



Bilag A: Teknisk bilag til produkt-markedsafgrænsning

Gennemgang af tilgængelige teknologier på det danske bredbåndsmarked

Juli 2024

Indholdsfortegnelse

1	INFRASTRUKTURER TIL LEVERING AF BREDBÅND	1
1.1	ACCESSNET	1
1.2	KOBBERNET	1
1.3	COAX-NET	2
1.4	FIBERNET	4
1.5	TRÅDLØSE FORBINDELSER	5
1.6	FAST TRÅDLØS	6
1.7	MOBILT BREDBÅND	7

1 Infrastruktur til levering af bredbånd

Bredbåndsforbindelser udbydes i Danmark på en række teknologier henholdsvis; kobber, coax, fiber, fast trådløst og 5G mobilt bredbånd. De forskellige teknologier kan i varierende grad opfylde forbrugernes efterspørgsel efter bredbånd. I de følgende afsnit beskrives teknologiernes egenskaber.

1.1 Accessnet

Når de mulige bredbåndsteknologier skal sammenstilles med forbrugernes efterspørgsel efter bredbånd, er det relevant at skelne mellem accesnettet og den mere centrale infrastruktur, der betegnes som transportnettet eller backbonenettet (herefter backbonenettet).

Accesnettet er den del af nettet, der er tættest på detailkunderne, mens backbonenettet, lidt forsimplet sagt, samler trafikken op fra de mange accesnet og giver detailkunderne mulighed for at tilgå internettet via deres bredbåndsforbindelse. Backbonenettet er baseret på fiber og er identisk uanset hvilken type accesnet, der er tale om.

Det er således i accesnettet, at de forskellige bredbåndsteknologier adskiller sig fra hinanden. Egenskaber og dermed muligheder og begrænsninger varierer alt efter, hvilken accessteknologi der er tale om. En vigtig forskel mellem de forskellige bredbåndsteknologier er de hastigheder og den kvalitet, der er mulighed for at levere over accesforbindelsen.

1.2 Kobbernet

Kobbernettet er kendetegnet ved, at jo kortere kobberstrækningen er fra detailkunden til centralen (eller til et fremskudt indkoblingspunkt), desto højere båndbredde kan der leveres over kobberkablet.

Kobberet er opdelt i en lav- og højfrekvent transmissionsdel. Den lavfrekvente del kan anvendes til (traditionel) kredsløbskoblet taletelefoni, mens den højfrekvente del kan anvendes til datatransmission. Når kobberforbindelsen ud til detailkunden bestykses med det rette udstyr, kan den anvendes til at producere en bredbåndsforbindelse og dertil knyttede tjenester.

Kobbernettets båndbredde er historisk blevet forøget på forskellige måder. Det er blandt andet blevet gjort ved at mindske kobbertråddens længde, ved at flytte det tekniske udstyr tættere på detailkunden. Ligeledes er det blevet gjort ved at anvende VDSL sammen med forskellige teknologier – blandt andet pair bonding, vectoring og VPLUS.

I de fleste tilfælde er up- og downloadhastighederne på kobberforbindelser forskellige, og downloadhastighederne er væsentligt højere end uploadhastighederne. Eksempelvis understøtter en kobberforbindelse med en downloadhastighed på 200 Mbit/s typisk en uploadhastighed på 70 Mbit/s, mens en kobberforbindelse med downloadhastighed på 100 Mbit/s typisk understøtter en uploadhastighed på 24-35 Mbit/s.

Figur 1 herunder viser den aktuelle dækning med kobbernet fordelt på hastighed.

Figur 1: Fordelingen af mulige hastigheder på kobber i 2023

Downloadhastighed	2023 Antal husstande
Mindst 1000 Mbit/s	-
Mindst 500 Mbit/s, under 1000 Mbit/s	-
Mindst 250 Mbit/s, under 500 Mbit/s	-
Mindst 100 Mbit/s, under 250 Mbit/s	438.285
Mindst 50 Mbit/s, under 100 Mbit/s	524.427
Under 50 Mbit/s	1.697.041

Kilde: Erhvervsstyrelsens beregninger baseret på data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur.

Note: Hastighederne er de teknisk mulige hastigheder og ikke de udbudte hastigheder.

Kobbernettet dækker 86,4 pct. af husstandene i Danmark. Alene 16,5 pct. af kobberforbindelser kan levere over 100 Mbit/s downloadhastighed. Dermed er langt størstedelen af kobbernettet alene i stand til at levere hastigheder under 100 Mbit/s.

TDC har påbegyndt nedlukningen af kobbernettet, og forventer at være færdige inden udgangen af 2030. De første 10 centraler forventes lukket i løbet af januar 2025.¹

1.3 Coax-net

Coax-net er opbygget i en træstruktur, hvor samtlige forbindelser, der er tilsluttet samme "ø", deles om den tilgængelige kapacitet.

Coax-nettene blev oprindeligt bygget med coax-kabler, men som følge af fiberkabernes længere rækkevidde og højere kapacitet anvendes disse i stigende grad længere ude i nettet. Der findes derfor både coax-net, hvor hele accesnettet består af coax-kabler, hybridnet, hvor coax-kablerne i den centrale del af accesnettet er erstattet af fiber-kabler, samt coax-net, hvor der udelukkende anvendes fiber-kabler i accesnettet, men hvor det tekniske udstyr er DOCSIS-udstyr.

Alle typer af signaler (tv, bredbånd m.v.) transporteres i coax-nettet på forskellige kanaler i det tilgængelige frekvensspektrum. Det er coax-nettejereren, der afgør, hvor stor en del af frekvensspektrummet (antal kanaler) der allokeres til henholdsvis up- og downloadtrafik for bredbåndstjenester samt til tv-kanaler. Antallet af reserverede bredbåndskanaler bestemmer den samlede tilgængelige up- og downloadkapacitet i nettet. Der er dog tekniske begrænsninger for, hvilke dele af spektrum (antal kanaler), der kan anvendes til uploadkapacitet, og coax-nettene er derfor i dag typisk struktureret således, at de giver mulighed for betydeligt højere downloadhastigheder end uploadhastighederne og dermed asymmetriske hastigheder. Eksempelvis

¹ Kobber Nedlukning | Skift til Fremtidens Teknologier med Sikkerhed (tdc.dk)

understøtter en coax-baseret bredbåndsforbindelse med en downloadhastighed på 1 Gbit/s typisk en uploadhastighed på 500 Mbit/s.

I de seneste år har coax-nettet fået tilføjet opgraderinger, DOCSIS 3.1, der har betydet en forøget kapacitet i nettet, hvilket bevirker til en general øget hastighed. Ved DOCSIS 3.1 samt nye lanceringer af CPE/routere, vil det være muligt at kunne tilbyde downloadhastighederne, der overstiger 1 Gbit/s til detailmarkedet.

I figur 2 ses fordelingen af mulige hastigheder for coax-forbindelser. Af figuren fremgår det, at størstedelen af alle coax-forbindelser (84,2 pct.) har en mulig hastighed på mindst 1 Gbit/s i 2023, mens 8,9 pct. af forbindelserne har en tilgængelig hastighed i intervallet 250-500 Mbit/s.

Figur 2: Fordelingen af mulige hastigheder på coax i 2023

Downloadhastighed	2023 Antal husstande
Mindst 1000 Mbit/s	1.609.330
Mindst 500 Mbit/s, under 1000 Mbit/s	126.218
Mindst 250 Mbit/s, under 500 Mbit/s	170.873
Mindst 100 Mbit/s, under 250 Mbit/s	3.450
Mindst 50 Mbit/s, under 100 Mbit/s	-
Under 50 Mbit/s	362

Kilde: Erhvervsstyrelsens beregninger baseret på data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur.

Note: Hastighederne er de teknisk mulige hastigheder og ikke de udbudte hastigheder.

TDC har løbende foretaget opgraderinger i coax-nettet, og efter Erhvervsstyrelsens forståelse planlægger TDC stadig at opgradere i teknologien, i de områder hvor TDC ikke har egen fiberinfrastruktur tilgængelig, for at kunne efterleve den fremtidige efterspørgsel. I områder, hvor TDC også råder over egen fiberinfrastruktur, har TDC annonceret, at de fremadrettet kun vil fokusere på at udvikle fiberinfrastrukturen og således migrere coax-kunder over på fiber via fiber-aktiveringskampagner.

Norlys, som også ejer coax-net, har i forbindelse med Erhvervsstyrelsens markedsafgørelse² over for selskabet erklæret, at selskabet vil lukke det coax-net, som Norlys har fuldt ejerskab over i selskabets SMP-område³. Norlys ejer imidlertid stadig coax-net uden for selskabets SMP-område, ligesom Norlys i øvrigt drifter coax-net for en række foreninger.

² Erhvervsstyrelsens markedsafgørelser af 17. december 2021 på engrosmarkedet for netadgang til højkapacitetsinfrastruktur (M3HC) over for Norlys.

³ Delmarkedet Midt- og Syddjylland

1.4 Fibernet

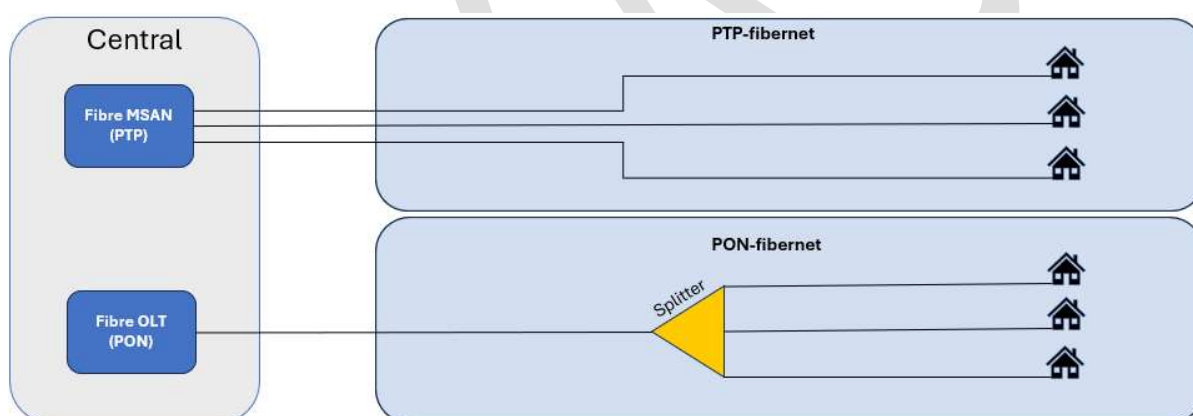
Fiber er i dag den primære teknologi på bredbåndsmarkedet. Netejerne ruller fortsat fiber ud for at kunne tilbyde højkapacitets-bredbånd til private og erhvervsvirksomheder.

Fibernettet består af mikroskopiske glastråde, der kan transportere data via lysimpulser. Det betyder, at fibernettet kan transportere datatrafik til op mod lysets hastighed.

Fiberteknologien er modsat de andre fastnetsteknologier (coax og kobber) primært hastighedsbegrænset af det udstyr som en fiberforbindelse er bestykket med, henholdsvis transmissions- og ende udstyr. Teoretisk set kan fibernettet på lang sigt potentielt levere symmetriske up- og downloadhastigheder på op til 1000 Tbit/s, aktuelt er den teoretisk maksimale hastighed 100 Gbit/s. De højeste hastigheder der tilbydes i dag, er på op til 2,5 Gbit/s.

Accessnettet i et fibernet kan enten bygges op som et punkt-til-punkt-net (PTP) eller som et punkt-til-multipunkt-net (PON). De to typer af netopbygning er vist i figur 3 nedenfor.

Figur 3: Illustration af PON-og PTP fibernet



Kilde: Erhvervsstyrelsen

I et PTP-fibernet har hver detailkunde en dedikeret fiberforbindelse fra husstanden til en optisk linjeterminal (OLT), som er placeret i en central.

Modsat PTP-nettet anvender PON-nettet optiske splittere i gadeskabe, der forgrener fiberen ud til de enkelte detailkunder. Fra gadeskabet, hvor splitteren er placeret og tilbage i nettet er der fællesudnyttelse af en fiberforbindelse pr. splitter. Fiberstrækningen fra OLT'en og frem til gadeskabet deles således af flere detailkunder, og der anvendes derfor langt færre fibre til at forbinde hver enkelte detailkunde. De nuværende optiske splittere kan typisk servicere hhv. 16, 32, 64 og 128 detailkunder, hvor ratioen 1:32 er det mest almindelige. Gadeskabet kan dog indeholde mere end én passiv splitter og tilmed gøre det muligt at dække et større antal detailkunder.

Et PON-net har således typisk lavere driftsomkostninger end et PTP-net. Dertil er PTP-nettet typisk dyrere at anlægge, da der skal føres separate fiberkabler til hver detailkunde på strækningen mellem centralen og husstanden.

Tidligere blev størstedelen af fibernettene bygget op som PTP-net, mens netejerne i dag primært udbygger med PON-net til privatkunder. PTP-net udrulles stadig, men er særligt henvendt til erhvervskunder, som har høje specifikke krav til deres fiberforbindelse. Da PON-net er billigere at anlægge og drifte end en PTP-net, er PTP-net tilmed gennem tiden blevet konverteret til PON-net.

I figur 4 ses udbredelsen af mulige downloadhastigheder på teknologien fiber. Af figuren fremgår det, at størstedelen af fiberforbindelserne har en mulig download-hastighed på mindst 1 Gbit/s. Kun en mindre brøkdel af husstandene kan ikke aftage en downloadhastighed på mindst 1 Gbit/s, det skyldes hovedsageligt forældet ende udstyr.

Figur 4: Fordelingen af mulige hastigheder på fiber i 2023

Downloadhastighed	2023 Antal husstande
Mindst 1000 Mbit/s	2.621.196
Mindst 500 Mbit/s, under 1000 Mbit/s	877
Mindst 250 Mbit/s, under 500 Mbit/s	-
Mindst 100 Mbit/s, under 250 Mbit/s	3.538
Mindst 50 Mbit/s, under 100 Mbit/s	-
Under 50 Mbit/s	208

Kilde: Erhvervsstyrelsens beregninger baseret på data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur.

Note: Hastighederne er de teknisk mulige hastigheder og ikke de udbudte hastigheder.

Opgraderingen af fibernettet i form af XGS-PON-teknologien er allerede påbegyndt og har til formål at øge hastigheden i fibernettet. Ved etableringen af XGS-PON udskiftes linjekort på telecentralerne i access-delen, samt kundeudstyret hos de enkelte husstande. Portene i de nye XGS-PON linjekort kan håndtere større mængder data, hvorved den tilgængelige kapacitet for detailkunderne bliver udvidet. På detailmarkedet er det i dag i udvalgte områder allerede muligt at levere hastigheder op til 2,5 Gbit/s.

1.5 Trådløse forbindelser

Udover kablede teknologier i accesnettene (kobber, coax og fiber) er det også muligt at benytte forskellige trådløse teknologier til at etablere bredbåndsforbindelser.

Det er som udgangspunkt alene accesnettet, der består af trådløs teknologi, dvs. strækningen fra detailkunden til basestationen, som udgør det første fordelingspunkt. Den videre transport af data fra basestationen – dvs. i backbonenettet – foregår som for de øvrige accessteknologier typisk i en fiberbaseret infrastruktur.

Trådløse net er baseret på det frekvensspektrum, der er til rådighed for netejeren. Frekvensspektrummet udgør den infrastruktur, som et teleselskab skal have adgang til for at etablere en trådløs bredbåndsforbindelse til detailkunden.

Båndbredden på en trådløs forbindelse er begrænset af det tilgængelige frekvens-spektrum. En opgradering af båndbredden vil derfor i visse tilfælde kræve, at der er ledigt frekvensspektrum til rådighed. Båndbredden er endvidere begrænset af vejrforhold, hvorvidt detailkunden er i bevægelse, samt om signalet forstyrres af landskab eller bygninger. Afstanden til den enkelte basestation har samtidig en helt central rolle for, hvilken hastighed den enkelte detailkunde kan opnå.

1.6 Fast trådløs

I et fast trådløst net sendes signalet trådløst fra udstyret i en basestation til udstyr placeret på et fast sted hos detailkunden. Det er vigtigt for signalet, at der er "line of sight" mellem basestationen og detailkunden. Dog gælder det, at desto lavere frekvenser, der benyttes, desto mindre betydning har kravet om "line-of-sight".

Opbygningen i et fast trådløst net betyder, at netejere kan tilbyde garanterede hastigheder til den enkelte detailkunde, idet der er tale om en dedikeret forbindelse, hvor detailkunden altid vil have adgang til forbindelsens fulde tilgængelige båndbredde. Det gør det muligt for netejere at tilrettelægge hver forbindelse ud til detailkunden ud fra dennes efterspørgsel.

Faste trådløse forbindelser kan fx anvendes til specielle løsninger, typisk rettet mod erhvervsmarkedet, med henblik på at forbinde knapt så tilgængelige punkter, herunder til fx at forbinde vindmøller. Derudover anvendes faste trådløse forbindelser til egentlige bredbåndsløsninger rettet mod privatkunde-markedet, fx i områder hvor en kablet forbindelse kun kan leveres med begrænset båndbredde.

I Danmark var der i 2023 omkring 312.000 husstande, som er dækket med fast trådløst net, hvoraf 59,1 pct. af forbindelserne understøtter teoretiske downloadhastigheder på mindst 100 Mbit/s.

I teorien understøtter fast trådløst bredbånd symmetriske up- og download-hastigheder. I praksis varierer uploadhastighederne alt efter, hvilke downloadhastigheder der er på forbindelserne, og hvem der udbyder dem.

Figur 5 nedenfor viser mulige hastigheder på FWA

Figur 5: Fordelingen af mulige hastigheder på fiber i 2023

Downloadhastighed	2023 Antal husstande
Mindst 1000 Mbit/s	-
Mindst 500 Mbit/s, under 1000 Mbit/s	1.568
Mindst 250 Mbit/s, under 500 Mbit/s	12.256
Mindst 100 Mbit/s, under 250 Mbit/s	172.227
Mindst 50 Mbit/s, under 100 Mbit/s	72.826
Under 50 Mbit/s	53.213

Kilde: Erhvervsstyrelsens beregninger baseret på data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur.

Note: Hastighederne er de teknisk mulige hastigheder og ikke de udbudte hastigheder.

Erhvervsstyrelsen er ikke bekendt med at der foretages opgradering af fast trådløs teknologi i Danmark.

1.7 Mobilt bredbånd

I et mobilnet sendes signalet trådløst fra udstyret i en basestation til routeren som er placeret hos brugeren. Den fulde tilgængelige kapacitet deles mellem de brugere, der aktuelt befinder sig – og benytter forbindelsen – i den enkelte basestations dækningsområde. Da antallet af brugere, herunder også forbrugernes mobiltelefoner, der benyttes i basestationens dækningsområde, varierer over tid, vil den hastighed, som den enkelte bruger oplever, tilsvarende variere.

Accessnettene er blevet bygget med henblik på trådløs mobilkommunikation og sikre bred dækning samtidig med tilpasningen til den stigende efterspørgsel efter højhastighedsinternet og mere krævende mobilapplikationer. Trådløse netværk har gennemgået flere generationer af teknologi, som f.eks. 3G og 4G, hvilket har ført til forbedringer i kapacitet, hastighed og funktionalitet.

5G er den seneste generation af mobilteknologi og er designet til at levere betydeligt mere kapacitet end 4G-netværket. Flere frekvensbånd er blevet tilgængelige, og de danske mobil-netejere har alle har erhvervet sig rettigheder til anvendelse af flere frekvensområder herunder 700 MHz, 3,5 GHz samt 26 GHz.⁴

Højere frekvenser giver mulighed for at bære mere data, idet der er bedre plads til brede radiokanaler i de høje frekvensbånd. Hvor 4G er begrænset til en maksimal radiokanalstørrelse på 20 MHz, tillader 5G-standarderne anvendelsen af radiokanaler på 100 MHz på 3.5 GHz frekvensbåndet, og op til 400 MHz ved anvendelsen af frekvensbånd over 24 GHz. Dette vil sammen med brugen af netværksfunktionaliteter som fx carrier aggregation, der kombinerer flere frekvensbånd, øge den samlede mulighed for datatransmission.

Valget af frekvensbånd spiller en central rolle i udformningen af trådløse netværk og påvirker direkte, hvor mange basestationer der er nødvendige for at opfylde de ønskede kapacitetskrav. Lavere frekvenser

⁴ [Auktioner og udbud for frekvenser \(sdfi.dk\)](https://www.sdfi.dk)

har normalt længere rækkevidde og bedre gennemtrængningsevne, hvilket gør dem velegnede til at dække større områder og trænge igennem bygninger. Højere frekvenser giver større kapacitet, men har kortere rækkevidde og gennemtrængningsevne, hvilket især er gældende på millimeterfrekvenserne over 24GHz.

Dette indebærer bl.a., at et teleselskab ikke kan levere en garanteret hastighed til hver enkelt bruger, men derimod estimere hastigheden i det specifikke geografiske område, baseret på teleselskabets egen infrastruktur samt forskellige trådløse variabler.

Før selskaberne kan anvende alle 5G's funktioner indebærer det, at både accessnettet og corenetværket er opgraderet til 5G-standarden. De danske teleselskaber har siden 2018 løbende integreret teknologien i den eksisterende 4G-infrastruktur, hvilket gør det muligt at trinvist introducere nye 5G-tjenester, såsom forbedret dækning og højere båndbredde. Denne udrulningsform er også kaldet *Non-Standalone (NSA)*.

Standalone (SA) er betegnelsen for et selvstændigt 5G-netværk, uden afhængigheder af tidligere generationer af netværksinfrastruktur. Opgraderingen til 5G-SA vil bl.a. muliggøre, at forskellige netværksfunktioner bliver implementeret som softwareapplikationer. En central funktion i 5G-SA, der udnytter en softwarebaseret netværksarkitektur, er Network Slicing. Funktionen giver teleselskaberne en forbedret styring af netværket ved at tillade opdeling af det fysiske 5G-netværk i flere uafhængige virtuelle netværk til forskellige formål. Hvert slice kan dermed konfigureres til formål som f.eks. krav til dedikeret kapacitet, ekstra høj opetid, lav forsinkelse, høje båndbredder eller kombinationer af anvendelses-scenarier. Dette tillader også, at virksomheder fx kan få deres eget lokale 5G-netværk.

I Danmark har netejernes tilgang til udrulning af 5G været baseret på en NSA-tilgang. I efteråret 2023 var TDC-Net første netværksoperatør der implementerede 5G SA, mens det forventes, at Hi3G, Telenor og Norlys løbende opgraderer deres infrastruktur til 5G-Standalone.

Overgangen til 5G-SA repræsenterer både en teknologisk opgradering og en nødvendig infrastrukturel forandring. Det kan dog bemærkes, at selv efter opgraderingen giver det ikke nødvendigvis en øjeblikkelig forbedring af bruger-oplevelsen. For at kunne udnytte de avancerede tjenester fuldt ud, kræves det, at udviklere skaber applikationer der udnytter 5G's potentiale samt at både enheder og det lokale miljø er optimeret til 5G-SA.

Baseret på IMT-2020-krav er 5G designet til at levere teoretiske datahastigheder på op til 20 Gbps download og 10 Gbps upload. Til sammenligning har 4G (LTE-Cat 16) en teoretisk maksimalhastighed på 1 Gbps download og 150 Mbps upload.

De faktiske hastigheder for 5G i Danmark, baseret på telebranchens dækningskort ved udendørsdækning, forventes at kunne levere op til 1 Gbps i download og ca. 100 Mbps i upload ved anvendelse af 3.5GHz frekvensen. Styrelsen er opmærksom på den øgede kapacitet, som millimeterfrekvenser over 24GHz kan levere, men vurderer, at denne kapacitet indenfor den næste årrække alene vil blive implementeret og anvendt på steder som fx. stationer eller travle gader, hvor der er behov for en øget kapacitet (Mbit/kvm²).

Figur 6 viser mulige teoretiske hastigheder på mobilt bredbånd ved udendørs brug.

Figur 6: Fordelingen af mulige hastigheder på fiber i 2023

Downloadhastighed	2023 Antal husstande
Mindst 1000 Mbit/s	-
Mindst 500 Mbit/s, under 1000 Mbit/s	1.972.452
Mindst 250 Mbit/s, under 500 Mbit/s	-
Mindst 100 Mbit/s, under 250 Mbit/s	1.042.421
Mindst 50 Mbit/s, under 100 Mbit/s	55.134
Under 50 Mbit/s	5.796

Kilde: Erhvervsstyrelsens beregninger baseret på data fra Styrelsen for Dataforsyning og Infrastruktur.

Note: Hastighederne er de teknisk mulige hastigheder og ikke de udbudte hastigheder. Hastighederne for mobil er angivet som den bedste tekniske mulige hastighed (udendørs), som en husstand kan opnå fra et af de tre mobilnet; TDC, TT-netværket og H3G.



Langelinie Allé 17
2100 København Ø

T: 3529 1000
@: erst@erst.dk
W: erhvervsstyrelsen.dk