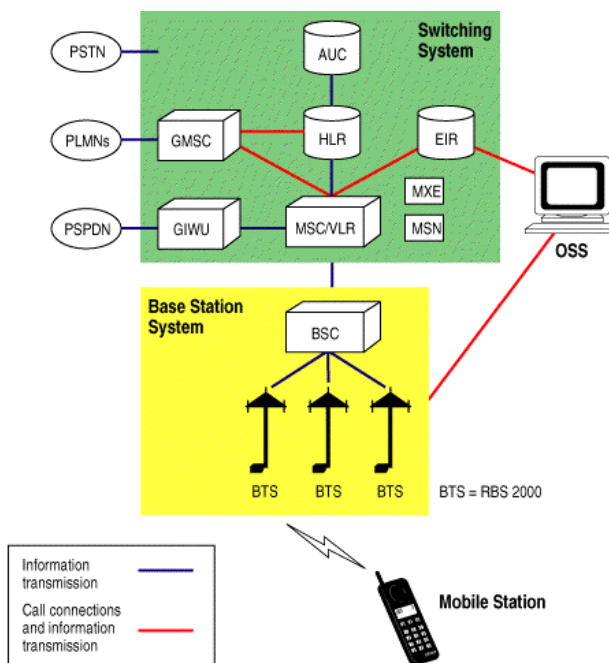
### 8.1 Appendix: GSM-details

#### 8.1.1 Uitgebreide beschrijving van het GSM-systeem

GSM (Global System for Mobile Communication) is een globaal aanvaarde standaard voor digitale cellulaire communicatie [45]. Het is de naam van de standaardisatiegroep opgericht in 1982 voor een gemeenschappelijke Europese standaard voor mobiele telefonie. De specificaties betreffen de functies en interfaces tussen netwerkcomponenten maar niet de hardware. De reden hiervoor is de ontwerpers zo weinig mogelijk te beperken en toe te laten dat de operators hun apparatuur bij verschillende producenten kopen. Een historisch overzicht van de ontwikkeling van het GSM-systeem is in Tabel 14 gegeven.

1982	oprichting van GSM
1986	veldtesten
1987	TDMA werd gekozen als toegangsmethode
1988	Ondertekening Memorandum
1989	Validatie van het GSM systeem
1990	Pilootsysteem
1991	Opstarten van het commerciële systeem
1992	Dekking van grotere steden/luchthavens
1993	Dekking van belangrijkste wegen
1995	Dekking van landelijke gebieden

Tabel 14: geschiedenis van GSM



Figuur 26: GSM-netwerkelementen

Het netwerk is principieel opgedeeld in drie delen: het schakelsysteem (Switching System, SS), het systeem van de basisstations (Base Station System, BSS), en het Operation and Support System (OSS) (Figuur 26).

Het schakelsysteem is verantwoordelijk voor het verwerken van oproepen en het uitvoeren van functies die gebruiker-specifiek zijn. Het systeem bestaat uit volgende componenten.

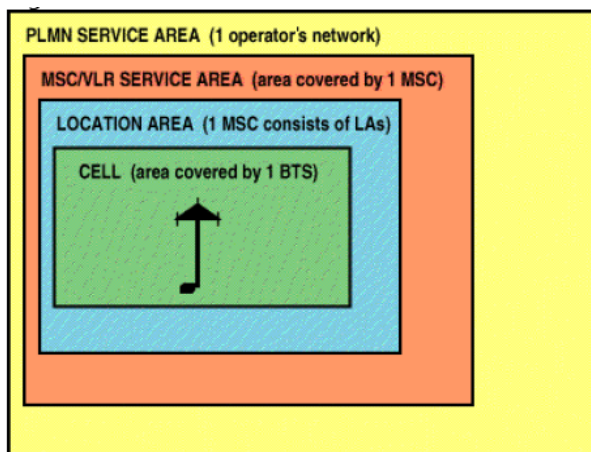
- Home Location Register (HLR): is een gegevensbank gebruikt voor de opslag en het management van gebruikersinformatie. Het bevat per gebruiker informatie over zijn locatie, zijn gebruikersprofiel en over zijn activiteitsstatus.
- Mobile Services Switching Center (MSC): vervult de schakelfuncties van het systeem. Het controleert oproepen van en naar andere telefoon- en datasystemen.
- Visitor Location Register (VLR): is een gegevensbank die de tijdelijke informatie over gebruikers bevat die nodig is voor het MSC. De VLR is altijd geïntegreerd samen met de MSC. Als een mobiel station in het domein van een nieuw MSC komt (= roaming), zal het VLR die verbonden is met het nieuwe MSC gegevens over het mobiele station vragen van het HLR. Als het mobiele station dan later een oproep doet, bezit het VLR alle informatie die nodig is voor het opzetten van een verbinding zonder dat het HLR iedere keer opnieuw moet ondervraagd worden.
- Gateway Mobile Services Switching Center (GMSC): is een knooppunt dat twee netwerken met elkaar verbindt. Het is vaak geïmplementeerd in een MSC.
- GSM Interworking Unit (GIWU): bestaat uit hardware en software die een interface verschaft tot verschillende netwerken voor datacommunicatie. Door de GIWU kunnen gebruikers afwisselen tussen spraak en data tijdens dezelfde oproep. De hardware van de GIWU is fysiek gelokaliseerd in de MSC/VLR.
- Authentication Center (AUC): verzorgt authenticatie (het verifiëren van de identiteit van een mobiele gebruiker) en encryptie (het confidencieel maken van de verzonden informatie).
- Equipment Identity Register (EIR): is een gegevensbank die informatie bevat over de identiteit van mobiele apparatuur die voorkomt dat gestolen, defecte of niet-toegelaten mobiele stations oproepen doen. Het heeft drie classificaties voor elk mobiel station: wit (geldig toestel), grijs (moet gevolgd worden) en zwart (geblokkeerd toestel (verloren of gestolen)). AUC en EIR zijn afzonderlijke componenten of zijn geïntegreerd in één AUC/EIR-component.
- Message Center (MXE): verschaft geïntegreerde spraak, fax en data messaging. Meer bepaald biedt het MXE diensten aan zoals Short Message Service (SMS), cell broadcasts, voicemail, faxmail en e-mail.

Het Base Station System (BSS) is verantwoordelijk voor alle radiofuncties en bestaat uit Base Station Controllers (BSC) en Base Transceiver Stations (BTS):

- BSC: verschaft alle controle functies en fysische verbindingen tussen MSC en BTS. Het is een schakelaar met hoge capaciteit die functies uitvoert zoals handover (het onderhouden van de verbinding als een mobiel station naar een andere cel gaat), configuratie van de cellen, controle van de vermogenniveaus van een BTS. Meerdere BSC zijn gecontroleerd door een MSC.
- BTS: bevat de radio-apparatuur (zender-ontvangers en antennes). Een groep BTS's is gecontroleerd door een BSC.

Het Operation and Support System bestaat uit het Operations and Maintenance Center (OMC) dat verbonden is met alle apparatuur in het Switching System (SS) en met de BSC's. Het OMC is het knooppunt vanwaar de netwerkoperator op het systeem toezicht houdt en het controleert.

Het GSM-netwerk is opgedeeld in geografische gebieden (Figuur 27). De cel is het gebied dat door één Base Transceiver Station wordt bediend. Elke cel heeft een unieke Cell Global Identity (CGI) nummer waarmee het netwerk de cel identificeert. De Location Area is het volgende geografische gebied. Elke Location Area wordt bediend door één of meer Base Station Controllers maar door slechts één MSC. Het is de zone waarin de broadcastfunctie 'paging' gebeurt. Elke Location Area is geïdentificeerd door een uniek Location Area Identity (LAI) nummer. Het volgende geografisch niveau is de MSC/VLR Service Area. Het is gedekt door één MSC en is bereikbaar omdat het geregistreerd is in de VLR van het MSC. Het hoogste geografische niveau is het Public Land Mobile Network (PLMN). Dit is het netwerk van één provider van mobiele telefonie.



*Figuur 27: GSM-netwerkgebieden*

GSM biedt twee basistypes van diensten aan: telefonie (ook wel 'teleservices' genoemd) en data (ook wel 'bearer services' genoemd). Daarnaast is er ook de dienst om in geval van nood de hulpdiensten te bereiken en zijn er de volgende diensten:

- Dual-tone multifrequency (DTMF): is een toonsignaleringssysteem dat gebruikt wordt voor verschillende controledoeleinden via het telefoonnetwerk zoals het bedienen van een antwoordapparaat van op afstand.
- CCITT Facsimile Groep III. Omdat faxmachines standaard ontworpen zijn om aan een telefoon verbonden te zijn via analoge signalen moet een speciale convertor gebruikt worden in het GSM-netwerk.
- Short Message Services (SMS). Hiermee kan een boodschap verzonden worden die bestaat uit een maximum van 160 alfanumerieke karakters van en naar een mobiel station. Als een station af staat of niet meer bereikbaar is zal de boodschap opgeslagen worden en opnieuw aangeboden worden als het station aan gaat of terug bereikbaar is.
- Cell Broadcast. Is een variatie op de SMS-dienst. Een boodschap van maximum 93 karakters kan gezonden worden naar alle mobiele stations in een bepaalde geografische zone. Typische voorbeelden zijn: waarschuwingen dat er congestie is of dat er ongevallen gebeurd zijn.
- Voice Mail: de antwoordapparaatfunctie van een mobiele gebruiker.
- Fax Mail: Met deze dienst kunnen gebruikers faxberichten ontvangen op elke faxmachine. De boodschappen worden opgeslagen in een datacenter en kunnen worden afgehaald met een persoonlijke veiligheidscode.

Naast deze diensten die opgelegd zijn door de GSM-standaard, zijn er optionele diensten gespecificeerd die aanzien kunnen worden als diensten die een commercieel voordeel kunnen betekenen indien geïmplementeerd. Een partiële lijst van deze optionele diensten is:

- Call forwarding: het doorsturen van oproepen naar een ander nummer als het mobiel station niet bereikbaar is, bezig is of als er geen antwoord is.
- Barring of outgoing calls: verbiedt alle buitengaande oproepen.
- Barring of incoming calls: verbiedt binnenkomende oproepen. Bestaat in twee varianten: blokkeren van alle binnenkomende oproepen en blokkeren van binnenkomende oproepen tijdens het verblijf buiten het eigen PLMN.
- Advice of Charge (AoC): geeft een schatting van de kosten van de oproepen. Bestaat in twee varianten: het geven van een schatting van de factuur en AoC die gebruikt kan worden voor onmiddellijke facturatie.
- Call Hold: onderbreekt een bestaande oproep en zal deze later opnieuw opzetten.
- Call Waiting: de gebruiker wordt verwittigd van een oproep die binnenkomt tijdens een andere oproep. De gebruiker kan deze nieuwe oproep beantwoorden, verwerpen of negeren.
- Multiparty Service: laat toe tegelijkertijd een conversatie te voeren met drie tot zes gebruikers.
- Calling Line Identification Presentation/Restriction. CLIP verschaft de partij die opgeroepen wordt met het Integrated Services Digital Network (ISDN) nummer van de partij die de oproep doet. CLIR laat deze laatste partij toe om dit nummer niet te tonen aan de eerste partij. CLIR heeft hogere prioriteit dan CLIP.
- Closed User Groups (CUG's): is vergelijkbaar met PBX (Private Branch Exchange). Deze dienst zorgt ervoor dat een groep gebruikers alleen elkaar kunnen bereiken en bepaalde andere nummers.

Enkele technische gegevens over het systeem zijn gegeven in Tabel 15. Er moet goed onthouden worden dat GSM met circuitschakelingen werkt om spraak of data door te sturen. Dit betekent dat er eerst een verbinding opgezet wordt die een bepaald deel van de capaciteit voor zichzelf reserveert, alvorens het eigenlijke data- of spraakverkeer kan gebeuren.

Toegangsmethode	FDMA, SDMA, TDMA
Duplexmethode	Frequency Division Duplex
Frequentiebanden	890 – 915 MHz up en 935 – 960 MHz down
Aantal frequentiekanalen per band	125; 124 zonder guard bands
Frequentieafstand tussen draaggolven	200 kHz
Aantal tijdslots in één TDMA frame	8
Aantal simultane gebruikers	124 x 8 = 992
Modulatie	Gaussian Minimum Shift Keying
Duur van TDMA frame	60/13 ms
Broncodering	13 kbps
Snelheid kanaalcodering	22.8 kbps, half-rate aan 11.4 kbps is mogelijk
Vermogen van handset	0.8 W en 8 W
Grootte van cel	< 300 m (stedelijk) tot 35 km (landelijk)
Bitrate data	9.6 kbps (circuitschakeling)

Tabel 15: GSM karakteristieken

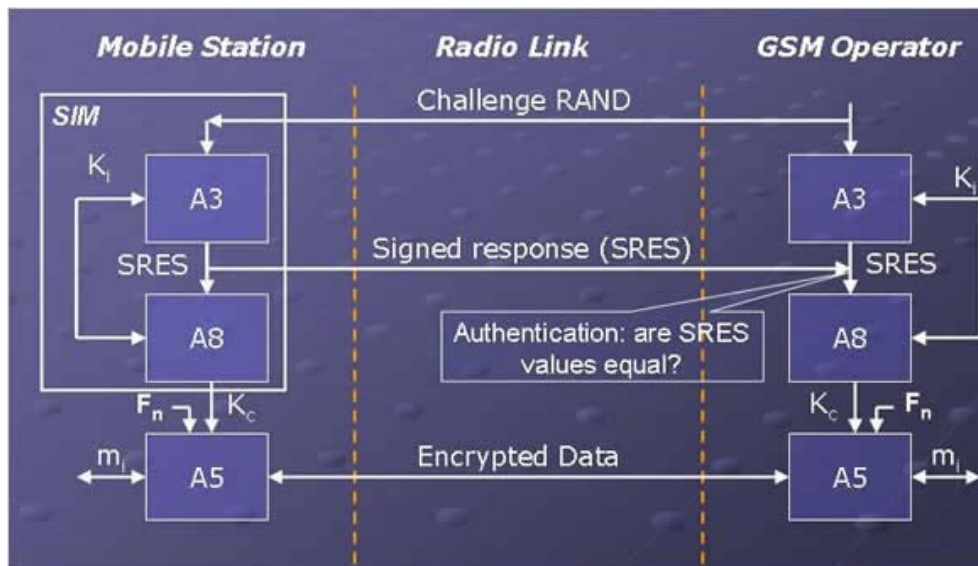
Met toegangsmethode wordt de methode bedoeld die meerdere gebruikers in hetzelfde gedeelde medium (de lucht) toelaat. Dit kan door gebruik te maken van cellen (Space Division Multiple Access) en te zorgen dat de signalen van het BTS van één cel zodanig verzwakt is in de tweede cel dat dezelfde frequentie daar kan gebruikt worden. Er wordt eigenlijk gewerkt met clusters van typisch zeven cellen. Frequenties worden herbruikt tussen verschillende clusters. Binnen in een cel kan het SDMA-effect nog vergroot worden door te werken met directionele antennes. Een veel voorkomende techniek gebruikt antennes die een hoek van  $120^\circ$  bestrijken en de cel dus in drie verdelen. Een andere methode is gebruik te maken van verschillende frequenties (Frequency Division Multiple Access) of van verschillende tijdsogenblikken om informatie door te sturen (Time Division Multiple Access). Met Duplex Methode wordt de methode gebruikt om tweerichtingsverkeer toe te laten. Bij Frequency Division Duplex zenden het mobiele station en de GSM-mast op twee verschillende frequenties.

Naast de gewone GSM op 900 MHz bestaat er een systeem dat rond 1800 MHz werkt (DCS-1800: Digital Cellular System-1800). Het lijkt sterk op GSM. Enkele kenmerken ervan zijn weergegeven in Tabel 16.

Frequentieband	1710 – 1785 MHz up en 1805 – 1880 MHz down
Breedte van banden	75 MHz
Duplex spacing	95 MHz
Draaggolf spacing	200 Hz
Aantal draaggolven	374 (zonder guards)
Tijdslots per draaggolf	8
Toegangsmethodes	TDMA/FDMA/SDMA
Grootte cel	< 100 m – 15 km
Vermogen van handset	0.25 & 1 W

*Tabel 16: DCS-1800*

Enkele woorden over informatiebeveiliging in GSM-systemen (Figuur 28). Informatiebeveiliging is nodig om de klant van een netwerk anonimiteit en privacy te geven als hij een oproep maakt, om te zorgen dat de netwerkkoperator de juiste klant tarifeert, en om te zorgen dat operators niet accidenteel of intentioneel met elkaar interfereren. Voor de authenticatie wordt een challenge van 128 bit naar de gebruiker gezonden. De SIM-kaart in het GSM-toestel gebruikt het A3-algoritme en de Individual Subscriber Authentication Key  $K_i$ , uniek aan elke SIM, om een antwoord te berekenen en dit terug te sturen naar het basisstation. Als dit antwoord overeenkomt met wat het basisstation zelf heeft berekend, is er zekerheid dat het mobiele station is wie het beweert te zijn. Het mobiele station is dus geauthentiseerd. Echter, het basisstation is niet geauthentiseerd aan het mobiele station en het kan dus voorkomen bij GSM dat een mobiel station communiceert met een entiteit die eigenlijk geen basisstation is (false station attack). Voor de encryptie van de informatie gebruikt de SIM het antwoord en  $K_i$  als input om een sessiesleutel  $K_c$  te berekenen met het A8-algoritme. Deze sessiesleutel wordt naar het basisstation gestuurd en gebruikt met het A5-algoritme om de transmissie te versleutelen.  $K_i$  is 128 bits,  $K_c$  is maximaal 64 bits. Het algoritme A5 is een stroomcijfer die nooit openbaar gemaakt is en bestaat in drie versies van verschillende sterkte. De sterkste versie kan in minder dan een seconde gebroken worden als de output gedurende 2 minuten geanalyseerd wordt.



Figuur 28: authenticatie en encryptie bij GSM

Alle GSM-toestellen hebben een IMEI (International Mobile Subscriber Identity, 19 cijfers) nummer. Dit is onafhankelijk van de SIM en is opgeslagen in de EIR. Individuen kunnen geïdentificeerd worden met het International Mobile Subscriber Identity nummer (IMSI, < 15 cijfers) dat op de SIM terug te vinden is. Om te vermijden dat er geluisterd kan worden naar deze IMSI wordt er gebruik gemaakt van een TMSI (Temporary IMSI) die gezonden wordt bij communicatie met het BTS als de telefoon aan gaat of een oproep geïnitieerd wordt. De TMSI wordt toegekend door het VLR en enkel daar opgeslagen. Daarnaast bevat het HLR ook het 'echte' telefoonnummer van een mobiel station. Dit is het MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network) nummer van maximaal 16 cijfers.

### 8.1.2 Overzicht van GSM-verkeer in Vlaanderen

Op 1 januari 1994 werd het GSM netwerk Proximus [46] op de markt gebracht. Enkele maanden later richten Belgacom NV en het Amerikaans bedrijf AirTouch een nieuwe privaatrechterlijke vennootschap op: Belgacom Mobile NV. De tweede GSM-operator Mobistar [42] startte zijn activiteiten op 27 augustus 1996. In 1999 kregen Belgacom Mobile en Mobistar het gezelschap van KPN-Orange (het huidige Base [47]).

Naast deze drie traditionele mobiele operatoren in ons land bieden ondertussen ook tal van virtuele operatoren een eigen GSM-abonnement aan. Die GSM-abonnementen zijn herverpakte belminuten die worden geleverd via het netwerk van een van de drie traditionele operatoren. Er zijn twee soorten virtuele operatoren ontstaan.

- De grootste groep zijn de doorverkopers, die uitsluitend belminuten aan groothandelsprijzen en -volumes opkopen bij de traditionele operatoren en die dan in hun eigen formules doorverkopen naar de eindconsument.
- De tweede categorie heeft een eigen centrale en facturatiesysteem, aangesloten op het netwerk van de traditionele mobiele operator. Alle mobiele virtuele operatoren hebben een contract met Base. In termen van abonnees zijn er iets meer dan 200.000 GSM-gebruikers aangesloten bij een virtuele operator, dit stemt overeen met 2% van de gebruikers.

Het marktaandeel voor de drie belangrijkste operatoren is als volgt:

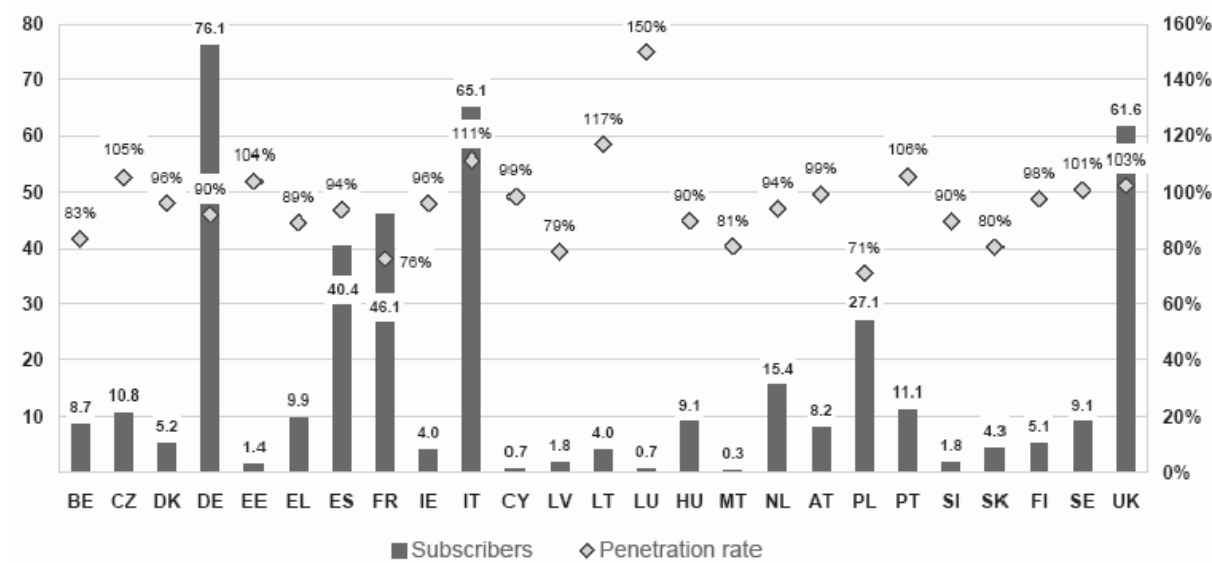
- Proximus: GSM-900 (60 kanalen), DCS-1800 (75 kanalen), marktaandeel 45%
- Mobistar: GSM-900 (60 kanalen), DCS-1800 (75 kanalen), marktaandeel 33%
- Base: GSM-900 (25 kanalen), DCS-1800 (110 kanalen), marktaandeel 22%



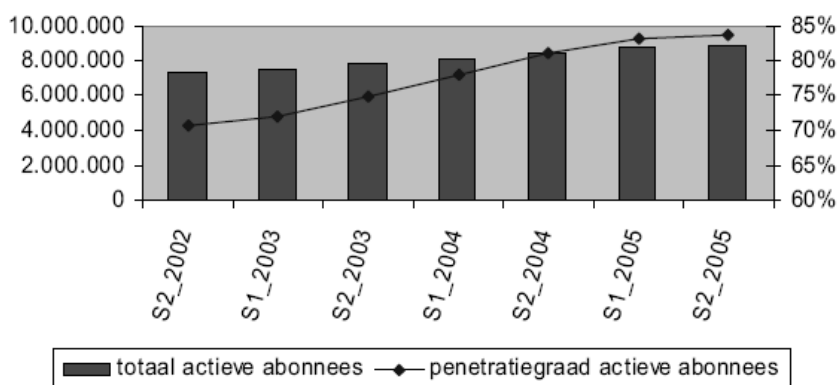
De dekkingsgraad is ongeveer 98-99% bij elk van de operatoren. Enkele andere kengetallen zijn weergegeven in Figuur 29-Figuur 32.

	Totaal	wijziging in %
2001	7.609.113	35%
2002	8.101.777	6,5%
2003	8.605.834	6,2%
2004	9.131.705	6,1%
2005	9.604.695	5,2%

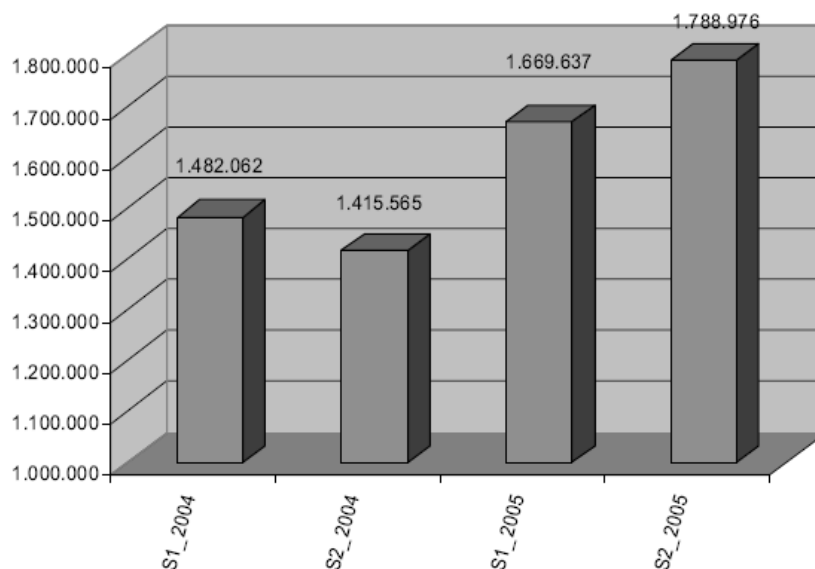
Figuur 29: aantal SIM-kaarten in België



Figuur 30: mobilofonie: dichtheid per 100 inwoners in de landen van de EU (okt. 2005)



Figuur 31: Aantal actieve GSM-abonnees en penetratiegraad in België

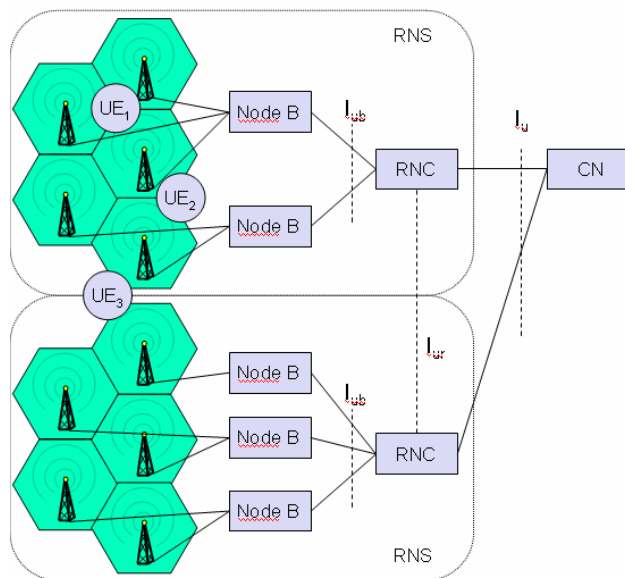


*Figuur 32: evolutie van aantal verzonden SMS'jes in België (in duizendtallen)*

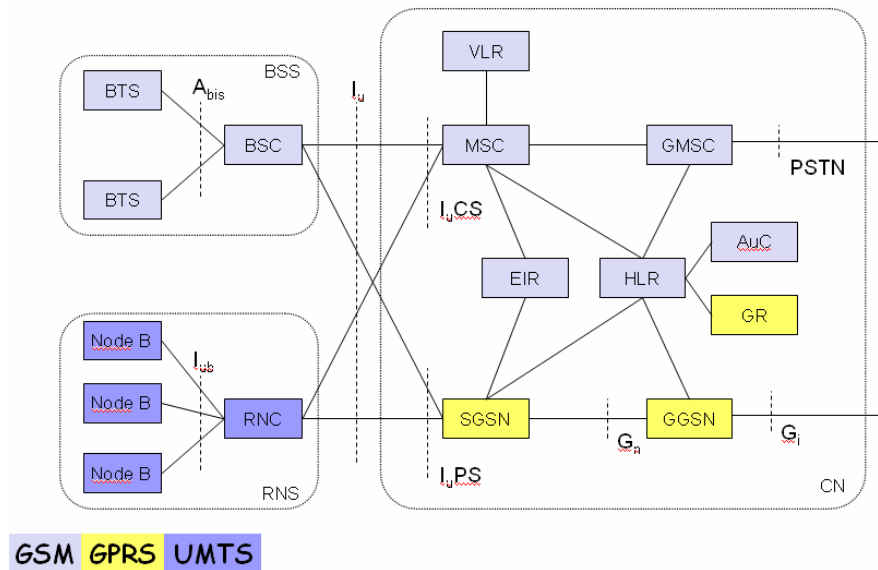
## 8.2 Appendix: UMTS-details

### 8.2.1 Gedetailleerde beschrijving van UMTS-aspecten

De infrastructuur voor UMTS is niet dezelfde als voor GSM-netwerken, o.a. omdat andere frequentiebanden gebruikt moeten worden en dus een radionetwerk opgebouwd moet worden. Een deel van de GSM/GPRS basisinfrastructuur kan wel na upgrade herbruikt worden (Figuur 33 - Figuur 35).



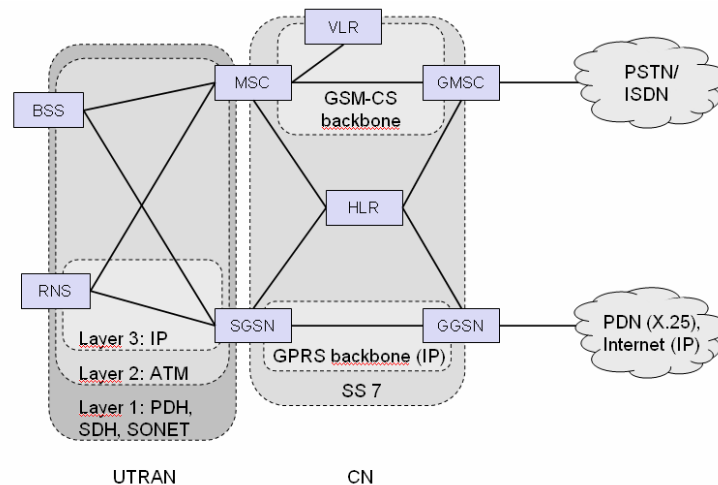
*Figuur 33: UTRAN radio-interface (UMTS Terrestrial Radio Access Network)*



*Figuur 34: het volledige UMTS-systeem*

In Figuur 34 worden volgende afkortingen gebruikt:

- UE: User Equipment
- RNC: Radio Network Controller
- RNS: Radio Network Subsystem
- CN: Core Network



*Figuur 35: protocollen in het core-netwerk bij UMTS*

Een overzicht van enkele technische UMTS-gegevens:

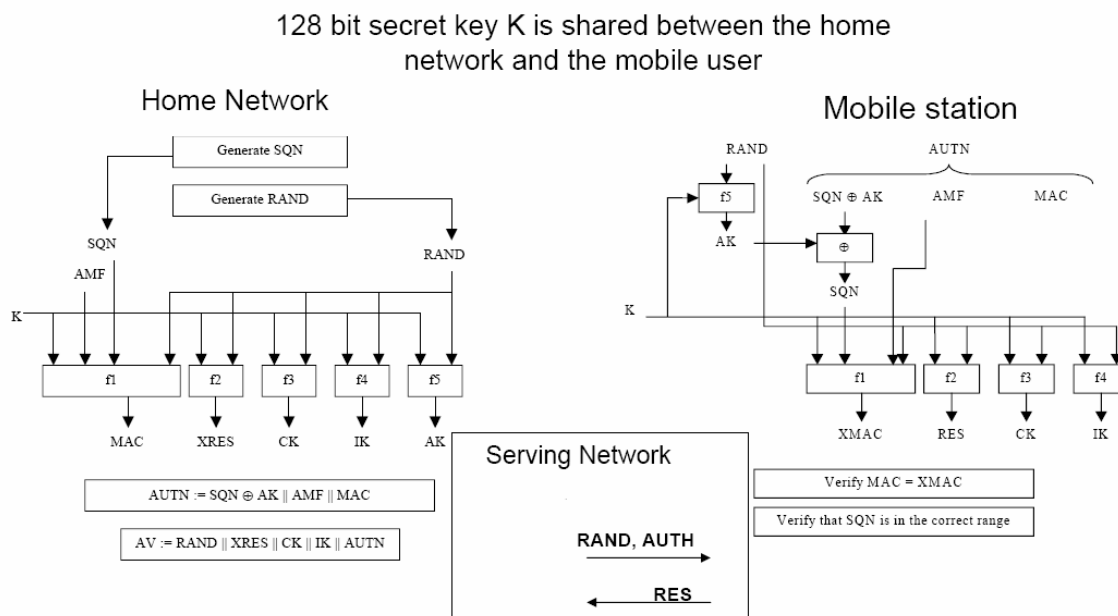
- Media Access methode: Wideband CDMA (W-CDMA)
- Gebruikte frequenties:
  - 1.900 MHz – 1.920 MHz (TDD)
  - 1.920 MHz – 1.980 MHz (FDD-Uplink)
  - 2.010 MHz – 2.025 MHz (TDD)
  - 2.110 MHz – 2.170 MHz (FDD-Downlink)
- maximaal zendvermogen van het mobiele station: 0.125–0.25 W (cfr. GSM: 1–2 W)

UMTS mobiele stations (MS) kunnen werken in een van drie mogelijke werkingsmodes:

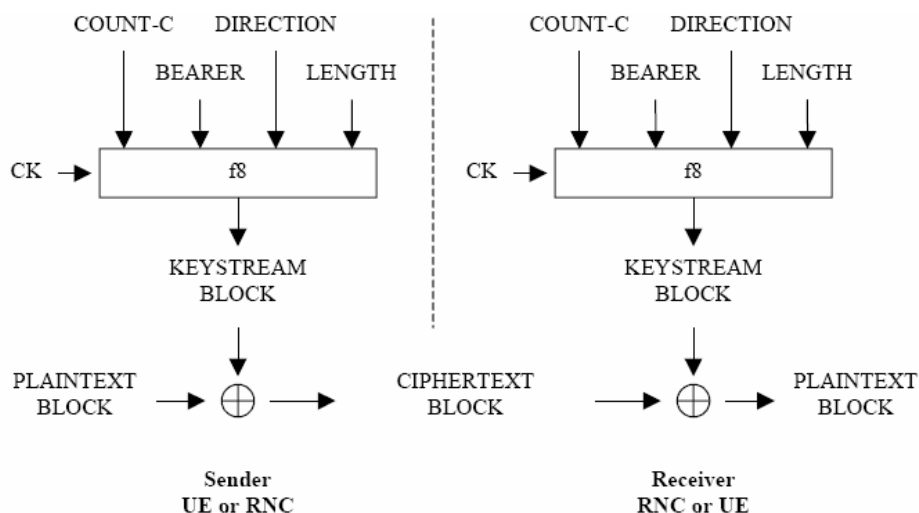
- PS/CS: Het MS is verbonden met zowel het pakketgeschakelde (PS) domein als het circuitgeschakelde (CS) domein van de UMTS-architectuur (Figuur 34), en is in staat om tegelijkertijd PS en CS-diensten uit te voeren.
- PS: Het MS is verbonden met enkel het PS-domein en kan enkel PS-diensten vervullen. Dit verhindert niet dat CS-achtige diensten zoals VoIP (Voice over IP) aangeboden worden over het PS-domein.
- CS: Het MS is verbonden met enkel met CS-domein en kan enkel CS-diensten vervullen.

### 8.2.2 Informatiebeveiliging bij UMTS

De bedoeling van UMTS is de beveiligingseigenschappen van GSM die nuttig/noodzakelijk gebleken zijn over te nemen of te verbeteren en de beveiligingsproblemen van GSM op te lossen. Zo wordt er een wederzijdse authenticatie gerealiseerd worden, is data-integriteit gewaarborgd tussen mobiel station en RNC en dringt de encryptie dieper in het netwerk (tot RNC in plaats van tot BTS). Fraude tijdens roaming kan gedetecteerd worden en network-to-network beveiliging wordt gerealiseerd met IPsec. Bovendien is flexibiliteit een sleutelwoord bij UMTS waardoor toegelaten wordt om beveiligingsupgrades te doen als de toekomst dit vereist. Het authenticatiealgoritme is gebaseerd op een challenge-response net zoals bij GSM. Men maakt gebruik van een 128 bit geheime sleutel die gedeeld wordt door het mobiele station en de RNC. Het algoritme gebruikt ook tijdsstempels (SQN) en verschillende, openbaar gemaakte, authenticatiefuncties ( $f_1$ - $f_5$ ). Voor de encryptie wordt de vercijferingssleutel CK die afgesproken werd tijdens de authenticatie, gebruikt. De functie  $f_8$  is het Kazumi-algoritme. Kazumi is ontworpen door ETSI/SAGE, en is gebaseerd op het blokcijfer MISTY van Mitsubishi.  $f_8$  is het Kazumi-algoritme voor encryptie. De versie  $f_9$  van Kazumi kan gebruikt worden in plaats van  $f_8$  voor data-integriteit. Dan moet ook de integriteitssleutel IK gebruikt worden in plaats van CK. Kazumi is gereviewed door drie onafhankelijke teams van experts en de resultaten waren unaniem positief. Het algoritme is gepubliceerd op de website van ETSI/3GPP.



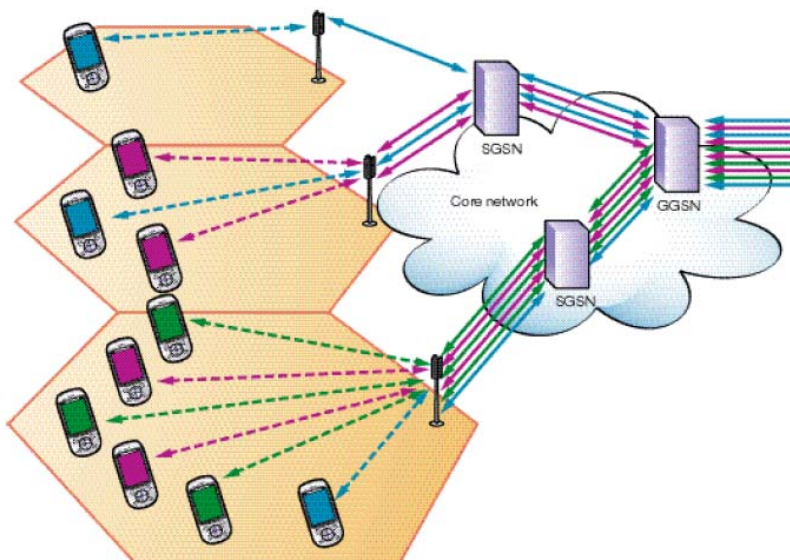
Figuur 36: UMTS authenticatie



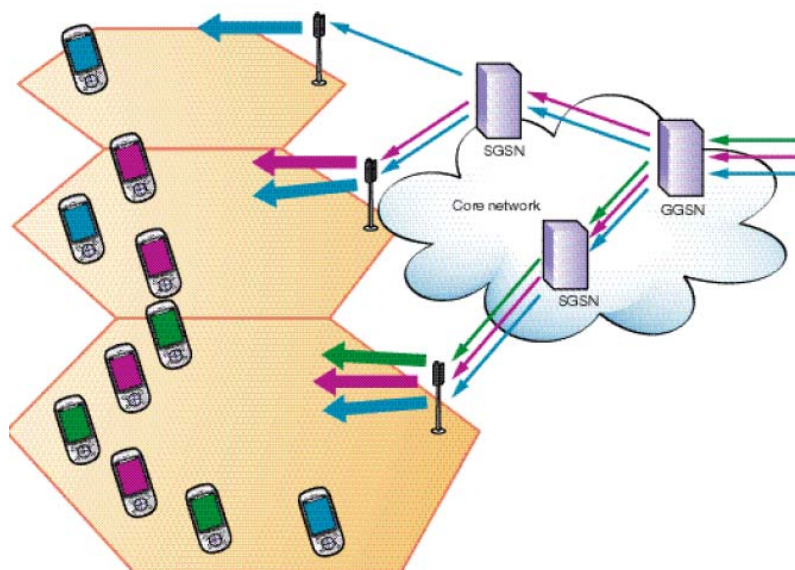
*Figuur 37: UMTS encryptie*

### 8.2.3 Multicasting, broadcasting en MBMS

UMTS voorziet, naast de Cell Broadcast Service die overgenomen wordt uit het GSM-systeem, in een IP-multicast dienst die toelaat dat mobiele gebruikers IP multicast pakketjes ontvangen over punt-tot-punt verbindingen. Deze dienst laat echter niet toe dat in het radio- of kernnetwerk van UMTS capaciteit gespaard wordt omdat gebruik gemaakt wordt van punt-tot-punt connecties. Veronderstel dat er drie kanalen (rood, blauw en groen) door tien gebruikers ontvangen worden zoals in Figuur 38, dan moet de GGSN- en SGSN-server capaciteit voor tien verbindingen aankunnen, terwijl capaciteit voor slechts drie verbindingen noodzakelijk is. Gebruik maken van punt-tot-punt-verbindingen (=unicasting) spaart dus geen capaciteit. Het is veel voordeliger om gebruik te maken van multicasting en een protocol dat capaciteit spaart zoals in Figuur 39.

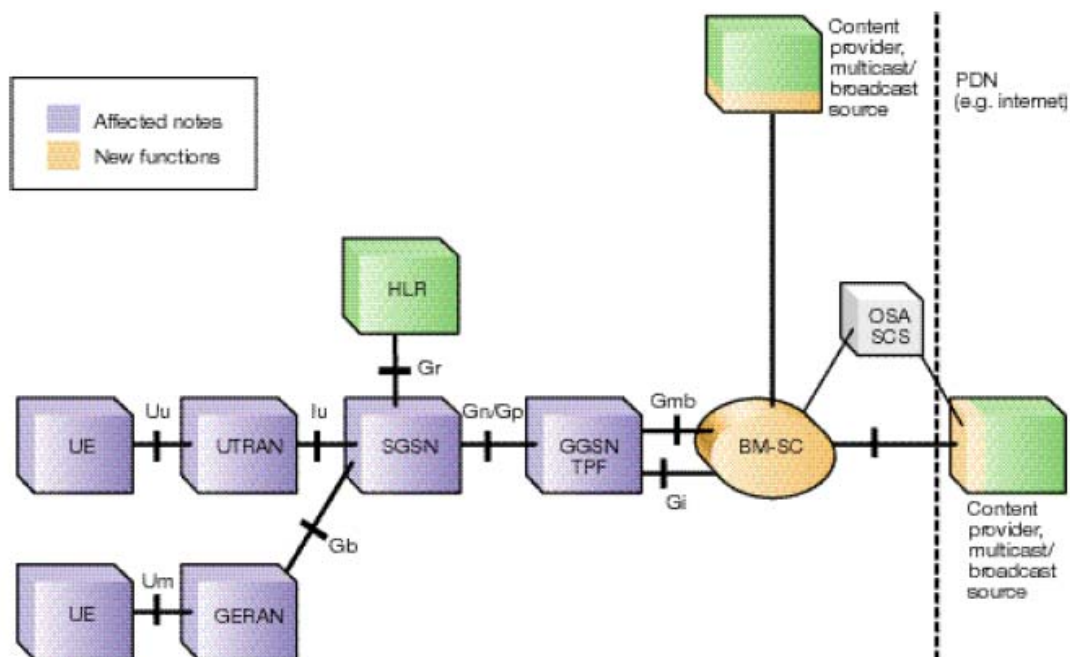


*Figuur 38: unicast*



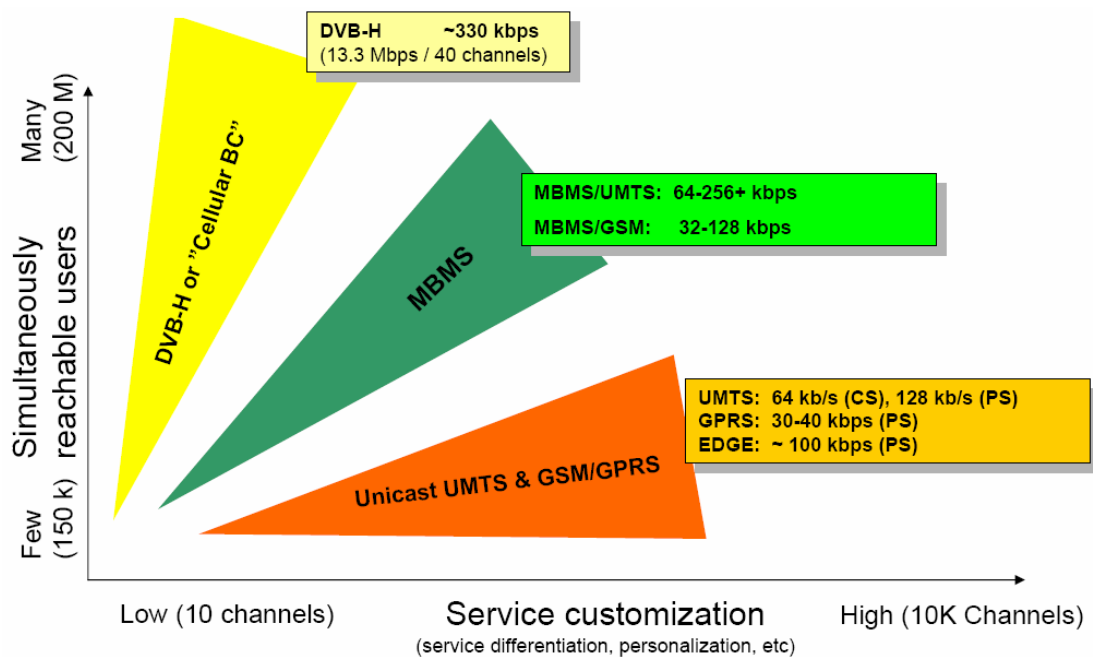
*Figuur 39: multicasting*

MBMS [83] is een protocol dat deze capaciteitsuitsparring voor multicasting en broadcasting toelaat. Het is gestandaardiseerd door 3GPP (Third Generation Partnership Project). Het brengt maar enkele wijzigingen aan in de hardware-infrastructuur van de derde generatie (UTRAN = UMTS Terrestrial Radio Access Network, GERAN = GSM/EDGE Radio Access Network). Figuur 40 geeft aan welke knopen van het 3G-netwerk door MBMS worden beïnvloed. Het geeft ook de nieuwe component BM-SC (Broadcast/Multicast Service Center) weer. Deze component is het toegangspunt voor de diensten die MBMS willen gebruiken (bijvoorbeeld een server die met het Internet verbonden is en die informatie naar meerdere gebruikers wil multicasten). De BM-SC initieert en onderhoudt ook de MBMS-transportprotocols om verbindingen te maken met het kernnetwerk. De BM-SC verschaft eveneens de dienstberichten voor de MBMS-dienst en wordt gebruikt om facturatie-informatie te genereren.



*Figuur 40: 3G-knooppunten die beïnvloed worden door MBMS*

Figuur 41 toont de mogelijkheden van MBMS. Datasnelheden tot 256 kbps en meer zijn mogelijk als MBMS gebruikt wordt in het UMTS-netwerk. MBMS is een dienst die op gebied van aantal gebruikers en ‘customization’ tussen unicasting en DVB-H in ligt. DVB-H staat voor Digital Video Broadcast – Handheld. Het is een broadcasting-dienst die geschikt is voor mobiele handheld-terminals, daar waar DVB enkel geschikt is voor vaste, niet-mobiele, grote terminals. Kleine, handheld, terminals zijn aan veel meer beperkingen onderworpen: ze hebben kleine antennes en displays nodig, ze mogen maar een beperkt vermogen verbruiken en hebben slechts beperkte rekenkracht. DVB-H verschaft hier een oplossing. Er zijn echter nog een aantal problemen verbonden aan het operationeel maken van DVB-H: de kosten geassocieerd met het uitbouwen van een netwerk dat dekking biedt die vergelijkbaar is met die van GSM-netwerken. Bovendien is in vele landen het volledig beschikbare DVB-H-spectrum al ingenomen door analoge of digitale tv-diensten. Als dit spectrum nog vrij is, is er vaak de beperking dat dit alleen voor tv-diensten mag gebruikt worden<sup>13</sup> en dus niet voor andere IP datacast diensten.



Figuur 41: mogelijkheden van MBMS

### 8.3 Appendix: TETRA-details

Tetra kan in 2 modes werken: mode 1 (V+D-mode) en mode 2 (DMO-mode).

De V+D-mode van TETRA is een circuitgeschakelde communicatietechniek voor spraak en dataverkeer. Het verkeer loopt via een basisstation. Het wordt ook wel de Trunked mode van TETRA genoemd. De radiofrequenties worden dan automatisch toegewezen volgens de noden van het ogenblik. De gebruiker hoeft zich niet meer over de frequenties te bekommeren en kan zich volledig op zijn taak concentreren. Met trunking kan de capaciteit van een bepaalde frequentieband efficiënter worden benut. De duplex techniek is TDMA (uplink en downlink 2 tijdslots gescheiden) en FDMA (uplink en downlink 10 of 45 MHz van elkaar gescheiden). De basisdatarate van 7.2 kbps is mogelijk voor onbeschermd data. Met kanaalcoderings-

<sup>13</sup> DVB-H is nog in de testfase, het wordt uitgetest in Vlaanderen (IBBT-project Maduf: samenwerking van Belgacom, Proximus, Siemens, Option, VRT, Telenet, Scientific Atlanta), Finland, Duitsland en de Verenigde Staten (Pittsburg).



technieken bedraagt de netto rate 4.8 kbps of voor de 'high protected data' 2.4 kbps. Door combinaties van TDMA-slots zijn de hogere datarates 9.6, 19.2, 28.8 kbps mogelijk. Multiple access wordt gerealiseerd door Slotted ALOHA met prioriteitsklassen (A, B, C, D). De tijd om een oproep op te zetten is in het beste geval 230 ms.

DMO staat voor Direct Mode Operation. Deze verloopt tussen twee mobiele stations en er is geen basisstation nodig. De communicatie is circuitgeschakeld en kan met of zonder aanwezigheidscontrole gebeuren. Bemerkt dat de communicatie simplex is, dus in slechts 1 richting kan lopen. Dit verschilt van de half-duplex en full-duplex mode die communicatie in twee richtingen toelaten (die bij half-duplex niet tegelijkertijd kan gebeuren en bij full-duplex wel). De V+D-mode laat full-duplex werking wel toe. DMO-operatie laat ook 'short messages' toe, te vergelijken met een SMS bij het GSM-systeem. De tijd om een verbinding op te zetten is zeer kort (maximaal 150 ms) (te vergelijken met 2-10 s bij GSM). De bereikbaarheid is kleiner dan bij de V+D-mode en bedraagt 400-2000 m.

Een TETRA- station komt in vier klassen voor: 30 W, 10 W, 3 W en 1 W. Toestellen van de laatste twee klassen zijn handheld.

TETRA-netwerken zijn volledig onafhankelijk maar kunnen ook verbonden worden via een ISI (Inter-System Interface) met andere TETRA-netten of andere communicatienetten.

PMR-systemen gebruiken de volgende frequenties:

- Openbare veiligheidsdiensten in Europa: 380-390 MHz + 390-400 MHz
- Voor commercieel gebruik: 410-420 MHz + 420-430 MHz
- ETSI raadt aan twee banden voor digitale trunked radio te reserveren voor commercieel gebruik. In België is dit voor de eerste band (450-460 MHz + 460-470 MHz) gebeurd, en nog niet voor de tweede band (870-888 MHz + 915-933 MHz).

Ten slotte nog een woordje over de architectuur van het TETRA-systeem. De standaarden specificeren enkel de functionaliteit van de interfaces met het uitwendige en niet de interne interfaces. Ze specificeren ook geen systeemcomponenten (zoals HLR, VLR, ... bij GSM). Dit neemt niet weg dat TETRA-systemen dikwijls uitgebouwd worden gelijkend op GSM-systemen, zoals in Tabel 17 wordt aangetoond.

TETRA	GSM
Home DataBase (HDB)	Home Location Register (HLR)
Visitor DataBase (VDB)	Visitor Location Register (VLR)
Short Data Service (SDS)	Short Message Service (SMS)
Migration	Roaming
Roaming	Change of Location Area
Switching and Management Infrastructure (SwMI)	Land Mobile Network (LMN)
Cell Selection (reselection)	Handover (= Handoff)

Tabel 17: vergelijking systeemarchitectuur TETRA en GSM

#### 8.4 Appendix: WiMAX-details

De WiMAX IEEE 802.16a-standaard heeft een bereik tot 50 km en een maximale datatransmissiesnelheid tot 100 Mbps. Tot nu toe is deze technologie enkel als vast netwerkpunt op te zetten, bijvoorbeeld om huizen op het platteland van breedbandinternet te voorzien. Daarnaast is er een meer mobiele variant, de IEEE 802.16e, die ook voor roaming

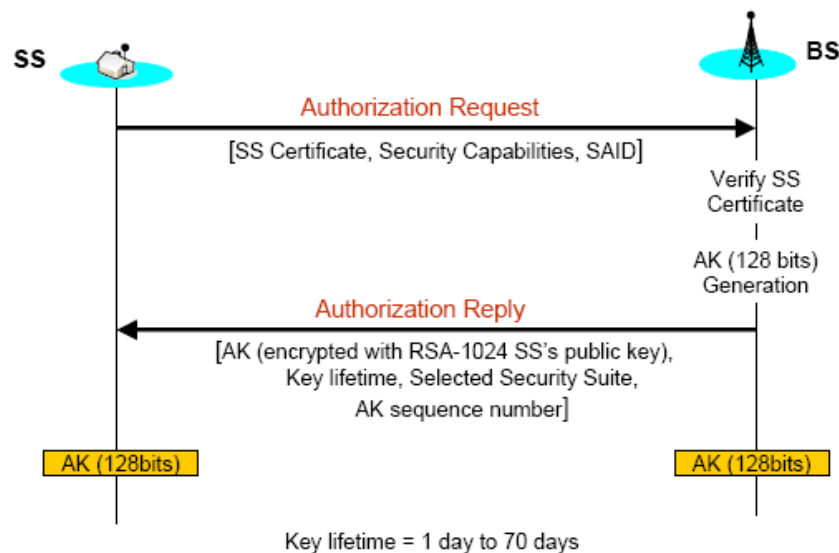


geschikt is. Roaming geeft de mobiele gebruiker van een breedbandinternetverbinding de mogelijkheid om tijdens de reis te wisselen van netwerkaanbieder zonder dat daarbij de verbinding verloren gaat. De toegang tot het gedeelde medium wordt bij IEEE 802.16e gerealiseerd door OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access). Het is gelijkaardig aan de modulatiemethode OFDM en deelt de draaggolven op in subdraaggolven. Het gaat echter een stap verder door de subdraaggolven te groeperen in subkanalen. Een bepaald station kan dan zenden met alle subkanalen of meerdere gebruikers kunnen zenden met elk een deel van het totaal aantal subkanalen. De bandbreedte kan dan variëren tussen 1.5 MHz en 20 MHz (20 MHz is de vaste bandbreedte van WiFi). Een vergelijking tussen WiFi en WiMAX staat in Figuur 42.

	802.11 WiFi	802.16a	802.16e
<b>Bereik</b>	Hotspot met bereik tot 100 m. Optimaal voor indoor en korte afstand.	Tot 50 km (typisch tussen 7 à 10 km). Outdoor met een betere penetratie door obstakels op langere afstand.	2 tot 5 km.
<b>Schaalbaarheid</b>	Wordt gebruikt voor LAN-netwerken met één tot enkele tientallen gebruikers.	Ontworpen voor één tot enkele honderden gebruikers.	Ontworpen voor één tot enkele honderden gebruikers.
<b>Mobiliteit</b>	Hot spot.	Vast, draagbaar.	Nomadische gebruiker, roaming is mogelijk.
<b>Snelheid</b>	Piek mogelijk van 54 Mbps in een 20 MHz bandbreedte.	Piek mogelijk van 100 Mbps in een 20 MHz bandbreedte.	Tot 5 Mbps in 15 MHz bandbreedte.

Figuur 42: vergelijking tussen WiFi en WiMAX

Een woordje uitleg over de informatiebeveiliging bij WiMAX: IEEE 802.16 vereist dat de authenticatie gebeurt volgens het schema van Figuur 43.

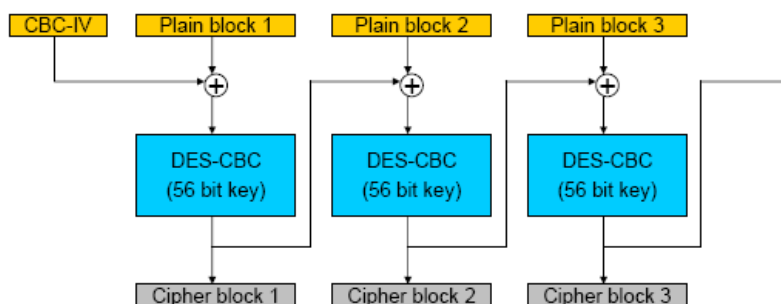


Figuur 43: authenticatie bij WiMAX

Een Subscriber Station (SS) stuurt een X.509-certificaat door naar het Base Station (BS). Dit certificaat bevestigt dat SS is wie het beweert te zijn. SS en BS onderhandelen over de gewenste Security Association (SA), d.i. het gewenste niveau van bescherming: gewenste encryptie-algoritme en beveiligingsinformatie (sleutel, Initial Values). Een SA wordt gekenmerkt door een SAID (SA Identification Number). Nadat het Basisstation SS

geauthentiseerd heeft, genereert het een 128 bit authenticatiesleutel, die met de publieke sleutel van SS wordt geëncrypteerd met RSA-1024 en die naar SS wordt gezonden. Bemerkt dat BS niet geauthentiseerd wordt aan SS. De standaard 802.16e laat toe om andere authenticatie-algoritmes te implementeren werd door gebruik te maken van EAP-gebaseerde authenticatie (Extensible Authentication Protocol).

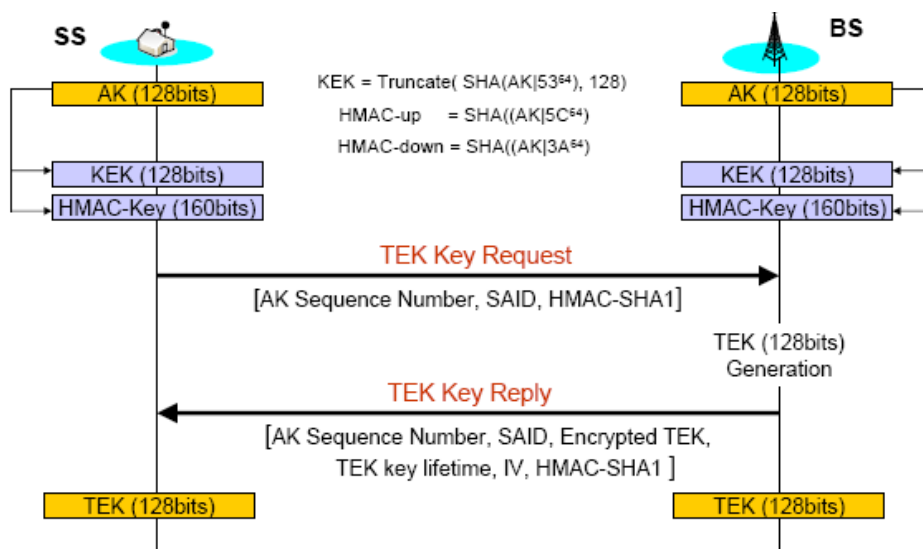
De encryptie van data gebeurt met een Transport Encryption Key (TEK, 56 bits), die random gegenereerd wordt door het BS. Het encryptie-algoritme is Triple-DES (Data Encryption Standard) in CBC-mode (Cypher Block Chaining) (Figuur 44).



Figuur 44: data-encryptie bij WiMAX

Blijft nog het probleem van het oversturen van de dataencryptiesleutel TEK naar SS. TEK wordt geëncrypteerd door Triple-DES (met 112 bit Key Encryption Key KEK) of AES (Advanced Encryption Standard) (met 128 bit KEK) of RSA (encryptie met publieke sleutel van SS).

Het key exchange bericht wordt geauthentiseerd door een SHA-1 HMAC (keyed-hash message authentication code). De HMAC-sleutel en de KEK wordt afgeleid aan de hand van de authenticatiesleutel AK. Het volledige Key Exchange proces is getoond in Figuur 45.



Figuur 45: sleuteluitwisseling bij WiMAX

Hoewel AES vrij veilig is, is Triple-DES dit niet meer. Toekomstige standaarden voor WiMAX zullen dit waarschijnlijk oplossen door enkel AES toe te laten. Ze moeten ook mutuele authenticatie opleggen en EAP-authenticatie, zonet is WiMAX niet waterdicht.

**8.5 Appendix: parameters voor de kostprijsberekening**

<b>algemene parameters</b>		
aantal aansluitingen	3.000.000	
tijdshorizon	15	jaar
datahoeveelheid	426.000	bytes, =13 x 32KiB
<b>PLC</b>		
PLC-modem	20,00 €	
PLC-concentrator	2.000,00 €	
1 PLC-concentrator per	500	
operationele kost per meter per jaar	5,00 €	
<b>smalbandtelefonie</b>		
telefoonmodem	15,00 €	
aansluiting meter - telefoon	5,00 €	
call server	2.500,00 €	
1 call server per	75.000	
telefoonabonnement	15,00 €	
prijs/min	0,05 €	
telefoonbandbreedte	50.000	bps
<b>specifieke breedbandverbinding</b>		
breedbandmodem	20,00 €	
aansluiting meter - kabel	5,00 €	
dataserver	2.500,00 €	
1 data server per	500	
breedbandabonnement	50,00 €	
<b>bestaande breedbandverbinding</b>		
aansluiting meter - IP	10,00 €	
meerverbruik	5,00 €	
<b>GSM</b>		
GSM-modem	20,00 €	
call server	2.500,00 €	
1 call server per	75.000	
GSM-abonnement	20,00 €	
prijs/min	0,10 €	
GSM-bandbreedte	10.000	bps

<b>GPRS</b>		
GPRS-modem	20,00 €	
dataserver	2.500,00 €	
1 dataserver per	75.000	
GPRS-abonnement	20,00 €	
prijs/MiB	0,25 €	
<b>UMTS, PMR, WiMAX</b>		
UMTS-modem	40,00 €	
dataserver	2.500,00 €	
1 dataserver per	75.000	
UMTS-abonnement	25,00 €	
prijs/MiB	0,20 €	
<b>RF</b>		
RF-modem	20,00 €	
dataconcentrator	2.500,00 €	
1 call server per	500	
operationele kost per meter per jaar	5,00 €	

## 9 Referenties

- [1] VREG, "Prijsaanvraag BE/VREG/0019: Studie communicatiemiddelen voor slimme meters," Vlaamse reguleringsinstantie voor de elektriciteits- en gasmarkt, 2006, p. 13.
- [2] Nederlands Normalisatie-instituut, "NTA 8130: Basisfuncties voor de meetinrichting voor elektriciteit, gas en thermische energie voor kleinverbruikers," Jan. 2007.
- [3] H. Zimmermann, "OSI Reference Model - The ISO Model of Architecture for Open Systems Interconnection," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 28, iss. 4, pp. 425 - 432, Apr. 1980.
- [4] International Standards Organisation / International Electrotechnical Commission, "ISO/IEC 7498-1: Information technology -- Open Systems Interconnection -- Basic Reference Model," 1994.
- [5] International Electrotechnical Commission, "IEC 62056 Electricity metering - Data exchange for meter reading, tariff and load control," 1999-2006.
- [6] Belgisch Instituut voor Normalisatie, "NBN EN 13757-X: Communicatiesystemen voor meters en het op afstand lezen van meters," 2003-2005.
- [7] W3C, "Extensible Markup Language (XML)," [www.w3.org/xml](http://www.w3.org/xml)
- [8] P. Demeester, "Belgische Francquileerstoel 2006: Broadband communication," K.U.Leuven, 2006.
- [9] Belgisch Instituut voor Normalisatie, "NBN EN 50160: Spanningskarakteristieken in openbare elektriciteitsnetten (+ corrigendum)," 1999.
- [10] International Electrotechnical Commission, "IEC 60027-2, Ed. 3.0, Letter symbols to be used in electrical technology – Part 2: Telecommunications and electronics," 2005.
- [11] "Koninklijk besluit 3 december 2006, betreffende de beveiliging van de opslag, de verwerking en de verzending van elektronische gegevens van meetwerktuigen," Belgisch Staatsblad 14 december 2006.
- [12] K. Gielis, "(Persoonlijke communicatie) Globale aantal EAN's en het aantal huishoudelijke EAN's per netbeheerder," 2007.
- [13] CTM, "Inrichting metermarkt kleinverbruik en uitrol slimme meters, Finaal Business document CTM," B'con, Oct. 2006.
- [14] K. Dostert, *Powerline communications*: Prentice Hall, 2001.
- [15] N. Pavlidou, A. J. Han Vinck, J. Yazdani, and B. Honary, "Power Line Communications: State of the Art and Future Trends," *IEEE Communications Magazine*, vol. 41, iss. 4, pp. 34-40, 2003.
- [16] B. Bolsens, J. V. d. Keybus, E. Lemaire, J. Driesen, and R. Belmans, "The power line as a telecommunication channel for metering applications: a case study," in *DistribuTech 2001*, Berlin, Germany, 2001, p. 14.
- [17] G. Hooijen and H. Vinck, "On the Channel Capacity of a European-style Residential Power Circuit," in *Proc. 1998 Int. Symp. on Power Line Communication (ISPLCA'98)*, April 1998, pp. 229-237.
- [18] Quadlogic, [www.quadlogic.com/technology.html](http://www.quadlogic.com/technology.html)
- [19] CENELEC, "EN 50065-1:2001 Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz -- Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic disturbances," 2001.
- [20] "OPERA, Open PLC European Research Alliance," <http://www.ist-opera.org/>
- [21] A. Majumder and J. Caffery Jr, "Power line communications," *IEEE Potentials*, vol. 23, iss. 4, pp. 4-8, 2004.

- [22] D. Sabolic, "Influence of the transmission medium quality on the automatic meter reading system capacity," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 18, iss. 3, pp. 725-728, 2003.
- [23] S. Mak and D. Radford, "Design considerations for implementation of large scale automatic meter reading systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 10, iss. 1, pp. 97-103, 1995.
- [24] W. Levesque, "Did rules of thumb ever apply in AMR system selection?," *Metering International*, iss. 3, pp. 42-43, 2006.
- [25] G. Owen and J. Ward, "Smart meters: Commercial, Policy and Regulatory Drivers," Sustainability First, March 2006, p. 54+36.
- [26] "Echelon," <http://www.echelon.com>
- [27] A. Dijkstra, E. M. A. Leussink, and P. J. S. Siderius, "Advies Invoering slimme meetinfrastructuur bij kleinverbruikers (FAS nr. 1-2893)," SenterNovem, Oct. 2005, p. 33.
- [28] "Statbel," [http://statbel.fgov.be/figures/d75\\_nl.asp#1](http://statbel.fgov.be/figures/d75_nl.asp#1)
- [29] "XS4all," <http://www.xs4all.nl/~bluecomm/telecom/tw1%20advanced.html>
- [30] "TWAcomm," <http://www.twacomm.com/assets/pdf/2848.pdf>
- [31] XS4all, <http://www.xs4all.nl/~bluecomm/telecom/tw1%20advanced.html>
- [32] "Frontier Solutions," <http://www.frontiersolutions.com.au/product.php?productid=48&cat=271&bestseller=Y>
- [33] "Belgacom," [www.belgacom.be](http://www.belgacom.be)
- [34] Tele2, [www.tele2.be](http://www.tele2.be)
- [35] D. V. Aken and S. Peckelbeen, "Encapsulation Overhead in ADSL Access Networks," Jun. 2003.
- [36] ANSI, "ANSI T1.413-1998 Issue 2: Asymmetric digital subscriber line," 1998.
- [37] International Telecommunication Union, "ITU G992.x: Asymmetric Digital Subscriber Line," 1999-2005.
- [38] "ADSL," <http://users.telenet.be/lettens2/bestanden/ADSL.pdf>
- [39] "Protocols," <http://www.protocols.com/pbook/vodsl.htm>
- [40] "Versatel," <http://www.be.versatel.com/>
- [41] "Scarlet," [www.scarlet.be](http://www.scarlet.be)
- [42] "Mobistar," [www.mobistar.be](http://www.mobistar.be)
- [43] D. Fellows and D. Jones, "Topics in Broadband Access, DOCSIS Cable Modem Technology," *IEEE Communications Magazine*, Mar. 2001.
- [44] "Telenet," [www.telenet.be](http://www.telenet.be)
- [45] European Telecommunications Standards Institute, "ETSI EN 300 910: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); Radio transmission and reception," 2000.
- [46] "Proximus," [www.proximus.be](http://www.proximus.be)
- [47] "Base," [www.base.be](http://www.base.be)
- [48] European Telecommunications Standards Institute, "ETSI EN 301 113: Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) (GSM); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 1," 1999.
- [49] European Telecommunications Standards Institute, "ETSI EG 201 721: Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)," 2000.
- [50] M. Sauter, *Communication Systems for the Mobile Information Society*: John Wiley, September 2006.
- [51] Andreas Timm-Giel, "UMTS/GPRS performance measurements and evaluation," in *ITG FG521- Workshop TU Hamburg-Harburg*, Feb. 2004.

- [52] P. Boait, "Controlling embedded generators using SMS," *IEE Power Engineer*, vol. 17, iss. 2, pp. 31-33, 2003.
- [53] R. Sauter, J. Watson, and L. Hughes, "Metering, communicatie and control technologies for micro-generation," SPRU - Science & Technology Policy Research Unit, University of Sussex, 2005, p. 20.
- [54] BIPT, "Frequentieplan," <http://www.bipt.be/nl/217/ShowContent/1057/Tabel/Plan.aspx>
- [55] S. Mockford, "Remote control of 11kv rural distribution systems in eastern electricity," in *IEE Colloquium on Remote Control and Automation on 11 kV Networks Beyond the Primary Substation*, 1999, pp. 7/1-7/5.
- [56] "A DNP3 Primer," <http://www.dnp.org/About/DNP3%20Primer%20Rev%20A.pdf>
- [57] CIRED, "Distribution utility telecommunication interfaces, protocols and architectures, Final Report of the CIRED Working Group WG06," 2003, p. 89.
- [58] "Plextek," [www.plextek.co.uk](http://www.plextek.co.uk)
- [59] J. Dunlop, D. Girma, and J. Irvine, *Digital Mobile Communications and the TETRA System*: Wiley, 1999.
- [60] "A.S.T.R.I.D.," [www.astrid.be](http://www.astrid.be)
- [61] "Mobitex," <http://ram.nl/mobitex>
- [62] "Entropia," [www.entropia.be](http://www.entropia.be)
- [63] "Clearwire," [www.clearwire.be](http://www.clearwire.be)
- [64] "M-bus," [www.m-bus.com](http://www.m-bus.com)
- [65] E. L. Huijzer, "Infostroom - Automatic reading of the residential gas meter," in *23 World Gas Conference Amsterdam*, 2006.
- [66] J. Newbury and W. Miller, "Multiprotocol routing for automatic remote meter reading using power line carrier systems," *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 16, iss. 1, pp. 1-5, 2001.
- [67] "Landis Gyr," <http://landisgyr.net/en/pub/home.cfm>
- [68] "Telvent," [www.telvent.com](http://www.telvent.com)
- [69] "Goerlitz," [www.goerlitz.com](http://www.goerlitz.com)
- [70] "Itron," [www.itron.com](http://www.itron.com)
- [71] "Ampy metering," [www.ampymetering.com](http://www.ampymetering.com)
- [72] "Kamstrup," [www.kamstrup.com](http://www.kamstrup.com)
- [73] "Xemex," [www.xemex.be](http://www.xemex.be)
- [74] H. V. d. Haegen, "Persoonlijke e-mailcommunicatie: Functionaliteit CrediTalk," Nov. 2006.
- [75] "Cyplex," [www.cyplex.com.au](http://www.cyplex.com.au)
- [76] "Enermet," [www.enermet.com](http://www.enermet.com)
- [77] "Iskraemeco," [www.iskraemeco.si](http://www.iskraemeco.si)
- [78] Energywatch, "Get Smart: Bringing meters into the 21st century," Aug. 2005, p. 16.
- [79] "Continuon," [www.continuon.nl](http://www.continuon.nl)
- [80] M. Olij, "Slimme meters: Toepassingen en financiële consequentie," in *VNE seminarie Slimme Meters Amsterdam*, Apr. 2006.
- [81] I. Graabak, O. S. Grande, J. Ikaheimo, and S. Karkkainen, "Establishment of automatic meter reading and load management, experiences and cost/benefit," in *Int. Conf. Power System Technology (PowerCon 2004)*, 2004, pp. 1333-1338.
- [82] R. van Gerwen, S. Jaarsma, and K. Rob Wilhite, "Smart Metering," Leonardo-energy.org, Jul. 2006, p. 9.
- [83] M. Bakhuizen and U. Horn, "Mobile broadcast/multicast in mobile networks," White paper Ericsson, Jan. 2005, p. 8.